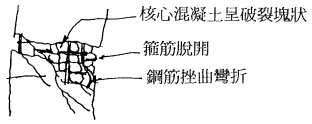
建築物結構補強對策
與建築物隔震、消能應用

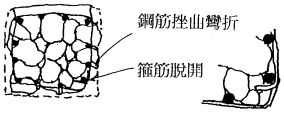
林鴻志

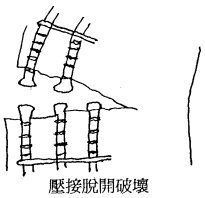
建築物震害類型

建築災害破壞類型圖解	RC 柱之破壞	編號：T01

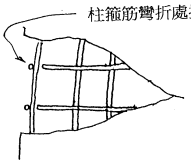
柱之破壞類型

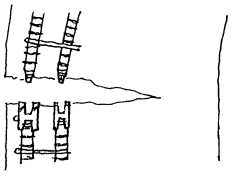




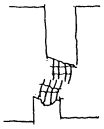


壓接脫開破壞

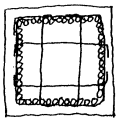




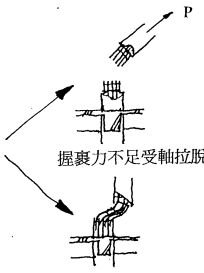
續接器脫開破壞



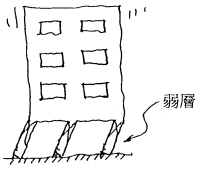
同一搭接面之破壞



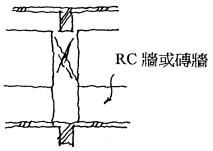
搭接處鋼筋過密



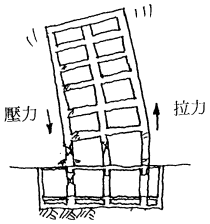
建築災害破壞類型圖解	典型之破壞(一)	編號：T02



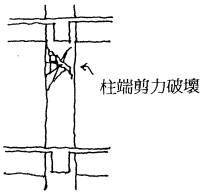
弱層剪力破壞



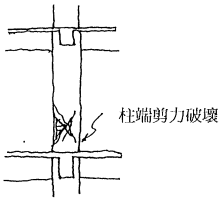
短柱剪力破壞



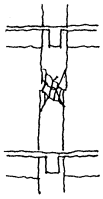
柱軸壓破壞



柱頂端剪力破壞

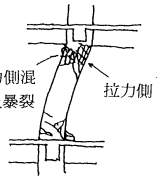


柱底端剪力破壞

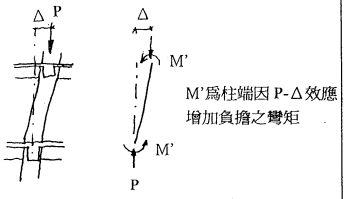


柱中央剪力破壞

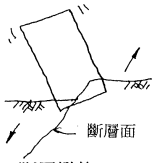
建築災害破壞類型圖解	典型之破壞(二)	編號：T03



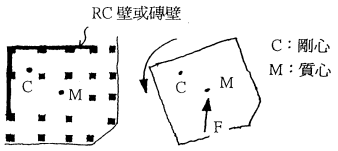
柱彎曲破壞



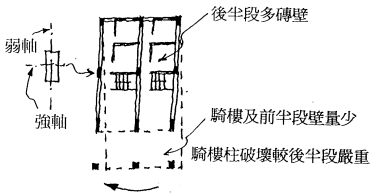
P-Δ 效應



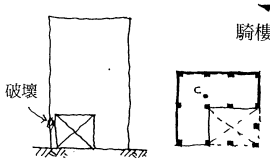
斷層變位



角間扭轉型破壞

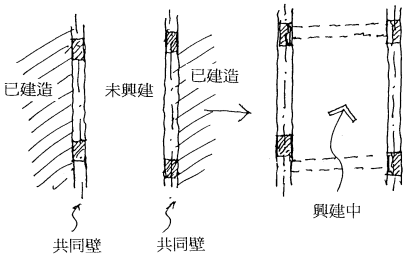


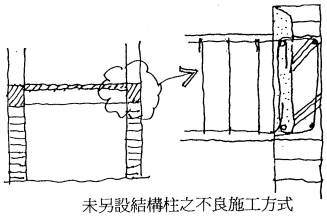
騎樓扭轉型破壞



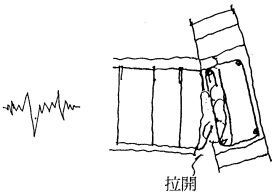
底部挑高扭轉型破壞

建築災害破壞類型圖解	共同壁街屋之破壞	編號：T04

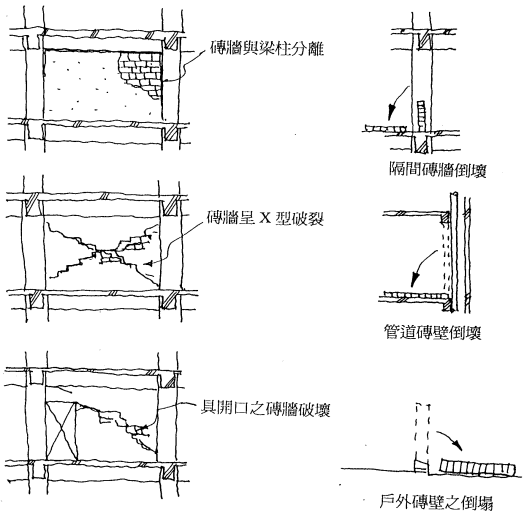




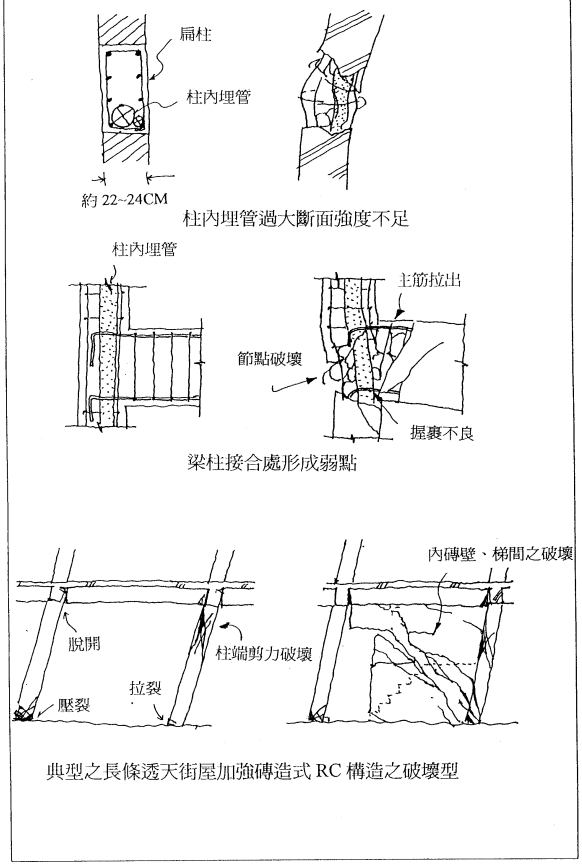
未另設結構柱之不良施工方式



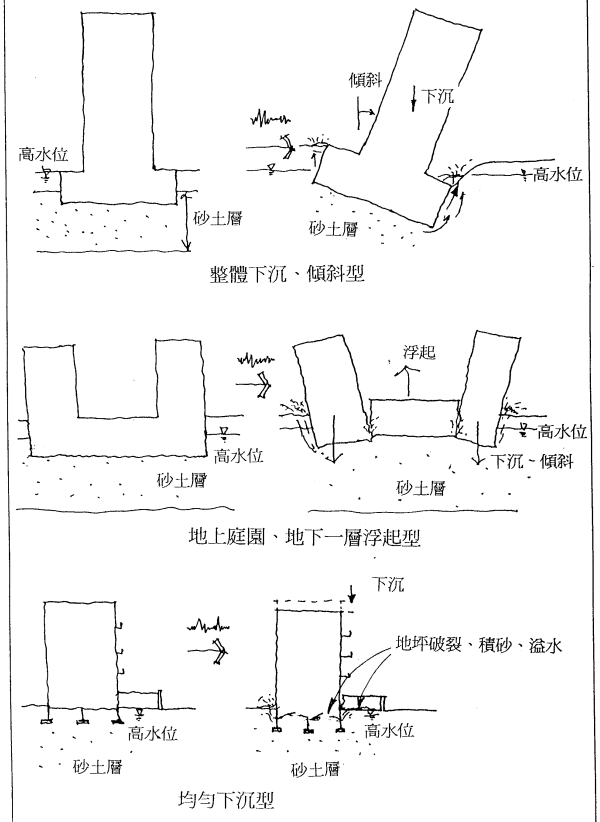
建築災害破壞類型圖解	非結構磚壁之破壞	編號：T05



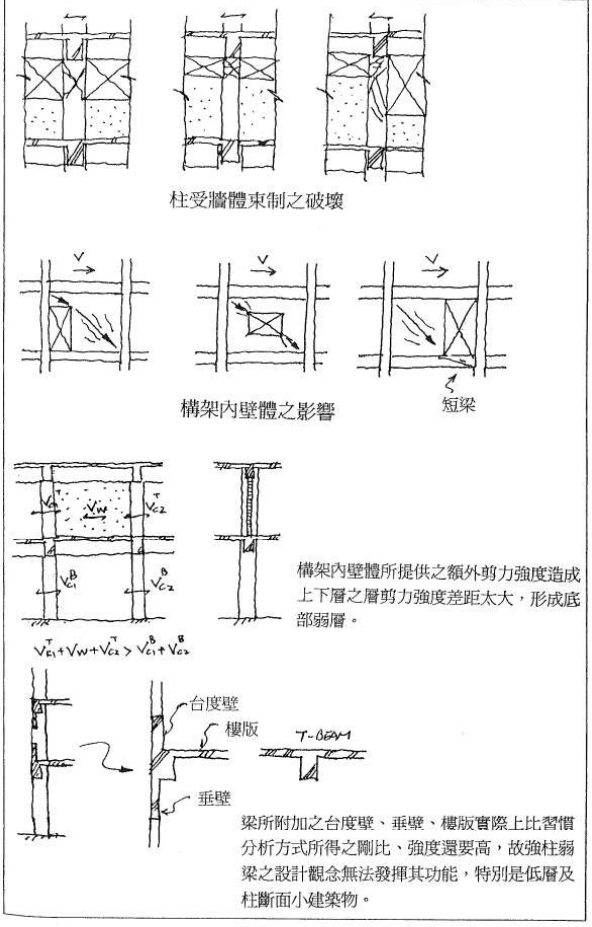
建築災害破壞類型圖解	長條型透天街屋之扁柱破壞	編號：T06

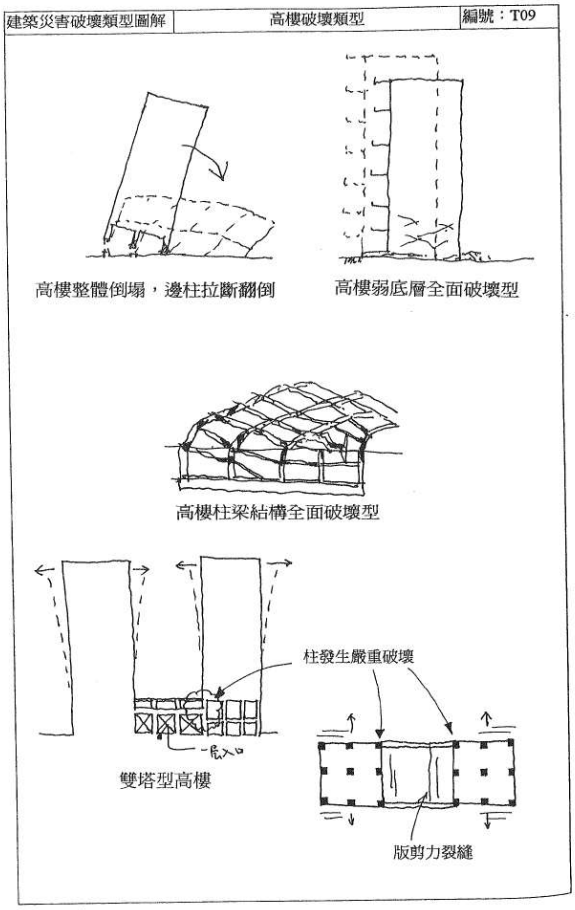


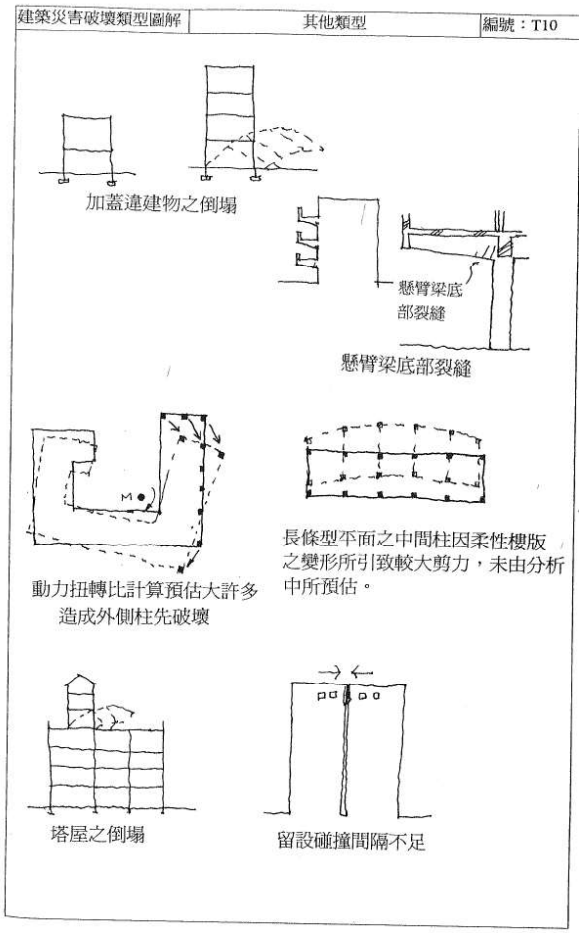
建築災害破壞類型圖解	液化之破壞類型	編號：T07



建築災害破壞類型圖解	構架內壁體之影響	編號：T08







耐震能力不足的原因

- 設計年期之規範
- 構材結構設計(尺寸配筋)
- 施工問題
- 結構分析與現場差異過大
- 韌性細節
- 未考慮之非結構影響
- 材料強度
- 其他

RC構材基本之補強概念

- 彎矩強度補強
- 剪力強度補強
- 剪力強度補強-韌性提昇
- 彎矩強度補強-應配合剪力強度提昇

既有牆面的影響

- 結構設計階段視為載重,通常不考慮其貢獻

原因:1.結構上難以分析或考慮日後變更

2.外牆部份需有防雨通風採光功能較雜

- 既有牆面對耐震貢獻正負面互見
- 影響:1. 短柱、短梁問題
- 2.增加耐震能力
- 3.上層牆量大於下層產生弱層
- 4.造成平面剛心質心偏移扭轉

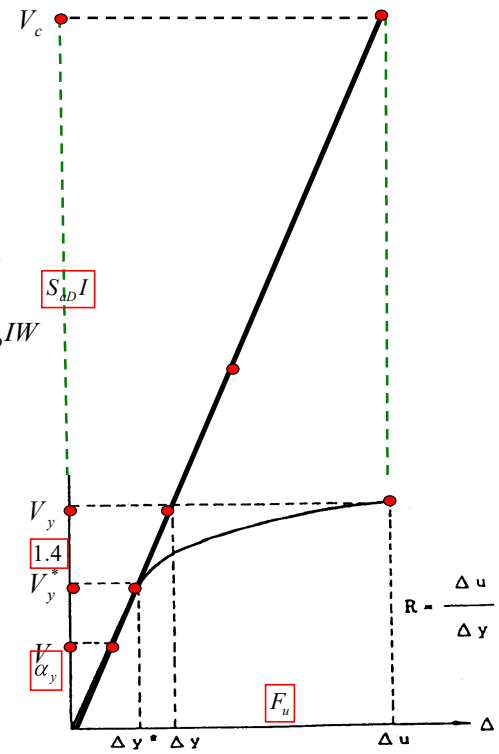
- 1996年(85年)以後耐震規範定義之最小地震橫力V
- 地震橫力為彈性反應力除以1.4及起始降伏係數及韌性容量而得
- 地震橫力為彈性反應係數85年~94年6月為ZC,94年7月後改為 S_{aD}

$$V = \frac{S_{aD} I}{1.4 \alpha_y F_u} W$$

$$V_y^* = 1.4 \times V = \frac{S_{aD} I}{\alpha_y F_u}$$

$$V_y = 1.4 \times \alpha_y \times V = \frac{S_{aD} I}{F_u} W$$

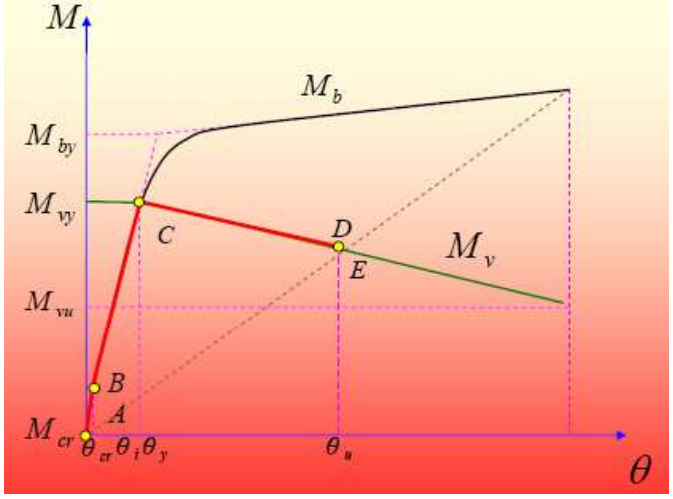
$$V_c = 1.4 \times \alpha_y \times F_u \times V = S_{aD} I W$$



以RC構材塑鉸模型解釋力學行為

Mb代表由橈曲強度控制之彎矩值

Mv代表由剪力強度控制之彎矩值

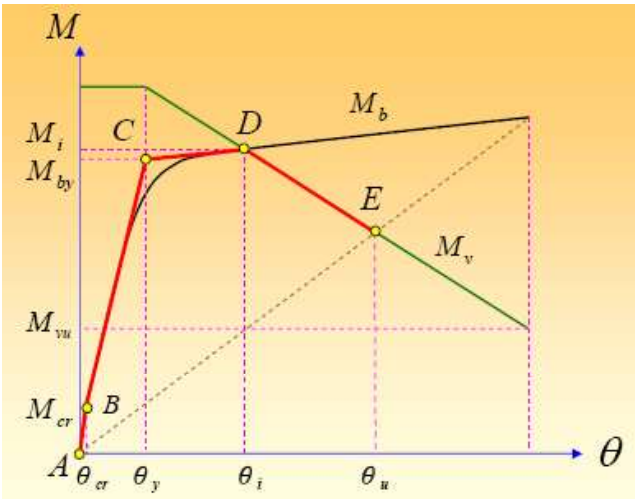


◆**剪力破壞模式**塑性鉸-剪力強度控制之彎矩小於撓曲強度，顯示剪力破壞會先行發生。**韌性差**

以RC構材塑鉸模型解釋力學行為

Mb代表由橈曲強度控制之彎矩值

Mv代表由剪力強度控制之彎矩值

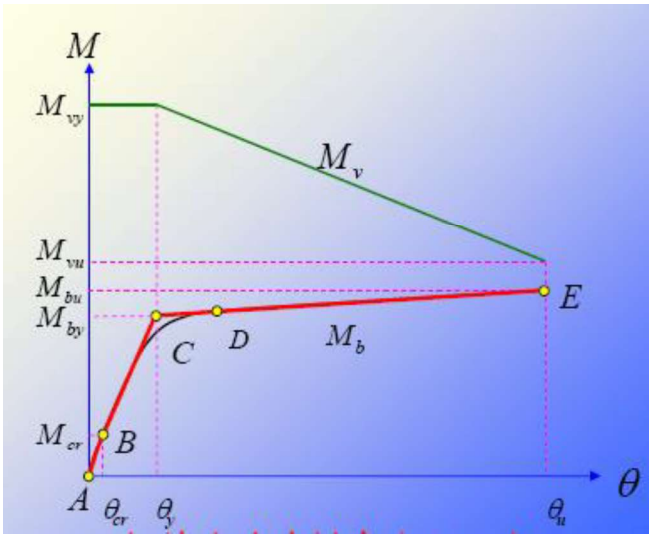


◆**撓曲-剪力破壞模式**塑性鉸-在彈性階段及部分塑性階段下，剪力強度對應之彎矩大於撓曲強度；但在某一臨界韌性比時二者會相等；在該臨界韌性比之前為撓曲破壞；在該臨界韌性比之後為剪力破壞。**韌性居中**

以RC構材塑鉸模型解釋力學行為

Mb代表由撓曲強度控制之彎矩值

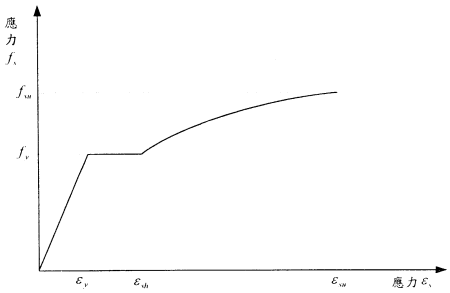
Mv代表由剪力強度控制之彎矩值



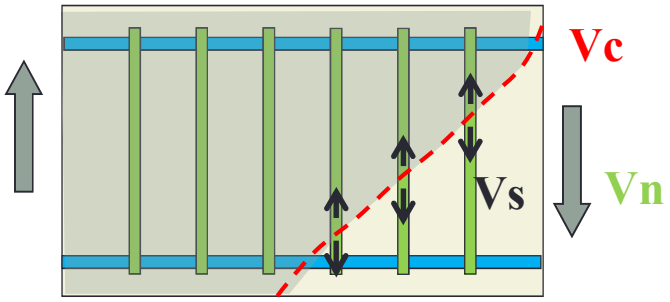
◆撓曲破壞模式塑性鉸-柱剪力強度對應之彎矩大於撓曲強度，顯示撓曲破壞會先行發生。韌性佳

RC構材韌性主要來源-鋼筋受拉應變

- 1.彈性區
- 2.降伏區
- 3.應變硬化區

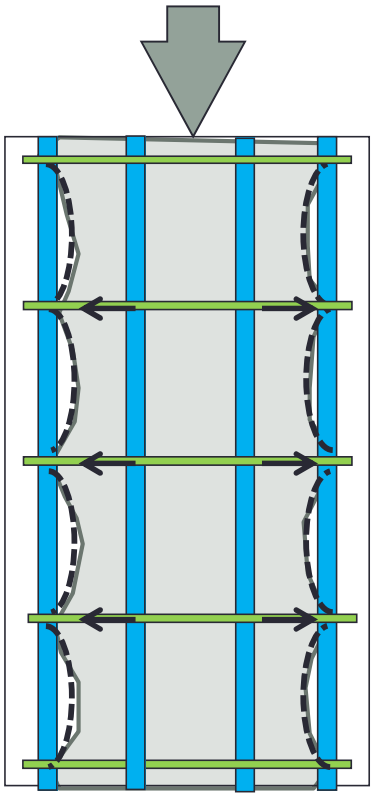


RC構材的剪力強度來源



Vn=Vc+Vs

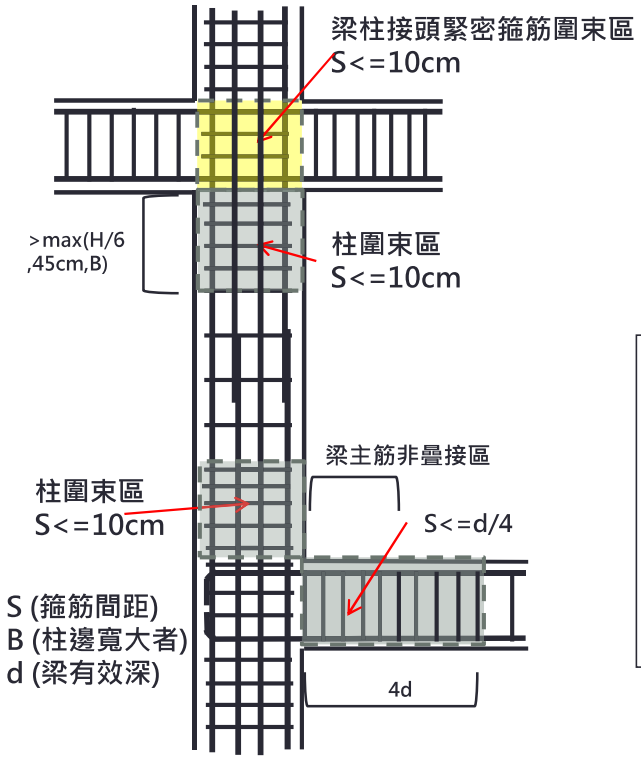
RC柱筋受壓力行為



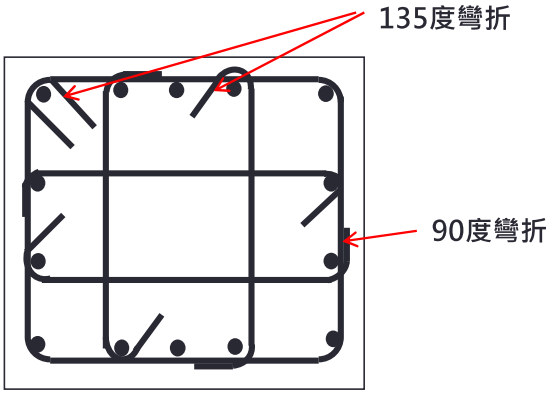
柱箍筋作用

- 1.柱剪力
- 2.圍束作用使主筋發揮軸載力
- 3.韌性發揮

韌性細節



- 85年以前屬於強震區、中震區，組構係數採K=0.67、0.8者適用建築技術規則構造篇第四節「耐震設計之特別規定」；故弱震區或中震區採K=1、1.33者未適用此節
- 柱底未限制疊接但需依拉力或壓力鋼筋疊接規定加長握持長度



(依81年版建築技術規則)

補強策略

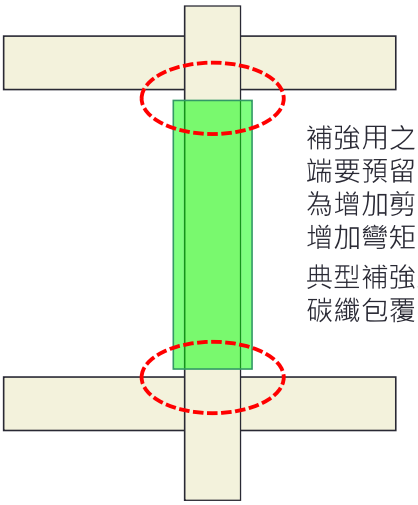
- 1.構材強度與韌性的提昇
- 2.減少破壞韌性部位
- 3.降低地震反應力
- 4.系統性補強

補強對象

- 1.震災緊急補強
- 2.耐震能力補強

增加韌性之補強

- 1.補強彎矩 -
- 2.補強韌性 √
- 3.補強剪力 √

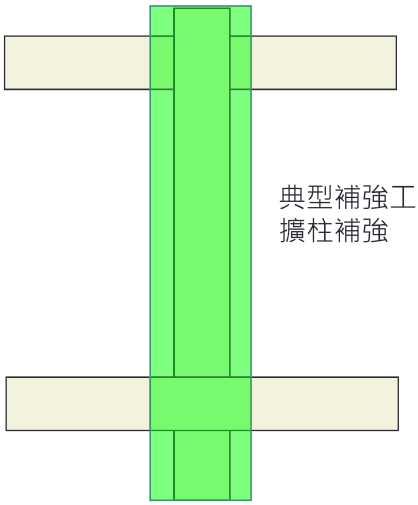


補強用之包覆層與基礎頂端要預留間隙。目的主要為增加剪力強度及韌性不增加彎矩強度

典型補強工法-鋼鈑包覆柱,碳纖包覆柱

增加強度與韌性之補強

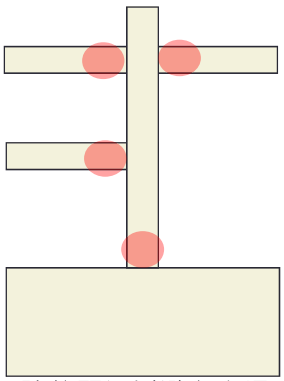
- 1.補強彎矩 √
- 2.補強韌性 √
- 3.補強剪力 √



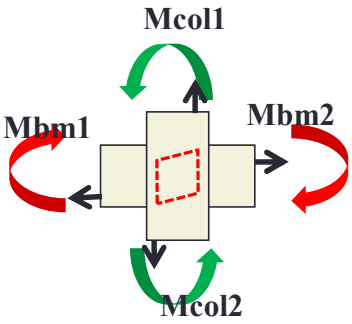
典型補強工法-擴柱補強

梁補強必要性與否

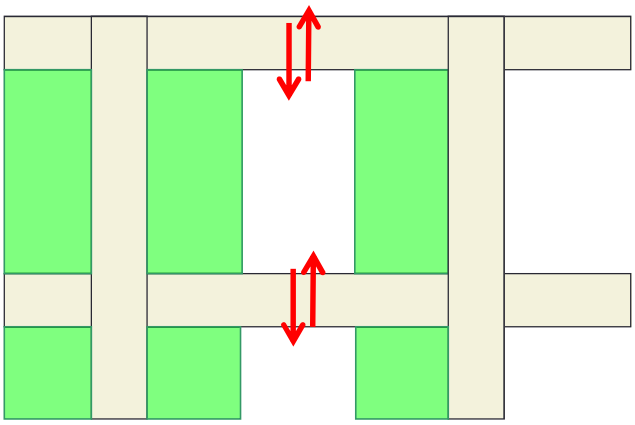
- 理想的耐震構架在梁柱接合處應讓上下柱端彎矩強度和大於梁彎矩強度和,目的是讓塑鉸發生在梁端(基層處側移小除外)使其為強柱弱梁以避免崩塌太早發生
- 實際上梁的強度受構造上的影響如樓板及牆面等可能會比分析大些,為實施同時增加梁的彎矩及剪力強度施工難度較高
- 梁柱接合之高剪力來自塑鉸,目前有柱擴大法可增加部份剪力強度
- 補強時仍以柱構件優先,若有造成短梁問題時再適時考慮補強



強柱弱梁以避免崩塌太早發生



Mcol1+Mcol2>
Mbm1+Mbm2



翼牆補強配合檢討短梁

補強方法

- 1.擴柱補強
- 2.翼牆補強
- 3.剪力牆補強
- 4.韌性提昇補強
- 5.鋼框補強
- 6.系統補強
- 7.消能補強

- 補強方法相當多樣,須注意其補強結構分析與補強工法須確認是否合適

補強分析法之採用-耐震能力詳細評估之兩種推倒分析

- 95年建研所蔡益超教授與宋裕祺教授等人之「鋼筋混凝土建築物耐震能力評估之案例示範」為以容量震譜推倒分析法進行詳細評估，其後續研究所提供之代表程式名為SERCB，其結構分析引擎為ETABS。
- 97年國家地震工程研究中心之「校舍結構耐震評估與補強技術手冊」與前者類似，為以容量震譜推倒分析法進行詳細評估，代表程式以後處理計算程式BWPH、COLPH、SWPH及PGA等，其結構分析引擎為ETABS。
- 目前國家地震工程研究中心之分析法適用於七層以下建築物

建研所與國震中心兩種推倒分析法之差異

- 塑鉸定義不同

- 建研所所採用塑鉸定義係依據桿件塑鉸區段及韌性容量R所推導之塑鉸強度而得，而國震中心所採塑鉸認為與R無關，而是以國外研究建議的塑鉸定義而來， 主要特徵為在剪力破壞的預測上，國震中心遞減程度更大。另外，國震中心並不計降伏前之應變。
- 由於建研所塑鉸已隱含剪力破壞，故通常未建議分析者在可能發生剪力破壞之部位如短柱上設定剪力塑鉸。

建研所與國震中心兩種推倒分析法之差異

- 強度折減不同

- 國震中心版在作推倒分析時認為構架在接近極限狀態時構架已大部份產生龜裂，故將斷面EI值折減，並以評估結果作位移控制當做性能點加速度來作為標準比較；而建研所版認為其塑鉸已為切線勁度故不需折減與國震中心之割線勁度不同(?)。

- 軸力影響

- 建研所版之塑鉸對軸力影響考慮較周詳，卻有分析上較繁複的問題，國震中心版則未考慮。

建研所與國震中心兩種推倒分析法之差異

- 分析結果之判定(國震中心)

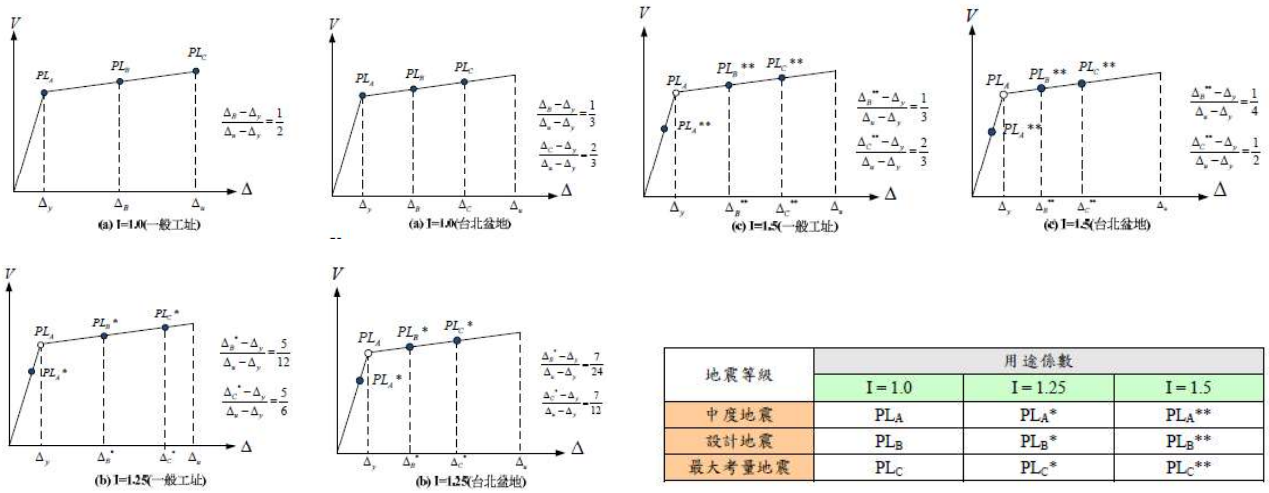
- 國震中心所提之耐震標準評定方式係以性能點對應之加速度作比較。以I=1.25之校舍而言其耐震標準是以其達Vmax時對應之加速度來衡量。據國震中心之解釋為實驗顯示分析結果偏保守，故以其視為一般校舍之耐震標準。

用途分組	A_p		A_T
$I=1.0$	$0.80V_{max}^{+}$	$D_R^T=3.0\%$	$0.4S_{DS}$
一般校舍 $I=1.25$	V_{max}	$D_R^T=2.0\%$	$0.4S_{DS}$
緊急避難用校舍 $I=1.5$	$0.80V_{max}^{-}$	$D_R^T=1.0\%$	$0.4S_{DS}$

建研所與國震中心兩種推倒分析法之差異

- 分析結果之判定(建研所)

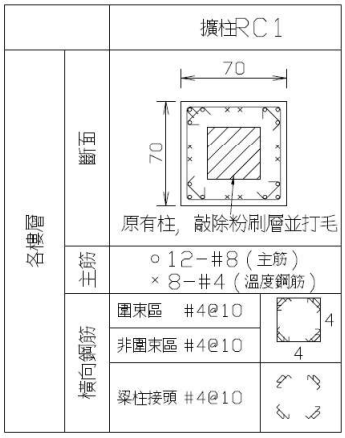
- SERCBWin新定義的耐震評估標準已非以往僅以475年回歸期地震加速度來衡量，結果是定出現行耐震規範所有的三項原則下所定義之性能點加速度標準。

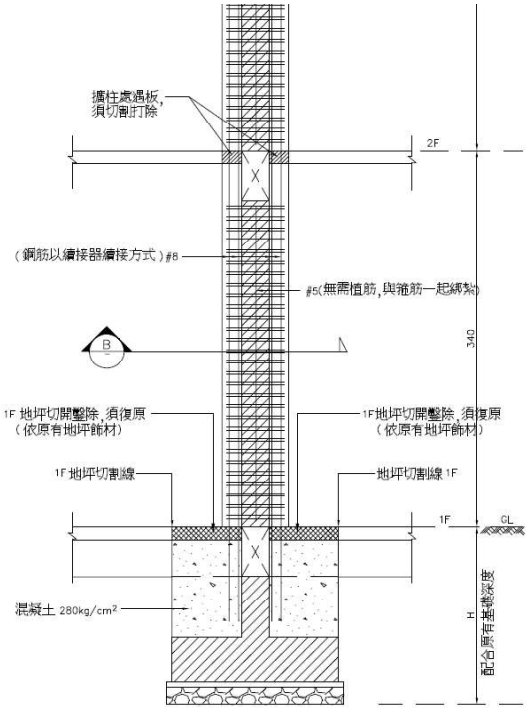


地震等級	用途係數		
	I = 1.0	I = 1.25	I = 1.5
中度地震	PL_A	PL_A*	PL_A**
設計地震	PL_B	PL_B*	PL_B**
最大考量地震	PL_C	PL_C*	PL_C**

RC柱擴大法

- RC柱擴大法
  -對剪力、彎矩強度、軸壓強度、韌性均有正面貢獻,目前應用廣泛





RC柱擴大法

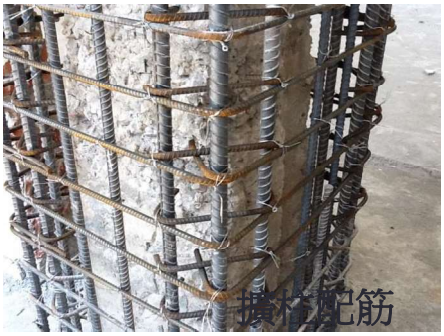
基礎擴大補強處挖方

基礎擴大補強處挖方

基礎擴大補強配筋

基礎灌漿

RC柱擴大法


擴柱配筋

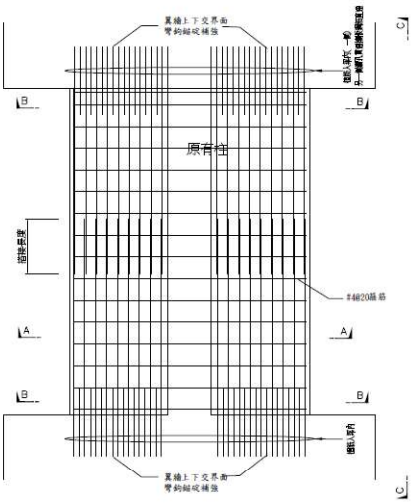
擴柱配筋

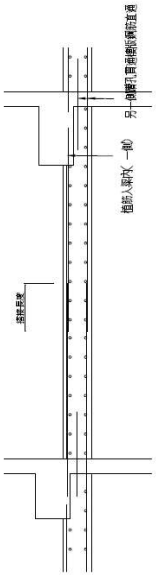
樓板打孔

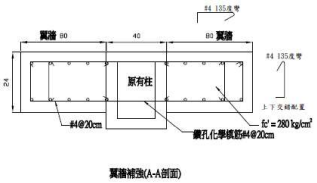
擴柱配筋

模後鄰柱處復原施工

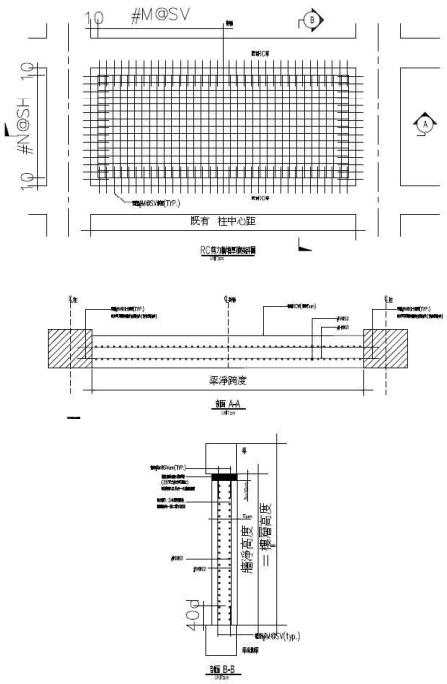
RC翼牆補強



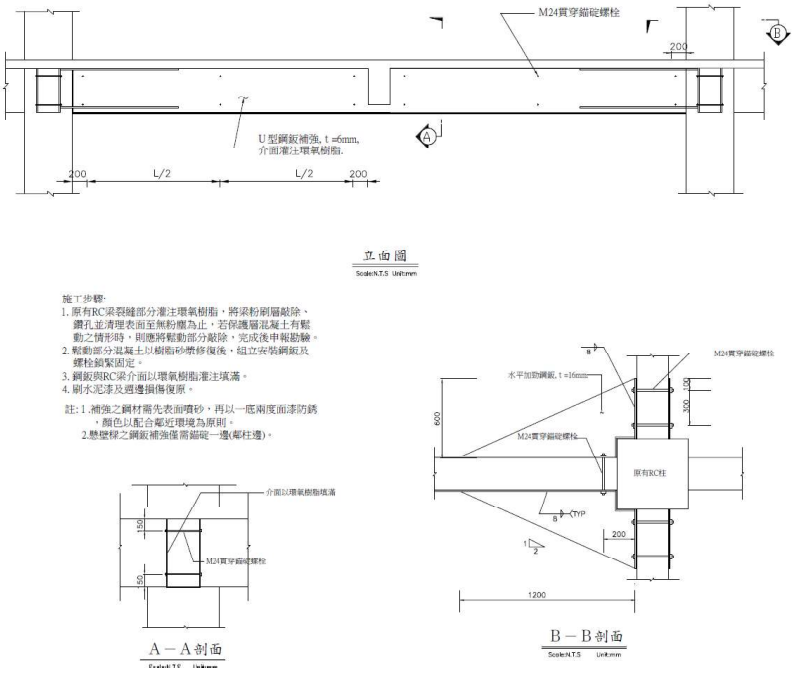




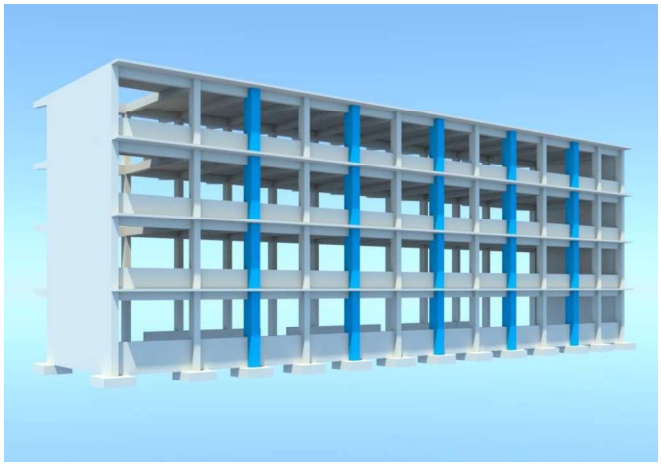
RC剪力牆補強



- 鋼板補強對於柱梁端部之彎矩強度貢獻並不明確須進一步設計



蕭興台/南投縣（各鄉鎮市）各中小學校校舍結構補強工程設計施工圖說

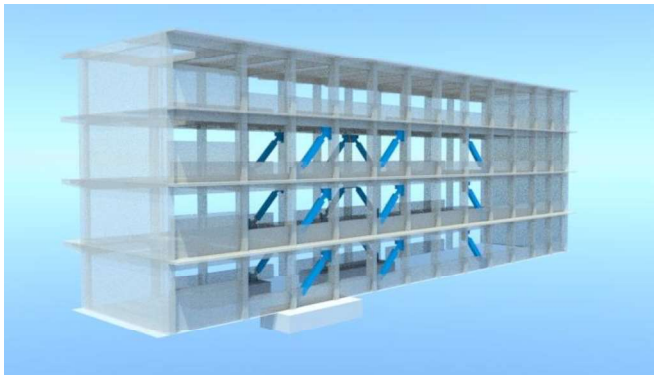


擴柱補強

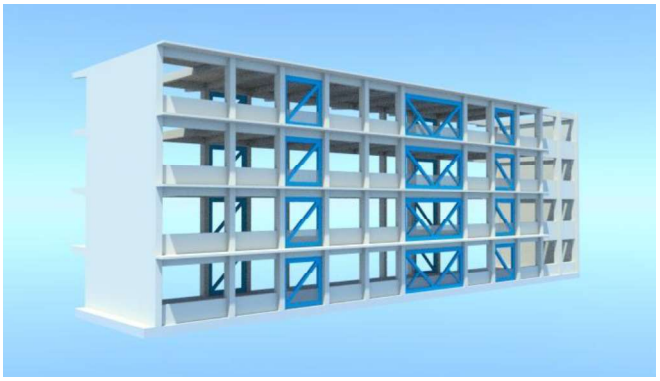
翼牆補強

剪力牆補強

增設構架補強

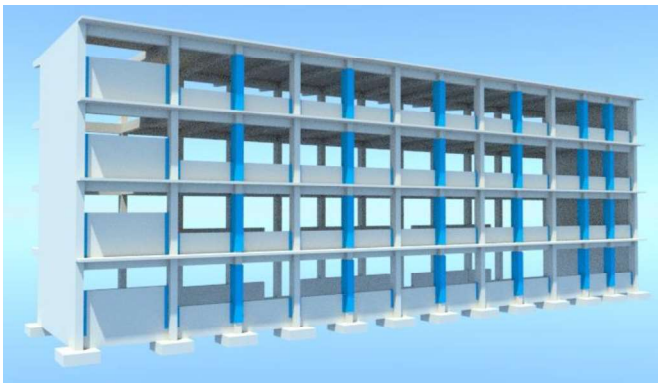


增設消能構件補強

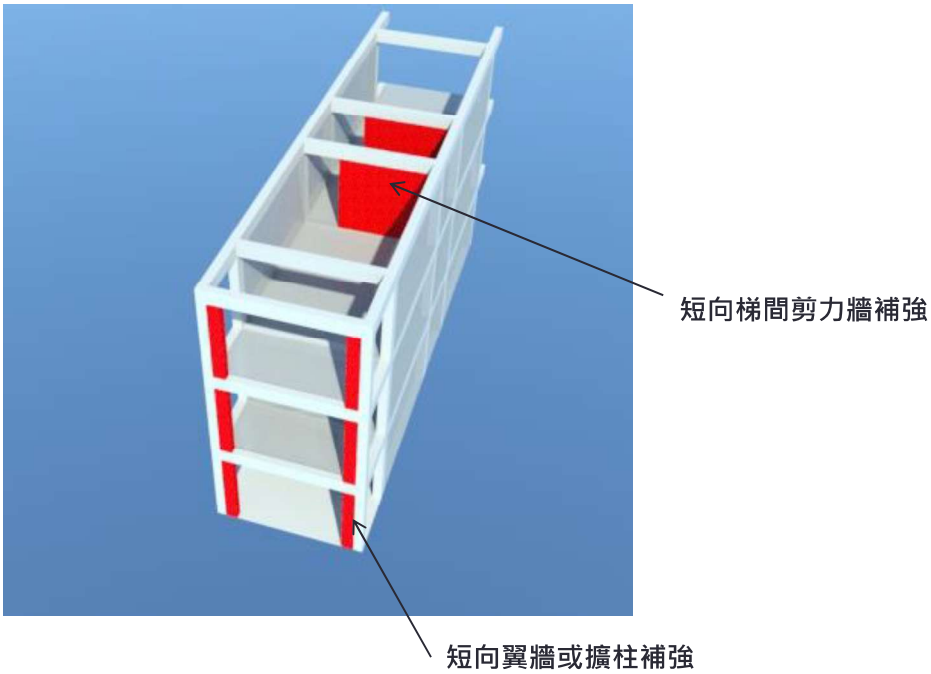


增設斜撐鋼框補強

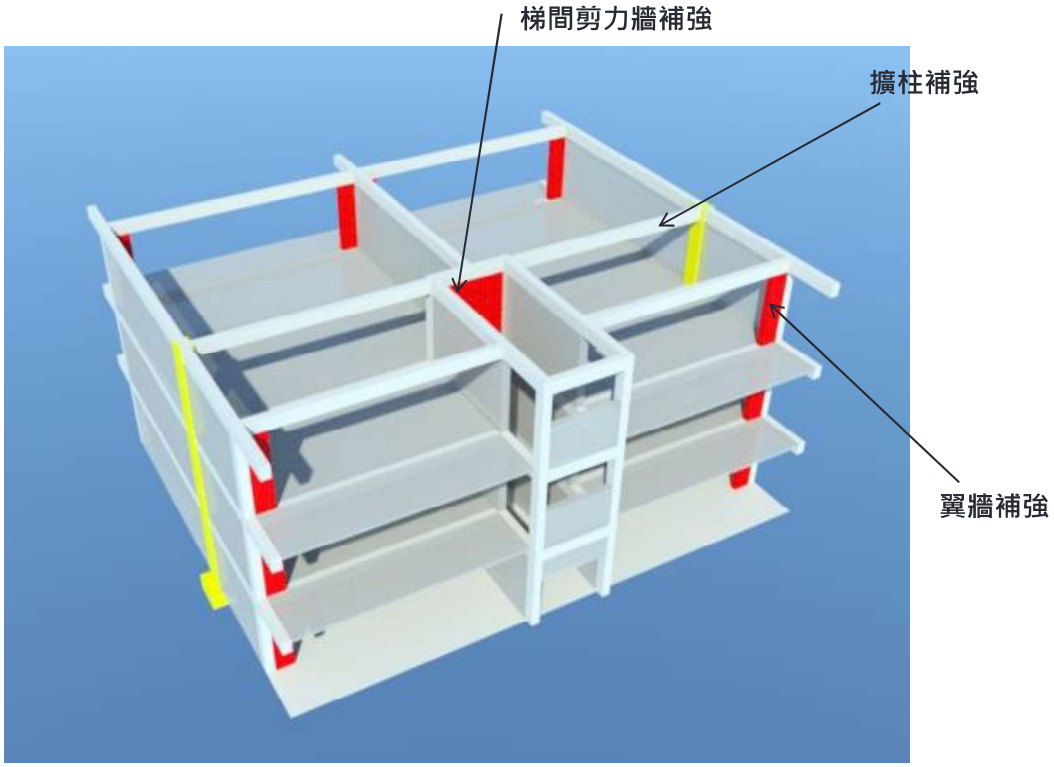
增設中間柱補強



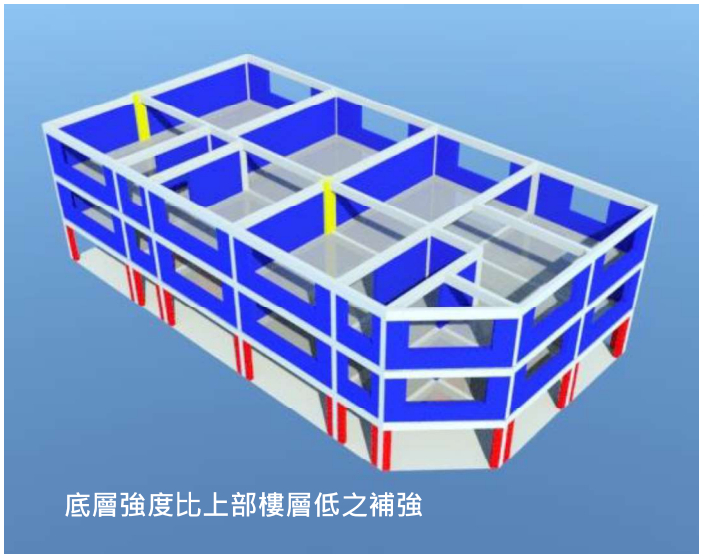
韌性提昇補強

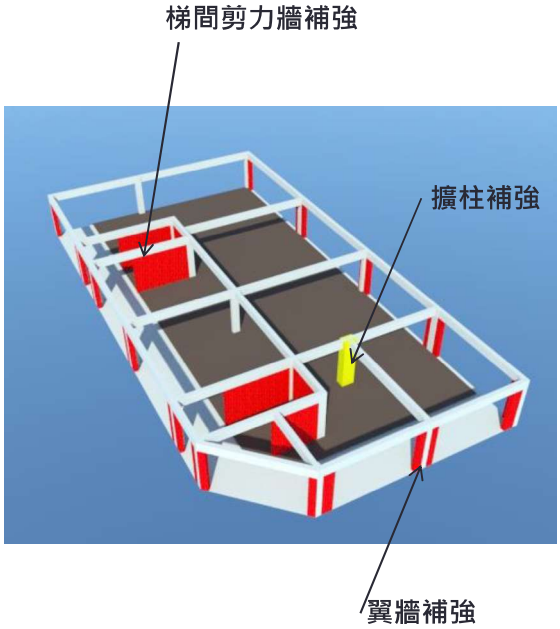


低層長型街屋補強

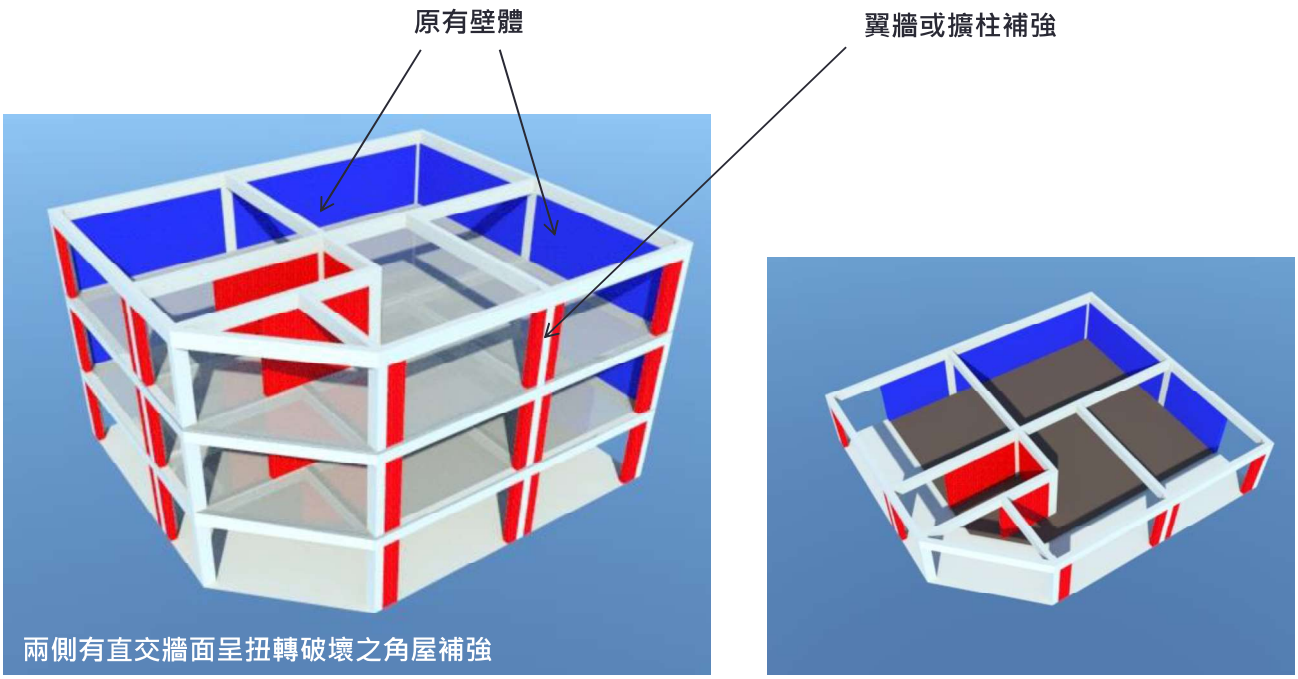


低層雙拼屋補強



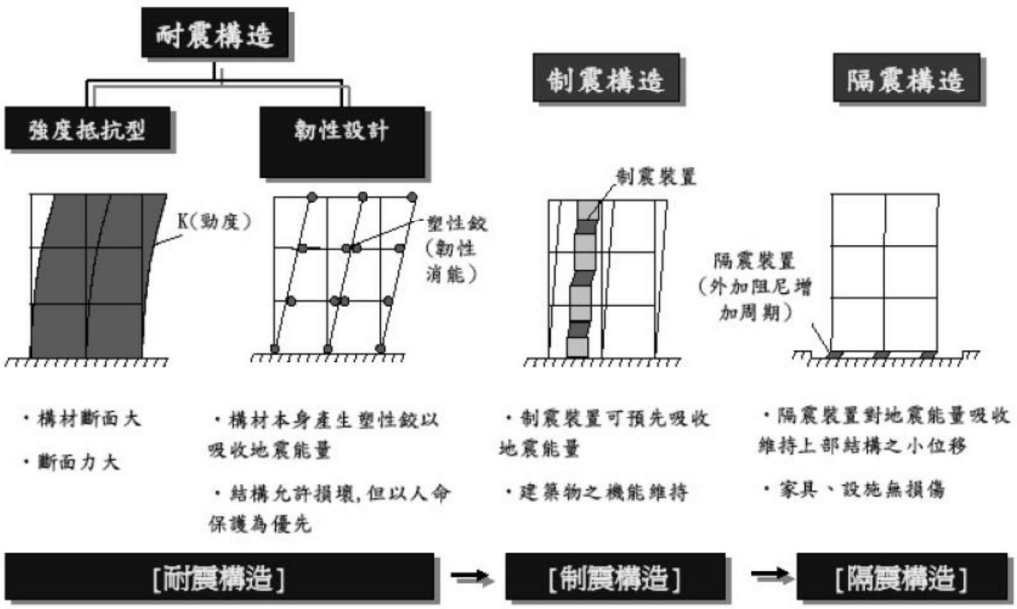


底層弱層補強



低層角屋補強

建築隔震與消能



制震技術

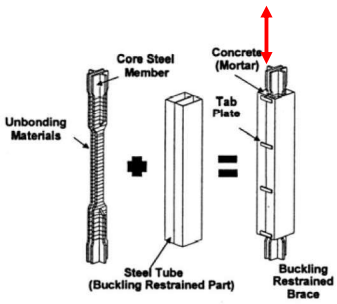
- 制震技術-利用裝在耐震結構中之制震消能裝置在地震作用下產生消能作用來達到減少地震反應之抗震技術。
- 「制震消能裝置」通常亦稱為「阻尼器」(damper)，乃因其在結構動力學上提供與位移方向相反之阻尼力，使系統反應衰減。利用一些非線性之受力行為穩定之材料技術，包括金屬、黏彈性材料等，適當地裝置在耐震建築構架中，地震時產生之樓層間相對位移、速度成為消能裝置消耗能量之機制。如此一來將地震所傳來之能量轉換成應變能，另一方面就得到降低地震力、位移反應。
- 消能裝置以其提供之力(阻尼力)對位移或速度之相關性而稱之。一般可分成位移型或速度型，亦可能兼而有之。通常利用金屬之軸力降伏特性、剪力降伏特性、彎矩降伏特性所製造之阻尼裝置，其阻尼力與速度無關，可歸類為「位移型」；利用流體經過小孔獲得阻尼力之油壓式阻尼器則是「速度型」之代表。
- 以金屬受力降伏特性之位移型阻尼裝置通常伴隨著相當大之勁度，為得到降伏後穩定履歷，其連接處之應力亦增加許多，接合部設計顯然很重要。不過在結構系統上因勁度提高之結果，高層建築採用時會使得整個結構系統的自然週期變得短些，因而提高了地震力，所以抵消了一些消能的好處。

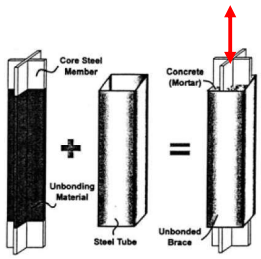
制震技術應用於補強分析

消能補強應用推倒分析之適用性

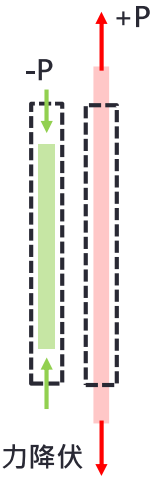
- 現階段以位移型阻尼裝置補強應用性較高，因在結構分析上易於利用現有耐震詳細評估予以設定適當之非線性元件進行推倒分析
- 速度型之補強分析，現階段並無法直接利用現有耐震詳細評估作推倒分析，業界某些變通的方式為利用加速度歷時彈性反應比較有無速度型阻尼器之比值來推估或依照耐震規範之被動消能系統作檢討
- 目前國震中心之校舍耐震評估補強計畫未考慮隔震消能系統

制震技術

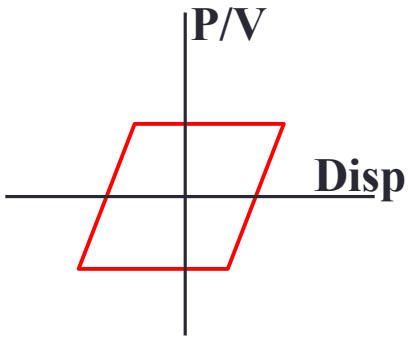




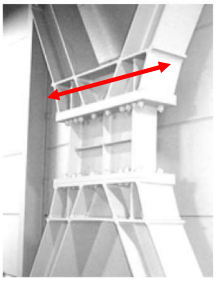
軸力降伏型(BRB、UB)



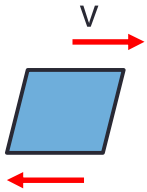
軸力降伏



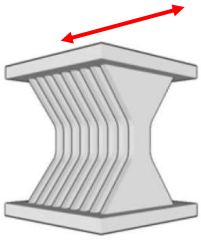
金屬位移型典型降伏履歷



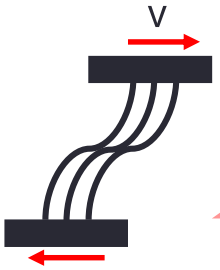
剪力降伏型(Shear panel)

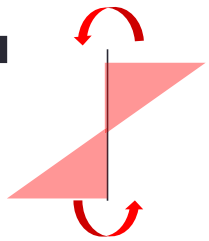


剪力降伏



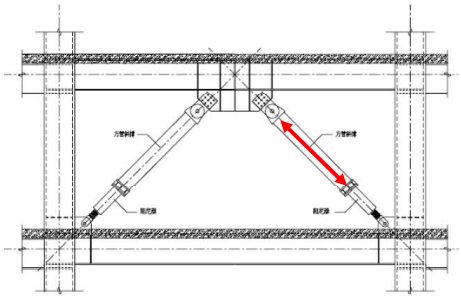
彎矩降伏型(X-TYPE ADAS)



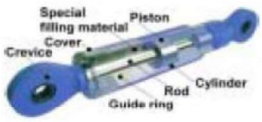


灣矩降伏

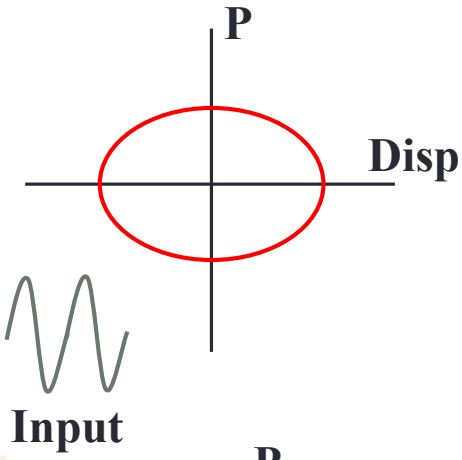
制震技術

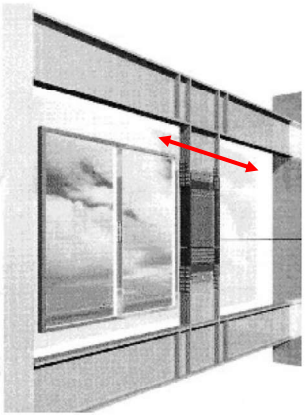


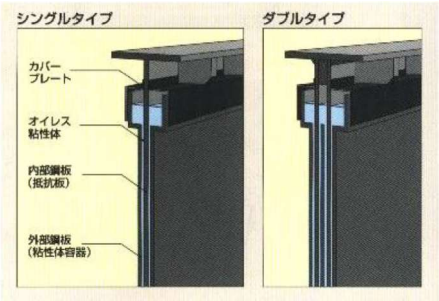
$$P=Cv^{\alpha}$$



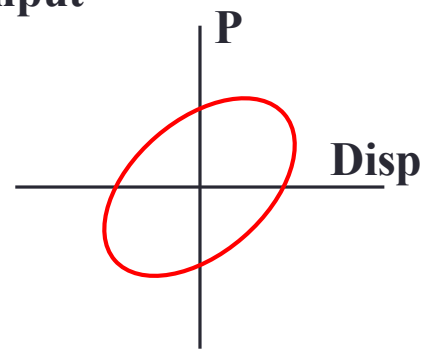
油壓阻尼器(速度型)



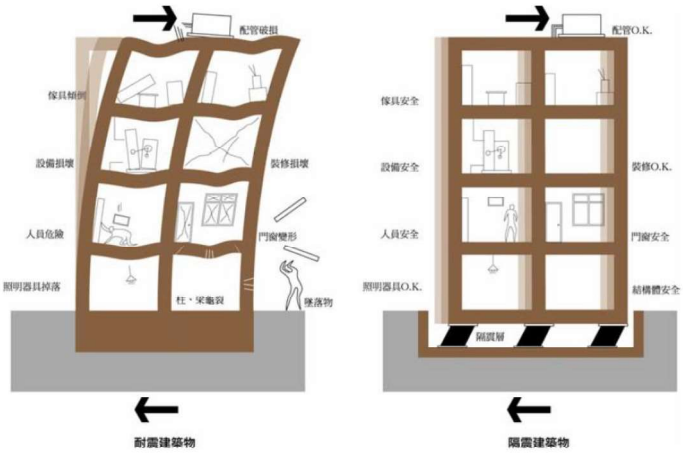


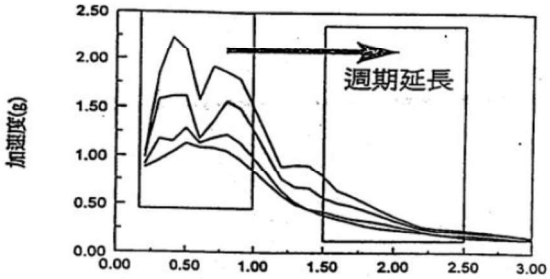


黏彈性阻尼器(速度型)

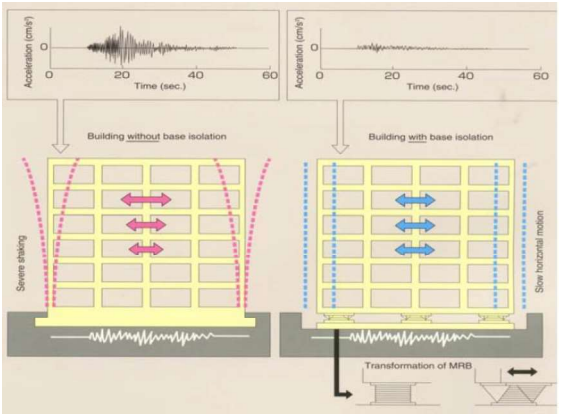


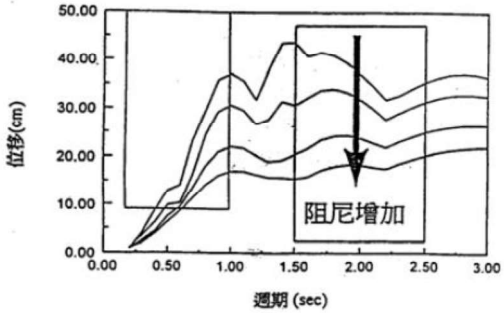
隔震技術





隔震原理：週期延長





隔震原理：阻尼增加

隔震系統基本要件：
1.垂直方向上具足夠剛性承受上部結構重量
2.強震作用下，水平方向具足夠柔性以延長結構週期，隔離地震動進入建築物，降低水平地震力
3.具消能裝置以控制建築物因週期延長所導致的位移增加

基礎隔震之設計考量

1.隔震建築物四週須留設足夠的活動餘裕；且在設計上須考慮避免建築物在地震時所發生之移動時，所造成可能之危害。
2. 進入隔震層內檢查隔震器。
3. 隔震層內之水電管線設計須適應上下部結構之相對移動，不致發生破壞。同時要設於易於檢查之位置。
4. 與其他建築物之連通部份之隔離細部設計，並須合於相對移動不生損壞。

中間層隔震之設計考量

1.~4.同基礎隔震之設計考量。
5. 貫通上下部之動線之隔離設計，如電梯間、樓梯間。常見之電梯間之隔離設計即採用自上部結構向下懸吊之設計，並留設電梯四周足夠之活動餘。
6. 隔震層之防火區劃考。
7. 隔震器之防火被覆易於檢查及修復。

1. 隔震層需符合低剛性及變形位移之要求

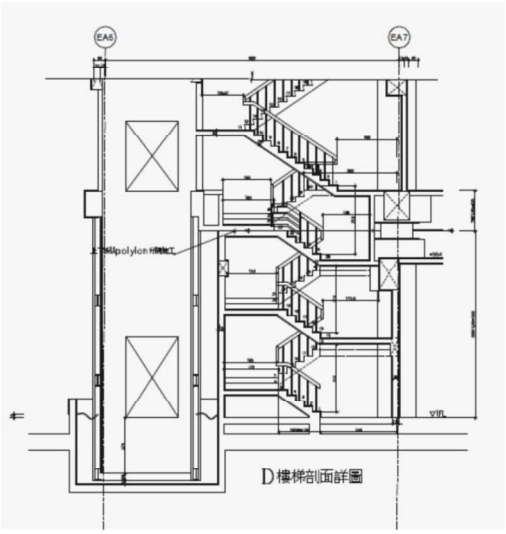
隔震建築物即利用長周期之特性來降低地震反應，因此建築物總重量對隔震層剛度之比值越大，週期越長越利於隔震。但有幾點需要留意：
A. 規劃跨距較小之情形下，為求得較低剛性之隔震器，勢必採用數量多而直徑小之隔震器，但其之變形上限隨而減少之條件下，反而迫於採用較大直徑之隔震器；如此一來又為反而提高剛性，與原則相左。
B. 跨距稍大，雖隔震器個數較少，但因直徑較大具有較高之變形上限，且不致提高隔震層之剛性。
C. 可利用無鉛心隔震橡膠器與鉛心隔震橡膠器合理之數量比例調整，同時合於低剛性與變形位移之要求。

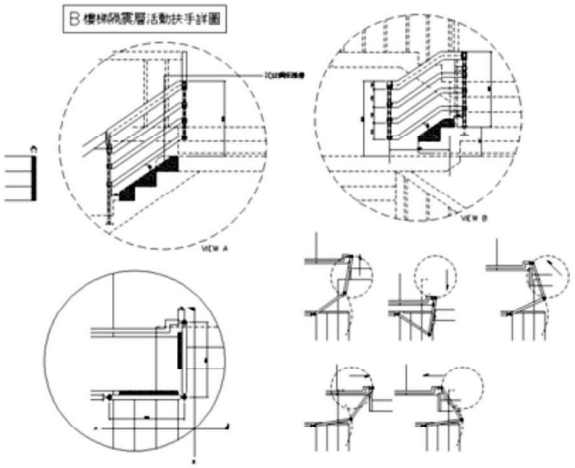
2. 避免隔震器產生拉力之設計

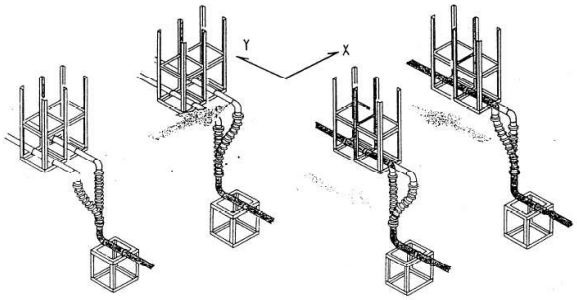
雖然橡膠系隔震器仍能承擔一定之拉力，但仍然遠比承壓要小的多，故還是要避免。若採用為減低系統側向剛度之滑動支承應合理配置，由於屬於磨擦系統元件，並不適用在軸向力急劇變化甚至有昇離可能之位置。

建築細部設計之考量

細部上應確保隔震之相對水平向移動不發生構造上之損壞。習慣上把隔震層上構稱為「可動部」，隔震層下構稱為「不動部」或「固定部」來分別，以利於溝通了解。
為適應隔震移動之需要，建築設計上需檢討任何「可動部」與「固定部」連接部份之活動間隔。特別是垂直動線穿越隔震層，如樓梯、電梯、電扶梯等均需詳細考量。此外，尚要利用可撓性配管適應變形需求。







隔震應用於既有建築物補強

由於隔震需將上部構造完全承載於隔震裝置上,並將原有構體切開,工程困難度高,現有案例為美幗重要古蹟歷史建築物或文化保存價值高的對象

U.S Court of Apeals

San Francisco City Hall

*引自/JSSI米国免震調查

隔震技術應用於補強分析

隔震補強應用推倒分析之適用性

- 目前兩種推倒分析法尚不適用於隔震補強
  1.需修正隔震靜力垂直分布等問題
  2.性能需求不適用於隔震系統
- 若需採用隔震系統分析，建議依據建築物耐震規範第九章原則分析再檢討隔震層上構性能即得
- 目前國震中心之校舍耐震評估補強計畫未考慮隔震系統

隔震層承台施工(GROUTING充填工法)

1.綁紮鋼筋

2.綁紮鋼筋時利用樣板避開螺栓件

3.吊裝組立下承台鋼板

4.以附在下承台鋼板之調平螺桿調整水平

5.自下承台鋼板之預留孔灌漿至預定高程

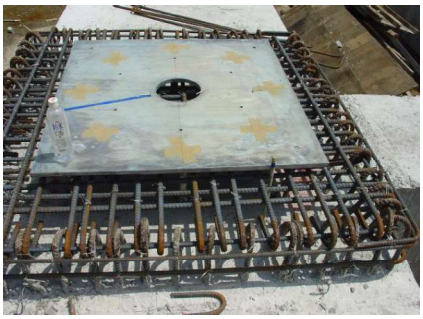
6.自下承台鋼板間隙內填漿(Grouting)

隔震層承台施工(高流度混凝土靜壓充填工法)

1.下承台鋼筋配置(垂直向鋼筋)

2.混凝土澆置至地梁頂面

3.下承台鋼筋組立(1)



4.下承台鋼筋組立

5.預埋底版精度檢查驗

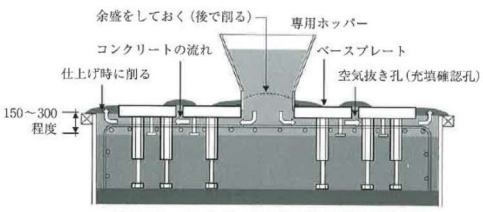
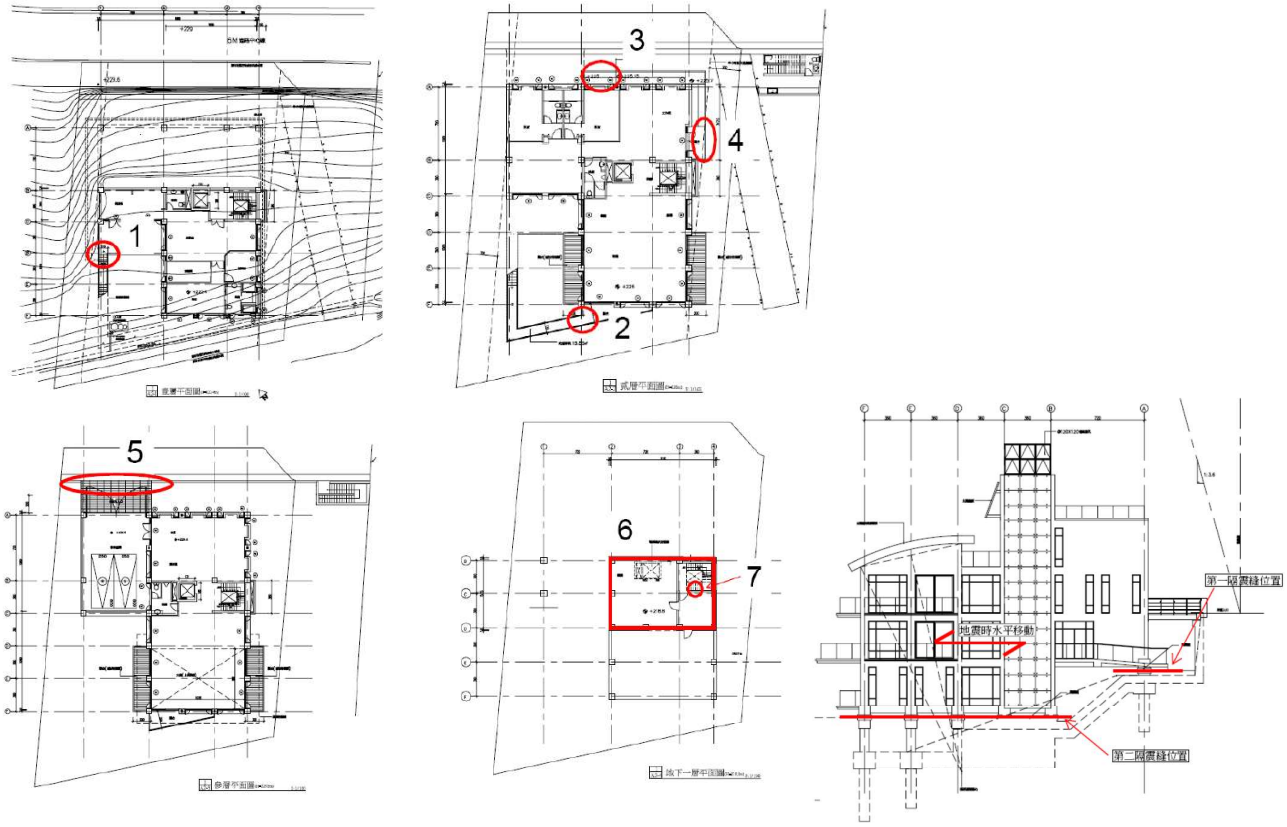


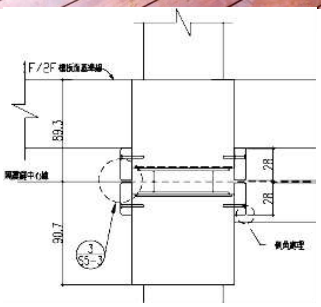
図 6.3.2　コンクリート充填工法の概要（静圧法）

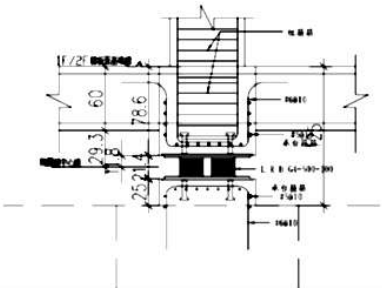
6.高流度混凝土靜壓充填工法

案例:嘉義蘭潭靜園隔震建築

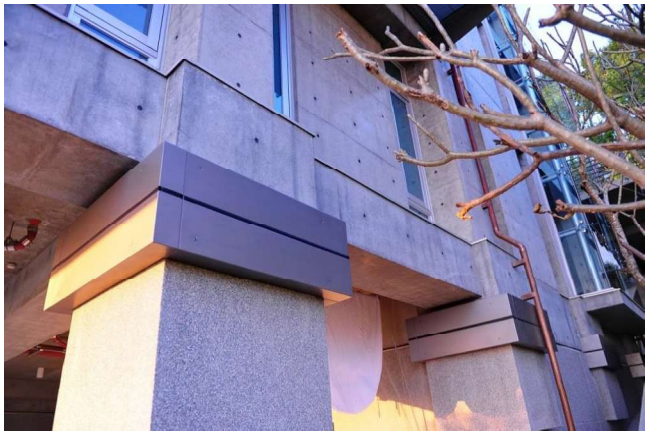


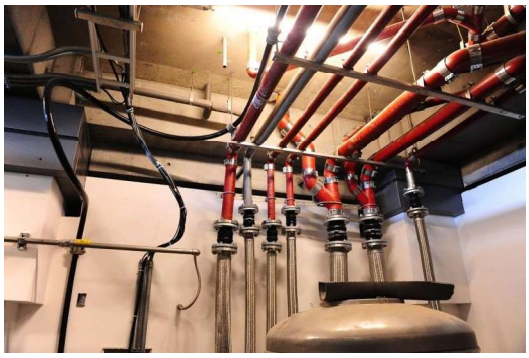
嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工



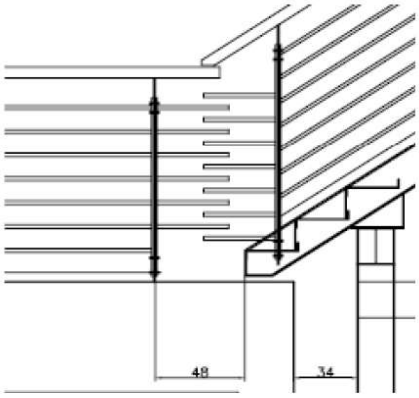


嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工

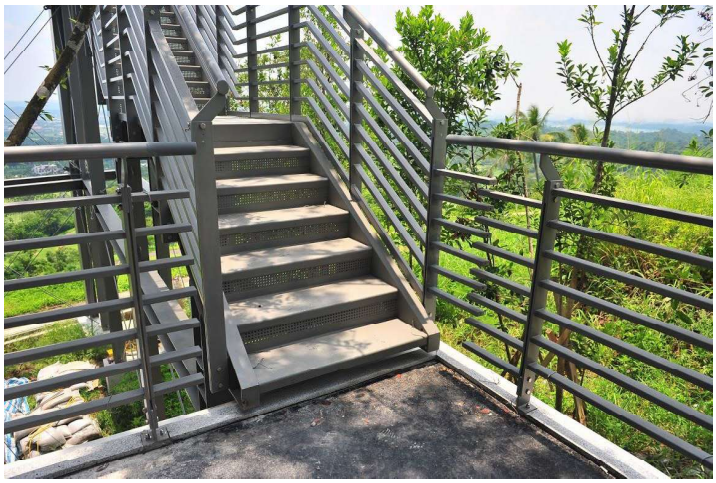




嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工

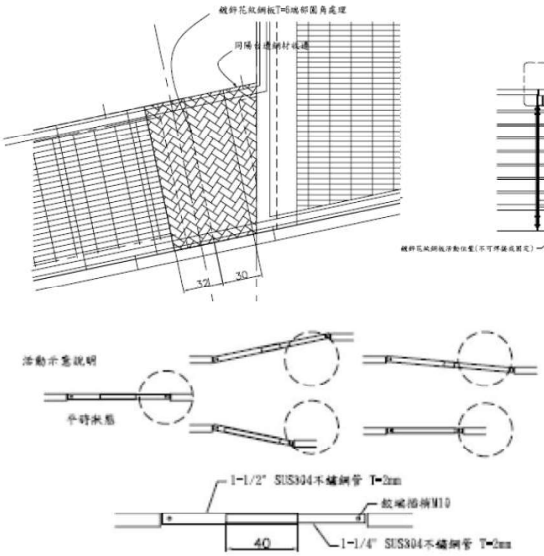


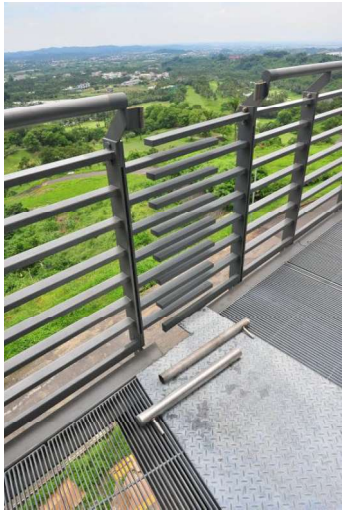
戶外梯起階處隔離詳細圖



建築隔震活動部位設計施工

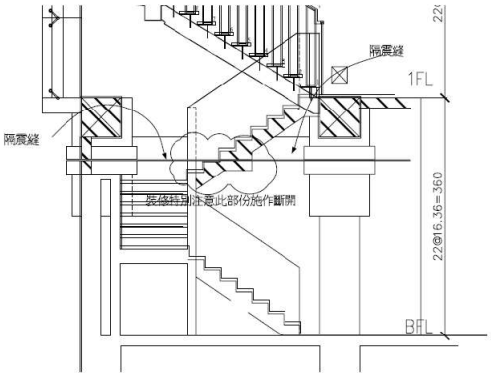
嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工



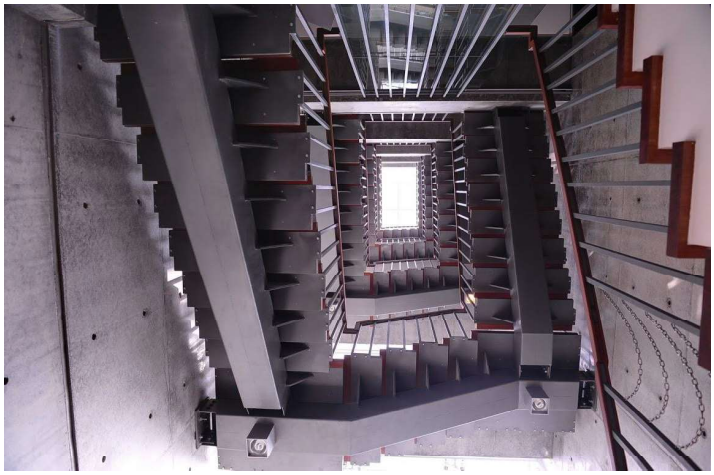


建築隔震活動部位設計施工

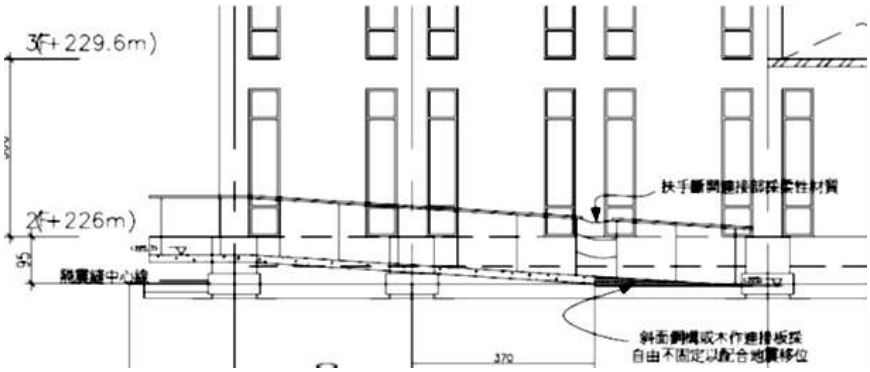
嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工

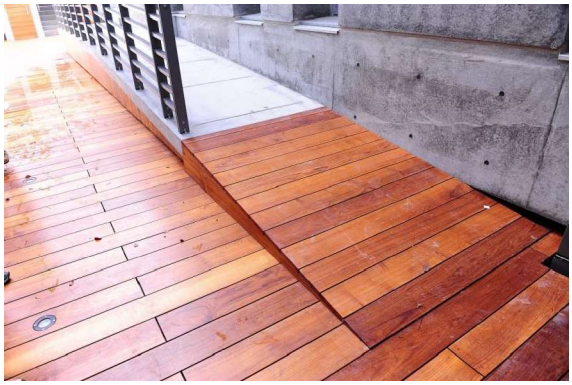


室內梯隔離活動部詳細圖



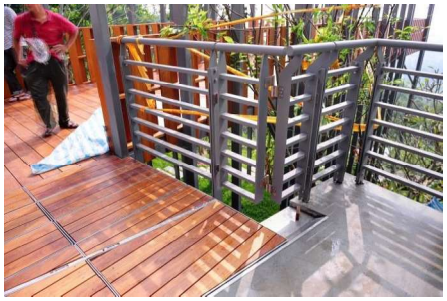
嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工

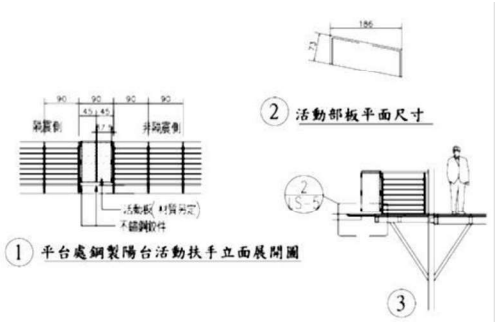


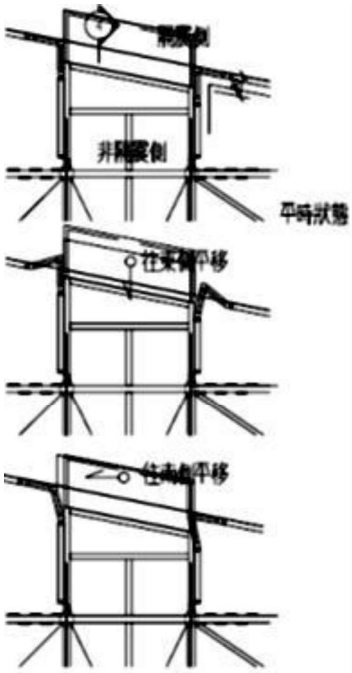


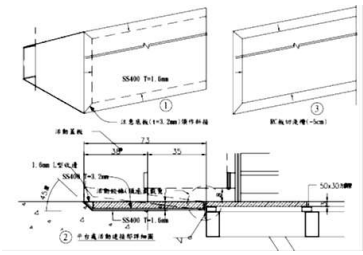
建築隔震活動部位設計施工

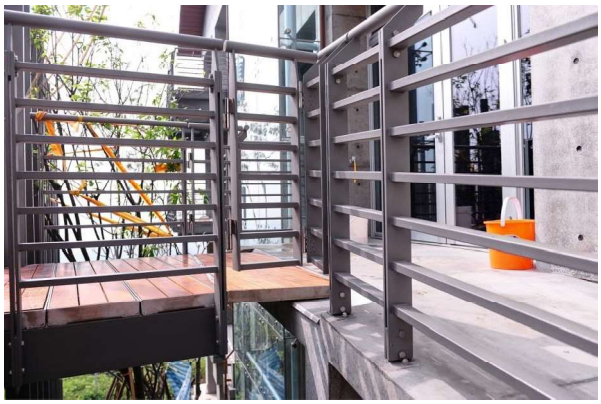
嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工





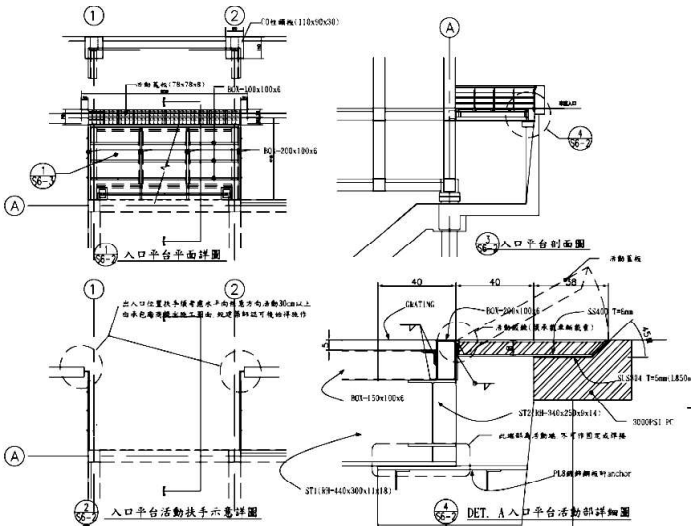






建築隔震活動部位設計施工

嘉義蘭潭靜園隔震層設計施工



建築隔震活動部位設計施工

講題結束 敬請指教