

內政部營建署

市區道路及其附屬設施技術研發計畫

成果報告書

委託單位：內政部營建署

執行單位：國立台北科技大學

中華民國 97 年 12 月

內政部營建署

市區道路及其附屬設施技術研發計畫

委託單位：內政部營建署

執行單位：國立台北科技大學

中華民國 97 年 12 月

市區道路及其附屬設施技術研發計畫

計畫主持人 李有豐 台北科技大學土木系教授

協同主持人 林鎮洋 台北科技大學土木系教授

協同主持人 張寬勇 台北科技大學土木系副教授

協同主持人 鄭光炎 台北科技大學土木系副教授

執行助理 李俊德 台北科技大學土木與防災所碩士

委託單位：內政部營建署

執行單位：國立台北科技大學

目錄

一、緒論	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫範圍.....	2
1.3 計畫目的.....	8
1.4 97 年度工作內容.....	8
1.4.1 緊急運送道路相關工作內容.....	9
1.4.2 市區道路相關工作內容.....	10
1.4.3 市區橋梁相關工作內容.....	11
1.4.4 研究計畫研討會成效.....	13
二、緊急運送道路維護管理研究.....	20
2.1 背景說明.....	20
2.2 國內外規劃情況.....	21
2.2.1 日本.....	21
2.2.2 國內.....	28
2.3 緊急救災機制.....	30
2.3.1 緊急救災機制規劃依據.....	30
2.3.2 緊急救災機制規劃目的.....	30
2.3.3 啟動時機.....	31
2.3.4 緊急救災機制流程.....	31
2.3.5 災前對策.....	35

2.3.6 緊急應變對策	43
2.3.7 災後復建	47
2.4 緊急運送道路規劃與評估準則之探討	48
2.4.1 緊急運送道路分類	49
2.4.2 緊急運送道路考慮因素	50
2.4.3 緊急運送道路實質規劃程序	52
2.4.4 緊急運送道路檢核	55
2.4.5 緊急運送道路圖之繪製	60
2.4.6 緊急運送道路標示之設定	60
2.5 緊急運送道路查詢系統	61
2.6 小結	68
三、提昇既有市區道路品質研究	69
3.1 背景說明	69
3.2 文獻回顧與國內外案例	71
3.2.1 LID 之國內外文獻探討及案例研析	71
3.2.2 綠廊道之國內外文獻探討及案例研析	93
3.2.3 自行車道之國內外文獻探討及案例研析	101
3.2.4 人行道附屬設施物與控制樞紐改善	114
3.3 低衝擊開發應用於市區道路之效益評估	117
3.3.1 低衝擊開發應用於市區道路規劃之主要原則	117
3.3.2 低衝擊開發設施及其設計原則	119

3.3.3 低衝擊開發效益	137
3.3.4 國內市區道路之適用性評估	144
3.3.5 國內法規面	150
3.4 綠廊道應用之可行性評估與設計原則	154
3.4.1 綠廊道之效益探討	156
3.4.2 綠廊道之評估指標	159
3.4.3 綠廊道之可行性評估	163
3.4.4 綠廊道之設計原則	166
3.5 自行車道之現況分析與效益評估	170
3.5.1 現有自行車道現況分析	170
3.5.2 自行車之國內外成本效益分析	173
3.5.3 自行車道環境保護與健康效益分析	183
3.5.4 自行車道應用於市區道路之規劃原則	188
3.5.5 台北市區自行車道綜合探討	199
3.6 人行道附屬設施物現況與改善對策	203
3.6.1 人行道設計分類與現況	203
3.6.2 人行道附屬設施分類與管理單位	209
3.6.3 人行道附屬設施物控制樞紐整合與改善	212
3.7 小結	218
四、提昇既有市區橋梁品質研究	220
4.1 背景說明	220

4.2 研究方法與文獻回顧.....	222
4.2.1 研究方法	222
4.2.2 FRP 相關文獻回顧.....	223
4.3 市區橋梁維護補強系統與工法研擬	233
4.3.1 承載能力補強系統與工法研擬.....	234
4.3.2 耐震能力補強系統與工法研擬.....	249
4.3.3 市區橋梁維護補強系統與工法研擬.....	261
4.4 FRP 複合材料應用於市區橋梁之適用性研究	267
4.4.1 國內橋梁現況	268
4.4.2 纖維強化高分子複合材料(FRP)介紹	269
4.4.3 國內外 FRP 材料之應用	273
4.4.4 FRP 材料經濟性探討.....	288
4.4.5 FRP 材料之適用性.....	289
4.5 FRP 複合材料應用於市區橋梁之耐久性研究	290
4.5.1 紫外線照射耐久性試驗.....	291
4.5.2 溫濕循環耐久性試驗	295
4.5.3 耐酸、鹼、硫酸鹽環境耐久性試驗.....	299
4.5.4 纖維棒耐久性折減係數.....	310
4.6 小結.....	312
五、結論與建議.....	313
5.1 結論.....	313

5.2 建議.....	316
參考文獻	319
附錄(一) 緊急運送道路現況問卷調查表.....	附錄(一)1
附錄(二) 各縣市問卷之統計資料.....	附錄(二)1
附錄(三) 石碇鄉緊急運送道路之規劃.....	附錄(三)1
附錄(四) 國內自行車道調查.....	附錄(四)1
附錄(五) 我國機動車輛平均保險費之計算.....	附錄(五)1
附錄(六) 國科會審查意見回覆表.....	附錄(六)1
附錄(七) 評選會議審查意見回覆表.....	附錄(七)1
附錄(八) 期中報告審查意見回覆表.....	附錄(八)1
附錄(九) 期末報告審查意見回覆表.....	附錄(九)1
附錄(十) 專家座談會會議紀錄.....	附錄(十)1
附錄(十一) 工作會議紀錄.....	附錄(十一)1

表目錄

表 1.1 產、官、學界參與研討會人數統計.....	14
表 2.1 緊急輸送路網的分類表.....	24
表 2.2 電纜架空與地下化優缺點比較表.....	26
表 2.3 緊急運送道路規劃與維護單位.....	29
表 2.4 市區道路檢查表.....	35
表 2.5 D.E.R.檢測系統之檢測表.....	36
表 2.6 市區道路附屬設施檢查表.....	37
表 2.7 災害通報表.....	38
表 2.8 裝備管理表.....	40
表 2.9 機具維護表.....	40
表 2.10 人力資源表.....	41
表 2.11 協力廠商表.....	42
表 2.12 緊急運送道路機能調查表.....	44
表 2.13 交通管制類型.....	46
表 2.14 受災程度判斷表.....	47
表 2.15 重建調查表.....	48
表 2.16 防救災據點調查表.....	55
表 2.17 緊急運送道路機能檢核表.....	57
表 3.1 低衝擊開發目的與期許成效.....	71
表 3.2 監測成果.....	78

表 3.3 雨水滲透效果表.....	88
表 3.4 雨量滲出成效分析表.....	91
表 3.5 國外永續發展之歷程.....	94
表 3.6 國內永續發展之歷程.....	95
表 3.7 LID 成本與傳統成本在西雅圖第二大道之比較.....	138
表 3.8 緣石價格.....	138
表 3.9 漫地流速度常數 k.....	139
表 3.10 生態滯留槽各污染源去除率.....	140
表 3.11 路面及草溝系統逕流之長期污染負荷.....	141
表 3.12 樹箱過濾器去除市區道路污染源之效益.....	143
表 3.13 灌木介紹.....	145
表 3.14 匍匐性草類介紹.....	146
表 3.15 LID 設施於市區道路總整理表.....	149
表 3.16 低衝擊開發設施適用於市區道路之範圍.....	149
表 3.17 國內法規適用於 LID.....	151
表 3.18 Indianapolis 都市綠廊道所提供之效益.....	157
表 3.19 American Forests(2001)建議都市綠化規模.....	157
表 3.20 我國各地市區道路較宜種植之原生樹種.....	166
表 3.21 自行車道於市區道路之適用性.....	173
表 3.22 Litman 機動車輛轉自行車之量化效益.....	176
表 3.23 台灣地區機動車輛能源使用成本.....	177

表 3.24 汽柴油空污費	178
表 3.25-1 依車齡估算汽車每年平均維修費用	179
表 3.25-2 依車齡估算機車每年平均維修費用	179
表 3.25-3 機動車輛不分車齡估算每年平均維修費用	179
表 3.26 機動車輛交通運輸稅賦	180
表 3.27 自小客車強制責任險費率	181
表 3.28 台灣地區機動車輛之平均保險費	181
表 3.29 台灣地區使用機動車輛成本推估表	182
表 3.30 鼓勵「機動車輛轉移自行車」之年投資成本估算	183
表 3.31 機動車輛數最多之縣市	183
表 3.32 自行車熱量消耗統計	187
表 3.33 自行車騎士選擇使用自行車道之因素	189
表 3.34 各用路人對於自行車道建構之路權影響	197
表 3.35 自行車道-車道寬度評分等級	200
表 3.36 自行車道-安全設施評分等級	200
表 3.37 自行車道-綠廊價值評分等級	201
表 3.38 自行車道-服務水準評分等級	201
表 3.39 台北市-敦化南路自行車道綜合評價表	202
表 3.40 市區各級道路行人步行空間分類	204
表 3.41 市區道路規劃單元設置尺寸	204
表 3.42 人行道附屬設施物與管理涉及單位表	210

表 3.43 美化費用估算	217
表 4.1 既有結構(強度、韌性)補強與橋梁整體結構系統補強方法比較	254
表 4.2 各項補強工法優缺點比較表	264
表 4.3 FRP 材料之三個基本成份	269
表 4.4 FRP 纖維材料之比較	270
表 4.5 材料輕質性(比強度、比彈性模數)比較表	271
表 4.6 耐蝕性 FRP 與主要結構鋼材料之耐蝕性比較	272
表 4.7 國外 FRP 材料相關規範及手冊	286
表 4.8 耐蝕性 FRP 與主要結構鋼材料之耐蝕性比較	289
表 4.9 複合材料耐久性測試項目及標準	290
表 4.10 2006 年台北市各月之紫外線總照射量	293
表 4.11 CFRP 棒紫外線照射試驗結果	293
表 4.12 台北地區月平均溫度及平均濕度	296
表 4.13 CFRP 棒溫濕循環變化試驗結果	297
表 4.14 GFRP 棒溫濕循環變化試驗結果	298
表 4.15 鹼性混合溶液混合比例	299
表 4.16 耐久性試驗規劃表	300
表 4.17 CFRP 棒耐酸試驗結果	301
表 4.18 GFRP 棒耐酸試驗結果	302
表 4.19 CFRP 棒耐鹼試驗結果	304
表 4.20 GFRP 棒耐鹼試驗結果	305

表 4.21 CFRP 棒耐硫酸鹽試驗結果	307
表 4.22 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗結果	308
表 4.23 CFRP 棒與 GFRP 棒耐久性質優劣比較表	310
表 4.24 耐久性折減係數值	311
表 4.25 耐久性折減係數比較表	311

圖目錄

圖 1.1 計畫相關研究項目	3
圖 1.2 研究目標與分工	4
圖 1.3 96-99 年度各分年工作課題架構圖	7
圖 1.4 「國內橋梁補強工法探討與新材料新技術應用」	13
圖 1.5 「市區道路自行車道發展及低衝擊開發設施物之可行性研討會」	13
圖 1.6 「緊急運送道路規劃實務研析」	14
圖 2.1 東京都緊急輸送道路圖	24
圖 2.2 橋梁上部結構補強方式	25
圖 2.3 橋梁下部結構補強方式	26
圖 2.4 撤去架空之電線確保災時之避難動線(東京都環狀七號線)	27
圖 2.5 共同溝整備示意圖	28
圖 2.6 問卷調查統計圖	29
圖 2.7 市區道路及其附屬設施之緊急救災機制流程圖(地震)	32
圖 2.8 市區道路及其附屬設施之緊急救災機制流程圖(水災)	33
圖 2.9 市區道路及其附屬設施之緊急救災機制流程圖(土石流)	34
圖 2.10 防救災資源資料庫	39
圖 2.11 公路防救災管理系統	44
圖 2.12 交通管制流程圖	45
圖 2.13 緊急運送道路整體規劃流程圖	49
圖 2.14 緊急運送道路實質規劃流程圖	53

圖 2.15 避難場所指示牌.....	60
圖 2.16 緊急運送道路標示牌及避難方向指示牌.....	61
圖 2.17 消防通道鋪面字樣.....	61
圖 2.18 緊急運送道路查詢系統登入畫面.....	62
圖 2.19 緊急運送道路查詢系統主畫面.....	62
圖 2.20 緊急運送道路介紹頁面.....	63
圖 2.21 緊急運送道路評估表頁面.....	63
圖 2.22 土石流危害度表頁面.....	64
圖 2.23 水災危害度表頁面.....	65
圖 2.24 地震危害度表頁面.....	65
圖 2.25 緊急運送道路規劃與檢核手冊下載.....	66
圖 2.26 各縣市緊急運送道路圖上傳頁面.....	66
圖 2.27 成功上傳頁面.....	67
圖 2.28 外部連結.....	67
圖 3.1 抑制雨水流出量之方式.....	72
圖 3.2 BMP Tool Box 模式使用界面.....	74
圖 3.3 BMP 設施型式 A 類型(Class A)	75
圖 3.4 BMP 設施型式 B 類型(Class B).....	75
圖 3.5 滯洪池.....	77
圖 3.6 Villanova 大學試驗基地	77
圖 3.7 Villanova 大學之滲透排水管	78

圖 3.8 左圖為低衝開發設計前；右圖為低衝開發設計後.....	79
圖 3.9 西雅圖 110th 草溝監測成果.....	80
圖 3.10 滲透淺溝表面植草.....	82
圖 3.11 柏林地區地表逕流分布圖.....	82
圖 3.12 Hindmarsh 公園滲透排水管施作案例.....	83
圖 3.13 社區道路設置綠色道路.....	84
圖 3.14 當地居民熱心參予施作工程.....	84
圖 3.15 雨水貯留滲透設施.....	85
圖 3.17 日本建築基地開發所採用之貯留滲透設計手法.....	87
圖 3.18 東京都昭島市地下滲透工法實施地區概要圖.....	88
圖 3.19 東京都昭島市地下滲透工法逕流抑制成效圖.....	89
圖 3.20 東京都練馬區道路滲透工法.....	89
圖 3.21 東京滲透性排水系統水入滲情形.....	90
圖 3.22 預鑄透水磚.....	90
圖 3.23 明誠二路旁汽車與腳踏車停車格鋪設透水性鋪面.....	92
圖 3.24 左圖為博愛路旁腳踏車停放區鋪設植草磚.....	92
圖 3.25 成功路旁公共設施帶設置草帶.....	93
圖 3.26 博愛路人行道旁設置類似生態滯留槽.....	93
圖 3.27 美國 Indianapolis 的市區道路綠化.....	97
圖 3.28 德國生態道路.....	98
圖 3.29 花園都市新加坡.....	99

圖 3.30 台東縣武陵綠色隧道.....	100
圖 3.31 節能減碳十大無悔措施.....	101
圖 3.32 台灣地區 1993~2003 年運具配比.....	102
圖 3.33 台灣歷年汽機車千人持有數.....	103
圖 3.34 世界主要國家機車持有率.....	104
圖 3.35 世界主要國家汽車持有率.....	104
圖 3.36 1990~2006 年 CO ₂ 排放量.....	105
圖 3.37 我國運輸部門之 CO ₂ 排放量.....	106
圖 3.38 丹麥哥本哈根.....	108
圖 3.39 荷蘭布雷達.....	110
圖 3.40 澳洲阿得雷德.....	111
圖 3.41 環河自行車道.....	112
圖 3.42 東豐自行車道.....	113
圖 3.43 愛河自行車專用道.....	114
圖 3.44 人行道整體改善建議.....	116
圖 3.45 低衝擊開發場址設計.....	118
圖 3.46 低衝擊開發設施於市區道路示意圖.....	120
圖 3.47 植栽型濾帶與入滲型設施.....	121
圖 3.48 停車場內(左)與分隔島(右)設置生態滯留槽.....	123
圖 3.49 生態滯留槽剖面構造示意圖.....	123
圖 3.50 西雅圖郊區旁草溝排水系統.....	124

圖 3.51 草溝構造示意圖	125
圖 3.52 高雄市博愛路三段	126
圖 3.53 一般透水性鋪面基本結構剖面圖	128
圖 3.54 透水性鋪面結構剖面圖	129
圖 3.55 滲透排水管構造示意圖	131
圖 3.56 滲透排水管鋪設	131
圖 3.57 滲透陰井構造示意圖	133
圖 3.58 滲透側溝構造示意圖	134
圖 3.59 樹箱過濾器於 Pentagon	135
圖 3.60 車道旁人行道與公共設施配置圖	135
圖 3.61 樹箱過濾器設計概念圖	136
圖 3.62 鋪設綠色道路於社區道路	137
圖 3.63 草溝系統之長期污染控制效率	141
圖 3.64 試驗渠槽側視圖	142
圖 3.65 試驗渠槽上視圖	143
圖 3.66 供給管共同管道結構型式	147
圖 3.67 各項設施與滲透排水管結合	150
圖 3.68 路邊公共設施帶設置生態滯留槽	150
圖 3.69 綠廊道所扮演之角色	155
圖 3.70 綠廊道之主要核心價值	159
圖 3.71 綠廊道之評估指標	163

圖 3.72 后豐鐵馬自行車專用道路.....	170
圖 3.73 淡金公路自行車道.....	171
圖 3.74 景美自行車道.....	171
圖 3.75 自行車意外事件.....	172
圖 3.76 擁擠成本-法國史特拉斯堡	174
圖 3.77 立體自行車架	175
圖 3.78 歷年車用汽油消耗量	184
圖 3.79 我國各部門之 CO ₂ 排放量統計	185
圖 3.80 自行車道之核心價值.....	188
圖 3.81 單向雙行與雙向單行之自行車道示意圖.....	190
圖 3.82 單人及雙人自行車騎乘空間示意圖.....	191
圖 3.83 市區道路自行車專用車道設計圖.....	192
圖 3.84 道路分隔柱與車止.....	192
圖 3.85 台灣騎乘自行車人口成長圖.....	193
圖 3.86 人行道與自行車道共用路權.....	193
圖 3.87 自行車道剖面示意圖.....	194
圖 3.88 顏色鮮明之透水鋪面.....	194
圖 3.89 敦化南路自行車道之人孔蓋.....	195
圖 3.90 人孔蓋 EPO 機械工法	195
圖 3.91 以人孔蓋強化入口意象.....	196
圖 3.92 人孔蓋匯入廣告元素.....	196

圖 3.93 市區道路自行車示意圖.....	198
圖 3.94 台北市-敦化南路自行車道	199
圖 3.95 台北市-敦化南路自行車道綜合評價圖	202
圖 3.96 機車恣意停放對於步行空間的壓縮（松江南京路口）	206
圖 3.97 人行道附屬設施物對於步行動線的阻斷（松江路、建國南路）	206
圖 3.98 附屬設施物過度密集並缺乏管理（台北縣永和市）	207
圖 3.99 人行道設施物與管理單位示意圖.....	208
圖 3.100 目前電力系統控制箱擺設方式.....	212
圖 3.101 電力系統地下化案例（林森北路、新生北路）	213
圖 3.102 電力系統地下化案例（林森北路巷弄）	214
圖 3.103 電力系統控制基座遷移至校園外圍案例（麗山國小）	215
圖 3.104 電力系統控制基座遷移至建築畸零用地案例.....	215
圖 3.105 電力系統控制箱遷移至公共設施帶案例.....	215
圖 4.1 FRP 橋面版斷面形式.....	229
圖 4.2 FRP 橋面版斷面形式.....	230
圖 4.3 FRP 橋面版斷面形式.....	230
圖 4.4 FRP 橋面版斷面形式.....	231
圖 4.5 FRP 橋面版斷面形式.....	232
圖 4.6 橋下堆放易燃物.....	235
圖 4.7 跨越橋之大梁為超高車輛撞損，鋼筋外露.....	235
圖 4.8 裂縫寬度小於 0.3 mm 修復工法示意圖	236

圖 4.9 裂縫寬度大於 0.3 mm 修復工法示意圖	237
圖 4.10 混凝土剝落修補工法示意圖	238
圖 4.11 鋼筋鏽蝕修補工法示意圖	239
圖 4.12 增厚橋面版工法示意圖	242
圖 4.13 增厚橋面版案例說明	244
圖 4.14 加大梁斷面工法示意圖	245
圖 4.16 鋼板黏貼補強完工照片	246
圖 4.17 纖維複合材料(FRP)貼布黏貼補強工法示意圖	247
圖 4.18 纖維複合材料(FRP)貼布黏貼補強完工照片	247
圖 4.19 增設構件工法示意圖	248
圖 4.20 預力加固工法示意圖	249
圖 4.21 橋柱之(a)撓曲破壞;與(b)彎矩-剪力破壞	251
圖 4.22 921 集集大地震之烏溪橋橋柱剪力破壞	252
圖 4.23 橡膠支承墊替換工法與各項防落設施裝設工法	253
圖 4.24 新舊混凝土面打毛處理	255
圖 4.25 新舊混凝土結合方式	255
圖 4.26 橋墩 RC 包覆補強工法	256
圖 4.27 橋墩鋼板包覆補強工法	257
圖 4.28 碳纖維補強圓柱實例	260
圖 4.29 橋梁重建或補強	262
圖 4.30 鋼纜線圍束補強柱體作業	266

圖 4.31 Aberfeldy Footbridge	274
圖 4.32 Lleida (Lérida) Pedestrian Footbridge	274
圖 4.33 Kolding Bridge	275
圖 4.34 Okinawa Road Park Bridge.....	276
圖 4.35 West Mill FRP Road Bridge.....	276
圖 4.36 Mount Pleasant Bridge	277
圖 4.37 Kings Stormwater Bridge.....	278
圖 4.38 Kings Stormwater Bridge 示意圖.....	278
圖 4.39 Tech21 Bridge	279
圖 4.40 Tech21 Bridge 組裝方式	280
圖 4.41 FRP 格網.....	281
圖 4.42 FRP 格網應用範圍.....	282
圖 4.43 直角形式 FRP 格網.....	282
圖 4.44 FRP 網格修復橋面版下方劣化混凝土之流程.....	283
圖 4.45 各類 FRP 鋼筋.....	284
圖 4.46 FRP 鋼筋應用於橋面版取代傳統鋼筋.....	285
圖 4.47 碳纖維外置預力鋼腱.....	285
圖 4.48 試體放置於紫外線照射儀器示意圖.....	292
圖 4.49 CFRP 棒紫外線照射試驗平均值結果.....	294
圖 4.50 自動控制溫、濕度櫃.....	295
圖 4.51 CFRP 棒溫濕循環變化試驗平均值結果.....	297

圖 4.52 GFRP 棒溫濕循環變化試驗平均值結果.....	298
圖 4.53 耐酸試驗.....	299
圖 4.54 耐鹼試驗.....	299
圖 4.55 耐硫酸鹽試驗.....	300
圖 4.56 CFRP 棒耐酸試驗平均值結果.....	302
圖 4.57 GFRP 棒耐酸試驗平均值結果.....	303
圖 4.58 CFRP 棒與 GFRP 棒耐酸試驗強度變化比較圖.....	303
圖 4.59 CFRP 棒耐鹼試驗平均值結果.....	304
圖 4.60 GFRP 棒耐鹼試驗平均值結果.....	305
圖 4.61 CFRP 棒與 GFRP 棒耐鹼試驗強度變化比較圖.....	306
圖 4.62 CFRP 棒耐硫酸鹽試驗平均值結果.....	307
圖 4.63 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗平均值結果.....	308
圖 4.64 CFRP 棒與 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗強度變化比較圖.....	309
圖 4.65 CFRP 棒試體耐酸、耐鹼與耐硫酸鹽試驗比較.....	309
圖 4.66 GFRP 棒試體耐酸、耐鹼與耐硫酸鹽試驗比較.....	310

一、緒論

1.1 計畫緣起

自 1987 年聯合國布倫特蘭委員會(Brundtland Commission)提出「永續發展」的觀念，國際間開始在各種領域中進行人與環境的省思，調整當前人類科技與經濟發展的方向。二十一世紀是一個全球化、數位化的世紀，台灣正處於劇烈的國際競爭模式，其中三股主要的力量：全球資訊流通、新科技發展與綠色環保，更是當前國內永續發展所必須直接面對的議題。

聯合國永續發展的基本概念：「能滿足當代的需要，同時不損及後代子孫滿足其本身需要的發展」。該觀念提出後，即成為各國國際性組織在面對全球環境變遷及環境問題的最高指導原則；在第六次「國家科技會議」議題四當中亦說明永續發展與民生福祉為公共建設之新方向。為符合挑戰 2008 國家發展重點計畫之總體目標，即秉持綠色矽島規劃的基本理念，體現以人為本、永續發展的核心價值，發揮國家有限資源之最大效益，維繫世代國民生存與福祉之目的。是以國內在各種營建技術研究發展的過程中，應在永續發展之長期考量下，藉由技術研發及有效融入產、官、學、研四界的優點，建立合作互動的機制、人員訓練與技術的轉移，達到成果管理及應用推廣的最終目標，以營造優質、便捷、安全及永續發展的生活環境。

在配合國家發展計畫之下，公共工程範圍涵蓋建築、道路、鐵路、橋梁、隧道、捷運、機場、海岸港灣、水庫、水力發電場、自來水、河川整治、下水道、土方資源場、掩埋場、山坡地開發、工業區開發、科學園區開發、治山防洪等十九類工程，其工作項目則分屬內政部、交通部、經濟部、農委會等四大部會。其中，都市計畫範圍內之道路、橋梁及公有建築物係屬於內政部營建署之業務範圍。在都市計畫區內道路及其附屬設施(包含市區道路、市區橋梁及緊急運送道路系統)乃扮演了人、事、物交流、溝通與運輸，及緊急救災任務的重要角色，並且為暢通社經的動脈，良好之市區道路運輸系統對於經濟發展

之關係極大。

內政部營建署有鑑於整個大環境之未來趨勢並未雨綢繆，自 96 年起將廣續提出為期 4 年的市區道路及其附屬設施技術研發計畫，期透過市區道路養護技術、橋梁延壽技術與管理及緊急運送道路規劃等研發成果之有效整合，達到低環境衝擊、低資源耗費、延長生命週期及追求人車共存，構築優質化、便捷與安全之都市交通網脈，營造永續發展的生活環境。

1.2 計畫範圍

為營造優質、便捷、安全及永續發展之市區道路系統，相關政府單位乃藉由永續發展、環境生態及人本考量三個考量層面，依生命週期考量、提升都市防、救災、綠營建、生態工程、建立都市綠廊帶、交通環境、綠色交通系統等實質面向，並對節能減碳之議題進行相關研究，故本團隊針對計畫規劃之相關研究項目如圖 1.1 所示。本研究藉由相關技術研發提昇市區道路及其附屬設施之品質，並將研究項目依「道路優質」、「綠色材料」及「橋梁延壽」三項主軸，藉由考量市區道路及其附屬設施生命週期內，自規劃、設計、施工、監測乃至於維護管理，及資源永續利用，並且提昇都市防救災能力，規劃相關研究項目，進行多面向的研究與實務推廣應用。以達到永續市區道路之目的。

國立台北科技大學土木系與水環境研究中心(以下簡稱本研究團隊)於 92 至 95 年期間，執行營建署之委託研究計畫案，即已針對人行道之透水性鋪面、保水性鋪面、滲透性雨水下水道合理化評估與市區道路平坦度等工程技術應用與推廣，進行研究與探討；並針對公有建築物補強技術推廣與後續延壽技術規劃、市區道路之檢測與評估系統之研究、市區橋梁承載能力、耐震能力評估系統之技術研發與探討，並訂定優質化橋梁檢測作業手冊，提供外界參採。

本研究團隊秉持多年來從事道路與橋梁等方面研發技術之經驗，為發揮市區道路及其附屬設施應有的營運及服務功能，並有效降低市區道路及其附屬設施重建工程對於自然環境衝擊與負荷。既有的市區道路及其附屬設施中，為有

效延長使用年限，將引入資源永續利用及環保再生材料之使用。藉由市區道路、橋梁研究成果之整合，進而建立優質化之市區交通系統，及建構都市計畫區內完整之緊急防、救災維生系統，以營造優質、便捷、安全及永續發展的生活環境。

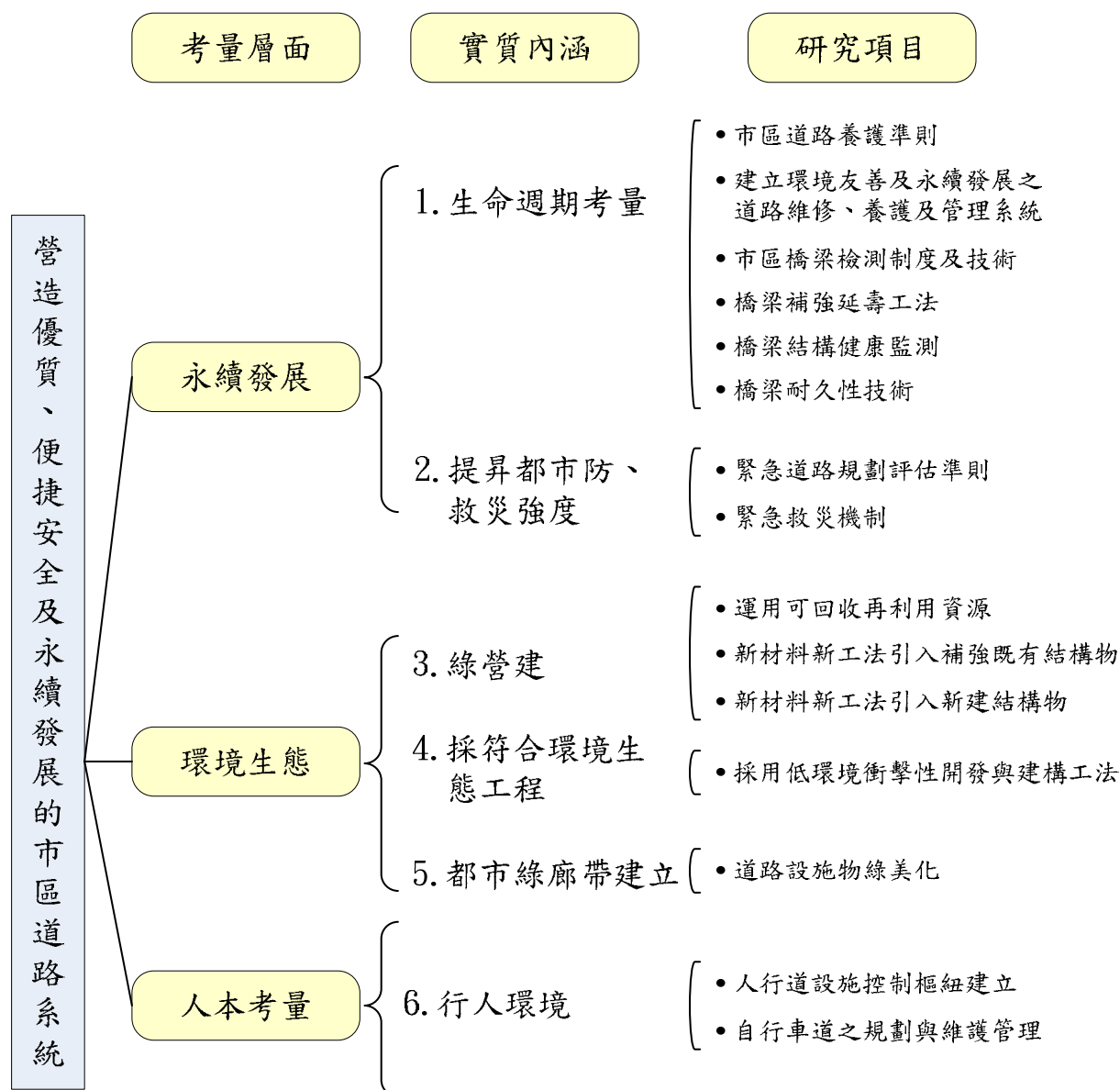


圖 1.1 計畫相關研究項目

依據營建署公告上網招標計畫內容，將市區道路及其附屬設施研究計畫分成緊急運送道路、市區道路及市區橋梁等三個課題進行研究，並以「道路優質」、「綠色材料」及「橋梁延壽」作為研究目標。「道路優質」包含安全、舒適及環境之友善，藉由緊急運送道路與市區道路研究團隊進行相關研究之成果，達到安全與舒適的「道路優質」目標，並由緊急運送道路規劃後的需求與市區橋梁相關研究結合，達到符合經濟、快速之維護補強與修復的「橋梁延壽」目標，在「綠色材料」面上，則是藉由市區道路與市區橋梁在新材料與新工法的相關研究上，達成替代性營建材料、廢棄物再生利用與降低環境污染的目的。最後在「道路優質」、「橋梁延壽」及「綠色材料」三個主軸下達到「永續道路」的遠景，如圖 1.2 所示。

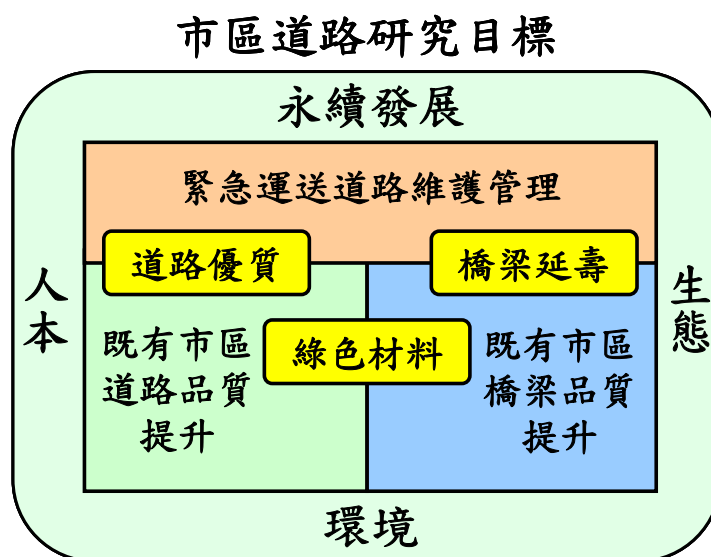


圖 1.2 研究目標與分工

整理 96-99 年度各分年工作課題架構圖表示如圖 1.3，各年度之工作內容重點詳下述之說明。本研究團隊將配合內政部營建署之政策，共同提昇市區道路及其附屬設施技術品質，以期發揮學術研究單位應有之功能，將研究發展成果透過教育訓練提供研發成果給政府與業界，並協助政府訂定良好公共工程政策與提升公共工程品質。

96 年度

- 一、四年期市區道路及其附屬設施技術研發整體績效指標之建立
- 二、蒐集及彙整國內外緊急運送道路相關文獻
- 三、建立緊急運送道路之檢核項目與機制(包含緊急運送道路危險度因子建立，以及緊急運送道路危險度分析網頁(PDA 版)規劃)
- 四、調查及彙整分析國內 25 縣市政府現行緊急運送道路規劃情況,並建立天然災害(水災、土石流、震災) 緊急運送道路可行性檢核模式
- 五、營建資源再生利用於市區道路之可行性評估
- 六、高性能材料使用於市區道路之效益評估
- 七、市區橋梁劣化現象與原因之關聯性機制研究
- 八、市區橋梁安全性能評估快速診斷方法之研擬
- 九、市區橋梁系統運用功能性支承與防落裝置之可行性研究
- 十、辦理宣導推廣、教育訓練活動

97 年度

- 一、建立市區道路及其附屬設施緊急救災機制。
- 二、建構緊急運送道路規劃與評估準則之規劃與探討。
- 三、建構緊急運送道路查詢系統。
- 四、市區道路低衝擊式開發（LID, Low-Impact Development）研究。
- 五、人行道設施控制樞紐改善與都市綠廊道建立之研究。
- 六、引入替代性營建材料運用於市區橋梁系統之可行性研究。
- 七、市區橋梁維修補強系統與工法研擬。
- 八、市區橋梁補強材料耐久性能之研究。
- 九、辦理宣導推廣、教育訓練活動。

98 年度

- 一、示範案例(I)試行之結果，建立緊急運送道路規劃準則與評估準則（草案）。
- 二、運用網路科技，擴大緊急運送道路查詢系統（如建立單機版以及 PDA 版）建置功能。

- 三、彙整分析國內外市區道路（含透排水鋪面）與附屬設施養護工法。
- 四、建立市區道路（含透排水鋪面）與附屬設施維修系統與養護工法。
- 五、市區橋梁檢測制度與監測技術研究及回饋分析方法之研擬。
- 六、市區橋梁補強標準作業流程與檢核機制之研擬。
- 七、透過示範案例(I)之建立，逐步將已完成之市區橋梁、評估與補強制度，推廣於各地方政府之主管機關。
- 八、辦理宣導推廣、教育訓練活動。

99 年度

- 一、緊急運送道路及其附屬設施維護管理系統之建立。
- 二、配合實務，建立完整之緊急運送道路規劃與評估制度。
- 三、彙整分析國內外市區道路維護管理系統。
- 四、研擬結合永續性發展、環境友善性之市區道路新建及維護管理系統。
- 五、研擬市區道路相關法規之修訂。
- 六、建立市區道路永續發展及友善環境示範案例
- 七、綜整與歸納示範案例推行成效及研究成果，建立完整之補強、維護管理準則。
- 八、建立市區橋梁檢測、評估與延壽工法之準則。
- 九、透過示範案例(II)，確實將已完成之市區橋梁、評估與補強制度，推廣並落實於各地方政府之主管機關。
- 十、辦理宣導推廣、教育訓練活動。

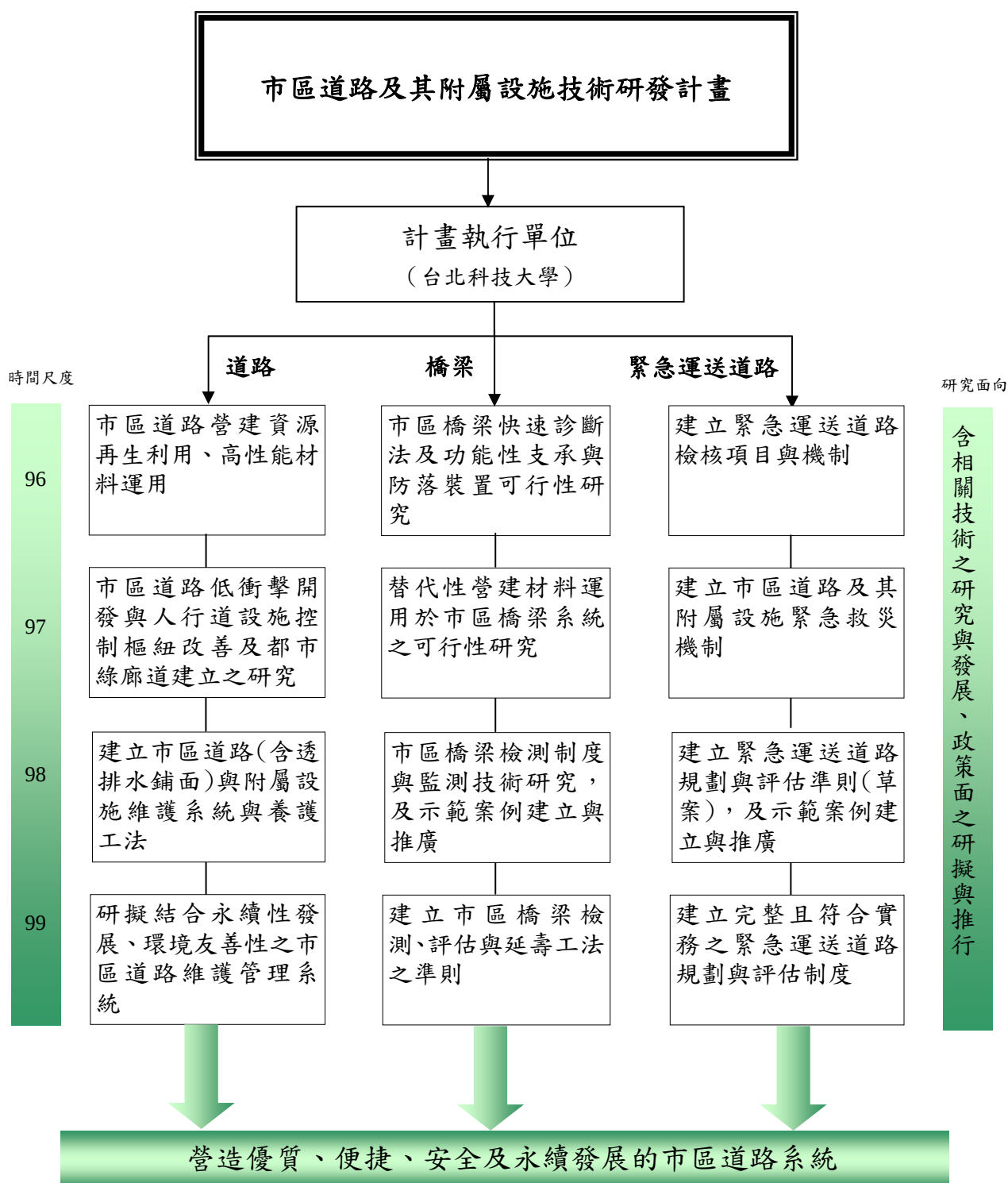


圖 1.3 96-99 年度各分年工作課題架構圖

1.3 計畫目的

依營建署公告上網邀標計畫內容，以下分別就市區道路、市區橋梁及緊急運送道路三面向之研究課題，將計畫目的敘述如下：

◎ 緊急運送道路維護管理研究

調查及彙整分析全國各縣市政府與國外先進國家現行緊急運送道路規劃情況，進而建立市區緊急運送道路緊急救災機制、可行性檢核模式、規劃評估準則與維護管理系統，以結合市區街道之緊急運送道路系統，提供災害應變時迅速便捷之救災、避難路徑，提供都會區民眾安全的生活環境。

◎ 提昇既有市區道路品質研究

進行廢棄物資源再生利用，及多元性材料之技術研究與推廣，並加強市區道路設施對環境友善性及低衝擊性研究，進而回饋至路面養護管理作業改善、規劃、設計與施工方法調整，使市區道路設施兼顧生態環境，達到環境共生與優質化生活品質目標。

◎ 提昇既有市區橋梁品質研究

研發市區橋梁檢測、評估、補強、監測、維護管理與延壽之材料、技術及工法。減少市區橋梁重建的規劃、設計、施工與對自然環境衝擊，使既有市區橋梁設施能達到應有的營運及服務功能，延長其使用壽命，進而能達到資源永續利用之目標。

1.4 97 年度工作內容

依據營建署公告上網邀標計畫內容，分別就本研究計畫 97 年度緊急運送道路、市區道路與市區橋梁各工作項目及實施方法逐一說明。

1.4.1 緊急運送道路相關工作內容

本團隊於 96 年度對於緊急運送道路相關研究方面，已針對天然災害危險度進行探討，包含對土石流、水災及地震等災害，根據天然災害潛勢資料，加上諸如人口分布、土地利用等人為因素進行相關研究；此外並探討其功能檢核機制，評估緊急運送道路之地區適用性。另外針對緊急運送道路之避難救援動線體系做探討及進行緊急運送道路之其它附屬設施考量，最後進行緊急運送道路系統檢核。

道路系統在災害發生後之避難與救災行動上有其基本機能，而道路系統能否在災後發揮必要的防災功能，直接影響避難與救災成效，也直接影響災害傷亡的可能程度。再者道路系統與其他防災空間系統亦息息相關，各空間系統功能的發揮皆須仰賴道路的正常運作方可達成，緊急運送道路在整體的防災規劃作業上，扮演最關鍵性的角色。因此本年度將針對緊急運送道路之規劃進行探討研究，以利未來對道路進行緊急運送道路之系統規劃，以下為本年度之相關工作內容：

1. 建立市區道路及其附屬設施緊急救災機制：

市區道路除其主體應加以規劃檢核之外，還需針對市區道路之附屬設施部分加以規劃救災機制，以建構完整之市區道路防救災機制。

2. 建構緊急運送道路規劃與評估準則之規劃與探討：

針對緊急運送道路規劃原則，探討包括緊急運送道路於劃設時需考量災害潛勢區之評估，再依據各緊急運送道路之生活圈來規劃各緊急運送道路之廣域或大範圍之道路規劃，之後依據各緊急運送道路之道路機能與道路附屬設施做考量。

3. 建構緊急運送道路查詢系統：

本研究使用目前微軟主推之 .NET 架構，為系統開發的平台(資料庫使用微軟 SQL Server 2000)，提供使用者藉由網際網路，以瀏覽網頁方式執行，並可使用 PDA 等手提式裝置連上網際網路，做即時之更新與操作，使

網頁與資料庫之資料使用性更為方便。

本計畫於今(97)年度已完成了緊急運送道路規劃與評估準則，於準則的實際操作面上，以台北縣石碇鄉進行規劃範例來試行，已確認所擬之準則具一定程度之可行性與可操作性，因此本計畫於 98 年度中，主要工作以此準則向各縣市鄉鎮進行宣導與研習，使各縣市防災業務之承辦人員了解如何規劃緊急運送道路，並製作出緊急運送道路圖。

1.4.2 市區道路相關工作內容

台灣地區多雨，路面排水機能相當重要。進行暴雨管理時，需兼顧生態系統與水文功能，故市區道路雨水管理將成為一種新趨勢。本團隊於 96 年度「市區道路及其附屬設施技術研發計畫」之市區道路透水性鋪面，即為有效的評估市區道路品質進而達到優質化之一，藉由材料應用以提昇道路品質並作為績效評估基準。對於市區道路建設品質技術之研究，建立完整再生材料、高性能材料之設計準則，並經由實務面、技術面與經濟面合理化評估優質化技術適用性，達到提供人車行的舒適度與安全性，並降低使用者成本、減少對自然環境衝擊之目的。

為銜接廢棄物資源再生利用及多元性材料之技術研究與推廣，並加強市區道路設施如透水鋪面、生態滯留池及草溝等對環境友善性及低衝擊性研究，對後續建立市區道路與附屬設施系統的新建和維管等工法，藉由實驗路段驗證和宣導成果，進而推動市區道路相關法規之修訂，使市區道路設施兼顧生態環境，達到環境共生與優質化生活品質目標。以下為今年度計畫相關內容：

1. 市區道路低衝擊式開發(LID, Low-Impact Development)研究：

蒐集國內外低衝擊開發應用於都市道路資料，並評估實際應用於市區道路之效益，結合整體設計規劃以達道路優質化之目標。

2. 都市綠廊道之可行性評估與設計準則：

針對現有都市綠廊道空間進行評估分析，作為未來結合低衝擊開發以

控制暴雨逕流、淨化水質之可行性參考依據，並回饋至整體規劃之設計準則，以達到防災、水循環及永續發展之長遠目標。

3. 人行道設施物控制樞紐之改善對策：

調查及分析國內人行道設施物控制樞紐之現況，找出現今設施物對步行環境關係及改善人行道設施物管理問題，進而建立良好都市步行環境。

經由本年度計畫文獻彙整與可行性分析，98 年度計畫研究方向為完善架構綠色交通運輸之概念。係針對既有市區道路鋪面依據不同劣化損壞狀況進行維修養護與預防式養護工法分析，期有效提昇道路鋪面之服務品質；並全盤規劃設計市區環狀自行車專用道路，考量人文環境、民眾休閒與環境保護之需求，作為都市綠色帶狀連結。

1.4.3 市區橋梁相關工作內容

本團隊於 96 年度市區橋梁相關工作中已完成市區橋梁劣化現象與原因關聯性機制及快速診斷法之研究；此外在功能性支承與防止落橋裝置應用於市區橋梁上，藉由實驗與分析及補強工法之可行性、經濟性的比較，建議國內既有市區橋梁可利用功能性支承與防止落橋裝置進行補強，以降低龐大之補強費用。

橋梁耐震補強工法種類繁多，功能性支承與防止落橋裝只是其中一種概念不同之補強方式，並非所有橋梁均適用。藉由市區橋梁劣化現象與原因關聯性機制，因地制宜選擇有效且合適之補強工法才是重點。此外對於目前營建材料的短缺及鋼筋價格不斷上漲的情形，替代性營建材料運用於市區橋梁之可行性、經濟性及耐久性問題是刻不容緩的研究課題。因此本年度計畫中，將針對以上相關議題進行研究，以利於後續進行補強標準作業流程與檢核機制之研擬。以下為本年度相關工作內容：

1. 引入替代性營建材料運用於市區橋梁系統之可行性研究：

市區橋梁系統，逾 80% 為 20 公尺以下之小跨徑橋梁，另人行陸橋，

因設計載重較一般公路橋梁為低，故本團隊計畫於 97 年度導入 FRP 材料之設計，利用 FRP 輕量化的特性，減少作用於上部與下部結構之作用力、並且由於相關之安裝機具與設備重量亦較輕，可縮短建造工期、增加經濟性，並且亦可提高對土壤條件或地形條件的適應性。另外，利用其優越之耐蝕性可提高結構之耐久性，大為減低維護管理所需的經常維修費用。尤其在鹽害嚴重，及沿海地區等嚴苛腐蝕環境下，可有效降低維護管理費用，且延長使用壽命。

2. 市區橋梁維修補強系統與工法研擬：

針對橋梁承載能力(上部結構)及耐震能力(下部結構)，及不同之補強材料與工法，完整規劃一套市區橋梁補強作業程序與維護管理制度，供工程界參採使用。

3. 市區橋梁補強材料耐久性能之研究：

任何一種材料在使用前都必須進行其耐久性的分析，以確保材料能達應有之功能，尤其是地區性的天候對材料的影響，如此才能確保其經濟與安全的考量，傳統的 RC 結構亦經過許多耐久評估。CFRP 棒之耐久性測試，主要是以台灣的氣候條件作為測試的考量，應以耐酸鹼(pH)試驗、紫外線照射試驗與溫溼度的循環模擬試驗，討論台灣天氣對 CFRP 棒之耐久性影響。

鑒於民國 97 年 9 月辛樂克颱風襲台造成國內 6 座橋梁斷裂，其中以后豐大橋最為嚴重，足以顯示國內橋梁所處環境受人為外力及天然災害頻繁(如地震、颱風及洪水等)，加上橋梁管理單位人力不足，政府與立法單位編列維護補強之預算與經費有限，使得國內的橋梁劣化情況日趨嚴重。

為面對以上問題，必須先對現有橋梁進行完整之檢測，根據橋梁之受損現況進行安全性之評估；據以擬定橋梁進一步之處理方案(如維修與補強等)。故將完善之市區橋梁檢測制度此橋梁養護之重要課題，作為 98 年度研究面向。

1.4.4 研究計畫研討會成效

本團隊於97年度10月底前完成3場次研討會以廣納各界先進對本研究案成果之相關意見，如圖 1.4~1.6。研討會議題包含「國內橋梁補強工法探討與新材料新技術應用」、「市區道路自行車道發展及低衝擊開發設施物之可行性研討會」及「緊急運送道路規劃實務研析」。並設計成效評估表以了解研討會之辦理成效，表 1.1 為產、官、學界參與各研討會人數之統計數字。



圖 1.4 「國內橋梁補強工法探討與新材料新技術應用」



圖 1.5 「市區道路自行車道發展及低衝擊開發設施物之可行性研討會」



圖 1.6 「緊急運送道路規劃實務研析」

表 1.1 產、官、學界參與研討會人數統計

場次	產業界		政府部門		學術界		總計	
	人數	百分比	人數	百分比	人數	百分比	人數	百分比
國內橋梁補強工法探討與新材料新技術應用	15	17.9%	56	66.7%	13	15.4%	84	100%
市區道路自行車道發展及低衝擊開發設施物之可行性研討會	12	14%	51	60%	23	26%	86	100%
緊急運送道路規劃實務研析	4	5.2%	20	26.0%	53	68.8%	77	100%
總計	31	12.6%	127	51.4%	89	36.0%	247	100%

「國內橋梁補強工法探討與新材料新技術應用」有效之成效評估表回收後，對於表中各項問卷內容及回覆之統計資料如下：

一、請問您是以何種方式參加本次訓練或研習？

- 1.主動報名參加 (佔 51%) 2.被指定參加 (佔 49%)

二、請問您認為本項訓練或研習之授課時數是否適當？

- 1.應予增加： 4.6 小時 (佔 52%) 2.適當 (佔 48%) 3.應予減少(佔 0%)

三、請問您是否滿意本次研討會或研習之**講授內容**？

- 1.非常滿意 (佔 17%) 2.滿意 (佔 66%) 3.沒意見 (佔 15%)
4.不滿意 (佔 2%) 5.非常不滿意 (佔 0%)

四、請問您認為本次研討會或研習之**講授方式**如何？

- 1.良好 (佔 38%) 2.尚佳 (佔 47%) 3.沒意見 (佔 15%)
4.欠佳 (佔 0%) 5.不好 (佔 0%)

五、請問您認為本次研討會或研習之**教材**如何？

- 1.良好 (佔 32%) 2.尚佳 (佔 47%) 3.沒意見 (佔 19%)
4.欠佳 (佔 2%) 5.不好 (佔 0%)

六、請問您認為本次研討會或研習之**場地設備**如何？

- 1.良好 (佔 26%) 2.尚佳 (佔 34%) 3.沒意見 (佔 28%)
4.欠佳 (佔 12%) 5.不好 (佔 0%)

七、請問您參加本項研討會對於您目前執行業務或將來個人發展，是否有所**助益**？

- 1.有助益 (佔 64%) 2.略有助益 (佔 36%) 3.沒意見 (佔 0%)
4.略無助益 (佔 0%) 5.無助益 (佔 0%)

八、請問在參加完本次活動後，若有機會您是否會推薦他人參加？

- 1.相當推薦 (佔 13%) 2.推薦(佔 76%) 3.沒意見 (佔 11%)
4.不推薦 (佔 0%) 5.相當不推薦 (佔 0%)

九、請問您對本研討會或研習的**綜合評價**為何？

- 1.非常滿意 (佔 17%) 2.滿意 (佔 77%) 3.沒意見 (佔 6%)
4.不滿意 (佔 0%) 5.非常不滿意 (佔 0%)

十、其他意見？

包含：建議提供課程資料置於網路上以供下載、增加工法實務案例之交流及分享、講習後發放證書、研討會時間建議於 13：30 開始，以配合公務員下午上班時間，方便請假。

藉由成項評估表分析結果可知，本研討會有超過半數之人員是主動報名參加，並在參加後建議本課程內容應增加 4.6 小時，對於講授內容、方式及教材多屬正面之回應。此外，本研討會內容皆對參加的學員有所助益，且多推薦他人參與類似課程，可見國內缺乏此類相關研討會，可於下年度計畫中修正辦理次數，以符合社會需求。在其他意見中，本團隊會將可公開之研討會資料上傳至水環境研究中心網站(<http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/>)，以供各界下載。對本研討會或研習的綜合評價並無不滿意之意見，對本團隊實為一大鼓勵，本團隊於後續計畫中將秉持專業與熱誠，將研究成果推廣並落實於社會。

「市區道路自行車道發展及低衝擊開發設施物之可行性研討會」有效之成效評估表回收後，對於表中各項問卷內容及回覆之統計資料如下：

一、請問您是以何種方式參加本次訓練或研習？

- 1.主動報名參加 (佔 69%) 2.被指定參加 (佔 31%)

二、請問您認為本項訓練或研習之授課時數是否適當？

- 1.應予增加：__4__小時 (佔 23%) 2.適當 (佔 77%) 3.應予減少(佔 0%)

三、請問您是否滿意本次研討會或研習之講授內容？

- 1.非常滿意 (佔 32%) 2.滿意 (佔 61%) 3.沒意見 (佔 0%)
4.不滿意 (佔 7%) 5.非常不滿意 (佔 0%)

四、請問您認為本次研討會或研習之講授方式如何？

- 1.良好 (佔 29%) 2.尚佳 (佔 63%) 3.沒意見 (佔 8%)
4.欠佳 (佔 0%) 5.不好 (佔 0%)

五、請問您認為本次研討會或研習之教材如何？

- 1.良好 (佔 32%) 2.尚佳 (佔 65%) 3.沒意見 (佔 3%)
4.欠佳 (佔 0%) 5.不好 (佔 0%)

六、請問您認為本次研討會或研習之場地設備如何？

- 1.良好 (佔 8%) 2.尚佳 (佔 21%) 3.沒意見 (佔 28%)

4.欠佳 (佔 43%) 5.不好 (佔 0%)

七、請問您參加本項研討會對於您目前執行業務或將來個人發展，是否有所助益？

1.有助益 (佔 69%) 2.略有助益 (佔 31%) 3.沒意見 (佔 0%)

4.略無助益 (佔 0%) 5.無助益 (佔 0%)

八、請問在參加完本次活動後，若有機會您是否會推薦他人參加？

1.相當推薦 (佔 18%) 2.推薦(佔 74%) 3.沒意見 (佔 8%)

4.不推薦 (佔 0%) 5.相當不推薦 (佔 0%)

九、請問您對本研討會或研習的綜合評價為何？

1.非常滿意 (佔 12%) 2.滿意 (佔 68%) 3.沒意見 (佔 20%)

4.不滿意 (佔 0%) 5.非常不滿意 (佔 0%)

十、其他意見？

包含：提供資料電子檔、現場探勘與戶外實際體驗。

藉由研討會成項評估表分析結果可知，本研討會有超過半數之人員係為主動報名參加，對於講授內容、方式及教材多為正面之回應，對本團隊實為一大鼓勵；本團隊會將可公開之研討會資料上傳至水環境研究中心網站 (<http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/>)，以供各界下載。此外，本團隊將評估資源允許範圍內，考量現場探勘之必要與可行性，期盼產、官、學領域間的交流與互動，希冀本研究成果與社會之需求確切接軌與執行。

「緊急運送道路規劃實務研析」有效之成效評估表回收後，對於表中各項問卷內容及回覆之統計資料如下：

一、請問您是以何種方式參加本次訓練或研習？

1.主動報名參加 (佔 52%) 2.被指定參加 (佔 48%)

二、請問您認為本項訓練或研習之授課時數是否適當？

1.應予增加：__2__小時 (佔 5%) 2.適當 (佔 95%) 3.應予減少(佔 0%)

三、請問您是否滿意本次研討會或研習之**講授內容**？

1.非常滿意 (佔 0%) 2.滿意 (佔 95%) 3.沒意見 (佔 5%)

4.不滿意 (佔 0%) 5.非常不滿意 (佔 0%)

四、請問您認為本次研討會或研習之**講授方式**如何？

1.良好 (佔 28%) 2.尚佳 (佔 67%) 3.沒意見 (佔 5%)

4.欠佳 (佔 0%) 5.不好 (佔 0%)

五、請問您認為本次研討會或研習之**教材**如何？

1.良好 (佔 24%) 2.尚佳 (佔 71%) 3.沒意見 (佔 5%)

4.欠佳 (佔 0%) 5.不好 (佔 0%)

六、請問您認為本次研討會或研習之**場地設備**如何？

1.良好 (佔 33%) 2.尚佳 (佔 43%) 3.沒意見 (佔 19%)

4.欠佳 (佔 5%) 5.不好 (佔 0%)

七、請問您參加本項研討會對於您目前執行業務或將來個人發展，是否有所**助益**？

1.有助益 (佔 33%) 2.略有助益 (佔 57%) 3.沒意見 (佔 10%)

4.略無助益 (佔 0%) 5.無助益 (佔 0%)

八、請問在參加完本次活動後，若有機會您是否會推薦他人參加？

1.相當推薦 (佔 5%) 2.推薦(佔 67%) 3.沒意見 (佔 28%)

4.不推薦 (佔 0%) 5.相當不推薦 (佔 0%)

九、請問您對本研討會或研習的**綜合評價**為何？

1.非常滿意 (佔 5%) 2.滿意 (佔 90%) 3.沒意見 (佔 5%)

4.不滿意 (佔 0%) 5.非常不滿意 (佔 0%)

十、其他意見？

包含：課程資料置於網路上以供下載、增加實際操作之課程、與實務面上結合可能會有所差距落實救災可能會遭受到相當困難、以後再繼續召開以增

廣知識等項。

藉由成項評估表分析結果可知，本研習會參加之人員主動參加及指定參加之人數約為各半，其中有人員提出本課程能再增加 2 小時之時數，並能於往後繼續召開，召開之內容希望是以實際之操作為課程，回應之內容多屬正面，本團隊會繼續往各位先進期望之方向進行。此外，本研習會增加實際之操作示範對參加學員有所助益，並推薦他人參與類似課程，於下年度計畫中可修正辦理次數，以符合社會需求。在與實務整合上，本團隊將會繼續努力，以提昇可操作性。其他意見中，本團隊會將可公開之研討會資料上傳至水環境研究中心網站(<http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/>)，以供各界下載。

二、緊急運送道路維護管理研究

2.1 背景說明

台灣之地理環境，無法避免天然災害的侵襲，加上都市發展快速與過度開發，增加環境的脆弱性。災害發生時，道路系統規劃為防災管理上相當重要的一環，目前我國在緊急運送道路規劃以及定義上並無明確的規定。有鑑於台灣天然災害頻繁，因此行政院災害防救委員會非常重視道路防災機能之規劃，故在災害防救基本計畫中明定，地方政府應協同有關機關建立「緊急運送路網」，規劃運送設施、運送據點、運送工具並研定替代方案，且應考量運送系統之安全性；在各項災害第二章緊急應變，並明訂緊急運送應考量災害情形、緊急程度、重要性等因素，實施局部或區域性交通管制措施，以及緊急修復毀損之交通設施，以利緊急運送，另為確保緊急運送，地方警察機關得採取交通管制，禁止一般車輛通行；並得在相鄰縣市警察機關或義交的協助下，實施全面性之交通管制。

災害發生之對應時序上，緊急運送道路為第一個開始運作的防災空間系統，發揮避難與救災之功能。此外各救災空間系統功能之發揮，均需藉助緊急運送道路正常運作方可達成。災害時道路系統主要對象為受災區域之緊急輸送(包含人員、物資、機具)的規劃，因此設計緊急運送道路系統時，應以道路緊急運送之重要性為優先。緊急運送道路建設，乃各先進國家改善緊急救災與促進國家永續發展的重點建設項目之一，更是現代化都市發展之必然趨勢，因此道路之規劃及維護實為中央及地方政府刻不容緩之課題。本研究計畫將整合市區道路、橋梁之研究成果，對緊急運送道路之規劃及評估準則(草案)進行探討，並規劃一示範區域，進行緊急運送道路之展示。

2.2 國內外規劃情況

國外規劃道路系統情形，主要係蒐集日本之規劃資料。日本因地形、地質與氣候，常遭天然災害侵襲，地震、豪雨及強烈風雪經常造成道路受災並使交通中斷。災害發生時，進行救助、救援行動都須仰賴道路，若道路系統無法運作，國民的生活及經濟活動將嚴重受影響，因此道路的防災與減災整備即顯相當重要。台灣亦因地理環境特殊，天然災害不斷，在救助與搶救上，道路具相當重要性，因此必須進行完善之規劃。在台灣 25 縣市中是否已進行規劃？規劃是否完整？不得而知，故本研究今年度將對 25 縣市進行緊急運送道路規劃之調查。在現況的調查中，本研究透過問卷方式進行調查，25 份問卷分別發請各縣市政府回答是否已有規劃等相關問題。問卷內容詳附錄二。

2.2.1 日本

日本國土交通省，為日本中央省廳之一，業務掌管範圍包含道路、都市、住宅及國土計畫等，其中管轄道路整備計畫之局處為道路局，在道路政策的研究開發上提出十項政策領域，將「智慧」與「技術」廣納政策中。而這十項領域的第七項「防災、災害復舊對策」中提及，地震及豪雨等自然災害之最有效之對策為災時迅速進行訊息蒐集、傳達和修復，以及維持道路系統之功能和對受災地區進行高度化管理，是防災業務中評價與對策考量之優先事項。為使災害發生時能迅速的執行對應措施，防災業務必要之技術開發項目如下。

一、緊急輸送道路之規劃

緊急輸送道路計畫，係根據災害對策基本法中之地區防災計畫、防災業務基本法並配合地震防災對策特別措施法中地震緊急事業五年計畫之規定所建置。緊急輸送道路係於地震發生時，順利進行緊急輸送所規劃之必要道路，規劃之道路必須確保其耐震性，因地震發生時完整輸送之路網機能相當重要。且須配合災害應急對策，預防災害時附近場所引發其他災害、應急救助防止災情

擴大，其內容有情報收集及傳達、設施及設備的應急復舊、受災人員的救援、救助及其它保護、消防、水災預防其他應急措施及緊急輸送之確保等。並應指定據點，於地震防災對策特別措施法第3條第1項第5號「緊急輸送確保之必要道路」由建設大臣所訂之基準，都道府縣知事需指定防災據點。

1. 名詞釋義

(1) 緊急輸送道路

高速公路、一般公路、主要連絡道路以及其他都道府縣知事所指定之連絡道路，以及與指定據點相互連絡之道路。

(2) 緊急輸送

災害發生時為確保人命安全、防止受害範圍擴大、災害應急對策順利實施的安排，內容包含救助、救急、醫療、消防行動以及避難人員之緊急物資供給以及必要人員、物資等的運送。

2. 緊急輸送道路路網計畫內容

(1) 制定目標地區

各都道府縣以及政令指定之單位均需制定，目標地區為都道府縣全區。各都道府縣需注意邊界，須與鄰近區域進行協調安排，使區域間之路網計畫能夠進行整合。

(2) 目標道路

設定好之道路，基本上須為今後約五年內能夠使用之道路。河川管理用通道、臨港道路等，道路法以外之道路均需包含於計畫內容中。

(3) 路網計畫

路網計畫是根據「地震防災對策特別措施法」第3條第1項為基礎主務大臣制定之基準(以下以基準稱之)所訂。防災據點是以基準為基礎指定據點所劃定，在地震防災對策上為必要設施等之劃定。特別為道路車站、站前廣場等，對震災發生時，地區防災據點可能活用之空間進行檢討。同時，需依據點特性所對應之防災據點進行整理。

(4)緊急輸送道路路網管理計畫

對相關機關進行有效率的情報傳達、確保地震後的緊急輸送等，所制訂的必要事項。

3.路網計畫注意事項

(1)瞭解目標地區的自然條件、產業經濟、都市構造等地區特性基礎，同時對防災據點的連絡及緊急輸送道路路網進行連繫。

(2)地震後的路網依利用特性，區分為以下三項：

a.第一級緊急輸送道路網

縣廳所在地、地方中心都市以及重要港灣、空港等連絡用道路。

b.第二級緊急輸送道路網

第一級緊急輸送道路與市鎮村辦事處、主要防災據點(行政機關、公共機關、主要車站、港灣、直升機起降點、災害醫療據點、自衛隊等)連絡用道路。

c.第三級緊急輸送道路路網

其他用途道路

(3)第一級、第二級緊急輸送道路路網，需確保其多重化、替代性(迂迴道路和交通工具)。關於脆弱段(限制段、狹隘段、防災對策之應對地點等)須特別列入考量。

二、東京都緊急輸送道路之規劃

1.緊急輸送路網整備的基本考量：

(1)緊急運輸路網連結外縣及指定據點和指定據點間相互連結。

(2)根據震災時實施輸送路的功能，第一級、第二級、第三級緊急輸送路網的整備。

(3)為安排運輸路線的多樣化，進行陸地、大海、天空、水面及地下的運輸路網整備。

(4)為確保緊急運輸的實效性、警視廳實施交通管制與「緊急交通路」的整合。

(5)為確保緊急運輸的實效性，優先進行道路障礙物的排除和應急補修的「緊急道路障礙物排除路線」的整合。

根據以上的基本考量要點，茲將做東京都之道路分類如表 2.1 所示。並依照此分類原則，規劃出東京都之緊急輸送道路圖，如圖 2.1 所示。

表 2.1 緊急輸送路網的分類表(東京都地域防災計畫)

分類	目的	說明
第一次緊急輸送路網	設置都與區市町村總部間以及都與外縣的聯絡。	連絡擔任應急對策中樞的都總辦公大樓、立川地區防災中心、區市町村辦公大樓、輸送路管理機關以及重要港灣、空港等的輸送路
第二次緊急輸送路網	設置與進行第一級緊急輸送路與救助、醫療、救火等行動為主要最初對應機關的聯絡。	連絡第一級緊急輸送路與廣播機關、自衛隊和警察、消防、醫療機關等主要最初對應機關、生命線機關、災害時臨時直升機離陸場候補地等的輸送路
第三次緊急輸送路網	主要設置緊急輸送物資在據點間之輸送。	卡車運貨集散站點等的廣域輸送據點、儲備倉庫與區市町村地區內輸送據點等的連絡輸送路

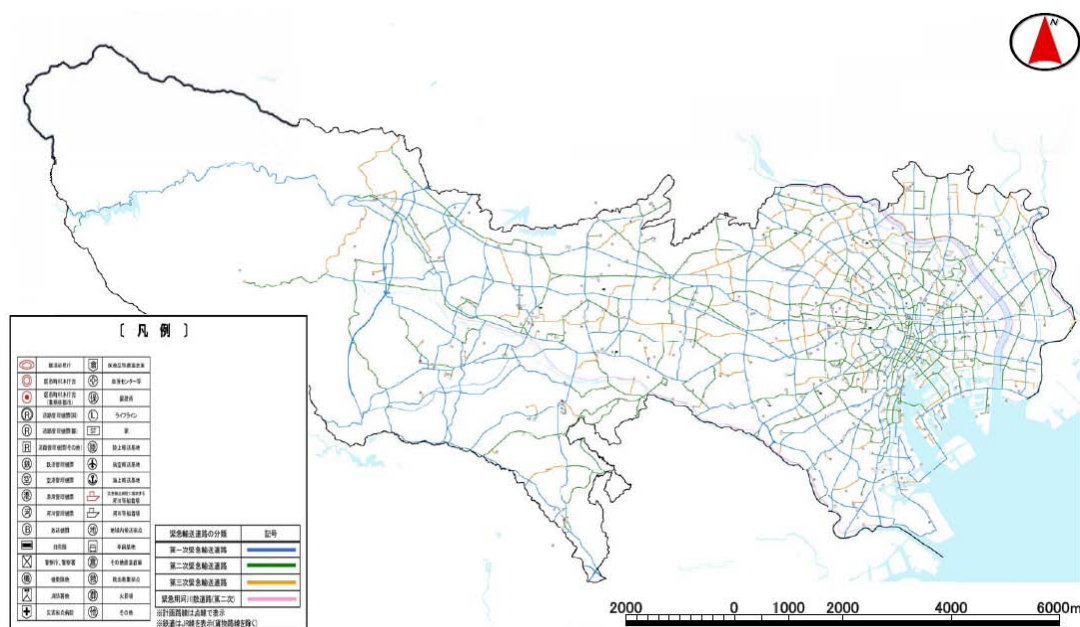


圖 2.1 東京都緊急輸送道路圖

資料來源：http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/kinkyu_yusou/kinkyu_home.html

三、針對緊急道路整備情形

1. 道路橋梁之耐震補強

1995 年兵庫縣南部地震，橋墩倒塌、橋面版落下，造成社會嚴重損害。尤其使用較昭和 55 年道路橋技術規範更為老舊基準之橋梁，發生許多損害災例。近年新潟縣中越地震(2004)、福岡縣西方湖面地震(2005)等，頻繁大規模之地震，使社會更重橋梁於震前之耐震補強對策，其中跨道橋、天橋的落橋造成二次災害的防止和緊急運輸道路的確保，以及災時民眾使用之避難道路之確保，成為最主要的探討課題。惟財政上的困難，欲進行所有橋梁的耐震補強作業成為一項新的課題，因此在耐震補強上，需先針對橋梁進行評估，而後進行相關之補強措施。

一般耐震補強對策，主要分為不讓上部結構(橋面版)掉落的防止落橋系統，以及防止下部結構(橋墩)倒塌的耐震補強兩種。防止上部結構掉落可利用構件將兩跨橋梁進行連結補強或延長橋面支撐之構件，如圖 2.2 所示。在下部結構可藉由鋼筋、鋼板等進行相關補強措施，如圖 2.3 所示，構造特殊或補強工程另有定規定時，可藉由置換支承構件來提升橋梁整體之耐震性或增加減震效果。



圖 2.2 橋梁上部結構補強方式

資料來源：<http://www.mlit.go.jp/road/bosai/dourokuukan/index.html>



圖 2.3 橋梁下部結構補強方式

資料來源：<http://www.mlit.go.jp/road/bosai/dourokuukan/index.html>

2. 電線地下化

發生颱風和地震等災害時，極可能造成電線杆倒下或電纜下垂的危險，為使緊急車輛能順利通行，不受傾倒之電線杆影響，國土交通省、相關省廳以及相關事業單位於 2004 年 4 月召開「電線類地中化推進研討會」推動「無電柱化計畫」從平成 16 年至 20 年共 5 年道路總長約 3000 km 的整備計畫。

從平成 16 年到 20 年的 5 年整備目標如下：(1)提升市區幹線道路無電桿化率，從現今的 9%提升至 17%；(2)政令指定之都市、道府縣廳所在的主要都市無電桿化率從 48%提升至 58%；(3)重要傳統建築物保存地區等無障礙地區為重點整備地區，主要非幹線道路包含 407 個地區，大致可分成 7 區進行整備。茲將電纜架空及地下化進行優缺比較，如表 2.2 所示，圖 2.4 為進行地下化之成果，由圖可見，將電纜地下化後，拓寬了人行道寬度，市容亦更美觀。

表 2.2 電纜架空與地下化優缺點比較表(CCBOX 建設 21)

	優點	缺點
架空線	(1)施工無需開挖，施工費較便宜。 (2)施作較為簡單、且若須進行替換也較為便利。	(1)對颱風和地震的耐災性較低，有發生漏電的危險。 (2)步道的有效寬度減少，成為行人、自行車和車輛的障礙。 (3)都市景觀不佳。
地下化	(1)地震與颱風等災害的耐災性較高。 (2)有較寬廣的步道使用空間。 (3)都市景觀優美。	(1)施工時需開挖，工期較長且施工費較高。

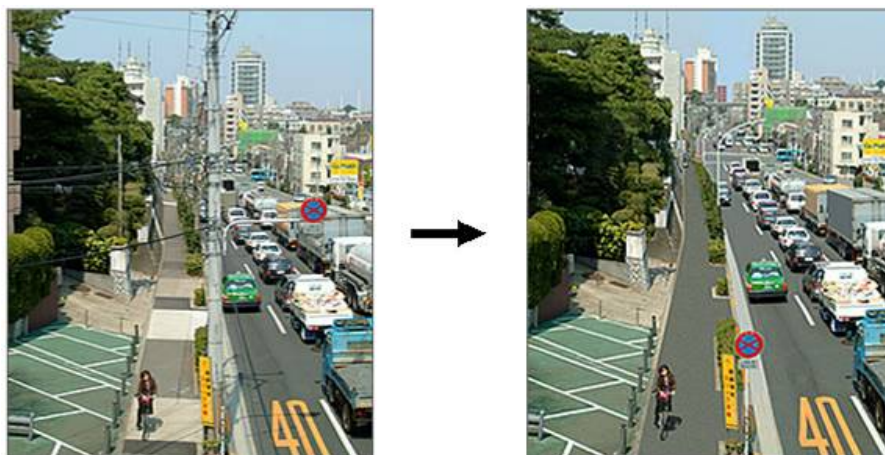


圖 2.4 撤去架空之電線確保災時之避難動線(東京都環狀七號線)

資料來源：http://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/chicyuka/mokuteki_02.htm

3. 共同溝(管道)

平成 7 年 1 月發生之阪神、淡路大地震，除對房舍、道路及鐵路等都市基礎設施帶來損害外，並涉及電氣管道、上下水道和瓦斯管道等維生管線的損壞，吸取此次地震教訓，建構具安全、信賴性之共同溝來收容管理維生管線實有其必要性。共同溝為瓦斯、電氣及上下水道等日常不可或缺之維生系統收容設施，進行共同溝之整備，將可避免對道路的重覆開挖，並增加對自然災害的抵抗力、確保維生管線的安全性，減少施工遲滯對環境的影響。共同溝內收容各種維生管線，在共同溝內可針對維生管線進行維護管理，減少道路施工以緩和交通的遲滯。共同溝除能以堅固之構造保護維生管線外，受災後亦能進行早期修復，此外為確保往後維生管線之增設，需於共同溝內預留增設空間，圖 2.5 為共同溝整備之示意圖。

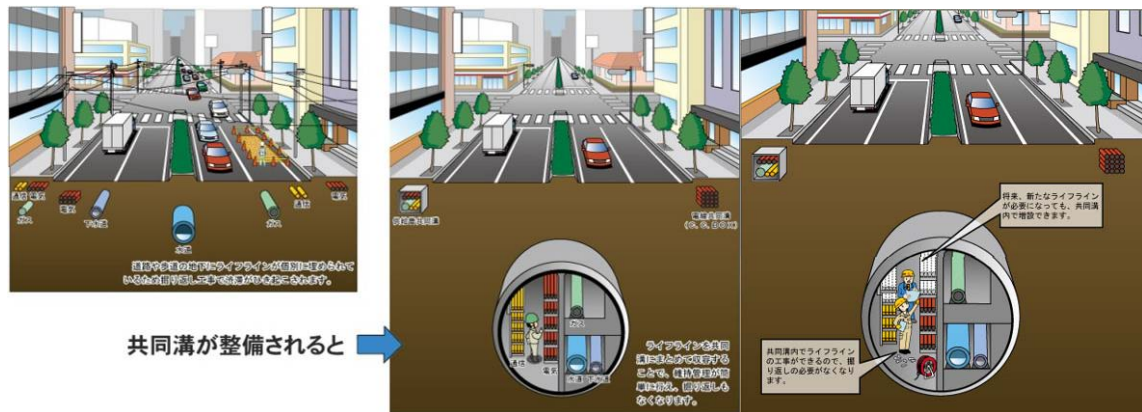


圖 2.5 共同溝整備示意圖

資料來源：<http://www.ktr.mlit.go.jp/toukoku/09about/chika/kyoudou.htm>

2.2.2 國內

針對國內緊急運送道路規劃部分，本研究為掌握各縣市所擬定之緊急運送道路內容，透過問卷方式進行調查。問卷發至各縣市政府轉發負責之機關單位進行問卷內容之填寫。問卷內容主要為釐清各縣市中負責規劃之單位以及負責維護管理之單位、詢問各縣市有無自行訂定緊急運送道路規劃之準則、針對縣市所作之緊急運送道路內容、為緊急運送道路一部分之橋梁是否進行定期之巡查以及針對災後的應變各縣市是否有廠商訂立開口契約等相關內容。

本研究為調查國內規劃情形共發放 25 份問卷，迄今已將所有問卷回收。在規劃準則方面，25 縣市中 14 個縣市有針對緊急運送道路訂定相關之規劃準則，如台北市、基隆市以及台南市等，另無訂定準則之縣市，台中市與金門縣等係依災害防救法或公路橋梁設計規範等現有之法律規定來辦理道路規劃設計作業，故制定緊急運送道路規劃準則雖有 14 縣市，但實際進行緊急運送道路規劃共有 19 縣市，所規劃之緊急運送道路實有必要再行檢討。針對道路橋定期進行巡視之縣市有 16 縣市，而關於災害時進行應變所需之相關器材，25 個縣市均與相關之廠商訂定開口契約，表 2.3 為各縣市之維護管理單位，而問卷之內容統計情形如圖 2.6 所示，各縣市更詳細之統計資料詳附錄三。

表 2.3 緊急運送道路規劃與維護單位

縣市	規劃單位	維護單位	縣市	規劃單位	維護單位
台北市	都市發展局	工務局 新建工程處	金門縣	工務局	工務局 養護工程所
高雄市	交通局	工務局	雲林縣	工務局	工務局
基隆市	交通旅遊處	工務處	嘉義縣	交通局	交通局
新竹市	交通局	工務處	台南縣	--	--
台中市	都市發展局	建設處	高雄縣	工務局	工務局
嘉義市	工務處	工務處	屏東縣	--	--
台南市	工務局	工務局	宜蘭縣	工務處	工務處
台北縣	交通局	工務局	花蓮縣	工務局	工務局
桃園縣	交通處	交通處	台東縣	--	--
新竹縣	消防局	工務處	連江縣	工務局	工務局
台中縣	消防局	交通旅遊處	澎湖縣	消防局	公路總局總區 養護工程處澎 湖工務段
苗栗縣	工務局 交通規劃課	公路總局苗栗 工務段(省道) 及工務局交通 規劃課(縣道)	彰化縣	--	公路總局第二 區養護工程處 彰化、南投、 員林工務段
南投縣	工務處	工務處			

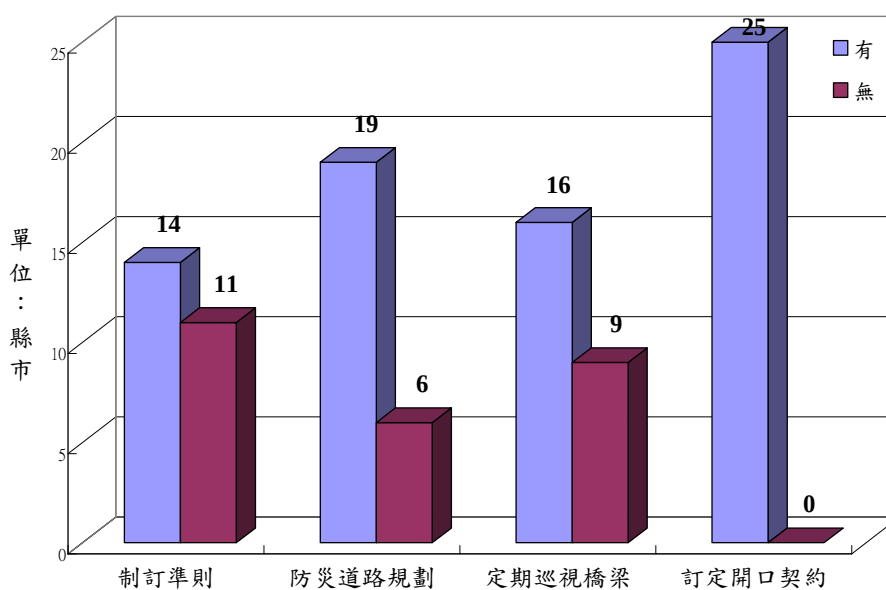


圖 2.6 問卷調查統計圖

2.3 緊急救災機制

2.3.1 緊急救災機制規劃依據

一、災害防救法

第 27 條，各級政府及相關公共事業應實施災害應變措施中之第 12 項，鐵路、公路、捷運、航空站、港埠、公用氣體與油料管線、輸電線路、電信、自來水等公共設施之搶修。

二、災害防救基本計畫

各項災害防救對策第二章災害緊急應變中之緊急運送，明訂緊急運送應考量災害情形、緊急程度、重要性等因素，實施局部或區域性交通管制措施，並緊急修復毀損之交通設施，以利緊急運送。

三、陸上交通事故災害防救業務計畫

計畫目的為健全陸上交通事故災害防救功能，整合相關動員能量，有效執行災害減災、整備、應變以及災後復原重建等目的。

四、災害緊急通報作業規定

其目的在災害發生或有發生之虞時，立即透過各種傳訊工具，迅速通報相關災情，俾採取各種必要之應變措施，以防止災害擴大，減少人民生命財產損失。

2.3.2 緊急救災機制規劃目的

為使重大災害發生時，道路系統可以迅速發揮防災之功能，使相關權責單位能更有效率動員，進行救災行動，並強化平時之救災整備，以增加整體救災之成效，降低因災害所帶來之損失，保障民眾生命財產之安全。

2.3.3 啟動時機

發生全面性或較大區域之地震、颱風、水災以及土石流等天然災害，導致交通陷於重大停頓者。

2.3.4 緊急救災機制流程

道路緊急救災機制可分為三階段：第一階段為災前整備對策，針對緊急運送道路、緊急連絡以及搶救資源進行整備，並進行防災教育之宣導；第二階段為緊急應變對策，針對各種災害所產生之災情進行緊急救災作業；第三階段為災後重建，針對各種災害發生而產生之損壞進行相關之修復作業，詳細說明如圖 2.7~2.9 所示。

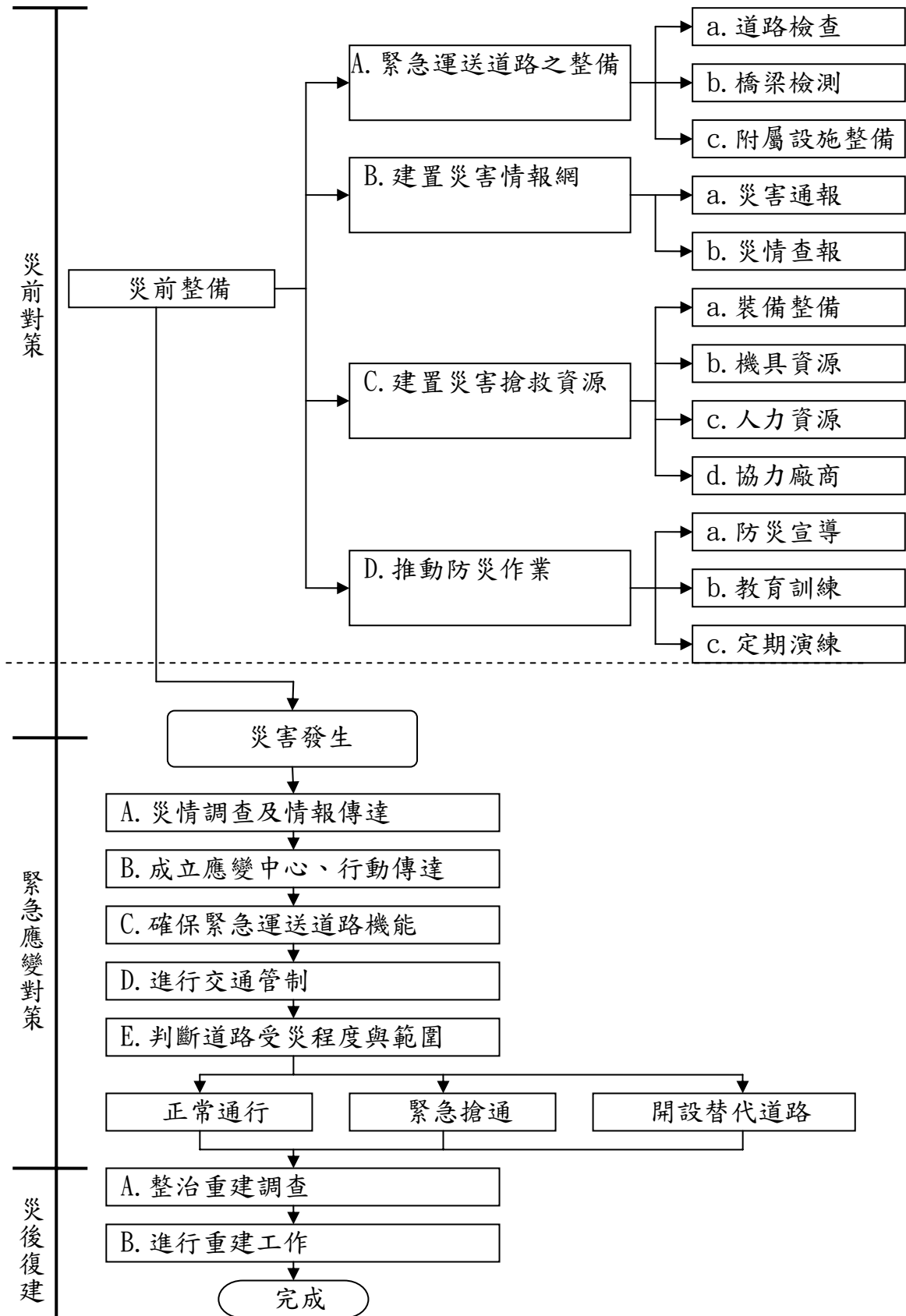


圖 2.7 市區道路及其附屬設施之緊急救災機制流程圖(地震)

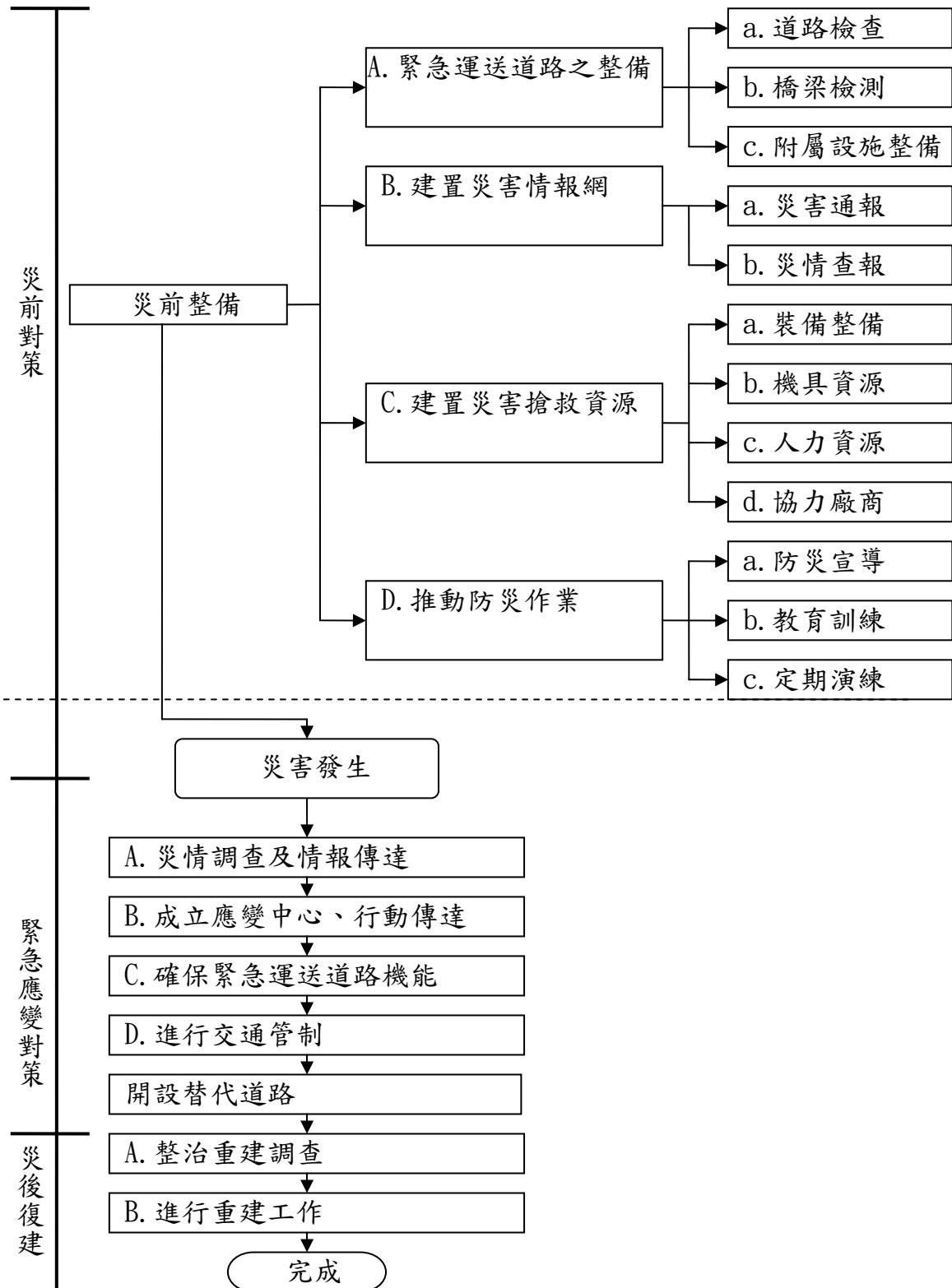


圖 2.8 市區道路及其附屬設施之緊急救災機制流程圖(水災)

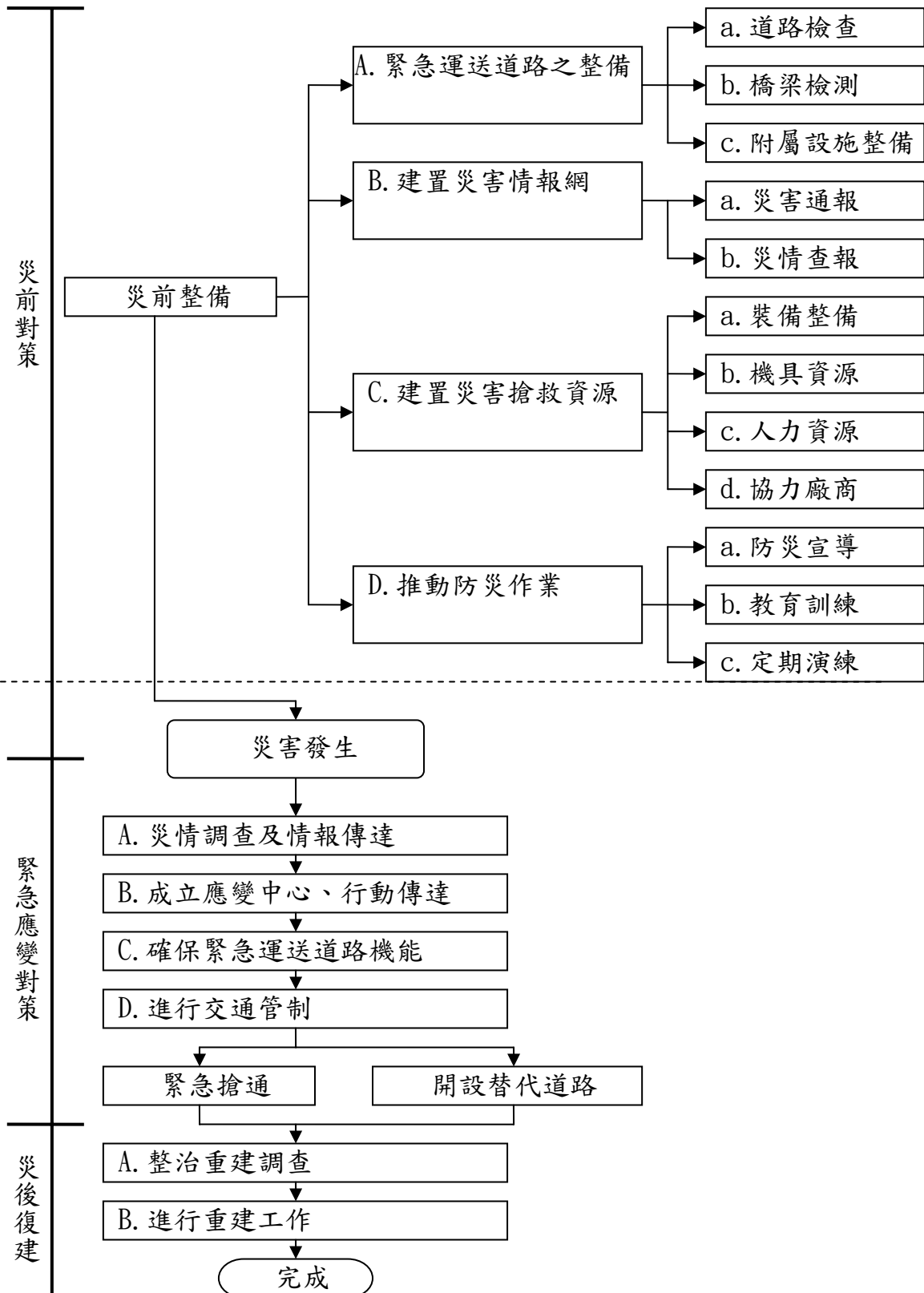


圖 2.9 市區道路及其附屬設施之緊急救災機制流程圖(土石流)

2.3.5 災前對策

為因應重大災害發生，平時即需做好相關之準備，藉由各種對策，降低災害時之損失，並進而避免二次災害之發生。減災準備之內容包含「緊急運送道路整備」、「建置災害情報網」、「建置災害搶救資源」以及「推動防災作業」等四項重要的工作事項。

一、緊急運送道路系統之整備

緊急運送道路系統為整體防災空間機能中最重要之部分，擔負救災與避難之功能。因此必須針對緊急運送道路及其附屬設施進行整備，包括「道路整備」、「橋梁整備」以及「附屬設施整備」等三方面。

1. 道路檢查

在道路防災上每年應至少對道路進行一次養護巡查，並且在颱風來臨前，加強對道路的巡視，檢查路面是否有缺損、龜裂、沉陷、段差或異常隆起之現象，針對路段進行路面的重新鋪設，保持路面之完整度。檢查道路上是有障礙物存在，針對障礙物進行相關之移除作業，保持道路之通暢。在檢查作業上可使用表 2.4，對各鄉鎮道路進行點檢，簡述損毀情形，如路面沉陷深度或障礙物大小及堆放程度等，並紀錄後續之修復補強方式。

表 2.4 市區道路檢查表

縣市：		鄉鎮：		路段：		長度：			
寬度：		巡查單位：		負責人：		日期：			
檢查項目		檢查結果		簡述損毀情形		修復、補強方式		備註	
缺損		□否 □是							
龜裂		□否 □是							
沉陷		□否 □是							
段差		□否 □是							
隆起		□否 □是							
障礙物		□否 □是							
：		□否 □是							

市區道路所包含之橋梁部分，每年應至少進行橋梁之檢測作業一次，並在颱風豪雨來臨前後及地震過後，對橋梁進行檢測，以確保道路橋梁能於災時災後發揮應有之機能。在對道路橋梁的檢測上可採用 D.E.R. 檢測系統之檢測表，如表 2.5 所示。D.E.R. 檢測表共有五個主要的部分，分別為基本資料、一般檢測、結構構件檢測、各項劣化說明與維修工法以及檢測員意見等五項，D.E.R. 檢測系統是分別對構件之劣化程度(D)、劣化範圍(E)或對整體結構安全及服務性之影響度(R)進行評等，並將維修急迫性分四級加以評估。

																		公路名稱：																																					
目前檢測						重點			一般									里程樁號：																																					
前次重點檢測															前次一般檢測						結構型式：																																		
橋梁編號															檢測單位						橋梁所在地：																																		
橋梁名稱															檢測員						橋梁方向：□南向 □北向 □南北向 □東西向																																		
檢測日期(月/日/年)：																		主管工程處：																		橋孔數：										橋梁總長：									
建造日期：																		主管工務段：																		橋墩數：										橋梁淨寬：									
檢測項目												D	E	R	檢測項目												D	E	R	檢測項目												D	E	R											
1.引道路堤												N				5.橋台基礎												N				9.排水設施																							
												S																S																											
2.引道護欄												N				6.橋台												N				10.緣石及人行道																							
												S																S																											
3.河道																7.翼牆/擋土牆												N				11.護欄																							
																												S																											
4.引道路堤、保護設施												N				8.摩擦層																21.其他																							
												S																																											
檢測項目	12. 橋墩保護措施			13.橋墩基礎			14. 橋墩墩體			15. 支 承墊			16. 止震塊/防震拉桿			17.伸縮縫			18. 主構件(大梁)			19. 副構件(隔梁)			20. 橋面板																														
橋墩	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	D	E	R	橋孔	D	E	R	D	E	R	D	E	R																											
項目	位置			維護工作代碼或說明						數量			單位		急迫性		附註																																						
檢測員意見：																																																							
N/A-無此項目												U/I-無法檢測						R/U-無法判斷相關重要性						是否進一步檢測？(Y/N)																															
評估等級 D												範圍 E						對橋樑之重要性 R						急迫性 U																															
N/A 良好 尚可 差 嚴重損壞												U/I 局部 全面						R/U 小 大						例行維護 5年內 1年內 緊急處理維修																															
0	1	2	3	4								0	1	2	3	4	0	1	2	3	4						1	2	3	4																									

3. 附屬設施整備

道路之附屬設施包括路燈、信號燈及號誌牌等，必須注意其耐災性，避免其因災害造成倒塌，妨礙道路網之順暢。道路之排水溝需注意是否有堵塞現象，保持水道之通暢防止路面淹水。於平常階段便必須架設相關之警告標示以及各類避難誘導指示牌。針對附屬設施之檢查可參考使用表 2.6，於平時必須定期實施檢查，於災害來臨前更須加強檢視，各項之檢查項目必須確實執行，並如實記錄損毀情形，如號誌牌標示之內容已模糊或傾倒、路燈不亮以及排水道堵塞狀態等，並敘述修復補強方式。

表 2.6 市區道路附屬設施檢查表

縣市：		鄉鎮：		路段：	
巡查單位：		負責人：		日期：	
檢查項目	檢查結果	簡述損毀情形	修復、補強方式	備註	
號誌牌	☐ 損壞 ☐ 正常				
信號燈	☐ 損壞 ☐ 正常				
路燈	☐ 損壞 ☐ 正常				
路樹	☐ 損壞 ☐ 正常				
電纜	☐ 損壞 ☐ 正常				
護欄	☐ 損壞 ☐ 正常				
排水道	☐ 損壞 ☐ 正常				
共同管道	☐ 損壞 ☐ 正常				
⋮	☐ 損壞 ☐ 正常				

二、建置災害情報網

道路受災將影響緊急輸送作業的順利進行，故平時即須建構緊急通報體制，冀能將災時路況迅速傳回，以及傳達後續之搶修作業內容，針對災害情報網之建置，依照台北縣地區災害防救計畫之內容主要分為災情查報及災情通報

兩項，此兩項分述如下。

1. 災害查報

- (1) 民政災情查報系統：賦予村、里、鄰長、村、里幹事災情查報之責任，且鄉、鎮、市區民政課須於災害來臨前主動聯繫、動員村、里、鄰長及村、里幹事進行災情查報。
- (2) 警政災情查報系統：加重員警災情查報之責任，如發現災情應立即通報分局勤務中心。
- (3) 義消災情查報系統：義消(消防)人員平時須主動與村里鄰長保持聯繫，建立緊急聯絡電話。

2. 災情通報

- (1) 農業局部分：立即性災害查報，並於每日上午十時及下午四時，電傳行政院農業委員會、行政院農業委員會農糧署、行政院農業委員會林務局、漁業署及縣市災害應變中心。
- (2) 環保局部分：彙整各公所填報之表格呈報環保署。
- (3) 警察局部分：災害發生後，各警察分局所屬各分駐(派出)所全面動員清查受災狀況，並即時將災情回傳警察局勤務指揮中心。
- (4) 消防局部分：災害應變中心或救災救護指揮中心直接受理民眾報案，並以無線電分派轄區大(分)隊、緊急應變小組任務。

災情通報上可填寫災害通報表，確實將災害情報通報予各縣市相關單位知情，災害通報表如下表 2.7 所示。

表 2.7 災害通報表

通報人：				通報時間：		
序號	縣市	鄉鎮	路段	災害情形	交通阻斷日期時間	備註

三、建置災害搶救資源

重大災害的發生，絕非獨立救災的任務，須動員其他單位或團體的支援方可達到最高之成效。而且災害發生後，進行搶救有其急迫性，為在黃金搶救時間內獲取更大的搶救空間，必須在平時便建立救災資源，避免支援延誤現象，以下就「裝備整備」、「機具資源」、「人力資源」以及「協力廠商」四方面進行說明。關於防救災資源之管理上，行政院災害防救委員會建置「防救災資源資料庫」，亦可供使用參考，其頁面如圖 2.10 所示。

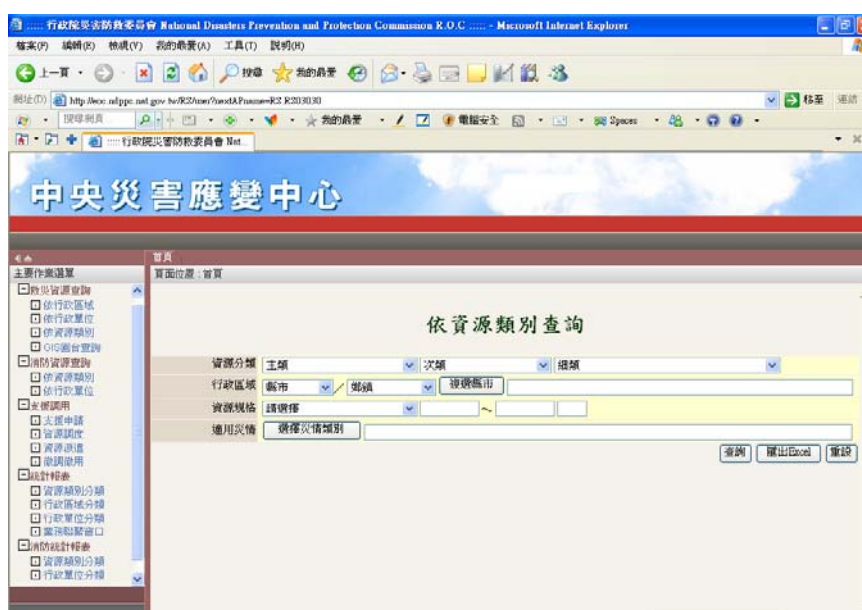


圖 2.10 防救災資源資料庫

資料來源：<http://portal.ndppc.nat.gov.tw/portal/chinese/page/page?id=435>

1. 裝備整備

為使進出災區之搶救人員，能更加安全進行搶救作業，必須於平時購入充足之防護裝備，並將這些用品置於固定處，且須定期針對防護裝備進行點檢作業，使得搶救時能獲得更多的效益及安全保障。在裝備管理方面，必須載明各項裝備之名稱及數量，並須有其購入之時間，以便進行汰舊換新之作業，且須進行定期之點檢維護，以便災時能發揮其應有之效能，如表 2.8 所示。

表 2.8 裝備管理表

縣市：		鄉鎮：			
序號	裝備名稱	數量	購入日期	點檢日期	備註
1					
2					
3					
4					
⋮					

2. 機具資源

針對不同的災害需準備不同之機具，對於各類機具必須進行管理，記錄其存放之地點、數量，以便於災時迅速獲取所需之機具。針對存放之機具，必須定期進行維護，老舊之器具需進行汰換作業。若缺少搶救災所需之機具，建議可強制徵用，於災後再行補償，使救災時能有充足之機具。而在機具的整備上可考慮管制並造冊，如吉普車等較不受道路損毀限制行動之車輛，於災時可以快速徵用。各項機具在記錄上必須載明數量、購入之日期以便日後進行機具之汰換，並詳記管理人及保存地點，在災害發生後才可快速前往領取使用，機具的維修必須確實在災時才能確保其功能；若此機具為民眾所有，為災時須徵用之項目，可於備註欄中註明，如表 2.9 所示。

表 2.9 機具維護表

縣市：		鄉鎮：					
序號	機具名稱	數量	購入日期	保存地點	維修日期	管理者	備註
1							
2							
3							
4							
⋮							

3. 人力資源

災害防救人力資源之整備，在因應災害發生時，人員、組織可快速動員救

災。防災人員必須進行編組，將搶救工作進行分工及權責劃分；防災人員於平時需進行相關之訓練，以便搶救能順利進行。人力資源的建置上，應載明各人之聯絡電話、災前所屬之單位職稱以及災時之編組，使災害發生時能快速召集人員進行搶救災作業，如表 2.10 所示。

表 2.10 人力資源表

縣市：		鄉鎮：				
序號	姓名	聯絡電話	原單位	職稱	災時編組	備註
1						
2						
3						
4						
⋮						

4.協力廠商

必須於平時與施工之廠商訂定開口契約，其主題為災害時之緊急復舊工程，在內容上必須議定「工程項目」、「施工單價」與「材料數量」等三項。此契約之合約期限為一年，每年必須重審合約內容，契約之廠商為 2~3 家，且之中必須有一家為外縣市廠商，以因應重大災情之發生。在內容上須有與廠商之合約開始及結束之日期，簽定內容中須載明各場商所負責之工作項目、及此項目所須之材料、數量與單價，進而計算出總價以便預算之編列，如表 2.11 所示。

表 2.11 協力廠商表

縣市：		負責單位：			負責人：			
廠商名稱	工程項目	材料	數量	單價	合計	合約日期	解約日期	備註

四、推動防災作業

各縣市政府理應實施各項訓練課程，針對災害所引起之道路受阻、橋梁損壞等課題擬定演練計畫，並針對演練內容進行檢討，方可使道路搶通作業能於最短時間內完成，達到在災時也能維持道路機能。

1. 防災宣導

平時可藉由媒體加強宣導，告知民眾災時避難之重點。各鄉鎮須定期告知民眾避難據點之所在，及一些注意事項，並將此類資訊印製成冊，發放至居民手中，達到宣導之效果。

2. 教育訓練

必須實施定期之教育訓練，包含既有救災人員進行複訓，以及進行新一代人員之培訓作業，使災害發生時有足夠人才施行道路搶通作業。

3. 定期演練

每年需選定課題進行實際操演，而操演之課題可設定為清除道路障礙物或便橋搭設等。操演前須針對通報系統之作業流程進行檢視，以確保演練能順利進行，且必須對操演過程詳實紀錄，以便於操演後進行檢討、改善，以提升搶修作業效率。

2.3.6 緊急應變對策

為使災害發生後能迅速恢復或維持道路機能，在災害發生前便須擬定應變對策，進行災害情報之蒐集彙整通報，迅速掌握災情，以及針對道路受災情形採取迅捷之搶通作業或進行交通管制、封閉道路、開設替代道路等事項，以達緊急運送道路於災時能維持機能之目的。但當災情過甚時，地方政府難以進行搶通及搶救措施時，可由縣市應變中心指示縣市政府之民政處並委請後備司令部向國防部申請支援，派遣國軍協助執行搶通作業。

一、災情調查及情報傳達

為確保緊急運送道路能正常運作，於災害發生後須進行災情之蒐集，並前往受災道路現場，進行勘查後進行災情之回報，通報之內容須包含發生時間、發生地點、道路受災之情形等，迅速且確實傳達災情於救災中心進行搶救之判斷。

二、成立應變中心、行動傳達

災害發生後須視轄區情形或奉交通部指示迅速成立應變中心，應變中心主要之任務為災害之聯繫，即時獲取道路現況；人員之指揮調度，針對道路受災情形，派遣人員機具進行搶通作業、搭設便橋以及交通管制行動；並追蹤處理情形，做成通報紀錄，以便災後進行會議檢討，使得災時之道路搶通作業能更加完善。

三、確保緊急運送道路機能

為使緊急運送道路達其功能，於災害發生後須先進行各緊急運送道路之現況情報蒐集，確認緊急運送道路是否有因災害發生而產生損壞，若有損壞之路段，則須視情形進行搶通或開設替代道路。且為使緊急運送道路能確實達其機能，可於重要之路口、縣(市)之交界處設置交通管制人員或派遣交通大隊進行緊急車輛之引導及一般民眾之疏散避難作業。調查表上須約略記載道路之受損情形(路面隆起、路面龜裂、橋面破損等...)、估計搶通花費之時間並記錄可用之替代道路，使緊急運送道路路網得以順暢通行，如表 2.12 所示。於公路總

局建立之網頁選擇查詢「公路災情」可連結至「公路防救災管理系統」，此系統亦可供參考，其頁面如圖 2.11 所示。

表 2.12 緊急運送道路機能調查表

縣市	鄉鎮	路段	受損情形	預計搶通時間	替代道路	備註

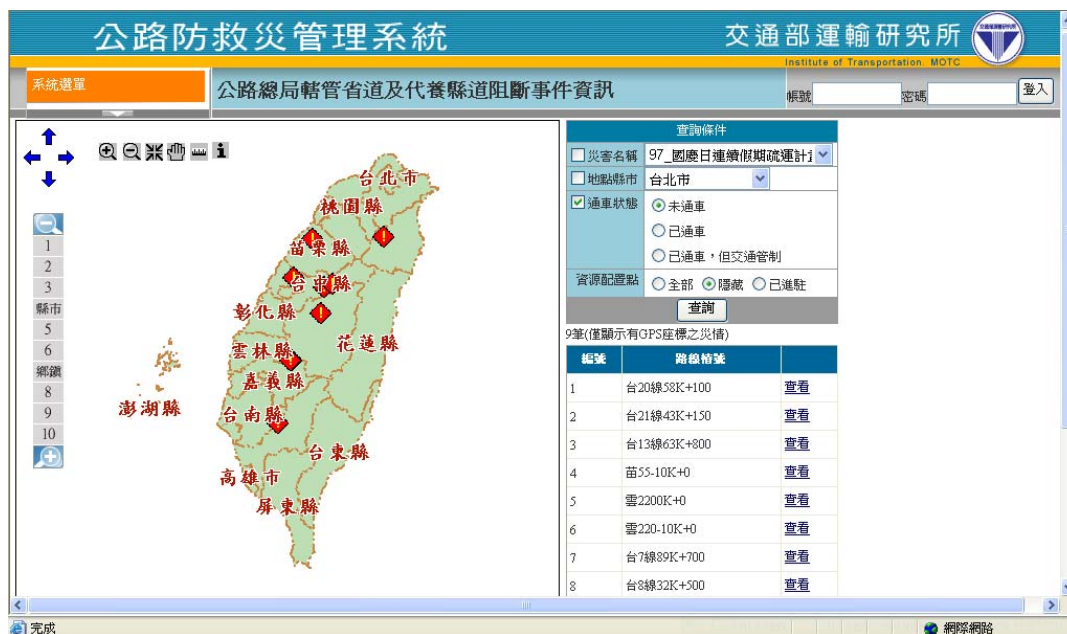


圖 2.11 公路防救災管理系統

資料來源：公路防救災系統(<http://bobe.thb.gov.tw/>)

四、進行交通管制

根據道路受損之情形或為確保緊急運送，得採取相關之交通管制手段，禁止一般車輛之通行；並藉相鄰縣市之警察單位之協助，進行全面性之交通管制。當地方採取交通管制時，應使民眾周知。且為確保緊急運送之通暢，地方警察機關可採行拖吊阻礙車輛或利用警車做引導等措施。災害時之交通管制主

要可分為兩個階段，第一階段為災害發生之第一時間，第二階段為部份復建階段之管制，如圖 2.12 所示。

第一階段交通管制

1. 第一階段交通管制的前提為因重大災害發生後，產生大規模之破壞。
2. 在禁止通行區域，除緊急救災車輛得以行駛外，其餘車輛全面禁止通行。

第二階段交通管制

1. 針對受災地區未復建之部分進行交通管制。
2. 第二階段交通管制實施時，部分第一階段之交通管制需視狀況進行解除或變更管制狀態。

針對道路及其附屬設施之損壞形式需進行各類之交通管制如表 2.13 所示。

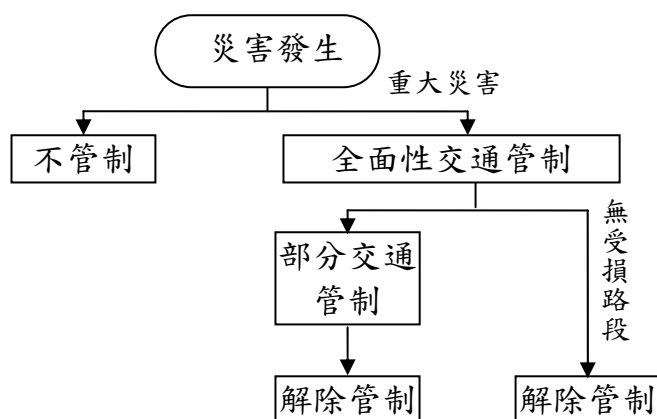


圖 2.12 交通管制流程圖

表 2.13 交通管制類型

交通管制類型 受災形式	全面禁止通行	流量、重量管制	夜間通行管制	行車速度	雙向通行	車道限制
缺損	●		●			
龜裂、沉陷、段差、隆起	●	●		●		●
落石、邊坡破壞	●		●			●
橋面傾斜、移位、落橋	●	●			●	
支承損壞	●	●				
基腳、橋面之龜裂及剝離以及基礎受損		●				●
兩橋梁接面間之段差	●	●			●	●
電線杆、路樹之傾倒	●					

資料來源：道路震災對策便覽(震災復舊編)

五、判斷道路受災程度與範圍

災害發生後，縣市相關局處首要之任務便是依據受災情形判定道路受災程度及範圍，根據判斷之結果，決定道路是否維持正常通行或是進行緊急搶通作業，若災情過大造成道路無法於短時間內搶通則須開設替代道路，以供緊急車輛之通行。當進行緊急搶通作業時，縣(市)相關主管局處，針對所管理之道路，應該迅速掌握其損壞之狀況，進行路面之障礙物去除以及緊急重建等必要之手段，此時須優先針對緊急運送道路進行作業，確保緊急輸送之順暢。當搶通作業無法於短時間完成或道路已無法搶通時，開設替代道路便是必要之手段。調查表上須約略記載道路之損壞情形，如路面沉陷、道路具障礙物、橋梁支承斷裂等，並判斷能否於短時間快速搶通，若不能則封閉道路並開設替代道路，使得緊急運輸車輛可於災時順利通行，如表 2.14 所示。

表 2.14 受災程度判斷表

縣市：	鄉鎮：	調查單位：	負責人：	日期：
路段	損壞情形	受災判定	替代道路	備註
		☐ 進行搶通 ☐ 封閉道路		
		☐ 進行搶通 ☐ 封閉道路		
		☐ 進行搶通 ☐ 封閉道路		
		☐ 進行搶通 ☐ 封閉道路		
		☐ 進行搶通 ☐ 封閉道路		
		☐ 進行搶通 ☐ 封閉道路		

2.3.7 災後復建

針對災後之復建工作可分為「整治重建調查」以及「進行重建工作」兩項。災害發生後，可能會因對道路受災情形之誤判，而延遲處置時間而使災情擴大，若能針對受災程度決定修復之順序，則將可減少災害受損之程度。災後之修復以原貌還原為原則，即將受損之道路復原為原本之規格形式，假若無法還原其原貌，則可進行全面之更新或補強至安全狀態，但其需具備與原道路相同之功能。其須考量之項目應包含如下：

- 1.迅速修復工程。
- 2.防止災害發生時造成之二次損壞。
- 3.合理之修復經費。

一、整治重建調查

為使重建達到最佳之成效，於開始階段便需蒐集各受災區段的現況，並回報鄉鎮公所進行判斷，決定救災之順序，然後依順序進行重建工程，以防二次災害的發生。在調查上須載明工程項目之名稱，如 XX 橋之橋墩修補以及 XX 路之路面填補工程等，並約略記載損壞情形、初估重建所須之金額。(表 2.15)

表 2.15 重建調查表

縣市： 鄉鎮： 調查單位： 負責人： 日期：				
序號	重建工程項目名稱	簡述損壞情形	重建工程所需金額	備註

二、進行重建工作

當重建調查完畢後，向與事先簽訂開口契約之廠商提出重建要求，依照所決議之重建順序進行重建作業，使道路恢復應有之功能。

2.4 緊急運送道路規劃與評估準則之探討

在緊急運送道路規劃與評估上，可參考下圖之流程進行相關作業。緊急運送道路系統在法令上並無明確之定義，故釐清緊急運送道路之類型將是規劃與評估之第一步，接著便需相關探討，再來考慮各種可能帶來影響之因素，以上的諸項僅為進行規劃緊急運送道路之準備階段，待準備完成即可進行規劃作業，當順利規劃出緊急運送道路後尚需進行檢核作業，評量是否有考慮不周之處，若有需再次進行規劃，若無便可繪製緊急運送道路地圖並設定相關之標示，完成緊急運送道路系統之規劃。本研究以討論之內容，於附件中示範石碇鄉緊急運送道路之規劃。

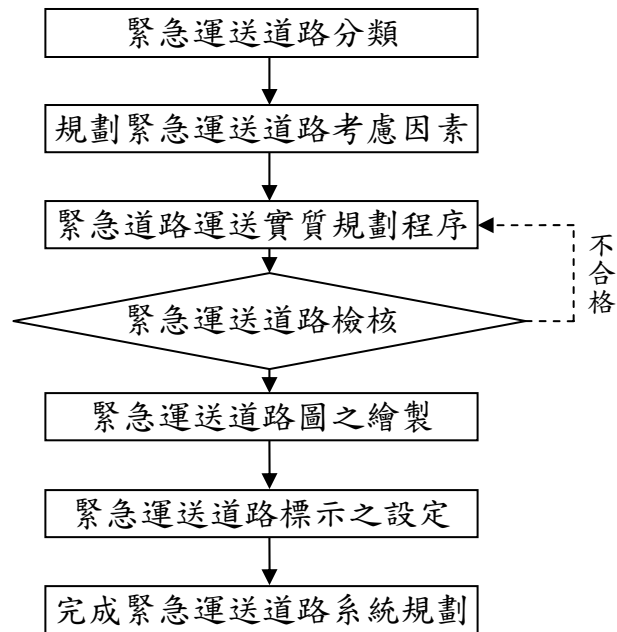


圖 2.13 緊急運送道路整體規劃流程圖

2.4.1 緊急運送道路分類

雖然我國已有 19 個縣市進行緊急運送道路的初步規劃，但國內尚無法源對緊急運送道路做相關的名詞界定，因此本研究針對緊急運送道路須包含之道路進行探討。

日本緊急輸送道路之規劃區分為第一次緊急輸送路網、第二次緊急輸送路網及第三次緊急輸送路網；國內內政部建築研究所選定 921 重建區、中和市、苗栗市、礁溪鄉、台南市、鳳山市、朴子市、太保市、新竹市、永康市、岡山鎮、台東市、新莊市及桃園石門地區進行都市防災示範規劃，針對道路之防災系統區分兩種，其一為緊急道路、輸送救援道路、消防避難道路及緊急避難道路，另一種分類為救災路徑、避難路徑及替代路徑；行政院災害防救委員會調查各縣市之各層級道路分別為輸送救援道路、緊急聯外道路、消防避難道路、緊急避難道路以及替代道路。故緊急運送道路防災之分類將依行政院災害防救委員會調查之內容，律定為輸送救援道路、緊急聯外道路、消防避難道路、緊急避難道路以及替代道路五種，但考慮到各鄉鎮市之因地區範圍不同而有道路

寬度不足之情形，故下述之路寬僅為參考，實際劃設緊急運送道路時，所考慮之主要依據乃為緊急運送道路之機能，行政院災害防救委員會調查之各種緊急運送道路分述如下：

- 一、輸送救援道路：輸送救援道路原則上須維持 15 公尺以上的有效寬度，並配合各種緊急運送道路架構成完整的救災路網。輸送救援道路同時擔負各防災據點之物資運送、運送救災物資、器材及人員及避難人員移往收容所的路徑。
- 二、緊急聯外道路：在重大災害發生後，必須確保能聯絡災區與非災區，並得以連通各防災分區之道路。緊急聯外道路原則上須維持 20 公尺以上的有效寬度，並能直接聯通其他行政轄區，確保連絡災區與非災區。緊急聯外道路在災害發生後必須保持通暢，必要時更需採行交通管制，以利救災行動進行。
- 三、消防避難道路：以針對災害延生之火災提供足夠寬度，予消防車輛通行及消防機具之操作空間。
- 四、緊急避難道路：於災害發生時災區內人員可經由緊急避難道路抵達緊急避難場所，且任一街廓皆需包含兩條以上的避難通道，以預防其中一條避難道路受災阻斷而妨礙避難。
- 五、替代道路：主要以消防避難道路及緊急避難道路未劃入之道路，依都市危險據點位置，供災害發生時避難與救災之代替性道路。

實際道路寬度應隨地區狀況調整，以符合救災之功能。

2.4.2 緊急運送道路考慮因素

緊急運送道路所需考慮的因素不少，如需劃設替代道路、避免集中規劃、緊急運送道路得經過重要據點等等，茲將各項因素說明如下：

- 一、緊急運送道路系統需包含替代道路

由於緊急運送道路本來就集中於狹小的都會地區，再加上與震源(地震帶)或相關天然災害潛勢區相近，往往會導致災害程度的擴大，此時若沒於災前規劃出其它替代道路，那麼災時整個緊急運送道路將中斷，各項搶救工作亦會因此停頓。

二、緊急運送道路規劃避免過度集中

在規劃緊急運送道路時，除了因地形、地物之限制之外，除非不得已時，應使路網分散，避免緊急運送道路路網過度的集中。

三、緊急運送道路一定需經過重要據點(收容所、醫院、消防局等)

在規劃緊急運送道路時，應使緊急運送道路通過該區域之重要據點，如收容所、醫院、政府機關、消防局、警察局等等。

四、緊急運送道路需避開壅塞路段

在規劃緊急運送道路時，須避開車潮多，且容易造成壅塞之路段，以免失去緊急運送道路之功能。

五、緊急運送道路附屬設施規劃需考量修復時間

道路附屬設施與各種緊急運送道路之損害，以混凝土或鋼結構物破壞最為嚴重，修復的時間也因此需較長之時間，亦使得各項災害復原較久，因此於規劃附屬設施時，不僅需考慮經濟性尚需考慮使用之材料及修復時間，使附屬設施於災時能維持功能，或是受損後亦能於短時間修復，回復其機能。

六、緊急運送道路系統需考量周邊建築物的強度及高度

都會區之高層建築物，如果倒塌將會使道路機能造成損害，因此於規劃緊急運送道路時，需考慮緊急運送道路周邊建築物的結構強度以及高度。

七、緊急運送道路需有明顯標示

當人民感受到災害程度的嚴重性，會反映出都市活動與人為行動所產生的特性，想直接遠離災區，因此每種緊急運送道路應有標示，可減少用路人或避難人的恐慌，以及避難時的順暢。

八、緊急運送道路規劃之橋梁部分視情形需進行補強

市區橋梁於平時便須進行檢測，評估是否有落橋之危險或有橋墩破壞之情形，尤其是規劃為緊急避難路線之橋梁，若橋梁於災時無法發揮功能，則可能造成整體路網之癱瘓。當檢測時發現強度不足時，便需針對可能破壞之方式進行補強作業，倘若一地區需補強之橋梁過多，而限於地方政府資金不足時，需就緊急運送道路之層級進行考量，由重要路線之橋梁先進行相關之補強作業。

九、緊急運送道路規劃之橋梁部分若無法進行補強需架設便橋或開設替代道路

緊急運送道路通過橋梁之部份，需預先考量災時可能無法進行補強之情形，當此情形發生時，若無替代之方案則必將造成癱瘓，故必先考慮架設便橋之可能性，若因地形或其他因素而無法搭設時，則可考慮開設替代道路。

十、於災時劃設緊急運送道路時必須考量廣告 T 壩及建築用之臨時設施

民眾在進行工程建設及架設宣傳用 T 壩前須先報予主管單位知情，以便於災時將建設用之臨時設施及 T 壩架設之道路進行可能毀損之考量，在規劃搶救車輛通行前能進行事先之確認，以免將車輛導引至損壞之道路上。

2.4.3 緊急運送道路實質規劃程序

緊急運送道路實質規劃可參考下圖之流程進行。規劃前必先調查當地情形，其中包含人文、水文、天然災害潛勢及當地防災相關文獻等，如此所進行之規劃才能滿足當地需求，當這些前置作業完成後，便可進行緊急運送道路規劃，規劃之內容包含有避難據點及救災據點的選定，進而劃設緊急運送道路網。當路網劃設完成，接著需針對此路網進行檢核，評量此路網能否連接避難據點、救災據點及評估能否順暢通往其他鄉鎮，若有缺失則必須重新劃設，若無便完成緊急運送道路之規劃作業。

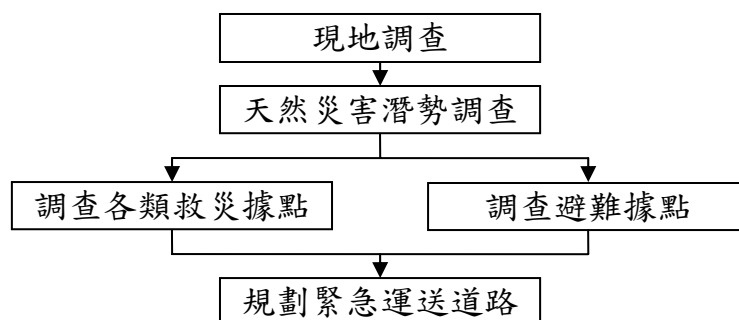


圖 2.14 緊急運送道路實質規劃流程圖

一、現地調查

1. 調查方式

第一次現地調查之主要目的為進行規劃區域的實地考察，廣泛蒐集計畫區相關資料，以供進行規劃之指標與依據。預計進行之方式如下：

- (1)防災相關資料蒐集(如防災計畫或過去災害歷史等)。
- (2)現地勘察，拍攝數位照片或影像等。
- (3)與相關承辦人員或相關人士進行訪談。

2. 調查內容

現地調查之目的主要為初步整理防災相關資料及現地狀況，進而做為緊急運送道路系統之依據，並從規劃考慮因素中，進行汰選。因此本階段主要調查之內容如下：

- (1)規劃區之地形、人口分佈等。
- (2)社經資料。
- (3)道路使用狀況。

二、天然災害潛勢調查

所謂「災害潛勢」，是指在氣象、水文等的外在條件下，分析模擬區域內各處發生災害的機率或規模，並劃分成不同等級，如高、中、低潛勢等，再利用地理空間方式呈現模擬地區的潛勢分布。由於災害潛勢分析所需之資料量相當龐大，無法以進行即時模擬分析，必須預先進行各種條件之模擬。

有鑑於災害潛勢資料的重要性，國科會自民國 86 年 11 月成立「防災國家型科技計畫辦公室」，主要任務之一就是完成淹水、土石流災害等潛勢分析工作，成果將提供給相關單位應用。再者 92 年 5 月 26 日第六次中央災害防救會報決定，「地區災害防救計畫」為地方政府執行災害防救工作之重要依據，中央有責任提供地方政府技術經驗與部分資源，協助擬定完整、周全之計畫。行政院災害防救委員會委由國家災害防救科技中心擬定三年中程計畫，以達成健全計畫制度、提升人力素質及精進防救災技術之目標，因此各縣市均有委請協力機構針對災害潛勢區進行調查，於此便可利用現有資料瞭解災害潛勢現況，並套疊其災害潛勢區域範圍進行分析。

三、調查各救災據點與避難據點

災害防救體系另一重點配置為防救災據點，依功能上之差異可區分為救災據點及避難據點。救災據點具提供區域內居民正確的資訊、獨立消防活動、醫療救護等機能，主要進行災害搶救之行動，包含有縣市政府機關、警察局、消防局、醫院、直升機起降場等處；而避難據點為提供避難場所、收容災民、物資運輸中繼基地、糧食飲水集中配發、貯備藥物、生活必需品及物資、作為防災教育基地等機能，在避難場所選擇上可考慮公園、學校、活動中心等處。依據下表針對欲規劃地區之各救災據點與避難據點，可利用該地區的地區災害防救計畫內之據點以及現地調查方式進行調查。(表 2.16)

表 2.16 防救災據點調查表

分類	名稱	位置(地址或鄰近道路)
縣市政府或鄉鎮市公所(應變中心)		
醫療據點		
警察局		
消防局		
避難及收容場所 (學校、公園以及活動中心等)		
直升機起降場		

2.4.4 緊急運送道路檢核

本研究針對緊急運送道路規劃之內容，擬定檢核表藉此評估所劃設之緊急運送道路是否於災時能發揮救災及避難之功能。在檢核表上主要評估項目有連接避難場所、連接醫療院所、連接救災據點、路燈維護、信號燈耐災規劃、電線杆維護、廣告 T 壩(招牌)管理、路樹管理、保持道路原有寬度、平時整備制度、避開地震斷層或設計採用防災工程、橋梁耐震評估與補強或災時緊急應變對策、四周建築物結構、避開淹水潛勢或設計採用防災工程、避開土石流潛勢溪流或設計採用防災工程以及避開坡地災害等 16 項。

而各主要項目中茲將虛評定之項目再行細分，針對連接避難場所上，須檢核道路是否緊臨或連接政府所規劃之避難場所，而避難場所又細分為緊急避難場所、臨時避難場所、臨時收容場所以及中、長期收容場所等四種避難場所；連接醫療院所，為檢核道路是否緊臨或連接醫療院所，但若當地醫療資源本是

缺乏，則規劃之緊急聯外道路有連接至外縣市之醫院亦可；連接救災據點，檢核道路是否緊臨或連接救災據點，而應當連接之救災據點包含縣市政府應變中心、鄉鎮市公所應變中心、警察單位、消防單位、直升機起降場等五種；路燈維護，檢核路燈是否妨礙交通之順暢；信號燈耐災規劃，檢核信號燈能否於災時發揮其機能；電線杆維護，檢查電線杆是否妨礙交通之順暢；廣告 T 壩(招牌)管理，檢查廣告 T 壩(招牌)是否會掉落倒塌妨礙交通，；路樹管理，檢查路樹是否會傾塌妨礙交通；保持道路原有寬度，檢核道路是否失去原有之寬度妨礙避難行為以及搶救災作業；平時整備制度，檢核是否有規劃災前災後之整備、應變及復舊之行動，規劃災時之搶救機制、救災用之機具及裝備整備及維護及人員整備、簽訂開口契約、針對救災人員進行防災教育、針對防災計畫進行定期之防災演練等；避開地震斷層或設計採用防災工程，利用經濟部中央地質調查所所開發之「地質資料整合系統」檢視所規劃之緊急運送道路至地震斷層之最短垂直距離，是否遠離活斷層帶；橋梁耐震評估與補強或災時緊急應變對策，檢核橋梁是否劣化、有無規劃補強修復措施及緊急應變對策；四周建築物結構，檢視建築物之結構類型，不同結構有不同之耐震能力；避開淹水潛勢或設計採用防災工程，利用國家災害防救科技中心之淹水潛勢圖，檢視規劃之道路是否為淹水範圍內；避開土石流潛勢溪流或設計採用防災工程，利用水土保持局所公佈之土石流潛勢分佈圖，檢視是否規劃之緊急運送道路是否在潛勢溪流範圍內；避開坡地災害檢視是否可能產生坡地災害，坡地災害的產生會危及道路之暢通。

在評分上各主要項目中有分列配分之項目，依照評分表之配分方式進行計算，滿分為 100 分，評分後之分數在 80 分以上，則此地區之緊急運送道路規劃良好，分數在 60 分到 79 分之堅則規劃尚可，而分數在 40 分到 59 分的區間內，則需重新檢視所規劃之緊急運送道路，進行修正改善，倘若分數在 39 分以下，則此地區需重新進行緊急運送道路之規劃。

表 2.17 緊急運送道路機能檢核表

檢核項目	檢核要點	配分項目(配分)	無 (0分)	有 (依配分)	備註
1.連接避難場所	檢核道路是否緊臨或連接政府所規劃之避難場所(緊急避難場所、臨時避難場所、臨時收容場所、中長期收容場所)。	1.緊急避難場所。(2分)			
		2.臨時避難場所。(2分)			
		3.臨時收容場所。(2分)			
		4.中、長期收容場所。(2分)			
2.連接醫療院所	檢核道路是否緊臨或連接醫療院所(醫學中心、區域醫院、地區醫院)。	1.醫學中心。(緊鄰2分連接1分)			
		2.區域醫院。(緊鄰2分連接1分)			
		3.地區醫院。(緊鄰2分連接1分)			
		4.緊急聯外道路有連接至外縣市之醫院。(1分)			
3.連接救災據點	檢核道路是否緊臨或連接救災據點。	1.縣市政府應變中心。(緊鄰2分連接1分)			
		2.鄉鎮市公所應變中心。(緊鄰2分連接1分)			
		3.警察單位。(緊鄰2分連接1分)			
		4.消防單位。(緊鄰2分連接1分)			
		5.直升機起降場。(緊鄰2分連接1分)			
4.路燈維護	路燈是否妨礙交通之順暢。	1.路燈基座避免遭受破壞而不穩。(1分)			
		2.燈桿避免傾斜或變形。(1分)			
		3.路燈避免倒塌妨礙交通。(1分)			
5.信號燈耐災規劃	信號燈能否於災時發揮其機能。	1.燈號正常。(1分)			
		2.具獨立之供電系統。(1分)			
		3.基座避免遭受破壞而不穩。(1分)			
		4.燈桿避免傾斜或變形。(1分)			
		5.信號燈避免倒塌妨礙交通。(1分)			
6.電線杆維護	電線杆是否妨礙交通之順暢。	1.電纜正常配置。(1分)			
		2.電箱避免破損或掉落。(1分)			

			3.電線杆避免劣化或遭人為損壞。(1分)		
			4.電線杆避免倒塌妨礙交通。(1分)		
7.廣告 T 壩(招牌)管理	廣告 T 壩(招牌)是否會掉落倒塌妨礙交通。		1.鐵桿避免鏽蝕。(1分)		
			2.廣告 T 壩(招牌)穩固不搖。(1分)		
			3.基座確實固定。(1分)		
			4.規劃地區無廣告 T 壩(招牌)(1分)		
8.路樹管理	路樹是否會傾倒妨礙交通。		1.樹枝不會掉落妨礙通行。(1分)		
			2.路樹確實扎根於土壤中。(1分)		
			3.不因過高而攔腰折斷。(1分)		
9.保持道路原有寬度	道路是否失去原有之寬度妨礙避難行為以及搶救災作業。		1.路旁避免停放過多車輛妨礙通行。(1分)		
			2.障礙物避免堆放於道路兩旁。(1分)		
10.平時整備制度	檢核是否有規劃災前災後之整備、應變及復舊之行動。		1.規劃災時之搶救機制。(1分)		
			2.救災用之機具及裝備整備及維護及人員整備。(1分)		
			3.簽訂開口契約。(1分)		
			4.針對救災人員進行防災教育。(1分)		
			5.針對防災計畫進行定期之防災演練。(1分)		
11.避開地震斷層或設計採用防災工程	利用經濟部中央地質調查所所開發之「地質資料整合系統」檢視所規劃之緊急運送道路至地震斷層之最短垂直距離。		1.大於 500 公尺。(3分)		
			2.介於 100-500 公尺。(1分)		
			3.設計採用防災工程(5分)		
12.橋梁耐震評估與補強或災時緊急應變對策	檢核橋梁是否劣化、有無規劃補強修復措施及緊急應變對策。		1.定期進行橋梁巡查。(1分)		
			2.進行耐震評估。(1分)		
			3.針對評估後結果進行補強。(1分)		
			4.災時橋梁緊急修復措施。(1分)		
			5.規劃臨時便橋等替代措施。(1分)		

13.四周建築物結構	檢視建築物之結構類型，不同結構有不同之耐震能力。	1.磚結構。(1分) 2.鋼筋混凝土結構。(2分) 3.鋼骨結構。(3分) 4.鋼骨鋼筋混凝土結構。(5分)				
14.避開淹水潛勢或設計採用防災工程	利用國家災害防救科技中心之淹水潛勢圖，檢視規劃之道路為非淹水範圍內。	1.避開 600 公釐降雨造成 50 公分以上淹水區域。(3分) 2.設計採用防災工程。(5分)				
15.避開土石流潛勢溪流或設計採用防災工程	利用水土保持局公佈土石流潛勢分佈圖，檢視規劃緊急運送道路是否在潛勢溪流範圍內。	1.避開土石流潛勢區。(3分) 2.設計採用防災工程。(5分)				
16.避開坡地災害	檢視是否可能產生坡地災害，坡地災害的產生會危及道路之暢通。	1.非順向坡地形。(1分) 2.地表植被無遭受破壞。(1分) 3.岩層無破碎。(1分) 4.擋土設施不具裂縫。(1分) 5.擋土設施無傾斜。(1分) 6.擋土牆之排水孔正常出水。(1分) 7.排水孔排出之水清澈。(1分) 8.地錨錨頭無開裂、鏽蝕。(1分)				
成績計算						
評估情形		☐ 規劃良好(80分) ☐ 規劃尚可(60-79分) ☐ 有待加強(40-59分) ☐ 重新規劃(39分以下)				

2.4.5 緊急運送道路圖之繪製

逐步完成上述之檢核作業後，便可依據實質規劃內容進行緊急運送道路圖之繪製，進行緊急運送道路圖之繪製時，可運用地理資訊系統進行操作，製作完畢之緊急運送道路圖，將可供民眾與人員搶救災時之參考。

在進行繪製緊急運送道路圖時，須注意圖中至少須包含指北針、比例尺及圖例等，且應該針對不同層級之道路，以不同粗細、顏色之線條進行繪製，如此所繪之道路圖將能更加清楚。

2.4.6 緊急運送道路標示之設定

為使民眾於災時避難更加順暢，須依據所繪製之緊急運送道路圖，於重要之路口處建立出相關標示，作為誘導之用途，減少人員遲疑時間。相關之標示可參考日本設立之情形(圖 2.15、圖 2.16)來進行國內相關標示之建置；國內於道路鋪面上亦有道路防災之字樣，但非相當完善，下圖 17 之左側圖片道路鋪面字樣位於台北市忠孝東路一段 49 巷，右側圖位於台北市紹興北街 31 巷。依照流程所完成之緊急運送道路，將可減少民眾避難時間，增加人員搶救災之效率。



圖 2.15 避難場所指示牌

資料來源：<http://www.bo-sai.co.jp/tunamiyoujiban.htm>



圖 2.16 緊急運送道路標示牌及避難方向指示牌

資料來源：<http://www.bo-sai.co.jp/tunamihyoujiban.htm>



圖 2.17 消防通道鋪面字樣

2.5 緊急運送道路查詢系統

本年度之緊急運送道路查詢系統(以下簡稱本系統)，不僅有本年度(97)之成果，亦包含 96 度之研究成果。本系統主要之用途在使各縣市將所規劃之緊急運送道路進行上傳，以供災時之救災參考。進入系統時會出現一個登入畫面，登入畫面如圖 2.18 所示，當帳號密碼均正確時即可進入主畫面。

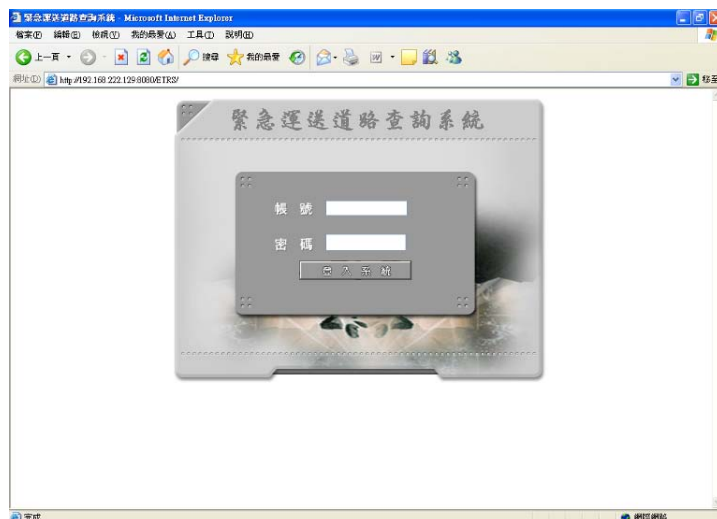


圖 2.18 緊急運送道路查詢系統登入畫面

當進入本系統，如圖 2.19 所示，本系統共提供十一個選項供使用者點選，點選項目除緊急運送道路之基本介紹、各式表單、規劃與檢核手冊、相關連結外，最重要的項目為緊急運送道路之上傳。茲將各個項目介紹如下。



圖 2.19 緊急運送道路查詢系統主畫面

「緊急運送道路介紹」：包含前言、國內外緊急運送道路比較、道路規劃、緊急運送道路網要點及台灣緊急運送道路需求等五個項目進行說明。「前言」介紹緊急運送道路概要；「國內外緊急運送道路比較」比較我國和日本之差異；

「道路規劃」在簡述道路規劃之重要性；「緊急運送道路網要點」，在說明規劃時應注意事項；「台灣緊急運送道路需求」，旨在說明台灣需進行規劃之原由。



圖 2.20 緊急運送道路介紹頁面

表格之「規劃完善程度」一欄，是依照各評估項目以目前規劃情形加以評分，共可分為 0 分、1 分、2 分、3 分、4 分、5 分等六等級，經計算後再乘以加權指數，使滿分達至一百分，由此可了解緊急運送道路評估分數。



圖 2.21 緊急運送道路評估表頁面

各縣市規劃緊急運送道路時，由於土石流潛勢隨自然環境潛在因子、保全對象及整治工程設施影響因子改變而有所差異，故需建立評估表。評估表係以水土保持局自然環境潛在因子及配分為危害度之因子。其因子包含有崩塌規模、坡度因子、材料破碎、岩性因子及植生因子等五項。

區域	第一層級	第二層級	危害分數
水保局公佈 土石流潛勢 區*	高土石流潛勢區		80
	中土石流潛勢區		60
	低土石流潛勢區		40
非水保局公佈 土石流潛勢 區	持續觀察		20
	一、崩塌規模	1. 明顯大面積崩塌	30
		2. 小規模崩塌	15
		3. 無明顯崩塌	5
	二、坡度因子	1. 上游區坡度大於 50°	30
		2. 上游區坡度介於 30°~50°	15
		3. 上游區坡度小於 30°	5
	三、材料破碎	1. 平均粒径大於 12"	20
		2. 平均粒径介於 12"~3"	13

圖 2.22 土石流危害度表頁面

規劃水災緊急運送道路時，影響水災潛勢因素有：(1)地形、土壤與其他之自然因素影響；(2)山坡地濫伐、洪氾區濫墾與集水區開發等破壞水土保持，或道路建物等人工設施增建、排水設施設計不良以及其他造成地面逕流增加等人為問題。

第壹章 災害防救計畫系統 - Microsoft Internet Explorer

檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H)

上一頁 < > 下一頁 搜尋 我的最愛 打印 刷新 后退 前进 地址

網址 http://92.168.222.129/0000/ETRD/Area/area.htm

緊急運送道路查詢系統

緊急運送道路介紹

歷年典範下載

規劃手冊下載

地圖圖層

外部連結

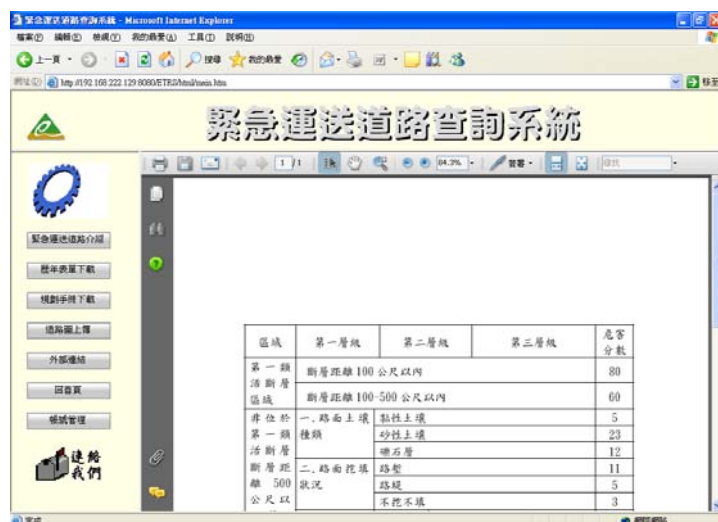
回首頁

帳號管理

區域	第一層級	第二層級	危害分數
國家科技中心之 600mm/日之公佛水災潛勢區：縣市公告之淹水區域* 淹水區域 非上述水利署公告淹水區域	淹水深度 60cm 以上		80
	淹水深度 30cm-60cm		60
	淹水深度 30cm 以下		40
	一、人為因子	山坡地區整齊度	30
		洪氾區開發	15
		不透水層增加	10
		排水設施不足	15
	二、自然因子	降雨強度	12
		累積雨量	8
		地勢低窪	7
總分			
危害等級	☐ 高度危險(80 分以上) ☐ 非常危險(60-79 分)		

圖 2.23 水災危害度表頁面

歸納建立都市化災害危險度評估架構：第一步，先將評估群體分為自然環境、人為實質環境及人文活動等三群體，第二步再根據各評估群體特性，選擇合適評估要素，建立都市化地區地震危險度評估模式。



緊急運送道路查詢系統

區域	第一層級	第二層級	第三層級	危害分數
第一類活斷層區域	斷層距離 100 公尺以內			80
	斷層距離 100-500 公尺以內			60
非位於第一類活斷層距離 500 公尺以內	一、路面土壤種類	黏性土壤		5
		砂性土壤		20
二、路面挖填狀況	礫石層			12
	路盤			11
	路堤			5
不挖不填				3

圖 2.24 地震危害度表頁面

緊急運送道路規劃與檢核手冊，提供規劃緊急運送道路時之參考，規劃時可依照手冊之規劃流程進行規劃，並以檢核表檢核規劃之緊急運送道路是否合乎標準。手冊為 PDF 格式，可於網路上瀏覽，亦可下載至單機瀏覽。

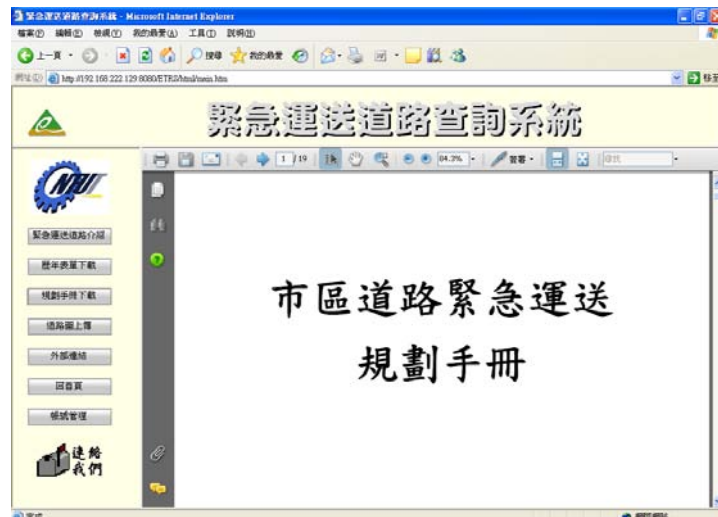


圖 2.25 緊急運送道路規劃與檢核手冊下載

緊急運送道路上傳頁面，為此系統最重要的部分，期望各縣市能將規劃之緊急運送道路圖上傳至系統中，以利災時救災之參考。上傳之內容主要分為三種，其一為所製作之道路圖，其二為道路圖中之路名，最後則為所規劃之避難救災據點清冊。所傳之檔案格式文字檔需為 MS-WORD 格式，圖片之格式為 BMP、GIF 或 JPG，檔案上傳成功後顯示如圖 2.27。



圖 2.26 各縣市緊急運送道路圖上傳頁面



圖 2.27 成功上傳頁面

此項目內有許多相關資料的網站可供連結查看，使用者可由此頁連接到相關的網頁進行更多樣化學習，以了解各種災害的可怕以及緊急運送道路之重要性。

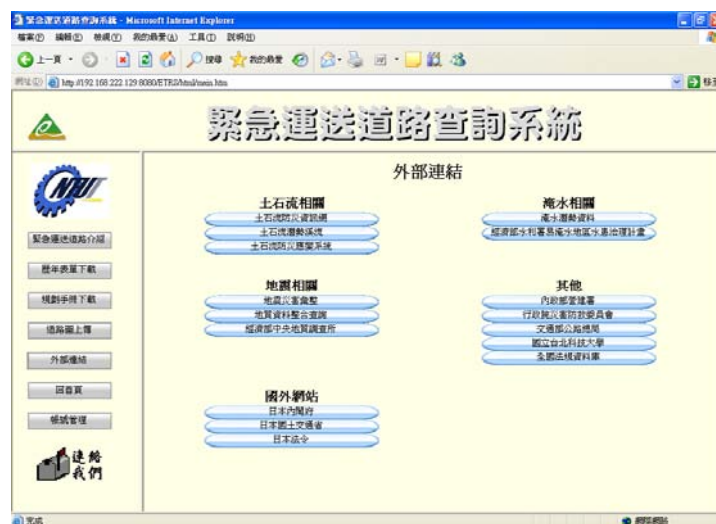


圖 2.28 外部連結

2.6 小結

本年度建立緊急救災機制及緊急運送道路規劃準則(草案)，在進行緊急運送道路規劃時，須到當地了解實際狀況，各地區會因環境及人文發展的不同而有所差異，且在規劃緊急運送道路必須特別注意脆弱段，針對脆弱段必須定期進行相關之巡視，一發現有劣化情形必須進行補強。如石碇鄉之規劃，其脆弱段為新興及雙溪兩橋，一但斷裂則整體路網將會受阻，平常必須定期檢視規劃之緊急運送道路外尚須規劃架設便橋之地點與人力時程以便災時，上述兩橋破壞時可盡速架設便橋，如若發現早期所規劃之緊急運送道路已有所不足，則需考慮進行重新劃設或改善，然而緊急運送道路尚須配合緊急救災機制進行災時之交通管制及緊急搶通方可達到避難與救災之功能。

三、提昇既有市區道路品質研究

3.1 背景說明

台灣地區多雨，路面排水機能即顯得相當重要，且在暴雨管理同時應兼顧及生態系統與水文功能。低衝擊開發(Low-Impact Development，簡稱 LID)即為一種發展中以生態系統為根基的暴雨水管理方法。低衝擊開發基本理念在從暴雨逕流源頭即予管理，透過入滲與蒸發降低暴雨逕流；且力求自有利的觀點利用雨水，而非視為急待排除之廢水，對於都市人口密度高，存在許多不透水性鋪裝(如人行道與車道路面大量使用鋼筋水泥或密級配瀝青混凝土)，造成過度不透水化，雨水無法進入地下含水層補注地下水，除地表逕流量暴增造成水災頻傳外，並引發居住環境日漸高溫化之「都市熱島效應」，惟災難並非不可避免。在歐美地區最新的生態與防洪共存對策，規定建築及社區基地必須保有滲透、貯留雨水的能力，而道路排水系統採用自然排水系統，除可供雨水排至雨水下水道外，另因滲透、貯留功用，吸收部分逕流，而達到軟性防洪之目。

近年來由於生活水準提昇，環保意識日益增強，民眾對於道路已逐漸由「量」的需求轉變至「質」的提昇。惟目前道路的規劃設計均以機動車輛的使用效率及安全性為主，規劃設計人員多重視可見之工程效果，較少納入永續經營之綠色理念。此外，強調環保與人本的「綠色運輸工具」及強調社會公平的「無障礙運輸環境」等，均為全世界道路建設發展潮流，各國對市區道路之建設均思慮如何節能、減碳、生態保育及微氣候調節，且力求道路植栽綠美化時能與綠地或生物棲息地相互連結成生態網絡之綠廊道；另市區道路之人行道為行人通行、休憩、植栽及佈設相關設施之場所，應以行人為優先考量，惟常反客為主，相關設施佔據或阻礙行人通行，亦破壞街道景觀，另國內道路規劃與設計者缺乏對環境與人本結合的思想，經常忽略兩者的使用需求；有鑑於此，本年度計畫則以市區道路之低衝擊開發、綠廊道、自行車道及人行道設施物控制樞紐改善為主題進行研究，串連有關低衝擊開發、綠廊道、自行車道與人行

道附屬設施物之關連性，於下述探討：

一、LID 與綠廊道

因市區道路車輛之行駛以致路面殘留有油漬、懸浮微粒，LID 與綠廊道的植被配合，降雨期間，可依賴植被吸附於市區道路上的污染物，具有減緩地表逕流、基地保水、初步過濾污染水質與降低熱島效應等效用，落實生態工法之進行於市區道路與景觀之改善。

二、LID 與人行道控制樞紐

控制樞紐基座之遷移可配合 LID 設施，公共設施帶旁之人行道，進行鋪設鋪面（包含透、排水性），可放置人行道附屬設施物於公共設施區域內，符合用簡易規劃、設計，如遷移到學校、公園或公共設施帶，將變電箱及人手孔遷移置綠廊道上的植生帶，進行原有設施物之斟酌減量與整合共構設置。

三、綠廊道與自行車道

配合減少溫室氣體排放而減緩地球暖化，降低汽、機車之行駛，響應「綠色運輸工具」，強化步行及自行車道的無障礙使用環境、道路空間設施優先服務綠色運具，並結合綠廊道，完善綠色環狀交通網絡，進而提供市區道路具悠閒、安全的空間，強化都市環境特色。

為期道路之設計規劃能回歸至人本、安全、資源再利用以及生態環境等面向，以獲得市區道路品質之提昇。本研究目的如下：

1. 彙整 LID 設施、綠廊道與自行車道應用於市區道路之國內外文獻。
2. 提供 LID 設施、綠廊道與自行車道之規劃設計原則與參考手冊。
3. 探討 LID 設施、綠廊道與自行車道建構之效益。
4. 探討既有 LID 設施用於市區道路之適用性評估。
5. 探討既有市區道路規劃綠廊道與自行車道之可行性評估指標。
6. 經由現況調查與紀錄，瞭解目前人行道附屬設施物與控制樞紐之問題。
7. 針對人行道控制樞紐基座之擺設位置與外觀綠美化，提出改善對策。

3.2 文獻回顧與國內外案例

綜合彙整國內外相關文獻和案例，以低衝擊開發(LID)技術為主，輔以植栽選定、綠色運輸串連與設施遷移等措施以達到生態永續發展之目的。

3.2.1 LID 之國內外文獻探討及案例研析

◎ 低衝擊開發介紹

為解決土地開發不當，致水資源遭受污染及市區遭水患問題，於 1990 年代中期發展出低衝擊開發(Low Impact Development, LID)規劃概念，依美國住宅和都市發展部對 LID 定義：利用各種土地規劃和設計之措施與技術，同時可保育自然資源系統並降低建造成本之土地開發方法。其原則「盡量減少開發區之不透水表面之面積，保持原有之水文狀況，充分利用入滲能力，增大集流時間，以達到減低開發行對水質水量之衝擊。(陳彥璋，2006)」，目的則是利於土地開發規劃與設計，降低公共基礎設施成本，並在一定成本效益下，保護自然資源系統，有助減輕環境潛在影響。將此觀念應用於雨水排水系統規劃，以使得開發前後之水文條件相同。利用 LID 之概念，其主要目的與成效，如表 3.1 所示。

表 3.1 低衝擊開發目的與期許成效

目的	成效
一、保留開放空間與減低土地開發時對於環境之干擾。	一、保護水質
二、保護敏感自然區域與綠色公共建築物。	二、降低暴雨逕流量
三、整合自然特徵（濕地、水道迴廊、自然林地）及基地規劃。	三、降低不透水面積
四、根據分析資料設計合適場址。	四、增加開放空間
五、分配並擴大水資源之暴雨管理。	五、保護樹林
	六、減低土地的擾動
	七、減低公共建設成本

本研究整理自：The Practice of Low Impact Development，2003

近年，台灣都市化及工業化，對於都市計畫內之逕流多以遮蔽雨水(不透水鋪面)方式處理，區域內不透水面積不斷增加，降低地表之雨水入滲量，致都市土地保水機能日漸降低；復以集中於末端處理及逕流迅速排放之排水概念，在高強度降雨時，非但縮短洪峰到達時間，亦增加高尖峰流量發生機率，常造成下游排水系統負擔滿載，致都市型水患有逐年增加趨勢，並造成水資源匱乏及水污染問題之隱憂；另道路路面之塵土、油漬與廢氣中的微細顆粒，一遇豪雨，前半小時之雨水沖刷路面，將塵土、油漬及廢氣微細顆粒排入雨水下水道並排放河川，嚴重影響河川水質。

據英國英格蘭東南部 Crawter 溪集水區水文記錄，集水區內新市鎮人為開發增加，都市表面不透水率超過 20%時，開發區之年最大洪水量明顯增加(Hall, 1984)。由此可知，都市開發密度愈高，都市不透水表面率愈高，地表逕流及洪水頻率相對增加，都市內之排水系統負荷也相對提高，因此若能抑制雨水流出、減少地表逕流，如設置雨水滲透設施等，如圖 3.1，藉由增加雨水入滲量，將可達到降低都市洪峰流量及遲滯洪峰到達時間之效用，對日漸增加之都市水患必能有所改善。

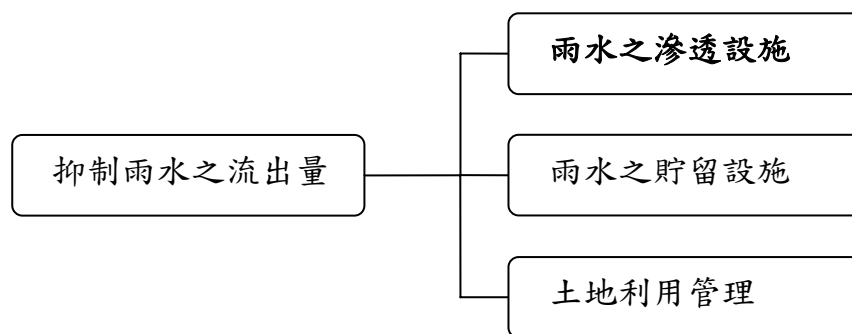


圖 3.1 抑制雨水流出量之方式

資料來源：日本下水道協會，2001

傳統都市防洪觀念，在希望短時間內將雨水排除，降低淹水機率，惟此將

增加下游公共排水設施之負擔，每逢豪雨或颱風，低窪地區因匯集各地雨水而淹水，如台北縣汐止即是如此，同時防洪設施皆為不透水材質，無法使水分滲入土壤內，阻斷水循環作用，促使都市高溫化和乾燥化日益嚴重。此不考慮土地保水、滲透、滯留之排水觀念，並不符環境友善及水資源永續利用方式。

LID 原使用於開發或更新都市時之都市計畫，延伸範圍有市區道路與社區，採用之設施在市區道路有透水性鋪面、生態滯洪池、樹箱過濾槽或滲透排水管等。實際採用之設施應配合都市計畫、空間大小、氣候及土質等因素而定。LID 對市區道路效益如下：

1. 改善市區道路因暴雨造成污染（油污、懸浮微粒）。
2. 減少逕流量與控管逕流時間。
3. 降低熱島效應，減少能源耗損。
4. 降低輪胎滾壓路面造成之噪音。
5. 解決其他生態環境問題。

BMP Tool Box 模式由美國馬里蘭州 Prince George's 郡環境資源部門與 Tetra Tech 公司合作研發，為一套可評價低衝擊開發（Low Impact Development, LID）技術效率之模組。該模式利用簡單基本演算法並結合 HSPF (Hydrological Simulation Program Fortran Model) 與 SWMM (Storm Water Management Model) 等模式，將水文、水理、水質隨時間序列變化連續模擬非點源污染傳輸結果，並依輸入現場單一或組合式 BMPs 設施相關結構、設計資料評估該場址 BMPs 設施設置之成效及價值。其模式之演算方法，含下列五種基本設計：

1. 與逕流資料整合。
2. 場址系統設計與呈現。
3. 不同規模與類型之 BMPs 設施結構配置。
4. 逕流路徑網絡圖形化。
5. 計算 BMPs 設施對水力與水質處理成效。

BMP Tool Box 模式使用界面如圖 3.2 所示，提供兩種 BMPs 設施類型定義，分別為暴雨滯留池型態與明渠型態，並採用簡單之運算包含堰及孔流結構、暴雨 窪地特性、流量及污染物傳輸、逕流路徑及網絡、入滲、蒸散量、與污染物損失 衰退等，透過逕流路徑及不透水面積設定，可獲得下列幾個重要的資訊提供設計者、管理者、評估者作為規劃、參考與執行之依據。

- 可模擬土地開發前、後與 LID 設施（或 NTS 設施）設置後之水質與水量的變化關係。
- 預估 LID 設施成效，作為不同管理方案的評估工具。
- 可計算成本，做出最佳化之評選。

該模式依據 BMPs 設施處理機制，分為 A、B 兩大類型，A 類型（Class A）BMP 如圖 3.3 所示，主要具有滯留、蓄存水之功能，例如暴雨滯留池、截流池、生物池等 BMPs 設施，在停留一段時間後，以孔口流或堰流方式流出，模式設計之溢流堰及孔口流之尺寸設計圖與計算方程式；B 類型（Class B）BMP 如圖 3.4 所示，主要為明渠，具有導流水之功能，例如草溝、草帶等 BMPs 設施，經由草溝、草帶之過濾吸附來去除污染物，達到淨化水質的功能。

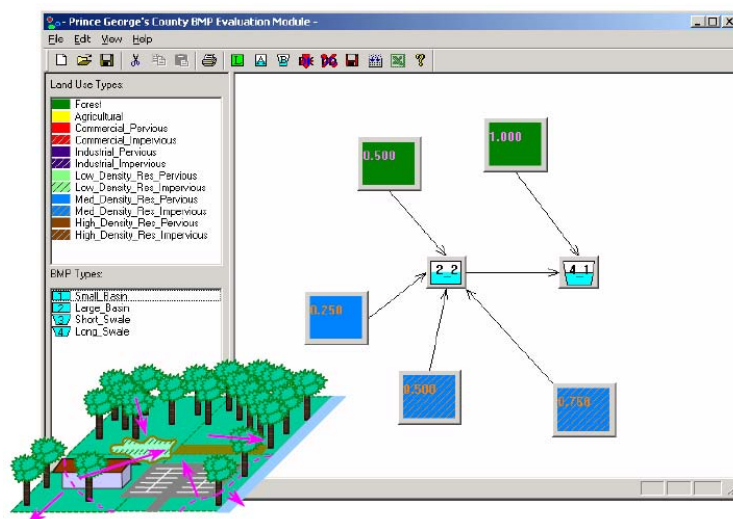


圖 3.2 BMP Tool Box 模式使用界面(楊忠勳，2008)

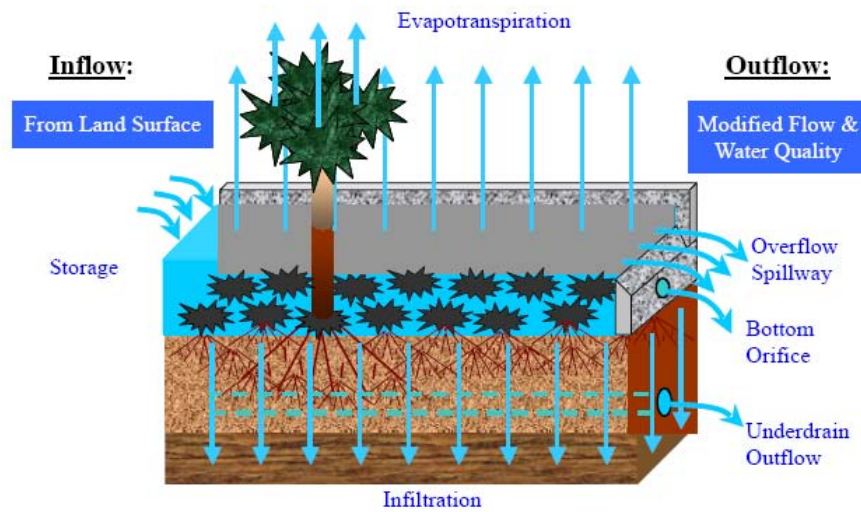


圖 3.3 BMP 設施型式 A 類型(Class A) (Tetra Tech, Inc., 2003)

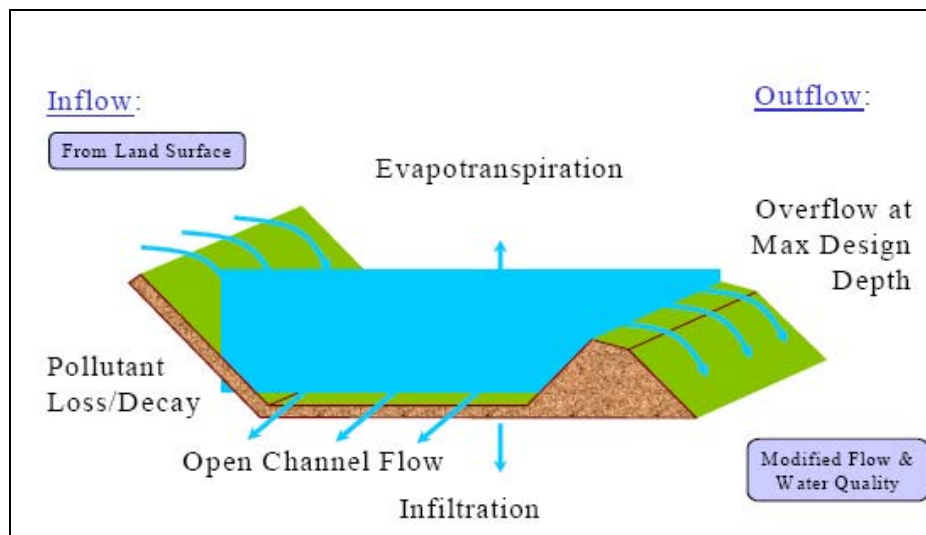


圖 3.4 BMP 設施型式 B 類型(Class B) (Tetra Tech, Inc., 2003)

國內 LID 研究與文獻資料不足，故本研究文獻與案例多採國外；目前國內研究文獻有廖朝軒教授「都市生態貯留水循環技術之研究」之貯留滲透設施用於停車場、人行道與車道屬 LID 設施；為獲更多 LID 對於停車場、人行道與車道可採用的設施，經蒐集國外案例如下。

◎ 國外案例

水資源再利用觀念，源於古希臘時代，當時人們即已懂得利用「砂濾」技術除雨水中之雜質，經處理後之雨水可用於灌溉或做其他家庭用途，甚可當成飲用水使用。古希臘人認為雨水之回收再利用，為一項極重要之供水來源，至今利用滲透設施達到水資源再利用的技術，許多國家正積極推動中，以解決日漸枯竭之水資源。

美國

不僅重視工程措施，並制定相關法規鼓勵雨水的利用。針對都市化引起河道下游洪水氾濫問題，如科羅拉多州(1974 年)、佛羅里達州(1974 年)和賓西法尼亞州(1978 年)等分別制定暴雨管理條例，規定新開發地區暴雨洪水洪峰流量，必須保持在開發前的水準。所有新開發區強制實行當地滯洪蓄水。滯洪設施之最低容量，應能有效控制五年左右之暴雨逕流量。除制定雨洪管理條例外，聯邦和各州並採取一系列政策，如使用總稅收，發行義務債券，聯邦和州給予補貼、聯邦貸款、投資分扣方式鼓勵人們採用新的暴雨處理方法。

LID 使用之暴雨管理與傳統方式不同，傳統排洪系統分為兩個部份：輸送系統與收集系統。輸送系統包含邊溝、集水井、箱涵、人孔、下水道等，收集系統包括乾式或濕式滯洪池。傳統滯洪池造價十分昂貴。馬里蘭州喬治王子縣利用 LID 概念使用具滲透性之生態滯洪池(Bioretenention)，範圍約 1,000 平方公尺，節省建造傳統滯洪池經費約 30 萬美金，故外在條件如降雨強度、用地等允許的情況下，宜使用替代性工法，如草溝、滲透管溝等達到與傳統工法相近之效果，如圖 3.5 所示。



圖 3.5 滯洪池

資料來源：Low Impact Development Center，2003

美國 Cahill Associates 環境工程顧問在 Villanova 大學所施作透水性混凝土雨水滯留量試驗中，在 $5,359 \text{ m}^2$ 面積土地鋪設 45 ~ 75cm 厚之透水性混凝土，經過 24 小時降雨強度達 149 mm，最大每小時降雨強度達 35.1 mm 之暴雨測試，其溢流量僅為 76 m^3 ，平均深度 1.42cm，減少逕流量約達 90%，其餘雨水均流入地下。其試驗基地如圖 3.6，監測成果如表 3.2。



圖 3.6 Villanova 大學試驗基地

資料來源：www.engineering.villanova.edu

表 3.2 監測成果

區域	面積(m ²)	深度(cm)	體積(m ³)	蓄流量(m ³)
Upper Bed	85.60	45.72	128.42	51.37
Middle Bed	180.77	76.2	451.94	180.77
Lower Bed	70.79	45.72	106.19	42.48

資料來源：www.engineering.villanova.edu

美國 Villanova 大學除設置透水性混凝土外，亦設一滲透排水管(如圖 3.7)，位於校園內之車庫旁，雨水由車庫屋頂經落水管連接流至滲透排水管，整個管溝開挖體積大約為 10 英尺×13 英尺以及 6 英尺深，且內部填滿清洗過之級配礫石，當滲透排水管安置完成後，於表面鋪加透水性鋪面。最近這場地被納入 Villanova BMP 研究調查，且被列為各學術參觀之展址。



圖 3.7 Villanova 大學之滲透排水管

資料來源：www.engineering.villanova.edu

西雅圖位於美國西北邊，隨著都市開發、人口增加與不透水面積的增加，使得冬季洪水氾濫，夏季河溪乾枯，加上雨水沖刷道路，污水排放至河溪造成污染而間接影響鮭魚繁殖，為解決這長久問題，西雅圖公共設施局採用「自然排水系統」，具體目標包含：

1. 減少逕流洪峰流量
2. 減少不透水面積
3. 改善水質
4. 選擇維修成本較低之設施
5. 設計集水區和友善街道
6. 改變傳統觀點，即減少設置緣石、排水溝和人行道。

位於西雅圖 117th 和 120th 之間的街道，將原筆直且過寬之街道，大量縮減寬度，並於道路兩旁多餘空間設置生態滯留槽，如圖 3.8，比原先傳統街道減少 11% 之不透水面積，監測四年結果減少總逕流量 99%，增加超過 100 株常綠樹木和 1,100 株灌木。惟在 110th 的道路兩旁施作階梯式草溝，據監測 110th 街道三個月成果，如圖 3.9，階梯式草溝持續保留 48% 之入流量。



圖 3.8 左圖為低衝開發設計前；右圖為低衝開發設計後

資料來源：Seattle Public Utilities，Thibert, P.E

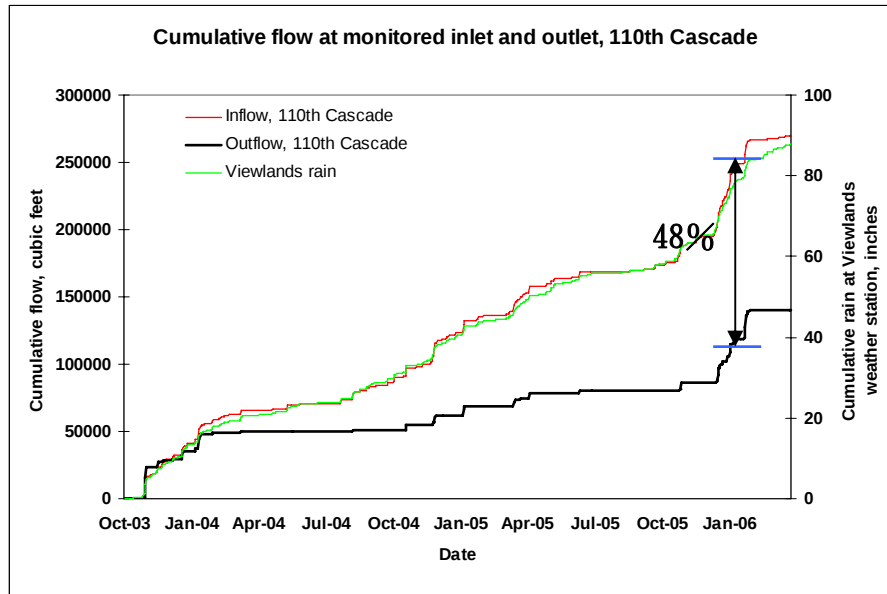


圖 3.9 西雅圖 110th 草溝監測成果

資料來源：Seattle Public Utilities，Thibert, P.E

另透水性瀝青鋪面，1970 年代美國鋪設厚度為 45~50mm、孔隙率 17~20%，粒料為 11mm 或 16mm，瀝青膜厚度約在 20~40 μ m，目前美國已有 15 州廣泛使用。為維持摩擦功能及減少粒料流失，於 1970 年代開始研究熱拌合時，於瀝青膠泥中拌入大量碎石粒料，其直徑為 9.5~12mm，並使用鋪裝機鋪設 19mm 厚，此種鋪設優點，在表面有孔隙及增加摩擦力，惟鋪設厚度較薄，孔隙較少，故透水及降低輪胎噪音效果較小。

歐洲

(1) 瑞典

瑞典國家公路管理局 SNRA (Swedish National Road Administration)認為透水性瀝青之耐久性並未優於傳統瀝青混凝土。諸多情況，透水性瀝青有損大頭釘胎環，較傳統瀝青混凝土具較低的抵抗力。故透水性瀝青多使用於減少噪音及排水。透水性瀝青混合 5.0% 瀝青；並用 0.8%礦物纖維，以增加連結劑之耐久性及風化強度。施工期間瀝青混凝土之孔隙率大於 15%。哥德堡(Goteborg)和郝爾辛堡(Helsingborg)之間 E-6 高速公路，鋪設幾處透水性瀝青，經調查表

面結果：城市道路當局選擇新的透水性瀝青表面道路，主要在減少交通噪音，排水為次要。在中等降雨量後，僅少量水殘留於透水性瀝青表面上。

1980's 早期，哥德堡(Goteborg) 測量結果：透水性瀝青可降低噪音 4.8 分貝。道路排水容量於 3 年內減少 50%，減少之空間主要在殘骸瓦礫塵埃的堆積和大頭釘胎環(studded tire)的損害。惟哥德堡(Goteborg) 道路當局認為此等現象，證明使用透水性瀝青仍是正確。

(2) 德國

目前德國雨水利用技術已進入標準化、產業化階段，市場上已有大量應用收集、過濾、儲存、滲透雨水之產品。德國城市雨水利用方式，可歸納如下兩種：

一、雨水截污與滲透系統

道路雨水，通過下水道排入沿途大型蓄水池，或通過滲透設施補充地下水。德國城市街道雨水管道口均設有截污掛籃，攔截雨水逕流攜帶之污染物。城市地面使用可滲透之地磚，減少地表逕流量。行道樹周圍以疏鬆樹皮、木屑、碎石、鏤空金屬蓋板覆蓋，以增加入滲量。

二、生態區之雨水利用系統

園區沿著排水道建有滲透淺溝(圖 3.10)，表面植有草皮，供雨水流過時下滲。超過滲透能力之雨水則排放至雨水池或人工濕地，作為水景或繼續下滲。甚至建造集太陽能、風能和雨水綜合利用於一體的生態建築。

鑒於都會區高度開發，造成不透水面積之提高，大雨過後地表逕流無法藉由滲透方式進入底層土壤中，因而挾帶表面之污染物排放至河流，故在軟體管理策略上，德國柏林研發出 EIS(Environmental Indicators System)環境登錄管理系統，針對當地逕流資料作一彙整，如圖 3.11，篩選 25,000 個地區做長期觀測，建構相關之水文資料庫，包含：區域土地使用、降雨資料統計、蒸發潛能、地下水層深度和污水系統等用來推估都市地表逕流量、入滲量和蒸發量。



圖 3.10 滲透淺溝表面植草

資料來源：Stormwater water source control measures in urban drainage，2005

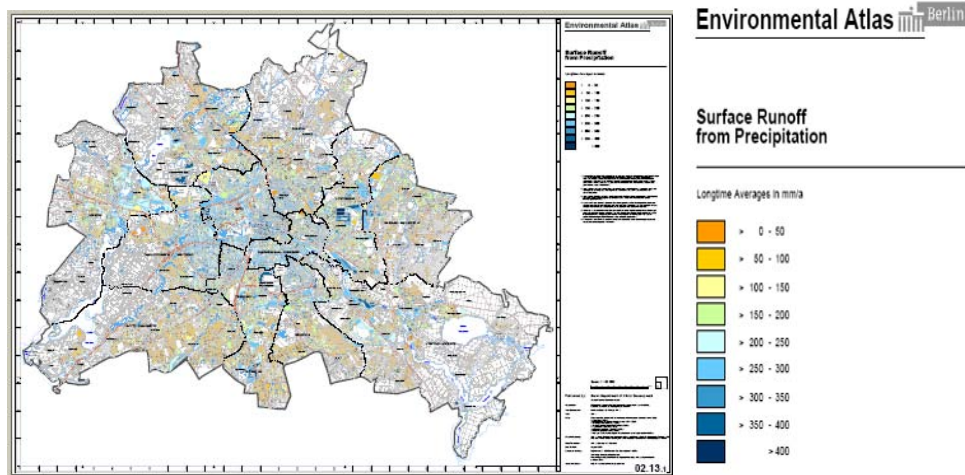


圖 3.11 柏林地區地表逕流分布圖

資料來源：Senate Department of Urban Development，Berlin

2003 年 5 月，南岸的 Hindmarsh 公園綠地，施作滲透排水管，如圖 3.12 所示。綠地設計為滯洪池，開挖最大深度約 6 公尺。開挖後鋪設不織布層，於不織布上方再鋪砂層，最後再放置 40 公分直徑之滲透排水管並在管四周填入礫石。管內流水，主要來自滯洪池貯蓄雨水時之土壤滲漏水與公園內建物屋頂所匯集之雨水，故滲透排水管維護成本低，專家建議只須每 20 年定期檢查其運作情形即可。



圖 3.12 Hindmarsh 公園滲透排水管施作案例

資料來源：HydroCon Stormwater Systems，2003

在德國透水性瀝青（德國術語為 Larmmindemde 瀝青）未有標準規格時，使用透水性瀝青係因應民眾減少交通噪音之要求。如同瑞典，透水性瀝青是用來減少交通噪音和排水。透水性瀝青混凝土設計有 8 和 11 mm 兩種名義粒料尺寸。有 15 到 25 % 的孔隙率含量。大約 5 % 混合物重的瀝青含量。

應用 40 mm 厚的透水性瀝青面層。使用最大尺寸為 11mm 的粗粒料；85% 的粗粒料保留在 2mm 篩子上。含有 0.5 %（混合物的重量）的纖維素纖維（cellulose fibers）。

德國透水性瀝青的鋪面層費用比傳統路面貴約 100%。所增費用，主要用來減少因高速度行駛在住宅地區附近或者通常在其中的公路上時所產生的噪音。

加拿大

加拿大溫哥華某鄉村道路與小巷車庫前，車道設計採用”綠色道路”，除可提供逕流入滲於車道上，草披可處理車道上的油污或懸浮微粒。此設計替代瀝青道路，可用在小巷道路、社區道路，如圖 3.13 所示。綠色道路帶動當地居民響應這項活動，如圖 3.14，從綠色道路之設計到施作工程當地居民踴躍參與，教育層面帶給居民對於雨水管理基本概念，實質上也幫助居民擁有自己的車道。



圖 3.13 社區道路設置綠色道路

資料來源：<http://www.cityfarmer.org/lanes.html>



圖 3.14 當地居民熱心參予施作工程

資料來源：<http://www.cityfarmer.org/lanes.html>

日本

日本十分重視雨水之再利用，於 80 年代提出雨水逕流抑制性下水道，採用各種滲透設施或雨水收集利用系統截留雨水，並辦理許多研究和示範工程，納入國家下水道推行計劃，在政策和資金給予支持。結合既有水道工程，雨水利用工程亦逐步規範化和標準化，如在城市屋頂修建利用雨水澆灌之空中花園，在建築中設置雨水收集儲藏裝置與中水道工程共同發揮作用。東京、福岡、大阪和名古屋大型棒球場的雨水利用系統，集水面積在 1.6 至 3.5 萬 m^2 ，蓄水池容積 1,000 至 2,800 m^3 ，經砂濾和消毒後用於沖洗廁所和綠化，每個系統年利用雨水量在 3 萬噸以上。

1980 年，日本建設省同時也推行雨水貯留滲透計劃。採用雨水貯留滲透計劃，有效補充涵養地下水，復活泉水，恢復河川基流，改善生態環境條件。利用雨水貯留滲透場所，一般為公園、綠地、庭院、停車場、建築物、運動場和道路等，如圖 3.15。採用滲透設施，有滲透池、滲透排水管、滲透井、透水性鋪面、浸透側溝、調節池和綠地等。此外，一些城市的建築物上設計了收集雨水的設施，將收集的雨水應於用消防、植樹、洗車、沖廁所和冷卻水補給等，經處理後亦可供居民飲用。

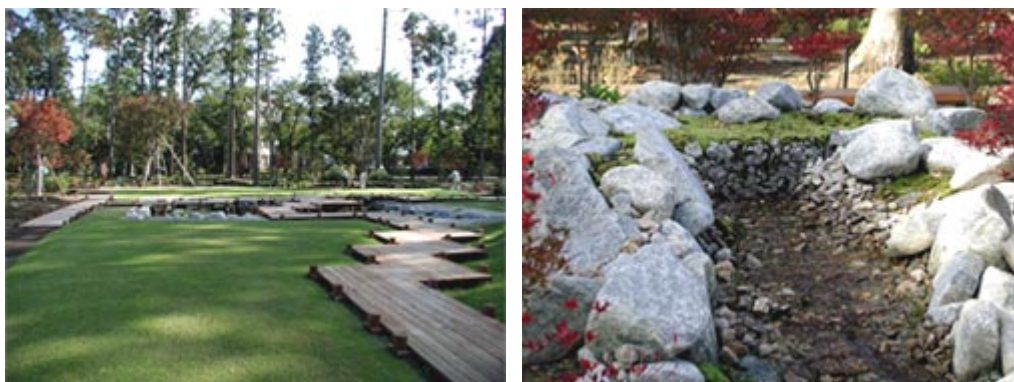


圖 3.15 雨水貯留滲透設施(陳順傑，2006)

日本關西大學土木系，自 1982 年起即對都市逕流現象做相關之探討，發現都市之高度不透水表面，導致洪水逕流現象之提升，人口及地表之使用行為等因素，均使都市中之逕流係數受到影響，並針對具有滲透性之設施進行一系列之研究，如：滲透設施及透水性鋪面等（Wada，1983～1996）；日本橫濱水利局也進行相關之研究，亦發現透水性鋪面及滲透排水管能有效降低 15%～20%之洪峰流量（Watanabe，1995）。東京地區設置滲透設施後造成之逕流歷線變化，如下圖 3.16 所示，藉由該入滲設施之設置降低約 40 %之洪峰流量（katsuyoshi, et al., 1993）。吉野文雄（1982）、石崎勝義（1983）、市川新（1988）、虫明功臣（1987）皆進行相關設施之分類架構。1992 年頒佈第二代城市下水道總體規劃，正式將雨水滲溝、滲塘及透水鋪面作為城市總體規劃的組成部

分，要求新建和改建大型公共建築群必須設置滲透設施。日本自 1997 年起將其原集中排水之防洪治水觀念，改採為利用集水區內地表逕流之貯集入滲設施，來進行流域綜合性集水區治理。都市排水觀念逐漸從傳統之築堤防洪，約束洪水於固定河道內宣洩出海，轉變成在集水區中上游削減逕流；在下游處施設防洪結構物之整體治理觀念。如此非但可達到降低洪峰流量及延遲洪峰到達時間，亦具有水資源保育之功效、水文循環之平衡可使生態環境之衝擊大為減少。

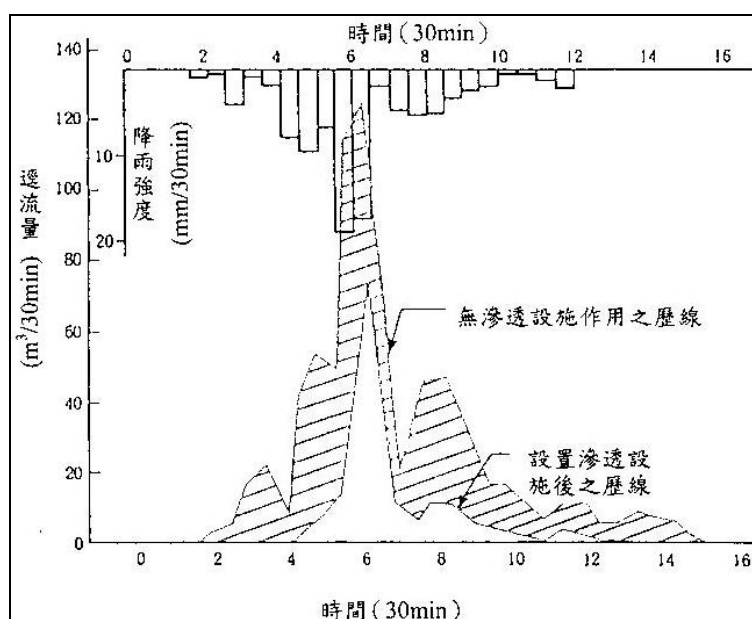


圖 3.16 東京地區滲透設施減洪案例

資料來源：廖朝軒整理 Katsuyoshi, et al. 資料，2003

日本為減緩都市熱島效應，達到水資源永續的目的，更致力於雨水貯留、滲透設施鋪築之研究，於都市開發設計之初即將雨水貯留、滲透的理念納入規劃設計之中，於近幾年已獲顯著成效。圖 3.17 為日本在一般建築基地開發時，依不同的基地條件及需要，所採用之貯留或滲透設計手法。有關日本雨水滲透設施（鈴木茂，2002）種類共可分為二種：

一、擴水法：滲透計、滲透壕溝、透水鋪面、可滲透人孔、可滲透側溝。

二、水井法：乾式滲透井、溼式滲透井。

雨水滲透成效包括：

- 抑制雨水流出之效果：對逕流係數等影響及削減流出量的效果。
- 地下水的涵養效果：確保湧水的復活、維持及河川的基流量、緩和都市內的氣候、補充綠地的水份。詳如表 3.3。



圖 3.17 日本建築基地開發所採用之貯留滲透設計手法

財團法人雨水貯留浸透技術協會，2002

表 3.3 雨水滲透效果表（鈴木茂，2002）

效 果 類 別	內 容	說 明
抑制雨水流出之效果	對逕流係數等影響	對逕流係數的影響效果
		對降雨強度的影響效果
	削減流出量的效果	削減高峰的流出量
		削減浸水地區及浸水量
		削減總流出量
地下水的涵養效果	確保湧水的復活、維持河水的基流量	
	緩和都市內的氣候	
	補充綠地的水份	

1981 年東京都昭島市建立滲透工法示範區，而滲透工法採用擴水法。其中昭島市將示範區劃分為二，如圖 3.18。北端使用各類滲透設施串聯，南端則保持傳統之下水道佈設，將兩區之逕流量作一比較。經過 10 年之長期建設，探討其抑制逕流量效果，由圖可知傳統式下水道所產生之地表逕流量皆約高出滲透工法區之三至七倍左右，如圖 3.19；

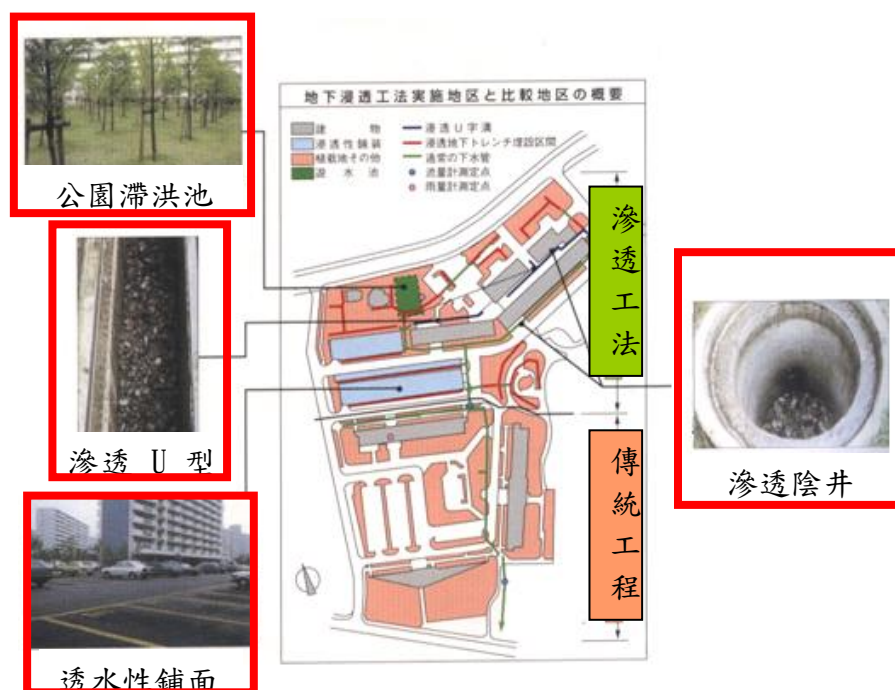


圖 3.18 東京都昭島市地下滲透工法實施地區概要圖

本研究整理自：流域貯留浸透設施介紹，2002

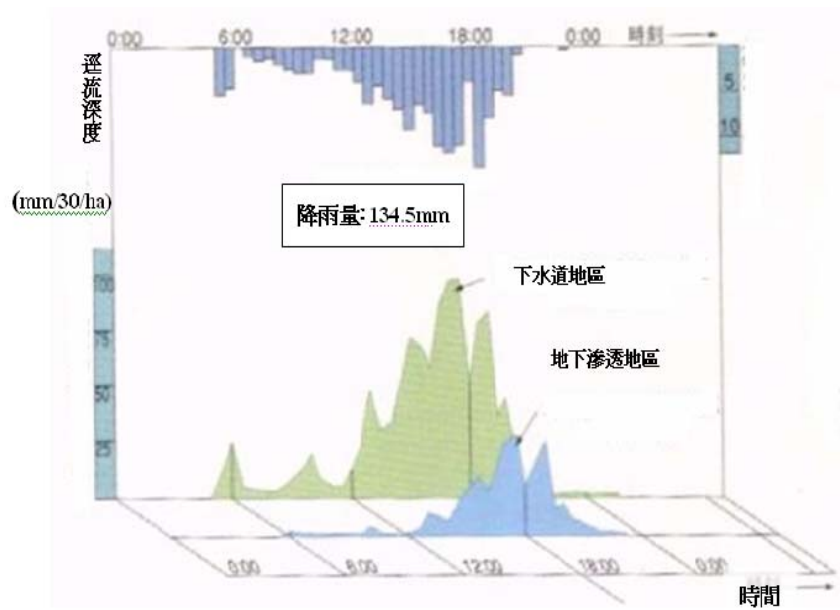


圖 3.19 東京都昭島市地下滲透工法逕流抑制成效圖

本研究整理自：流域貯留浸透設施介紹，2002

日本滲透工法應用於各縣市之案例，為滲透陰井與滲透排水管鋪設範圍最廣，如圖 3.20 與 3.21 為一般道路旁之排水設施使用滲透排水管之情形。

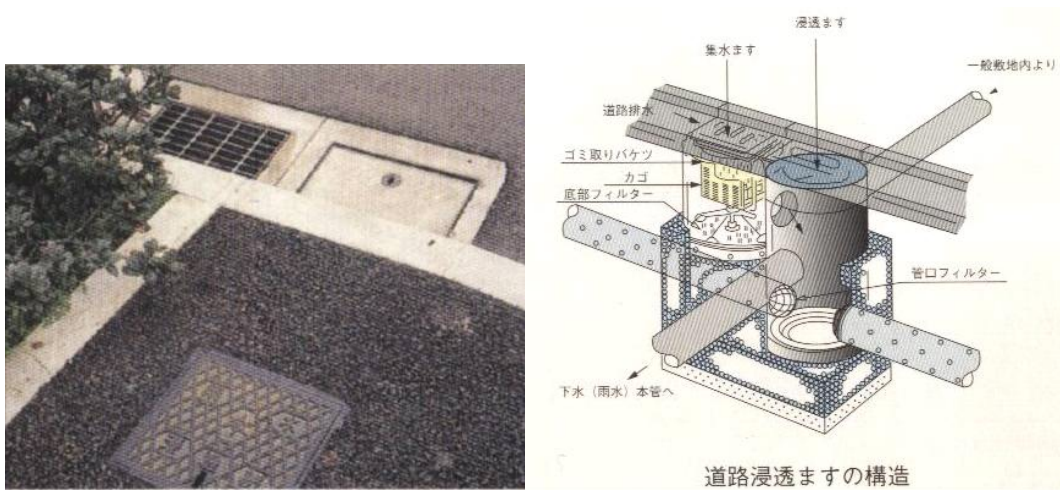


圖 3.20 東京都練馬區道路滲透工法

本研究整理自：流域貯留浸透設施介紹，2002



圖 3.21 東京滲透性排水系統水入滲情形

◎ 國內案例

台北市區

台北市政府工務局水利工程處於文山區行政中心周邊人行道改善工程規劃透水性鋪面工程，並由力台營造有限公司與台北科技大學土木系鄭光炎教授合作，進行透水性鋪面成效評估，將可監測累積資料更多、更完整，分析成果準確更高，以利往後推動規劃、設計、施工和維護等作業之重要參考。

透水性路面結構設計與一般路面相同均需考量強度，此外尚須考慮路面透水性及材料組成。試驗場所之鋪面型式依循台北市政府工務局水利工程處規劃設計，總長約為 300 公尺，寬約為 4.8 公尺，透水性鋪面形式；如圖 3.22 所示為鋪設之不同預鑄透水磚鋪面，其鋪面與底層共厚 23 cm。

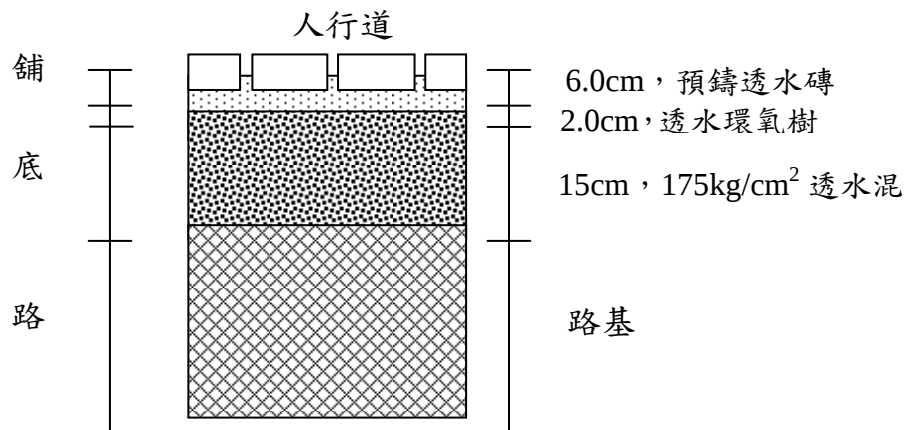


圖 3.22 預鑄透水磚

文山區雨量監測數值如表 3.4 所示，當累積降雨小於 30mm，則透水性鋪面入滲率皆可高達 80%，得知文山區透水鋪面入滲效果相當良好，並由其深層滲漏可知透水鋪面對於地下水補助具有一定效益；土壤入滲多受臨前降雨影響，降雨過度集中與分析數據前數日若有降雨，則該次土層水分涵養效果則不顯著。3 月 11 日、10 月 31 日 11 月 18 日由於當天降雨強度較低，無地表逕流產生，入滲效益可高達九成以上，對於未來都市防洪治理洪峰延遲將為一首要助益。

表 3.4 雨量滲出成效分析表

試驗區地點	監測日期	監測歷時 (hr)	累計降雨量 (mm)	逕流量 (mm)	滲出量 (mm)	地表逕流率 (%)	深層滲漏效益 (%)	土壤涵養率 (%)	入滲總效益 (%)
文山區行政中心	2006.11.18	12.5	35.50	3.97	9.25	11.18	26.06	62.7	88.6
	2006.11.26~27	10.5	22.00	1.70	11.39	7.74	51.78	40.5	92.28
	2007.01.03	10.5	32.00	0.73	21.45	2.27	67.02	30.6	97.62
	2007.03.04	24	88	15.91	36.23	18.08	41.17	40.7	81.87
	2007.03.11	24	10.5	0	7.55	0	71.90	28	99.9
	2007.10.31	24	17	0	6.58	0	38.7	61.3	100
	2007.11.05~06	48	63.5	2.1	51	3.3	80.3	16.3	96.6
	2007.11.18	24	7.5	0	1.3	0	17.4	82.6	100

試驗區面積為 1.5m×1.5m

地表逕流率：地表逕流量／降雨量

深層滲漏效益：深層滲漏量／降雨量；

總降雨量=逕流量+深層滲漏量+土壤保水量+蒸發散

蒸發散數值於降雨時極小故省略不計

高雄市區

高雄市區明誠路段的停車空格採用高壓磚透水鋪面（圖 3.23），將雨水入滲於磚間縫隙，另外，明誠路段腳踏車停車格處磚間縫隙（圖 3.24）與博愛路旁腳踏車停放區鋪設植草磚（圖 3.25），可供雨水間接入滲至土壤和草根吸附

懸浮微粒。

博愛路三段捷運生態園區旁類似施作生態滯留槽（圖 3.26），在凹槽種植灌木與草類，降雨時，附近人行道雨水流入凹槽內，雨水夾雜營養份、重金屬與懸浮微粒，由灌木與草類吸附並入滲，將雨水還原地下，並在凹槽兩旁設置出水口（長度約 50cm），供多餘逕流量排入至排水溝。成功路二段人行道旁之草帶量測寬度約 120cm，具有過濾雨水與入滲效果。



圖 3.23 明誠二路旁汽車與腳踏車停車格鋪設透水性鋪面



圖 3.24 左圖為博愛路旁腳踏車停放區鋪設植草磚



圖 3.25 成功路旁公共設施帶設置草帶

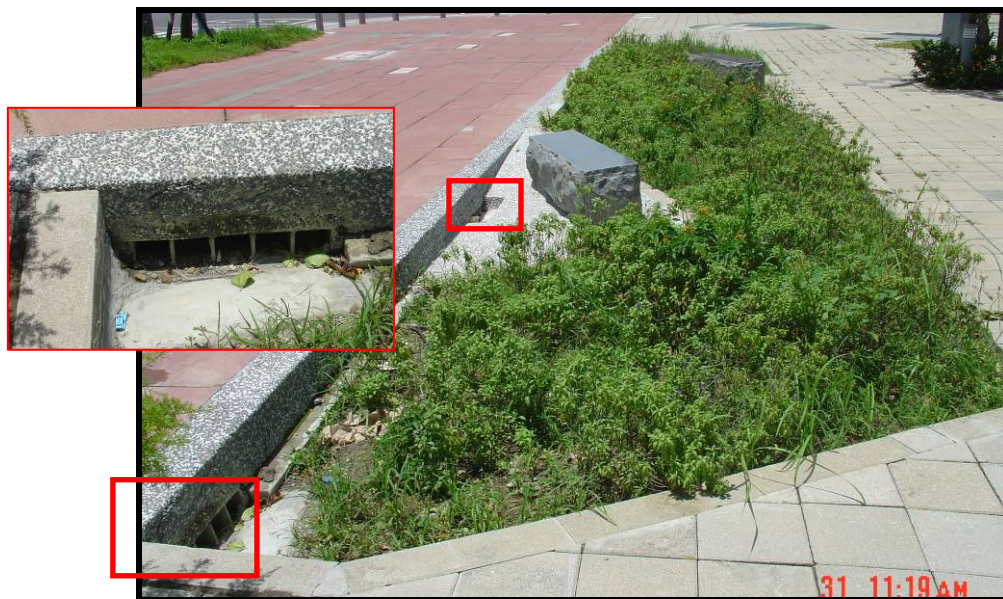


圖 3.26 博愛路人行道旁設置類似生態滯留槽

3.2.2 綠廊道之國內外文獻探討及案例研析

回顧地球過去一百多年之環境變遷，近年來環境破壞程度大增，地球環境之臭氧層破壞、熱島效應、森林枯竭、土地沙漠化、酸雨、海平面上升等現象，均使人類生存環境日趨惡化。近年來全球環保意識高漲；1992 年「地球高峰

會」簽署「二十一世紀議程」、「氣候變化綱要公約」及「里約宣言」，於 1997 年簽訂之京都議定書，均提及溫室效應與二氧化碳減量等議題。有關國內外永續發展所制定之議程如表 3.5、表 3.6，惟運輸工具所排放之氣體對溫室效應與二氧化碳提供均具有相當大的影響，於都市地區不僅車輛多且行車時進時停，各類運輸工具所散發出大量人為熱及空氣污染對氣候變遷佔相當地位，而綠化被公認為吸收大氣二氧化碳最佳策略，亦有助減緩地球氣候日益暖化之危機，為推廣永續健康之市區道路，市區道路構築綠廊道，期對於都市氣候及生態環境有所助益。

表 3.5 國外永續發展之歷程

年份	主題
1987 年	「蒙特婁公約」(Montreal Protocol)，限制氟氯碳化物對大氣臭氧層之破壞。
1992 年	聯合國通過氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)，於 1992 年 6 月在里約召開的地球高峰會議中由 155 個國家簽署這項公約，且於 1994 年 3 月 21 日生效。此公約的目標為「將大氣中溫室氣體的濃度穩定在防止氣候系統受到危險的人為干擾水準上」。
1993 年	聯合國成立「永續發展委員會」(United Nations Commission on Sustainable Development, UNCED)，展開全面性的地球環保運動。
1996 年	「居所會議」(Habitat II Agenda) 於伊斯坦堡召開，針對當今都市危機研擬對策。
1997 年	聯合國於日本京都召開氣候變化公約第三次締約國會議，簽訂「京都議定書」(Kyoto Protocol)正式要求英美日各國承諾達到二氧化碳減量。

本研究整理自：綠建築解說與評估手冊

表 3.6 國內永續發展之歷程

年份	主題
1995 年	內政部召開之「全國建築會議」，希望達成建立建築業永續發展制度，提昇建築環境品質水準之目標。
1996 年	議題參「資源與環境」結論與建議：加強室內空氣品質對人體健康之研究。加強資源節約、生物保育、噪音管制及減少空氣污染。
1996 年	經建會召開國家永續發展論壇，內容分為永續經濟、永續環境及永續社會等三議題，其中「綠建築」議題由內政部建築研究所主辦。
1998 年	經濟部召開「全國能源會議」，議題四、能源效率提昇與能源科技發展。
2003 年	「挑戰 2008 年永續發展計畫」-水與綠建設計畫，其中「綠營建計畫」積極推行綠營建政策，期能有效降低環境衝擊及負荷以達到環境保護效應。

本研究整理自：綠建築解說與評估手冊

行政院國家永續發展委員會於 1996 年，將「綠建築」納入『城鄉永續發展政策』之執行重點，內政部營建署亦透過『營建白皮書』正式宣示全面推展綠營建政策，環保署亦於『環保白皮書』將永續綠建築納為推動方針，因此在綠化與環保掛帥的二十一世紀，未來市區道路之建設應符合環保與綠化之趨勢。

為建設綠色矽島，強化環境保護與生態保育，並配合聯合國「氣候變化綱要公約」、「生物多樣性公約」、「廿一世紀議程」及「森林原則」等國際公約規範，行政院於 2003 年 1 月，提出「挑戰 2008 國家發展重點計劃」，其子計劃「水與綠建設」，亦特別提出與營建相關之「綠營建計劃」，主要項目涵括平地景觀造林及綠美化等，促使藝術、文化、美質與人性等因子融入公共建設及城鄉環境中，推動建設高品質之生活空間，以形塑具有地區特徵文化、景觀特色與風貌之市區環境。

國科會永續發展委員會於 2004 年提出「永續發展研究-中程計劃」，針對綠色科技研發與應用策略進行相關之研究，營建領域所造成地球環保問題已成

為各國環保政策之重心，惟綠營建 3R 之概念，將減少環境負荷 (Load Relief)、減少材料使用 (Material Relief) 及減少廢棄物之產出 (Waste Relief)，引用綠營建之概念，充分利用自然材質及營建資源之回收再利用，期達成市區道路景觀綠化、生態保育及廢棄物再利用進而提升市區道路之品質。

本研究認為綠廊道之建立，除對市區生態環境面有所助益外，更可達成都市各面向機制之互利共榮，如環境效益、景觀效益及生活效益等，並引領國內市區道路早日邁入永續發展之新里程。

◎ 國外案例

綠廊道之規設及築造，國內外皆有案例探討，並獲珍貴資訊，供未來建立綠廊道研究之借鏡，瞭解何種綠廊道之規劃設計最適宜建立於國內市區道路，惟國內各地區位不同，生態及氣候環境亦各有差異，故蒐集美國、德國、新加坡及國內台東等案例作為探討，以供未來各地方政府設計綠廊道之參考。

美國

美國 Indianapolis 為一高度綠化之都市如圖 3.27 所示，其市區道路間充滿綠意，此種綠色規劃令當地成為一具有高度吸引力與觀光價值之都市，亦創造出市區道路中即可賞鳥與休閒旅遊之附加價值，當地的社區居民亦引以為傲。根據 UCCEF (University of Connecticut Cooperative Extension Forestry, 2001) 研究報告指出：都市綠廊道可直接或間接改善市民的健康和心理狀態，尤以水質與空氣品質之改善最為顯著，此等皆有助於提昇市民之健康。根據 UCCEF 統計顯示，Indianapolis 居民認為於都市中建構綠廊道係有助於生活環境品質優質化。



圖 3.27 美國 Indianapolis 的市區道路綠化

資料來源： Indianagreenways

德國

德國 Karlsruhe 市中央車站附近之高速公路，運用市區道路、鐵路與河川立體交會，作為當地之交通模式如圖 3.28 所示，並在道路上加蓋覆土作為隧道化，隧道上方之綠化覆地作為生物多樣化之棲息地，防止道路建設阻隔原有地區之生態活動路徑。德國除於交通道路上增加綠化面積供生物入境棲息外，每年並持續進行植生管理。運用隧道或高架橋之架設，減少傳統路面施作需要大規模之土方挖掘，盡量避免因挖填行為，剷除大範圍之植被面積，進而影響

動植物之棲息地或遷移。藉由植生覆土保持動植物移動範圍，並可提供動物專用之穿越路徑，使人為開發活動對其產生負面影響與擾動程度降至最低。



圖 3.28 德國生態道路 (沈得縣，2001)

新加坡

新加坡以花園新城的理論為指導前提，大力推動市區綠化運動如圖 3.29。在不同時期提出不同之綠美化目標，同時藉由制定完善之法律規章嚴格執行市區道路之綠化，並鼓勵民眾積極參與綠化，使全國上下一心完成長達四十年的市區道路綠化工程，終將為新加坡贏得東方之「花園都市」的美名。

- 六十年代：提出綠化淨化新加坡，大力種植行道樹，依照市區道路寬度不同予以配置單牌或是雙排之行道樹，提供路人優美之道路環境。

- 七十年代：制訂道路綠化規劃，同時強調特殊空間的配置，並在此時期採用耐蔭、抗污與防塵的植物進行複層植栽，及對停車場及高架橋進行綠化。
- 八十年代：提出道路種植果樹，並增設休閒娛樂設施，使市區道路有更豐的色彩及香氣濃郁的植物種類，增加入口意象。
- 九十年代：將市區道路連接至各式各樣的主題公園，加強人行道的遮陽樹種。

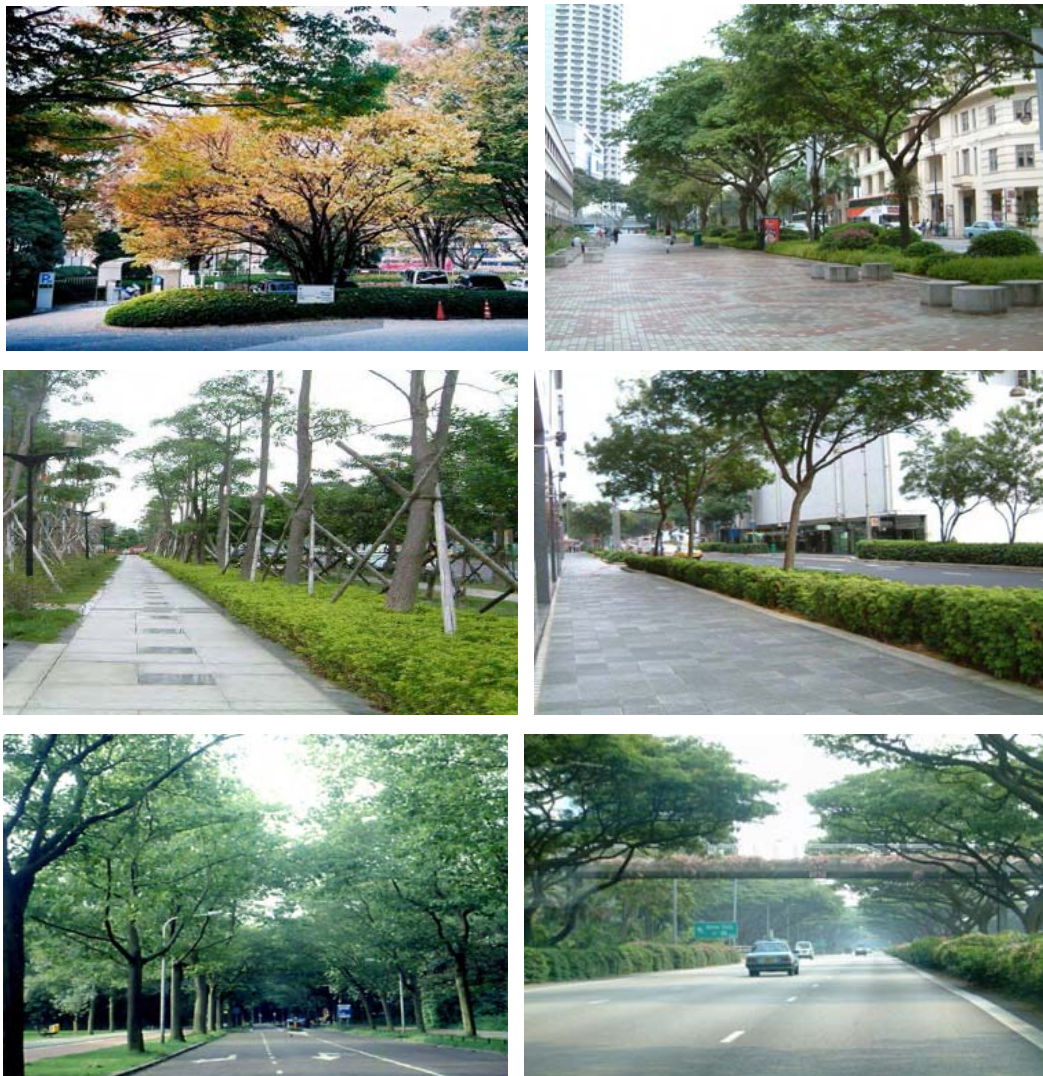


圖 3.29 花園都市新加坡

◎ 國內案例研析

台東

台東武陵之綠色隧道如圖 3.30。道路兩旁之樟樹與木麻黃緊密相連，散發出山林間特有的芬多精及淡雅香味，且濃密枝葉可遮蔽刺眼陽光，另保持自然風味，且極具生態意義之排水溝—草溝與土溝，亦保留台灣往昔景觀道路之美。道路兩旁設有白色半圓形的圖形為自行車道專用，亦為當地特色之一，綠美化的武陵社區內，圍牆亦佈設布農族圖騰與象徵號誌，對觀光旅客而言入口意象相當濃烈。



圖 3.30 台東縣武陵綠色隧道

資料來源：台東縣政府

3.2.3 自行車道之國內外文獻探討及案例研析

隨經濟高度發展，全球對化石資源依賴果，導致石油價格高漲，另溫室氣體之排放亦造成空氣污染及地球暖化，自聯合國「京都議定書」於 2005 年 2 月 16 日生效後，我國為減少溫室氣體排放及節省能源消耗，交通部依 2005 年「全國能源會議」決議，制定運輸部門之「全國能源會議結論具體行動方案」，將「發展綠色運輸系統」、「紓緩汽(機)車使用與成長」及「提昇運輸系統能源使用效率」列為政策推動主軸，並規劃「教育與宣導」和「行動方案之基礎研究」等相關措施，共計 39 項計畫，推估約可減少 16 萬公噸二氧化碳排放，另為響應政府推行『節能減碳』計畫並加速台灣邁進『低碳社會』之步伐，環保署亦根據國民生活習慣訂定『節能減碳十大無悔措施』作為宣導，如圖 3.31 所示。

節能減碳十大無悔措施		
1	冷氣控制不外洩	少開冷氣，多開窗；非特定場合不穿西裝；冷氣控溫26-28℃且不外洩。
2	隨手關燈不浪費	隨手關燈關機、拔插頭；檢討採光需求。
3	省電燈具更省錢	將傳統鎢絲燈泡逐步改為省電燈泡。
4	節能省水看標章	選購環保標章、省能標章、省水標章及EER值高的商品。
5	鐵馬步行兼運動	多走樓梯、少坐電梯，上班外出常騎鐵馬、多走路，增加運動健身的時間。
6	每周一天不開車	多搭乘公共運輸工具；減少一人開車騎機車次數；每周至少一天不開車。
7	選車用車助減碳	選用油氣雙燃料、油電混合、電動車輛或動力機具；養成停車就熄火習慣。
8	多吃素食少吃肉	愛用當地食材；每周一天或一日一餐食用素食；減少畜牧業及食品碳排放量。
9	自備杯筷帕與袋	自備隨身杯、環保筷、手帕及購物袋；少喝瓶裝水；少用一次即丟商品。
10	惜用資源顧地球	雙面用紙；選用再生紙、省水龍頭及馬桶；不用過度包裝商品；回收資源。

圖 3.31 節能減碳十大無悔措施

資料來源：環保署

行政院經濟建設委員會復於2008年6月2日第1,327次委員會議建議：「應朝城市適居性(livability)與永續發展之理念，建構由上而下並發展以大眾運輸為主，自行車及步行為輔之綠色運輸路網，期經由推廣大眾運輸系統、自行車道及健康步道等低污染之綠色路網系統，以達成永續發展、節能減碳及建構交通綠網之國家政策願景」。

在全國能源會議「京都議定書生效後運輸部門因應策略」蕭再安(2005)指出：台灣地區約2,300萬人口，機動車輛約1,900萬輛，其中自用小客車約600萬輛，機車約1,300萬輛，依私人運具與大眾運具之數量配比結果顯示，從1993~1998年，私人運具之數量從73%成長至82%，而1998~2003年私人運具之運量配比更由82%成長至88%，如圖3.32，10年間私人運具增幅高達15%。

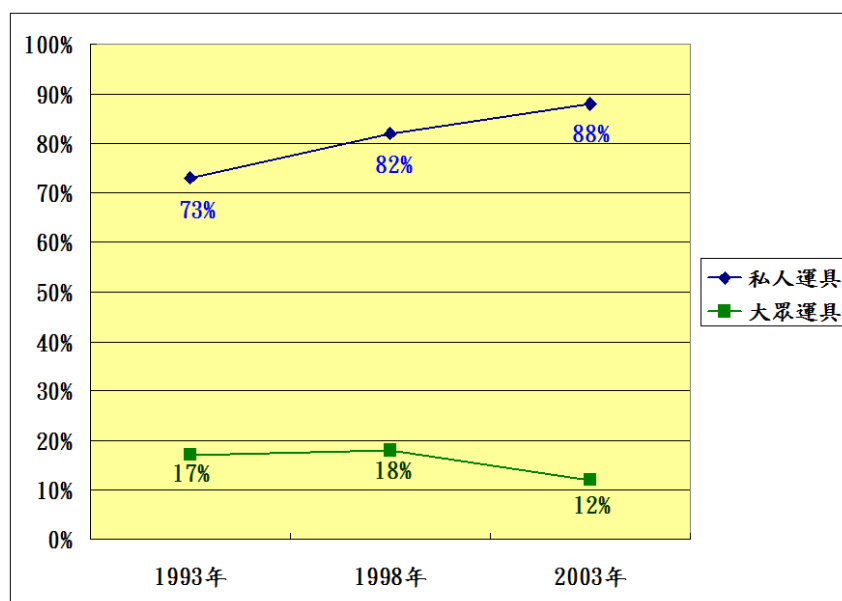


圖 3.32 台灣地區 1993~2003 年運具配比

依交通部「臺灣地區歷年人口及汽車持有數」(2007)統計報告顯示：台灣汽機車總量自1981~2006年呈逐年增加趨勢，如圖3.33，於2006年汽機車總數已超越2,000萬輛，因此如何使綠色運具取代私人運具，並加速台灣邁入低碳社會之步伐實為一大挑戰。

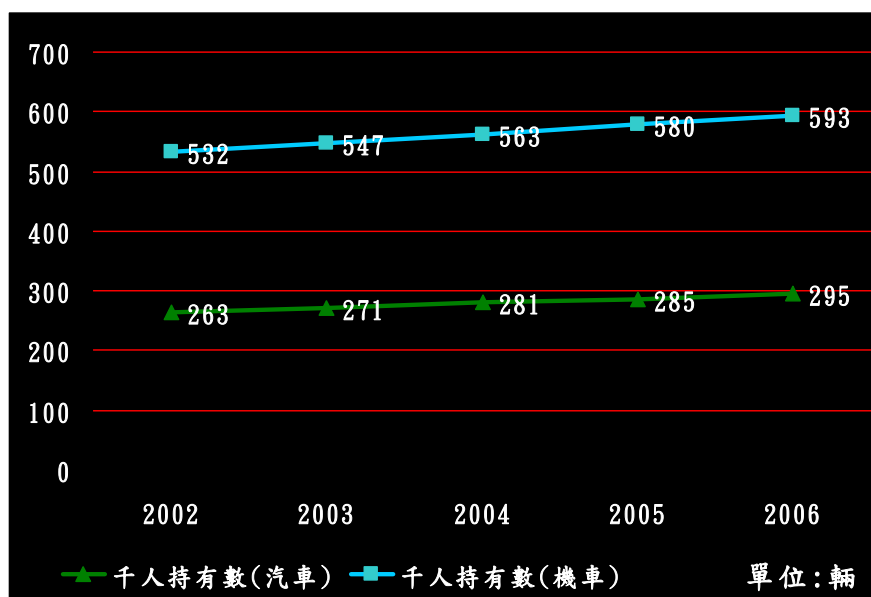


圖 3.33 台灣歷年汽機車千人持有數

根據交通部「我國機車駕照管理制度之潛在問題與改善對策」(2005)之調查數據顯示，世界主要國家機車持有率，如圖 3.34，台灣每千人平均擁有 547 輛機車，每公里道路機車數更高達 327 輛，機車密度為全球之冠；世界主要國家汽車持有率，如圖 3.35，台灣每千人平均擁有 271 部汽車，每公里道路汽車數達 156.2 部，雖我國汽車持有率非全球最高，惟台灣地狹人稠且居住密度高，造成市區道路擁塞問題日益嚴重，導致民眾通勤時間增加，經濟活動生產力受限，此外汽機車排放之污染亦影響國民健康甚鉅。根據加州大學洛杉磯分校(UCLA)「Study shows how ultrafine particles in air pollution may cause heart disease」指出：空氣污染將直接導致心血管疾病，並可在五周內對人體造成影響，故未來應於市區道路推行大眾運輸系統及綠色運具，以期緩解道路擁塞及空氣污染情形。

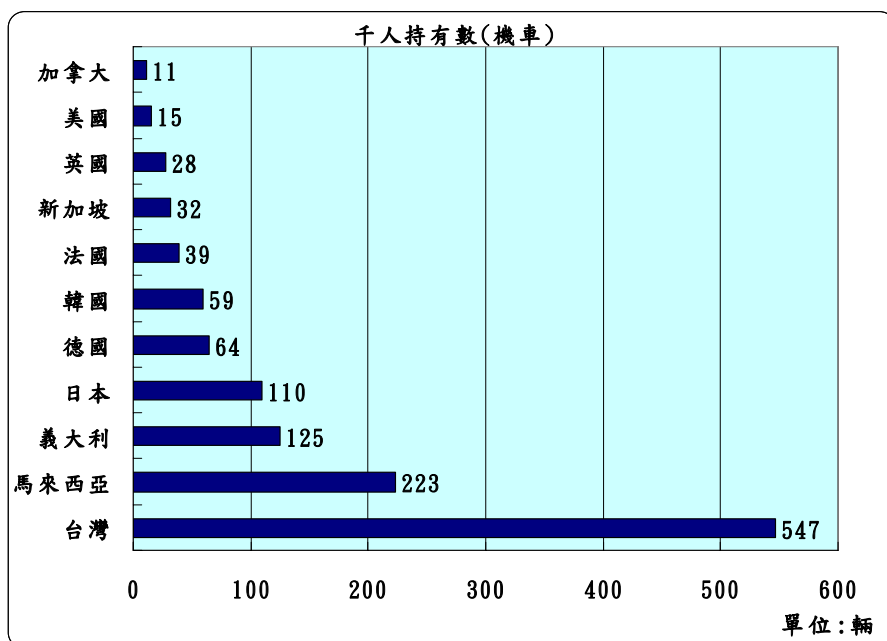


圖 3.34 世界主要國家機車持有率

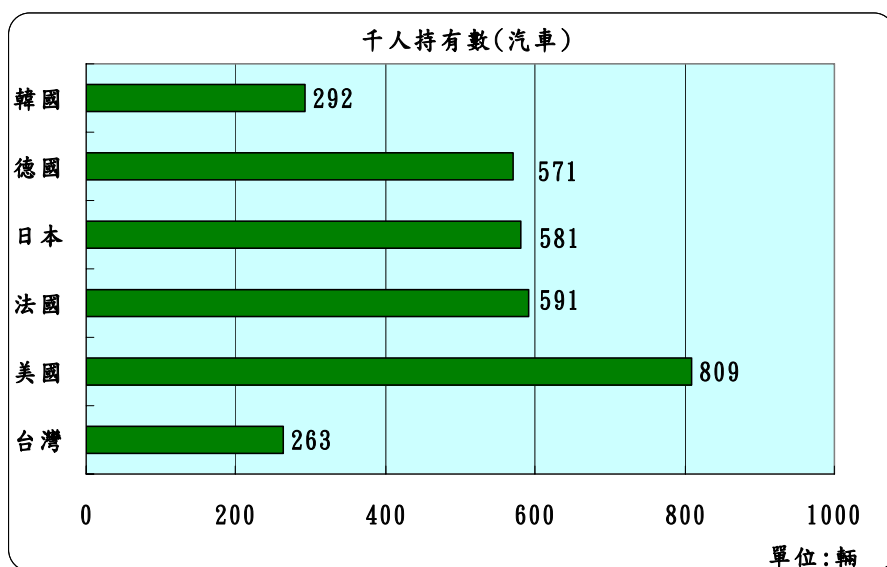


圖 3.35 世界主要國家汽車持有率

工研院能環所(2007)指出：台灣為世界機動車輛密度最高之國家，由於過度仰賴私人運具導致溫室氣體大量排放，其中以 CO₂ 總排放量之成長趨勢最為突出，自 1990 年 CO₂ 總排放量為 110,626 千公噸，而 2006 年成長至 265,276 千公噸，同期成長 2.398 倍；而平均每人 CO₂ 排放量亦由 5.47 公噸/人成長至

11.66 公噸/人，如圖 3.36。另中央研究院經濟所指出：若 2012 年後，國際要求台灣於短期內減少 25% 溫室氣體排放，估計我國經濟成長率將降低 1.57%，而整體物價則上漲 2.26%，對台灣經濟將造成極為嚴重之衝擊。

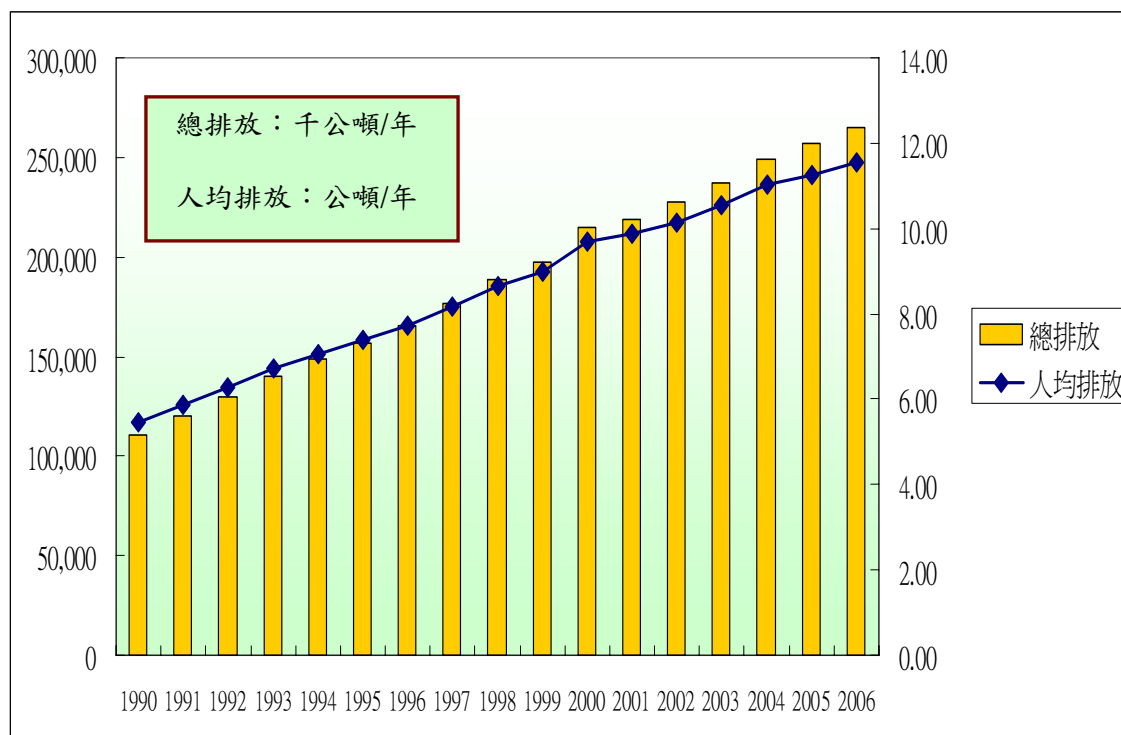
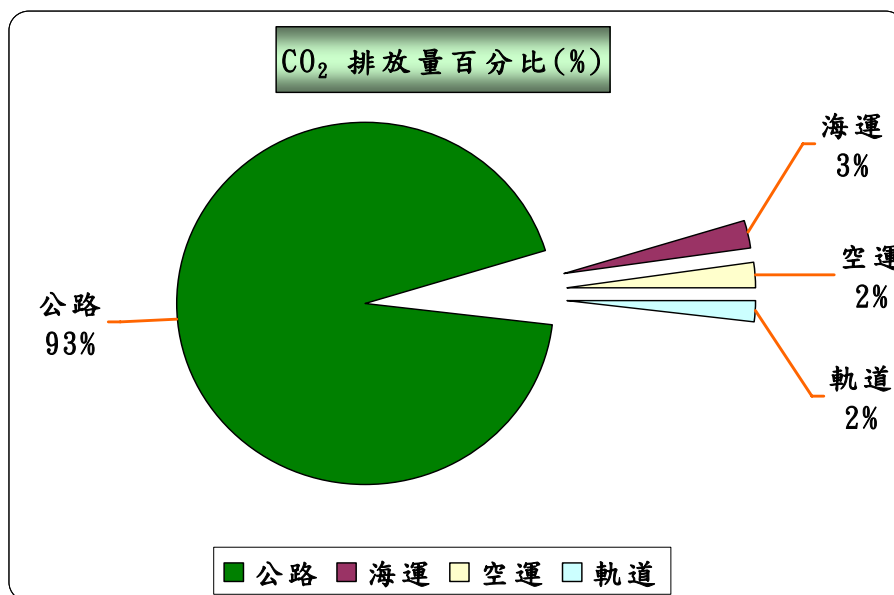


圖 3.36 1990~2006 年 CO₂ 排放量

資料來源：工研院能資所

行政院經濟建設委員會「人本交通之時代意義」(2008)之調查數據顯示：我國運輸部門之 CO₂ 排放量，如圖 3.37，故運輸部門之節能減碳應由公路運輸系統著手方可獲得較大成效；另人本交通之推動，主要為營造人性化之交通環境，引導民眾使用步行、自行車及大眾運輸等綠色運輸系統等，皆有助於達成節能減碳之目標，故本研究認為推廣大眾運輸系統及綠色運具，不僅為世界趨勢，同時亦可改善交通擁擠、能源損耗及空氣污染等問題，實為必須且急迫之發展方向。

圖 3.37 我國運輸部門之 CO₂ 排放量

近代都市交通運輸多以道路運輸為主，故都市交通規劃多遷就實際狀況劃設不同功能之道路層級與交通路網，致使政府部門多以執行道路新建計畫，以滿足不斷成長之汽機車數量與運旅需求，惟道路新建終究趕不上汽機車成長速度，且無法有效解決交通擁塞問題，故發展便捷、快速與經濟之綠色運輸系統成為近年積極推廣目標，引導大眾使用綠色個人運具或搭乘大眾運輸工具，以利既有之交通系統降低 CO₂ 排放量，並減緩空氣污染及紓解擁塞交通。

依交通部運輸研究所「綠色運輸系統與土地使用規劃整合之研究」(2008)對於綠色運輸系統之內涵：若以最嚴格之角度定義綠色運輸系統，凡利用人力、動物或再生能源等動力驅動之運具，其對能源消耗量幾近為零，此即可稱為綠色運具，則目前利用石油及電力等不可再生能源驅動之運具，如汽機車、公車、軌道、捷運系統等皆不屬於綠色運具，惟目前以汽機車為首所造成的空氣污染及能源損耗等問題觀之，則利用電力及石油驅動之大眾運輸系統，因其單位能源運載效率較私人運具高，故公車、軌道及捷運等大眾運輸工具雖有能源消耗，惟相較於私人運具，對於環境污染面相對友善，故以宏觀角度視之，大眾運輸系統雖無法與利用人力、動物及再生能源之運具相比，但仍具綠色運

輸內涵。

綜合上述，本研究認為綠色運輸之內涵為針對既有道路交通系統加以綠化修正，如短程運輸方面，以自行車配合良好道路規劃及景觀設計，發展出「以人為本、生態綠化及永續發展」之綠色運輸路網。另由環境面向視之，CO₂排放量增加係造成全球暖化主因之一，故降低 CO₂ 排放量亦為市區交通之重點課題，故大眾運輸系統之建造及綠色運具之推廣皆為未來都市發展及土地利用計畫之重要環節，欲降低民眾使用私人運具的意願，而多使用綠色運具或大眾運輸系統，首應提供良好之運輸環境，故本研究提出市區道路自行車道設計原則，期未來以「大眾運輸」為基礎、以「綠色運具」為導向及「永續發展」為目標，成為都會地區自行車道之設計準則。

◎ 國外案例

自行車於都市文明發展過程中扮演著重要的角色，國外自行車除為日常通勤之交通工具外，於閒暇時刻騎乘自行車賞景及健身亦為休閒活動主流，而台灣隨著休閒活動與環境保護意識抬頭，積極推動發展自行車休閒運動，使得自行車由早期行的運具演變成現代休閒運動的主流之一，各地方政府亦相繼規劃自行車專用道，燃起騎乘自行車旅遊新風潮，如：台北市河濱公園環河自行車專用道、台中縣東豐自行車綠廊、高雄市愛河自行車專用道等。

為配合政府「挑戰 2008 國家發展重點計畫」建立 E 世代終身學習運動方案，各地方政府亦積極建構自行車路網，並規劃串聯各區域之綠廊，以提供國人完善之自行車道系統，期可達到「國民運動環境之改善」及「運動人口倍增」之目標。故本研究蒐集國內外自行車道案例及其設計原則，並研析何種自行車道之設計最適宜建立於國內市區道路，以供未來各地方政府設計參考。

丹麥-哥本哈根(Copenhagen)

哥本哈根為丹麥首都，人口約 50 萬人，其都會地區約有 300 公里的自行車專用道路，依哥本哈根道路建設法規定，城市主要幹道皆應建立自行車專用

道，如圖 3.38。自行車專用道之設計，亦反映丹麥政府在規劃上的細心，為維護自行車騎士安全，自行車道多建構於人行道與停車格之間，使自行車與汽機車間有停車車輛的保護和緩衝，另自行車道亦設有專用號誌燈，賦予自行車與車輛等同之交通地位。



圖 3.38 丹麥哥本哈根

資料來源：西雅圖凹凸鏡

荷蘭-布雷達(Breda)

荷蘭人口約 1,600 萬人，自行車約有 1,800 萬輛，自行車持有率為世界之冠，荷蘭全國之自行車道總長更高達 17,000 公里，如圖 3.39。另荷蘭因地勢平坦且逾半數土地皆低於海平面，對於環保問題向來極為重視，因此政府大力推行兼具安全與環保的自行車，此外荷蘭市鎮距離多於 7.5 公里，非常適合以自行車通勤與休閒；若為中長程旅次亦可將自行車收納至大眾運輸工具配合使用，此政策非但成功抑止機動車輛之成長，更使自行車成為荷蘭主要交通工具之一，亦為荷蘭贏得自行車天堂之美名。





圖 3.39 荷蘭布雷達

資料來源：本研究委託拍攝

澳洲-阿得雷德(Adelaide)

澳洲大眾運輸系統雖然便利，惟兼具環保節能又可健身之自行車，仍是深受當地人喜愛的交通工具，如圖 3.40。澳洲擁有平緩的地勢及規劃完善的自行車道，故市街隨處可見自行車騎士，甚至員警巡邏均以自行車代步，另自行車出租店更充斥於大街小巷。澳洲政府對於自行車道之安全性亦特別重視，不僅於路口設置顏色鮮明之鋪面，更於轉向處增設自行車專用號誌，提供自行車騎士最安全之騎乘環境。





圖 3.40 澳洲阿得雷德

資料來源：本研究委託拍攝

◎ 國內案例

環河自行車專用道

環河自行車專用道，位於台北市景美溪河畔，全長約為九公里，河濱兩岸沿途景觀秀美綠草如茵，如圖 3.41，惟因於行水區無法種植大量喬木以供自行車騎士遮蔭。此自行車道除可於河濱騎乘自行車，亦可在堤頂步道散步，另於道南橋頭設有自行車專用木橋連接兩岸，亦可直通指南宮及台北市立動物園等台北觀光勝地。



圖 3.41 環河自行車道

東豐自行車綠廊

東豐自行車綠廊，位於台中縣石岡鄉朴子口，為全國第一條由廢棄鐵道改建為自行車專用道路之自行車道，全長約為十二公里，如圖 3.42，車道沿途均採大量植栽綠化，儼然成為「綠色的大甲溪」，綠廊風情令人心曠神怡，沿途景觀秀麗，其動線行經石岡水壩，並與后里鐵馬自行車道相接軌，於此可體驗騎鐵馬、跨鐵橋與鑽隧道之獨特休憩經驗，為台中地區最具特色之自行車道。



圖 3.42 東豐自行車道

愛河自行車專用道

愛河自行車道位於高雄市區並串聯愛河河堤兩岸，全長約為二十四公里，如圖 3.43。此自行車道不僅以社區鄰里為主軸，更強調人文素養及生態景觀，全程連貫高雄市當地重要景點，如客家文物館、光之塔、蓮池潭與歷史博物館等，夜間更藉由沿岸建物燈光散發炫麗迷人景緻。



圖 3.43 愛河自行車專用道

3.2.4 人行道附屬設施物與控制樞紐改善

步行乃人類最基本之移動方式；故一完善現代化的都市人行道系統，應可提供行人安全、舒適、迅速及便利到達目的地。道路系統如同人體脈絡分佈，具情境空間的劃分切割並兼具生存氛圍的串連互通之功能，目的為連續各點間

的移動行為。台北市為台灣都市規劃與發展最具影響與指標之城市，故本研究對於市區道路之品質研究，將以台北市人行道作為規劃對象，期使人行道維護更趨於理想，進而提升都會大眾之生活品質。

人行道（Sidewalk）係指設於街道旁專供行人使用之都市硬體設施，包括整個市區步道系統：行人陸橋、行人地下道、行人穿越道、騎樓走廊、紅磚人行步道、建築物間之連接道。

目前國內座落於人行道的附屬設施物種類相當繁雜，如郵筒(箱)、行道樹、夜間照明、通風設施、防災設施、電力系統控制箱、電信通訊控制箱以及交通號誌控制箱等；此等附屬設施物擺設位置，中央法規並無相關法條予以制約，各項次均由各地方政府機關直接管轄；而其設置模式有私人設置、政府單位設置以及委外設置等三種，故人行道附屬設施物之擺設位置及形式極為雜亂無章，造成行人步行品質大幅下降。

人行道附屬設施物改善將針對國內人行道附屬設施物之現況，包括種類、管理單位、設置現況及目前問題做一敘述與探討，以釐清人行道附屬設施物之擺設位置與管理維護責任，希冀提供各縣市政府未來改善維護之建議，圖 3.44 為人行道整體改善建議。

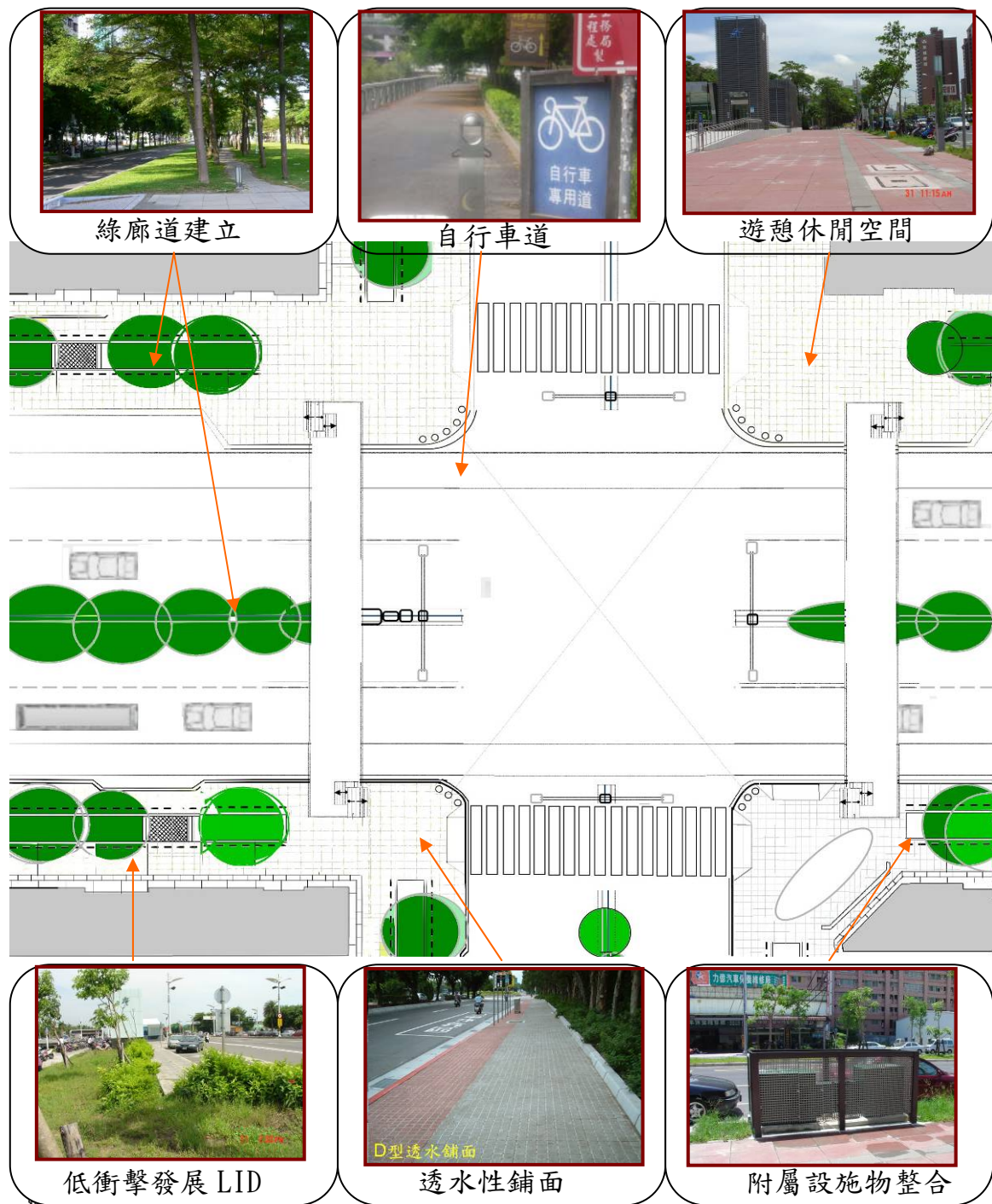


圖 3.44 人行道整體改善建議

3.3 低衝擊開發應用於市區道路之效益評估

低衝擊開發設施種類繁多，佔地大小不一，建造成本及維護管理繁簡亦各有異，適於新舊道路之配置亦應注意，故應用於市區道路，評估其效益，需先瞭解此等設施規劃和設計之基本原則。

3.3.1 低衝擊開發應用於市區道路規劃之主要原則

通常都市住宅區與道路的規劃，較少考慮環境敏感區與自然特徵低衝擊開發場址設計。土地開發項目各不同，很難兼顧每塊土地開發之設計，設計者應顧及該場址設計因素和變因。低衝擊開發場址之設計原則，可分為三個層面，參考圖 3.45，惟設計與開發者應依開發場址特性，建立詳細項目。

一、場址分類

1. 可施作區域

可施作區域，為限制最少的開發限度，如環境敏感區的特徵、維護管理的限制和區域分散處的多寡。場址的可施作區域，應分散各小區域施作 LID 設施，而非集中施作在大區域內。分散各小區域施作 LID 設施除可保護敏感區，亦可減少街道的基礎設施成本。設計窄小的街道寬度，可增加公共空間，減少土地的開發和降低開發成本。

2. 不可施作區域

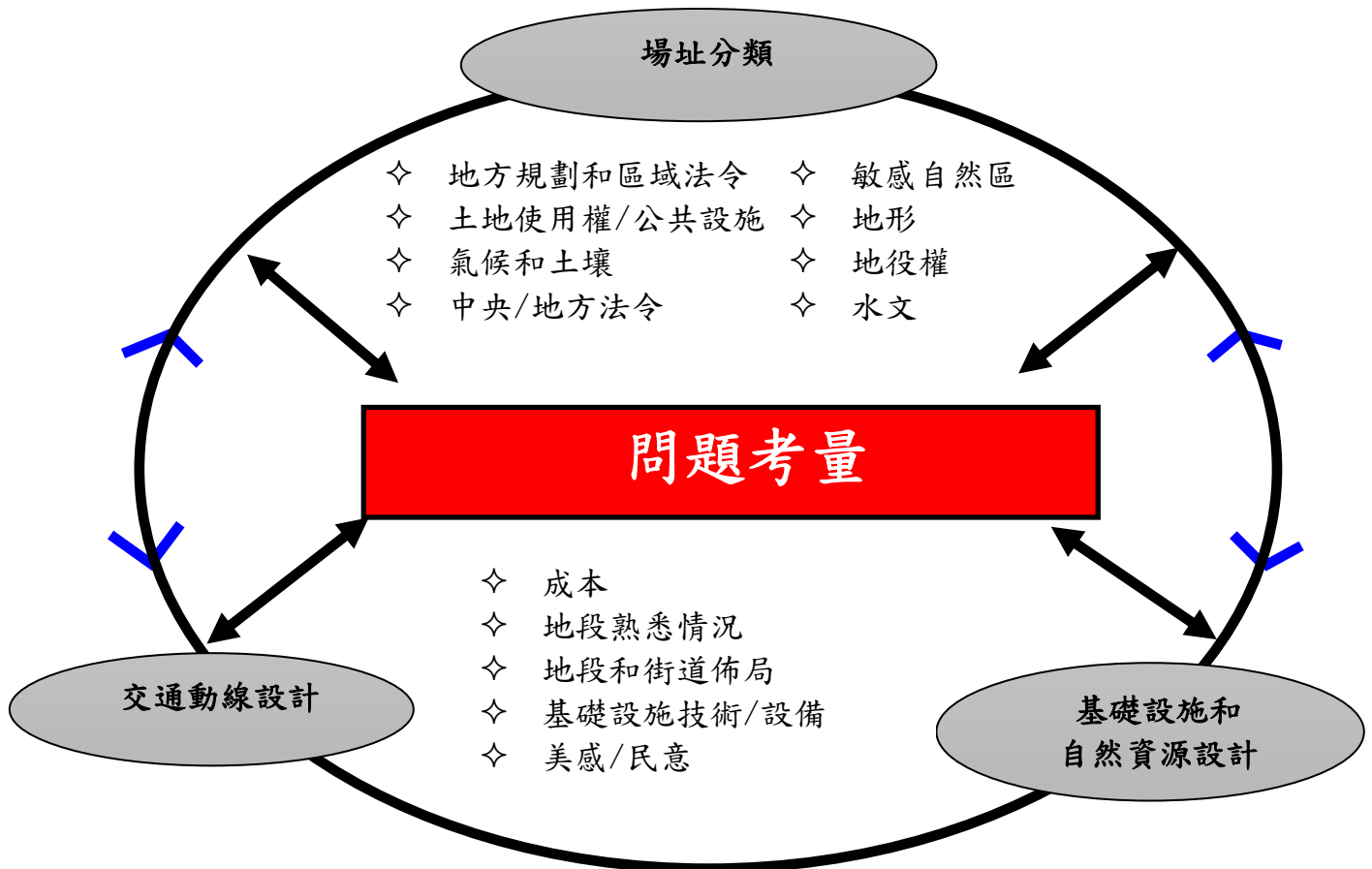
不可施作區域，乃地區不易維護管理和環境敏感區，不允許開發。

二、交通動線設計

良好的設計，繫乎行人和車輛的交通動線成功與否。土地開發之基礎設施項目中，以道路建設費用最多，設計方面應盡量減少路面寬度，開放空間提供公共設施帶。在停車場、交通動線處，盡量減少施作不透水鋪面。道路應設在地形高處或依自然地形、地貌與地質建造。社區道路或街道容易發生車禍處，可將筆直道路改為彎曲道路，除減緩車輛速度，增加行駛人安全，亦可增添景觀趣味。

三、基礎設施和自然資源設計

基礎設施和自然資源的結合，先決條件需徹底了解場址之地形特性，且 LID 之設施與技術必須配合場址的規劃與設計，因設計減少道路寬度所提供的開放空間，可採用自然資源設計的理念，施作小型之污水處理系統，替代原傳統污水處理系統。



本研究整理自：The Practice of Low Impact Development，2003

圖 3.45 低衝擊開發場址設計

據國外低衝擊開發場址設計原則，市區道路擬應用低衝擊開發時，應於規劃設計階段先瞭解其可行性。茲將規劃原則列舉如下：

- 一、配合都市計劃。
- 二、既有市區道路之可用空間。

- 三、市區道路之土壤性質。
- 四、不同低衝擊設施成本、維管。
- 五、交通動線設計考量。
- 六、中央與地方法令之配合。
- 七、氣候狀況。
- 八、配合民意。

3.3.2 低衝擊開發設施及其設計原則

LID 在國外推廣已歷 20 餘年，針對都市、社區、交通運輸可採用植栽、透水材料、滲透設施、貯留設施，使雨水保留於土體內，間接補助地下水。台灣市區道路不透水面積過度密集，致颱風、大雨時，造成低窪地區排水系統之雨水下水道堵塞。故市區道路以保水、滲透、滯留加上自然排水的概念，納入低衝擊開發設施，參考圖 3.46 低衝擊開發設施於市區道路示意圖，必能降低都市排水系統之負擔。

目前國內仍使用傳統雨水下水道，而歐美地區已採用 LID 概念規劃設計自然排水系統，另為響應目前國內推動「綠建築九大指標」及公共工程委員會之研究報告提及綠營建考量之面向均有保水、水資源再利用等指標，國內速應推動 LID 概念規劃設計自然排水系統。惟國外 LID 繁多設施是否均適於國內市區道路環境，則可配合市區道路之運用，經過評估採行。茲將美國低衝擊開發之植栽行濾帶設施搭配日本雨水貯留滲透設施，參考圖 3.47，提供九項較適合國內市區道路之設施或技術如下：

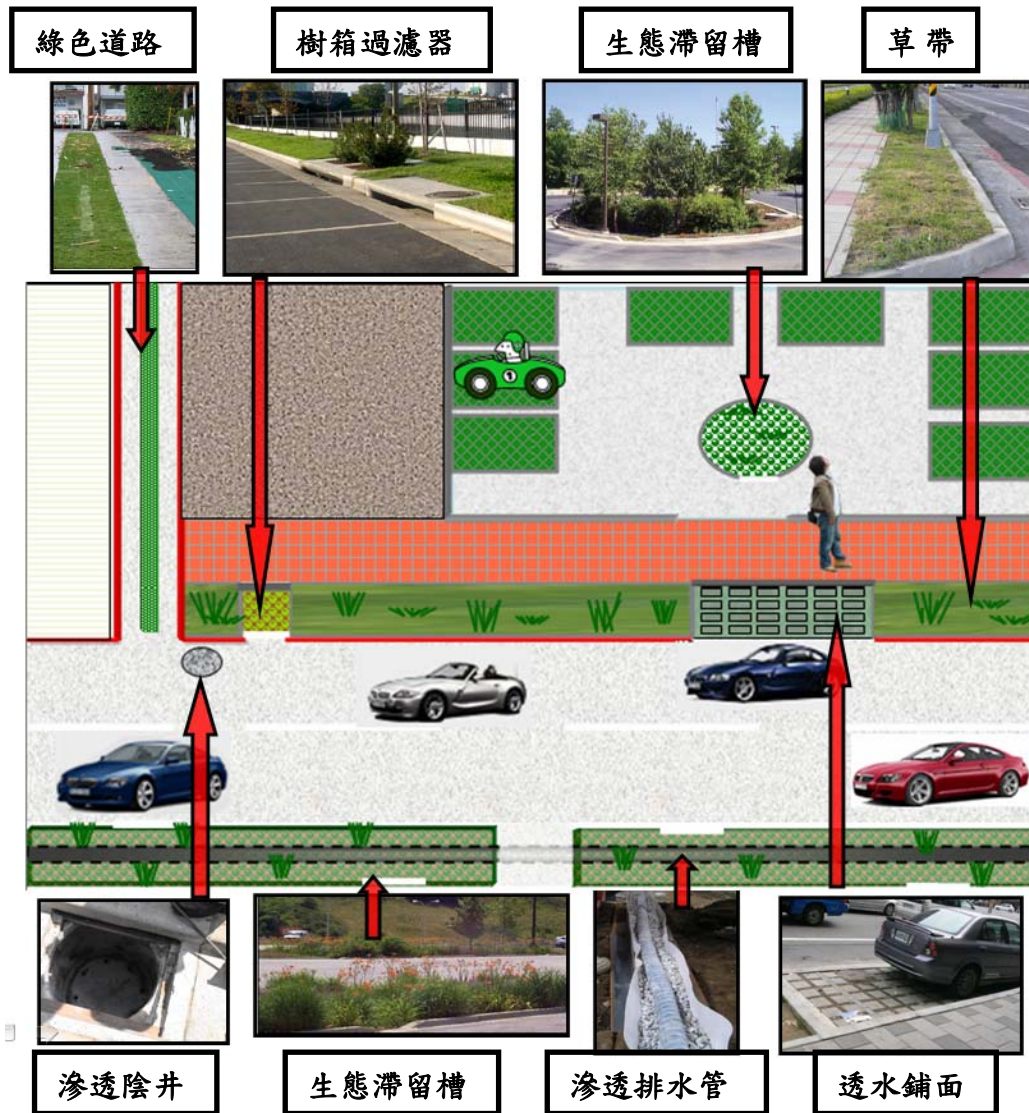


圖 3.46 低衝擊開發設施於市區道路示意圖



圖 3.47 植栽型濾帶與入滲型設施

一、生態滯留槽

生態滯留槽(Bioretention Cells)，可以小面積、小區塊形式設計為滯留槽，設置於停車場分隔島或道路分隔島。小型暫時貯留型式如圖 3.48。滯洪池將暴雨截留並過濾污染源如：重金屬磷、總凱氏氮(TKN)、氮和硝酸鹽等，最後雨水入滲至地表底下。道路交通系統中，較寬闊道路多設有分隔島，大型分隔島可供休憩步道和自行車道。市區道路可利用分隔島，作為小型貯留兼具滲透。若能有效運用分隔島或停車場之剩餘空間，將可減少道路排水系統的負荷。

A、設計原則：

分隔島若較道路鋪面低，則可提供小型蓄水，惟須設置雨水入流口與溢流口。植栽部份以能吸附污染物、高耐水性植物為佳，並應定期清除淤泥，注意溢流口之清潔避免阻塞。停車場採種植喬木或灌木，分隔島種植草類。設計原則參照圖 3.49 有下列：

1. 生態滯留槽寬度，可依照「市區道路交通島設計手冊」分隔島寬度。

若欲栽種植栽，其寬度至少應在 1.2 公尺以上；分隔帶寬度小於 1.5 公尺者，以栽植灌木、地被植物為主，避免栽植喬木。

2. 積水深度小於 22 公分。
3. 表土層挖掘深度界於 60~120 公分，灌木或樹木挖掘深度為 90 公分；分隔島植草挖掘深度為 60 公分。表土層：85%~88%（水洗砂）+8%~2%（泥沙+黏土）+3%~5%（有機土）。
4. 水洗砂層 5-10 公分，可供過濾。
5. 底層鋪設 57 號篩水洗石深度 15-20 公分，並設置排水管供礫石層排水。
6. 清潔管連接排水管(管內直徑 15 公分以上)，以便定期清理管內阻塞物，排水管連至雨水下水道。
7. 底層至少高於地下水位 0.3 至 0.6 公尺。
8. 入流口之，可依照「市區道路交通島設計手冊」柵欄式緣石之高度（花抬高度），約 15~20 公分，入流口開孔緣石進水口之開孔長度不得小於 50 公分，高度不得小於 8 公分。

B、注意事項：

1. 定期修剪植被及灌木，依照「市區道路人行道設計手冊」灌木高度應在 1.0 公尺以下，避免過分之阻隔性。
2. 分隔島若較道路鋪面低，則可提供小型蓄水，惟須設置雨水入流口與溢流口。植栽部份以能吸附污染物、高耐水性植物為佳，並且定期清除淤泥，注意溢流口之清潔避免阻塞。
3. 停車場採種植喬木或灌木。分隔島考量視線之阻隔性，不適種植喬木或灌木，宜種植草類。



圖 3.48 停車場內(左)與分隔島(右)設置生態滯留槽

資料來源：Low Impact Development Technical Guidance Manual For Puget Sound，2005

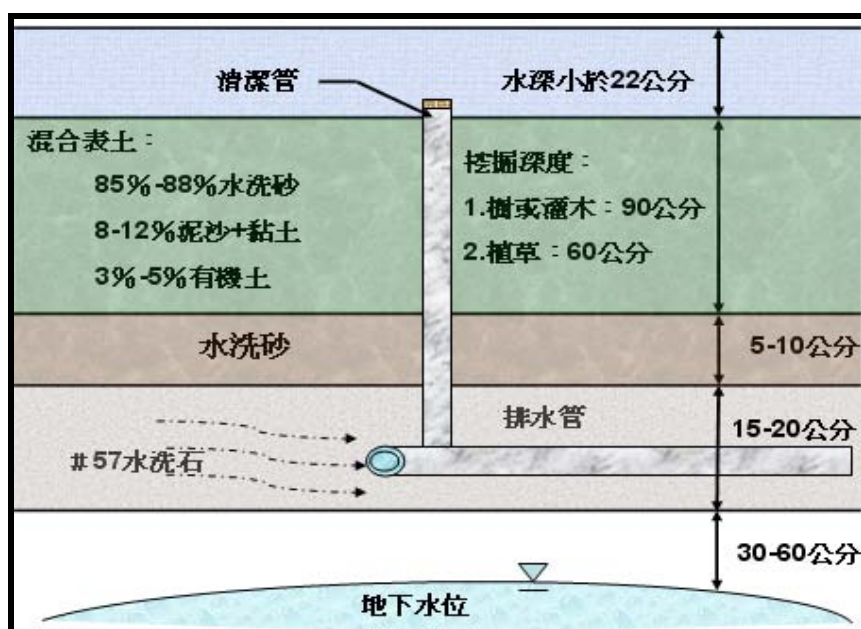


圖 3.49 生態滯留槽剖面構造示意圖

二、草溝

草溝，係自然排水系統之技術，既是排水系統並兼具滲透功能；利用樹木及草類等植生控制雨水之逕流速率，為自然且經濟之方式。廣義草溝涵蓋：綠地、被覆地或草溝，將相關設施結合環境之綠美化，不僅具有滲透效能，亦可增加景觀價值。多孔隙土壤可用於施作乾式草溝，而排水力較差的土壤可用於施作濕式草溝。可設置於市郊道路側面如圖 3.50，中央分隔島及停車場。



圖 3.50 西雅圖郊區旁草溝排水系統

資料來源：Low Impact Development Technical Guidance Manual For Puget Sound，2005

A、設計原則：

草溝，係指內部植草之排水道，通常設計較為寬淺，可配合現地之地形設計，妥善利用自然地形，使基地內各低窪地相連，非僅擁有排水效能，且可藉草溝將地表逕流引導進入地下土層中，如圖 3.51。草溝入口，需設處理設施，過濾顆粒較大之砂石或雜物，降低草溝滲透面阻塞機率及草溝破壞。草帶斷面較為寬平，逕流可均勻分佈形成薄膜水流，使接觸面積最大化，增加入滲量及去污能力，故可在逕流入口處設置一水平溢流堰阻擋地表逕流，經由堰口之溢流逕流勻佈整個草溝寬度。為增加入滲之效能，設計草溝流量時不宜過快，其縱向坡度應小於 5%，其設計原則如下：

1. 坡地不陡於 4：1（橫：直），最好為 6：1（橫：直）。
2. 水流連續不斷或流速超過 1.5m/sec 或鬆軟土質時，宜採用乾式草溝。
3. 排水、截水溝渠之斷面應符合排洪需要，並採重現期距 25 年以上之降雨強度設計之。
4. 至少高於地下水位 0.3 到 0.6 公尺。

5. 窪地應有覆草和攔水壩，控制溢流和流速。

6. 深度不得大於 0.3 至 0.9 公尺。

B、注意事項：

1. 草溝排水口應予保護，避免侵蝕。

2. 建構後，前半年應多做檢視，確保植生生長。植被高度超過 15 公分應修剪，修剪之草屑應立即收集清除。

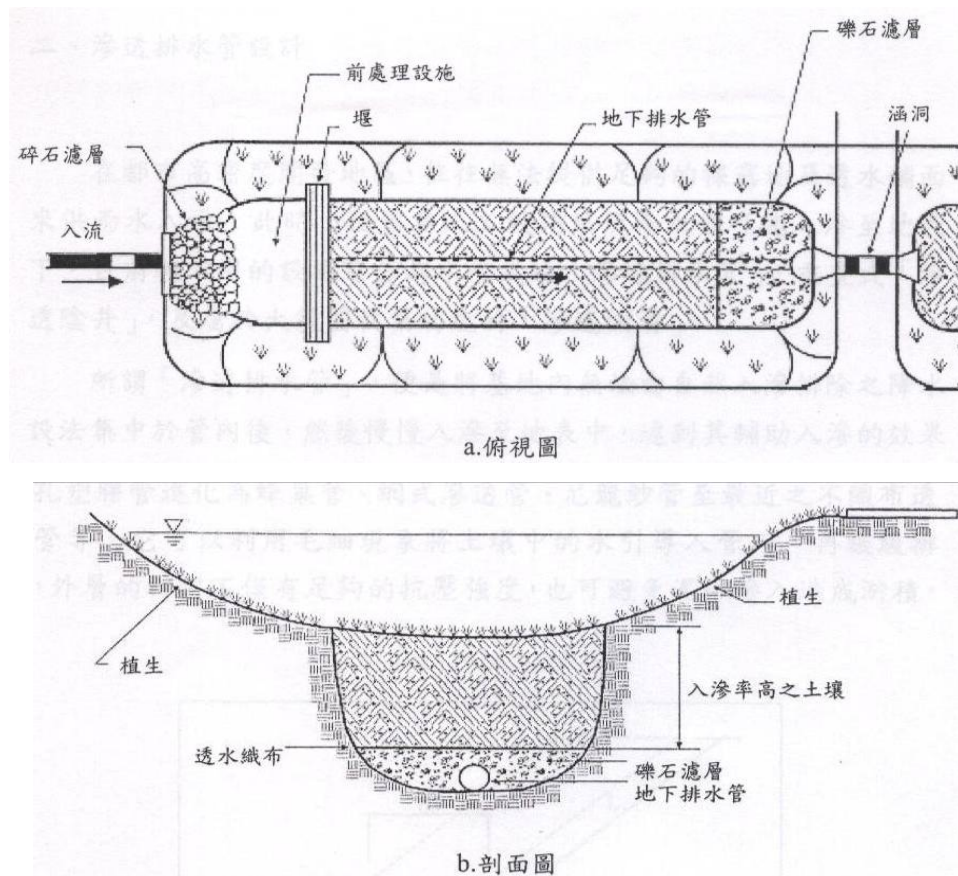


圖 3.51 草溝構造示意圖

資料來源：廖朝軒等修改自 Prince George's County，1999

三、草帶

綠地及被覆地均可謂草帶（或稱為過濾帶、緩衝帶）。將不透水之地表匯集逕流，藉滲透導入土層中，增加滲透量達到保水之功效，並可在草地上形成薄膜流，經由植被過濾與吸附去除粒狀及部分溶解態之污染物。污染物移除機

制包含沈澱、過濾、入滲，和吸附。污染物移除機制取決於過濾帶之寬度、坡度、土壤滲透度、集水區大小和流速。適用於小區域或不透水區域之四周，如圖 3.52 設置在人行道路旁。

主要限制在於土地坡度和面積大小。過濾帶在具有滲透性土壤之平地上操作最佳。

A、設計原則：

市區道路旁設置時，可參考「市區道路人行道設計手冊」。公共設施帶之寬度，取決於人行道寬度，設計公共設施之花圃寬度 1.5m，設置在人行道上，依照人行道橫坡設計，建議橫坡坡度以 2% 為原則，最小 0.5%，最大 4%，可提供雨天人行道之逕流導入草帶。

B、注意事項：

維護：定期割草，避免草滿地，有礙市容觀瞻。



圖 3.52 高雄市博愛路三段

四、透水鋪面

近年來，為雨水還原地下、維護生態系統發展及減少水域污染而採用透水

性路面，此類路面係利用滲透和表面蒸發方式處理路面雨水。另外，國內為提高交通安全，改善雨天路面打滑現象（hydro-planing）而使用多孔性面層之排水性路面，其底層即將雨水自側面排水，此路面無法將雨水還原地下。

透水性路面因具有將雨水滲透至地下，故不會導致土壤中缺氧等現象，植物之地下生長狀態良好。另一方面，工業發達區域工業用水一部份由地下水供給；過度利用地下水，除引起地面下沈，更招致城市、河流、湖泊的枯竭，進而導致海水入侵。若鋪築透水性鋪面，將可利用其保水功能，形成一「地下水庫」提供必要之水資源調度。再者，隨著都市化產生之污水流出量大增，不但增加下水道等排水設施的負擔，特別是採用合流制下水道的城市，雨天之污水流量比晴天之單位時間最大污水量更大，致超過處理污水能力，直接流放至公共水域，造成水質之污染。透水性鋪面之級配層具有過濾污染物之基本能力，故可減輕污水處理系統之負擔，避免污染物之擴大。同時對行車噪音具減少功效，依據瑞典研究機構量測，透水性瀝青對行車產生之噪音可降低 4 至 5 分貝。

透水性瀝青混凝土與傳統鋪面之主要差異，在於級配料之配比，如開放式級配瀝青混凝土混合料，其包含較高百分比（重量百分比）的粗骨材級配（大於 No.4）。透水性瀝青混凝土鋪面具有良好之耐久性及排水性，預計未來將廣泛應用於停車場及中低承載路面。

目前國內之道路，不論高速公路、省縣道路或人行道，多為不透水性鋪面；另有部分道路於其上加鋪 1.5cm 之排水性表層，惟透水效果均不理想。另外，由於透水性瀝青混凝土鋪面其表層性質之變異性大，施工階段不易掌控，故需對表層材料作一相當了解，方能於施工階段控制所需之品質。

A、設計原則：

1. 車道鋪面：考慮交通量、CBR 值、保水量及降雨強度等，以能承受交通荷重應有厚度及透水功能之鋪面。
2. 人行道鋪面：鋪面面層不積水為主，提供行人舒適性之透水鋪面。

透水性鋪面基本構造，由上而下依序為面層、底層、過濾層及基層構成，

如圖 3.53 所示。面層不採用一般鋪面之瀝青透層及黏層，以免阻礙雨水滲透；底層具有承受面層之承載壓力，並具有儲水之能力，人行道承載設計較低，底層一般為單一層次，車行道之承載較高，底層分為上層底層及下層基層；過濾層在雨水滲透時，具有過濾作用，且能防止路基土壤侵入底層。鋪面各層厚度之建議值，視材質、車流量及保水功能而有所調整如圖 3.54 所示。

B、注意事項：

1. 鋪面完工前四個月，每月檢視一次，往後每年檢視三～五次。
2. 大雨後即檢視表面是否積水，若鋪面嚴重阻塞，需翻修
3. 視鋪面阻塞狀況，每年清理三～五次，使用吸塵及高壓水柱沖洗兩道程序。

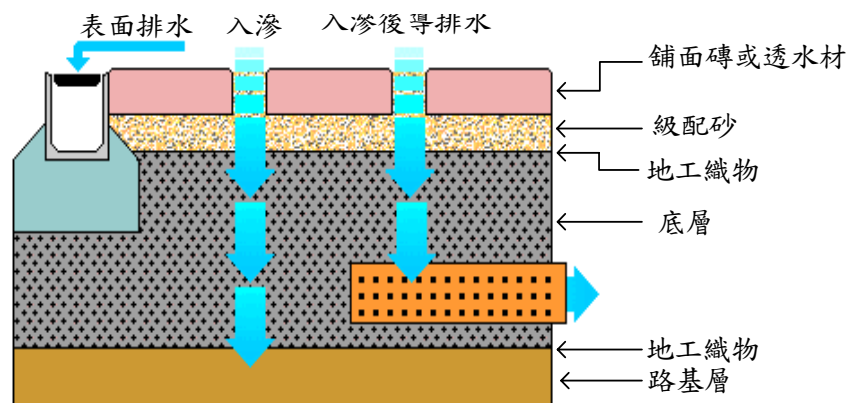


圖 3.53 一般透水性鋪面基本結構剖面圖

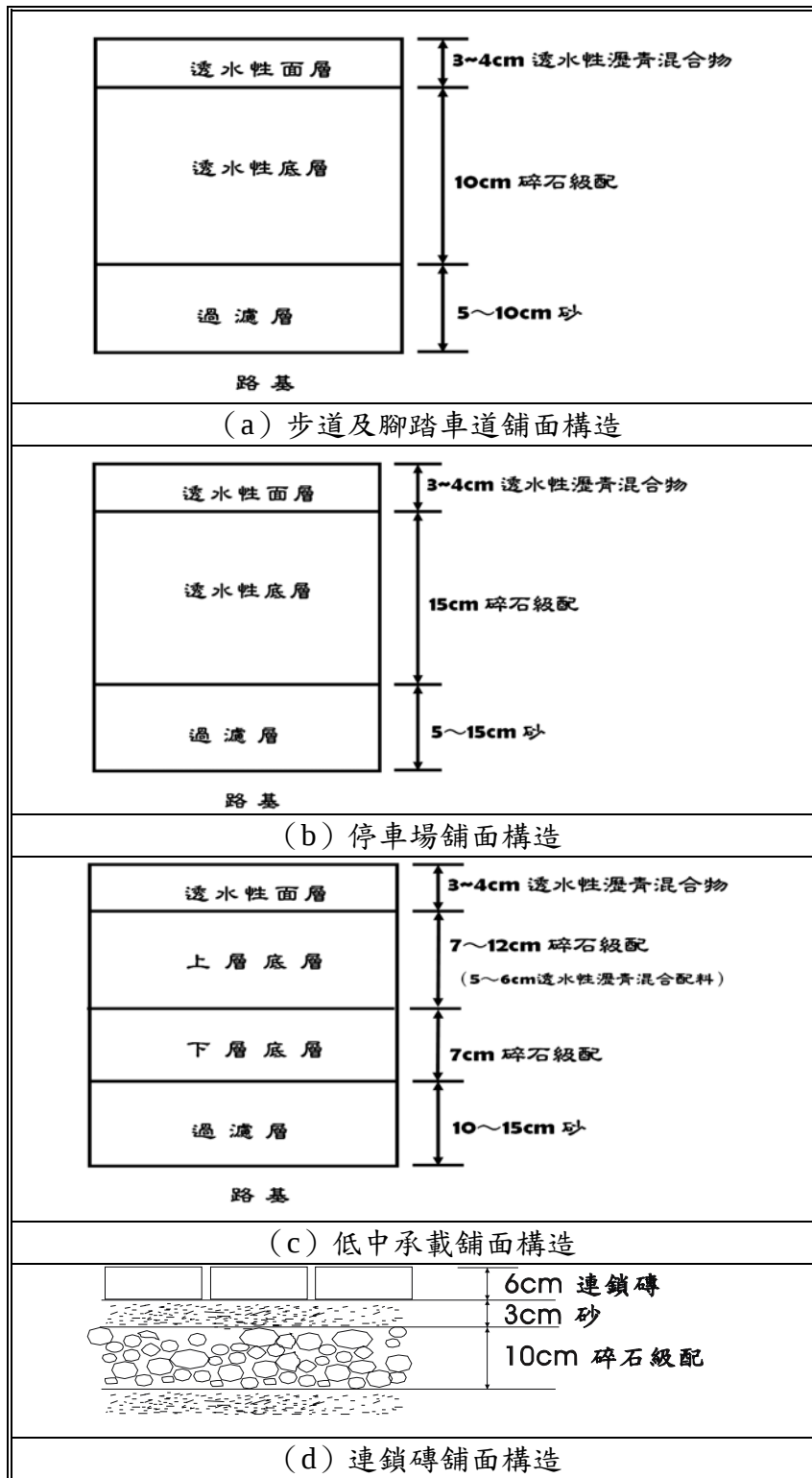


圖 3.54 透水性鋪面結構剖面圖

五、滲透排水管

將基地內無法自然排除之地表雨水逕流匯集於管中，利用滲透排水管介面之透水性，如圖 3.55 所示，以達到降低雨水流量之效果。透水管材料已經從早期之陶、瓦管、多孔混凝土管及有孔塑膠管，演進至蜂巢管、網式滲透管、尼龍紗管，而現今多使用不織布透水管來當成質材，在降雨時可以利用毛細現象將土壤中之水引導入管中，緩緩地將收集之雨水排除；而在降雨停止後，則可利用其介面之透水性，將先前管中所收集之雨水再行排放至周遭土層中，藉由蒸發散降低入滲於土壤中之雨水逕流量，亦可降低都市之熱島效應，其外層之材料需具有足夠之抗壓強度，亦需具有降低泥沙阻塞淤積之機率。

A、設計原則：

依照內政部建研所建議之滲透排水管構造示意圖，如圖 3.56。排水管鋪設順序如下：

1. 整理後土層先鋪透水性不織布，防止土壤阻塞滲透排水管構造之孔隙，降低滲透排水管構造入滲水份之能力，再鋪設級配層。
2. 過濾砂層鋪設寬為 60 cm，厚為 10 cm，填入粒徑約為 0.001 cm 之粗砂。
3. 內徑 ψ 為 20 cm 之軟式透水管，採用無紡布內襯過濾，被覆層材質為高強力特多龍紗及合成纖維。
4. 管之上半圈鋪級配層，而級配層之全寬及厚度均為 60 m，填入粒徑約為 3 cm 之礫石。
5. 覆土層厚度為 10 cm。

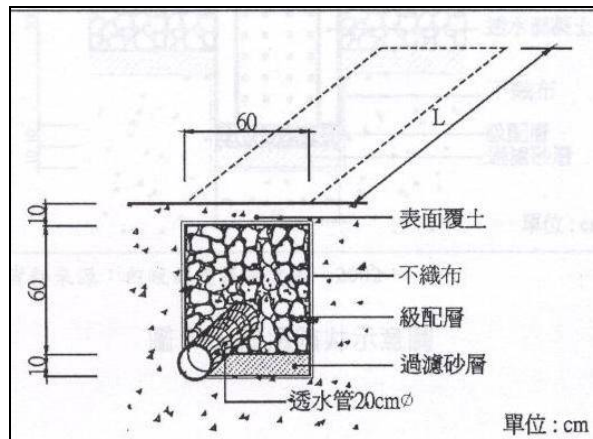


圖 3.55 滲透排水管構造示意圖

資料來源：內政部建築研究所，2003



圖 3.56 滲透排水管鋪設

B、注意事項

1. 自然條件

(1)地質：砂土質之土層較佳。

(2)地下水位：位於滲透管溝之底部 1.5 m 以上為佳(儲留雨量及埋設儀器之考量)。

2. 人為條件

(1)區位：適用於市區之公園、社區、學校、人行道旁（但應避免設於地下水供作飲用水之地區及坡地陡區）。

(2)阻塞物：不適用於高落塵量、大量鬆散砂土區，及落葉、花果量高之地區，若採用則需常清洗維護。

(3)地下狀況：以無八大管線及地下結構物為佳（考量施工便利性）。

(4)污染源：以遠離污染源較佳，如：加油站、掩埋場及土壤受污染等地區。

六、滲透陰井

滲透陰井，與先前所介紹之滲透排水管之原理類似，皆為利用內部之透水性在降雨時容納土壤中所飽和之水量；待降雨過後，周遭土層之含水量逐漸降低時，再緩緩將原先收集之雨水排放至土層中。

滲透排水管為水平式之滲透設施，而滲透陰井則是垂直式之輔助入滲設施，擁有較佳之貯集滲透效果，作為滲透排水管之接點亦可以容納排水過程中所產生之污泥雜物，以利降雨過後之定期清理，降低滲透設施介面間遭泥砂阻塞淤積之機率，保持排水系統之暢通。滲透陰井周遭之級配層，主要在增加雨水貯集之空間，亦可防止小粒徑之泥砂造成井內管壁阻塞，雨水流至滲透陰井時，其流速下降容易使得雨水所攜帶之泥砂、垃圾及青苔沉積，阻塞其透水介面而失去應有之功能，因此設計時需在陰井之底部或連接管處設置易於拆裝之網罩或清理裝置，以利日後之清理及維護。

A、設計原則：

依照內政部建研所滲透陰井構造示意圖。滲透陰井順序如下：

1. 整理後土層先鋪透水性不織布，底層鋪設過濾砂層約 10 cm，再鋪礫石層 10 cm。
2. 裝上陰井設備並連接滲透排水管，中間礫石層施作方式參照滲透排水管圖 3.57。

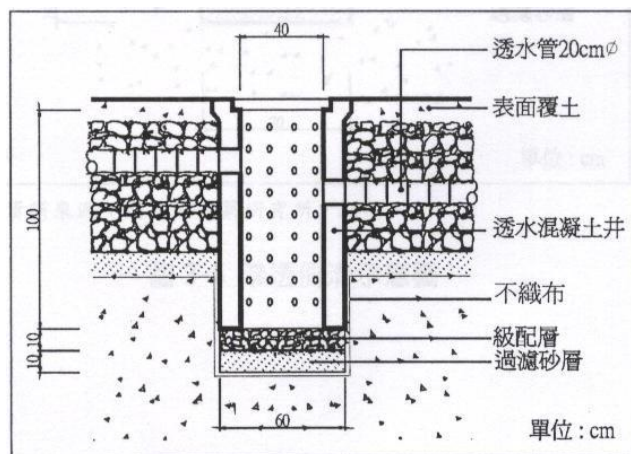


圖 3.57 滲透陰井構造示意圖

資料來源：內政部建築研究所，2002

B、注意事項：

在陰井之底部或連接管處設置易於拆裝之網罩或清理裝置，以利日後之清理及維護。

七、滲透側溝

收集經由滲透排水管及滲透陰井所排放出之雨水，利用設置於底部及側面之透水性混凝土材與填充碎石，將雨水經由其滲透性介面排出。因此，滲透側溝之管涵斷面積也較滲透排水管大，以收集較大之雨水流量。可以搭配滲透排水管與滲透陰井，組成一功能完整之滲透排水系統，亦可單獨使用於較大面積之市區道路兩側，容納所匯集之雨水逕流量。管涵之設計可以利用多孔隙之透水混凝土作為材料，或採用將混凝土管涵設計為具有穿孔之型式，以利所收集之雨水滲透至周遭土層。

A、設計原則：

滲透側溝為一透水材料構造，以碎石填充周邊之排水溝，使其除具排水功能外並能使雨水從側面及底部滲入土壤。滲透側溝由格柵板、不織布、透水材料、碎石級配及過濾砂層等所構成，如圖 3.58 所示。

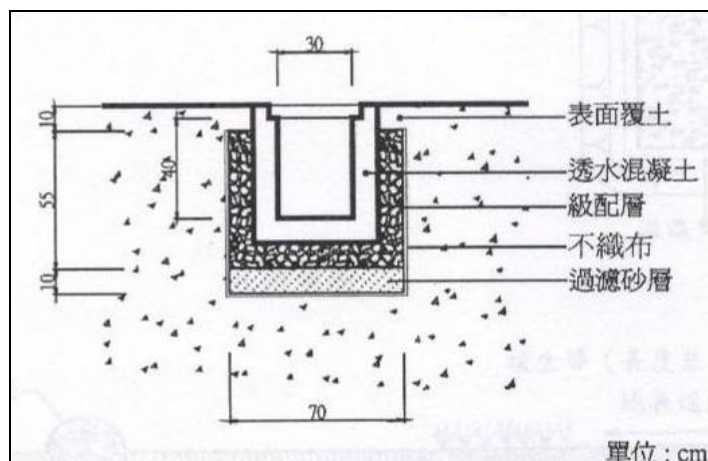


圖 3.58 滲透側溝構造示意圖

資料來源：內政部建築研究所，2002

B、注意事項：

1. 入水口設攔污網罩
2. 事後之維護及清理，掃除落葉及碎石，而落塵則可採用吸塵器清掃，以防孔隙因泥砂等阻塞而降低其滲透效能。

八、樹箱過濾器

樹箱過濾器是由「生態滯留槽和雨花園」兩項技術加以改良之設備，可應用於市區道路，提高污染物之去除率，降低維修成本，並提昇美觀。樹箱過濾器是由預鑄混凝土箱裝滿土體，植栽可由一般標準的人行道樹、灌木、觀賞草、樹和鮮花，可視為一座小型生態滯洪池槽，如圖 3.59 所示。

樹箱過濾器可設置在人行道或公共設施帶的緣石旁，如圖 3.60 所示。樹箱設計是沒有底層，進水口可接收暴雨初期少量的地表逕流，雨水沖刷道路的地表逕流，可由入口設施進入，或是從人行道旁流入樹箱，經由道路首次沖刷後的污水，可由植栽的樹根吸附其污染物，當暴雨逕流過大，而樹箱表土無法負荷地表逕流量的入滲時，地表逕流會流進入水口，部分雨水會排放至滲透排水管外的礫石級配層，而深層滲漏可注挹地下水。



圖 3.59 樹箱過濾器於 Pentagon

資料來源：LID CENTER，2000

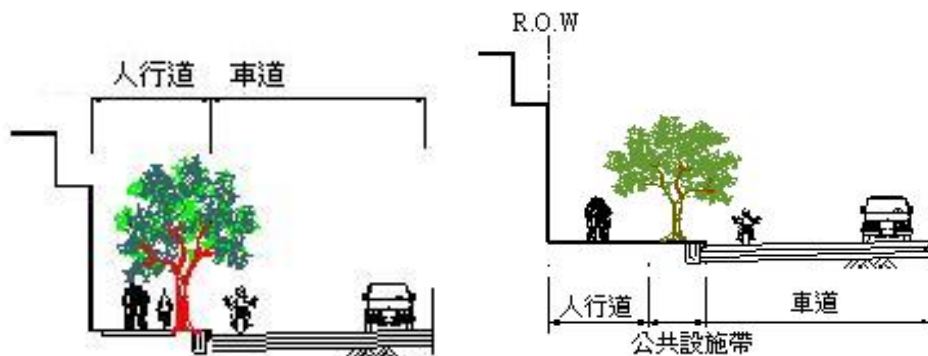


圖 3.60 車道旁人行道與公共設施配置圖

資料來源：市區道路人行道設計手冊

A、設計原則：

樹箱過濾器標準尺寸 180cm×180cm 參照圖 3.61，箱內可依照生態滯留槽的施作方式，參照圖 3.61，表土厚度採用並覆蓋 8 公分有機土壤或枯草，最後於表土面設置清潔孔，植栽則採用耐道路污染源(如：重金屬、懸浮固體)的灌木或喬木。

B、注意事項：

1. 定期修剪植披及灌木，依照「市區道路人行道設計手冊」灌木高度應在 1.0 公尺以下，以避免過分之阻隔性。
2. 注意溢流口之清潔以避免阻塞。

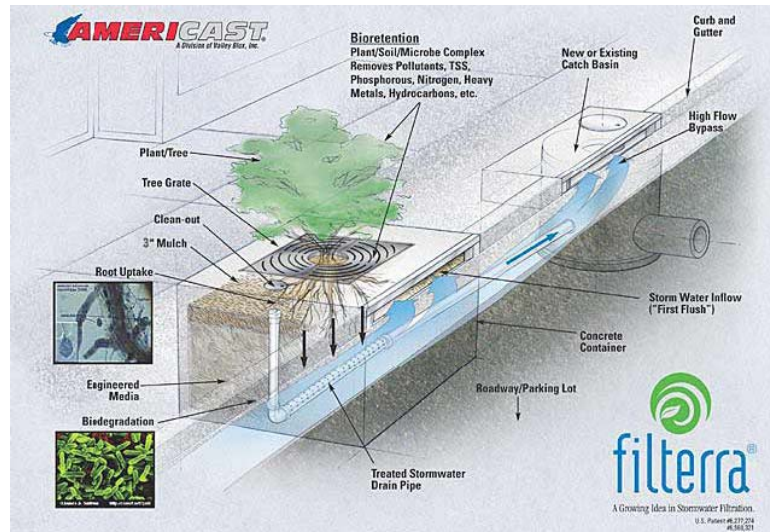


圖 3.61 樹箱過濾器設計概念圖

資料來源：Americast

九、綠色道路

綠色道路(Green Road)可設置在道路小巷、停車場、郊區道路，交通運輸量低最適合，如圖 3.62 所示，植被可提供吸附汽車殘留的油漬，亦能提供雨水滲透至地表土壤，對於車轍處也可採用高強度之透水瀝青混凝土，以減少地表逕流量，減緩暴雨造成排水系統之負擔。

A、設計原則：

塑膠格網底下的路基，鋪設沙土混合材料，70%級配粒料（礫石 19mm）與 30%沙土，以便雨水快速滲透土體，有助於草地生長。鋪設土壤厚度約 12~15 公分以提供植草，車轍處鋪設鋼筋混凝土，亦可鋪設透水瀝青混凝土。

B、注意事項：

維護：則定期割草。

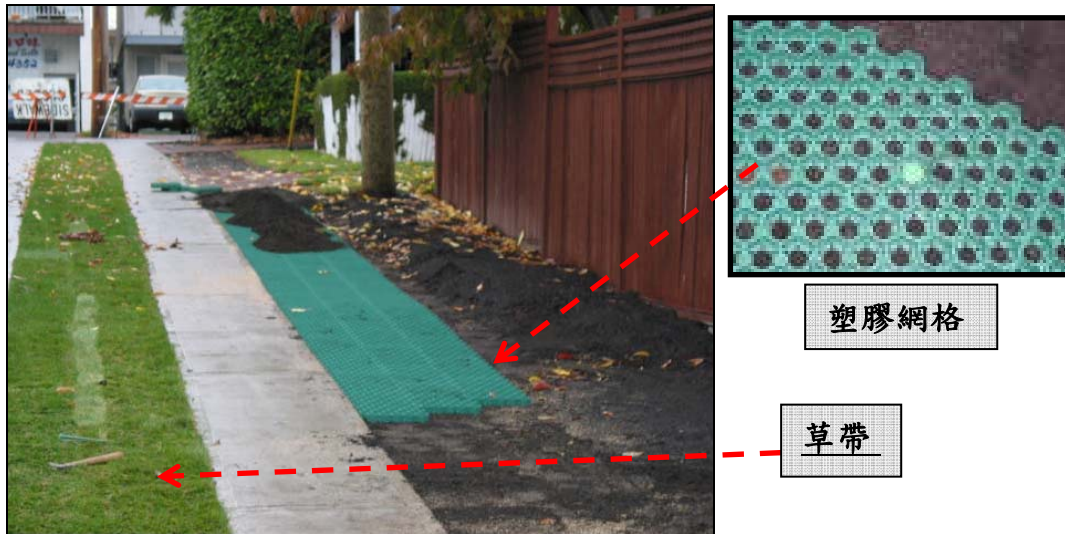


圖 3.62 鋪設綠色道路於社區道路

資料來源：<http://www.cityfarmer.org/lanes.html>

3.3.3 低衝擊開發效益

LID 可作為暴雨管理系統與水質改善，降低都市熱島效應，並益於土壤內微生物的活動，進而改善土壤之有機品質，達到市區道路之永續發展。以國內滲透性鋪面量測紀錄得可降低地表逕流量 80%，而國外 LID 應用於市區道路，在西雅圖的街道上 LID 的觀念開發如表 3.7 所示，可減少管溝設施及處理雨水水質等暴雨處理費用，保守估計可節省成本約 30%，並且西雅圖街道之低衝擊開發比傳統開發上節省總成本 26%，西雅圖 117th 和 120th 之間的街道，將原本筆直且過寬的街道大量縮減並道路兩旁設置生態滯洪池，減少 11%的不透水面積，監測結果四年減少總逕流量 99%，增加超過 100 常綠樹木和 1100 株灌木。然而，在 110th 的道路兩旁施作草溝，根據監測 110th 的街道 2003 年 10 月至 2006 年 1 月的結果，階梯式草溝持續的保留 48%入流量，以國內滲透性鋪面實測紀錄統計知可降低地表逕流量 80%，若以 LID 設施應用於市區道路，減少地表逕流排入道路側溝，可縮減側溝斷面尺寸 1/5，經推算可節省市區道路側溝成本每公里達 90,000 元(以台北市為例)，依照公共工程價格設

施帶緣石以全高介於 10cm~15cm 減少施作 1km，可節省成本約 337,000 元(表 3.8 全省統一價格)。

表 3.7 LID 成本與傳統成本在西雅圖第二大道之比較

項目	傳統開發成本 (美金)	低衝擊開發成本 (美金)	節省成本(美金)	總節省百分比 (%)
場址準備	65,084	88,173	-23,089	-11%
暴雨管理	372,988	264,212	108,776	50%
場址鋪面與 人行道	287,646	147,368	140,178	65%
景觀美化	78,729	113,034	-34,305	-16%
人力	64,356	38,761	25,595	12%
總和	868,803	642,548	217,255	100%

表 3.8 緣石價格

項目名稱	緣石 10cm ≤ 全高 < 15cm	緣石 15cm ≤ 全高 < 20cm
價格	337 元/M	608 元/M

資料來源：公共工程技術資料庫

當雨水降落車道形成逕流，水流排入靠近人行道旁或是分隔島旁的排水溝，由表 3.9 可知路鋪面之漫地流速度 k 大過於一般有設置植栽、草地之漫地流速度，漫地流速度越大代表地表排水速度快，相對造成都市洪峰流量大，排水系統負因此，採用草溝、綠色道路及草帶生態滯留槽有助於降低漫地流速。

表 3.9 漫地流速度常數 k

地表覆蓋	K(m/s)	地表覆蓋	K(m/s)
森林—茂密矮樹叢	0.21	農耕地-有殘株	0.37
稀疏矮樹叢	0.43	無殘株	0.67
大量枯枝落葉	0.76	農耕地-休耕地	1.37
草叢—百慕達草	0.30	等高耕	1.40
茂密草叢	0.46	直行耕作地	2.77
矮短草叢	0.64	道路鋪面	6.22
放牧地	0.40		

資料來源：水文學，李光敦

一、生態滯留槽

經參考研究設置生態滯留槽地區文獻發現：暴雨第一次沖刷地表雨量累積至 1.5 英吋，滯留槽能除去地表逕流重金屬如鉛、銅、鋅及養分，因為養分變數多、範圍廣，有磷、總凱氏氮(TKN)、氨和硝酸鹽；可知生態滯留槽處理後污染量明顯降低，如表 3.10 所示。

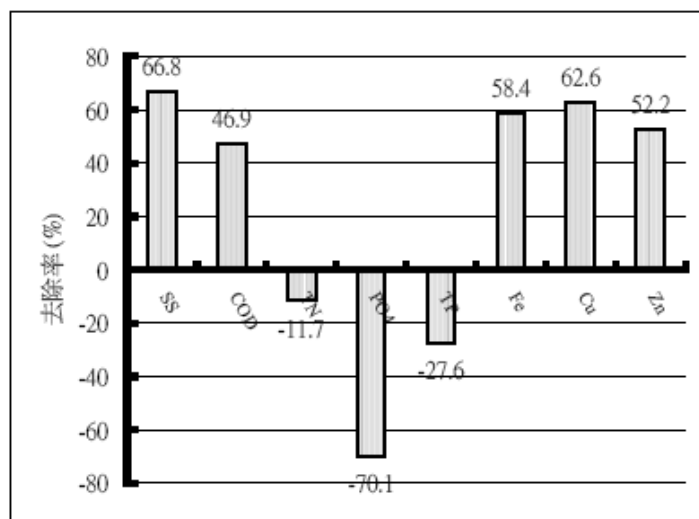
表 3.10 生態滯留槽各污染源去除率

污 染 源	去 除 率
鉛	70%~97%
銅	43~97%
鋅	64~98%
磷	0%~87%
氮	37%~80%
硝酸鹽	0%~26%
總凱氏氮(TKN)	37%~80%

本研究室整理自：Low Impact Development Center，2000

二、草溝與草帶

根據國內「公路逕流污染調查與控制方法」研究報告，位於岡山交流道附近，高速公路 340.9 km 處路肩作為研究草帶與草溝的污染控制試驗區。草帶坡度 43 度，縱長 18 公尺，寬 2.5 公尺，底部連接寬 5.3 公尺，縱坡 0.2%，斷面平坦的草溝。降雨期間，路面逕流沿路肩漫流，經草帶進入草溝並順著草溝縱坡方向流動。試驗區下游設量水堰及自動採樣器，經流量監測與水質採樣，分析項目包括懸浮固體、化學需氧量、總磷、磷酸鹽、總氮，以及鐵、銅、鋅三種金屬，由圖 3.63 可知草溝系統對於懸浮固體以及金屬都有百分之五十以上的去除率，其中以懸浮固體的 66.8 %最高，圖上數據亦顯示，系統對於營養鹽控制有負面效果，主要原因在於公路逕流營養鹽含量不高，而草溝的植物莖葉腐爛以及土壤沖刷，導致通過該系統的逕流營養鹽含量遠高於原有的路面逕流。另外，中央氣象局高雄氣象站之 1991-2000 年時降雨紀錄，做為期十年的逕流水質與水量模擬，比較未處理的公路逕流與經過草溝系統處理之公路逕流的年污染輸出負荷，參照表 3.11。



資料來源：公路逕流污染調查與控制方法，2003

圖 3.63 草溝系統之長期污染控制效率

表 3.11 路面及草溝系統逕流之長期污染負荷

污 染 物	污 染 負 荷(kg / km.yr)	
	路面逕流	草溝逕流
SS	2314	796
COD	2493	1323
TN	55.6	62.1
TP	28.1	47.8
Fe	5.84	2.43
Cu	1.87	0.70
Zn	2.26	1.08

資料來源：公路逕流污染調查與控制方法，2003

三、透水鋪面

根據本研究位於台北市文山區雨量監測數值如表 3.4 所示，當累積降雨小於 30mm，則透水性鋪面入滲率皆可高達 80%，得知文山區透水鋪面入滲效果相當良好，並由其深層滲漏可知透水鋪面對於地下水補助具有一定效益；土壤入滲多受臨前降雨影響，降雨過度集中與分析數據前數日若有降雨，則該次土

層水分涵養效果則不顯著。3月11日、10月31日、11月18日由於當天降雨強度較低，無地表逕流產生，入滲效益可高達九成以上，對於未來都市防洪治理洪峰延遲將為一首要助益。

四、滲透排水管

本研究滲透排水管試驗渠槽設計分為頭水箱、流動段與試驗段（主槽）三部分，試驗渠槽設計如圖 3.64 與圖 3.65 所示，整體渠槽以具有高強度之鍍鋅鋼板製作，其長為 350cm，寬為 200cm，而高度達 110cm 高，並於進水槽加設碟閥以利進水槽水量之排放，滲透排水管其效益如下：

1. 持續供水狀態，滲透排水管於 12 個小時內平均約可降低 28% 之上游入流量，當土壤水分濕鋒線達最底層時，即可出現深層滲漏之現象，但其滲流量以水滴狀緩慢析出，約為 3.67×10^{-6} cms，故推估知每分鐘約有 1.12% 水分可入滲至深層以提供地下水補注量。
2. 上游停止降雨後，無陽光照射下，滲透排水管於沈泥質砂可提供周遭土壤體在降雨過後約 20 個小時飽涵水分；而後表層土壤含水才有顯著之變化，上層水分逐漸地往下層移動，並到達下層轉變為深層滲漏量，提供地下水之補注，有助於恢復基地之水資源循環，其時間約達 26 個小時。

試驗箱側視圖

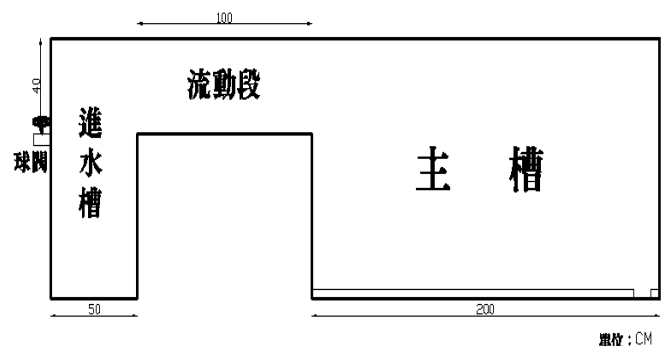


圖 3.64 試驗渠槽側視圖

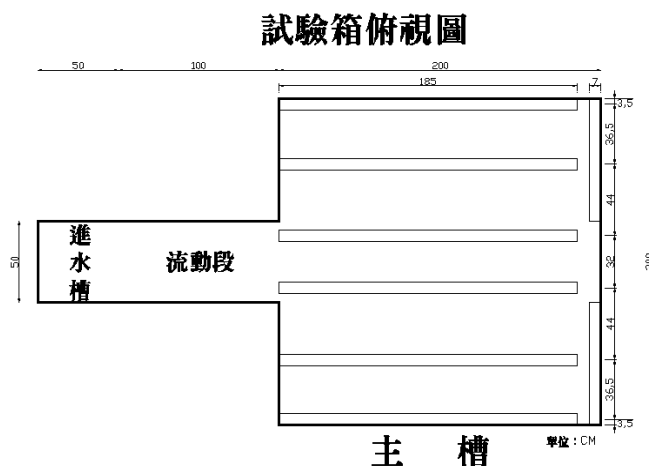


圖 3.65 試驗渠槽上視圖

五、樹箱過濾器

樹箱過濾器可去除之污染物，有物理、化學、生物機制，樹箱過濾器去除市區道路雨水第一次沖刷路面造成非點源污染如懸浮固體、磷、氮、重金屬通過生物、化學與物理方法之去除率，如表 3.12，總懸浮固體減少 85%、總磷減少 74%、總氮減少 68%、總金屬減少 82%，對於市區道路造成的污染去除率相當高。

表 3.12 樹箱過濾器去除市區道路污染源之效益

污染源	去除率
總懸浮固體	85 %
總磷	74 %
總氮	68 %
總金屬	82 %

本資料整理自：Minimum Standard 3.11C Filtterra™ Bioretention Filter System，2002

上述可知 LID 之直接效益如下，而各效益量化部分將於 99 年度設立示範區，藉由監測數據提供評估未來施作 LID 設施之成效參考。

1. 降低地表逕流量。
2. 減少不透水面積

3. 節省施作及維修成本。
4. 漫地流速度降低。
5. 重金屬及營養源之污染明顯去除。
6. 補助地下水量。

3.3.4 國內市區道路之適用性評估

由上節得 LID 效益明確且佳，但非所有市區道路都適用 LID 技術應有所限制，例如土壤的滲透係數、植栽的選定、土壤深度、地下水位、空間大小、與施作場址都需考慮。

一、空間大小

草帶與草溝擁有較高環境美觀之功效，且其表面具有植被，可以初步過濾或吸收部分微塵與污染物，故對於地下水造成之污染較低，但地表已高度開發之都會區，如：台北市、高雄市等，因土地昂貴且取得不易，若排水防洪設施所佔之空間不能太大時，需較大規模之草帶或草溝等設施，則較不適宜採用，此時可採用其他空間要求較低之替代工法，如：透水性鋪面、滲透排水管、滲透側溝、滲透陰井或滲透乾井等設施，該等設施具佔用面積小、工程效益高、易配合建築物及土地利用型態使用，並可隱藏於地表下，不佔地表空間之優點，採用該等設施一般多採分散式配置，設置於不透水地表面之周遭，藉以處理地表逕流。

二、植栽選定

對於植物材料之選擇，一般而言必須把握四項原則 1.適應當地環境 2.適應景觀設計與要求 3.繁殖及移植容易 4.管理及維護容易。國內於市區道路設置生態滯留槽，根據「道路人行道設計手冊」灌木高度應在 1.0 公尺以下，以避免過分之阻隔性，灌木選定可參照表 3.13。然而，植生緩衝帶如草帶、草溝具有降低流速、增加入滲率之功用，藉由植物過濾與吸附移除逕流中之懸浮微粒。污染源因雨水入滲至地下水，造成地下水源的污染，故植生必須慎選具有耐水

性與吸附溶解性污染物之功能。草溝、草帶以百喜草、假儉草、類地毯草(參照表 3.14)等匍匐性草類為主。植物具有季節性並隨時間效果緩緩遞減，所以在固定的時間內，必須清潔植物周圍環境。

表 3.13 灌木介紹

種類	射干菖蒲	金邊六月雪	細葉雪茄花
類別	鳶尾科球跟花卉	茜草科常綠小灌木	千屈菜科常綠小灌木
株高	40~60 cm	50~100 cm	30~60 cm
樹型	葉劍形平行脈穗狀花序花被為6片由上往下依序開花。	葉細小橢圓形，對生，葉緣、中脈及葉脈處均有乳黃色斑紋。夏季自葉腋開漏斗狀的小白花，盛開時如同雪花佈滿全株，故名六月雪。喜高溫多濕，半日生長較旺盛	常綠小灌木，枝葉繁茂，葉細小，質感佳，全年開花不斷，適花台群植或列植卵形披針葉，易生紫紅或桃紅花性喜高溫，枝葉過分旺盛時宜多修剪。
栽植重點	以壤土或砂質壤土為佳		不拘土質以砂質壤土為佳，全日照半日照皆可

本研究修改自：綠建築應用在高鐵青埔車站景觀綠化工程之探討，吳建憲

表 3.14 匍匐性草類介紹

中名(別名)	假儉草	類地毯草	百喜草
習性	多年生	多年生	多年生
莖	蔓生節間短無毛 地上莖匍匐挺身	無毛，地上走莖	無毛，節間短密集， 地上走莖發達
花期	6~11 月	6~11 月	6~10 月
花序	2~3 列指狀或總狀 的總狀花序，散生	2~3 列指狀或總狀 的總狀花序，散生	2~3 列指狀的穗狀 花序，散生
繁殖方式	種子	種子	種子，扦插，分株
自播性	劣	劣	劣
根	鬚根系	鬚根系	鬚根系
株高(葉尖)	15~30 cm	15~30 cm	30~50 cm
用途	草皮，水土保持	草皮，水土保持	草皮，水土保持
圖片			

本研究整理自：畜產種原資訊網

三、共同管道與雨水下水道之配合

共同管道的種類，可分為幹管、共同管道與供給管共同管道。供給管共同管道，一般設置於人行道或慢車道下方如圖 3.66，滲透排水管與共同管道、雨水下水道結合，可提供滲入共同管道水排除功用，可維持管道各公共設施管線之溫溼度，降低維修機率。此外共同管道與滲透排水管一次施工，亦可降低施工成本。另以滲透排水管溝取代傳統雨水下水道，可降低排水系統及處理設施容量，降低建造與處理成本，減少地表逕流，亦可減少都市洪患造成人民財產損失。

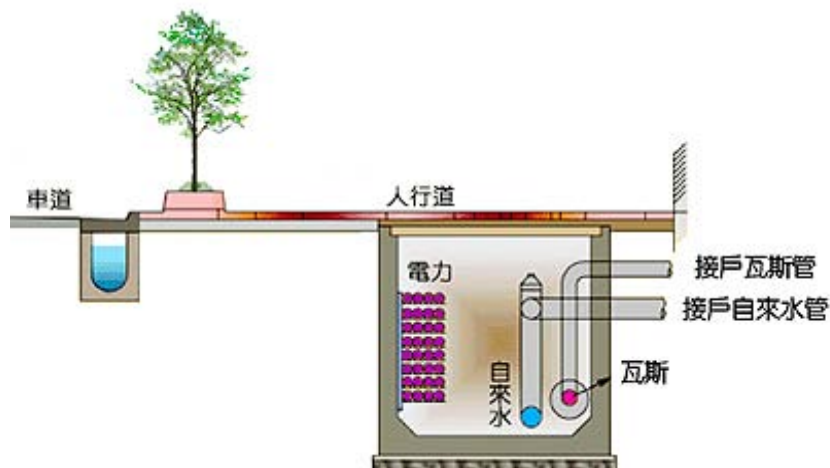


圖 3.66 供給管共同管道結構型式

資料來源：<http://w3.cpami.gov.tw/pw/web/big5/cdb2.html>

四、不適合施作場址

1. 工廠、垃圾掩埋場鄰近土壤易遭受污染等地區，且地下水因雨水滲透而使水源遭受污染。
2. 泉水飲用區、水資源敏感區，不適合施作滲透設施，以防破壞水源地或污染地下水資源，附近有抽水站需離 30 cm 才施作滲透設施。
3. 枯葉、落塵量高地區，因枯葉、懸浮粗顆粒、土沙等會堵塞滲透側溝及透水鋪面等孔隙，不適合施作。
4. 據國外之設置經驗，對於水位正在上升或地下水鹽分較高時之地區不建議使用滲透排水管。
5. 考量土壤飽和滲透係數，下列土壤條件較不適合設置：
 - a. 完全無滲透性之岩石。
 - b. 遭受風化或鬆散之砂土。
 - c. 接觸水會崩塌之黏土土壤。
 - d. 土壤飽和滲透係數低於 1×10^{-4} cm/s。

五、適用範圍

綜觀 LID 設計原則、效益及適用性評估，如生態滯留槽的水質淨化效益和貯集效益相當不錯，施作面積大小適合施作在市區道路，而維護需求小，整理表 3.15，各項 LID 設施適合應用於國內市區道路範圍，如表 3.16，。草溝呈現帶狀且需龐大土地面積，亦不適合設置於市區道路，惟可考慮設置在中央分隔島、郊區道路兩側，在台灣地區因人行道過於窄小，依照「市區道路人行道設計手冊」具公共設施帶人行道寬度大於 2.5 公尺時，設施帶寬度建議以 1.2 公尺為原則，以 1.5 公尺較為理想，因此，草帶代替草溝設置於公共設施帶內。滲透排水管適用範圍較廣，如生態滯留槽、滲透陰井、樹箱過濾器設施，排水層（礫石層）皆可結合滲透排水管，如圖 3.67。

在歐美地區工業廢水和家庭污水的處理上已獲得控制，因此都市街道成為河川的主要污染源，不同於國內將區分雨水排水系統與污水排水系統，而是將污雨水排水系統混合使用，因而延伸出自然排水系統。反觀目前國內完整區隔污水與雨水下水道系統，因此，可仿造國外都市街道的雨水由植栽進行過濾並滲透土體，再由飽和土壤排放多餘且乾淨的水由滲透排水管收集接至雨水下水道。LID 設施物必須配合市區街道與道路為帶狀，觀察國內公共設施帶與分隔島，提供下列幾點建議：

1. 設置草帶於公共設施帶盡量不設置緣石，提供路面逕流量導入草帶。
2. 公共設施如要設置緣石，應仿造生態滯留槽的作法設置凹槽提供積水深度，並於 5 至 10 公尺設置一處進水口。
3. 生態滯留槽之設置可隨人行道、分隔島與交通島空間大小做調整，施工單位應注意植栽底下鋪設的土體，如圖 3.68，和植栽生長期以便修剪過長的植披及灌木。

表 3.15 LID 設施於市區道路總整理表

LID 設施	水質淨化效益	貯集效益	施作面積大小	維護需求
生態滯留槽			(可大可小)	
草帶				
草溝				
透水鋪面				
滲透陰井				
滲透排水管				
滲透側溝				
樹箱過濾器				
綠色道路				

代表優及大； 代表好與中等 代表尚可及小

表 3.16 低衝擊開發設施適用於市區道路之範圍

範圍 設施種類	社區道路	公共設施帶	人行道	分隔島	停車場 (格)
生態滯留槽					
草帶					
草溝					
透水鋪面					
滲透陰井					
滲透排水管					
滲透側溝					
樹箱過濾器					
綠色道路					

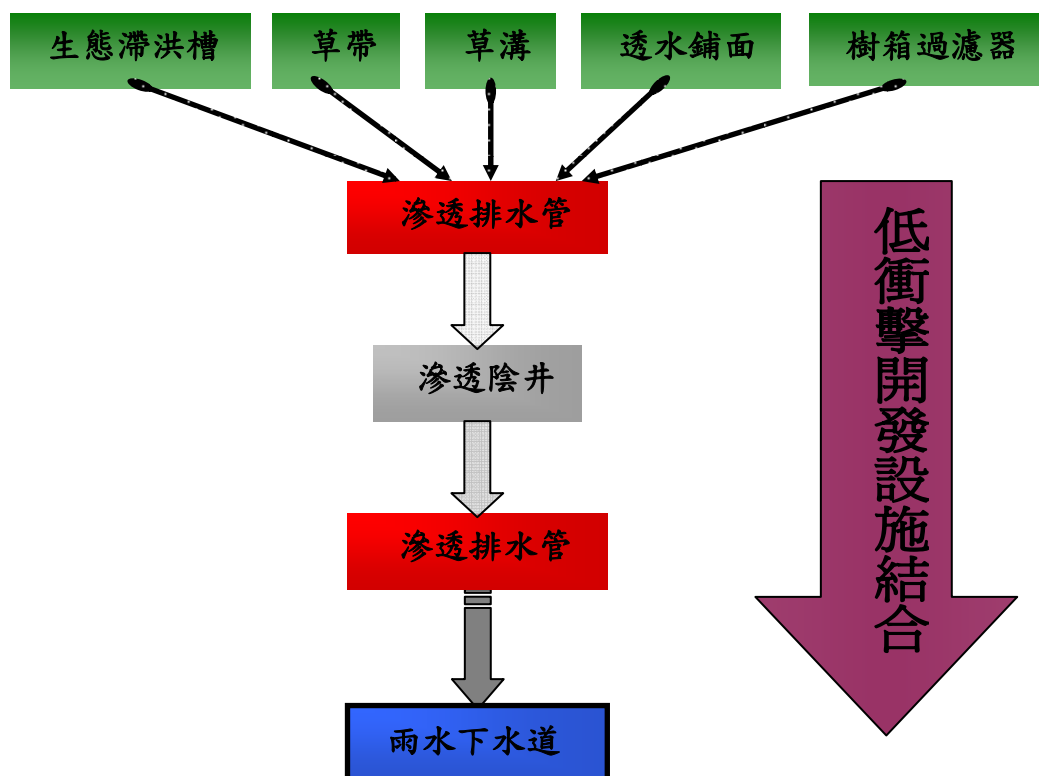


圖 3.67 各項設施與滲透排水管結合

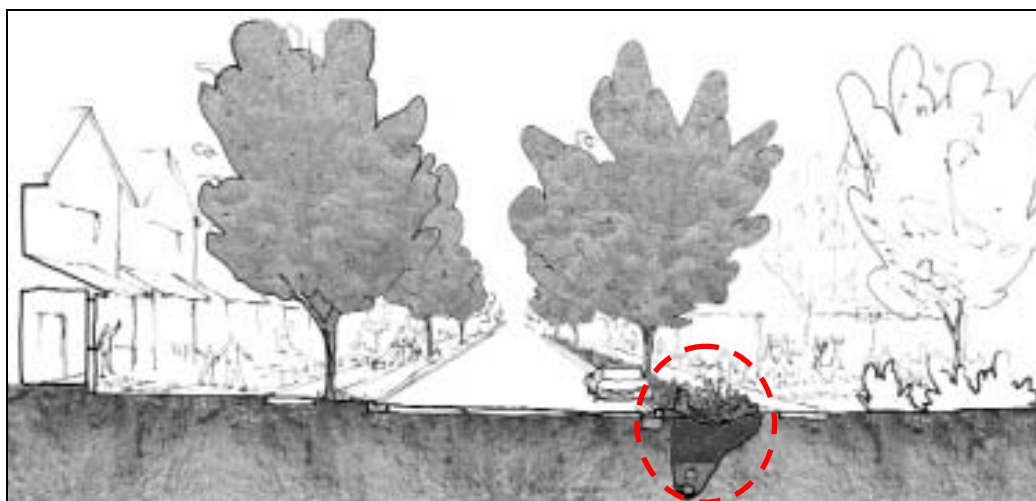


圖 3.68 路邊公共設施帶設置生態滯留槽

資料來源：Natural Approaches Stormwater Management，2003

3.3.5 國內法規面

LID 必須配合國內法規進行本土化，根據「都市計畫法」配合都市計畫進

行都市的更新和改建，都市計畫法第四章「公共設施用地」第 42 條都市計畫地區範圍內，應視實際情況，分別設置左列公共設施用地：

一、道路、公園、綠地、廣場、兒童遊樂場、民用航空站、停車場所、河

道及港埠用地。

二、學校、社教機關、體育場所、市場、醫療衛生機構及機關用地。

三、上下水道、郵政、電信、變電所及其他公用事業用地。

四、本章規定之其他公共設施用地。

前項各款公共設施用地應儘先利用適當之公有土地，都市計畫法第五章「新市區之建設」與第六章「舊市區之更新」皆可在規劃於 LID 設施，並納入於規劃與設計，本研究整理目前國內訂定開發設施上的法規有「水土保持技術規範」、「下水道用戶排水設備標準」、「市區道路及附屬工程設計標準」提供參考表 3.17。

表 3.17 國內法規適用於 LID

法規	條文	條文	雨水貯集入滲 相關工法
水土 保持 技術 規範	第 57 條	植生方法係以水土資源保育為前提，環境綠化為目的所採取之工法。 植生之作業程序包括前期作業、植生導入及必要之維護管理工作。	生態滯留槽 草帶 草溝
	第 130 條	為從事地表保育處理，得使用透水鋪面，以減少逕流量或增加滲流量，補助地下水	透水鋪面
	第 300 條	透水性排水系統，係指於傳統排水系統中加入透水性之構造，以增加逕流下滲率。其適用於面積受到限制且不亦採用自然式排水系統之都市化地區，其注意事項如下： 一、盲溝下鋪碎石底層距地下水位應在兩公尺以上，以防逕流直接	滲透排水管 滲透側溝

		污染地下水。 二、盲溝周圍應以不織布與周邊土層隔離，以防泥砂進入填塞鋪碎石孔隙。	
下水道用戶排水設備標準	第 4 條	污水管渠及雨水管渠應分開設置，不得混接。	滲透排水管
	第 8 條	不同管材管渠間之接合，應採用特殊接頭或以陰井連接之。	滲透排水管 滲透陰井
	第 12 條	陰井應確保各種匯流管順暢接入，不得造成流水逆流或阻塞，並具有易於清理之設計。	滲透陰井
	第 13 條	雨水井及連接管設置規定如下： 一、雨水井： (一)應設置於道路內之道路側溝或 L 型溝匯流點，並以連接管接入雨水幹支渠。 (二)為矩形之混凝土或鋼筋混凝土製，內寬為六十公分，井深為一百二十公分以上，底部應設有十五公分以上之沉砂池，井蓋為鑄鐵或鋼筋混凝土製。 (三)得設置滲透雨水陰井或滲透管，以減低逕流量、增加地下水位。	滲透側溝
	第 14 條	道路側溝設置規定如下： 一、U 型側溝設置於道路二側，溝頂鋪以預鑄溝蓋板，底槽為半圓形，溝底縱坡應使流速符合第七條之規定。 二、進水口間距為四公尺至十公尺。 三、道路 L 型側溝橫坡最緩為十分之一，最陡為五分之一。	滲透陰井 滲透排水管 滲透側溝 生態滯留槽

	第 22 條	圓形及矩形人孔設計規定如下：矩形人孔：無法依前款規定設置人孔底座內徑九十公分圓形人孔時，應設置內寬六十公分乘九十公分矩形人孔；無法設置矩形人孔時，依現場結構計算之。			滲透陰井
	第 35 條	用戶應設置用戶排水設備，將雨水以重力流方式排入雨水排水區域內距建築基地最近之雨水下水道。			滲透排水管
	第 36 條	雨水管渠採用 U 型渠或 LU 型渠，依計畫逕流量設計其斷面；採用圓型管者，其設計規定如下：			滲透排水管
		排水面積(平方公尺)	六百以下	六百零一至一千	
		雨水管渠管徑（毫公尺）	一百五十以上	二百以上	
		前項雨水管渠排水面積超過一千平方公尺者，應依排水區域之計畫逕流量。 計算管徑；管渠非圓形者，以相當斷面積計算。			
	第 37 條	雨水管渠之流速採計畫逕流量核計時，應符合下列各款之一： 一、最小流速每秒零點八公尺，最大流速每秒三點零公尺。 二、埋設坡度百分之一以上。			滲透排水管
	第 38 條	雨水管渠坡度偏大，造成流速過大時，應以階梯跌降，以垂直跌降三十公分、水平六十公分配置之。			滲透排水管
	第 41 條	雨水陰井設計規定如下：			滲透陰井
		內寬（公分×公分）	適用範圍		
		40×40	L 型溝蓋版或 S 型		

			溝蓋版上寬為二百五十毫公尺至三百毫公尺者使用。	
		50×50	L 型溝蓋版或 S 型溝蓋版上寬三百五十毫公尺者使用。	
		30×40	U 型溝內寬三百毫公尺以下者使用。	
		45×45	U 型溝內寬四百五十毫公尺以下者使用。	
	第 42 條	雨水陰井底部應設置十五公分以上之沉砂槽。		滲透陰井
	第 43 條	雨水管渠進水口應以五至十公尺設置一處進水口或格柵進水口，並以坡度向進水口處微降，以利雨水流入。		滲透排水管 樹箱過濾器 生態滯留槽
	第 44 條	雨水人孔及雨水陰井之框蓋應能承受車輛載重，框蓋應有雨水標示。		滲透陰井
市區道路及附屬工程設計標準	第 24 條	市區道路排水設計規定如下： 一、市區道路新築或拓寬時，已有雨水下水道系統規劃地區，參照其規劃為之。無雨水下水道系統規劃地區，依據道路集水面積範圍內所需容納之排水量，設計適當排水設施。 二、採重力式排水。但受地形高程限制者，得依需要設置抽水設備。		滲透排水管 滲透側溝

3.4 綠廊道應用之可行性評估與設計原則

隨著生活品質的提高，人們對於生態環境之要求亦越來越高，為在都市建設中建立以人為本的優質生活環境，並秉持著永續發展之精神，促使生態環境、藝術景觀及人性因子融入都市公共建設與環境中，我們需要重新檢視既有

市區道路的規劃，應配置合理道路要素、足夠的人行活動空間及道路綠帶面積以重新塑造市區道路並提升都市環境品質與改善人行徒步空間，並豐富當地生態景觀與文化特色之生態都市。

現在歐洲的綠道（Greenway），即稱為綠廊道(Green Corridor)。廊道「Corridor」原為景觀生態學的專業名詞，為了使生態觀念能夠有系統的導入都市空間脈絡中，因此市區道路所推展之綠廊道系統是將景觀生態學與自然元素做一結合，而綠廊道於市區道路中是扮演著改善市區環境體質之積極角色，如圖 3.69 所示。

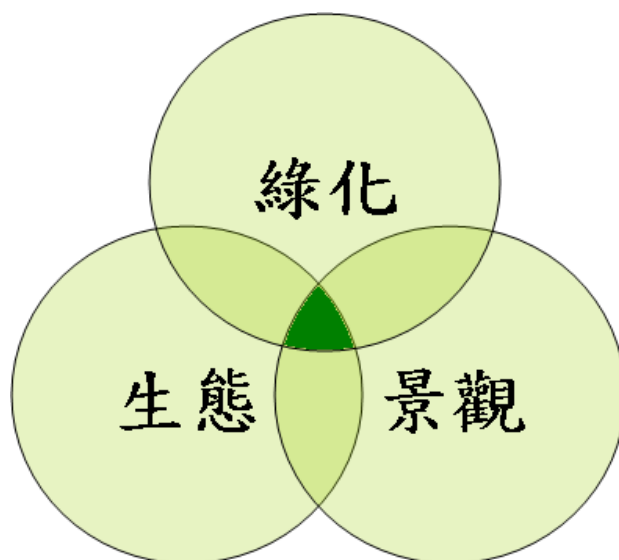


圖 3.69 綠廊道所扮演之角色

資料來源：Julius Gy.Fabos，1995

由於目前台灣既有市區道路景觀與人行環境品質的「質」與「量」皆未達一定水準，故希冀由本計畫之推行達成道路建設「以人為本；永續發展」之願景，營造出合乎人性化、生態化以及優質化之市區道路景觀。

3.4.1 綠廊道之效益探討

市區道路之綠廊道規劃，可改善都市生態系統的微氣候調節、減少都市噪音、淨化空氣品質等功能，因此於市區道路規劃綠廊道不僅可促進市區道路永續發展，更可改善國人之生活環境品質。而綠廊道所提供之效益，可依相關文獻整理歸納如下：

一.都市森林理論與應用

韓可宗(1998)都市森林理論與應用研究報告指出：都市森林之應用範疇，概可分為動態及靜態。動態為實質物理及生態上之功能與效益之提升，靜態則為心理、社會、景觀與經濟之功能與效益之提升，因此市區道路可藉由綠廊道來達到下列附屬效益：

1. 一棵樹木約能反射或遮蔽 10~25 % 的輻射熱能。
2. 一棵樹木每年約可製造 2 噸的氧氣、並過濾掉 23 公斤的懸浮微粒。
3. 種植年輕的樹木群是吸收與固定二氧化碳最有效之方法。
4. 樹木或是灌木叢只要寬度超過 5 公尺即有隔音林之效果。
5. 樹木的植栽及植穴窪地都可減緩地表逕流與暴風雨約 14 % 的流速。
6. 住家、公園與學校周邊的綠化可提供鳥類及昆蟲所需的庇護所。

二.市區綠廊道規劃

王小璘(1986~1988)研究報告指出：都市綠廊道在生態上可以改善都市微氣候效應、減少都市噪音及空氣污染程度，並促進都市中野生動植物的繁衍，特別是鳥類與昆蟲。另外李素馨(1996)研究報告指出：都市綠廊道系統之建立，於生態方面具有維持生物多樣性之意義，且廊道具有連接之功能，可以提供物種間的交互作用，另外綠廊道有促進氣體交換、吸附有毒氣體、淨化水質改善土壤、改善都市熱島效應與全球溫室效應等附加功能。

三.美國 Indianapolis

American Forests 與 UCCEF(2001)在 Indianapolis 的統計數據指出：都市綠化對於居民之居住環境相當重要，市區綠化是有助於提升經濟與環境之效益。

American Forests 認為都市綠化的規模取決於土地應用類別，因此建議都市綠化百分比，應有基本的配置才能達到一定之效益如表 3.18 所示，建議都市綠化規模百分比如表 3.19 所示。

表 3.18 Indianapolis 都市綠廊道所提供之效益

功能	效益估計
減少能源使用	在太陽直射之情形下可使溫度降低 5~12℃
改善空氣品質	植栽 50 年的樹可提供價值約 62000 美元的氧氣
改善水質源	植栽 50 年的樹可以回收價值大約 37500 美元的水源
減少暴雨徑流	減少人工不透水表面達成基地保水之成效
減少噪音等級	音量緩衝器，可以減少不必要的噪音 50%

資料來源：本研究譯自 American Forests，2001

表 3.19 American Forests(2001)建議都市綠化規模

土地利用類別	綠化百分比
商業區	15%
住宅區	25%
郊區	60%

資料來源：本研究譯自 American Forests，2001

四.美國紐約

美國紐約市政府計畫五年內於市區道路種植一百萬株樹木，而樹木植栽所需花費之金額遠低於其他建設成本，但對生活環境之改善其效果卻十分顯著，紐約市政府統計，於紐約市區道路植栽每投資一美元，可創造出高於五美元之經濟效益，不僅如此，植栽綠美化亦可改善全市之生態環境及都市景觀，更可提升都市適居性，故植栽為建構生態城市之重要手法。

經相關文獻研析後，本研究認為於市區道路建構綠廊道，其效益可歸納為下列幾項：

1. 改善都市微氣候效應
2. 減少都市噪音
3. 減少空氣污染
4. 減少能源之使用
5. 延遲暴雨之逕流時間

綜合以上效益分析，本研究認為於市區道路建構綠廊道，不僅對於溫室氣體極具吸附之功效，更可改善國人生活環境品質以提升城市適居性，此外，亦可響應政府節能減碳。

由於全民運動之推廣及休閒生活之暢行，騎乘自行車儼然成為近年來蔚為盛行之休閒活動，此外各地方政府亦相繼於道路更新計畫中新建自行車道，更燃起騎乘自行車旅遊的新風潮，故未來可於市區道路建構自行車道同時亦規劃納入綠廊道，以達「單車上路倡環保，配合綠廊多健康」之願景。

據此，本研究認為於市區道路推廣綠廊道不僅可積極解決都市生態系統及景觀環境之問題，此外，綠廊道更係市區道路邁向永續發展的重要導向之一，故於市區道路建構綠廊道實為迫切之舉，而綠廊道之主要核心價值可歸納為節能減碳、提供休閒娛樂、串聯各地景點及強化入口意象等效果，如圖 3.70。

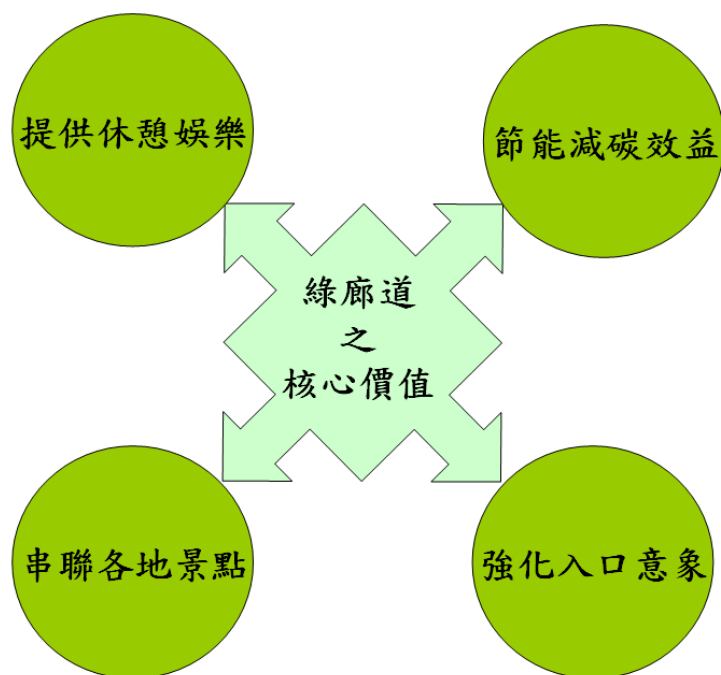


圖 3.70 綠廊道之主要核心價值

3.4.2 綠廊道之評估指標

綠廊道係以永續都市為設計理念，惟若做為政府之推動標的，綠廊道之評估指標，不宜過度抽象或是令人難以理解，因此為使綠廊道能有效推廣、宣導、實際操作及落實執行，其各項評估指標的建立需考量多個層面，進而審慎研訂之方可符合需求，故本研究整理下列論述並歸納出綠廊道之重點評估指標。

一、台北市永續發展指標與策略研擬之研究

為重塑造生態都市，市區道路之規劃應盡量避免擾動都市生態系統，期可達到紓緩都市環境的物理系統及維持都市生態景觀，根據黃書禮(1996)之「台北市永續發展指標與策略研擬之研究」指出：永續都市之指標系統應可分為；自然系統、水資源系統，都市系統、生態系統等指標群，作為市區之永續發展的評估準則，而市區道路之綠美化亦為永續都市的重要環節，故其相關指標亦為所需參考之評估準則。

二、綠建築環境評估指標

中華民國景觀學會，「市區道路生態綠廊道評估指標」一書述及為提昇都市永續發展，行政院經濟建設委員會將「綠建築」納入「城鄉永續發展政策」之執行重點；根據行政院所頒布之「綠建築推動方案」，訂定環境評估九大指標系統包括生物多樣性、綠化量、基地保水、日常節能、二氧化碳減量、廢棄物減量、室內環境、水資源及污水垃圾改善等九項指標，此亦為市區道路設計發展所需參考的評估準則。

三、中華民國景觀學會之生態廊道評估指標

中華民國景觀學會(2004)對於市區道路作為綠廊道所提出的相關項目，有生態、綠化、資材、保水、節能及減廢指標亦為參考方向之一。

四、市區綠廊道規劃

劉宏業(2004)市區綠廊道規劃的研究報告指出，生態城市是一個具健康特質的都市，生態都市之建構過程應須保留面積較大且完整之自然區域，以確保生物與環境間之互利共生，於此概念下，綠美化實為都市永續發展之必要建設。其綠化評估指標包含，行道樹種類、行道樹數量及道路綠化比例等，亦為未來評估指標群的設計參考方向。

五、人行道植栽與維護管理作業手冊

依行政院農業委員會林務局所制定之「人行道植栽作業手冊」(2003)，針對市區道路之人行道及中央分隔島制定綠化原則，而各地因環境氣候不同，適宜植栽之樹種亦有所不同，故綠美化作業不僅應多採用原生種類，且宜採因地制宜之方式，以發揮樹種之特殊功能，此外亦針對植栽距離之配置與維護管理提出相關設計原則，期綠廊道之建構以安全為前提下，更可因應四季變化進而產出濃厚之入口意象。

六、道路建設綠營建評估指標系統之研究

黃榮堯等(2006)的研究報告指出公路建設為我國工程建設之主要項目，於以往過度著重於經濟發展之背景下，對自然環境產生許多不經意且無法挽救的破壞，未來如何在進行道路建設時兼顧都市之永續發展，實為道路營建工程之

重要課題，故以邁向生態都市及永續發展為目標，提出都市綠化應針對生態、綠化、資材、減廢、保水等五個類別提出十九個評估項目，並且整合評估架構及評分方式，以促進國內道路建設能符合永續發展之理念。

綜合上述，本研究認為應以生態、綠化、節能及道路寬度做為綠廊道之評估指標，為使評估指標之項目得以明確理解，以便日後操作執行與有效落實，針對各指標項之功能與效益各敘述如下：

一、生態指標

生態係為集合名詞之概念，動植物自始以來即有密切而不可切割之關係，為使物種能回歸城市首應提供良好之環境誘因，故應採多元化原生植栽手法誘導鳥、蝶類進入城市，以利發展生物多樣性，此外，良好的植栽規劃不僅可使大眾親近自然，更可雕塑城市空間美感，故綠廊道於生態指標之意義係以建構健康之人文都會環境與自然物種之共生價值為目標，以促進人類與生物群體共生共存之生態城市。

二、綠化指標

都市營建之相關法規建議：市區道路應採大量綠化以提升都市生活品質。惟其綠化僅止針對灌木、蔓藤、草地及建物立體綠化等，採以綠覆率、喬灌木植栽及栽種密度為原則，對於綠化之多樣性並無具體說明，本研究認為綠化指標不僅為綠美化，更應採原生樹種作為植栽選擇，以達適地適種之目的，而原生樹種不僅具有較優異的生存性，且其對於強化當地入口意象亦具其功效，故藉由鼓勵原生樹種之綠化指標係具有美化環境、淨化空氣品質及強化入口意象之目的，此外，植栽綠化亦是紓緩都市熱島現象的途徑之一，故本研究建議綠化評估指標可採行道樹種類、數量及其綠化面積比例做為評定標準。

三、節能指標

為配合京都議定書之執行，並響應政府節能減碳計畫之推行，加速台灣邁入低碳社會之步伐，於市區道路建構綠廊道不僅對於節能減碳具有實質且顯著之功效，更有助於減緩地球氣候日益溫暖化的危機，於市區道路建構綠廊道不

僅對於紓解整體都市溫度具有顯著之效果，且係公認降低二氧化碳之最佳良策，另經濟部能源局「節能減碳推廣手冊」(2008)指出：以台灣地區低緯度高日照之條件下，各地均宜採綠化景觀設計，以達通風冷卻與遮陽隔熱之效果，進而滿足節能、健康與環保的居住生活品質。故於市區道路建構綠廊非旦為世界趨勢且對於國人生活更具其實質之意義。

四、道路寬度指標

依行政院環保署「節能減碳-全民行動」(2008)述及：依林務局統計每公頃林地之 CO₂ 固定量約為 7.45~14.9 公噸/1500 株/年，估計每單株樹木之 CO₂ 固定量約為 5~10 公斤/年。故道路植栽樹木愈多則對於生活環境品質之改善愈加顯著，其道路綠廊價值愈越高。

另內政部營建署「市區道路人行道設計手冊」(2003)訂定：一般大型樹冠樹種之株距為 8~15 公尺，如樟樹、菩提樹及鳳凰木等；而小型樹冠樹種之株距為 4~6 公尺，如木棉、黑板樹及艷紫荊等。

綠廊道之建構首應考量道路寬度是否足夠，本研究建議於道路寬幅足夠之狀態下可採株距 15 公尺為種植標準，則每公里植栽樹木約有 67 株，對於環境景觀之改善將有極大之功效。

健康的都市生活「綠意」是不可或缺之要素，缺乏綠意的都市生活係很難奢言「永續發展」的居住品質，故本研究認為綠廊道之核心指標應為生態、綠化、節能及道路寬度，如圖 3.71。

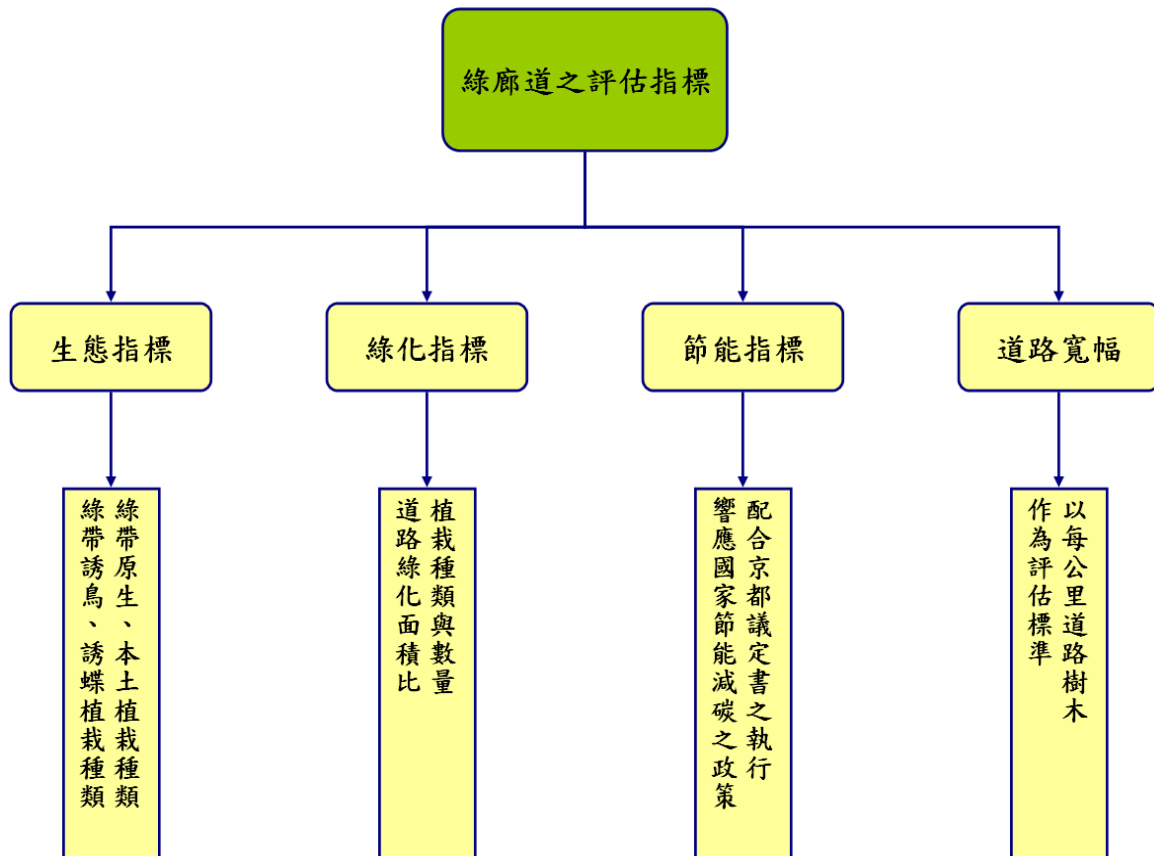


圖 3.71 綠廊道之評估指標

3.4.3 綠廊道之可行性評估

◎ 法規面之考量

依據市區道路人行道設計手冊，道路為都市地區之重要空間，道路綠化是推動綠廊道之重要元素，不僅為提供都市民眾接近綠色植物最佳途徑，且經由綠廊道之設計有重塑造街道景色之功能。目前地方政府多採民國五十八年公佈施行(八十二年修正頒布)之『台灣省公路行道樹栽植管理辦法』作為道路綠化植栽及管理依據。依據上述管理辦法第四條規定：新闢或拓寬之道路，其寬度 25 公尺以上者均應預留植栽空間；又依據台灣省示範道路整理標準：25 公尺寬道路兩側各留設 3 公尺之人行道，依據此標準應有足夠之空間於人行道栽植行道樹。

◎ 區位之考量

綠廊道之可行性，首先考量道路區位及寬度，因區位不同所具有之地形、土質、微氣候、綠地及生態棲息地等環境因子皆有差異，另寬度不同亦影響綠廊道之設計寬度及植栽類別，此層面關係著道路整體景觀成效，故建議各地方主管機關成立綠廊道之專業審議機制，授權地方政府因地制宜來表現城市之入口意象，如此即可為市區道路之綠廊道的整體景觀與生態環境把關。相關之研究報告如下：

- 一、Gordron.M(1986)指出：廊道之規劃重點在於寬度、連接度、間斷點、形狀及距離，完整的規劃對於整個環境生態具有強烈之影響。
- 二、Wenche E.Dramstad 於 1996 的研究報告指出：生態廊道之所以被重視是因為現代世界裡，生物棲地快速的孤立與破碎分裂，因此生態廊道的探討在於強調提供景觀連結性的重要。
- 三、鄔建國(2003)的研究報告指出：道路的景觀生態學在歐洲一直與土地和景觀的規劃、管理、保護和復育有密切關係，景觀生態學研究的對象和內容包括：景觀結構、景觀功能、景觀動態。

◎適宜綠廊道植栽之樹種

國內中多原生植物中有許多是非常適合用於景觀綠化用途，使用原生植物來進行市區道路之景觀綠化，不僅可建立當地特色與社區認同感，更符合「生態綠化」之趨勢，植栽計畫應超越以往僅以美觀裝飾為主之思維，應提升至「生態綠化」層次，以台灣原生樹種進行都市環境綠化，創造接近台灣山林野地之自然景觀，即為「生態綠化」原則。

植栽為營建元素之一，植栽與一般營建元素最大差異在於它有生命力，且目前設計施工單位普遍對植栽特性認識不足，致使設計上不盡如人意，故本研究依林務局(2003)「行道樹栽植與維護管理作業手冊」將行道樹植栽之環境限制因子及樹種選取條件歸納整理，以供未來各地方設計參考。

一、生長環境的限制因子

1. 空氣污染：汽機車、工廠排放出廢氣、煤煙、SO₂ 等有毒氣體及塵埃等空氣污染物，都會嚴重影響行道樹的生長環境。
2. 土壤惡劣：土壤中夾有磚塊、石子、木片等雜物，土壤惡化，路面、空地、廣場上的鋪面，對土壤中水分與空氣的滲透均有影響。
3. 人為或天然災害破壞：道路拓寬及開發建築而遭砍伐；道路以水泥、柏油封閉致死；病蟲為害，強風豪雨折倒；土石流失……等；枝幹遭任意鋸斷、修剪、採摘及繫綁廣告招牌旗幟等；因迷信地理、風水習俗而遭砍除；車輛撞傷或人為撕裂環剝，以致感染病菌或吸引昆蟲二次為害；缺乏有效行道樹專責管理維護工作。

二、樹種主要的選取條件

1. 樹性強健：耐空氣污染力、土壤適應性強、生長勢強、耐旱、抗風、抗病蟲害強、萌芽力強，存活容易。
2. 樹姿優美：樹冠為球形、半球形、傘形等；樹皮優美，根無盤錯；樹幹、葉疏密適中，樹齡可長久，根部無萌芽；葉大而厚，容易清理，枝幹耐修剪。
3. 樹容保健良好：通風良好，蔽蔭性強；花、果、葉無惡臭或刺激性氣味；幹、枝、葉無刺，不散放粉狀附著物。
4. 鄉土樹種：以具有鄉土特色之原生或鄉土樹為行道樹，更具區域生態特色。

據此可將我國較適宜植栽的樹木依北區、中區、南區及東部區域依原生樹種歸納為表 3.20。

表 3.20 我國各地市區道路較宜種植之原生樹種

適用地區	參考樹種
全台灣	茄苳、樟樹、香楠、烏心石、紅楠、大葉楠、青剛櫟、大頭茶、光臘樹、銳葉楊梅、木荷、台灣肖楠、黃連木、鵝掌藤、江某、奧氏虎皮楠、山紅柿、薯豆、杜英、黃槿、榕樹、樹杞、赤楠、海桐、月橘、厚皮香、相思樹、台灣海桐、土肉桂等。
北部	紅淡比、海欖果、厚葉石斑木、森氏楊桐、野鴨椿、魯花樹、山菜豆等。
中部	九丁榕、圓果青剛櫟、五掌楠、鐵冬青、台灣赤楠、小芽新木薑子、黃楊、小西氏石櫟、天料木、台灣梭羅木、青楓、甜藍盤等。
南部	草海桐、白榕、厚殼樹、穗花棋盤腳、苦藍盤、星果藤、濱樟（土樟）、蘭嶼樹杞、火筒木、毛柿、繖楊、棋盤腳、銀葉樹、蓮葉桐、瓊崖海棠、恆春楊梅等。
海岸地區	瓊崖海棠、海欖果、榕、黃槿、白水木、大葉山欖、台灣海欖、海桐、厚皮香、蒲葵、草海桐、鐵色、樹青、海茄苳、大葉黃楊、石斑木、林投、毛苦參、繖楊、檳樹、楸梧、苦藍盤、甜藍盤等。
高污染地區	1. SO₂ 污染區：樟樹、榕樹、香楠、紅楠、青剛櫟、圓果青剛櫟、內冬子、五掌楠、鐵冬青、台灣赤楠、疏脈赤楠、大頭茶、小芽新木薑子、光臘樹、黃楊、楊梅、茄苳、相思樹、月橘、竹柏、瓊崖海棠、垂柳、懸鈴木、杜鵑、鵝掌藤等。 2. 耐臭氣且吸收力較大之樹種：稜果榕、樟樹、茄苳、黃金榕、青剛櫟、女貞、夾竹桃等。

3.4.4 綠廊道之設計原則

道路的開闢與拓寬不僅在功能要滿足交通及安全上之需求，更需於生態與環境上滿足社會大眾之需求；使人在接觸道路時可產生一股舒適及喜悅的感覺，故市區道路綠美化之設計須依據植物特性以及周圍的環境予以搭配，以創造出豐富多采的生活空間。綠廊道不僅深具生態效益、環境效益、景觀效益及

生活效益等機能效用，此外，於市區道路建構綠廊道亦可反映地方人文特色和都市綠化之建設水準。

綠廊道之設計與推行應須因地制宜，為使研究成果能與國家政府計畫同步執行，故本研究蒐集近年來相關之國家計畫與地方政府計畫，如都市計畫、都市更新計畫及社區更新計畫等，此部份可為各地方政府推動市區相關建設之重要參考主軸，並將相關計畫歸納、分析、整理作為未來綠廊道之設計原則，並制定綠廊道之評估指標，供未來縣市政府於市區道路規劃與設計綠廊道方面參考。

◎ 相關的政府計畫

根據調查目前台灣對於市區道路綠化之相關計畫可分為國家型與都市型：

一、國家型計畫

1. 都市景觀道路規劃手冊之研究(台灣省住都處市鄉規劃局，1998)以提升環境景觀為目的，提出改善景觀道路及環境品質之對策。
2. 擬定城鄉景觀計畫及操作之研究(內政部營建署，1999)主要成果為景觀保育、地區景觀美質化的改善建議與推展永續都市。
3. 台灣地區自行車道規劃與設置(行政院體委會，2002)規畫全國區域及地方路網自行車道可與生態綠廊道做結合。
4. 台灣地區既有市區道路景觀與綠美化改善計畫(內政部營建署，2004)針對台灣市區道路既有斷面檢討，研擬景觀與綠美化改善對策。
5. 市區道路生態廊道整體建構計畫(內政部營建署，2005)針對台灣既有之市區道路空間檢討，並研擬指標及建構模式，其評估指標與綠建築指標相同。

二、都市型計畫

1. 綠色建築技術規範建立之研究(台北市政府工務局，1999)針對市區道路之綠覆率及隔離綠帶探討其設計要點及規範。
2. 綠色生態都市規劃(台北市政府都發局，1999)針對都市環境檢討以研

擬生態都市規劃之設計準則。

3. 台北市綠網要計畫(台北市政府都發局，1999)利用現有之市區道路加強其綠化基礎，且具有連續軸線使綠地相連。
4. 都市發展政策白皮書(台北市政府都發局，2002)生態都市的規劃應採取點線面之設計，推展永續之生態環境。

◎ 相關論述

一、都市生態系統

劉宏業於市區綠廊道規劃一書述及都市生態學理論，是 Robert E.Park 於 1916 年所提出「都市：對都市環境中人類行為的調查建議」的論文，他將都市視為一個生態系統，企圖以有機體的概念來研究及解決都市生態環境之問題，其中包含了都市的新陳代謝力、承載力、都市生態環境及養分循環等生態環境議題。

二、生態城市

劉宏業於市區綠廊道規劃一書述及 Register 於 1987 年的研究指出「生態城市 eco-city」是一具有健康生態特質之都市，而人類應持續秉持生態理念營建聚居環境，以創造與自然共存的永續都市，生態城市之精神主要建立在人類生存及健康舒適的環境，基於共生共存共榮的立場來規劃市區環境。

三.市區綠廊道規劃

劉宏業(2004)的研究報告指出：生態都市是一個具有健康特質之都市，使得生物與環境處於互利共生之狀態，並於兼顧景觀生態學之規劃原則下，使生態功能與交通運輸能相互謀合，以此前提下構築市區道路之綠廊道為都市永續發展之必要建設。

四.綠化空間發展策略之研究

顏文震(2003)的研究報告指出：完整的綠地系統亦須兼具防災、自然保育、休閒遊憩、社會文化、景觀美質等功能，且綠地規劃應依循永續發展之理

念，並應擬訂推行方針，落實生物多樣性、永續城鄉發展及環境價值觀之建立。

五.以景觀生態學廊道理論探討都市道路生態評估因子之研究

郭瓊瑩(2002)的研究報告指出：都市綠色廊道是結合都市生態、都市景觀美質與都市文化特徵。都市生態廊道在都市中所提供通道功能，不僅給予人交通上便利功能，亦能讓都市區域的自然生物族群於各棲地間的移動與生存，都市生態廊道之形成對生物提供了棲息時的基本功能，亦扮演著串連都市中零星破碎的生物棲地之角色。

六.台灣原生植物應用於綠建築生態指標群之研究

依「台灣原生植物應用於綠建築生態指標群之研究」(2008)述及：城市植栽綠化設計已逐漸擺脫單純的景觀設計手法，慢慢步入生態景觀層次，於規劃過程中仍適度保有自然生態之性質，另政府於2008年「生態城市綠營建推動方案」將更使綠美化之觀念大幅推進，以加速台灣邁入生態城市之步伐。

於參考相關論述與政府計畫後，本研究提出未來在綠廊道之規劃與設計主要原則可分為下列幾點：

1. 都市綠化方面，包含街道綠化與建築綠化，為達到健康永續綠化之目標，應以多元化植栽樹種及複層植栽等做法。
2. 道路生物多樣性的棲地再造方面，應維護都市之綠地生態環境、廣植誘蝶誘鳥的植物、推廣原生植物綠化市區道路。
3. 道路因使用對象及設計目的不同，故應因應各地方區域特色給予不同的植栽搭配，以強化各地方之入口意象。
4. 綠廊道之設計，應須配合都市計畫及道路發展計畫，並以交通安全為主要考量，尋求空間上之連貫性。

3.5 自行車道之現況分析與效益評估

3.5.1 現有自行車道現況分析

交通部運輸研究所「腳踏車專用道之規劃研究」(1999)將自行車道依路權使用形式分為：自行車專用道路、自行車專用車道及自行車共用車道等三種：

一、自行車專用道路（Bike Path）

係指一條道路僅供自行車和行人使用，不容許其他機動車輛使用，並與機動車輛道路分離設置，該道路即為自行車專用道路，如后豐鐵馬自行車專用道路，如圖 3.72。



圖 3.72 后豐鐵馬自行車專用道路

二、自行車專用車道（Bike Lane）

係指道路之一車道為自行車專用，通常設置於道路最外側，亦或設置於人行道上，其路權專屬於自行車，不容許其他車輛進入使用，該型式之車道即為自行車專用車道，如淡金公路自行車道，圖 3.73。



圖 3.73 淡金公路自行車道

三、自行車共用車道（Bike Route）

係指道路之一車道，除可供自行車使用外，亦容許其他車輛使用，該車道即稱為自行車共用車道，如景美自行車道，圖 3.74。



圖 3.74 景美自行車道

經文獻及案例之研析，本研究將自行車專用道路、自行車專用車道及自行車共用車道三種自行車道之特性歸納如下：

1. 自行車專用道路：其安全性雖為最佳，惟此種自行車道大多僅能劃設於河濱公園或郊區，欲將自行車專用道路完善規劃於市區道路中較為困難。
2. 自行車專用車道：其安全性與規劃施作性雖非最佳，且與行人之路權界定並不明確，惟透過完善之隔離設施或景觀設計可顯著提升其安全性，並可產生路權專屬性。
3. 自行車共用車道：其安全性為自行車道系統中最差的一種，於路口轉向處自行車極易與機動車輛產生動線衝突點，且停車車輛亦帶來不可預期之威脅，圖 3.75，雖其施作性為最佳，惟於車潮眾多之市區道路規劃自行車共用車道，必然提高自行車意外事件數。



圖 3.75 自行車意外事件

資料來源：營建署道路工程組

綜合以上各自行車道之特性分析，本研究歸納自行車道於市區道路之適用性如表 3.21。

表 3.21 自行車道於市區道路之適用性

	安全性	施作性	適用性
自行車專用道路	◎	X	○
自行車專用車道	○	○	◎
自行車共用車道	X	◎	X

◎優 ○良 X劣

本研究經調查全國自行車道並歸納分析如附錄一。全國各地目前所規畫之自行車道除於河濱公園及郊區外，於市區道路多屬於自行車共用車道類型，其安全性堪慮，實有重新規劃及修正之必要。本研究認為市區道路應採「自行車專用車道」較為適切，惟仍須配予完善之隔離設施提升其安全性方可完全納入市區道路。

3.5.2 自行車之國內外成本效益分析

於既有市區交通路網中，建構自行車專用道不僅能提供大眾不同的運旅選擇，更可紓解擁塞之交通，此外對降低空氣污染及增進國民健康更具其意義；故本研究乃針對於市區道路建構自行車之國內外實質效益、節能減碳效益及增進健康效益等進行探討，分述如下：

◎國外對自行車之成本效益分析

依交通部運輸研究所「腳踏車專用道之規劃研究-附錄」(1998)中述及：使用自行車對運輸成本及環境保護均有正面效益，而 Litman(1994)更於報告中將各項交通成本進行量化，探討使用自行車替代現有車輛對於交通成本的影響，結果發現使用自行車替代現有車輛可大幅降低交通成本，包括擁擠成本、污染成本、停車成本、使用成本、道路維修成本及能源成本等，分述如下：

一、擁擠成本

擁擠成本係指用路人相較於順暢交通下，額外增加的旅行時間及車輛運行成本，此外亦包含用路人因交通擁塞所產生之心理壓力及車輛因怠速排放廢氣所造成之空氣污染成本，如圖 3.76。都市交通以尖峰時間之擁擠成本最高，約為 0.03~0.15 美元/公里，平均值為 0.09 美元/公里。而自行車所耗費之擁擠成本僅約 0.01 美元/公里。故於市區道路以自行車替代機動車輛約可節省 0.08 美元/公里之擁擠成本。

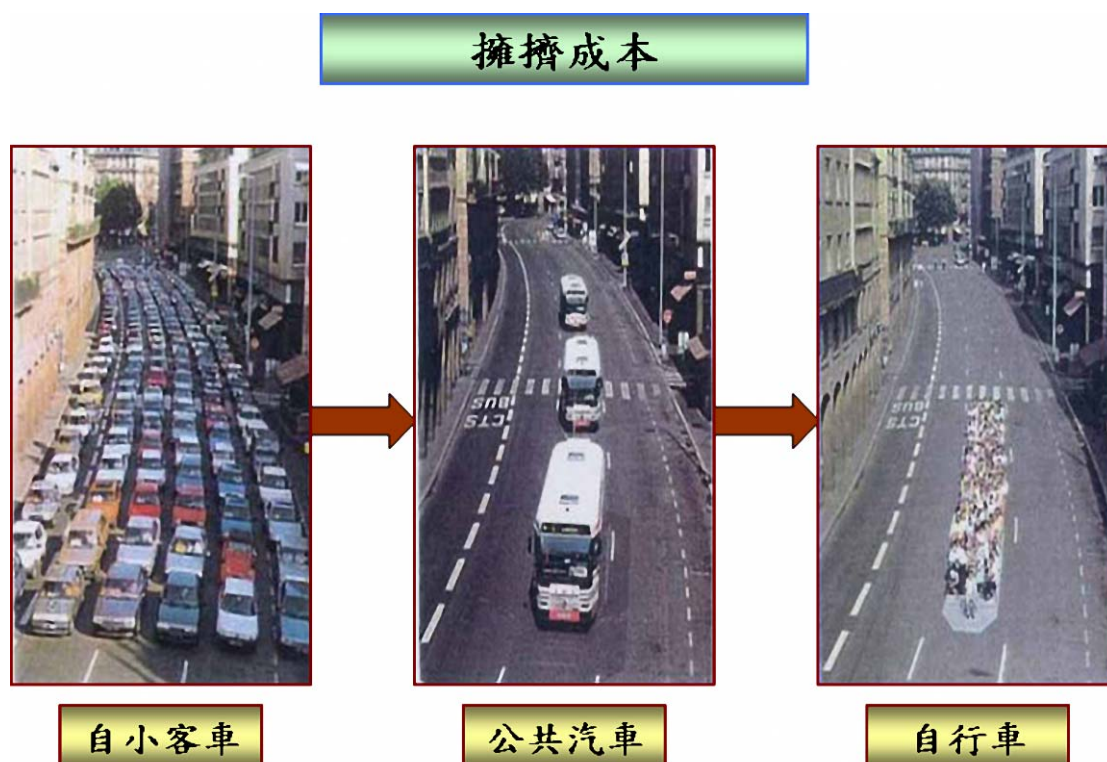


圖 3.76 擁擠成本-法國史特拉斯堡

資料來源：整理自人本交通時代意義

二、污染成本

騎乘自行車所造成的空氣與噪音污染幾近為零。空氣污染方面，若以自行車替代 1% 的機動車輛不僅可降低 2~4% 空氣污染，更可節省 0.03~0.05 美元/公里之空氣污染成本。此外自行車主要替代對象多為短程旅次，而汽車行駛於短程旅次所造成的污染成本，遠高於中長程旅次，故於都會區以自行車替代

1%之短程運旅車輛，對於空氣品質的改善將有更顯著之效益。

另噪音污染方面，機動車輛所造成之噪音污染成本約為 0.001~0.025 美金/公里，惟視地點與車型不同所產生的成本亦不同。若於噪音污染敏感區，如住宅區及校園周邊等，以自行車替代機動車輛做為運輸工具將可明顯降低噪音污染程度。

三、停車成本

停車空間係汽車主要成本之一，於都市地區每日租賃停車空間費用約為 2~4 美元，而自行車之停車空間多為市府機關免費提供，成本相對低廉。另於空間需求方面，若以台灣大學立體自行車架為例，1 輛汽車之停車空間約可容納 20 輛自行車，如圖 3.77，故以自行車替代汽車不僅可釋出大量空間，且平均每日約可節省 3 美元之停車成本。



圖 3.77 立體自行車架

四、使用成本

購買自行車所需花費的金額遠低於購買汽車者，若以市區短程旅次之變動成本(Variable Cost)估算，騎乘自行車將可大幅降低使用者成本，汽車每公里之使用成本約為 0.6 美元；自行車每公里之使用成本僅約 0.01 美元，故於市區交通路網中，由行駛汽車轉為騎乘自行車約可節省 0.6 美元/公里。

五、道路維修成本

道路維修成本主要係因機動車輛之車身重量對於路面所造成之破壞，另因交通意外事件導致之號誌及其他道路設施的毀損，亦為道路維修成本之一，估算行駛汽車所造成的道路維修成本約為 0.001~0.028 美元/公里；而自行車則因車體輕巧且車速低，鮮少對道路或周邊設施產生破壞，故道路維修成本幾近為零。

六、能源成本

自行車係採用人力驅動，騎乘時不需耗費化石能源，故於短程旅次使用自行車替代汽車，其能源節省效益相當可觀。市區尖峰旅次約可節省 0.12 美元/公里；離峰旅次約可節省 0.1 美元/公里之能源成本。

綜合以上，依 Litman 提出之六項量化數據，採負擔成本平均值做為量化金額，並以每日往返行程 8 公里計算，則可推估於美國地區以自行車替代機動車輛所節省之交通成本，歸納為表 3.22。

表 3.22 Litman 機動車輛轉自行車之量化效益

負擔成本	單價	日行 8 公里
擁擠成本	0.080 美元/公里	0.640
污染成本	0.053 美元/公里	0.424
使用成本	0.600 美元/公里	4.800
道路維修成本	0.014 美元/公里	0.112
化石能源成本	0.110 美元/公里	0.880
停車成本	3.000 美元/每日	3.000
總計		9.856 美元

◎國內對自行車之成本效益分析

市區道路建構自行車道除可舒緩交通擁塞外，更可降低全國二氧化碳排放量以達節能減碳之目標，另以自行車替代機動車輛之實質效益，本研究嘗試將

國內使用汽機車所需負擔之主要成本包括能源成本、污染成本、停車成本、元件維修保養費、國家交通稅賦、機動車輛強制責任保險費及車輛折舊率等進行探討，各分述如下：

一、能源成本

能源成本因國家地域不同而有所差異，根據經濟部能源委員會「車輛油耗指南」(2007)實驗數據指出：我國汽車每年平均約行駛 15,000 公里；化石能源消耗率係以美國檢測汽機車廢氣排放標準 FTP-75 測試，得車輛耗能平均值約為 10.5 公里/公升。另機車每年平均約行駛 4,500 公里；化石能源消耗率係以中華民國國家標準 CNS-3105 測試，得機車耗能平均值約為 39 公里/公升，又我國車用汽油成本係採浮動油價制度，本研究以民國九十七年七月份平均油價為 34.7 元/公升作為評估標準，推估台灣地區行駛汽車所使用之化石能源成本約為 3.304 元/公里；騎乘機車所使用之化石能源成本約為 0.889 元/公里，歸納為表 3.23。

表 3.23 台灣地區機動車輛能源使用成本

類別	總排放量等級 (cm3)	耗能標準(km/l)	能源價格(NT/l)	使用成本 (NT/km)
汽車	1800~2400	10.5	34.7	3.304
機車	100~150	39		0.889

二、污染成本

空氣污染成本，依環保署「移動污染源徵收費率」(2007)訂定：移動污染源之空污費採隨油徵收制度，汽、柴油之空污費得依其成分標準分為三級徵收，如表 3.24；噪音污染成本則無相關法規或數據得以進行量化評估，故台灣地區機動車輛之污染成本得以併入化石能源成本計算。

表 3.24 汽柴油空污費

單位：元/公升

級別	無鉛汽油	高級柴油
92	0.190	0.200
95	0.075	0.075
98	0.030	0.030

資料來源：本研究整理自環保署

三、停車成本

停車成本，依台北市政府「台北市重要統計速報」(2007)統計資料進行數據推估，2006 年台北市政府公有收費停車空間共有 93,926 個，同年停車空間總營收金額為 3,622,670,000 元，則每停車空間平均收入約為 105.669 元/日；而台灣地區之機車多停置於騎樓或市府機關免費提供之停車格，收費地段較少故不列入計算。

四、元件維修保養費

元件維修保養費，依交通部「台灣地區公路車輛行車成本調查」(1994)指出：機動車輛元件維修費用係指非經常性維修保養費用，如輪胎、鈑金及引擎等低耗損率元件，針對台北縣市、台中縣市及花蓮縣等五縣市，依車輛使用年數採抽樣記帳模式統計平均元件維修費用，本研究以車輛汽缸總排氣量為 1,801~2,400cm³；機車汽缸總排氣量低於 125cm³ 做為評估標準，下列為表 3.25(註：表格單位均為元)。

表 3.25-1 依車齡估算汽車每年平均維修費用

單位：元

抽樣縣市 汽車車齡	台北縣市	台中縣市	花蓮縣	平均
0~3 年	4,000	10,059	3,781	5,947
3~6 年	16,601	10,880	10,192	12,558
6~10 年	15,327	10,225	13,116	12,889

表 3.25-2 依車齡估算機車每年平均維修費用

單位：元

抽樣縣市 機車車齡	台北縣市	台中縣市	花蓮縣	平均
0~3 年	1,891	988	973	1,284
3~6 年	2,285	1,501	1,385	1,724
6~10 年	1,850	1,107	1,006	1,321

表 3.25-3 機動車輛不分車齡估算每年平均維修費用

單位：元

類別	不分車齡平均維修保養費用(年)
汽車	10,464.66
機車	1,442.88

五、國家交通稅賦

國家交通稅賦，根據公路局「燃料使用費、使用牌照稅作業相關規定」(2008)訂定：使用公共道路之交通工具，其所有人或使用人應依交通工具種類，分別繳納燃料稅及使用牌照稅賦，本研究以車輛汽缸總排氣量為 $1,801\sim 2,400\text{cm}^3$ ；機車汽缸總排氣量低於 125cm^3 做為評估標準，歸納如表 3.26。

表 3.26 機動車輛交通運輸稅賦

交通類別 稅賦	燃料稅	牌照稅	稅賦總和(元/年)
汽車	6,210	11,230	17,440
機車	900	0	450

註：其中機車燃料稅為 900 元/兩年

六、機動車輛保險費用

機動車輛保險費用方面，得依交通工具所有人或使用人之需求逕行投保，惟財政部「強制汽車責任保險」(2008)為強制交保，故本研究僅針對機動車輛強制責任險部份進行量化推估，自小客車強制責任險費用依車齡分為四個級別與五種駕駛人年齡層，又性別不同繳交金額亦有所變動，如表 3.27，依駕駛人年齡層分布及男女權重因子作為運算參數，計算方式請參閱附錄二，經計算結果平均保險費金額均坐落於常態分佈範圍內，為合理狀態；而機車強制責任險費用則為固定金額，故台灣地區機動車輛之平均保險費用可歸納為表 3.28。

表 3.27 自小客車強制責任險費率

自小客車汽車強制責任險費率										
年 齡	20 歲以下		20-25 歲		25-30 歲		30-60 歲		60 歲以上	
性別 使用期間	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
新車無投保記錄 或未滿一年者	4,057	2,816	3,761	2,625	2,536	1,931	1,842	1,724	1,916	1,532
投保滿一年以上 且無肇事記錄者	3,791	2,551	3,496	2,359	2,270	1,665	1,576	1,458	1,650	1,266
投保滿二年以上 且無肇事記錄者	3,673	2,433	3,377	2,241	2,152	1,547	1,458	1,340	1,532	1,148
投保滿三年以上 且無肇事記錄者	3,614	2,374	3,318	2,182	2,093	1,488	1,399	1,281	1,473	1,089

表 3.28 台灣地區機動車輛之平均保險費

類別	強制責任險費用(年)
汽車	1,685
機車	716

註：其中機車強制責任險費用為 1432/兩年

七、機動車輛折舊率

依經濟部能源委員會「車輛油耗指南」(2007)指出：台灣機動車輛平均使

用年限約為 10 年。根據調查車輛「MITSUBISHI MOTORS 2005~2006」平均價格約為 940,000 元；機車「KYMCO 2006~2007」平均價格約為 60,000 元，若以每年平均折舊率計算，則車輛平均折舊約為 94,000 元/年，機車則為 6,000 元/年。

綜上所提出之七項量化成本，推估於台灣地區使用機動車輛所需負擔之交通成本，歸納為表 3.29。

表 3.29 台灣地區使用機動車輛成本推估表

負擔成本		單位	台幣(元)
化石能源成本 (含污染成本)	汽車	km/l	3.3
	機車		0.9
停車成本	汽車	日	105.7
	機車		0.0
元件維修保養費	汽車	年	10,464.6
	機車		1,442.8
國家交通稅賦	汽車	年	17,440.0
	機車		450.0
機動車輛保險費用	汽車	年	1,685.0
	機車		716.0
機動車輛折舊率	汽車	年	94,000.0
	機車		6,000.0

註：本表採四捨五入運算至小數點第一位

又自行車主要替代對象多為短程旅次，依台北縣政府「臺北縣自行車運旅現況分析」(2007)指出：自行車騎士認為平均運旅時間以 20 分鐘內為宜；運旅距離則以 3~4 公里較為適合。若以每機動車輛往返行程 8 公里/日計算，則可估算鼓勵「機動車輛轉移自行車」之年投資成本，歸納如表 3.30。

表 3.30 鼓勵「機動車輛轉移自行車」之年投資成本估算

移轉類別	台幣(元)/年
汽車	171,806
機車	11,237

註：本表採四捨五入運算至個位數

另根據交通部運輸研究所「臺灣地區歷年人口及汽車持有數」(2007)統計數據顯示：台灣地區機動車輛數最多之縣市為台北縣市、桃園縣、台中縣及高雄市等五縣市，如表 3.31。

表 3.31 機動車輛數最多之縣市

縣市 \ 項目	機車數	汽車數	總機動車輛
台北市	1,046,184	731,755	1,777,939
台北縣	2,093,606	898,188	2,991,794
桃園縣	963,860	612,597	1,576,457
台中縣	928,269	524,878	1,453,147
高雄市	1,160,260	432,249	1,592,509
總和	6,192,179	3,199,667	9,391,846

若於上述各縣市鼓勵「機動車輛轉移自行車」，並以 1%轉移效率計算，則上述縣市每年約可節省車輛負擔成本 5,497,219,886 元；而機車方面則可節省約 695,815,154 元。此外該五縣市之汽機車總量約佔全國 46.38%，故若於全國各縣市鼓勵「機動車輛轉移自行車」，其所節省之實質效益將更為驚人。

3.5.3 自行車道環境保護與健康效益分析

一、節能減碳效益

根據經濟部能源局「能源統計手冊」(2007)及「我國能源有關 CO₂ 排放統

計與分析」(2007)指出：歷年來我國車用汽油(Motor Gasoline)消耗量呈逐年上升趨勢，如圖 3.78，於 2007 年我國石油產品總消費約為 54,326 千公秉油當量，而車用汽油則佔 15.99%，即機動車輛年耗費 8,688.3 千公秉油當量。

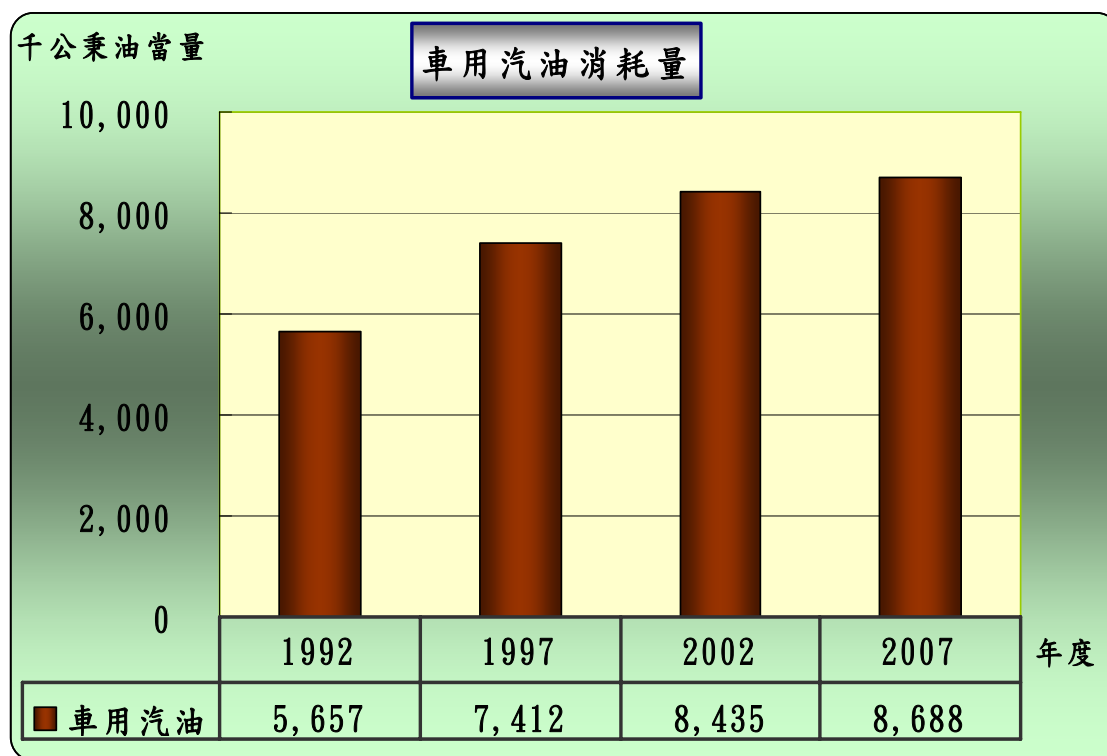
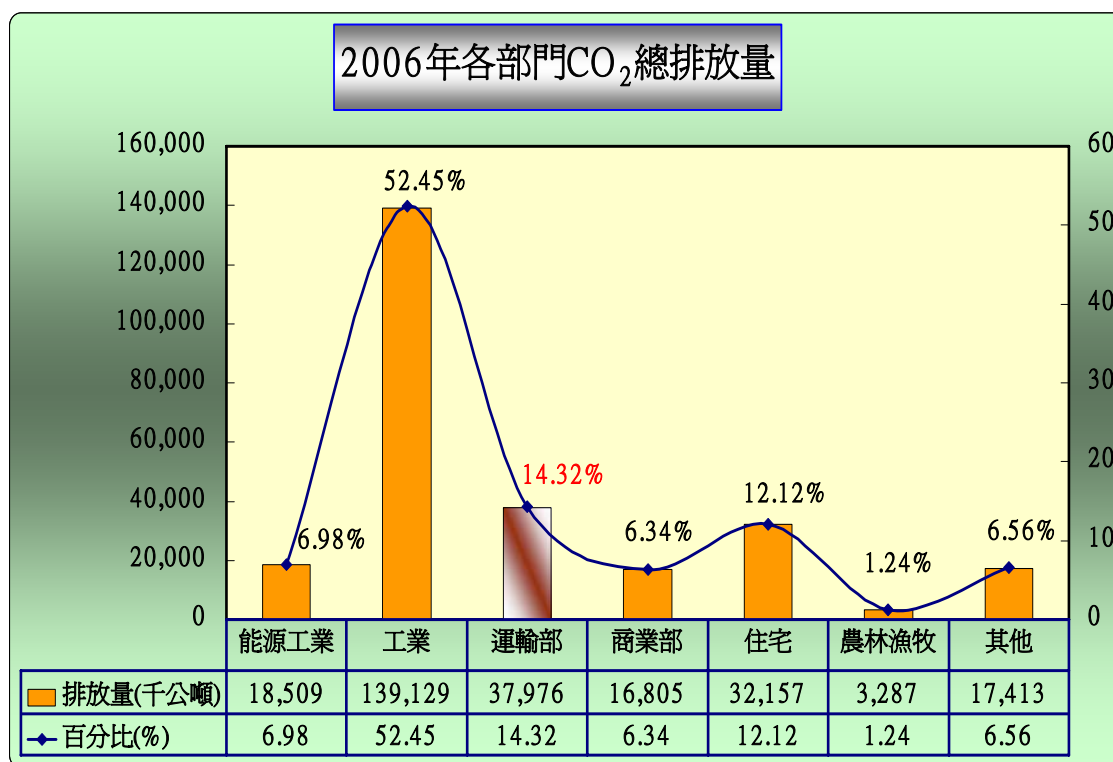


圖 3.78 歷年車用汽油消耗量

另能源局能環所針對我國各部門之 CO₂ 排放量統計如圖 3.79，其中交通運輸部門之 CO₂ 總排放量約為 37,976 千公噸，佔全國 CO₂ 總排放量 14.32%。

圖 3.79 我國各部門之 CO₂ 排放量統計

依行政院經濟建設委員會「人本交通之時代意義」(2008)指出：公路運輸之二氧化碳排放量約佔運輸部門 93.4%。故可推估於台灣地區以自行車替代國內短程運旅之機動車輛 1%，約可節省化石能源 86.88 千公秉油當量，經車用汽油熱值(Heating Value)為 7,800 千卡/公升及油當量 LOE(9,000 千卡/公升)，轉換約為 100,242,298 公升；而二氧化碳排放量則可降低 354.69 千公噸。

二、增進健康效益

令現代人擔憂的健康問題中，有許多肇因於運動不足所引起的肥胖及慢性病，而騎乘自行車不僅具有代步性質，更可提高運動量及培養運動習慣，此外自行車運動亦為環保潮流之一，不僅如此，近年來騎乘自行車已逐漸成為時尚流行運動與休閒活動，更是都市人愉悅心靈的方式。根據台北體育學院「騎乘自行車健康行」(2006)指出：醫學界及運動界所公認最有氧的運動為長跑、游泳及騎乘自行車，其中以騎乘自行車為最易從事且不受場地及年齡之限制。

自行車所提供之健康效益包括：促進心肺功能、增強肌肉耐力及有效控制體重等。茲分述如下：

1. 促進心肺功能

騎乘自行車對於促進心肺功能有極佳之效果，亦為老少咸宜之運動與休閒活動，年長者可藉由踩踏運動加速血液循環達到新陳代謝之效果，且有助於慢性病之預防，而醫學上則建議慢性病患者以騎乘自行車來進行復健療程；年輕人則可藉由自行車運動雕塑身體曲線及鍛鍊體力。

2. 增強肌肉耐力

踩踏運動中使用最頻繁之肌肉群為大腿前側及小腿後側肌肉，而無論騎自行車通勤或運動，通常均具有一定時間長度，長時間地使用肌肉，其韌性自然增強，可使原先鬆弛之脂肪鍛鍊成結實的肌肉，故運動學上認為自行車運動有助於健美腿部肌肉群。

3. 有效控制體重

有氧運動係指長時間運動狀態下，身體對氧氣供需及運動代謝物之排除達順暢平衡狀態，並可燃燒多餘的脂肪熱量以增進心肺功能，故於有氧運動狀態下熱量之消耗非常驚人。

另「騎乘自行車健康行」更於報告中針對不同體重之自行車騎士進行熱量消耗統計，如表 3.32。若欲降低運動者 1 公斤之體重則需燃燒 7,700 大卡，據此自行車騎士可自行推估所需消耗之熱量及運動時間，進而達到控制體重之目的。

表 3.32 自行車熱量消耗統計

單位：K-cal/min

平地騎乘速度 騎士體重	8~9 km/hr	16 km/hr	19 km/hr	21 km/hr
45 公斤	3.3	5.5	6.5	7.1
50 公斤	3.7	6.1	7.3	7.9
55 公斤	4.0	6.7	8.0	8.7
60 公斤	4.4	7.4	8.7	9.5
65 公斤	4.8	8.0	9.4	10.2
70 公斤	5.1	8.6	10.2	11.0
75 公斤	5.5	9.2	10.9	11.8
80 公斤	5.9	9.8	11.6	12.6
85 公斤	6.2	10.4	12.3	13.4
90 公斤	6.6	11.0	13.1	14.2

資料來源：騎乘自行車健康行。

綜上效益分析，本研究認為於市區道路建構自行車道，非但可紓解過度擁塞之交通路網，更可改善國人生活環境品質以提升城市適居性，另對於減少溫室氣體排放及化石能源之減量均有顯著之功效，亦可響應節能減碳之國家政策。此外，為改善自行車道之騎乘環境品質，建議未來於市區道路建構自行車道時，亦應規劃納入綠廊道，以達「單車上路倡環保，配合綠廊多健康」之願景。故於市區道路推廣自行車道，其主要核心價值為節能減碳、提供休閒娛樂、串聯各地景點及運動健身效果等，如圖 3.80。

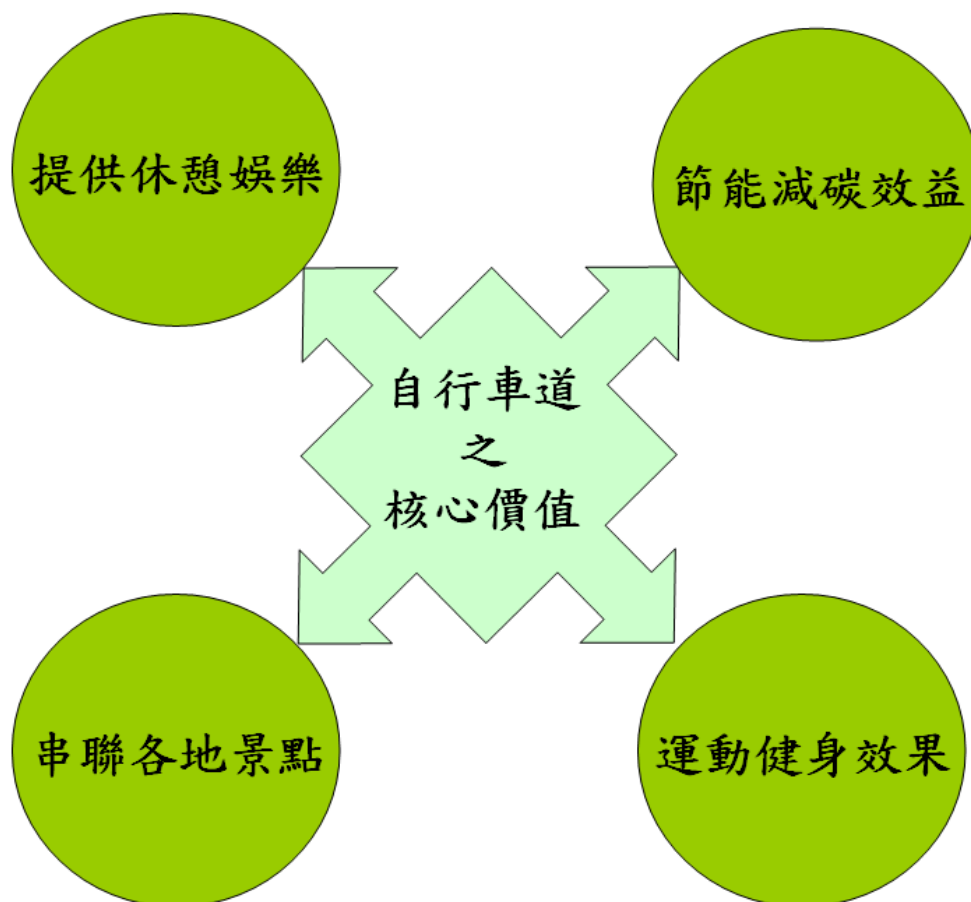


圖 3.80 自行車道之核心價值

3.5.4 自行車道應用於市區道路之規劃原則

自行車道除可達成環保且便捷之運旅需求外，更可提供民眾滿足體健及休閒娛樂之適意生活。完善的自行車道規劃不僅為都市重要生態廊道之一，更是連結都市綠廊重要環節，為配合政府「挑戰 2008 國家發展重點計畫」建立 E 世代終身學習運動方案，本研究依行政院體育委員會「自行車道設施設計準則彙編」(2007)及交通部運輸研究所「腳踏車專用道之規劃研究」(1999)提出自行車道規劃原則，希冀藉由自行車道之建設提昇國人休閒運動風氣，並改善整體生活環境之品質。

根據交通部運輸研究所「腳踏車專用道之規劃研究-附件」(1998)述及：澳

洲維多利亞運輸廳於「腳踏車道之規劃與設計」(1987)報告書中針對澳洲自行車騎士選用自行車道之因素進行統計，依重要順位排序如表 3.33。

表 3.33 自行車騎士選擇使用自行車道之因素

順位	選擇因素
1	安全
2	自行車道路線直接不轉彎
3	自行車道兩旁景色優美
4	自行車道路面平滑
5	自行車道坡度小

資料來源：本研究整理自 Victoria Ministry of Transport

台北縣政府「台北縣市區自行車道路網規劃研究」(2007)指出：於市區道路規劃自行車道不僅可提高自行車使用率，並可降低國人對機動車輛之依賴，另對於紓緩擁塞之交通路網更有莫大效益。另根據自行車道使用意見調查結果發現，自行車騎士普遍認為市區道路車潮眾多且速度過快，且自行車道缺乏安全設施導致肇事率過高及騎乘環境品質不佳等，皆為妨礙自行車使用之主要因素，故自行車騎士選用自行車道之優先順序依序為安全性、便利性及環境天候。

綜合上述，若於市區道路規劃以休閒及通勤為主之自行車交通路網，應首重提供安全之運旅環境，故規劃自行車道應研訂完整而綜合性之措施，使自行車騎士有安全、便捷且舒適之騎乘空間，本研究建議為提昇自行車道之品質及專用路權，應增設措施包括改善自行車道鋪面、自行車道標線、自行車專用標誌與號誌及自行車道分離設施，期經由完善措施提高我國自行車使用率。

本研究認為市區道路建構自行車道首應考量自行車騎士之基本寬度及行駛時擺動所需之活動空間，另因市區車潮眾多且自行車道缺乏安全設施，導致自行車與機動車輛肇事事事件層出不窮，而目前交通部計畫將自行車歸類為短程

運旅工具，並以路權釋出方式將自行車道規劃於市區道路，惟自行車道之路權專屬性質仍未制定完整規範且無明顯特徵，致使經常發生人車爭道之現象，故建議未來可於道路新建或更新計畫，重新規劃並制定自行車路權專屬性質，方能提供安全舒適之騎乘環境。

一、寬度設計

根據內政部「市區道路工程規劃及設計規範之研究」(2001)規定：自行車道係指僅供自行車行駛之車道，單向單行之自行車道寬度以 1.5 公尺為原則，但不得小於 1.2 公尺；單向雙行或雙向單行之自行車道寬度則需大於 2 公尺，圖 3.81。

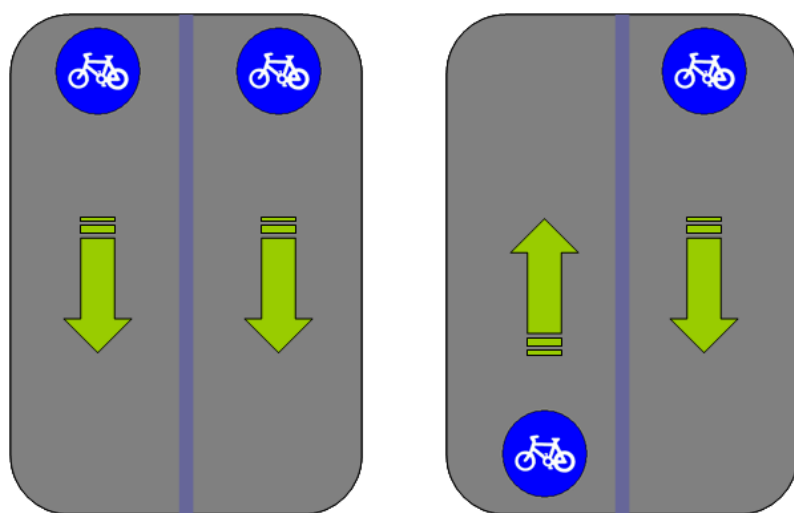


圖 3.81 單向雙行與雙向單行之自行車道示意圖

惟市區道路於交通尖峰時間常有過度擁塞之現象，且路幅寬度有限，為避免因建構自行車道導致交通尖峰時間遲滯，故市區道路規劃自行車道應採最小值設計較為適切。自行車騎士之基本寬度約為 0.6 公尺，單人騎乘時兩側活動空間可設計為 0.3 公尺；而雙人騎乘則兩車間距為 0.4 公尺，側邊活動空間則為 0.2 公尺，如圖 3.82。另路面標線部份，無論單向雙行或雙向單行之自行車道，其行進方向皆應清楚標示，以避免因騎乘動線不明產生車道阻滯之情形。

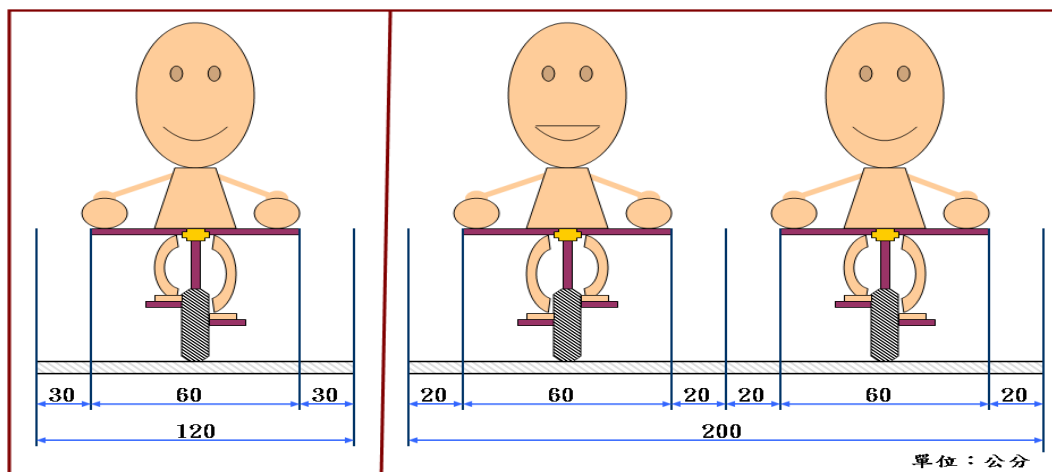


圖 3.82 單人及雙人自行車騎乘空間示意圖

二、安全措施

於市區道路騎乘自行車，最令人擔憂者即是安全問題，無論澳洲維多利亞運輸廳或台北縣政府之統計報告皆顯示：安全問題係自行車騎士最為關切之問題。故為營造安全舒適之騎乘環境，本研究認為應採安全第一之理念建構市區道路自行車道。為維護自行車騎士安全，自行車道應劃設於人行道與停車格或分隔島之間，使自行車與汽機車間有停車車輛或分隔島的緩衝與保護。另路口轉向處為自行車與機動車輛最易發生動線衝突之處，應增設自行車專用號誌以減少車輛動線衝突點及肇事率，此設計方式應可大幅提升自行車專用車道之安全性，如圖 3.83。惟路幅寬度較小之道路欲建構自行車道，可採道路分隔柱或車止等隔離措施以提升自行車道安全性，如圖 3.84。

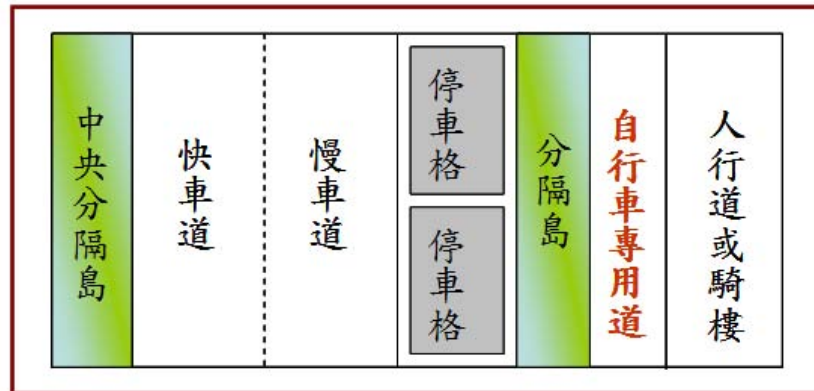


圖 3.83 市區道路自行車專用車道設計圖



圖 3.84 道路分隔柱與車止

三、專用路權

為響應節能減碳政策，騎乘自行車人口不斷增加，根據行政院經濟建設委員會指出：台灣地區騎乘自行車通勤及休閒之人口呈逐年成長之趨勢，由 2006 年的 33 萬人成長至 2007 年的 46 萬人，預估 2008 年將成長至 70 萬人，圖 3.85。

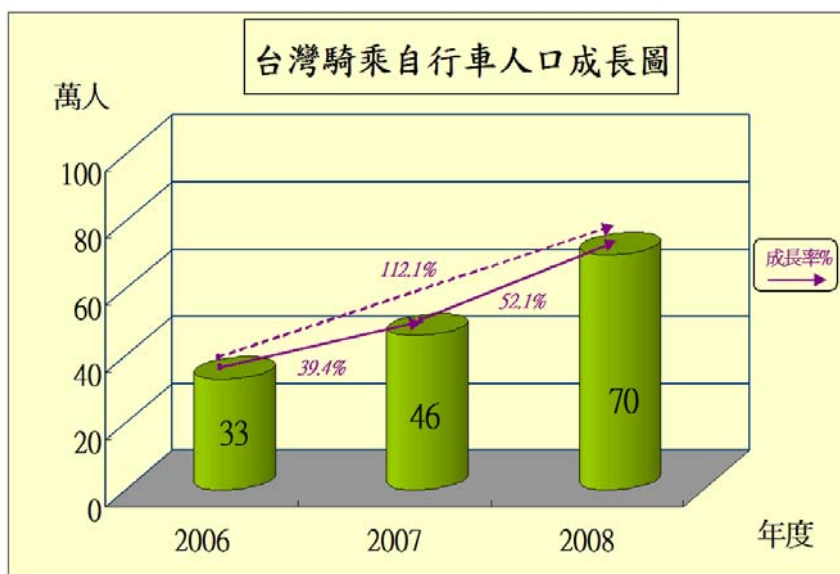


圖 3.85 台灣騎乘自行車人口成長圖

由於全民運動之推廣及休閒生活之暢行，騎乘自行車儼然成為近年來蔚為盛行之通勤工具與休閒活動，為因應騎乘自行車人口不斷增加，各地方政府亦不斷新建自行車道，惟目前都會區域之自行車道多劃設於人行道，採共用路權制度，致使人車爭道現象層出不窮，如圖 3.86 所示。



圖 3.86 人行道與自行車道共用路權

本研究建議，為強調自行車道之絕對路權，可將自行車道高程調降 2~3 公分，以避免因路權共用所造成人車爭道之情形，圖 3.87。另車道緣邊應採圓角防護措施，以降低因不慎碰撞時所造成之傷害。

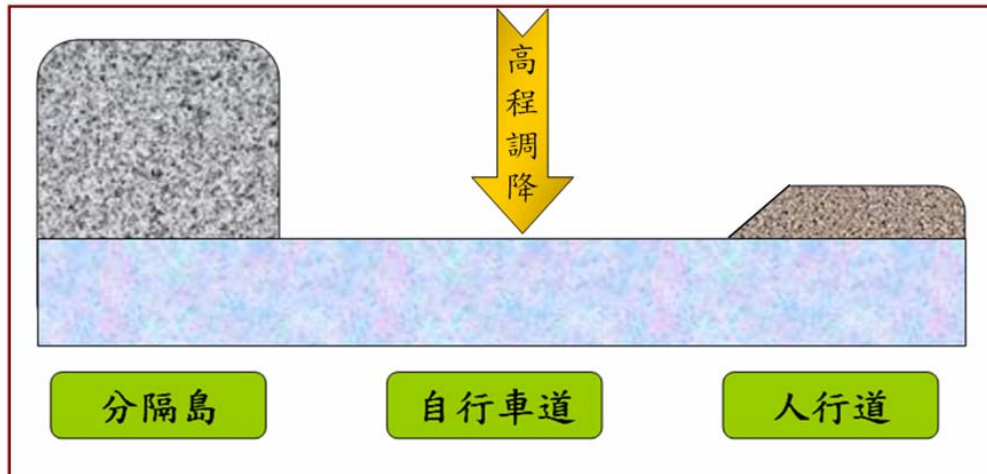


圖 3.87 自行車道剖面示意圖

另車道鋪面材質可選用顏色鮮明之透水鋪面，透水性鋪面不僅具生態永續概念，於市區道路鋪設透水性鋪面更具基地保水、降溫、抗滑及資源再利用等功效，進而提供用路人安全舒適之運旅品質，如圖 3.88 所示。



圖 3.88 顏色鮮明之透水鋪面

四、平坦度及入口意象

用路人對於道路鋪面之要求，首以平坦度為重，而影響道路平坦度最甚者為人孔蓋之挖掘，根據台北市新工處統計，台北市區約有 29 萬個人孔蓋。而諸多人孔蓋難免修築於自行車道，如圖 3.89 所示，為提升自行車道平坦度，依鄭光炎「提升既有市區道路品質之研究」(2007)指出：對於道路因人孔蓋之挖掘所造成的凹陷及不平整問題，可採用 EPO 機械工法，此工法不僅工期短，更可將人孔蓋與路面高差控制在 12.7 mm 內，如圖 3.90 所示。

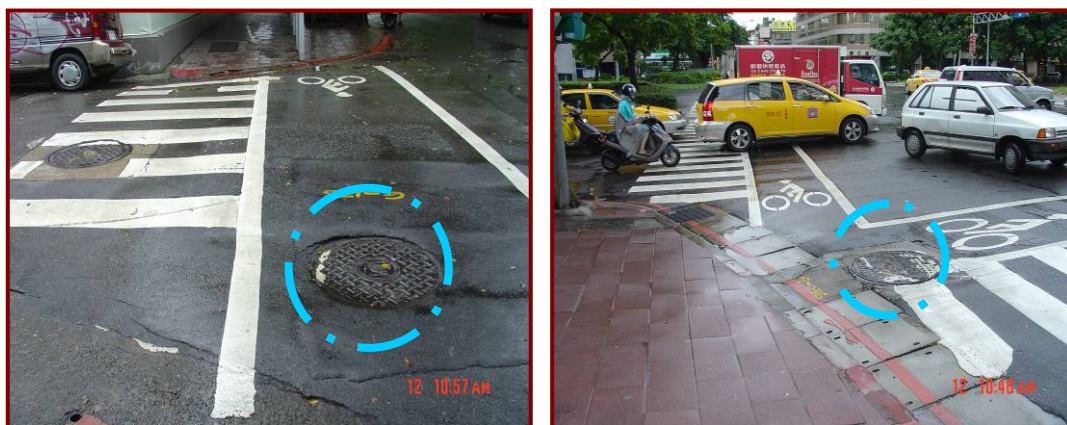


圖 3.89 敦化南路自行車道之人孔蓋



圖 3.90 人孔蓋 EPO 機械工法

資料來源：福良重智

另為提升自行車道之入口意象，可於人孔蓋繪製意象性牌誌，不僅能表達

當地人文環境特色，亦可塑造地域認同感，如圖 3.91 所示，此外若於人孔蓋匯入廣告元素更可為政府增添額外收入，如圖 3.92 所示，而分隔島部分則應採低衝擊開發技術並配合原生樹種植栽，不但可創造都市之生態藝術景觀，更可淨化空氣品質，進而提高城市適居性。

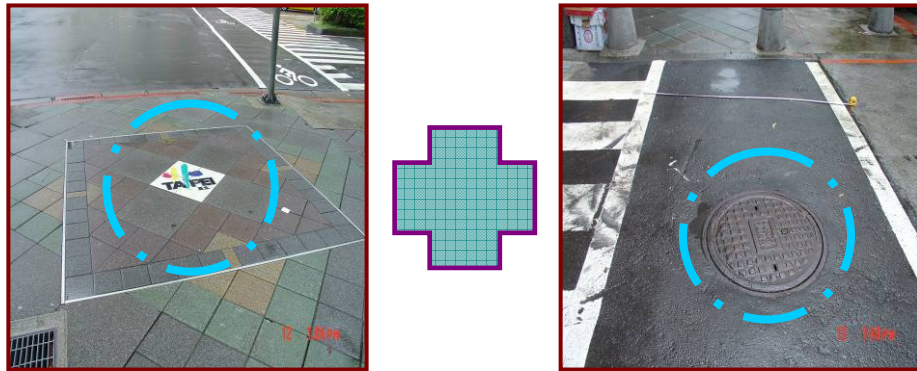


圖 3.91 以人孔蓋強化入口意象



圖 3.92 人孔蓋匯入廣告元素

資料來源：Folgers Café

五、路權釋出

劃設自行車道首應考量道路之路幅寬度。然並非所有市區道路皆有足夠路幅寬度可供劃設自行車道，無疑為造成自行車推廣之障礙，於此可根據內政部「市區道路及附屬工程設計標準」(2006)及營建署「市區道路工程規劃及設計

規範之研究」(2001)所訂定之規範，於市區次要道路建構自行車道應採因地制宜方式，視道路橫斷面需求釋出適當路權寬度以供建構自行車道，其法規內容整理如下：

※「市區道路及附屬工程設計標準」第六條 次要道路之規劃設計 訂定：次要道路之規劃設計得依道路之運輸特性及道路實質條件等，設置機車道或自行車道。

※「市區道路工程規劃及設計規範之研究」第五章 路權寬度縮減原則 訂定：市區道路之各種道路橫斷面應依道路規劃單元組合，惟當道路寬度受限時，各規劃單元應考慮酌予減少寬度，調整項目先後依序為汽車道寬度、混合車道寬度、機車專用道寬度、車道分隔帶寬度、中央分隔帶寬度、取消路邊停車帶、人行道寬度。

本研究認為：市區道路建構自行車道不僅可使路權明顯劃分，並可提高自行車騎士之安全性，惟自行車道之設立並非對所有用路人皆有正面之安全性與方便性，故針對各用路人對於自行車道建構之路權影響，歸納如表 3.34。綜合上述規劃原則，可繪製市區道路之自行車道示意圖，如圖 3.93 所示。

表 3.34 各用路人對於自行車道建構之路權影響

類別	路權敘述	方便性	安全性
自行車騎士	因建構自行車道而產生絕對路權	提升	提升
機動車輛	因車道寬度縮減但可避免動線衝突	降低	提升
行人	因人行道寬度縮減但可避免人車爭道	降低	提升
路邊停車車輛	因停車格寬度縮減兩側均增加擦撞可能性	降低	降低

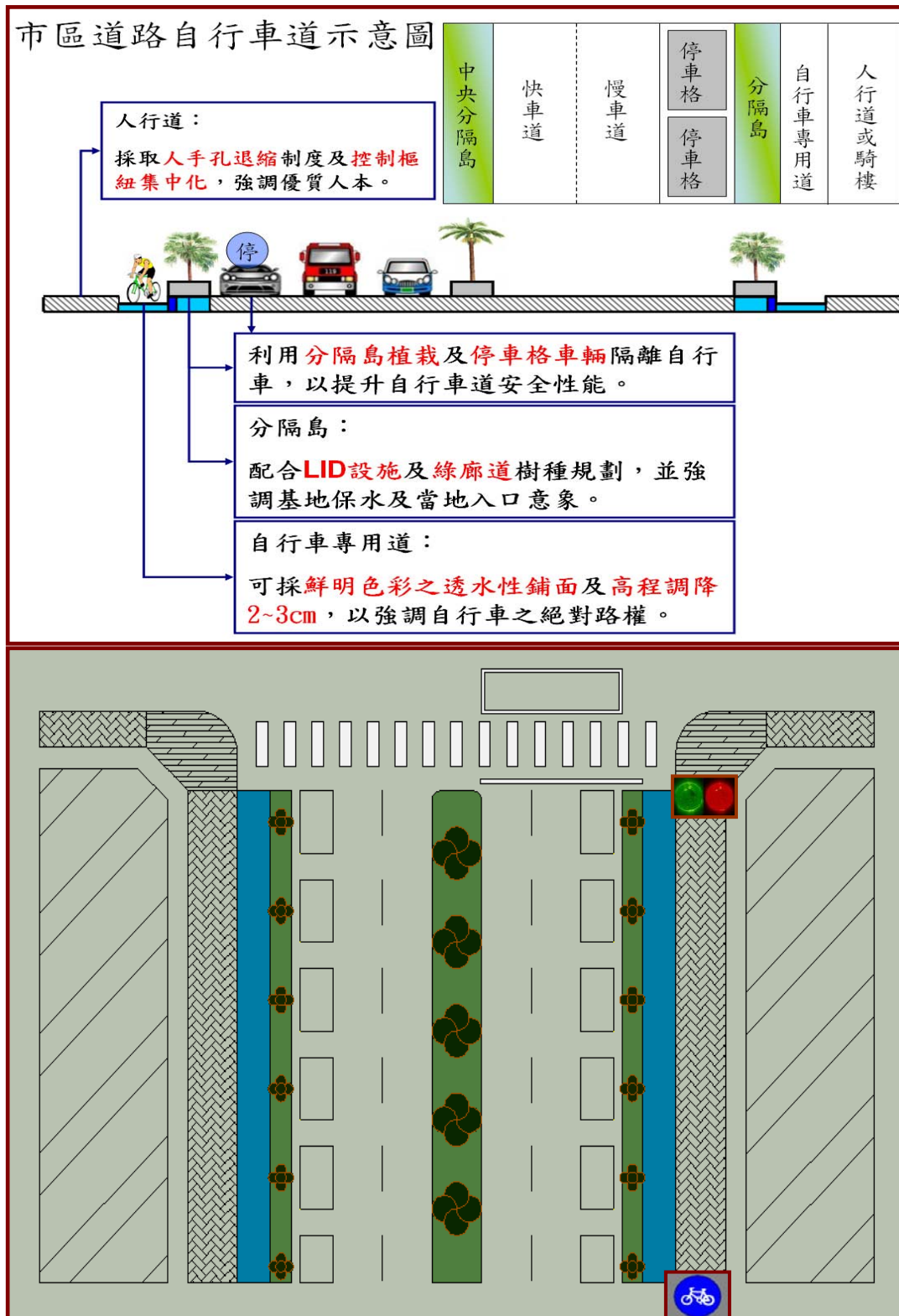


圖 3.93 市區道路自行車示意圖

3.5.5 台北市區自行車道綜合探討

綜上自行車道設計原則，本研究針對台北市-敦化南路自行車道，如圖 3.94，進行綜合探討，依自行車道之車道寬度、安全措施、綠廊價值及服務水準等作為評定標準，並將評定等級列分五等，探討內容敘述如下：



圖 3.94 台北市-敦化南路自行車道

一、車道寬度

根據內政部「市區道路工程規劃及設計規範之研究」(2001)訂定：單人騎乘之自行車道寬度以 1.5 公尺為原則，但不得小於 1.2 公尺，雙人騎乘之寬度則須大於 2 公尺。

另內政部「市區道路附屬工程設計規範-草案」(2008)建議：市區道路自行車道斷面單元，若為單向雙行或雙向單行之自行車道寬度以大於 2.5 公尺較為適切。

據此可將自行車道寬度評定等級列為表 3.35。

表 3.35 自行車道-車道寬度評分等級

等級	單位：公尺				
	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
自行車道 寬度	<1.2	1.2~1.5	1.5~2	2~2.5	2.5<

二、安全措施

依自行車道之周邊安全設施及環境保護系統作為評估標準，設置自行車交通號誌、車道專用標線、彩色透水鋪面、高程調降設計及車止路柱等各具一評分等級，以累計制度評估自行車道安全等級，如表 3.36。

表 3.36 自行車道-安全設施評分等級

等級	★	★	★	★	★
自行車道 設施	交通號誌	專用標線	透水鋪面	高程調降	車止路柱
	累計制				

三、綠廊價值

根據行政院環保署「節能減碳-全民行動」(2008)述及：依林務局統計每公

頃林地之 CO₂ 固定量約為 7.45~14.9 公噸/1,500 株/年，估計每單株樹木之 CO₂ 固定量約為 5~10 公斤/年。故道路植栽樹木愈多則綠廊價值愈越高。

又內政部營建署「市區道路人行道設計手冊」(2003)訂定：一般大型樹冠樹種之株距為 8~15 公尺，如樟樹、菩提樹及鳳凰木等；而小型樹冠樹種之株距為 4~6 公尺，如木棉、黑板樹及艷紫荊等。

若以株距 15 公尺為種植標準，則每公里植栽樹木約有 67 株，據此標準列分五級，則道路每公里植栽數評分等級，如表 3.37。

表 3.37 自行車道-綠廊價值評分等級

單位：株

等級	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
每公里植栽樹木	1~13	14~26	27~40	41~54	54~67

四、服務水準

交通部運輸研究所「台灣地區公路容量手冊」(2001)指出：度量道路服務水準常用的績效指標為行進速率、便利性、操作自由度及交通流阻滯度等，故服務水準可採自行車之騎乘速度作為量化評定標準。

另依交通部運輸研究所「腳踏車專用道之規劃研究-附錄」(1998)述及：隨自行車騎士之年齡層不同，各有其適合之騎乘速度，一般自行車車道之設計速率約為 30 km/h。依此作為運算標準，將服務水準列分五級，表 3.38。

表 3.38 自行車道-服務水準評分等級

單位：km/h

等級	★	★★	★★★	★★★★	★★★★★
騎乘速度	1~6	7~12	13~18	19~24	25~30

根據台北市-敦化南路自行車道現場勘查結果，自行車道寬度約為 2.16 公尺，安全設施有自行車道專用標線及路柱，單邊車道每公里植栽約為 43 株，交通離峰時間自行車騎乘速度可達 21 km/h，故自行車道之綜合評價可列為表 3.39，並繪製雷達綜合評價圖 3.95。

表 3.39 台北市-敦化南路自行車道綜合評價表

台北市-敦化南路自行車道	
車道寬度	★★★★★
安全設施	★★
綠廊價值	★★★★★
服務水準	★★★★★

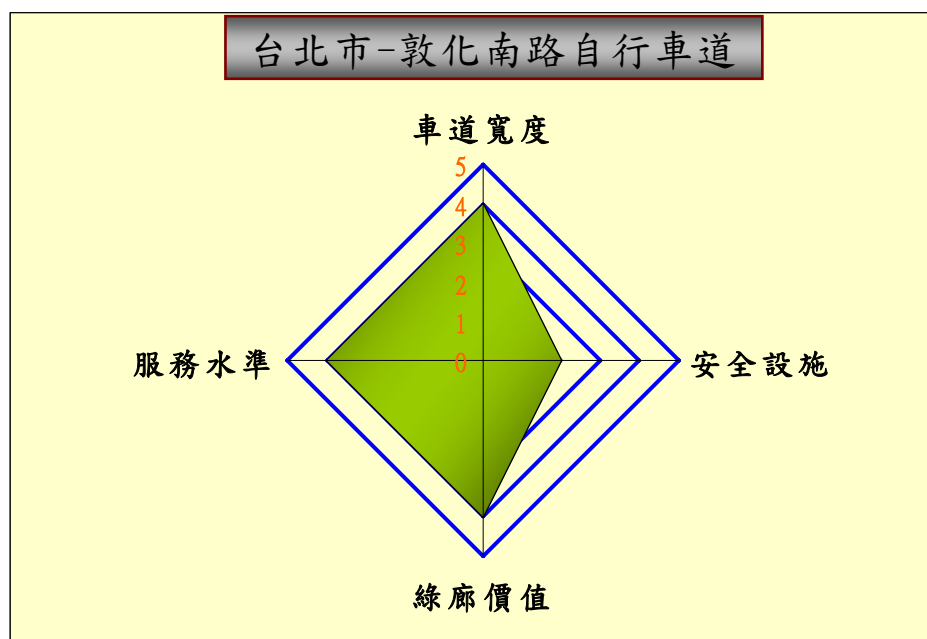


圖 3.95 台北市-敦化南路自行車道綜合評價圖

全球均面臨日益嚴重之環境污染、城市交通擁擠及能源危機等問題，故於推展大眾運輸系統同時，提倡自行車代步無疑為一有效之解決策略。市區道路

自行車道不僅可創造舒適環境與安全的街道，更可減少都市空氣污染及節省汽機車所耗費之能源，亦可提升生活空間品味及城市適居性。

3.6 人行道附屬設施物現況與改善對策

3.6.1 人行道設計分類與現況

道路功能分類之主要目的，在區分道路系統成不同層次的次系統，並賦予各次系統不同的任務，以期發揮道路系統最高的效能。因應各道路分類機能的不同，人行道設計亦需配合其功能特性、流量、鄰近土地使用、環境特色等因素，塑造不同的人行道空間。

市區道路之定義，依據修正之「市區道路條例」第二條：『市區道路指下列規定而言：一、都市計畫區域內所有道路；二、直轄市及市行政區域以內，都市計畫區域以外所有道路；三、中央主管機關核定人口集居區域內所有道路。』

依據市區道路定義，並參考「市區道路工程規劃及設計規範之研究」報告，可將市區道路層級區分成四種功能分類，概述如下：

1. 快速道路：供穿越城市之通過性交通及供都會區內通過性交通使用之道路。
2. 主要道路：供交通繁忙地區與外圍重要市鄉鎮間連絡之道路，並兼供穿越城市交通使用；或連絡都市內各分區間之幹線道路。
3. 次要道路：提供與鄰近社區或鄉鎮或村里聚落間之連絡道路，具連絡主要道路與服務道路之功能。
4. 服務道路：提供各社區或鄰里單元至次要道路之通道，包括集散道路（供地區性活動使用及連接次要道路與巷道）及巷道（供道路兩旁建築物人車直接出入之道路）。

一般人行道寬度規劃，需配合鄰近土地使用狀況與車流狀況，彈性調整人行道寬度。人行道寬度設計雖受鄰近道路之車流量影響，惟根據車流量亦有所區分，而人行道寬度需求則不一定與道路車流量成正比。例如部份快速道路規劃，其通過性交通需求量較大，相對於鄰近土地使用人口集中量較小，在人行道使用率低的情況下則建議採較小寬度；而社區內服務性道路則相對可提供較佳的人行空間品質，提高使用者步行意願，可因此加強社區意識，故對整體都市發展而言，人行道是極重要的空間元素。表 3.40、表 3.41 為根據營建署「市區道路人行道設計手冊」市區各級道路行人步行空間之設計與市區道路規劃單元設置尺寸。依據營建署「市區道路人行道設計手冊」人行道之設計最低寬度為 1.5 公尺，其中淨寬不得少於 90 公分。

表 3.40 市區各級道路行人步行空間分類

道路空間分類特性	快速道路	主要道路	次要道路	服務道路	
				集散道路	巷道
人行道	無	路側	路側	路側	有或混合
公共設施帶	有或無	有	有	有	有或無

本研究整理自：市區道路人行道設計手冊

表 3.41 市區道路規劃單元設置尺寸

單位：公尺

道路分類 設置需求	快速道路	主要道路	次要道路	服務道路	
				集散道路	巷道
人行道寬	-	4-1.5	3.5-1.5	2.5-1.5	1.5
公共設施帶寬	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

本研究整理自：市區道路人行道設計手冊

任何道路設施物於規劃、設計、施工、管理、維護五階段，彼此均為環扣

式相連關係，故對於後續使用者影響廣泛且深遠，短期更改亦不容易。反觀台灣地區過去數十年間，各地方政府在交通規劃及擬定政策時，多忽視行人的步行權利，因此人行道系統的規劃欠缺周延，致使行人步行權力遭受剝削，故在設計規劃上有必要重新檢討審視。

人行道附屬設施物種類繁雜，令人眼花撩亂，經常於一小段道路上即設有電話亭、行道樹、電線桿、街燈、垃圾桶、電力系統控制箱、電信通訊控制箱、消防栓等地面上的元素，此外各元素管理單位於地面下埋設管線所設置之人手孔蓋，在在均造成人行道環境雜亂與不舒適，雖人行道上附屬設施物有其消防、休憩、民生必需或安全考量，亦有其設置之必要性，惟其設計與擺設，除對行人提供其必要之便利功能外，亦應多加考量設施物擺設位置，避免擺設後對步行品質之下降；並兼具景觀美化上、當地文化代表之融洽度，使附屬設施物不僅兼具其自身功能，亦應於不影響步行品質下兼顧景觀美化效益；故未來人行道附屬設施物之設計規劃應以此為原則，以期塑造優質的都市街景與步行環境。

目前人行道現況問題，經調查整理可歸納如下四點：

一、機車停放對於行人步行空間之壓縮

據交通部統計至 2007 年 08 月台北市登記機車已多達 105 萬台，而目前合格之機車停車格數量僅有 361,916 格，無以消化龐大的機車數量，遂部分由行人步行空間吸收，故造成人行道空間的壓縮，令人行道之設置如同虛設，如圖 3.96。為此相關單位應加強違規停車之取締、機車停車使用收費，並同時強化大眾運輸之完善，降低機車使用量；同時提升行人步行素質並降低機車廢氣排放對於環境之衝擊。

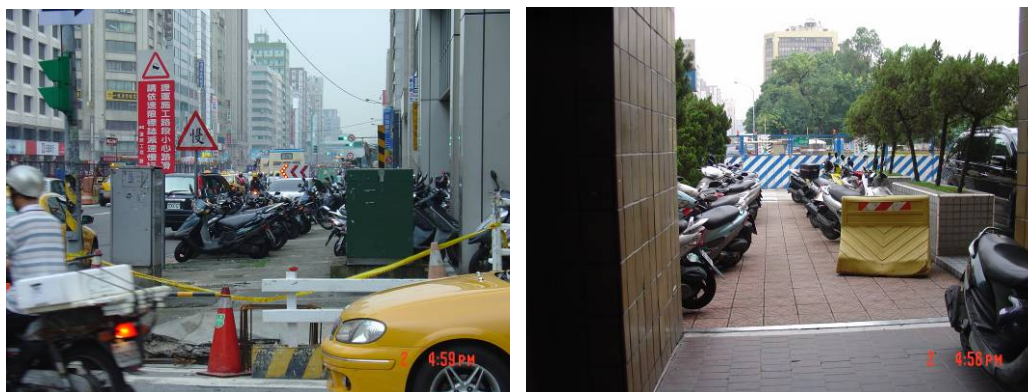


圖 3.96 機車恣意停放對於步行空間的壓縮（松江南京路口）

二、附屬設施物座落規劃不當阻斷步行動線

行人於人行道上行進，常因附屬設施物阻礙，致步行動線無法連續；原規劃筆直通行的人行道，因附屬設施物不當設置，導致行人必須繞道而行，如圖 3.97。人行道上設置大型電力系統控制箱導致行人無法直接行走，若規劃設計或施工不當非但提高行人步行危險性，亦失去人行道本身賦予行人該擁有之步行空間。上述狀況，對於身體正常行人通行已造成不便，更遑論對視覺障礙與肢體障礙的弱勢人士，更造成不便與危險性，因此規劃安全舒適的人行道實為提升市區道路品質之重要課題。



圖 3.97 人行道附屬設施物對於步行動線的阻斷（松江路、建國南路）

三、附屬設施物未整合造成人行道凌亂

經現地堪察，人行道附屬設施物設置不平均或過於密集，造成設計上之缺失與金錢浪費，用路人使用這些設施物狀況也不盡理想，並對設施物的設置感到多餘或不滿意(紀佐霖，2007)；相對於設施物設置過多的情況，也有設置不足的現象，在實地觀察時發現，許多設施物在一段人行道上同時設置兩三個，如圖 3.98 所示，惟經數條街道卻看不見此等設施物，尤其電力系統、電信通訊控制箱基座為最。因此附屬設施物之設置間距準則是值得探討，再加上同一類設施物本身規格、型式與顏色上均有差異，更使設施物管理與歸類更形複雜。設施物擺設問題，普遍存在於台灣每個都市中，並成為人行步道維護管理上的困難，如此癥結未被統整規劃，未來市區道路之品質難有大幅之躍進，因此實有必要重新檢討。



圖 3.98 附屬設施物過度密集並缺乏管理（台北縣永和市）

四、設計施工單位過多與管理不易

人行步道上不斷的挖填與施工，最為行人所詬病，亦為各地方政府最被責難之處。往往在人行步道上某一段街廓，即見到施工情形，而施工單位亦不相同，經調查發現人行道上的使用與維管單位眾多，如圖 3.99 所示，故造成人行道上施工不斷。據瞭解，人行道附屬設施物的設置並非均與人行道同時建構，雖每一單位施工均需獲得人行道維管單位同意及調配，惟有些管線單位因涉及人民維生或需緊急供應，致使不同管線單位於

不同時間施工，所以每個附屬設施物要設置時，即需重新挖掘人行道，如此不斷重複施工，不但造成金錢與時間上的浪費，亦直接剝奪行人使用之權利。

另各附屬設施物管理單位在溝通協調亦存在困難，如構築共同管道，便因各平行單位之預算與需求不一致而難以在短期整合執行，就電力系統與電信通訊系統而言，其共同管溝之建立存在著電磁波相互干擾之可能；而建構共同管溝的遮蔽材料應由何方支付亦為未達成之協調問題。另以路燈的設置為例，一般人行道上路燈的設置與設計是由路燈科負責，其維護是由路燈養護大隊負責，而養工或新工單位則負責設置前的道路挖掘管理，此為一般情形，若為都市發展局所提出的計畫案件，則路燈的設計權又為該單位委託顧問公司設計，之後再由路燈科負責管理。

據上述情形，目前人行道附屬設施物並未設立一完全的管理機制，要建立優良的人行道環境品質，首應建立協調各單位之作業方式，以期達成共識後制定一貫之作業流程，遂能使人行道上的附屬設施物有整齊劃一之成果。

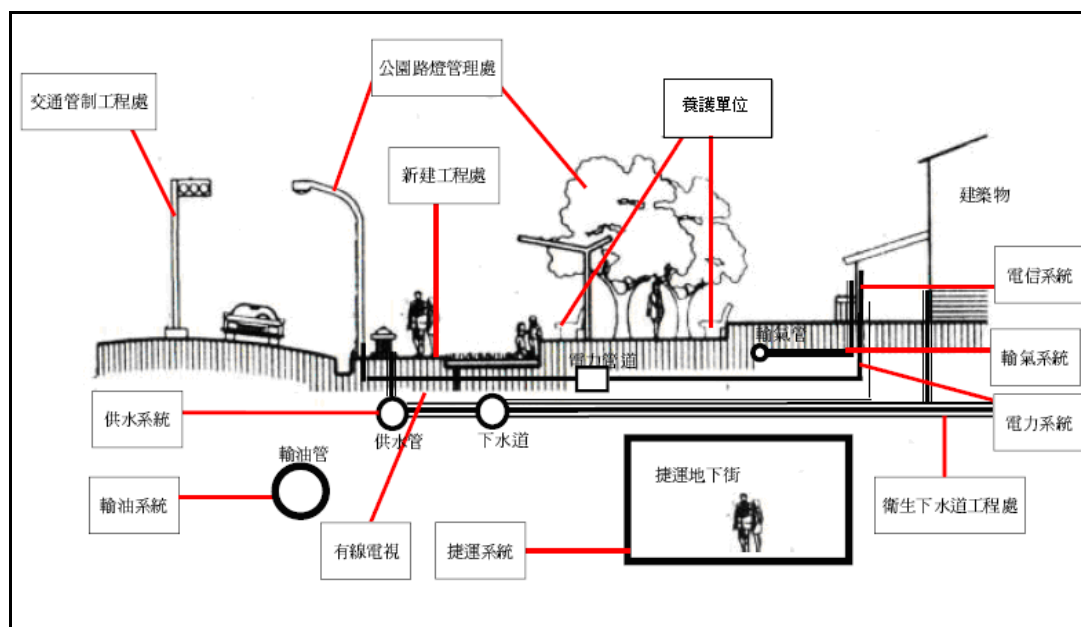


圖 3.99 人行道設施物與管理單位示意圖(劉皆諒，2001)

目前國內文獻資料，多針對人行道的規劃與設計探討，對人行道附屬設施物著墨不多，另政府機關一般認為人行道附屬設施物僅係人行道與都市的裝飾品，故規劃設計層面欠缺周詳完善，導致市區的視覺景觀破壞，附屬設施物雖僅為人行步道上的一環，惟人行步道環境決定人的使用感受，行人在人行步道上所使用的是地上設施物，因此附屬設施物為塑造人行步道環境的一項重要要素，對人行步道的優良與否，有最直接的決定性因素，因此要改善人行步道的環境，應先瞭解目前人行道設施物的問題，進而提出改善對策，才能有效提昇人行步道的環境品質。

3.6.2 人行道附屬設施分類與管理單位

根據調查，目前國內相關人行道之附屬設施物之管理單位相當繁雜，過多職權平行的管理機關，造成各自為政的混亂局面。此外，附屬設施物的擺設位置，各管理單位於缺少完善整合的情況下，常有東置西設之情形，併發人行道的阻礙，使市區道路行的品質大幅下滑。

本研究將人行道附屬設施歸納整理為八項，並列出管理單位及涉及單位，如表 3.42。

1. 休憩設施：提供行人休息與等待之區域，如坐椅、公車亭。
2. 衛生設施：維護都市環境之衛生設備，如垃圾筒。
3. 管理設施：管理行人之行走範圍與活動半徑，如墩、車擋石。
4. 交通與通訊設施：提供行人行動或通訊系統，如公車站牌、郵筒。
5. 裝飾設施：使市區道路的景觀優質化，如行道樹、路燈。
6. 無障礙設施：協助行動不便人士的設施，如導盲磚、無障礙坡道。
7. 防災設施：緊急災害時之防災設備，如消防栓、守望相助亭。
8. 控制樞紐：提供市民生活用電、通訊以及交通管理之設備，如電力系統、電信通訊控制箱、交通號誌控制箱。

表 3.42 人行道附屬設施物與管理涉及單位表

類別	設施物名稱	管理單位	其他涉及單位
休憩設施	休憩座椅	養工單位	都發局、新工處、公園路燈管理處路燈科
	公車候車亭	交通局公車管理處	都發局、新工處、養工單位
衛生設施	垃圾桶	區公所	養工單位、環保局清潔隊
	公共廁所	環保局第五科	新工處、養工單位
管理設施	路柱	交通局交通管制工程處	都發局、新工處、養工單位
	車止	交通局交通管制工程處	都發局、新工處、養工單位
	停車碼表	交通局停車管理處	養工單位
交通通訊設施	郵筒	郵政總局	新工處、養工單位、當地郵局
	電話亭	中華電信	都發局、新工處、養工單位、台電公司
	公車站牌	交通局公車管理處	新工處、養工單位、交工處
裝飾設施	行道樹	公園路燈管理處園藝科	都發局、新工處、養工單位
	鋪面	養工單位	都發局、養工單位
無障礙設施	無障礙坡道	養工單位	都發局、新工處
	導盲磚	養工單位	都發局、新工處
防災設施	消防栓	自來水事業處	新工處、養工單位、消防局
	守望相助崗亭	當地警察局	交通管制工程處、養工單位、鄰里各自管理
控制樞紐	電力配線	台電公司	新工處、養工單位
	電信設施	中華電信	新工處、養工單位
	交通標誌	交通局交通管制工程處	新工處、養工單位
	交通號誌	交通局交通管制工程處	都發局、新工處、養工單位、台電公司
	路燈	公園路燈管理處路燈科	都發局、新工處、養工單位、台電公司

本研究整理自：劉皆誼，2001

由表可知，目前人行道附屬設施物皆無統一管理單位，且對管理權責並無明確法律規章。附屬設施物管理方式係採用各附屬設施物由各主管單位管轄，各單位間以協調會或公文相互溝通聯繫，於規劃設計期間亦為如此處理方式。故下列將對於附屬設施物管理作一優缺點探討以及改善對策，經整理後歸納為下列數點：

一、目前管理方式之優點

1. 該行政主管單位管理與維護流程熟悉
2. 附屬設施物設置與處理速度直接快速
3. 設計與施工單位相同

二、目前管理方式之缺點

1. 權責劃分不明確
2. 無統合與監督單位
3. 民眾意見無法共同參與
4. 無法進行全面施工時的協調整合

三、目前管理方式改善對策

1. 明訂劃分各單位權責
2. 採用大規模進行規劃，避免重複施工
3. 民眾意見參與
4. 建立附屬設施物使用者回饋機制
5. 採用設施物整合方式，逐一汰換老舊設置

3.6.3 人行道附屬設施物控制樞紐整合與改善

人行道附屬設施物服務層面多元，都市中之電力系統、電信通訊控制樞紐，是配電系統地下化後必然存在於地面之過渡設施，為公共事業之必須設施，不易強制移除，惟此等設施確實妨礙行人步行通過，亦影響整體市容觀瞻；其中以電力系統控制樞紐基座擺設最受行人詬病，其座落位置變成居民眼中的「嫌惡設施」，更是推動人行道無障礙環境的一大阻礙，政府單位將設法逐年遷移汰換。圖 3.100 為台灣地區目前電力系統控制箱三種主要擺設方式。



圖 3.100 目前電力系統控制箱擺設方式

資料來源：台電月刊 534 期

據統計至 2007 年台北市馬路邊、路面上、市民巷道上的電力控制樞紐高達 8,111 個，經營運單位初步估計每移除一電力系統、電信通訊控制箱基座即需遷移經費約 20 萬元，尚不含遷移後土地之使用費用。近年來各縣市對於附屬設施物之整合與管理，礙於經費、人行道使用年限與動線阻礙程度問題，僅能逐步對於都市計畫區與人行道改善工程開始實行。

故本研究將針對目前人行道電力系統、電信通訊控制箱擺設，作一改善規劃如下：

一、地下化

電力系統、電信通訊控制箱設置地下化，為目前各縣市主管機關最為積極提倡改善人行道步行空間方式之一。為配電控制系統遷移至建築結構物之地下樓層，藉由建築結構物庇護則有利於營運後之維護管理；惟使用權限涉及該土地上方所有使用（所有）權人之意願，民眾對於配電系統之先入嫌惡印象與電磁波疑慮難以欣然接受，故全面推行仍有其行政之困難。建議可藉由有償使用地下樓層空間作為補償，並要求配電單位進行民眾說明會與定期檢驗與維護，增加民眾接受度，降低地下化推動阻力。圖 3.101、圖 3.102 為都市發展局都市設計於林森北路、新生北路環境改善工程之電力系統地下化案例，將控制樞紐基座遷移至建築結構物之地下樓層。此方式可針對將新設置與有立即阻礙通行之配電系統基座，作一有效改善。

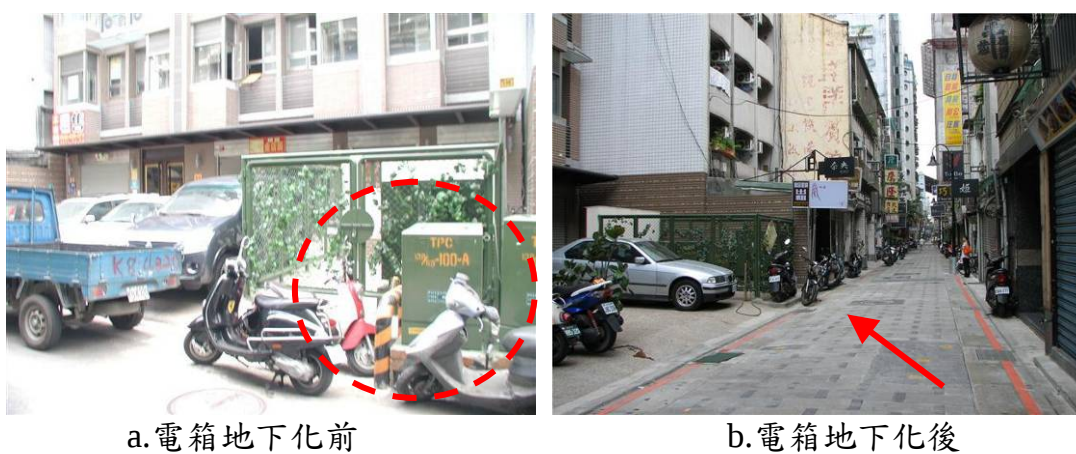


圖 3.101 電力系統地下化案例（林森北路、新生北路）

資料來源：都市發展局



a. 電箱地下化前

b. 電箱地下化後

圖 3.102 電力系統地下化案例（林森北路巷弄）

資料來源：都市發展局

二、遷移退縮

經由政府主管機關頒佈相關規範將電力系統、電信通訊控制箱統一設置於公共設施帶、建築畸零用地或遷移至附近公園綠地集中管理，如圖 3.103、圖.104、圖.105。以無障礙步行環境為優先考量，確保步行最小寬度及淨空；並由主管機關進行後續管理與維護，此方式較為適宜人行道併同公共設施帶之地區。增加業者遷移意願如下列兩點：

1. 強制規範約束：由政府機關，直接頒佈相關制訂規範。
2. 增加遷移誘因：為增加業者遷移誘因，可減收使用道路之費用，收費標準研訂下修，降低業者路面使用成本支出，平衡遷移費用，以鼓勵業者遷移。



圖 3.103 電力系統控制基座遷移至校園外圍案例（麗山國小）



a. 內湖陽光街

b. 石牌國小

圖 3.104 電力系統控制基座遷移至建築畸零用地案例



a. 高雄市高鐵路

b. 博愛三路

圖 3.105 電力系統控制箱遷移至公共設施帶案例

三、美化綠化

目前針對電力、電信控制箱木作美化之案例，仍以無步行障礙環境為優先考量，同時配合人行密度、活動行為以避免美化工程對於步行、行車之視線阻隔與確保步行空間最小寬度之基本要求，多為控制樞紐箱基座已無直接阻礙行人步行空間與以遷移完畢之控制箱為主。

控制箱基座外觀之美化設施無其他外來荷重需求，故多以木棧板與格網建構，併同施工便利且有利於用路者之視線穿透與設備通風之考量。一般控制箱連同基座高度約 100~120cm、寬度多為 90~100cm，視使用需求而有不同，且考慮多數集中設置管理，故基座長度設計為 300cm，方可保留以便日後變更或是增設使用，以此尺寸規格作一美化費用估算，如表 3.43 所示。一般木棧板使用年限約為 5-8 年，視其下方排水性能、氣候條件與定期維護略有差異。美化工程之木料基底座視現場條件而定，可採用木料打入土層中或以混凝土澆製以達足夠之結構強度。

並可考量控制箱美化工程周邊進行綠化，低矮、攀爬植生對於輻射能量的吸收與阻隔直接傳達至被覆蓋表面，其功能來自於植物光和作用、蒸發、凝結過程中能量的吸收與釋放。當太陽輻射照射於植生葉面上時，一部份葉面增加漫射面積使輻射能量分散，並同時輻射能量被植生吸收。根據植物學對於溫度遮蔽性研究，植生覆蓋之設施物牆面相較無植生覆蓋的設施物牆面溫度約略低攝氏 10℃；被遮蔽之設施物室內溫度因植生覆蓋可降低約略攝氏 2℃。植生的主要貢獻為遮蔽減少設施物直接日照，間接貢獻為經由葉面的蒸散作用降低鄰近環境熱度，亦可與綠廊道相互呼應連結。

表 3.43 美化費用估算

工料名稱	單位	單價(元)	數量	複價 (元)
松木料 14*1.4*120cm (含防腐處理) (上方覆蓋用)	支	110.0	22	2,420
松木料 14*4*165cm (含防腐處理) (美化主體直向支撐用)	支	400.0	42	16,800
松木料 14*4*300cm (含防腐處理) (橫向支撐用)	支	780.0	6	4,680
現場執行工資 (大工)	天	3,000.0	1	3,000
現場執行工資 (小工)	天	2,000.0	2	4,000
零星工料 (角鋼、護木油)	式	600.0	1	600
攀爬植物	株	140	6	840
總價	32,340 元			

本美化成本估算以 97 年市價分析，木料厚度視需求變動。

複價費用估算尺寸為 300cm*100cm*120cm

美化施工工期為一工作天

上述三種改善方式，基座地下化則首推為新設置或控制樞紐基座以立即危害步行與車行空間為主；基座平面遷移則以附設有公共設施帶之人行道與鄰近有開放空間與綠地為主；美化綠化則建議施作於以遷移完畢，或近期內無人行道改善工程且無步行障礙為主之控制樞紐基座。

綜上改善對策，人行道控制箱基座經由統一整合設置後之優點如下：

1. 有效增加人行道步行淨寬
2. 減少施工次數
3. 方便進行維護管理

控制樞紐整合課題

1. 經由整合後控制樞紐責任歸屬
2. 設計階段之協調溝通，並考量民眾意見

3. 必須配合機車停放管制

3.7 小結

為了響應目前國內積極推動綠建築、綠營建之推廣及參酌國外 LID 技術，提供九項效益顯著之 LID 措施，且較適合國內市區道路環境，並探討低衝擊開發設施的效益，LID 設施應用於市區道路，可減少地表逕流排入道路側溝，並縮減側溝斷面尺寸 1/5，經推算可節省市區道路側溝成本每公里達 90,000 元（以台北市為例），依照公共工程價格設施帶緣石以全高介於 10 cm~15 cm 減少施作 100 m，可節省成本約 33700 元（全省統一價格），並借鏡西雅圖路旁減少緣石的設置、減少街道寬度，選擇「自然排水系統」和搭配日本「雨水貯留滲透設施」的施作方式，減低都市不透水面積與改善道路上逕流的水質。

市區道路規劃以休閒及通勤為主之自行車交通路網，應首重提供安全之運旅環境，故規劃自行車道應須擬定完整而綜合性之措施，使自行車騎士有安全、便捷且舒適之騎乘空間，應重新審視市區道路斷面規劃單元，並配合綠廊道規劃，重新設計斷面單元以提高自行車道之品質及專用路權；且綠廊道由案例探討及國內外文獻之論述，均顯示市區道路建構綠廊道之必要性及對環境面向之顯著功效，故於市區道路規劃綠廊道不僅可增加道路之附加值，並可經由綠廊道之建構進而提倡「綠色運輸系統」之推廣。

人行道附屬設施物如電力系統、電信通訊控制箱基座設置地下化為目前各縣市主管機關最為積極提倡改善人行道步行空間方式，適當採用配套措施增加誘因，如補助款項或是相關法律規範，增進業者遷移意願；設計規劃過程應適時舉辦說明會與民眾意見進行溝通，以便貼切民眾之需求。

市區道路建構綠廊道配合低衝擊開發設施與自行車道，不僅能改善都市空氣品質、道路逕流水質，並響應日前行政院通過「永續節能政策綱領」該綱領提到的「淨源節流」，推動產業、運輸與政府部門的實質節能減碳措施。加上本研究整理的人行道附屬設施物的改善對策，配合各地方無障礙改善計畫，如

桃園縣人行道無障礙改善執行計畫，提供用路人安全、舒適的行使空間，間接提升市區道路品質與市容景觀。

四、提昇既有市區橋梁品質研究

4.1 背景說明

市區道路系統，往往需藉助橋梁跨越地形之阻礙(如貫穿市區之河流)，或節省土地使用空間，或利交通之順利運轉。台灣經濟起飛，重車數量增加，為節省運輸時間與成本，常有超重車行駛市區道路，造成道路與橋梁之破壞，有必要採取合理有效的評估方法，進行橋梁承載能力評估，篩選承載能力不足橋梁，並採取必要之承載力補強手段。另外，台灣位處環太平洋地震帶，地震發生頻繁，對國內為數眾多的既有橋梁安全造成嚴重威脅，如能採取合理有效方法，進行耐震能力評估，篩選耐震能力不足橋梁，並採取必要之耐震維修與補強手段，提昇耐震能力，將可有效降低地震災害。

1989 年後，美國加州公路局(Caltrans)即進行大規模之既有橋梁檢測、評估、篩選、排序及補強。1994 年北嶺地震，經過補強之橋梁並無明顯損壞，證明經由橋梁補強可以提高橋梁耐震能力。又如 1995 年日本阪神地震，因橋梁耐震(韌性)能力不足產生破壞，其後進行相關橋梁結構補強亦見良好成效。由此可見，橋梁透過檢測、評估與補強，將可有效避免再受載重或地震之破壞，且可延長使用壽命。此外 2007 年 8 月 1 日晚間，美國明尼蘇達州 35 號州際公路橫跨密西西比河段橋梁突然坍塌，令人對於橋梁檢測作業、維護補強更加重視。而大陸四川省汶川縣在 2008 年 5 月 12 日下午兩點 28 分發生的強烈地震，造成前往震央汶川的公路中斷，負責指揮的溫家寶都無法進入災區。溫家寶給予救災的指示中最重要的一點是：「爭分奪秒搶修山區公路，哪怕修一條臨時道路，也要把路打通。」可見橋梁在受災後之快速維修補強之重要性。

本團隊過去執行營建署計畫，已針對國內市區橋梁之種類、結構特性及劣化狀況作一完整之調查，並建立人工智慧類神經網路系統及「優質橋梁檢測作業手冊」，藉由客觀之檢測標準，進行實地檢測與調查，以分析與預測市區橋梁老劣化原因與趨勢；並建立橋梁承載、耐震能力詳細評估方法與分析實例，

96 年透過實驗與分析相互驗證，提出功能性支承與防止落橋裝置之補強方式之可行性，諸等研究，均有利於後續維護補強作業之進行，達到充份運用有限資源，提昇橋梁安全性能之具體實效。97 年度計畫之方向，為市區橋梁維修補強系統與工法建立，擬針對橋梁承載能力(上部結構)及耐震能力(下部結構)，及不同之補強材料與工法研析，以期完整規劃一套市區橋梁補強作業程序與維護管理制度，供工程界參採使用。

台灣為海島型國家，天候溼熱多雨，鋼筋腐蝕問題嚴重，加上海風中含有大量的鹽分，更加速鋼筋腐蝕，造成結構物劣化，此種現象在臨海區域結構物頗為常見，如澎湖跨海大橋於使用 14 年後即因腐蝕預力鋼筋而無法使用。為防止新建結構物鋼筋腐蝕破壞，有效防治鋼筋鏽蝕問題，並解決鋼筋等營建材料的日趨短缺，應予研究使用替代性之營建材料，應用於土木新建結構。此外，國內橋梁由僅為跨越障礙物連接兩地交通之第一代公路橋梁開始，至今已演變到以行車舒適及景觀考量(例如斜張橋等)之第二代公路橋梁。目前國內正在推廣之第三代公路橋梁，則為考量提高耐久性，使用質輕、耐久且多變化之碳纖維預力混凝土結構(以碳纖維取代傳統鋼筋及內外置預力系統等)。市區橋梁多屬 20 公尺以下之低跨徑橋梁，或設計載重較一般公路橋梁為低之人行陸橋，更適用此新一代之施工方式。本團隊於今年度將對此新材料、新工法進行適用性研究，期提升國內橋梁工程技術，並使用路人可以享受美觀、舒適且使用壽命長之優質化橋梁。

目前國內、外土木工程使用纖維強化高分子複合材料技術，已有長足的進步，對於海島型國家的台灣而言，防止新建結構物的腐蝕破壞，有效達到防治鋼筋鏽蝕問題，利用碳纖維強化高分子複合材料(CFRP)製成之碳纖維棒取代傳統鋼筋確實是很好的選擇。未來不僅在舊有結構物進行補強，或應用於新建結構物，尤其在易遭受氣候或環境侵蝕地區之結構物，可利用 CFRP 棒取代傳統鋼筋，將可有效延長結構物使用壽命。惟國內有關碳纖維強化高分子複合材料對於台灣天候、環境因素影響之研究較為缺乏，為進一步確保長期耐久性

能，需藉由較可靠試驗方式，以獲取相關資料，作為分析與評估的根據，經累積相關試驗結果，便能較明確掌握其耐久性。本團隊今年度將進行此材料之耐久性分析，以確保材料能廣泛與安全的被使用，CFRP 棒之耐久性測試，主要是以台灣的氣候條件作為測試考量，應以耐酸鹼(pH)試驗、紫外線照射試驗與溫溼度循環模擬試驗，探討台灣天氣對 CFRP 棒之耐久性影響。

4.2 研究方法與文獻回顧

本節針對 97 年研究計畫「提昇既有市區橋梁品質研究」子題，說明研究方法及架構。本年度計畫新材料與新工法之應用重點在於纖維強化高分子複合材料(FRP)，並於本節對相關文獻進行說明。

4.2.1 研究方法

本年度「提昇既有市區橋梁品質研究」課題中，有兩項重點工作，分別為市區道路維護補強系統與工法研擬及替代性營建材料(FRP)之適用性及耐久性研究。

市區道路維護補強系統與工法研擬部份，將維護補強系統分為承載能力補強系統及耐震能力補強系統進行研究。藉由瞭解國內橋梁常見的承載能力與耐震能力不足之現象及發生原因後，蒐集並介紹國內常用之補強作業工法，研擬適合市區橋梁的補強作業，使橋梁管理單位於獲得橋梁檢測資料後，可快速選擇最有利之補強方案，減少時間與金錢的浪費，並作為 98 年示範案例之參考依據，以期此新材料新工法之補強技術推廣至業界。

替代性營建材料之適用性及耐久性研究部分，藉由國內外 FRP 材料使用之經驗，對其經濟面及技術面進行本土化適用性研究，探討此材料在國內的適用性及需求性。並對材料進行酸鹼試驗、紫外線照射試驗等耐久性試驗，了解材料是否適用於國內本土之氣候環境，以免造成不當的使用。

4.2.2 FRP 相關文獻回顧

目前全世界的營建工程面臨二項重要之議題，第一就是對於不良之結構如何延續或保持其使用壽命；第二則是如何建造使用更久且不需作太多維護之結構物。為達到及解決上述二項問題，新補強材料及補強工法的開發為一可嘗試之途徑。目前許多已開發國家開始投注大量的人力和經費於土木工程基礎結構的安全診斷和補強加固的新方法和新材料的應用研究工作。

纖維強化高分子複合材料(Fiber Reinforced Plastic, FRP) 為美國政府原先在軍事上所研發之部分高科技成果。自從美蘇兩大強國冷戰結束後，國際間之武力競爭趨緩，使得此材料漸漸轉移至民生用途上。近幾年更運用在土木工程之興建、修復與補強中。惟 FRP 材料之應用於土木工程結構，仍處於初始之階段。主要原因在於工程師對此種材料特性之認知有限及保守心態，另一則是材料成本昂貴，以致現階段無法作為土木結構之主要材料。921 集集大地震後，碳纖維強化高分子複合材料(Carbon Fiber Reinforced Plastic, CFRP)材料價錢降低許多，工程費用比一般鋼鈑補強工程還要便宜。另 FRP 材料之抗電化學性、抗酸、抗腐蝕及質輕、強度高的優點，已成為一種絕佳之結構補強材料。

1980 年代開始，FRP 即被採用為 RC 結構貼片補強之用，並針對結構之撓曲、剪力補強效果和其隨時間之老化、潛變等行為，進行一系列之探討。一般而言，纖維材料具有重量輕、強度高、可變化性、耐腐蝕、不導電性、良好抗疲勞強度及整體工作預算較經濟之優點。在結合具有耐溫、耐濕及抗化學反應樹脂(Resin)系統之後，極易包覆在結構表面而達到改善結構系統功能的目的。惟部份纖維強化高分子複合材料亦有無法耐高溫、易受紫外線照射作用而損壞以及無法承受過度潮濕及化學物之作用等缺點。

相對於鋼鈑貼片補強工法，FRP 作為補強材料仍處於早期不成熟階段。為建立有效之設計規範，材料測試準則研究及材料開發人員必須針對 FRP 補強結構的短期和長期耐久性及強度，累積大量實驗數據及建立分析設計方法，提供工程設計人員和業主足夠的訊息，建立採用之信心。

基於上述之特質，FRP 材料近期已引起營建工程之注意，並投注大量人力及財力開發在土木基礎結構建設應用之可行性研究。以下為國內外針對 FRP 材料研究之相關文獻：

一、FRP 補強橋柱之相關研究

Saadatmanesh, H., Ehsani 與 Lin (1997)製作了 5 支 1/5 縮尺的矩型鋼筋混凝土柱，2 支標準試體分別探討主筋搭接與否之問題、兩支依前述的標準試體進行環帶 FRP 的補強試體及一支主筋連續並改變矩型斷面為橢圓形斷面之環帶 FRP 試體，分別進行水平反覆載重實驗，探討補強之有效性。Xiao, Wu 與 Martin (1999)製作了三支實尺寸的圓柱試體，探討 FRP 貼片在施工時有搭接與無搭接差異，研究結果顯示：FRP 用量較少且 FRP 有搭接的試體比 FRP 用量較多且無 FRP 搭接的試體在韌性上較佳。Pantelides, Gergely, Reaveley 與 Volnny (1999)針對美國現有州際公路橋梁作一實尺寸的橋柱，另外製作一支針對前述橋梁可能發生破壞情形進行 FRP 補強，來探討對已存在不符合耐震規範的橋柱進行 FRP 補強的可行性。Nadim, Wehbe, Sanders 與 Caywood (2001)製作 4 支 8 角型斷面橋柱，其中包含 2 支主筋量較高與主筋量較低的標準試體，及兩支分別依據標準試體，透過不同剪力容量所設計的 FRP 補強試體，補強過程中將 8 角型斷面修補為橢圓形斷面，4 支試體分別進行水平反覆載重實驗，探討補強的有效性。

郭苗宜(2000)針對主筋於塑鉸區搭接及短柱剪力破壞等問題進行 CFRP 與鋼板補強，共規劃六支圓形試體進行反覆載重試驗，以了解舊有橋柱及鋼板包覆補強與 FRP 補強後橋柱之耐震行為差異及補強之有效性。朱育正(2000)針對國內舊有鋼筋混凝土橋柱現況問題進行 CFRP 補強，共製作七支圓形橋柱試進行反覆載重試驗，以了解新、舊橋柱以及橋柱於破壞前包覆 CFRP 補強(Retrofit)和破壞後包覆 CFRP 修復與加固(Repair and Strengthening)之耐震行為差異，利用 CFRP 補強後，增加橋柱韌性，證明 CFRP 耐震補強的有效性。李孟勳(2000)針對國內舊有的壁式混凝土橋墩之現況問題，以烏溪橋橋墩作為藍本進行碳纖

維 CFRP 包覆補強，共製作四支試體進行反覆載重試驗，以瞭解壁式橋柱於長向和短向之耐震行為差異，以及碳纖維 FRP 補強後的耐震行為差異。李有豐等人(2001)製作 3 支 2/5 縮尺的圓柱試體，一支為剪力破壞的標準試體，兩支依標準試體以不同的剪力容量理論設計出包覆 3 層與 2 層的圓柱試體，3 支試體分別進行水平反覆載重實驗，探討補強的有效性。

二、FRP 補強 RC 梁之相關研究

Triantafillou (1992)分析貼片補強的設計方法，將 FRP 補強 RC 梁的破壞模式分為數種：1.鋼筋降伏-FRP 斷裂。2.鋼筋降伏-混凝土碎裂。3.混凝土抗壓破壞、鋼筋不降伏、FRP 不斷裂。4.黏結失敗。再根據不同的破壞模式，以變形諧和的原則分析其力學行為，並建立設計圖表，預估纖維布貼片補強的強度。Xie 等人(1995)對小型單鋼筋矩形 RC 梁作三點抗彎試驗，研究 CFRP 貼於梁拉力側之補強效果。試驗結果顯示：無貼片 RC 梁經試驗破壞後，再進行貼片補強，發現若原試體破壞模式為彎矩破壞者，其修補後之承载力最高可達原試件之三倍；若原試體破壞模式為剪力破壞，其修補後可約略恢復原試件之承载力；若原試體破壞模式為裂縫沿鋼筋成長之剝離模式，其修補後之承载力僅可達原試件之 60~80%。CFRP 貼片與混凝土間之接著強度，決定於樹脂滲透於混凝土中之多寡。在耐候性測試方面，CFRP 貼片補強 RC 梁於水中浸泡二個月者，承载力與置於室溫同期者相比約略相等；而冷熱循環僅造成承载力之輕微降低。Plevris (1995)等對碳纖維補強鋼筋混凝土梁的方法加以研究，指出影響撓曲強度參數，以混凝土抗壓強度、纖維材料的極限應變、纖維比影響最大。並以統計方法加以研究，統計各種設計參數的特性(如幾何尺寸、材料特質等)，預估這些變數對撓曲強度的影響。

黃瑞東(1995)以碳纖維貼片對梁進行彎矩補強時，發現其拉力強度隨黏貼之層數增加而增加，但強度與層數並非成正比例，層數越高，其單層所增加的平均強度越低。同時在補強過程中須確定不會使剪力大於容許剪力，以免形成剪力破壞。王仲宇等人(1996)對 RC 梁張力側以 CFRP 補強，發現 CFRP 補強

確可增加 RC 梁的極限強度。惟應力集中現象而造成之脫層，會使補強材料無法發揮其材料強度，建議以錨定或其他黏合方式來增強其黏著效率。林草英和洪建銘(1998)以碳纖維貼片補強鋼筋混凝土梁，發覺試體之勁度與彎矩強度等補強效應隨補強之碳纖維貼片層數增加而增高，但當碳纖維貼片層數高於一定量時，破壞模式將由碳纖維貼片斷裂轉換成黏裹破壞。展維賢(2004)藉由單次加載試驗、往復加載試驗進行 CFRP 補強 RC 梁之各項試驗，探討其受各種不同比例極限載重、加載次數之往復載重模式所產生的影響變化。試驗結果顯示：疲勞破壞最主要破壞機制乃由裂縫及持續加寬、延伸而形成，而補強方法可延緩裂縫生成。以 CFRP 補強之試體梁不論單次或重複加載，由於加載點下方混凝土承受較大之彎矩而產生破裂。重複加載後各組極限載重強度，無論載重大小及加載次數之改變，均相去不遠並未導致載重強度衰減現象。

三、FRP 棒之相關研究

Sen 等人(1998)提出評估在三年內預力碳纖維聚合物在海洋環境影響下之耐久性。試驗結果顯示混凝土鹼性環境對 CFRP 棒不會產生影響，而破壞模式與預鑄的裂縫寬度在長時間暴露下會有影響。在幾個破壞的試體中可看出 CFRP 棒與混凝土界面有剝落跡象，可能是環氧樹脂在吸收水分的過程中使得介面產生剝落。因此，如果以 CFRP 棒取代鋼筋，必須加以注意其傳遞應力時可能造成的損害。Sen 等人(1999)提出在潮水中的碳纖維複合材料預力梁受潮汐及溫度改變影響之耐久性。試驗模擬濕、乾循環(模擬潮汐)及熱、冷循環(模擬溫度變化)。耐久性評估為將近三年的浸泡期間。試驗結果顯示：碳纖維複合材料預力梁在濕、乾循環及熱、冷循環，其黏結力不受影響，而極限彎矩能力和勁度有小幅度的下降。Arockiasamy 等人(2000)製作 2 種尺寸共 4 根長方形 CFRP 梁且提出碳纖維棒應用在混凝土有很好的抵抗腐蝕功能。在為期 2 年試驗中，承受均佈載重來觀察 CFRP 梁受長期載重行為，同時觀察混凝土潛變和收縮行為的變化，試驗結果與 ACI 規範做比較並提出一合理之模型。Wegian 等人(2005)在於使用 CFRP 棒應用在混凝土梁中並進行四點抗彎實驗，經實驗

與分析的結果顯示：CFRP 棒可提升混凝土抗彎行為。CFRP 棒彈性模數較低使 CFRP 開裂前呈線性，開裂後減少勁度。CFRP 之平衡纖維比要比鋼筋低，故為增加 CFRP 平衡纖維比和控制位移和裂縫開裂，大多數的鋼筋混凝土強度都會相對的提高要求。Guadagnini 等人(2006)共製作了 12 根 FRP 梁，其中試驗變數為 FRP 梁的跨深比、以及使用 FRP 貼片貼附在梁兩側以控制裂縫發生。試驗結果顯示 FRP 梁混凝土的剪力強度比 ACI 318 規範設計值高出許多。當跨深比超過 1.1 時，破壞模式為剪力破壞居多，而與 RC 梁發生剪力破壞時的行為相似。Rteil 等人(2007)將 FRP 梁進行疲勞載重試驗，試驗變數為不同直徑之 FRP 棒、震動週期以及震動時的載重。試驗結果顯示：當 FRP 梁無法承受載重時，破壞模式為線性破壞。當裂縫出現時，FRP 棒會有些許滑動的現象。FRP 梁所能承受之極限疲勞載重約為靜載重的 50%，隨使用的 FRP 棒直徑增大，FRP 梁所能承受疲勞載重的時間越長。

梁家銘(2003)針對 FRP 棒在各種強度之混凝土內與不同高溫下之握裹力及拉拔滑移變位之變化和相互關係。研究結果顯示：常溫下握裹試驗試體之混凝土圓柱部份的破壞情形是脆性的，並隨著加熱溫度的上升，混凝土圓柱部份破壞情形漸漸變成 FRP 棒本身與其噴砂之交界面之破壞。握裹力部分，則隨混凝土圓柱試體的強度減低以及加熱溫度的上升而向下遞減。由此可知經 CFRP 貼片補強能有效提供梁構件對往復載重之抵抗能力。張永毅(2006)將碳纖維棒替代現有鋼筋並實際應用於縮小尺寸之 RC 梁構件試驗中，探討不同混凝土強度與不同配筋方式下 CFRP 梁之承載行為及可行性。羅國軒(2007)利用玻璃纖維(GFRP)棒應用於混凝土梁構件中，探討其梁受力後之破壞模式以及受力行為，且將 ACI 440 單筋梁設計、修正 ACI 440 雙筋梁設計與 GFRP 梁試體之實驗值進行比較，提出一合理之設計公式。將碳纖維(CFRP)棒進行握裹試驗，用以了解 CFRP 棒與混凝土塊握裹之行為模式，並且提出一合理之握裹長度以供工程師參考。對 CFRP 棒與 GFRP 棒分別進行耐久性試驗，耐久性試驗之內容包括紫外線照射試驗、恆溫恆濕試驗以及耐酸鹼試驗，並發現無論是

CFRP 棒或是 GFRP 棒均有良好之耐久性。

四、CFRP 補強耐久性之相關研究

從 1984 年起，瑞士聯邦材料試驗及研究實驗室(Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, EMPA)，即對 CFRP 貼片補強之混凝土梁作一系列的研究。在 1984~89 年間，EMPA 成功地將 CFRP 貼片使用於補強梁功能上，證實經 CFRP 補強的梁受靜力或動力的能力都有相當的提昇。同時考慮混凝土與 CFRP 貼片之熱膨脹係數不同，可能會導致在接合介面隨溫度而變化產生應力，而影響研究結果。在經過 100 次由 $+20^{\circ}\text{C}$ ~ -25°C 之來回溫差測試，結果顯示對三根補強梁之載重能力沒有任何不良影響。

在 1991~92 年間，EMPA 以實際載重情況進行了一根跨距 6 m 梁之疲勞試驗研究。探討 CFRP 補強混凝土梁同時抵抗高濕、溫度及疲勞載重下之行為，在 1,200 萬次循環加載後，補強梁因疲勞作法而失敗，但 CFRP 與混凝土之結合介面沒有產生絲毫的問題。

張瑞元(1997)利用混凝土圓柱試體斜剪試驗，了解各項環境因子對黏結面抗張能力的作用。試驗結果顯示，溫度循環及乾溼循環對抗彎試體的黏結效果確實會有影響，對抗拉試體則影響不大。紫外線照射試驗的環境設定為 60°C 下受紫外線照射黏結強度雖沒有改變，但樹脂顏色出現變化，可能與溫度或紫外線照射有關。抗彎試體在潮濕的狀態之下，黏結效果會比乾燥時為低。試體浸水兩個月後對黏結強度則沒有影響。林至聰(1999)針對強化纖維貼片應用於鋼筋混凝土結構物就環境影響因素中的溫度濕度變化、浸水狀況及紫外線照射加以研究。各種環境變化因素的試驗會使試體強度略為增加或減少，但所改變的幅度不大，都在試驗差異度的容許範圍內，可視為各種環境因素的影響很小。

五、FRP 橋面版之相關研究

Henry (1985)及 Ahmad (1989):採用 SAPIV 分析五種巢狀式橋面版模型(如圖 4.1 所示)比較其力學性能並決定最適合斷面。分析結果顯示，其變位均在限制的範圍之內，其中以 X-shaped 斷面變位最小。X-shaped 斷面其頂版底板

與腹版厚度分別為(15.9 mm、12.7 mm、9.53 mm 符合 $L/800$ 之變位限制值。後續 Zureick (1995)採用 GTSTRUDL 軟體重新模擬 X-shaped 斷面，其分析結果最大變位值及最大應力值分別為 4.32 mm、 252 kgf/cm^2 近似於 Henry 與 Plecnik 所得有限元素分析結果：3.81 mm、 287 kgf/cm^2 。另將巢式腹版垂直於車行方向，則最大變位值及最大應力值分別為 3 mm、 230 kgf/cm^2 ，最後結果顯示腹版橫向放置其載重傳遞效果較縱向佳。

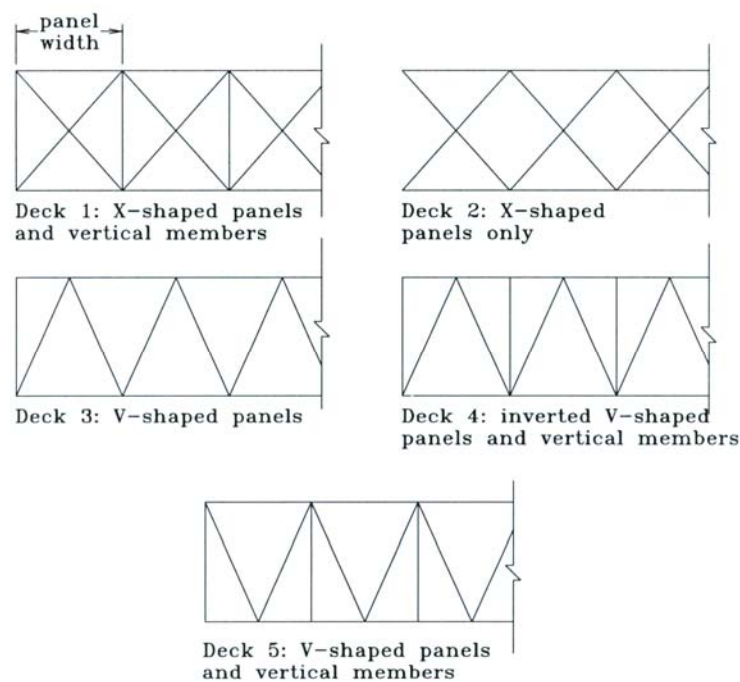


圖 4.1 FRP 橋面版斷面形式 (Henry,1985)

Plecnik (1991a 及 1991b)：接續先前分析結果，採用最佳斷面 X-shaped 為模型，分析其疲勞(Fatigue)行為，在 X-shaped 斷面模型裡，分別加入 D-shaped(Diamond)與 T-shaped(Triangular)單元，組合成 X-shaped 斷面(如圖 4.2 所示)，在實際疲勞負荷試驗下，於 D-shaped 及 T-shaped 介面連接處產生些微允許範圍內之脫層(Debonding)現象。

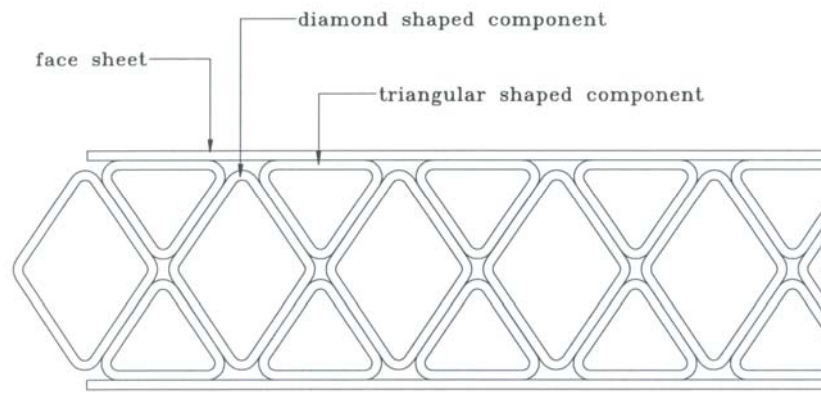


圖 4.2 FRP 橋面版斷面形式 (Plecnik, 1991b)

Bakeri (1990)研究 FRP 材料應用於橋梁上部結構之可行性，材料由 E-glass/Polyester resin 組成，結構模型為簡支版，跨長 2.31 m，並採用了四種不同形式，如圖 4.3 所示。以有限元素分析軟體 ADINA 進行 AASHTO 所規定的輪重負荷 HS 20-44，模擬其載重下之應力及變形行為，分析結果顯示在四種形式中，應力皆在容許範圍內，但最大變位值均已達 $L/800$ 之變位限制值。

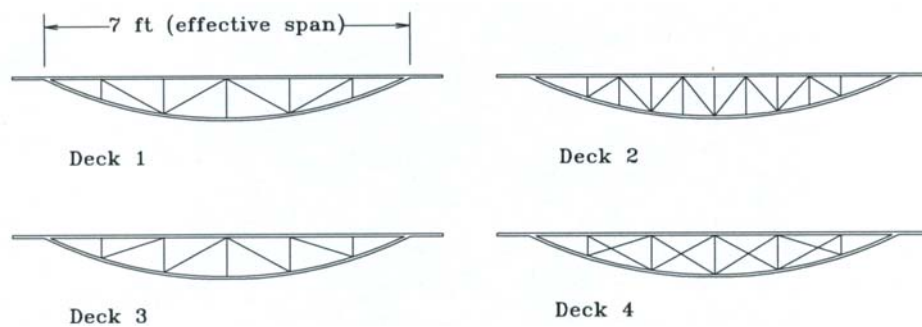


圖 4.3 FRP 橋面版斷面形式(Bakeri, 1990)

GangaRao (1991)：橋梁上部結構採用箱型模組化系統，選用兩組模型進行試驗，其箱型斷面分別由下列單元組成：外部兩支槽型構材，內部為 I 型構材(由兩支背對背構材組成)上、下版為實心複合版。為防止負荷過大，版的纖維方向垂直於主梁方向，在另一模型為增加彎曲勁度，其頂版改採巢式斷面，兩組模型分析結果其變位與應力接近由 GangaRao 等人(1987)所預測之理

論值。

Zureick (1997)：應用有限元素 ANSYS 與 GTSTRUDL 軟體進行 FRP 橋面版分析，橋面版採用四種不同模型比較，如圖 4.4 所示，以纖維方向與腹版位置為變數進行試驗，結果發現這些模型其所產生之應力皆低於 280 kgf/cm^2 ，顯示此種橋面版設計以撓度控制為主，另安排腹版垂直於車行方向，其勁度較大。Zureick 採用以上結果應用於不同模型，其控制變數為：(1)頂版厚度；(2)底板厚度；(3)腹版厚度及其(4)角度，加以適當限制條件。結果顯示，X 型斷面重量相較於 V 型斷面較重，而箱型斷面與 V 型斷面是最佳的斷面(詳圖 4.5)，然而在深度較小時(7—10 in)V 型斷面比箱型斷面輕，但在深度較大時(11—12 in)則屬箱型斷面較輕。

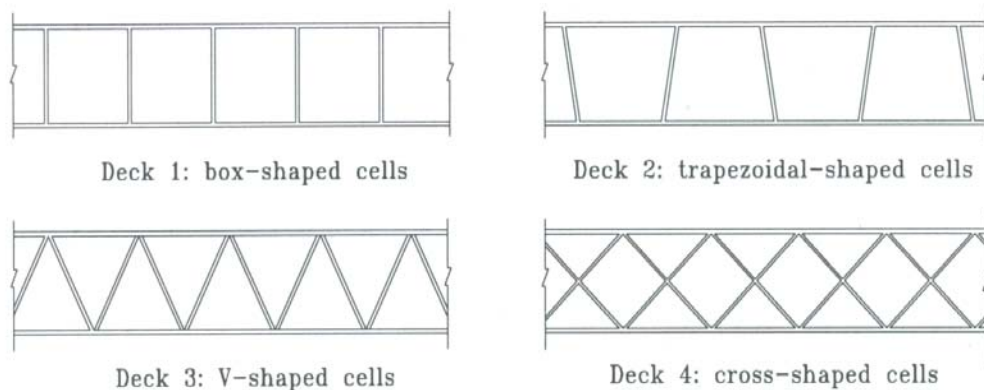


圖 4.4 FRP 橋面版斷面形式 (Zureick, 1997)

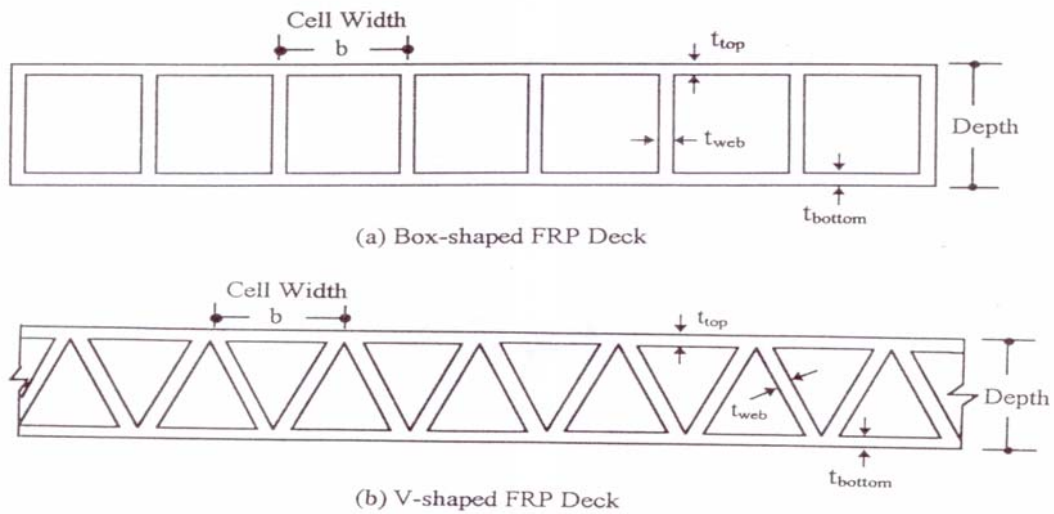


圖 4.5 FRP 橋面版斷面形式 (Zureick, 1997)

丁湘蘭(2002)透過 FRP 試片及構件試驗證實 ANSYS 有限元素分析可預測 FRP 橋面版結構行為模式。由於 FRP 橋面版設計係以撓度控制為設計重點，在經濟的考量下，進行斷面最佳化分析，結果以菱型為最佳加勁斷面，分別在抗彎勁度、抗扭勁度效果上提升了 56.8%、22%。從 FRP 橋面版與混凝土橋面版兩者比較分析後，其結果可知 FRP 橋面版重量僅有 RC 結構之 22%，在結構設計上，可使用較小梁斷面尺寸，若將橋面版與大梁兩者加總，則上部結構重量可降低至 30%。如將 FRP 橋面版應用於更換老舊混凝土橋面版，它所減輕的重量，可相對地提升容許活載重的空間，彌補現有構件承载力不足之現象，可達成提升承载力的效果及克服防蝕及耐久性方面等問題亦延長了橋梁使用年。

4.3 市區橋梁維護補強系統與工法研擬

根據美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)的一份評估報告，美國有超過 24 萬座橋梁(約全部橋梁 42%)面臨嚴重功能喪失，在公元 2010 年前，估計修補這些橋梁須花 500 億美金。所以，橋梁的維修補強對已開發國家已成為當前重要課題。對於國家的土木基層建設(Infra-structure)而言，既有結構物的維護、補強及升級，應與新建結構物的設計及興建扮演同等重要的角色。目前台灣地區現有橋梁約兩萬座，且數目日益增加，平均橋齡多在 20 年以上，這些橋梁面臨老化、龜裂、破損、年久失修及外在超載車輛、環境腐蝕等情況日趨嚴重，更使橋梁的功能降低，使用壽命大為縮短。對於安全能力不足之橋梁結構而言，補強往往比拆除重建更具經濟效益且可行。

本計畫所定義之市區橋梁係依照民國 93 年 1 月 7 日公布施行之市區道路條例第二條，「市區道路範圍包含：一、都市計畫區域內所有道路；二、直轄市及市行政區域以內，都市計畫區域以外之所有道路；三、中央主管機關核定人口及居區域內所有道路」。市區道路主管機關在中央為內政部、在直轄市為直轄市政府、在縣(市)為縣(市)政府。市區道路之修築、改善及養護，其在縣轄區內者，得由各有關鄉(鎮、市)公所辦理之。並用以與公路橋梁進行區別。

本章節將市區橋梁安全性能分為承載能力與耐震能力，在補強工法之研究上，由於橋梁下部結構對其承載能力之重要性不及上部結構，因此在承載能力補強系統與工法，係針對橋梁支承系統以上之構件探討，而耐震能力補強系統與工法，則係針對橋梁支承系統以下之構件探討，此外由去年研究成果建議於補強時，盡量避免進行基礎部份之補強，且於所定義之市區橋梁中，考量交通影響及環境影響等因素，並不適合進行基礎補強，故不對基礎補強工法多做介紹。

最後將對國內橋梁常用之補強工法進行施工性、經濟性及時間性等比較，並研擬適用於市區橋梁之補強工法。

4.3.1 承載能力補強系統與工法研擬

◎ 承載能力不足之原因探討

綜觀國內 76~90 年公路橋梁設計規範修訂而言，載重設計上最大的改變在於地震力部分的修改，在公路載重上並無修正。在進行橋梁承載能力評估時，係以公路載重等設計載重評估為首要標準，評估標準為對既有橋梁以新橋之設計規範進行評估，因此目前在業界進行評估後並無太大之補強需求。但由於國內目前有許多特殊重型車輛及違規超重車輛於市區道路及橋梁上面行走，以舊有規範值進行評估似乎有所不妥，因此本團隊於 95 年計畫中，評估活載重建議採用目前國內現行公路橋梁設計載重 HS20-44 加乘 1.25 倍(或 1.3 倍)及 HL-93 設計載重進行評估。

國內市區橋梁多屬鋼筋混凝土橋梁，因此在結構物產生劣化時，亦會影響橋梁之承載能力。影響鋼筋混凝土橋梁承載能力之一般劣化原因如下。

一、施工不良

水泥混凝土拌合不完全、模版接合不良產生漏漿、過早拆模、鋼筋位置配置不當致保護層厚度不足、搗實不足或過度致產生蜂窩或析離、施工縫處理不當、水泥硬化前震動或承受荷重、以及養治不良等。

二、使用材料不當

使用不當骨材，如使用某些易與水泥產生鹼骨材反應之骨材、使用健性不良之水泥、使用會產生過度脹縮裂縫之不良材料、使用含泥量高之骨材、使用不當添加物或拌合水。或是混凝土品質不良，例如使用含氣量或含氯量高之混凝土，將促成鋼筋銹蝕。

三、環境因素

若混凝土之滲透性大、或有裂縫或多孔隙時，環境中之二氧化碳或氯離子侵入混凝土造成中性化(亦稱為碳化)及氯離子反應

四、自然現象

混凝土之乾縮、潛變、以及預力構件之預力損失為不可避免之自然現象，

惟均將造成混凝土內部張應力逐漸增加，產生裂縫，並降低構件強度。裂縫將造成構件內之鋼筋或預力鋼鍵銹蝕，以及鋼筋與混凝土間之握裹力降低，並造成構件之失敗；設計時未考慮足夠之隔熱與散熱設施，尤其澆注大體積之混凝土，未考慮水化熱之散熱，將造成混凝土之龜裂。

五、人為破壞

主要為交通超載造成構件受張力區產生張力裂縫、撓曲或構件動搖等劣化現象，降低橋梁之強度及耐久性；此外國內橋梁下常被民眾堆放易燃物或垃圾(如圖 4.6)，易造成火災。火災時發生高溫，常造成混凝土龜(爆)裂，甚或剝落，或造成混凝土中性化，並降低混凝土強度與勁度。嚴重火災，亦可能影響混凝土內部之鋼筋強度與預力鋼鍵之預力，危及橋梁安全；橋面版上層若無鋪設摩擦層，則車輛輪胎將對橋面版表層造成磨損；行經跨越橋下方之車輛或船隻撞擊橋梁之大梁或橋墩，尤以工業區附近之跨越橋，易為超高車輛撞擊大梁，或超寬車輛撞擊橋墩，損壞橋梁，如圖 4.7 所示。



圖 4.6 橋下堆放易燃物



圖 4.7 跨越橋之大梁為超高車輛撞損，鋼筋外露

由市區橋梁承載能力不足之原因探討可見，在對橋梁承載能力進行評估時，除了利用分析評估外，目視檢測評估亦為判斷是否進行承載能力補強之重要參考依據。

◎ 橋梁劣化之維修工法

RC 橋梁產生劣化，將對橋梁承載能力及耐震能力造成影響，當劣化現象產生後，可以採修復的方式使劣化現象不繼續惡化，惟劣化修復並不會使橋梁服務性能提升，卻是施作補強工法之重要前置作業。以下對常見之 RC 橋梁劣化現象修復工法進行介紹，以利橋梁管理者瞭解在何種狀況下，可採取何種修補方法：

一、裂縫修補工法

1. 裂縫寬度小於 0.3 mm 修復工法

裂縫寬度小於 0.3 mm 或將影響耐久性，因此對橋梁結構物之修復方式以防護塗層方式為主。施工步驟係先以高壓水鎗或砂輪機將混凝土表面清理乾淨，再以防護塗層塗料，塗刷或噴塗於混凝土表面，使形成一道防護塗層，其厚度約 3 mm(如圖 4.8)。防護塗層材料應具備下列之特性：防止氯離子之入侵、防中性化(阻止二氧化碳進入)、透氣性使水蒸氣由結構表面釋出、耐久性(抗紫外線能力及抗風化作用)及聯結襯底之主動與被動裂縫。

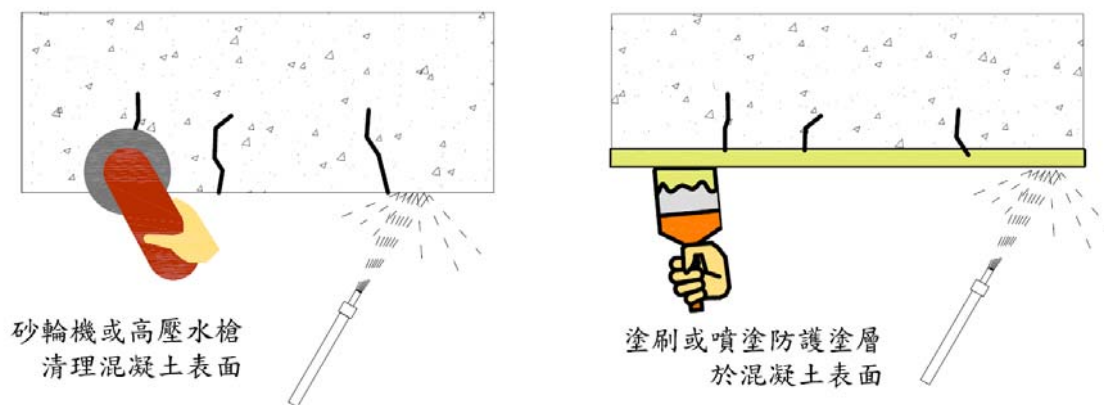


圖 4.8 裂縫寬度小於 0.3 mm 修復工法示意圖

2. 裂縫寬度大於 0.3 mm 修復工法

裂縫寬度大於 0.3 mm 將影響安全性，因此對橋梁結構物之修復方式以

裂縫灌注環氧樹脂方式為主。施工步驟係以高壓水鎗或砂輪機清理裂縫表面與周邊雜質，固定灌注器底座及安裝裂縫灌注器於裂縫上。灌注器間距須視裂縫寬度及採用廠牌而定，以能灌滿裂縫為原則。裂縫表面須用密封劑沿著裂縫作寬度約 30 mm，厚約 3 mm 之密封，避免注入之修補材料流出。裂縫灌注環氧樹脂須符合 CNS 10141 或 ASTM C811—90 之規定。環氧樹脂灌注時灌注之壓力須由裂縫寬度、深度及修補材之稠度來決定，原則上須採用低壓低速之方式灌注。灌注時須從裂縫最寬處開始，若在垂直或傾斜面上施工時，通常先從最低之灌注點開始依序向上灌注，當環氧樹脂溢過上方之灌注點時，再移至新灌注點進行灌注。若有需要應在該裂縫灌注 30 分鐘內，再進行補灌。灌滿後至少養生 24 小時，拆除灌注器底座，並進行披土磨平(如圖 4.9)。

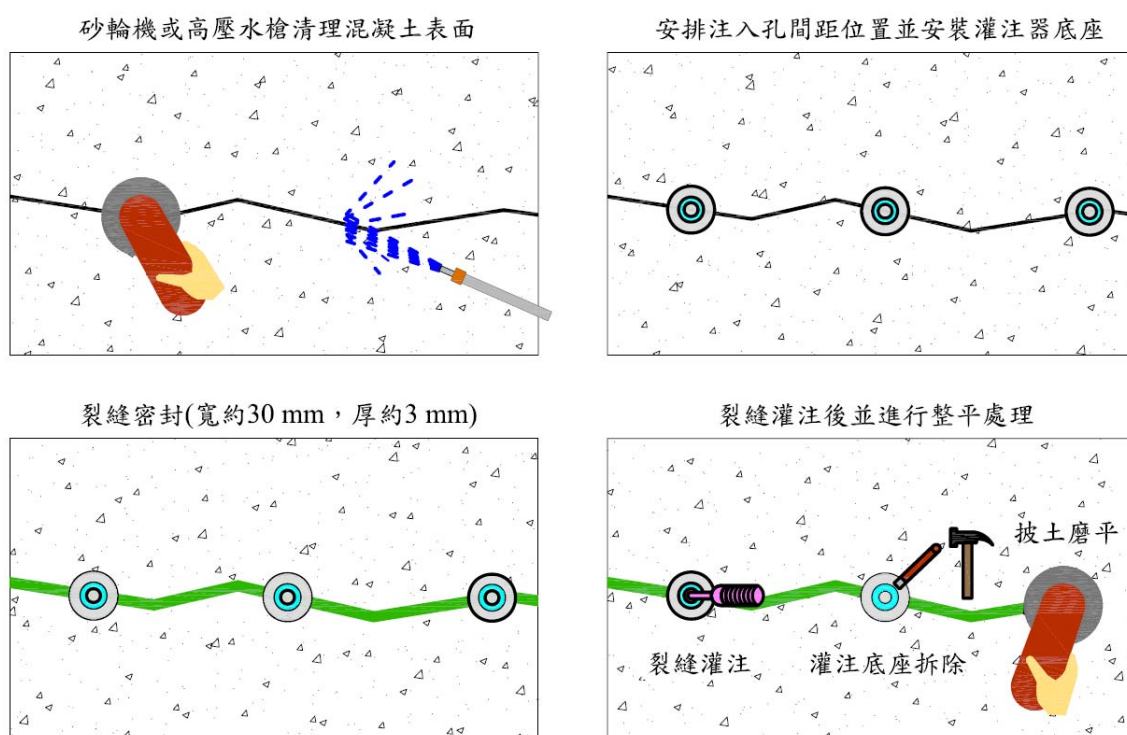


圖 4.9 裂縫寬度大於 0.3 mm 修復工法示意圖

二、混凝土剝落修補工法

混凝土剝落將影響結構物之安全性與耐久性。施工步驟係先畫定欲鑿除混凝土範圍，並鑿除劣化混凝土至堅實面。將鑿除後之不規則修復面，調整為規則面，規則面邊界切割深度不可大於 10 mm。再以高壓水槍清除表面粉塵及鬆動混凝土。並塗抹接著劑於新舊混凝土交界上，接著劑須與修補物質及混凝土具有相容特性。於接著劑尚處溼潤狀態時，以修補材料將剝落灌滿並加以整平，此修補填料須為無收縮混凝土、無收縮水泥砂漿或樹脂漿類，可施工於垂直面，並具修補厚度可達現場要求之特性。最後將表面修飾整平即完成修復作業(如圖 4.10)。

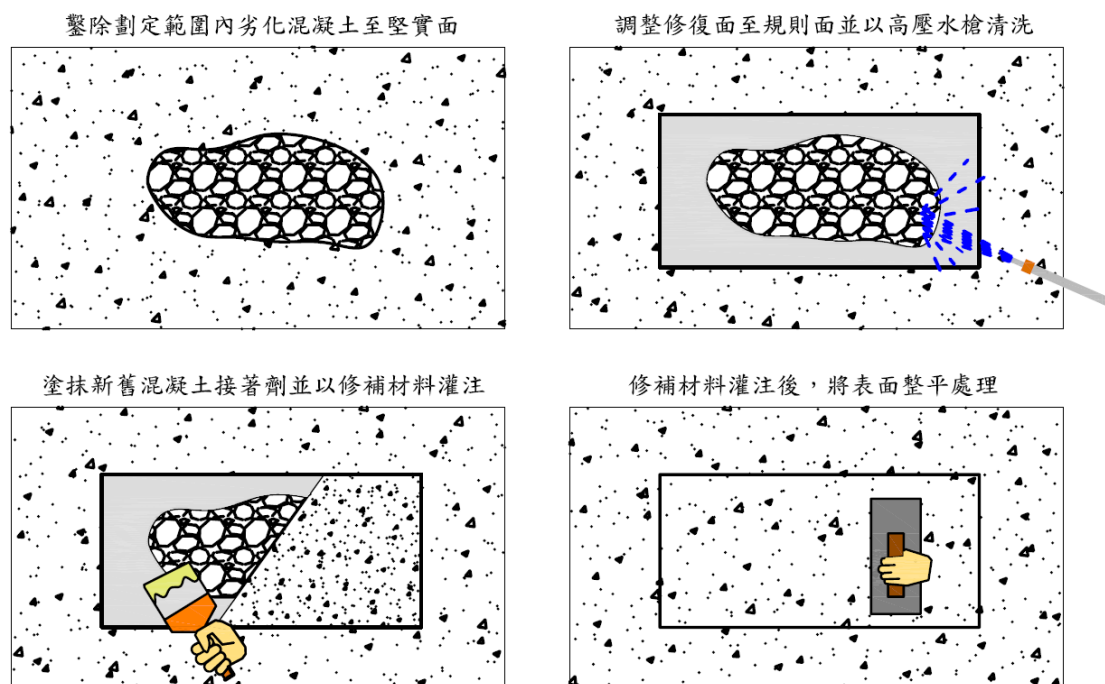


圖 4.10 混凝土剝落修補工法示意圖

三、鋼筋鏽蝕修補工法

鋼筋鏽蝕嚴重將影響橋梁安全性，應立即進行修復作業。施工步驟與混凝土剝落修補工法類似，先確定鑿除表面混凝土之面積，並畫定範圍。沿鋼筋軸向方面多鑿除 50 mm 之混凝土，以確保無鋼筋鏽蝕，並將鑿除後之不規則修

復面調整為規則面，規則面邊界切割深度不可大於 10 mm。鑿除已產生鋼筋鏽蝕之表面混凝土至鋼筋內側約 2.5 cm 處，並將表面打毛。將鋼筋或套管進行除鏽處理。鏽蝕處理後一小時內塗上防鏽劑(如圖 4.11)。後續新舊混凝土灌注處理與混凝土剝落修補工法相同。

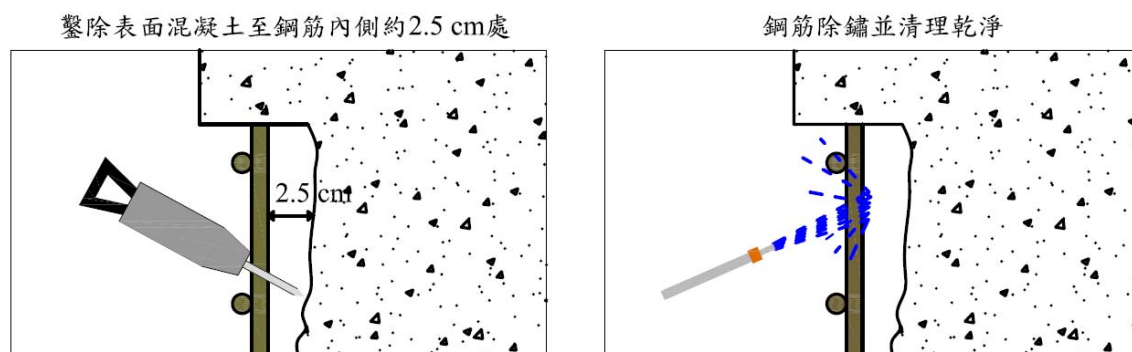


圖 4.11 鋼筋鏽蝕修補工法示意圖

四、噴凝土修補工法

噴凝土(Shotcrete)是由水泥、骨材和水混合，再用噴嘴以高速噴至結構物或模板上。噴射速度類似搗實作用，可使噴凝土均勻且密實，提供強力的結合，恢復對鋼筋的保護，改良已剝離或變質的混凝土，並提供美觀表面等功能。依施工方法可分為乾式及濕式兩種。施工步驟與前述兩工法大同小異，先將不良的混凝土移除，視需要對鋼筋進行除銹防銹作業。使用噴凝土施工前，應先潤濕混凝土表面，防止噴凝土水分被吸收，影響混凝土的水化作用，導致混凝土強度不足。惟混凝土表面亦不應太過潮濕，造成表面多餘的水影響混凝土強度，此一混凝土表面的打濕工作亦可用噴槍進行。

1. 乾式噴凝工法

此種工法的特點，是先將水泥及骨材以固定比率混合均勻，但此時先不加水。然後將此混合材料以壓縮機增壓，藉著空氣帶動經由軟管將其送至噴嘴。此時在噴嘴處加入定量的細霧狀的水，與其充分均勻混合，然後以高速

度噴射至結構物上以達到夯實效果。

由於乾式噴凝土運送與夯實過程中不需加水來改善工作性，所以適用在具有低坍度性質的工程上，例如垂直壁和仰面上的有限厚度混凝土的施工。添加物可以粉末形式添加在噴凝土中，或者以液體之形態在噴嘴的位置加入。如需加入鋼纖或其他纖維等，亦可在此階段予以混合。

2.濕式噴凝工法

此種工法之水、水泥和骨材在預先均勻的拌合後，以高壓空氣經軟管送至噴嘴，再以高速率噴至結構物上使骨材有充足的夯實。改善混凝土工作性或改善品質的添加物可以在施工過程中加入。

除非劣化部份僅佔整體混凝土的一小部份，一般使用噴凝土處理外部平面時(包括修復區的施工)，應盡量使用最薄的厚度。而在修復工作許可情況下，最少應使用 300 mm 之用量與完好之混凝土接合。若噴凝中土未加任何的聚合物，則應在噴凝土中摻入鋼纖或其他的纖維以防止裂縫產生，並減少空氣或水入侵的可能性。高強度鋼纖是噴凝土中典型的摻入纖維，通常其尺寸為直徑 3~4mm，75~100 mm 見方的鋼纖網，則噴凝土的厚度最少應為 50 mm 以提供適當的保護層。

鋼纖混凝土應該用釘栓打入原有混凝土以提供額外之鍵結力，鋼纖網與混凝土面間須用墊塊留出至少 12 mm 之空間。鋼纖網的間距應介於 400~750 mm 之間，以防混凝土漏失而降低保護層之厚度。鋼纖網若為鍍鋅鋼或可防銹，其厚度可薄至 30 mm。若在噴凝土中摻入 SBR 類添加物增強其保護性時，噴凝土的厚度可減至 15 mm。建議噴凝土厚度最薄不宜小於 20~25 mm。

在施工時應有適當的剖面量測以確定噴凝土厚度是否足夠，同時可避免厚度不均勻。混凝土中的木材或高拉力纜線必須固定，以免在噴凝土或表面修整時被移出。噴凝土施工時應以約 1 公尺距離垂直噴在介面上，以確保有效夯實度。若噴嘴太過靠近則可能將已噴好的混凝土表面吹散；噴嘴距離太遠則可能造成夯實不足。施工時噴嘴應從一側到另一側，由上往下噴，使噴

凝土表層均勻平整。

施工人員應具有經驗，避免噴凝過程中反彈廢土附著在噴凝土的表面的技能。尤其在角落壁凹處和鋼筋背面處施工時，更應特別注意，同時使用吸氣設備將其排走。在施工前需作格板試驗(Test Panels)，並應於工地進行。同時完全按照正式施工要求—垂直面或仰面施工。除非工程規模非常小，否則施工現場都應有一位具豐富的工程經驗人員，且本身也是技術良好的操作員來當監工。除了操作人員外，也應該有一個協助人員幫忙移動輸送管、清理表面和反彈廢土及使用吸氣設備。

◎ 承載能力補強工法介紹

由市區橋梁承載能力不足之原因探討可見，隨著交通量成長，橋梁之載重負荷隨之增加，尤其超載車輛對橋梁承載能力損傷至鉅，老舊或有劣化之橋梁，對原設計之載重或超過原設計之載重，能否提供足夠之承載能力，為評估橋梁安全重點之一。

當發現橋梁承載能力不足，可藉限速、限重等交通管制方式作臨時性之初步處理，再以加大構件尺寸、加勁、基礎加強、增加構件等方式增加承載能力，或變更上部結構形式或降低上部結構重量，來滿足永久性承載能力之需求。

在實務上，並無規定進行承載能力補強之工法，只要能夠真正達到補強之目的即可，因此無法羅列所有可行之橋梁承載能力補強工法。在此僅對一般常採用於市區橋梁之工法概念進行介紹。工法介紹如下：

一、增大上部結構構件斷面工法

增大上部結構構件斷面，提高構件強度及剛度。增大方式有：

1. 增厚橋面版

於原橋面版上鋪築新鋼筋混凝土層，並與原橋面版結成一體，增加橋面版承載能力(如圖 4.12 所示)。進行加厚橋面版補強時，須先鑿除原有橋面版磨耗層，然後於舊有橋面版上澆置一層新拌鋼筋混凝土補強層(亦可使用

纖維混凝土，提高其強度、韌性及疲勞壽命)，使其與原上部結構形成複合段面，用以提高抗彎強度以達到補強之效果。為使新舊混凝土之間有良好之結合效果，舊有橋面版表面先進行鑿毛並清洗乾淨，利用植筋等方式或用環氧樹脂作為新舊混凝土間之連結方式。通常採用此法進行補強加固時，可以在補強層表面加鋪磨耗層，或者在設計確定補強層厚度時再增加數公分作為磨耗層之用。

加厚橋面版補強工法之優點為施工簡便，對橋下交通無影響，但橋上交通卻必須封閉。因此對於不允許中斷既有交通地區之橋梁，必須配合部分車道封閉或規劃其他替代路線等交通管制作業。此外此法必然會增加結構物之自重與靜載彎矩，對構件下緣受拉區並未得到真正之補強，有時甚至於造成下緣受拉主筋必須另行補強之困擾。因此，此法較適用於小跨距之橋梁，或可搭配加大預力梁斷面補強工法彌補上述可能出現之缺陷。

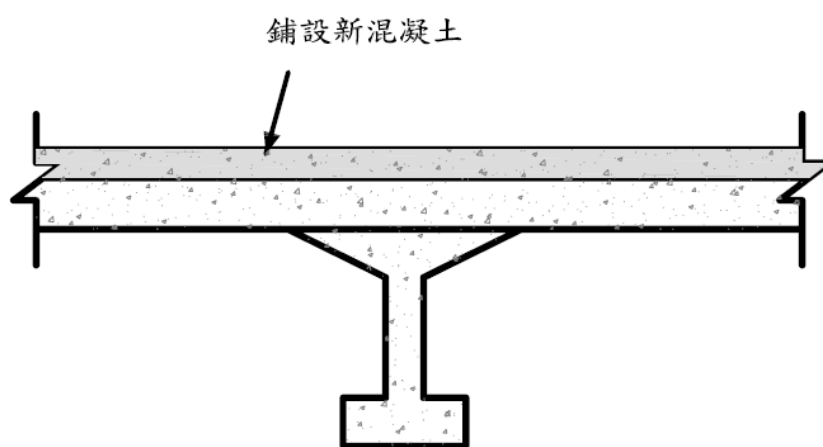


圖 4.12 增厚橋面版工法示意圖

圖 4.13 以案例說明增厚橋面版工法之施作流程。本案為 RC 橋面版，大梁部份為預力鋼梁，新舊橋面版之結合係利用植筋的方式另外鋪設鋼筋網，以鋼纖維混凝土澆注並增厚 8 cm，亦加高原有橋面洩水孔。對構件下緣受拉區之補強工作則進行橋面版底面混凝土裂縫修補、預力鋼樑混凝土裂縫修

補及端、中隔樑混凝土裂縫修補。最後換裝新橋面伸縮縫並做路面標鈕與標線施工。



(a) 瀝青混凝土路面刨除



(b) 橋面版混凝土水刀刨除



(c) 橋面版刨除面植筋



(d) 鋪設熔接竹節鋼筋網



(e) 洩水孔加高



(f) 增厚橋面版鋪設鋼纖混凝土



(g) 橋面版與護欄交接處灌注填縫膠



(h) 橋面鋪設瀝青混凝土路面



(i) 橋面伸縮縫換新



(j) 標鈕及標線完成



(k) 裂縫修補完成



(l) 耐候性漆塗裝

圖 4.13 增厚橋面版案例說明

2. 加大梁斷面

於梁底或側面，加大梁之鋼筋混凝土斷面，並增配主筋，增加梁之抗彎斷面，提高梁之承載能力。T 型梁可同時於梁底及側面加大，或僅於梁之下部加大成馬蹄型(如圖 4.14 所示)。

為使新舊混凝土間有良好之黏結效果，先將接合部位之混凝土表面鑿毛

處理並清洗乾淨，每隔一定間距鑿露原主筋，利用箍筋將新加主筋與原主筋相連。新置混凝土品質宜等於或優於原有大梁之混凝土。

當採用本法進行補強設計時，需注意進行補強後所增加之靜載重仍在原結構下緣受拉強度許可限度內，使原結構斷面能承受原有靜載重及因補強加固而增加之靜載重，而活荷載則由最後完成之複合斷面承受。此工法之優點在於技術簡單，但因施工時需破壞部份舊有結構物並封閉橋下交通較長的時間且會增加梁深，造成後續之交通影響(例如車輛限高)，因此市區橋梁下尚須通行車輛時，需特別考量此問題。

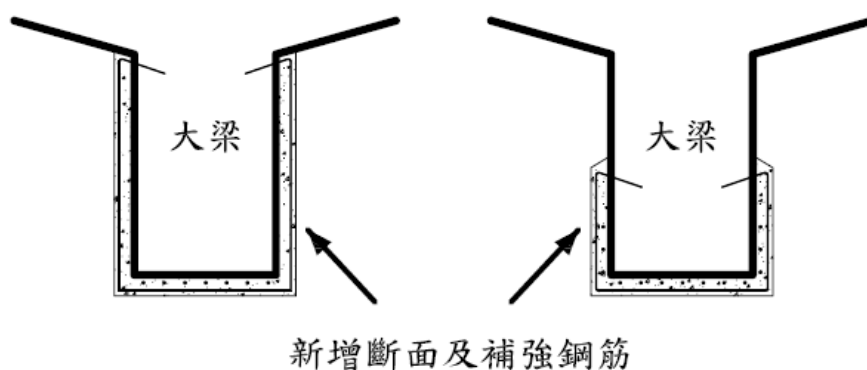


圖 4.14 加大梁斷面工法示意圖

二、黏貼補強工法

使用環氧樹脂類黏結劑，將補強材料黏貼錨固於混凝土結構之受拉處或薄弱處，使補強材料與結構形成一體，增加梁之抗彎、抗剪強度，提高梁之承載能力。補強材料一般有鋼板及纖維複合材料貼布。此法之最大優點在於施工簡便，不會減小橋下淨高，並可在不影響橋上交通之情況下進行加固施工。

1. 鋼板黏貼法

鋼板黏貼補強法是採用環氧樹脂接著劑將鋼板黏貼在鋼筋混凝土結構物受拉區，使之與原 RC 結構物形成整體，代替需增設之補強鋼筋，提高混凝土樑版之承載能力，達到補強效果之一種加固方法。

施工方式分為注入式與壓貼式兩種，視接著劑為液態或膠狀而定。施工時先以高壓水柱沖洗或鋼刷、砂輪機磨除等方式，將大梁混凝土面層雜質或鬆碎部分去除，再以高壓空氣吹乾水分，並清除殘餘物質，若混凝土有劣化現象(如混凝土裂縫、鋼筋外露、銹蝕等)，需進行必要之修補。之後於大梁梁體安裝化學錨栓套管(可藉由鋼筋探測器避開鋼筋處)。將大梁梁體表面打毛後將補強鋼板吊裝、現場焊接。此時若為壓貼式，則是在吊裝前利用刮刀將接著劑均勻塗抹於大梁及鋼板上，之後迅速旋緊錨固螺栓。若為注入式則是在鋼板錨固於大梁後，利用高壓注射將接著劑注入(如圖 4.15)。施工完成之對鋼板進行防銹處理並須定期維護保養。圖 4.16 為實際施工後之照片。

此法具有下列優點：鋼板本身甚薄，對原結構之尺寸影響不大、不需要高級之專門技術人員操作、完成補強工程所需時間短。但須注意在黏貼時，若鋼板與混凝土間的結合少於 90% 需全面拆除重做。

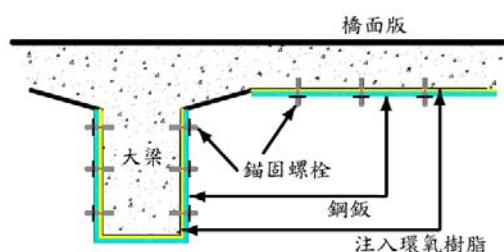


圖 4.15 鋼板黏貼補強工法示意圖



圖 4.16 鋼板黏貼補強完工照片

2.FRP 黏貼法

為改良鋼板黏貼工法施工之不便性及後續之維護工作，因此引進纖維強化高分子複合材料(FRP)補強技術，其中以碳纖維最適合於橋梁補強。施工時先將梁表面以砂輪機磨平，並將角端修成弧狀(圓弧半徑約大於 3 cm)，若混凝土表面有劣化現象(如混凝土裂縫、鋼筋外露、銹蝕等)，需進行必要之

修補處理，使其與施工面平整，之後塗上底膠漆，將表面凹洞補平之後塗上樹脂，依設計圖貼上碳纖維，再上一層表面樹脂，最後以抗紫外線(UV)或防火塗料作面層處理(如圖 4.17)。圖 4.18 為實際施工後之照片。

其優點在於材料輕，只需人工即可作業、不影響橋梁自重、不會腐蝕，補強後維護簡單、不需破壞原梁或版結構、補強後可做造型設計，增加都市美觀等。碳纖維補強工法之缺點在於現場施工品質易受環境影響，且需要受過訓練之工人進行施做。

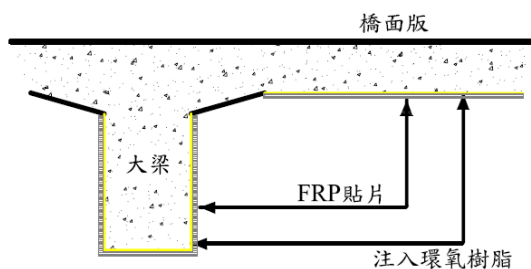


圖 4.17 纖維複合材料(FRP)貼布黏貼補強工法示意圖



圖 4.18 纖維複合材料(FRP)貼布黏貼補強完工照片

三、增設構件工法

當橋台、基礎承載能力尚符需求時，可增設新梁，與舊梁共同受力，分擔舊梁之受力，提高橋梁承載能力。當新梁增設於舊梁兩側時，兼具橋梁拓寬之功能。所增設之構件除了縱梁、橫梁外，只要是增設的構件可以達到承載力補強之目的者均可稱之(如圖 4.19 所示)。本工法費用較高，且影響橋下交通量大。對市區橋梁而言，若有拓寬需求時可考量採用本工法。

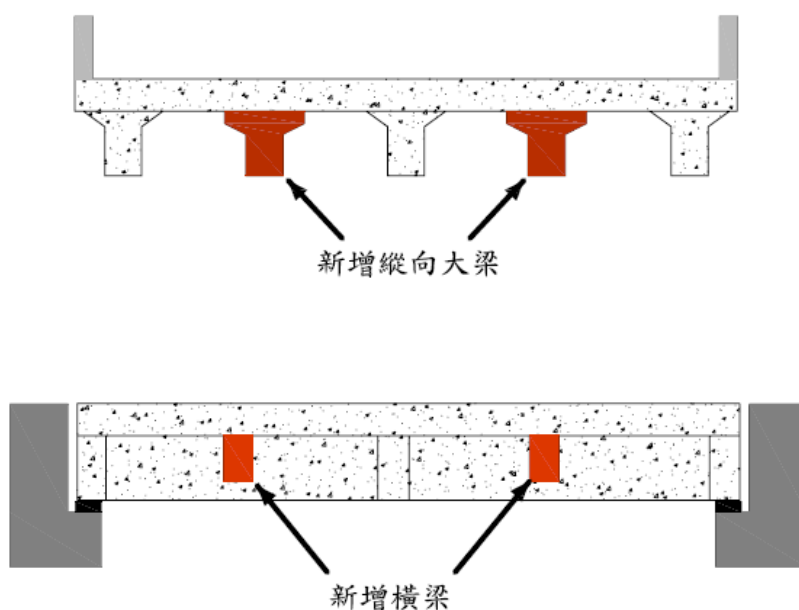


圖 4.19 增設構件工法示意圖

四、預力加固工法

應用預力方式，以梁身為錨固體，對梁之受拉區施加拉力，抵消部分自重應力，提高結構物承載能力；並可減少活載重時之應力，避免或減少預力梁出現裂縫，提高預力梁之耐久性。此補強工法以簡支型式橋梁較易施作，較難對連續橋梁於負彎矩區施加預力(如圖 4.20 所示)。

施加預力，一般採結構物外部之後拉預力。施加預力方法，視情況需要而定；一般有：縱向預力法、橫向預力法、縱橫雙向預力法、及豎向預力法；惟以縱向預力法最普遍。使用之鋼材，有鋼腱、鋼棒、及鋼絞索等，依施加預力佈設方式而定。預力佈設直線時，可採高拉力鋼棒。預力佈設為曲線或折線時，可採鋼腱、或鋼絞索。長度不足時，應以續接器(Coupler)連接。

本工法為補強工法中實例最多之方法，具有對交通影響量小、費用低、補強施工時間短、不需破壞橋體結構等優點，惟在設計時須考量施加預力之方式、如何減少預力損失及原結構加預力後之計算分析，施工後亦必須特別注意預力是否損失。

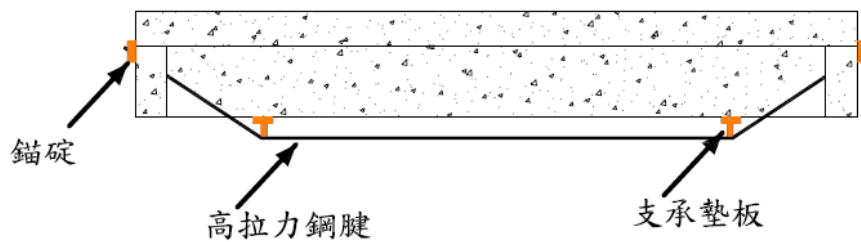


圖 4.20 預力加固工法示意圖

五、預鑄版替換工法

此工法係針對橋面版無法進行補強，需拆除重做的情況下以預鑄版之方式進行替換；可在短時間內完成補強進行通車。預鑄版型式可以運用輕量化混凝土、鋼隔床鈑(Steel Grid Deck)或 FRP 預鑄橋面版，尤以 FRP 預鑄橋面版具有降低上構自重、快速施工與提升橋梁承載能力之功能，國外亦已有相當多成功案例，將於後續章節說明。

4.3.2 耐震能力補強系統與工法研擬

◎ 耐震能力不足之原因探討

近年來，美日等國分別發生強烈地震，除造成嚴重之人民生命財產損失外，亦造成多座橋梁之損壞及倒塌，使交通嚴重受阻，導致救災及災後重建之困難。由災後相關之研究報告指出，倒塌或嚴重損壞之橋梁大多為 1971 年以前耐震設計技術尚未發展成熟者，且未經耐震補強之老舊橋梁。台灣地區地震頻繁，國內橋梁設計規範大多參考美、日二國之設計規範，在 921 大地震後亦因應國內橋梁對耐震能力需求進行研究修訂，使得既有橋梁以目前之耐震需求進行評估分析時，有明顯不足之處，需進行耐震能力補強。因此如何對現有耐震能力不足之橋梁，進行經濟有效率之耐震補強，使符合現行規範之耐震能力最低要求乃當務之急。

橋梁於地震中最常發現的破壞模式有：落橋破壞、支承破壞、橋墩柱破壞及基礎破壞；其中落橋破壞與支承破壞之修復補強方式，已於 96 年計畫中多所敘述。市區橋梁大多非屬跨河橋梁，受沖刷影響低，甚少發生基礎破壞的情形，且補強基礎需大量經費及時間，建議避免進行基礎補強，因此本章節對耐震補強部分僅對橋柱部份進行研究。

美國自 1971 年 San Fernando 地震以來，即持續既有橋梁耐震補強技術之研發與應用。據其研究，除防止落橋外，對橋柱加以耐震補強，使其於強震作用下仍具足夠韌性與強度，且不發生脆性破壞，為避免橋梁倒塌之最重要對策之一。

對 RC 橋墩柱造成較大的損壞通常由地震導致。地震最常見之破壞模式乃剪力破壞(Shear Failure)及撓曲破壞(Flexural Failure)。對此二類破壞，若能提供適當的側向圍束(Lateral Confinement)與軸向補強(Axial Strengthening)則可達到有效的補強。橋墩柱破壞模式，可分為下列幾種：

一、撓曲彎矩強度及韌性破壞

美國早期橋梁設計(1970 年以前)並無韌性設計觀念，韌性設計之觀念與彈性設計觀念，是完全不同且無關之設計理念。無韌性設計之觀念導致之破壞可詳細區分為下列四種，分別敘述如下：

1. 撓曲強度不足：

台灣早期之耐震規範多參照美國規範訂定。早期加州耐震設計之側向地震力為重力之 0.06 倍，惟現在設計之側向地震力為重力之 0.25 倍。故以側向地震力為重力之 0.06 倍設計興建之橋墩柱，其受地震力之撓曲強度顯有不足。

2. 橋墩柱之撓曲強度不一：

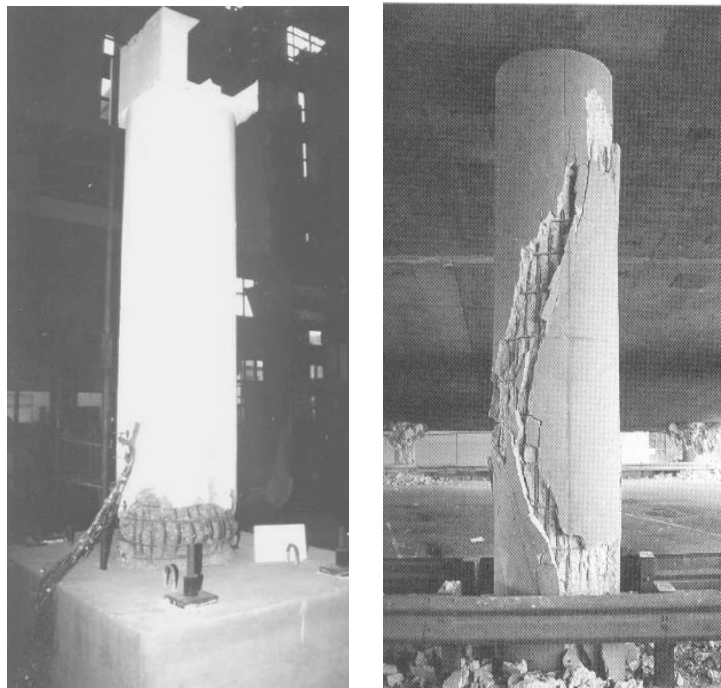
由於設計與興建之橋墩柱箍筋間距不一，故撓曲強度亦不一致。美國 1971 年以前箍筋之間距為 20 倍之鋼筋直徑，由實驗結果了解此箍筋之間距太大，無法使撓曲強度真正發揮。

3. 撓曲韌性不足：

撓曲塑性鉸發生處通常需要較高之韌性，一般需要位移韌性係數最高達 6~8，但若橋墩柱塑性鉸處之位移韌性係數為 2~3，受地震力後其混凝土保護層會被壓碎而剝落，最後導致橋墩柱撓曲韌性不足破壞。破壞模式如圖 4.21(a)。

4. 縱向主筋斷筋或續接點不當

由於縱向主筋斷筋或續接點不當，橋墩受地震力時會產生彎矩-剪力破壞。破壞模式如圖 4.21(b)。



(a)

(b)

圖 4.21 橋柱之(a)撓曲破壞;與(b)彎矩-剪力破壞(Priestley, 1996)

二、剪力破壞

RC 橋墩柱之剪力強度，是由混凝土受壓時之剪力傳遞、骨材之間的鍵結力及箍筋之側向圍束力所組成的。若橋墩柱受力後產生撓曲-剪力裂縫，當裂縫寬度增加，剪力強度則急速下降，最後導致脆性破壞。破壞模式如圖 4.22。



圖 4.22 921 集集大地震之烏溪橋橋柱剪力破壞

此外，人為之車輛撞擊或結構物產生劣化時，橋柱亦將造成破壞並影響耐震能力。

◎ 耐震能力補強工法介紹

橋梁震害後之耐震補強方法可分為：(1)既有結構(強度、韌性)補強，包括橋柱、帽梁及支承、防止落橋裝置等構件；(2)橋梁整體結構系統補強，包括隔、減震補強工法及功能性支承系統補強；及(3)基礎補強工法，市區橋梁較不適用此種補強方式，故不做說明。對既有市區橋梁而言，若採隔震補強方法，需將橋梁上部結構同步頂升，置換隔震形式之支承系統，施工不易，且設置後橋梁引道需配合提昇，另需封閉施工影響交通，須較高之補強經費，較不可行；若採行減震系統補強方案，設置阻尼器初期經費低且安裝方便，但後續養護與管理之費用頗高，亦不適用於市區橋梁，故不列於本研究內容。而相較於既有結構補強與隔、減震補強方式，功能性支承系統補強則提供一個較為經濟且有效的可行性補強方案，亦於 96 年度報告書中說明，包含橡膠支承墊替換工法與各項防落設施裝設工法(如圖 4.23)。藉由 96 年度成果中，傳統橋柱補強工法與功能性支承補強工法經濟效益比較，可得既有結構(強度、韌性)補強與橋梁整體結構系統補強之比較如表 4.1 所示。考慮市區橋梁補強時需考慮交通影

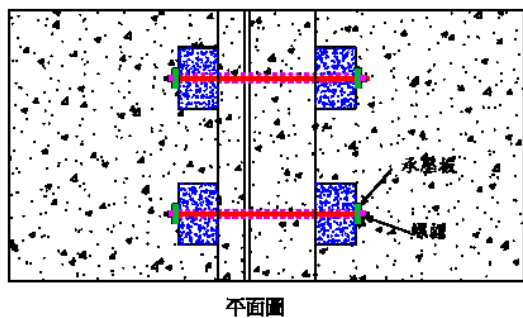
響與環境影響之特性，本年度計畫選定對既有橋墩柱進行補強工法之介紹。



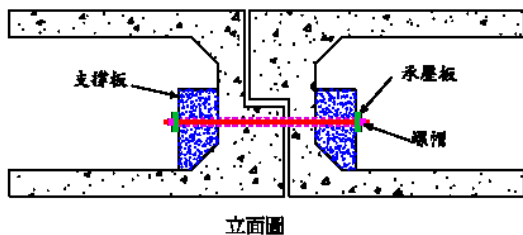
(a) 扁平式千斤頂置換橡膠支承墊



(b) 水刀式千斤頂置換橡膠支承墊

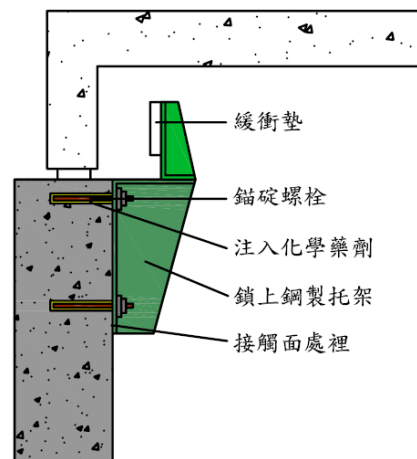


平面圖

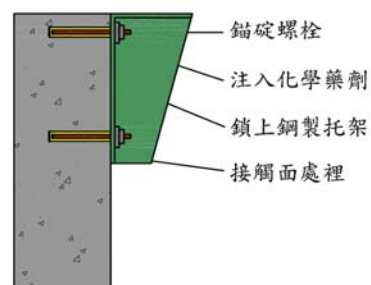


立面圖

(c) 防落拉桿



(d) 止震塊



(e) 防落托架

圖 4.23 橡膠支承墊替換工法與各項防落設施裝設工法

表 4.1 既有結構(強度、韌性)補強與橋梁整體結構系統補強方法比較

補強方法		優點	缺點
1.既有結構(強度、韌性)補強		1.韌性可達要求。 2.剪力可達要求。 3.設計方法成熟。 4.耐震性能高。 5.施工技術成熟。	1.跨河橋水中補強施工困難。 2.經費較高。 3.陸橋施工需封閉橋下部分車道，影響平面車道交通，施工空間較差。 4.工期較長，影響附近環境及交通較長。
橋梁整體結構系統補強	2.隔震補強	1.不需補強原有下部結構。 2.耐震性高。	1.上構頂昇抽換支承困難，且引道亦須配合提昇，經費、工期、交通影響及環境衝擊量均大。 2.補強時需先將上部結構連續化。
	3.減震補強	1.不需補強原有下部結構。 2.耐震性能高。	1.裝設阻尼器後需經常維護管理。 2.震後需檢測減震系統功能。 3.位移反應較大時，裝設空間恐不足。 4.補強時需先將上部結構連續化。
	4.功能性支承補強	1.不需補強原有下部結構。 2.耐震性能次高。 3.施工較無困難。 4.維護管理簡便。 5.經濟性佳。	1.分析模型較費時。 2.震後可能需更換伸縮縫及橋台背填土修復。 3.補強時需先將橋面版連續化，封閉部分橋上交通。

市區橋梁補強工法建議可選擇既有結構(強度、韌性)補強與橋梁整體結構系統補強兩方面進行考量，然於橋梁整體結構系統補強方面於 96 年計畫中已建議以功能性支承方式進行補強，因此以下介紹既有結構補強(橋墩(柱)部分)。

橋墩(柱)補強，在增進橋墩強度、韌性及抗剪能力，使橋梁抵抗更大之地震力，避免橋墩挫曲、傾倒，造成橋梁潰壞、落橋。故地震時，為使塑鉸產生於橋柱柱頂或柱底，應確保橋墩不發生剪力破壞。國內一般常見橋墩補強方式

中以橋墩包覆工法最為常見，常用橋墩包覆工法以 RC 包覆補強工法、鋼板補強工法居多，CFRP 補強工法則為目前越來越普遍的新工法。以下即對此三種包覆工法進行介紹：

一、RC 包覆補強工法

RC 包覆工法，可增加混凝土圍束，進而增加橋墩之撓曲強度、韌性與剪力強度，一般使用於壁式橋墩。施工時，應先將原有 RC 橋墩作打毛處理(如圖 4.24)，再配置縱向主筋及圍束箍筋，並利用於舊有橋柱鑽孔設置化學錨筋，或以貫穿舊有橋柱置放高拉力鋼棒，以承壓板於另一側對鎖之方式(方形橋柱適用)，將新設鋼筋與既有結構物做結合(如圖 4.25)，進行 RC 包覆補強工法須注意混凝土工作性填充的效果，建議澆置自充填混凝土並完成補強作業(如圖 4.26)。軸向鋼筋若錨定於基礎，雖可增加橋墩撓曲強度，惟將增加基礎受力，故需同時補強基礎。軸向鋼筋若不錨定於基礎，則僅提供圍束效果，增加橋墩韌性(韌性補強)，對橋梁構件強度之提升不大。本工法缺點在施工期間長，且需組立模板，補強後橋柱直徑變大，對於橋下交通造成影響，在跨河橋則會增加阻水斷面。

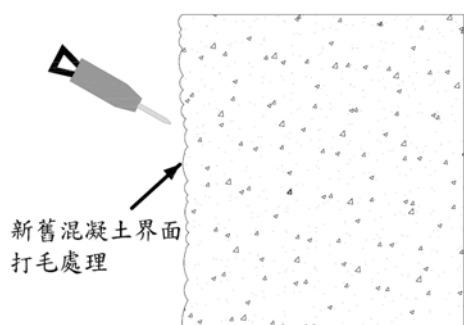


圖 4.24 新舊混凝土面打毛處理

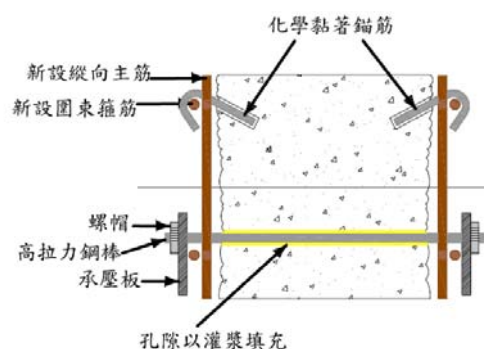


圖 4.25 新舊混凝土結合方式

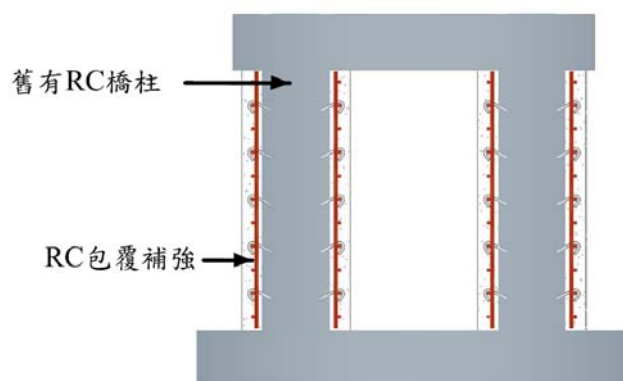


圖 4.26 橋墩 RC 包覆補強工法

二、鋼鈹包覆補強工法

鋼鈹包覆工法，較適用於圓形或橢圓形之橋墩。多角形橋墩因鋼鈹製作成多角形較為困難，一般可於現場焊接組立或做成圓型或橢圓型預鑄套管包覆既有橋柱。本工法，施工空間較小、工期短，適用於市區橋梁或河道阻水斷面受限時採用。施工時應先將原有 RC 橋墩以高壓水刀做表面清理，並將混凝土表面鬆散層、油漆、碳粒及油漬等去除。混凝土有劣化現象(如混凝土裂縫、鋼筋外露、銹蝕等)，需進行必要之修補，之後再以水刀將表面作打毛處理。補強之鋼鈹(或套管)於包覆前需先實做表面處理、防鏽底塗或底漆。鋼鈹組立時需於適當間距處鑽設高壓灌注孔及觀測孔。鋼鈹底部需施做防漏封邊(如 Epoxy 等)，確保灌注接著劑時不會由底部漏出。於橋墩與鋼鈹間注入無收縮水泥或環氧樹脂作為接著劑。灌漿過程中，觀測孔有接著劑溢出時，即可將觀測孔與灌漿孔以螺栓旋入予以填實密封，並須能達到永久密封即止水效果，如圖 4.27。

鋼鈹包覆工法之缺點，在於鋼鈹重量大，補強後恐影響基礎承載能力，分析時需重新考慮。且施工時須藉助大型機具協助施工，對交通有一定之影響。此外，由於鋼鈹遇水或長期暴露於潮濕空氣中易產生鏽蝕等化學變化，故在鋼鈹補強後應注意鋼鈹的防水、防蝕性，以免鋼鈹失去應有的功能導致補強失效，並於補強後定期檢測是否鏽蝕並補塗防鏽油漆。



(a) 混凝土裂縫灌注修復



(b) 舊有混凝土表面打毛處理



(c) 鋼板組立



(d) 現場焊接，鋼板組立完成



(e) 高壓灌注膠着劑



(f) 鋼板補強完成

圖 4.27 橋墩鋼板包覆補強工法(林安彥提供)

三、纖維包覆補強工法

為改良鋼板包覆工法施工之不便性及後續之維護工作，因此引進纖維強化高分子複合材料(FRP)補強技術，其中以碳纖維最適合橋柱補強。其優點在於

材料輕，只需人工即可作業、不影響橋梁自重、不會腐蝕，補強後維護簡單、補強後可做造型設計，增加都市美觀等。施工時先將柱表面以砂輪機磨平，並將角端修成弧狀(圓弧半徑約大於 3 cm)，若表面有缺損部分應進行適當處理，使其與施工面平整，之後塗上底膠漆(Primer)，將表面凹洞補平之後塗上樹脂，依設計圖貼上碳纖維，再上一層表面樹脂，最後以抗紫外線(UV)或防火塗料作面層處理。常見之外觀美化，除以油漆塗刷外，亦可使用洗石子等方式。碳纖維補強工法之缺點，在於現場施工品質易受環境影響，且需要受過訓練之工人施做。

國內業界目前採用之 CFRP 補強施工準則，乃依照國外成功案例之施工準則，配合國內已實施成功案例之施工經驗所歸納出來的規範，為一套符合國情，且技術成熟的施工準則。若僅圖面之敘述，恐無法深刻了解，故本節再輔以本團隊過去於國家地震工程研究中心之 2/5 縮小尺寸之圓形橋柱進行 CFRP 補強施工介紹照片，加強此套施工準則的實用性。(如圖 4.28)。

圖 4.28 (a)為 RC 圓柱面層處理之施工情形，由 RC 結構物損傷評估得知，RC 結構物可能產生之損傷有斷面損傷、裂縫和表面層劣化三種情況，每種損傷各有其處理方式。對於面層之處理，重點在於去除表面的劣化層(風化、游離石灰、脫模劑、剝離之砂漿、粉刷層或污物等)，去除的程度以能見到粗骨材為主。若標的物有凸角部份，則需將凸角磨成圓弧，以免圍束時造成應力集中，降低補強效果。圖 4.28 (b)為 RC 圓柱產生斷面損傷時之復舊施工情形。斷面修復在處理諸如剝落、孔隙、蜂窩、腐蝕等為主，尤其鋼筋外露、腐蝕，對強度影響甚大、更應妥善處理。圖 4.28 (c)為處理上述問題完成後，尚須保持 RC 圓柱表面的平整，以利 FRP 貼片能平穩貼附於結構物上，增強接著效應。圖 4.28 (d) 為不平整面修正，在完成表面不平整修正步驟後，無論表面層處理、斷層復舊處理或裂縫注入處理，在處理完成尚未上底漆前，須以空氣鎗將污物清除乾淨，如圖 4.28 (e)。圖 4.28 (f)為 RC 圓柱塗底漆之施工情形。底漆施工前、須確認施工環境是否適合施工，施工環境合格才可進行施工，否則

將因外界環境條件造成樹脂硬化不完全和接著性不佳的不良結果。塗佈量亦需控制，儘量不要太稠，太稠時易在表面上產生疙瘩。圖 4.28 (g)為 CFRP 貼附，當補強貼片貼附後需進行滾壓的動作，才能將氣泡確實趕出，確保施工品質。圖 4.28 (h)為外層環氧樹脂塗佈作業。圖 4.28 (i)為最後補強完成之照片。

以上為 CFRP 補強施工過程之介紹，由於補強工程設計及施工常因工址現地環境之多變性，無法以一成不變之標準流程規定之，故如何進行補強設計及施工，除需參考設計準則和施工準則外，工程經驗之累積對於工程是否能順利進行影響至深，因此希望業界在進行 FRP 補強工程時，除以施工準則為基礎外，相關實地經驗亦是不可欠缺，如此才能確保整個施工過程的品質。



(a) 面層處理



(b) 斷面復舊



(c) 轉角打磨



(d) 不平整面修正



(e) 空氣槍清洗



(f) 底漆塗佈



(g) CFRP 貼片貼附



(h) 環氧樹脂塗佈



(i) 補強完成

圖 4.28 碳纖維補強圓柱實例

4.3.3 市區橋梁維護補強系統與工法研擬

上兩節介紹國內常見之橋梁承載能力與耐震能力不足之原因與補強工法，國內對橋梁補強並無技術上困難，惟如何選擇有效且經濟又能降低影響環境與交通之工法，為工程師必須面對之難題。

◎重建或補強之考量

既有市區橋梁補強之目標，在於使舊有橋梁可符合目前之設計規範，意即在中小地震下(30 年回歸期)能確保橋梁主體結構保持在彈性範圍內，震後不影響服務性能；在設計地震下(475 年回歸期)橋梁主體結構容許構件產生塑鉸，發揮容許韌性容量，震後可於短期間修復並恢復服務性能；在最大考量地震下(2500 年回歸期) 結構韌性容量完全發揮但不發生落橋及崩塌。

多數老舊橋梁於進行設計符合現行規範之補強時，可能產生技術面或工程經費上的困難，因此建議在決定橋梁是否補強或重建可參考以下流程，如圖 4.29。首先需考量可否重建，某些橋梁具有其特殊考量不允許重建，則必須補強。若允許重建則考慮補強後可否達到耐震設計規範要求，當補強後依然無法達到規範要求時，則必須拆除重建。若可以利用補強作業，將橋梁性能提升至規範要求，則進行補強工法之選擇，其考量因素包含：施工時對環境的影響，如營建廢棄物、空氣污染、噪音等；施工對交通的影響，及施工時的交通管制時間、工期、臨時替代道路、工區範圍與大型機具對交通之影響等。直接成本，即補強工法之材料、人力等經費成本。間接成本，係指用路人繞道損失之油料與時間及空污量、橋下區域商家之經濟活動等。過去多未考量間接成本，然在人本與環境考量下應重視間接成本部份，以工期最短之補強工法進行優先考量，將間接成本之影響降至最低，此外亦需考量補強後之後續維修費用，亦即耐久性考量，故在後續章節介紹 FRP 材料之應用以提升國內橋梁品質。決定補強工法後對其補強經費進行比較判斷，以補強上、下結構之經費與重建上、下結構經費進行比較，例如承載能力補強時，選擇一跨橋面版增厚工法之費用

與該跨橋面版重建費用進行比較，當補強費用小於 40% 重建費用時則建議補強，若補強費用大於 40% 重建費用時則建議重建或以專案方式再進行評估，惟考量成本方便性，此比例數字並不考慮間接成本。

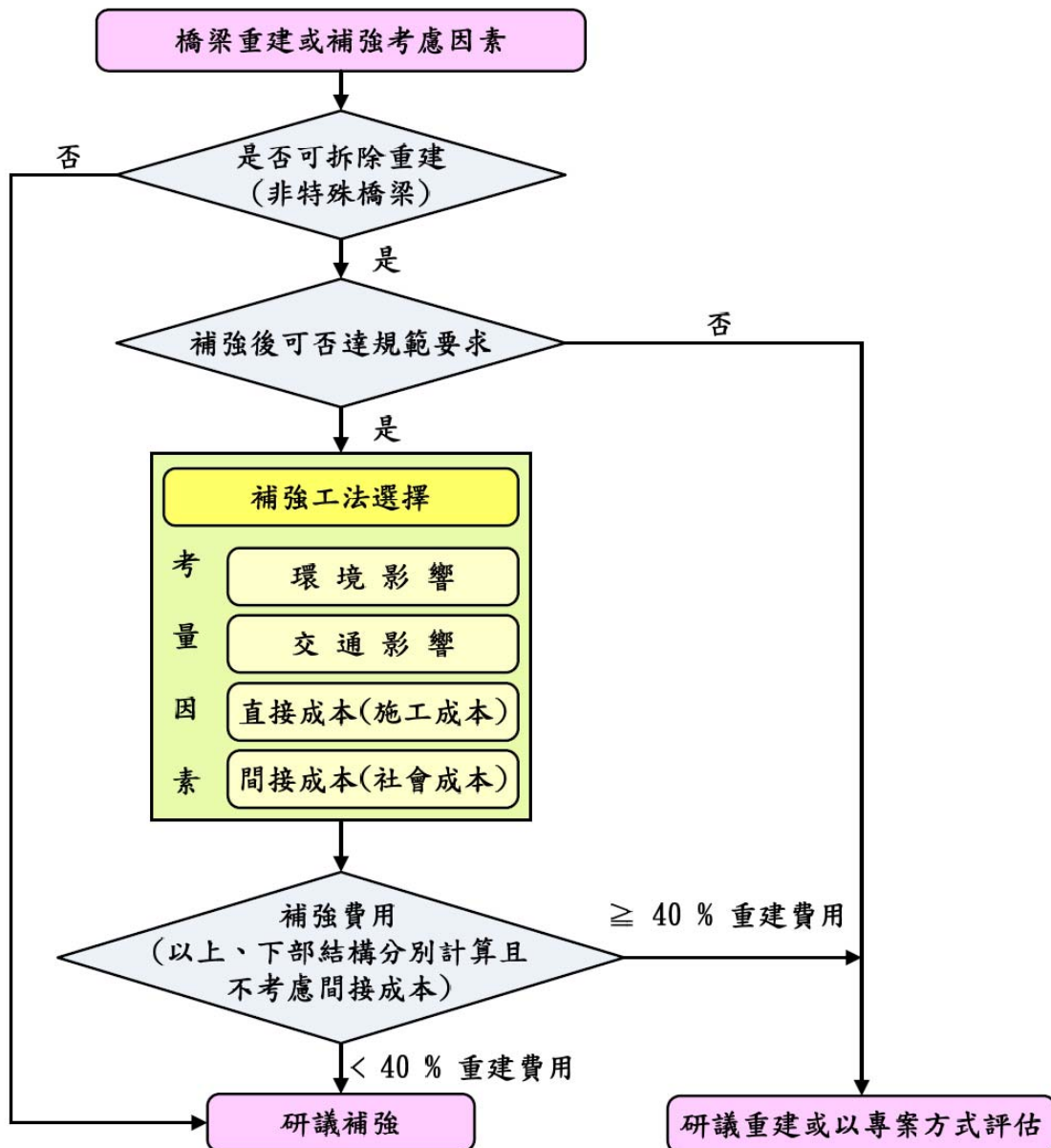


圖 4.29 橋梁重建或補強

◎ 補強之基本原則

決定橋梁補強時，可參考以下之基本原則：

- 1.橋梁補強方法很多，以耐震補強為例，包括增加構材的韌性或強度、基礎補強、降低液化潛能、設置防落橋設施及改變橋梁結構系統等，可靈活運用。
- 2.補強方案應使橋梁上部結構、下部結構及基礎構造等整體結構系統服務能力均衡提昇。
- 3.補強橋柱，可增進橋梁之強度與韌性，抵抗更大之地震力。
- 4.能力不足之橋梁，研擬補強方案時，應研擬最適當且經濟的方法，將能力提昇至足夠之標準。對耐震能力而言，儘量避免基礎補強，以降低補強經費。
- 5.增設防落橋裝置，防止支承破壞可能產生之落橋。
- 6.利用功能性支承變更橋梁結構支承系統，發揮支承的摩擦消能，降低下部結構地震力並防止落橋發生。

選擇補強方案時，除運用以上基本原則外，並應因地制宜，發揮工程人員之創意思維，選擇最佳之補強方案，以期使用最少的經費、最短的時間，影響交通與環境最小的情況下，達到符合預期之橋梁延壽補強。

◎ 補強方式比較

由過去研究成果蒐集蒐集新竹縣(西北部)、宜蘭縣(東北部)及台南縣(南部)分跨台灣地區的市區橋梁資料，藉由統計分析以縱觀瞭解市區橋梁之特性。經三縣市區橋梁資料統計結果顯示，以鋼筋混凝土橋所佔 86 %比例最多，再來是預力混凝土橋梁佔 13%之比例，由此可知，市區橋梁係以鋼筋混凝土及預力混凝土橋梁為主，對此兩種型式橋梁進行統計結果顯示，市區橋梁之主要特性可大致歸納為梁式橋，主梁型式為 T 型梁者佔多數，橋台型式則多為半重力式，多無防震設施以及翼牆之設計。

針對市區橋梁多為梁式橋、主梁型式為 T 型梁、型式多為鋼筋混凝土及預力混凝土橋梁之特性，可發現國內就承載能力與耐震能力補強而言，對大梁及橋柱補強之各項工法，多以 RC 混凝土包覆工法、鋼板包覆補強工法及纖維包覆補強工法進行此類橋梁之補強作業。此三種工法均可增加梁之抗彎、抗剪強度，並提高梁之承載能力，及橋柱之剪力、韌性、挫屈與搭接長度不足等問題，惟各有其優缺點。其中纖維包覆補強工法為目前業界較新之補強工法，可改善前兩種工法之諸多缺點。本團隊於 96 年計畫中，已對此三種常用工法對經濟面、施工時間進行探討，與技術面及環境影響等相關因素之優、缺點進行比較後，整理如表 4.2 所示，並藉以提出最適用於市區橋梁補強之施工方式。

表 4.2 各項補強工法優缺點比較表

補強工法	優點	缺點
RC 混凝土 包覆工法	1. 施工技術成熟簡單，一般工程人員即可施作，業界易於接受。 2. 費用便宜，約(3,000~4,000 元/m ²)。	1. 工期長(30~60 天)。 2. 施工期間工區範圍大，影響橋下交通量大。 3. 施工過程需破壞原結構。 4. 施工後斷面加大： a. 梁斷面加大，降低橋下行車淨高，需限制通行車輛高度。 b. 柱斷面加大，於跨河橋，河水通水斷面減少；於陸上橋，因施工影響平面車道交通。 5. 橋柱斷面增大亦影響觀瞻。 6. 完工後若產生劣化，不易進行修復。

鋼鈹包覆 補強工法	1.施工技術成熟簡單，一般工程人員即可施作，業界易於接受。 2.工期短(5~10 天)。 3.完工後斷面增加量小。	1.費用較高，約(7,000~9,000 元/m²)。 2.施工中，鋼鈹需以大型拖吊車輔助施工，交通影響大。 3.施打螺栓易造成結構破壞。 4.完工後需定期檢驗並做防鏽處理。維護成本提高。 5.檢驗方式困難，若產生劣化需全面拆除，修復時間長。
纖維複合材料 (FRP)包覆 補強工法	1.費用便宜，約(3,000~4,000 元/m²)。 2.工期短(1~2 天)。 3.施工範圍小，較不影響交通。 4.人工操作即可，狹小空間亦可施工。 5.材料輕，不需重型機具施工。 6.完工後斷面增加量小。 7.施工過程不需破壞原結構。 8.材料不會腐蝕。 9.補強後，若車輛撞擊等因素損壞，可快速修復。 10.貼片柔軟易彎曲，可修補任何形狀之梁柱。	1.需受過訓練之工程人員才可施作。 2.現場施工品質易受環境影響。

由以上工法優缺點比較可見，纖維複合材料(FRP)貼覆補強工法之優點包括：經濟、快速、不影響交通、日後維護簡便等，非常適用於既有市區橋梁，且目前學術界對其分析與設計上已有成熟之研究，是一值得推廣於實務面之新技術。

此外，由 921 大地震與四川大地震之災後搶救災行動中發現，當大型災害發生時，多數交通網路可能因此中斷，導致修復補強所需之大型機具無法順利運送，搶救災時間因此延誤。因此在災後之緊急修復時，首先必須考量補強方式是否簡便且不需大型機具。纖維複合材料(FRP)貼覆補強工法即可滿足此需求，另外本團隊過去亦利用鋼纜線圍束緊急修復補強柱體進行實驗與分析，並於 921 地震後實際運用於建築物補強案例中得到非常好的成效(陳錫勳，2002)。以下利用實際結構物補強案例進行說明。

鋼纜線圍束補強柱體之施工步驟係先於受損柱體旁配置足夠之臨時安全支撐，將受損柱體之碎裂混凝土塊清除，並以清水洗淨粉塵，之後視原主筋損壞狀況配置新主筋，並由外露鋼筋最底層開始圍束鋼纜線並向上纏繞並固定，最後組立模板並灌注無收縮水泥或樹脂砂漿，養護七天後即可拆模並完成鋼纜線圍束緊急修復補強柱體作業(如圖 4.30)。利用鋼纜線圍束補強十分適合運用於橋梁緊急修復補強作業上，主要為材料取得方便且便宜，施工技術簡單亦不需大型機具，因此成本遠低於 CFRP 補強，惟國內目前無相關規範，因此對橋梁結構物只適用於臨時性修復作業上。



圖 4.30 鋼纜線圍束補強柱體作業

4.4 FRP 複合材料應用於市區橋梁之適用性研究

台灣為海島型國家，天候屬於溼熱多雨型，相對鋼筋腐蝕問題最為嚴重，加上四面環海海風中含有大量的鹽分，更加速了鋼筋腐蝕造成結構物發生劣化，此種現象在臨海域附近之結構物頗為常見。為了防止新建結構物的腐蝕破壞，有效達到防治鋼筋鏽蝕問題，並且為減少此營建材料的日趨短缺，固本計劃擬研究使用替代性之營建材料，應用於土木新建結構物中。例如，纖維強化高分子複合材料(Fiber Reinforced Plastic, FRP)便為一很好的選擇；除可採用此 FRP 複合材料來取代傳統鋼筋，藉以防止鋼筋混凝土結構物腐蝕機理發生，及採用新興之 FRP 組裝接合技術來取代鋼筋混凝土之橫向箍筋，並可運用於版構件，用以取代傳統 RC 版結構。另由於 FRP 材料的抗電化學性、抗腐蝕及質輕、強度高等優點，使得其成為一種絕佳的結構補強材料。

此外利用 FRP 輕量化的特性，減少作用於上部與下部結構之作用力、並且由於相關之安裝機具與設備重量亦較輕，以一般大型板車及吊車即可運送與吊裝，故可縮短建造工期、增加經濟性，並且亦可提高對土壤條件或地形條件的適應性。另外，由於利用其優越之耐蝕性可提高結構之耐久性，從而可大為減低維護管理所需的經常維修費用。尤其在鹽害嚴重，及沿海地區等嚴苛腐蝕環境下，對於維護管理費用的削減非常有效，且可延長使用壽命。此外，國內目前對自行車道需求之重視，亦可考量以輕量化之 FRP 版搭設(附掛)於既有橋梁邊，作為自行車專用道以增加用路人之安全。

目前，許多位於地震帶上的國家對於 FRP 便是積極展開研究與發展，除了台灣以外的其他國家，如美國、日本、大陸，都投入這塊新興領域中，不斷地進行許多以 FRP 應用在 RC 結構之相關研究，尤其在 FRP 貼片補強技術上，更已經具有相當程度的實際應用以驗證其補強 RC 橋梁之梁、版、柱的成效，而此趨勢使新材料 FRP 棒用在土木工程上正在迅速地發展中。尤其是在容易遭受氣候或環境侵害地區之結構物，將可降低結構物快速老化及破壞的影響，

例如：跨海橋梁，利用 CFRP 棒取代傳統鋼筋、預力鋼腱，以減低鋼筋及鋼絞線遭受鏽蝕的可能性，並可有效延長橋梁的使用壽命，而解決長期以來的鋼材應用於公共工程腐蝕的問題。

4.4.1 國內橋梁現況

橋梁上部結構之橋面版，其主要的功能在承受車輛之活載重，提供行車之舒適及交通途徑之用，並將載重傳遞至上部結構之主要構件大梁，在橋梁結構體中佔有舉足輕重的地位。目前在台灣地區現有橋梁約兩萬餘座，其中約 98 % 的橋梁為混凝土橋梁，且數目日益增加，橋梁劣化現象亦日益嚴重，其中橋面版因不時地受到重車載重之直接衝擊、外在天候環境等因素之交互作用下，是所有橋梁結構中受損最嚴重、最為頻繁的部位。而這些受損的鋼筋混凝土橋面版劣化、損傷原因歸納如下。

一、腐蝕環境

台灣四周環海，橋梁極易受海風或海水所攜帶鹽分滲入結構物，加上雨量豐沛，整體環境對於鋼筋混凝土而言是屬於腐蝕性環境，雖不至於強度降低，危及結構安全，但從防蝕觀點而言，將對橋梁耐久性有嚴重影響。

二、超載現象

由於現行交通量及重型車輛之迅速增加，使得橋梁營運功能更顯頻繁，其承受的荷載有不斷增加的趨勢，或因早期橋梁設計資料失散造成承載等級不明，對於橋梁承載力將有不利影響。

三、混凝土品質不良

水是混凝土組成材料之一，負責提供與水泥水化反應所需要者，水量需要恰到好處，過與不及都將衍生許多問題，或近年更發現過去興建之橋梁摻用氯離子含量較高之砂石，使得鋼筋混凝土結構腐蝕問題頻傳。

四、設計標準過低

依當時之設計規範所設計興建之既有橋梁，其相關設計標準過低或採用材

料不當、重型車載重增加與超載嚴重等原因，使得橋梁結構承載強度逐漸減弱。

鑑於上述劣化原因，對於橋梁承載力與耐久性已構成威脅，採用 FRP 橋面版系統將可克服防蝕、耐久性及彌補承載力不足等環境潛在不利的因素，並省下大筆的維護費用，就橋梁的整體經濟效益而言，不僅僅是當初的建造成本外，尚須綜合後期的維修成本、服務品質、營運及使用年限等效益，此一先進 FRP 材料之許多優點已超越過傳統鋼筋混凝土材料。

4.4.2 纖維強化高分子複合材料(FRP)介紹

為達到國內第三代橋梁輕量化及耐久性之設計目標，部份的傳統材料已不符合此方面需求，故應運而生的是發展質量輕、強度高、彈性好之複合材料，纖維強化高分子複合材料(FRP)即是在這種情況下愈來愈被重視。表 4.3 為 FRP 材料之三個基本成份：纖維(Fiber Reinforcement)、基材(Matrix)及纖維－基材之界面(Interface)等，以下將對上列三種成份進行解釋。簡單的將 FRP 材料比擬為鋼筋混凝土材料，纖維的作用就如同鋼筋受拉力作用；基材的作用則具混凝土傳遞力量至鋼筋與固定鋼筋的作用，但缺少受壓力行為；界面則如同鋼筋與混凝土之間的握裹力作用。

表 4.3 FRP 材料之三個基本成份

纖維複合材料		
纖維	基材	界面
玻璃纖維 碳纖維 克維拉纖維	聚酯樹脂 環氧樹脂 熱塑性塑膠	纖維表面處理 基材改變

纖維為強化材料，使 FRP 材料具有很高的強度和彈性係數，且使 FRP 材料承受應力時不致於彎曲或破壞，亦為決定 FRP 材料機械性能的主要因素，纖維強化材料於 FRP 材料中之功能綜合歸納成下列五點：(1)承受主要負載；

(2)限制微裂紋延伸；(3)提高材料強度與剛性；(4)改善材料抗疲勞，抗潛變性能；及(5)提高材料使用壽命與可靠性。由於纖維強化材料之各種特性，多具有方向性複合材料(Anisotropic Composite)的設計與應用，就更具競爭性與經濟性。最常應用於複合材料之纖維為玻璃纖維(Glass Fiber)、碳纖維(Carbon Fiber)及克維拉纖維(Kevlar)，比較上述纖維之拉力強度、壓力強度、彈性模數、耐久表現、耐疲勞能力、密度、抗鹼能力與價格，發現碳纖維為最佳之選擇，比較表如表 4.4 所示。

表 4.4 FRP 纖維材料之比較(施邦築，1998)

項目	權值	評分：加權前(加權後)		
權重範圍	1~3	碳纖維(Carbon)	Kevlar	玻纖維 (Glass)
拉力強度	3	3 (9)	3 (9)	3 (9)
壓力強度	2	3 (6)	0 (0)	2 (4)
彈性模數	3	3 (9)	2 (6)	1 (3)
耐久表現	3	3 (9)	2 (6)	1 (3)
耐疲勞能力	2	3 (6)	2 (4)	1 (2)
密度	2	2 (4)	3 (6)	1 (2)
抗鹼能力	2	3 (6)	2 (4)	0 (0)
價格	3	2 (6)	2 (6)	3 (9)
總分數		(55)	(41)	(32)
排名		1	2	3
評分標準：極佳(3 分)、佳(2 分)、普通(1 分)、不佳(0 分)。 權值：依項目重要性，最高為 3，最低為 1。				

基材最主要的功能是傳送及分散應力到每根纖維中，並使纖維固定於所需之排列方向，基材可保護纖維免受到摩擦或侵蝕，同時也可結合纖維，使複合材料受應力時不致於破壞或變形。基材性質是決定纖維複合材料最高使用溫度、電氣特性等化學性質之主要因素。大部份的高分子化合物、熱固性樹脂、室溫硬化樹脂或熱塑性塑膠，均可加入纖維強化材料，最常用之熱固性樹脂為不飽和聚酯(Unsaturated Polyester Resin)和環氧樹脂(Epoxy Resin)。

纖維－基材的界面是決定複合材料使用壽命之重要因素，在界面處具有很高的局部應力，纖維複合材料可能從界面處先被破壞，故纖維－基材界面必須具有良好的物理和化學性質，以便使負荷能夠很順利的由基材傳送到纖維(強化材料)。利用偶合劑可改進界面之黏著現象，界面必須能抵抗由纖維和基材因不同熱膨脹所造成之應力，也必須能抵抗因樹脂硬化收縮所造成之現象，界面亦可避免複合材料受液體之滲透，幫助基材保護纖維。

◎ FRP 材料特性

為提升國內工程技術，除在工法創新外亦可利用創新材料的優點進行設計使用，以突破目前之工程難題。因此必須了解材料本身的特性，使其優點充分發揮於設計使用上。對國內橋梁結構而言，吾人可應用 FRP 材料之特性如下：

一、輕質性

結構材料之輕質性指標係將材料強度及彈性模數分別除以材料比重，稱為比強度(σ/ρ)及比彈性模數(E/ρ)，由表 4.5 材料輕質性(比強度、比彈性模數)比較表中可發現，FRP 材料之最大優點在於其比強度是鋼材的數十倍，原因在於 FRP 組成之材料均為輕量材料。故對橋梁輕量化有相當的幫助。

表 4.5 材料輕質性(比強度、比彈性模數)比較表

結構材料種類	比強度(σ/ρ) (MPa $\times$ cm ³ /g)	比彈性模數(E/ρ) (GPa $\times$ cm ³ /g)
碳鋼	51.0	26.4
鋁合金	1.7	2.7
鈦合金	2.1	2.5
玻璃纖維	500.0	21.5
碳纖維	1100.0	78.0

二、耐蝕性

FRP 材料中，各種化學纖維與基材皆具有比金屬材料優越的耐蝕性，處於酸、鹼、氯鹽的環境下，不易產生傳統鋼筋混凝土所發生的耐久性問題，此特性應用於海島型氣候的國內橋梁，可大幅降低橋梁結構維護費用及周期。表 4.6 為耐蝕性 FRP 與主要結構鋼材料之耐蝕性比較。

表 4.6 耐蝕性 FRP 與主要結構鋼材料之耐蝕性比較

藥液種類	耐蝕性 FRP	SS41	SUS32	鋁
稀硫酸	○	×	○	×
濃硫酸	○	○	○	×
稀鹽酸	○	×	×	×
濃鹽酸	○	×	×	×
稀磷酸	○	×	○	×
濃磷酸	○	×	○	×
鹽酸化合物	○	×	×	×

三、可設計性

此特性為 FRP 材料與傳統結構材料最大的不同點。FRP 構材可利用不同之成形方式製作成管狀、棒狀、版狀或片狀等設計需求形式，亦可透過不同纖維種類、含量選擇與不同基材的搭配，設計出所需要的強度及彈性模數，方便工程師使用。

國內橋梁多處於腐蝕環境中，超載現象又嚴重，加上混凝土品質不良等因素相互影響下，已嚴重影響橋梁安全。而 FRP 的三大特性運用在橋梁上，的確可解決目前國內之橋梁損壞原因，用以取代橋面版等上部結構除可以降低自重，亦可增加耐久性。工程師亦可藉其可設計性，發揮各種新建或補強之設計施工。以 FRP 材料建造之橋梁，在輕量化、耐久性、景觀性上，皆可達到第三代橋梁建造之目標。

4.4.3 國內外 FRP 材料之應用

由於 FRP 材料可設計性高，因此世界各先進國家將此材料應用於各行各業。由美國 2002 年度 FRP 用途比例可發現，最大之用途係用於汽車工業上，佔 31%；其次即用於土木建築建設上，佔 20%，其中包含結構性材料及非結構性材料；其他應用包含玩具、體育用品、耐蝕性機器等等。國內 FRP 材料主要應用於船艇製造、腳踏車製造、網球拍、高爾夫球桿、釣桿等，值得一提的是台灣目前是世界第一大 GFRP 原料生產國，惟國內將 FRP 材料應用於建築工程上相對較少，多用於地工結構物上，應用於橋梁工程上則僅見於補強工程及非結構性材料之附屬設施上。以下介紹國外 FRP 材料應用於橋梁結構上之案例作為參考。

一、FRP 人行橋

1. Aberfeldy Footbridge (如圖 4.31)

本橋梁位於英國 Scotland Aberfeldy 高爾夫球場內，跨越 Tay 河，建造於 1992 年。係世界最早全橋採用 FRP 材料建造之人行橋，為斜張橋形式，橋面版、梁、塔構材及扶手等附屬設施都是使用 GFRP 材料，斜吊纜索使用克維拉(kevlar)纖維。橋梁全長 113 m，主跨徑 64 m，橋寬 2.2 m，主塔高 18 m。興建考量斜張橋具有撓曲性，可建造較長之跨距。此外材料的輕量化，除可簡單快速的於現地組裝，亦能使處於軟弱地盤下的下部結構最小化，降低工程費用、縮短工期並減少後續維修保養經費。



圖 4.31 Aberfeldy Footbridge

圖片來源：<http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0002215>

2.Lleida (Lérida) Pedestrian Footbridge (如圖 4.32)

本橋梁位於西班牙萊里達省(Lleida)，跨越馬德里至巴塞隆納之高速鐵路，建造於 2001 年。為拱橋形式，橋面版、橋拱及附屬設施都是使用 GFRP 材料。跨徑 38 m，橋寬 3 m，橋高 6.2 m。興建考量 FRP 材料為電之絕緣體，不影響橋下鐵路日後運作。本橋梁之上部結構之組立與安裝只花 3 小時，施工影響鐵路通行時間甚小。



圖 4.32 Lleida (Lérida) Pedestrian Footbridge

圖片來源：<http://www.ncn-uk.co.uk/DesktopDefault.aspx?tabindex=84&tabid=358>

3.Kolding Bridge (如圖 4.33)

本橋位於丹麥之 Kolding 城附近，為一座橫越鐵路之 GFRP 人行陸橋，建造於 1997 年，並獲頒該年 AVK (German Reinforced Plastics Association) “Application of the Year”獎。除基礎上的螺栓、夾板之外，全橋皆採用 GFRP 為材料。跨徑 40 m，橋寬 3.2 m，GFRP 橋面版重 12 噸重，在相同的強度下使用鋼材則重量為 28 噸重，若使用 RC 構造則重量達 90 噸重。整個工期利用 3 個晚上(約 18 小時)之施工時間。此外此城市，處在凍融、乾濕循環等自然環境腐蝕的因素下，利用 GFRP 材料對水、冰與鹽害之高抗力特性，使得該座橋梁約 50 年之後才需維修保養(Braestrup, 1999)。



圖 4.33 Kolding Bridge

圖片來源：<http://www.fiberline.com/gb/casestories/case1837.asp>

4.Okinawa Road Park Bridge (如圖 4.34)

本橋梁位於日本沖繩縣(Okinawa)伊計平良川縣公路公園，為日本第一座 FRP 人行陸橋，於 2001 年建造完成。為兩跨連續梁結構，下部結構為 RC 牆型橋墩，主梁與橋面版採用 GFRP 材料。跨徑 38 m，橋寬 4.5 m。興建考量伊計平良川縣位於四面環海腐蝕環境嚴苛之處，故使用耐蝕性佳之 FRP 材料建造。



圖 4.34 Okinawa Road Park Bridge (Hirokazu,2006)

二、FRP 公路橋

1. West Mill FRP Road Bridge (如圖 4.35)

本橋梁位於英國牛津(Oxford)，跨越 Cole 河，於 2002 年建造完成。係歐洲最早全橋採用 FRP 材料建造之公路橋梁。為單跨梁式橋，採用 4 個 FRP 箱型梁，主跨徑 10 m，橋寬 6.8 m 之雙線道橋梁。興建考量其耐久性以減少後續維修保養經費。橋梁正式啟用時，以坦克車通行作為其宣傳方式，亦驗證此橋梁具有足夠之承載能力。



圖 4.35 West Mill FRP Road Bridge

圖片來源：<http://ec.europa.eu/research/science-society/science-communication/images/assetbridge.jpg>

2. Mount Pleasant Bridge (如圖 4.36)

本橋梁位於英國西北部蘭開郡(Lancashire)，在 M6 公路 32 與 33 號匯合處(匯合 A6 公路)之間，於 2006 年建造完成。係英國高速公路局(Highways Agency)第一座使用 FRP 材料之公路橋梁(先前建造兩座 FRP 人行陸橋)，本橋為一雙跨簡支橋梁結構，鋼製大梁，橋面版採用 FRP 材料。舊有橋梁為 4 跨混凝土橋，考量新橋梁符合新設計規範及應用新材料技術，故採用 FRP 材料新建。新橋梁自重為 2/3 舊橋重量，強度則為舊橋的 2 倍，此外亦減低未來的維修費用。舊有橋梁的拆除工作與新橋梁的興建工作只花了 4 個晚上(3 天為 20:00 至隔日 10:00，1 天為 21:00 至隔日 06:00，共 51 小時)，交通影響量甚小。



圖 4.36 Mount Pleasant Bridge

圖片來源：<http://www.iht.org/technicalaffairs/Awards07/innov1.pdf>

3. Kings Stormwater Bridge (如圖 4.37)

本橋梁位於美國加州 Salton Sea，工程於 2000 年完工。為一雙跨梁式橋，橋梁總長約 20 m，跨徑約 10 m，橋寬約 13 m。此一橋梁之設計特性是上部結構之支撐系統組成，藉由六根長向碳纖維薄版包覆輕質混凝土而組成，而這六根大梁頂端係連接著複合材料(E-glass)底版系統，如圖 4.38 所示。其梁

則連接橋墩末端之隔板，而中央之帽梁乃採用連續之碳纖維薄版用以加固原來之混凝土構件之強度，並以取代傳統習慣上採用鋼板之加固錨定方法，其用意乃是作為此一先進系統試驗性之測試。而位於河床底部之圓柱橋墩亦是採用碳纖維薄殼系統，目的用以評估碳纖維薄殼系統之環境耐久性。



圖 4.37 Kings Stormwater Bridge

圖片來源：<http://hpwren.ucsd.edu/news/021115.html>

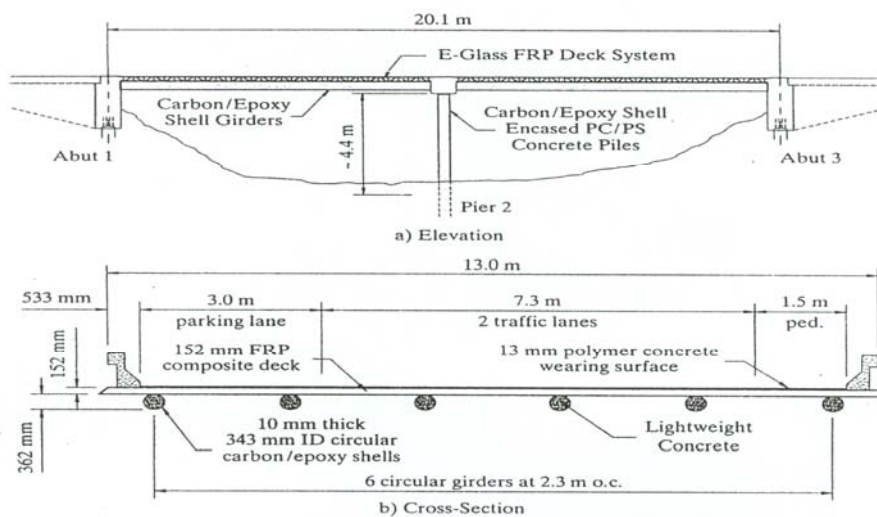


圖 4.38 Kings Stormwater Bridge 示意圖

4.Tech 21 Bridge (如圖 4.39)

本橋梁位於美國俄亥俄州(Ohio)，工程於 1997 年完工。係該州第一座完全使用 GFRP 材料之公路橋梁，本橋為單跨簡支橋梁結構，橋長 10 m，橋寬 7.2 m。使用斷面較大之 3 支主梁，橋面版以梯形斷面管，上下包覆 FRP 版之三明治型構造。組裝當天運用 15 名作業人員，僅用 3 小時即完成安裝作業(如圖 4.40)。建造考量使用預鑄構件，輕量化的材料可簡單運送且吊裝快速簡便，可大幅降低的建造成本，且耐蝕性高、具高承载力、強度亦優於傳統材料，平均壽命為 100 年。



圖 4.39 Tech21 Bridge

圖片來源：<http://www.bceo.org/technology.html>



(a) 一般板車即可運送



(b) 起重機運送作業



(c) 吊車組裝作業



(d) 人工組裝作業



(e) 楔形安裝



(f) 橋面版組裝完成

圖 4.40 Tech21 Bridge 組裝方式

圖片來源：<http://www.bceo.org/technology.html>

三、FRP 應用於橋梁補強

1. FRP 貼片黏貼補強

國內將 FRP 貼片應用於橋梁補強已有多多年，且技術亦已成熟，施作方式已於 4.3.1 節與 4.3.2 節中說明。

2. FRP 格網貼覆補強(如圖 4.41)

日本將 FRP 材料製作成格網應用於橋梁補強。本法係針對混凝土劣化

所研發之補強工法，適用範圍包含橋梁上、下構補強外，亦可使用於隧道工程、道路鋪面工程、下水道工程、一般建築物等(如圖 4.42)。FRP 格網可依需補強構件形狀訂製，如圖 4.43 為針對方形梁、柱構件，製成直角形式方便安裝。施工步驟係先將劣化混凝土敲除至鋼筋層，若鋼筋有銹蝕時則進行除銹與防銹處理，整平修復面後即可以錨釘固定方式裝設 FRP 格網，最後再澆置混凝土即可。圖 4.44 為日本某橋梁以 FRP 格網修復橋面版下方劣化混凝土之流程。此橋梁為一跨河橋梁，橋面版底有嚴重之混凝土剝落現象(與國內常見之橋梁劣化現象相同)，恐影響承載能力，故先於橋梁下方搭設施工平台，如圖 4.44(a)所示；鑿除劣化混凝土作業可以打石機進行作業，本工程係於橋面版下向上施工，故選用水刀清除劣化混凝土，如圖 4.44(b)所示；鑿除後亦有鋼筋鏽蝕現象，處理方式與 4.3.1 節所介紹方式相同，並選用噴凝土方式澆置第一層無收縮混凝土方便施工，如圖 4.44(c)所示；FRP 格網裝設作業係在第一層噴凝土凝固後，將重量輕之格網直接以膨脹螺栓錨定，如圖 4.44(d)所示；再用無收縮混凝土澆置並做表面平整處理即可，如圖 4.44(e)所示；完工後可達到修復劣化混凝土，並降低自重及增加耐蝕性之目標。



圖 4.41 FRP 格網

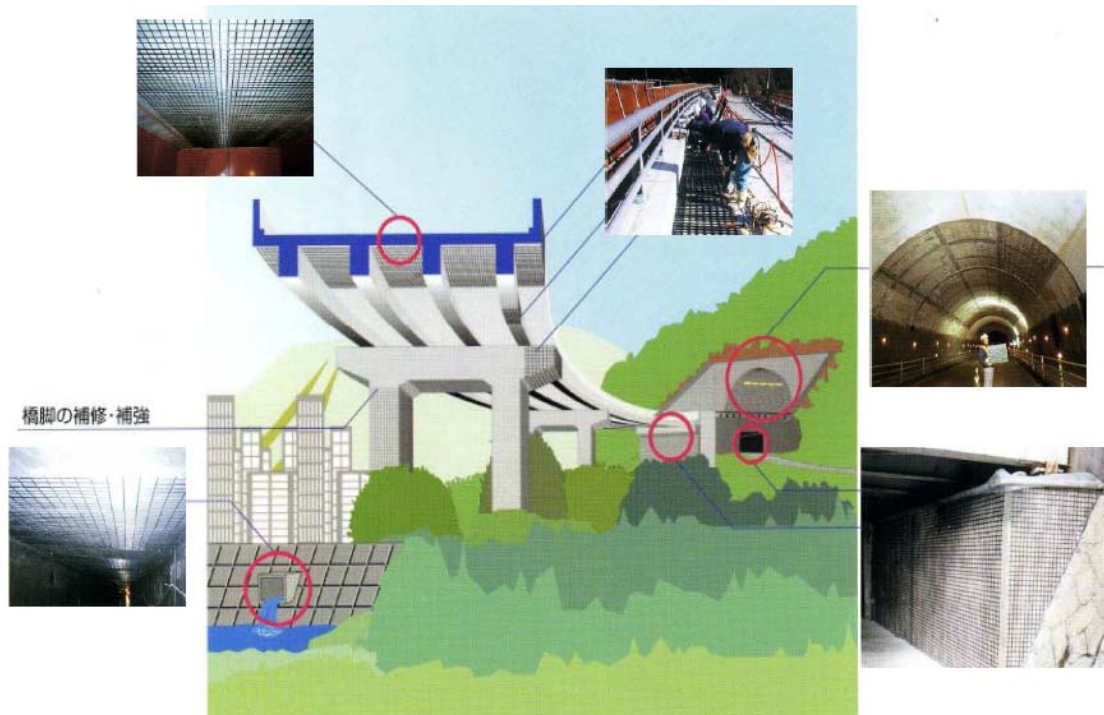


圖 4.42 FRP 格網應用範圍

圖片來源：<http://www.sunmates.co.jp/shohin/hokyo/sungu.html>



圖 4.43 直角形式 FRP 格網



(a) 搭設施工平台



(b) 劣化部份清除



(c) 第一層噴凝土



(d) FRP 格網裝設



(e) 第二層噴凝土



(f) 修復補強完成

圖 4.44 FRP 網格修復橋面版下方劣化混凝土之流程

四、FRP 棒取代鋼筋應用於橋梁

FRP 鋼筋的發展近年來被廣泛應用於隧道工程中之潛盾鏡面破除作業，國內捷運工程亦引進此工法以增加施工安全性，並降低地面施工空間及工作時數，以幫助交通維持，常用之 FRP 鋼筋種類有玻璃纖維鋼筋(GFRP Rebar)，通常為米白色、碳纖維鋼筋(CFRP Rebar)，通常為黑色，及芳綸(Aramid)纖維鋼筋(AFRP Rebar)，通常為黃色，如圖 4.45 所示。國外 FRP 鋼筋除應用於隧道工程外，亦考量材料質輕、高強度與耐久性佳之優點，亦應用於橋面版取代傳

統鋼筋，如圖 4.46 所示，可供國內提升工程技術之參考。此外，碳纖維之特色為高強度，輕質，耐腐蝕、耐疲勞，低熱膨脹，低鬆弛及不受電磁影響等，對預力系統之使用上有其優勢，若再改成外置預力系統，更可因為減少套管之安裝，加快施工步驟，縮短工期，如圖 4.47 所示。FRP 鋼筋在施工上與一般鋼筋相同，惟搬運及施工時需注意避免過度摩擦，以免切割纖維部份。本團隊過去亦對 CFRP 鋼筋提出一建議握裹長度公式(羅國軒，2007)，如式 4.1 所示，此公式適用於擬 3 #鋼筋之碳纖維棒。

$$L = -0.042C + 56 \dots\dots\dots(4.1)$$

其中 L 為 CFRP 鋼筋之建議握裹長度(cm)， C 為一般混凝土強度(kgf/cm^2)。建議使用時須由廠商提供握裹力相關資料。



圖 4.45 各類 FRP 鋼筋

圖片來源：<http://www.acc-club.jp/index.html>



圖 4.46 FRP 鋼筋應用於橋面版取代傳統鋼筋

圖片來源：<http://www.fiberglassrebar.com>



圖 4.47 碳纖維外置預力鋼腱

圖片來源：<http://www.bec.iastate.edu/research/detail.cfm?projectID=498>

五、國外 FRP 相關規範及手冊蒐集

本團隊除蒐集國內外相關 FRP 應用於橋梁之案例外，亦蒐集國外 FRP 材料之設計、施工、品質驗收與材料試驗等相關規範及手冊，供國內工程師未來設計施工時方便查詢參考並訂定國內適用之相關規範，如表 4.7 所示。

表 4.7 國外 FRP 材料相關規範及手冊

項目	國家	相關規範及手冊
FRP 棒	美國	● 440.1R-06 - Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI) ● 440.5-08 - Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bar (ACI) ● 440.6-08 - Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement (ACI)
	歐洲	● Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars, CNR-DT 203/2006, Italian National Research Council (Italy)
FRP 材料補強	美國	● User Friendly Guide for Rehabilitation or Strengthening of Bridge Structures Using Fiber Reinforced Polymer Composites (CRC) ● 440.2R-02 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI) ● 440.2R-08 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (ACI) ● 440R-96 (Re approved 2002) - Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (ACI) ● 440R-07 - Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures (ACI) ● Using Composite in Seismic Retrofit Applications (Caltrans) ● Investigation of Integrity and Effectiveness of RC Bridge Deck Rehabilitation with Composite Materials (Caltrans) ● Bonded Repair and Retrofit of Concrete Structures Using FRP Composites -- Recommended Construction Specifications and Process Control Manual (NCHRP, TRB, USA)
	日本	● Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Continuous Fiber Reinforcing Materials (Japan)

FRP 材料 補強	加拿大	● Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers, CAN/CSA-S806-02, Canadian Standards Association (Canada) ● Canadian Highway Bridge Design, CAN/CSA-S6-06, Canadian Standards Association (Canada) ● Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers, Design Manual No. 3, The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, ISIS Canada Corporation (Canada) ● FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, Design Manual No. 4, The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, ISIS Canada Corporation (Canada) ● Prestressing Concrete Structures with FRPs, Design Manual No. 5, The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, ISIS Canada Corporation (Canada) ● Specifications for FRP Product Certification, Design Guide, The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, ISIS Canada Corporation (Canada) ● Durability Monograph, Design Guide, The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures, ISIS Canada Corporation (Canada)
	歐洲	● Guidelines for Design and Construction of Externally Bonded FRP System for Strengthening Existing Structures (Rome, NCR) ● FIP Task Group 9.3 “FRP Reinforcement for Concrete Structures” (1999) (Europe) ● Report # STF 22 A 98741 “Eurocrete Modifications to NS3473 When Using FRP Reinforcement”, Norway (1998)
其他	美國	● 440.3R-04 - Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures (ACI) ● The Application of Qualification Testing, Field Testing, and Accelerated Testing for estimating long-term Durability of Composite Materials for Caltrans Applications (Caltrans) ● 440.4R-04 - Prestressing Concrete Structures with FRP Tendons (ACI)

表 4.7 為國外目前常用於 FRP 材料之相關規範及手冊，FRP 棒部分係針對 FRP 棒設計及施工之相關規範及手冊；FRP 材料補強部分則包含貼片材料、版構件及部份 FRP 棒之相關規範及手冊；其他部分則為 FRP 材料之測試規範及預力混凝土使用 FRP 為預力鋼腱之相關規範。上述設計規範及手冊中之差異性並不大，惟耐久性折減係數部份各規範依當地環境需求稍有差異，故國內使用此種材料必須考慮耐久性之部分。

4.4.4 FRP 材料經濟性探討

近幾年來國內傳統建材鋼筋與混凝土價格不斷上漲，政府未釋出新砂石採區，國內砂石來源轉由大陸砂石進口，其量幾占國內市場需求量的三分之一，惟目前大陸內需壓力大，從四月起禁止出口砂石，讓國內砂石和混凝土市場價格面臨飆漲壓力；鋼筋方面，近年來新興市場的經濟蓬勃發展帶動全球鋼鐵需求大增，但京都議定書生效後環保要求日益嚴格，各國新增煉鋼產能有限，國際鋼胚供應轉趨吃緊，導致價格攀高，97 年鋼筋價格更為 95 年之一倍以上。

纖維高分子複合材料(Fiber Reinforced Plastic)比鋼筋有更高的抗拉強度、質量輕、耐腐蝕、熱膨脹低等優點，因此適合應用於高強度混凝土之構件。FRP 補強鋼筋於國內已有廠商研發製作，除外銷國外使用，國內於捷運建設及高鐵興建時，應用於隧道工程中之 FRP 鋼筋亦為國內自行生產，品質已達相當水準，不需仰賴美、日進口。價格方面以目前報價(97 年 10 月)每公斤約 140 元，與同時期鋼筋報價每公斤約 12~19 元比較，假設為鋼筋之 10 倍左右。#3 之 CFRP 棒進行抗拉試驗得到平均拉力強度約為 8547.2 kgf/cm^2 ，拉力強度約為高拉力傳統鋼筋($4,200 \text{ kgf/cm}^2$)的兩倍，鋼筋比重約 7.8，CFRP 棒比重約為 2(洪明中，2008)。在同樣拉力強度需求下，CFRP 棒/鋼筋之價格比約為 1.8 倍。但加上耐久性考量、運輸成本及承載能力的提升後，FRP 棒已具有置換傳統鋼筋之優勢。

在以丹麥 Kolding Bridge 人行陸橋興建時的一份成本概估表為例，如表 4.8

所示。亦可發現當時以 FRP 材料的興建成本略高於以傳統材料興建之成本，但考量日後耐久性之維護管理成本後，還是選擇以 FRP 材料建造該橋。

表 4.8 耐蝕性 FRP 與主要結構鋼材料之耐蝕性比較

單位 (1,000 USD)	FRP 材料	鋼結構	鋼筋混凝土
工程費 (Engineering)	120	105	112
材料費 (Materials)	120	20	90
製造費 (Fabrication)	60	90	-
安裝費 (Installation)	30	60	90
表面處理費 (Surface Treatment)	10	30	15
其他 (Others)	30	40	40
總計 (Total)	370	345	347

4.4.5 FRP 材料之適用性

由國外案例可以顯見，各國皆先試作承載能力較低之 FRP 人行陸橋作為後續以 FRP 材料建造公路橋的開始，並以各種橋梁形式施作，足以證明 FRP 材料因其質輕、耐蝕性高及可設計性強等特性，且非常適用於橋梁結構物上。在公路橋上，目前亦多以單跨或雙跨橋梁作為施作目標，亦符合國內市區橋梁形式中佔最大比例的單跨梁式橋(營建署，2007)。

由現階段之經濟性評估，可以發現國內因鋼筋價格上漲，加上 FRP 棒已大量生產使價格合理化，以 FRP 棒替代鋼筋運用於橋面版在經濟面上非常具有競爭性；而以 FRP 材料製作橋面版，在國外的實際案例上，無論是人行陸橋或是公路橋，在考量經濟面上，除了直接成本外亦考量交通維持費及與生命週期有關的維修費用。我國 FRP 工業發達，實應將此優勢發展應用於國內之

橋梁建設，以提升國內橋梁工程技術並使國人得以享受更安全的行車環境。

4.5 FRP 複合材料應用於市區橋梁之耐久性研究

橋梁在台灣交通運輸中佔有相當的重要性。台灣的橋梁，因交通流量增加、人為與天然災害的影響，再加上超載現象，因而面臨使用壽命縮短的問題。為達到耐久性上的需求，降低結構物受環境腐蝕等侵害、以及長時間使用過程中所造成的老化問題，以提升未來新建橋梁結構之發展，對於耐久性(Durability)問題勢必加以探究，此亦為國內第三代橋梁之目標。因此本章節針對替代性營建材料(FRP 棒)進行符合國內本土環境之耐久性研究。

目前不論國內或國外，FRP 被土木工程使用的技術已有明顯的進步。尤其在 FRP 貼片補強技術上，更具相當程度實際應用之結果，對其耐久性能亦有相關規定及標準，如表 4.9 所示。一般而言，補強複合材料貼片在積層時均使用黏著性強之接著樹脂，但樹脂會隨著時間和環境而老化，為確保材料使用年限，必須針對複合材料的耐久性加以考慮。複合材料耐久性環境測試種類有(1)抗水性；(2)抗紫外線；(3)抗鹽水性；及(4)抗鹼性等四種。

表 4.9 複合材料耐久性測試項目及標準

測試項目	CNS 標準	ASTM 標準	JIS 標準
抗張強度	CNS 13555	ASTM D3039	JIS K7073
抗張係數	CNS 13555	ASTM D3039	JIS K7073
伸長率	CNS 13555	ASTM D3039	JIS K7073
抗張剪切強度	CNS 5606	ASTM D3165	JIS K6850
玻璃轉移溫度	註	ASTM D3418	註
層間剪切強度	CNS 13559	ASTM D2344	JIS K7057
硬度	CNS 12628	ASTM D2240	JIS K7215

註：玻璃轉移溫度，T_g：複合材料在受力或溫度的影響下會有軟化之現象，如果溫度高於玻璃轉移溫度以上，材料的性質會變差，因此材料的使用環境必須加以限制。

工研院工業材料研究所已輔導國內廠商進行相關產品之研發。目前 FRP 棒可應用於隧道工程中之地下連續壁、頂拱、側壁及仰拱處，作為隧道支撐的一部份。其特色為：(1)耐腐蝕—長期在土壤中不被腐蝕，可做為永久性之補強支撐；(2)高強度—可承受極高之土壤壓力；(3)重量輕—約為鋼材 1/4 重量，方便搬運及施工；與(4)工期短—節省工時 14 天~21 天。對於海島型國家的台灣而言，防止橋梁結構物的腐蝕破壞，有效達到防治鋼筋鏽蝕問題，利用碳纖維強化高分子複合材料製成之碳纖維棒取代傳統鋼筋確實是很好的選擇，惟長期耐久性方面，需藉實驗結果提供一套完整的資料，以利於未來應用 FRP 之廣泛運用。

未來不僅舊有結構上進行補強，或應用於新建結構物上的發展，尤其易遭受氣候或環境侵害地區之結構物，利用 FRP 棒取代傳統鋼筋，改善結構物老化及破壞之影響，應可有效延長結構物使用壽命。為進一步確保長期耐久性能，藉由可靠的試驗方式獲取相關資料，作為分析與評估的根據，且隨著相關試驗結果的累積後，即能明確掌握其耐久性。

本文使用兩種高分子複合材料，分別為：碳纖維高分子複合材料(Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP)製成之碳纖維棒，以及玻璃纖維高分子複合材料(Glass Fiber Reinforced Plastics, GFRP) 製成之玻璃纖維棒，並分別進行耐久性試驗。耐久性試驗之內容包括紫外線照射試驗、恆溫恆濕試驗，以及耐酸鹼試驗，試驗探討 CFRP 棒與 GFRP 棒之耐久性。試驗結果可供往後工程師設計耐久性參數之參考資料。

4.5.1 紫外線照射耐久性試驗

本耐久性實驗研究，以本土化為原則，利用中央氣象局提供之台北市每日紫外線照射級數資料，推算國內紫外線照射環境，利用紫外線碳燈式耐候性試驗器進行 CFRP 棒之紫外線照射耐久性試驗，並利用照射前後 CFRP 棒之抗拉強度，比較其紫外線試驗前後的衰減情形。

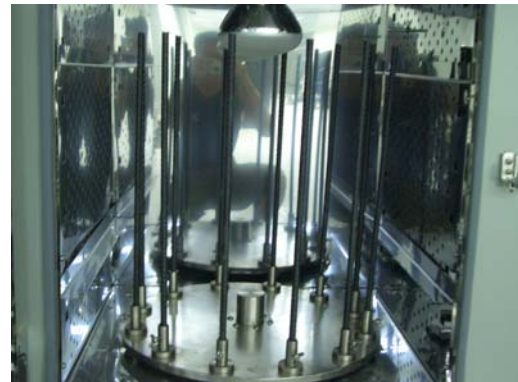
試驗設備採用紫外線碳燈式耐候性試驗器，試驗槽內部有一紫外線發光器，底部有一放置試體之圓盤，將 FRP 棒放置於圓盤中即可，如圖 4.48 所示。測試方式為在儀器中模擬台灣氣候條件，利用紫外線照射 CFRP 棒，使其在短時間內達到日曬效果。加速老化試驗完成後，再進行力學性質試驗比較 CFRP 棒紫外線試驗前後的衰減情形。配合電腦控制可作各種不同照射量及照射時間的試驗，每日進行加強亮度及時間的連續照射，加速求得紫外線照射的影響。



(a) 紫外線碳燈式耐候性試驗器



(b) 紫外線發光器



(c) 試體放置方式

圖 4.48 試體放置於紫外線照射儀器示意圖

根據中央氣象局資料，每日 1 級之紫外線相當於 0.025 W/m^2 ，而台北市 1-12 月各紫外線總照射量如表 4.10 所示。推估台北市地區一年之紫外線照射

總量為 49.35 W/m^2 ，而紫外線儀器之一年照射總量為 200 W/m^2 ，其模擬加速老化約為 4 倍。

表 4.10 2006 年台北市各月之紫外線總照射量 (中央氣象局提供)

	各月總計紫外線級數(級)	各月總計紫外線照射量(W/m^2)
1 月	90	2.25
2 月	110	2.75
3 月	127	3.175
4 月	146	3.65
5 月	170	4.25
6 月	203	5.075
7 月	261	6.525
8 月	246	6.15
9 月	185	4.625
10 月	199	4.975
11 月	128	3.2
12 月	109	2.725
總計	1974	49.35

實驗共分四組，分別為無照射(對照組)、短期照射(時間為 30 天，相當於實際之 123 天 (4 個月))、中期照射(時間為 60 天，相當於實際之 244 天 (8 個月))、長期照射(時間為 180 天，相當於實際之 730 天 (24 個月))，每組各三根 CFRP 棒試體，利用其平均拉力強度，比較 CFRP 棒受短期與長期照射紫外線下之影響。

表 4.11 為 CFRP 棒紫外線照射試驗結果，圖 4.49 為 CFRP 棒紫外線照射試驗平均值結果，觀察出 CFRP 棒經過紫外線照射試驗後，其強度並無明顯的下降或改變，顯示 CFRP 棒有抗紫外線照射之良好性質。

表 4.11 CFRP 棒紫外線照射試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kgf)	平均拉力強度 (kgf)	位移 (mm)	平均位移 (mm)
C-UV-0-1	6,166	6,202	40.68	47.94
C-UV-0-2	6,352		56.32	
C-UV-0-3	6,087		46.83	
C-UV-4-1	6,167	6,169	47.67	43.37
C-UV-4-2	5,881		39.30	
C-UV-4-3	6,460		43.14	
C-UV-8-1	6,205	6,182	41.93	53.00
C-UV-8-2	6,019		60.37	
C-UV-8-3	6,322		56.69	
C-UV-24-1	6,135	6,198	43.57	43.51
C-UV-24-2	6,028		43.87	
C-UV-24-3	6,430		43.10	

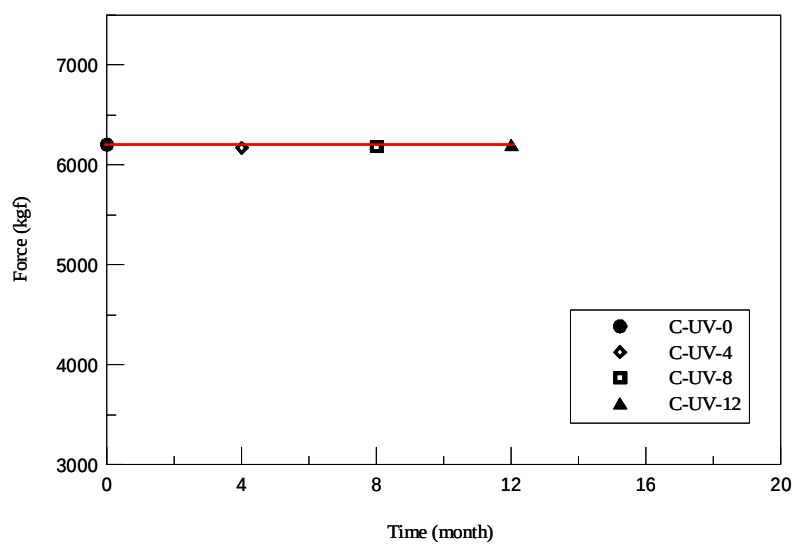


圖 4.49 CFRP 棒紫外線照射試驗平均值結果

4.5.2 溫濕循環耐久性試驗

本實驗利用中央氣象局提供之台北市平均月溫、濕度資料，推算國內溫、濕度環境，利用自動控制溫、濕度櫃進行 CFRP 棒與 GFRP 棒之溫、濕度環境耐久性試驗，並利用放置前後 CFRP 棒與 GFRP 棒之抗拉強度，比較其溫、濕度環境試驗前後的衰減情形。

溫、濕度循環變化試驗是在特製的自動控制溫、濕度櫃(如圖 4.50 所示)進行。為模擬國內氣候環境，可依實際的溫、濕度變化狀況，隨時間進行模擬環境溫度及濕度的循環變化。



圖 4.50 自動控制溫、濕度櫃

依據中央氣象局之台北地區二十年平均月溫、濕度，經整理如表 4.12 所示。如進行其他地區的材料性能測試，則可採用當地的平均溫、濕度資料。試驗以 24 倍速率加速模擬環境日夜溫差及濕度效應狀況。模擬的時間共分四組，分別為初始對照組、短期三年、中期六年以及長期十二年，試驗材料為 CFRP 棒與 GFRP 棒每組各 3 根，利用其平均拉力強度，比較 CFRP 棒與 GFRP 棒受短期與長期溫、濕循環變化下之影響。

表 4.12 台北地區月平均溫度及平均濕度 (中央氣象局提供)

月份	最高溫度(°C)	最低溫度(°C)	平均溼度(%)
1 月	18.5	13.3	79
2 月	18.4	13.2	79
3 月	21.4	15.2	79
4 月	25.3	18.7	79
5 月	28.2	21.6	75
6 月	32.4	24.7	73
7 月	34	25.9	71
8 月	33.3	25.5	71
9 月	30.8	24.3	73
10 月	26.5	21.6	74
11 月	24	11.9	75
12 月	20.7	15.9	74

表 4.13 為 CFRP 棒溫濕循環變化試驗結果，圖 4.51 為 CFRP 棒溫濕循環變化試驗平均值結果，觀察出 CFRP 棒經過溫濕循環變化試驗後，其強度並無明顯的下降或改變，顯示 CFRP 棒為抗溫、濕循環變化之良好性質。

表 4.13 CFRP 棒溫濕循環變化試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kgf)	平均拉力強度 (kgf)	位移 (mm)	平均位移 (mm)
C-WD-0-1	6,166	6,202	40.68	47.94
C-WD-0-2	6,352		56.32	
C-WD-0-3	6,087		46.83	
C-WD-3-1	5,982	6,130	46.35	42.93
C-WD-3-2	6,130		39.81	
C-WD-3-3	6,279		42.64	
C-WD-6-1	5,921	6,117	47.10	44.73
C-WD-6-2	6,130		44.41	
C-WD-6-3	6,301		42.68	
C-WD-12-1	6,038	6,115	44.73	48.39
C-WD-12-2	6,178		41.90	
C-WD-12-3	6,128		58.55	

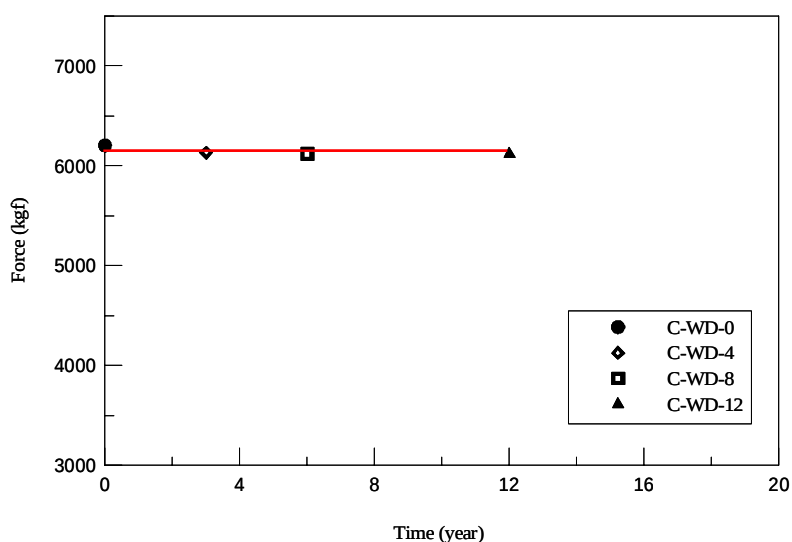


圖 4.51 CFRP 棒溫濕循環變化試驗平均值結果

表 4.14 為 GFRP 棒溫、濕循環變化試驗結果，圖 4.52 為 GFRP 棒溫濕循環變化試驗平均值結果，觀察出 GFRP 棒經過溫、濕循環變化試驗後，其強度並無明顯的下降或改變，顯示 GFRP 棒具抗溫、濕循環變化之良好性質。

表 4.14 GFRP 棒溫濕循環變化試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kgf)	平均拉力強度 (kgf)	位移 (mm)	平均位移 (mm)
G-WD-0-1	16,263	16,567	18.93	19.27
G-WD-0-2	16,567		19.27	
G-WD-0-3	16,870		19.60	
G-WD-3-1	16,106	16,563	18.90	19.52
G-WD-3-2	16,841		19.25	
G-WD-3-3	16,742		20.42	
G-WD-6-1	16,285	16,552	19.01	20.05
G-WD-6-2	16,743		21.61	
G-WD-6-3	16,628		19.52	
G-WD-12-1	16,625	16,550	20.38	20.18
G-WD-12-2	16,302		19.08	
G-WD-12-3	16,723		21.09	

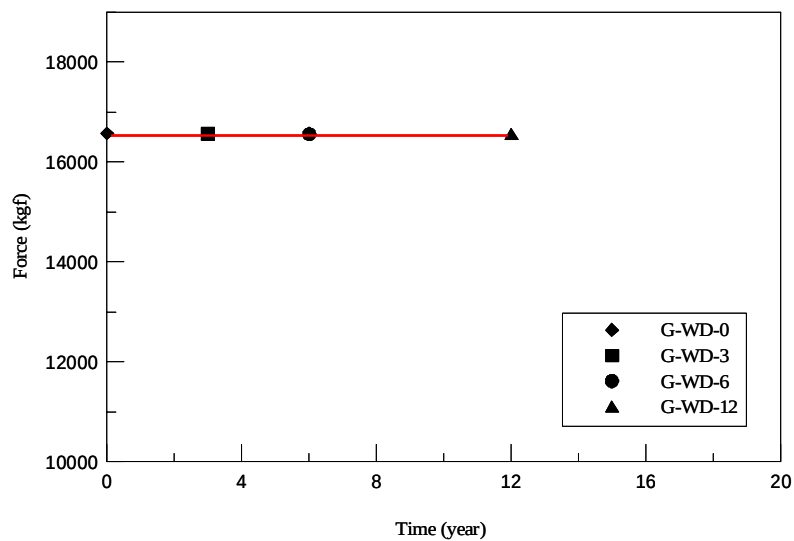


圖 4.52 GFRP 棒溫濕循環變化試驗平均值結果

4.5.3 耐酸、鹼、硫酸鹽環境耐久性試驗

本實驗利用浸泡稀釋後的硫酸、混合鹼性溶液及飽和硫酸鎂溶液，進行 CFRP 棒與 GFRP 棒耐酸、鹼、硫酸鹽環境耐久性試驗，並於各規劃浸泡時間對各試體進行抗拉試驗，比較其耐酸、鹼、硫酸鹽環境耐久性強度之衰減情形。

耐酸試驗是將經過稀釋後的硫酸(pH 值約為 2.5 左右)置於耐酸鹼水槽，再將 FRP 棒放入浸泡(如圖 4.53 所示)；耐鹼試驗是將混合鹼性溶液(pH 值約為 13 左右)置於耐酸鹼水槽，再將 FRP 棒放入浸泡(如圖 4.54 所示)，其中混合鹼性溶液由氫氧化鈉(NaOH)、氫氧化鉀(KOH)以及氫氧化鈣(Ca(OH)₂)混合而成，混合比例如表 4.15；耐硫酸鹽試驗是將飽和硫酸鎂溶液(參考 CNS 1167)置於耐酸鹼水槽，再將 FRP 棒放入浸泡(如圖 4.55 所示)。



圖 4.53 耐酸試驗

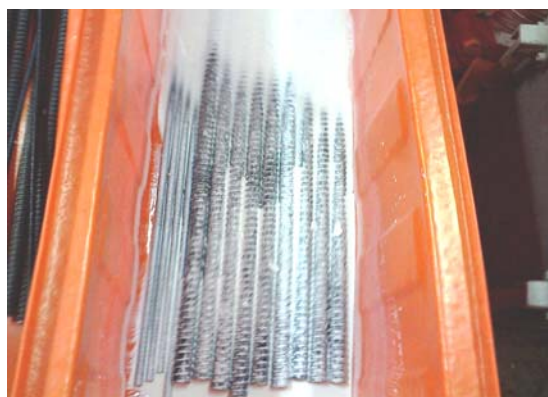


圖 4.54 耐鹼試驗

表 4.15 鹼性混合溶液混合比例

試藥	NaOH	KOH	Ca(OH) ₂
混合量*(g/L)	0.9	4.2	118.5
pH 值	12.6~13		
溫度	常溫		
*參考 ACI 440.3R-04			



圖 4.55 耐硫酸鹽試驗

耐久性試驗分為耐酸試驗、耐鹼試驗及耐硫酸鹽試驗，使用的 FRP 棒為 CFRP 棒與 GFRP 棒，試驗時間均分為 30、60、90 及 180 天，所有耐久性試驗規劃整理如表 4.16。

表 4.16 耐久性試驗規劃表

試驗方法	浸泡溶液	試驗材料	試驗時間
耐酸試驗	稀釋硫酸 pH 值約為 2~3	CFRP 棒 GFRP 棒	30 天
			60 天
			90 天
			180 天
耐鹼試驗	鹼性混合溶液 (參考 ACI 440.3R-04) pH 值約為 12~13	CFRP 棒 GFRP 棒	30 天
			60 天
			90 天
			180 天
耐硫酸鹽試驗	飽和硫酸鎂溶液 (參考 CNS 1167) pH 值約為 8	CFRP 棒 GFRP 棒	30 天
			60 天
			90 天
			180 天

在耐久性試驗，對所有試體進行編號，其編排的方式與解說整理如下。試體代碼第一碼代表耐久性試驗用的材料，“C”為 CFRP 棒，“G”為 GFRP 棒；第二碼代表各耐久性試驗代碼，耐酸試驗為“AC”，耐鹼試驗為“AK”，耐硫酸鹽試驗為“MS”；第三碼代表浸泡之時間，第四碼代表各試驗各組別第幾個試體。耐久性實驗在浸置 30 天、60 天、90 天以及 180 天時，取出 CFRP 棒與 GFRP 棒各 2~3 根進行拉力試驗，觀察試體拉力強度是否受到影響，以下分別對耐酸試驗、耐鹼試驗及耐硫酸鹽試驗結果進行說明。

一、耐酸試驗結果

表 4.17 為 CFRP 棒耐酸試驗結果，圖 4.56 為 CFRP 棒耐酸試驗平均值結果與強度比值，從強度比值觀察，可發現 CFRP 棒具優良耐酸能力，經過稀釋硫酸浸泡後，其強度並無明顯的改變，在酸性的環境內不受影響。

表 4.17 CFRP 棒耐酸試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kN)	平均拉力強度 (kN)	位移 (mm)	平均位移 (mm)	強度 比值
C-AC-0-1	67.96	65.11	40.89	38.03	1.00
C-AC-0-2	64.21		37.48		
C-AC-0-3	63.15		35.71		
C-AC-30-1	63.25	60.95	40.23	37.80	0.94
C-AC-30-2	57.29		34.60		
C-AC-30-3	62.29		38.57		
C-AC-60-1	59.03	58.73	44.54	39.75	0.90
C-AC-60-2	57.57		35.14		
C-AC-60-3	59.60		39.57		
C-AC-90-1	63.35	64.50	38.05	39.86	0.99
C-AC-90-2	65.66		41.66		
C-AC-180-1	65.66	62.10	43.80	41.19	0.95
C-AC-180-2	58.55		38.57		

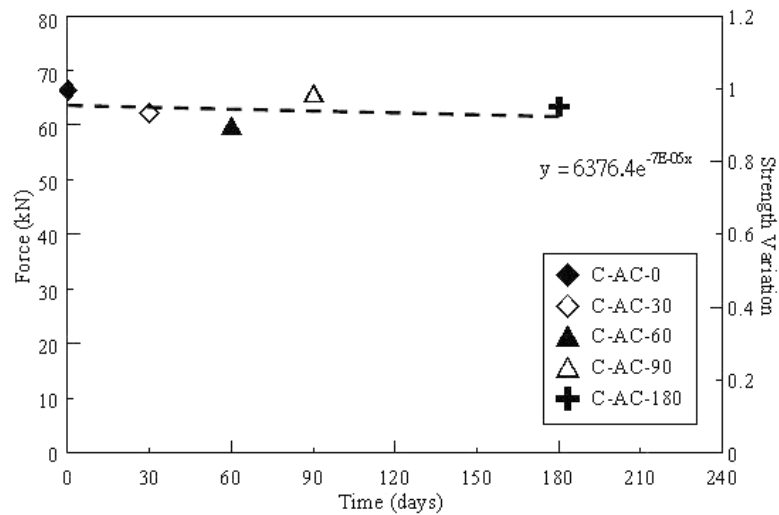


圖 4.56 CFRP 棒耐酸試驗平均值結果

表 4.18 為 GFRP 棒耐酸試驗結果，圖 4.57 為 GFRP 棒耐酸試驗平均值結果與強度比值，從強度比值可發現 GFRP 棒經過稀釋硫酸浸泡後，在 60 天後以後的數據顯示 GFRP 棒強度折減至約 70%左右，由此可知 GFRP 棒對於酸性溶液的抵抗性在中長期並不理想。

表 4.18 GFRP 棒耐酸試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kN)	平均拉力強度 (kN)	位移 (mm)	平均位移 (mm)	強度比值
G-AC-0-1	179.96	167.59	17.33	15.75	1.00
G-AC-0-2	155.93		12.79		
G-AC-0-3	166.88		17.14		
G-AC-30-1	172.26	161.72	19.24	17.04	0.97
G-AC-30-2	158.04		13.50		
G-AC-30-3	154.87		18.39		
G-AC-60-1	108.05	117.62	10.03	12.23	0.70
G-AC-60-2	127.18		14.43		
G-AC-90-1	135.07	127.34	14.62	12.21	0.76
G-AC-90-2	134.19		11.72		
G-AC-90-3	112.76		10.28		
G-AC-180-1	103.34	112.67	9.40	10.43	0.67
G-AC-180-2	112.28		11.64		
G-AC-180-3	122.38		10.24		

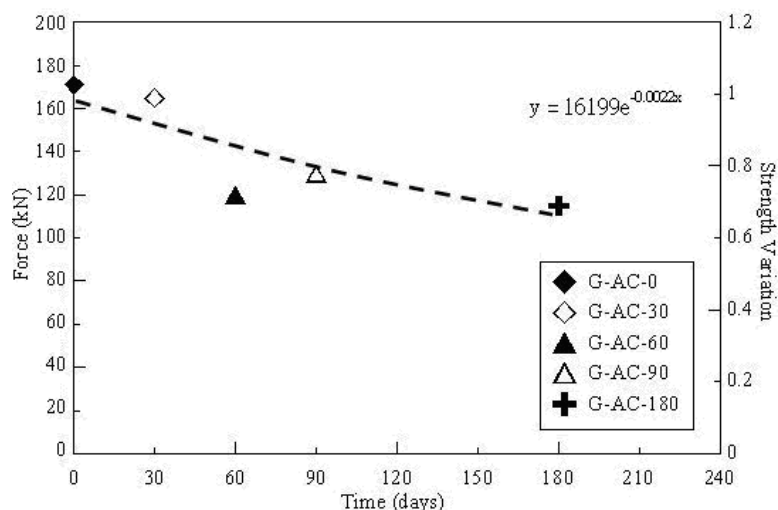


圖 4.57 GFRP 棒耐酸試驗平均值結果

圖 4.58 為耐酸試驗中 CFRP 棒試體與 GFRP 棒試體強度變化的比較，從拉力強度的變化可發現 GFRP 棒對於酸性溶液的抵抗力不如 CFRP 棒佳，耐酸能力低於 CFRP 棒。

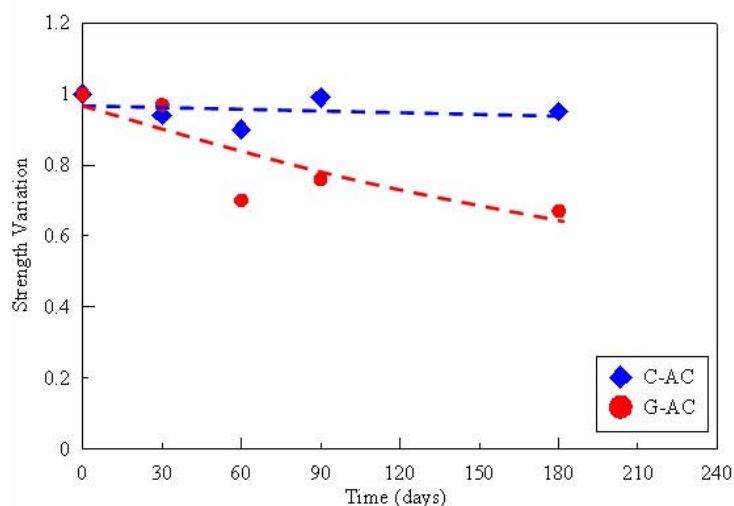


圖 4.58 CFRP 棒與 GFRP 棒耐酸試驗強度變化比較圖

二、耐鹼試驗結果

表 4.19 為 CFRP 棒耐鹼試驗結果，圖 4.59 為 CFRP 棒耐鹼試驗平均值結

果與強度比值，由強度比值發現 CFRP 棒經過鹼性混合溶液浸泡後，強度並無明顯的改變，顯示出 CFRP 棒有良好的耐鹼性質，在鹼性的環境內不受影響。

表 4.19 CFRP 棒耐鹼試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kN)	平均拉力強度 (kN)	位移 (mm)	平均位移 (mm)	強度比值
C-AK-0-1	67.96	65.11	40.89	38.03	1.00
C-AK-0-2	64.21		37.48		
C-AK-0-3	63.15		35.71		
C-AK-30-1	62.58	66.14	36.84	38.22	1.02
C-AK-30-2	68.16		38.86		
C-AK-30-3	67.68		38.96		
C-AK-60-1	61.62	67.29	36.50	36.60	1.03
C-AK-60-2	72.96		36.70		
C-AK-90-1	68.34	63.86	45.25	41.97	0.98
C-AK-90-2	63.44		41.07		
C-AK-90-3	59.79		39.58		
C-AK-180-1	58.55	60.59	38.57	38.76	0.93
C-AK-180-2	65.08		40.02		
C-AK-180-3	58.15		37.69		

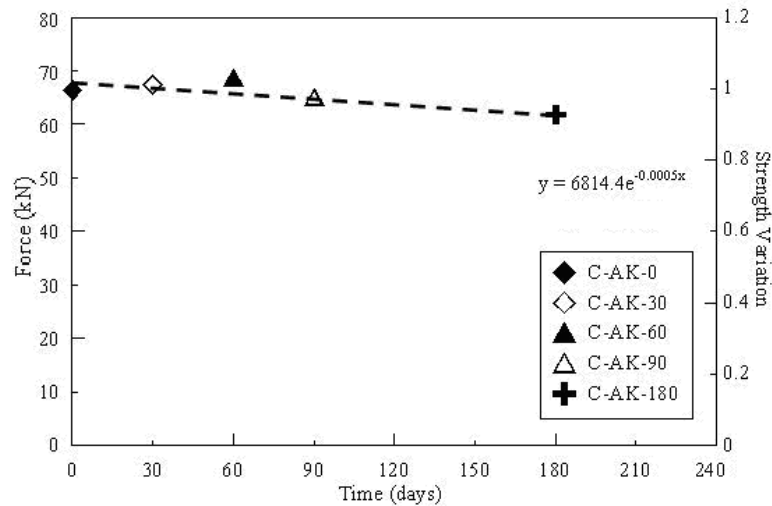


圖 4.59 CFRP 棒耐鹼試驗平均值結果

4.20 為 GFRP 棒耐鹼試驗結果，圖 4.60 為 GFRP 棒耐鹼試驗平均值結果與強度比值，從強度比值的變化可發現 GFRP 棒經過鹼性混合溶液浸泡後，其強度隨著時間明顯折減，顯示出 GFRP 棒對於鹼性溶液抵抗力不佳。

表 4.20 GFRP 棒耐鹼試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kN)	平均拉力強度 (kN)	位移 (mm)	平均位移 (mm)	強度比值
G-AK-0-1	179.96	167.59	17.33	15.75	1.00
G-AK-0-2	155.93		12.79		
G-AK-0-3	166.88		17.14		
G-AK-30-1	129.97	136.31	15.14	14.39	0.81
G-AK-30-2	143.52		16.01		
G-AK-30-3	135.45		12.03		
G-AK-60-1	121.12	125.93	10.41	11.05	0.75
G-AK-60-2	130.74		11.68		
G-AK-90-1	118.92	118.63	10.41	10.75	0.71
G-AK-90-2	100.36		9.66		
G-AK-90-3	136.61		12.17		
G-AK-180-1	113.82	97.64	10.70	10.22	0.58
G-AK-180-2	91.90		8.05		
G-AK-180-3	87.19		11.92		

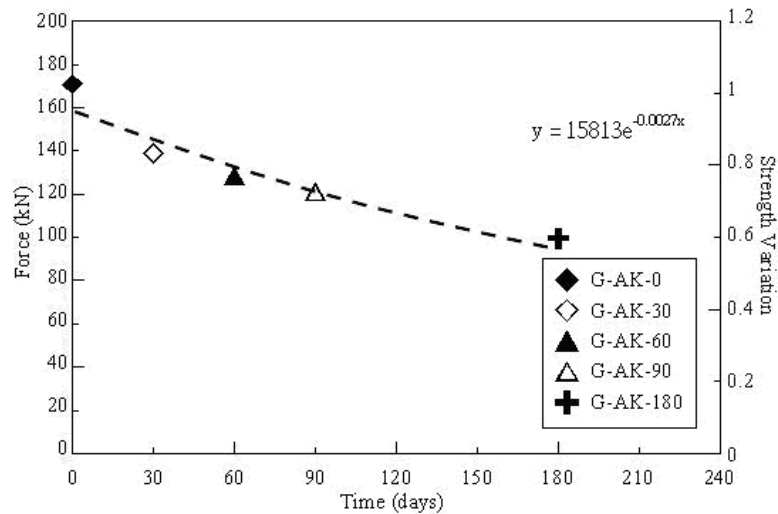


圖 4.60 GFRP 棒耐鹼試驗平均值結果

圖 4.61 為耐鹼試驗中 CFRP 棒試體與 GFRP 棒試體強度變化的比較，從拉力強度的變化可發現 GFRP 棒對於鹼性溶液的抵抗力不如 CFRP 棒佳，耐鹼能力低於 CFRP 棒。

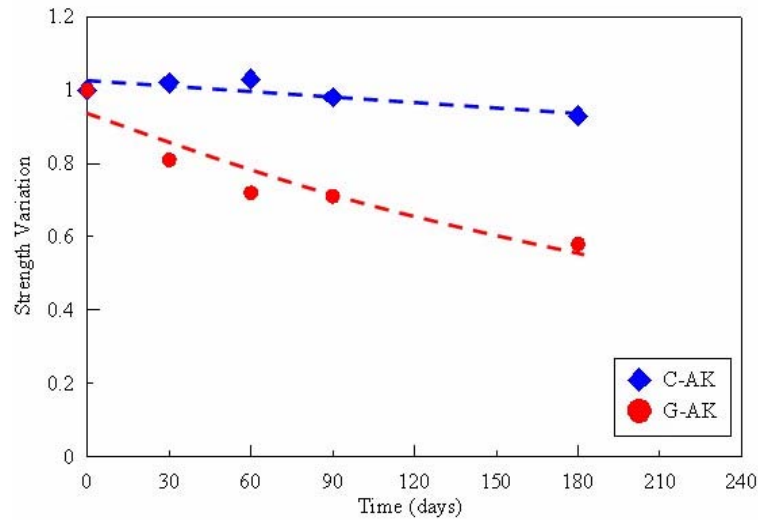


圖 4.61 CFRP 棒與 GFRP 棒耐鹼試驗強度變化比較圖

三、耐硫酸鹽試驗結果

表 4.21 為 CFRP 棒耐硫酸鹽試驗結果，圖 4.62 為 CFRP 棒耐硫酸鹽試驗平均值結果與強度比值，從強度比值可發現 CFRP 棒經過硫酸鎂溶液浸泡後，其強度並無明顯的下降或改變，顯示出 CFRP 棒有良好的耐硫酸鹽性質，在鹽類環境中影響並不大。

表 4.21 CFRP 棒耐硫酸鹽試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kN)	平均拉力強度 (kN)	位移 (mm)	平均位移 (mm)	強度比值
C-MS-0-1	67.96	65.11	40.89	38.03	1.00
C-MS-0-2	64.21		37.48		
C-MS-0-3	63.15		35.71		
C-MS-30-1	61.91	57.55	39.53	36.32	0.88
C-MS-30-2	54.79		34.89		
C-MS-30-3	55.95		34.55		
C-MS-60-1	72.28	69.21	43.01	41.66	1.06
C-MS-60-2	68.82		44.09		
C-MS-60-3	66.52		37.89		
C-MS-90-1	64.21	67.87	試體滑脫	無	1.04
C-MS-90-2	71.52		試體滑脫		
C-MS-180-1	64.11	62.43	36.38	37.19	0.94
C-MS-180-2	61.05		34.26		
C-MS-180-3	62.14		40.92		

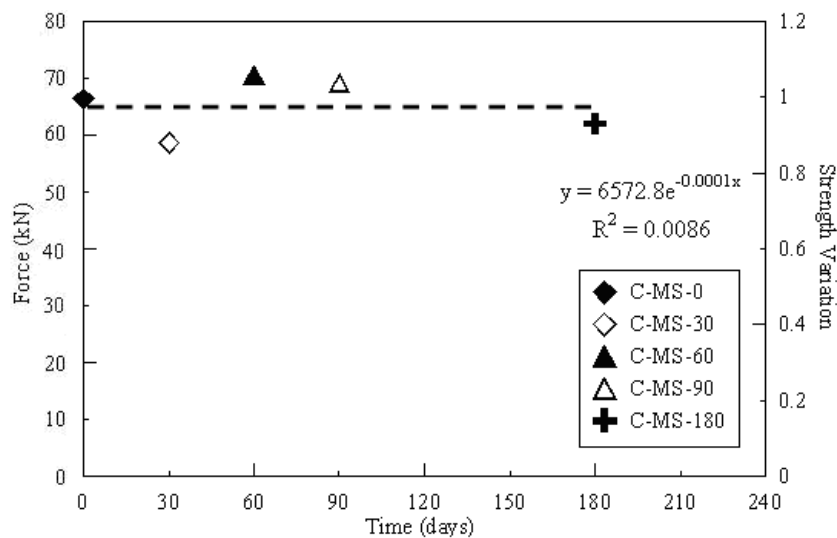


圖 4.62 CFRP 棒耐硫酸鹽試驗平均值結果

表 4.22 為 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗結果，圖 4.63 為 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗平均值結果與強度比值，可發現 GFRP 棒經過硫酸鎂溶液浸泡後，其強度隨著浸泡時間漸漸折減，顯示出 GFRP 棒對於硫酸鹽類抵抗力並不佳。

表 4.22 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗結果

試體名稱	拉力強度 (kN)	平均拉力強度 (kN)	位移 (mm)	平均位移 (mm)	強度比值
G-MS-0-1	179.96	167.59	17.33	15.75	1.00
G-MS-0-2	155.93		12.79		
G-MS-0-3	166.88		17.14		
G-MS-30-1	146.88	153.78	18.8	17.44	0.92
G-MS-30-2	159.39		19.50		
G-MS-30-3	155.06		14.01		
G-MS-60-1	137.18	138.33	11.20	11.82	0.83
G-MS-60-2	139.49		12.44		
G-MS-90-1	124.01	127.90	11.05	11.37	0.76
G-MS-90-2	131.79		11.69		
G-MS-180-1	117.28	116.57	9.40	10.33	0.70
G-MS-180-2	119.88		13.43		
G-MS-180-3	112.57		8.17		

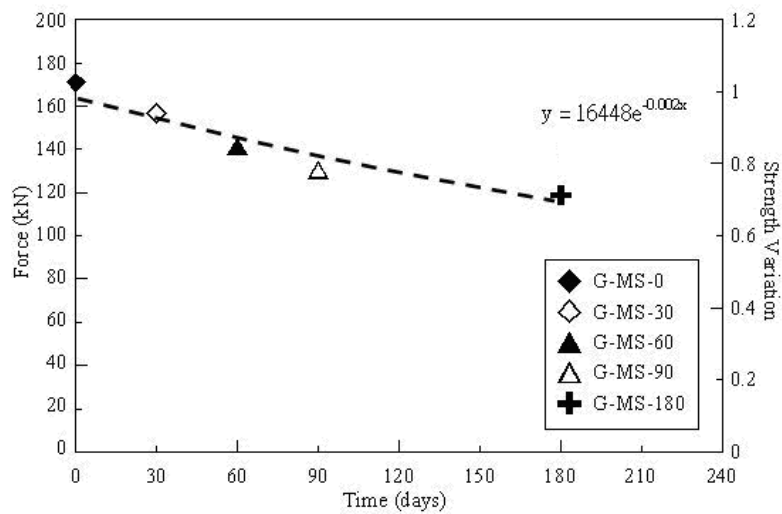


圖 4.63 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗平均值結果

圖 4.64 為耐硫酸鹽試驗中 CFRP 棒試體與 GFRP 棒試體強度變化的比較，從趨勢線的走向可發現 GFRP 棒在鹽類環境的抵抗力不如 CFRP 棒佳，耐硫酸鹽能力低於 CFRP 棒。

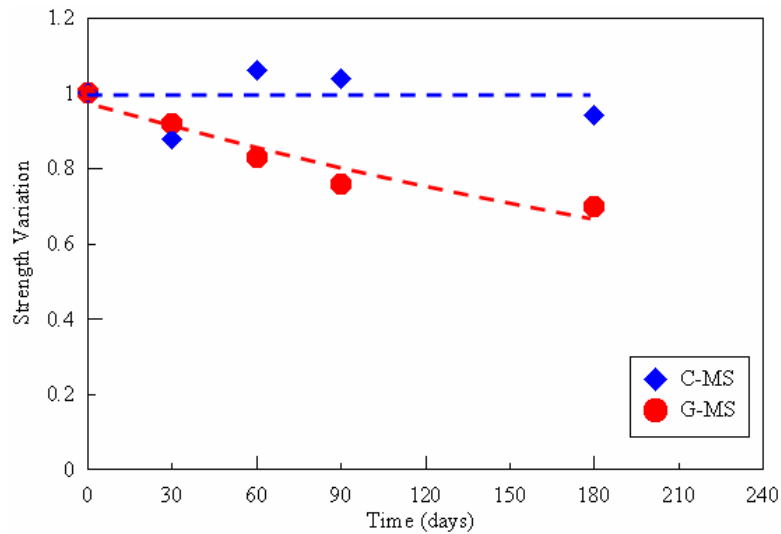


圖 4.64 CFRP 棒與 GFRP 棒耐硫酸鹽試驗強度變化比較圖

圖 4.65 表示 CFRP 棒在耐酸、耐鹼與耐硫酸鹽中的強度變化，可知 CFRP 棒耐久性良好。圖 4.66 表示 GFRP 棒在耐酸、耐鹼與耐硫酸鹽中的強度變化，從圖中趨勢線走向可發現不論是耐酸、耐鹼或耐硫酸鹽試驗拉力強度均隨著時間下降，其中在耐酸與耐硫酸鹽試驗的試體降低的幅度較接近，耐鹼試驗的試體降低的幅度較大，可知 GFRP 棒耐久性不佳，且較不耐鹼，故使用時需考量較大之耐久性折減係數。

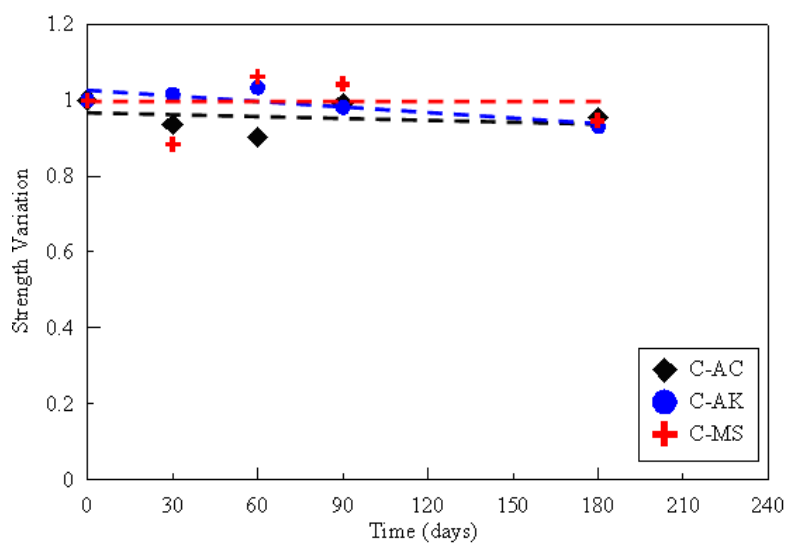


圖 4.65 CFRP 棒試體耐酸、耐鹼與耐硫酸鹽試驗比較

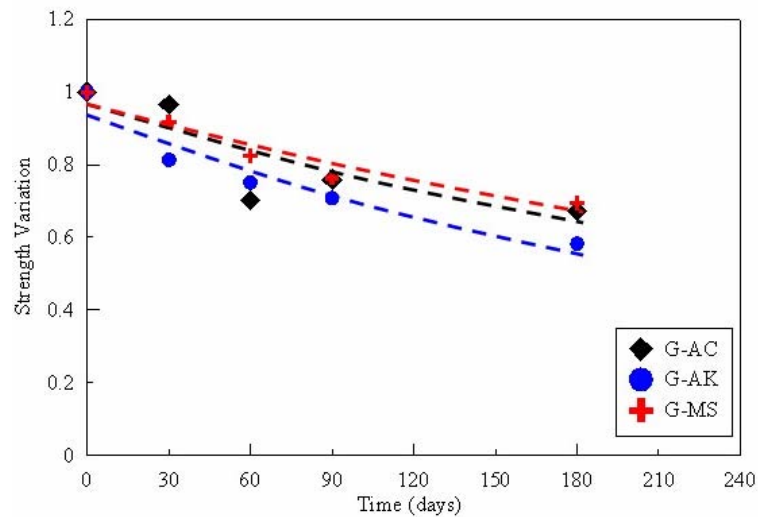


圖 4.66 GFRP 棒試體耐酸、耐鹼與耐硫酸鹽試驗比較

4.5.4 纖維棒耐久性折減係數

依試驗所得結果，得到纖維棒於各耐久性環境之折減係數，並將 CFRP 棒與 GFRP 棒各試驗耐久性質優劣整理如表 4.23。

表 4.23 CFRP 棒與 GFRP 棒耐久性質優劣比較表

試驗內容	CFRP 棒	GFRP 棒
紫外線照射試驗	良好 (最大折減約 0.5 %)	—
溫濕循環試驗	良好 (12 年折減約 0.8 %)	良好 (12 年折減約 0.1 %)
耐酸試驗	良好 (180 天折減約 5 %)	不佳 (180 天折減約 33 %)
耐鹼試驗	良好 (180 天折減約 7 %)	差 (180 天折減約 42 %)
耐硫酸鹽試驗	良好 (180 天折減約 4 %)	不佳 (180 天折減約 30 %)

藉由試驗所得數據成果，建議將來以 FRP 棒進行設計時，在耐久性考量上需乘上各環境因素所造成之折減係數，如式 4.2 所示。

$$f_{fu} = \phi_1 \times \phi_2 \times \phi_3 \times f_{fu}^* = \phi \times f_{fu}^* \dots\dots\dots(4.2)$$

其中 f_{fu} 為 FRP 棒之設計極限強度， ϕ_1 為考量紫外線照射之耐久性折減係數， ϕ_2 為考量溫、濕循環之耐久性折減係數， ϕ_3 為考量耐酸、鹼、硫酸鹽環境之耐久性折減係數。 f_{fu}^* 為 FRP 棒材料本身之極限強度。建議耐久性折減係數值如表 4.24 所示。

表 4.24 耐久性折減係數值

	紫外線照射 (ϕ_1)	溫濕循環 (ϕ_2)	耐酸、鹼、硫酸鹽環境 (ϕ_3)
CFRP	0.95	0.95	0.90
GFRP	0.95	0.95	0.55

計算 FRP 棒之設計極限強度時，依實際需求計算折減量，與國外相關 FRP 材料規範之強度折減因子比較表如表 4.25 所示。其中耐酸、鹼、硫酸鹽環境試驗係以比正常環境更嚴苛之條件進行試驗，故在 GFRP 之折減係數較為保守。經由試驗所提出之折減係數均與國外規範相差不遠，可做為國內工程人員日後進行 FRP 棒設計之參考值。

表 4.25 耐久性折減係數比較表

	ACI	CHBDC	JSCE	本研究
CFRP	0.90~1.00	0.85	0.87	0.81~0.90
GFRP	0.70~0.80	0.75	0.77	0.49~0.55

4.6 小結

本年度計畫藉由過去研究成果瞭解國內市區橋梁承載能力及耐震能力不足之主因。瞭解原因後，搜集目前業界常用之各項適用於市區橋梁特性之補強工法並介紹施工步驟，使橋梁管理單位及工程師對各項補強工法有更深的認識。並針對市區橋梁特性對各項補強工法進行經濟面、施工時間、技術面與環境影響等相關因素之優、缺點比較，提出纖維複合材料(FRP)貼覆補強工法為最適用於市區橋梁補強之施工方式，其優點包括：經濟、快速、不影響交通、日後維護簡便等，且目前學術界對其分析與設計上已有成熟之研究，是一值得推廣於實務面之新技術。

此外藉由 FRP 複合材料之適用性研究，發現以 FRP 複合材料作為興建、替換或是補強，皆可達到國內第三代橋梁輕量化、耐久性及景觀性之需求。藉由國內外 FRP 複合材料應用於橋梁之案例發現，國內外使用此材料已為目前之趨勢，且在考量長久之維護管理費用及興建時交通維持費用之成本考量，已比傳統工法更具競爭性，為提升國內橋梁技術之方向。

於 FRP 複合材料之耐久性研究中，以國內自行生產之 FRP 棒進行各項符合國內環境之各項耐久性試驗，發現 CFRP 棒之耐久性優於 GFRP 棒，且長期強度折減量相當少，較適合作為替代鋼筋之材料。並藉由各項耐久性試驗所得數據成果，提出將來國內以 FRP 棒進行設計時，在耐久性考量上需乘上各環境因素所造成之折減係數，以供工程師參考使用。

五、結論與建議

5.1 結論

◎ 緊急運送道路維護管理研究部分

- 一、建構市區道路及其附屬設施緊急救災機制有其必要性；平時進行相關防災準備，針對可能損壞之道路(橋)進行相關維修補強作業，災害發生時即能迅速執行應變作業，減少人員傷亡。
- 二、規劃緊急運送道路時，除考慮道路本體外，尚需劃設各層級之道路，並考慮周邊之建物、附屬設施與天然災害潛勢區，盡量避開高危險之區段，倘無可避免時亦需考慮補強措施，使緊急運送道路規劃更為安全。
- 三、針對規劃為緊急運送道路通過橋梁部份，必須特別注意其結構之穩定性，定期進行檢測與維修，針對強度不足之部分進行補強，使災害時能發揮機能。
- 四、各地區災害特性均不相同，規劃之道路亦不相同，且著眼點也會有所差異，應實地探訪，以規劃出適合地區特性之緊急運送道路。
- 五、為確保緊急運送道路之完整性，規劃完竣後須進行檢核作業，檢查規劃之缺失部份並進行修正，建構完善之緊急運送道路。

◎ 提昇既有市區道路品質研究部分

- 一、嚮應目前國內積極推動綠建築、綠營建之推廣及參酌國外 LID 技術，提供九項效益顯著之 LID 措施，且較適合國內市區道路環境，並探討低衝擊開發設施的效益，LID 設施應用於市區道路，可減少地表逕流排入道路側溝，並縮減側溝斷面尺寸 1/5，經推算可節省市區道路側溝成本每公里達 90,000 元(以台北市為例)，依照公共工程價格設施帶緣石以全高介於 10 cm~15 cm 減少施作 100 m，可節省成本約 33700 元（全省統一價格），並借鏡西雅圖方案路旁減少緣石的設置、減少街道寬度，選擇「自然排水系

統」和搭配日本「雨水貯留滲透設施」的施作方式，減低都市不透水面積與改善道路上逕流的水質。

二、LID 設計原則以「場址分類」、「交通動線設計」、「基礎設施和自然資源設計」與三大面互補互助，國內可採用「都市計畫法」、「市區道路及附屬工程設計標準」與「下水道用戶排水設備標準」配合地方政府法令進行 LID 規劃與設計。

三、依據台灣的市區道路之適用性，針對空間大小、植栽選定、不適合施作場址、適用範圍、共同管道與污水下水道之配合，經可行性及適用性評估後認為植栽型濾帶設施的「生態滯留槽」、「草帶」、「樹箱過濾器」與入滲型設施的「透水鋪面」、「滲透排水管」、「滲透陰井」，適合設置在都會地區如：停車場、圓環道路中心的交通島、公共設施帶。

四、LID 措施之效益得知「生態滯留槽」、「草溝」、「透水鋪面」與「滲透排水管」的直接效益，如（1）降低地表逕流量（2）減少不透水面積（3）節省施作及維護成本（4）漫地流速度降低（5）補助地下水（6）水質改善而對水質、水量改善可採用「BMP TOOL BOX」模擬土地開發前後的水質與暴雨逕流關係變化，並計算成本做出最佳化的評選。

五、經由案例探討及國內外文獻之論述，均顯示出市區道路建構綠廊道之必要性及對環境面向之顯著功效，故於市區道路規劃綠廊道不僅可增加道路之附加值，並可經由綠廊道之建構進而提倡「綠色運輸系統」之推廣。

六、各地方政府於推行市區綠廊道之實質規劃目前缺乏實務經驗與理論，而綠廊道之評估指標尚處於因子擬定及驗證過程中，期透過本研究整合評估因子以提供後續之指標驗證研究參考。

七、市區道路建構自行車道，不但可紓解過度擁塞之交通路網，更可改善國人生活環境品質以提升城市適居性，另對於減少溫室氣體排放及化石能源之減量均有顯著功效，亦可響應節能減碳之國家政策。

八、市區道路規劃以休閒及通勤為主之自行車交通路網，應首重提供安全之運

旅環境，故規劃自行車道應須擬定完整而綜合性之措施，使自行車騎士有安全、便捷且舒適之騎乘空間，故本研究認為應重新審視市區道路斷面規劃單元，並配合綠廊道規劃，經由斷面單元之重新安排以提高自行車道之品質及專用路權。

九、電力系統、電信通訊控制箱基座設置地下化為目前各縣市主管機關最為積極提倡改善人行道步行空間方式，適當採用配套措施增加誘因，如補助款項或是相關法律規範，增進業者遷移意願；設計規劃過程應適時舉辦說明會與民眾意見進行溝通，以便貼切民眾之需求。

十、單一設施物由其規劃與管理階段變有管理單位不同之現象，並非全盤性施工規劃，造成重複施工；加上其營運管理權無明確規章，因此易發生日後權責劃分不清之情況。

◎ 提昇既有市區橋梁品質研究部分

一、國內市區橋梁承載能力不足之主因，多為橋面版混凝土劣化或違規超重車輛造成，而耐震能力不足之主因，則是因耐震規範的修訂。在瞭解原因後，搜集目前業界常用之各項適用於市區橋梁特性之補強工法並介紹施工步驟，使橋梁管理單位及工程師對各項補強工法有更深的認識。

二、藉由過去研究，瞭解市區橋梁之特性，對各項補強工法進行經濟面、施工時間、技術面與環境影響等相關因素之優、缺點比較，提出纖維複合材料(FRP)貼覆補強工法為最適用於市區橋梁補強之施工方式，其優點包括：經濟、快速、不影響交通、日後維護簡便等，且目前學術界對其分析與設計上已有成熟之研究，是一值得推廣於實務面之新技術。

三、在災後之緊急修復時，首先必須考量補強方式是否簡便且不需大型機具。纖維複合材料(FRP)貼覆補強工法即可滿足此需求，另外亦介紹於 921 地震後實際運用於建築物補強案例中，得到非常好的成效之鋼纜線圍束緊急修復補強柱體工法。

- 四、藉由 FRP 複合材料之適用性研究，發現以 FRP 複合材料作為興建、替換或是補強，皆可達到國內第三代橋梁輕量化、耐久性及景觀性之需求。
- 五、藉由國內外 FRP 複合材料應用於橋梁之案例發現，國內外使用此材料已為目前之趨勢，且在考量長久之維護管理費用及興建時交通維持費用之成本考量，已比傳統工法更具競爭性，為提升國內橋梁技術之方向。
- 六、藉由 FRP 複合材料之耐久性研究，以國內自行生產之 FRP 棒進行各項符合國內環境之各項耐久性試驗，發現 CFRP 棒之耐久性優於 GFRP 棒，且長期強度折減量相當少，較適合作為替代鋼筋之材料。
- 七、藉由國內各項耐久性試驗所得數據成果，提出將來國內以 FRP 棒進行設計時，在耐久性考量上需乘上各環境因素所造成之折減係數，以供工程師參考使用。

5.2 建議

◎ 緊急運送道路維護管理研究部分

- 一、每年定期進行道路系統之防災演練，確保道路受災時能迅速搶通。
- 二、各縣市可參考本研究之緊急運送道路規劃內容，編撰統一格式之緊急運送道路系統。
- 三、定期檢討所規劃之緊急運送道路，確保緊急運送道路之功能。
- 四、在重要路口處須設立緊急運送道路標示。
- 五、各縣市可將規劃後之緊急運送道路圖，上傳至緊急運送道路查詢系統，以供查詢使用。

◎ 提昇既有市區道路品質研究部分

- 一、施作草帶在公共設施帶上盡不設置緣石，提供路面逕流量導入草帶。公共設施帶如要設置緣石，應仿造生態滯留槽的作法設置凹槽提供積水深度，並於 5 至 10 公尺設置一處進水口，生態滯留槽之設置可隨人行道、分隔

島與交通島空間大小做調整，施工單位應注意植栽底下鋪設的土體，和植栽生長期以便修剪過長的植栽及灌木。

二、配合地方政府進行生態滯留槽和樹箱過濾器的試驗區，入滲效益與過濾污染源效益進行研究探討，針對國內市區道路施作之可行性與成本維護管理進行後續分析，並搭用「BMP TOOL BOX」程式模擬計算最低限度的開發成本。

三、城市植栽綠化設計已逐漸擺脫單純的景觀設計手法，慢慢步入生態景觀層次，於市區道路規劃過程中仍適度保有自然生態之性質，建議未來各地方政府建構綠廊道可針對原生樹種進行植栽，將更使綠美化之觀念大幅推進，並可加速台灣邁入生態城市之步伐。

四、綠廊道不僅深具生態效益、環境效益、景觀效益及生活效益等機能效用，此外，於市區道路建構綠廊道亦可反映地方人文特色和都市綠化之建設水準，惟因區位不同所具有之地形、土質、微氣候、綠地及生態棲息地等環境因子皆有差異，另寬度不同亦影響綠廊道之設計寬度及植栽類別，此層面關係道路整體景觀之成效，故建議各地方主管機關成立綠廊道之專業審議機制。

五、市區道路建構自行車道不僅可使路權明顯劃分，並可提高自行車騎士之安全性，進而減少各用路人之衝突，故建議未來市區道路之自行車道應採絕對路權之建構方式，如此對各縣市推廣「機動車輛轉移自行車」之效益有加倍助力。

六、現今人行道附屬設施物於建築法令、都市計畫法令仍未有完整之規劃配置，應設立法令規範之完整，避免一味沿用產生不適用之詬病。

七、建議未來附屬設施物採用統一整合方式，提供更為舒適之人行道步行空間；並建立設施物管理資料庫系統，針對設施物設置年度、種類、管理單位加以整理，以利日後營運管理之便。

◎ 提昇既有市區橋梁品質研究部分

- 一、本研究計畫為四年期計畫中之第二年計畫，綜合前兩年計畫成果，已將國內市區橋梁之特性、評估及補強等作業方式做一完整研究。目前國內橋梁災害仍時有所聞，究其原因在於橋梁之管理層面，故建議於 98 年計畫中加入市區橋梁檢測制度及其績效考核之研究，以解決國內當前橋梁所面臨之問題。
- 二、綜觀國外 FRP 複合材料應用於橋梁之案例中，各國皆先試作承載需求較低之 FRP 人行陸橋，作為後續以 FRP 材料建造公路橋的經驗模式，故建議國內亦可參考此模式，先試做 FRP 人行陸橋進行相關研究，進而將此技術發展至公路橋梁，以提升國內工程技術。
- 三、國內 FRP 複合材料技術中，自行生產之 FRP 棒除外銷外，亦已使用於國內捷運工程與高鐵工程之隧道破鏡工程中，故不需仰賴國外進口，使此材料已具相當之市場競爭性。建議國內在提高橋梁承載能力中，使用置換橋面版工法時，可利用此材料替代鋼筋部分，以減輕橋梁自重並相對提高橋梁承載能力。
- 四、橋面版之鋼筋腐蝕導致混凝土劣化剝落，係國內常見之橋梁劣化模式，FRP 格網為一快速簡便之補強方式，建議可優先推行此工法應用於橋梁之補強作業。
- 五、若營建署補助各縣市政府經費進行橋梁維修補強作業，建議地方政府參考本計劃之研究成果進行補強設計，以達到成果之推廣。
- 六、新材料新技術之應用，可邀請材料、技術廠商辦理說明會，邀集各級地方政府與業界參加，讓地方政府及業界對新材料新技術應用於橋梁之維修補強有更深切之認知與信心。

參考文獻

1. Ahmad, S. H. and Plecnik, J. M. "Transfer of Composite Technology to Design and Construction of Bridges." U.S. DOT Report, September (1989).
2. Alper, H., Barton, F. W. and McCormick, F. C., "Optimum Design of a Reinforced Plastic Bridge Girder," Computers & Structures, Vol. 7, pp. 249-256 (1977).
3. American Concrete Institute (ACI), "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars," 440.1R (2006).
4. American Concrete Institute (ACI), "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures," 440.2R (2002).
5. American Concrete Institute (ACI), "Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymers (FRPs) for Reinforcing or Strengthening Concrete Structures," 440.3R (2004).
6. American Concrete Institute (ACI), "Prestressing Concrete Structures with FRP Tendons," 440.4R (2004).
7. American Concrete Institute (ACI), "Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures," 440R (1996).
8. American Concrete Institute (ACI), "Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures," 440R (2007).
9. American Concrete Institute (ACI), "Specification for Construction with Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bar," 440.5 (2008).
10. American Concrete Institute (ACI), "Specification for Carbon and Glass Fiber-Reinforced Polymer Bar Materials for Concrete Reinforcement," 440.5 (2008).
11. Arockiasamy, M., Chidambaram, S., Amer, A., and Shahawy, M., "Time-Dependent Deformations of Concrete Beams Reinforced with CFRP Bars," Composites Part B: Engineering, Vol. 31, No. 6, pp. 577-592 (2000).
12. Bakeri, B. and Sunder, S. S., "Concepts for Hybrid FRP Bridge Deck System." Proceedings of the First Materials Engineering Congress ,A.S.C.E., Denver,

-
- Colorado, August 13-15, Vol. 2, pp. 1006-1014 (1990).
13. Braestrup, M. W., "Footbridge Constructed from Glass-Fiber-Reinforced Profiles, Denmark," *Structural Engineering International*, Vol. 9, No. 4, pp. 256-258 (1999).
 14. Bruce Wulkan, Steve Tilley, Toni Droscher, "Natural Approaches to Stormwater Management," *Low Impact Development in Puget Sound*, (2003).
 15. California Department of Transportation (Caltrans), "The Application of Qualification Testing, Field Testing, and Accelerated Testing for estimating long-term Durability of Composite Materials for Caltrans Applications," ADA433125 (2005).
 16. California Department of Transportation (Caltrans), "Using Composite in Seismic Retrofit Applications," ART-2005(7796)-2 (2005).
 17. Canadian Standards Association "Canadian Highway Bridge Design," CAN/CSA-S6-06 (2006).
 18. Canadian Standards Association "Design and Construction of Building Components with Fibre-Reinforced Polymers," CAN/CSA-S806-02 (2002).
 19. Christoffersn, J., L. Hauge, and J. Bjerrum, "Footbridge with Carbon-Fiber-Reinforced Polymers, Denmark," *Structural Engineering International*, Vol. 9, No. 4, pp. 254-256 (1999).
 20. CRC Construction Innovation, "User Friendly Guide for Rehabilitation or Strengthening of Bridge Structures Using Fiber Reinforced Polymer Composites," Report 2002-005-c-04 (2002).
 21. Curtis Hinman, "Low Impact Development :Technical Guidance Manual For Puget Sound," (2005).
 22. Fabos, J.G., "Introduction and overview: the greenway movement, uses and potentials of greenways," *Landscape Urban Planning* (1995).
 23. GangaRao, H. V. S., and Sotiropoulos, S. N., "Development of FRP Bridge Superstructural Systems." U.S. DOT Report, June (1991).
 24. GangaRao, H. V. S., Zeiina, T. R., Ward, R.and Howser, V., "TheDevelopment of Economical Low-Volume Road Bridges." U.S. DOT Report, July (1987).
 25. Guadagnini, M., K. Pilakoutas, and P. Waldron, "Shear Resistance of FRP RC
-

-
- Beams: Experimental Study,” *Journal of Composites for Construction*, Vol. 10, No. 6, pp. 464-473 (2006).
26. Harik, I. E., Szak, P. J., Robson, B. N., Hopwood, T. H., Withcer, D., and Brailsford, B., “Hybrid Composite I-Girder Pedestrian Bridge.” *Technology Transfer in Global Community*, 28th International SAMPLE Technical Conference, SAMPLE, Covina, CA, 1270-1277 (1996).
 27. Henry, J. A., “Deck Girders System for Highway Bridges Using Fiber Reinforced Plastics.” M.S. Thesis, North Carolina State University (1985).
 28. Hirokazu, T., Hitoshi, T., Morio, K., Takumi, S. “A case study on life-cycle assessment of environmental aspect of FRP structures,” *Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*, December 13-15 2006, Miami, Florida, USA (2006).
 29. Italian National Research Council “Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars,” CNR-DT 203 (2006).
 30. Li, Y.-F., C.-T. Lin, and Y.-Y. Sung, “A Constitutive Model for Concrete Confined with Carbon Fiber Reinforced Plastics,” *Mechanics of Materials*, 35, 603-619 (2003).
 31. Li, Y.-F., and T.-S. Fang, “A Constitutive Model for Concrete Confined by Steel Reinforcement and Carbon Fiber Reinforced Plastic Sheet,” *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 18, No. 1, pp. 21-40 (2004).
 32. Liaw, C.H., M.S. Cheng and Y.L. Tsai, “Low-impact Development : An Innovative Alternative Approach to Stormwater Management,” *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 41-49 (2000).
 33. Lin, C.-T. and Y.-F. Li, “An Effective Peak Stress Formula for Concrete Confined with Carbon Fiber Reinforced Plastics,” *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 30, No. 5, pp. 882-88 (2003).
 34. McCormick, F. C., “Field Study of a Pedestrian Bridge of Reinforced Plastic” *Transportation Research Record* 1118, TRB, National Research (1987).
 35. McCormick, F. C., “Laboratory and Field Studies of a Pedestrian Bridge Composed of Glass Reinforced Plastics,” *Transportation Research Record* 665,
-

-
- TRB, National Research Council, pp. 99-107 (1978).
36. McCormick, F. C., "Why Not Plastics Bridges?" *Journal of the Structural Division, Proceeding of A.S.C.E.*, Vol. 98, No. ST8, August, pp. 1757-1767 (1972).
 37. Modern Plastics, "All-Plastics Pedestrian Bridge Built in England," Vol. 47, No. 3, March, p. 164 (1970).
 38. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) "Bonded Repair and Retrofit of Concrete Structures Using FRP Composites -- Recommended Construction Specifications and Process Control Manual," Report 514 (2004).
 39. Norway "Eurocrete Modifications to NS3473 When Using FRP Reinforcement," Report # STF 22 A 98741 (2006).
 40. Pantelides, C. P., J. Gergely, L. D. Reaveley, and V. A. Volnny, "Retrofit of Bridge Pier with CFRP Advanced Composites" *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 125, No. 10, pp. 1094-1099 (1999).
 41. Park, R. and T. Paulay, "Reinforced Concrete Structures," John Wiley & Sons Inc. (1975).
 42. Plecnik, J. M., "Behavior of Composite Bridge Decks and Connections under Fatigue Loading." U.S. DOT Report, September (1991(a)).
 43. Plecnik, J. M. and Azar, W. A., "Structural Components, Highway Bridge Deck Applications." *International Encyclopedia of Composites*, edited by I. Lee and M. Stuart, Vol. 6, pp. 430-445 (1991(b)).
 44. Plevris, N., T. C. Triantafillou, and D. Veneziano, "Reliability of RC Members Strengthened with CFRP Laminates," *Journal of Structural Engineering*, Vol.12, pp.1037-1044 (1995).
 45. Priestley, M. J. N., F. Seible, and G. M. Calvi, *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley & Sons Inc. (1996).
 46. Rteil, A. A., K. A. Soudki, and T. H. Topper, "Preliminary Experimental Investigation of the Fatigue Bond Behavior of CFRP Confined RC Beams," *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No. 4, pp. 746-755 (2007).
 47. Saadatmanesh, H., M. R. Ehsani, and L. Jin, "Seismic Retrofitting of Rectangular Bridge Columns with Composite Straps," *Earthquake Spectra*, Vol.
-

- 13, No. 2, pp. 281-304 (1997).
48. Saiid, M., N. I. Wehbe, D. H. Sanders, and C. J. Caywood, "Shear Retrofit of RC Bridge Columns Subjected to Earthquakes," *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, Vol. 6, No. 3, pp. 189-197 (2001).
49. Seible F, V. M. Karbhari, and R. Burgueno, "Kings Stormwater Channel and I-5/Gilman Bridge, USA," *Structural Engineering International*, Vol. 9, No. 4, pp. 250-253 (1999).
50. Sen, R., M. Shahawy, S. Sukumar, and J. Rosas, "Durability of Carbon Rretensioned Elements in a Marine Environment," *ACI Structural Journal*, Vol. 95, No. 6, pp. 716-724 (1998).
51. Sen, R., M. Shahawy, S. Sukumar, and J. Rosas, "Durability of Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Pretensioned Elements under Tidal/Thermal Cycles," *ACI Structural Journal*, Vol. 96, No. 3, pp. 450-457 (1999).
52. Sreenivas, A. and Jonathan, K., "Load Testing of An FRP Bridge Deck on a Truss Bridge" NYSDOT Special Report 137, July (2001).
53. Tetra Tech, Inc., Low-Impact Development Management Practices Evaluation Computer Module, User's Guide, Prince George's County : Prince George's County Department of Environmental Resources(2003).
54. The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS) "FRP Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures," Design Manual No. 4 (2001).
55. The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS) "Prestressing Concrete Structures with FRPs," Design Manual No. 5 (2001).
56. The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS) "Specifications for FRP Product Certification," Design Guide (2001).
57. The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS) "Durability Monograph," Design Guide (2001).
58. The Canadian Network of Centers of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS) "Reinforcing Concrete Structures with Fiber

-
- Reinforced Polymers,” Design Manual No. 3 (2001).
59. Triantafillou, T.C. and N. Plevris, “Strengthening of RC Beams with Epoxy-Bonded Fiber-Composite Materials,” *Materials and Structures*, Vol. 25, pp.201-211 (1992).
 60. University of California, Los Angeles, “Study shows how ultrafine particles in air pollution may cause heart disease,” (2008)
 61. University of Connecticut Cooperative Extension Forestry website, *American Forests* (2001).
 62. U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research Washington, D.C., “The Practice of Low Impact Development,” (2003).
 63. Virginia Department of Conservation and Recreation, “Minimum Standard 3.11C Filterra™ Bioretention Filter System,” (2002).
 64. Washington, DC, “Low Impact Development (LIDA Literature Review,” (2000) .
 65. Wegian, F. M., and H. A. Abdalla, “Shear Capacity of Concrete Beams Reinforced with Fiber Reinforced Polymers,” *Composite Structures*, Vol. 71, No. 1, pp. 130-138 (2005).
 66. *World Highways*, Vol. 35, No. 1, TRIS 382986, Washington, D.C. (1985).
 67. Xiao, Y., H. Wu, and G. R. Martin, “Prefabricated Composite Jacketing of RC Columns for Enhanced Shear Strength,” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 3, pp. 255-264 (1999).
 68. Xie, M., V. Hoa, and X. R. Xiao, “Bonding Steel Reinforced Concrete with Composites” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 14, pp. 949-964 (1995).
 69. Zureick, A., Shih, B., and Munley, E. “Fiber Reinforced Polymer Bridge Decks,” *Structural Engineering Review*, Vol.7, pp257-266 (1995).
 70. Zureick, A., “Fiber-reinforced polymeric bridge decks.” *Proceedings of the National Seminar on Advanced Composite Material Bridges*, FHWA (1997).
 71. 「921 集集大地震之橋樑、道路及交通設施震災調查－第一小組初步報
-

- 告」，國家科學委員會報告 (1999)。
72. 「人本交通之時代意義」，行政院經濟建設委員會(2008)
73. 「土石流災害防救業務計畫」，行政院農業委員會(2004)。
74. 「大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略研究(二)」，交通部委託研究案(2003)。
75. 「中央災害應變中心作業要點」，行政院(2006)。
76. 「水災災害防救業務計畫」，經濟部(2004)。
77. 「市區道路人行道設計手冊」，內政部營建署(2003)。
78. 「市區道路工程規劃及設計規範之研究」，內政部營建署(2001)。
79. 「市區道路生態綠廊道評估指標」，中華民國景觀學會(2005)。
80. 「市區道路生態廊道整體建構計畫」，內政部營建署(2005)。
81. 「市區道路及附屬工程設計標準」，內政部(2006)。
82. 「市區道路及附屬工程設計規範」，內政部營建署(2008)。
83. 「市區道路及其附屬設施技術研發計畫」，內政部營建署 (2007)。
84. 「台北市人行系統環境改善實施手冊」，臺北市政府都市發展局(1996)。
85. 「台北市重要統計速報」，臺北市政府(2007)。
86. 「台北縣市區自行車道路網規劃研究」，台北縣政府(2007)。
87. 「台電月刊 534 期」(2007)。
88. 「台灣地區公路車輛行車成本調查」，交通部統計處(1994)。
89. 「台灣地區既有市區道路景觀與綠美化改善計畫」，內政部營建署(2004)。
90. 「台灣地區騎乘自行車通勤及休閒之人口統計」，行政院經濟建設委員會(2008)。
91. 「自行車道設施設計準則彙編」，行政院體育委員會(2007)。
92. 「交通部公路總局公路重大災害緊急應變作業要點」，交通部公路總局(2004)。
93. 「交通部公路總局災害防救標準作業手冊」，交通部公路總局(2007)。
94. 「交通部災害緊急通報作業要點」，交通部(2007)。

95. 「交通部國道高速公路局災害防救標準作業手冊」，交通部國道高速公路局(2007)。
96. 「防災基本計畫」，中央防災會議，平成 20 年 2 月。
97. 「車輛油耗指南」，經濟部能源委員會(2007)。
98. 「東京都地域防災計畫震災編」，東京都防災會議，平成 19 年 3 月。
99. 「我國能源有關 CO2 排放統計與分析」，工研院能環所(2007)
100. 「我國機車駕照管理制度之潛在問題與改善對策」，交通部運輸研究所(2005)
101. 「挑戰 2008 國家發展重點計畫」，行政院(2008)
102. 「災害防救法」，行政院(2002)。
103. 「災害防救基本計畫」，行政院(2007)。
104. 「災害緊急通報作業規定」，行政院(2002)。
105. 「移動污染源徵收費率」，內政部環保署(2007)。
106. 「能源統計手冊」，經濟部能源局(2007)。
107. 「道路震災對策便覽(震前對策編)」，日本道路協會，平成 14 年 4 月。
108. 「道路震災對策便覽(震災復舊編)」，日本道路協會，平成 14 年 4 月。
109. 「都市發展政策白皮書」，台北市都市發展局(2002)。
110. 「陸上交通事故災害防救業務計畫」，交通部(2005)。
111. 「執行災情查報通報複式佈建措施」，內政部消防署(2003)。
112. 「腳踏車專用道之規劃研究」，交通部運輸研究所(1999)
113. 「腳踏車專用道之規劃研究-附錄」，交通部運輸研究所(1998)
114. 「臺北市政府 94 年度推動防救災工作計畫—研擬臺北市重大災害動員機制」，台北市消防局委託研究案(2006)。
115. 「臺北縣自行車運旅現況分析」，台北縣政府(2007)。
116. 「臺灣地區歷年人口及汽車持有數」，交通部運輸研究所(2007)
117. 「震災災害防救業務計畫」，內政部(2004)。
118. 「震後橋梁結構快速診斷手冊之建立與震後橋梁快速補強手段」，行政院

- 公共工程委員會研究報告(1999)。
119. 「強制汽車責任保險」，財政部(2008)。
120. 「燃料使用費、使用牌照稅作業相關規定」，交通部公路局(2008)。
121. 「綠色運輸系統與土地使用規劃整合之研究」，交通部運輸研究所(2008)
122. 「綠建築解說與評估手冊」，內政部建築研究所(2003)。
123. 「騎乘自行車健康行」，台北體育學院(2006)。
124. 丁湘蘭，「FRP 橋面版結構分析與設計之研究」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災技術研究所 (2002)。
125. 王正源，「東西軸帶空間再利用規劃設計案-市民大道沿線景觀空間規劃暨示範節點設計」，台北市政府都市發展局(2003)。
126. 王仲宇、宋明昌、凌烽生、陳泰安、黃偉智，「含裂縫及損傷之鋼筋混凝土結構之貼片補強分析(II)-貼片補強工法之應力分析和對策」，國科會專題研究計劃成果報告 (1996)。
127. 王建智，「透水性鋪面入滲成效評估之研究」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所(2003)。
128. 內政部建築研究所，綠建築解說與評估手冊，內政部建築研究所(2003)。
129. 全國法規資料庫，「共同管道法」，內政部(2000)。
130. 朱育正，「碳纖維複合材料(CFRP)於圓形橋柱耐震補強之研究」碩士論文，國立台北科技大學土木工程學系碩士論文 (2000)。
131. 沈德縣、郭明峰，「綠營建於道路工程之運用」，綠營建工程研討會(2002)。
132. 李有豐、張國鎮、黃震興、宋奕穎、郭苗宜，「碳纖維強化高分子複合材料於圓形橋柱剪力補強設計與試驗」，土木技術，第 37 期，第 155-170 頁 (2001)。
133. 李有豐、林安彥，「橋樑檢測評估與補強」，全華出版社 (2000)。
134. 李孟勳，「壁式橋墩以碳纖維補強之研究」，碩士論文，私立逢甲大學土木及水利工程研究所碩士論文 (2000)。
135. 李洋毅，「綠化型態對都市熱島效應影響效果之研究」，銘傳大學謀體空間

- 設計研究所碩士論文(2006)。
136. 李碩慈，「都市人行道佔用之社會意涵分析－以台北市民生東路四段、光復北路、南京東路四段、敦化北路所圍成之街廓為例」，碩士論文，政治大學地政學研究所 (1997)。
 137. 呂守陞，「都市地區交通問題之研究-以安全、效率、美化的觀點」，交通大學交通運輸研究所碩士論文(1981)。
 138. 林至聰，「碳纖維貼片補強鋼筋混凝土構件之研究」，博士論文，國立中央大學土木工程學系 (1999)。
 139. 林珊汝，「永續無障礙交通人行環境營造之研究」，碩士論文，政治大學行政管理研究所 (2006)。
 140. 林草英、洪建銘，「碳纖維 CFC 在鋼筋混凝土梁構件之應用」，中華民國第四屆結構工程研討會論文集，第 2101-2108 頁 (1998)。
 141. 林偵家、羅健文，「都市永續發展之新思維-都市綠廊道網絡之建立」，台北大學土地問題研究季刊(2008)。
 142. 林鎮洋、邱逸文，「生態工法概論」，明文書局(2003)。
 143. 林憲德，「綠建築解說與評估手冊」，內政部建築研究所(2003)。
 144. 洪明中，「CFRP 棒應用於高強度混凝土梁之力學行為探討與耐久性之研究」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災技術研究所 (2008)。
 145. 施邦築、李有豐、朱國棟，「RC 結構補強之材料及工法」，土木技術，第 5 期，第 118-127 頁 (1998)。
 146. 徐耿宏，「都市社區步行空間之研究」，碩士論文，中國文化大學建築及都市計劃研究所 (2006)。
 147. 陳彥彰，「集水區保護帶及新興保育管理方法」，水環境社區研討會論文集 (2006)。
 148. 陳順傑，「滲透排水管之入滲效益評估」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所(2006)。
 149. 陳錫勳，「鋼纜線圍束柱體修復補強之可行性研究」，碩士論文，國立台北

- 科技大學土木與防災技術研究所 (2002)。
150. 紀佐霖，「人行道環境因子對使用者旅運行為之影響」，碩士論文，暨南國際大學土木工程研究所 (2007)。
151. 郭苗宜，「RC 橋柱之剪力與主筋搭接耐震補強」，碩士論文，國立台灣科技大學營建工程學系碩士論文 (2000)。
152. 郭瓊瑩、王秀娟，「公園綠地發展計畫操作手冊」，內政部營建署(2001)。
153. 郭瓊瑩，「城鄉藍帶、綠帶系統資源調查模式之建立」，內政部營建署 (1999)。
154. 梁家銘，「纖維強化複合材料加強筋應用於不同強度混凝土在高溫中之握裹力」，碩士論文，國立交通大學土木工程研究所 (2003)。
155. 展維賢，「碳纖維貼片(CFRP)補強 RC 樑構件受往復力作用試驗研究」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災技術研究所 (2004)。
156. 紀佐霖，「人行道環境因子對使用者旅運行為之影響」，碩士論文，暨南國際大學土木工程研究所 (2007)。
157. 黃家勤，公路逕流污染調查與控制方法研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告(2003)。
158. 亞聯工程顧問公司，「永續的道路規劃與設計規範之研究」，交通部運輸研究所(2004)。
159. 黃定國，「都市計畫審議有關計畫內容及都市設計審議準則架構之研訂-課題分析及對策研擬」，台北研考會 (1999)。
160. 黃瑞東，「碳纖貼片於混凝土結構物補強作業之應用」，碩士論文，臺灣工業技術學院 (1995)。
161. 黃榮堯、葉政賢、許維庭，「道路建設綠營建評估指標系統之研究」，技術學刊第二十一卷(2006)。
162. 彭添富、李有豐、施邦築、韓茂樹等人，「複合材料補強 RC 結構設計驗證計畫」，工研院材料研究所 (1997)。
163. 鈴木・茂，「雨水流出抑制設施「雨水浸透・雨水貯留」」，下水道新技術

- 推進機構(2003)。
164. 馮鵬、葉列平，「FRP 材料及結構在橋梁工程中的新應用」，第十五屆全國橋梁學術會議論文集 (2002)。
165. 馮鵬、葉列平，「FRP 夾心橋面板及新型 FRP 組合橋面板」，中國公路學會橋梁與結構工程學會 2002 年全國橋梁學術會議論文集 (2002)。
166. 馮鵬、葉列平，「纖維增強複合材料橋面板的應用與研究」，工業建築 (2004)。
167. 楊忠勳，應用 BMP TOOL BOX 模擬最佳管理措施之去除效率，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所(2008)。
168. 張瑞元，「纖維布貼片與水泥混凝土黏結效果之研究」，碩士論文，國立中央大學土木研究所 (1997)。
169. 張永毅，「碳纖維棒應用於 RC 梁構件之研究」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災技術研究所 (2006)。
170. 榮工/奧村，「公共管線系統臨時遷移施工計畫書」，台北都會區大眾捷運系統松山線 CG590B 區段標工程書(2007)。
171. 鄭光炎，「營建生態工法及防災技術群 (4/4) -滲透性雨水下水道之應用推廣」，內政部營建署(2005)。
172. 廖朝軒，「都市生態貯留水循環技術之研究」，內政部建築研究所(2002)
173. 廖朝軒等，「建築基地保水滲透技術設計規範與法制化之研究-子計畫：滲透管溝工法性能實驗解析」，內政部建築研究所(2003)。
174. 劉宏業，「市區綠廊道規劃-以台北市三條幹道為例」，中國文化大學景觀學研究所碩士論文(2005)。
175. 劉皆誼，「人行道設施物管理問題與改善對策研究 — 以台北市為例」，碩士論文，淡江大學建築研究所 (2001)。
176. 羅紹麟，「影響行道樹景觀偏好及美質效益因素之研究-以台中市為例」，碩士論文，中興大學森林學系 (2006)。
177. 羅國軒，「纖維棒應用於梁構件力學行為與耐久性之研究」，碩士論文，國

- 立台北科技大學土木與防災技術研究所 (2007)。
178. 顏文震，「綠化空間發展策略之研究」，碩士論文，逢甲大學建築及都市計畫研究所 (2003)。
179. 謝宏松，「市區道路生態綠廊道整體建構計畫」，碩士論文，中興大學水土保持研究所 (2007)。
180. 簡臣佑，「人行道維護管理系統之研擬」，碩士論文，台北科技大學土木防災研究所 (2003)。
181. 蕭再安，「京都議定書生效後運輸部門因應策略」，全國能源會議(2005)
182. CCBOX 建設 21，<http://www.ccb20.com/index.htm>
183. http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/articles/article_421_en.html
184. <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0002215>
185. <http://en.structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0005203>
186. <http://hpwren.ucsd.edu/news/021115.html>
187. <http://www.acc-club.jp/index.html>
188. <http://www.bceo.org/technology.html>
189. <http://www.bec.iastate.edu/research/detail.cfm?projectID=498>
190. <http://www.fiberglassrebar.com>
191. <http://www.fiberline.com/gb/casestories/case1837.asp>
192. <http://www.highways.gov.uk/roads/projects/5968.aspx>
193. <http://www.iht.org/technicalaffairs/Awards07/innov1.pdf>
194. <http://www.ncn-uk.co.uk/DesktopDefault.aspx?tabindex=84&tabid=358>
195. <http://www.netcomposites.com/news.asp?3409>
196. <http://www.sunmates.co.jp/shohin/hokyo/sungu.html>
197. Low Impact Development (LID) Urban Design Tools Website :
<http://www.lid-stormwater.net/index.html>。
198. 內閣府防災情報網，<http://www.bousai.go.jp/>
199. 西雅圖凹凸鏡：<http://blog.yam.com/kueih sienl/article/2622895>。
200. 防災系統研究所，<http://www.bo-sai.co.jp/>

201. 美國 Indianapolis , <http://trailsurvey.urbancenter.iupui.edu/>
202. 東京國道事務所 , <http://www.ktr.mlit.go.jp/toukoku/index.htm>
203. 東京都防災網 , <http://www.bousai.metro.tokyo.jp/index.html>
204. 東京都建設局 , <http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/index.html>
205. 橫濱國道事務所 , <http://www.ktr.mlit.go.jp/yokohama/index.htm>
206. 首都高速道路株式會社 , <http://www.shutoko.jp/>
207. 國土交通省道路局 , <http://www.mlit.go.jp/road/index.html>
208. 內政部消防署 <http://www.nfa.gov.tw/>
209. 行政院災害防救委員會 , <http://www.ndppc.nat.gov.tw/>
210. 行政院農業委員會 <http://www.swcb.gov.tw//default.asp>
211. 經濟部水利署 , <http://www.wra.gov.tw/>

附錄(一)

緊急運送道路問卷調查表

附錄(一) 緊急運送道路現況問卷調查表

內容：請貴縣市提供目前規劃之緊急運送道路現況(輸送救援道路、替代道路以及鄰近之政府機關、醫院、避難收容地點)，請依下列相關調查格式填寫並檢附相關圖檔：

說明：緊急道路必須維持 20 m 以上的有效寬度，並能直接連通其他行政轄區，在同一行政轄區內，則可連通重要防救據點；救援輸送道路須維持 15 m 以上的有效寬度，並配合緊急道路架構成完整的救災路網；避難通道，以 8 m 以上道路且任一街廓包含兩條以上之避難通道。**緊急道路**：重大災害發生後，須能確保連絡災區與非災區，並得以連通各防災分區之道路；**救援輸送道路**：災害發生且災害底定後，作為運送救災物資、器材及人員等之通道；**消防道路**：針對災害延生之火災提供足夠寬度供消防車輛通行及消防機能足夠之操作空間；**避難通道**：災害發生時災區內人員可經由避難通道抵達緊急避難地點；**替代道路**：主要以避難道路及火災道路未劃入之道路，依都市危險據點位置，供災害發生時避難與救災之代替性道路；**避難輔助道路**：當避難場所、避難據點與不同層級的防災道路間，無法為救援輸送道路及避難通道涵蓋時，則增設輔助避難道路，以架構完整的防災交通動線系統。

請針對下列問題進行回覆：

1. 請問貴縣(市)防災道路之規畫局處(單位)：_____、承辦人：_____、聯絡電話：_____及其 e-mail：_____。
2. 請問貴縣(市)防災道路之管理及維護局處(單位)：_____、承辦人：_____、聯絡電話：_____及其 e-mail：_____。

3. 貴縣對於防災道路是否有制定規劃之準則？

☐ 否

☐ 有

4. 貴縣(市)是否規劃救援輸送道路(最小寬度 20M)？

☐ 否

☐ 是

5. 貴縣(市)是否規劃救援輸送道路之輔助備援道路？

☐ 否

☐ 是

6. 貴縣(市)是否有對救援輸送道路之橋樑進行巡查？

☐ 無

☐ 有 請詳列巡查局處(單位)_____。

7. 貴縣(市)是否有與相關廠商簽訂契約？

☐ 無

☐ 有

8. 請填寫貴縣(市)內之防災道路：

分類	路名	路寬	連接之防災據點 (醫院、避難收容所、政府機關)
輸送救援道路			
緊急聯外道路			
消防避難道路			
緊急避難道路			
替代道路			

9. 請填寫貴縣(市)內之防災據點

分類	名稱	位置(地址或鄰近道路)
醫療據點		
警察局		
消防局		
避難及收容場所 (學校、公園以及活動中心等)		

10. 請檢附貴縣市之防災道路規劃圖(替代道路圖、輸送救援道路圖、緊急聯外道路圖、消防避難道路圖、緊急避難道路圖、避難據點圖以及完整規劃之防災道路圖各一份)。

附錄(二)

各縣市問卷之統計資料

附錄(二) 各縣市問卷之統計資料

台北市

項目	回覆
防災道路規劃單位	都市發展局
防災道路維護單位	工務局新建工程處
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點之規劃	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局、2 年 1 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

高雄市

項目	回覆
防災道路規劃單位	交通局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☒ 無 ☐ 有
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

基隆市

項目	回覆
防災道路規劃單位	交通旅遊處
防災道路維護單位	工務處
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務處養護工程科
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

新竹市

項目	回覆
防災道路規劃單位	交通局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局、2 年 1 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

台中市

項目	回覆
防災道路規劃單位	都市發展局
防災道路維護單位	建設處
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點之規劃	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，建設處、1 年 1 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

嘉義市

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務處
防災道路維護單位	工務處
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☒ 無 ☐ 有
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

台南市

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局、1 年 2 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

台北縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	交通局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☐ 輸送救援道路 ☐ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☐ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☒ 無 ☐ 有
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

桃園縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	交通處
防災道路維護單位	交通處
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，交通處
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

新竹縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	消防局
防災道路維護單位	工務處
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，消防局工務處及交通部公路總局第一區養護工程處新竹工務段、每年至少 1 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

苗栗縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務局交通規劃課
防災道路維護單位	公路總局苗栗工務段(省道)及工務局交通規劃課(縣道)
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，公路總局苗栗工務段(省道)及工務局交通規劃課(縣道)、每年約 50 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

台中縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	消防局
防災道路維護單位	交通旅遊處
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務處
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

南投縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務處
防災道路維護單位	工務處
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☐ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☒ 無 ☐ 有
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

彰化縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	無
防災道路維護單位	公路總局第二區養護工程處彰化、南投、員林工務段
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☐ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，公路總局第二區養護工程處彰化、南投、員林工務段
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

雲林縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局、不定期
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

嘉義縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	交通局
防災道路維護單位	交通局
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，交通局、每年數次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

台南縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	無
防災道路維護單位	無
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☐ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☒ 無 ☐ 有
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

高雄縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☐ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

屏東縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	無
防災道路維護單位	無
制訂規劃準則	■ 無 □ 有
防災道路規劃狀況	□ 輸送救援道路 □ 緊急聯外道路 □ 消防避難道路 □ 緊急避難道路 □ 替代道路
防災據點規劃情形	■ 醫療據點 ■ 警察局 ■ 消防局 ■ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	□ 無 ■ 有，工務處、次數不一
開口契約之簽訂	□ 無 ■ 有
檢附圖說	■ 無 □ 有

宜蘭縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務處
防災道路維護單位	工務處
制訂規劃準則	□ 無 ■ 有
防災道路規劃狀況	■ 輸送救援道路 ■ 緊急聯外道路 □ 消防避難道路 ■ 緊急避難道路 ■ 替代道路
防災據點規劃情形	■ 醫療據點 ■ 警察局 ■ 消防局 ■ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	□ 無 ■ 有，1 年 1 次
開口契約之簽訂	□ 無 ■ 有
檢附圖說	■ 無 □ 有

花蓮縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局、2 年 1 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

台東縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	無
防災道路維護單位	無
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☐ 輸送救援道路 ☐ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☐ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☒ 無 ☐ 有
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

澎湖縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	消防局
防災道路維護單位	公路總局總區養護工程處澎湖工務段
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☐ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☒ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，公路總局總區養護工程處澎湖工務段、每月 1 次
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

金門縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務局
防災道路維護單位	工務局養護工程所
制訂規劃準則	☒ 無 ☐ 有
防災道路規劃狀況	☒ 輸送救援道路 ☒ 緊急聯外道路 ☒ 消防避難道路 ☒ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局養護工程所、不定期
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☐ 無 ☒ 有

連江縣

項目	回覆
防災道路規劃單位	工務局
防災道路維護單位	工務局
制訂規劃準則	☐ 無 ☒ 有
防災道路規劃狀況	☐ 輸送救援道路 ☐ 緊急聯外道路 ☐ 消防避難道路 ☐ 緊急避難道路 ☐ 替代道路
防災據點規劃情形	☒ 醫療據點 ☒ 警察局 ☒ 消防局 ☒ 避難及收容場所
定期橋梁巡查	☐ 無 ☒ 有，工務局
開口契約之簽訂	☐ 無 ☒ 有
檢附圖說	☒ 無 ☐ 有

附錄(三)

石碇鄉緊急運送道路之規劃

附錄(三) 石碇鄉緊急運送道路之規劃

一、現地調查

石碇鄉位在台北盆地之東南方，北與汐止市、平溪鄉、台北市南港區相接，東接坪林鄉，西與深坑鄉、新店市、台北市文山區相連接，南和烏來鄉相鄰，全鄉總面積為 144.3459 平方公里，目前石碇鄉內行政區域劃分為石碇、潭邊、烏塗、彭山、豐田、隆盛、豐林、中民、永定、光明、格頭、永安等 12 村，共 107 鄰。

在地形地勢上，多屬丘陵與中級山岳地區，其主要骨幹為雪山山脈及其支脈，高度為海拔 100 至 600 公尺，境內除景美溪、永定溪等河谷部分地勢較為平緩外，其餘皆為陡峭山區。

水文方面，雖然翡翠水庫之水壩本體位於新店市，但 10.24 平方公里的蓄水面積中，約有 92% 位於石碇鄉境內。鄉內之主要溪流，一為北面之永定溪，河道約為 20~30 公尺，其由藤寮坑溪匯流合成。東南面為景美溪支流崩山溪，河道較窄約 10~15 公尺，此兩溪再匯入深坑溪，其餘尚有許多野溪，雨季時水量豐富，乾季時則為乾涸。

在人口分佈方面，根據下表石碇鄉戶政事務所 97 年 8 月之人口統計資料顯示，石碇鄉劃分為 12 村 107 鄰，總人口數為 7845 人，其中以格頭、中民、隆勝、潭邊等村為人口較多之村落。

道路使用上，北宜高速公路，為主要幹道連通台北、宜蘭兩地，具有重要之交通運輸功能。縣道 106 及縣道 106 乙為主要連通深坑鄉及坪林鄉之重要道路。而道路上必經過新興橋以及雙溪橋兩座橋梁，須確保這兩座橋梁之穩固。

表 一 臺北縣 97 年 08 月份人數統計表

NO.	石碇鄉戶政事務所	鄰數	戶數	男	女	總人口數
1	中民村	14	334	530	416	946
2	光明村	5	146	170	118	288
3	彭山村	6	152	229	176	405
4	格頭村	13	447	532	434	966
5	永安村	6	309	382	313	695
6	永定村	10	263	413	354	767
7	潭邊村	10	348	462	375	837
8	烏塗村	10	345	432	313	745
9	石碇村	9	187	274	240	514
10	豐林村	5	94	159	139	298
11	豐田村	7	248	298	209	507
12	隆盛村	12	302	481	396	877
	總計	107	3175	4362	3483	7845

資料來源：石碇鄉戶政事務所

二、天然災害潛勢調查

水保局公佈之土石流潛勢溪流，係指溪床坡度大於十度以上且該點之集水面積大於三公頃者，則視為土石流潛在地點，另如溪流下游出口或溢流點處有住戶三戶以上或有重要橋梁、道路需保護者，亦需列入調查範圍，調查時應依現地各項特徵，將危險度區分為「高」、「中」、「低」、「持續觀察」等四個等級。在石碇鄉境內共有 9 條土石流潛勢溪流，其中潭邊村就有 5 條潛勢溪流之存在。



圖一 石碇鄉土石流潛勢溪流

資料來源：行政院農業委員會水土保持局全球資訊網

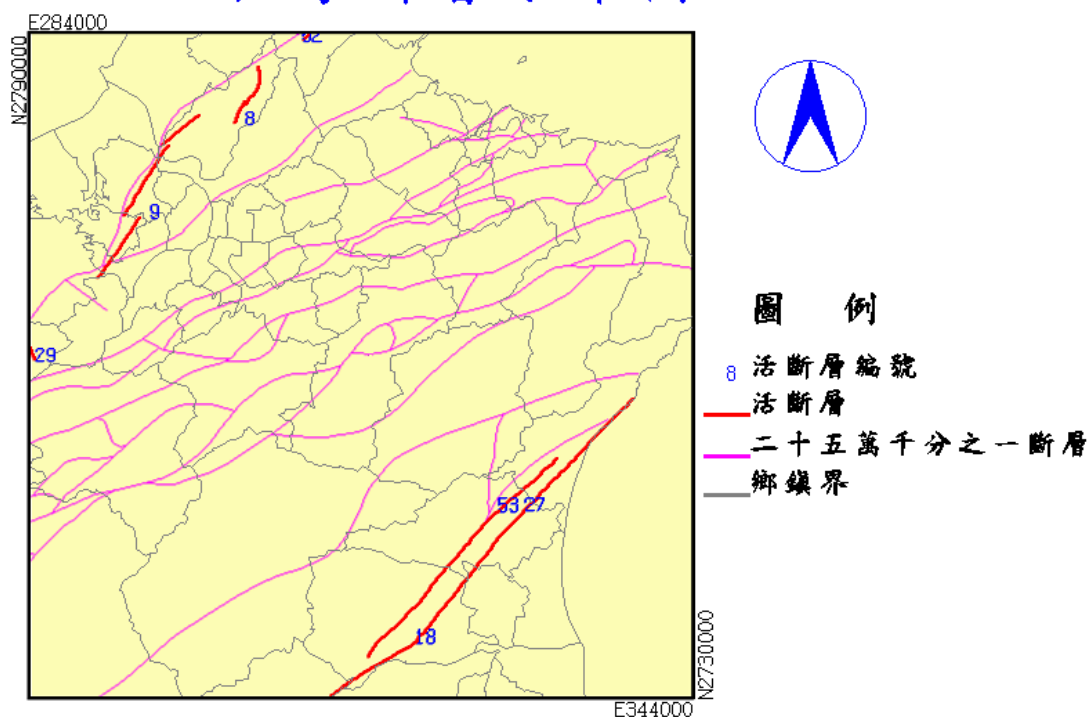
依台北縣地區災害防救計畫中所述，大台北地區主要活斷層有金山斷層、嵌腳斷層、台北斷層、新店斷層等四條活斷層，石碇鄉境內雖無經過，但地區內有相當多斷層經過，斷層分布情形可經由中央地質調查所查得，如下圖。亦可由國立中央大學應用地質研究所工程地質與防災科技研究室所發展之台灣活斷層查詢系統進行查詢，如下圖。



圖二 中央地質調查所斷層資料

資料來源：經濟部中央地質調查所

台灣斷層分布圖



圖三 台灣活斷層查詢系統

資料來源：<http://gis.geo.ncu.edu.tw/act/actq.htm>

利用國家災害防救科技中心提供之淹水潛勢資料，查得台北縣市單日降雨量達 600 毫米淹水深度圖，可發現石碇鄉地區應無淹水災害之發生，由過去的災害歷史中，石碇鄉地區不會因豪雨造成淹水之情形。

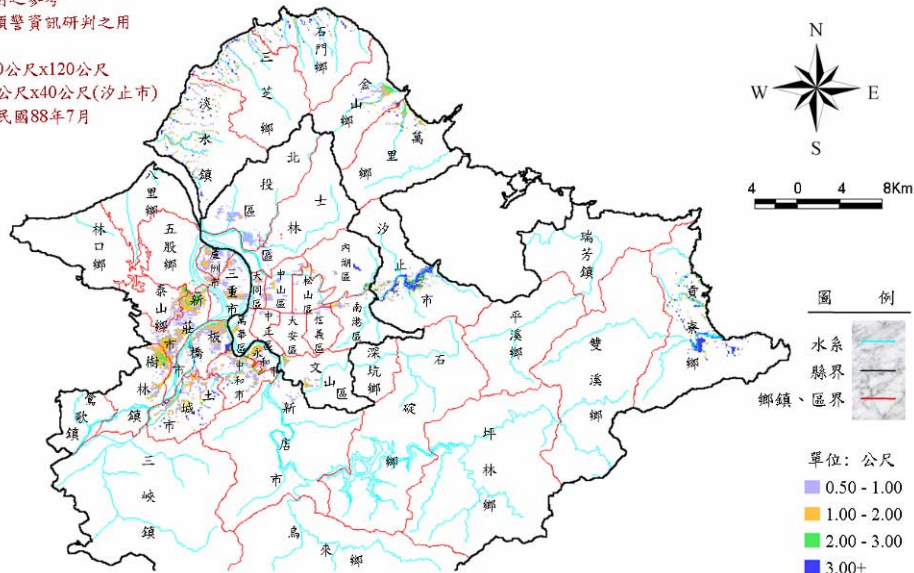
用途：

- 1.擬訂地區防災基本計畫及業務計畫之參考
- 2.國土或城鄉規劃之參考
- 3.颱風期間淹水預警資訊研判之用

資料解析度：120公尺x120公尺

40公尺x40公尺(沙止市)

資料製作時間：民國88年7月



台北縣市淹水潛勢總圖(600毫米/日)

國家災害防救科技中心 製作

圖四 台北縣市淹水潛勢資料

資料來源：國家災害防救科技中心

三、調查各類救災據點與避難據點

在救災避難據點的開設上主要以台北縣地區災害防救計畫以及水保局所公佈的據點為主，據點主要區分為救災據點及避難據點兩類，救災據點又包括鄉公所應變中心、醫療據點、警察局、消防局以及直升機起降場等五項，石碇鄉境內之醫療據點僅有石碇鄉衛生所一處，顯然在遭遇災害時，醫療方面會有不足之現象，故在石碇鄉外規劃了一處醫院，作為災害時受傷之民眾可外送急救之醫療據點，詳細各據點位置如下表所示。

表二 避難與救災據點調查表

分類	名稱	位置
縣市政府或鄉鎮市公所(應變中心)	石碇鄉公所	石碇鄉潭邊村石炭 25 號
醫療據點	石碇鄉衛生所	石碇鄉潭邊村石炭 27 號
	台北市立萬芳醫院	台北市文山區興隆路三段 111 號
警察局	石碇分駐所	石碇鄉潭邊村涌窟 20 號
	中民派出所	石碇鄉中民村石碇仔埔 1 號
	潭邊派出所	石碇鄉格頭村北宜路五段 42 號
	豐田派出所	石碇鄉豐田村磨石坑 8 號
	楓子林派出所	石碇鄉豐林村楓子林 32 號
消防局	石碇消防分隊	石碇鄉潭邊村涌窟路 9 之 1 號
避難及收容場所	石碇高中附設國中	石碇鄉隆盛村八分寮 45 號
	和平國小	石碇鄉隆盛村八分寮 5 號
	石碇國小	石碇鄉石碇村石碇西街 15 號
	永定國小	石碇鄉永定村蚯蚓坑 22 號
	雲海國小	石碇鄉格頭村坑內 1 號
	石碇淡蘭藝文館	石碇鄉石碇村石碇東街 87 號
	姑娘廟香客大樓三樓以上	石碇鄉永定村大湖格路 23-2 號
	五路財神廟	石碇鄉永定村大湖格路 20-1 號
	格頭活動中心	石碇鄉格頭村北宜路五段 3 號
	烏塗活動中心	石碇鄉烏塗村烏塗窟 20-1 號
	豐田活動中心	石碇鄉豐田村磨石坑 10 號
	中民活動中心	石碇鄉中民村石碇子埔 30 號
直升機起降場	五路財神廟廟前廣場	石碇鄉永定村大湖格路 20-1 號
	石碇高中操場	石碇鄉隆盛村八分寮 45 號
	雲海國中操場	石碇鄉格頭村坑內 1 號

四、緊急運送道路之規劃

石碇鄉內道路稀少，在規劃上僅劃設出輸送救援道路、緊急聯外道路及緊急避難道路等三層級之道路，而劃設之道路必定通過土石流潛勢區，故須特別注意災時中斷搶通之作業。因其道路稀少，原本劃設為輸送救援道路之路線，

於災時必須管制人員通行，但因其路少，故災時第一時間須以人員救助及輸送為優先，初期管制車輛進出，爾後俟狀況再行開放局部車輛交通管制。

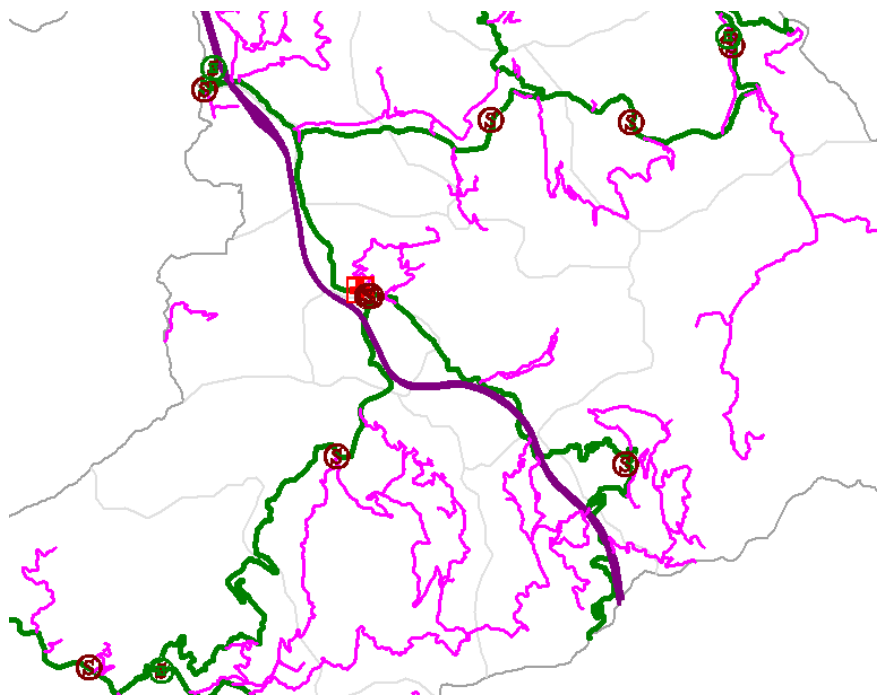
表三 緊急運送道路分類表

分類	路名	連接之救災與避難據點
輸送救援道路	縣道 106(土庫路、八分寮路、新興橋、雙菁公路、雙溪橋)、縣道 106 乙(石碇西街、豐田道路)、省道 9 號(北宜公路)、汐碇路、碇南路	石碇鄉公所、石碇鄉衛生所、石碇分駐所、中民派出所、潭邊派出所、豐田派出所、楓子林派出所、石碇消防分隊、石碇高中附設國中、和平國小、石碇國小、永定國小、雲海國小、石碇淡蘭藝文館、姑娘廟香客大樓三樓以上、五路財神廟、格頭活動中心、烏塗活動中心、豐田活動中心、中民活動中心
緊急聯外道路	國道 5 號(蔣渭水高速公路)	台北市、宜蘭縣
消防避難道路	--	--
緊急避難道路	除輸送救援道路及緊急聯外道路以外之道路。	石碇鄉公所、石碇鄉衛生所、石碇分駐所、石碇消防分隊、石碇淡蘭藝文館、石碇國小、姑娘廟香客大樓三樓以上、五路財神廟、雲海國小、格頭活動中心、烏塗活動中心、潭邊派出所
替代道路	--	--

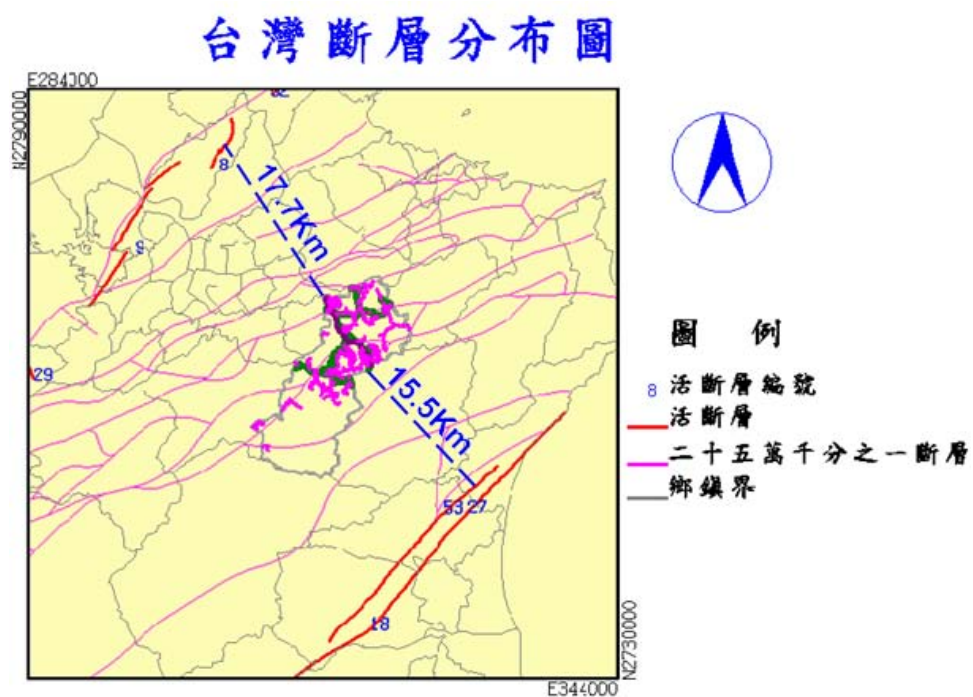
五、檢核緊急運送道路

在進行檢核的作業上，主要使用的方式有三種：其一為使用資訊系統，針對所規劃之內容進行數化，並與水土保持局、中央地質調查所等公開資訊，套疊、檢視所規劃之內容是否達至要求；其二則是到現場進行勘查，檢查規劃之內容；最後則是與鄉公所人員進行訪談，瞭解鄉鎮中之狀況，進行評分。下圖五為將所規劃之避難救災據點與道路進行數化，利用套疊方式，如此可立即判斷出所規劃之道路是否通過重要之據點。圖六到圖八是以公開資訊與數化後之道路圖進行套疊，可以從套疊後之圖層中立即判斷規劃道路之情形。圖九為97年8月19日到現地所看到之問題點，落石堆於路旁造成道路寬度減少。並與石碇鄉建設課之人員請教其針對災害平時之整備情形，進而完成表四之評分，評分後之結果顯示規劃之緊急運送道路尚可，根據規劃情形尚有可改善之處，改善建議如下：

- 1.鄉內缺乏醫療資源，須整備緊急醫療物資，必要時需調派外縣市醫生進駐。
- 2.道路會因落石或路旁樹枝掉落減少道路之有效寬度，須針對常發生落石的區段進行巡視清理，並採取工程手段進行改善。
- 3.道路橋梁須進行定期巡查，並針對強度不足之橋梁進行補強。
- 4.擋土設施須定期巡視，針對毀損的部份進行修復。
- 5.須調查易坍方地區，並設立警告標示，災時優先進行巡視，至少要維持一線道之暢通。

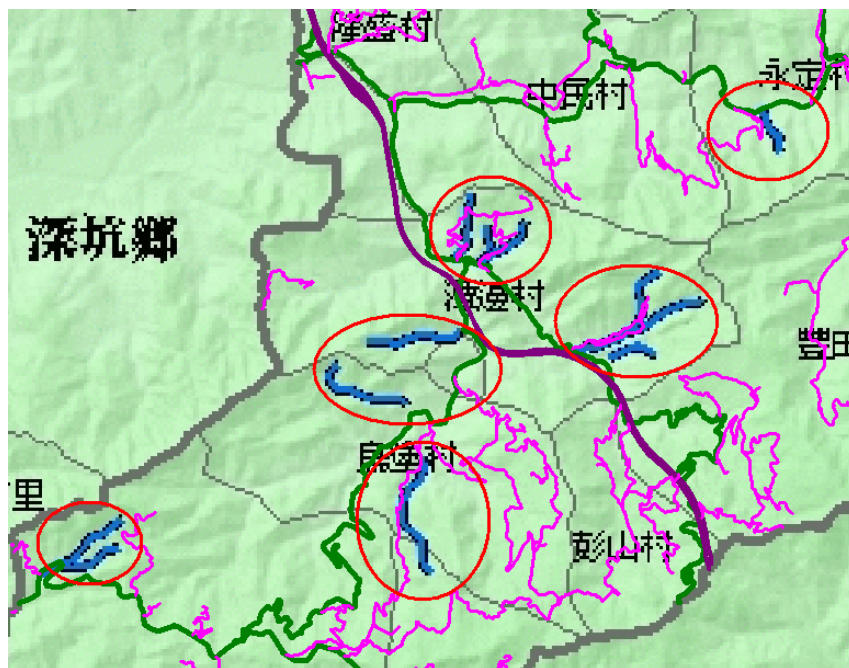


圖五 避難救災據點與道路圖層之套疊



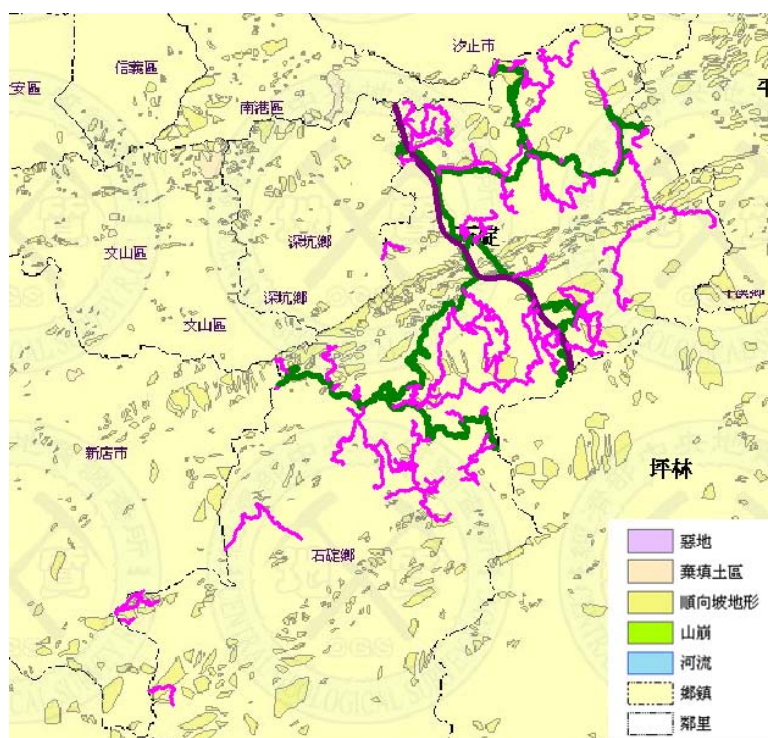
圖六 台灣斷層分布與道路圖層之套疊

底圖資料來源：<http://gis.geo.ncu.edu.tw/act/actq.htm>



圖七 土石流潛勢溪流與道路圖層之套疊

底圖資料來源：行政院農業委員會水土保持局全球資訊網



圖八 環境地質與道路圖層之套疊

底圖資料來源：經濟部中央地質調查所



圖九 縣道 106 乙落石減少路寬

表四 石碇鄉緊急運送道路規劃檢核表

檢核項目	檢核要點	配分項目(配分)	無 (0分)	有 (依配分)	備註
1.連接避難場所	檢核道路是否緊臨或連接政府所規劃之避難場所(緊急避難場所、臨時收容場所、中長期收容場所)。	1.緊急避難場所。(2分)		2	
		2.臨時避難場所。(2分)		2	
		3.臨時收容場所。(2分)		2	
		4.中、長期收容場所。(2分)		2	
2.連接醫療院所	檢核道路是否緊臨或連接醫療院所(醫學中心、區域醫院、地區醫院)。	1.醫學中心。(緊鄰2分連接1分)	0		
		2.區域醫院。(緊鄰2分連接1分)	0		
		3.地區醫院。(緊鄰2分連接1分)		2	
		4.緊急聯外道路有連接至外縣市之醫院。(1分)		1	
3.連接救災據點	檢核道路是否緊臨或連接救災據點。	1.縣市政府應變中心。(緊鄰2分連接1分)	0		
		2.鄉鎮市公所應變中心。(緊鄰2分連接1分)		2	
		3.警察單位。(緊鄰2分連接1分)		2	
		4.消防單位。(緊鄰2分連接1分)		2	
		5.直升機起降場。(緊鄰2分連接1分)		2	
4.路燈維護	路燈是否妨礙交通之順暢。	1.路燈基座避免遭受破壞而不穩。(1分)		1	
		2.燈桿避免傾斜或變形。(1分)		1	
		3.路燈避免倒塌妨礙交通。(1分)		1	
5.信號燈耐災規劃	信號燈能否於災時發揮其機能。	1.燈號正常。(1分)		1	
		2.具獨立之供電系統。(1分)	0		
		3.基座避免遭受破壞而不穩。(1分)		1	
		4.燈桿避免傾斜或變形。(1分)		1	
		5.信號燈避免倒塌妨礙交通。(1分)		1	
6.電線杆維護	電線杆是否妨礙交通之順暢。	1.電纜正常配置。(1分)		1	
		2.電箱避免破壞或掉落。(1分)		1	

表四 石碇鄉緊急運送道路規劃檢核表(續)

		3.電線杆避免劣化或遭人為損壞。(1分)		1	
		4.電線杆避免倒塌妨礙交通。(1分)		1	
7.廣告 T 壩(招牌)管理	廣告 T 壩(招牌)是否會掉落倒塌妨礙交通。	1.鐵桿避免鏽蝕。(1分)		1	
		2.廣告 T 壩(招牌)穩固不搖。(1分)		1	
		3.基座確實固定。(1分)		1	
		4.規劃地區無廣告 T 壩(招牌)(1分)	0		
8.路樹管理	路樹是否會傾倒妨礙交通。	1.樹枝不會掉落妨礙通行。(1分)	0		
		2.路樹確實扎根於土壤中。(1分)		1	
		3.不因過高而攔腰折斷。(1分)	0		
9.保持道路原有寬度	道路是否失去原有之寬度妨礙避難行為以及搶救災作業。	1.路旁避免停放過多車輛妨礙通行。(1分)		1	
10.平時整備制度	檢核是否有規劃災前災後之整備、應變及復舊之行動。	2.障礙物避免堆放於道路兩旁。(1分)	0		
		1.規劃災時之搶救機制。(1分)		1	
		2.救災用之機具及裝備整備及維護及人員整備。(1分)		1	
		3.簽訂開口契約。(1分)		1	
		4.針對救災人員進行防災教育。(1分)		1	
		5.針對防災計畫進行定期之防災演練。(1分)		1	
11.避開地震斷層或設計採用防災工程	利用經濟部中央地質調查所所開發之「地質資料整合系統」檢視所規劃之緊急運送道路至地震斷層之最短垂直距離。	1.大於 500 公尺。(3分)		3	
		2.介於 100-500 公尺。(1分)	0		
		3.設計採用防災工程(5分)		5	
12.橋梁耐震評估與補強或災時緊急應變對策	檢核橋梁是否劣化、有無規劃補強修復措施及緊急應變對策。	1.定期進行橋梁巡查。(1分)	0		
		2.進行耐震評估。(1分)		1	
		3.針對評估後結果進行補強。(1分)		1	
		4.災時橋梁緊急修復措施。(1分)	0		
		5.規劃臨時便橋等替代措施。(1分)	0		

表四 石碇鄉緊急運送道路規劃檢核表(續)

13.四周建築物結構	檢視建築物之結構類型，不同結構有不同之耐震能力。	1.磚結構。(1分)			
		2.鋼筋混凝土結構。(2分)	3.鋼骨結構。(3分)	4.鋼骨鋼筋混凝土結構。(5分)	1
14.避開淹水潛勢或設計採用防災工程	利用國家災害防救科技中心之淹水潛勢圖，檢視規劃之道路為非淹水範圍內。	1.避開 600 公釐降雨造成 50 公分以上淹水區域。(3分)		0	3
15.避開土石流潛勢溪流或設計採用防災工程	利用水土保持局公佈土石流潛勢分佈圖，檢視規劃緊急運送道路是否在潛勢溪流範圍內。	2.設計採用防災工程。(5分)			5
16.避開坡地災害	檢視是否可能產生坡地災害，坡地災害的產生會危及道路之暢通。	1.避開土石流潛勢區。(3分)		0	
		2.設計採用防災工程。(5分)			5
		1.非順向坡地形。(1分)		0	
		2.地表植被無遭受破壞。(1分)		0	
		3.岩層無破碎。(1分)		0	
		4.擋土設施不具裂縫。(1分)		0	
		5.擋土設施無傾斜。(1分)		0	
		6.擋土牆之排水孔正常出水。(1分)			1
		7.排水孔排出之水清澈。(1分)			1
		8.地錨錨頭無開裂、鏽蝕。(1分)			1
成績計算		72			
評估情形		☐ 規劃良好(80分) ☒ 規劃尚可(60-79分) ☐ 有待加強(40-59分) ☐ 重新規劃(39分以下)			

六、繪製緊急運送道路圖

緊急運送道路圖上主要標示出石碇鄉之避難及救災據點並規劃出各層級之道路，而救災據點的標示上又分為醫療據點及直昇機起降地點等；在劃設道路時，使用不同粗細及顏色之線條進行標示，輸送救援道路以綠色標示、緊急聯外道路以紫色標示，緊急避難道路以粉紅色標示，如附圖所示。

附錄(四)

國內自行車道調查

附錄(四) 國內自行車道調查

根據交通部運輸研究所「腳踏車專用道之規劃研究」(1999)將自行車道依其路權使用形式區分為自行車專用道路、自行車專用車道及自行車共用車，本研究於 2008 年調查全國自行車道依自行車道長度、是否提供租賃服務及自行車道類型歸納整理如下表所示，以茲參考。

註：表中自行車道類別以個別代號敘述之。

P：自行車專用道路（Bike Path）

L：自行車專用車道（Bike Lane）

R：自行車共用車道（Bike Route）

序	自行車專用道	長度(km)	地點	租借服務	自行車道類別
1	基隆河自行車道	16.0	基隆市市南湖大橋	●	P
2	關渡口自行車道	12.0	台北市關渡捷運站	●	L
3	社子島自行車道	4.0	台北市社子島尖端	●	P
4	景美溪自行車道	4.0	台北市道南河濱公園	●	P
5	新店溪自行車道	14.0	台北市景美舊橋	●	P
6	淡水河自行車道	30.0	台北市桂林路底	●	P
7	八里左岸自行車道	15.0	台北縣觀音坑溪口	●	P
8	金色水岸自行車道	15.0	台北縣觀山公園	●	P
9	東北角龍門自行車道	4.0	台北縣龍門露營區	●	P
10	二重環狀自行車道	24.0	台北縣疏洪運動公園	●	P
11	新城自行車道	30.0	台北縣新店碧潭橋	●	P
12	鶯三自行車道	16.0	台北縣鶯歌陶瓷博物館	●	R
13	濱海線自行車道	5.0	宜蘭縣壯圍東港		L
14	宜蘭河自行車道	6.7	宜蘭縣員山公園		R
15	冬山河自行車道	6.5	宜蘭縣冬山火車站	●	P
16	安農溪自行車道	8.0	宜蘭縣安農溪		R
17	雙園線自行車道	8.5	宜蘭縣運動公園	●	P

18	大溪自行車道	5.0	桃園縣頭寮陵寢	●	P
19	大園自行車道	1.0	桃園縣溪海花卉園區	●	L
20	龍潭自行車道	2.7	桃園縣龍元路	●	R
21	三坑自行車道	0.5	桃園縣三坑老街	●	P
22	海岸線自行車道	17.0	新竹市漁港環保公園	●	P
23	苗栗市自行車道	2.0	苗栗市貓狸山公園	●	P
24	南勢山自行車專用道	24.0	苗栗縣南勢山	●	P
25	東豐自行車綠廊	11.0	台中縣石岡水壩	●	P
26	后豐鐵馬道	4.6	台中縣后里馬場	●	P
27	潭雅神綠園道	12.0	台中縣潭子加工區	●	P
28	匠師的故鄉自行車道	2.8	台中縣大甲鎮濱海堤防	●	P
29	都會公園自行車道	1.8	台中市都會公園	●	L
30	北屯后庄庄內鐵馬道	6.0	台中市敦化公園	●	R
31	南屯協和南巷單車道	3.0	台中市協和南路		R
32	百花騎放自行車道	7.0	彰化縣田尾花園園區	●	P
33	鹿港老街自行車道	0.8	彰化縣天后宮	●	P
34	集集自行車道	1.8	南投縣集集火車站		P
35	親水公園自行車道	1.7	南投縣親水公園		L
36	中明自行車道	2.5	南投縣中明懷舊縣道		R
37	集集綠色隧道	4.5	南投縣集集隧道	●	R
38	農業休閒自行車道	2.0	南投縣青竹文化園區		R
39	鯉魚潭自行車專用道	4.0	花蓮縣鯉魚潭	●	L
40	朴子溪自行車道	25.0	嘉義六家佃長壽橋頭	●	P
41	白河蓮鄉自行車道	32.0	台南縣蓮潭社區	●	R
42	旗津自行車踩風大道	17.0	高雄市旗津半島	●	P
43	美濃老街單車行	1.2	高雄縣永安老街		P
44	美濃環湖觀景自行車遊	60.0	高雄縣中正湖	●	P
45	森林公園自行車專用道	5.0	台東市琵琶湖	●	R
46	馬亨大道自行車專用道	10.0	台東市卑南文化公園	●	P
47	關山環鎮自行車道	12.0	台東縣關山親水公園	●	P
48	池上自行車專用道	8.0	台東縣池上	●	R
49	萬巒鄉自行車道	6.0	屏東縣豬腳街	●	P
50	金寧戰役史蹟線自行車道	17.0	金門縣古寧頭	●	L

P：共有 31 條。L：共有 7 條。R：共有 12 條。

附錄(五)

我國機動車輛平均保險費之計算

附錄(五) 我國機動車輛平均保險費之計算

機動車輛保險費用方面，得依交通工具所有人或使用人之需求逕行投保，惟財政部「強制汽車責任保險」(2008)為強制交保，故本研究僅針對機動車輛強制責任險部份進行平均保險費用之量化計算，則台灣地區汽車之平均保險費如表 A 所示。

表 A 台灣地區汽車之平均保險費(元/年)

自小客車強制責任險費用										
年齡	20歲以下		20-25歲		25-30歲		30-60歲		60歲以上	
性別	男	女	男	女	男	女	男	女	男	女
1級	4057	2816	3761	2625	2536	1931	1842	1724	1916	1532
2級	3791	2551	3496	2359	2270	1665	1576	1458	1650	1266
3級	3673	2433	3377	2241	2152	1547	1458	1340	1532	1148
4級	3614	2374	3318	2182	2093	1488	1399	1281	1473	1089
假設保險費用層級呈平均分佈										
SUM(男)	15135		13952		9051		6275		6571	
SUM(女)		10174		9407		6631		5803		5035
各級平均保費	3783.75	2543.50	3488.00	2351.75	2262.75	1657.75	1568.75	1450.75	1642.75	1258.75
百分比(%)	3.0				11.4		60.5		25.1	
依各年齡層比例計算平均保險費用										
AVG(男)	1837.51									
AVG(女)	1529.49									
平均保險費金額均坐落於常態分佈範圍為合理狀態										
代入男女權重比例，可得每車平均保費N										
N=1685										

依交通部「台灣地區公路車輛行車成本調查」(1994)指出：台北市自小客車駕駛人年齡層分析，如表 B 所示。

表 B 台北市自小客車駕駛人年齡層分析

年齡	百分比
25 歲以下	3.0%
25~30 歲	11.4%
30~60 歲	60.5%
60 歲以上	25.1%

另依台北市政府「台北市重要統計速報」(2007)之統計資料顯示：台北市男女人口數，如表 C 所示，並據此統計男女權重比例。

表 C 台北市男女人口數及權重比例

男性年齡	各層保費金額	百分比	金額
20 歲以下	3783.75	3.0%	218.13
20~25 歲	3488.00		
25~30 歲	2262.75	11.4%	257.95
30~60 歲	1568.75	60.5%	949.09
60 歲以上	1642.75	25.1%	412.33
平均保費			1837.51

女性年齡	各層保費金額	百分比	金額
20 歲以下	2543.50	3.0%	146.86
20~25 歲	2351.75		
25~30 歲	1657.75	11.4%	188.98
30~60 歲	1450.75	60.5%	877.70
60 歲以上	1258.75	25.1%	315.95
平均保費			1529.49

台北市男女比例			
性別	人數	總和	權重
男	11,545,418	22,790,250	0.506594618
女	11,244,832		0.493405382

依表 B 及表 C 之顏色分別帶入表 A 中計算，即可得台灣地區汽車之年平均保險費用。

附錄(六)

國科會審查意見回覆表

附錄(六) 國科會審查意見回覆表

97 年摘要說明書審查意見回覆表

審議編號：97-0801-02-03-02

計畫名稱：市區道路及其附屬設施技術發展中程綱要計畫(2/4)

申請機關 (單位)：內政部營建署

審查意見	部會署說明
1.本計畫內容分為三部分：(1)提升市區道路品質研究、(2)提升市區橋梁品質研究、(3)防災道路維護管理研究。政策依據不明確，但是計畫內容是依照前一期領域策略規劃之結論擬定，並且研究成果有其社會價值。	1.本計畫之政策依據係依據（1）NSTP FY2001 0305020100：1.加強防救災科技研發成果之落實與應用。（2）NSTP FY2001 0305090300：3.提升都市透水及保水環境，並推動營建減廢政策。建立營運及資源回收利用體制、訂定營建廢棄物減量及再利用指標。（3）NSTP FY2001 0305090400：4.建立公共建設營運偵測管考體制，制定公共建設營運壽命周期之保固評核基準及公共建設資源整合運作利用機制。及（4）NSTP FY2005 0405020000：（二）環境科技與永續發展相關政策加以擬定，且計畫目標係以建立市區道路及其附屬設施完整之緊急防、救災維生系統，以營造優質、便捷、安全及永續發展的生活環境為目標，政策依據應屬明確，將參照委員所提意見，強化本計畫摘要說明書之內容，並納入年度綱要計畫之政策目標及依據中，加強與政策依據之聯結性及明確性，以釐清說明。
2.政策目標停留於概念性的文字描述，應轉化為定量性的政策內涵，以便與計畫目標做聯結。	2.本計畫之政策目標係以建立市區道路及其附屬設施完整之緊急防、救災維生系統，以營造優質、便捷、安全及永續發展的生活環境為目標，惟似僅概念性文字描述，未能有效與計畫目標相聯結；因此未來本計畫年度綱要計畫書中，將依據委員寶貴建議，強化定量性之政策內涵，以便與本計畫

	政策目標做緊密聯結。
3.政策內涵應針對現況問題最優先解決的問題提出方向與目標，以作為計畫目標之建立。	3.本計畫分年工作重點推動項目及目標之訂定，將依據本署年度邀請產、官、學各界專家與學者，召開推動策略研商會議，以排定年度優先推動之工作項目，並據以研擬工作計畫內容，以擬定最符合現階段應優先解決之相關研究課題。
4.分項計畫應說明執行之後與政策目標的對應關係(預期效益)。	4.本計畫有關分項推動計畫共分為：(1)提升市區道路品質研究、(2)提升市區橋梁品質研究、(3)防災道路維護管理研究三部分，將依據委員寶貴意見，於年度綱要計畫書中，將分項計畫之政策目標與預期效益間之對應關係釐清說明，以利本計畫後續計畫主要績效產出之考核與評量參考。
5.計畫目標與內容流於分散與形式，無法達到實質績效(例如，舉辦研討會只是討好學術界的做法，應無實效，應以具體計畫項目為執行方案)	5.本計畫目標將將依據本署年度邀請產、官、學各界專家與學者，召開推動策略研商會議，以排定年度優先推動之工作項目，並據以研擬分年工作重點推動項目，重新檢視與修正，明確納入中綱計畫書訂定，以提升本計畫執行後之實質績效。
6.與公共建設相關研究計畫最重要的成果是「提出解決方案並具體落實」，不是學術論文的產出。就「提出解決方案」部分而言，本計畫的研究內容確實有針對問題提出技術對策，值得肯定；在「具體落實」部分，「提升市區橋梁品質研究」有具體落實到地方政府之規劃；「防災道路維護管理研究」有示範案與制度建立之規劃，均值得嘉許；「提升市區道路品質研究」部分有辦理技術轉移的活動，但是落實到	6.內政部為市區道路主管機關，如何提昇市區道路及其附屬設施規劃、設計、施工、維護管理及監測技術，並融入低環境衝擊、低資源耗費、資源回收與永續再利用之生態工程觀念，積極投入新材料、新工法之研發，以提昇其生命週期各階段之品質與效能，並減少對環境面之衝擊，進而達到公共工程優質化與永續發展，為本計畫之目標重點。因此，本計畫預期成果部分，特別強調技術研發之具體落實應

公共設施管理部門的規劃較不清楚，這一部份需要在綱要計畫書中補充說明。	用與推廣，包括落實地方政府應用、建立示範案例與制度建立及相關技術手冊訂定等，至委員所提「提升市區道路品質研究」部分，相關研發技術，如何落實移轉部分，遵照委員建議，將納入年度綱要計畫書補充具體推動方案內容，以釐清說明。
7.此計畫架構不健全,政策內涵不明確,無法與計畫目標作銜接。	7.本計畫將參照委員意見,修正摘要說明書及綱要計畫書有關推動架構與分年工作項目內容,以強化本計畫架構與目標相互間之聯結性。
8.計畫內容依過去經驗判斷 cannot 產生具體效益。	8.本計畫有關具體成果與預期效益部分,參考委員寶貴建議意見,於年度綱要計畫書中,檢討並落實訂定與調整,以提昇本計畫具體效益。
9.本計畫之精神為技術發展,應設定政策目標需求的內涵,採取公開徵求可以達到政策目標的執行計畫,只要能建立達到"市區道路完整之緊急防救災維生系統,以營造優質便捷安全及永續發展的生活環境"之政策目標就是好計畫,目前預定的子計畫並未說明一定產生最好的結果。	9.本計畫係將本署歷年研發成果予以加值、整合並落實應用,以擴大其實質效益為目的,規劃為期四年(96至99年)市區道路及其附屬設施技術研發計畫,在歷年研究基礎上,透過市區道路養護技術、橋梁延壽技術與管理及防災道路規劃等研發成果之有效整合,達到低環境衝擊、低資源耗費、延長生命週期及追求人車共存,構築優質化、安全與便捷之都市交通網脈,營造永續發展的生活環境為目標。
10.似乎也是連續性之委託計畫,容易變成學術性綁標。	10.本計畫執行團隊產生方式,將依政府採購法公開上網招標方式,秉持公平、公正及公開之評選原則,評選出本計畫優勝團隊,並將未得標之團隊所提服務建議書,一併納入本計畫年度工作修正參考。另於年度結案時,建立一套計畫管考與評核配套機制,以確保計畫執行績效。
11.績效指標偏於產出性及流於空洞。	11.本計畫績效指標訂定方式,將參酌委員所提寶貴意見,並依照國科會制訂之指標參考內容,衡量本計畫整體執行能量,於年度綱要計畫書中嚴謹訂定具體、合理與確實可行之績效指標,以免流於空洞。

97 年綱要說明書審查意見回覆表

審議編號：97-0801-02-03-02

計畫名稱：市區道路及其附屬設施技術發展中程綱要計畫(3/4)

申請機關 (單位)：內政部營建署

審查意見	部會署說明
1. 本計畫所執行三項子計畫雖是市區道路相關所提工程技術研發計畫，但後續工作計畫書應加強其間之整合運用與關連性，以提昇本計畫之實質效益。	1. 本計畫後續執行中將召開多次跨計畫之會議協商，加強其間之整合運用與關聯性，並舉行專家座談會以提升本計畫之實質效益，以為因應。
2. 本計畫在擬定研究主題時尚未針對實務問題，有點太著重純學術的方向定義。未能針對本土現有最須解決的問題及各縣市水準不同加以考慮。計畫的執行應詳細了解各級政府之需求，以免研究出各級政府無法採用的內容。	2. 本計畫內容以過去研發之理論為基礎，並在實務可應用之範圍內進行研究。計畫中將同時考量各縣市不同條件與各級政府之需求。
3. 由於各縣市政府公共設施品質常受人詬病，少數縣市政府雖有零星成功案例(如宜蘭冬山河岸、高雄愛河河岸與台北八里左岸等)，但其施工與使用經驗，並未廣泛交流。希望本計畫能將過去台灣已累積之成功與失敗經驗，一併進行檢討與改進。此外，為提昇本計畫之效益，建議配合各縣市之重劃與更新計畫，以增加實作案例；最後，希望本計畫能整合生態工法與綠營造等相關計畫，共同制定有關永續都市道路及設施之設計與施工規範。	3. 本計畫將採過去已累積之成功與失敗經驗，進行案例評估檢討，提出具體改進建議。另為提昇本計畫之效益，將舉行多場之教育訓練，或是以參加展覽之方式宣揚理念及成果。
4. 主要績效指標(KPI)相關建議事項： (1) KPI 應根據計畫之具體目標，以及所羅列之社會、經濟與技術效益，訂定出可評估之量化指標。 (2) 可以實務引用的工程件數及道路面積做為績效指標。	(1) 將依據計畫之具體目標，訂定出可評估之量化指標。量化指標如工程件數、道路長度及面積等因素，將考量資料之代表性、可取得性及其正確性。 (2) 預計提供 2~3 件再生材料或高性能材料應用於市區道路之引用工程及道路面積約 1500 m ² 。

98 年摘要說明書審查意見回覆表

審議編號：98-0801-02-05-02

計畫名稱：市區道路及其附屬設施技術發展中程綱要計畫(3/4)

申請機關 (單位)：內政部營建署

審查意見	部會署說明
1.本計畫所植基的策依據主要為:全國科學技術會議國家科學技術發展計畫遠景與重要措施第五項促進科技民生應用,強化社會互動發展之(二)環境科技與永續發展,包括環境品質之提升、全球環境變遷之因應、防災科技之研發與應用推廣、知識型水利產業之發展、能源科技應用發展等政策需求。所依據之政策基本上是行政部門提列之「營建科技政策與措施」。而本計畫內容其實也是政策依據中的「重要措施」,對於政策願景的落實並不明顯,亦即未能積極回應政策目標。	1.本案為四年期之技術研發計畫,基於全國科學技術會議國家科學技術發展計畫遠景與重要措施第五項促進科技民生應用,強化社會互動發展之(二)環境科技與永續發展,本計畫擬加強研究營建廢棄物資源再利用及新材料新工法,3 年內將市區道路鋪面提升符合環保材質達四分之一,在橋梁補強上應用,亦可減輕資源的浪費,藉以提昇環境之品質。另對於防災科技之研發與應用推廣,本計畫將針對 25 縣市的防災道路規劃情形進行檢核及研究,98 年度將建立防災道路規劃與評估檢核系統,並進一步完成防災道路及其附屬設施維護管理系統,最終目標為降低各種災害所發生的損失。
2.本計畫為提升市區道路及其附屬設施規劃、設計、施工、維護管理及監測技術,並融入低環境衝擊,進而達到公共工程優質化與永續發展之目標。98 年度係市區道路及其附屬設施技術研發計畫之第三年度計畫,除持續強化前兩年度之研究成果與應用,且持續進行市區道路、橋梁之技術研究,並結合相關研究成果,建立防災道路規劃準則與評估準則。建議應加強整合運用各地區之經驗,提高計畫實際效益。	2.本計畫為達到公共工程優質化與永續發展之目標,將於 98 年度積極強化前兩年度之研究成果與應用,利用研究成果,建立防災道路規劃與評估準則。於計畫執行期間,將邀集各縣市政府道路管理主辦單位,定期召開工作會議交換意見,期透過工作會議,確實掌握各地方政府執行相關工作之困難及需求面,藉以修正未來計畫研究方向,俾達到整合並運用各地方政府之經驗,使計畫成果可以順利落實及運用,提高計畫實際效益。
3.計畫之實際內容大都屬一般之工程技術及材料(除了都市綠廊道及再生資源外),且新材料由摘要看來屬建築物並非市區道路之建材。就執行內容言,本計畫在「市區道路及其附屬設	3.本計畫進行廢棄物資源再生利用,多元性材料之技術研究與推廣,並應用於市區道路及橋梁之維護補強,使之延長使用壽命並降低對自然環境之衝擊,達到資源永續利用之目標。為達

施」之營建管理層面佔較高比重，建議本計畫劃歸科技服務群組審查比較合適。不過，由因政策依據及發展應用來看，仍屬環境科技群組，因此，本計畫應加強新材料的應用與研發，以及廢棄物再生利用技術之研發。	成此目標，除了在材料面上之應用研究外，亦須要配合適當之維修系統與養護工法，並利用適當監測技術與回饋分析方法，了解實際應用上之成效，後續才可建立準則及法規，本四年期之計畫於97年度完成材料面上之應用研究，98年度將進行維修系統、養護工法及監測技術與回饋分析方法之研究，以達成計畫總目標。
--	---

98 年綱要說明書審查意見回覆表

審議編號：98-0801-02-05-02

計畫名稱：市區道路及其附屬設施技術發展中程綱要計畫(3/4)

申請機關 (單位)：內政部營建署

審查意見	部會署說明
一、計畫內容是否已對摘要審階段之審查意見作合理回復並反映於計畫書內？	
關於：(1)本計畫應建立「防災道路規劃準則與評估準則」，並加強整合運用各地區之經驗，以提高計畫實際效益；(2)本計畫應加強新材料的應用與研發，以及廢棄物再生利用技術之研發。等兩項較明確之審察意見，仍未獲正面回應，如上述意見超出計畫之研究與預算範圍，而無法執行時，亦請執行單位如實答覆。	(1)建立之防災道路規劃與評估準則，已調整工作項目時程於 97 年辦理，98 年將藉由與地方政府防災道路規劃實際運作進行修正，提高計畫效益。 (2)有關新材料與新技術的應用與研發，已於 97 年度引進低衝擊開發之技術以及纖維高分子複合材料應用於市區橋梁之興建與補強，98 年度工作重點為對上述技術與材料進行維修系統與養護工法研究，98 年將針對過去廢棄物再生利用應用於透水性鋪面之技術，研擬養護工法。
二、評述計畫架構與內容之合理性與可行性	
(一)計畫目標與內容分成三部分，(1)提升既有市區道路品質，(2)提升既有市區橋樑品質及(3)防災道路維護管理，此三部分彼此有關係，對於彼此的關係則未能加以聯結。(二)計畫的每年項目很多，若只當成單一計畫委託，恐很難有單一單位可以承接，但因經費皆只五百萬上下，是否要分成子計畫，則應加以審視。(三)有關提升市區道路品質分項計畫，在提升都市透水及保水環境方面，本計畫並未探討綠廊帶規劃、都市植栽、道路排水設計與生態工法之結合方式，建議應與相關計畫進行整合。至於人本觀念方面，除應考量人行道設施外，應整合綠運輸之相關研究成果，以進行自行車道與交通靜穩區之路面設計與評估分析。	綠廊帶規劃、都市植栽、道路排水設計與生態工法之結合方式已於本(97)年度工作計畫進行中考量 98 年納入整合綠運輸之相關研究成果，以進行自行車道與交通靜穩區之路面設計與評估分析。

三、本計畫內容如與其他計畫有重複，重複之處為何？修正之建議	
(一)本計畫雖與其他計畫無實質重複，但研究重點過於集中於路面材料與鋪面工程技術，對於政策目標所揭示之防災、永續與人本等方面之觀點著墨太少，建議應參酌相關計畫之成果，將研究範圍擴大，以期符合政策目標。(二)跟本計畫相關之研究，過去在工程會、防災會與國科會有些相關的研究，可納入參考。(三)計畫所敘內容應明列是否為本期之計畫重點？例如應用環保材料、人行道法規、彙整國內外道路養護工法及道路維護管理、現有的檢測系統、補強技術、防災道路規劃與評估等，皆有與過去重覆之嫌，最好能具體區分各年之內容，以免重覆。	將再對相關計畫進一步蒐集彙整，併納入參考。 本計畫 98 年研究重點則對養護、監測之方法進行研究。防災道路方面 98 年計畫重點係藉由過去研究及示範案例落實並驗證成果，使市區防災道路規劃、評估制度更加完善，雖與過去計畫皆有相關，但應無重覆。
四、本計畫應與其他計畫作上、中、下游整合或橫向連結之建議	
(一)本計畫內部之三項子計畫之間應加以整合。(二)對於國家防災體系與分項計畫--防災道路之管理--之關係應納入考慮。(三)與都市道路及橋樑的興建與擴建等相關實施計畫之關係應加以連結。	(一)本計畫研究成果相互為用，達到安全、舒適及友善環境之「優質道路」。 (二)配合防災會相關計畫已於本(97)年度建立防災道路的應變機制，使該應變機制，納入現有之防救災體系。 (三)將配合道路主管機關，完成道路與橋樑相關研究成果之示範案例，使計畫成果可實際推行於實務上。
五、評估本計畫可達成的預期效益與績效，並請說明是否合理	
(一)依研究報告內容所述，本計畫之預期成果包含：(1)防災道路規劃與評估準則；(2)市區道路與附屬設施維修系統與養護工法之研擬；(3)市區橋樑補強標準作業流程與檢核機制之研擬；以及(4)促進地方政府推動市區道路及其附屬設施對防災觀念及環境保護與橋樑延壽之相關工作及技術。惟有關永續與人本等方面之政策目標，均無落實作法，建議整合相關計畫之成果，並納入修正計畫書中。(二)相關績效及說明很完整，但內政部之研究應屬應	(一)對永續與人本方面之政策目標，將整合相關計畫之成果，並納入修正計畫書中。 (二)應可於計畫時程內完成，惟實際應用之效益需較長時間之觀察，才可得知效益。

用研究，對於新材料部分及新技術部分，是否來得及在三年內完成，並達成應用的效益應予審度。	
六、本計畫若有前期或相關計畫，請評述過去之執行績效，並建議有效評估本計畫之主要績效指標（KPI）	
(一)過去兩年的績效描述相當完整。若研究過程中，能就可能影響的道路系統及橋樑與防災道路提出量化的評估資料，應會更具體。過去已有些調查資料可用來界定本次研究的範圍及影響所及。(二)本計畫所列舉之直接效益，諸如「符合永續發展、環境友善性之道路維護管理系統」，「提升人民的生活品質同時改善都市景觀以及提升都市之防災整備力」，以及間接效益，如(1)節省旅行時間及成本；(2)提昇旅行可靠度；(3)提昇市區道路環境品質；(4)增進運輸安全；(5)促進經濟繁榮；(6)均衡區域發展；(7)提高土地價值；(8)民眾安心安全上路；(9)增加都市災害防救之強度；(10)增加民眾對都市的認同等，應考慮如何加以量化，並進行評估。	(一)本研究過去已掌握許多調查資料，此部分資料可用來界定本次研究的範圍及其影響所及。 (二)本計畫所列舉之預期效益部分是屬於定性化之效益，例如增加民眾對都市的認同、民眾安心安全上路等，係屬民眾心理層面上之體認。本研究將進一步思考如何加以量化，並進行評估。
七、對計畫執行之建議及綜合意見	
(一)研究重點過於集中於路面材料與鋪面工程技術，對於政策目標所揭示之防災、永續與人本等方面之觀點著墨太少，建議應參酌相關計畫之成果，將研究範圍擴大，以期符合政策目標。(二)為了能夠具體發揮作用，應考慮中央與地方之合作及示範計畫執行機制，將之納入研究過程，且可以包含地方說明會及技術講習會。(三)本計畫所列舉之直接與間接效益，應考慮如何加以量化，並進行評估。	(一)在永續考量上，藉由市區道路與市區橋樑於維修、養護及材料面之研究，延長市區道路及其附屬設施之生命週期，並運用綠色材料等使資源永續化。在人本考量上，則由防災道路、市區道路與市區橋樑整體計畫成果，建構用路人安心、安全且舒適之市區道路系統。 (二)本計畫將配合地方政府，進行相關研究成果之示範案例建立，並舉辦多場研討會與成果發表會，使計畫成果可實際推行於實務面上，發揮具體作用。 (三)本研究將對所列舉之直接與間接效益，進一步思考如何加以量化，以利

	後續評估。
八、評述本計畫資源投入之合理性	
(一)本計畫應將部分資源投入與政策目標相關之研究，舉例如下：(1)生態工法之綠廊帶規劃、都市植栽，與道路排水設計；(2)人行道設施、自行車道與交通靜穩區之路面設計。(二)應考慮是否有實驗之需要，對於檢測及實驗設備是否包含在計畫之中，將影響計畫的可行性及經費。	(一)生態工法之綠廊帶規劃、都市植栽，與道路排水設計已於本(97)年計畫執行中；自行車道與交通靜穩區之路面設計未來將於計畫中予以考量。 (二)本計畫目前尚無實驗之規劃，惟示範案例之推行可能會需要相關之檢測及實驗設備，但不影響計畫的可行性及經費。

附錄(七)

評選會議審查意見回覆表

附錄(七) 評選會議審查意見回覆表

審 查 意 見	回 覆 意 見
張副局長培義	
1.補強工法建議加入鋼纖維材料(Steel Fiber)之研究。	1.P.237 中於噴凝土修復工法中，可加入鋼纖維材料，P.240 增厚橋面版工法案例中，鋪設摩擦層亦可使用鋼纖維混凝土，其作用在於降低裂縫產生，提高其強度、韌性及疲勞壽命。
2.都市綠廊道需考量與交通安全之影響，例如路樹擋住號誌燈，使車禍發生。	2.交通號誌路口段應慎選樹種，並以複層植栽配置，採喬木及灌木叢相間配置，以達到用路人安全考量。
黃教授榮堯	
1.本計畫期程為四年，計畫之整體性及各子計畫之關連性未能清晰展現。建議釐清並與工作主軸連貫，提出四年可評估之交付標的。	1.已於期末報告書 P.4 中進行修正，整體目標訂為永續市區道路，並以道路優質、橋梁延壽及綠色材料作為主軸。利用三明確主軸，整合各子計畫之關連性。
2.交通部所屬機關如國工局、高公局、公路總局等已做相關研究，本計畫可否從問題出發，如人孔蓋之不平整、道路常挖補等課題著手，也即是與上述要達到什麼目標相呼應。	2.本研究計畫第一年(民國 96 年)期末報告 P.4-119，對此部份已闡述，謝謝委員意見，將於民國 99 年之附屬設施養護管理系統再多加探討。
3.科技計畫執行績效如何有效管理，建議加強研發機制納入計畫內實施。	3.謝謝委員意見，將於後續工作計畫書中對 KPI 績效指標中加強具體研究成果項目，達到有效管理計畫執行績效。
張教授奇偉	
1.防災道路之研究內容涵蓋面大小，是否於全國各地皆可適用。	1.主要鄉鎮市區域為主，本研究於期末報告已完成一個小區域案例(台北縣石碇鄉)，供各縣市未來落實行政院災防會中程計畫時之規劃參考。
2.請確認 PDA 平台之範圍，是否僅進行指標性地區。	2.本研究團隊將提供資訊系統，供各縣市的道路相關主管機關上傳緊急運送道路之相關資訊。可提供防救災相關機關進行緊急運送道路之查詢，而系統的功能包含 96 年成果及各層級緊急運送道路查詢。
3.L.I.D.部分於執行面應可與下水道或寬頻管道建設進行結合。	3.由於管線或下水道許多於早期以埋設而無法變動，對於新開挖地下道或管線與 LID 的結合。已於期末報告 P.144 中說明。
4.請說明新材料新工法(例如 CFRP 棒)過去是否有相關研究基礎，還是全新	4.本團隊已完成 CFRP 棒多項研究，包含握裹力、耐久性等相關研究，國內目前已有

的研究，另國內是否有施作案例，其耐久性、成本、功能性是否可行。	施作於隧道工程之案例(捷運與高鐵)，本研究目的為利用可行性研究，將此材料引進國內，以提升國內工程技術，並對耐久性及成本進行說明(詳期末報告 4.4 及 4.5 節)。
5.建議於 98、99 年提出較明確之方案及範圍。	5.謝謝委員寶貴意見，將於 98 年對 98、99 年計畫方案及範圍提出明確之說明。
鄧副所長文廣	
1.防災道路定義之範圍是做到縣(市)或者是鄉(鎮、市)，防何種災害，宜先予界定。	1.本團隊之緊急運送道路定義範圍以鄉鎮市為主要範圍。於 96 年度計畫中已界定防範天然災害。
2. L.I.D.建議配合都市計畫，並考量與交通之間的衝擊，較易達成。	2. LID 是都市更新、重建計畫中的一項多功能性技術，可配合施作於社區住宅、市區道路、公園綠地以及都市規劃中新市鎮之社區基地開發，強化 LID 應用。於期末報告 3.3.1 節說明。
3.人行道控制樞紐部份，遷移較不可能，但美化是可接受，建議將美化所需費用進行探討。	3.美化費用為人行道控制樞紐改善對策選用主要因子，於期末報告 P.215~P.216 說明。
4.FRP 部分建議加入規範性的探討。	4.參照先進國家之設計規範及手冊中之差異性並不大，惟耐久性折減係數部份各規範依當地環境需求稍有差異，故國內使用此種材料必須考慮耐久性之部分(詳期末報告 4.5.4 節)。
廖組長肇昌	
1.防災道路準則在規劃時須先界定使用層級。	1.在緊急運送道路的規劃上，會針對避難與救災時的重要性(鄰近重要據點)，對道路的路線選定做劃分，界定緊急運送道路的層級。並於 P.49 敘述緊急運送道路層級。
2.L.I.D.配合都市更新會較容易，建議於後續維護管理費用及本土環境影響方面，進行研究。	2.遵照辦理，但對於後續維護管理費用，於 99 年度計畫案配合示範區進行研究與探討。
3.人行道控制樞紐部份，建議今年或下年度找一條重要道路進行調查，檢討障礙物遷移的可行性，並以專案方式做為示範案例。	3.市區道路之電力、電信控制基座遷移與地下化案例，已於期末報告書 3.6.3 說明。
4.輕、薄的構件是未來新建橋梁的趨勢，所以如同超高強度混凝土、高拉力鋼材亦為新建橋梁或舊有橋梁改建可使用之材料，市區橋梁工法建議朝工期短、交通影響小及週邊環境影	4.為符合市區橋梁補強工法須朝工期短、交通影響小及週邊環境影響小之方式研究。故提出適用於市區橋梁補強之碳纖維高分子材料(CFRP)包覆補強工法(詳期末報告 4.3.3 節)。對新件之橋梁，亦提供 FRP

響小之方式研究。	鋼筋與 FRP 預鑄橋面版之國內外案例，並進行本土化適用性分析，供國內工程師使用。
本署道路工程組	
1.建議對低衝擊開發之項目予以擴充，不僅是滲透水，也可擴展到泉水。	1.期末報告 3.3.4 節中，已對 LID 之適用性與限制性進行說明。
2.目前國內已有報告指出國外也常使用多孔滲水瀝青混凝土鋪設於人行及自行車道，因其具有高度透水功能。至於多孔滲水瀝青混凝土國外是否予以改良並使用於快車道面鋪築，也請提出說明。	2.國外透水性瀝青混凝土鋪面具有良好之耐久性及排水性使用於於中低承載量。於期末報告 P.125 說明。
3.有關環境效益，自從京都議定書通過後，我國即不斷開會研商提出對策，其中最值得注意為綠色運輸系統之建立；腳踏車專用道也為其一；目前正研究如何於慢車道或人行道規劃腳踏車專用道之可行性。請就世界各國使用腳踏車專用道以降低都市二氧化碳量之成效提出補充。	3.綠廊道不僅對生態環境具有正面效益，對於節能減碳之國家政策更具其意義，未來建議於規劃自行車道同時亦應規劃納入綠廊道，以達「單車上路倡環保，配合綠廊多健康」之願景，另道路單元之規劃配置於期末報告 P.186~196 中說明，其節能減碳效益於期末報告 P.181~185 中說明。
4.過去工程曾於設計後施工中變更設計結構物或工程項目之形態而達維護生態景觀之要求；故於設計階段審慎評估地質資料而予以慎選路線，使其經過適合之地質，並於設計時適當調整設計高程使挖填平衡，破壞最少，也即以不動為原則。	4.公路規劃設計時以地形破壞較少為宜，於 LID 第 3.3.1 節說明。
5.人行道之設施物概分為電力、電信、瓦斯、自來水管線及其相關設施，其中較阻礙行人者，為電力變電箱等較大構造物，建請洽管線單位釐清是否可地下化或於路外透過變更都市計畫取得用地並予以遷移。亦請加入共同管道推行之相關資料。	5.市區道路之電力、電信控制基座遷移與地下化案例如期末報告書 3.6.3 說明。道路設施物之共同管溝構築經由電力、電信業者表示地下共同管溝其維修不易、全盤挖填花費高與電磁波干擾問題，於既有道路推動實為不易。
本署中工處	
1.FRPP 材料抗紫外線性能不佳，本單位於台中港特定區即試用「燈桿」以防鹽害，惟造價及成效不佳，宜考慮其耐久性是否足夠？	1.本研究之 FRPP 應用是將 FRPP 棒置於混凝土中取代傳統鋼筋，將不受紫外線影響。至於耐久性相關問題將是研究重點之一。
2.重大工程必須提出水土保持計畫送	2.已於期末報告 P.119 中，對設計滯留池

主管單位審查，設計滯洪池時若參照國外之設計，需考量國內環境是否適用，對於保護市區道路及其附屬設施在設計滯洪池時，應重視哪些原則？	時，所需重視之原則加以說明。
3.依「水土保持法」、「水土保持法施行細則」規定，工程施作前需先擬定水土保持計畫，並遵照水土保持計畫審核監督辦法及技術規範，提供施工中及完工後等水土保持工作之依據。在設計滯洪池時，是否有相關規定說明以利擬定水土保持計畫書。	3.目前對於設計滯留池，可參照水土保持技術規範，可納入文中配合LID設施。於期末報告3.3.5節。
4.本技術研發計畫於人行道設施物（電桿、路燈、標誌桿、變電箱、行道樹、私人盆栽等）項目，應提出調查研究後之建議事項（或改善對策），能否使管線單位配合地下化改善，是否具強制性。	4.人行道各設施物經由調查將進行調查訪問管線及道路主管單位地下化或遷移之癥結所在，再行提出改善對策，並於期末報告書3.6.3說明。
5.對於承載能力工法，過去公路總局已有專案研究，多種工法實用性不大，請研究單位再檢討。	5.感謝委員意見，本研究會搜集目前常用之補強工法(期末報告4.3.1節)，對於實用性不大之工法則不加以考量。
6.研究計畫牽涉範圍甚廣，建議於重點處多用架構圖或繪圖等方式呈現。	6.遵照辦理，謝謝委員意見。
7.引入替代性營建材料部分強調FRP材料，惟以上材料在國外只有少數案例，僅具實驗性而缺乏耐久性根據，且其單價偏高常牽涉專利品易有綁標疑慮，在國內是否適用，值得探討。	7.FRP材料在航太工業及運動器材之應用已有數十年之歷史，近年來國內外將此材料應用於土木工程亦是熱門課題，且已有不少實做案例。本案為一科技計畫，實應對此新材料新工法於國內之適用性進行探討，以提升國內工程技術並符合計畫目的。
8.橋梁維修補強應考慮經濟價值比後，再決定是否補強或重建，即加固後之使用壽命與工程費用比率，及重建後之使用壽命與工程費之比率，選其合乎經濟者施作。	8.依據所收集之資料，平均每一橋梁維修補強費用約為其拆除重建費用之15-20%，但亦有例外之情形，就經費而言，建議當維修補強費用為拆除重建費用之40%以上時，應以拆除重建作為優先考量。但亦需考量其他社會層面。(期末報告P.260)
9.橋梁工程之工作項目建議增加公共工程維護制度之概念，推廣至地方政府，促其重視保存橋梁設計施工之基本資料、施工過程照片紀錄等，以便日後做為評估補強等作業之參據。	9.目前國內橋梁管理系統已對公共工程維護制度之概念有所要求，若能重視保存橋梁之各項資料，對日後進行評估補強將有相當助益。

附錄(八)

期中報告審查意見回覆表

附錄(八) 期中報告審查意見回覆表

審 查 意 見	回 覆 意 見
陳教授清泉	
1.防災道路子題中，關於緊急救災機制之啟動時間上，研究單位是否能依據道路災害程度清楚定義啟動之時機及處理方式。	1.所謂緊急救災機制，於災前便須針對緊急救災機制相關項目進行整備工作，以期於重大之天然災害(地震、水災、土石流)發生後能快速進行道路搶通作業。
2.市區道路建議增加考量人行天橋、地下道等人行道問題已符合人本需求，如何美化及設置考量可為研究重點，例如地下道設置需考量。此外建議將樹種對都市的負面影響如：樹根、落葉等，探討並納入報告。	2.人行天橋、地下化應設置交通動線擁擠處，如斑馬線與路口處的衝突點，於第四年報告研擬結合永續發展、環境友善及道路新建及維護管理系統章節中探討。樹種負面影響於第三年報告自行車道設計章節探討及說明落葉、樹根對自行車道、人行道路面平坦度的負面影響。
3.市區橋梁在重建與補強考量上，是否需考量原結構擴建及改建的問題。	3.感謝委員意見，本年度研究重點在於既有橋梁之補強，重建與補強考量係說明選擇補強時需考慮的大項原則。原結構擴建或改建問題偏向新建結構物，已於新材料新工法章節中提出建議。
張副局長培義	
1.災害發生後，救災機制要快速啟動，進行救災行動，亦可考量空中救災系統。	1.感謝委員意見，已將緊急停機坪納入救災據點的項目之一，以利災空中救災系統之運作。
2.有關市區道路優質化，是否可針對人手孔方面提出下地及減量等方面之改善對策。	2.本團隊已於去年針對市區道路平坦度及人手孔減量進行相關研究，另人手孔之施築工法於期末報告 P.193~194 中說明。
曾組長志煌	
1.緊急搶救災機制上，建議可參考國內發展之公路搶救災系統。	1.感謝委員意見。
2.建議市區道路優質化方面可否針對人手孔下地導致路不平之問題納入報告中，另有關自行車，因環境與生活型態的改變，機車與自行車道如何共存，建議參考台北市目前試辦自行車道專有路線三階段的作法。	2.針對市區道路人手孔下地導致道路鋪面不平整，本團隊已於去年提出人手孔導致路面不平整之原因探討，如材料回填不妥、施工品質不佳及孔蓋螺栓未鎖固等，針對人孔蓋施築不平之情形，可採 EPO 工法，以提升道路平坦度，於期末報告 P.193 中說明。 自行車道之規劃，本團隊蒐集國內外案例研析，並與綠廊道做進一步結合，於期末報告 3.5.5 節中說明。

3.建議在補強工法部分，將包覆工法做為大項，再細分成 RC 包覆工法、鋼板包覆工法及 FRP 包覆工法會比較清楚。此外請說明補強與重建選擇中，以 40%作為分界的理由。	3.感謝委員意見，已修正說明於報告書 P.257 頁。補強與重建選擇中，以 40%作為分界係考量直接成本與間接成本等經濟效益，除了必需對基礎補強外，大多的補強費用與重建費用相比，大約在 15~25 %之間，為考量交通維持等社會成本後，本研究團隊建議以 40%作為分界。
鄧副所長文廣	
1.緊急搶救災進行搶救之災害需定義明確，原本討論之範圍是否過大。在規劃防災道路上，道路寬度之設定是否有所不妥之處。關於災害潛勢之調查，各縣市是否會有所困難。	(1)感謝委員意見，緊急救災機制範圍定於重大之天然災害發生後啟動，進行緊急搶修作業。 (2)關於緊急運送道路之劃設，主要還是會以道路機能進行規劃，道路寬度僅為參考之一。 (3)水土保持局針對土石流潛勢，公佈各縣市之土石流潛勢溪流分佈圖；國家災害防救科技中心因應水災災害，提供水災潛勢圖下載；經濟部中央地質調查所，提供地震災害潛勢資料查詢；而各縣市亦可由過去之災害歷史瞭解地區之災害潛勢。
2.市區道路附屬設施物部分，關於控制樞紐部份要遷移有一定困難度，建議收集設施物在新道路採取遷移；舊道路採用集中、綠化，做進一步探討。	2.電力、電信控制基座遷移必須配合周遭設施帶與綠地之規劃，並進行木作美化規劃，詳期末報告書 P.217 所示。
3.橋梁部份建議增加說明在增厚橋面版後因橋梁自重增加，所需注意之問題及其改善對策，例如增加隔梁構件等，使工法考量上可更加完善。	3.增厚橋面版後因橋梁自重增加，所需注意之問題於 P.242 頁中已說明，其改善對策有多種選擇，將於補強案例手冊中，以實際案例進行說明。
廖組長肇昌	
1.防災道路管理面、只有一條還是在區塊中有數條。	1.在去年的文獻探討中發現，只規劃一條道路無法因應大規模災害的搶救，因此本研究團隊在規劃上，緊急運送道路中含有各層級之道路，包含輸送救援道路、緊急聯外道路、消防避難道路、緊急避難道路以及替代道路五種道路建構出緊急道路路網，各層級之道路於災時將肩負不同之任務。
2.市區道路綠廊道之可行性評估，建議探討可行案例及不可行案例，並探討其原因。	2.本團隊已針對綠廊道之可行性建立評估指標，應以生態、綠化、節能及道路寬度做為綠廊道之評估指標，並宜採區位、法規及樹種等面向之考量進行可行性評估，於期末報告 3.4.3 節中說明。

3.建議報告中提供 FRP 材料將來應用的材料特性、設計細節(握裹力等)。	3.感謝委員意見,已於期末報告中(詳表 4.7)提供相關材料特性與設計細節。
公路總局	
1.FRPP 或 CFRPP 材料簡報論述說明適用於橋梁補強工程,但報告書中提出新建工程的案例,故究適用性是在於新建或局部補強?	1.FRPP 或 CFRPP 材料可塑成各種形式,並應用於各項日常生活中,報告書中提出新建工程的國外案例亦為其中一項,國內使用此材料於橋梁工程上以補強工作為主,故無論在新建或局部補強上均適用。
2.FRPP 或 CFRPP 材料替代鋼筋前,有關耐酸鹼、抗紫外線等性質需多做進一步研究,惟有關 CFRPP 棒之物性,機械性質驗證及考量工作性、握裹力、續接、焊接、彎鉤等其可行性及應力傳遞行為是否良好,另進一步之搭接長度等之規範為何,建議相關資料可於後續報告中呈現,供其他公務機關參考	2.感謝委員意見,已於報告中提供相關資料。
3.FRPP 搭接於既有橋梁邊作為人行道等,有無國外相關案例文獻,工法如何施作,建議納入後續報告中,對公路總局後續在有限路幅下多一種設計方式考量。	3.此構想為專家座談會中之專家意見,本研究團隊亦將對此方向進行研究,以提供增加路幅之設計方法。
台北市政府	
1.在設定為避難據點之場所,是否該提高其耐震之標準。	1.避難據點之劃定,主要還是縣市政府現有的規劃,本研究團隊的規劃只是讓緊急運送道路能順利經過避難據點,使災時避難據點可以發揮功能,避難據點耐震的標準不在本研究的討論範圍內。
高雄市政府	
1.市區道路綠廊道結合自行車道部份,建議蒐集國內既有案例如高雄市等,並討論其可行性以供未來設計參考。	1.綠廊道結合自行車道已蒐集國內外案例之設計原則進行歸納分析,於期末報告 P.107~114 中說明。
台北縣政府	
1.對於規劃為防災道路之路線,若原本在災害發生時便會造成此道路無法通行,此道路之規劃該如何處置。	1.當地如果只有一條道路,並且易受災,但在防救災的考量上又一定得規劃成緊急運送道路時,得用工程方法克服,例如會淹水的地方將道路路基加土堤墊高,易坍方,則在邊坡加強擋土設施,在斷層附近則加強路面強度。

營建署道路工程組	
1.對於防災道路附屬設施如：路燈、路牌、電線杆、交通號誌等無法地下化之設施，需避免倒塌以維持防災道路功能，故是否可提供現國內外對於防災道路附屬設施耐震相關補強準則及工法案例，以國內現有道路附屬設施之檢視及補強參考；並作為及未來道路工程附屬設施耐震設計之參考。	1.感謝委員意見，因為本研究為四年期計畫，因此本研究團隊會將此問題納入明年度的工作項目之一。
2.有關 P49 表 2.16 防災道路檢核表之附屬設施耐震設計，實務上應如何檢核？	2.感謝委員意見，已針對表 2.16 進行修正，在進行石碇鄉之規劃時，已使用此表進行緊急運送道路規劃檢核，並已舉行研習會進行說明。
3.P49 表 2.16 防災道路檢核表與 P50 表 2.17 防災道路機能檢核表，有內容重複外應其填表格功能而有所區別，建議修正。	3.感謝委員意見，遵照辦理。
4.對於市區道路中央分隔島設計滯洪池，具有排水，保水功能並減少排水系統之負荷，但依分隔島設置原則，1.將花台提高 10~15 cm，地表雨水如何排進分隔島？以及 2.分隔島低道路鋪面，雨水排進分隔島，就道路中央分隔島設置滯洪池時，有關道路橫向坡度 2% 部分及雨水滲入是否會使路基破壞，及影響喬木種植、生長等，應如何處理？建議在本研究案提出具體內容，有助於國內市區道路於規劃生態滯洪池更實質面考量及運用。	4.花台處設置雨水入流口與溢流口，可供雨水冲刷道路污染物流入及滯留池具體內容於期末報告 P.121~P.123 納入設計原則及注意事項。至於雨水入滲是否導致路基破壞，可由鋪面結構設計加厚，或調整位置等方式處理。
5.P83 市區道路中央分隔島設計滯洪池時，除本報告中 3.3.4 不適合施作場址外，在設計原則部分（例如：溢流口、淤泥清除及維護等），請提供一國內實際案例供參考。	5.對於中央分隔島設計滯留池之國內案例，本研究收集國內高雄市地區類似設計滯留池，於期末報告 P.91~93。
6.P130 橋梁支承系統以上之構件，以承載能力評估，而橋梁支承系統下之構件，以耐震設計評估，其二者評估準則之差異？又實務上並無規定進行承載能力補強之工法？若二者評估準則係依照「公路橋梁耐震設計規範」作為耐震補強檢核，建議市區道	6.在進行橋梁承載能力評估時，係以公路橋梁設計規範中公路載重等設計載重評估為首要標準，惟在 76~90 年間之公路載重上並無修正。故在承載能力補強之工法上，多屬材料老劣化之維修補強，部分橋梁則因交通量增加等因素進行上構之承載能力之補強。耐震能力評估時，係以公

路橋梁補強評估準則應與現行國內對於橋梁耐震補強評估準則一致，以免有不同評估準則之疑慮。	路橋梁耐震設計規範進行評估，要求橋梁結構須以韌性設計，故需對既有橋梁耐震能力不足者，進行橋柱補強，以提升耐震能力。
營建署中工處	
1.市區道路滯洪池若長期積水，底層與基層是否會受到衝擊。滲透排水管在實務上當作排水，不同於報告書上的保水效用，針對保水的效益可進一步探討。	1.雨水入滲是否導致路基破壞，可由鋪面結構設計加厚，或調整位置等方式處理。本研究團隊已做過滲透排水管保水效益，其效益成果放置於期末報告 P.140。
營建署公共工程組	
1.為符合國科會要求，KPI 部分需多做量化，並可與本署道路組或地方政府進行縱向的配合。	1.將於後續計畫中針對國科會要求，進行 KPI 指標值量化考量，並由今年度起加強與營建署道路組或地方政府進行縱向的配合工作，以落實研究成果。
2.報告書的編排上應加強整體性，聯合成果發表會亦可加入，工作會議紀錄等資料，此外在爾後的簡報時，可先介紹四年期計畫之項目與成果，亦可進行項目上之調整，如國科會所提出之意見等。	2.遵照辦理，感謝委員意見。
3.國內目前對防災道路一詞並無相關定義，希望在 99 年計畫中提出適當之名詞進行修正。	3.感謝委員意見，遵照辦理。
4.報告書中建議與營建科技之政策措施進行結合，如挑戰 2008 等，惟在 P.3 之圖表上有些研究項目並不在計劃範圍內，可否釐清。	4.感謝委員意見，已於報告書 P.3 中修正。

附錄(九)

期末報告審查意見回覆表

附錄(九) 期末報告審查意見回覆表

審 查 意 見	回 覆 意 見
黃教授榮堯	
1. 整體研究計畫方向上，建議補充說明如何選定「緊急運送道路」、「道路品質提昇」及「橋梁品質提昇」三項主題之背景緣由。	1. 內政部營建署之業務範圍包含都市計畫區內道路及其附屬設施(包含市區道路、市區橋梁及緊急運送道路系統)，扮演了人、事、物交流、溝通與運輸及緊急救災任務的重要角色，為暢通社經的動脈，良好之市區道路運輸系統對於經濟發展之關係極大。有鑑於整個大環境之未來趨勢並未雨綢繆，自 96 年起將賡續提出為期 4 年的市區道路及其附屬設施技術研發計畫，期透過市區道路養護技術、橋梁延壽技術與管理及緊急運送道路規劃等研發成果之有效整合，達到低環境衝擊、低資源耗費、延長生命週期及追求人車共存，構築優質化、便捷與安全之都市交通網脈，營造永續發展的生活環境。已於 1.1 中進行說明。
2. 緊急運送道路查詢系統建議能結合 GIS 技術，並考慮應用 RFID sensors 監控系統，以利於緊急災害發生時，迅速即時找出可用之緊急道路。	2. 感謝委員意見，RFID 的開發需要漫長的時間，而本計畫主要是提供鄉鎮市一個簡易之系統操作查詢。
3. 「LID 設計原則及案例彙編參考手冊」建議納入 96 年度有關廢棄物資源再利用之研究成果。	3. 已於「LID 設計原則及案例彙編參考手冊」加入 96 年度研究成果，透水鋪面添加廢棄物再生材料做為骨材，並新增簡介與案例。
4. 建議自行車道、人行步道能全面採用營建廢棄混凝土磚瓦資源，創造台灣自行車道，人行步道特色，提升國家形象。	4. 建構自行車道同時亦應兼顧基地保水降溫、降溫、抗滑及資源再利用之功效，於 P191 提出使用顏色鮮明之透水鋪面，採用營建廢棄混凝土磚瓦資源亦具有資源再利用之功效，亦為可行方向之一。
5. 加強市區道路透水設施(含鋪面)於使用階段維持其透水功能之相關技術與方法探討。如表 3.4 入滲效益是否具有逐年降低的現象。	5. 表 3.4 為文山區試驗區，監測期程一年，監測結束後並拆掉，並無後續長期監測。透水鋪面完工前四個月，每應該月檢視一次，往後每年檢視三～五次，視鋪面阻塞狀況，每年於晴天時清理三～五次，使用真空吸塵及高壓水柱沖洗，關於透水鋪面維護，會在 98 年度計畫案說明。

6.綠廊道評估指標中，道路寬幅是否適合做為指標（因先天條件限制，且部分與綠化指標有重複之處），請研究團隊再斟酌。另建議節能指標能改為CO ₂ 減量指標。	6.依內政部市區道路人行道設計手冊規範，市區主要道路寬度為27~49公尺，市區次要道路寬度為19~41公尺，且均設有公共設施帶2公尺及中央分隔島，故建議市區主次要道路寬幅足夠即依道路需求可建構綠廊植栽。市區綠廊道之主要功效為二氧化碳固定P159，已將節能指標改為CO ₂ 減量指標。
7.98年度計畫內容建議能根據本年度成果進行試操作，建立示範工程，並回饋各項手冊，使手冊更為完備實用。	7.98年度計畫將以97年台北縣石碇鄉緊急運送道路規劃案例成果回饋後，建立緊急運送道路規劃準則與評估準則(草案)；此外亦將配合專業廠商尋找適合橋梁進行FRP橋梁補強案例。
曾組長志煌	
1.編寫上建議在每一章節最後加入小結，以方便閱讀。	1.感謝專家意見，已於各章節最後加入小結，方便閱讀。
2.以自行車使用CFRP材料為例，部分專家對其耐久性產生疑慮，請加強搜集國外相關資料及補充說明。	2.自行車使用之CFRP材料是做為車身使用，係曝曬於環境之中，而本研究案中以CFRP材料替代營建材料，係應用混凝土或是抗紫外線塗料保護材料不受環境影響其耐久性，且以國內環境對國產FRP棒進行耐久性試驗，其結果亦顯示此材料具有優良之耐久性。
3.對於國內外自行車道之規劃原則差異性，及對於敦南自行車道採緣石施作有何建議。	3.目前國內自行車道多新建於河濱公園或郊區，鮮少將自行車道建構於市區，故本研究蒐集國外案例P105~108，參考國外設計原則以國內施做自行車道參考。敦南自行車道採緣石施作，確可達成人車分離之效果，惟自行車騎士於會車過程可能與緣石發生擦撞(緣石高度較高)，故本研究建議採高程調降方式施作，圖3.87。
4.國外如日本有建置緊急輸送道路，但國內是否也有劃設之需求？	4.感謝委員意見，緊急運送道路之劃設主要目的是為了能於災害發生時能快速進行救災行動；近年來國內災害不斷，為能使救災行動快速動員實有劃設之必要性。
5.架設系統上傳檔案，應確保檔案之正確性及安全性？	5.感謝委員意見，此系統上具有登錄系統，不同使用者具有不同等級之權限，並非任何人均可上傳資料，且在資料上傳時，會登錄上傳時之時間，能讓使用者確認資料之新舊。
6.通報系統以公路總局為例，各縣市政府是否也可以操作？	6.感謝委員意見，已針對報告內容進行修正P.37~38。

7.後續研究建議針對國內都會運輸用自行車道之規劃進行研究，並列出最大困難在哪裡。	7.後續研究建議朝市區道路自行車道規劃路線及其附屬設施物做進一步探討。
鄧副所長文廣	
1.結論、建議及參考文獻可移至各章之後，另參考文獻的引述方式亦需統一。	1.感謝委員意見，結論與建議將以小結之方式置於各章節之後，惟參考文獻為方便查詢，統一置於報告書最後，引述方式亦已統一修正。
2.自行車道規劃應區分為休閒或通勤自行車道。自行車道示意圖 P189 寬度可能需 30~40 米，一般市區道路寬度皆未達此標準應須考量其可行性。	2.自行車道規劃原則是市區自行車道為主。自行車道示意圖 P189 是以台北市敦化南路為設計原型，並非所有市區自行車道設計皆需 30~40m，並於 P187~188 自行車道寬度設計原則，而寬度較小之道路則無中央分隔島、停車格及人行道植栽，則建議採用圖 3.84 之隔離設計。
3.自行車道應以安全面向為首要考量，建議路口轉角處應多加考量。	3.自行車道以安全面向為首要考量，路口轉角處皆應採取專用號誌以減少車輛動線衝突點 P198，圖 3.93。
4.P186、P194 表格內之專有名詞應詳加述明。	4.表格內專有名詞以詳述於 P189 及 P197 文中。
5.自行車道調降 2cm 可能增加擦撞的可能性?	5.圖 3.87 自行車道剖面示意圖，高程調降 2~3cm 圖形已修正斜面，增加自行車安全。
6.人行道控制樞紐圖 3.100 整合流程規劃圖與工程實務上有落差，建議重改或不採用。	6.控制樞紐施作流程圖已刪除。
7.緊急搶救災機制是否列明使用限制。	7.感謝委員意見，緊急搶救災機制適用於天然災害，並無包含都市內所有發生之災害。
8.災害流程圖分為地震、水災及土石流難以涵蓋所有災害別，因此是否有必要依各災害別劃設流程圖。	8.感謝委員意見，不同災害發生於災害應變階段皆有些許之差異，如地震發生後須確認道路是否受損、無法通行，若無法通行是否能搶修，若水災之發生，只需確認是否受災，便直接開設替代道路，因為短時間內此道路難以搶通；而分別劃設流程圖其目的是為使災害發生後能針對災害別快速進行應變作業。
9.P37 通報系統以公路總局為例，將此內容列為參考資料，撰寫符合縣市之通報程序。	9.感謝委員意見，已針對報告內容進行修正 P.37~38。
10. P43 之公路防救災系統之頁面為交通運輸研究所，與文中撰寫之內容	10.感謝委員意見，此系統雖為交通運輸研究所與大同大學共同辦理，但設計主要是

不合。	以公路總局原有之防救災系統為參考，且系統之連結位於公路總局之網頁上。
11.橋梁部份在增厚橋面版及增設構件工法上，有其不易施工之處，建議加入注意事項。	11.報告書中係以簡介國內過去常用之工法並進行比較，故較詳盡之注意事項說明可參見本年度提出之「國內外橋梁補強維修案例彙編」。
公路總局	
1.橋梁補強維修案例手冊中，P.3 橋梁地點有誤，應為台北縣汐止北山大橋，其中補強及注意事項內容「包覆厚度依植筋量減至最少」是否為載重最少原則。P.32 橋梁位置及橋名有誤，請查證。另本橋為河川橋，使用 CFRP 是否易受河中巨石沖撞而損壞，FRP 適用於河中橋梁適宜性。注意事項中，短柱效應及 10 cm 保麗龍圍束等論述，請在說明。P.35 西螺大橋換底時新建基礎應已有考慮耐震，故防撞鋼板用意是否僅為防撞而無韌性防震考量。	1.感謝委員指正，P.3 橋梁地點已修正，義補充相關說明。P.32 頁橋梁經查證係正確無誤，注意事項亦已修正。P.35 防撞鋼板用意僅為防撞而無韌性防震考量。此外，FRP 於河中橋梁中，具有快速修復且阻水斷面小之效果，可藉由適當防撞裝置即可避免受河中巨石沖撞。
2.橋梁維修作業案例手冊詳實，建議加入費用、工期以便於管理者了解。	2.研究團隊於蒐集相關案例期間，多數單位無法提供費用、工期等相關資料，且費用部份因物價起伏而改變，較不具有參考價值，故最後未將費用、工期資料置入。
3.鋼筋與 FRP 價格比較中，目前鋼筋價格已下滑，建議更新，目前 11 月約在 15~18 元/kg，請參考。	3.已於報告書中 P.288 修正，並以 12 月資料做比較。
4.CFRP 取代鋼筋應用於版，梁底補強快速簡便，如應用在新建工程時，國外案例複雜橋梁結構彎紮施工便利性如何，有無較傳統鋼筋便利，建議補充。	4.新建工程中 CFRP 取代鋼筋在彎紮施工作業時，係直接製作具彎鉤之 CFRP 鋼筋，因此不需再現場製作，且重量輕，施工便利性佳。
台北市政府	
1.目前台北市有標準作業程序，緊急救災機制是否會與其產生牴觸。	1.感謝委員意見，緊急搶救災機制是針對市區道路之緊急搶救進行擬定，與原有之標準程序應無所牴觸。
高雄市政府	
1.建議訂立自行車專用道適用道路之最小寬度。	1.自行車道寬度設計原則可參閱 P190~191，圖 3.82。
2.附錄（四）資料過於簡略老舊，建議更新。	2.附錄四，1999 年交通部訂定自行車道可分為自行車專用道路、自行車專用車道及自行車共用車道三種。表中所列舉 50 條

	自行車道為 2008 年行政院公佈資料，已於附錄內修正。
3.FRP 新材料的應用及補強，要能推廣至實際應用，建議提供設計規範，材料檢驗及施工規範程序。	3.感謝專家意見，設計規範，材料檢驗及施工規範程序。將納入 98 年計畫手冊考量。
台北縣政府	
1.以台北縣石碇鄉做為緊急運送道路規劃案例，因該鄉是台北縣山區小鄉鎮，人口密度低道路少，評估方式是否足夠做為代表性？	1.感謝委員意見，台北縣石碇鄉，為地質災害敏感地潛在災害嚴重地區，且當地道路不發達，倘若發生重大災害易呈孤島效應，故以石碇鄉為示範案例。
2.滲透性排水設計是否會造成大雨積水或沖積路基，請補充說明。	2.滲透排水管要設計於路基地下，對路基沖刷並無影響。滲透排水管不僅有排水功能，另有透水效果，可排除土壤多餘的水，排至雨水下水道，因此，並不會有都市積水現象。
3.比較大寬度之道路做為研究案例，其適用範圍不夠普及，因台北縣道路 15 米寬以上並不多，故是否可引用其他道路寬度作為研究案例。	3.感謝委員意見，道路寬度應隨地區狀況調整，15 米僅供參考，主要還是以有鄰近避難救災據點之道路為緊急運送道路。
營建署道路工程組	
1.透水路面易造成路床軟化，且雨水排至出水口處，會造成淘空砂層。首要考量透水性路面的設計標準，透水路面的設計標準規範未出來前，建議先拿掉一般道路適用於 LID 項目。	1.日本市區道路的路基厚度設計達 75 公分，國內並無詳細的設計規範，應先著手於設計規範。一般道路適用於 LID 項目，國內市區道路路面並無標準設計規範，本研究先不納入項目範圍內，但可納入人行道部分。
營建署公共工程組	
1.98 年度計畫書原則同意，有關工作項目及架構請再與作業單位協調修正。	1.感謝委員意見，將配合進行工作會議方式協調修正 98 年度工作項目及架構。
黃副署長景茂	
1.本委託案不應只是研究，還要能推廣至地方政府實際應用；98 年度請納入再生瀝青材料應用路面之應用推廣，以達到永續發展之目標。	1.感謝委員意見，關於 RAP 之應用路面，會納入 98 年度計畫項目中。

附錄(十)

專家座談會會議紀錄

附錄(十) 專家座談會會議紀錄

◎ 防災道路第一次專家座談會議紀錄

A.時間：中華民國 97 年 5 月 29 日上午 10 時 00 分

B.地點：台北科技大學土木館四樓會議室

C.主席：張教授寬勇

紀錄：黃麒然

D.出席人員：鄭副局長宗敏、程科長昌興、吳科長冰、陳專員春輝、

陳博士明仁、林顧問安彥、張教授寬勇、黃麒然、李俊德、

張文彥、謝吳嘉

E.議題：

1. 探討市區道路及其附屬設施緊急救災機制之架構
2. 防災道路評估與規劃準則探討之架構

F.專家座談建議彙整：

1. 在災前對策裡的附屬設施部分，建議加入廣告 T 壩的管理。
2. 在機具管理部份需納入車輛管理的資料建置，例如吉普車。
3. 在災前對策部份須考慮是否納入橋樑的檢修、檢測、檢查之部分，讓災前對策能更加的完整。
4. 防災據點與避難據點無完整的說明，未來執行機關很難執行，建議針對此部份做定義，讓執行單位能更清楚須調查哪些項目。
5. 應變對策部份請考量與如何與國防部做結合。
6. 應變對策部份建議加入體系，並且建議以行之有年之 ICS 體系。
7. 建議未來的成果可以回饋到災害防救法，讓防災道路能做明確之定義。
8. 在防災道路規劃完畢後，建議未來可耐震係數加入探討議題。
9. 容易孤立之地區建議考慮直升機起降區。
10. 未來針對防災道路進行標示，立意非常好。

◎ 市區道路第一次專家座談會議紀錄

A.時間：中華民國 97 年 5 月 30 日下午三時 00 分

B.地點：台北科技大學土木館四樓會議室

C.主席：鄭教授光炎

紀錄：梁硯翔

D.出席人員：趙編審啟宏、許司長俊逸、劉總工程司健朗、鄧副所長文廣、
鄭技正超明、連技士進春、吳技士長興、林顧問安彥、
鄭教授光炎、李俊德、梁硯翔、吳維斌、曾士倫、賴巨峰、張文
彥、陳妍束

E.議題：

- 1、低衝擊開發應用於市區道路之效益評估
- 2、都市綠廊道之可行性評估與設計準則
- 3、人行道設施物控制樞紐之改善對策
- 4、其他

F.專家座談建議彙整：

1. 法規研究甚為重要，因為有好的理念，均需要法源依據才能付之實施。
案子在進行本土化之前，建議蒐集國內法規，與計畫案的成果做適當結合，後續對法規面的修改和增設，可於計畫章節建議的部分寫到。
2. 本研究內三個子題應予整合，互為表裡、互相支援，營造最佳生活環境，發揮最大功能。
3. LID 之技術及設施應對公路主管單位和顧問公司廣為宣導，而 LID 範圍廣及設施多，建議以排序觀念訂定優先順序。
4. 初期逕流（Flash Runoff）如能設計排放，後期逕流再補助地下水，對於地下水污染之防制，其效果更大。

4. 市區道路之排水溝在以草溝方式設置，在台灣地質似乎不太可能，因慮及安全及養護工作。
5. 施作透水側溝於台灣，有些城鎮家庭污水直接排至側溝，需考量污水入滲而污染地下水源。
6. LID 與共同管道及污水下水道之配合，應區分配合係以「幹管共同管道」或「供給管共同管道」並加以說明。
7. 市區道路除考慮都市計劃時納入規劃之必要寬度外，亦可配合都市更新或新市鎮開發案例一併先期規劃廊道、位置及區域等，建議以寬度作為區分、規設之準則。
8. 綠廊道要考量台灣南北不同區域之氣候變化及其成長之程度，對於樹種之選擇應納入考量。
9. 市區內綠廊道植樹穴可作最小面積之建議，讓水能順利滲入外，美化亦可成為帶狀。如要拍攝台北縣政府願協助。
10. 自行車道應可納入綠廊道設計內，以因應高油價來臨之替代運具需要。
11. 目前市區人行道設施物的亂象，緣起早期都市計畫沒有規劃公共設施物的佈設，可對都市計畫法作修改之建議將共同管道、人行道設施及控制樞紐佈設納入法中。
12. 都市人行道之設施物有些並不可能避免，遷移有其實質困難(例如位置及費用)，故僅以控制物之綠美化為優先考量。
13. 電箱遷移或減量，以台北縣經驗可採用學校、公園空地調整放置。
14. 部分縣市政府施作透水性連鎖鋪面成效不彰，連鎖磚下層鋪砂無黏結性，導致車轍處的磚塊因長期受壓不均而隆起，行人經過時，磚面間孔隙的泥水濺起噴濕行人，因此希望本計畫能多收集些透水鋪面之工法，讓工程界有更好工法去採納。
15. 台北縣或桃園縣政府之航空城規劃願配合本計畫，提供一路段作示範區，未來推動時，本團隊可積極洽商，落實示範區之執行。

◎ 市區橋梁第一次專家座談會議紀錄

A.時間：中華民國 97 年 5 月 26 日下午 16:00

B.地點：台北科技大學工程學院 204 研討室

C.主席：李教授有豐

紀錄：李俊德

D.出席人員：陳教授清泉、黃教授榮堯、鄧處長文廣、廖組長肇昌、

彭副理康瑜、林顧問安彥、李教授有豐、李俊德、梁硯翔、

張文彥

E.議題：

- 1、市區橋梁期中報告內容之探討
- 2、研擬市區橋梁適用之補強工法考量原則
- 3、後續計畫之替代性營建材料(FRP)之研究面向
- 4、其他

F.專家座談建議彙整：

1. 建議增加說明「市區橋梁」與一般「公路橋梁」之差異或定義。
2. 補強工法建議加入變更結構系統及其他可用於補強之工法(如噴凝土補強)。
3. 本研究是否僅用於「防災道路」或優先使用？
4. 建議於 RC 包覆工法施工部分，應注意其工作性填充的效果。
5. 圖 4.29 中提出橋梁重建或補強之考量因素對市區道路橋梁之主管機關單位十分有價值且重要，惟其中「可延長之服務年限」，應屬於補強(重建)設計之標準，一般在估算補強費用之前，須先對「預期使用年限」有所確認後，方能進行補強與重建之方案研選與比較，建議研究團隊進一步釐清。

6. 圖 4.29「重建費用」之界定為整座橋或者是以單元計算，請說明。
7. 目前中山高速公路正在進行補強作業，921 地震後亦有許多補強案例，台北市新生高架橋亦將進行維修補強作業，建議於介紹補強工法時能引用國內已完成之施做案例以供參考。
8. 各類工法之使用除了費用及年限外，建議增加不同功法採用時之分類判斷準則(如上下構、工法選擇或跨徑)。
9. 圖 4.1 中提出「替代性營建材料(FRP)之可行性及耐久性研究」之架構，係針對 FRP 貼片及 FRP Rebar 兩部份，建議可先擴大討論其他 FRP 材料於營建上之最新應用，檢討國內設計、生產、施工及維護能力之本土化課題與需求，再考量研究計畫之人力、時間與費用等，選擇現階段國內較適合作為替代性營建材料之 FRP 產品後，集中資源進一步深入探討，茲將個人過去整理 FRP 應用之簡報資料提供研究單位參考。
10. 綠色材料應用於補強部分以 CFRP 或 GFRP 等材料取代鋼筋或是取代橋面版等構件，具有其前瞻性。建議以相關案例嘗試進行補強與抽換之經費比較，以說服擬採用者之信心。
11. 建議說明替代性材料之優缺點及品質如何提昇。
12. 請補充 FRP 材料相關價格之參考資料。
13. FRP 橋面版及梁等替代材料，可否提供國外使用之斷面設計圖。
14. 橋梁品質提升部份 KPI 之訂定，建議提出服務性能之提昇、耐久性年限延長、單位面積補強費用之降低、橋梁可靠度等方向。
15. 強化各項技術現況發展與本研究工作内容之區隔，凸顯本研究之貢獻效益。

◎ 市區橋梁第二次專家座談會議紀錄

A.時間：中華民國 97 年 10 月 27 日下午 15:00

B.地點：台北科技大學工程學院 204 研討室

C.主席：李教授有豐

紀錄：李俊德

D.出席人員：吳科長冰、趙編審啟宏、陳教授清泉、高教授健章、鄧處長文廣、
廖組長肇昌、賴副理順政、林顧問安彥、李教授有豐、李俊德

E.議題：

市區橋梁期末報告內容之探討

F.專家座談建議彙整：

1. FRP 應用方面建議未來可配合設計與施工規範草案的修訂，送請內政部審核，以落實工程設計與施工。
2. FRP 貼片補強於國內已有數座橋梁補強之案例，建議就此部分制定標準作業程序及相關原則。
3. 依國內目前資料判斷，FRP 應用於橋面版或樓版最有利，因 RC 版之鋼筋保護層較薄，施工上也較差，以致鋼筋易生鏽膨脹使版構件破壞，故以不銹蝕之 FRP 材料替代鋼筋用於版構件上，實為一可行方案。
4. 建議可將 FRP 材料先以國家公園或高速公路服務區內之人行陸橋進行試做。
5. 鋼纜線圍束補強部分，建議可納入鋼筋混凝土規範中。

專家座談會照片

(一) 防災道路第一次專家座談會



(二) 市區道路第一次專家座談會



(三) 市區橋梁第一次專家座談會



(四) 市區橋梁第二次專家座談會



附錄(十一)

工作會議紀錄

附錄(十一) 工作會議紀錄

◎ 市區道路及其附屬設施技術研發計畫工作會議記錄(一)

壹、時 間：民國 97 年 6 月 25 日（星期三）11:00

貳、地 點：台北科技大學土木館四樓會議室

參、時 間：吳冰科長、趙啟宏編審、李有豐老師、張寬勇老師、鄭光炎老師
林鎮洋老師、林安彥顧問、梁硯翔助理、黃麒然助理、張文彥助理、李俊德助理

肆、主持人：李有豐老師

伍、主要議題：

1. 工作計畫書進度報告
2. 依 98 年綱要計畫審查回覆意見並修正計畫書
3. 後續工作說明

陸、紀 錄：李俊德助理

柒、編 審：李有豐老師

捌、結 論：

1. 簡報中須先對整體計畫整合部分進行說明，再對分項研究進行說明。
2. 自行車道為目前議題，宜納入研究範疇內以符合人本考量。營建署道路組目前亦有相關計畫，可配合進行資料蒐集與研究探討。計畫關聯圖於各子計畫的整合願景為「永續道路」，建議將「人本、優質、生態及永續發展」納入，並於計畫中說明。
3. 報告書中將「防災道路」一詞，修正為附錄(一)中道路防災之定義依行政院災害防救委員會所律定之道路名詞。
4. 請將 KPI 質化與量化問題納入期中簡報中說明。
5. 針對審查委員意見，盡快將審查意見修正於 98 年中綱計畫書。

玖、散會

附錄(一)

關於防災道路之定義，日本道路防災之規劃區分為第一次緊急輸送路網、第二次緊急輸送路網及第三次緊急輸送路網；國內內政部建築研究所選定 921 重建區、中和市、苗栗市、礁溪鄉、台南市、鳳山市、朴子市、太保市、新竹市、永康市、岡山鎮、台東市、新莊市及桃園石門地區進行都市防災示範規劃，針對道路防災區分為兩種，其一為緊急道路、輸送救援道路、消防避難道路及緊急避難道路，另一種分類為救災路徑、避難路徑及替代路徑；行政院災害防救委員會調查各縣市之各層級道路分別為輸送救援道路、緊急聯外道路、消防避難道路、緊急避難道路以及替代道路。故道路防災之定義依行政院災害防救委員會律定為輸送救援道路、緊急聯外道路、消防避難道路、緊急避難道路以及替代道路五種，其功能分述如下：

- 一、緊急聯外道路：必須維持 20m 以上的有效寬度，重大災害發生後，須能確保連絡災區與非災區，並得以連通各防災分區之道路。
- 二、輸送救援道路：須維持 15m 以上的有效寬度，並配合緊急道路架構成完整的救災路網，於災害發生時及災害底定後，作為運送救災物資、器材及人員等之通道。
- 三、消防避難道路：以針對災害延生之火災提供足夠寬度，予消防車輛通行及消防機具之操作空間。
- 四、緊急避難道路：8m 以下道路且任一街廓包含兩條以上之緊急避難道路，災害發生時災區內人員可經由緊急避難道路抵達緊急避難地點。
- 五、替代道路：主要以消防避難道路及緊急避難道路未劃入之道路，依都市危險據點位置，供災害發生時避難與救災之代替性道路。

◎ 市區道路及其附屬設施技術研發計畫工作會議記錄(二)

壹、時 間：民國 97 年 8 月 11 日（星期一）13:30

貳、地 點：台北科技大學土木館四樓會議室

參、出 席：吳冰科長、趙啟宏編審、李有豐老師、張寬勇老師、鄭光炎老師、林鎮洋老師、林安彥顧問、梁硯翔助理、吳維斌助理、張文彥助理、李俊德助理

肆、主持人：李有豐老師

伍、主要議題：

1. 期中審查委員意見如何落實到期末報告。
2. 國科會的 kpi 如何落實及 98 綱要計畫書定稿修訂。
3. 研討會的課程內容及準備狀況。

陸、紀 錄：李俊德助理

柒、編 審：李有豐老師

捌、結 論：

1. 期中意見回覆內容宜對意見內容據實答覆。
2. 98 年度計畫開始防災道路名稱更改為緊急運送道路。
3. 98 年 KPI 宜以國家當前政策，朝人本、綠廊道、自行車及節能減碳方向修訂。
4. 97 年計畫自行車案例探討宜採台北市做為案例主軸。
5. 自行車於 98 年計畫加強探討於市區道路之可行性規劃（以台北市為例）。
6. 研討會議題需要讓各界有興趣，參加人員以公務員及業界為主，但不排斥學生參加。
7. 98 年計畫自行車步道可參考「道路交通管理處罰條例」進行法規面之探討。

玖、散會

◎ 市區道路及其附屬設施技術研發計畫工作會議記錄(三)

壹、時 間：民國 97 年 9 月 24 日（星期三）15:30

貳、地 點：台北科技大學土木館四樓會議室

參、出 席：吳冰科長、李有豐老師、林安彥顧問、李俊德助理

肆、主持人：李有豐老師

伍、主要議題：

1. 98 年計畫內容修正。

陸、紀 錄：李俊德助理

柒、編 審：李有豐老師

捌、結 論：

1. 98 年計畫加入橋梁檢測制度之研究。
2. 98 年計畫方向以橋梁檢測制度研擬與人才培訓等議題之教育訓練為主。
3. 期末專家座談將邀請橋梁管理單位與顧問公司探討橋梁安全管理等相關課題。

玖、散會

◎ 市區道路及其附屬設施技術研發計畫工作會議記錄(四)

壹、時 間：民國 97 年 10 月 3 日（星期五）14:30

貳、地 點：台北科技大學土木館四樓

參、出 席：吳冰科長、李有豐老師、林安彥顧問、李俊德助理

肆、主持人：李有豐老師

伍、主要議題：

1. 橋梁檢測制度規劃草案。

陸、紀 錄：李俊德助理

柒、編 審：李有豐老師

捌、結 論：

1. 營建署所轄之縣市政府橋梁檢測作業要點(草案)加入市區橋梁檢測組織架構。
2. 請於下禮拜於營建署報告市區橋梁檢測制度規劃簡報，內容包含國內現況說明、檢測方式及頻率、人才訓練規劃、考評方式、其他工作建議。

玖、散會

◎ 市區道路及其附屬設施技術研發計畫工作會議記錄(五)

壹、時 間：民國 97 年 10 月 08 日（星期三）13:30

貳、地 點：台北科技大學土木館四樓會議室

參、出 席：李有豐老師、鄭光炎老師、李俊德助理、梁硯翔助理、吳維斌助理、陳研束助理、張文彥助理

肆、主持人：李有豐老師

伍、主要議題：

1. 97 年計畫期程確定。

陸、紀 錄：李俊德助理

柒、編 審：李有豐老師

捌、結 論：

1. 10 月 15 日繳交期末報告初稿並於 10 月 25 日送印。
2. 各子計畫手冊於 10 月 25 日送印。
3. 98 年工作計畫書於 10 月 25 日送印。
4. 總論部分加入研討會產、官、學界參與人數統計分析與研討會成效評估分析。
5. 手冊內容以實用性為主，並於成果發表會中印發並解說。
6. 定稿前建議辦理專家座談會及一次內部會議。
7. 儘早將已完成之初稿內容送交林安彥顧問幫忙審查。

玖、散會

◎ 市區道路及其附屬設施技術研發計畫工作會議記錄(六)

壹、時 間：民國 97 年 11 月 13 日（星期四）11:30

貳、地 點：台北科技大學土木館四樓會議室

參、出 席：李有豐老師、鄭光炎老師、張寬勇老師、李俊德助理、梁硯翔助理、吳維斌助理、張文彥助理

肆、主持人：李有豐老師

伍、主要議題：

1. 期末簡報初稿
2. 成果發表會相關事項

陸、紀 錄：李俊德助理

柒、編 審：李有豐老師

捌、結 論：

1. 確認期末簡報格式並訂正錯誤。
2. 由李俊德助理進行各簡報整合工作。
3. 成果發表會訂於 12 月 19 日舉行，各子題製作 3 張海報並將議題於 11 月 18 日前定出。
4. 成果發表會下午參觀訪問之地點請由張寬永老師協助接洽。

玖、散會