

臺灣結構耐震評估側推分析法(Taiwan Earthquake Assessment for Structures by Pushover Analysis, TEASPA)

修正草案與現行規定之差異分析

第四章 耐震評估

| 修正規定 | 現行規定 | 說明 |
|--|--|--|
| <p>4.2 構件行為說明及模擬</p> <p>當工程師進行側推分析之前，需先了解建物之梁、柱、磚牆、RC 牆等結構元件的非線性行為。工程師明瞭結構元件的非線性行為，才可以給予合適的非線性鉸性質及位置，再利用非線性鉸特性來模擬出結構元件的非線性行為。要知道構件之非線性行為，最直接方式就是由試驗或模擬得到的側向載重位移曲線作判斷。因此本章將詳細敘述本文如何自各個結構元件的側向載重位移曲線設定其非線性鉸參數。</p> <p>4.2.1 雙曲率 RC 柱之模擬及非線性鉸設定</p> <p>雙曲率 RC 柱之模擬</p> <p>對於一承受軸力及側力作用且反曲點在柱正中央的雙曲率柱，如圖 4.2 所示。該柱為拉力控制斷面時，可根據美國 Elwood 及 Moehle 等人的研究[4.6][4.7]，如圖 4.3 所示。當一雙曲率柱於承受軸力 P 與側力 V 的作用下，側向位移 Δ 到達 Δ_y 時，柱的主筋會先降伏，當側向位移 Δ 到達 Δ_s 時，柱端部的非線性鉸區會產生明顯的剪力斜裂縫，此狀態稱之為韌性剪力破壞(Ductile Shear Failure)，亦即所謂的撓剪破壞(Flexure-Shear Failure)，之後側力強度會下降，當側向位移 Δ 到達 Δ_a 時，側力強度趨近於零，而柱體亦喪失軸向承載能力，以致發生軸向破壞(Axial Failure)。</p> <p>Elwood 及 Moehle[4.6]由 50 個各種尺寸及不同箍筋比之鋼筋混凝土柱試體，控制雙曲率變形試驗後得到柱體剪力破壞時剪應力與變位角(Drift Ratio)之關係曲線，用最小平方差的數值方法，歸納出撓剪破壞時的變位角可由下式計算：</p> $\frac{\Delta_s}{H} = \frac{3}{100} + 4\rho'' - \frac{1}{133} \frac{v_m}{\sqrt{f'_c}} - \frac{1}{40} \frac{P}{A_g f'_c} \geq \frac{1}{100} \quad (4.1)$ | <p>4.2 構件行為說明及模擬</p> <p>當工程師進行側推分析之前，需先了解建物之梁、柱、磚牆、RC 牆等結構元件的非線性行為。工程師明瞭結構元件的非線性行為，才可以給予合適的非線性鉸性質及位置，再利用非線性鉸特性來模擬出結構元件的非線性行為。要知道構件之非線性行為，最直接方式就是由試驗或模擬得到的側向載重位移曲線作判斷。因此本章將詳細敘述本文如何自各個結構元件的側向載重位移曲線設定其非線性鉸參數。</p> <p>4.2.1 雙曲率 RC 柱之模擬及非線性鉸設定</p> <p>雙曲率 RC 柱之模擬</p> <p>對於一承受軸力及側力作用且反曲點在柱正中央的雙曲率柱，如圖 4.2 所示。該柱為拉力控制斷面時，可根據美國 Elwood 及 Moehle 等人的研究[4.6][4.7]，如圖 4.3 所示。當一雙曲率柱於承受軸力 P 與側力 V 的作用下，側向位移 Δ 到達 Δ_y 時，柱的主筋會先降伏，當側向位移 Δ 到達 Δ_s 時，柱端部的非線性鉸區會產生明顯的剪力斜裂縫，此狀態稱之為韌性剪力破壞(Ductile Shear Failure)，亦即所謂的撓剪破壞(Flexure-Shear Failure)，之後側力強度會下降，當側向位移 Δ 到達 Δ_a 時，側力強度趨近於零，而柱體亦喪失軸向承載能力，以致發生軸向破壞(Axial Failure)。</p> <p>Elwood 及 Moehle[4.6]由 50 個各種尺寸及不同箍筋比之鋼筋混凝土柱試體，控制雙曲率變形試驗後得到柱體剪力破壞時剪應力與變位角(Drift Ratio)之關係曲線，用最小平方差的數值方法，歸納出撓剪破壞時的變位角可由下式計算：</p> $\frac{\Delta_s}{H} = \frac{3}{100} + 4\rho'' - \frac{1}{133} \frac{v_m}{\sqrt{f'_c}} - \frac{1}{40} \frac{P}{A_g f'_c} \geq \frac{1}{100} \quad (4.1)$ | <ol style="list-style-type: none"> 1. 現行版本以(靜載重+1/2 活載重)初始作用下之軸壓力，計算柱構件之 M2/M3 非線性鉸參數，本案建議修正之新版本，係可依柱斷面之軸力彎矩互制關係曲線，計算柱構件在各式軸力變化下之 P-M/P-M-M 非線性鉸參數，能較合理反映中高樓結構柱在高軸力變化下之構件非線性鉸發展狀態。 2. 現行規定所之軸力彎矩非線性鉸，均修改為軸力彎矩非線性鉸。文中 M3 或 M2 非線性鉸，亦配合修改為 P-M/P-M-M 非線性鉸。 3. 式(4.2)中之 κ' 刪除。原版本是參考 Moehle 等人 (2002)的建議，然而 Elwood 等人(2005)，已經將該參數移除，並獲 ASCE/SEI 41-06 (2007) 採納。 4. 圖 4.4 不採用。 |

式中 H 為柱淨高； $\rho^n = \frac{A_{st}}{b \times s}$ 為剪力箍筋體積比； A_{st} 為剪力筋總斷面積，計算剪力鋼筋於箍筋間距(s)內之斷面積； b 為柱寬； $v_m = V_b/bd$ 為剪應力； V_b 為雙曲率柱撓曲強度所對應之作用剪力； d 為柱斷面之有效深度，可設為柱深 h 之 0.8 倍； f'_c 為混凝土抗壓強度； A_g 為柱斷面積；及 P 為柱承受之軸力。

觀察式(4.1)，當柱的箍筋量較大、混凝土強度較高時、承受的側力及軸力較小時，剪力破壞之變位角會較大，即表示柱的韌性值會較大。

Elwood 及 Moehle[4.7]亦由試驗得到柱試體到達軸向破壞時軸力與變位角之關係，並歸納出軸向破壞時的變位角可由下式計算：

$$\frac{\Delta_a}{H} = \frac{4}{100} \frac{1 + (\tan \theta)^2}{\tan \theta + P \frac{s}{A_{st} f_{yt} d_c \tan \theta}} \quad (4.2)$$

式中 f_{yt} 為箍筋降伏強度； d_c 為柱核心混凝土的深度，由箍筋中心至中心計算之； θ 為剪力裂縫與水平的夾角，一般可定為 65° ，但不可超過 $\tan^{-1}(H/h)$ 。

觀察式(4.2)，當柱的箍筋量較大、及承受的軸力較小時，軸向破壞之變位角會較大，即表示柱有較好的垂直承載能力。

Sezen 及 Moehle[4.9]由一些試驗中發現，柱的剪力強度會隨著柱的側向變位增大而下降，導致柱的剪力強度衰減曲線限制了柱的強度發展。因此承受軸力的雙曲率柱並受側力作用時，可能有三種破壞模式，即撓剪破壞、剪力破壞及撓曲破壞。

式中 H 為柱淨高； $\rho^n = \frac{A_{st}}{b \times s}$ 為剪力箍筋體積比； A_{st} 為剪力筋總斷面積，計算剪力鋼筋於箍筋間距(s)內之斷面積； b 為柱寬； $v_m = V_b/bd$ 為剪應力； V_b 為雙曲率柱撓曲強度所對應之作用剪力； d 為柱斷面之有效深度，可設為柱深 h 之 0.8 倍； f'_c 為混凝土抗壓強度； A_g 為柱斷面積；及 P 為柱承受之軸力。

觀察式(4.1)，當柱的箍筋量較大、混凝土強度較高時、承受的側力及軸力較小時，剪力破壞之變位角會較大，即表示柱的韌性值會較大。

Elwood 及 Moehle[4.7]亦由試驗得到柱試體到達軸向破壞時軸力與變位角之關係，並歸納出軸向破壞時的變位角可由下式計算：

$$\frac{\Delta_a}{H} = \frac{4}{100} \frac{1 + (\tan \theta)^2}{\tan \theta + P \frac{s}{\kappa' A_{st} f_{yt} d_c \tan \theta}} \quad (4.2)$$

式中 f_{yt} 為箍筋降伏強度； d_c 為柱核心混凝土的深度，由箍筋中心至中心計算之； θ 為剪力裂縫與水平的夾角，一般可定為 65° ，但不可超過 $\tan^{-1}(H/h)$ ；而係數 k' 為 Moehle 等人[4.6]於 2002 年所提出折減 90 度彎鉤對於箍筋剪力強度之影響， k' 隨著韌性比 μ 增加，由 1 變化到 0.7，可參考圖 4.4，其中韌性比 $\mu = \Delta_s / \Delta_y$ 。

觀察式(4.2)，當柱的箍筋量較大、及承受的軸力較小時，軸向破壞之變位角會較大，即表示柱有較好的垂直承載能力。

Sezen 及 Moehle[4.9]由一些試驗中發現，柱的剪力強度會隨著柱的側向變位增大而下降，導致柱的剪力強度衰減曲線限制了柱的強度發展。因此承受軸力的雙曲率柱並受側力作用時，可能有三種破壞模式，即撓剪破壞、剪力破壞及撓曲破壞。

5. 圖 4.9 修改為軸力彎矩非線性鉸性質與側向載重位移曲線。

6. 表 4.1 修改為 RC 柱軸力彎矩非線性鉸之參數。

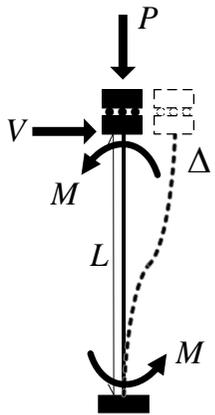


圖 4.2 雙曲率柱受力與變形機制

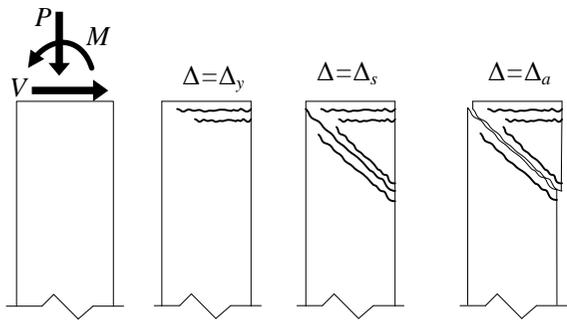


圖 4.3 雙曲率柱破壞發展過程

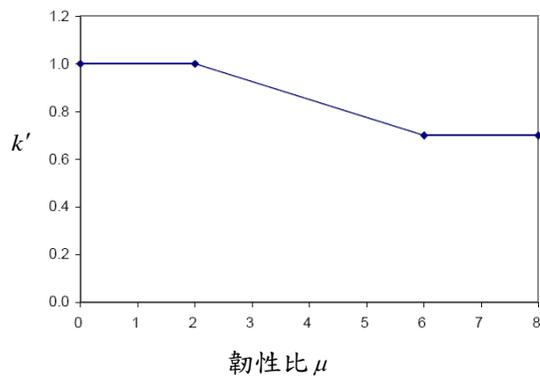


圖 4.4 軸向破壞時的變位角之修正係數 k'

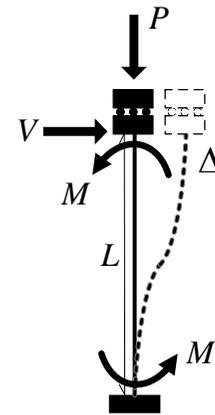


圖 4.2 雙曲率柱受力與變形機制

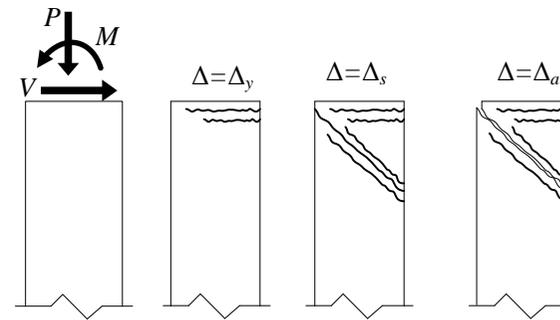


圖 4.3 雙曲率柱破壞發展過程

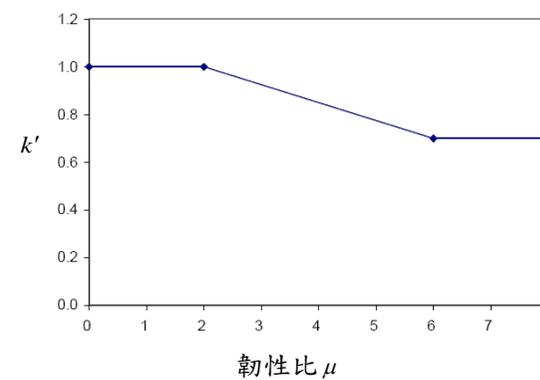


圖 4.4 軸向破壞時的變位角之修正係數 k'

1. 撓剪破壞側向載重位移曲線

一般老舊建築結構的柱由於箍筋量不多，其破壞模式多屬於撓剪破壞。如圖 4.5 所示，當柱的剪力強度 V_n 大於撓曲強度 V_b 時，柱受側力，柱以勁度 k 變形，當側力達到 V_b ，柱發揮撓曲強度，為保守及簡化起見，假設主筋不發生應變硬化，側力強度保持定值，而當側向位移 Δ 到達 Δ_s 時，柱發生撓剪破壞，之後側力強度會下降，當側向位移 Δ 到達 Δ_a 時，側力強度趨近於零，柱體喪失軸向承載能力，以致發生軸向破壞。撓剪破壞模式為美國 Elwood 及 Moehle 等人主要的研究對象[4.6][4.7]，撓剪破壞位移 Δ_s 由式(4.1)計算之，軸向破壞位移 Δ_a 由式(4.2)計算之，於此破壞模式，撓剪破壞位移 Δ_s 會小於軸向破壞位移 Δ_a 。

雙曲率柱勁度 k 可由下式計算：

$$k = 12(EI)_c / H^3 \quad (4.3)$$

式中 $(EI)_c$ 為柱開裂斷面的撓曲剛度 E_c 為混凝土彈性模數； I_g 為梁或柱總斷面對其中心軸之慣性矩。

依據美國 ACI 318-11 規範[4.10]，鋼筋混凝土結構的剪力強度乃是由混凝土所提供的剪力強度 V_c 再加上箍筋所提供的剪力強度 V_s ，其建議之混凝土剪力強度計算方式如下：

$$V_c = 0.53 \left(1 + \frac{P}{140A_g} \right) \sqrt{f'_c} bd \quad (4.4)$$

箍筋之剪力強度計算方式如下：

$$V_s = \frac{A_{st} f_{yt} d_c}{s} \cot \alpha \quad (4.5)$$

式中 f_{yt} 為箍筋降伏強度； α 為剪力裂縫與柱軸線之夾角，ACI 一般建議 α 為 45° ， d_c 以 d 取代。但考慮剪力裂縫與柱軸線之夾角 α 在柱軸力作用下，將會小於 45° 。因此將剪力裂縫角度 α 納入考慮，如圖 4.6 所示，剪力裂縫角度 α 依柱身混凝土主應力方向之計算，可由下式修正：

1. 撓剪破壞側向載重位移曲線

一般老舊建築結構的柱由於箍筋量不多，其破壞模式多屬於撓剪破壞。如圖 4.5 所示，當柱的剪力強度 V_n 大於撓曲強度 V_b 時，柱受側力，柱以勁度 k 變形，當側力達到 V_b ，柱發揮撓曲強度，為保守及簡化起見，假設主筋不發生應變硬化，側力強度保持定值，而當側向位移 Δ 到達 Δ_s 時，柱發生撓剪破壞，之後側力強度會下降，當側向位移 Δ 到達 Δ_a 時，側力強度趨近於零，柱體喪失軸向承載能力，以致發生軸向破壞。撓剪破壞模式為美國 Elwood 及 Moehle 等人主要的研究對象[4.6][4.7]，撓剪破壞位移 Δ_s 由式(4.1)計算之，軸向破壞位移 Δ_a 由式(4.2)計算之，於此破壞模式，撓剪破壞位移 Δ_s 會小於軸向破壞位移 Δ_a 。

雙曲率柱勁度 k 可由下式計算：

$$k = 12(EI)_c / H^3 \quad (4.3)$$

式中 $(EI)_c$ 為柱開裂斷面的撓曲剛度 E_c 為混凝土彈性模數； I_g 為梁或柱總斷面對其中心軸之慣性矩。

依據美國 ACI 318-11 規範[4.10]，鋼筋混凝土結構的剪力強度乃是由混凝土所提供的剪力強度 V_c 再加上箍筋所提供的剪力強度 V_s ，其建議之混凝土剪力強度計算方式如下：

$$V_c = 0.53 \left(1 + \frac{P}{140A_g} \right) \sqrt{f'_c} bd \quad (4.4)$$

箍筋之剪力強度計算方式如下：

$$V_s = \frac{A_{st} f_{yt} d_c}{s} \cot \alpha \quad (4.5)$$

式中 f_{yt} 為箍筋降伏強度； α 為剪力裂縫與柱軸線之夾角，ACI 一般建議 α 為 45° ， d_c 以 d 取代。但考慮剪力裂縫與柱軸線之夾角 α 在柱軸力作用下，將會小於 45° 。因此將剪力裂縫角度 α 納入考慮，如圖 4.6 所示，剪力裂縫角度 α 依柱身混凝土主應力方向之計算，可由下式修正：

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\tan^{-1}\left(\frac{\sigma}{2f_t\sqrt{1+\sigma/f_t}}\right)}{2} \quad (4.6)$$

式中 $\sigma = P/A_g$ 為軸壓應力； $f_t = 1.06\sqrt{f'_c}$ kgf/cm² 為混凝土抗拉強度。

由式(4.4)及式(4.5)即可得到柱的剪力強度 V_n ，如下式計算：

$$V_n = \frac{A_{st}f_{yt}d}{s} \cot \alpha + 0.53\left(1 + \frac{P}{140A_g}\right)\sqrt{f'_c}bd \quad (4.7)$$

根據材料力學，雙曲率柱撓曲強度 V_b ，可由下式計算：

$$V_b = 2M_n/H \quad (4.8)$$

式中 M_n 為鋼筋混凝土柱斷面之標稱彎矩強度(Nominal Moment Strength)。

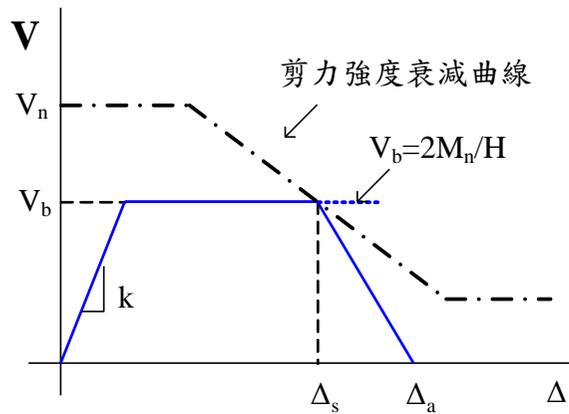


圖 4.5 撓剪破壞側向載重位移曲線

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\tan^{-1}\left(\frac{\sigma}{2f_t\sqrt{1+\sigma/f_t}}\right)}{2} \quad (4.6)$$

式中 $\sigma = P/A_g$ 為軸壓應力； $f_t = 1.06\sqrt{f'_c}$ kgf/cm² 為混凝土抗拉強度。

由式(4.4)及式(4.5)即可得到柱的剪力強度 V_n ，如下式計算：

$$V_n = \frac{A_{st}f_{yt}d}{s} \cot \alpha + 0.53\left(1 + \frac{P}{140A_g}\right)\sqrt{f'_c}bd \quad (4.7)$$

根據材料力學，雙曲率柱撓曲強度 V_b ，可由下式計算：

$$V_b = 2M_n/H \quad (4.8)$$

式中 M_n 為鋼筋混凝土柱斷面之標稱彎矩強度(Nominal Moment Strength)。

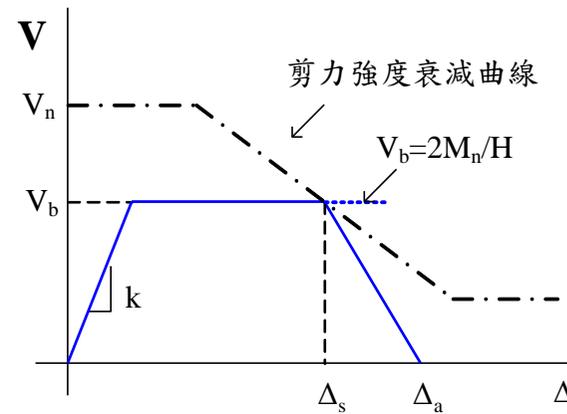


圖 4.5 撓剪破壞側向載重位移曲線

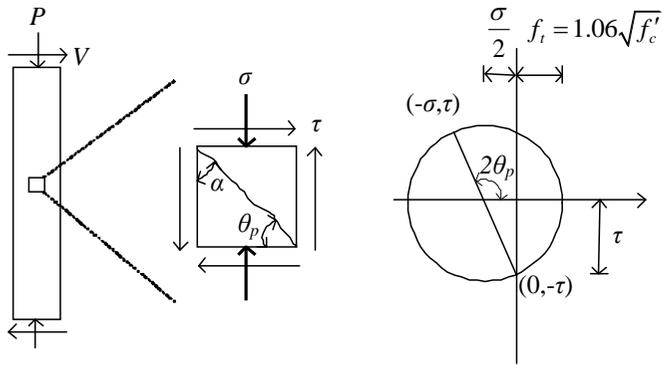


圖 4.6 剪力裂縫角度與主應力關係圖

2. 剪力破壞側向載重位移曲線

一般老舊建築結構的柱若受到窗台束制，容易發生短柱效應，使其破壞模式趨向於剪力破壞。如圖 4.7 所示，當柱的剪力強度 V_n 較撓曲強度 V_b 為低時，柱受側力時，柱以勁度 k 變形，當側力達到 V_n ，發生剪力破壞，斜向剪力裂縫可能分布於整個柱身，柱的側力強度下降，此時結合軸向破壞的論點[4.7]，柱可繼續變形至軸向破壞位移 Δ_a ，至此柱喪失其軸力承擔能力。軸向破壞位移 Δ_a 由式(4.2)計算之，但為避免其值過大，以符合脆性破壞的特性，可限制其值不大於 $0.04H$ 。因考慮柱剪力破壞時，韌性比 μ 常小於 2，故軸向破壞變位角之修正係數取 $k'=1$ 計算。

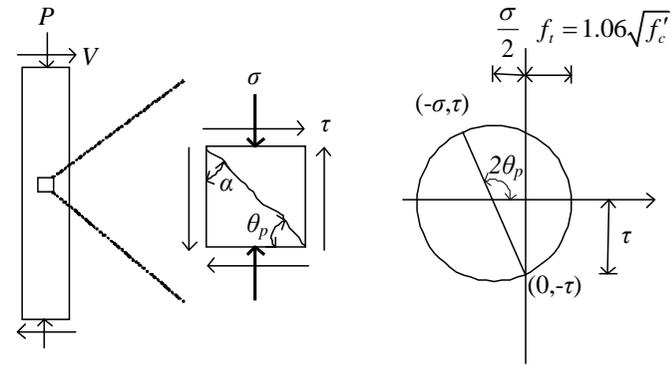


圖 4.6 剪力裂縫角度與主應力關係圖

2. 剪力破壞側向載重位移曲線

一般老舊建築結構的柱若受到窗台束制，容易發生短柱效應，使其破壞模式趨向於剪力破壞。如圖 4.7 所示，當柱的剪力強度 V_n 較撓曲強度 V_b 為低時，柱受側力時，柱以勁度 k 變形，當側力達到 V_n ，發生剪力破壞，斜向剪力裂縫可能分布於整個柱身，柱的側力強度下降，此時結合軸向破壞的論點[4.7]，柱可繼續變形至軸向破壞位移 Δ_a ，至此柱喪失其軸力承擔能力。軸向破壞位移 Δ_a 由式(4.2)計算之，但為避免其值過大，以符合脆性破壞的特性，可限制其值不大於 $0.04H$ 。因考慮柱剪力破壞時，韌性比 μ 常小於 2，故軸向破壞變位角之修正係數取 $k'=1$ 計算。

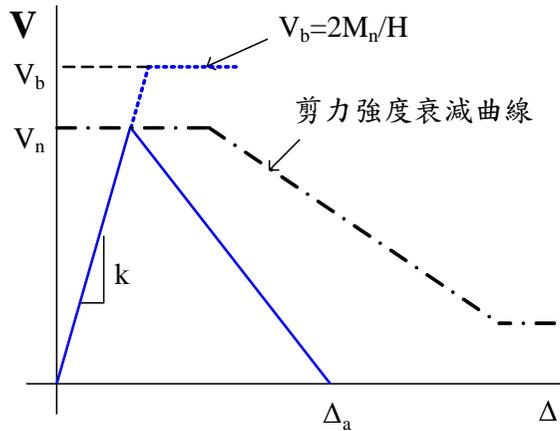


圖 4.7 剪力破壞側向載重位移曲線

3. 撓曲破壞側向載重位移曲線

若柱有足夠的箍筋量，其破壞模式會趨向於撓曲破壞。如圖 4.8 所示，當柱的撓曲強度 V_b 較衰減後的剪力強度為低時，柱受側力時，柱以勁度 k 變形，當側力達到 V_b ，柱主筋降伏，為保守及簡化起見，假設主筋不發生應變硬化，側力強度保持定值，直到柱發生主筋斷裂、挫屈或圍束混凝土壓碎等撓曲破壞模式，側力強度會下降，但不會喪失其軸力承擔能力。由於撓曲破壞及撓剪破壞皆為韌性破壞，且皆發生在柱端塑鉸發生後，其分野在分析上不易區隔，為簡化及保守分析起見，本文以撓剪破壞側向載重位移曲線來定義可能的撓曲破壞行為。

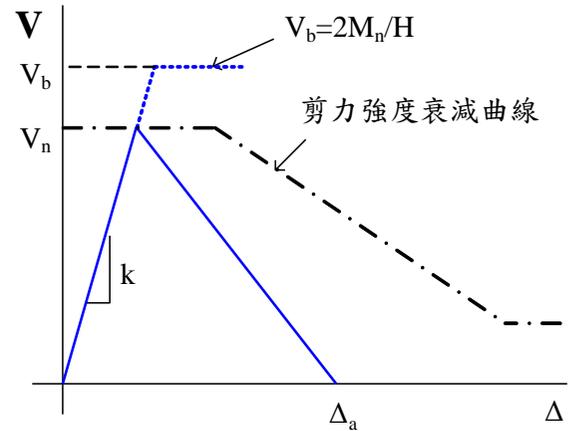


圖 4.7 剪力破壞側向載重位移曲線

3. 撓曲破壞側向載重位移曲線

若柱有足夠的箍筋量，其破壞模式會趨向於撓曲破壞。如圖 4.8 所示，當柱的撓曲強度 V_b 較衰減後的剪力強度為低時，柱受側力時，柱以勁度 k 變形，當側力達到 V_b ，柱主筋降伏，為保守及簡化起見，假設主筋不發生應變硬化，側力強度保持定值，直到柱發生主筋斷裂、挫屈或圍束混凝土壓碎等撓曲破壞模式，側力強度會下降，但不會喪失其軸力承擔能力。由於撓曲破壞及撓剪破壞皆為韌性破壞，且皆發生在柱端塑鉸發生後，其分野在分析上不易區隔，為簡化及保守分析起見，本文以撓剪破壞側向載重位移曲線來定義可能的撓曲破壞行為。

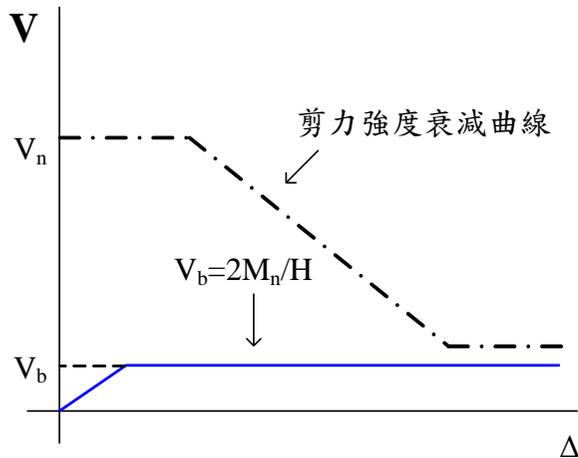


圖 4.8 撓曲破壞側向載重位移曲線

RC 柱之非線性鉸設定

由於在構架非線性反應過程中，柱的反曲點位置會變化，在分析之前，無法指定柱的破壞模式。因此在非線性鉸的設定上，需在柱的兩端設置軸力彎矩非線性鉸，以表現撓剪或撓曲的破壞模式；在柱的中間設置剪力非線性鉸，以表現剪力破壞。工程師可依經驗，根據學術論文或實體測試結果，來定義非線性鉸之性質。本文依據前述之柱側向載重位移曲線，建議軸力彎矩非線性鉸與剪力非線性鉸之參數，供工程師參考。

1. 軸力彎矩非線性鉸參數

以一根淨長度為 H 之柱，先假設其反曲點在柱中點來定義非線性鉸性質。依前述撓剪破壞模式下之側向載重位移曲線，可保守地定義反映撓剪或撓曲破壞模式之軸力彎矩非線性鉸參數，但為避免低估構件初始勁度，以致在彈性分析時，發生結構振動週期過大之情形，將柱開裂斷面之撓曲剛度調整為 $0.7E_cI_g$ ；依此可定義軸力彎矩非線性鉸參數，如圖 4.9 所示。參數之設定值如表 4.1 所示，表中 SF(Scale Factor)所相對應之 Moment SF 為 M_n ；而 Rotation SF 固定為 1。表 4.1 中之參數定義如下：

$$a = \frac{\Delta_n}{H} - \frac{\Delta_y}{H} \quad (4.9)$$

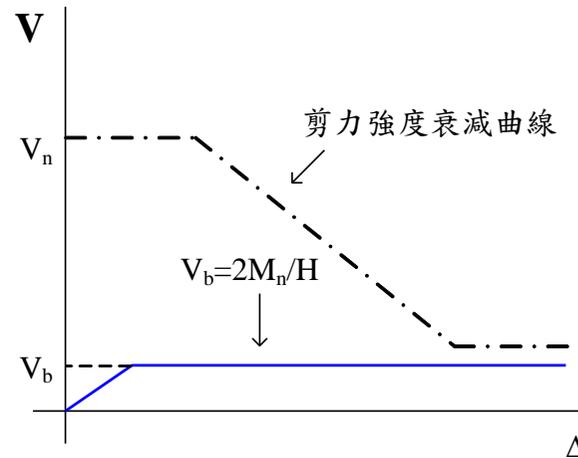


圖 4.8 撓曲破壞側向載重位移曲線

RC 柱之非線性鉸設定

由於在構架非線性反應過程中，柱的反曲點位置會變化，在分析之前，無法指定柱的破壞模式。因此在非線性鉸的設定上，需在柱的兩端設置軸力彎矩非線性鉸，以表現撓剪或撓曲的破壞模式；在柱的中間設置剪力非線性鉸，以表現剪力破壞。工程師可依經驗，根據學術論文或實體測試結果，來定義非線性鉸之性質。本文依據前述之柱側向載重位移曲線，建議軸力彎矩非線性鉸與剪力非線性鉸之參數，供工程師參考。

1. 彎矩非線性鉸參數

以一根淨長度為 H 之柱，先假設其反曲點在柱中點來定義非線性鉸性質。依前述撓剪破壞模式下之側向載重位移曲線，可保守地定義反映撓剪或撓曲破壞模式之彎矩非線性鉸參數，但為避免低估構件初始勁度，以致在彈性分析時，發生結構振動週期過大之情形，而於側向載重位移曲線上之 M_n 點之前新增一降伏彎矩點 (M_y)，並令其值不得大於 $0.95M_n$ ，再將柱開裂斷面之撓曲剛度調整為 $0.7E_cI_g$ ，依此可定義彎矩非線性鉸參數，如圖 4.9 所示。參數之設定值如表 4.1 所示，表中 SF(Scale Factor)所相對應之 Moment SF 為 M_n ；而 Rotation SF 固定為 1。表 4.1 中之參數定義如下：

$$a = \frac{\Delta_n}{H} - \frac{\Delta_y}{H} \quad (4.9)$$

$$b = \frac{\Delta_s}{H} - \frac{\Delta_y}{H} \quad (4.10)$$

$$c = \max\left(\frac{\Delta_a}{H}, \frac{\Delta_s}{H}\right) \quad (4.11)$$

$$\Delta_y = \frac{V_b}{k} = \frac{V_b H^3}{12(EI)_c} = \frac{V_b H^3}{12(0.7E_c I_g)} \quad (4.12)$$

依照以上軸力彎矩非線性鉸之參數，修改 P-M/P-M-M 非線性鉸之 A~E 五個點(若進行 X 方向之側推分析，乃修改 P-M3 非線性鉸；若進行 Y 方向之側推分析，則修改 P-M2 非線性鉸)。採用的 P-M/P-M-M 非線性鉸模型，具考慮軸力變化時的柱構件非線性鉸參數性質，能合理反映中高樓結構柱在高軸力變化下之構件非線性鉸發展狀態。側推分析中，柱的反曲點可能不在柱中點會造成分析誤差，但由於(4.1)及(4.2)式皆不受剪力跨度(Shear Span)影響，此誤差應可忽略不計。

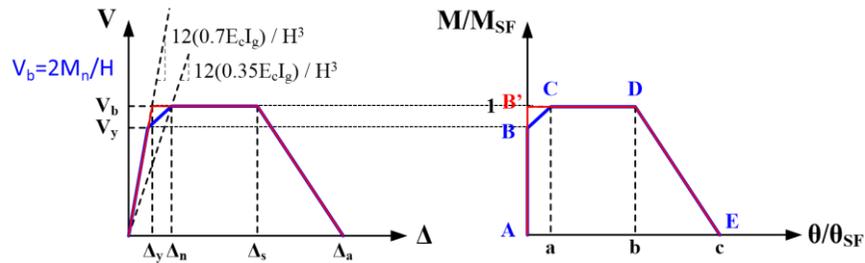


圖 4.9 軸力彎矩非線性鉸性質與側向載重位移曲線

表 4.1 RC 柱軸力彎矩非線性鉸之參數

| Points | Moment/SF | Rotation/SF |
|--------|-----------|-------------|
| A | 0 | 0 |
| B | 1 | 0 |
| C | 1 | a |
| D | 1 | b |
| E | 0 | c |

$$b = \frac{\Delta_s}{H} - \frac{\Delta_y}{H} \quad (4.10)$$

$$c = \max\left(\frac{\Delta_a}{H}, \frac{\Delta_s}{H}\right) \quad (4.11)$$

$$\Delta_y = \frac{V_b}{k} = \frac{V_b H^3}{12(EI)_c} = \frac{V_b H^3}{12(0.7E_c I_g)} \quad (4.12)$$

依照以上彎矩非線性鉸之參數，修改 M3 非線性鉸之 A~E 五個點(若進行 X 方向之側推分析，乃修改 M3 非線性鉸；若進行 Y 方向之側推分析，則修改 M2 非線性鉸)。側推分析中，柱的反曲點可能不在柱中點會造成分析誤差，但由於(4.1)及(4.2)式皆不受剪力跨度(Shear Span)影響，此誤差應可忽略不計。

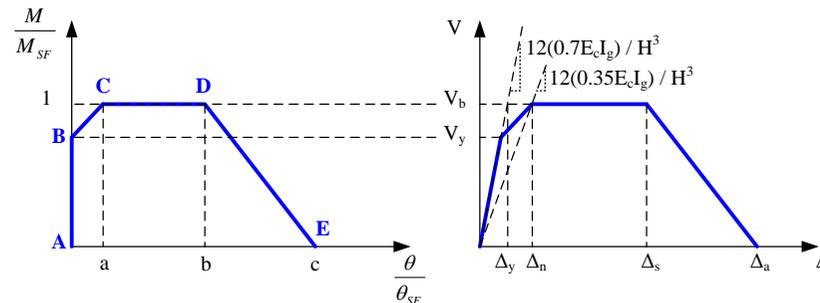


圖 4.9 彎矩非線性鉸性質與側向載重位移曲線

表 4.1 RC 柱彎矩非線性鉸之參數

| Points | Moment/SF | Rotation/SF |
|--------|-----------------------|-------------|
| A | 0 | 0 |
| B | $\min(M_y/M_n, 0.95)$ | 0 |
| C | 1 | a |
| D | 1 | b |
| E | 0 | c |

2. 剪力非線性鉸參數

以一根淨長度(Clear Length)為 H 之柱，依據剪力破壞模式下之側向載重位移曲線，可定義剪力非線性鉸參數。其非線性鉸參數與側向載重位移曲線間的關係如圖 4.10 所示，參數之設定值如表 4.2 所示，相對應之 Force SF 為 V_n ；而 Disp. SF 為柱淨長 H 。表 4.2 中之參數定義如下：

$$d = \min\left(\frac{\Delta_a}{H}, 0.04\right) \quad (4.13)$$

上式中，軸向破壞位移 Δ_a 可由式(4.2)所求得。考慮柱剪力破壞模式之下，韌性比 μ 常小於 2，軸向破壞變位角之修正係數取 $k' = 1$ 計算。

依本文之剪力非線性鉸參數修改 V2 非線性鉸之 A~E 五個點(若進行 X 方向之側推分析，乃修改 V2 非線性鉸；若進行 Y 方向側推分析，則修改 V3 非線性鉸)。本文柱剪力破壞之側力載重位移曲線，僅需要三個點即可定義非線性鉸曲線，因此在非線性鉸參數設定上，將 C、D 與 E 點的值皆設定為到達軸向破壞位移時之參數。其中為使側推分析較不易造成非線性求解發散，可將 D 點及 E 點之位移值放大為 C 點 10 倍，此項設定並不會影響使用者所求得結果之準確性。

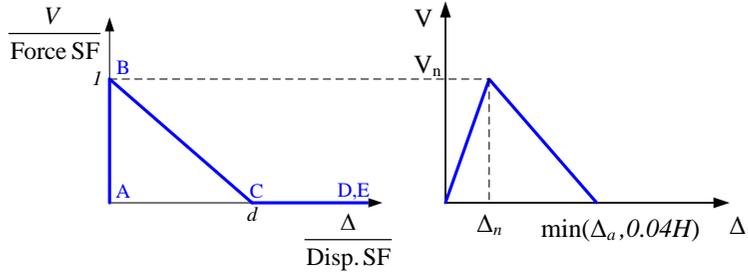


圖 4.10 剪力非線性鉸性質與側向載重位移曲線

表 4.2 RC 柱剪力非線性鉸之參數

| Points | Force/SF | Disp./SF |
|--------|----------|----------|
| A | 0 | 0 |
| B | 1 | 0 |
| C | 0 | d |
| D | 0 | 10d |
| E | 0 | 10d |

2. 剪力非線性鉸參數

以一根淨長度(Clear Length)為 H 之柱，依據剪力破壞模式下之側向載重位移曲線，可定義剪力非線性鉸參數。其非線性鉸參數與側向載重位移曲線間的關係如圖 4.10 所示，參數之設定值如表 4.2 所示，相對應之 Force SF 為 V_n ；而 Disp. SF 為柱淨長 H 。表 4.2 中之參數定義如下：

$$d = \min\left(\frac{\Delta_a}{H}, 0.04\right) \quad (4.13)$$

上式中，軸向破壞位移 Δ_a 可由式(4.2)所求得。考慮柱剪力破壞模式之下，韌性比 μ 常小於 2，軸向破壞變位角之修正係數取 $k' = 1$ 計算。

依本文之剪力非線性鉸參數修改 V2 非線性鉸之 A~E 五個點(若進行 X 方向之側推分析，乃修改 V2 非線性鉸；若進行 Y 方向側推分析，則修改 V3 非線性鉸)。本文柱剪力破壞之側力載重位移曲線，僅需要三個點即可定義非線性鉸曲線，因此在非線性鉸參數設定上，將 C、D 與 E 點的值皆設定為到達軸向破壞位移時之參數。其中為使側推分析較不易造成非線性求解發散，可將 D 點及 E 點之位移值放大為 C 點 10 倍，此項設定並不會影響使用者所求得結果之準確性。

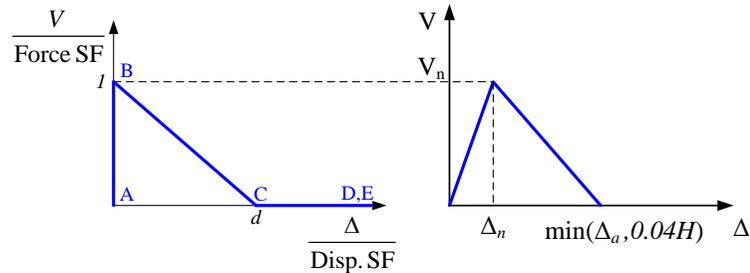


圖 4.10 剪力非線性鉸性質與側向載重位移曲線

表 4.2 RC 柱剪力非線性鉸之參數

| Points | Force/SF | Disp./SF |
|--------|----------|----------|
| A | 0 | 0 |
| B | 1 | 0 |
| C | 0 | d |
| D | 0 | 10d |
| E | 0 | 10d |