

鋼筋混凝土建築物樓層數、跨數與剪力牆配置對 耐震能力影響之研究

李有豐¹、刁健原²、蔡益超³、陳少宏⁴、廖政南⁴

關鍵詞：耐震能力、結構系統補強、剪力牆。

摘要

本文採用 ETABS[1]軟體與台灣大學土木系蔡益超等人所開發之鋼筋混凝土建築物耐震能力分析程式[2]來分析模擬台灣本島西岸因地小人稠，使用空間不足，使建築物不斷往高處加蓋(增加樓層數)與兩側加蓋(增加跨數)的情形，並研究因加蓋而改變建築物原先的結構系統而對耐震能力產生之影響。另外在補強工法中之剪力牆的配置數量與位置是否也影響建築物耐震能力亦是本研究之重點。針對上述之建築物配置形式，本研究首先以一簡單之一層樓一跨構架為基本建築物形狀，再分別往上加蓋樓層至五層樓與往兩側增加跨數至六跨，所模擬之建築物經由 ETABS 進行分析之後，再利用鋼筋混凝土建築物耐震能力分析程式計算建築物之崩落地表加速度。結果經由歸納與分析後，可瞭解增加樓層數、增加跨數與剪力牆配置位置對建築物耐震能力之影響。

1、緒論

台灣位在環太平洋地震帶上，地震發生次數相當頻繁，且由於台灣地小人稠，為了求得較大的空間效益，建築物除了往兩側長方向加蓋之外，最大多數的即是向上加蓋，而且此類之建築物在進行加蓋時，大部分並沒有對整棟加蓋之建築物作重新結構分析與設計，因此建築物之安全與否實在堪慮。而且國內早期之建築物耐震規範並不完善，這些不同時期所建造的建築物其所採用的規範與設計的地震力亦不盡相同，因此本文的研究便朝這個方向著手進行探討。此外，就結構系統補強來說，增設剪力牆是一種常用亦較為可靠的補強方式，因此有效的剪

¹ 國立台北科技大學土木工程系 副教授

² 國立台北科技大學土木工程系 兼任助理教授

³ 國立台灣大學土木工程系 教授

⁴ 國立台北科技大學土木工程系 大學部專題生

力牆配置方式與位置亦是本研究重點。本文研究分析所得之結果著重於了解定性的影響趨勢而非定量的數據結果，故建築物必須於本研究之各種假設條件相同下才會符合所得到之各項研究數據。

2、建築物耐震能力

建築物的耐震能力，係指在地震力之作用下，建築物首先以其強度來抵抗，當結構所受之彈性地震力大於構件之彈性限度時即產生降伏，此時再以塑性變形來吸收其餘的地震能量，當建築物韌性用盡時建築物即產生破壞，其對應的地表加速度就是耐震能力，亦即崩場地表加速度 A_c 。

整棟建築物崩場地表加速度的評估架構，乃利用 ETABS 軟體將建築物進行彈性地震分析並求得構件內力。後續再透過鋼筋混凝土耐震能力分析程式，計算各半層之各節點破壞時柱所承擔之剪力與韌性比，最後再求得各半層的崩場地表加速度，而整棟建築物之崩場地表加速度值即是取各半層之最小者稱之。

3、研究方法

本研究乃分別針對不同配置形式之建築物進行模擬，模擬之模型先以一個樓層和一個跨度為基本單元，分別往上增加至五層樓與往兩側增加至六個跨度，往上加蓋一層時即是將模擬之模型往上加一層基本單元，而往兩側加蓋一個跨度時即是將模擬之模型往兩側加一個基本單元，以此加蓋方式類推，並且所加蓋基本單元之梁、柱尺寸與配筋形式皆相同，以模擬建築物加蓋層的形式。配合所需製作之各個建築物的輸入檔[2]，以供執行鋼筋混凝土耐震能力評估程式之後續處理，進而計算出各模擬建築物之崩場地表加速度值以供分析使用，茲將此步驟以圖 2 之流程圖作表示。

4、分析案例說明

4.1 建築物分析基本假設

本文之各個建築物基本模型皆利用靜力方法進行分析，並計算地震靜力分析之設計水平總橫力(Total Design Base Shear)公式，之後再透過 ETABS 軟體作靜力分析，如此可得各構件之應力大小，之後再以建築物耐震能力分析程式計算出建築物之結構系統於不同配置情況下之崩場地表加速度值之大小。

建築物因為簡化成 2D 平面之形式，因此 X 方向之樓層跨度為每跨 5m，而 Y 方向之樓層高度為每樓層 3.2m。有關建築物各構件進行分析的尺寸，本研究皆採一般常見的梁柱構架尺寸，樓層高度為每層 3.2m，梁尺寸從一樓至五樓皆為 35x 55cm，柱尺寸從一樓至五樓皆為 35x 35cm。

4.2 分析模式

本文之研究方法乃將原本之建築物形狀由 3D 梁柱韌性立體構架簡化成 2D 梁柱平面韌性構架形狀進行分析。分析計算時須將原本梁柱所承載之樓版靜載重與活載重依照靜力分析之載重分配方式將之分配至各梁上。建築物受地震力之側向力豎向分配乃根據鋼筋混凝土耐震能力分析程式使用手冊之所述。如此模擬地震力作用在水平方向時之構件受力情形與建築物耐震能力，透過所建立之不同建築物結構系統配置之模型，經由分析後可以得到不同結構系統配置狀況下的建築物崩落地表加速度值，以歸納出影響建築物耐震能力的因素與耐震能力下降的趨勢。

4.3 分析內容分類

1. 加蓋層對耐震能力之影響

由於台灣地區老舊建築物加蓋之情形時常見到，而最常見到的是老舊之三層樓建築物再加蓋一層或是二層樓，而造成建築物的耐震能力降低，為瞭解耐震能力降低之趨勢，本文乃分別建立建築物之跨度由一跨至六跨(每個跨度為 5m)，樓層高度由一樓至五樓(每層樓高度為 3.2m)之建築物分析模型，以分別計算不同形式之建築物的耐震能力，以此方式模擬老舊建築物之加蓋行為，進而歸納耐震能力因加蓋層而造成降低之趨勢。分析模型如圖 4 至圖 5 所示。

2. 建築物樓層跨數對耐震能力之影響

由於許多學校建築物在空間上的需要，經常會向兩側加蓋一跨或兩跨來當作樓梯或是廁所等用途。本文分析的方式乃以相同載重與梁柱尺寸的條件下，從原本的一樓一跨一直增加到一樓六跨，而樓層高度也由一樓一直分析到五層樓的形式如此分析多個建築物模型，目的找出樓層跨數對於耐震能力影響的趨勢。分析模型如圖 4 至圖 5 所示。

3. 剪力牆配置數量對耐震能力之影響

為了解剪力牆配置數量對於提高建築物耐震能力大小之趨勢，本文乃分別對於五層樓兩跨與五層樓四跨之建築物，分別從一樓一直配置剪力牆直至五層樓全部配置剪力牆，分別計算每種配置情況下之建築物耐震能力之大小，進而歸納比較出其增減之情形。分析模型如圖 6 至圖 7 所示。

4. 剪力牆配置位置對耐震能力之影響

為使剪力牆的效用提高至最大，分析時除了對於剪力牆配置的數量作探討之外，剪力牆的配置位置也是影響耐震能力的一個因素。因此本文乃針對五層樓四跨與五層樓六跨之建築物配置相同數量之剪力牆，而配置位置則分別置於五層樓四跨建築物之中間與兩側兩種情況，分別計算出各建築物耐震能力的大小，再比較同樣跨數與剪力牆數量下，剪力牆配置於中央與兩側時對耐震能力之影響。分析模型如圖 8 至圖 9 所示。

5、分析結果

5.1 加蓋層對耐震能力之影響

茲將計算出之各模型崩塌地表加速度與破壞之樓層整理如表 1 所示。為便於觀察建築物因為加蓋層而對崩塌地表加速度產生降低之影響，於是將表 1 數值繪成如圖 10 所示，由圖中我們即可觀察出建築物之崩塌地表加速度值是隨著樓層數的增加而呈現遞減之趨勢。此外，為了便於觀察崩塌地表加速度下降的幅度，我們將各個層數建築物之崩塌地表加速度值分別與一層樓做比較，可以求得各樓層相對一層之 A_c 下降百分比，如圖 11 所示，加蓋層愈多崩塌地表加速度下降百分比亦愈大。此外針對目前老舊建築物之加蓋層對耐震能力之影響，本研究經由表 1 所得之數值，分析三層樓之建築物分別加蓋一層樓與兩層樓之影響，可以得知當三層樓建築物每加蓋一層時建築物崩塌地表加速度大約降低 20%，而加蓋兩層時大約下降 40%，經由以上之分析結果顯示，加蓋後建築物會因為重量增加的關係使得耐震能力降低，這些影響都必須納入考慮，以使得符合耐震規範之規定。

表 1 不同樓層與跨數之崩塌地表加速度(g)

	一跨		二跨		三跨		四跨		五跨		六跨	
一樓	0.3977	R-b	0.3177	R-b	0.3034	R-b	0.2859	R-b	0.2530	R-b	0.2259	R-b
二樓	0.3383	R-b	0.2837	R-b	0.2586	R-b	0.2553	2F-a	0.2127	2F-a	0.1874	2F-a
三樓	0.3356	R-b	0.2607	R-b	0.2484	R-b	0.2301	2F-a	0.1990	3F-a	0.1626	3F-a
四樓	0.2916	R-b	0.2205	2F-b	0.1841	2F-b	0.1877	2F-b	0.1780	2F-b	0.1322	4F-a
五樓	0.2237	2F-b	0.1610	2F-b	0.1306	2F-b	0.1172	2F-b	0.1589	3F-b	0.1037	2F-b

附註：崩塌地表加速度右側欄位標示之符號為建築物產生破壞之樓層位置。

例：R 為屋頂層，2F 為二樓樓版部位，a 表示樓板上半層，b 表示樓版下半層。

5.2 建築物跨數對耐震能力之影響

為瞭解建築物跨數的增加對於耐震能力之影響，本研究乃將表 1 所分析出之各模型之崩塌地表加速度經由整理分析之後可發現，建築物崩塌地表加速度值從一跨到六跨皆是呈現遞減的趨勢，並且分析所得之結果並非如同一般觀念所想像的柱子數量愈多愈能夠發揮分擔應力之效果(贅餘度大)。

5.3 剪力牆數量對耐震能力之影響

配置剪力牆的數量對耐震能力之影響，經由整理表 1 之崩塌地表加速度值之後可得，建築物進行結構系統補強時，剪力牆的配置的確可以提高建築物的耐震能力，而分析數據顯示剪力牆配置的數量愈多，所提升的耐震能力也愈大。

5.4 剪力牆配置位置對耐震能力之影響

對於本研究分析五層樓四跨與五層樓六跨兩個建築物之剪力牆配置位置分別計算出其崩塌地表加速度值，所得之結果如表 2 所示。由表 2 之分析結果得知，無論剪力牆配置於中央或兩側時建築物的耐震能力均能有所提昇，但是由表 2 所分析之四跨與六跨建築物案例可得知將總數量相同之剪力牆配置於建築物中央的效果優於配置於建築物之兩側。

表 2 剪力牆配置對崩塌地表加速度影響之比較(g)

	耐震能力	破壞樓層
五層樓四跨中央	0.2498	4F
五層樓四跨兩側	0.1629	4F
五層樓六跨中央	0.3040	2F
五層樓六跨二、五跨	0.2442	4F
五層樓六跨兩側	0.2118	2F

附註：五樓四跨建築物不加剪力牆的崩塌地表加速度為 0.1172g (破壞樓層：2F)

五樓六跨建築物不加剪力牆的崩塌地表加速度為 0.1036g (破壞樓層：2F)

6、結論

有關本研所得之結果，前提必須是在本研究下所假設的各種條件(如梁、柱斷面一致，配筋型式與增加之樓層高度和增加之跨數等)相同之情況下才會成立，因此本文的結論著重於定性的趨勢而非定量的數據結果。

1. 建築物若有加蓋層則其耐震能力會有下降的趨勢，以本文之三層樓結構為例，其分析結果顯示下降的趨勢，當增加一層樓會降低 20%，而當增加兩層樓約降低 40%，亦即分析之結果與簡秋記[3, 4]所提出之結論一致。
2. 建築物的耐震能力並不一定因為跨數的增加而提高，此分析之結果與朱聖浩[5]所發表之論文提出之增加柱間隔數亦即跨數而不減少柱間距不一定能增加對地震力之抵抗能力結論一致。
3. 由於剪力牆能夠有效分擔梁柱因為地震力作用時所產生之應力，因此配置剪力牆的確能夠提升建築物的耐震能力，此研究之結果與莫詒隆[6]所得到之結論一致。
4. 若於相同的剪力牆數量之下，剪力牆配置於中央所提高之建築物耐震能力會比配置於建築物之兩側情況下有較佳的表現。

7、誌謝

本文得以順利完成要感謝簡秋記與朱聖浩兩位教授提供相關論文與卓見。另外黃昭勳教授於共同指導研究生會議中，針對本研究提出許多良好的意見，在此一併誌謝。

8、參考文獻

- [1] ETABS Version 6 中文使用說明書，仲元電腦有限公司出版，民國 86 年。
- [2] 蔡益超，鋼筋混凝土耐震能力分析使用手冊，國立台灣大學，民國 88 年 6 月。
- [3] 簡秋記，“特殊建築物架構影響耐震能力之案例分析”，921 地震建築物震害調查分析研討會，民國 90 年 4 月。

- [4] 簡秋記、翟慰宗，“頂層加建影響建物耐震能力之分析”，土木技術，第 42 期，第 75~89 頁，民國 90 年 8 月。
- [5] 朱聖浩，“校舍整排柱子破壞之探討”，921 集集地震結構勘災心得研討會，民國 88 年 11 月。
- [6] 莫詒隆，“剪力牆—最佳化之樓房抗震結構”，結構工程，第 7 卷，第 4 期，第 59~63 頁，民國 81 年。

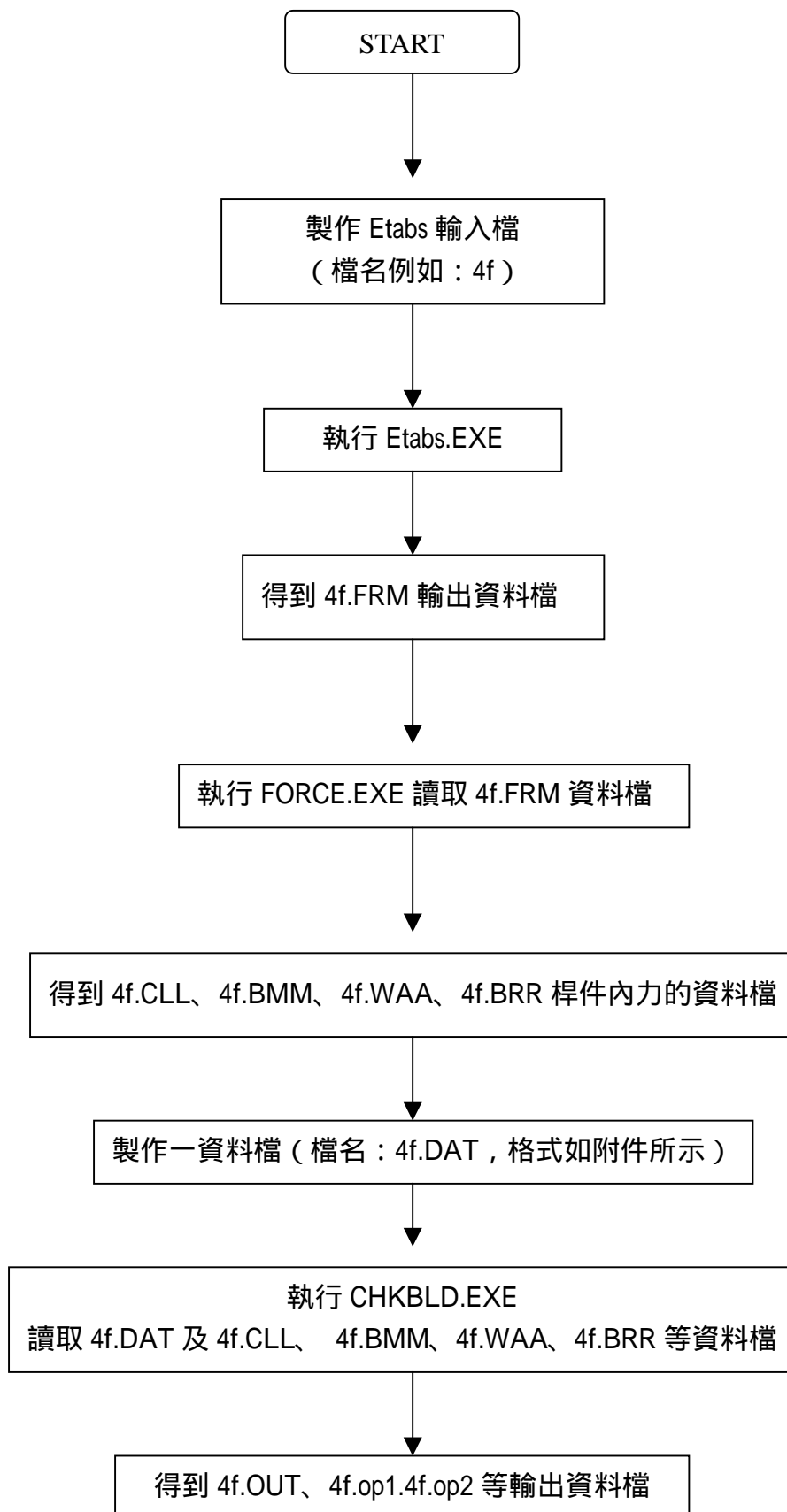


圖 2 耐震能力評估程式使用流程圖

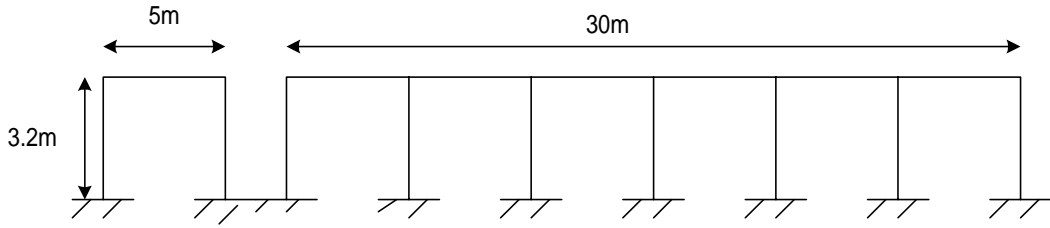


圖4 一樓一跨

圖5 一樓六跨

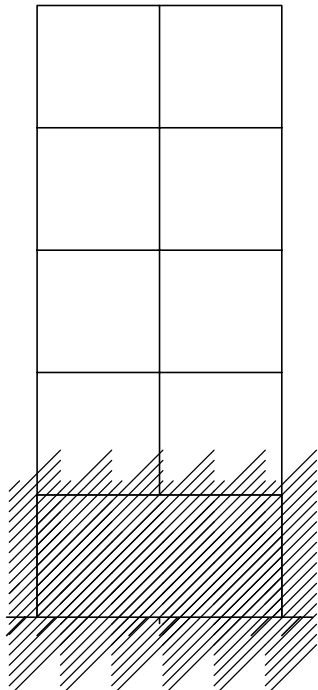


圖6 五樓二跨配置一層剪力牆

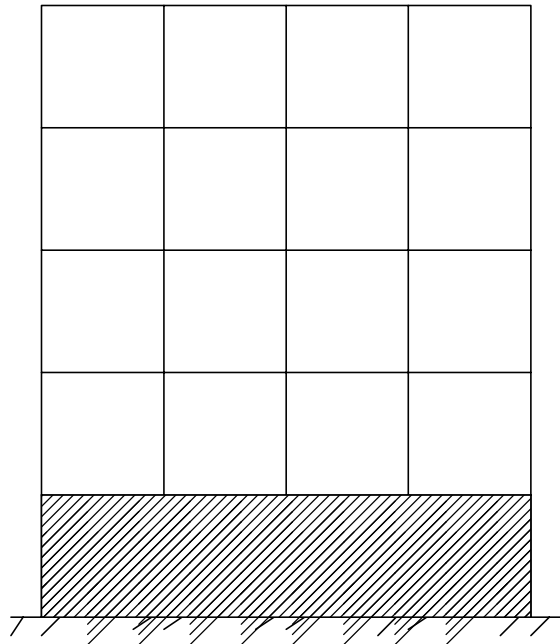


圖7 五樓四跨配置一層剪力牆

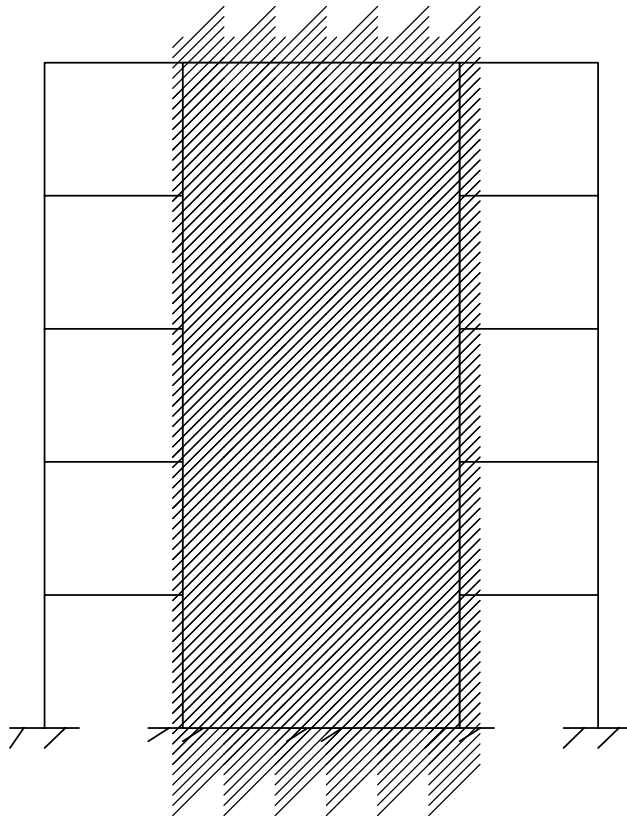


圖8 五樓四跨剪力牆配置在中央

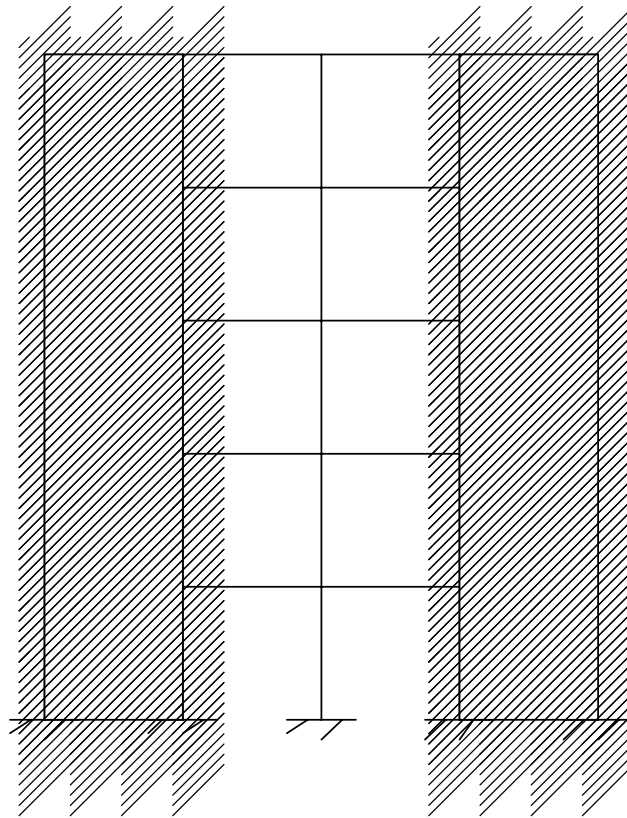


圖9 五樓四跨剪力牆配置在兩側

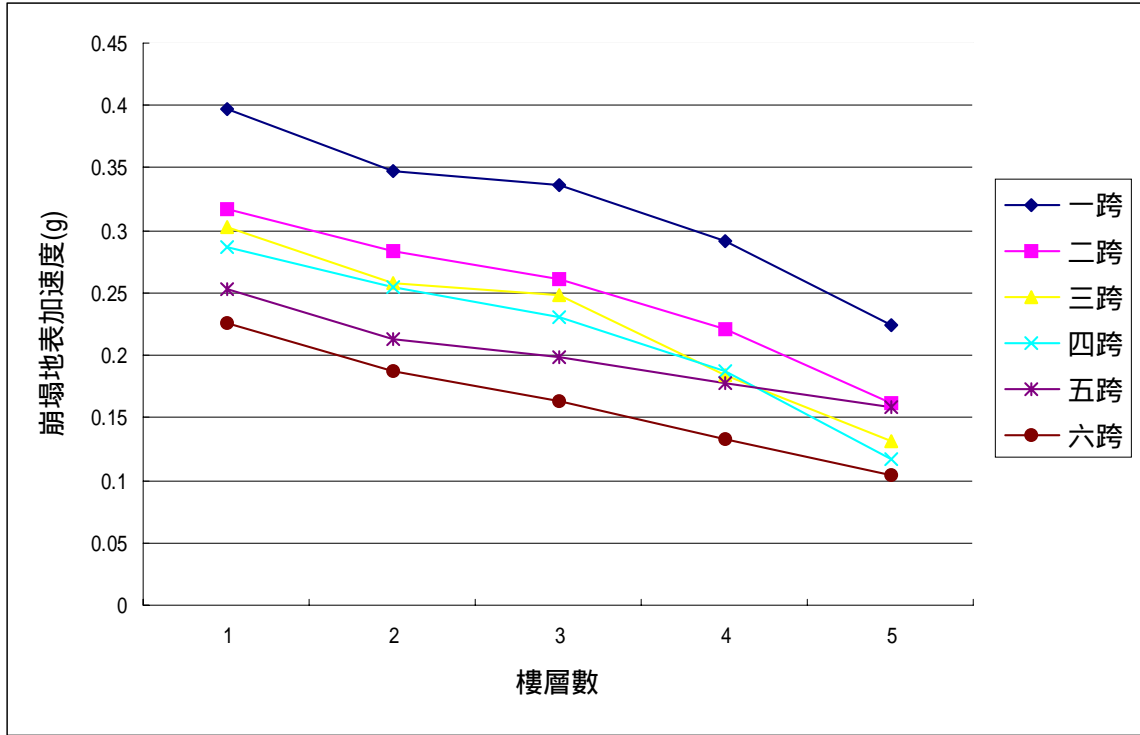


圖 10 建築物加蓋層對耐震能力影響趨勢圖

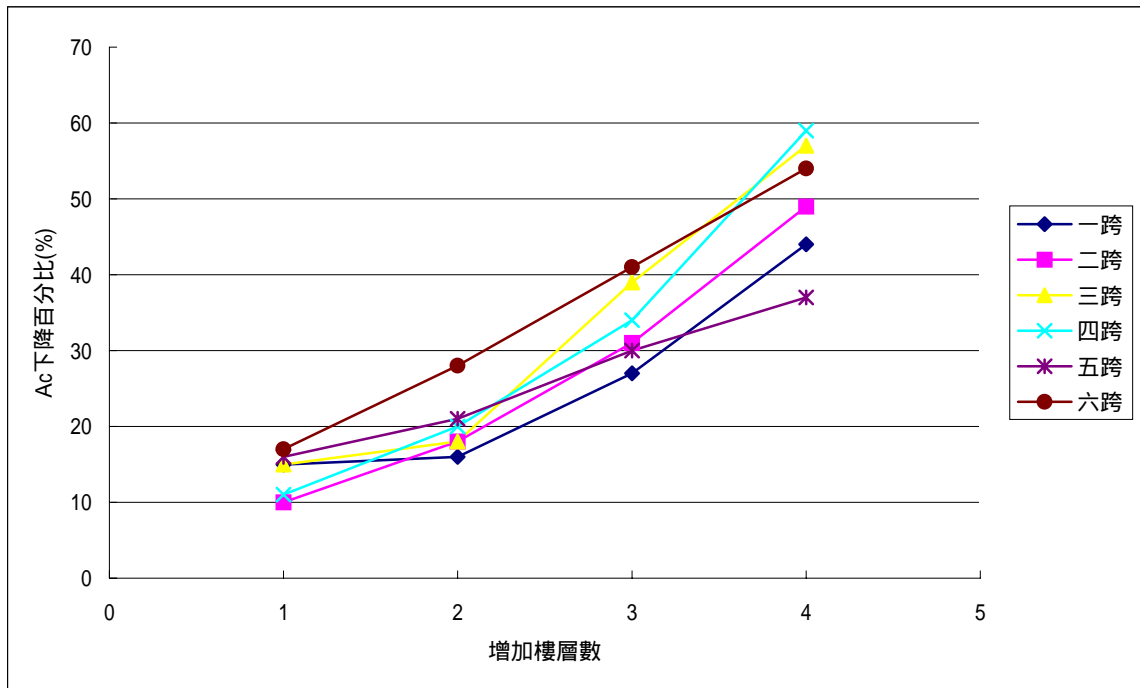


圖 11 建築物加蓋層數相對一層之 A_c 下降百分比