行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※
※　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　※
※建築物功能設計法研討 —　　　　　　　　　　　※
※　子計畫：鋼筋混凝土校舍建築之經濟效益研究 ※
※
※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：□個別型計畫　　　整合型計畫

計畫編號：NSC89－2625－Z－041－001－

執行期間：88 年 08 月 01 日至 89 年 07 月 31 日

計畫主持人：劉玉文 教授

執行單位：嘉南藥理科技大學工業安全衛生系

中 華 民 國 89 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

建築物功能設計法研定—
子計畫：鋼筋混凝土校舍建築之經濟效益研究

Study on Economic Benefit of Reinforced Concrete School Building

計畫編號：NSC 89-2625-Z-041-001
執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：劉玉文 教授　嘉南藥理科技大學工業安全衛生系
計畫參與人員：李昌庭　國立成功大學建築研究所碩士生

一、中文摘要

本計畫係整合型研究計畫『建築物功能設計法研訂』之子計畫，對 RC 校舍建築不同結構系統，採用高標準的功能設計法或較低標準的耐震設計法進行設計時，比較不同標準所設計之造價相差量，該造價包括新建費用及震害後的修補費用。其目的在檢討美國 Vision 2000 委員會建議建築結構『功能設計法』最低設計要求及子計畫三所定之『RC 建築結構強度曲線』是否過於嚴格或太過鬆散？提供建築造價上的分析曲線，作為修訂前兩項曲線的依據，達成整合計畫最終目標，提出適合台灣地區採用之建築物功能設計準則，俾供內政部修訂耐震設計規則與規範參考。

關鍵詞：校舍建築、使用功能、耐震診斷、結構造價、經濟效益

Abstract

This project is the sub-project of the integrated project, Study on Performance Based Design of Building Structures. The investigations of the variation of building Construction costs for RC school buildings in various structural systems , and designed by performance base design or conventional design will be completed. The design, earthquake-resistance diagnosis, and economic benefit analysis of various buildings will be investigated in this project. The major objective is to assess the lowest design requirement of performance base design method proposed by the Vision 2000 committee of U.S.A. and the strength curve of RC buildings by the third sub-project of the integrated project. The analytical curve of building construction costs will be proposed, and it will be recommended to Ministry of Interior for the reference of revision of earthquake-resistance design code.

Keywords: school buildings, use performance, earthquake-resistance diagnosis, Building construction costs, economic benefit.

二、緣由與目的

功能設計規範(Performance Based Design Code)由美國 Vision 2000 委員會初步訂定之耐震設計標準草案提出，雖尚未定案，但由於該規範能預測建築物不同地表加速度之使用功能，是未來耐震設計規範的主流，其原則是全球一致的，只是實行細節卻各地區都不一樣而已。台灣地區若能接受該設計標準時，則須在最短的期限內修訂 Vision 2000 的功能設計標準，使之適合台灣地區，並對重要的既有建築物，進行示範性耐震評估與補強，使

之合於新耐震設計標準，保障應有的使用功能，這就是本整合行計畫的研究背景。本計畫是整合行計畫的子計畫，利用現有結構設計軟體及成功大學建築研究所所開發的結構耐震診斷程式，針對不同的 RC 校舍建築結構系統及不同設計標準下，先設計出新的 RC 校舍建築再進行耐震能力診斷。有了這些案例後，再以最初新建費用及震後修補費用計算程式，分析不同設計標準之經濟效益，探討在台灣地區的校舍建築由傳統的耐震設計規範改為『功能設計法』設計時，最初造價與震後修復費用和會增加多少？若能獲得具體的數據顯示 Vision 2000 建議之功能設計規範設計建築，可顯著提高耐震能力而增加的建造與修復費用和不多的話，則值得極力推薦；相反的，若提高耐震能力但也增加相當的建造費用，則利用經濟效益分析結果建議調整『功能設計法』的最低需求。

三、研究方法

1.結構耐震設計及診斷

以一字形之校舍平面類型，建立校舍建築物之假設模型。根據耐震規範進行地震力計算，以 ETABS 電腦結構程式作靜力分析，並檢核分析結果之合理性，柱梁主筋及箍筋之設計依據建築技術規則及 RC 強度設計法檢核，若假設柱、梁斷面尺寸不足時，需再加大斷面尺寸，重新進行地震力計算，直到全部斷面尺寸符合耐震規範要求為止。

本研究耐震診斷採用非線性增量震譜分析法，其基本的概念是利用某工址地盤加速度反應譜，逐次增加地表加速度的大小，使其作用於 3D 的建築結構上，為了模擬構材因開裂或降伏而造成的非線性反應，在每一個增量階段分析結束時，必須評估構件的受力與破壞狀況，並且作相對應的剛度修正，再進行下一階段的分析，直至結構物因變位過大超過法規限制的 2.5%或結構不穩定而崩塌為止。

耐震診斷程式執行後，依據法規標準及 Vision 2000 設計目標，計算出 0.002、0.005、0.015 三個最大層間相對位移角所對應的地表加速度，以便進行法規設計標準及 Vision 2000 設計目標之檢核工作。

2.Vision2000 設計目標檢核:

本文所探討之案例為學校建築，屬於重要建築的範圍，依據 Vision2000 設計目標如表一所示，其三個控制點之寬嚴程度，在程式執行前尚無法判知，本文則採用符合法規標準之建築物逐步提昇其耐震能力，討論滿足該點時之耐震能力，並與符合法規標準之建築物作比較，來檢討 Vision 2000 設計目標三個控制點之寬嚴程度，此三個控制點之標準詳述如下:

(1)地震回歸期 72 年之規定:

地震年超越機率為 0.01, 根據臺灣地區地震危害度曲線，地表最大加速度在地震一甲區為 0.218g, 在地震二區為 0.158g 最大層間相對位移角須控制在 0.002 以內。

(2)地震回歸期 475 年之規定:

地震年超越機率為 0.002，根據臺灣地區地震危害度曲線，地表最大加速度在地震一甲區為 0.332g, 在地震二區為 0.230g, 最大層間相對位移角須控制在 0.05 以內。

(3)地震回歸期 970 年之規定:

地震年超越機率為 0.001，根據臺灣地區地震危害度曲線，地表最大加速度在地震一甲區為 0.391g, 在地震二區為 0.265g, 最大層間相對位移角須控制在 0.015 以內。

3.新建與修補費用之計算

本研究中所指之建築物新建費用包含結構工程之混凝土體積、鋼筋重量、模板組立及門窗工程和裝修工程，而各項目之單價主要以一般公共工程之單價為依據。修補費用是指將結構物受震害的部分加以修復所需的費用，其計算是依據結構物受震害後所產生裂縫的數量、長度及間距，

主要的修補方式是採用環氧樹脂注射，另外再根據特殊損害類型所需，加計其他補修方式、材料費、假設工程及工資等。對應各種構件的不同損害類型之修補方式包括 RC 柱梁開裂(環氧樹脂注射)及塑性鉸(環氧樹脂注射外另加鋼板或碳纖維貼面)、RC 牆開裂(環氧樹脂注射)及破壞(敲除重塑)等。建築物現階段之總費用是指新建費用與符合耐震法規之地表加速度所對應之修補費用的總和。

四、實例分析與討論

1.實例分類與說明

本文校舍建築實例之建築平面分成二樓、四樓國小校舍類型及三樓、五樓國中校舍類型兩種建築平面。國小建築為一字型六間教室單走廊平面，每間教室大小為 8mX7.5m，走廊寬度為 2.5m，X 向跨度為 4m，一間教室包含兩跨，Y 向跨度為 2.5m、3.75m、3.75m；而國中建築每間教室大小為 9mX8m，走廊寬度為 2.5m，X 向跨度為 3m，一間教室包含三跨，Y 向跨度為 2.5m、4m、4m。在震區方面，考慮一甲震區及二震區兩種震區，而工址地盤均以普通地盤

建築型態		震區分類	案例編號
國小建築	二樓	一甲震區	2FELZ1
		二區	2FELZ2
	四樓	一甲震區	4FELZ1
		二區	4FELZ2
國中建築	三樓	一甲震區	3FHIZ1
		二區	3FHIZ2
	五樓	一甲震區	5FHIZ1
		二區	5FHIZ2

設計，建築實例的結構分類及符號說明如下表

其中各個編號中各包含 4~5 種不同補強方式的建築物，例如 2FELZ1A 表示符合耐震法規的建築物，2FELZ1B 則表示配筋增加，2FELZ1C 則表示柱斷面加大而配筋也有增加，2FELZ1D 則表示以 2FELZ1A 的柱梁配筋再局部加設翼牆，2FELZ1E 則表示以 2FELZ1A 的柱梁配筋再全面加設翼牆。

2.案例結果分析

(1)二樓國小建築

在地震一甲區建築物耐震能力提高時，新建費用增加的比例要比二震區的建築物來的高。低矮樓層建築物提昇耐震能力的方法以加大柱尺寸及增設翼牆效果為佳。尤其於修補費用的降低可依看出這兩種方法效果皆不錯，詳見表 2、表 3。

(2)三樓國中建築

在此類型建築物中增加配筋比可以使得耐震能力明顯增加，可能是此類型建築物跨度較小，結構本身剛性較大，所以需要增加鋼筋以增加整個建築物之韌性。此外全面增設翼牆也可以明顯的提昇耐震能力及降低修補費用，詳見表 4、表 5。

(3)四樓國小建築

此類型一甲震區內建築物增加鋼筋比增加柱尺寸提昇更佳的耐震能力，而二震區內建築物則是相反，由此可見，當地表加速度不大時，地震力是由混凝土來吸收，而當地表加速度漸漸增加時，鋼筋所吸收的地震力已漸漸增加，詳見表 6、表 7。

(4)五樓國中建築

明顯的可以看出增設局部翼牆效果不大，但增設全面翼牆及 RC 牆效果頗佳，不過增設 RC 牆新建費用增加許多，若不是需要極佳的耐震能力，建議使用翼牆，詳見表 8、表 9。

根據以上各種建築類型，將同屬一甲震區的不同類型建築物之新建費用與最大地表加速度分析，圖 1，可發現各種建築類型適合的補強方式，也可以發現新建費用的趨勢。

五、.結論與成果自評

1. 本研究共完成耐震診斷分析不同校舍建築共 20 個案例，新建與修補費用之比較時，以我國建築技術規則耐震規範之新建建築費用當作標準比較。
2. 在地震二區之校舍建築若要符合 Vision 2000 三階段標準，其新建及修補費用累加將平均提高約 20%，而在地震一甲區則費用平均將提高 22.3%。
3. 在地震二區或一甲區之 RC 校舍建築，若僅符合 Vision 2000 兩個階段標準，其新建及修補費用累加平均將分別提高 8.3%及 11.9%。
4. 提高校舍 RC 建築之耐震能力以配置 RC 牆或翼牆最為可行，雖該類結構系統之建築在新建時之費用較高，但大地震侵襲後之修補費用則顯得很低。
5. 常見以加粗柱樑斷面或增加配筋方式，可增加耐震能力有限，尤其在地震一甲區，震害相當嚴重，其修補費用很高。
6. 本研究內容及完成之進度與計畫相符，並已達成預期目標，其成果可作為訂定建築物功能設計法準則之參考。

參考文獻

[1] 許茂雄、張嘉祥、蔡瑞河，“新建學校建築耐震規劃設計與既有學校建築耐震補強指針研擬”，內政部建築研究所專題研究計劃期末報告(MOIS-860010)，民國八十六年六月。

[2] 張嘉祥、賴宗吾、林益民，“鋼筋混凝土校舍結構系統耐震行為分析及比較”，中華民國建築學會「建築學報」第十二期，民國八十四年四月。

[3] Structure Engineers Association of California Vision 2000 Committee, “Performance Based Seismic engineering of Buildings, SEAOC Vision 2000 Committee”, Final Report, 1995.

[4] 謝明哲，“活斷層附近鋼筋混凝土校舍建築耐震設計研究”，國立成功大學建築研究所碩士論文，民國八十七年六月。

[5] 杜怡萱，“鋼筋混凝土建築結構物之地震預期損失”，國立成功大學建築研究所碩士論文，民國八十七年六月。

[6] 詹景超，“以 RC 住宅建築耐震行為檢討 VISION 2000 設計目標”，國立成功大學建築研究所碩士論文，民國八十八年六月。

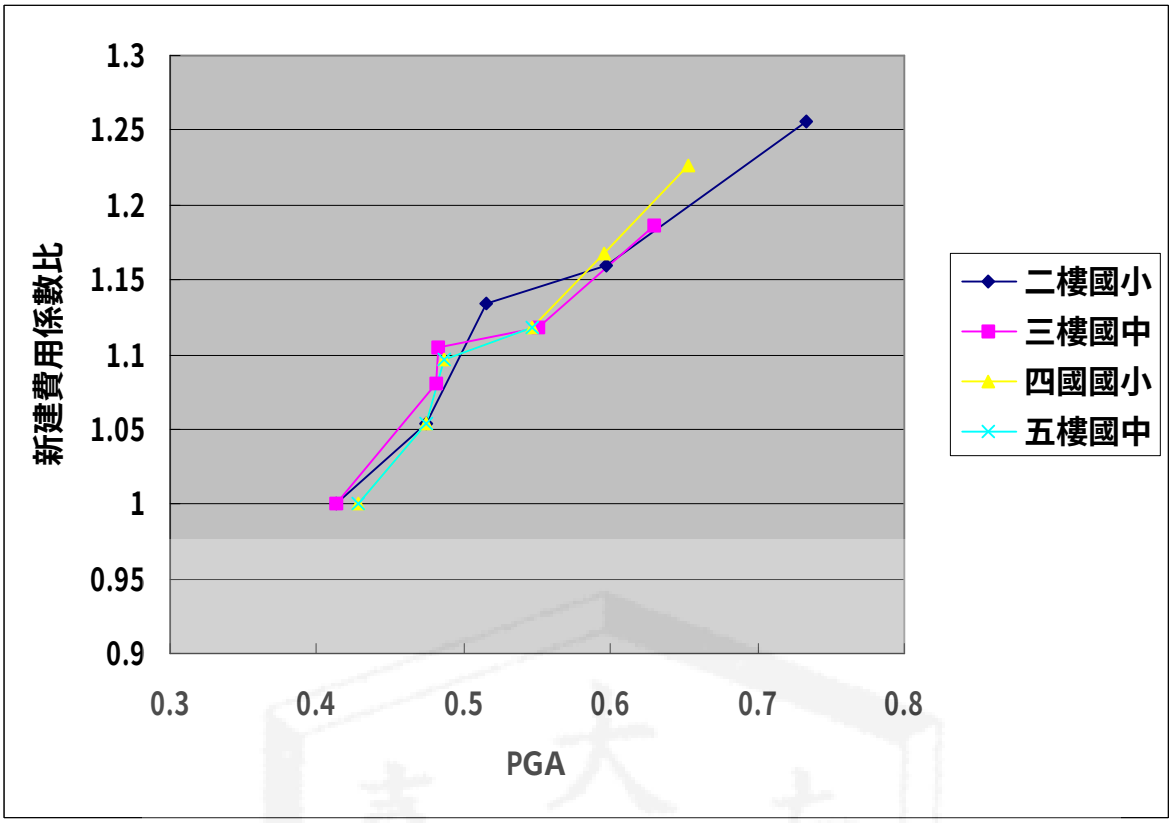

圖 1 地震一區校舍建築之最大地表加速度與新建費用比例係數關係圖

表 1 Vision 2000 委員會建議之建築結構最低設計要求

受害程度 / 地震回歸期 / 建築物重要性	無害 θ<0.2%	小害 θ <0.5%	中害 θ <1.5%	大害 θ <2.5%	備註
小震 43 年	○				θ：為最大層間相對位移角
中震 72 年	○	○			
大震 475 年	○	○	○		
烈震 970 年		○	○	○	

不准設計
一般建築
重要建築
安全要緊

表 2 地震一甲區 2F 國小教室耐震能力與費用之關係表

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.40G			
2FELZ1A	932.2	687	1	0.413g	符合耐震法規
2FELZ1B	982.2	537	1.054	0.475g	符合 vision2000 一階段
2FELZ1C	1057.8	456	1.134	0.515g	符合 vision2000 兩階段
2FELZ1D	1082.5	528	1.16	0.597g	符合 vision2000 兩階段
2FELZ1E	1171.4	413	1.256	0.733g	符合 vision2000 三階段

表 3 地震二區 2F 國小教室耐震能力與費用之關係表

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.40G			
3FHIZ1A	1667.6	1437	1	0.413g	符合耐震法規
3FHIZ1B	1799.4	1032	1.08	0.481g	符合 vision2000 兩階段
3FHIZ1C	1842.2	1210	1.105	0.483g	符合 vision2000 兩階段
3FHIZ1D	1865.2	1134	1.118	0.551g	符合 vision2000 兩階段
3FHIZ1E	1977.8	705	1.186	0.631g	符合 vision2000 三階段

表 4 地震一甲區 3F 國中小教室耐震能力與費用係

表 5 地震二區 3F 國中小教室耐震能力與費用之關係表

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.28G			
2FELZ2A	814.6	460	1	0.296g	符合耐震法規
2FELZ2B	877.2	359	1.077	0.355g	符合 vision2000 一階段
2FELZ2C	927	279	1.138	0.394g	符合 vision2000 兩階段
2FELZ2D	934.2	327	1.146	0.470g	符合 vision2000 兩階段
2FELZ2E	986.3	275	1.211	0.632g	符合 vision2000 三階段

表 6 地震一甲區 4F 國小教室耐震能力與費用之關係表

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.28G			
3FHIZ2A	1487.1	1132	1	0.300g	符合耐震法規
3FHIZ2B	1601.4	816	1.076	0.312g	符合耐震法規
3FHIZ2C	1640.2	821	1.103	0.330g	符合 vision2000 一階段
3FHIZ2D	1703.9	863	1.145	0.388g	符合 vision2000 兩階段
3FHIZ2E	1783.7	601	1.20	0.498g	符合 vision2000 三階段

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.40G			
4FELZ1A	1702.4	1230	1	0.428g	符合耐震法規
4FELZ1B	1794.9	1023	1.054	0.475g	符合 vision2000 一階段
4FELZ1C	1866.9	895	1.097	0.487g	符合 vision2000 一階段
4FELZ1D	1903.4	932	1.118	0.546g	符合 vision2000 兩階段
4FELZ1E	1989.2	778	1.168	0.595g	符合 vision2000 兩階段
4FELZ1F	2089.3	724	1.227	0.653g	符合 vision2000 三階段

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.28G			
4FELZ2A	1612.6	1030	1	0.292g	符合耐震法規
4FELZ2B	1659.2	994	1.03	0.296g	符合耐震法規
4FELZ2C	1768.6	718	1.097	0.330g	符合 vision2000 一階段
4FELZ2D	1849.2	879	1.147	0.386g	符合 vision2000 兩階段
4FELZ2E	1933.3	738	1.20	0.450g	符合 vision2000 三階段

表 7 地震二區 4F 國小教室耐震能力與費用之關係表

表 8 地震一甲區 5F 國中教室耐震能力與費用之關係表

表 9 地震二區 5F 國中教室耐震能力與費用之關係表

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.40G			
5FHIZ1A	2578.2	1765	1	0.428g	符合耐震法規
5FHIZ1B	2722	1619	1.054	0.475g	符合 vision2000 兩階段
5FHIZ1D	2810	1279	1.097	0.487g	符合 vision2000 兩階段
5FHIZ1E	3052	1040	1.118	0.546g	符合 vision2000 兩階段

	新建費用(萬元)	修補費用(萬元)	新建費用比例係數	PGA	備註
		0.28G			
5FHIZ2A	2312	1578	1	0.297g	符合耐震法規
5FHIZ2B	2493	1359	1.078	0.340g	符合 vision2000 兩階段
5FHIZ2D	2570	1043	1.11	0.358g	符合 vision2000 兩階段
5FHIZ2E	2652	932	1.147	0.396g	符合 vision2000 兩階段
5FHIZ2F	2806	890	1.213	0.432g	符合 vision2000 三階段