山坡地住宅災變主因之探討

趙子澤[1*]、許澤善[2]、白志宏[1]、尤嘉韻[1]、邱繼緯[1]

[1]南亞技術學院土木及環境工程系　[2]逢甲大學土木工程學系

摘　要

1999 年台灣發生集集地震後，土石流、大地隆起、房屋倒塌等現象引發 2,492 位人員罹難的慘劇。然而近 10 年來，重大天然災變在台灣一再地重演，發生頻率且有逐年增加的傾向。是故本文根據所收集的資料、高樓設計的實務及各項山坡地住宅災變探討之經驗，提供各種山坡地住宅災變之可能原因。並就山坡地住宅災變造成死亡人數最多的「殺手級災因--軟弱的地下室擴展空間」進行剖析，其研究結果發現：林肯大郡災變乃在於重演順向坡坡底開挖效應，分析條件不同於最終之施工成品。在錯估臨界滑動破壞面的情況下，在不自覺的情況下已將建築物導入不安全的一側。

關鍵字：災變、災因、林肯大郡、順向坡

*e-mail: chao@nanya.edu.tw

Tel:03-4361070 ext 1001 Fax:03-4372193

壹、山坡地住宅災變之主要原因

台灣地區由於颱風、豪雨與地震等天然災害不斷，使得台灣儼然成為研究各種天然災變的最佳現場實驗室。根據作者群所收集的資料、高樓設計的實務及各項住宅災變探討之經驗，彙整各種社區住宅之可能主要災因，期能對未來的工程有所助益，直接或間接避免人員免於災難，從而維持土木工程的品質。其整理如下。

(1) 設計品質：設計後並無進一步接受外審之制度，故建築物設計品質較低。

(2) 施工品質：無品質管制作業之建築物，施工品質較低。

(3) 地下室擴展空間：當建築物存在擴展空間，且可能在風力或地震力作用下呈現軟弱效應時，潛在地即存在死亡陷阱。

(4) 弱柱強樑：設計不良、又頂樓加建、或設計後任意挑高均可能造成弱柱強樑，造成建築物嚴重傾斜或整體塌陷約一樓深。

(5) 建材類型：建築倒塌比例高低，依建材排列順序為土磚、紅磚、鋼架、混合建材、RC、與 SRC等。

(6) 樓層數目：建築倒塌比例高低，依樓層數目排列為5 樓以下、50m 以下5 樓以上、50m 以上之建築物。

(7) 頂樓加建數目：頂樓加建越多層或加建空中花園堆置土方越多者，建物倒塌比例較高。

(8) 樑柱接頭斷面：樑柱接頭局部應力集中位置，斷面未擴大者，建築物倒塌比例較高。

(9) 短柱效應：連續兩樓層間之柱子兩側牆壁僅部份開口，即設計不良的情形下可能存在此一效應。

(10) 基礎不當配置：基礎面積不與受力大小成比例時，容易在不均勻沉陷量過大的情況下引發災變。

(11) 土壤掏空現象：大部份建築基礎均存在土壤掏空現象，嚴重者加劇建築物在地震中之擺幅。

(12) 偏心載重：建築物在無使用手冊與使用管理的情況下，在任意堆置重物或變更使用目的的前提下，均可能產生過度偏心載重的現象。

(13) 方位：建築物短邊與地震振動方向一致者比較容易倒塌。

(14) 長寬比值：過度狹長之建築物比較容易倒塌。

(15)對稱條件：平面和立面均不對稱之建築物比較容易倒塌。

(16)土壤性質：當固定與斷層破裂面之距離時，軟弱土層之尖峰地表加速度比堅硬岩層之尖峰地表加速度為高，故軟弱土層上之建築物承受較大的地震力。

(17)地下水位：地下水位高之基礎承載力較低。

(18)超額孔隙水壓：距離地表不深之飽和之鬆砂土層，由於表層黏質土壤之束縛，該砂土層在強震期間持續累積超額孔隙水壓力，乃至超過該砂土層之總應力時，該砂土層即可能產生液化現象。

(19)基礎承載力不足：坡地基礎設計延襲平地基礎時，建築物可能因為基礎承載力不足而破壞。

(20)斷層：由於板塊推擠方向使得臺灣地區主要斷層均略呈南北向，百年一次地震之主要斷層造成岩層表面之隆起高度均超過5公尺以上。唯單獨基腳構成的建築物，僅需要數公分之差額隆起量，即足以造成結構物之嚴重損壞。

(21)順向坡：順向坡經常在地形、地質構造或其他環境因素產生重大的改變下產生滑動破壞。

(22)硬實土層中之裂紋或裂縫：忽略硬實土層中之裂紋或裂縫時，經常在高估剪力強度與低估透水性與可壓縮性的前提下，產生錯誤的設計成果。

(23)擋土牆側向位移：鄰近擋土牆之建築，除有害於擋土牆之穩定外，亦在擋土牆位移後，隨著牆背土壤位移而傾斜與下陷。

(24)耐震法規：台灣地區原劃定為中級地震之許多地區之建築，其設計條件均不符合現行耐震法規，容易在未來的強震中倒塌。

(25)集合住宅：高開發密度之集合住宅很容易在基礎設計不良的情況下產生問題，這種現象之存在往往導因於地質條件不同而卻完全抄襲同類型建築之設計。

(26)使用管理：目前無論建築物大小，均無使用管理手冊，造成使用者之任意變更設計或變更使用目的，使得結構安全呈現問題。

(27)結構體檢：老舊建築物因房齡高材質退化，理應實施結構體檢而未體檢，在無任何警訊的前提下，容易引發結構相關的問題。

(28)新舊建築緊密接鄰或老樓層加蓋新樓層等問題。

貳、重大災變案例之探討

自從林肯大郡災變發生以來，各種大型災變即不斷地出現，尤其在真正災因無法確實掌握的前提下，政府雖然緊縮山坡地開發條件，亦無法避免災變的重演。本文中將循序探討林肯大郡災變、健康博士社區災變與集集地震高樓災變，以驗證軟弱的地下室擴展空間確實為國內高開發密度集合住宅建築的隱憂。

一、軟弱的地下室擴展空間效應

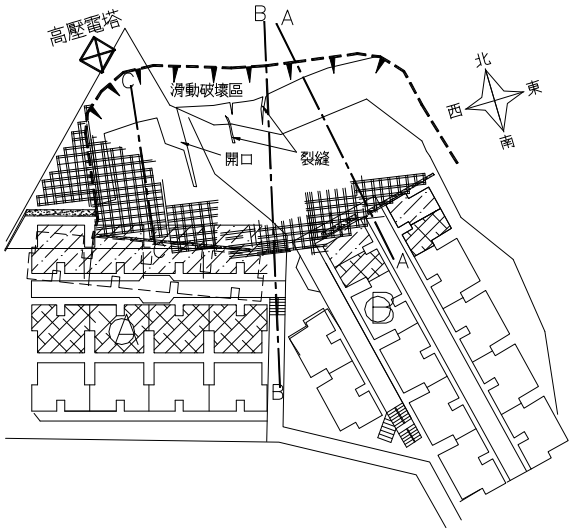
民國86年8月18日，在強烈颱風溫妮之侵襲下，汐止林肯大郡發生災變。依據聯合報[1]刊載災區居民口述：「整棟建築搖晃了一會有如地震一般，之後邊坡岩土塊迎面衝撞過來…」，災變即因此發生，災變全景如圖1所示。

圖1： 林肯大郡災變全景 [2]

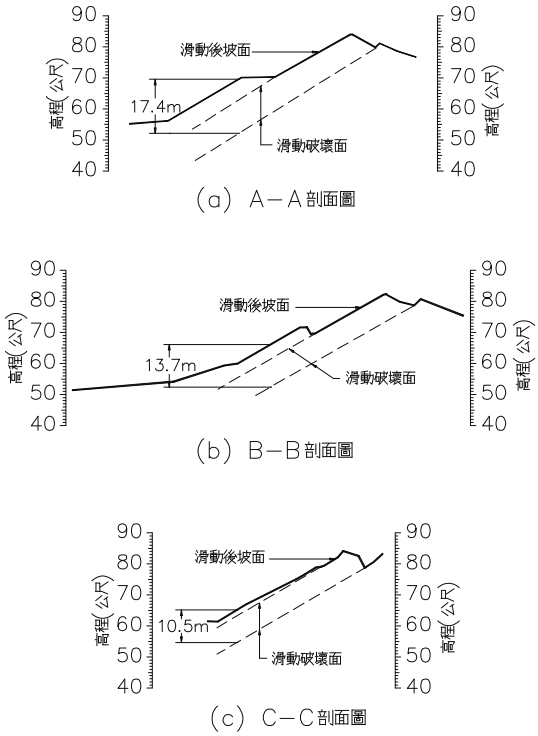
圖1顯示塌陷的一排建築（地上5樓、地下1樓）僅係高開發密度下多數建築的一小部份，該排建築與相鄰同類型建築以6公尺寬之巷道相隔，唯因地下停車空間需求，兩排建築地下室乃透過巷道下方打通後連接一起，地下室出入口僅有一處，位於該雙併建築未倒塌部份之右側。圖1亦顯示一大片淺層滑動面，為求雨水不會繼續造成災害，該滑動面上已經鋪上白色的不透水膠布；同時在淺層滑動面上方存在另一深層滑動面出露部份。此二深度不同的滑動面均沿著傾角約為 30 度之層面滑動。

如圖2所示之實測滑動面與坡面之關係得知不同深度之深層滑動面與淺層滑動面確實是存在的。當建築物靜止不動時，由於坡底被動土壓力作用，通過坡址之淺層

滑動面對應之安全係數乃小於深層滑動面對應之安全係數；換句話說，當建築物靜止不動時，臨界滑動面為通過坡址之淺層滑動面。在這種情況下，深層滑動事實上是很難發生的；而在層面為 30 度及僅有淺層滑動的情況下，塊體滑動引發之衝擊力遠小於災變現場應有的衝擊力。其次，當建築物因風力作用而晃動時，側牆與土壤間之接觸力消失後，坡底被動土壓力跟隨著消失，深層滑動面對應之安全係數因此而遠小於通過坡址之淺層滑動面對應之安全係數；換句話說，此一條件下之臨界滑動面為深層滑動面。



(a) 災區滑動剖面相對位置



(b) 滑動面剖面

圖2： 林肯大郡順向邊坡滑動面與坡面相對位置 [3~4]

由於深層滑動面露頭之水平寬度約 4.5公尺，該寬度約等於雙併建築問巷道寬度之縮小量。故知深層滑動發生時，塌陷中之建築亦受深層滑動塊體擠壓而產生大量的移動。而在深層滑動停止的同時，由於深淺層滑動塊體問動量轉移，使得淺層塊體以極大的加速度向下衝撞塌陷中之建築(如圖3所示)，使得該建築倒塌方向完全不同於一般物體下端受到衝撞後所應倒塌的方向。當軟弱的地下室擴展空間效應出

現時，軟弱的地下室擴展空間將主導建築物倒塌方向。換句話說，建築物將倒向軟弱的地下室擴展空間所在位置。故由災變後建築物倒塌方向即可正確地推求軟弱的地下室擴展空間位置。對於林肯大郡災變而言，由現有未倒塌之雙併建築地下室，即可觀察兩排建築間巷道下方地下室塌陷的情形。圖4顯示林肯大郡災變前，該雙併建築之剖面；由圖得知距離為某一定值之相鄰兩排建築，使用地下室擴展空間將其連通後，由於地面層與地下層之間斷面突然大幅變化，在風力或地震力作用下，將造成應力集中現象，而地下室擴展空間延伸之起點因柱間RC側牆不復存在，相對地十分軟弱，且在樑、版與柱未能符合實際需求時，整排建築物將在風力或地震力下產生嚴重塌陷之災變；風力造成的軟弱的地下室擴展空間效應。

圖3： 林肯大郡災變中深層塊體帶動淺層塊體衝撞坡底建築之景觀 [5]

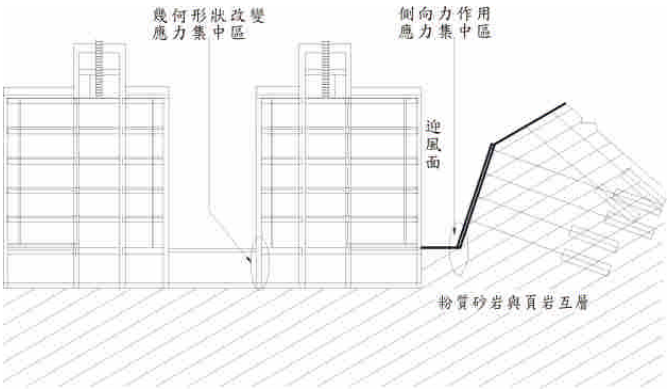


圖4： 林肯大郡兩排建築間之軟弱的地下室擴展空間

林肯大郡災變中，由於風力引發地下室擴展空間之軟弱效應，使得整排建築物在朝軟弱的地下室擴展空間方向傾倒下陷之際，地下室側牆隨即失去支撐被動土壓之作用，順向坡深層滑動面之安全係數在瞬間由 1.5 以上降至 0.5 以下，在順向坡不平衡力過大的情況下，深層塊體滑動、動量轉移中撼動淺層塊體與淺層塊體加速滑動之過程均在瞬間完成，故知建築物晃動產生預警後，至淺層塊體以極大的加速度衝撞建築物前 ，根本沒有足夠的時間逃難，乃至於在林肯大郡災變中造成大量的人員傷亡。

二、 順向坡坡底開挖效應

民國87年8月17日，基隆教孝街健康博士社區施工中工地，因為順向坡上坡底開挖效應，導致擋土牆支撐力不足，造成順向坡滑動破壞。健康博士災區附近之順向坡中成層的頁岩與粉砂岩互層之傾角十分陡峭，其最大值可達40度。由於該地點之頁岩與粉砂岩界面強度並不高，因此即使無水壓力之作用，順向坡亦可能滑動破壞。圖5顯示健康博士災變順向坡滑動擋土牆倒塌情形；由圖中得知災變發生前，工地係進行大樓地下室之開挖，由於順向坡係數乃隨開挖進行而逐漸降低，此時牆後順向坡亦逐漸失去穩定性；當安全係數降至略大於1.0時，牆後岩土內部各點之應力隨即大幅調整；由於應力調整過程中產生之噪音十分驚人，故在有預警且有足夠時間撤離的情況下，此一災變並無人傷亡。

圖5： 健康博士社區災變順向坡滑動擋土牆倒塌之情形

叁、重大災因之因應方法

一、 軟弱的地下室擴展空間

軟弱的地下室擴展空間起因於兩個個別樓層地下室與地下室相連成一個U形建築物，而在分析中卻未能夠整體分析，僅分別分析U形兩側之個體。直接查看倒塌建築之設計圖，即可發現地下室擴展空間(包含兩樓間通道下方、中庭下方、防火巷或開放空間下方)之主體結構元件(包括樑、版與柱)，無論就斷面或配筋而言均顯得不符合實際需求。基於上述討論，得知因應之道在於將地下室擴展空間，納入整體分析模式中，使地下室擴展空間之斷面與配筋量能在整體分析中實際反應所需，在施工後整體產物與分析模式完全相符的情況下，類似災變方才得以消除。

二、順向坡坡底開挖效應

順向坡坡底開挖引發災變，主要原因在於施工條件不同於設計條件。國人進行順向坡之穩定分析時，若未考慮施工中可能的開挖深度，使得潛在滑動破壞面，一直設定為通過坡趾者。當坡趾以下之被動土壓區需要進一步被開挖峙，則在深層安全係數較低的情況下，一面開挖，即可能一面產生順向坡滑動問題。基於上述討論，得知因應之道在於將最終之開挖深度納入考慮，以掌握真正的臨界滑動破壞面 ，並因而得到符合現況之設計結果。其中最簡單且實用的法則為乃直接取通過最終開挖面坡趾對應的層面進行順向邊坡穩定分析，即可避免錯估造成的滑動破壞。

肆、結論與建議

1. 高密度開發之建築物經常在停車需求下，將地下空間向外擴展；唯因設計條件與完工成品出現落差，使得軟弱的地下室擴展空間效應具體發揮出來，不斷地在台灣造成嚴重的人員傷亡。
2. 軟弱的地下室擴展空間效應、不但在地震中出現，亦可能在颱風中發生； 這類型災變之災因，常因受害人數過大，後續併發之災情嚴重，使得真正災因之焦點模糊，造成人云亦云、各說各話的現象。
3. 順向坡坡底開挖效應，主要導因於分析條件不同於最終之施工成品；亦即分析中未將最深開挖面之影響一併納入考慮，在錯估臨界滑動破壞面的情況下，設計成果在不自覺的情況下導入不安全的一側。

4. 設計條件與施工產品之間相互關連，這是設計品質保證的指標；由災變的一再發生與重演，顯現出設計所需條件的掌握，確實是一件知難行易的事。
5. 林肯大郡災變與集集地震發生後，很多建築法規均趨於嚴苛；建議在真正災因明朗化後，能迅速還給百姓應有的權益，使公共安全獲得保障的同時，亦兼顧建設與經濟之發展。

伍、參考文獻

1. 聯合報，1997年8月18日。

2. 陳堯中、廖洪鈞、林宏遠、陳志南,「汐止林肯大郡邊坡滑動災變原因鑑定報告」，台灣士林地方法院檢察署委託鑑定報告，(1997)。

3. 台北市大地工程技師公會及中華民國土木技師公會全國聯合會，「汐止林肯大郡邊坡坍塌災變調查報告」，內政部營建署委託計畫報告，(1997)。

4. 趙子澤、林文章，台灣地滑重大案例探討，高立圖書有限公司，(1998)。

5. 「林肯大郡災變紀實」，台北縣政府編印，(1997)。