

學校建築耐震規劃設計 注意事項及評估

葉旭原、張嘉祥

一、前言

學校建築平常師生聚集，在社會有緊急災變時，學校又常常充做臨時收容場所，其耐震安全應超乎一般建築物，但本省之學校建築不論從耐震評估結果或從實際震害都顯示普遍存在著耐震能力不足的問題。

在耐震評估方面，民國81年至82年間成功大學建築系曾針對台南市轄區內之國中、小及幼稚園鋼筋混凝土校舍進行耐震評估，評估結果在130棟校舍中，只有12棟之崩塌地表加速度達到嘉南地區475年迴歸期地表加速度之要求(280gal)，其它118棟均低於此標準，其中更有7棟甚至低於此標準之一半；另民國80年至81年，成大許茂雄教授亦曾以增量震譜方式評估嘉南地區觸口斷層十所校舍之耐震能力，結果只有兩棟崩塌地表加速度達到280gal之要求，若再考慮建築技術規則中學校建築之使用係數1.25，則不足程度將更大。上述評估雖然是針對嘉南地區之學校建築，但本省之學

將更大。上述評估雖然是針對嘉南地區之學校建築，但本省之學校建築，不論在構造方式或空間型態上都相類似，因此其他地區之校舍耐震能力，情況與嘉南地區亦不致有太大之區別。

在實際震害方面，近年來，本省之學校建築幾乎每次只要地震較大，災害就會產生。民國75年11月台北地震造成景美女中、中山女中、實踐學院等校舍遭到嚴重損壞；民國79年12月花蓮地震，花蓮地區受到損壞的學校，就有明禮國小等十幾間，其嚴重程度遠超過一般建築物之損壞；其他如民國80年3月台南北門地震，龍安國小之損壞；民國81年台東成功地震，花蓮富里國小之損壞，以及最近(民國84年12月)台東興昌國小之損壞，可以說都是校舍損壞具體的例子。

本省學校建築之所以普遍耐震能力不足，動輒遭到震害，除了與過程施工管理制度不夠嚴謹有關外，最主要的還是結構系統在先天上耐震不佳所致。一般而言，本省之學校建築，由於通風採光需要，平面上常規劃成細長條形，這種細長條形平面，短向有牆體來分隔各個教室，長向則幾乎全部做為開窗或出入開口部。長、短向由於牆體配置懸殊，耐震上也就強弱不均，萬一較大地震沿著長向作用，則損害幾乎是很難避免。

針對本省學校建築耐震方面所顯現的問題，今後在新建校舍時，除了須滿足教學空間機能外，還必須是一個健康、耐震的結構系統。健康、耐震之結構系統受到地震作用時，通常較不易損壞，即使損壞，震後也是可以修護。這就像一個先天骨架強壯的人，這種人即使偶然走路跌倒，了不起僅及皮肉之傷；反之，一個骨架組織不良的人，(例如患骨骼疏鬆症的人)雖然只是不小心絆到石頭，很可能就骨折而倒地不起。為了使新建校舍都能成爲

一個先天健康良好，組織上沒有特別脆弱部位之結構系統，本文針對過去學校建築常見之震害，提出耐震規劃設計過程中若干應考慮事項，並研擬規劃設計評估表，做為學校建築人員作業過程之參考。

二、學校建築常見震害

不同之學校建築由於其空間形態及結構系統相類似，因此地震所導致之破壞很多相類似。例如由於重視通風採光所發展成之細長條形、U形、L形、H形等平面，其破壞很多都是在轉角部或端部；又例如由於學校建築多分期興建，地震時新舊接續部位之破壞也幾乎成了共同震害特徵。一般學校建築於地震中經常發生破壞之位置及模式可歸納如下：

在**上部結構**方面，主要有

1. 同一棟校舍中，震害大多發生在長向或轉折、接續部位。
2. 整棟建築物損傷最嚴重樓層通常為第一層。
3. 附有窗台的柱子常形成短柱，產生剪力破壞。
4. 廁所及樓梯間的高窗處形成極短柱，地震時產生 45° 剪力破壞裂縫，較嚴重者混凝土掉落，鋼筋外露。
5. 柱破壞皆發生於箍筋較少一端，或箍筋彎鉤施作不良之端點。
6. 樓梯間的垂直窗帶常形成極短樑，並遭到剪力破壞。
7. 懸臂樑處有彎矩裂縫產生。
8. 砌磚與RC接合部位在地震時開裂。
9. 不同時期興建之校舍，續接處常因碰撞造成混凝土塊掉落，甚至造成柱、樑、樓板的損壞。

方向時，兩端部之牆、隔間、以及樑經常產生損壞，較嚴重者則從整棟校舍中央分裂開來。

- 11.鋼骨造屋架與混凝土接合部位，錨定螺栓常遭拔起或剪斷。
- 12.鋼骨造建築物(如體育館)長向斜撐長遭挫屈或拉斷。
- 13.鋼骨柱腳在地震時拔起，或造成螺栓鬆動。
- 14.鋼骨斷面受雨水侵蝕變小，構材斷面變小處在地震時經常產生大變形。
- 15.鋼骨柱樑焊接不良處在地震時損壞。

在**基礎與地盤**方面，主要有：

- 1.位於海邊、沙洲、回填地等土壤容易液化區，在地震時經常導致建築物傾斜、水平移動。
- 2.地震後擋土牆背後土壤經常塌陷。
- 3.校舍越不同土層處，造成不均勻沉陷。
- 4.校舍重量分佈不均(如只有部份興建地下室)，造成不均勻沉陷。
- 5.樁基礎頭部由於地震力作用，遭到剪壞、壓壞。
- 6.校舍位於斷層附近時，靠近斷層側損傷較為嚴重。
- 7.校園操場、道路、停車場等，經常在地震後產生下陷、龜裂。

在**非結構及設施**方面，主要有：

- 1.屋頂水塔或冷卻塔震後經常傾斜、倒塌、甚至掉落。其破壞情況一般有下列三種：
 - (1)底座錨定處螺栓被拔起或剪斷
 - (2)支撐架壓縮構材挫屈
 - (3)焊接處斷裂
- 2.學校圍牆倒塌。

3. 女兒牆、欄杆掉落。
4. 內外裝修材掉落。
5. 天花板掉落。
6. 窗框變形，玻璃破裂。
7. 日光燈、吊燈、電扇、視聽教學設備等懸吊物掉落。
8. 理化實驗室、自然教室中實驗器材、藥品翻倒。
9. 圖書室中書架傾斜或翻倒。
10. 教室或辦公室中置放資料之櫥櫃翻倒

三、耐震規劃設計要點

針對一般校舍常見之震害，本文分(一)上部結構(二)基礎及地盤(三)伸縮縫及建築物連續(四)非結構及設備 四個部份來說明學校建築在耐震規劃設計過程中所應考慮之事項。為了使說明更為具體，並使非建築技術專業人員以及學校行政人員亦能瞭解，各個考慮項目均規劃成獨立一頁，頁中除簡要文字說明之外，並以照片或圖示來說明地震損壞及耐震規劃設計上之參考做法。

(一)上部結構

本部份所包括之項目及各項目主要內容如下：

1. 平面形狀（編號甲－1）。本項說明如何選擇耐震上較為良好之校舍平面及幾何比例。
2. 立面形狀（編號甲－2）。本項說明如何選擇耐震上較為良好之校舍立面形狀及幾何比例。
3. 柱位及柱距（編號甲－3）。本項建議柱子如何與教室單元空間配合，以增強校舍長向耐震能力。

4. 柱與樑之關係（編號甲－4）。本項說明平面及立面上柱、樑之軸線關係。
5. 柱構造規劃（編號甲－5）。本項說明RC柱內部鋼筋之配置原則。
6. 短柱之耐震處理（編號甲－6）。本項說明短柱之結構行爲及校舍結構中有短柱時如何補救。
7. 樑構造規劃（編號甲－7）。本項說明樑之結構行爲以及柱樑構架中樑端配筋原則。
8. 短樑之耐震處理（編號甲－8）。本項說明短樑之結構行爲及補救措施。
9. 柱樑節點（編號甲－9）。本項說明RC構架中柱樑節點配筋方式。
10. 牆體在平面之安排（編號甲－10）。本項說明牆體配置對整體結構之影響以及如何安排良好之配置。
11. 牆體在豎向上之安排（編號甲－11）。本項說明如何避免牆體在立面不良之配置方式。
12. 窗台（編號甲－12）。本項說明窗台在地震時對柱子的不良效應，以及適當處理方式。
13. 樓板（編號甲－13）。本項說明樓板之主要結構行爲及配筋原則。
14. 樓板角隅及開口部（編號甲－14）。本項說明如何避免樓板角隅及開口部周邊之破壞。
15. 走廊（編號甲－15）。本項說明走廊型式與校舍耐震關係，並建議耐震上較爲適當之走廊型式。
16. 樓梯（編號甲－16）。本項說明RC樓梯在地震時較容易破壞

之部位以及如何防止。

(二)建築物間之接續及伸縮縫

本部份所包括之項目及主要內容如下：

- 1.伸縮縫位置（編號乙－1）。本項說明無伸縮縫時校舍結構容易發生之問題以及伸縮縫適當規劃位置。
- 2.伸縮縫構造（編號乙－2）。本項說明平屋頂、樓板、牆體伸縮縫之構造方式。
- 3.增建時柱之連續（編號乙－3）。本項說明校舍在高度方向增建時，柱之接續以及如何做預留。
- 4.增建時樑之接續（編號乙－4）。本項說明校舍在水平方向增建時，樑之接續以及如何做預留。
- 5.增建時樓板之接續（編號乙－5）。本項說明校舍在水平方向增建時，樓板如何做預留。
- 6.校舍間之連結走廊（編號乙－6）。本項說明連結走廊與校舍結構體間適當之構造關係。

(三)基礎及地盤

本部份所包括之項目及主要內容如下：

- 1.坡地（編號丙－1）。說明校舍建於坡地時容易產生之破壞及預防方法。
- 2.回填地（編號丙－2）。說明校舍座落於回填地時基礎規劃原則。
- 3.谷地或低地（編號丙－3）。說明校舍座落於谷地或低地時，必要之耐震安全措施。
- 4.沖積地（編號丙－4）。說明沖積地對校舍結構行為之影響以及基礎規劃原則。

5. 水邊地（編號丙－5）。說明水邊地必要之結構安全措施。
6. 近鄰陡峭或懸崖地（編號丙－6）。說明陡峭地或懸崖地之潛在危險以及必要之安全措施。
7. 軟硬懸殊地質（編號丙－7）。說明校舍結構位於此種地質時潛在危險以及安全規劃原則。
8. 基地下層有容易滑動之軟弱層（編號丙－8）。說明此地質對校舍之潛在危險以及安全規劃。
9. 高液化潛能地質（編號丙－9）。說明校舍座落於此種地質時，耐震安全上必要之規劃考慮。

四)非結構及設備

本部份共21個項目，範圍包括學校建築中之傢俱、設備、及柱、樑、樓板、基礎以外之非結構部份。各項目主要內容如下：

1. 教具櫃或資料櫃（編號丁－1）。說明一般教具櫃或資料櫃在地震時經常發生之損害模式以及改善措施。
2. 雙層鐵櫃或疊砌式櫥櫃（編號丁－2）。主要說明這兩種傢俱之耐震安全改善方式。
3. 瓦斯瓶或高壓氣瓶（編號丁－3）。說明廚房及實驗室中，這兩種具爆炸危險性之設備如何做改善。
4. 放置瓶罐、藥品、器皿之層板（編號丁－4）。說明如何改善層板或櫥門以避免瓶罐、藥品、器皿掉落，造成爆炸、火災、毒氣等二次災害。
5. 圖書架（編號丁－5）。說明如何連繫圖書層架以及加強個別層架以增加耐震能力。
6. 天花板（編號丁－6）。針對目前常用輕鋼架天花板說明正確之構造及施工方式。

7. 教室日光燈（編號丁－7）。說明燈座及燈管防震落構造。
8. 懸吊電扇或懸吊視聽設備（編號丁－8）。說明教室中懸吊設備應如何防止震落。
9. 展示櫥櫃及佈告欄（編號丁－9）。說明固定方式以防震落造成危險。
10. 桌上置放型儀器及設備（編號丁－10）。說明如何以鍊條、鬆緊帶、黏扣帶等來加強桌上儀器、設備之安全。
11. 輪車型設備（編號丁－11）。說明如何防止輪車型設備在地震時產生碰撞或翻覆。
12. 採光玻璃面（編號丁－12）。說明玻璃面週邊之構造，以防止地震擠壓破壞。
13. 門窗開口部（編號丁－13）。說明耐震安全上門窗開口部之構造。
14. 外牆裝修材（編號丁－14）。說明幾種常用外裝修材耐震上之構造。
15. 內牆裝修材（編號丁－15）。說明牆面貼磁磚、石材時之構造及施工方式。
16. 磚造圍牆（編號丁－16）。說明如何在構造上加強磚造圍牆之耐震能力。
17. 升旗台及旗桿（編號丁－17）。說明旗桿端部固定構造及平常之安全維護。
18. 屋頂水塔或空調冷卻塔（編號丁－18）。說明固定於樓板之方式以及規劃位置。
19. 冷氣機（編號丁－19）。說明如何防止窗型冷氣機被震落造成危險。

- 20.屋頂女兒牆（編號丁－20）。說明加強女兒牆耐震安全之方法。
- 21.校園雕塑及美化物（編號丁－21）。說明防止雕塑物及美化物墜落應注意事項。

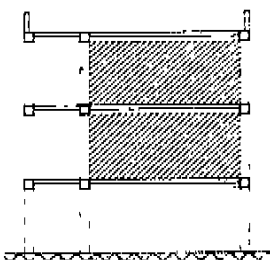
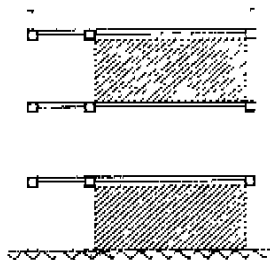
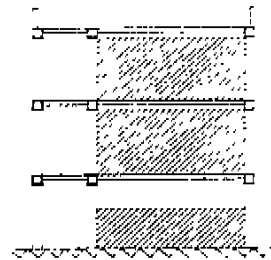
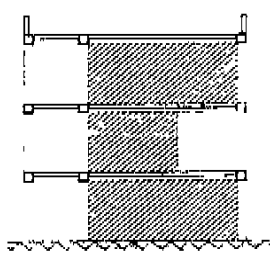
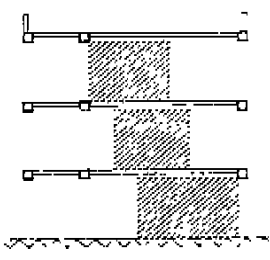
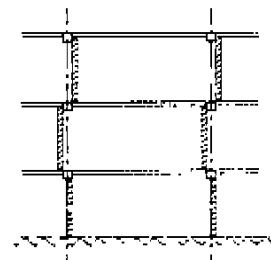
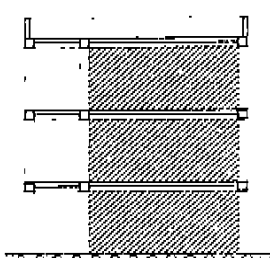
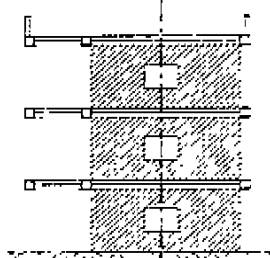
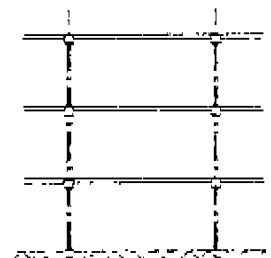
上部結構		
項目	牆體在校舍豎向的安排	編號
		甲-11
<p>下列情況為校舍耐震規劃時不良的牆體豎向安排方式：</p>		
		
<p>上層有牆體，底層未配置牆體，造成柔弱底層</p>	<p>上下層有牆體，中間層未配置牆體，造成剛度突然變化</p>	<p>因開高窗，使得牆體不連續以及極短柱</p>
		
<p>牆體斷面積在某些樓層突然減少</p>	<p>各層牆體位置錯開</p>	<p>上下層牆體位置不對齊造成質心線不一致</p>
		
<ul style="list-style-type: none"> ● 牆體配置宜上下連續；牆的中心應力求一致。 ● 若牆體有開口，開口位置應上下一致，開口面積宜小於該牆體面積之 $\frac{1}{6}$。 		
備註		

圖1 牆體在校舍豎向的安排


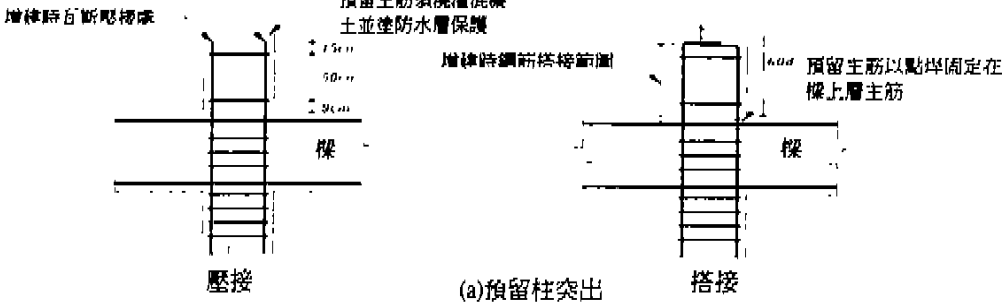
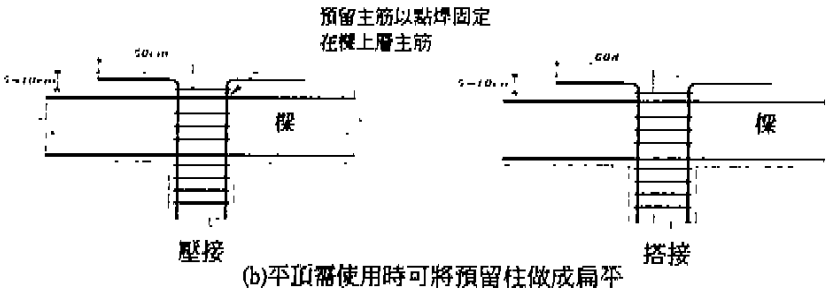
校舍之接續			
項目	增建時柱之接續	編號	Z-4
 <p style="text-align: center;">預留主筋外露日久生鏽，使得有效鋼筋斷面減少。</p>			
<p style="text-align: center;">預留主筋須澆灌混凝土並塗防水層保護</p>			
<p style="text-align: center;">增建時鋼筋接續範圍</p>			
<p style="text-align: center;">預留主筋以點焊固定在樓上層主筋</p>			
			
<p style="text-align: center;">預留主筋以點焊固定在樓上層主筋</p>			
			
<ul style="list-style-type: none"> ● 預留柱主筋須澆灌混凝土並作防水層保護，避免鋼筋生鏽而減少斷面或強度。 ● 預留柱主筋搭接長度須符合建築技術規則及其他相關之規定(搭接長度須大於 50cm 或 60d)，且新舊柱主筋搭接位置宜接近續接新柱之中央(參照項目甲-5)。 ● 柱樑節點之配筋方式與作法可參照項目甲-9。 ● 接續時先將柱頭鑿除部份混凝土，然後再與增建之柱子一體澆置。 			
備註			

圖2 增建時柱之接續



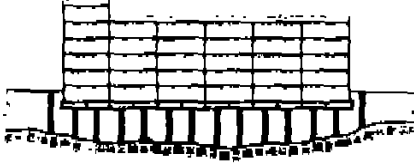
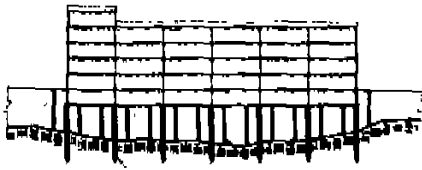
基礎及地盤		
項目	高液化潛能地質	編號 丙-9
 <p style="text-align: center;">地震時導致土壤液化並使得建築物傾斜甚至傾倒破壞。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>打樁至堅硬地盤</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>礫石樁或砂樁</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center; margin-top: 10px;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>樁基礎 格子狀改良壁</p> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> ● 學校建築基地宜儘量避免規劃在高液化潛能之地質。 ● 校舍建築基地為高液化潛能地質時，為防止地震時導致校舍災害可採取下列方式： <ol style="list-style-type: none"> (1)打樁至堅硬地盤，使建築物載重能有效傳遞並減少液化層地質對建築物之影響。 (2)基地打礫石樁、砂樁或做其他地質改良工法，以加快地下水之排出並增加土壤密實性。 (3)利用格子狀改良壁以防止基地土壤液化並提高地盤對水平地震力之抵抗。 		
備註		

圖3 高液化潛能地質

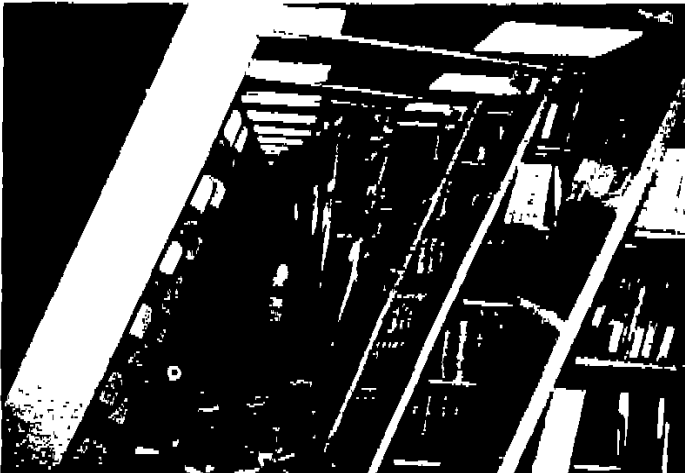
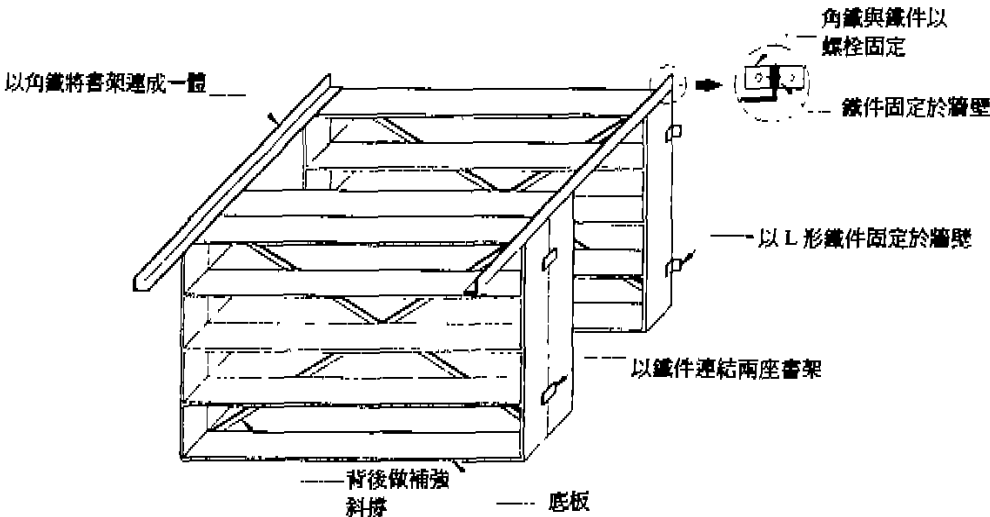
非結構及設備			
項目	圖書架	編號	丁-5
			
<ul style="list-style-type: none"> ○ 獨立或未做耐震考慮之圖書架在地震時容易產生連鎖性傾斜及翻覆。 ○ 散落一地的圖書及損壞之書架易造成學生受傷並妨礙逃生。 			
			
<p>耐震措施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 應加強書架間之連結及書架與牆壁間之固定，以防止書架在地震中產生扭曲變形。 ● 重量大之套書應盡量放置在書架底層。 ● 在不影響動線原則下，應以雙向角鐵連結書架單元。 			
備註			

圖4 圖書架

四、學校建築耐震規劃評估

為避免學校建築在規劃設計過程對耐震的考慮有所疏漏，規劃設計階段有必要針對一些耐震影響較大之項目進行評估。評估後若未能合乎要求，應立即就規劃設計結果做調整，以使施工前校舍耐震安全考慮達到較完善之地步。本文中學校建築規劃設計評估分為上部結構、基礎及地盤、以及非結構三部份，本評估除了提供建築師、工程師等專業人員規劃、設計過程自行檢核之外，亦可做為學校行政人員與專業人員共同查核規劃設計結果之用。

(一)上部結構

上部結構之評估包括 1.平面形狀 2.立面形狀 3.室外走廊型式 4.壁量比 5.垂直構材載重比 6.極短柱 7.極短樑 8.樓板挑空 9.剛、質心之偏心比 10.伸縮縫寬高比 11.預防鄰棟碰撞間距。每個項目評估結果皆分為良好、普通、待改善三個等級。表4.1為各項目之評估方式。

表4.1 校舍上部結構規劃評估表

	良好	普通	待改善
1. 平面形狀			
1). 規則性	<input type="checkbox"/> 規則形	<input type="checkbox"/> 大略規則形	<input type="checkbox"/> 不規則形
2). 長寬比	<input type="checkbox"/> 未達5	<input type="checkbox"/> 5~8	<input type="checkbox"/> 超過8
3). 中間變細	<input type="checkbox"/> 超過0.8	<input type="checkbox"/> 0.5~0.8	<input type="checkbox"/> 未達0.5
2. 立面形狀			
1). 上下樓層層高比	<input type="checkbox"/> 超過0.8	<input type="checkbox"/> 0.7~0.8	<input type="checkbox"/> 未達 0.7
2). 高寬比	<input type="checkbox"/> 未達2	<input type="checkbox"/> 2~4	<input type="checkbox"/> 超過4
3). 樓層退縮比	<input type="checkbox"/> 無樓層退縮	<input type="checkbox"/> 0.75~1	<input type="checkbox"/> 未達0.75
3. 室外走廊型式	<input type="checkbox"/> 有廊柱之雙邊走廊	<input type="checkbox"/> 有廊柱之單邊走廊	<input type="checkbox"/> 懸臂走廊
4. 壁量比	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
一甲區	超過0.55%	0.42%~0.55%	未達0.42%
一乙區	超過0.45%	0.36%~0.45%	未達0.36%
二區	超過0.36%	0.25%~0.36%	未達0.25%
三區	超過0.25%	0.10%~0.25%	未達0.10%
5. 垂直構材載重比	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--甲區	未達1.5kg/cm ²	1.5kg/cm ² ~4.0kg/cm ²	超過4.0kg/cm ²
--乙區	未達3.0kg/cm ²	3.0kg/cm ² ~5.0kg/cm ²	超過5.0kg/cm ²
二區	未達5.0kg/cm ²	5.0kg/cm ² ~7.0kg/cm ²	超過7.0kg/cm ²
三區	未達7.0kg/cm ²	7.0kg/cm ² ~11.0kg/cm ²	超過11.0kg/cm ²
6. 極短柱 ($h_0 / D \leq 2$)	<input type="checkbox"/> 沒有	<input type="checkbox"/> 有 但有特別構造處理	<input type="checkbox"/> 有 無特別構造處理
7. 極短樑 ($l_0 / D \leq 2$)	<input type="checkbox"/> 沒有	<input type="checkbox"/> 有 但有特別構造處理	<input type="checkbox"/> 有 無特別構造處理
8. 樓板			
1). 挑空率	<input type="checkbox"/> 未達0.1	<input type="checkbox"/> 0.1~0.3	<input type="checkbox"/> 超過0.3
2). 挑空偏心	<input type="checkbox"/> ux 0.1以下 uy 0.4以下	<input type="checkbox"/> ux 0.1~0.3 uy 0.4以下	<input type="checkbox"/> ux 超過0.3 或 uy 超過0.4
9. 樓層剛、質心之偏心比	<input type="checkbox"/> 未達0.1	<input type="checkbox"/> 0.1~0.15	<input type="checkbox"/> 超過0.15
10. 伸縮縫寬高比	<input type="checkbox"/> 超過	<input type="checkbox"/> ~	<input type="checkbox"/> 未達
11. 預防鄰棟撞擊間距	<input type="checkbox"/> 超過0.019H且 大於19cm	<input type="checkbox"/> 0.015H~0.019H 或15cm~19cm	<input type="checkbox"/> 未達0.015H 或 未達15cm

(二)基礎及地盤

本部份之項目包括 1.規劃校舍與斷層之距離 2.規劃校舍與陡坡、河海、湖泊、沼澤之距離 3.基地土壤液化潛能抵抗率FL 4.基地滑動潛能 5.校舍在強震時不均匀沉陷 6.校舍在強震時之總沉陷量 7.土壤單位面積載重與極限承載強度之比 8.校舍與基地基本振動週期之比。每個項目評估結果皆分為良好與待改善兩個等級。表4.2為各項目之評估方式。

表4.2 校舍基礎及地盤規劃評估表

	良好	待改善
1. 與斷層之距離		
1).明確斷層兩旁	<input type="checkbox"/> 60m以上	<input type="checkbox"/> 未達60m
2).不明確斷層兩旁	<input type="checkbox"/> 80m以上	<input type="checkbox"/> 未達80m
2. 與陡坡、河海、湖泊、沼澤之距離	<input type="checkbox"/> 50m以上	<input type="checkbox"/> 未達50m
3. 基地土壤液化潛能抵抗率FL	<input type="checkbox"/> 1以上	<input type="checkbox"/> 未達1
4. 基地滑動潛能		
1).自然坡面	<input type="checkbox"/> 未達9	<input type="checkbox"/> 9以上
2).人工坡面	<input type="checkbox"/> 未達15	<input type="checkbox"/> 15以上
5. 強震時不均匀沉陷量	<input type="checkbox"/> 未達2cm	<input type="checkbox"/> 2cm以上
6. 強震時總沉陷量	<input type="checkbox"/> 未達10cm	<input type="checkbox"/> 10cm以上
7. 土壤單位面積載重與極限承載強度之比	<input type="checkbox"/> 未達1/3	<input type="checkbox"/> 1/3 以上
8. 建築物與基地振動週期比 (T _b /T _g)	<input type="checkbox"/> 未達0.2254 或2以上	<input type="checkbox"/> 0.225~2

(三)非結構

非結構涵蓋範圍極廣，其中有很多都是在建築物完成之後再增設，並未與建築及結構主體同時做規劃設計，因此本文中只選取六個主要項目來做為評估。這些項目為 1. 櫥櫃 2. 輕鋼架天花板 3. 吸頂或吊式照明設施 4. 採光玻璃面 5. 主要出入口門框容許變形角 6. 校園圍牆。這六個項目評估結果均分為良好及待改善兩個等級。表4.3為各項目之評估方式。

表4.3 校舍非結構規劃評估表

	良好	待改善
1. 櫥櫃		
1). 構造型式	<input type="checkbox"/> 建入式 (built-in)	<input type="checkbox"/> 活動式且未考慮固定措施
2). 深高比($\frac{L}{H}$)	<input type="checkbox"/> 4以上	<input type="checkbox"/> 未達4
2. 輕鋼架天花板		
1). 固定方式	<input type="checkbox"/> 預埋式固定或膨脹螺絲固定	<input type="checkbox"/> 拉爆螺絲固定
2). 吊桿長度	<input type="checkbox"/> 未達90cm	<input type="checkbox"/> 90cm以上
3). 斜桿補強	<input type="checkbox"/> 有	<input type="checkbox"/> 無
3. 吸頂或吊式照明設施		
1). 固定方式	<input type="checkbox"/> 預埋式或膨脹螺絲固定	<input type="checkbox"/> 楔木螺絲、自攻螺絲或鋼釘固定
2). 防落裝置	<input type="checkbox"/> 裝設燈管防落套管或防落格柵	<input type="checkbox"/> 無任何防落措施或照明設施接近牆、樑等結構體
4. 玻璃		
1). 重要出入口附近	<input type="checkbox"/> 使用強化、膠合、鐵絲網等安全玻璃	<input type="checkbox"/> 使用普通玻璃
2). 玻璃面與框格之關係	<input type="checkbox"/> 有彈性襯條及變形餘裕空間之設計	<input type="checkbox"/> 玻璃直接嵌入框格內
5. 主要出入口門框構造容許變形角	<input type="checkbox"/> 以上	<input type="checkbox"/> 未達
6. 圍牆	<input type="checkbox"/> 採用震力係數 $CP > 0.35$ 之設計	<input type="checkbox"/> 未經結構力學計算

五、實例評估

民國35年新化地區發生震度規模 $M=6.7$ ，震度=V之強震，震央在新化荖菝林附近(張麗旭等，1947)。由於震源甚淺(只有2公里左右)，因此造成之災害甚大。此次地震，沿著荖菝林、新化，延伸到永康產生一條長約六公里的斷層(圖5)、當時斷層沿線附近建築物很少，五十年後之今天斷層沿線附近大部份已成爲人煙稠密之地區，其間並座落多所學校建築。爲瞭解目前斷層沿線新建校舍耐震規劃設計情況，本文選擇代表性之七所學校，以本文所研擬之評估表來做評估。這七所學校爲：

1. 光榮國小。位於左鎮鄉，評估部份爲一層樓之新建專科教室，面積 168m^2 。
2. 荖菝國小。位於新化鎮荖菝里，評估部份爲兩層樓之新建教室，每層面積 406.6m^2 。
3. 大新國小。位於新化鎮市區，評估部份爲新建兩層樓層辦公室，每層面積 81.3m^2 。
4. 新化國中。位於新化鎮市區，評估部份爲新建三層綜合大樓(包含專業教室及辦公室)，每層面積 891.1m^2 。
5. 永康國小。位於永康市，評估部份爲新建四層樓美術教室，每層面積 359.1m^2 。
6. 龍潭國小。位於永康市，評估部份爲新建三層樓普通教室及圖書館，每層面積 616.5m^2 。
7. 三村國小。位於永康市鹽行，評估部份爲新建四層樓普通教室及辦公室。校舍分成左、右兩棟，之間以 3cm 之伸縮縫隔開

左棟面積337.9m²，右棟面積556.9m²。

表5.1為這七所學校選擇評估之8棟校舍。這8棟校舍上部結構都是RC造，建造時間都是在民國80年以後。

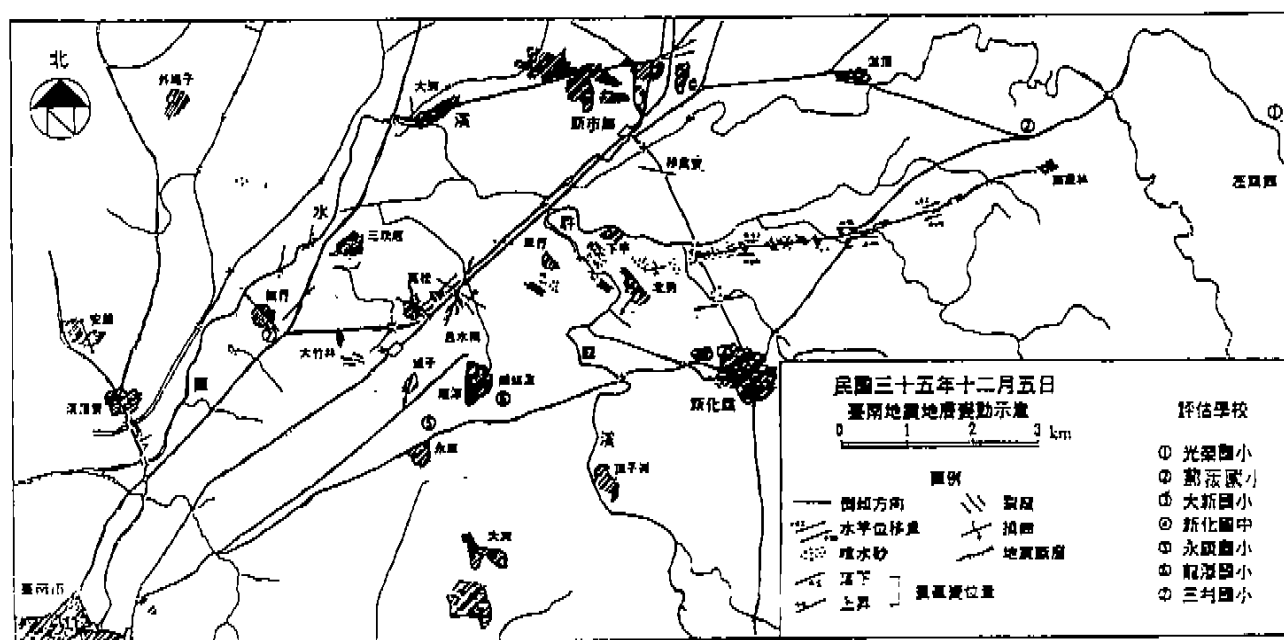


圖5 新化斷層及沿線七所學校分佈圖

(一)上部結構評估結果

表5.2及表5.3為這8棟校舍之上部結構評估結果。各項目中待改善比例較高之幾項為：

1. 平面形狀。有6棟校舍之平面形狀待改善，佔75%。
2. 極短柱。8棟校舍均有極短柱待改善。
3. 垂直構材載重，除光榮國小為普通外，其他7棟均為"待改善"。
4. 壁量比。待改善之校舍有6棟，佔75%。

除了上述四項外，室外走廊型式待改善有4棟，比例50%；樓板挑空偏心及隔離縫寬度待改善各3棟，比例37.5%。此七項外，立面形狀、極短樑、以及樓層剛質心偏心比三項，評估之8棟校舍均屬規劃良好。

由上面評估結果來看，目前學校建築在耐震規劃上出現較多問題的項目為平面形狀、壁量比、垂直構載重、極短柱、以及室外走廊形式。一般校舍的平面形狀若是以單棟校舍來評估，則大都為良好，但是大部分的校舍因為使用功能上的考量，必須與既有校舍直接連成一體或以走廊連結，如此一來就會造成其平面上的不規則、長寬比變大、中間變細等問題，不利於耐震的要求。在壁量比、垂直構材載重項目上，幾乎每間學校都有問題，顯示各校校舍在規劃上壁體太少，以致未能符合一甲震區之耐震要求。極短柱是學校建築耐震上經常出現的弱點，這七所學校均反應此問題。評估的8棟校舍短柱形成位置大部份在樓梯間或廁所開高窗處，永康、三村國小的極短柱則除了發生在上述部位外，也發生在地下室高於地面開採光窗處。室外走廊問題通常是學校為了學生活動的安全及空間的流暢性，故採用懸壁走廊；評估的8棟校舍中，採用懸臂走廊之四棟在樓層剛、質心偏心比雖然還好，但過

程中計算出的剛、質心偏心比均較其他學校大。除了上述主要問題，樓板挑空偏心一項，待改善之三棟校舍，係由於入口挑空或未以RC牆圍束的樓梯間位於校舍平面側邊；隔離縫寬度待改善之三棟校舍中，永康國小新建校舍廊道與舊有校舍之間僅規劃以一塊保利龍隔開的伸縮縫，約2cm；三村國小左、右兩棟校舍之間規劃的伸縮縫，寬度只有3cm，均不符合隔離縫的規定。

(二)基礎及地盤評估結果

表5.4為這八棟校舍之基礎及地盤評估的結果，主要情況如下：

1. 所有校舍在與斷層距離、總沈陷量、及土壤載重方面評估結果均屬良好。在1項中，與斷層距離最近者為光榮及龍潭國小，約在100m~500m之間，其他之6棟，與斷層距離均在500m以上。整體而言，評估之8棟校舍並無必須採取遷校或限建之情況。在6、7項中各校舍經計算結果總沈陷量皆在10cm以內，土壤載重亦均在極限強度1/3以內，現有情況下均屬良好。
2. 建築物與基地振動週期比以及基地液化潛能為兩個極待加強改善之問題。由於地質大部份屬沖積層，且地下水位較高，所以根據每所學校鑽探報告書所計算出的FL值〔葉旭原，1997〕，在評估之8棟校舍中除了荊菝、大新（FL值分別為1.02、1.16）外，其他6棟均有待改善，例如龍潭國小只有0.64、三村國小只有0.54。週期比方面，8棟校舍的振動週期介於0.1~0.4秒之間，基地振動週期均介於0.2~0.5秒之間，因此其建築物與土壤的振動週期比，皆落於評估表的 $0.255 \sim 2$ 的範圍內，全部屬待改善等級。
3. 校舍不均匀沈陷值得注意。8棟校舍中，除永康國小因缺乏基礎資料未能進行評估外，其他7棟校舍均根據土壤鑽探報告書、

基礎實際尺寸以及載重大小算出各基礎沈陷量，之後以最大沈陷量與最小沈陷量之差求出不均勻沈陷量。計算結果有3棟超過2cm，分別為光榮國小2.1cm、新化國中2.4cm、龍潭國小2.2cm，比例達42.9%。此比例係在垂直載重作用下，在地震時，由於校舍受到來回振動，造成不均勻沈陷之量，可能會比靜載重作用下來得嚴重。

(三)非結構及設備評估結果

表5.5為非結構及設備的部份項目評估結果。由於資料的不全，只做吸頂或吊式照明設施及圍牆兩個項目的評估。在吸頂或吊式照明設施方面，所有評估學校的照明設施皆未以預埋或膨脹螺絲固定，且無任何防落措施，配置上亦未考慮避免與牆、樑等結構體接近。而所有學校的圍牆其設計過程皆無考慮到非結構震力係數 $C_p > 0.35$ 的計算。故在此兩個項目的評估結果上，全部皆為待改善。

表5.1 新化斷層沿線評估校舍概況表

學校	建造時間	樓層數	構造型式	牆體材料	基礎型式	最弱層樓地板面積(m ²)	總樓地板面積(m ²)	
光榮國小	83	1	RC剛構架	磚	獨立基礎	168	168	
那菝國小	81	2	RC剛構架	磚	獨立基礎	406.6	631.6	
大新國小	82	2	RC剛構架	磚	連續基礎	81.3	162.6	
新化國中	83	3	RC剛構架	RC、磚	獨立基礎	891.1	2673.2	
永康國小	83	4	RC剛構架	RC、磚	獨立基礎	359.1	1436.4	
龍潭國小	85	3	RC剛構架	RC、磚	獨立、筏式基礎	616.5	1849.4	
三村國小	左側	80	4	RC剛構架	RC、磚	獨立、筏式基礎	337.9	1351.4
	右側	80	4	RC剛構架	RC、磚	獨立、筏式基礎	556.9	2227.7

表5.2 新化斷層沿線八棟校舍耐震規劃評估結果

學校	1. 平面形狀			2. 立面形狀			3. 室外走廊型式	4. 壁量比
	規則性	長寬比	中間變細	上下樓層層高比	高寬比	樓層退縮比		
光榮國小	×	○	×	○	○	○	×	○
那菝國小	○	○	○	○	○	△	×	×
大新國小	×	×	×	○	○	○	/	×
新化國中	△	×	×	○	○	○	△	×
永康國小	×	×	○	○	○	○	△	×
龍潭國小	×	△	○	○	○	○	△	△
三村國小	左側	○	○	○	○	○	×	×
	右側	△	△	×	○	○	×	×
待改善校舍所佔比率	75%			0%			50%	75%
備註	○良好 △普通 ×待改善							

表5.3 新化斷層沿線八棟校舍耐震規劃評估結果

學校	5. 垂直構材 載重比	6. 極短柱	7. 極短樑	8. 樓板		9. 樓層剛、質心 偏心比	10. 隔離縫 寬度
				挑空率	挑空偏心		
光榮國小	△	×	○	○	△	○	○
荊菝國小	×	×	○	○	○	○	○
大新國小	×	×	○	○	○	○	○
新化國中	×	×	○	○	○	○	○
永康國小	×	×	○	△	○	○	×
龍潭國小	×	×	○	○	×	×	○
三村 國小	左側	×	○	○	×	○	×
	右側	×	○	△	×	○	×
待改善校舍 所佔比率	87.5%	100%	0%	37.5%		0%	37.5%
備註	○良好 △普通 ×待改善						

表5.4 新化斷層沿線八棟校舍耐震規劃評估結果

學校	1. 與斷層 之距離	2. 與陡坡、河 海、湖泊、 沼澤之距離	3. 基地土壤 液化潛能	4. 基地滑 動潛能	5. 不均勻 沈陷量	6. 總沈 陷量	7. 土壤單位面積載 重與極限承載強 度之比	8. 建築物與 基地振動 週期比
光榮國小	○	×	×	×	×	○	○	×
荊菝國小	○	○	○	○	○	○	○	×
大新國小	○	○	○	○	○	○	○	×
新化國中	○	○	×	○	×	○	○	×
永康國小	○	○	×	○	△	△	△	×
龍潭國小	○	○	×	○	×	○	○	×
三村 國小	左側	○	○	×	○	○	○	×
	右側	○	○	×	○	○	○	×
待改善校舍 所佔比率	0%	12.5%	75%	12.5%	42.9%	0%	0%	100%
備註	○良好 ×待改善							

表5.5 新化斷層沿線八棟校舍耐震規劃評估結果

學校	3.吸頂或吊式照明設施		6.圍牆
	固定方式	防落裝置	
光榮國小	×	×	×
荊菝國小	×	×	×
大新國小	×	×	×
新化國中	×	×	×
永康國小	×	×	×
龍潭國小	×	×	×
三村 國小	左側	×	×
	右側	×	×
待改善校舍 所佔比率	100%	100%	100%
備註	○ 良好 × 待改善		

六、結論

耐震安全是台灣地區校舍建築最基本的要求，也是規劃設計上所必需考慮者。本文根據國內外校舍震害所歸納之52個耐震應注意項目，範圍包括上部結構、基礎及地盤、校舍接續、以及非結構和設備，不但有助於規劃設計者做周詳的考慮，也是學校行政人員和總務人員在作業過程中與建築師、工程師等專業人員溝通、討論時具體的參考資料。另外，為檢核規劃設計結果所研擬的評估表，除了提供專業人員自我評估外，也是教育主管、校長、總務主任等瞭解規劃設計案或既有校舍耐震情況，一種直接方便

的方式。應用此評估表，本文具體評估了新化斷層七所校舍。評估結果顯示，目前一般校舍規劃設計，在耐震上仍有很多不夠周詳之處。

參考文獻

1. 蔡益超、邱昌平（1991）**現有鋼筋混凝土建築物耐震能力評估手冊**。台北：內政部建築研究所。
2. 日本建築防災協會（1981）。**鉄筋コンクリート造建物の耐震診断**。SPRC委員會編。
3. **Uniform Building Code(1988)**。台北：漢陽圖書有限公司。
4. 張嘉祥，許茂雄，林國壽，黃國彰，**1995**，"鋼筋混凝土既有校舍耐震能力與幾個影響參數關係—以台南地區校舍為例"，結構工程，第十卷第三期，結構工程學會。
5. 張嘉祥、許茂雄、姚昭智、劉玉文（**1995**）"台南市鋼筋混凝土學校建築耐震評估"。**建築學報第十三期**。建築學會。
6. 王進財（1990）。**無邊界柱開口鋼筋混凝土剪力牆之耐震行為**。國立成功大學建築研究所未出版碩士論文。
7. 周錫延（1996）**醫院鋼筋混凝土建築耐震診斷與補強**。國立成功大學建築研究所碩士論文。
8. 日本建設省（1991）。**震災建築物等の被災度判定基準および復舊技術指針（鉄筋コンクリート造編）**。
9. 蔡益超、項維邦、蔡克銓、張國鎮（1995）**建築物耐震設計規範條文、解說及示範例之研訂**。內政部建築研究所籌備處專題研究計劃成果報告MOIS-840003，台北。