

第七章 土壤液化受損基礎修復與成效回顧

當建築物的基礎土壤發生土壤液化時，將對建築物基礎造成不同程度的損害，其損害情況將依土壤性質、土層及地下水位分佈狀況、建築物基礎型式及荷重、周邊環境及地形等條件之差異而不同，損害類型包括下陷、傾斜、掏空、側移等，將影響到結構物的安全性、居住性、機能性及耐久性。

當建築物基礎發生損害後，依其程度不同，除了結構本體發生極嚴重損害且經審慎評估須拆除者外，適度修復、補強，以回復（或提升）基礎本身之安全穩定及構造性能，為較經濟、合理的選擇。惟基礎之修復、補強係屬專業技術，若處置考量不當，而發生其他事故後，可能引致反效果使損害加劇，進而造成糾紛及爭議，甚至引起損鄰事件。因此，從事基礎之修復、補強時，應多方面周延考量，並謹慎為之。

7.1 土壤液化受損基礎修復對策與工法

7.1.1 修復對策之考量因素

一般而言，修復對策應評估考量下列各因素：

一、結構條件

包括建築物的規模、勁度、重要性、荷重體系分佈、建築材料；基礎型式、配置、深度；穩定安全係數及變形容許值等。

二、地層及地下水條件

是否為軟弱地層？承载力及壓縮特性為何？是否有發生土壤液化之潛能？及地下水位之高低等亦是關心的重點。若地下水位較高，除影響土壤之力學性質外，亦會影響修補工程之可施工性。

三、環境影響

修復補強時應考慮環境因素及周遭狀況等，避免產生噪音、振動、污染（漿液及土方）、防礙交通等情事。若可能引致損鄰事件或鄰居抱怨，則須慎重考慮所採行工法。

四、工法特性

採擇新技術、新工法以提高補強效益有時是必要的。在確定修補工法前，應對工法技術、經驗、能力、所需工期、費用，及修補後之可靠性及耐久性等作完整而周全之評估，以尋求最佳方案。

五、損害程度及復建要求

基礎之損害部位、損害程度以及對補強等級、復建程度之要求，亦是工法採擇時評量之重要因素。

修復補強工法確定之後，接著即進行修補之施工設計及施工，設計時之基本原則即：修補後之結構物 (1) 能滿足耐震要求、(2) 需能確保上部構造之安全及正常性能、(3) 需能維護整體構造之使用機能。此外，在修補之施工過程中，安全監測工作也是非常重要的，應根據監測所得結構體在修補過程中之相對變位量(水平及垂直方向)，適時回饋於施工過程各相關細節之控制，如此反覆運行及檢討、修正，最後基礎之修復補強工作方可臻於完善之境界，達成修復之目標。

7.1.2 修復對策

基礎修復之對策依處理對象（基礎地層本身或基礎結構）之不同或原理（提高抵抗力或降低作用力）之差異，可概分為地盤改良、基礎結構補強、改變受力機制等三大類，由於影響地基震害之因素眾多，若僅採單一方法修補往往難以克竟其功，因此實務上常需多種工法配套同時進行，方能達成修補目標。

一、地盤改良

若基礎位於軟弱或軟硬不均之地盤上，壓縮性大，抗剪強度低，或有發生土壤液化之潛能，可透過壓密排水、夯實、化學固結及置換等方式改良土層性質，強化、固結地盤，提高地層之承载力、降低壓縮性、增加抗震穩定性。此法一般較適用於新建結構物對基址地層不符合力學性能要求之處理，對於震後受損結構物之基礎補強常是利用灌漿固結等方式搭配使用。

二、基礎結構補強

基礎結構之修補方式和基礎損害狀況、基礎型式、建物規模及復原等級等有

密切關係，方法雖然很多，但其目的皆在回復或提高修補後建物基礎之耐震能力及建物原有之使用機能。

1. 差異沉陷、傾斜扶正

扶正方式有利用千斤頂上抬之頂升工法，及以直接基礎之建物為對象，逕在地基中灌入材料，藉由地基的隆升將建物抬高的灌漿工法，前者透過機械式之操作因此準確性較高，而後者雖難達到信賴性及準確性之標準，但卻能符合復建時簡便、迅速的要求。

2. 基礎修補

包括托換原基礎或加固補強原基礎兩種。前者係對震後受損、強度不足之基礎構造，針對基礎型式、荷重分佈及地層條件等予以加寬、加深、外增托換，或使用樁基托換。而後者係將原基礎加固加厚，或使用水泥漿或環氧樹脂等補強材料，注入原基礎裂縫或扶正後之空隙使其結合，以提高原基礎之抗彎、抗剪、抗滲透及沖蝕之能力，並提高其承载力。當基礎損害程度較少，建物不須抬升扶正時，亦可以僅修補基礎部分損害部位，如樁頭、基礎地梁等，以保持其功能。

3. 重建、新設基礎

若評估原基礎構造修補後仍不足以滿足功能需求，或原基礎損害嚴重，無法再使用時，則需考慮重建或新設基礎，重設之基礎可能在原基礎下或在原基礎外再以帽梁連絡；也可能由樁基變為直接基礎，再配合地盤補強，其型式端視基礎損害情況及重設基礎之施工條件而定。

三、改變受力機制

1. 隔震、消能

於基礎採用隔震裝置及消能器，以延長結構週期及發揮遲滯消能效果，可有效降低結構所受之地震力及各項反應，基礎受損之機率自然降低，因此，隔震消能亦為基礎修補方式之一。惟採用隔震裝置時，所有基礎必須全面施作，工程浩大，且須考量結構之高寬比，以免傾覆力矩過大，使隔震性能失效，另外，管線

設施亦須配合隔震建築的最大水平位移量，採取必要的變更設計，因此，除非必要，如古蹟的保存，一般較少採用隔震、消能的方式來作基礎補強。

2. 改變荷重傳遞

改變荷重分佈及傳遞機制、增設伸縮縫或加強上部結構勁度等，以改變基底應力分佈狀態，使基礎受力均勻，減少結構物之差異沉陷，亦為另一種型式之基礎補強。

7.1.3 修復工法

依國內地震災害經驗，一般受土壤液化損壞之建物多屬淺基礎或直接基礎結構。建築物因土壤液化產生沉陷及傾斜，目前有諸多工法可將建築物加以扶正及補強，表 7.1-1 係國內目前曾使用的扶正補強工法，在 921 集集大地震基礎受損房舍中，以採用頂升（托底）工法及地改灌漿工法為最多，茲將各種工法使用情形說明如下。

表 7.1-1 國內土壤液化基礎修復工法比較表

工法	適用情況	注意事項
頂升(托底)工法	適用於狹長型基礎，僅能扶正，需搭配其他補強工法	頂升施工需施加反力於既有結構上，可能損壞既有結構，需視結構強度進行妥善規劃。
排土工法	基礎空間侷限，無法設置頂升設備	以排土使結構配合沉陷部份調整差異沉陷，控制須精準，避免過量。
地坪填平	傾斜較小或無法進行基礎扶正時，直接填平樓板	填平樓版將影響室內淨高，且基礎傾斜仍無改善，長久仍有偏心載重
高壓灌漿	藉由灌漿使地盤隆升達到傾斜扶正之目的，同時提升地層強度	需搭配嚴謹施工控制與回漿，避免損及鄰近設施。
低壓灌漿		漿液流動控制較難，不慎常造成漿液流竄、鄰房或地面隆起等

一、頂升（托底）工法

該工法適用於狹長型獨棟建築之扶正，在災區使用甚多，該工法之扶正效果大體尚可，一般而言，扶正後建築物之傾斜角小於 1/200 之標準，此工法係利用千斤頂將建築物抬起，然後填補抬起段的基礎空間，以達扶正之目的，如圖 7.1-1～

7.1-2。欲將建築物抬起的關鍵在於地盤如何提供充份的反力，使千斤頂能有效的抬起上方之建築物，在若干個案現場發現許多千斤頂在施力的過程並未能抬起房子，反而是千斤頂往下陷，欲使千斤頂能提供有效反力，可用的方法甚多，例如增加千斤頂下方之承載面積或將承載地層加以改良或打設微型樁等，至於採用何種方法較佳，應視該工址之地層條件及周圍環境而定，詳細可參考本公會 2016 年再版之液化區基礎修復補強工法對策說明書。



圖 7.1-1 以千斤頂頂升傾斜基礎施工情況



圖 7.1-2 於頂升工法扶正基礎後再以 RC 座在原基礎下方補強

二、地改灌漿工法

灌漿工法可依採用之灌漿壓力分為高壓灌漿及低壓灌漿兩種，一般低壓灌漿採用之壓力大都小於 10kg/cm^2 ，低壓灌漿常用於止水或建築物扶正，如化學灌漿、馬歇管灌漿、擠壓灌漿等均是；若依灌漿材之輸送方式可分為單管（1 shot）或雙重管（2 shot）之灌漿方式，單管係指僅有一種灌漿材或灌漿材先行混合再以單管輸送；雙重管係指二種灌漿材（如水泥或水玻璃）利用二組輸送管輸送而至噴嘴出口附近再行混合噴出。至於高壓灌漿通常係指灌漿壓力大於 150kg/cm^2 以上，甚至部分高達 $300\sim 400\text{kg/cm}^2$ 之超高壓，高壓灌漿通常用於軟弱地層改良，以形成一灌漿改良體為目標。

921 集集大地震液化區亦有甚多受損建築採用低壓灌漿做為扶正之用，其中部分已有成功扶正案例，但亦有甚多失敗的案例，部分失敗的案例甚至導致鄰房或道路之隆起，採用灌漿工法能否將建築物扶正的重要關鍵在於：

1. 建築物的基礎型式

一般而言，筏式基礎以灌漿扶正成功之比例較高，至於獨立基腳以灌漿工法扶正困難度略高，但亦有成功之案例。

2. 扶正補強計畫是否周詳

周詳之扶正補強計畫應包括地層條件掌握、扶正工法的選擇、施工管理計畫、施工監測計畫等。

3. 灌漿採用之工法及施工品管

灌漿採用之工法對扶正之成功與否，影響甚大；一般而言採用雙重管灌漿較單管灌漿較易控制凝固時間，故灌漿液之可控制在較小範圍內，較不易發生水泥漿液四處流竄之情形，至於灌漿之施工品管包括壓力、流量、灌漿材之配比控制均甚為重要，發現許多失敗案例，其施工品管均甚差，連流量計及壓力計都缺乏，要進行施工品管以達到預期的目的較為困難，如圖 7.1-3～7.1-4。

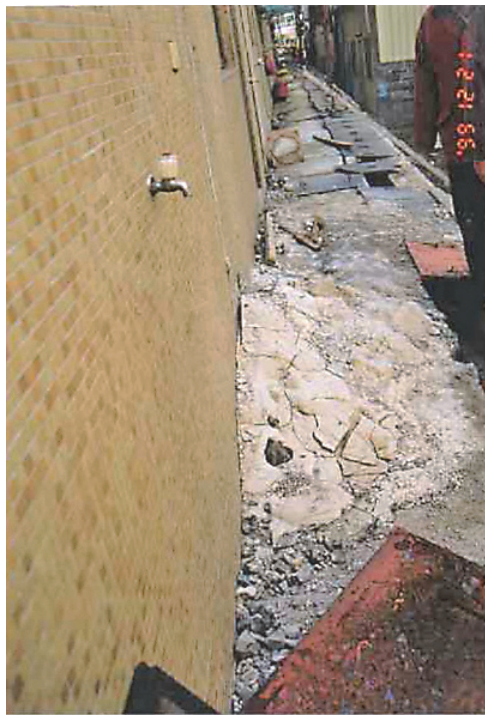


圖 7.1-3 灰白色之灌漿液(水泥加水玻璃)四處亂竄情況



圖 7.1-4 灌漿施工時造成鄰房地坪隆起

7.2 921 地震受損建物修復成果調查與回顧

參考本公會 2016 年再版之液化區基礎修復補強工法對策說明書，內政部建築研究所（2001）曾針對明顯液化發生區之建築，如南投市、霧峰鄉及員林鎮，以測量方式進行更詳細的傾斜調查，獲致結果摘錄如下：

- 一、建築物樓層數與液化受損程度之關係：調查區內建築物大都為 5 層以下無地下室之透天厝居多，至於 7 至 14 層之大樓則為地下 1 層之建築，未見地下 2 層之建築。由調查結果顯示，樓層數較大時，因為其建物重心亦較高且荷重大，傾斜現象較明顯。
- 二、建築物基礎型式與液化受損程度之關係：經調查結果顯示，採用筏式基礎之建物，其液化沉陷普遍較均勻，但受區域地質、建物平面形狀不規則或擋土牆結構拔除未緊密填充或灌漿等其他因素，仍有部分建物產生較嚴重傾斜現象。牆（條狀）基腳或獨立基腳則較易因建物荷重不均或局部噴砂現象而產生差異沉陷，造成較嚴重的建物傾斜現象。由於液化區 3 層及 4 層之建築甚多，採用筏式基礎之建物較採獨立基腳或牆基腳有較佳之抗液化能力。

- 三、建築物立面與液化受損程度之關係：當建築物 1 樓採懸臂式騎樓時，其受損嚴重之比例較非懸臂式騎樓為高，至於有屋突的傾斜受損情形略較無屋突的嚴重，但此現象並不顯著，可能與屋突之載重佔建築整體載重的一小部分，受損程度應與建築物整體荷重是否均佈有關。
- 四、地形高差與液化受損程度之關係：地形高差包括，建物之地形不對稱、及建物臨河岸或河灘地，由調查結果顯示，建築物四周有地形高差，其液化受損情形通常較為嚴重。

上述土壤液化受損建物部份重建、部份修復以維持使用機能、而部份則未改善而勉強使用，於 921 地震發生災害的 25 年後，本公會與內政部建築研究所(2024)再次重返災區，抽樣調查與了解當初受損建物的修復方式與後續的使用情況，以歸納各修復工法之成效，並擇要以案例進行說明探討，回饋日後類似修復工程之參考。

7.2.1 南投加州陽光社區

加州陽光社區位於南投市中山路與省道台 14 乙（中興路）交會口東南側，社區南鄰貓羅溪，如圖 7.2-1。社區地質主要以砂夾礫石為主，如圖 7.2-2。於 921 地震時，社區附近曾發生大規模土壤液化，造成鄰近地表有明顯噴砂現象，如圖 7.2-3。

加州陽光社區為地上 14 層地下 1 層之建築，該社區大樓地上層部分偏向北側分布，南側有地下室無地上層，且南北兩側地下室有側土壓不平衡情況，921 地震時建物受土壤液化影響往北傾斜 1/50 且下陷 1m，當時曾在南側地面暫時以混凝土塊重壓（如圖 7.2-4 左），而空地原地下埋設污水箱則上浮約 20 公分（如圖 7.2-4 中），顯示南側無地上層，地震時被抬升，而北側則為下陷傾斜，如圖 7.2-5～7.2-6。

為進行受損基礎修復，本社區採用建物扶正與基礎改良措施，於筏基下方間隔開挖，沖水排土約 30cm，調整傾斜度後，再於基礎板下方全面灌漿改良，如圖 7.2-7。扶正後建物向北傾斜 1/714、向東傾斜 1/1060，本次再勘察，南北向無傾斜，向東傾斜 1/1600，顯示修復後經過 25 年與歷次地震亦未發現有明顯損壞或傾斜現象，為成功之修復案例。



圖 7.2-1 加州陽光社區位置平面圖

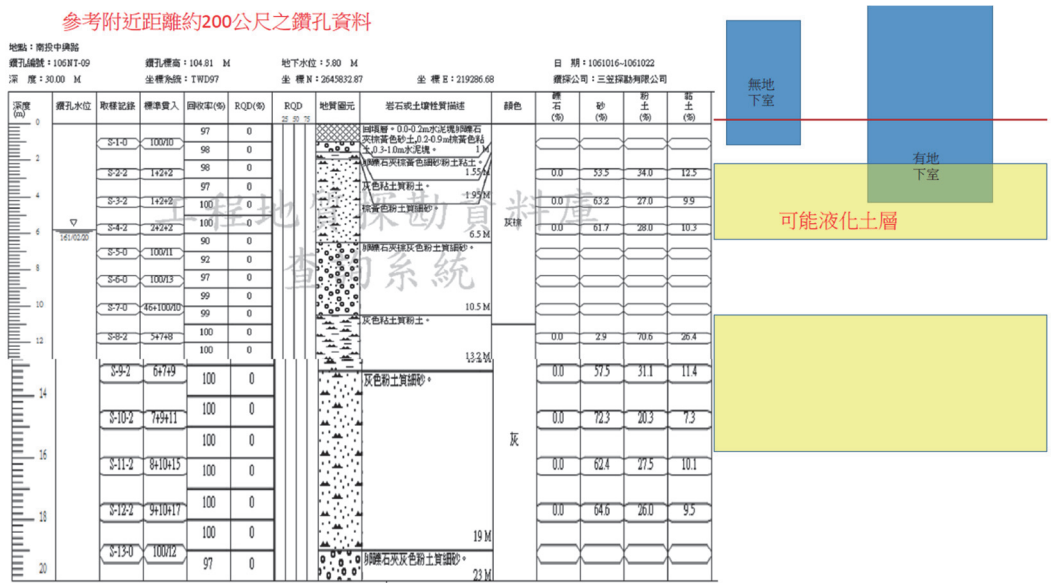


圖 7.2-2 加州陽光社區鄰近地質資料



圖 7.2-3 921 地震土壤液化噴砂情形

編號	說明	地點
	上部結構：地上 14F、地下 1F，RC 建築	南投市軍功里
	基礎型式：筏式基礎	
	現象說明：由於北側地下室下陷，另一側(南側)地下室則呈抬起情形(本照片係南側)，且為避免建築傾斜惡化，採混泥土塊臨時壓重之措施	



加州陽光社區921地震後大地技師公會勘查記錄內容

編號	說明	地點
	上部結構：地上 14F、地下 1F，RC 建築	南投市軍功里
	基礎型式：筏式基礎	
	現象說明：該大樓向北傾斜	



液化上舉水壓造成無上部荷重之污水處理池浮起約 20公分



圖 7.2-4 加州陽光社區 921 液化房屋傾斜地下水箱上浮情況

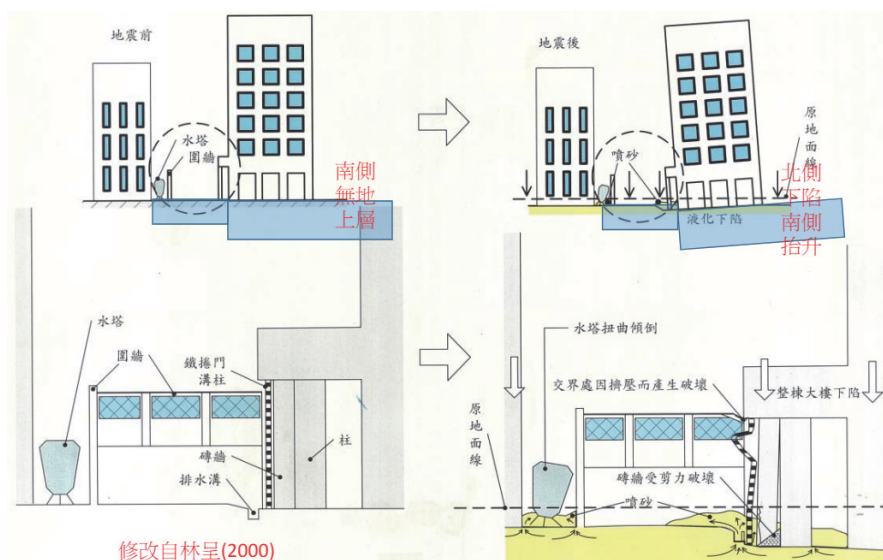


圖15-3-5 南投市軍功寮加州陽光住宅大樓因土壤液化噴砂而下陷之示意圖

圖 7.2-5 加州陽光社區 921 液化房屋傾斜情況



相片15-3-12 軍功寮加州陽光大樓土壤液化災況之細部畫面。(a)整棟大樓相對於車道路面已然(不均勻)下陷；(b)車道與車庫間之排水溝已被噴出砂土淤塞、且車庫邊緣底版傾斜抬升破裂；(c)相對於圖15-3-5右下角之災況；(d, e)車庫內可見大量之噴砂。摘錄自林呈(2000)

圖 7.2-6 加州陽光社區 921 地震北側下陷照片



圖 7.2-7 加州陽光社區建物扶正與基礎改良措施情況

7.2.2 南投東山路連棟民宅

南投東山路1街1巷與1街17巷連棟民宅，為地上3層無地下層建築，該建築為獨立基腳深約50cm，有屋突重心偏後方，1街1巷921地震時北傾1/71，1號屋主顧慮未連棟處理恐無效，並未進行扶正等基礎處理，僅獨自於後院加築RC牆並植筋與建物相連，本次勘查傾斜量增加為北傾1/42，如圖7.2-8。1街17巷19~23號，921地震時北傾1/40、東傾1/48，同樣未進行基礎處理，本次勘查傾斜量增加為北傾1/29，東傾1/36，如圖7.2-9。上述調查顯示建物一旦傾斜後若未扶正或修復改善，將存有偏心載重並持續產生傾斜。

編號Ba-3南投市東山路1街1巷(地圖上現為16巷)1號~7號
地上3F連棟建築
獨立基腳深約50CM屋突重心偏後
921地震時北傾1/71西傾1/285未處理
本次勘查增加為北傾1/42，東西向不明顯
1號屋主願處未連棟處理恐無效，獨自於後院加築RC牆並植筋與建物相連
20240403地震屋內裂縫有加劇



圖 7.2-8 南投東山路 1 街 1 巷連棟民宅地震後至今變化情況

編號Ba-4南投市東山路1街17巷19號~23號
同Ba-3為地上3F連棟建築
獨立基腳921地震時北傾1/40東傾1/48未處理
本次勘查增加為北傾1/29，東傾1/36



圖 7.2-9 南投東山路 1 街 17 巷連棟民宅地震後至今變化情況

7.2.3 南投軍功名邸社區

南投中興路軍功名邸社區，同樣為連棟民宅 3 樓無地下層建築，地震時傾斜，第一戶民宅自行裝修將牆柱拉直地面填平，惟實測鄰房由原北傾 1/46 本次勘查仍向北傾增為 1/44，如圖 7.2-10。

編號Ba-5南投市中興路223-3號~223-21號，軍功名邸社區北側為軍功路，再北為軍功寮溪
軍功名邸社區連棟建築地上3層無地下室
獨立基腳921地震時北傾1/46西傾1/208，223-3號修整後屋角均無傾斜，惟實測233-5號仍向北傾1/44



圖 7.2-10 南投中興路軍功名邸社區連棟民宅地震後至今變化情況

7.2.4 南投信義街連棟民宅

南投市信義街 240 號連棟共 8 戶民宅，為地上 3 層無地下室，獨立基腳，有騎樓局屋突，921 地震時北傾 1/500，室內地板隆起龜裂，僅作地坪處理及裂縫灌注，本次勘查訪問 244 號住戶，地震後修繕為在連棟建物短向樓梯壁面加強 H 型鋼，並加厚牆面，240 號建物北傾 1/80、東傾 1/110，如圖 7.2-11。



圖 7.2-11 南投信義街民宅在短向樓梯壁面加強 H 型鋼並加厚牆面

7.2.5 霧峰四德路民宅

霧峰四德路275巷連棟民宅，其中62號連棟民宅地上3層無地下室獨立基腳，921地震時皆為全倒房屋重建，惟重建後仍採獨立基腳。而另霧峰鄉四德路275巷65弄1號獨棟民宅，獨立基腳，原傾斜甚大以型鋼暫時支撐，如圖7.2-12，以千斤頂扶正及基礎改良後，南傾1/120，西傾1/58，本次勘查南傾1/120，西傾1/375，如圖7.2-13。



圖 7.2-12 霧峰四德路獨棟民宅傾斜扶正照片



圖 7.2-13 霧峰鄉四德路275巷65弄1號獨棟民宅現況

7.2.6 霧峰育德路太子城堡社區

霧峰育德路太子城堡社區為3~4樓無地下層建築，社區靠近河岸於921地震時受土壤液化影響，河岸側潰、噴砂，建物沉陷傾斜，如圖7.2-14~7.2-16。其中最靠近河岸一棟為育德路26巷5號，鄰近河岸1.2~3公尺，921地震時房屋沉陷傾斜（往北傾），經扶正後南傾1/200，本次勘查為南傾1/300西傾1/400（向河道傾）。屋主說明處理過程，先採用頂升工法，以級配回填再加灌漿，原為獨立基腳局部地下室，扶正後改為全面筏基，圖7.2-17為建築扶正改良後基礎現況，可見基礎有抬升加固。



圖 7.2-14 霧峰育德路太子城堡社區 921 地震土壤液化情形



圖 7.2-15 霧峰育德路太子城堡社區 921 地震建物傾倒損壞情形



圖 7.2-16 霧峰育德路 26 巷 5 號建物向北沉陷傾倒情形



圖 7.2-17 霧峰育德路 26 巷 5 號建物修復及改善現況

7.2.7 員林崙雅巷連棟建物

員林崙雅巷 9-20 與 9-21 兩戶連棟地上 3 層建物，屬獨立基腳之騎樓式建築，如圖 7.2-18，地震後未進行基礎修復與改善，照片中左邊為 9-21 號向右傾斜，傾斜量 90 年為 1/200，本次勘查增大為 1/46。



圖 7.2-18 員林崙雅巷連棟建物傾斜現況

7.2.8 員林大同路獨棟建物

員林大同路一段 19 號獨棟 4 樓建物，頂樓有加蓋屋凸，一樓前面有騎樓，屬於獨立基腳，921 地震時傾斜約 1/50，進行扶正處理後傾斜量 90 年時為 1/2000，本次勘查增大為 1/327，如圖 7.2-19。



圖 7.2-19 員林大同路一段 19 號獨棟 4 樓建物

7.3 修復工法成效探討

綜合以上現勘結果建物傾斜量與民國 90 年勘查結果之比較如圖 7.3-1，圖中標示一般建議之建築物傾斜量達重建之標準（1/40，紅色實線），以及一般建議不影響使用之傾斜量（1/200，紅色虛線），由圖顯示本次現勘結果，有些建築物之傾斜量已超過重建之標準。圖 7.3-2 為將本次勘查建物傾斜量的增量（即 113 年減去 90 年數值），加以由大至小排序後，分析各種情況對傾斜增量之影響結果，縱軸為傾斜增量的百分比，橫軸為調查案件編號，顯示未經過基礎修復處理者，其傾斜增量較大，有經過基礎修復處理者，其傾斜增量較小。而獨立基腳與獨棟或連棟建築物未經基礎處理者，為傾斜變化較顯著的主要對象，對於靠河岸之情況，有經過基礎處理修復補強者，以及有地下室或採用筏基者，傾斜變化量較小，本次勘查傾斜量亦顯著降低。

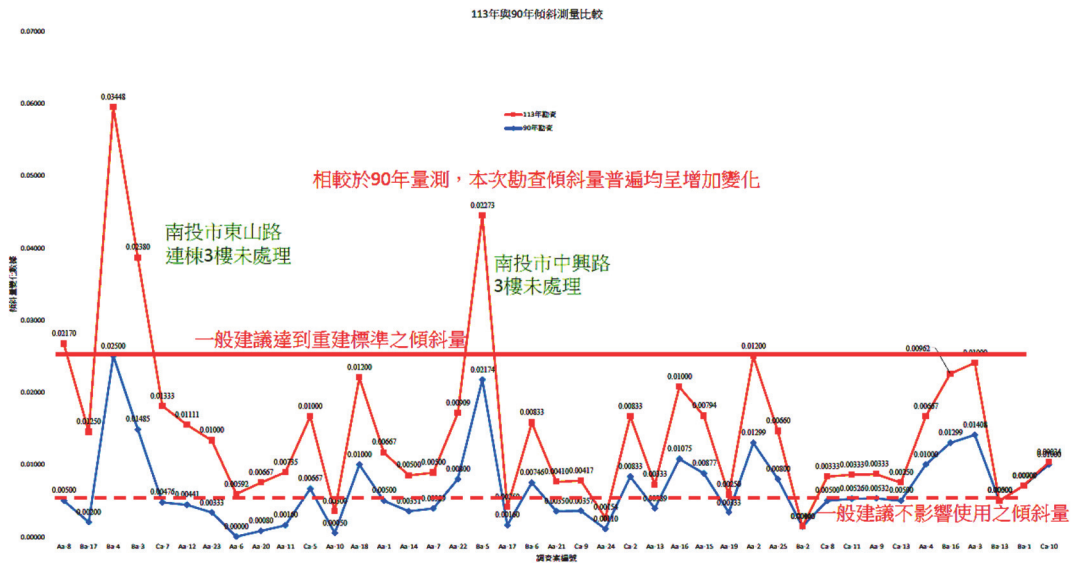


圖 7.3-1 建物傾斜變化量比較結果

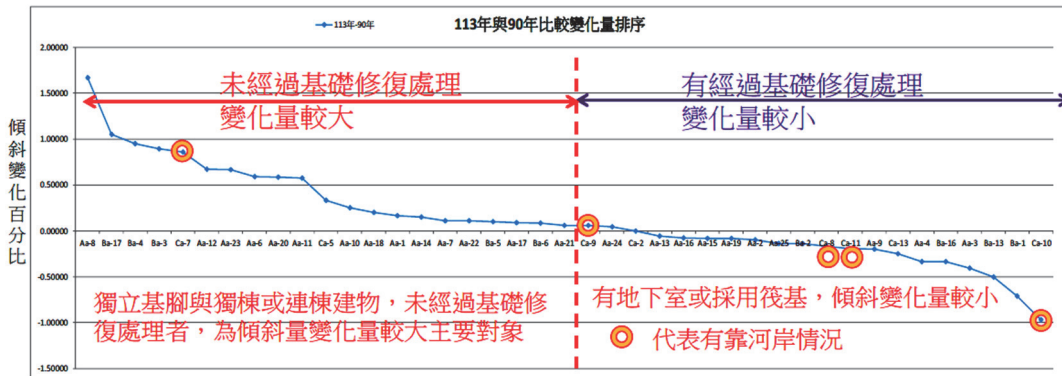


圖 7.3-2 建物傾斜變化量排序與分析結果

藉由本次回顧 921 災後修復工程之勘查成果，歸納以下幾點結論。

- 一、921 中部液化災區，仍有許多建物並未進行處理，尤其連棟建物，民眾考量須整體改良加固一起作業，惟鄰屋協調不易。建議參照日本經驗，由政府補助與民間合作，採格子狀地盤改良，由街廓與住宅整體改善。
- 二、部分重建房屋，仍採用獨立基腳型式，恐仍無法防止下一次大地震液化災害風險。
- 三、有地下室的筏基情況，抗液化災害能力高於無地下室者或是獨立基腳情況。惟若周遭鄰近溪溝或稻田致明顯地勢高差情況時，筏基建物仍可能受害，甚至傾倒，故有側向擴展潛在問題時，需對側向擴展先作有效防護。
- 四、根據災區勘察結果對照推估，粉土質黏土地層，以及含礫石砂土，仍有發生液化之可能，需再進一步研究。
- 五、液化基礎防治須結合大地及結構專業，地下室側壁在土壤液化時的抗土水壓力，可能高於目前基礎結構設計考量之情況，會導致開裂破壞。
- 六、員林地區勘察得知，液化分布多數集中在崙雅里為主，大多數建物屬 5 樓以下較低層樓建築，2~3 樓占多數，基礎多採獨立基腳，建物傾斜未處理者，本次量測傾斜量多數有增加現象，而有處理過之建物或是有地下室或採用筏基者，傾斜變化均較為輕微。
- 七、大部分調查住戶反應，113 年 0403 花蓮地震，並未明顯增加損害現象，僅部分裂縫增加。傾斜測量結果，有經過基礎處理者，變化會小於未進行處理者。

參考文獻

內政部建築研究所(2001)，新建建築抗液化對策及工法之適用性研究成果報告。

內政部建築研究所(2024)，921 液化災區建物再次勘察探討基礎抗液化對策之效益比較與模型試驗研究計畫，第一次專家座談會議，計畫初步作業進度報告。

中華民國大地工程技師公會(2016)，液化區基礎修復補強工法對策說明書。

林呈(2000)，見證 921 集集大地震(下)－震害原因與因應對策，臺灣省土木技師公會，第十三章，土壤液化之定義與破壞現象，第 557-583 頁；第十四章，臺中縣、彰化縣與嘉義縣之土壤液化震害，第 585-634 頁；第十五章，南投縣、市之土壤液化災害，第 635-680 頁。