

主編的話

下水道系統為都市運行與公共衛生的基礎命脈，其建設、維護與營運過程涉及許多具有風險作業：如局限空間作業、地下開挖、高處作業、機具操作及有害氣體暴露等...。近年隨著工程量增長與工法多樣化，職業安全事件仍屢見不鮮，顯示僅靠傳統管理不足以全面降低風險。本期期刊以「下水道系統職安風險探討」為題，期望結合理論、實務案例與科技應用，提出可操作的預防策略與實務建議，協助業界從源頭設計、施工管理到維運階段，共同持續向零職災的目標邁進。

臺灣自污水下水道建設推動以來，進入長期擴充與維護階段；第六期建設計畫等政策持續推動下，施工及維運複雜度同步提升。在此背景下，職業安全管理面臨三項挑戰：一是工程場域的風險型態多元且具突發性；二是現場監測與通風、擋土等技術在部分作業仍未普及；三是工法創新（如推進、更新維護工程）帶來新的危害型態與管理缺口。因此，本期主題聚焦下水道系統職安風險，如何應用管理技術與最新科技提升職業安全，不僅是保障從業人員生命安全的必要作為，也關係到工程品質、城市防災韌性與公共信任等重要關鍵。

本期彙整九篇專題文章，主題涵蓋職災趨勢分析、明挖／推進／更新維護工程等工法之案例研析、風險評估技術與智慧化監測等，內容兼具統計分析、代表性事故案件剖析、具體防治對策與最新科技發展情形。整體研究方向可歸納為：1) 事故類型與成因之經年趨勢分析；2) 工法別之關鍵風險識別與標準化作業程序建議；3) 智慧監測、遠端操控與人孔送風等科技解決方案；4) 創新工法與評鑑作業實務案例分享。上述彙整與分析為國內下水道職安管理提供紮實的知識基礎與政策參考。

有關國內下水道系統各類型工法所對應的風險分析與因應對策專題，本期共收錄 4 篇專文，由內政部國土管理署下水道分署曾憲國安全管理師等 3 人主筆之「下水道工程職災風險趨勢分析與因應對策研究」，透過 2017 年至 2024 年職災資料，發現倒塌與崩塌為主因，缺氧／中毒與爆炸亦為重要類型；雖 2021 年事故下降，但 2022 年至 2024 年再度上升，顯示安全管理須強化。研究建議導入智慧監測、機械自動化與 AI 風險預警，以降低人為操作錯誤與監測疏失。由馨澤工程有限公司莊宜安總經理等 3 人共著之「明挖工法-崩塌及爆炸職災研析與預防策略」，彙整明挖施工常見災害：擋土失效、物體倒塌等，主因包括地質與管線調查不全、防護不足與作業程序未標準化。建議重視作業前風險評估、設施設置標準化與強化教育訓練。邀請加興營造工程股份有限公司林玉清工務協理等 3 人所分享專文「推進工法-墜落、滾落、被撞、有害物接觸及爆炸

主編的話

職災研析與預防策略」，研究指出推進施工受局限空間、地質與管線複雜度影響，常見事故含爆炸、缺氧與被撞。研究分析代表案例之直接與間接原因，並提出標準程序 SOP 建立、通風與氣體監測常態化及作業人員風險意識提升的具體對策。而由鎧德工程顧問股份有限公司張國璽副總經理等 3 人所共著之「更新維護工程-管線及廠站維護中與有害物接觸職災研析與預防策略」，分享在管線更新與廠站維護頻繁進入局限空間，缺氧與有害氣體暴露風險高。統計與案例分析指出監測落實不足、換氣設施不全與教育訓練不足為主要缺失，建議強化局限空間管制與持續監測。

在國外最新下水道系統職安風險相關的研究成果方面，由中興大學環境工程系陳浸煊教授等 2 人所共著的「國際提升下水道作業安全之案例分享-暴露監測、健康風險模型與通風強化技術」，則協助彙整國外研究與技術應用，指出可用空氣暴露指標與量化模型評估微生物及內毒素風險；並介紹可持續送風人孔機等裝置，強調以科技化手段量化風險、導入工程化通風解決方案。

關於創新工法與評鑑作業實務案例分享方面，本期共收錄 4 篇專文，由內政部國土管理署下水道工程分署林厚名分署長等 3 位所主筆之「長圓形鋼環片壓入式沉箱工法及曲線推進工法案例介紹」，以臺南市仁德區污水下水道系統第二期工程主、次幹管第二標為施工案例，介紹利用鋼環片壓入式沉箱工法做為污水下水道工作井之擋土支撐，並介紹以長圓形鋼環片及曲線推進工法施工克服工作井因管線障礙無法沉設之問題。另外透過內政部國土管理署下水道建設科張建偉科長等 3 人共同撰寫之「2024 年度污水下水道建設—評鑑專題報導」，探討各縣（市）政府於污水下水道建設推動過程中的政策落實情形，藉由盤點污水下水道推動成果與施政趨勢，可作為後續精進地方建設與營運策略之參考。而墩興營造有限公司吳祥維董事長等 2 人所合著之專文「全國下水道局限空間出入坑作業評鑑」參賽分享，分享參與全國局限空間出入坑作業評鑑比賽的實務經驗，該團隊以創新工安設備和改良技術獲得優等獎，有效提高作業安全性與效率。建議未來需持續檢討和優化工安措施，並導入智慧技術與透過職業訓練提升從業環境，繼續提升國內營造業職場安全。最後經由內政部國土管理署下水道建設組葉信宏簡任正工程司等 4 人共同發表之「智慧水務新紀元：解碼下水道 AI 創新應用」研討會」專文，可從多個面向觀察到人工智慧(AI)在下水道治理的創新應用，如政策管理面提升行政效率、工程設計面加速流程、施工維運面進行異常判釋等應用，但也強調必須在透明、安全與可信任框架下，才能有效應用 AI 推動下水道永續發展。

目錄

專題報導

下水道工程職災風險趨勢分析與因應對策研究.....	曾憲國	1
明挖工法-崩塌及爆炸職災研析與預防策略	莊宜安	19
推進工法-墜落、滾落、被撞、有害物接觸及爆炸職災研析與預防 策略	林玉清	29
更新維護工程-管線及廠站維護中與有害物接觸職災研析與預防策 略	張國璽	43

資訊分享

國際提升下水道作業安全之案例分享-暴露監測、健康風險模型與 通風強化技術.....	陳漫恒	55
長圓形鋼環片壓入式沉箱工法及曲線推進工法案例介紹.....	林厚名	73

國土管理署時事

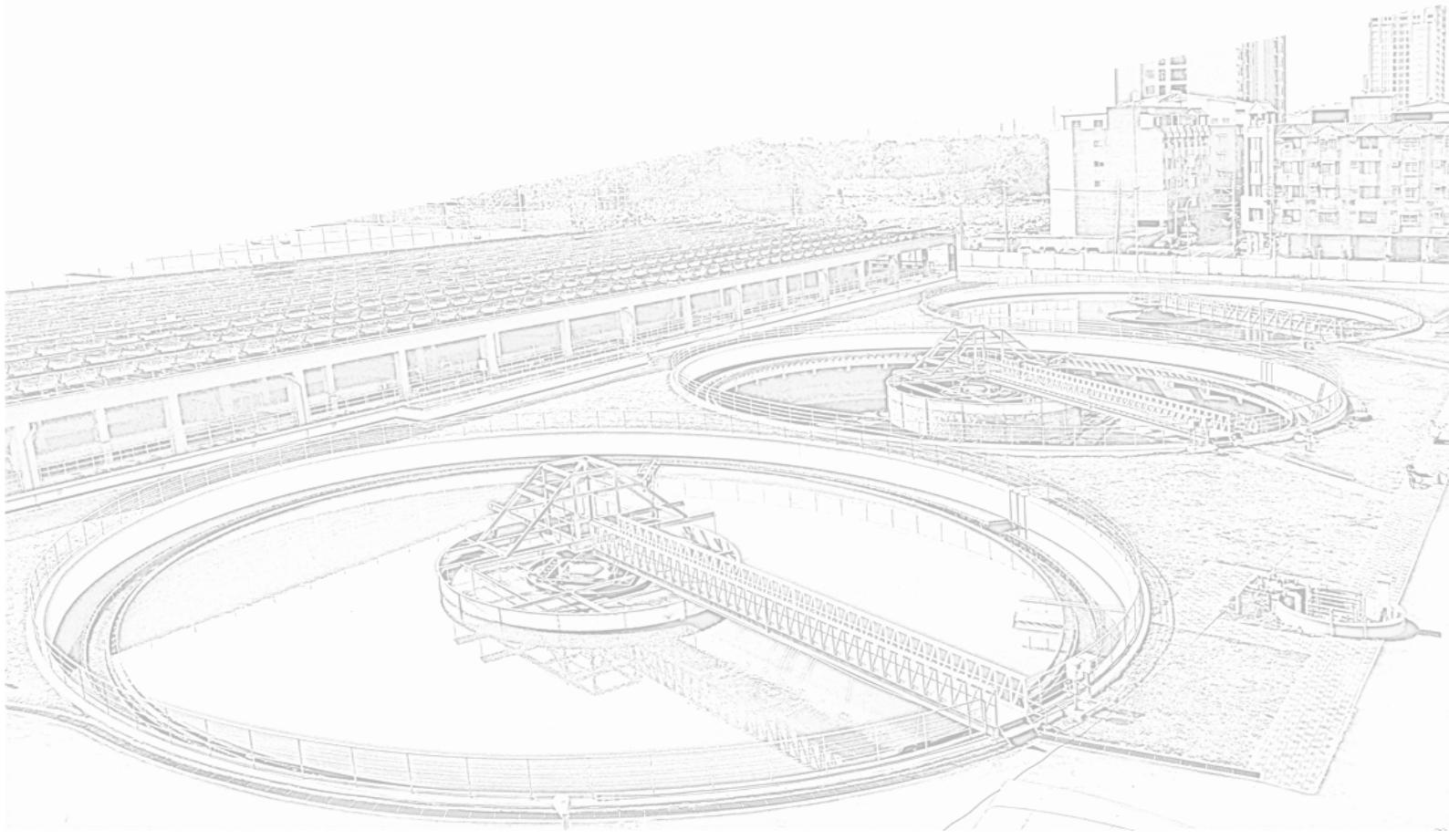
2024 年度污水下水道建設 - 評鑑專題報導.....	張建偉	85
------------------------------	-----------	----

目錄

活動花絮

「全國下水道局限空間出入坑作業評鑑」參賽分享 吳祥維 ...93

「智慧水務新紀元：解碼下水道 AI 創新應用」研討會.葉信宏..103





摘要

下水道工程為都市重要基礎建設，作業場所包含局限空間、高處作業及地下開挖等高風險作業場所，本篇透過收集（2017 年至 2024 年）污水下水道工程職災案例，整理常見職業災害，統計顯示倒塌、崩塌為主要職業災害原因，其次為與有害物接觸（缺氧或中毒）及爆炸，根據資料發現，雖於 2021 年職災數明顯下降，但在 2022 年至 2024 年間又有上升的趨勢，表示現階段而言安全管理措施仍需精進。研究顯示出，多為監測不當或人員操作疏失而導致職災發生，為有效降低職災發生率，應積極推廣智慧監測與機械自動化技術，透過科技化防災、即時監測系統、遠端操控設備及人工智慧風險預警系統，有效降低從業人員作業失誤及監測不當之機率，進而朝向零職災目標邁進。

下水道工程職災風險趨勢分析與 因應對策研究

曾憲國¹、邱建誠²、呂志銘³

關鍵字：下水道工程、職業安全衛生、職業災害分析、智慧監測

-
1. 內政部國土管理署下水道分署 / 安全管理師
 2. 廣信工程股份有限公司 / 總經理
 3. 品昱營造工程股份有限公司 / 總經理

Abstract

Sewer construction projects are a critical component of urban infrastructure. The associated worksites often involve high-risk environments such as confined spaces, work at heights, and underground excavation. This study analyzes occupational accident cases in sewer and wastewater projects over the past eight years (2017-2024), identifying the most common types of incidents. Statistical results indicate that collapses and cave-ins are the main causes of occupational injuries, followed by exposure to hazardous substances (such as oxygen deficiency or poisoning) and explosions. Notably, the number of occupational accidents significantly decreased in 2021 due to government efforts, but showed an upward trend again from 2022 to 2024, suggesting that current safety management measures still require improvement. The findings reveal that most incidents were caused by inadequate monitoring and human error during operations. To effectively reduce the frequency of occupational accidents, it is recommended to actively promote smart monitoring and mechanical automation technologies. Implementing real-time monitoring systems, remote-controlled equipment, and AI-based risk alert systems can significantly minimize human error and monitoring failures, thereby advancing toward the long-term goal of zero occupational accidents.

Keywords : Sewer construction, Occupational safety and health, Occupational accident analysis, Smart monitoring

壹、前言

下水道建設為現代化都市不可或缺的基礎建設，世界各國均視為國家形象、建設發展及競爭力之重要指標，臺灣下水道建設推動迄今已超過 40 年，期間政府每年投入逾百億元，截至 2025 年 5 月底已將公共污水下水道普及率提升至 43%，並且仍在持續成長當中。目前初估全臺每年有高達 400 件下水道在建工程持續進行，由於下水道工程施工過程潛藏著多種高風險因素，因此可能引起勞工遭物體倒塌、與有害物接觸、被撞、溺斃及火災爆炸等危害，且下水道工程多屬局限空間作業，以至於勞工若發生危害，將因進出方式受到限制，導致救援難度的增加而擴大災害等級。根據各年度下水道工程之職災件數統計，平均每年發生約 2~5 件嚴重的職業災害，對勞工安全造成威脅，且可能帶來社會與經濟的負擔。

本文將透過深入分析 2017 年至 2024 年間的污水下水道職災案例，針對各種災害類型進行統計與原因探討，以揭示事故發生的關鍵因素與模式。此外，本研究亦提出具體而可行的防範對策參考，包括推廣智慧監測技術與機械自動化設備，期望提供業界與政府單位參考，協助提升污水下水道工程施工現場的安全性，進而有效降低職業災害發生率，實現零職災的永續發展目標。

貳、下水道工程的職業安全風險

污水下水道工程建設與營運相關的作業環境與作業內容複雜，其潛藏的安全與健康風險隨之提升，無論是在地下開挖、設備安裝或是營運階段從事抽水及污水處理等作業中，均可能因未妥善管理而導致職災發生，為有效降低下水道工程作業的職災發生率，本研究針對各項施工作業及營運場域進行風險評估，並提出具體防範與管理策略，以供相關單位參考。

一、污水下水道施工營運作業之風險評估

下水道施工作業中潛在著許多風險，從地面開挖到高低差作業還有局限空間的危險環境中，可能會遇到物體倒塌崩塌、與有害物接觸、缺氧及墜落等災害，這些風險不僅會對作業人員造成生命危險，也影響作業的效率，本研究整理施工及營運作業中常見風險如下（勞動部，2025a；2025b）：

(一) 施工作業風險

1. 物體倒塌、崩塌

開挖下水道，未事先調查掌握施工區域地質狀況，且開挖深度大於 1.5 公尺時，在未設置擋土設施情形下，可能導致開挖側壁崩塌。

2. 與有毒氣體接觸與缺氧

作業場所內施工或執行清污作業時，

暴露於不安全環境中，如吸入硫化氫、一氧化碳、甲烷等有毒氣體導致中毒或缺氧，未事先進行通風換氣即進入作業場所；或未監測氧氣與有毒氣體的濃度，亦未準備供氣式呼吸防護具等個人安全裝備時容易產生風險。

3. 被撞、捲夾

作業場所內未設置適當撞擊防護及警告措施，未禁止操作人員以外之勞工進入機械之操作半徑。

4. 溺水

作業場所中水管壓力過大脫出同時大量湧水，或是未確實進行水位監測，導致作業人員受困或溺斃。

5. 爆炸

局限空間內未事前進行管線調查，或

未採取適當通風換氣，如未隨時測定及記錄可燃性氣體濃度時，可能導致可燃性氣體外洩造成爆炸危害。

6. 墜落

作業人員站立於開挖邊緣（如高低差達2公尺），若無適當防護措施（如護欄）或未使用個人防護裝備（如全身背負式安全帶），易造成墜落危害。

7. 感電

在進行道路路面開挖時，未事先查明地下電纜設施位置，誤挖或破壞埋設電纜導致作業人員觸感電或設備短路起火。

實務上在施工期間可就各式工程所面臨之各種可能風險進行評估與監控，並繪製風險地圖如圖1，以協助掌握各地區工程施工風險與最新各項預防措施實施情形。



資料來源：自行繪製。

圖1 工程施工風險地圖案例

(二) 營運作業風險

1. 污水處理廠營運風險

(1) 缺氧作業危害

勞工在作業場所從事非經常性作業，由於進出方法受限制，且無法以自然通風方式來提供並維持充分、清淨空氣送達作業空間，導致缺氧狀態。

(2) 開口作業危害

污水處理廠作業環境以池槽居多且深度均超過 2 公尺，其因特殊因素無法設置平台、護欄、防墜設施等安全措施，恐導致作業人員發生墜落危害。

(3) 火災爆炸風險

若污水處理廠廠內沼氣積聚未進行適當處理，亦有產生火災或爆炸之虞。

(4) 職業病暴露

污水處理廠作業環境中病原菌、有害氣體等危害性化學性物質若未妥善控管，恐導致作業人員健康暴露於危害風險中，進而引發感染、中毒或其他職業疾病之發生，對人員安全與廠區營運穩定性亦造成潛在影響。

2. 抽水站營運風險

(1) 設備故障

因停電/設備故障，導致功能降低或

停止，造成污水溢流或下水道用戶的使用受到限制。

(2) 水位上升

發生意外事件的情況下，水位急遽上升導致淹水，造成設施淹沒。

為防止下水道作業之危害造成作業人員生命受到威脅，以及不影響作業效率，本研究描述各項危害風險之預防方法及管理策略以保障作業人員的安全，確保工程順利進行。

二、風險防範與管理策略

(一) 施工安全管理策略

1. 物體倒塌、崩塌防範與管理

施工前應指派職業安全衛生人員（如作業主管、危評人員等）或專任工程人員等專業人員，實施危害調查評估、施工階段風險評估，且從事開挖作業時，應依照作業場所之地質，設置適當之擋土支撐、邊坡保護等設施。實務上可改造傳統式擋土板設施優化擋土板設置，以機械吊掛減少作業風險提升工作效率（如圖 2）。

2. 有毒氣體暴露與缺氧防範與管理

作業場所中應置備直讀式測定空氣中氣體濃度之測定儀器，並採取隨時可確認空氣中氧氣濃度及其他有害氣體濃度之措施，且作業場所應設置適當之通風換氣設

備，作業期間應確認是否連續及有效運轉，且應置備空氣呼吸器或輸氣管面罩等個人呼吸防護具。實務上可採用物聯網實

施施工安全管理，輔以 AI 分析進行入場管制，實施管理智慧化（如圖 3）。



管線開挖支撐工程計算書

○○工程顧問有限公司

中華民國一〇八年五月

圖 2 優化擋土板門型架施工輔以管線開挖結構計算



圖 3 智慧型工地現場環境監測及電子圍籬

3. 被撞、捲夾防範與管理

車輛系營建機械作業場所應設置適當防止撞擊之防護及警告設施，且禁止操作人員以外之作業人員進入機械之操作半徑，並製定機具使用之安全操作及防護工作手冊。現場亦可設置感應式提醒器（如圖 4），以強化作業期間工作人員安全。

4. 感電防範與管理

作業場所中，應設防止感電之護圍或絕緣被覆（如圖 5），設置於電桿、鐵塔等已隔離之場所，且禁止電器作業有關人



圖 4 紅外線感應式人員危害提醒器示意圖



圖 5 設置電器絕緣墊及施工管制區示意圖

員以外之人員進入。

5. 職業安全教育訓練

定期進行職業安全教育訓練及防災演練，促進作業人員辨識風險與突發事件應變能力。

6. 智能監測技術應用

取代傳統巡檢方式，發展自動化監測系統，進行管網狀態智慧研判，可提升維護管理及防災應變效益（桃園市政府水務局，2020）。

(二) 營運安全管理策略

1. 作業場所危害告知

作業場所應清楚告知作業人員可能遭遇之危害，並指派專責人員於現場指揮監督，各個場址或機具設備應指派專業人員使得進行操作，且訂定安全工作守則供勞工共同遵守。

2. 設備維護管理

作業場所應定期對設備、措施進行巡檢與保養（如圖 6），指派專責人員於現場依規定進行巡視檢查，並依使用情形定期保養，以確保各項設備或措施能夠正常運行使用。

3. 化學品管理措施

建立危害性化學品清單及揭示安全資

料表 (SDS)，並清楚指示各個化學品的儲存方法、使用方法、洩漏應變方法及各項化學品所帶來的危害。

4. 緊急應變措施

制訂完善緊急應變計畫，並規劃緊急應變組織與分工（如圖 7），執行定期宣



圖 6 專責人員設備檢點巡檢示意圖

導、每年實施防災緊急應變訓練。

5. 巡檢與維護

定期指派專責人員對作業場所進行巡檢，發現異常即時通報修復，以防止意外發生。

參、近 8 年 (2017 年至 2024 年) 本國職災趨勢與分析

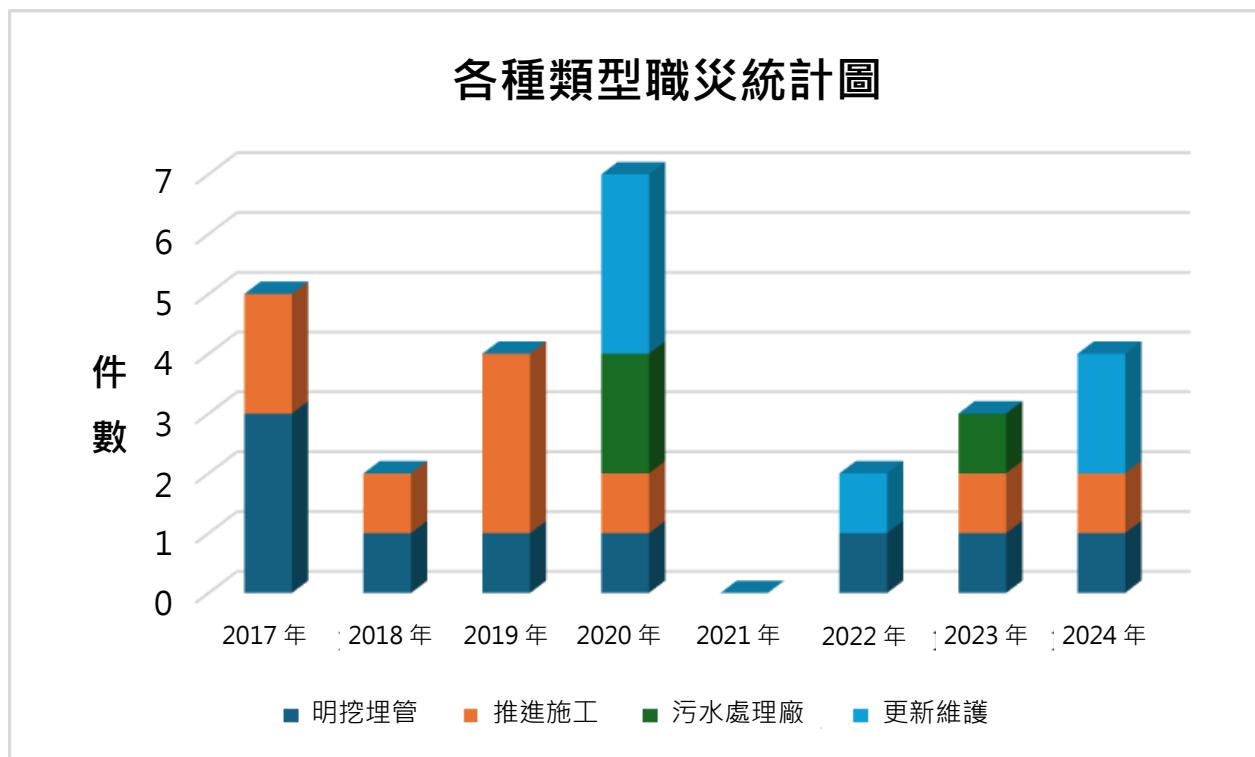
下水道工程大致可分為明挖埋管、推進施工、污水處理廠、更新維護等 4 類，根據下水道職災統計資料，2017 年至 2024 年間，共發生各作業類型職災 24 件（詳圖 8 及表 1）。

分析各大類型對應之歷年職災，其中



資料來源：自行繪製。

圖 7 規劃緊急應變組織架構圖示意圖



資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)・下水道工程職災案例彙編（106－112 年）；本文整理。

圖 8 2017 年至 2024 年污水下水道各種作業類各種職災統計圖

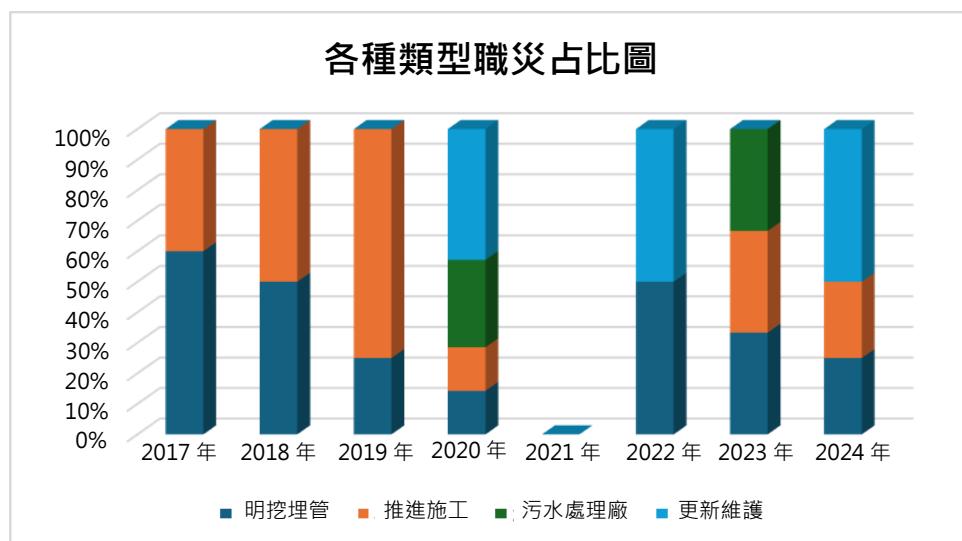
表 1 2017 年至 2024 年污水下水道各種作業型態職災統計表

時間(年)		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	合計
件數	明挖埋管	3	1	1	1	0	1	1	1	9
	推進施工	2	1	3	1	0	0	1	1	9
	污水處理廠	0	0	0	2	0	0	1	0	3
	更新維護	0	0	0	3	0	1	0	2	6
	合計	5	2	4	7	0	2	3	4	27

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)・下水道工程職災案例彙編（106－112 年）；本文整理；本文整理。

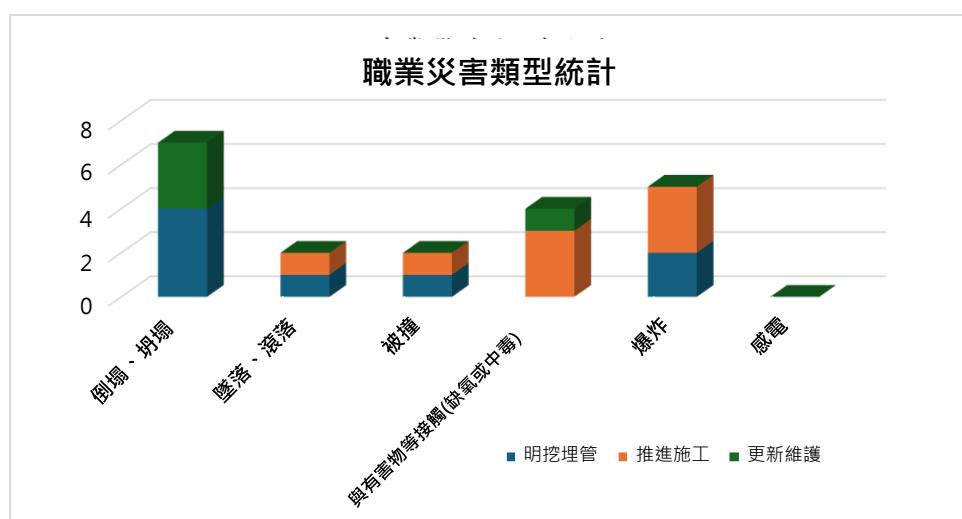
推進施工佔 37.5 %，明挖埋管佔 37.5 %，更新維護佔 25 %（詳圖 9）。明挖埋管及推進施工明顯為高風險施工類型，極需強化管理。

統整各施工方式災害類型，「倒塌、坍塌」占比最高為 29 %，其二為「有害物接觸（缺氧或中毒）」25 %、「爆炸」20 %、「墜落、滾落」17 %及「被撞」8 %（詳圖 10），顯示需優先



資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106–112 年）；本文整理。

圖 9 污水下水道各種作業型態職災佔比統計圖



資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106–112 年）；本文整理。

圖 10 污水下水道職災類型佔比統計圖

強化土方安全、缺氧或防止與有害氣體接觸、管線防護措施及人員防墜設備。

另本研究進行作業型態與職災類型交叉分析可如表 2 所示，以下針對主要工程類型所對應發生之職災事件進行分析。

一、明挖埋管工程

明挖埋管工法所引發的職業災害中，以倒塌、坍塌最為常見（件數為 6 件，占比約 25%）；其次為爆炸災害（共發生 2 件，占比約 8%）；另外被撞災害（共 1 件，占比約 4%）。造成這些災害的原

因主要與施作特性有關，明挖埋管工法需進行地面開挖作業，若未妥善設置擋土支撐系統或進行邊坡防護，極易導致土方塌陷，造成倒塌災害；而爆炸災害則多發生於挖掘時誤觸地下燃氣管線，或密閉作業空間內可燃氣體積聚未妥善通風所致。

二、推進施工

推進施工發生的職業災害中，以爆炸災害最為常見（共發生 3 件，占比約 12.5%）；其次為與有害物之接觸（缺氧或中毒）與墜落、滾落災害（各發生 2

表 2 下水道各種作業型態與職災類型統計表

災害類型	明挖埋管		推進施工		更新維護		合計	
	件數	百分比	件數	百分比	件數	百分比	件數	百分比
墜落、滾落	0	0%	2	8%	2	8%	4	16.67%
倒塌、坍塌	6	25%	1	4%	0	0%	7	29%
被撞	1	4%	1	4%	0	0%	2	8.33%
與有害物之接觸 (缺氧或中毒)	0	0%	2	8%	4	16.70%	6	25%
感電	0	0%	0	0%	0	0%	0	0.00%
爆炸	2	8%	3	12.50%	0	0%	5	21%
合計	9	37.50%	9	37.50%	6	25.00%	24	100.00%

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)・下水道工程職災案例彙編（106–112 年）；本文整理。

件，分別占比約 8 %)；另有倒塌、坍塌與被撞災害（各 1 件，占比皆為 4 %）。這些災害的發生與推進工法的作業環境高度相關：地下局限空間作業，施工環境狹窄且通風條件不佳，易導致缺氧或有害氣體累積，進而引發缺氧或中毒風險；同時，開挖過程若可燃性氣體洩漏，則可能引起爆炸事故。此外，若推進作業區域如開挖開口處、機具設備周邊未設置完善的防護設施，易造成人員或物體墜落等傷害事件。

三、更新維護

更新維護作業所發生的職業災害中，有害物接觸（缺氧或中毒）為主要發生的災害類型（共計 4 件，占比約 16.7 %），墜落、滾落災害（占比約 8 %，2 件）。造成此類災害的原因，因更新維護屬於局限空間作業。由於作業空間狹小，若通風設備配置不良或缺乏有害氣體監測設施，導致有害氣體累積，使其暴露於缺氧或中毒風險之中，同時操作過程安全防護措施未落實，以至於工作人員易於廠站設施開口處墜落滑落，進而引發職業災害。

根據統計結果，污水下水道作業型態與災害類型有著密切的關聯，明挖埋管及推進施工有著最高的職業災害發生頻率，尤其以倒塌、坍塌與有害物之接觸（缺氧或中毒）及爆炸最為常見，應列為重點防範職災樣態。

肆、國外污水下水道工程職災案例

污水下水道工程職災在全球各處持續的發生，本研究蒐集歷年來國外發生之較大之污水下水道工安事故實際案例並進行分析，作為國內污水下水道工程之借鏡，以警惕工程單位及作業人員，避免發生更多不必要的職業災害。

一、香港污水下水道案例有毒氣體暴露案例

香港在 2024 年 4 月，發生一起下水道工程職災事件（現場照片如圖 11），兩名分別為 26 歲和 34 歲工人在 4 公尺深的人孔內從事清理排水溝作業，疑似吸入高濃度有毒氣體而昏迷，最終兩人送醫不治，這是屬於典型的局限空間作業職業災害。（South China Morning Post，2024）

二、美國污水下水道坍塌案例

2022 年 8 月 28 日，美國康乃狄克州一名工人正在一個 17 英尺深的溝渠內，這時溝渠的一部分發生坍塌，坍塌導致一根混凝土管道移位，造成工人被壓致死；加州職業安全與健康管理局發現的違規行為有(1)未實施有效的傷害預防計畫來識別、評估和糾正工作場所的危險並提供培訓(2)未對挖掘現場進行檢查，缺乏必要的保護系統(3)雇主沒有提供在 17 英尺深的挖掘現場的作業人員必要的塌陷保護，為此次重大災害的主要原因。（Inside Cal/



資料來源：South China Morning Post (2024) , Death of 2 Hong Kong sewer workers triggers renewed calls for action to plug safety gaps on sites.

圖 11 香港下水道工程職災事件

OSHA, 2025)

三、印度污水下水道有毒氣體暴露案例

2019 年 6 月 14 日於印度瓦多達拉發生下水道清潔工作事故 (現場照片如圖 12)，共造成 7 人死亡，包括 4 名清潔工與 3 名飯店職員。事故起因於一名清潔工進入化糞池後失聯，其餘 3 名清潔工



資料來源：中國時報(2019,June,16) (臭到窒息？ 7 員工清飯店化糞池死亡)

圖 12 印度瓦多達拉污水下水道工程職災事件

與 3 名飯店員工相繼進入救援，最終全數窒息死亡。初步判定死因為吸入有毒氣體導致窒息，且所有人皆未佩戴任何防護裝備，現場亦缺乏通風與氣體監測設備。(中國時報，2019)

四、美國污水下水道缺氧案例

2017 年 1 月 19 日美國佛羅里達州大礁島發生一起嚴重的下水道人孔窒息事故，造成三名清理污水的工人因吸入硫化氫與甲烷等有毒氣體死亡，一名未配戴空氣呼吸裝置的消防員在嘗試救援時也當場昏迷。事故起因為居民反映污水倒灌，承包商派遣工人前往清理，首位工人進入 15 英尺深的人孔後失聯，其餘兩人相繼進入營救也未再出來，消防隊到場後雖展開救援，仍無法挽回三人性命。事發地點長期有惡臭氣味，現場氧氣濃度極低且無通風設施，為高風險局限空間。(大紀元新聞網，2017)

伍、後續努力方向與精進作為

根據本研究所彙整之國內歷年下水道工程職災統計案例，以及參考國外曾發生之重大相關職災事故，研提未來可能精進作為如下：

一、持續制定並落實下水道全生命週期職安衛相關規定

參考推動依據職業安全衛生法及其相關規定與相關單位的經驗與專業意見，並要求執行機關根據評估風險編列及量化所需的安全設施與人員防護經費，且確實執行風險評估與強化風險管理措施。

此外，針對下水道工程中內政部國土管理署已公布的局限空間作業、防止墜落災害、管溝開挖安全及感電災害防止等四項安全作業規定，應將其規定納入招標文件中作為執行依據，同時檢查是否編列足夠的安全設施及個人防護具經費，確保施工安全落實。

二、全面提升作業人員安全意識

定期且持續推行安全教育訓練，並進行安全認知與作業技能考核。此外，地方主管機關可透過不定期進行評分查核，以隨機抽查的機制督促下水道從業人員落實安全出入局限空間施工作業。

三、強化施工現場安全管理制度

指派現場安全人員或現場作業主管，

落實每日作業前於工具箱會議時進行危害告知，作業進行中於現場指揮監督施工作業流程及安全檢點，提前排除潛在危害。

四、完善緊急救援措施與設備

設置完善的緊急救援設備，定期進行應變演練，確保緊急狀況發生時能即時有效處理。

五、推廣智慧監測與機械自動化技術

隨著科技進步，下水道工程應積極推廣智慧監測與機械自動化技術，以有效降低職業安全風險。透過即時多參數感測器，可全面監控氣體濃度、地下水位、土壤穩定性等關鍵資訊。結合遠端操控技術，減少人員於高風險環境內作業，降低意外發生機率。此外，人工智慧與大數據分析系統可進行即時風險評估，及早預測潛在危險，進一步保障人員安全。建議主管機關及產業界加速推動並普及上述技術，提升整體施工安全標準。

六、下水道之有害氣體

下水道工程包含人孔、污水槽、抽水井等局限空間，此類作業場所空間狹小、進出不便、自然通風不良，導致缺氧或有毒氣體在作業場所中累積，且因該等氣體多無色無味，不易透過感官察覺，極易造成作業人員於不自覺中暴露於高風險環境。本研究整理下水道空間常見有害氣體與危害條件如表3，可作為檢視作業環境風險之參考。

表 3 污水下水道有害氣體及危害條件

有害氣體之危害	危害條件
空氣缺氧	空氣中正常含氧量為 20-21 %，含量未滿 18 %稱為缺氧空氣，若短時間氧氣含氧量不足，即會造成呼吸困難、暈眩，甚至致命。
硫化氫中毒	作業場所硫化氫濃度不得超過 10 ppm。硫化氫氣體主要產生來源為有機廢液、腐污經分解後所產生，一般會溶解於水溶液中並積存於泥狀物質中，硫化氫為無色、有臭雞蛋氣味的氣體，因為比空氣重，且常存在於底部，致使通風不易，容易造成危害發生。
一氧化碳中毒	作業場所一氧化碳濃度不得超過 35 ppm。通常在燃燒不完全時會產生一氧化碳氣體，一氧化碳氣體無色無味，中毒後會有頭痛、噁心及四肢無力等不適情形，故常無法逃離中毒環境，造成傷害發生。
易燃氣體	局限空間如有易燃氣體（如沼氣）不得超過燃燒下限的 30 %，否則如遇到火源，可能引起爆炸或火災。

資料來源：本文整理。

七、工業安全防護設備

個人防護具是利用隔離、過濾等方法減少曝露量，用以保障使用者的健康，使用個人防護具雖然會造成行動不便利與不舒服，但是對安全衛生卻有重大的影響，

作業人員無法選擇自己的作業環境，在無法有效改善不安全的作業環境之下，個人防護具就成為保護勞工的最後一道防線。本研究彙整常用安全防護設備如表 4 與圖 13，可作為安全檢查確認之參考資訊。

表 4 常見工業安全防護設備

功能	防護具名稱
頭部防護	安全帽
面部及眼睛防護	護目鏡、面罩、焊接面罩
耳部防護	耳塞、耳罩
呼吸防護	口罩、防毒面罩、供氣式呼吸器
身體防護	防護衣、防火衣、防酸鹼服、防靜電服
手部防護	防割手套、防熱手套
足部防護	安全鞋
其他	全身背負式安全帶

資料來源：中華民國工業安全衛生協會，2024。職業安全衛生教育訓練教材



資料來源：甫欣盛國際有限公司，2021。安全護具有哪些? <https://www.fxsppe.com/news-info.asp?>

圖 13 個人防護具示意圖

陸、結論與建議

本研究建議可經由強化法規與工程契約之執行力、導入智能監測及自動化施工技術，對於職業災害的發生率降低有著顯著的成效，而根據統計結果在 2022 年之後，發生職災的頻率有逐年上升跡象，表示安全管理制度與工作人員的實施有待加強。因此應加強施工階段的監督，要求施工單位落實職業安全教育宣導；此外可導入科技化設備來監測作業現場，建立完善的緊急應變系統，確保在突發狀況下能迅速有效的處理，同時透過清楚掌握下水道工程職災的高風險區域，透過具體措施與建議的落實執行，能夠改善整體下水道作業安全環境，達成零職災的目標。

參考文獻

1. 大紀元新聞網(2017)。(美國佛州三工人清理下水道吸毒氣身亡消防員搶救)<https://www.epochtimes.com/gb/17/1/19/n8721199.htm>
2. 中國時報 (2019,June,16) (臭到窒息？7 員工清飯店化糞池死亡)<https://www.chinatimes.com/realtimenews/20190616001019-260408?chdtv>
3. 中華民國工業安全衛生協會，2024。職業安全衛生教育訓練教材
4. 內政部國土管理署，106~108 年下水道工程職災案例彙編，2020。
5. 內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編，2022。
6. 內政部國土管理署，111~112 年下水道工程職災案例彙編，2024。
7. 甫欣盛國際有限公司，2021。安全護具有哪些？<https://www.fxsppe.com/news-info.asp?id=43>
8. Inside Cal/OSHA (2025) Construction company cited \$157,500 following a fatal trench accident.<https://www.dir.ca.gov/DIRNews/2025/2025-31.html?utm>
9. South China Morning Post (2024) Death of 2 Hong Kong sewer workers triggers renewed calls for action to plug safety gaps on sites.<https://www.scmp.com/news/hong-kong/society/article/3260056/death-2-hong-kong-sewer-workers-triggers-renewed-calls-action-plug-safety-gaps-sites?utm>
10. 勞動部，2025a。全民勞教 e 網，下水道工程特有職災分析及改善對策研究

<https://labor-elearning.mol.gov.tw/>

11. 勞動部，2025b，局限空間作業危害介紹

<https://www.osha.gov.tw/48110/48207/48299/48301/50484/>

12. 桃園市政府水務局，2020，下水道智慧監控系統發展成果。



摘要

本文針對明挖工法過程中常見之職業災害進行彙整與分析，透過歷年實際案例，發現明挖作業中常見的風險，包括「物體倒塌、崩塌」、「被撞、捲夾」、「溺水」、「爆炸」、「墜落」與「感電」等情形。本篇主要探討「物體倒塌、崩塌」及「爆炸」等災害主因，其多與施工前未妥善調查地質與地下管線分布、開挖深度未設擋土支撐、防護措施不足、氣體監測疏忽以及作業人員未佩戴防護裝備等有關。針對此類災害，本文提出包含作業前風險評估、設施設置標準化、施工中監測與作業人員教育訓練等多項預防對策，以提升工程現場安全性，降低災害發生率。

明挖工法

崩塌及爆炸職災研析與預防策略

莊宜安¹、邱睿峰²、楊敬霖³

關鍵字：明挖工法、職業災害案例分析、職業安全教育訓練

-
- 1.馨澤工程有限公司 / 總經理
 - 2.廣信工程股份有限公司 / 工地主任
 - 3.中原大學環境工程所 / 研究生

Abstract

This study compiles and analyzes common occupational hazards associated with the open-cut construction method. Through the examination of real-world cases from recent years, it identifies frequent risks in open-cut operations, including object collapse, being struck or caught in machinery, drowning, explosions, falls, and electric shocks. The causes of these incidents are often linked to insufficient pre-construction investigations of geological conditions and underground utilities, the absence of shoring for deep excavations, inadequate protective measures, poor gas monitoring, and workers not wearing appropriate personal protective equipment. In response to these hazards, this study proposes multiple preventive strategies, such as pre-task risk assessments, standardization of protective installations, on-site monitoring, and occupational safety training for workers, with the aim of enhancing construction site safety and reducing accident rates.

Keywords: Open-cut Construction Method, Occupational Accident Case Analysis, Occupational Safety Training

壹、前言

事業單位在既有道路地下進行管線鋪設時，通常會採用的主要施作方式為明挖工法。明挖工法是指在地面直接挖掘至所需深度，然後建造結構體，完成後再回填覆土的傳統露天開挖施工方法。在這個過程中，需配合使用各種設備和支撐措施，確保施工安全。

在非人口密集地區，地下管線鋪設通常採用明挖埋管工法。這種工法的優點是能依照設計圖精確施作結構物，且普遍適用於一般地質。然而，其缺點在於需要建

造擋土壁和支撐設施，導致成本較高，且經濟效益會隨著開挖深度增加而降低，施工危險性亦隨之提高。此外，支撐設施的交錯佈置可能會妨礙挖掘作業和地下結構的施工，如果回填層不充分夯實，地下結構可能因地面車輛行經的載重而受損，甚至導致地表出現龜裂進而掏空等公共安全問題。

貳、細項職災原因分析

根據明挖埋管災害類型占比統計表（表 1）及職災統計表（表 2）可以得知，明挖埋管在近八年（2017 年至 2024 年）期間，幾乎每年都會發生職災

表 1 明挖埋管工程所發生職災類型占比

災害類型	墜落、滾落	倒塌、崩塌	被撞	與有害物之接觸 (缺氧或中毒)	感電	爆炸	合計
件數	0	6	1	0	0	2	9
百分比	0%	67%	11%	0%	0%	22%	100.0%

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106 – 112 年）；本文整理。

表 2 近八年（2017 年至 2024 年）明挖埋管職災統計表

時間(年)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	合計
件數	3	1	1	1	0	1	1	1	9

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106 – 112 年）；本文整理。

事件，且倒塌、崩塌更是其佔比最高的災害類型（6件，67%），其二為爆炸（2件，22%），再其次為被撞（1件，11%）；造成這些災害的原因主要是因為明挖工法需進行地面開挖作業，監測人員若未在施工之前做好作業區域的土質監測，確認地質狀況，未妥善設置擋土支撐系統或進行邊坡防護，極易導致土方塌陷，造成倒塌災害；爆炸災害則多發生於挖掘時誤觸地下燃氣管線，或密閉作業空間內可燃氣體未妥善通風所致。

以下針對各類職災類型主要發生原因「物體倒塌、崩塌」及「爆炸」進行簡要說明如下（內政部國土管理署，2024）：

一、物體倒塌、崩塌

執行明挖工程時，監測人員未事先調查掌握施工區域地質狀況，且開挖深度大於1.5公尺時，在未設置擋土設施以至於開挖側壁崩塌，將導致物體倒塌、崩塌災害的發生。

二、爆炸

在進行明挖作業前，若未查明地下管線位置且缺乏通風設備，可能誤挖天然氣或油管等易燃管線導致洩漏，且現場未設置氣體偵測器，於充滿可燃性氣體或易燃性液體的環境中使用易產生火花的施工工具，便可能引發爆炸事故。

參、歷年案例摘要說明

明挖工法廣泛應用於地下管線與污水系統建設，儘管法規規範、施工技術與安全管理持續改善，相關職業災害仍持續發生。根據近幾年案例彙編資料顯示，明挖作業過程中常見的職災類型包括倒塌、崩塌、爆炸事故、感電及溺水等，主要原因多與未設置擋土支撐、缺乏氣體偵測與風險評估機制以及作業單位缺乏職業教育訓練與宣導有關。本文蒐集歷年實際案例進行彙整（內政部國土管理署，2020；2022；2024），近8年統計共有9起重大事故，本研究選擇其中最常見的倒塌、崩塌、爆炸案例進行研析，以強調在缺乏適當安全措施及監測的情況下，明挖作業容易造成重大傷亡事故，亦突顯強化現場管理與落實安全規範之迫切性。

一、土石崩塌案例

2017年9月11日上午8時，工程負責人帶領4名作業人員至災害現場，當日預計進行位於巷內之道路端連接井之預埋管線與後巷端連接井之管路銜接，起初挖土機先開始掏空水溝下泥土，當時開挖深度約為2公尺，約於上午9時30分，挖土機將抓斗置於自來水管與水溝牆面間之底部，負責人及罹災者下至抓斗上，當時罹災者位於負責人右前方並拿著鋤頭進入坑內挖掘，負責人於後方拿手電筒照明，當時未設置擋土支撐，此時面對道路端之右側土石突然崩塌，導致罹災者遭土

石掩埋，負責人見狀立即鏟土試圖搶救，發現無法將其挖出，隨即聯繫總公司，並通知消防局前來搶救後緊急送醫。

原因分析：

- 遭崩塌土石掩埋窒息死亡
- 垂直開挖深度在 1.5 公尺以上之露天開挖作業未設置擋土支撐
- 進入未設置擋土支撐之露天開挖場所

二、瓦斯管線外洩爆炸事件

2017 年 4 月 29 日，臺中市西屯區進行污水下水道明挖作業挖損瓦斯管線發生爆炸致 3 人受傷，災害發生現場開挖之 L 型管溝尺寸約為：長邊：7 公尺，短邊：2 公尺，寬：1 公尺，深度約 1 公尺；瓦斯管線管徑為 3 英吋，埋設距建築線 2.1 公尺，深度 1 公尺。災害當日施工項目主要是進行用戶接管 L 型管溝開挖，現場由工地負責人進行指揮監督，當時使用挖土機進行管溝開挖作業，3 名罹災者原於地面進行挖土機監視作業，約於下午 3 時 30 分許，瓦斯管線遭挖土機破碎鑽頭挖破，造成瓦斯外洩。2 名勞工進入管溝內進行瓦斯管外洩止漏作業，1 名勞工於管溝上方監視，於止漏過程中產生火花發生火災（如圖 1），起火當時挖土機未有移動情形，約於起火後 8 秒時，挖土機鑽頭自管溝移動。



資料來源：內政部國土管理署，106~108 年下水道工程職災案例彙編(2020)。

圖 1 爆炸現場照片

原因分析：

- 直接原因：3 名罹災者因火災遭燒傷。
- 間接原因：雇主使勞工以挖土機從事露天開挖作業，使用之機械有損壞瓦斯管線等地下埋設物，而有害勞工之虞者，未妥為規劃該機械之施工方法，致挖土機挖破瓦斯管線使瓦斯外洩，於止漏過程產生火花引起火災發生。
- 基本原因：未對勞工實施一般安全衛生教育訓練。

三、土堆崩塌事件

2020 年 12 月 7 日 14 時 14 分許，新竹市進行污水下水道用戶接管作業現場未設擋土支撐，當開挖至 3 米多，清完土後，由罹災者下至開挖區底部，並開始放入新的污水管（1 支長 2.5 公尺），放

了 2 支污水管且對接完成後，罹災者再請工人把污水管轉接頭吊下開挖區過程中，下水道之土堆發生崩塌遭埋，經搶救並於同日下午 5 時 39 分送往國立臺灣大學附設新竹分院，於同日下午 6 時 8 分死亡。肇災場所之污水管溝開挖寬度 80 公分、長度約 6 公尺、深度約 3.8 公尺，無施作擋土設施（如圖 2）。

原因分析：

- 直接原因：遭開挖側面土壤崩塌致罹災者黃員窒息死亡。
- 間接原因：
 1. 開挖垂直深度 1.5 公尺以上，未設置擋土支撐致土壤崩塌。
 2. 開挖垂直深度達 1.5 公尺以上，未指定露天開挖作業主管於作業現場決定

作業方法，指揮勞工作業。

● 基本原因：

1. 未實施自動檢查。
2. 未訂定安全衛生工作守則。
3. 未有教育訓練。

四、管溝坑崩塌事件

2023 年 11 月 28 日「高雄大統 994 案污水接管工程（基地外）」，現場工作負責人與勞工於台電陰井及台電管群旁開挖寬約 1 公尺、長約 2 公尺及深約 3.1 公尺的管溝坑，勞工以搭乘挖土機抓斗方式進入管溝坑內，準備施作污水直管安裝，因開挖橫向坑未設置擋土支撐，管溝坑發生崩塌掩埋（如圖 3），經消防人員搶救出管溝坑後送醫院急救後死亡。



資料來源：內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編(2022)。

圖 2 土石崩塌現場照片



資料來源：內政部國土管理署，111~112 年下水道工程職災案例彙編(2024)。

圖 3 高雄市崩塌致死災害現場示意圖

原因分析：

- 直接原因：從事污水管理設工作業，遭崩塌土石掩埋致死。

● 間接原因：

1. 不安全狀況：

- (1) 對於開挖垂直深度 3.1 公尺之管溝開挖，使勞工進入開挖面作業有遭受土石崩塌危之虞者，未設置擋土支撐設施。
- (2) 使勞工從事露天開挖作業，開挖垂直深度 3.1 公尺，未指定露天開挖作業主管，管制現場安全。
- (3) 對於擋土支撐組配、拆除（以下簡稱擋土支撐）作業，未指派擋土支撐作業主管，管制現場安全。

● 基本原因：

1. 未依其事業之性質、規模設置職業安全衛生人員。

2. 未訂定及執行職業安全衛生管理計畫，要求各級主管及負責指揮、監督之有關人員執行。

3. 未實施工作環境或作業環境危害辨識、評估與控制。

4. 未訂定適於該工作之安全衛生工作守則。

5. 未訂定自動檢查計畫，實施自動檢查。

6. 未落實承攬管理事項及採取必要防災措施。

7. 未落實安全衛生教育訓練，勞工危害風險意識不足。

肆、預防對策建議

為有效防範明挖工法中常見的職業災害，應建立完善的安全管理機制與預防對策。在施工前須指派專業人員進行現場調查評估，並依據作業現場的現況設置相關

的保護措施，應定期實施職業安全教育訓練進而強化人員風險辨識與應變能力。此外，應落實設備巡檢與保養，搭配智慧監測技術提升災害預警與反應能力，最後，建立完善的緊急應變計畫並定期演練，確保人員安全與降低職業災害的發生頻率。

一、崩塌、倒塌預防對策

作業前應指派專業人員對工作區域進行調查評估，從事明挖作業時，應根據地質條件，設置適當之擋土支撐、邊坡保護等設施（如圖 4），進而防止土壤鬆動與側壁崩塌重大職業災害。

二、爆炸預防對策

施工前應確認地下管線位置，掌握天然氣、油管等易燃管線的埋設範圍，



圖 4 擋土支撐現場設置照片

並設置通風設備，保持空氣流通；作業期間應裝設氣體偵測器（如圖 5）並進行監測紀錄（如圖 6），隨時監測可燃性氣體的濃度變化；若偵測數值異常，



A.常用 PID 氣體探測器



B.智慧型固定式氣體偵測器

資料來源：景瀚科技有限公司，監控儀器產品說明，2025。

圖 5 氣體探測器



圖 6 M40 四用氣體偵測器（左）、作業前偵測氣體數值紀錄且期間全時偵測（右）

應立即停止作業並採取應變措施。同時，應避免在可燃氣體存在的區域內使用易產生火花的施工工具，以確保作業安全。

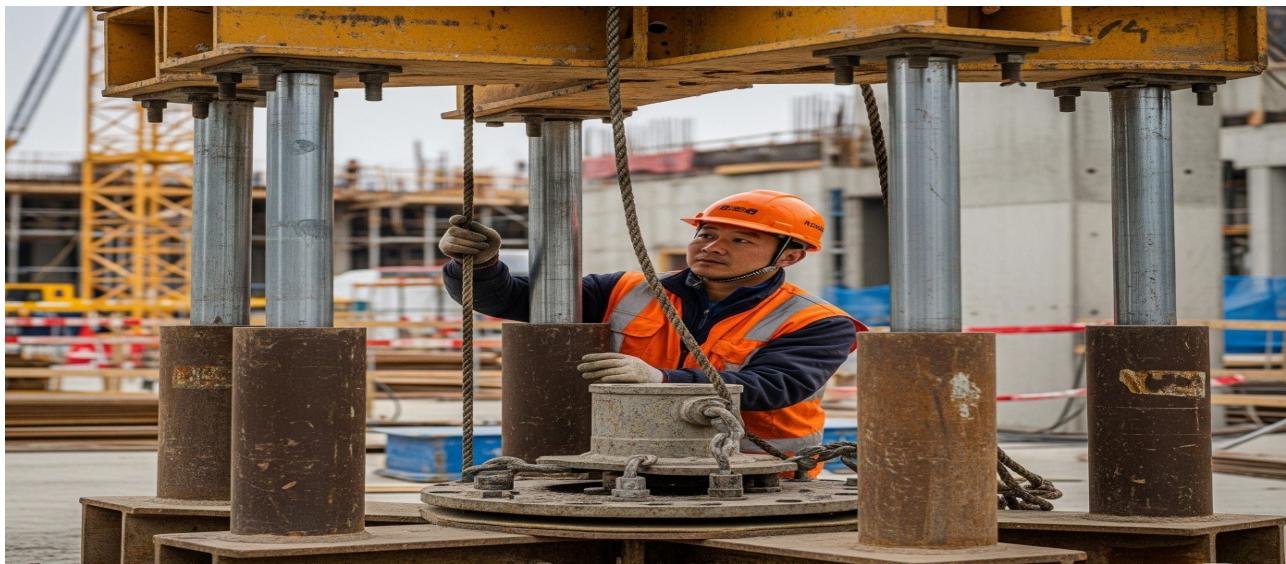
伍、結論

明挖工法雖為常見之下水道工法，施工過程涉及開挖作業，若未落實風險評估與防護措施，易導致職業災害之發生。從歷年事故案例可見，災害原因多集中於事前調查不足、防護設備缺失及現場管理疏忽，導致物體墜落、爆炸與溺水等意外。為有效防範類似事件重演，建議施工前應由專業人員執行地質與管線查核並規劃安全作業流程；依作業深度設置擋土支撐、邊坡保護與排水設施；施工現場應設置清楚的警示標誌、限制非相關人員進入風險區域；落實氣體濃度監測與電氣安全管理；定期進行職業安全教育訓練與緊急應

變演練，以保障現場作業人員安全。

參考文獻

1. 內政部國土管理署，111~112 年下水道工程職災案例彙編，2024。
2. 內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編，2022。
3. 內政部國土管理署，106~108 年下水道工程職災案例彙編，2020。
4. 景瀚科技有限公司，監控儀器產品說明，2025。



摘要

本研究針對下水道推進工法施工過程中常見之職業災害進行案例彙整與原因分析。透過歷年之災害事件得知，推進施工常發生之災害類型包含爆炸、墜落、缺氧或中毒、倒塌及被撞等，事故主因多與局限空間作業特性、地質與管線調查不足、氣體監測與通風不良、防護設施缺失、作業程序不當以及施工人員危害風險意識不足有關。本文進一步分析四件具代表性案例之直接與間接原因，歸納出各類災害的潛在風險與管理缺失，並提出對應之預防對策，包括作業前風險辨識與評估、標準作業程序建立、作業人員教育訓練及現場安全管理等，以期提升推進工程施工安全，降低職災發生率，作為工程管理與職業安全衛生制度之參考依據。

推進工法 - 墜落、滾落、被撞、

有害物接觸及爆炸職災研析與預防策略

林玉清¹、林濬彬²、賴柔穎³

關鍵字：推進工法、職業災害案例分析、職業安全教育訓練

- 1.加興營造工程股份有限公司 / 工務協理
- 2.義選工程有限公司 / 工務經理
- 3.中原大學環境工程所 / 研究生

Abstract

This study examines occupational hazards associated with sewer jacking construction method, focusing on accidents such as explosions, falls, suffocation, poisoning, collapses, and impact injuries. Those causes often involve confined space operations, inadequate site investigations, poor ventilation, insufficient protective measures, and lack of safety awareness. Four representative cases are analyzed to identify direct and indirect causes. Based on these findings, the study proposes preventive strategies including risk assessment, standardized procedures, safety training, and on-site management to reduce accident rates and improve occupational safety performance in trenchless engineering projects.

Keywords: Jacking Method, Occupational Accident Case Analysis, Occupational Safety Training

壹、前言

推進工法為國內目前地下管線埋設作技術之一，與潛盾工法類似，其原理是在預定埋設地下管線的兩端分別設置推進工作井以及到達工作井，並於推進工作井內構築反力牆，再利用油壓千斤頂將管材分段向前推進土層內，同時將管內土方挖掘排出之工法。

由於推進工法不需全管段大面積開挖，故可穿越鐵路、公路、河流等地形地物之障礙，故可明顯降低交通影響之衝擊以及施工期間的噪音與粉塵，適合應用於人口密集之都會地區、交通流量大、長距離、曲線地下施工之工程。然而大部分時

間於地面下作業，局限空間作業環境容易導致缺氧、有害氣體中毒、爆炸或墜落、滾落等危害發生。

貳、細項職災原因分析

由推進工法災害類型佔比統計表（表 1）與歷年職災統計表（表 2）彙整顯示，推進施工於 2017 年至 2024 年內共發生 9 件職業災害事件。從災害類型分布可以得知，爆炸事故之發生頻率最高，為 3 件(33%)，其次為墜落、滾落以及與有害物之接觸（缺氧或中毒）各 2 件（各 22%），其餘災害則包括倒塌、坍塌及被撞各 1 件（各 11%）。

表 1 推進工法所發生職災類型占比

災害類型	墜落、 滾落	倒塌、 崩塌	被撞	與有害物之接觸 (缺氧或中毒)	感電	爆炸	合計
件數	2	1	1	2	0	3	9
百分比	22%	11%	11%	22%	0%	33%	100%

備註：百分比未達 100%，為四捨五入誤差

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106 – 112 年）；本文整理。

表 2 近八年（2017 年至 2024 年）推進工法職災統計表

時間(年)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	合計
件數	2	1	3	1	0	0	1	1	9

資料來源：本文整理。

近年國內推進施工職災類型統計結果如圖 1，以下針對各種職災類型發生主要原因分析如下：

一、墜落、滾落

施工期間常見因高處作業或吊掛失當導致物體或人員墜落、滾落等危害，例如因吊具鬆脫或操作不慎，造成構材飛落砸傷人員；高處或井口作業未妥善防護，亦或機具操作不當，也可能導致人員墜落或遭物體砸傷；管線施工時如接頭強度不足，易引發爆管、噴濺土碴，造成現場人員受傷。

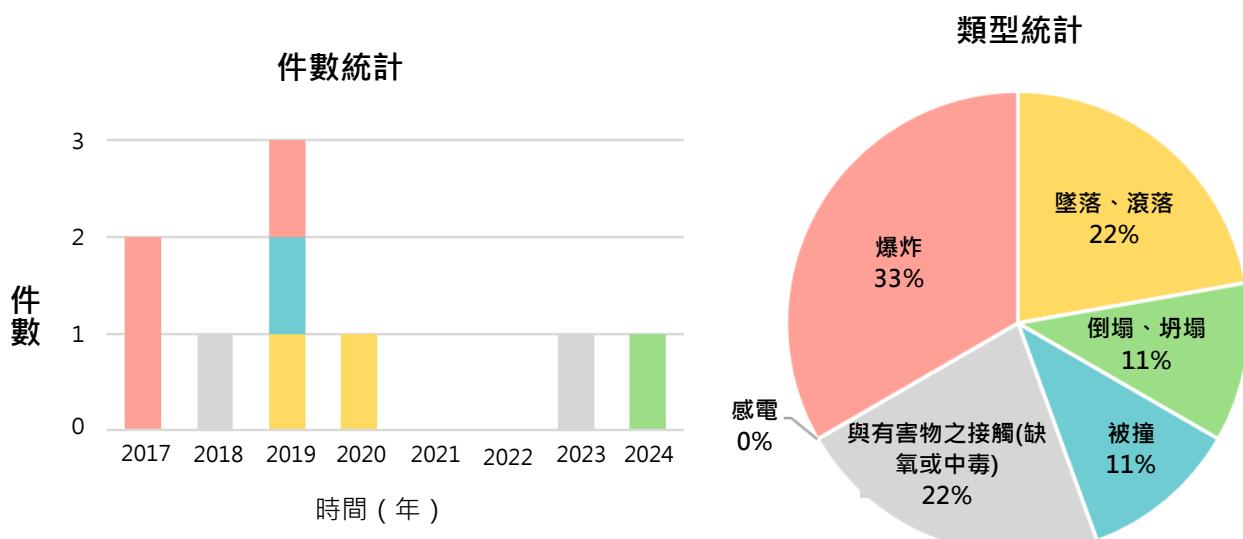
二、被撞

指除物體飛落、物體倒崩、崩塌及交

通事故外，以物體為主體碰觸到人之情形。下水道於推進施工期間，由於工作井開挖常會有地質狀況及地下水水壓等因素，所以開挖後為不穩定狀態，水壓差可能使銜接短管衝出，產生被撞危害；或因施工現場人員與運送土方台車／機具動線重疊，導致被撞或被夾事件。此外，皮帶輸送機等設備在操作中亦可能夾傷作業人員。

三、與有害物之接觸（缺氧或中毒）

進入工作井、管道或人孔內作業時，由於作業空間通風不良，容易發生缺氧或接觸有害物發生中毒危害。如特定地層或土壤中有害氣體溢出，極易導致人員缺氧或中毒。若缺氧危險場所未確實進行持續



備註：百分比未達 100%，為四捨五入誤差

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106–112 年）；本文整理。

圖 1 近八年（2017 年至 2024 年）推進施工災害類型統計

監測、通風與設置防護預警設施，也可能導致意外發生。

四、爆炸

工地爆炸事故多與乙炔熔接切割設備使用不當有關，例如設備老舊、接管漏氣或操作程序錯誤，皆可能引發爆炸與火災。進行鑽孔作業時若誤觸地下埋設管線，如瓦斯管、油管或高壓電纜，也可能引起爆炸或火災等重大危害。

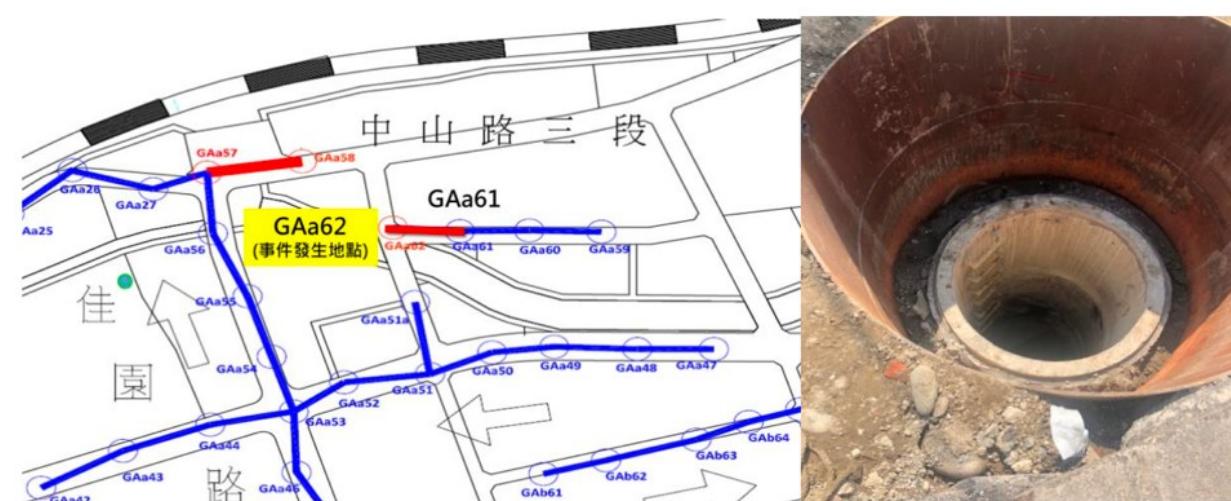
參、歷年案例摘要說明

在推進工法施工過程中，作業環境多屬半封閉狀態、局限與通風不良之作業場所，加上工程地質、水壓、地下管線分布等錯綜複雜，稍有疏忽即可可能引發災害。

根據歷年職災統計與災害類型分析，爆炸、缺氧中毒、墜落與被撞等均為常見且高風險之事故類型。為聚焦探討推進工法潛在風險與管理缺失問題，本文選取近年四起具代表性之災害案例（內政部國土管理署，2020；2022；2024），分別對應上述四種常見災害類型，說明事故發生經過、直接與間接原因及其基本管理缺失。

一、墜落、滾落案例

2010 年 5 月 9 日，新北市樹林區進行污水下水道人孔（編號 GAa62 人孔，原既設人孔高程為 2.81 公尺、鋼環高程為 1.46 公尺，合計 4.27 公尺）復舊作業（如圖 2），上午 8 時 10 分完成工具箱會議及危害告知後，即開始交維布設，開



資料來源：內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編(2022)。

圖 2 墜落位置現場及編號 GAa62 人孔示意圖

啟覆工鉗，實施通風、樓梯架設與氣體測定，約上午9時10分預定由勞工進入，清理中環周邊及下方碎石塊，以增加填縫帶安裝、大小頭覆蓋之密合度與止水。勞工由樓梯更換爬梯時，疑似腳底踏空，造成中心後傾，致使人員跌落至導槽平台，造成右嘴角內側3公分撕裂傷及輕微腦震盪。事故前現場照片示意圖如圖3，事故前具有未設置防墜器具之情形，而在事故後已加裝設置防墜器具，以避免更換作業時發生爬梯時跌落事故。

原因分析：

- 直接原因：人員未使用防墜器具，更換爬梯時跌落。
- 間接原因：
 1. 此次作業為臨時工項，無標準作業程序，施作前無建立施工與安全標準，亦未實施風險評估，施作中人員未依指揮動作，不安全行為所致。

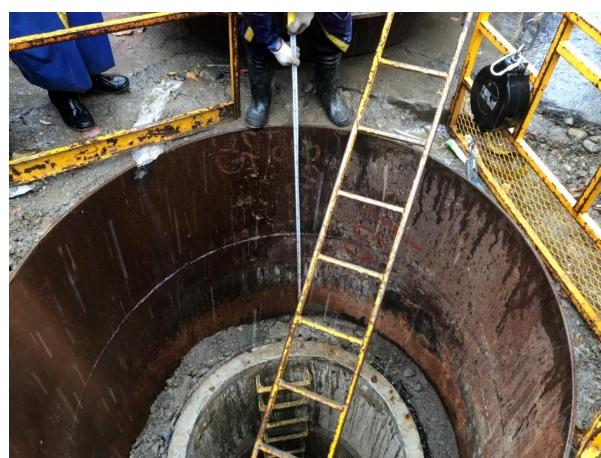


圖3 事故前現場照片示意圖

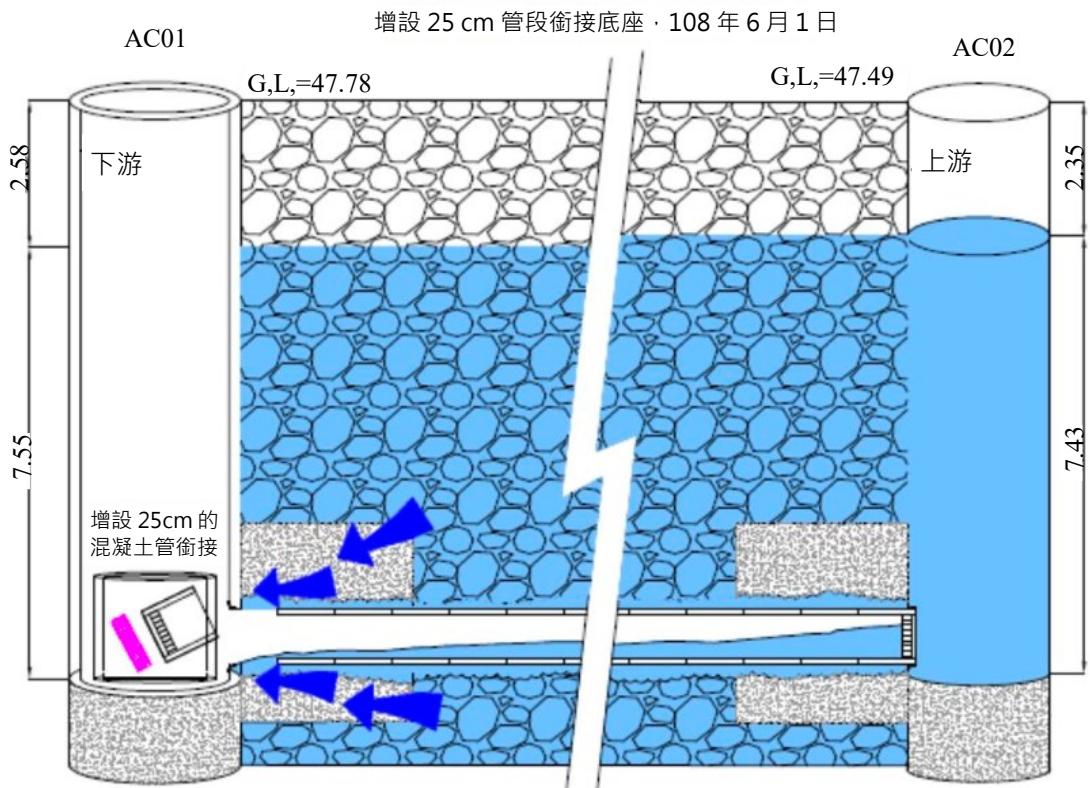
2. 施作前未實施安全設備布設，如護欄、防墜器等，至施作前僅送風，無裝設安全母索或防墜器。

● 基本原因：

1. 勞安管理雖每日定期自主檢查與不定期抽查。然對非常態性作業項目仍管制不夠嚴格，導致工班進行施作前無法掌握人員動態。
2. 對於非合約施做項目，警覺性降低，致忽視作業設備檢查；未能建立操作人員安全作業程序，加上工作人員惰性及效率的追求，不安全作業行為導致人員受傷。
3. 領班或是作業人員安全防護觀念不足，輕忽不安全環境因素，仍於該環境中實施不安全行為所致。

二、被撞案例

2019年6月1日，新北市鶯歌區進行污水下水道管段銜接作業，水泥管衝出死亡1人、傷1人。當日預定要將人孔底座與上游管段AC02及下游管段AC01兩端銜接鋼筋混凝土短管（管長25cm）作業，施工期間已完成上游管段AC02銜接作業，此時銜接短管與人孔壁開孔處銜接修繕作業尚未完成，約30分鐘過後已完成銜接之短管與後方第1支水泥管瞬間衝出並猛烈撞擊2位坑內人員（如圖4），導致1死1傷。



資料來源：內政部國土管理署，106~108 年下水道工程職災案例彙編(2020)。

圖 4 水泥管衝出現場示意圖

2019 年 5 月 31 日雇主抽除 AC01

工作井內積水，且於 2019 年 6 月 1 日使勞工進入工作井內從事人孔收築作業時，因作業過程中未指派專人每日確認作業地點含水、湧水等不正常之變化，且未採取適當防護措施（如於封牆上游積水排除或封牆上設置洩壓孔或管段防脫出措施，如圖 5），造成本工程意外致發生勞工骨盆骨折及下肢開放性骨折併大量出血情形，並因低血容性休克死亡，另勞工亦有雙側多發性肋骨骨折併氣胸、右側股骨開發性骨折等傷勢。

原因分析：



圖 5 現場管頭封牆設置洩壓閥及掛勾照片
示意圖

● 直接原因：勞工遭 AC01 工作井末端鋼筋混凝土管脫管彈出撞擊致傷亡。

● 間接原因：

1. 不安全狀況：

(1) 對於人孔收築作業，未就周圍之地層狀況採取適當防護措施（如於封牆上游積水排除或封牆上設置洩壓孔或管段防脫出措施）。

(2) 未每日指派專人確認人孔收築作業之管道含水、湧水不正常變化。

● 基本原因：

1. 原事業單位：

對於承攬人所僱勞工於本工程從事人孔收築作業，有因遭鋼筋混凝土管被撞之虞，未確實與其連繫與調整，亦未實施工作場所之巡視，以督促其採取必要安全防護設備或措施（如指定專人每日作業前確認作業地點含水、湧水等不正常之變化及設置洩壓或管段防脫出措施）。

2. 承攬人：

(1) 未訂定職業安全衛生管理計畫，且未有人孔收築作業執行紀錄。

(2) 未對本工程人孔收築作業訂定檢點手冊或檢點表，並據以實施作業檢點。

(3) 未訂定安全衛生工作守則，俾利勞工切實遵行。

三、與有害物之接觸（缺氧或中毒）案例

2023 年 7 月 13 日「臺中市第 13 期市地重劃工程整合標」工程承攬商勞工於南屯區某處人孔進行試水查驗作業，人員進入該人孔作業時因昏迷由攀登梯墜落至人孔內積水中，另一人員見狀進入人孔內救援，救援過程中亦覺呼吸困難身體無力，便於人孔內呼救並攀爬回地面，惟爬出洞口後即失去意識（現場示意圖如圖 6）。消防隊抵達後由救難人員背負氧氣瓶進入救援，以捲揚機將罹災者以吊掛方式救出，兩人經救護車送至醫院，一員於治療後於隔日出院，另一員到院前已無生命徵象。

原因分析：

● 直接原因：

1. 進入人孔進行試水查驗作業，因缺氧及吸入硫化氫昏迷後，墜落溺水窒息。

2. 為搶救罹災者進入缺氧環境且可能吸入硫化氫致暈厥及虛脫。

● 間接原因：

1. 不安全狀況：

(1) 未置備測定儀器，確認人孔內氣

		
現場搶救照片	該人孔深度約為 5.82 公尺，當日進行試水查驗作業之站立位置距地面深度約為 4.6 公尺。	現場經通風後量測相關氣體濃度，仍測得硫化氫氣體 6.5 ppm、氧氣僅 12.5 %。

資料來源：內政部國土管理署・111~112 年下水道工程職災案例彙編(2024)。

圖 6 臺中市重劃工程硫化氫中毒災害現場示意圖

氣、硫化氫等有害氣體濃度。

管理機制。

- (2) 人孔內未充分通風換氣。
- (3) 未置備可以動力或機械輔助吊升之緊急救援設備。

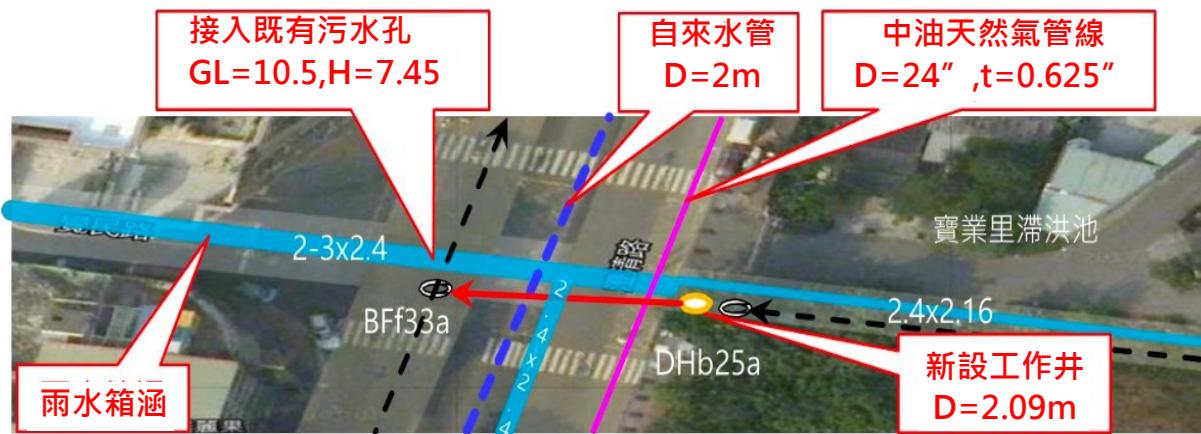
● 基本原因：

1. 未訂定及執行職業安全衛生管理計畫，要求各級主管及負責指揮、監督之有關人員執行。
2. 未實施工作環境或作業環境危害辨識、評估與控制。
3. 未落實承攬管理事項及採取必要防災措施。
4. 未建立局限空間作業之安全衛生監督

5. 雇主未落實安全衛生教育訓練，勞工危害風險意識不足。

四. 爆炸案例

2017 年 3 月 17 日，高雄市三民區進行污水下水道推進作業（如圖 7），挖斷瓦斯管線發生火災致 1 人死亡、3 人受傷。當時污水下水道工程進行推進作業，由罹災者與勞工甲進到下水道，另勞工乙、勞工丙在馬路上協助，施工時不慎挖斷管線，造成瓦斯外洩及爆炸並竄出濃煙，警消獲報趕抵現場，救出 3 名勞工，送醫後有二度不等灼傷，無生命危險，另罹災者經過近 2 小時搶救，近 5 時才被救出，已無生命跡象。



資料來源：內政部國土管理署，106~108 年下水道工程職災案例彙編(2020)。

圖 7 高雄職災火災現場示意圖

2017 年 3 月 17 日高雄市三民區澄清路與覺民路口 Dhb25a 污水工作井推進作業，雇主對工作場所中原有管線未確實掌握狀況予以妥善處理，且未經管線權責單位同意，即逕行施工，以致導管推進過程中，因導管最前端箭頭撞損天然氣管線，天然氣體外洩，且工作井內、外之工作場所周邊均未採取連續確認氧氣、有害物及可燃性氣體濃度之措施，致濃度達爆炸限度而引發火勢，造成勞工 1 人死亡，雇主及 2 名勞工受傷送醫。

原因分析：

- 直接原因： Dhb25a 污水工作井上方發生火災、造成 1 名勞工因呼吸道阻塞窒息傷重不治死亡，雇主及 2 名勞工身體遭受燒燙傷及吸入性灼傷。
- 間接原因：

1. 不安全狀況：

- (1) 對工作場所中原有之石油及石油產品管線，如有妨礙工程施工安全者，未確實掌握狀況予以妥善處理；有安全之虞者，未經管線權責單位同意，即逕行施工。
- (2) 使勞工從事局限空間作業，有缺氧空氣、有害物致危害勞工之虞者，未置備測定儀器，並於作業期間未採取連續確認氧氣、有害物濃度之措施。
- (3) 對於作業場所有可燃性氣體，而有爆炸、火災之虞者，於可燃性氣體之濃度達爆炸下限值之 30% 以上時，未即刻使勞工退避至安全場所，並停止使用煙火及其他為點火源之虞之機具，並應加強通風。

● 基本原因：

1. 未設置職業安全衛生人員。
2. 未訂定職業安全衛生管理計畫，未執行職業安全衛生事項。
3. 未辦理勞工從事工作及預防災變所必要之安全衛生教育訓練。
4. 未訂定適於該工作之安全衛生工作守則。
5. 未訂定自動檢查計畫，實施自動檢查。
6. 原事業單位未於事前以書面或協商紀錄告知承攬人對工作場所中原有之石油及石油產品管線等，如有妨礙工程施工安全者，應確實掌握狀況予以妥善處理；如有安全之虞者，非經管線權責單位同意，不得任意挖掘、剪接、移動或於其鄰近從事加熱工作之職業安全衛生法及有關安全衛生規定應採取之措施。
7. 原事業單位未落實協議組織應協議事項、工作場所巡視，未連繫調整必要之安全防護設備或措施，未提供承攬人安全衛生教育之指導及協助。

肆、預防對策建議

進行地下推進施工時，作業環境多為封閉、狹窄，伴隨著各類潛在風險與危

害，稍有不慎即可能引發重大職業災害。此段落針對「墜落、滾落」、「被撞」、「與有害物接觸」及「爆炸」可能遭遇之潛在危害，整理其安全對策與應變措施，包含現場管理、設備檢查、作業程序與個人防護等層面，以提供實務上可行且具預防效果之作法（勞動部職業安全衛生署，2019）。

一、墜落、滾落預防對策

施工期間因開挖深度或地形高低差，易有人員墜落或物體滾落之風險，應於落差達 2 公尺以上處開口邊緣設置臨邊防護欄杆，必要時加設警示標示。作業高度超過 2 公尺者，工作人員應穿著全身背負式安全帶與勾掛防墜器，並設置緊急救援裝置。若地面濕滑或涉及高處作業，應清除障礙物並確認鋼構與支撐系統穩固。搬運或吊掛重物作業應由專人指揮協調，避免誤觸與物體墜落情形。

二、被撞預防對策

吊掛、搬運、運輸與挖掘作業等動態施工階段，常有人員遭車輛或機具碰撞風險。應指派專人指揮交通與管制劃設作業動線，並規劃人車分流動線。所有作業車輛須依場地狀況設定速限，並裝設警示燈與倒車警報器。現場人員應穿著反光背心、安全帽與安全鞋，搬運設備應妥善固定。現場設置指揮監督人員管制嚴禁人員誤入吊掛區或危險作業半徑區域，並依地

形調整作業順序，避免滑動、傾倒或失衡造成撞擊事故。

三、與有害物接觸預防對策

施工若涉及天然氣、瓦斯、地下油氣或污泥等有害物，應先行地質調查並評估風險，嚴禁未經允許同意之施工人員任意進入作業面。作業前應確保連續通風良好並指派專人持續執行氣體監測，進入局限空間前須確認氣體濃度符合規定，並配備檢測儀器及人員生命偵測器，由外部人員持續監視。若可能釋出硫化氫或一氧化碳等毒性氣體，應設置抽通風換氣設備並保持連續通風，作業人員應配戴適當個人防護具。

四、爆炸預防對策

乙炔熔接設備應由專人指揮與監督操作，乙炔及氧氣等壓力容器鋼瓶應放置於通風良好處，並保持容器溫度在 40 °C 以下（勞動部，2024）。容器應直立安放並設緊急斷氣裝置。氣體輸送軟管應妥善保護與固定，並符合相關職安規定。若施工地點涉及鑽孔或地下設施，應先調查並確認地下管線狀況，必要時試挖，並將資料通報現場作業人員以確保安全。施工期間應嚴格管控火源與引火物，防止火災與爆炸發生。

伍、結論

推進施工工程多屬於密閉或局限空間

作業，更加劇中毒、爆炸等潛在危害發生之風險。根據本文案例分析，職業災害的主因常與作業環境未落實危害辨識、評估與控制有關，而間接原因包含缺乏危害氣體測定儀器、通風換氣不充分、缺少防墜裝置等等不安狀況，均可能導致致命事故發生。此外，部分災害亦反映出作業前未確實訂定標準作業程序與緊急應變計畫，施工人員對潛在危害認識不足，進而發生誤入危害區、錯誤操作等情形。

為降低上述風險，應依法訂定職業安全衛生管理計畫，包含針對特定作業環境的危害辨識、作業流程設計與防護裝置配置，並制定符合工作場所之安全衛生工作守則，要求所有作業人員確實遵循。同時，應定期實施安全衛生教育訓練及演練，加強施工人員對災害的警覺與應變能力，並透過巡查、記錄，確保安全措施落實於作業現場。若能將歷年職災案例視為警示，結合制度管理與現場落實，將有助於提升施工安全水準，防止危害再度發生。

參考文獻

1. 內政部國土管理署，111~112 年下水道工程職災案例彙編，2024。
2. 內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編，2022。
3. 內政部國土管理署，106~108 年下

水道工程職災案例彙編，2020。

4. 內政部國土管理署，下水道工程職業安全衛生之風險預防與職業災害分析，2024。
5. 勞動部職業安全衛生署，管道工程施工安全參考手冊，2019。
6. 勞動部，職業安全衛生設施規則，民國 113 年 08 月 01 日修正，2024。



摘要

本研究針對下水道更新維護工程之管線維護與廠站操作維護作業之職業災害進行統計與案例分析。更新維護作業因頻繁進入局限空間、缺氧環境及存在有害氣體之場所，職災風險相對提升。根據 2017 年至 2024 年統計資料，最常見之災害類型為與有害物之接觸（缺氧或中毒）及墜落、滾落。本文選擇四起具代表性案例，分析其直接與間接致災原因，發現主要缺失包括有害氣體監測未落實、通風換氣措施不全、缺氧作業未落實監控、以及作業前風險評估與教育訓練之不足。基此，提出針對局限空間作業之預防對策，期能提供下水道更新維護工程實務操作與職業安全管理之參考。

更新維護工程職災—管線及廠站維護中 與有害物接觸案例研析與預防策略

張國璽¹、洪啟倫²、邱柏銓³

關鍵字：更新維護工程、職業災害案例分析、職業安全教育訓練

- 1.鎧德工程顧問股份有限公司 / 副總經理
- 2.義選工程有限公司 / 總經理
- 3.廣信工程股份有限公司 / 工務經理

Abstract

This study analyzes occupational hazards in pipeline and facility maintenance under sewer renewal methods. Renewal work often takes place in confined spaces with low oxygen and hazardous gases, thus elevating the accident risk. Data from 2017 to 2024 indicate that the most common incidents involve exposure to hazardous substances and falls. Four representative cases were examined to identify both direct and indirect causes, including insufficient gas monitoring, inadequate ventilation, lack of control during oxygen-deficient operations, and insufficient pre-operation risk assessments and training. Based on these findings, preventive measures for confined space operations are proposed to enhance practical and occupational safety management in sewer renewal methods.

Keywords: Renewal Method, Occupational Accident Case Analysis, Occupational Safety Training

壹、前言

更新維護工程意指將既有設施及設備，更換為新的設施及設備之意。更新之目的，除恢復下水道設施之機能為主要目的外，尚具節能化、資源化及管理效率化等機能的提升。本篇之更新維護工程主要討論為管線維護及廠站操作維護作業。

一、管線維護

若既設管線發生破損、裂縫或腐蝕等現象，造成承載力、耐久性變弱，甚至影響輸水能力，由既設管內部構築新管，透過更新方式確保其輸水能力（如圖 1）。管線更新方式有自立管、複合管、兩層結構管、內套管工法等。管線設施包括道路作業及人孔、管線內作業等，可能造成的維護工作潛在危害因素包括墜落、滾落、區域豪雨（洪水）、缺氧、硫化氫中毒等。

二、廠站操作維護

廠站之工作可由工作性質區分為操作、維護，操作項目包含設備之日常操作、調整；維護工作為確保各種處理設備正常運轉所需保養及維修之作業，分成一般維護、預防維護、校正維護等。廠站設施營運階段進入相關操作單元如槽體內進行操作維護作業時，容易因作業環境通風不充分，導致發生缺氧或有害物中毒事故，同時廠站作業環境地面不平整可能有高低差情形，人員有跌倒及墜落危害之虞。

貳、細項職災原因分析

根據更新維護所發生職災類型佔比（表 1）與近八年更新維護職災統計表（表 2）整理可得，管線維護及廠站操作維護在 2017 年至 2024 年共發生 6 起職災案件，其中以與有害物之接觸（缺氧或



圖 1 管線腐蝕區段整建前（左）管線腐蝕區段整建後（右）

表 1 更新維護工程所發生職災類型占比

災害類型		墜落、 滾落	倒塌、 崩塌	被撞	與有害物之接觸 (缺氧或中毒)	感電	爆炸	合計
管線 維護	件數	0	0	0	3	0	0	3
	百分比	0%	0%	0%	50%	0%	0%	50%
廠站操 作維護	件數	2	0	0	1	0	0	3
	百分比	33%	0%	0%	17%	0%	0%	50%
合計	件數	2	0	0	4	0	0	6
	百分比	33%	0%	0%	67%	0%	0%	100%

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106 – 112 年）；本文整理。

表 2 近八年（2017 年至 2024 年）更新維護工程職災統計表

時間(年)		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	合計
管線維護	件數	0	0	0	2	0	1	0	0	3
廠站操作維護	件數	0	0	0	1	0	0	0	2	3

資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106 – 112 年）；本文整理。

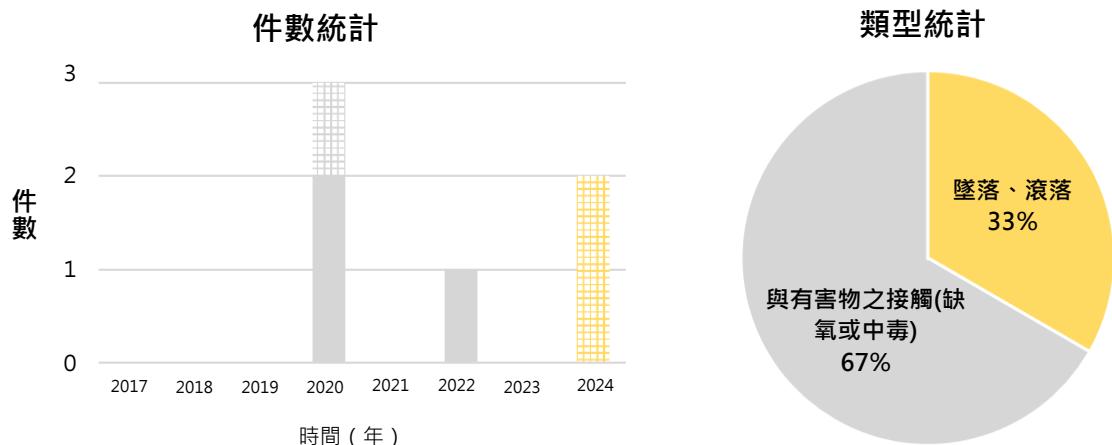
中毒) 發生次數最高(67%)，包含管線維護 3 件以及廠站操作維護 1 件，其次為墜落、滾落，於廠站操作維護發生 2 件(33%)。

近年國內更新維護工程職災類型統計結果如圖 2，以下針對「與有害物之接觸(缺氧或中毒)」發生主要原因分析如

下：

一、與有害物之接觸(缺氧或中毒)

管線維護於進入管道或人孔內作業、廠站設施營運階段進入相關操作單元如槽體內進行操作維護作業時，因作業場所通風不良，容易發生缺氧或接觸有毒物質產



資料來源：內政部國土管理署(2020、2022、2024)，下水道工程職災案例彙編（106–112 年）；本文整理。

圖 2 近八年（2017 年至 2024 年）更新維護工程職業災害類型統計

生危害。

參、歷年案例摘要說明

在更新維護工程相關作業中，經常涉及局限空間作業環境，如人孔、泵浦井、管渠及處理設施內部。此類空間通風不易，且常有污水、沉渣、油脂等有機物質殘留，一旦未落實氣體偵測與通風換氣措施，極易產生硫化氫、一氧化碳等有害氣體聚積或氧氣濃度降低，導致作業人員中毒或缺氧窒息。根據歷年職災統計與災害通報案例分析，「與有害物之接觸（中毒或缺氧）」為本類作業中最常見且重複發生之災害類型，亦為致死風險最高之一。為深入探討事故成因與管理缺失，本文特別擇取近年來四起具代表性之中毒災害案

例（內政部國土管理署，2020；2022；2024），涵蓋不同施作情境與空間類型，分析事故發生經過、直接與間接原因，以及背後基本管理問題，作為職業安全風險預防與制度改善參考。

一、管線維護 - 與有害物之接觸（缺氧或中毒）案例 I

2020 年 5 月 19 日，接獲通報臺北市內湖區舊宗路一段與新湖二路口污水管渠阻塞，因油污垢太多無法清通，改以高壓清洗及 TV 檢視方式進行清疏，並於 2020 年 5 月 25 日通知廠商進行污水管渠清理疏通，阻塞長度約 380 m，管徑為 $\phi 300\text{ mm}$ 、深度約 3.2 m。2020 年 5 月 25 日下午施工廠商移至新湖二路 52 號前辦理人孔編號 0037~0045 之污水管

渠清理疏通作業（如圖3）；下午2:30左右現場局限空間作業主管，依規定於施工前通風20分鐘後，並以四用氣體偵測器檢測安全無虞後，人員方進入作業。

下午3:20清疏人員1名進入人孔，執行管渠油脂塊清除工作。進入人孔內工作約20分左右，於下午3:40發生暈眩昏倒現象。人員2名見狀緊急入孔救援，疑似因吸入人孔內不明氣體，亦有暈眩現象；另有地面員1名位於人孔邊，因疑似吸入不明氣體影響，造成身體稍有不適。下午3:52通報消防局，於下午4:20將3員全送往內湖三軍總醫院急救，均已康復。

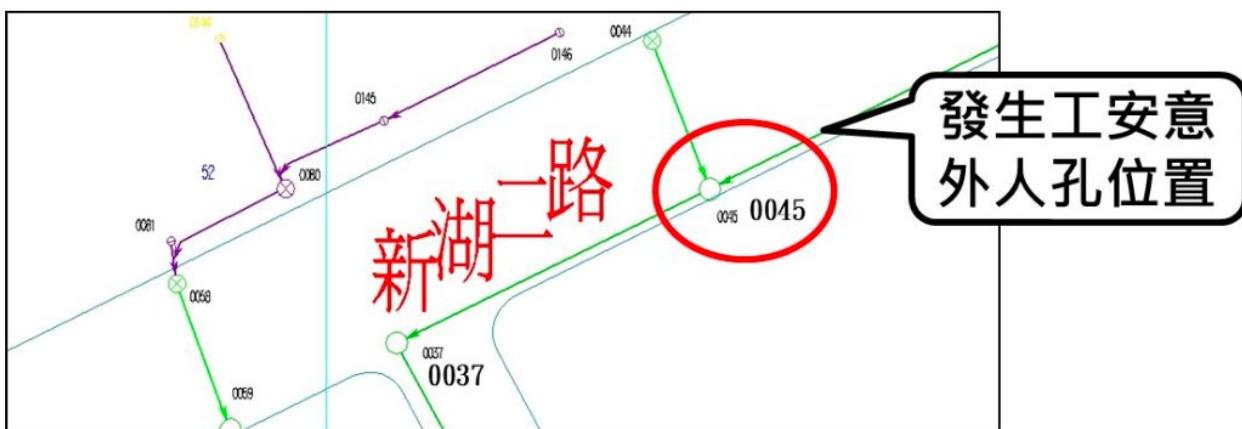
原因分析：

- 直接原因：因吸入硫化氫氣體（硫化氫濃度約為27.8 ppm）導致暈眩昏倒。

● 間接原因：

1. 不安全狀況：

- (1) 使勞工從事缺氧危險作業時，未予適當換氣；未確認該作業場所空氣中氧氣濃度、硫化氫等其他有害氣體濃度；未指定缺氧作業主管從事監督事項；未指派1人以上之監視人員，隨時監視作業狀況，發覺有異常時，並採取緊急措施。
- (2) 使勞工於有危害勞工之局限空間從事作業前，未指定專人檢點該作業場所，確認換氣裝置等設施無異常、該作業場所無缺氧及有害物等造成勞工危害。
- (3) 使勞工從事缺氧危險作業，勞工有因缺氧致墜落之虞時，未供給該勞工使用安全帶或救生索，並使勞工確實使用；有致其缺氧之虞者，未



資料來源：內政部國土管理署，109~110年下水道工程職災案例彙編(2022)。

圖3 臺北職災事件案發位置示意圖

置備可以動力或機械輔助吊升之緊急救援設備。

- (4) 使勞工於局限空間從事作業前，未訂定危害防止計畫，並使現場作業主管、監視人員、作業勞工及相關承攬人依循辦理。
- (5) 不安全行為：未確認作業場所氧氣及有害物狀態；未指定缺氧作業主管；未指派 1 人以上監視人員。

● 基本原因：

1. 未使勞工接受適於該工作必要之安全衛生教育訓練。
2. 未有執行紀錄或文件代替職業安全衛生管理計畫。
3. 未訂定自動檢查計畫並確實實施自動檢查。

4. 未設置職業安全衛生人員。
5. 未訂定安全衛生工作守則，及向檢查機構報備，以供勞工遵循。

二、管線維護-與有害物之接觸（缺氧或中毒）案例 II

2020 年 12 月 1 日，高雄市水利局通知鹽埕區大公路 56 號污水人孔阻塞，兩名人員行駛高壓洗滌車至鹽埕區大公路 50 號前人孔蓋（如圖 4），交通維持布設完畢後，由兩人共同開啟人孔蓋後，一員因不明原因未穿著任何防護具進入局限空間下水道作業，另一員於地面上進行管線布置及整理。

疑似看到進入下水道人員有狀況，另一人員未穿著任何防護具進入局限空間下水道救援。警察局人員巡邏發現有勞工在下水道昏迷通報 119 人員，分送高雄市立大同醫院及阮綜合醫療社團法人阮綜合



資料來源：內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編(2022)。

圖 4 高雄市職災事件現場作業畫面及污水人孔示意圖

醫院，惟最後兩人宣告不治死亡。

原因分析：

- 直接原因：罹災者進入下水道，因氧氣濃度不足，及硫化氫濃度過高，致勞工中毒、缺氧致死。

● 間接原因

1. 不安全狀況：

- (1) 從事缺氧危險作業時，未置備測定空氣中氧氣濃度之必要測定儀器，並採取隨時可確認空氣中氧氣濃度、硫化氫等其他有害氣體濃度之措施。
- (2) 從事缺氧中毒危險作業時，未予適當換氣，以保持該作業場所空氣中氧氣濃度在 18%以上，有害物(H₂S)濃度在容許濃度 10 ppm 以下。

● 基本原因

1. 未訂定安全衛生工作守則。
2. 未訂定自動檢查計畫及實施自動檢查。
3. 未使勞工接受適於各該工作必要之一般安全衛生教育訓練。
4. 未確實實施局限空間作業前檢點。

三、廠站操作維護-與有害物之接觸（缺氧或中毒）案例

2020 年 7 月 20 日約上午 8 時，臺南市安平水資源中心派兩員進廠施工，以高壓水刀頭噴出高壓水方式進行下水管線疏通阻塞作業，作業時因高壓水管之水刀頭卡在下水管線內，於約下午 5 時結束作業並拆除高壓水管與水刀頭接管部分，即駕駛高壓水車離開該作業場所，因此水刀頭與部分接管暫留於下水道人孔（編號 18，人孔直徑約 62 公分、人孔內設有攀爬用踏條，踏條間距約 30 公分、人孔深約 7.45 公尺）內（如圖 5）。



資料來源：內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編(2022)。

圖 5 臺南市職災案發位置及污水人孔示意圖

2020 年 7 月 21 日約下午 1 時，兩人員準備取出前一天卡在下水道管線內之水刀頭，發現下水道人孔（編號 18 號）內有深約 2 公尺積水，因無法進行作業，故通知公司進行將人孔內積水之抽水作業，約下午 3 時發現下水道人孔內已無積水情形，即進入下水道人孔內進行作業。於人孔外操作高壓水車上之捲軸器將高壓水管置入下水道人孔內（深約 7.45 公尺），人員已將置入之高壓水管與水刀頭管線確定接妥，旋即自人孔內往上攀爬，人孔外之人員操作高壓水車上捲軸器開關使高壓水管捲起，惟進入人員因吸入過多高濃度有害氣體（硫化氫）及缺氧導致昏倒掉落於人孔內，另一人員見狀立即進入人孔內進行救援亦缺氧昏迷，緊急送醫後仍傷重身亡。

原因分析：

- 直接原因：因吸入硫化氫氣體（硫化氫濃度已超過儀器可量測範圍之極限濃度 100 ppm 之上限）導致暈眩昏倒，且氧氣濃度低於 17.8 %。
- 間接原因：

1. 不安全狀況：

- (1) 未置備測定空氣中氧氣濃度之必要測定儀器，並採取隨時可確認空氣中氧氣濃度、硫化氫等其他有害氣體濃度之措施。

- (2) 未予適當通風、換氣，以保持該作業場所空氣中氧氣濃度在 18 %以上。
- (3) 未將缺氧危險場所應注意事項公告於作業場所入口顯而易見之處所。
- (4) 未指定缺氧作業主管。
- (5) 未於擔任救援作業期間，提供並使其使用空氣呼吸器等呼吸防護具。
- (6) 未訂定局限空間危害防止計畫。
- (7) 對勞工進入局限空間從事作業時，進入許可未由雇主、工作場所負責人或現場作業主管簽署即進入作業。
- (8) 未置備可以動力或機械輔助吊升之緊急救援設備及空氣呼吸器等相關之安全衛生防護設備供救援人員確實使用等措施。

● 基本原因：

1. 未執行職業安全衛生管理並留存紀錄備查。
2. 未訂定自動檢查計畫。
3. 未設置職業安全衛生管理師及職業安全衛生業務主管。
4. 未設置急救人員。
5. 未辦理勞工職業安全衛生教育訓練。

6. 未訂定安全衛生工作守則，俾利勞工遵行。
7. 未於事前告知承攬人有關有局限空間之工作環境、危害因素暨職業安全衛生法及有關安全衛生規定應採取之措施。
8. 與承攬人分別僱用勞工共同作業時，對於作業場所之安全措施，未設置「協議組織」、「指揮、監督及協調」、「連繫調整」、「工作場所巡視」及相關承攬人安全衛生教育指導及協助。

四、管線維護-與有害物之接觸（缺氧或中毒）案例 III

2022 年 6 月 24 日高雄市鼓山區進

行「愛河沿線污水截流系統污水管線檢視及整建計畫-二期」工程，作業前已對人孔實施通風換氣及確認有害物濃度，惟勞工進入人孔內從事水閘門關閉作業時，未再持續通風換氣、確認有害物濃度及採取防止墜落等措施。當勞工進入人孔內一半時，因空氣不好，表示需要再送風，隨即要爬出人孔，但在頭探出人孔後，便墜落至人孔下方。另一勞工即穿戴空氣呼吸器進入人孔搶救，因將面罩脫除給人員使用而致身體不適，自行爬出人孔後立刻癱軟。隨後由其他現場人員使用機械吊升輔助設備將其救出人孔，並立即實施 CPR，後續將兩員送往醫院救治，一員傷重死亡、另一員經救治後出院。災害現場如圖 6 所示。



人孔作業前實施通風換氣。	勞工進入作業後，為持續實施通風換氣、確認有害物濃度及防止墜落措施。	現場測量氧氣濃度為 20.5 %、硫化氫：12 ppm、一氧化碳：0 ppm、爆炸下限：0 %。
--------------	-----------------------------------	--

資料來源：內政部國土管理署，111~112 年下水道工程職災案例彙編(2024)。

圖 6 高雄市鼓山區硫化氫中毒災害現場示意圖

原因分析：

- 直接原因：進入人孔內從事水閘門關閉作業時，吸入硫化氫氣體造成中毒。
- 間接原因：
 1. 不安全狀況：
 - (1) 作業期間未採取連續確認有害物濃度措施。
 - (2) 未確認通風換氣設備維持連續有效運轉。
 - (3) 勞工有缺氧或中毒之虞者，未使勞工確實使用全身背負式安全帶。
 - 基本原因：
 1. 未訂定安全衛生工作守則。
 2. 未使缺氧作業主管從事監督事項。

3. 原事業單位未落實承攬管理。

肆、預防對策建議

於下水道管線維護與廠站操作維護作業中，作業環境常處於密閉、潮濕、通風不良及逃生方式受限等不利條件，若未落實有效之預防對策，將可能引發嚴重職業災害，危及作業人員安全與設施運作，以下針對與有害物接觸預防對策建議（內政部國土管理署，2021；2022）：

一、與有害物接觸預防對策

事先進行危害評估，並量測氧氣濃度與有害氣體含量。作業人員應配戴適當個人防護具及生命偵測器，並配置直讀式氣體偵測器與強制通風設施，以維持良好通風與持續監測氣體濃度。作業期間須有外部監視人員即時聯繫（如圖 7），以因應突發缺氧或中毒事件，確保作業人員生命安全。

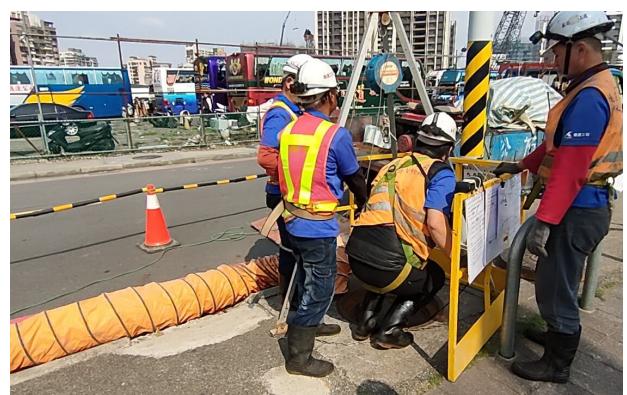


圖 7 現場人員安全監視示意圖—外部監視人員隨時監看（左）、人員進入後持續送風換氣（右）

伍、結論

水道工程職災案例彙編，2020。

根據前述案例分析，更新維護工程之職業災害的主因與作業空間之限制有關，再加上人員安全防護具不足、通風與換氣未確實等，導致中毒或缺氧環境發生。為有效降低職災發生率，建議須落實以下三大面向：一、訂定並落實安全衛生工作守則、局限空間危害防止計畫；二、確保氣體偵測、通風換氣與緊急救援設備之配置與使用；三、定期辦理勞工職業安全衛生教育訓練。藉由制度面與現場執行面之雙重強化，將有助於下水道更新維護工程作業安全品質之整體提升，預防相關職業災害再次發生。

參考文獻

1. 內政部國土管理署，下水道工程職業安全衛生之風險預防與職業災害分析，2024。
2. 內政部國土管理署，111~112 年下水道工程職災案例彙編，2024。
3. 內政部國土管理署，下水道廠站營運管理手冊，2022。
4. 內政部國土管理署，109~110 年下水道工程職災案例彙編，2022。
5. 內政部國土管理署，下水道管渠及設施維護管理手冊，2021。
6. 內政部國土管理署，106~108 年下



摘要

臺灣依據污水下水道第六期建設計畫持續加速下水道系統各項建設，以提升國家競爭力，但歷年工程推動過程中仍持續發生職業災害事件，造成參與建設工作人員的傷亡。因此確保下水道系統建設工作環境安全，持續朝向零職災事件亦為推動重點之一。本研究彙整國外最新相關研究，國際生態毒理學與環境安全學會收錄研究指出可應用空氣暴露指標，協助評估污水廠環境中微生物與內毒素所造成之健康風險，有助於提供決策者制定降低感染風險策略之參考。而國際水協會則收錄研究指出可應量化模式技術，針對污水廠工作人員可能面臨呼吸道或腸胃疾病之風險進行量化評估。應用模式精準量化風險之結果，可快速評估廠內各類工作人員或操作單元之風險值，協助加強擬定降低風險相關措施。日本下水道期刊則收錄研發應用可持續送風且不佔用人孔開口空間的人孔氣流機，以提升下水道管路內作業的安全性。結果顯示能以少量能源有效率地將大量空氣送入人孔內，可有效提供管道工作環境之安全性。藉由本研究所蒐集彙整之最新研究，可做為國內下水道系統未來重要職安衛議題科技解決方案之參考，以持續提升系統施工作業安全性。

國際提升下水道作業安全之案例分享— 暴露監測、健康風險模型與通風強化技術

陳漫煊¹、蔡大偉²

關鍵字：下水道系統、科技解決方案、職業安全衛生

1. 國立中興大學環境工程學系 / 助理教授

2. 中原大學環境工程學系 / 助理教授

Abstract

In accordance with the Sixth Phase of the Sewer Construction Project, Taiwan continues to accelerate the development of various aspects of its sewerage infrastructure to enhance national competitiveness. Despite ongoing efforts over the years, occupational accidents continue to occur, resulting in injuries and fatalities. Therefore, ensuring a safe working environment for sewer system construction remains a key issue, with the ultimate goal of achieving zero accident. This study consolidates the latest international research to find the referential solutions. Published by the International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety suggest that airborne exposure indicators can be utilized to assess health risks posed by microorganisms and endotoxins in wastewater treatment plants. Such indicators offer valuable insights for policymakers in formulating strategies to mitigate infection risks. Moreover, research by the International Water Association highlights the use of quantitative modeling techniques to evaluate the risks of respiratory and gastrointestinal illnesses among wastewater plant workers. These models enable precise risk quantification, allowing for swift assessment of the risk levels associated with various personnel roles and operational units, and thereby supporting the development of effective risk-reduction measures. The Journal of Japan Sewage Works Association has documented the development of a sustainable ventilation device that operates without occupying the manhole opening, thereby enhancing safety within sewer pipelines. Results demonstrate that the system can efficiently deliver a large volume of air into pipelines using minimal energy, significantly improving the safety of the working environment. The collection of these cutting-edge studies serves as a valuable reference for advancing technological solutions to occupational health and safety issues in Taiwan's sewer systems, aiming to continuously enhance the safety of construction operations.

Keywords : sewage system, technology solution, occupational safety and health

壹、前言

隨著最新科技的發展以及下水道系統提高職業安全衛生與健康的需求，科學家們致力於研發應用新科技於因應下水道系統職安衛議題之最新解決方案，已逐漸從一般常見的倒塌坍塌、有害氣體中毒、爆炸等...事件，開始注意到污水處理廠工作環境風險，由於廠區環境含有大量微生物，可能導致提升工作人員罹患呼吸道或腸胃疾病之風險。而其中針對有害氣體中毒事件，檢討發現經常是管道內工作環境缺氧所導致，因此學界亦開始研發新型鼓風機，期望可有效增加管道通氣量，以提升工作人員之安全性。本研究彙整國際重要學術單位之最新研究成果，以供國內下水道系統升級或操作優化之參考。研究中共計彙整國際水協會(International Water Association, IWA)、國際生態毒理學與環境安全學會(International Society of Ecotoxicology and Environmental Safety, SECOTOX)、日本下水道協會(Japan Sewage Works Association, JSWA)等重要國際組織之收錄研究。在國際生態毒理學與環境安全學會的期刊研究中，丹麥團隊研發應用最新指標評估技術，協助評估工作人員在污水處理廠工作之健康風險。在 IWA 期刊的研究中，美國研究團隊進一步嘗試應用模式模擬技術，量化污水廠工作人員健康風險，並可協助制訂相對應降低風險策略。在日本的研究中，則是應用人孔氣流機技術強化下

水道管道的通風能力，強化執行系統管道維護工作的安全性。

貳、研究方法

本研究透過彙整國際代表性重要學術單位之最新研究成果，包括國際生態毒理學與環境安全學會、國際水協會、日本下水道協會等代表性國際組織，研究最新有關應用指標、模式模擬、機械技術於解決下水道系統工作環境職業安全衛生議題相關研究，分別以各組織所發表之代表性期刊 *Ecotoxicology and Environmental Safety*、*Water Research*、下水道協會誌之收錄學術文章作為蒐集範圍進行研析，可提供做為國內後續下水道系統提升工作環境安全或是處理設施維護操作之參考。

參、研究成果分析

一、國際生態毒理學與環境安全學會發表研究成果

國際生態毒理學與環境安全學會收錄了在污水處理廠工作的暴露風險研究成果，在生活污水處理廠工作之員工，由於廠區具有大量的細菌或微生物暴露於工作環境之中，因此對身體健康可能造成一定程度的風險，常見的呼吸道疾病、腸胃不適、皮膚疾病等(Cyprowski et al., 2015、Scarlett-Kranz et al., 1987、Smit et al., 2005)，都可能與在污水處理

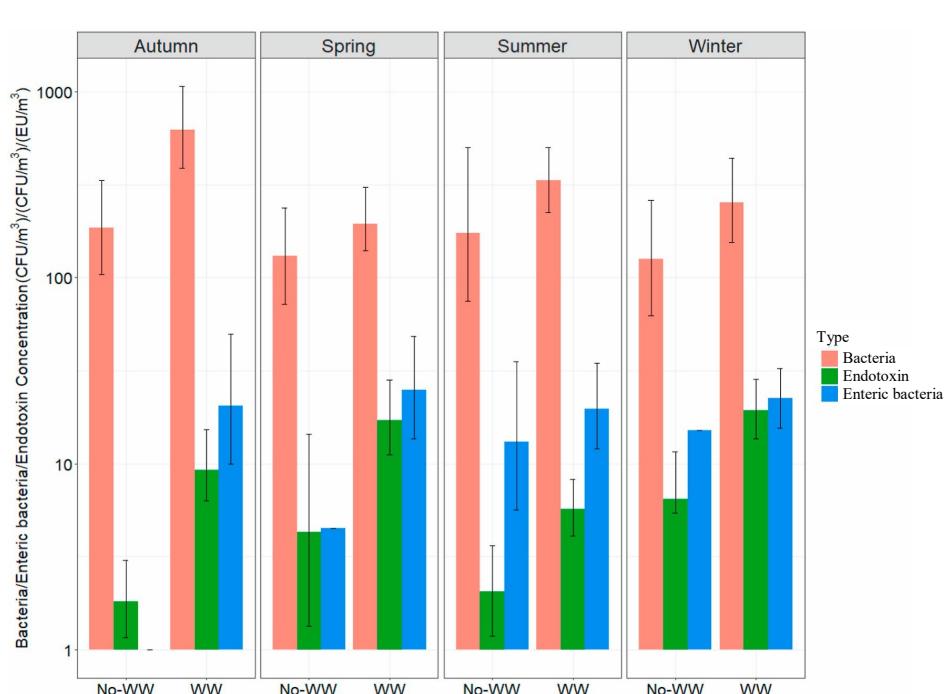
廠環境工作有所關聯。而根據研究顯示，污水處理廠暴露之生物氣膠濃度是造成健康風險的主因，氣膠濃度會隨著季節、處理單元種類等因素變化，然後透過吸入或是皮膚接觸的方式導致健康風險。然而過去研究多數是建立在固定式取樣，而非個人取樣所獲得的數據。因此該研究同時納入個人暴露樣本與固定式空氣樣本，透過追蹤了一群在污水處理廠工作工人一年的時間，以評估暴露於微生物所帶來的風險，並透過不同的風險評估方法進行評估，可做為未來下水道工程職業安全衛生評估之參考。

該研究選擇丹麥一座污水處理廠作為研究範圍，研究期間共有 14 名工作人員參與（11 名固定於廠內工作代號 WW（會接近污水）；3 名協助維護工作代

號 No-WW（不會接近污水）），進行一年的監測與健康狀態追蹤，由兩名職業安全醫師協助執行，每月固定進行健康檢查工作。而空氣生物氣膠樣本採樣工作分為環境移動式採樣與室外固定式環境採樣，個人樣本的平均採樣時間為 283 分鐘，戶外參考樣本為 277 分鐘。

研究結果顯示在細菌與內毒素暴露濃度方面，個人採樣平均濃度為 299 CFU/m³，顯著高於戶外參考樣本的 15 CFU/m³。暴露濃度於不同季節亦有顯著變化，平均而言以秋季濃度最高，冬季濃度最低（如圖 1）。另在 28.3 % 的樣本中，有偵測到腸道細菌，但在季節、工作任務等面向無顯著差異。

在該污水處理廠中，不同處理單元之



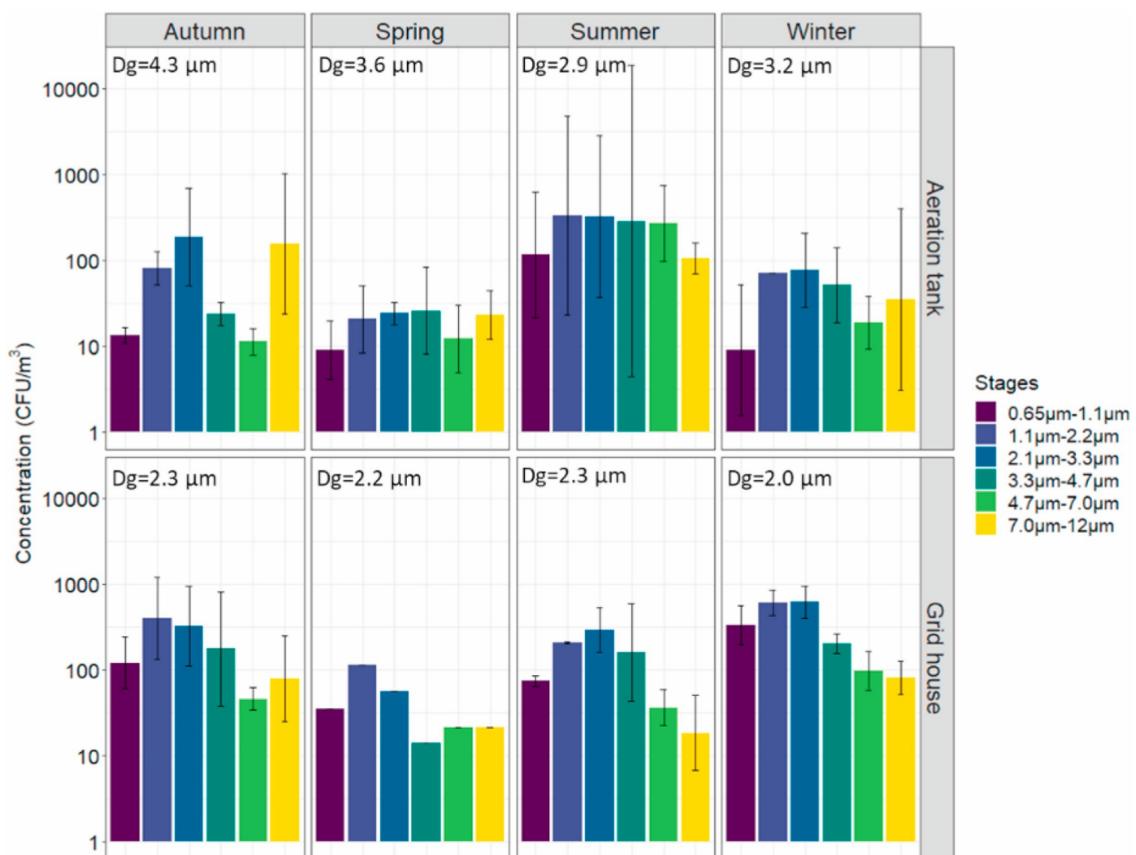
資料來源：Lu et al., Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. (2020).

圖 1 污水處理廠工作人員致病因素暴露情形

暴露情形分析如圖 2，攔污柵單元的平均濃度為 $1,116 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，分析其季節性變化並無顯著差異。而調查曝氣池單元的平均濃度為 $368 \text{ CFU}/\text{m}^3$ ，具有季節性顯著差異，以夏季最高，春季最低。若將兩個單元暴露濃度進行比較，可以發現在冬季有顯著差異，攔污柵濃度顯著高於曝氣池。在腸道菌暴露方面，無論是攔污柵或是曝氣池單元均有被檢測出來。

研究中將暴露濃度換算為危害指標(hazard index, HI)以評估所造成之健康

風險，結果顯示 HI 值均低於 1 無重大健康風險，性別上亦無顯著差異，相對來說位於攔污柵區域暴露風險為最高。根據ACGIH 組織建議細菌職業暴露限值為 $500 \text{ CFU}/\text{m}^3$ (Otten et al., 1986)，在研究中許多個人暴露樣本已超過此限值，因此仍可能造成潛在健康風險。另外，在攔污柵中有 89 % 以及在曝氣池區域有 70 % 的細菌粒徑 $< 4.7 \mu\text{m}$ ，屬於可吸入人體粒徑範圍內。這表示工作環境中的大部分細菌氣膠有可能沉積於人體的下呼吸道，造成呼吸道疾病之風險。最後，透過該研究



資料來源：Lu et al., Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. (2020).

圖 2 不同處理單元的致病因素暴露濃度分析

之微生物組成測量，使得微生物來源追蹤成為可能，結果並顯示工人暴露中的 49 %細菌物種似乎來自攔污柵區或曝氣池區的空氣，而其他可能的來源為污泥脫水室、細篩區或其他環境空氣，仍值得進一步追蹤。透過此研究可得知於污水處理廠環境工作，仍處於一定程度的環境健康風險，可能導致呼吸道或腸胃方面的疾病，研究成果可供為未來職業健康與衛生評估項目之參考，期以可提高下水道系統之職業安全性。

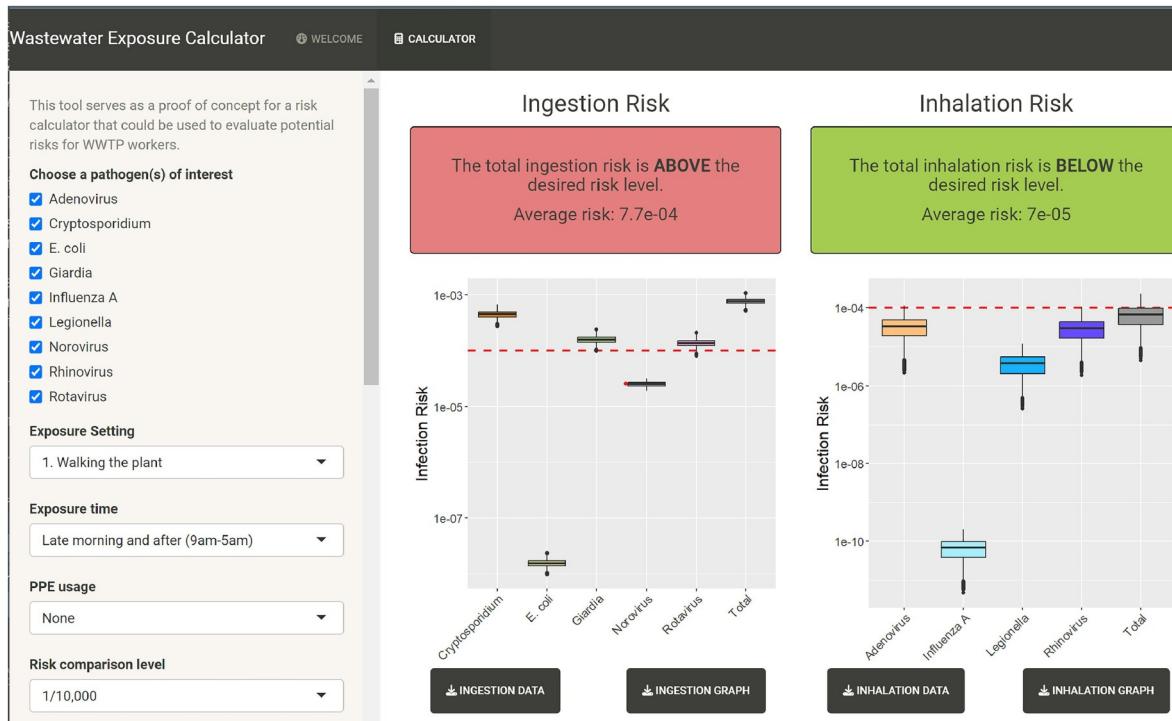
二、國際水協會發表研究成果

國際水協會同樣收錄污水處理廠工作環境對工作人員健康風險研究成果，廠內工作環境中具有許多微生物或化學污染物，透過吸入、接觸、誤食等途徑接觸可能造成健康上之風險。根據研究控制廠內生物氣溶膠生成並在源頭保護工人的工程和管理策略是最有效的方法(CDC and NIOSH, 2023)，但其他策略也可以減少暴露，並且可能更具經濟上可行性，尤其適用於中小型污水廠的工作環境。減少暴露的策略包括配戴適當的個人防護裝備，例如口罩、呼吸過濾器、護目鏡、手套或其他個人防護用品，以減少接觸污水相關病原體。為了評估和確定風險管理措施的優先順序，該團隊致力於發展定量微生物風險評估模型 (QMRA) (Haas et al., 2014)，但目前模型介面仍尚待改善，期望可以建立以網頁為基礎之溝通頁面，以

推廣至更多管理者應用，以量化的方式更明確定義風險的程度，讓管理者可依此推動相關預防措施，降低廠內工作人員健康風險。

該研究選擇加拿大兩座污水處理廠資料為基礎來建立模型，一座為大型污水廠，處理量能為 31 萬 CMD，採三級處理，廠內工作人員共 400 人；另一座為小型污水廠，處理量能為 1 萬 CMD，採二級處理，廠內工作人員共 15 人。研究於廠內每個單元均進行採樣，包括行政大樓與鄰近公園，以作為對照組之環境值。模式主要模擬兩個接觸路徑，意外攝入與吸入，分別模擬的終點為可能導致腸胃疾病或呼吸道疾病。研究並設計以 RShiny 撰寫互動網頁工具，使用者可透過輸入各重要參數的方式，獲得最終風險模擬結果作為參考。操作介面如圖 3，在輸入相關參數數據或選項後，使用者可獲得意外攝入風險值(Ingession Risk)與吸入風險值(Inhalation Risk)模擬結果。

該研究模擬結果旨在提供一個定量模型框架，用於評估針對特定場地的各種決策建議的組合，例如安排工作任務和工廠參觀、在生物氣溶膠和工人之間設置物理屏障，或推薦不同類型的個人防護裝備。雖然該模型主要側重於評估都市常見的集中式污水處理廠的風險，但如果能提供有關暴露量和暴露時間的更多信息，該工具亦可能可擴展應用到農村地區。研究中並



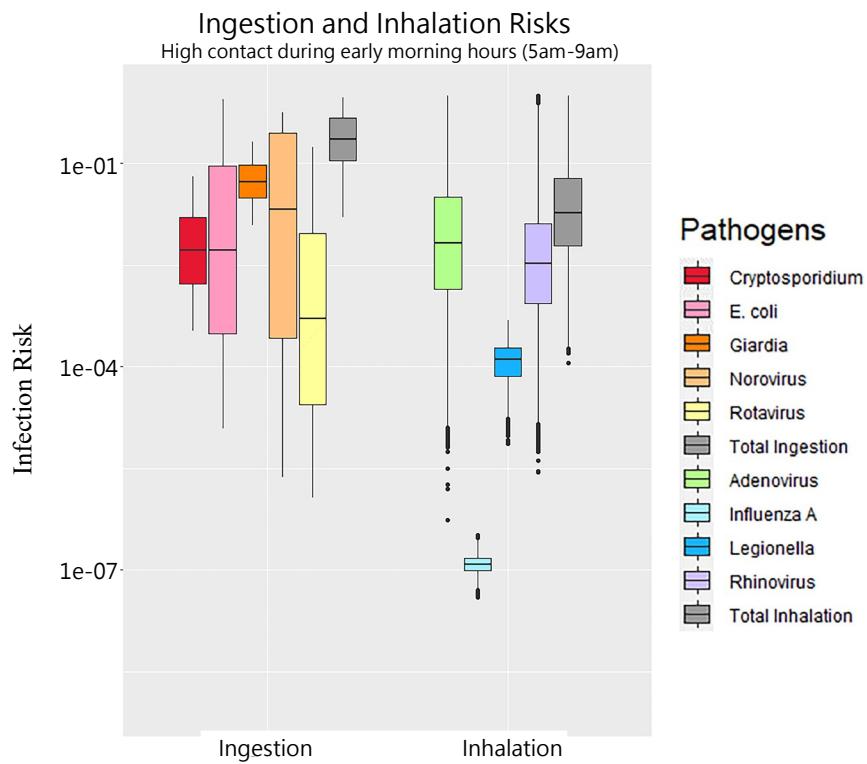
資料來源：Heida et al., Quantitative microbial risk assessment (QMRA) tool for modelling pathogen infection risk to wastewater treatment plant workers(2024).

圖 3 風險評估工具示意圖

模擬不同情境下所對應的健康風險，如一般性風險、不同職位健康風險、高峰與離峰時段健康風險、是否配戴防護設備之健康風險等，研究結果以高峰時段（上午 5 -9 點）模擬為例（圖 4），指出一般來說意外攝入風險高於吸入風險，而意外攝入風險中以十二指腸加氏桿菌(*G. duodenalis*)所造成的腸胃疾病風險最高；而在吸入風險中則以腺病毒(Adenovirus)感染風險最高。而研究亦針對戴口罩的效果進行模擬（如圖 5），研究模擬使用 N95、布口罩、外科口罩或不戴口罩進行比較，

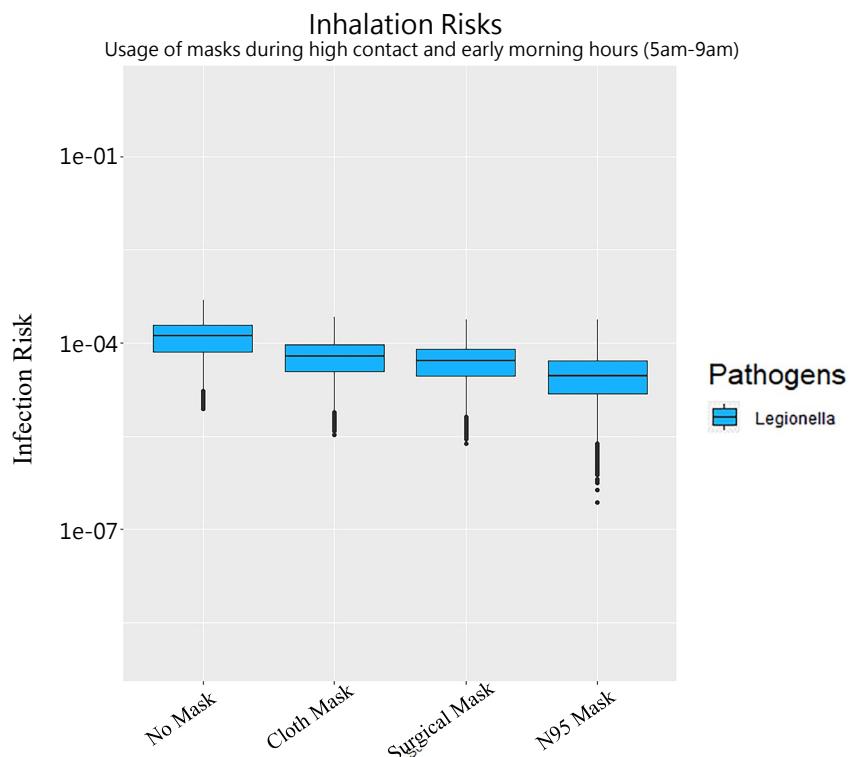
使用 N95 口罩的中位數風險最低，配戴 N95 口罩可將嗜肺性退伍軍人桿菌(*L.pneumophila*)感染的每日中位數風險降低 77 %，因此未來可考慮在高風險地區要求工作人員配戴口罩，以作為預防健康風險措施選項之一。該研究透過污水廠微生物健康風險定量模式，模擬各種可能情境之對應風險，並評估不同防護措施之效果，期以可藉此提高下水道系統之職業安全性。

三、日本重要企業發表研究成果



資料來源：Heida et al., Quantitative microbial risk assessment (QMRA) tool for modelling pathogen infection risk to wastewater treatment plant workers(2024).

圖 4 污水廠微生物感染健康風險分析



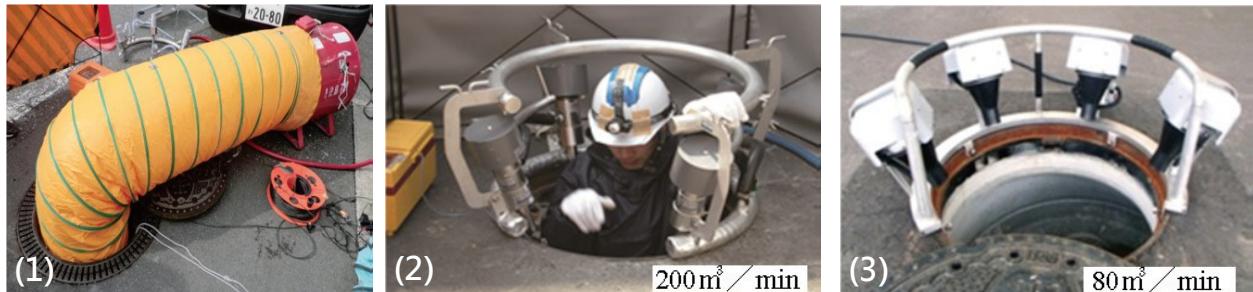
資料來源：Heida et al., Quantitative microbial risk assessment (QMRA) tool for modelling pathogen infection risk to wastewater treatment plant workers(2024).

圖 5 配戴口罩對污水廠微生物感染健康風險之影響

1. 研究背景

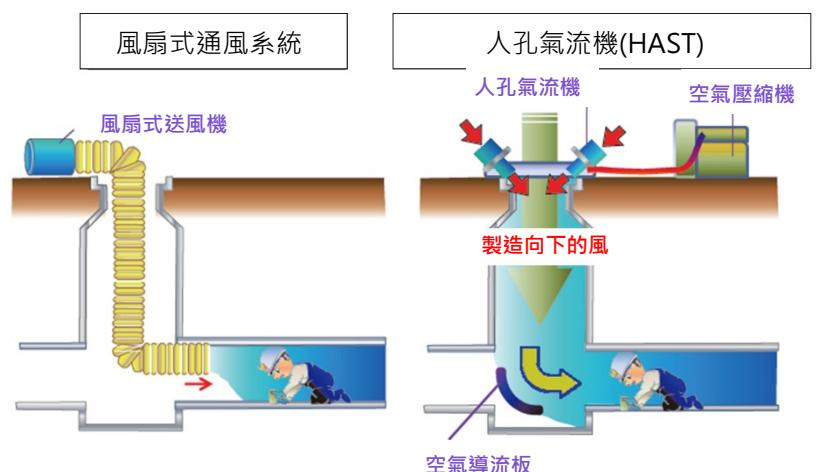
根據日本《勞動安全衛生法施行令》，下水管路設施被視為可能造成硫化氫中毒或缺氧症的場所。而日本目前普遍使用風扇式換氣裝置（如圖 6(1)），此裝置由鼓風機與風管構成，安裝和運行時管道會堵塞人孔入口，導致作業人員進出不便、緊急逃生受限、器材搬運效率不佳等問題。為解決此一問題，已開發「無葉風扇式送風機(Hole Air Streamer，人孔氣流機)」，人孔氣流機除了有可利用壓

縮機提供大風量的 HAST（以下稱為「壓縮機式 HAST」），圖 6(2)之外，還有電動式人孔氣流機（以下稱為「電動式 HAST-e」），圖 6(3)，其體積更為小巧並提升了作業性。該研究進一步開發出具大風量的電動式新型機種 HAST-ef（以下稱為「新型機 HAST-ef」），並說明在開發過程中所實施的各項實驗與流體分析內容。傳統型風扇式換氣裝置與人孔氣流機兩種送風裝置設計比較示意圖可如圖 7 所示，HAST 的設計具有可讓人孔入口保持常時開放，不會妨礙作業。此外，即使在



資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 6 人孔氣流機示意圖



資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 7 送風裝置比較示意圖

緊急情況下，也可讓工作人員從管路或人孔迅速逃出等優勢。

2 不同直徑人孔氣流機（新型 HAST-e）的開發

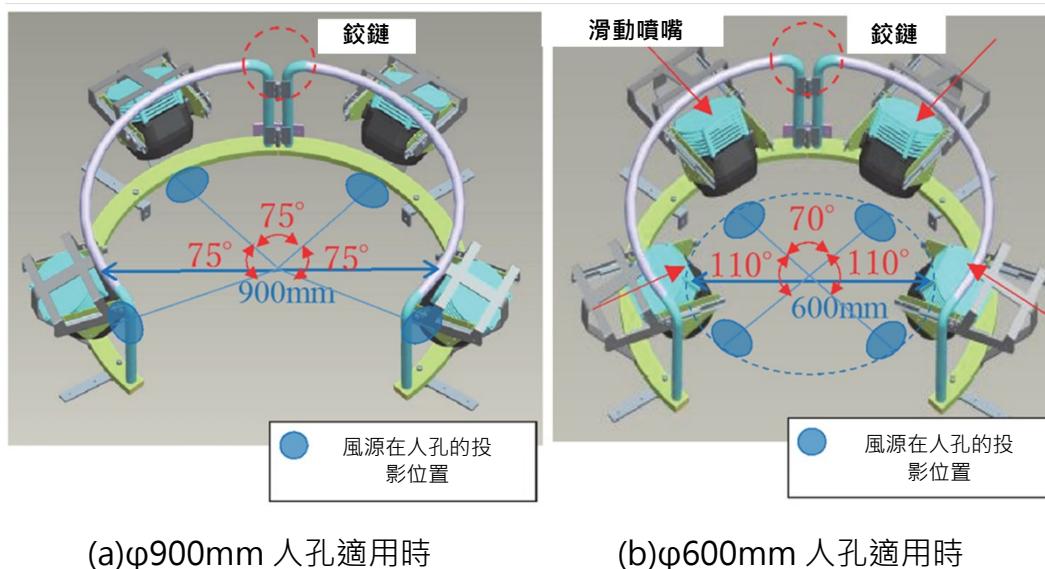
(1) 開發目標

至今為止，壓縮機式 HAST 以及電動式 HAST-e 已應用於這是最常見直徑為 $\varphi 600\text{ mm}$ 的下水管檢修孔，但東京各區的下水道設施中，作為舊標準類型的 $\varphi 750\text{ mm}$ 和 $\varphi 900\text{ mm}$ 的檢修孔存在超過 3 萬個。此外，考慮到下水道系統以外的基礎設施中也有很多直徑為 $\varphi 900\text{ mm}$ 的檢修孔，因此也將直徑為 $\varphi 750\text{ mm}$ 和 $\varphi 900\text{ mm}$ 的檢修孔作為開發目標。

另外，出於安全管理，需要透過換氣確保管路內達到 0.8 m/s 以上的風速。管道內所需的風量根據該風速和橫截面積計算。根據作者過去的實驗結果，送入管道的空氣量與管道入口處的空氣量相比，損失約為 60 % 以下。因此，將目標管路的內徑設定為 1500 mm ，考慮上述損失來計算所需風量，並將目標風量設定為 $140\text{ m}^3/\text{min}$ 以上。

(2) 對應不同口徑、大風量的對策

針對可適用於不同口徑($\varphi 750\text{ mm}$ 、 $\varphi 900\text{ mm}$)的構造，經過檢討之後，採用了在框架上設置鉸鏈並將其折疊成兩部分（圖 8(a)）。雖然為 $\varphi 900\text{ mm}$ 尺寸的框架，但透過滑動風源噴嘴，1 台即可安裝於 $\varphi 750\text{ mm}$ 、 $\varphi 600\text{ mm}$ 的風源上（圖



資料來源：岩佐行利等，無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 8 新型 HAST-e (不同直徑人孔氣流機)

8(b)），折疊式框架也便於緊湊存放。雖然其重量為 28kg，約為電動 HAST-e(13 kg)的兩倍，但一個人就可以搬運，而且結構簡單，足以滿足現場作業的需求。為了確保目標風量，進行了風源風扇的選定。在根據最大風量、尺寸、重量、功耗和噪音等必要條件對市售產品進行比較和研究後，決定新款 HAST-ef 使用軸流式螺旋槳風扇。

(3)送風量與導風效果的驗證

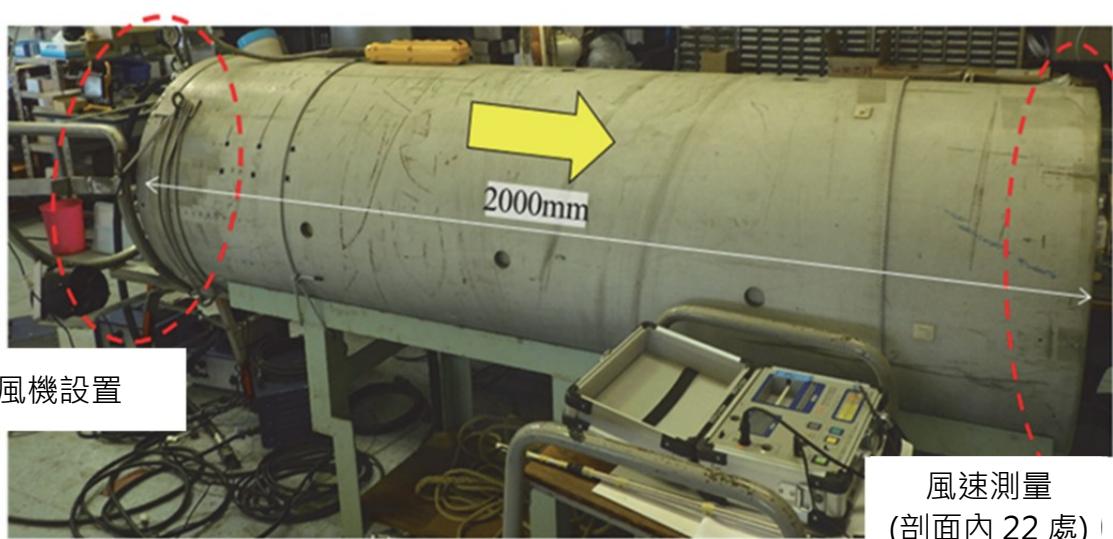
為驗證新型 HAST-ef 模型的風量及導流效果，採用 2 m 長的管道進行試驗。在 $\varphi 600\text{ mm}$ 聚氯乙烯管道一端安裝鼓風機（圖 9）。在 2 m 長的出口截面上安裝了 22 個熱線風速計作為測量點。測量結果、出口截面風速分佈、平均風速及風量

如圖 10 所示。由此可知，新型 HAST-ef 模型的風量為 $150\text{ m}^3/\text{min}$ ，藉由使用軸流螺旋槳型的風扇得以達成目標風量。

3. 現場驗證實驗

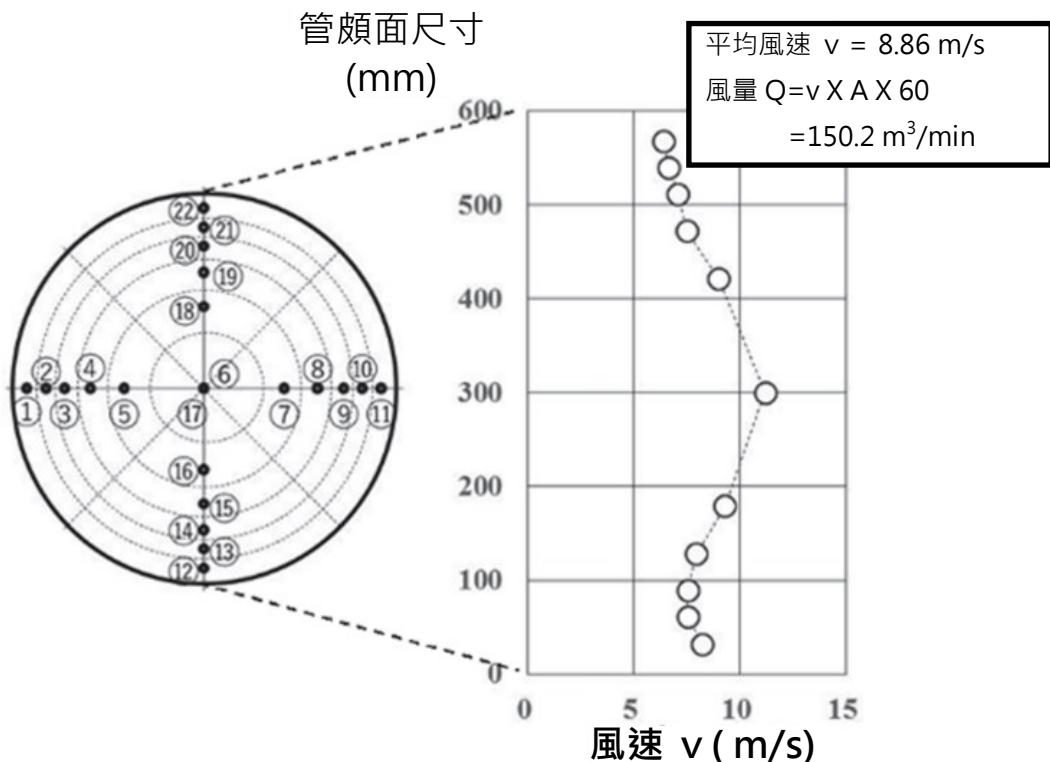
(1)現場實驗概述

從人孔入口送入的空氣，必須也被送入管路內。因此研究中利用三條管道進行了現場驗證實驗：兩條東京地區在用的下水道管道和一套安裝在室外的實物管道設施。目標管路的管徑為 $\varphi 830\text{ mm}$ 至 $\varphi 1,500\text{ mm}$ ，長度 $L = 9.7\text{ m}$ 至 44.65 m ，分別為修復管路和鋼筋混凝土(RC)材質的圓形管材（表 1）。圖 11 顯示風速測量位置，分別在管道入口橫截面($L=0\text{ m}$)和出口剖面 ($L=9.7\text{ m}$ 至 44.65 m)



資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 9 新型 HAST-ef 實驗驗證的設計



資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 10 新型 HAST-ef 出口剖面風速分布圖

表 1 現場量測管路規格清單

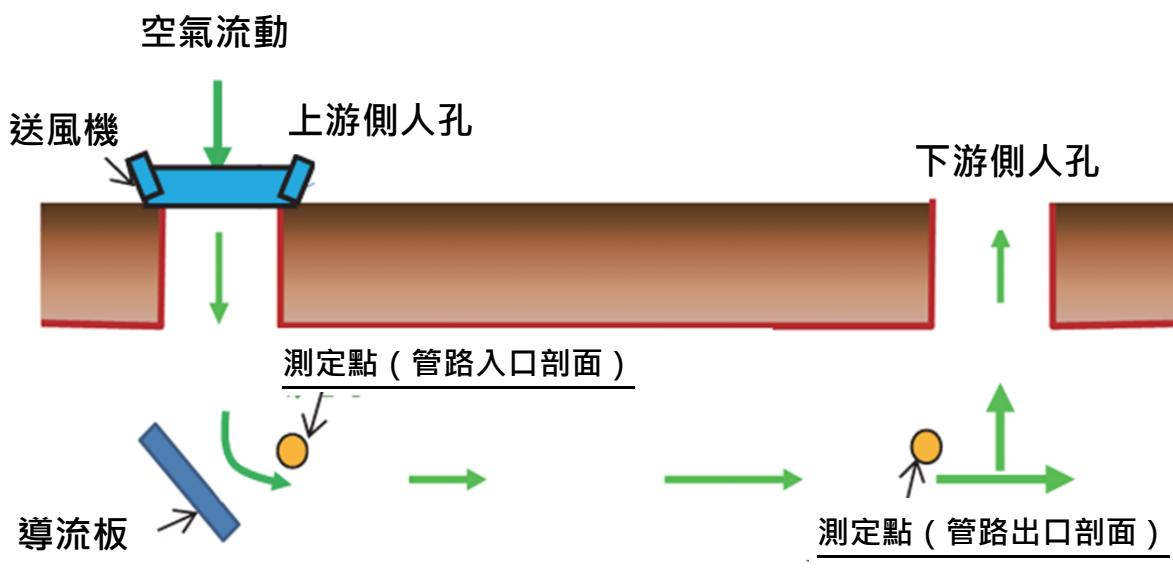
	管路	上游側人孔	下游側人孔	備註
路線 1	$\varphi = 830\text{mm}$ $L = 44.65\text{m}$ 修復管	$\varphi = 1,500\text{mm}$ $D_p = 3.49\text{m}$	$\varphi = 1,500\text{m}$ $D_p = 3.52\text{m}$	使用中 有橫管
路線 2	$\varphi = 990\text{mm}$ $L = 20.1\text{m}$ 修復管	$\varphi = 1,500\text{mm}$ $D_p = 3.95\text{m}$	矩形 $2.95\text{m} \times 2.85\text{m}$ $D_p = 4.13\text{m}$	使用中 有橫管
路線 3	$\varphi = 1500\text{mm}$ $L = 9.7\text{m}$ RC 管	$\varphi = 2,200\text{mm}$ $D_p = 3.15\text{m}$	$\varphi = 2,200\text{mm}$ $D_p = 3.15\text{m}$	室外實物管道設施 無橫管

資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

處，安裝了多個熱線風速計，並連續測量 5 分鐘的風速。此外，在人孔底部安裝了一塊導風板，用於將氣流改變至特定方向，並對安裝和未安裝導風板的試驗結果進行了比較，以確認其效果。

(2) 測定結果

表 2 顯示了各管線入口和出口剖面的平均風速值，這些風速值是風速測量的結果。圖 12 顯示了各管線安裝導風板後的出口剖面風速測量結果，結果顯示所有測



資料來源：岩佐行利等，無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 11 風速測定位置示意圖

表 2 現場風速測定結果

	導流板有無	管路平均風速值(m/s)	
		入口剖面	出口剖面
路線 1	有	2.02	1.40
	無	1.04	1.15
路線 2	有	1.43	1.78
	無	1.03	1.35
路線 3	有	0.62	0.96
	無	0.64	0.93

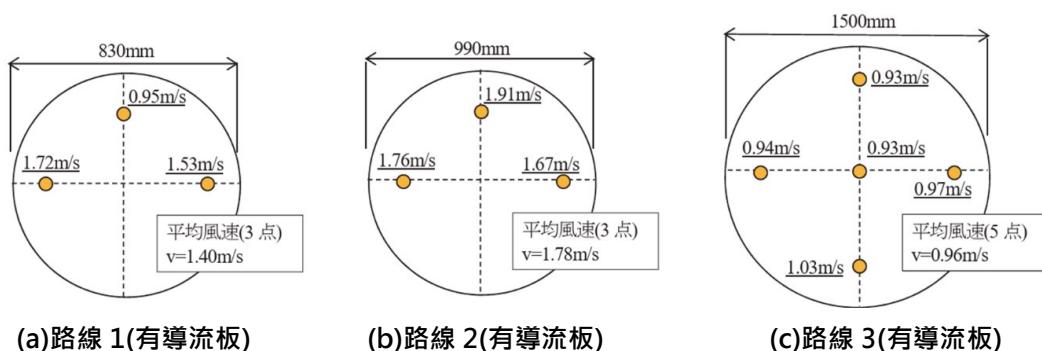
資料來源：岩佐行利等，無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

量情況下出口剖面的平均風速值為 0.93 m/s 至 1.78 m/s，證實風速高於管道內作業標準值 0.8 m/s。此外，各管線出口剖面的風速結果顯示，安裝導流板的管線均等於或高於未安裝導流板的情況，風速值最高可高出約 30%，由此證實了安裝導流板的有效性。

4. 流體分析驗證

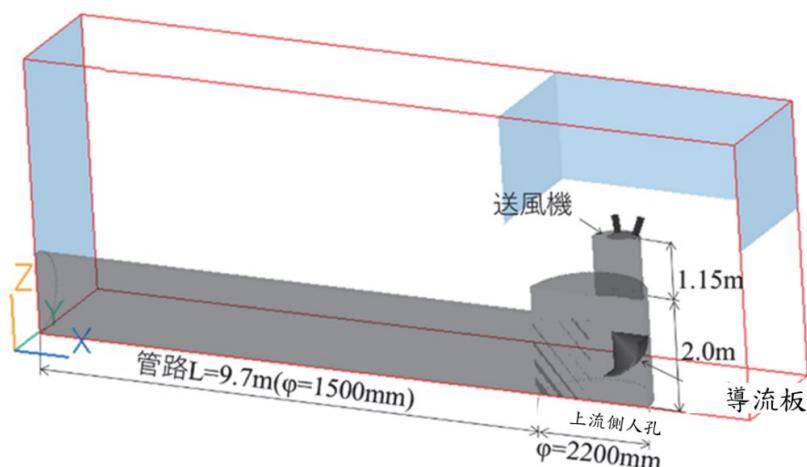
(1) 驗證設計概要

為了確認現場實驗驗證結果的合理性，並掌握向管路內送風的特性，進行了流體分析。分析模型為 3 號線實物管路設施，並配有空氣導流板，採用三維軸對稱 1/2 模型（圖 13）。在人孔入口周圍設置空間，並在空間末端和管道出口周圍設置大氣壓力邊界條件。基本分析條件整理如表 3，並以預先從鼓風機噴嘴尖端測



資料來源：岩佐行利等，無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 12 風速測定位置示意圖



資料來源：岩佐行利等，無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 13 流體分析模型圖

得的風速值 $v = 19.4 \text{ m/s}$ 作為輸入值進行送風。

(2) 流體分析結果

流體分析結果顯示，管路入口和出口剖面的風速分佈如圖 14 所示，風速向量圖如圖 15 所示。流體分析結果與圖 14 管道剖面風速分佈的現場測量結果基本一致。由此可以認為，流體分析結果透過在分析模型中適當地反應人孔和管道的形狀，重現了管道內的氣流狀況。此外，從圖 15 的風速向量圖可以看出，隨著氣流沿著管道長度方向流動，管道剖面的風速分佈變得均勻，從管道 $L=2\sim4 \text{ m}$ 到出口剖面($L=9.7 \text{ m}$)，獲得的風速值均在 0.8 m/s 以上。另一方面，如圖 15 的向量圖所示，在管道入口斷面($L = 0 \text{ m}$)處，由於氣流從人孔流向管道方向急遽改變，導致

剖面上方發生逆流。在現場驗證實驗中，由於平均值包含了斷面上方的逆流，因此 3 號線入口斷面的平均風速降至 0.8 m/s 以下。由於這種局部逆流的發生會導致進入管道的氣流損失，因此建議採取措施減少逆流，例如根據人孔形狀安裝形狀最佳的導流板。

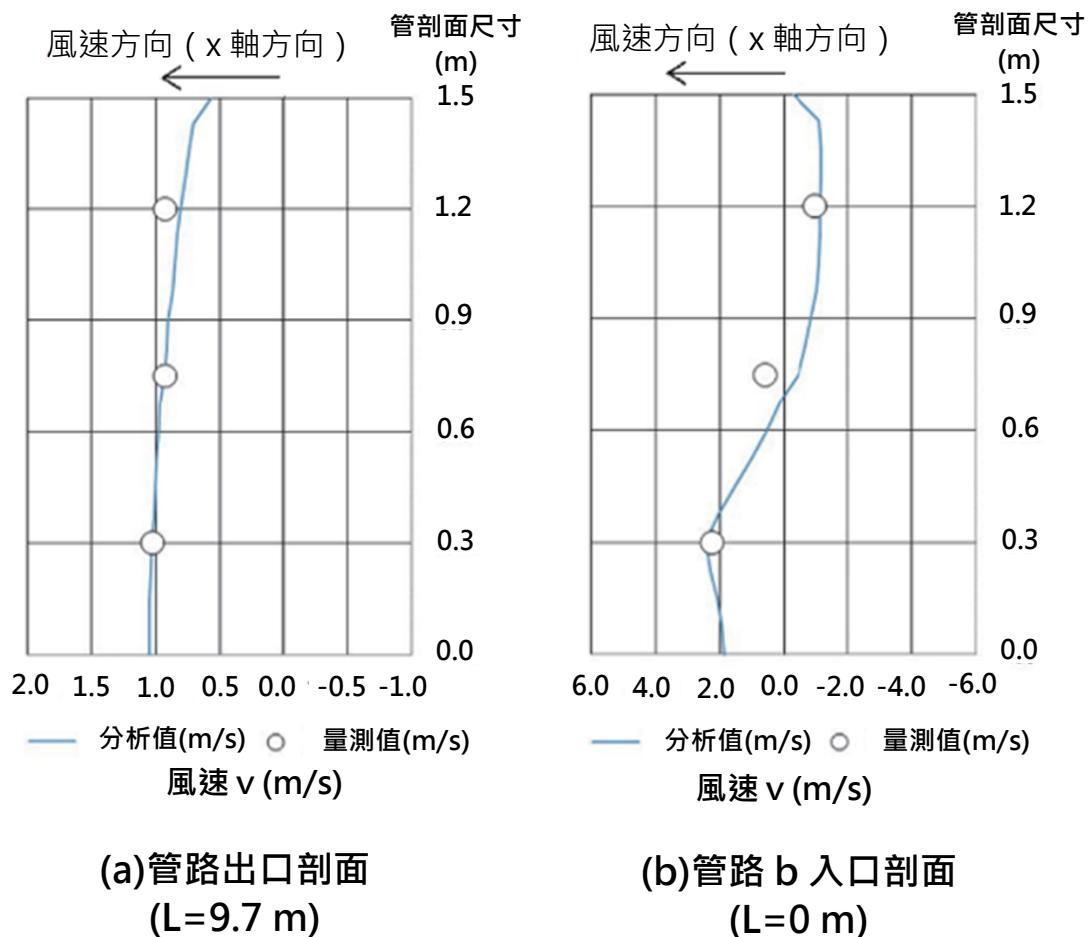
肆、結語

本研究彙整國際對應用最新科技於下水道系統職業安全議題解決方案相關研究進行彙整，國際生態毒理學與環境安全學會發表研究應用不同的空氣暴露風險評估指標，來評估各種微生物所造成的健康風險，有助於提供決策者制定污水廠微生物風險防護措施之參考，可針對較高風險之物種，制定後續推動工作環境改善之優先目標。國際水協會發表研究針對應用

表 3 流體分析條件設定

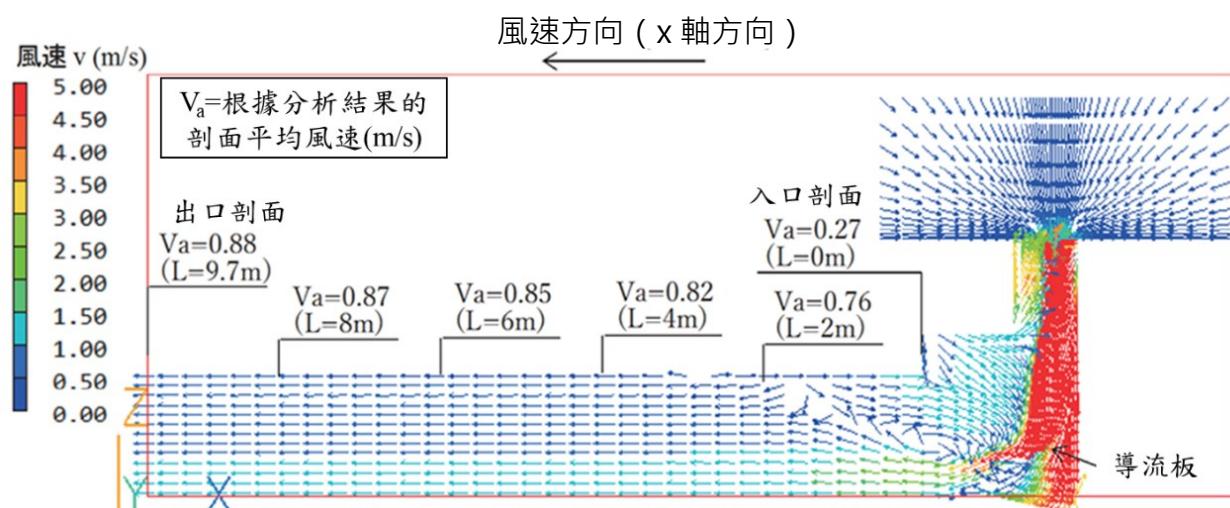
解析程式	PHOENICS
座標系統	三維直交座標系
時間依存性	穩態計算
紊流模型	Chen-Kim $k \epsilon$ 紊流模型
密度	根據等熵變化式
輸入的噴嘴速度	$V_a = 28.0 \text{ m/s}$
網格劃分(Mesh)	140 萬網格

資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。



資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 14 剖面風速分布比較



資料來源：岩佐行利等, 無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証(2020)。

圖 15 流體分析模型圖

QMRA 模式技術，協助進行量化評估污水廠工作人員微生物感染風險研究，利用模型模擬結果可協助建置防護措施之依據，或是推薦特定場域應該配戴之防護裝備建議，改善傳統對微生物感染風險難以評估之缺點，將有效提升污水廠工作環境之安全性。日本研究成果應用透過對現場運行管道進行驗證實驗和流體分析，展示人孔氣流機於管路內送風特性的案例。期望透過現場實證工作推動，促使新研發人孔氣流機可作為一種安全可靠的管道內作業通風裝置，協助確保管道內工作人員之安全。藉由國際最新相關研究的整理，可作為臺灣未來下水道系統職業安全衛生解決方案之重要參考。

參考文獻

- 岩佐行利、内田智文、清水雅之、中村光、森田弘昭・2020。無翼扇型送風機の適用拡大に向けた開発—安全性及び作業性向上のための管路内作業用換気装置の現場実験と解析的検証。下水道協会誌・Vol.57・No.698・p.108-116。
- CDC, and NIOSH. 2023. "Hierarchy of controls." January 17, 2023. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>.
- Cyprowski, M., Sobala, W., Buczyńska, A., Szadkowska-Stańczyk, I., 2015. Endotoxin exposure and changes in short-term pulmonary function among sewage workers. Int. J. Occup. Med. Environ. Health 28, 803 – 811.
- Haas, C.N., Rose, J.B., Gerba, C.P., 2014. Quantitative Microbial Risk Assessment. John Wiley & Sons.
- Heida, A., Maal-Bared, R., Veillette, M., Duchaine, C., Reynolds, K. A., Ashraf, A., 2024. Quantitative microbial risk assessment (QMRA) tool for modelling pathogen infection risk to wastewater treatment plant workers, Water Research, 260, 121858.
- Lu, R., Frederiksen, M. W., Uhrbrand, K., Li, Y., Østergaard, C., & Madsen, A. M. (2020). Wastewater treatment plant workers' exposure and methods for risk evaluation of their exposure. Ecotoxicology and Environmental Safety, 205, 111365.
- Ogunseye, O., Jung, Y., Shulman, L., Ikner, L., Betancourt, W., Hamilton, K. & Wilson, A. M. (2024). Quantitative microbial risk assessment

- (QMRA) tool for modelling pathogen infection risk to wastewater treatment plant workers. Water Research, 260, 121858.
8. Scarlett-Kranz, J.M., Babisch, J.G., Strickland, D., Lisk, D.J., 1987. Health among municipal sewage and water treatment workers. Toxicol. Ind. Health 3, 311 – 319.
 9. Smit, L.A.M., Spaan, S., Heederik, D., 2005. Endotoxin exposure and symptoms in wastewater treatment workers. Am. J. Ind. Med. 48, 30 – 39.



摘要

本文以臺南市仁德區污水下水道系統第二期工程主、次幹管第二標為施工案例，介紹利用鋼環片壓入式沉箱工法做為污水下水道工作井之擋土支撐，並介紹以長圓形鋼環片及曲線推進工法施工克服工作井因管線障礙無法沉設之問題，此工法有效減少管線遷移經費及工期，並確保施工安全與精度。完工後可改善民眾居住環境，提升生活品質。

曲線推進工法案例介紹

林厚名¹、郭欽州²、盧國安³

關鍵字：鋼環片壓入式沉箱、長圓形沉箱、曲線推進工法、下水道工程

-
- 1.內政部國土管理署下水道工程分署 / 分署長
 - 2.內政部國土管理署下水道工程分署工程事務科 / 科長
 - 3.內政部國土管理署下水道工程分署第 13 隊 / 隊長

Abstract

This study presents a construction case from the second phase of the Tainan City Rende District sewerage system project, focusing on the use of the steel ring press-in caisson method and curved pipe jacking technique. The steel ring caisson method was adopted as earth-retaining support for working shafts, providing enhanced safety and precision in narrow urban spaces with complex underground utilities. To address challenges where conventional circular shafts could not be installed due to major pipeline obstacles, elliptical steel ring caissons were designed and implemented. In addition, curved pipe jacking was applied to navigate around immovable utilities, guided by a gyroscopic navigation system to ensure accuracy in alignment. The combined approach significantly reduced the need for pipeline relocation, minimized construction costs and delays, and ensured structural safety. Upon completion, the project is expected to improve the living environment and enhance residents' quality of life.

Keywords: steel ring press-in caisson, elliptical caisson, curved pipe jacking, sewerage construction

壹、前言

本案為臺南市仁德區污水下水道系統第二期工程主、次幹管工程第二標，施工地點位於臺南市東區及仁德區（如圖1），交通流量大，且屬於早期已開發之舊城區，地下管線佈設複雜，且重大管線配置複雜（特高壓、電信幹管、大管徑自來水管、軍方油管、雨水箱涵等），致無法沉設污水工作井，故規劃以長圓形鋼環片設置工作井及曲線推進工法，以避開無法遷移之管線。

本工程原設計（圓型鋼環片壓入式沉箱工法）工程內容如下：

一、鋼環片壓入式沉箱工法（內徑 4000 mm，外徑 4300 mm）：

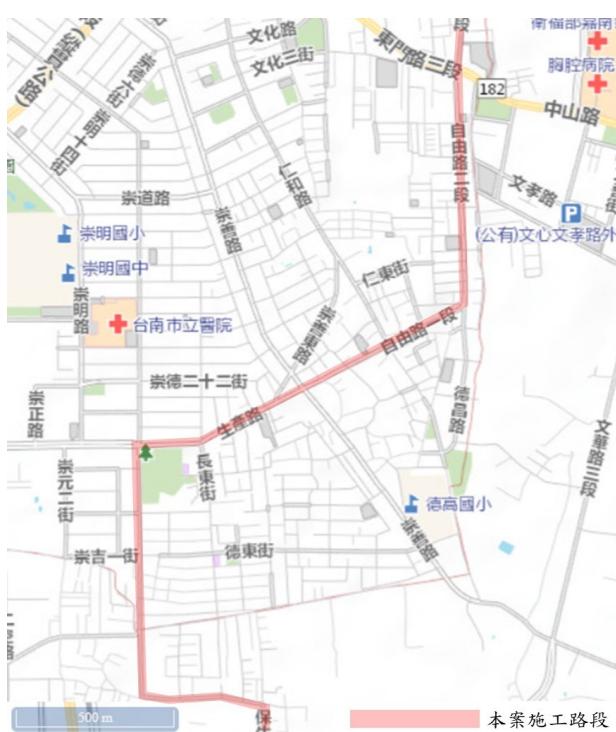


圖 1 工程位置示意圖

- H21 工作井，深度 21.39M。
- H23 工作井，深度 22.77M。
- H24 工作井，深度 22.37M。
- H39 工作井，深度 19.53M。
- H45 工作井，深度 17.63M。
- H46 工作井，深度 20.48M。

二、 $\phi 1200\text{mm}$ 直線推進：

- H30>H29 : 104 M。
- C01>H28 : 205 M。
- H27>H26 : 161 M。

貳、長圓形鋼環片壓入式沉箱工法 介紹

本工程原設計鋼環片壓入式沉箱工作井（Urban-Ring 工法），適用於狹隘地點及小規模的工作井，自 2006 年引進台灣，工法特性如下：

1. 利用千斤頂強行下壓箱體至足夠貫入深度後，再使用抓斗取土，如此即可有效防止傳統超挖容易帶來砂湧等問題，故較無造成周邊道路掏空坍塌狀況，施工安全性高。
2. 壓入式沉箱工法是利用數座千斤頂提供下壓力沉設箱體，故對於箱體傾斜量可利用調整各千斤頂壓入力作傾斜

量之調整，故施工精度較高。

3. 由於每層箱體系採多片鋼環片組裝而成故載運相當方便，組裝每層高度為1 m，每次沉設高度約3~4層不等，搭配內部設置之工作平台組裝，工作性亦較傳統工法較佳。

本工程工作井原設計外徑為4.3 m，實際施工時發現部份工作井，牴觸雨水箱涵、電信幹管、台電特高壓管道等重大民生管線，辦理多次管線遷移協調會議協調，管線單位均表示遷移影響使用用戶範圍過大，且無法於規定時限內供民眾使用，恐造成民怨甚鉅，故無法管線遷移，使本工程無法依原設計工作井規格沉設。

本工程使用之鋼環片式壓入沉箱工法，可分為圓形及長圓形兩種，已有多項案例參考，長圓形工作井適合本工程受限於管線障礙可施作空間不足之特性（詳圖2），本工程經調查各工作井之管線配置，訂定最適於本工程使用之工作井尺寸（外徑：寬3.5 m×長4.7 m）提出相關施工計畫及圖說（詳圖3至圖5），其結構安全性亦經結構技師計算確認，妥善規畫後由鋼構廠加工，完成後載運至工地使用。

參、曲線推進工法介紹

一、工程條件

因配合管線遷移後可立坑之工作井位

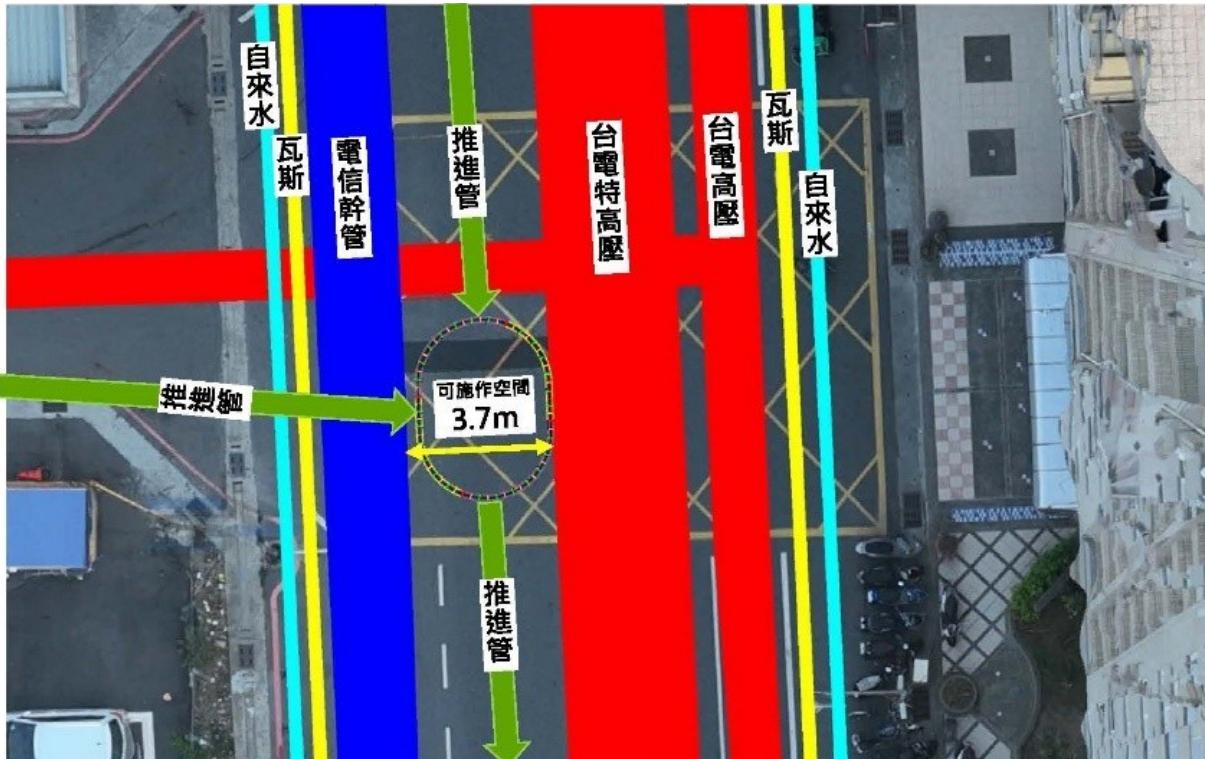
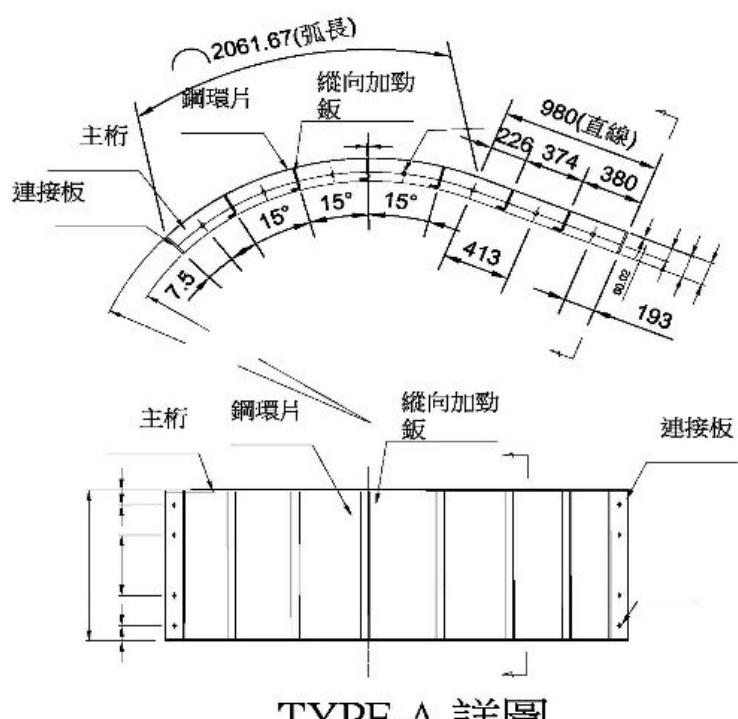
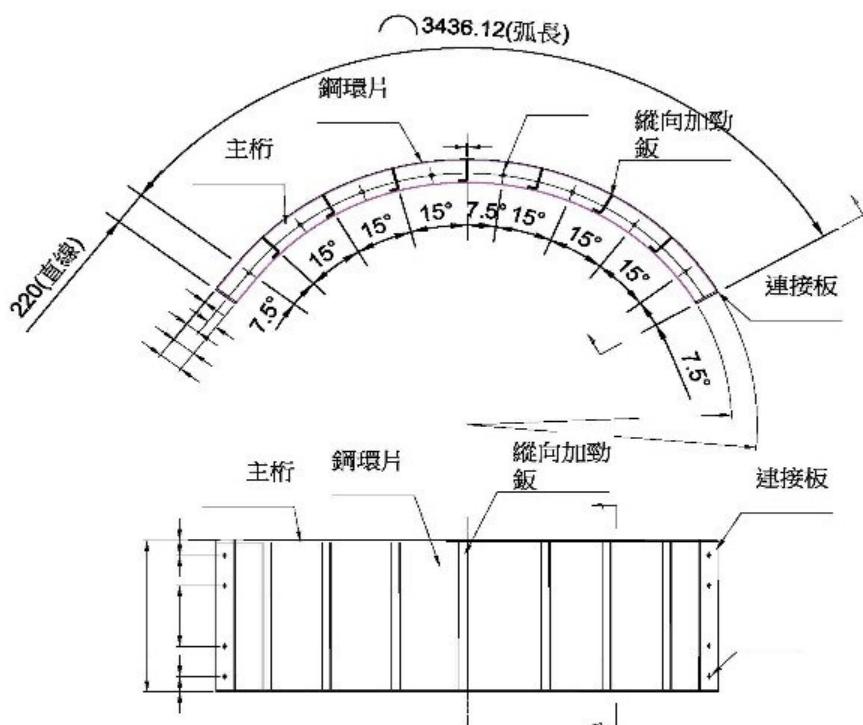


圖2 管線套繪平面圖



TYPE A 詳圖

圖 3 異形工作井鋼環片構件圖-TYPE A



TYPE B 詳圖

圖 4 異形工作井鋼環片構件圖-TYPE B

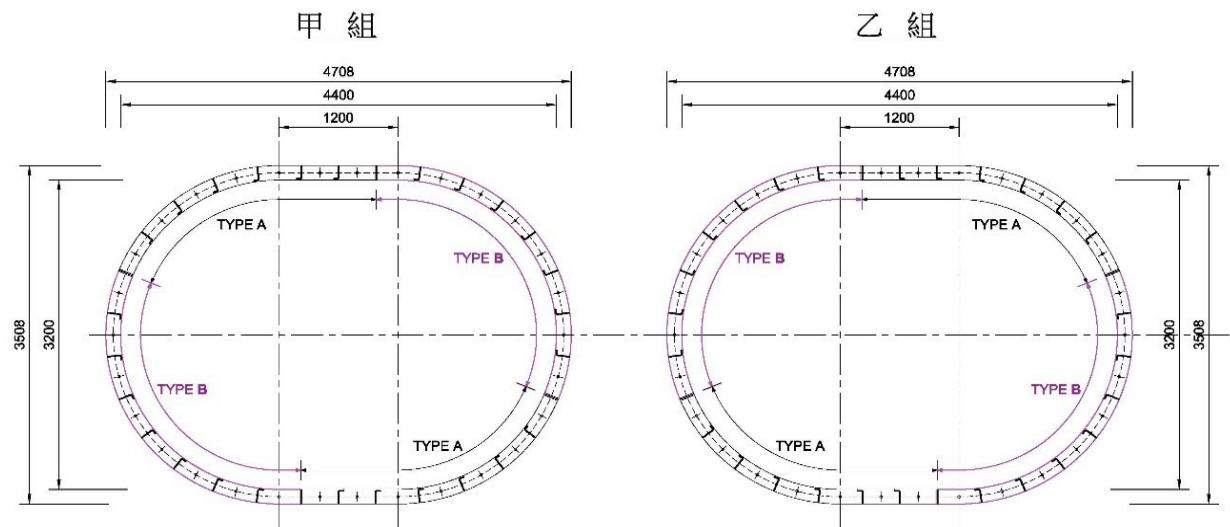


圖 5 異形工作井鋼環片配置



圖 6 異形工作井施工照片



圖 7 異形工作井鋼環片組裝照片

置，本工程共有三段變更為 $\phi 1200\text{ mm}$
連動式曲線推進，管線資料如下：

1. H30>H29 管段：

- I (圓心角) =17°
- TL (切線長) =17.62 m
- R (曲率半徑) =121 m
- 覆土深度=13.59~14.27m
- 土質=粉質砂土 (N 值 9-11)

2. C01>H28 管段：

- I (圓心角) =16°

- TL (切線長) =43m

- R (曲率半徑) =300m

3. H27>H26 管段：

- I (圓心角) =6°
- TL (切線長) =53.49m
- R (曲率半徑) =300m
- 覆土深度=16.44~16.76m
- 土質=粉質砂土 (N 值 9-11)

二、曲線推進導航方式選用

因曲線推進施工係用推進機轉折設備控制推進方向，本工程採用陀螺儀導航系

統（圖8至圖10），其計測原理如下：

- 陀螺儀能測量出地球的自轉，即時提供三度空間的角位移（方位角和旋轉

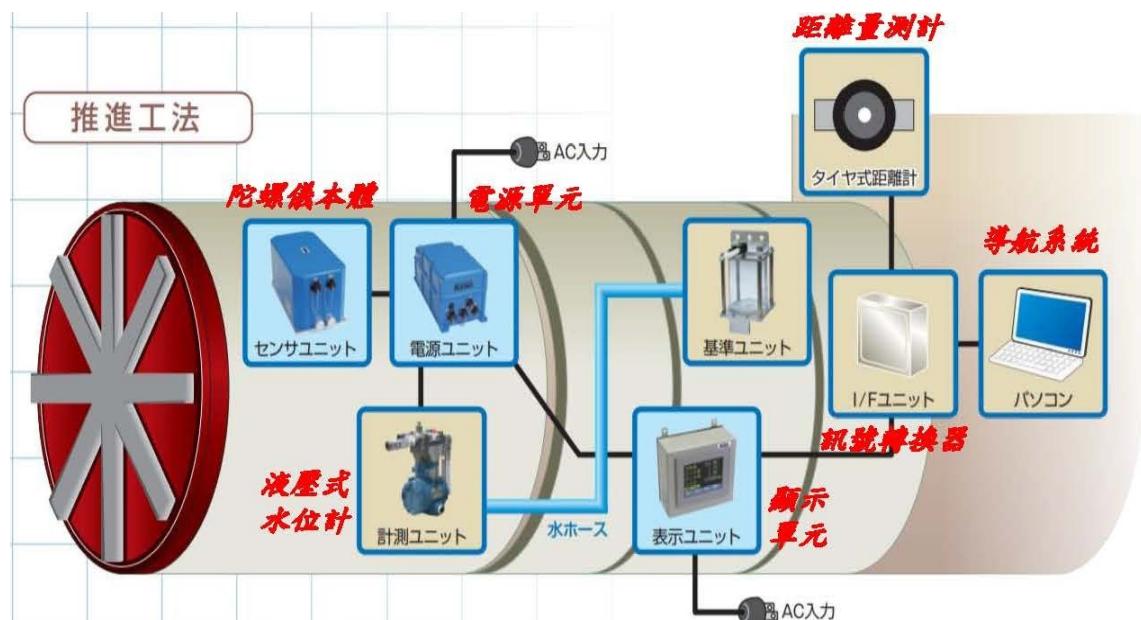


圖8 陀螺儀系統配置示意圖



圖9 陀螺儀安裝完成示意圖



圖10 導航系統完成示意圖

角) 及位置等數據，用來作為推進時行進路線的管理。

2. 藉由導航系統的處理計算以數值及圖形，來表示推進機的現在方位角，以及計劃線的目標方位角。
3. 推進時利用修正千斤頂，將推進機的現在方位角，修正至計劃線的目標方位角，則推進機即可沿著設定之曲線線形推進。

三、曲線推進工法概述

1. 曲線推進地面線形放樣

為了確保曲線推進管線能正確的達到預定工作井位置，需先行在地面放樣

(圖 11) 避免侵占非道路用地，另需確認由無其他障礙物。

2. 曲線推進地下投影放樣

為了確保曲線推進管線能正確的達到預定工作井位置，必需把地面控制測量成果中的座標、方位角和高程透過工作井傳到地下(圖 12)，並在曲線推進管道內進行精密的控制測量。

3. 曲線推進陀螺儀測量

將相關曲線推進線形數據輸入至電腦內，配合陀螺儀相關設備將檢測數據由電腦顯示後(圖 13)，推進作業人員依據相關資料進行推進曲線作業。



圖 11 曲線推進地面線形放樣

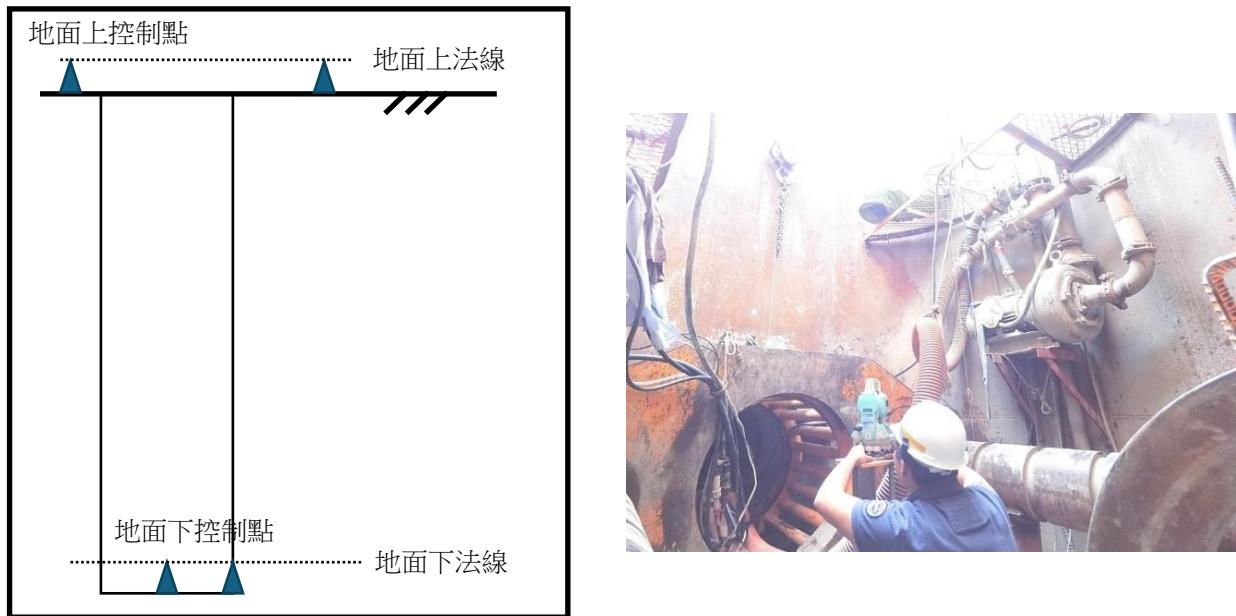
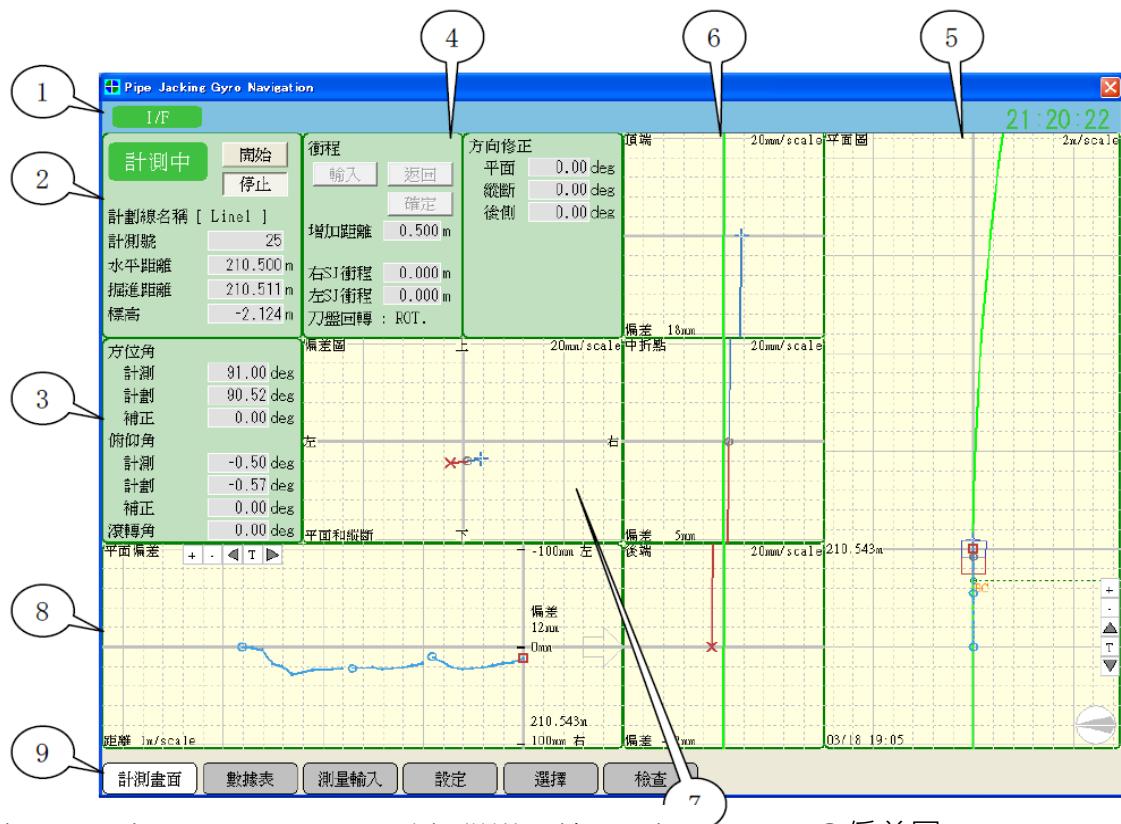


圖 12 曲線推進地下投影放樣



- ①警報顯示面板
- ②狀態顯示面板
- ③姿勢顯示面板
- ④陀螺儀導航輸入面板
- ⑤平面圖
- ⑥部分擴大圖
- ⑦偏差圖
- ⑧偏差圖表
- ⑨選單

圖 13 陀螺儀導航系統顯示面板

4. 曲線推進人工複測

因陀螺儀設備僅針對方位角、俯仰角及滾轉角進行量測及計算，無法判斷其座標位置有無因地下土壤 N 值變化，造成推進機頭偏移，故仍須人工覆測校正。

因推進管內空間狹小，無法採用閉合導線進行量測，故採用開放式導線測量。採開放式導線測量（圖 14），其測量成果難以確認其準確性，故需將前後次測量成果進行比對，若有差異則需重新測量，以確保測量精度。

肆、總結

目前本工程業已完成 3 處長圓形鋼環工作井，大幅度減少管線遷移經費及時程等問題，且管線推進作業陸續施工中，

預計 2026 年 5 月完工後，將繼續辦理分支管及用戶接管工程，以達到改善民眾居住環境、提升生活品質之目標。

參考文獻

1. 楊忠銘，捷運工程壓入式沉箱工法設計與施工，捷運工程叢書，精進版（34 周年）第 11 冊，2021 年 6 月。
2. 中華民國大地工程學會，沉箱設計施工準則 (TGS-CAISSON106)，2017 年 3 月。

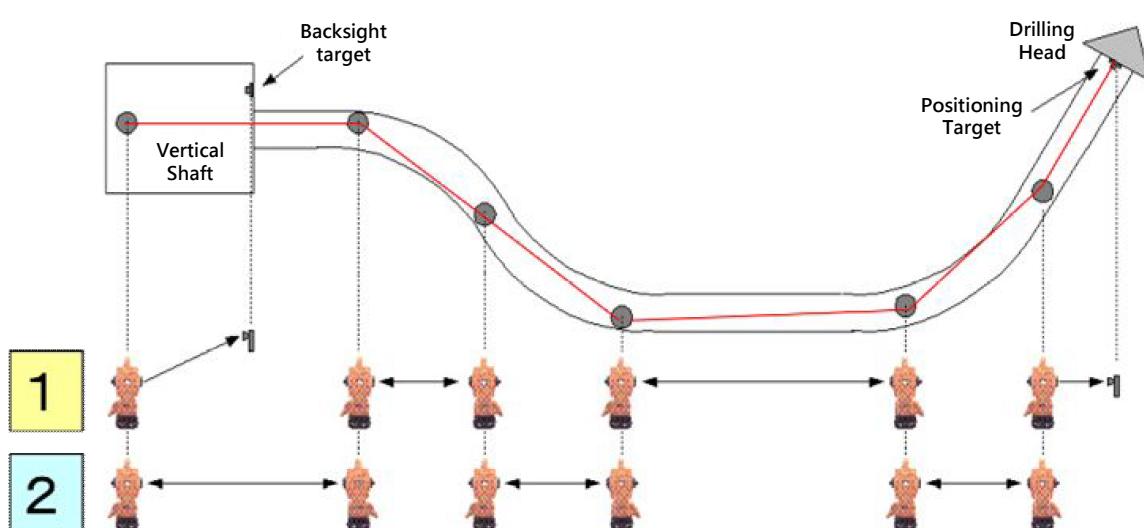


圖 14 開放式導線示意圖



摘要

為因應城鄉發展需求與環境治理挑戰，提升我國污水下水道系統之普及與效能，內政部國土管理署自 2012 年起建立年度評鑑制度，透過書面與現場評鑑方式，綜合評量縣（市）政府於「計畫執行及管制」、「施工品質及管理」及「設施營運及管理」等三大面向之表現。本文針對 2024 年度評鑑結果進行分析，探討各縣（市）政府於污水下水道建設推動過程中的政策落實情形、施工品質、人力配置、營運管理與接管普及等面向之整體趨勢與差異，並進一步檢視職業安全、化糞池打除、使用費徵收及施工障礙拆除等重點議題。透過評鑑成果，盤點污水下水道推動成果與施政趨勢，可作為後續精進地方政府建設與營運策略之參考依據，並提出未來可持續強化之策略方向，促進全國污水系統永續發展。

2024 年度污水下水道建設 - 評鑑專題報導

張建偉¹、潘嘉興²、陳子揚³

關鍵字：污水下水道、年度評鑑、永續發展

-
1. 內政部國土管理署下水道建設組 / 科長
 2. 內政部國土管理署下水道建設組 / 正工程司
 3. 環興科技股份有限公司水務工程部 / 工程師

Abstract

To address the needs of urban – rural development and the challenges of environmental protection, and to enhance the coverage and effectiveness of Taiwan' s sewerage systems, the National Land Management Agency has implemented an annual evaluation program since 2012. Through both document review and on-site inspection, the program comprehensively assesses the performance of municipal governments in three major aspects: Project Implementation and Control, Construction Quality and Management, and Facility Operation and Management.

This paper analyzes the 2024 evaluation results, examining how local governments have implemented policies in sewerage system construction, as well as trends and differences in construction quality, manpower allocation, operation and maintenance management, and sewer user connection coverage. In addition, key issues such as occupational safety, septic tank removal, fee collection, and clearance of construction obstacles are also reviewed.

By synthesizing the evaluation findings, this study highlights the achievements and policy directions of sewerage system development, provides a reference for improving local governments' construction and management strategies, and proposes future strategies for continuous enhancement to promote the nationwide sustainable development of sewerage systems.

Keywords: Sewerage System, Annual Evaluation, Sustainable Development .

壹、前言

為強化我國公共污水下水道建設推動成效與地方政府營運管理績效，內政部國土管理署自 2012 年起建立之污水下水道建設考核評鑑制度，迄今已逾十年，從最早雛形由「建設執行成果」與「考核評鑑」兩大部分評核，經逐年檢討及修正後，演變成現今為「計畫執行及管制」、「施工品質及管理」、「設施營運及管理」三大面向進行評分，後於 2015 年起，考核評鑑辦理方式開始採書面評鑑搭配現場評鑑方式進行。經過多年來與時俱進的滾動式檢討調整，考核評鑑已具公正客觀、成熟穩定的完善制度，成為推動污水下水道發展之重要制度機制。

貳、評鑑制度與執行架構

為使各縣（市）政府落實配合執行計畫書各項次內容之嚴謹性及填報系統穩定度，為強化評鑑準備透明度與作業穩定性，本署提前於前一年度即公告評鑑執行計畫書，供地方機關準備，2024 年度評鑑辦理方式及期程如表 1 所示。

由於各縣（市）政府建設執行狀況不同，為兼顧各縣（市）建設階段與資源條件差異使評鑑制度客觀公正，遂依據前一年度 12 月公共污水下水道普及率予以分成三組：第一組為直轄市六都；第二組為普及率達 15 % 以上之縣市；第三組為普及率 15 % 以下縣市。

表 1 2024 年度考核評鑑辦理方式

會議進行方式	採現場評鑑與書面評鑑方式辦理。	
評鑑時間	現場評鑑	書面評鑑
	2024 年 9 月至 12 月	
現場評鑑	1. 本署到各縣（市）政府辦理之污水下水道建設工程現地進行現場評鑑。 2. 工程篩選係由本署自工程管理系統經抽籤決定後於評鑑 5 天前通知各縣（市）政府。	
書面評鑑	各縣（市）政府準備書面資料至本署會議室辦理審查。	
複評作業	2025 年 2 月 25 日邀請書面評鑑委員對於各縣（市）政府評鑑成績複核確認。	

各縣（市）政府得依前年度辦理之污水下水道推動成果，就三大面向進行自我審視評估，依該縣（市）之建設特性自行選定欲評分之權重數加以計算得分，以推動差異化治理，提升制度彈性與適地適性，並符合各縣（市）污水下水道建設或營運重點，另縣(市)政府用戶接管普及率達 50 %以上者，因計畫執行及管制面向推展已邁入正軌，且伴隨下水道系統維護需求漸增，其發展重心應聚焦於設施之後

續營運與維護管理，僅能選擇權重四，2024 年度縣（市）選擇權重及權重比例如表 2。

2024 年度考核評鑑強化資料上傳與 API 串接指標（導入雲端資料整合，有助提升智慧治理與即時監控能力），鼓勵智慧治理之實踐，並要求地方單位將接管成果、處理廠營運資訊、每日報表等資料上傳至中央雲端平台，作為資料即時性與整合能力之評估依據。

表 2 評分權重一覽表

評鑑項目 權重類別	計畫執行及 管制(1)	施工品質 及管理(2)	設施營運及 管理(3)	2024 年度選擇權重 縣（市）別
權重一	45%	25%	30%	桃園市、臺中市、臺南市、新竹縣、苗栗縣、宜蘭縣、金門縣、南投縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市、屏東縣、臺東縣、澎湖縣
權重二	45%	30%	25%	新竹市、花蓮縣
權重三	45%	35%	20%	基隆市
權重四	30%	25%	45%	臺北市、新北市、高雄市、連江縣
註：	權重評分方式如下：例如權重一總評等第係以[(1) * 45%+(2) * 25%+(3) * 30%]計算。 申請部分免評其免評分數依其餘面向之權重比例計算分數。			

參、2024 年獲評績優縣（市）說明

一、第一組表現傑出獎：桃園市。

桃園市於計畫執行及管制方面，總預算達成率 100 %，用戶接管戶數達 23,283 戶為全國第二，機關、學校接管情形符合期程目標。施工品質及管理方面，工程獲得金擘獎佳等，工程進度管控佳，工程估驗績效佳，化糞池打除率 100 %。設施營運及管理方面，竣工圖資均於 3 個月內填報且數位化比例高，辦理放流水灌溉稻作試驗。整體而言三大面向表現優異，獲得第一組表現傑出獎。



圖 1 桃園市領獎照片

二、第二組表現傑出獎：宜蘭縣。

宜蘭縣於計畫執行及管制方面，總預算達成率 100 %，發包達成率 100 %，工程管理系統網頁定時填報。施工品質及管理方面，工程估驗績效佳。設施營運及管理方面，有依規定提送管渠維護管理計畫並依巡檢結果分析改善，有依營運及設備維護管理手冊辦理污水處理廠及管線之

修繕、汰換，整體而言三大面向表現優異，獲得第二組表現傑出獎。



圖 2 宜蘭縣領獎照片

三、第三組表現傑出獎：嘉義市。

嘉義市於用戶接管普及率提升 3.85 %為全國第一，總預算達成率 100 %，實施計畫達成率高，機關、學校接管情形符合期程目標。施工品質及管理方面，工程估驗績效佳，職業安全衛生績效成績佳。設施營運及管理方面，雲平台資料上傳之完整性與穩定性良好，定期提送污水處理廠營運日報及月報，績效指標清查完成度高，有依評鑑作業規定辦理水質水量調查及分析，每季確實提送污水處理廠污泥清除管制查核表及重量統計表，整體而言三



圖 3 嘉義市領獎照片

大面向表現優異，獲得第三組表現傑出獎。

肆、評鑑內容分析

透過各年度污水評鑑作業，了解各縣（市）政府執行狀況，進而協助輔導縣（市）政府執行情形，以下為評鑑內容重點分析。

一、職業安全與衛生及重大職災

污水下水道為國家的基礎建設，施工性質主要以土木及水利工程為主，施工環境多屬於局限空間、開挖作業等高風險作業，因此施工人員的職業安全衛生一直是本署重視的一環，除了定期督導、制定相關職安衛規範、教育訓練外，也將職業安全衛生督導成績納入評鑑標準。本年度臺北市、臺南市分別於迪化污水處理廠、安南污水處理廠於營運管理階段發生職業災害事件，探究其原因主要係為工作人員對於現場環境及潛在的風險未充分瞭解，建議加強新進人員職安衛教育訓練以提升職安危害意識，同時應加強照明及增加開口處的防護機制，以防憾事再度發生。

二、推動污水下水道使用費徵收

隨著污水下水道系統持續開辦、用戶接管普及率提升，各縣（市）政府所負擔之污水設施維護管理費用亦日趨繁重。因此，本署長期以來持續鼓勵地方政府開徵污水下水道使用費，增加財源減輕負擔。

除臺北市、高雄市、新北市、南投縣、連江縣已全面徵收下水道使用費之外，新竹縣也於 2024 年 1 月加入全面徵收的行列，對全國推動徵收下水道使用費具示範意義，預期未來越來越多縣（市）將加入全面徵收下水道使用費的行列。

三、污水下水道建設人力配置

推動污水下水道建設，除了經費外最重要的就是執行人力，全國 22 縣（市）執行下水道的人力組成，正式人員約 471 人，非正式人員約 493 人，總共 964 人辦理下水道相關業務。平均每單位人力服務約 24,200 人，相較鄰近國家韓國每單位服務人口約 7,000 人、香港每單位服務人口約 3,700 人、日本每單位服務人口約 1,000 人，仍略顯不足。

四、化糞池廢（填）除

依據下水道用戶排水設備標準第 29 條規定，用戶應設置用排水設備將污水接入陰井或人孔，排洩於污水下水道，不得經由原設置之化糞池或建築物污水處理設施再排洩於污水下水道。沒有打除化糞池的住戶，除了可能孳生蚊蠅外也需要每年定期辦理化糞池抽除水肥，另對於污水廠營運也會造成負擔。依據 2024 年評鑑顯示，化糞池打除率呈現南北差異，普遍而言北部地區化糞池打除率較高，而中南部地區化糞池打除率則有偏低的現象。造成此現象的原因與建物型態、後巷退縮空間及民眾觀望態度等因素有關，建議可採

成效式契約等方法鼓勵施工廠商加強與民眾溝通，並提升化糞池打除率。

五、用戶接管施工障礙拆除

用戶接管為污水下水道建設最後一哩路，然時常遭遇民眾已於後巷空間增設違法建物，阻礙用戶接管施工，導致用戶接管進度及成效不如預期，甚至部分化糞池埋設於施工障礙處底下，間接影響到化糞池打除率。由 2024 年配合用戶接管施工障礙拆除情形可看出，所有縣（市）均已建立施工障礙拆除機制，惟實際施工上遭遇障礙時由於實際執行因施工障礙之強拆通常係非下水道主管機關辦理，且囿於縣（市）政府實際能執行拆除人力、經費，因此縣（市）通常以鼓勵自拆為主、勸導為輔、萬不得已才進行強拆。換句話說，在缺乏公權力介入且採柔性勸導下，住戶仍可拒絕接管的情況下，用戶接管進度可能不如預期，甚至無法進行，以致水資源回收中心無法發揮其建設成效。因此，本署將持續鼓勵各縣（市）政府積極處理施工障礙，加速辦理用戶接管作業。

六、污水處理廠營運管理

依據公共污水處理廠評鑑作業要點，污水處理廠每年至少應辦理一次評鑑作業，檢視其操作維護、水質檢驗、廠內管理之績效。近 3 年各縣（市）全國公共污水處理廠內、外部評鑑結果平均分數，評鑑成績均高於 80 分以上，顯示污水處理

廠操作營運狀況良好。

七、用戶接管普及率

至 2024 年底為止，全國公共污水下水道用戶接管普及率達 42.82%。全臺受總體戶量減少，整體普及率成長較往年成長緩慢，但部分縣市已完成主次幹管，積極協調各用戶接管進度，未來可期待用戶接管戶數提升，提高用戶接管普及率。

五、評鑑結果分析

就 2024 年度評鑑結果而言，各組成績分布原因分析如下：

1. 第一組：

(1)政府組織健全、行政配合度高、政策執行力強。

(2)施工品質及管理、營運管理、特殊績效推動表現優異。

2. 第二組：

(1)用戶接管執行率受整體系統建設趨近飽和影響，成長率趨緩。

(2)地方組織人力不足，施工障礙拆除僅採勸導，影響用戶接管績效。

(3)下水道使用費徵收因議會不同意或地方政府認為需併同水污染防治費才予以徵收未能順利推動。

(4)雲平台資料上傳完整度與穩定度尚

有進步空間，尚可強化定期提報作業，以提升污水處理廠營運數據之上傳完整性。

(5)管線數位化比例較低，尚可再依相關手冊辦理設備修繕、汰換。

3. 第三組：

(1)計畫管制與實際推動進度及成效未達預期。

(2)用戶接管受發包率或污水處理廠建設進度影響。

(3)地方組織人力不足，下水道使用費徵收遭遇困難與第二組相同。

(4)施工僅採柔性勸導拆除，導致化糞池廢（填）除比例偏低。

陸、結論與建議

一、透過考核評鑑制度，近年陸續有非直轄市政府全面徵收下水道使用費，對全國推動徵收下水道使用費具示範意義。截至 2024 年底已有臺北市、新北市、高雄市、新竹縣、南投縣、連江縣等 6 縣（市）全面開徵下水道使用費，其他縣（市）可參考上述縣（市）執行經驗，朝全面開徵努力，健全財務規劃及營運管理。

二、建議縣（市）政府應對於自身未來污水下水道建設推動應完整規劃，避免

污水下水道建設及用戶接管普及率成長出現斷層。為使各縣（市）政府有序推動污水下水道建設，並擬定中長期發展目標及方向，本署已於 2023 年補助撰擬污水下水道建設發展計畫，並請各縣（市）政府依補助要點於 2026 年底前完成公告實施。

三、為提升各縣（市）政府污水下水道工程施工、營管之工程品質及安全，污水下水道建設計畫考核評鑑作業已將污水下水道工程參與公共工程金質獎、金安獎等相關獎項列入正式評分項目，以鼓勵各地方政府積極參與各項競賽，藉由競賽敦促各施工團隊持續強化與精進下水道施工、營管之作業品質及安全觀念，以達到品質如實、安全無虞的目標，本年度入圍公共工程金質獎、金安獎、金擘獎共計 8 件，並有 4 件獲獎。

四、我國下水道建設從早期建設管理層面已逐步進入營運管理層面，本署為統整全國污水處理廠管理作業，已建置「污水下水道資料整合雲平台」，並具有將各縣（市）污水處理廠內儀控訊號自動傳輸，異常通報及警示等功能。由於資料傳送有賴污水處理廠資訊上傳之完整度、穩定度，本署刻正推展雲平台訊號連線及營管資料填報作業，以利完備整廠訊號。



摘要

本文介紹參與「全國下水道局限空間出入坑作業評鑑」的經驗分享，主要目的是促進下水道作業安全及提升工安意識。局限空間的定義包括非經常性作業空間，且通風受限可能導致缺氧及有害氣體危害。列舉常見事故及相關法規，強調職業安全衛生的重要性。在評鑑中，受評項目包括局限空間作業中「一般作業」與「緊急應變」，對作業程序、設備設置及救援措施進行實地演練。本公司以創新工安設備和改良技術獲得優等獎，特色包括五件式防墜設備、不鏽鋼通風管、生命偵測器、防護型安全帶及活動式護欄設計。這些措施有效提高了作業安全性與效率。最後，強調未來需持續檢討和優化工安措施，導入智慧技術，並透過職業訓練提升從業環境，為台灣營造業職場安全盡力。

「全國下水道局限空間出入坑作業評鑑」

參賽分享

吳祥維¹、江筱瑩²

關鍵字：局限空間、職業安全、防墜設備、下水道工程

-
1. 墾興營造有限公司 / 董事長
 2. 墾興營造有限公司 / 專任工程人員

Abstract

This article presents the experience of participating in the **National Sewer Confined Space Entry and Pit Operation Evaluation**, aimed at promoting safety in sewer operations and raising occupational safety awareness. A confined space is defined as a non-routine work environment with restricted ventilation, which may cause oxygen deficiency and hazardous gas exposure. Common accidents and related regulations are reviewed to highlight the importance of occupational safety and health.

The evaluation focused on two aspects of confined space work: **general operations** and **emergency response**, with on-site drills covering work procedures, equipment setup, and rescue measures. Our company received an **Excellence Award** by applying innovative safety equipment and improved techniques. Key features included a five-piece fall protection system, stainless steel ventilation pipes, life detection devices, protective safety harnesses, and movable guardrail designs. These measures effectively enhanced both safety and efficiency in confined space operations.

Looking ahead, it is essential to continuously review and optimize safety measures. The integration of smart technologies and the strengthening of vocational training will further improve the working environment. Through these efforts, the construction industry in Taiwan can make greater contributions to ensuring workplace safety and sustainability.

Keywords: Confined Space、Occupational Safety、Fall Protection Equipment、Sewerage Engineering

壹、前言

污水下水道為象徵國家與都市進步指標工程，亦為我國行政院核定之國家重大建設，瑞士洛桑管理學院評估全球國家競爭力，將污水處理率列為評比項目之一。

為提升下水道從業人員的職業安全，內政部國土管理署自 2022 年起舉辦評鑑工作，今(2025)年已邁入第三屆，由全國各縣市政府推派兩、污水施工廠商參加年度評鑑，透過各縣市第一線工作人員經驗分享、互相學習，鼓勵各縣市重視下水道從業環境安全性，積極建構良好的工作環境，強化局限空間作業設備與技能，保障第一線工程人員的安全，以降低職災事故發生。

墩興營造有限公司長年承攬下水道系統建置、搶修、維護等工程，深知危害嚴重性，特別重視工安，於 2022 年及 2025 年度皆由機關推薦，代表臺中市參與此評鑑，並在全國 17 個縣市中勝出分別獲得優勝及特優獎，特撰文分享參賽過程與制度經驗，期能拋磚引玉，共同提升職業安全，共創及守護勞工朋友生命安全。

貳、局限空間定義

依據職業安全衛生設施規則所稱局限空間，指非供勞工在其內部從事經常性作業，勞工進出方法受限制，且無法以自然

通風來維持充分、清淨空氣之空間。

因下水道是埋在地底下日常看不見，但又攸關民眾生活品質的重要民生基礎工程，所以相關從業人員必須深入地底進行施工與養護，其工作環境是密閉空間，又或者是通風受限的局限空間，常見施工人員昏迷造成原因主要有：

一、氧氣濃度不足造成人員缺氧使人員呼吸困難、暈眩、昏迷。

二、施工人員於人孔內作業時擾動底部淤泥，使有害氣體（如：硫化氫、一氧化碳、甲烷...等）釋出，導致人員頭痛、噁心及四肢無力、昏迷。

三、通風換氣未確實、通風管有折角，未能將氧氣送入人孔，或發電機廢氣排放位置直對通風設備，被吸入後送進人孔內。

四、四用氣體偵測器故障、無法作動，未能及時偵測氣體濃度異常。

五、人員配戴之安全帽、安全帶等防護具鬆脫，進入坑內後未抓緊、站穩或路面濕滑，失去重心導致頭部撞擊人孔造成昏迷。

參、公司管理作為

本公司為提升職安思維，落實源頭安全管理，訂定職安管理目標及對安全衛生

之承諾，為加強公司職安管理能力，積極輔導員工取得缺氧作業主管、甲種職業安全衛生作業主管及臺灣職安卡等專業證照；施工團隊依據「職業安全衛生法」及相關法規，訂立危害防止計畫；對從事缺氧危險作業之勞工，施予必要之安全衛生教育訓練方得進場；提供預防缺氧作業之通風、監測設備、個人防護用具及防墜設施，來達成降災、減災的目標。

肆、評鑑分享

參與受評廠商於演練場地（主辦單位安排之一特定人孔）演練「一般作業」及「緊急應變」兩個項目，時間為1小時（圖1）。

一、一般作業為作業人員進出局限空間作業時的程序。

(一) 局限空間作業前：局限作業前須於危險作業3日前至轄區勞動檢查機構之網站申報、作業前對所有人員進行任務指派即工具箱會議。

(二) 作業場所需設置符合規定之安全設備：如通風換氣設備、護欄、交通號誌、告示牌、通訊器材、安全上下設備、三角架、出入坑人員管制牌及缺氧作業場所告示牌

(三) 設置符合規定之防護裝備：個人安全警報器、四用氣體偵測器、全身

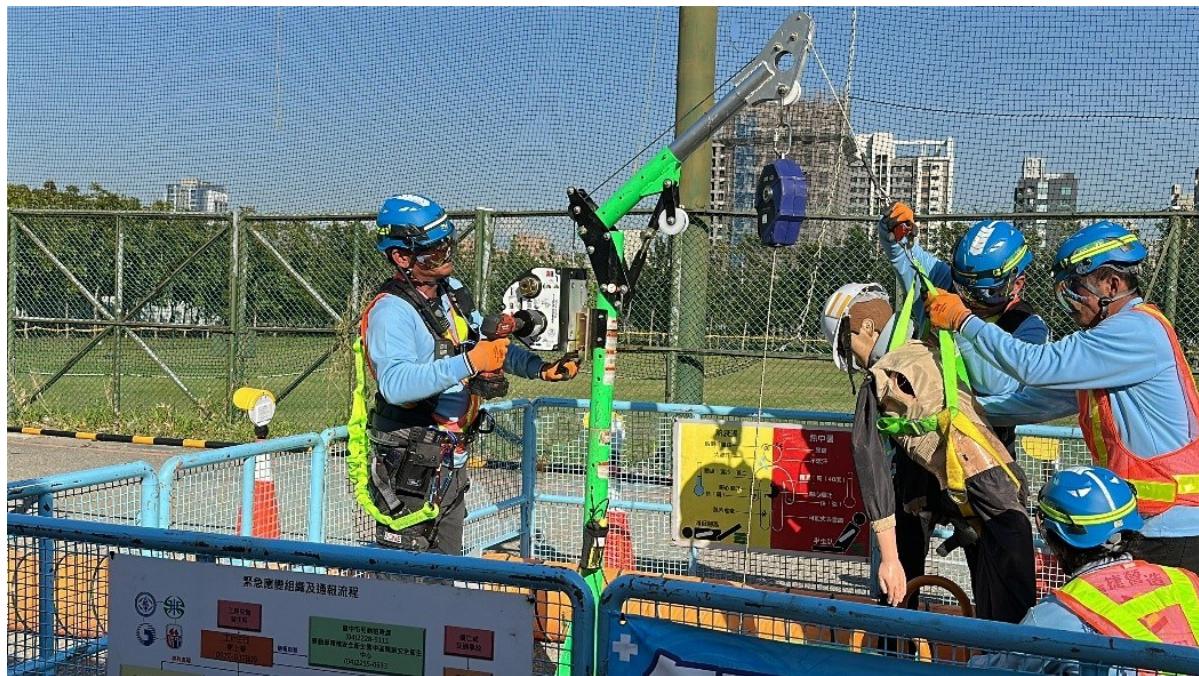


圖1 人員出入坑演練

背負式安全帶、捲揚式防墜器、安全帽、空氣呼吸器

(四) 人孔開啟後：

1. 設置通風設備並使其維持正常運轉，確認風管完整性及送風方向（人員進入設施應進行送風，另一口抽風），保持新鮮空氣進氣，且進氣口應遠離污染源。
2. 坑內使用四用氣體偵測器做氣體測定，且現場作業人員應了解有害物之容許濃度（一氧化碳 < 35 ppm、硫化氫 < 10 ppm、可燃性氣體 < 30 %、氧氣應介於 18-23 %）。
3. 相關設備設置好後，填寫許可申請表，並確認工作人員身心狀況後始可作業。

(五) 作業中：缺氧作業主管應從事監督及管理，並指派一人以上之專責監視人員，隨時監視作業狀況，作業開始前後需進行人數及工具清點，且作完善紀錄。

二、緊急應變作業為模擬 1 位人員突然昏倒，作業人員處置程序。

當事故發生時應立即通報、救援人員入坑救援前需檢查空氣呼吸器（空氣瓶空氣壓力是否正常、有無進行密合檢點、空氣調節閥及警示器是否正常運作），完整

且正確穿戴裝備後入坑救援，救援時救援人員將機械或動力輔助之吊升設備鉤至昏倒人員全身背負式安全帶上，吊掛時於下方防護避免發生意外狀況，出坑後以簡易擔架移動昏倒人員，移至安全且陰涼處進行簡單救治並送醫急救，工區發生事故後，需對事故發生原因進行檢討及改善會議且紀錄存檔，以作為後續。

伍、本公司獲獎關鍵

「企業要想贏，工安要先做」，本公司以法規為基礎，自主提升各項安全設備規格，採用五件式防墜設備取代傳統三腳架其底座可依人孔型式作調整，載重 200 公斤捲揚速度快且省力，把握搶救黃金期；人員入坑穿戴之背負式安全帶於腰部加強防護，可減緩施工人員因長時間穿戴造成的不適；工作井周圍之護欄為活動式插銷型並設置高於路面 60 公分之扶手，加強保護作業者安全；再透過定期紮實的訓練，讓施工人員熟稔局限空間作業職安及應變作為。

一、五件式防墜設備（圖 2）：本公司承攬案件中，有多數的人孔作業，經常會進入人孔進行搶修、疏通，為加強作業安全性及提高搶救速度，特別自國外引進 5 件式密閉空間吊艇架起重設備，有別於常見的三角架式捲揚器，該設備由輕質、耐腐蝕的鋁製結構製成，最重可載重 205 公斤，這組捲器揚升降速度可達每分鐘 4~9 公

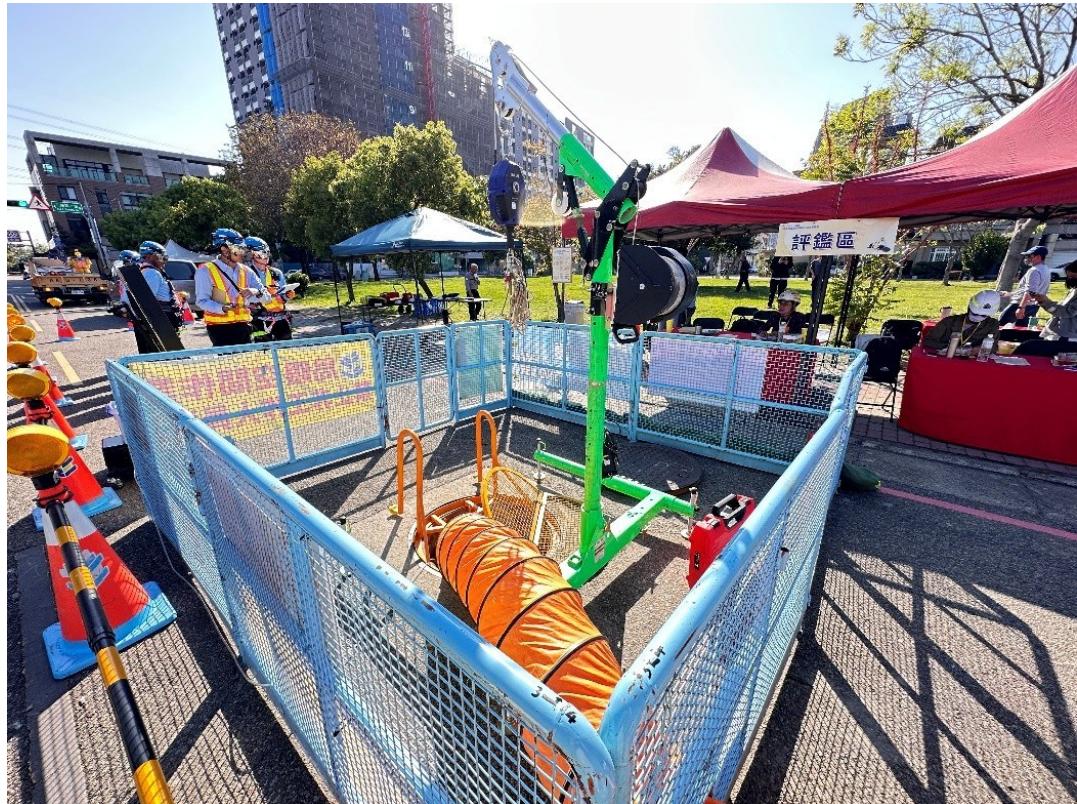


圖 2 五件式防墜器

尺，人腦缺氧 4~6 分鐘就有腦死的可能，而墜落時人體呈現直立狀態，導致血液無法回流至心臟及大腦，內臟會受到安全帶的壓迫，20 % 的血液無法回流，5-10 分鐘即可發生傷害。若人員在 10 公尺人孔底下昏迷，從發現到吊上地面，最快只需 2 分鐘，可大大降低死傷的風險。

二、護欄設置通風管開口（圖 3）：人孔開啟後，分別於上游人孔送風、下游人孔抽風，以一送一抽方式進行通風換氣；本公司將護欄增設通風管開口使其送風面積、風壓不衰減，除避免

塑膠通風管折角影響送風效果，給予工作人員充足空氣外，更降低缺氧、中毒風險。

三、入坑人員配戴生命偵測器：人員在有墜落風險空間作業時，必須穿著背負式安全帶，檢查背部、腰部、胯部安全帶皆服貼於身體，進入後扣上安全母索，避免於移動過程中墜落，另需配戴生命偵測器，當人員靜止不動 25 秒會發出警報聲，靜止不動 40 秒會發出高分貝警報聲，讓監視人員即時發現作業人員有異狀，隨即安排救援行動。

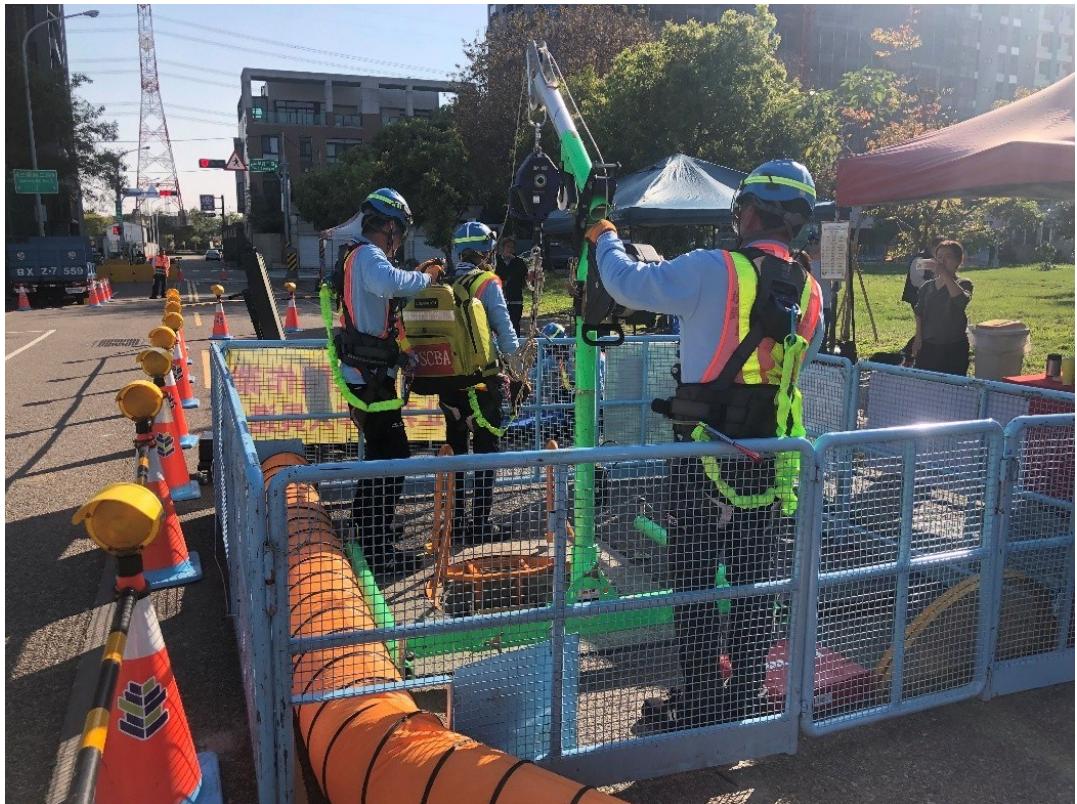


圖 3 護欄設置通風管開口

四、腰部加強防護型背負式安全帶（圖 4）：採用腰部加強防護型背負式安全帶能有效分散墜落衝擊力量，減少內臟傷害且能使救援容易。人員穿著時，一定要將胸、腰及跨部腰帶束緊服貼於身體，防止人員墜落時造成其他種危害。

五、護欄採用插銷、活動式護欄：開口周邊之防墜設施採用插銷、活動式護欄可依據現地需求增加或減少護欄數量，將施工區域與人員通道阻隔，亦提供足夠施工空間；護欄杆柱底下增設 L 型角鐵，護欄定位後以鋼釘或膨

脹螺絲等使護欄與地面銜接，加強穩固性，防止人員碰撞傾倒。並採用符合法規突出版面（地面）60 公分以上的扶手並以鋼釘或膨脹螺絲加強固定，避免人員欲爬出人孔時因重心不穩而墜落，使上下人孔更為順暢。

六、智慧交維與警示系統導入（圖 5）：引進智慧型順序引導燈、LED 看板、電動旗手、安寶等設施，有效提升現場交維能見度與辨識度。結合現場實際道路情況進行燈具角度與頻率調整，展現技術細緻度與用路人導引思維。

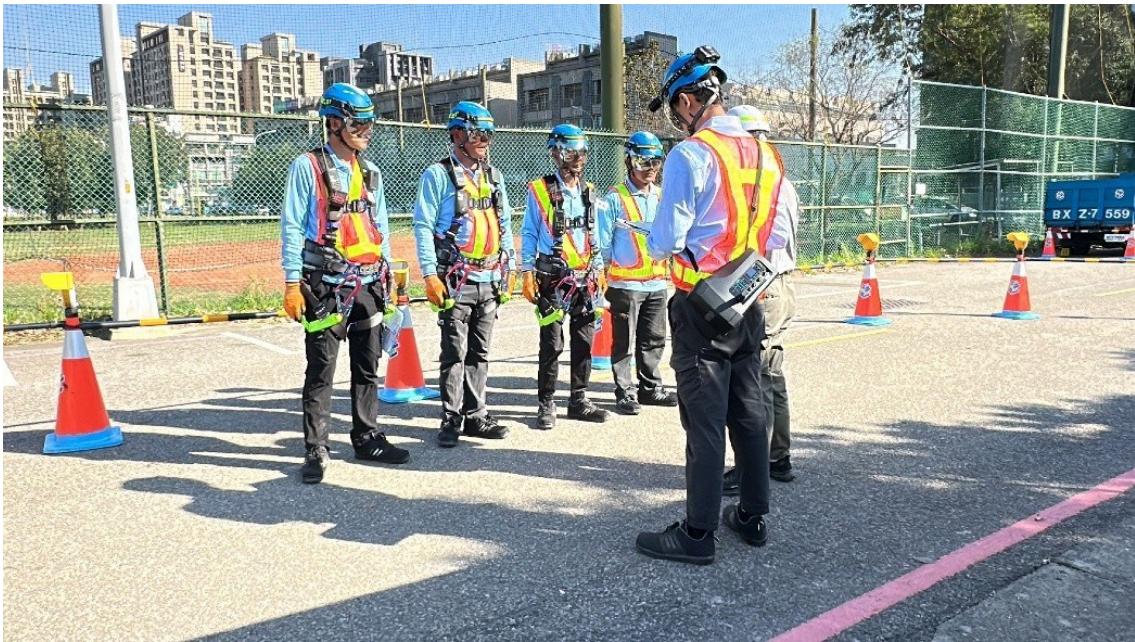


圖 4 腰部加強防護型背負式安全帶



圖 5 獨創特色充氣旗手 (安寶) 及智慧型順序引導燈

七、緊急應變流程演練逼真、反應迅速

(圖 6)：模擬人員昏迷後，立即：使用無線電通報、救援人員檢查 SCBA 並著裝進坑、進行吊掛、CPR、AED 操作、虛擬通報 119 與現場管制。

八、建立事故後即時檢討 SOP：模擬昏迷事故後，立即召開檢討與改善會議，分析氣體竄入與通風問題，彰顯公司非僅止於通過演練，而是將其視為內部精進的機會。

六、結語

內政部國土管理署下水道工程分署為確保局限空間作業安全及落實職安規範，藉由評鑑評比各縣市下水道從業人員在施作程序、作業方式是否符合規定，以保障其在局限空間內從業的安全，於政府積極推動污水下水道建設，以提供國人更優質生活環境的同時，也需要妥善照顧這群施工人員從業安全。本公司從事下水道工程二十餘年，一直以營造安全、舒適的工作



圖 6 緊急應變流程演練逼真、反應迅速

環境為重要理念，透過「風險掌控、預防事故、落實執行、常年零職災」為職業安全衛生目標，未來也會滾動式檢討、更新設備引進智慧職安，落實從業人員職業訓練，為提升臺灣營造業工作環境盡一份心力。



摘要

本文探討人工智慧(AI)在下水道治理的創新應用。隨著 AI 快速發展，其影響已從產業擴展至公共工程。對臺灣而言，將 AI 導入下水道治理，可在政策管理、工程設計與施工維運等面向提升效率與安全。在政策層面，AI 能優化行政效率並輔助決策，但需兼顧透明度與責任歸屬。工程設計上，生成式 AI 加速並靈活化流程，卻也帶來制度與倫理挑戰。施工與檢測方面，AI 可進行即時監測與異常辨識，降低風險並提升檢測精度。整體而言，AI 導入下水道治理不僅是技術革新，更是一場制度、流程與資料治理的轉型。唯有在透明、安全與可信任的框架下，並透過跨部門合作與人才培育，AI 方能成為推動水務智慧化與永續發展的重要動能。

「智慧水務新紀元 解碼下水道 AI 創新應用」研討會

葉信宏¹、邱永盛²、陸駿元³、黃禾岳⁴

關鍵字：人工智慧(AI)、公共治理、工程數位轉型、智慧安全管理

1. 內政部國土管理署下水道建設組 / 簡任正工程司兼科長
2. 內政部國土管理署下水道建設組 / 工程員
3. 環興科技股份有限公司 水務工程部 / 計畫主任
4. 台灣整合防災工程技術顧問有限公司水利二部 / 經理

Abstract

This article explores the innovative applications of Artificial Intelligence (AI) in sewerage system governance. With the rapid development of AI technology, its influence has expanded from industries to public infrastructure. For Taiwan, integrating AI into sewerage system governance can enhance efficiency and safety in policymaking, engineering design, operation and maintenance. At the policy level, AI can optimize administrative efficiency and support decision-making, though issues of transparency and responsibility must be carefully addressed. In engineering design, generative AI accelerates and enhances flexibility in workflows but also brings systematic and ethical challenges. In construction and inspection, AI enables real-time monitoring and anomaly detection, reducing risks and improving precision. Overall, the integration of AI into sewerage system governance is not only a technological innovation but also a transformation of system, processes, and data governance. Only within a transparent, safe, and trustworthy framework, supported by cross-department collaboration and talent cultivation, can AI truly become a driving force for smart water management and sustainable development.

Keywords: Artificial Intelligence (AI), Public Governance, Engineering Digital Transformation, Intelligent Safety Management

壹、前言

近年來，人工智慧(AI)快速突破深度學習與大語言模型的技術瓶頸，應用範圍從醫療影像、自動駕駛、金融分析，延伸至繪圖、音樂與寫作等創意領域。AI不僅改變了產業運作方式，也加深了社會大眾對其潛力的認識，掀起跨領域的創新浪潮。

臺灣憑藉完整的半導體供應鏈、靈活的製造體系與優秀技術人才，讓臺灣成為AI發展的理想場域，雖然下水道屬於傳統土木基礎建設，但內政部國土管理署積極思考如何順應AI浪潮，若能將AI應用於污水下水道的輔助決策、工地管理與營運管理，將大幅提升建設與營運管理效率。

內政部國土管理署遂於2025年7月8日舉辦「智慧水務新紀元：解碼下水道AI創新應用」研討會，邀集產官學研專家，探討AI在下水道治理、規劃與管理的創新應用，推動系統邁向數位化、智慧化與自動化。

貳、部長致詞

內政部劉世芳部長於開幕致詞時表示，臺灣污水下水道工程長期屬於「隱形基礎建設」，卻是維繫公共衛生、產業發展與都市安全的關鍵，回顧再生水推動歷程可見，科技與數據能將污水轉化為穩定水源，服務產業與社會，隨著極端氣候帶

來乾旱與暴雨，完善的污水處理系統已成為國家韌性的基礎。然而，目前全國下水道普及率尚未突破50%，仍需持續建設，劉部長期盼透過AI結合管理，不僅提升效能，更能開創「下水道經濟學」的新思維。

參、專題議程

一、解碼數位轉型下的行政革新

政治大學陳敦源教授指出，人工智慧(AI)的快速發展，正重塑公共治理與工程管理模式，政府在AI治理中兼具監管者、推動者、領導者與使用者四重角色，既要透過法規維護透明度與隱私權，也需推動基礎建設與人才培育，善用AI提升行政效率。AI能加速知識管理、流程自動化、數據預測與決策輔助，但同時面臨責任歸屬模糊、資料偏誤與倫理風險，唯有在安全可信的框架下，AI才能成為公共治理的推力。



圖1 「解碼數位轉型下的行政革新」
綜合討論

審計部徐中道簡任稽察分享政府採購案審核，經透過生成式 AI 技術，將裁判書資料與政府採購網資訊進行交叉比對，這項創新應用讓審計部能從超過七千件採購案中，迅速篩選出十八件異常案件，大幅縮短過去人工查核所需的時間，更展現 AI 在公共治理層面的實際應用成效。惟未來仍需建置 AI 訓練語料庫與資料，以確保技術應用安全、透明且有效，讓 AI 成為提升政府效能的得力助手。

二、AI 輔助工程規劃與設計

中興工程公司黃志民協理指出，在工程產業快速轉型的背景下，數位化與人工智慧逐漸成為核心動能，工程領域的數位轉型不僅是技術升級，更涉及工作文化與流程的改變。例如，透過三維建模輔助設計與資訊系統的導入，可實現資料即時共享與長期保存，並提升監督與查驗的效率。同時，人工智慧已廣泛應用於照片辨識、危害預測與資料分析，協助現場人員檢查潛在問題；在表單與報告撰寫上，AI 能自動生成查核項目與安全檢核，已逐步成為工程管理的重要輔助工具。

臺灣大學謝尚賢教授則強調，生成式 AI 正改變設計模式。過去依靠人工繪圖，如今可透過指令生成設計方案，加快並靈活化流程。這種模式讓設計流程更快、更靈活，但此模式也帶來新挑戰，例如內容來源不透明、責任歸屬模糊。謝教授建議必須建立新的制度，例如設立測試平台，

推動設計過程透明化，清楚記錄人工智慧的參與比例與依據，並同時調整教育培訓方向，使工程師具備判讀、驗證、評估風險與跨領域合作的能力。



圖 2 「AI 輔助工程規劃與設計」
綜合討論

三、下水道工地AI辨識管理

中國工程師學會張武訓會士指出，下水道工程在施工與維運過程中潛藏複雜的安全與檢測挑戰，人工智慧的導入正逐步改變其管理模式並推動智慧化發展。施工現場常見的工程風險包括地層坍塌、地下管線碰撞、鷹架或機具倒塌等，人工智慧技術可發揮即時監測與預警，例如利用地層變異預測模型提前偵測沉陷，透過潛盾機操作智慧輔助系統調整掘進參數，以氣體濃度趨勢分析降低密閉空間危害，並透過影像與行為分析辨識工地高風險熱點及時發出警示。若能結合SCADA監控系統^{註1}、API資料整合^{註2}、智慧潛盾機升級、AR/VR模擬、物聯網感測與無人機巡檢等技術，即能推動傳統安全管理向智慧安全管理轉型。

淡江大學游國忠教授則介紹，傳統檢測作業常耗時且易受人為疏忽影響，研究團隊運用電腦視覺與深度學習技術，建立腐蝕、積水、裂痕與結垢（附著）等四類異常模型，並測試DenseNet^{註3}、ResNet^{註4}與VGG^{註5}架構，準確率均超過八成。研究結果顯示，資料品質比演算法更影響準確度，持續優化資料庫是未來發展關鍵。



圖 3 「下水道工地 AI 辨識管理」綜合討論

肆、結語

本次研討會以 AI 在下水道治理的應用為主軸，從政策治理、工程設計到施工安全與檢測等面向進行探討與交流。

在政策層面，政府需兼顧透明度、隱私權與公共價值，並透過制度創新與數位沙盒^{註6}試驗，確保 AI 真正強化治理效能。治理與監督實務則已展現 AI 的落地價值，能提升資料處理效率並支援決策。工程設計方面，生成式 AI 帶來創新，但同時需要透明化與標準化制度。施工安全

與維運檢測領域，AI 已能降低作業風險並提升檢測精準度。

因此，AI 在下水道治理的推動，不僅是技術導入，更是一場制度、流程、教育與資料治理的系統性轉型。未來，本署將持續推動透明、安全且可信任的 AI 發展，並透過跨部門合作與人才培育，讓 AI 成為提升治理效能、強化基礎建設韌性與保障公共安全的關鍵動能，引領水務治理邁向智慧與永續發展。

註 1：SCADA 監控系統 (Supervisory Control and Data Acquisition，監控與資料採集系統) 是一種廣泛應用於基礎設施與工業自動化的資訊系統。它主要功能是遠端監控、即時資料採集與控制，常見於水務、電力、石化、製造、交通等領域。

註 2：API (Application Programming Interface，應用程式介面) 資料整合，是讓不同系統、應用程式或服務透過 API 互相交換資料與功能；它就像一座橋樑，讓彼此獨立的系統能「對話」，不用重新開發所有功能。

註 3：DenseNet(Dense Convolutional Network)是在 2017 年由康乃爾大學、清華大學和 Facebook AI Research 共同提出的深度學習神經網路架構。它的主要目標是解決在深度網路訓練中，梯度消失 (vanishing gradient) 和特徵圖重複 (redundant feature maps) 的問題。DenseNet 最獨特的創新在於其「密集連接」機制能讓每一層都直接連接到其前面所有層的輸出。

註 4：ResNet (Residual Network，殘差網絡)

是微軟研究院在 2015 年為解決深度神經網絡中的梯度消失和梯度爆炸問題而設計的深度學習架構。在傳統的深度網絡中，隨著層數的增加，模型的性能往往會達到一個瓶頸，甚至會變差；這是因為梯度在反向傳播過程中會變得非常小（梯度消失）或非常大（梯度爆炸），導致網絡難以學習。

註 5：VGG (Visual Geometry Group Network，全稱 VGGNet) 是由牛津大學的電腦視覺研究小組 (Visual Geometry Group) 在 2014 年開發的一種深度卷積神經網絡模型。VGG 模型是透過增加網路的深度（即層數），可以顯著提升模型的效能，其架構非常簡單且統一，便於理解與應用。

註 6：數位沙盒試驗係指在一個可控且模擬的環境中，允許新技術或新制度進行有限範圍的試行，以檢驗其可行性、安全性與合規性。其核心精神在於「先試後行」，透過設定特定的邊界與規則，使創新得以在不直接影響真實社會或工程現場的前提下驗證效果，並藉由觀察試驗過程中的問題進行修正與優化。

下水道·水再生期刊稿約

壹、誠徵稿件

- 一、本期刊為內政部國土管理署針對下水道領域所發行之期刊，每年三、七、十一月下旬出版，誠徵稿件。
- 二、歡迎下水道從事人員以及設計、產銷有關下水道工程之器材業者提供相關文稿，如創見或新研究成果；國外新知或工程報導；下水道工作現場發表感想；國內有關下水道發展之研究計畫；國內、外與下水道相關之新書介紹等。
- 三、惠稿每篇以五千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，本期刊對於文稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明；無法出刊之稿件將儘速通知。
- 四、惠稿（含圖表及著作權讓渡同意書，並請提供一張圖片作為封面圖片）請用電子檔寄至 twea900606@gmail.com，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 五、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。

貳、稿件格式

- 一、版面設定：頁面紙張請以 A4 規格 21cm * 29.7cm 直式編排；本文版面規格：版面上下左右邊界各為 1.27 cm；內文段落採單行間距，並設定左右對齊。除摘要，其餘皆以兩欄型式呈現。內文首行需位移 2 字元。
- 二、字型設定：字體中、英文請採微軟正黑體字型。字體大小：頁首頁尾及頁碼採 12 號字，標題採 18 號粗體字（置中）作者姓名、任職單位及職稱採 12 號字（置右），“摘要”標題採 14 號粗體字（置中），各章節標題採 14 號粗體字（置左），內文採 12 號字，圖表標題採 12 號字。
- 三、文章篇幅：每篇文章以 10 頁為限（含所有內容及圖表）
- 四、文章架構：

- ◆中&英文標題：宜簡明
- ◆作者姓名、任職單位及職稱：請以置右方式依序條列
- ◆中文摘要（500字為限）及中文關鍵字（3至5個）

◆英文摘要 (500 字為限) 及英文關鍵字 (3 至 5 個)

◆本文 (章節之編序以：壹、一、(一)、1、(1)、... 為原則)

◆參考文獻

五、圖表配置：本文中之圖表請隨文插入 (與文字排列)，圖表之編號一律以 1,2,... 等阿拉伯數字表示，圖標題請以置中方式標註於圖下方；表標題以置中方式標註於表正上方。

六、數據規範：內文中之數字請以阿拉伯數字呈現，並採用半型，可量化數字超過 3 位數請以逗號區隔，如 1,234；年份請以西元紀年；文中所使用數據單位請以公制單位，如：min、°C、mg/L 等，數字及單位之間請空半形 1 格。

七、參考文獻格式

期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。

書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。

機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。

【參考文獻 格式範例】

1.歐陽嶠暉，下水道工程學，長松出版社，增訂版，第 45-56 頁，臺北(1992)。

2.黃國文、李方中、於望聖、陳志偉、顏慧敏、施上粟、林旺德、林佳薇 (2017)，公共污水下水道維護管理訪評計畫之研訂與推動，農業工程學報， 63(2)，第 1-10 頁。

3.陳余育、劉振宇、鍾淑女、李金靖、陳怡寧、游勝傑，“臺灣地區性水資源回收中心新冠肺炎病毒檢測初探”，中華民國環境工程學會 2021【廢水處理技術研討會】研討會，2021 年 8 月 19 日，第 132 頁(2021)。

八、文章內文格式範例 (請洽本期刊編輯組)

參、本期刊內容將刊載於內政部國土管理署資訊入口網歡迎各界參閱。



著作權授權使用同意書

(作者/機關名) 保證除本次投稿至「下水道·水再生」期刊之
文章 (文章名) · 相同內容未專屬授權至國內外其他有版
權之期刊或有抄襲之情事，若有涉及著作權之侵權或其他不法行為，本人
願負相關之法律責任。

(作者/機關名) 同意將本篇文章之著作權自接受刊登日起，授權內政部國土管理署有重新編排並將本篇文章置於所屬網站及刊物等刊載
供外界查詢之權利，但需註明本篇文章作者。

此致

內政部國土管理署

立書人：

通訊處：

聯 話 電 話：

(親簽後掃描為電子檔與文稿一併寄送至編輯組)

中華民國 年 月 日

中華民國 一百一十四年十一月出刊

第4卷第3期

中華民國 一百一十一年七月創刊

發 行 人：吳欣修

指 導 委 員：宋德仁、於望聖、邱忠川、范世億、陳志偉、黃一平、劉振宇、
蔡長展（依姓氏筆畫順序）

編 輯 委 員：王朝民、朱錫麟、阮春騰、邱敏錦、周黎明、林舜宏、侯嘉洪、
洪俊雄、胡念英、康世芳、陳立儒、張添晉、莊順興、黃成龍、
黃良銘、黃靖修、楊仁彰、廖宗銘、鍾志成、蘇玖心（依姓氏筆
畫順序）

總 編 輯：曾淑娟

副 總 編 輯：周世銘、張建偉

執 行 編 輯：游勝傑

出 版 單 位：內政部國土管理署

地址：臺北市松山區八德路2段342號

電話：(02)8771-2345

網址：<https://www.nlma.gov.tw/>

執 行 單 位：社團法人台灣水環境再生協會

地址：臺北市松山區復興南路一段1號1204室

電話：(02)2777-2675

網址：<https://www.twea.org.tw/contact.html>

GPN:2011100010 ISSN:27913805

★☆★本刊文章版權所有，非經同意不得轉載★☆★

★本刊文章屬個人學術發表，不代表內政部國土管理署立場★