

第三章 動力分析方法

3.1 適用範圍

凡有下述任一情況之建築物，需以動力分析方法設計之：

1. 高度等於或超過 50 公尺或 15 層以上之建築物。
2. 建築物超過 20 公尺或 5 層以上，且其勁度、重量配置或立面幾何形狀具有表 1-1 第 1 至第 3 種立面不規則性，或具有表 1-2 平面扭轉不規則性者。
3. 建築物超過 5 層或 20 公尺，非全高度具有同一種結構系統者。

動力分析方法可為反應譜分析法或歷時分析法。

解說：

一般而言，建築物不規則者，須進行動力分析。

3.2 設計水平加速度反應譜係數

動力分析採用之加速度反應譜係數 S_{aD} ，為週期之函數，其定義與第二章相同。動力分析之調整係數為 $\frac{I}{1.4\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ ， T_1 為建築物在所考慮方向之基本振動週期，但為避免中小度地震時建築物過早降伏，對一般工址與近斷層區域，調整係數不得低於 $\frac{IF_u(T_1)}{4.2\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ ，對臺北盆地，調整係數不得低於 $\frac{IF_u(T_1)}{3.5\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ 。如設計地震力由(2-13c)式之 V_M 所控制時，動力分析採用之加速度反應譜係數用 S_{aM} ，調整係數為 $\frac{I}{1.4\alpha_y S_{aM}(T_1)} \left(\frac{S_{aM}(T_1)}{F_{uM}(T_1)} \right)_m$ 。

建築物因地上結構、地下室結構及基礎土壤互制等值彈簧之阻尼比不同時，得依可信理論計算複合振態阻尼比。建築物阻尼比異於 5% 阻尼時，可由表 3-1 內插短週期與長週期的阻尼修正係數 B_S 與 B_1 ，將工址短週期與一秒週期之設計水平譜加速度係數 S_{DS} 與 S_{D1} 修正為 S_{DS}/B_S 與 S_{D1}/B_1 。 S_{DS} 與 S_{D1} 之定義與第二章相同。如無特別說明，結構阻尼比均設定為 5%，而阻尼修正係數 $B_S=B_1=1.0$ 。

一般工址或近斷層工址之設計水平加速度反應譜係數 S_{aD} ，隨建築物基本振動週期 T 與工址短週期與一秒週期之設計水平譜加速度係數 S_{DS}/B_S 與 S_{D1}/B_1 而改變，如表 3-2 所示。其中，短週期與中週期的分界 T_0 由下式計算：

$$T_0 = \frac{S_{D1} B_S}{S_{DS} B_1} \quad (3-1)$$

臺北盆地之設計水平加速度反應譜係數 S_{aD} ，隨建築物基本振動週期 T 與工址短週期與中長週期設計水平譜加速度係數 S_{DS}/B_S 與 $(T_0^D S_{DS}/B_1 T)$ 而改變，如表 3-3 所示。其中，經阻尼修正係數修正後之加速度反應譜短週期與中週期的分界 T_0 由下式計算：

$$T_0 = \frac{T_0^D B_S}{B_1} \quad (3-2)$$

T_0^D 則見表 2-6(c)。

解說：

欲進行動力反應譜分析，首先要決定設計水平加速度反應譜係數 S_{aD} 與最大水平加速度反應譜係數 S_{aM} ，其為週期之函數，定義與第二章相同，調整係數則以建築物在所考慮方向之基本振動週期來決定。為了與靜力分析方法相對應，讓動力分析的地震總橫力與靜力分析相近，實際分析時，對一般工址與近斷層工址，可依據靜力分析之結果，決定主控之地震力後，將 S_{aD} 對 $\frac{I}{1.4\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ 或 $\frac{IF_u(T_1)}{4.2\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ 作調整，或 S_{aM} 對 $\frac{I}{1.4\alpha_y S_{aM}(T_1)} \left(\frac{S_{aM}(T_1)}{F_{uM}(T_1)} \right)_m$ 作調整，即可得到動力分析之譜加速度係數，進行一次動力分析即可， T_1 為建築物在所考慮方向之基本振動週期。對臺北盆地，避免中小度地震時建築物過早降伏之調整係數則取 $\frac{IF_u(T_1)}{3.5\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ 。因 S_{aD} 值為加速度反應譜值與重力加速度的商，因此程式在設定調整係數時還要乘以 g 。譬如長度以公尺計之單位系統，要再乘以 9.8。

阻尼比異於 5% 時之阻尼修正係數 B_S 與 B_1 ，係參照美國 IBC2000 規範之規定及建研所報告「建築物性能設計法之性能目標與相關項目研究」之研究成果略加調整而定。基礎土壤互制等值彈簧之阻尼比可考慮土壤材料阻尼與輻射阻尼，應依可信理論計算，並可依下式計算複合振態阻尼比：

$$\xi_J = \frac{\sum_{i=1}^n \{\phi_J\}_i^T [k]_i \{\phi_J\}_i \xi_i}{\{\phi_J\}^T [K] \{\phi_J\}} \quad (C3-1)$$

其中，

ξ_J ：第 J 個振態之複合振態阻尼比

$[K]$ ：整個系統之勁度矩陣

$[k]_i$ ：第 i 個構材之勁度矩陣

$\{\phi_J\}$ ：第 J 個振態之振態形狀向量

$\{\phi_J\}_i$ ：第 i 個構材在第 J 個振態所對應自由度之振態形狀向量

ξ_i ：第 i 個構材的阻尼比

針對較短週期之結構而言，結構體與地表同步運動，不會因阻尼比變化而受影響，因而推得如表(3-2)與(3-3)所示較短週期結構之內插公式。

3.3 總橫力之調整

構造物動力分析所得任一主軸方向之總橫力應依下列規定調整：

1. 不規則性建築物總橫力應調整至第二章靜力分析所算得之最小設計水平總橫力。
2. 規則性建築物總橫力應調整至第二章靜力分析所得最小設計水平總橫力之 90%。
3. 不規則性與規則性建築物動力分析所得總橫力若分別超過靜力分析或 90% 者，應採動力分析值。
4. 依 3.2 節規定，考慮基礎土壤互制阻尼比時，直接由表 3-2 或表 3-3 配合表 3-1 計算靜力分析之最小設計水平總橫力及動力分析所需之設計反應譜，再依上述方法調整分析所得之總橫力。

解說：

動力分析振態疊加所得之總橫力，通常會小於靜力分析者，為增加須進行動力分析建築物之安全性，因此將總橫力調高。

考慮基礎土壤互制阻尼比時，總橫力減少是合理的結果，因此以表 3-2 或表 3-3 配合表 3-1 之阻尼修正係數，由各主軸方向第一個振態之阻尼比，計算調整後靜力分析之最小設計水平總橫力；進行動力分析時，同樣由表 3-2 或表 3-3 得到修正之反應譜後進行動力分析並依本節規定調整總橫力。

3.4 結構動力分析模式

動力分析時，建築結構之模擬應儘量反映實際情形，因此要力求幾何形狀之模擬、質量分布、構材斷面性質及土壤與基礎結構互制之模擬能夠準確。

解說：

動力分析時，建築物結構模擬之原則與靜力分析模擬原則相似。因此 2.13 節與解說的規定與內容照樣適用於動力分析。動力分析時尚須注意各樓版扭轉慣性矩的計算是否正確，此外，若考慮基礎土壤互制等值彈簧之阻尼時，也要做正確之計算。

3.5 多振態反應譜疊加法

建築物之動力分析，主要以多振態反應譜疊加法進行。所考慮之振態數目應使 x 向、 y 向及扭轉方向之有效質量和均已超過建築物總質量的 90%。

建築物甚不規則時，地震輸入的方向應多考慮幾個角度。進行振態間之疊加時，宜採用 CQC 法則，惟若振態間之週期不甚相近，可採用 SRSS 疊加法。

解說：

建築物之基面若置於筏基，如欲使有效振態質量和超過全棟建築物質量的 90% 以上，所需疊加的振態數要很多。由於地下室的勁度很高，以地下室為主的振態要到很高的振態才會出現，如只為了計算地面以上的物理量，如地面一層的總剪力或地面以上構材的內力時，此些振態幾無貢獻。在此種情況下，所須疊加的振態數可改採有效振態質量和超過建築物地面以上總質量的 90% 以上便可。

CQC 法為 Complete Quadratic Combination Method 的簡寫，其振態疊加考慮了兩兩振態間的相關性。某物理量依下式進行振態疊加：

$$r_a = \left(\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N S_{jk} r_j r_k \right)^{1/2} \quad (C3-2)$$

$$S_{jk} = \frac{8\sqrt{\xi_j \xi_k} (\xi_j + r \xi_k) r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\xi_j \xi_k r(1+r^2) + 4(\xi_j^2 + \xi_k^2) r^2} \quad (C3-3)$$

$$r = \frac{w_k}{w_j} \quad (C3-4)$$

其中， r_j ， r_k 分別為第 j 振態及第 k 振態最大反應值， S_{jk} 為第 j 振態與第 k 振態之關係係數。 ξ_j 、 ξ_k 分別為第 j 、 k 振態的阻尼比， w_k 、 w_j 分別為第 k 、 j 振態的圓周頻率。

3.6 歷時分析法

3.6.1 輸入地震要求

至少三個與設計反應譜相符之水平地震紀錄，其應能確切反映工址設計地震(或最大考量地震)之地震規模、斷層距離與震源效應。若使用七個以上與設計反應譜相符之水平地震紀錄，結構得採用分析結果之平均值進行設計。

針對任一個水平地震紀錄，計算其 5% 阻尼之反應譜。同時，調整地震紀錄使得位於 $0.2T_1$ 至 $1.5T_1$ 週期範圍內任一點之譜加速度值不得低於設計譜加速度值之 90% 及於此週期範圍內之平均值不得低於設計譜加速度值之平均值，其中 T_1 為建築物在所考慮方向之基本振動週期。

解說：

強地動紀錄之選取，應以工址附近之紀錄為佳，並盡量採用能確切反映工址設計地震(或最大考慮地震)之地震規模、斷層距離與震源效應的實測地震紀錄來進行模擬與調整得到與設計反應譜相符之紀錄；地震紀錄模擬之方法，應為具有可信理論之方法或為由公信單位所提供之方法。若工址附近實測地震紀錄之反應譜，在建築物所考慮方向之基本振動週期 T_1 附近有放大現象時，應就此實測地震紀錄作適當之考量。

3.6.2 線性歷時分析

線性歷時分析之調整係數為 $\frac{I}{1.4\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ ，但為避免中小度地震時建築物過早降伏，對一般工址與近斷層工址，調整係數不得低於 $\frac{IF_u(T_1)}{4.2\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ ，對臺北盆地，調整係數不得低於 $\frac{IF_u(T_1)}{3.5\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ 。分析所得任一主軸方向之總橫力，亦須依 3.3 節之規定進行調整。對多組地震紀錄分析所得之反應值，採最大反應值進行設計。

解說：

進行線性歷時分析時，為考量短週期結構與土壤互制後之阻尼比較高，分析時可依靜力分析所得 S_{aD}/F_u 值求得等效之阻尼比來進行分析，等效阻尼比可依下式計算：

$$\xi = \begin{cases} 5\% & ; S_{aD}/F_u \leq 0.3 \\ (16S_{aD}/F_u + 0.2)\% & ; 0.3 < S_{aD}/F_u < 0.8 \\ 13\% & ; S_{aD}/F_u \geq 0.8 \end{cases} \quad (C3-5)$$

3.6.3 非線性歷時分析

進行非線性歷時分析，結構之模擬除須按 3.4 節之規定進行，構材之非線性分析模型須要能確切反應構材真實之非線性行為；非線性歷時分析所得之反應值不得再以調整係數 $\frac{I}{1.4\alpha_y S_{aD}(T_1)} \left(\frac{S_{aD}(T_1)}{F_u(T_1)} \right)_m$ 予以折減。

解說：

進行非線性歷時分析時，其輸入地震紀錄之振幅須要先乘以用途係數 I 來調整後再進行分析；結構構材之非線性分析模型，在降伏強度、破壞機制及遲滯行為各方面皆須要能確切反應出構材真實之非線性行為；非線性歷時分析之結果除須檢核整體結構之韌性需求是否小於規定之容許韌性容量外，還須要考量各樓層與構材之韌性需求是否妥當。

3.7 動態扭矩

動力分析各層所產生之動態扭矩必須考慮，可算得動態偏心距，加上意外偏心距後，以等值靜態地震力來施加。如動力分析直接取構材內力來振態疊加，因意外偏心不易加入，可將各層質心偏移計算質心 $\pm 5\%$ 建築物平面尺度的四個位置，逕行進行動力分析設計之。

解說：

動力分析各層振態疊加所得之動態扭矩，除以該層水平向振態疊加地震力，可算得動態偏心距。意外扭矩可考慮 5% 平面尺度乘以 2.14 節的 A_x 。將動態偏心距加上意外偏心距得設計總偏心率，其後可依靜態地震力施加分析之。

直接進行動力分析，取構材內力振態疊加值逕行設計的情況，意外扭矩的考慮可將質心位置偏移至 $\pm 5\%$ 尺度的四個點上，分別進行動力分析，才可將動態扭矩及動態意外扭矩的效應一併考慮進去。

3.8 建築物地下部分設計地震力

建築物雖進行動力分析，但地下室各層施加之設計地震力仍應照 2.12 節之規定計算。

解說：

建築物地下室各層所受之地震力，主要係由於地震時土體變形產生的強制變位而產生。一般地下室有勁度頗大的外牆，動力分析時只要考慮足夠的振態，使地面一層的總剪力正確，其後再在地面層與地下室各層加上 2.12 節計算所得的地震力即可。

3.9 層間相對側向位移與建築物之間隔

根據動力分析算得之層間相對側向位移角，須滿足 2.16.1 節規定之容許值，建築物之間隔亦須按 2.16.2 節之規定檢核。

解說：

容許層間相對側向位移角與建築物間應留設之防碰間隔不隨分析方法變更而有異動。

3.10 極限層剪力強度之檢核

根據動力分析結果設計之建築物，仍應按 2.17 節之規定檢核極限層剪力強度。

解說：

根據動力分析結果完成彈性與韌性設計之建築物，應按 2.17 節之規定檢核各層之極限層剪力強度。若弱層之強度足以抵抗 $F_u \left(\frac{S_{aM}}{F_u} \right)_m IW$ 之地震力時，不在此限。

3.11 垂直地震效應

建築物雖進行動力分析，但垂直地震效應亦須按 2.18 節之規定考慮。

解說：

由於一般分析建築物的程式，樓層並不具備垂直向的自由度，因此無法進行垂直向的地震動力分析。考慮垂直地震效應得照 2.18 節的等值靜力法進行。

表 3-1 短週期與長週期結構之阻尼比修正係數 B_s 與 B_l (線性內插求值)

有效阻尼比 ξ (%)	B_s	B_l
<2	0.80	0.80
5	1.00	1.00
10	1.33	1.25
20	1.60	1.50
30	1.79	1.63
40	1.87	1.70
>50	1.93	1.75

表 3-2 一般工址設計水平加速度反應譜係數 S_{aD}

較短週期	短週期	中週期	長週期
$T \leq 0.2T_0$	$0.2T_0 < T \leq T_0$	$T_0 < T \leq 2.5T_0$	$2.5T_0 < T$
$S_{aD} = S_{DS} \left[0.4 + \left(\frac{1}{B_s} - 0.4 \right) \frac{T}{0.2T_0} \right]$	$S_{aD} = \frac{S_{DS}}{B_s}$	$S_{aD} = \frac{S_{D1}}{B_1 T}$	$S_{aD} = \frac{0.4S_{DS}}{B_s}$

表 3-3 臺北盆地設計水平加速度反應譜係數 S_{aD}

較短週期	短週期	中週期	長週期
$T \leq 0.2T_0$	$0.2T_0 < T \leq T_0$	$T_0 < T \leq 2.5T_0$	$2.5T_0 < T$
$S_{aD} = S_{DS} \left[0.4 + \left(\frac{1}{B_s} - 0.4 \right) \frac{T}{0.2T_0} \right]$	$S_{aD} = \frac{S_{DS}}{B_s}$	$S_{aD} = \frac{T_0^D S_{DS}}{B_1 T}$	$S_{aD} = \frac{0.4S_{DS}}{B_s}$