

鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊

— 視窗化輔助分析系統 SERCB Win2012 —



內政部建築研究所

鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊：視窗化輔助分析系統
Sercb Win2012 / 林冠禎, 邱毅宗, 林忠蔚執行編輯. -- 第
2 版. -- 新北市：內政部建研所, 民 101.04

面；公分

ISBN 978-986-03-2238-5(平裝)

1. 建築物 2. 防震 3. 電腦輔助設計 4. 系統分析

441.571029

101005917

鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊

—視窗化輔助分析系統 SERCBWin2012

出版機關：內政部建築研究所

發行人：何明錦

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

策劃：林建宏

編訂委員：蔡益超、宋裕祺、謝尚賢

賴明俊、許家銓、王俊穎、林冠禎、邱毅宗、粘晉銘

林忠蔚

系統網頁製作人：林冠禎

執行編輯：林冠禎、邱毅宗、林忠蔚

後製主編：鄒本駒

網址：<http://www.abri.gov.tw>

系統網址：<http://sercb.dyndns.org/SERCBWeb/Default.aspx>

電話：(02)8912-7890

出版年月：101年4月

版次：第2版第1刷

其他類型版本說明：無

定價：450元

展售處：政府出版品展售門市-五南文化廣場:台中市中山路6號

(04) 2226-0330 <http://www.wunanbooks.com.tw>

政府出版品展售門市-國家書店松江門市:台北市松江路209號1樓

(02) 2518-0207 <http://www.govbooks.com.tw>

內政部建築研究所員工消費合作社:新北市新店區北新路3段200號13樓

(02) 8912-7890 分機333 <http://www.abri.gov.tw>

GPN：1010100708

ISBN：978-986-03-2238-5(平裝)

內政部建築研究所保留本書所有著作權利，欲利用本書全部或部分內容者，
需徵求書面同意或授權。

序

鑑於建築物的耐震能力屢為國人關切課題，為符合社會所需，內政部頒佈 94 年實施的「建築物耐震設計規範及解說」中首次將既有建築物的耐震能力評估與補強相關規定納入規範中，從此除了新建建築物須達最新耐震設計規定外，對於既有建築物的耐震能力的提升也於設計規範中有了原則性規定，凸顯了耐震評估與補強的重要性。而為配合耐震設計規範，促進耐震評估與補強計畫的推動，本所彙集歷年研究成果，於 98 年編訂出版「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊」(第 1 版)。

建築物耐震能力評估及補強工作為地震防災業務重要工作，行政院於 921 地震發生之翌年(89 年)核定「建築物實施耐震能力評估及補強方案」，97 年該方案修正指定以公有建築物先行執行，由內政部負責推動及督導。另為增進推動效率，簡化採購作業程序，由營建署與相關專業廠商簽訂「建築物耐震能力詳細評估工作共同供應契約」，供各單位依循辦理委託採購，本手冊所訂評估法為其認可方法之一。

本手冊自第 1 版出版後，經由本所及研究團隊持續推動與研究精進之下，第 2 版大幅提昇了評估系統的功能性，以及程式操作的方便性。除感謝研究團隊的努力外，也請各位工程界先進多加利用，本手冊輔助分析程式可至本所網站(<http://www.abri.gov.tw/>建研所家族/建築物耐震能力評估系統)下載或直接至系統網址下載。期望新版耐震能力評估手冊在評估作業上成為一個有力的工具，幫助工程師正確地評估出建築物的耐震能力，提供建築物補強判斷之參考。

內政部建築研究所所長

何明錦

中華民國 101 年 4 月

鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊

—視窗化輔助分析系統 SERCBWin2012—

總目錄

	頁碼
Part 1、分析理論說明	
1. 鋼筋混凝土構材非線性行為之分析	1- 1
2. RC 牆非線性剪力行為之探討	1-14
3. 磚牆元素非線性行為之探討	1-32
4. 以結構性能為基準之鋼筋混凝土建築物耐震能力評估	1-44
5. 建築物耐震性能檢核標準	1-56
Part 2、視窗化輔助分析系統介紹	
1. 輔助分析系統之設計目標	2- 1
2. 輔助分析系統分析	2- 2
3. 輔助分析系統設計	2-11
4. 輔助分析系統實作	2-13
Part 3、操作手冊	
1. 簡介	3- 1
2. SERCB Win2012 功能說明	3- 4
3. 檔案格式說明	3-41
4. 範例說明	3-61
5. ETABS、MIDAS GEN 操作注意事項	3-67
Part 4、程式主要分析模組之驗證	
1. 梁柱構件之塑性鉸分析驗證	4- 1
2. RC 矮牆之分析驗證	4-19
3. 瑞埔國小現地側推實驗與分析成果之比較	4-23
附錄 A、ETABS 範例操作說明	A-1
附錄 B、MIDAS GEN 範例操作說明	B-1
附錄 C、網站功能介紹	C-1

參考書目D-1

Part 1 分析理論說明

1. 鋼筋混凝土構材非線性行為之分析.....	1-1
1.1 撓曲行為.....	1-1
1.1.1 鋼筋混凝土構材之彎矩-曲率關係.....	1-1
1.1.2 柱構材彎矩-轉角關係之建立	1-2
1.2 剪力行為.....	1-3
1.2.1 柱剪力強度-韌性比關係之建立	1-3
1.2.2 柱剪力強度-轉角與彎矩-轉角間關係之轉換.....	1-5
1.3 鋼筋混凝土柱破壞模式之判別.....	1-6
1.4 鋼筋混凝土柱塑性鉸之設定.....	1-7
1.4.1 ETABS、SAP-2000 及 MIDAS GEN 有關「塑性鉸」之設定研究.....	1-7
1.4.2 單柱式鋼筋混凝土柱塑性鉸之設定.....	1-9
1.4.3 構架式鋼筋混凝土柱塑性鉸之設定.....	1-11
2. RC 牆非線性剪力行為之探討	1-14
2.1 前言.....	1-14
2.2 軟化拉壓桿桁架模型之基本理論.....	1-14
2.3 矮牆基本力學原理.....	1-16
2.3.1 平衡方程式(Equilibrium).....	1-16
2.3.2 諧合方程式(Compatibility).....	1-18
2.3.3 混凝土軟化模式之組成律(Constitute Law)	1-19
2.3.4 鋼筋混凝土矮牆非線性容量曲線之分析流程.....	1-22
2.4 高牆基本力學原理.....	1-27
2.4.1 鋼筋混凝土高牆非線性容量曲線之分析流程.....	1-27
3. 磚牆元素非線性行為之探討.....	1-32
3.1 磚牆之抗剪能力計算法.....	1-33
3.1.1 磚牆之臨界破裂角.....	1-33
3.1.2 磚牆之破壞路徑	1-34
3.1.3 單片磚牆之水平剪力強度計算.....	1-38
3.1.4 磚牆極限點之割線彈性模數.....	1-41
3.1.5 磚牆極限點水平位移.....	1-41

3.1.6 磚牆之水平力與位移曲線.....	1-41
3.2 磚牆等值斜撐壓力塑鉸之模擬.....	1-42
3.2.1 以四邊圍束磚牆為例.....	1-42
3.2.2 以三邊圍束磚牆或窗台磚牆為例.....	1-43
4. 以結構性能為基準之鋼筋混凝土建築物耐震能力評估	1-44
4.1 靜態側推分析耐震性能曲線之建立.....	1-44
4.2 耐震性能評估流程.....	1-52
4.3 依規範規定之耐震性能計算程序.....	1-53
4.3.1 一般工址計算程序.....	1-53
4.3.2 台北盆地計算程序.....	1-54
5. 建築物耐震性能檢核標準.....	1-56
5.1 地震等級.....	1-56
5.2 結構容量曲線簡化原則.....	1-56
5.3 用途係數.....	1-57
5.4 耐震性能目標.....	1-57
5.5 耐震性能檢核.....	1-58
5.5.1 性能點定義.....	1-58
5.5.2 性能檢核標準.....	1-58

1. 鋼筋混凝土構材非線性行為之分析

1.1 撓曲行為

鋼筋混凝土構材典型的軸力與彎矩交互影響曲線如圖 1-1，圖中 A 點與 F 點分別代表純軸力與純彎矩作用下之狀態，其中 D 點則為平衡狀態點(即混凝土之極限壓應變與鋼筋降伏同時發生)，A~F 點分別對應的彎矩-曲率圖如圖 1-1(b)。圖 1-1(a)顯示 AD 區間屬混凝土受壓破壞控制模式，隨其軸力的減少，極限彎矩強度會有增加的現象，且其極限曲率亦會有上升的趨勢(即韌性較佳)；DF 區間屬鋼筋受拉降伏控制模式，當軸力逐漸降低，其極限彎矩強度亦有隨之減少的現象，但其極限曲率卻仍保持上升的趨勢，當軸力為零時，其極限彎矩強度為最小，但極限曲率為最大。

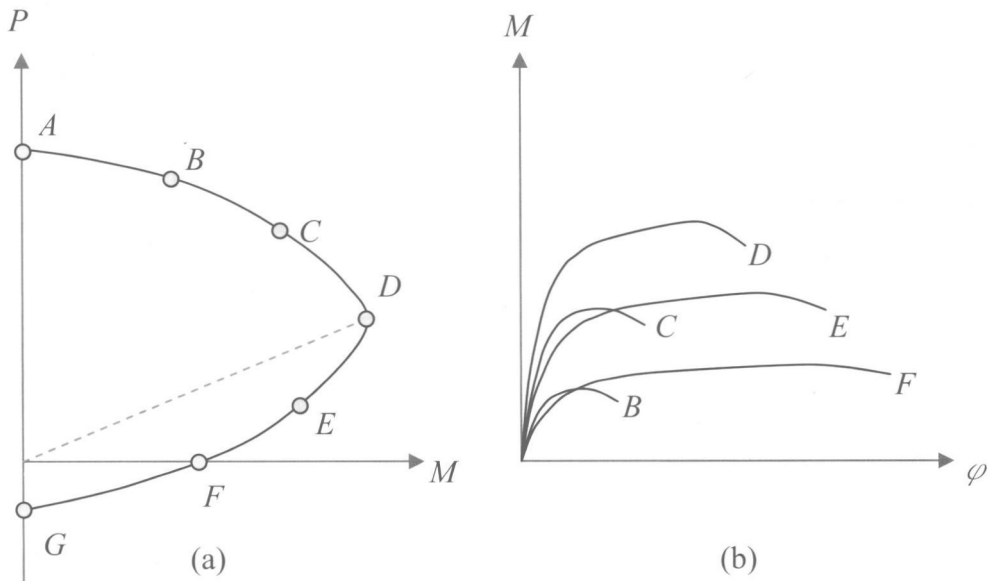


圖 1-1 鋼筋混凝土構材軸力-彎矩交互影響圖與彎矩-曲率示意圖

1.1.1 鋼筋混凝土構材之彎矩—曲率關係

斷面切片法為分析柱斷面彎矩-曲率的有效方法之一，該法首先將柱斷面切割為很多纖細的條狀纖維元素，設柱斷面之撓曲曲率為 ϕ ，各纖維元素中心距柱斷面受壓側最外緣處之距離為 x ，則各纖維元素之應變可表示如下：

$$\varepsilon_i = \varepsilon_c + \phi \cdot x \quad (1-1)$$

式中 ε_c 為受壓側最外緣處之應變。

將上式代入混凝土之組成律 $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ 可得各纖維元素之應力 σ_i ，因此各纖維元素所受軸力

$$N_i = \sigma_i \times \Delta A_i \tag{1-2}$$

式中 ΔA_i 為各纖維元素之面積。此時各纖維元素之軸力和與柱斷面所受軸力 N 應相等

$$\sum_{i=1}^n N_i = N \tag{1-3}$$

式中 n 為纖維元素之數目。柱斷面所受彎矩為

$$M = \sum_{i=1}^n N_i \cdot y_i \tag{1-4}$$

式中 y_i 為各纖維元素中心至斷面中心軸之距離。

固定軸力 N 並選定合宜的曲率增量 $\Delta\phi$ ，重複式(1-1)~式(1-4)，即可建立柱斷面的彎矩-曲率關係；若變動軸力 N 並重複前述流程，則可建立柱斷面的軸力-彎矩交互關係。

1.1.2 柱構材彎矩-轉角關係之建立

以柱構材底部之曲率作為控制值，逐次增加曲率，由前述建立完成之彎矩-曲率關係，可得到對應的柱構材底部彎矩 M_b ，此時柱構材所受水平力可計算如下：

$$P = M_b / h \tag{1-5}$$

式中 h 為柱構材高度。設某斷面 i 距柱構材頂部距離為 x_i ，則其彎矩為

$$M_i = P \cdot x_i \tag{1-6}$$

由彎矩-曲率關係可得其對應之曲率 ϕ_i ，利用曲率面積法將各斷面之曲率對長度 x_i 作積分，可求得柱構材頂部變位 δ 如下：

$$\delta = \int_0^h \phi_i x dx \tag{1-7}$$

其對應的等值轉角 θ 如下：

$$\theta = \delta / h \tag{1-8}$$

根據相關實驗成果顯示：當柱底產生塑性鉸時，將有塑性擴展(Plastic Penetration)現象，柱底會有一塑鉸區(Plastic Zone)，該區內曲率由柱底之極限曲率 ϕ_u 往上延伸到塑鉸區長度處之降伏曲率 ϕ_y ，塑鉸區長度通常以下式計算 (Priestley et al.，

1996)：

$$L_p = 0.08L + 0.022d_b f_y \geq 0.044d_b f_y \tag{1-9}$$

其中 L 為柱構材反曲點間之距離(mm)， f_y 為主筋降伏強度(MPa)， d_b 為主筋直徑(mm)。

考量上述塑性擴展現象，柱構材頂部極限變位 δ_u 如下：

$$\delta_u = \int_0^{h-L_p} \phi_i x dx + \int_{h-L_p}^h \phi_u x dx = \delta_e + \delta_p \tag{1-10}$$

式中 δ_e 即利用曲率面積法將斷面之曲率從柱頂積分至塑鉸頂部 $(h-L_p)$ 處的彈性變位； δ_p 表示對整個塑鉸區積分所得之塑性變位。
其對應的等值轉角 θ_u 便可計算如下：

$$\theta_u = \delta_u / h \tag{1-11}$$

因此柱構材彎矩-轉角 $(M_b-\theta)$ 之關係便可建立，計算流程如圖 1-2 所示。

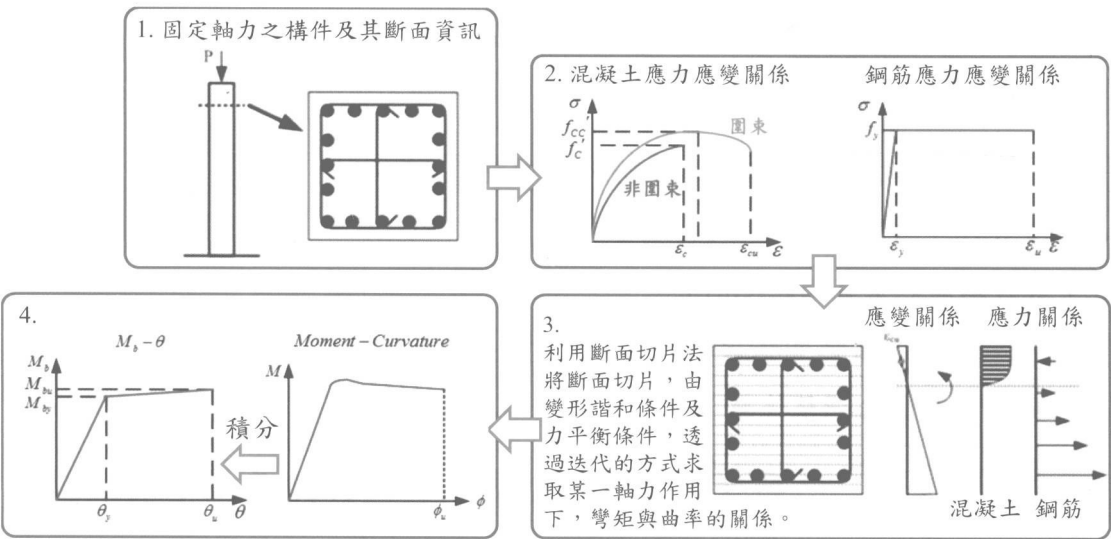


圖 1-2 柱構材(彎矩-轉角)之計算流程

1.2 剪力行為

1.2.1 柱剪力強度-韌性比關係之建立

鋼筋混凝土柱在承受地震力作用時，混凝土的剪力強度會隨柱韌性之增大而呈現遞減的現象。Priestley、Verma and Xiao (Priestley et al., 1994) 與 Aschhiem and Moehle (Aschheim et al., 1992) 等依據此種混凝土的剪力行為，均建議了相

關計算方法。

參考中國土木水利工程學會-混凝土工程設計規範與解說(401-96)(中國土木水利工程學會，2007)規定鋼筋混凝土之標稱剪力強度 V_n (kgf)計算如下：

$$V_n = V_c + V_s \quad (1-12)$$

箍筋提供之剪力強度 V_s (kgf) 計算如下，但不得超過 $2.12\sqrt{f'_c}A_e$ (kgf)：

$$V_s = \frac{\pi A_{sh} f_{yh} D}{2 a} \quad (\text{圓形斷面}) \quad (1-13)$$

$$V_s = A_{sh} f_{yh} \frac{d}{a} \quad (\text{矩形斷面}) \quad (1-14)$$

依據橋梁耐震設計規範修訂草案（交通部，2009）參考 Aschhiem 等人之研究成果但略作修正，規定橋柱塑鉸區混凝土剪力強度 V_c (kgf) 依下式計算：

$$V_c = 0.53(k + F)\sqrt{f'_c}A_e \geq 0 \quad (1-15)$$

$$k = \frac{4.2 - R}{3.2} \geq 0 \quad (1-16)$$

式(1-12)至(1-16)中

A_{sh} ：沿剪力方向箍筋之總斷面積(含輔助繫筋)(cm²)；

d ：沿剪力方向柱之有效深度(cm)；

a ：剪力鋼筋之垂直間距(cm)；

A_e ：有效剪力面積，可取為 $0.8A_g$ (cm²)；

F ：與軸力有關之調整係數；

$$F = \frac{N}{140A_g} \quad ; \quad \text{軸力為壓力時}$$

$$F = \frac{N}{35A_g} \quad ; \quad \text{軸力為拉力時}$$

N ：軸力(kgf)，壓力時取正值，拉力時取負值；

k ：混凝土剪力強度折減因子；

R ：位移韌性比；

A_g ：柱之全斷面積(cm²)；

D ：圓柱圍束區域之直徑(cm)；

橋柱非塑鉸區之標稱剪力強度可依式(1-12)計算，但其中

$$V_c = 0.53(1+F)\sqrt{f'_c} A_e \geq 0 \quad (1-17)$$

為反應柱之實際變形特性，本文修正式(1-16)如下

$$k = \frac{R_{\max} - R}{R_{\max} - 1} \geq 0 \quad (1-18)$$

式中 R 之計算係以轉角 θ 與降伏轉角 θ_y 之比值計算之， $R \geq 1$ 。 $R_{\max}$ 為最大韌性比， $R_{\max} = \theta_u / \theta_y$ 。據此，混凝土剪力強度與韌性比之關係 $V_n = f(R)$ 或剪力強度與轉角之關係 $V_n = g(\theta)$ 便可建立，如圖 1-3 所示。

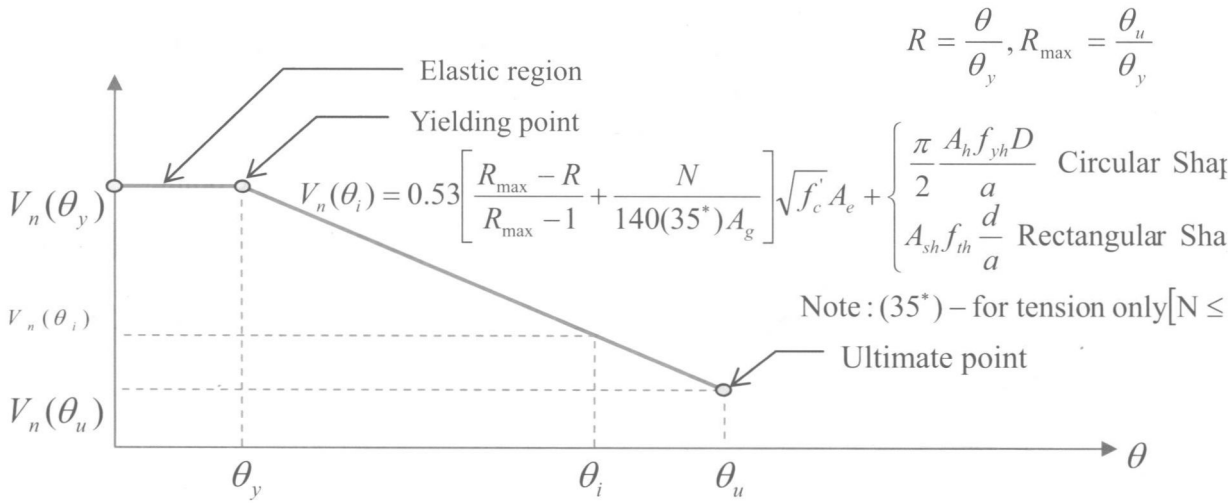


圖 1-3 混凝土剪力強度-轉角關係圖

1.2.2 柱剪力強度-轉角與彎矩-轉角間關係之轉換

為綜合討論柱的撓曲行為與剪力行為，茲將 1.2.1 節所得柱剪力強度-轉角的關係依不同狀況轉換為彎矩-轉角的關係如下：

1. 彈性階段與降伏階段(即 $\theta \leq \theta_y$ 時， θ_y 為降伏轉角)

$$M_{vy} = V_n(\theta) \times h \quad (1-19)$$

2. 極限階段(即 $\theta = \theta_u$ 時， θ_u 為極限轉角)

$$M_{vu} = V_n(\theta) \times (h - L_p / 2) \quad (1-20)$$

3. 塑性階段(即 $\theta_y \leq \theta < \theta_u$ 時)

$$M_v = M_{vy} + (M_{vu} - M_{vy}) \times \frac{R - 1}{R_{\max} - 1} \quad (1-21)$$

式中 $R = \theta / \theta_y$, $R_{\max} = \theta_u / \theta_y$, 如此即可建立彎矩轉角 ($M_v - \theta$) 的關係, 如圖 1-4 所示。

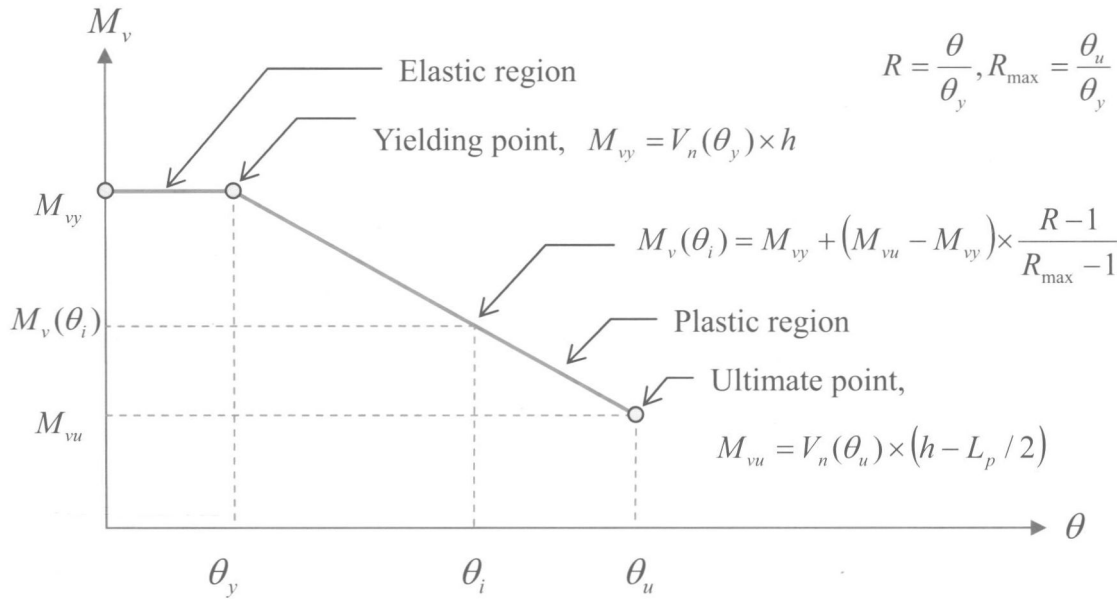


圖 1-4 混凝土柱剪力強度-轉角轉換至彎矩-轉角關係圖

1.3 鋼筋混凝土柱破壞模式之判別

將 1.1 節所得柱撓曲行為之彎矩轉角 ($M_b - \theta$) 圖與 1.2 節所得柱剪力行為之彎矩轉角 ($M_v - \theta$) 圖疊合, 可得圖 1-4。圖中顯示 $M_b - \theta$ 與 $M_v - \theta$ 間有三種可能的情況:

(1) 剪力破壞模式

如圖 1-5(a)所示, 在彈性階段下 (即 $\theta \leq \theta_y$), 柱剪力強度對應之彎矩 M_v 小於撓曲強度 M_b , 顯示剪力破壞會先行發生。此種破壞模式可稱為剪力破壞模式。

(2) 撓曲-剪力破壞模式

如圖 1-5(b)所示, 在彈性階段及部分塑性階段下, 柱剪力強度對應之彎矩 M_v 大於撓曲強度 M_b ; 但在某一臨界韌性比時二者會相等 (即 $M_v = M_b$); 當韌性比超過該臨界值時則有 $M_v < M_b$ 。顯示在該臨界韌性比之前, 柱會發生撓曲破壞; 在該臨界韌性比之後, 柱會發生剪力破壞。此種破壞模式可稱為撓曲-剪力破壞模

式。

(3) 撓曲破壞模式

如圖 1-5(c)所示，柱剪力強度對應之彎矩 M_v 大於撓曲強度 M_b ，顯示撓曲破壞會先行發生。此種破壞模式可稱為撓曲破壞模式。

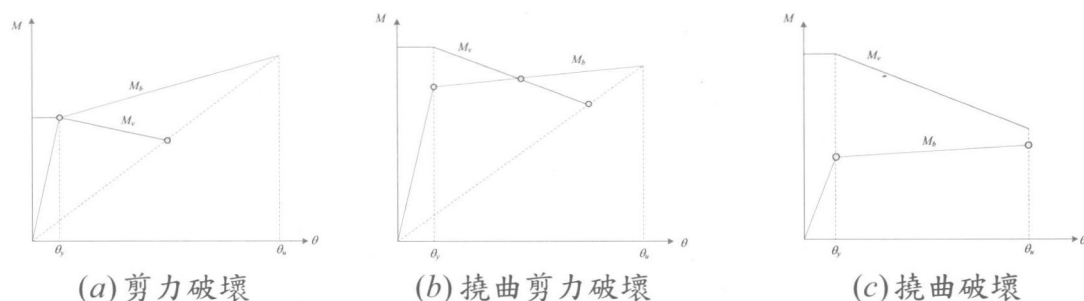


圖 1-5 鋼筋混凝土柱破壞模式之判別

1.4 鋼筋混凝土柱塑性鉸之設定

本系統採用 Kawashima 及 Mander 建議之混凝土組成律並根據 1.2 節所述理論，編撰 NARC-2004 程式（宋裕祺等，2004）進行鋼筋混凝土構材之非線性行為分析。由於 NARC-2004 程式係以單柱為分析目標，為能應用於實際鋼筋混凝土結構之設計與檢核，本文將以 NARC-2004 程式分析所得之構材特性，並配合工程界熟悉之 ETABS Nonlinear 或 MIDAS GEN 等分析軟體有關梁-柱元素「M3 塑性鉸」或「My 塑性鉸」之輸入方式，將 1.2 節計算結果作適度簡化，設定上述柱構件三種破壞模式對應之塑性鉸性質，並進行側推分析。本節首先針對 ETABS 及 MIDAS GEN 有關梁柱元素設定方式進行研究與探討，其後再針對單柱式與構架式鋼筋混凝土柱塑性鉸之設定方式作詳盡說明：

1.4.1 ETABS、SAP-2000 及 MIDAS GEN 有關「塑性鉸」之設定研究

ETABS 或 SAP-2000 目前針對混凝土梁柱桿件提供軸力（P）、剪力（V2、V3）、扭力（T）、彎矩（M2、M3）與軸力-雙向彎矩（P-M2-M3）等七種塑性鉸來模擬結構非線性行為。各塑性鉸的力學模型，係根據 FEMA273（1997）、FEMA274（1997）與 ATC40 等文獻之建議公式給予預設數值。使用者可在桿件

相同位置處指定兩種以上的塑性鉸性質。以同時在柱端設定剪力 V_2 與彎矩 M_3 塑性鉸為例，此種 V_2+M_3 的組合模式，經驗證並無法同時考量彎矩與剪力的互制效應，因程式判斷某一個塑性鉸性質（如 V_2 ）開始進入塑性階段後，將會自動以該塑性鉸性質作為構材非線性行為之計算依據，捨棄另一種塑性鉸性質（如 M_3 ），此種處理方式顯然無法詳實描述 1.3 節所述鋼筋混凝土柱之破壞模式。為了改善此現象，本文僅單一選用「 M_3 塑性鉸」來模擬構材之非線性行為。而 MIDAS GEN 提供軸力（ F_x ）、剪力（ F_y 、 F_z ）、扭力（ M_x ）、彎矩（ M_y 、 M_z ）等六種塑性鉸來模擬結構非線性行為，並於 MIDAS GEN 選用「 M_y 塑性鉸」較能準確模擬構材之非線性行為，其相關輸入資料則利用本文 1.1 節、1.2 節所述理論，將於 1.4 節詳細說明之。

M_3 或 M_y 塑性鉸主要係模擬梁-柱元素在可能產生塑性鉸位置處之斷面強軸方向「彎矩-塑性轉角」之關係。ETABS 或 MIDAS GEN 所需輸入資料為圖 1-6(a) 所示之 A~E 等五個控制點，以及構材降伏彎矩、降伏轉角與性能檢核點等數值。控制點所描繪之曲線如同一非線性彈簧， $\overline{AB}$ 段代表彈性行為、B~E 段為非線性行為。程式預設降伏彎矩與降伏轉角所在位置為 B 點。性能檢核點分為立即修復 (Immediate Occupancy, IO)、生命安全 (Life Safety, LS) 與崩塌防止 (Collapse Prevention, CP) 三個階段，僅用於區分塑性鉸性能狀態，並不影響側推分析結果。

側推分析時，實際上係以增量變勁度法進行結構非線性分析。 $\overline{AB}$ 段代表桿件彈性行為；ETABS 使用手冊揭示，無論使用者如何定義「彎矩-塑性轉角」中之 $\overline{AB}$ 關係，程式均不予理會，其彈性勁度係以斷面特性與楊氏係數之輸入資料為準。B 點為程式內定非線性行為的起點，即計算塑性轉角的開始，當彎矩大於 M_B 時，程式自動以 B、C 點計算新的勁度，彎矩與轉角的發展沿 $\overline{BC}$ 段由 B 點向 C 點持續前進；當彎矩大於 M_C 時，新的勁度就依 $\overline{CD}$ 段之斜率決定，彎矩與轉角的發展沿 $\overline{CD}$ 段從 C 點向 D 點持續前進，以此類推至 E 點。

一般而言，由於鋼筋混凝土具有混凝土開裂行為，混凝土開裂後會有輕微的勁度軟化。為反應此現象，本文將 B 點定義為開裂彎矩 M_{cr} 與開裂轉角 θ_{cr} ，並將降伏點由程式預設之 B 點順延至 C 點，如圖 1-6(b) 所示，讓各控制點數值以 C 點為參考點作正規化動作。降伏彎矩 M_C 及降伏轉角 θ_C 按下述定義方式輸入，但實際數值必須考量剪力行為影響再作判斷，因此 C、D、E 點視不同破壞模式會有不同定義，詳細說明如後所述。

值得注意的是，如圖 1-6(a) 所定塑性鉸性質，ETABS 程式會認定該塑性鉸屬

剛塑性 (Rigid Plastic) 模式，因此側推分析結果報表中所列 M3 塑性鉸的轉角值，僅為塑性部分的轉角量，必須疊加 B 點的轉角（即 θ_y ）才能得到總轉角。若採用本文建議方法，需留意 B 點已修正為混凝土開裂狀態，非降伏狀態， $(M_B = M_{cr} \neq M_y)$ 、 $(\theta_B = \theta_{cr} \neq \theta_y)$ ，側推分析所得 M3 塑性鉸之轉角需再加上 θ_{cr} 才能得真正的總轉角。

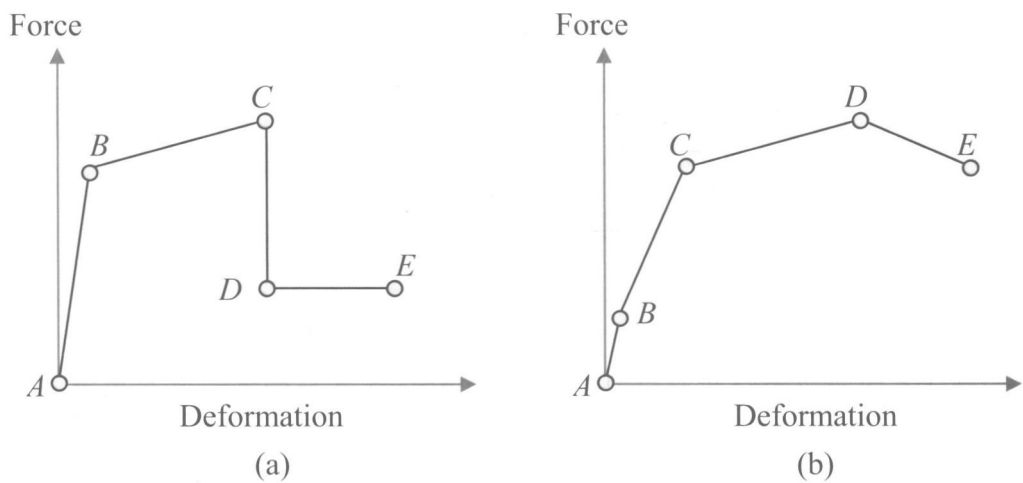


圖 1-6 (a) ETABS、MIDAS GEN 預設塑鉸曲線示意圖與(b)本文建議之塑鉸曲線示意圖

1.4.2 單柱式鋼筋混凝土柱塑性鉸之設定

(1) 剪力破壞模式

如圖 1-7 所示，塑性鉸特性可以圖中之 A~E 等五點描述之。其中 A 點為原點；B 點為混凝土開裂點；C 點為 M_{vy} 與 M_b 之交點；D、E 點可同設為對應於式 (1-20) 之 M_{vu} 與 θ_u 之座標點。