

### 一、前言

2016年2月6日上午3時57分凌晨，高雄美濃地震發生芮氏規模6.4強震，地震深度16.7公里，全台都有感，南台灣也陸續傳出災情，其中台南市新化震度7級為最大，台南市為5級。台南市區災情最為慘重，可能是地震的破裂帶屬東西向而非南北向，加上「場址效應」，即東西向的震波從美濃傳遞到台南時，遇到土壤較軟的沖積層，震波被放大、週期拉長、震動時間較久，構成對建物較不利因素，因此高樓或低矮樓房出現共振現象，造成台南有多處大樓倒塌，包括歸仁區大仁街與信義北路路口的幸福大樓、台南市永康區永大路2段139號的維冠金龍大樓等。據台南市應變中心資料彙整，總計約有16件建築物倒塌，造成多人死傷、數百人無家可歸。台南多個地區位處平原、土層軟弱，所以搖晃時間比較久，依據氣象局永康(TAI1)測站資訊，永康地區的最大地表加速度， $Z \max = 44.98 \text{ gal}$ ； $NS \max = 105.16 \text{ gal}$ ； $EW \max = 148.34 \text{ gal}^{[1]}$ 。國家實驗研究院勘災點座標及推估地表加速度，台南維冠金龍大樓之評估PGA值約為 $EW \max = 143.63 \text{ gal}$ ，僅達五級震度(80~250 gal)的中間值，卻造成位於台南市永康區永大路的維冠金龍大樓向東倒塌，整棟呈90度轉折，橫躺在永大路二段上(見圖1及2)，災情最為慘重。經過救災單位連日搜索，最終在2016年2月18日該大樓確定死亡人數達115人，生還者175人，其中96人受傷，超越了於1999年9月21日倒塌的東星大樓(87人死亡)，成為臺灣史上因單一建築物倒塌而造成傷亡最慘重的災難事件。救災單位亦不眠不休，不顧自身安危，積極搶救長達8天實在令人敬佩。技師公會亦派員長駐災區發揮專業知識，提供災區救災環境安全性評估及建議安全有效的救難途徑，協助救難人員救災，此為首次技師公會協助救災的案例。

依據民國105年4月7日臺南地檢署偵辦維冠金龍大樓倒塌相關案件偵結新聞稿指出：臺南地檢署就臺南市永康區「維冠金龍大樓」倒塌，造成115人死亡，多人受傷事件，經將該棟大樓倒塌原因委託臺灣省土木技師公會進行鑑定完畢，於刑事責任部分之調查偵查終結。起訴內容有關結構安全部分主要之認定，略以：

- ①、梁、柱配筋詳圖應按照結構計算書草圖繪製，竟為偷工減料及增加樓版面積，未按照結構計算書之配筋表(柱配筋表、梁配筋表等)，擅自減少梁柱接頭配筋量及縮減部分柱斷面尺寸(部分柱由80cm×80cm改變為50cm×80cm)、改變部分梁柱接合情形，以致影響維冠金龍大樓結構安全；
- ②、未有建築師審核該棟大樓之建築設計相關圖說；
- ③、未依圖說施工，7號以上鋼筋，設計圖規定之 $F_y$ 為4200公斤/平方公分之高拉力鋼筋，現況僅採用2800公斤/平方公分之中拉力鋼筋，使主筋鋼筋拉力強度不足設計值約三分之一，約等同鋼筋數量不足三分之一；

④、梁柱接頭未按圖施作箍筋及梁主筋無足夠錨定長度(見圖 3)，造成建築物倒塌後無法維持矩型構架；

⑤、鋼筋續接器品質不合格，或鋼筋續接施工不當 (見圖 4)；

⑥、於計算維冠金龍大樓建築物靜載重 (W) 時，漏未計入柱、梁重量之結果，使建築物靜載重 (W) 至少不足約 44.3%，(因原設計採用較保守之震力係數 C 值) 致原設計之地震橫力僅約減少 16.3%，造成柱、梁構材設計強度不足，以致斷面尺寸及所配鋼筋量顯然減少甚多，且於建模時將所有柱之長、寬與圖面之長、寬方向顛倒，大幅降低建築物東西向所能抵抗之地震力；

⑦、鋼筋續接器，續接位置均於同一斷面，未隔根錯開 (見圖 4)；

⑧、未依圖說施作梁柱接頭箍筋，梁主筋錨定長度不足 (或未作標準彎鉤) 等缺失 (見圖 3)，致建築物耐震強度、韌性均再次降低。

致使「維冠金龍大樓」於本次美濃地震時，因前揭錯誤導致維冠金龍大樓之耐震強度、韌性不足而快速倒塌，且因有未施作足夠之梁柱接頭箍筋、梁主筋錨定長度不足之缺失，造成建築物無法維持完整結構崩毀，使住戶易受困其中難以逃生，致生此次嚴重傷亡之結果。

臺南地檢署就臺南市永康區「維冠金龍大樓」倒塌起訴書之內容，讀者可對維冠金龍大樓之結構設計與施工之品質缺失獲得進一步的瞭解。筆者於大年初一趁倒塌大樓尚未拆除前赴現場了解建築物結構破壞模式，並依維冠金龍大樓倒塌後之樣態探討可能之倒塌模式，與倒塌原因，及介紹建築結構傳力路徑細部檢核的重要性，供工程界記取慘痛教訓，不要再重蹈覆轍，不當之處亦請工程先進不吝指正。



圖 1：維冠金龍大樓倒塌整棟橫躺在永大路二段上



圖 2：維冠金龍大樓倒塌後呈「魚骨」形狀[3]



圖 3：梁端錨定長度不足，及梁柱接頭箍筋不足。



圖 4：箍筋閉合接頭 90 度彎鉤及鋼筋續接未錯開且有脫牙現象

## 二、維冠金龍大樓倒塌後之樣態

「維冠金龍大樓」倒塌，現場沒有監視設備可留下倒塌瞬間之影像，唯一剩下的倒塌後，橫躺在永大路上之樣態 (見圖 1 及 2) 目前亦已拆除。維冠金龍大樓倒塌後之樣態非常特別，很像「魚骨」之形狀[3]。要往回推測維冠金龍大樓倒塌之模式，首先要推測是什麼力量，大到可將第一跨之梁由外柱位置往上推擠，將各層梁往上彎折(由南側往北看是反時鐘方向)。又是什麼力量可將第二跨由第三根柱往上推擠(由南側往北看是順時鐘方向)，而倒成魚骨之形狀。由維冠金龍大樓倒塌之樣態，有許多疑問必須先一一釐清，才能找出合理之倒塌模式及倒塌原因。

由現場觀察到之破壞現象，其中與「魚骨」之形狀有關之破壞現象有：

- ①、建築物從一樓柱斷裂，整體倒向東側永大路二段馬路上，倒塌後各層梁柱接頭已呈接近 45 度轉折，但梁主筋部分僅出現抽出接頭區，及接頭處柱筋受側力彎曲突出現象(見圖 1 及 2)；
- ②、一樓橫隔板於北側靠近西側有大範圍破損現象 (見圖 5)，且大樓地下室東側外牆與原地盤間有向東脫離約 15 公分之間隙以及一樓版破損塌陷現象，研判一樓橫隔板有向東位移變形等現象；
- ③、連接騎樓外柱之垂直向 (匯集構材) 梁之背拉軸力疑似有拉斷梁縱向鋼筋，或接頭脫開現象 (示意圖見圖 6 及 7)。



圖 5：一樓橫隔板北側有大範圍破損現象

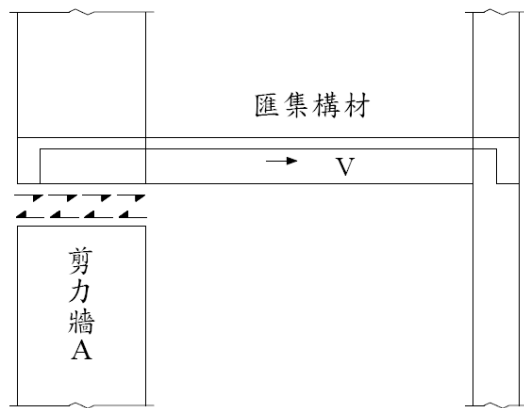


圖 6：匯集構材、與剪力構材垂直接合處示意圖

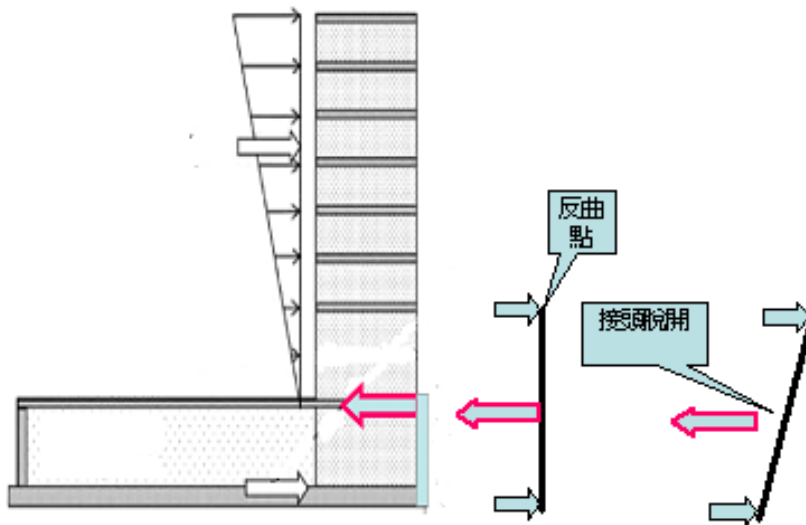


圖 7：外柱與匯集構材接合示意圖。

### 三、維冠金龍大樓結構系統

維冠金龍大樓經檢視結果，全部構架均為「單跨構架」或「單柱搭梁構架」(見圖 8)，在結構設計理念而言「單跨構架」或「單柱搭梁構架」也是被允許的，但其梁-柱接頭都是外柱接頭，其設計及施工品質需特別予以監督才能保有規範所預期的耐震性能。筆者長久以來一直認為現行「混凝土結構設計規範」對鋼筋混凝土梁柱構架之梁柱接頭區內，梁主筋之伸展與錨定需求之規定有不足之處，但我國「混凝土結構設計規範」係參考 ACI-318 設計規範制訂，ACI-318 設計規範僅對鋼筋之伸展提供規定，但對錨定需求則幾乎沒有提到。ACI-318 設計規範既未有明訂，國內「混凝土結構設計規範」係參考 ACI-318 規範編訂，因此甚難有重大突破之變革，設計及施工人員需深入了解才不會背負無限的責任。

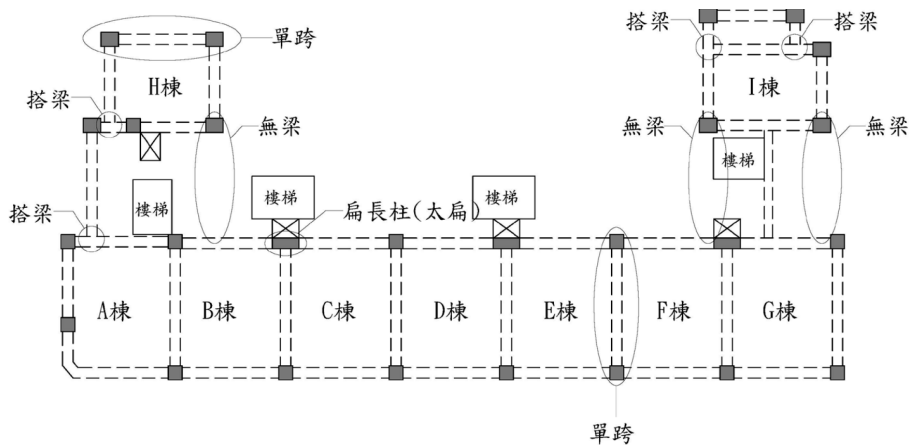


圖 8：維冠金龍大樓平面示意圖[5]

### 四、維冠金龍大樓倒塌模式探討

高樓建築物之基礎並非只有筏基單一構材，而是包括整個地下室外牆、地下一樓柱，及一樓橫隔版等，共同組成一廣義的箱體基礎 (見圖 7 及 9)。依據現行“建築物耐震設計規範”第六章 (結構系統設計詳細要求)中：

第 6.2.11 節 (基面以下之構架) 之規定：「基面與基礎間之構架，其設計之強度與勁度不得低於上部結構者。有關鋼筋混凝土構造及鋼構造之韌性特別規定應同樣適用於將地震力由基面傳至基礎之構材。亦可以基面以上產生之極限層剪力為橫力，施加於基面代替之，但垂直構材仍應依韌性相關規定設置緊密箍筋」。其解說中亦敘明：「基面與基礎間之地下室構造，因有勁度很高的外牆，因此其梁、柱不容易降伏，因此亦應可容許不做韌性設計，惟此時強度要足夠，應以地面層產生的極限層剪力強度時的剪力設計之，使地下室構造在大地震時仍保持彈性，如地梁之設計如取地面層的極限層剪力 (或以上部結構系統之超額強度因子  $\Omega_0 = V_p / V_e$ 。其中， $V_p$ ：上部結構極限層剪力； $V_e$ ：上部結構設計層剪力)，或設計地震力之  $1.4\alpha_y$  倍所引致之內力進行工作應力法設計時，則可容許不做韌性設

計。如果一樓版剪力傳遞失效，或地下室外牆產生破壞時，地下室構材的韌性設計就會發生功效，工程師應做適當的判斷，決定地下室構材設計的最好方式。又第 6.2.6 節(匯集構材) 規定：「建築物某部分產生之地震力應經由匯集構材將其傳遞至抵抗地震力結構系統上。匯集構材及與抵抗地震力結構系統之接合處(見圖 6 及 7)，其地震力應放大  $1.4\alpha_y$  倍設計之」。其解說中亦敘明：「匯集構材、與剪力構材垂直接合處要避免剪力摩擦破壞，因會影響原先假設之橫力抵禦系統塑性變形能量之消散。故匯集構材及其接合處之地震力應放大  $1.4\alpha_y$  倍設計之」。

由現行“建築物耐震設計規範”上述規定可知，一樓橫隔版上之匯集構材與剪力構材垂直接合處，除須依第 6.2.11 節放大設計地震力外，尚須依第 6.2.6 節之規定放大  $1.4\alpha_y$  倍設計之。若維冠金龍大樓之原結構有依現行現行“建築物耐震設計規範”之規定設計，則一樓橫隔版及集力梁就不應出現損壞現象；一樓橫隔版及集力梁先破壞，才較可能出現維冠金龍大樓傾倒翻覆現象。

一樓橫隔版於作結構電腦程式分析時，通常會將一樓橫隔版簡化為剛性橫隔樓版，因此一樓橫隔版內所需檢核及設計之數據沒有電腦分析之輸出資料，尤其是早期電腦程式之功能尚不完整的情況下，必須依賴人工從橫隔版周邊的數據求取。抵抗地震力之結構系統若為韌性立體剛性構架系統，則一樓之水平地震力由一樓柱構材往下傳遞進入地下一層時，水平地震力之分布，在一樓以上原來依一樓豎向構材之勁度，分配在各豎向柱構材上，但進入地下一層後則多了勁度非常高的地下室外牆。因地下室外牆之勁度特別高，大部分水平地震力會經由一樓剛性較高之橫隔版傳遞至地下室外牆上。此時一樓橫隔版便是一個須作進一步檢核之傳力路徑重要的位置(見圖 9)。但高樓結構系統之分析模式，一般設計者為減少輸入及輸出之工作量以及電腦分析的作業時間，分析模式會作某種程度的簡化，其中尤其以橫隔版假設為剛性橫隔版之簡化動作，對結構分析模式之輸入及輸出工作量及電腦分析的作業時間，以及輸出報表量可大幅減少。因為橫隔樓版之剛性很大(樓版開孔太多及長條形橫隔版除外)。若一樓橫隔樓版與鋼筋混凝土構造地下室及外牆結合，就會形成幾乎沒有側向位移的箱形結構體(見圖 9)。此箱形結構體也是傳遞水平地震力及固定全部豎向構材之最有效模式，但設計此橫隔樓版之工作須配合其結構力學行為的特性及結構力學專業素養，才能充分掌控結構體傳力路徑之整體安全性。

高樓結構系統之柱構材由電腦結構分析所得之輸出力量，可得柱構材在一樓上、下之豎向剪力分佈示意圖(見圖 7)。一般(中間)樓層之柱頂及柱底之束制條件較平均，故反曲點大部份位於接近柱中間高度的位置，同一層柱底與柱頂之彎矩值會接近。在一樓之柱則會因地地下室箱形結構的高束制現象，致一樓柱之彎矩反曲點很高，甚至已進入二樓之中間高度，故一樓柱底之彎矩特別大，常會在一

樓柱底產生塑鉸，此即為高勁度地下室穩定系統之力學模式使然。此種行為會造成地上一層柱底之柱剪力方向與地下室之柱頂剪力方向相同，二者同向作用於一樓橫隔版上之現象(見圖 7 及 10)。此時須將各柱線上之所有水平剪力加載於一樓橫隔版，並將一樓橫隔版視為一水平擺置之深梁，來檢核一樓橫隔版在水平方向之彎矩與剪力 (見圖 11)。橫隔版、集力構材、及其接合部的需求強度，須按現行“建築物耐震設計規範”第 6.2 節之規定，以上部結構系統之超額強度(超額強度因子  $\Omega_0 = V_p / V_e$ ) 來設計橫隔版，並對匯集構材與剪力構材接合處，除須依第 6.2.11 節放大設計地震力外，尚須依第 6.2.6 節之規定放大  $1.4\alpha_y$  倍設計之。

橫隔版之需求強度計算另應包含面外載重、地震載重與其他載重同時作用之影響。

一樓橫隔版平面形狀呈長條狀，或長條不規則形狀時，除會有柔性變形之行為外，於檢核總水平力在橫隔版面內傳遞時，將面臨產生之長向面內水平彎矩太大而致橫隔樓版之邊構材斷面不足以容納撓曲鋼筋量的情況。且長條狀一樓橫隔版之短邊較短，所能承受之剪力較小，因此如果一樓橫隔版剪力或彎矩傳遞失效，致地下室外牆產生外推破壞時，即可能造成建築物倒塌。維冠金龍大樓一樓平面形狀呈長條狀，承受地震剪力及彎矩時位移變形大，屬柔性橫隔樓版。一樓橫隔版長向所需承受之水平彎矩亦較大，及短向樓版剪應力較大，以及承受往東之地震力時，騎樓柱須賴其垂直向梁 (匯集構材) 來背拉穩定(見圖 6 及 7)，且此垂直向匯集構材之背拉軸力會因桿槓作用而放大 (見圖 7)。

維冠金龍大樓一樓橫隔板於北側靠近西側端(短向)已有出現大範圍破損現象(見圖 5)，及大樓地下室西側(長向)外牆與原地盤間有向東脫離約 15 公分之間隙，及一樓版橫隔樓版破損塌陷等現象。另由倒塌後，梁柱接頭處柱鋼筋有受拉向外突出現象(見圖 12)，及倒塌成魚骨形之破壞樣態推測，連接騎樓柱之垂直向梁之背拉軸力疑似有拉斷梁縱向鋼筋或接頭脫開現象(示意圖見圖 12)，為可能造成騎樓外柱首先折斷，致建築物外側因自重向下掉落而撞擊地面(示意圖見圖 13)，而使第一跨反時鐘方向轉折，進而 H 棟柱筋被拉拔斷而向外甩出，使第二跨呈順時鐘方向轉折(見圖 13)。



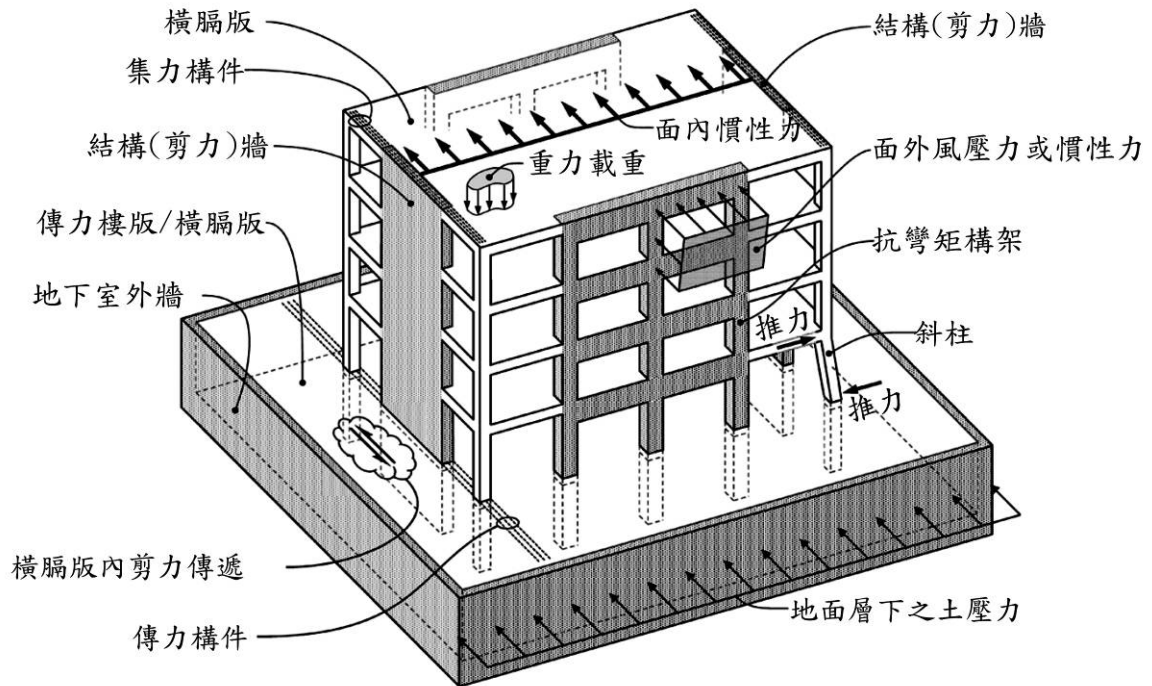


圖 9：房屋結構系統配置及傳力路徑示意圖

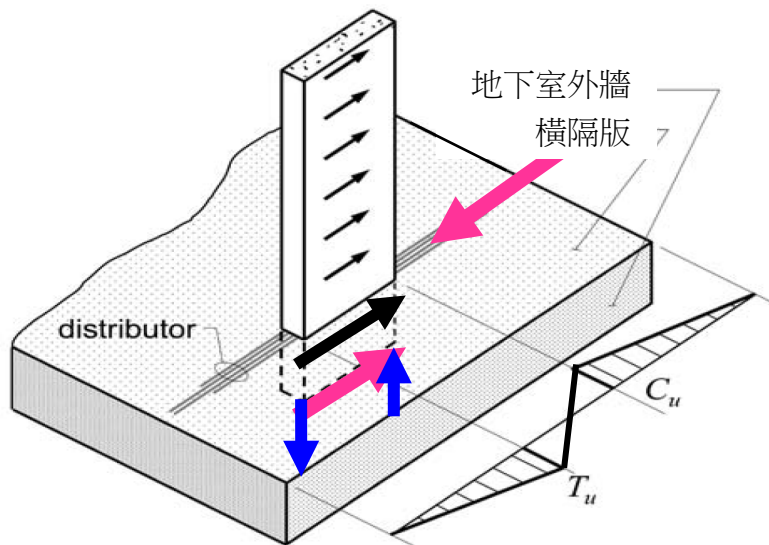


圖 10：豎向構材在一樓橫隔版上之剪力分佈示意圖

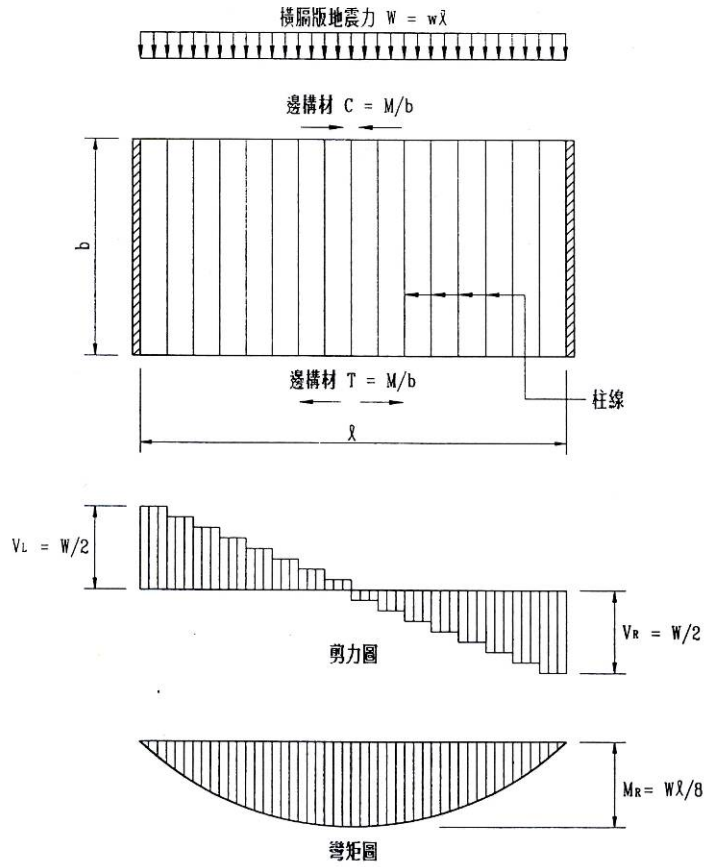


圖 11：橫隔版水平力傳遞至地下室外牆力學模式示意圖

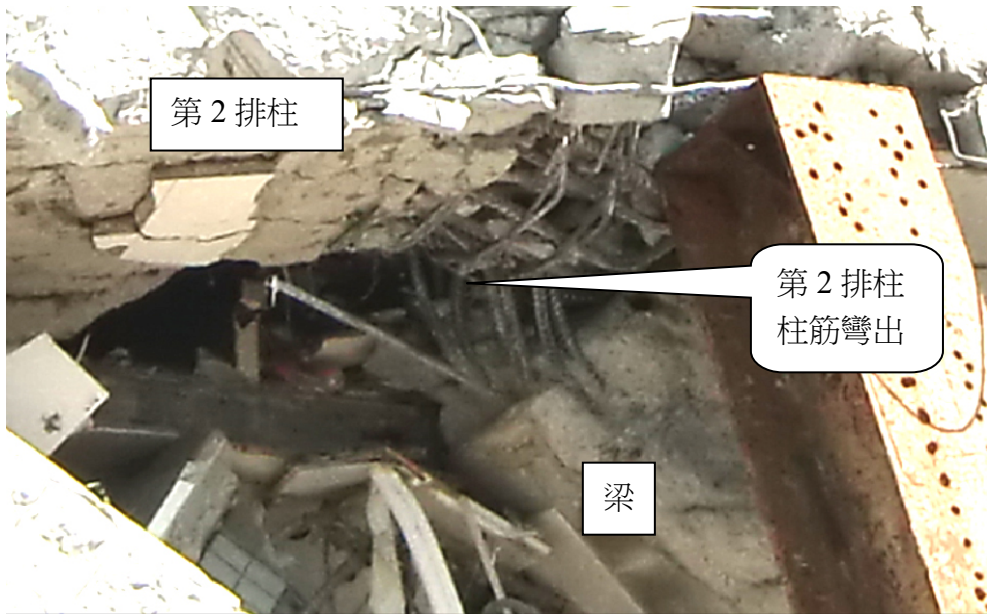


圖 12：第 2 排柱倒塌後柱筋受側拉彎出

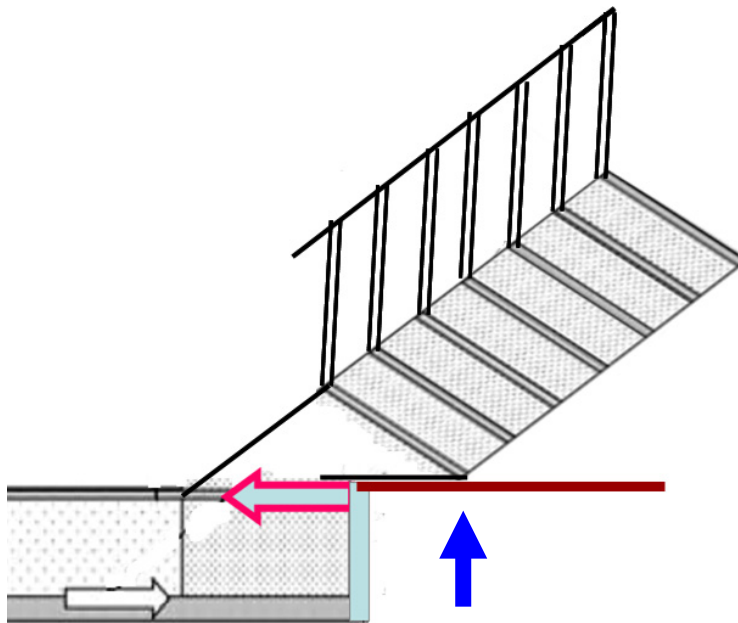


圖 13：外柱著地碰撞地面梁變形呈魚骨狀

#### 四、結語

造成一棟建築物的倒塌通常不會是單一的原因，可能同時包含設計及施工品質等多重缺失因素。維冠金龍大樓倒塌原因的推測，各方專家、學者提出倒塌原因的初步看法，均可能為眾多造成倒塌的原因之一，惟均未聞有對一樓橫隔版傳力路

徑進行探討者。筆者認為這些設計及施工缺失尚不太可能在 143.63 gal 地表加速度下造成整棟建築物傾倒。筆者從，結構系統平面配置、一樓橫隔版之平面形狀、興建當年電腦程式之功能等，推測一般結構設計者都容易遺漏一樓橫隔版傳力路徑之檢核 (近年筆者參與之新建建築物之高樓結構審查或高樓集合住宅之結構安全鑑定，亦均發現有一樓橫隔版傳力路徑檢核不完全之缺失)，以及一樓橫隔版現場既有破損及變形現象、西側柱為柱筋全數斷裂等現象，初步綜合研判，一樓橫隔版以及維冠金龍大樓倒塌後之樣態，綜合初步研判，一樓橫隔版匯集構材傳力路徑中斷之損壞現象，很可能是導致造成建築物失去廣義基礎支撐而向東位移，傾倒慣性力矩合併地震力，及大變位後繼而產生之 P- $\Delta$  效應等現象，繼而拉斷西側柱之軸向鋼筋，為最可能是造成維冠金龍大樓向東側傾覆倒塌成魚骨形樣態的主要原因。不過一切真正倒塌原因都須進一步進行原設計完整之結構分析及設計，並檢核一樓橫隔樓版傳力路徑等之應力比，與原設計圖說、現況結構施工品質瑕疵、現場損壞位置及損壞現象等，進行檢視比對，才能作進一步的確定。

#### 【參考文獻】

- [1] Yi-Hsuan Tu (2016), “reconnaissance Report” 2016/02/06 Meinong Earguake, kaohsiung, Taiwan。
- [2] 黃武龍 (2016), “台南維冠大樓倒塌原因探討”。
- [3] 施忠賢(2016), “維冠金龍大樓結構初探”。
- [4] 國家實驗研究院 (2016), “高雄美濃地震概要”。
- [5]、黃武龍, (2016), “由維冠倒塌模式探討結構系統”。
- [6] ACI 318 委員會, [2014], “結構混凝土建築規範及解說(ACI 318-14)”