

震災後基礎之修復與補強案例探討

廖瑞堂
青山工程顧問有限公司

潘竹旺
台灣探勘工程股份有限公司

俞清瀚
富國技術工程股份有限公司

黃富國
淡江大學營建系

摘 要

921集集大地震後，災區部份建築物發生下陷傾斜，但上部結構大致良好的個案，該部份個案已進行建築物基礎之修復補強工作，以恢復其使用機能。基礎修復補強工法以採千斤頂頂升工法及灌漿工法最為常用，本文以頂升工法及灌漿工法各3處個案為例，說明其施工經過、成效及發生的若干問題，並比較該二種工法之優缺點及適用性。由案例探討可知成效良好的個案，通常都有周詳的事前調查及良好的施工管理，至於成效不佳或工期延宕甚久的個案，則大都缺乏良好的調查、計畫及施工管理，台灣地區基礎修復補強的經驗仍十分有限，且存在諸多問題，有待工程界共同努力加以改善。

關鍵字：基礎、修復補強、扶正、頂升工法、灌漿工法。

CASE STUDY OF FOUNDATION REHABILITATION AFTER EARTHQUAKE

LIAO JUI-TANG

PAN C. W.

LAND ENGINEERING CONSULTANTS, CO., LTD. TAIWAN PROSPECTING & ENGINEERING INC.

YU CHING-HAN

HUANG FU-KUO

SINO GEOTECHNOLOGY, INC.

DEPT. OF CONSTRUCTION ENG., TAMKANG UNIVERSITY

ABSTRACT

Lots of buildings settled and tilted in the disaster areas attacked by the Chi-Chi earthquake. For the damaged buildings with stable upper structure, the foundation rehabilitation was performed to recover its original function. The underpinning method and grouting method were used most commonly for the foundation rehabilitation. A total of 3 remedial cases for each remedial method were studied in this paper and the construction processes, rehabilitation effectiveness and the problem encountered during construction were investigated and evaluated. As a result, the comparison of advantage/disadvantage and applicability between two methods are proposed. Results of this study indicate as the detail investigation prior to construction and the proper construction management were conducted during rehabilitation, the damaged foundation can be retrofitted effectively within an appropriate schedule; otherwise, the effective

rehabilitation can not be reached and the construction duration will be postponed. Because the local experiences of foundation rehabilitation are limited in Taiwan and some major problems do not resolved yet, it is suggested that the techniques and abilities of foundation rehabilitation should be improved by the engineers with greater efforts.

KEY WORDS : foundation, rehabilitation, upright, underpinning method, grouting method.

一、前言

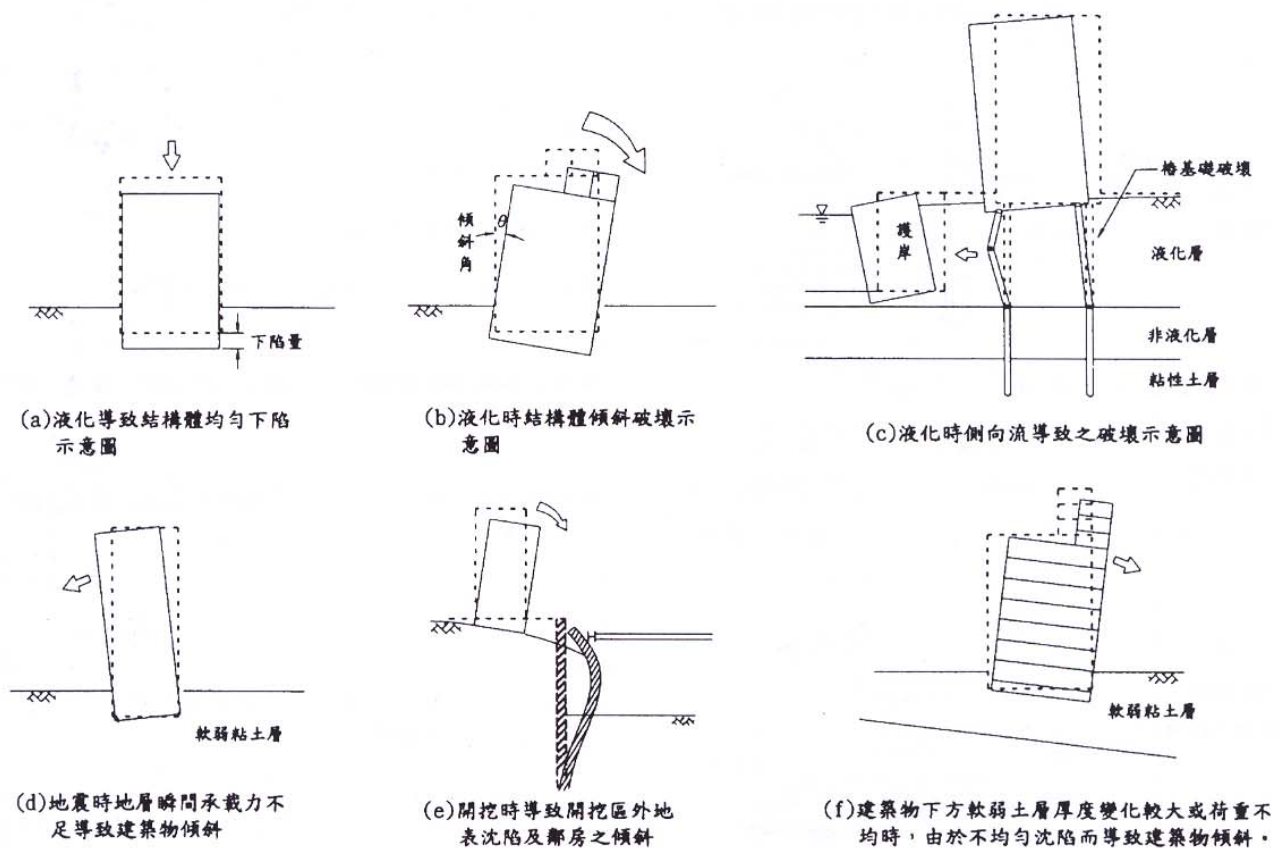
921集集大地震帶來了慘重災害，也震露出臺灣許多潛在的工程問題，土壤液化即是其中一項嚴重的問題，921集集大地震後在彰化縣的員林鎮、社頭鄉、大村鄉，台中縣的霧峰鄉，南投縣的南投市等區域之多處地層均有顯著的土壤液化現象，該液化現象導致許多老舊建築受損嚴重而拆除，亦有甚多建築因基地土壤液化導致建築物下陷或傾斜，由諸多現象均說明台灣工程界對於地震引致土壤液化的認識普遍不足。

大地工程技師公會在921集集大地震後受國科會之邀請，在土壤液化嚴重的災區設立液化諮詢服務站，除提供災民有關受損建築物基礎修復補強之諮詢外，亦提供新建工程之液化防制相關建議。服務站設立期間雖已達成初期的目標，唯仍有感於台灣本土化的液化防災資訊缺乏，有待更多的宣導及教育，故在液化諮詢站服務告一段落後，大地工程技師公會即邀請當時參予諮詢服務之技師共同編著「液化區基礎修復補強工法對策說明書」一書，並於八十九年九月五日完成，該書共計110頁，其中包括921集集大地震液化災害之紀實，包括液化區各種建築修復補強工法成效之追蹤，同時蒐集甚多國內外有關液化災害修復補強工法的相關文獻及資料，書中對於新建工程如何採行抗液化措施亦有詳細的介紹，當可提供對液化防制有興趣的專業人員參採。

二、建築物傾斜及沉陷的原因探討

導致建築物的傾斜及下陷原因甚多，地震時建築物產生之傾斜大都導因於疏鬆砂之液化、瞬間偏心荷重導致土層承载力不足及樁基礎因垂直應力過大導致樁基礎樁體破損；至於平常時建築物會產生傾斜，部份導因於不均勻荷重或軟弱粘土厚度變化較大差異沉陷所導致，部份則是因為鄰房地下開挖因地層側移、沉陷或掏空所引致。

綜合以上說明可知，導致建築物沉陷、傾斜的原因甚多，而地震時土壤液化的發生只是其中一種，雖然921集集大地震導致建築物的傾斜以基礎土壤液化原因所佔比例較高，但不可將所有建築物的沉陷及傾斜原因，均歸納為土壤液化所致，如果建築物傾斜原因判斷錯誤，則有可能誤導後續修復及補強處理方向及工法的選擇。圖一係導致建築物沉陷與傾斜原因之示意圖，圖中(a)、(b)、(c)係在砂性土壤在地震時因液化而導致上方建築物傾斜，(d)為地震時高寬比特別大之建築物，因地震偏心載重大於地層承载力，而產生傾斜之示意圖；(e)、(f)則為平常時建築物發生傾斜常見的原因示意圖。



圖一 導致建築物沉陷、傾斜之原因示意圖

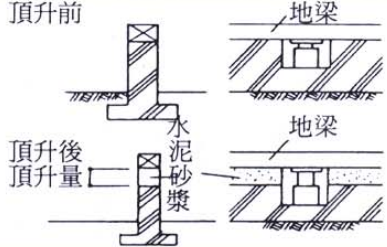
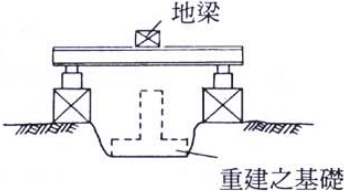
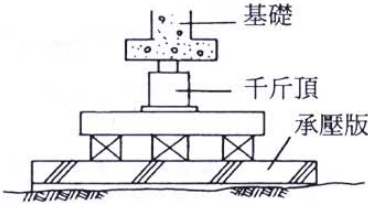
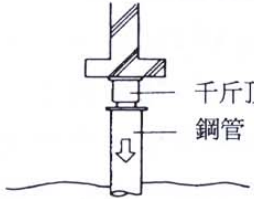
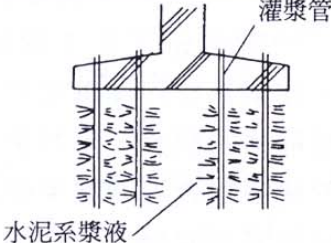
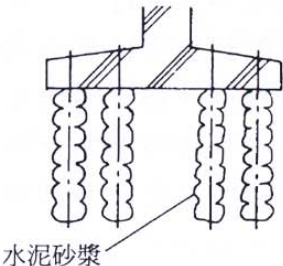
三、基礎扶正及補強之工作流程及考量要點

建築物一旦發生大量之傾斜或沉陷，影響其使用機能或安全性時，則需進行扶正或補強，使其恢復原有使用機能及遏止其安全性惡化。至於結構體或承載地層是否需加以改良或補強，則需視傾斜的程度及發生傾斜的原因進一步分析後決定。

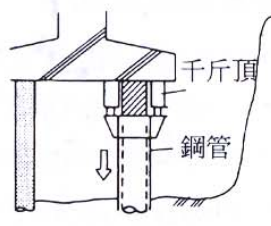
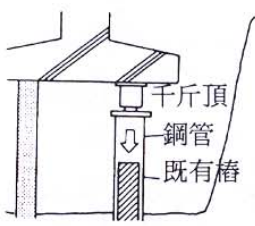
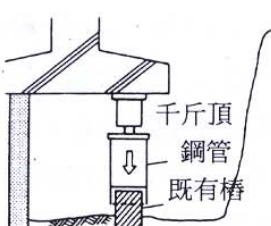
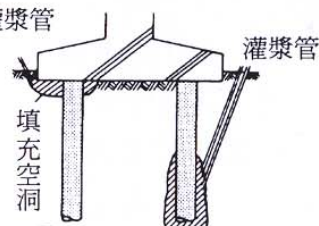
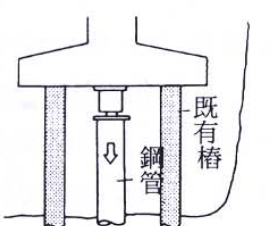
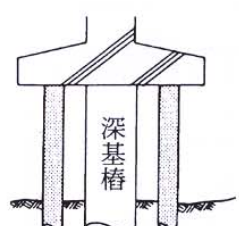
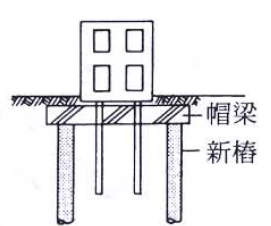
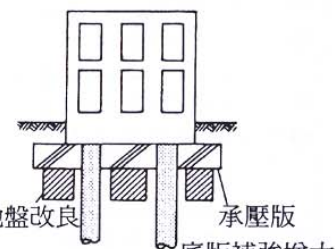
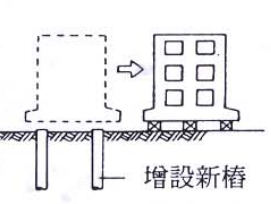
日本阪神大地震後，建築物產生傾斜或基礎受損之個案甚多，如何使受損建築扶正及補強？大澤一實等人(1995)分別就直接基礎及樁基礎提出扶正及補強工法之建議，詳見表一及表二所示。表中對於不同基礎的扶正及補強工法有詳細的介紹，921集集大地震後國內採用的基礎修

復補強工法的概念，大都不超出其範圍，只是細部計畫或做法上略有不同而已。筆者在參與災區液化諮詢站服務期間，勘察各種不同處理工法之個案，發現仍存在諸多缺失，導致若干個案修復補強成效不彰，同時也留下甚多問題及潛在危險因子，如果下次同樣震度的地震發生，經扶正及補強的個案，研判仍有甚多經扶正補強的建築物會再度發生傾斜或破壞，甚至部份個案可能損壞的程度將會更形嚴重。到底問題點在那裡？主要係因一般不具專業背景的民眾僅由其損害的表象考慮，而未深入探究其損害源頭及相關影響因子，予以全面性實質問題之分析、考量所致。以下乃略就基礎修復補強的工作流程與所涉及的相關考量要點進一步探討。

表一 直接基礎修復補強工法(摘自大澤一實等人，1995)

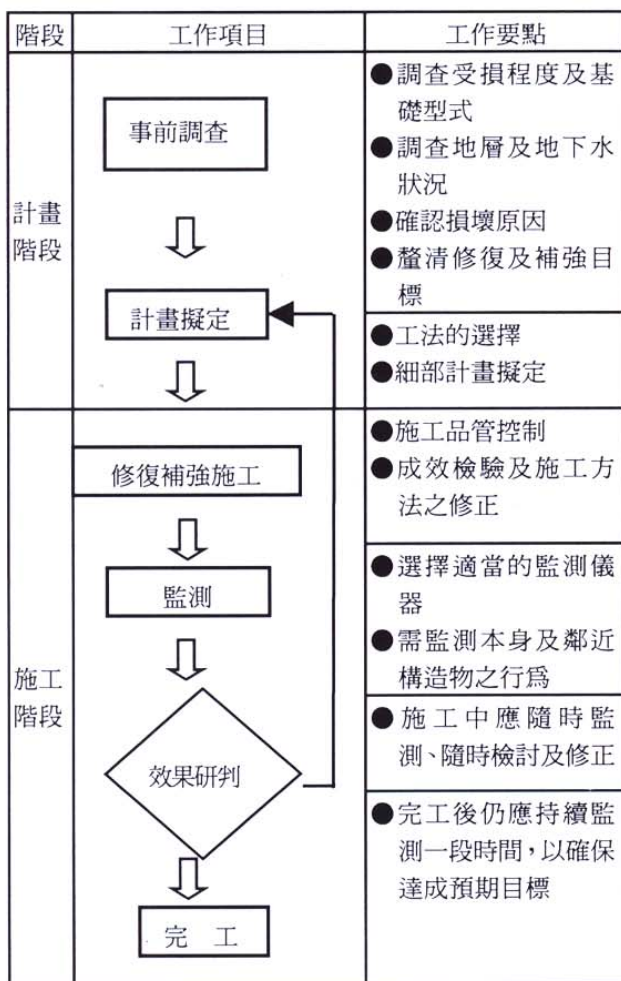
工法	示意圖	特徵·適用範圍
(a)頂升工法 及空隙填充		<ul style="list-style-type: none"> ●基礎與地梁之間設置千斤頂進行頂升，爾後以水泥砂漿填充其間之空隙 ●或可直接將柱切斷後，頂升之 ●基礎地層穩定且沉陷量小於10cm者較有效
(b)頂升工法 及重建基礎		<ul style="list-style-type: none"> ●地梁以鋼材補強托撐，頂升鋼材後將損壞之基礎打除重建 ●基礎地層承载力不足，基礎版增大補強或變更基礎型式時適用
(c)頂升工法 及地盤補強 (承壓版，地層改良)		<ul style="list-style-type: none"> ●基礎下方構築RC承壓版或基礎地層灌漿改良補強後，藉以頂升基礎
(d)鋼管樁壓入 工法		<ul style="list-style-type: none"> ●基礎下方採鋼管壓入承載層，藉鋼管樁支承、頂升基礎 ●軟弱地層造成差異沉陷之扶正效果佳再度沉陷之可能性低
(e)灌漿工法		<ul style="list-style-type: none"> ●灌漿管貫入基礎正下方，以水泥系漿液灌注 ●對填充地層中之空洞及固結效果佳
(f)擠壓灌漿工法		<ul style="list-style-type: none"> ●採特殊高壓泵將稠度高之水泥砂漿擠壓入基礎地層 ●對地層之鬆弛所致沉陷量或推測之再度沉陷量改善效果佳

表二 樁基礎修復補強工法(摘自大澤一實等人, 1995)

<p>(a) 既有樁補強工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●鋼管包套既有樁分段壓入、銲接，其間隙以水泥漿等填充 ●對既有樁損害輕微者補強效果佳 	<p>(b) 既有樁補強工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●既有樁樁頭切斷，以鋼管套入既有樁分段壓入、銲接，其間隙以水泥漿等填充 ●對既有樁損害輕微或樁頭損害者補強效果佳
<p>(c) 既有樁再壓入工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●既有樁樁頭切斷，於基礎版及樁間以千斤頂將既有樁壓入較佳之承載層，增強樁之承載力 	<p>(d) 既有樁灌漿補強工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●既有樁底端或周圍地層、空洞以水泥漿固結、強化
<p>(e) 鋼管樁壓入工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●鋼管分段壓入銲接成鋼管樁，補助既有樁之承載不足 	<p>(f) 深礎樁置換工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●增設深礎樁補助既有樁之承載不足
<p>(g) 帽梁工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●增設新樁及帽梁托撐 	<p>(h) 直接基礎</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●既有樁損害嚴重，無法再使用，改採直接基礎 ●承壓版與地盤改良併用
<p>(i) 建物搬移及增設新樁工法</p>  <ul style="list-style-type: none"> ●將建物暫時轉移至一旁，待基樁設置後恢復原來位置。工事規模大，周邊要有空地。基樁設置條件與新建施工時要求相同。 	<p>選擇工法要點：</p> <ul style="list-style-type: none"> ●樁之損害程度 ●地盤種類 ●如何修正下陷 ●未來的穩定性 ●周邊環境狀況 ●等等考慮後再選擇

3.1 基礎修復補強之工作流程

基礎修復補強之工作流程，詳見圖二所示，大致可分為計畫階段及施工階段兩大階段，其中計畫階段主要包括事前的調查及補強計畫的擬定兩項工作；至於施工階段主要包括修復補強施工及監測兩項工作，各項工作的內容及考量要點如圖二所示，要能順利成功的完成基礎修復補強工作，各個工作環節，環環相扣，均不可輕忽，若有意或無意的忽視若干工作項目的重要性，則導致失效的機率就大增，就實際執行的情況而言，以事前調查工作最不受重視，但因其影響工法的選擇、細部計畫的擬定，對工法的成效具關鍵性的影響，故以下針對事前調查的工作內容進一步探討說明。



圖二 基礎修復補強工作流程圖

3.2 事前調查工作之考量要點

3.2.1 調查受損程度及基礎型式

事前調查工作，包括上部結構及基礎受損程度嚴重性之調查，如果上部結構及基礎受損十分嚴重，或修復補強所需費用已接近重建費用時，則大都採拆除重建方式處理，如果受損十分輕微，則僅需略為處理即可，一般需扶正及補強的建築物，大都屬於受損程度中等之建築。由於基礎型式不同，建築物將地震力所引致的動態荷重傳遞至地層之機制將明顯不同，故地震時破壞模式亦不相同，如為獨立基腳、連梁基腳、筏式基礎等淺基礎發生破壞情況，大都造成建築物傾斜或整體下陷；若為樁基礎之破壞情況，大都發生樁體及樁帽附近之破壞，除非基樁嚴重挫斷，否則所造成之建築物傾斜或下陷情況較不顯著，基樁未加以詳細檢視調查，由建築物外觀不易察知其破壞情況。以致不同基礎型式之處理方法亦大不相同。因此，事前現場調查應以受損程度及基礎型式的調查二項列為最優先。

3.2.2 調查地層及地下水狀況

調查地層及地下水狀況的主要目的，係為了瞭解地層、地下水位分佈及地層之軟弱或緊密程度，以研判導致建築物傾斜或受損的可能原因，並做為後續補強細部計畫擬定之重要參考。

3.2.3 確認受損原因

建築物之傾斜或下陷，可能導因於基礎土壤液化或其他諸多可能因素，一般經詳細之基礎受損狀況檢視、鑽探調查、分析及沉陷、傾斜觀測，方能確認其傾斜原因，以921集集大地震為例，建築物傾斜原因。雖然有大部份導因於土壤液化，但

亦有若干個案係因建築物座落於軟弱粘土層，地震時粘土層瞬間之承载力不足而導致之傾斜；當原因不同時，後續的修復補強方案，則會不同，故事前調查以確認基礎損害原因甚為重要，俟原因確認後再根據基地之地層狀況及周遭環境選擇適當之修復補強工法。

3.2.4 釐清修復補強的目標

在考量基礎修復補強工法時，除上述考量因素外，尚需先行釐清修復補強的目標。一般而言，建築物基礎修復補強的目標，可分為三級，第一級為恢復原有使用功能為目標，大都採用扶正工法，將傾斜或下陷建築物抬起、扶正。第二級以恢復原有的耐震能力為主要目標，針對破壞原因將基礎加以補強，使其恢復原有建築之耐震能力。第三級為針對損壞原因，將地層或基礎加以改良或補強，以提高耐震能力至符合新的耐震設計要求為目標。由於修復補強的目標不同，因而採取的工法及修復補強計畫亦會不同，導致補強費用亦就大不相同，故在進行事前調查時，應就

各個建築物的現況與業主充份溝通，先行釐清修復補強的目標為何？再根據目標需求，進行工法之選擇及細部補強計畫之擬定，如此才能在經濟、有效的原則下達成預期目的。

四、921集集大地震採行之基礎修復補強工法

建築物因土壤液化或其他原因產生沉陷及傾斜，目前有諸多工法可將建築物加以扶正及補強，表三係國內曾使用的扶正補強工法。在921集集大地震基礎受損房舍中，以採用千斤頂頂升工法(或簡稱頂升工法)及低壓灌漿工法兩種工法為最多，茲將其原理及使用情形說明如下：

4.1 頂升工法(或稱托底工法)

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，扶正後建築物之傾斜角大都可

表三 台灣曾使用的建築物扶正及基礎補強工法比較表

工法		台灣使用 頻率	扶正 效果	補強 效果	適用情況	常見的缺點
頂升工法		常用	○	×	.適用於狹長型建築 .僅能扶正，但需配合其他補強工法	1.頂升只能提供建築扶正功能，無法增加抗液化能力 2.頂升施工中常不當的破壞原有基礎，且未做應有之基礎結構補強
排土工法		偶而使用	○	×	僅能扶正，但無法頂高或補強基礎	施工控制略困難
地坪填平		常用	△	×	1.並未扶正，只是使地盤之傾斜變小 2.僅適用於傾斜量較小或均勻下陷之建築	樓高變小，使用性略差
高壓 灌漿	單管	偶而使用	×	△	一般用於地盤改良或開挖建物保護	施工中副作用大，壓力不易控制
	雙重管或 三重管	偶而使用	×	○	一般用於地盤改良，改良效果較單管為佳	施工中副作用大，壓力不易控制
低壓 灌漿	擠壓灌漿	偶而使用	○	△	扶正同時可提供部份補強功能	
	馬歇管灌漿	偶而使用	△	△	扶正同時可提供部份補強功能	
	雙管化學灌漿	常用	○	△	主要提供扶正及局部補強	
	單管化學灌漿	常用	△	×	主要用於扶正	施工中副作用大，常造成不當隆起或漿液四處流竄

符號說明：○佳 △尚可 ×無效

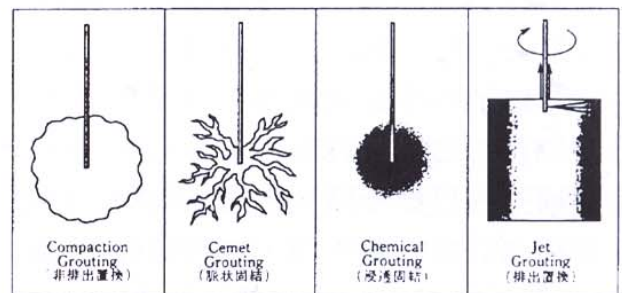
達小於1/200之標準。此工法係利用千斤頂將建築物抬起，然後填補抬起段的基礎空間，以達扶正之目的。欲將建築物抬起的關鍵在於地盤如何提供充份的反力，使千斤頂能有效的抬起上方之建築物，在若干個案現場發現許多千斤頂在施力的過程並未能抬起房子，反而是千斤頂往下陷。而欲使千斤頂能提供有效反力，可用的輔助方法甚多，例如增加千斤頂下方之承載面積或將承載地層加以改良或打設微型樁等，至於採用何種方法較佳，應視該工址之地層條件及周圍施工環境而定。

4.2 灌漿工法

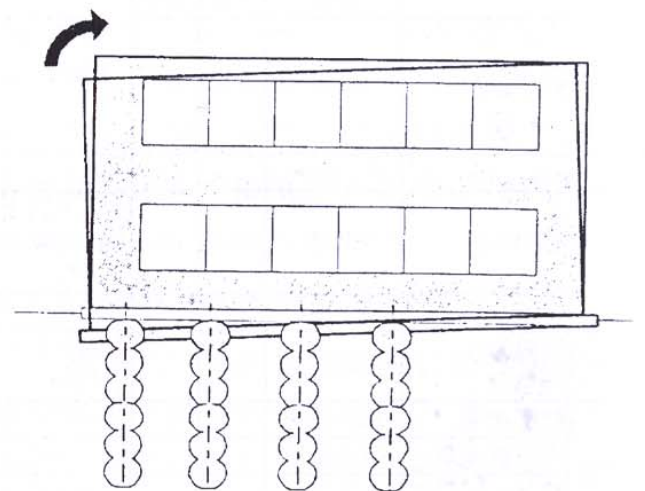
灌漿工法可依採用之灌漿壓力分為高壓灌漿及低壓灌漿兩種，一般低壓灌漿採用之壓力大都小於 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ ，低壓灌漿常用於止水或建築物扶正，如化學灌漿、馬歇管灌漿、擠壓灌漿等均是；若依灌漿材之輸送方式可分為單管(1 shot)或雙重管(2 shot)之灌漿方式，單管係指僅有一種灌漿材或灌漿材先行混合再以單管輸送；雙重管係指二種灌漿材(如水泥或水玻璃)利用二組輸送管輸送而至噴嘴出口附近再行混合噴出。至於高壓灌漿通常係指灌漿壓力大於 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上，部份甚至高達 $300\sim 400\text{kg}/\text{cm}^2$ ，其原理利用高壓切削土壤的同時將水泥漿液和土壤混合，而形成改良體，高壓灌漿通常用於軟弱地層之改良，以形成一具有相當強度之灌漿改良體為目標。

圖三係各種灌漿工法依各種壓力、凝結時間、灌漿材不同而形成四種不同的注入形態，分別為(1)擠壓型灌漿(又稱非排出置換)(2)脈狀固結灌漿(3)化學固結灌漿(4)排出置換灌漿等四大類。以建築

物之扶正或頂起之功能而言，以擠壓灌漿(compaction grouting)效果最佳，脈狀固結灌漿或化學固結灌漿效果居次。如圖四係採擠壓灌漿將建築物扶正之示意圖，其原理係利用瞬結型灌漿或灌入水泥砂將在地表下形成一串球狀灌漿體，而慢慢將建築物抬起；至於脈狀固結灌漿及化學固結灌漿則是採用凝結時間較長之緩結型灌漿材，以多點式同時施灌方式，利用其灌漿壓力將建築物基礎抬起，但為避免漿液無法發揮作用，可考慮在建築物四周先行打設止水樁，使其發生圍束作用。總之，欲利用灌漿工法將建築物抬起，可採用的施工方式並非唯一，其可變化性甚大，但欲



圖三 灌漿工法依注入形態不同分為四大類型 (林敬次郎等人,1996)



圖四 擠壓灌漿工法將建築物扶正之示意圖 (林敬次郎等人,1996)

使灌漿工法達到其預期的目的，以下四點則是應具備的基本條件：

(1)要有良好的事前調查及周詳的細部灌漿作業計畫（包括：擇具長期耐久性之灌漿材料及配比、灌漿壓力、多點式同時施灌方式之灌漿孔配置及施灌順序、灌漿孔傾斜度、灌漿範圍等）。

(2)要有完備的灌漿設施—包括灌漿機、流量計、拌合設備等。

(3)要有良好的施工品管—施工中進行必要之品管包括，流量、壓力、凝結時間及漿液配比等控制。

(4)施工中隨時監測以檢討其扶正效果，若效果不彰則需調整其施工方法。

五、基礎修復補強案例探討

5.1 頂升工法扶正案例

921集集大地震後造成房屋傾斜而進行扶正之建築，以採用千斤頂頂升工法及低壓灌漿工法最多，表四係建築物採用頂升工法將建築物扶正之案例，由於該工法係由採人工控制油壓千斤頂加以操作，大都在可控制的範圍，故其扶正效果大都可達到預期的目標。其施工程序包括(1)基礎下方開挖，(2)反力設施之設置，(3)千斤頂之設置及頂起，(4)基礎下方空隙之填塞灌漿等四大步驟。而在施工過程中以反力設置問題較嚴重，反力的提供方式甚多，可參考表一中(a)、(b)、(c)、(d)等工法，實際上應配合現地環境、建物載重、地層條件及基礎情況再加以決定。當上方建築物越重或基礎下方之土壤越軟弱時，如何提供足夠的反力就更顯重要。常見的反力提供方式係直接鋪設枕木或鐵板增加承載面積，以提供更大的反力，對於軟弱地層而言，由於枕木及鐵板之

勁度及面積不足，通常效果不佳。

以A-1及A-2個案均採頂升工法進行建築物扶正，且以高壓噴射進行地盤改良，再利用改良樁體提供反力。但如高壓噴射改良的效果並不十分理想，再加上地層已相當軟弱，則在頂升過程中發生反力不足的情形是可以預見的。以A-1個案而言，由於地層狀況較佳，A-1個案大約在60天左右已完成頂升扶正之目的(詳照片一所示)；A-2個案在施工過程，就曾因反力提供不足，造成建築物未能有效抬起，但千斤頂卻下陷之情形，整個工期超過100天，且施工中對於原有基礎結構亦造成不當的損傷(詳照片二所示)。就A-3個案而言，其最大沉陷量接近2.5公尺，採用千斤頂頂升工法一樣可將其扶正，然由於所須頂升量甚大，施工中之風險較大，由於此案基地接近溪谷，研判沉陷原因可能與液化之側向流有關，但此案亦僅採頂升工法將其扶正，再將基腳略為擴大，對於液化導致側向流之可能影響，則無具體的補強對策加以因應。

由表四可知獨棟建築以之頂升工法進行扶正，所需工期約需60天左右，但如計畫不良，反力設施提供不足，則所需工期就難以掌握。

5.2 灌漿工法扶正案例

921集集大地震災區亦有甚多傾斜建築物採用低壓灌漿做為扶正之用，其中部份個案已相當成功的扶正，但亦有甚多失敗的案例，部份甚至導致鄰房或鄰近道路之隆起。表五係採用灌漿工法扶正之案例，案例B-1係採用單管灌漿工法進行扶正，但在施工中曾發生漿液四處亂竄之情形，及鄰房地坪產生預期外之隆起，詳見照片三所示，本案例初期扶正效果並不理想。

表四 採用千斤頂頂升工法扶正之案例

案例	地點	建築型式	基礎型式	下陷或傾斜量	修復補強效果	施工過程說明	工期
案例A-1	員林	地上4樓	版式筏基	下陷約40~50公分，傾斜約1/80	扶正效果尚佳	●施工過程大致順利	約60天
案例A-2	員林	地上4樓	版式筏基	下陷約35公分，傾斜約1/60	施工中	●施工過程由於反力提供不足，無法有效抬起	100天以上
案例A-3*	霧峰	地上3樓	局部獨立基腳，局部版式筏基	下陷最大達2.5公尺，傾斜達13度	扶正效果尚佳	●除將建築物扶正外，並擴大基礎面積	約70~80天

*引自參考文獻(3)

表五 採用灌漿工法扶正之案例

案例	地點	建築、基礎型式	採用工法	扶正補強效果	工期	說明
案例B-1	南投	地上3樓獨立基腳	單管灌漿工法	●施工中造成附近地表隆起及漿液四處流竄	施工中	
案例B-2	東勢	地上3樓筏式基礎	雙重管低壓瞬結型灌漿工法	●順利完成扶正	10天	引自參考文獻(4)
案例B-3	員林	地上7樓 地下1樓 (筏式基礎?)	雙重管灌漿工法	●施工甚久，無法有效使該棟建築扶正	90天以上	
案例B-4	日本	4~6樓均有部份筏基、部份獨立基腳(共計3案例)	擠壓灌漿工法	●順利完成扶正 ●擠壓灌漿可同時對地盤造成改良效果	14~60天	引自參考文獻(5)
案例B-5	日本	2~4樓均有部份筏基、部份獨立基腳(共計6案例)	多點式雙重管灌漿工法(JOG工法)	●順利完成扶正 ●施工控制嚴謹	7~14天	引自參考文獻(6)

案例B-2係採雙重管灌漿工法進行扶正，該建築物為地上3F，採筏式基礎之建築，基地為長方形，長約14公尺、寬約10公尺，基地地層地表下0~6公尺為砂礫石層，6公尺以下為岩盤，經採用雙重管灌漿工法，採25度俯角斜灌，建築物由原來傾斜1/37扶正至1/150左右，施工初期係採由下而上施灌(up-stage方式)，但效果不佳，經調整成由上而下施灌(down-stage方式)，即獲得較佳之扶正效果，本案施工之總工期約10日，於施灌中採用錘球、水準儀及連通管等觀測儀器進行施工中之監測。由本案可說明在良好的施工品管及監測控制下，灌漿工法應為一有效快速的扶正工法，詳圖五及照片四所示。

案例B-3採雙重管灌漿工法扶正，該建築物為地上7F、地下1B，地震後傾斜

約1/50~1/60，該案之基礎型式初步研判應為筏式基礎(但筏式基礎僅為局部或全部尚待查証)，施工中在該棟建築物及鄰房均設有電子式傾斜儀，以監測扶正效果，本案曾經90日以上之努力及修正，但扶正效果不彰(詳照片五所示)。

案例B-4及B-5係日本阪神大地震後以灌漿工法進行，基礎修復補強成功的案例，該諸多案例皆具相同特點，即是(1)有完整的事前調查，(2)有良好的施工品管。由日本之案例可知大部份採灌漿工法扶正之案例，其工期大都在7~30天以內，可以順利達成扶正之目的，只有極少數個案工期需要更長。

綜合以上案例，可知灌漿工法，其實是一種具有相當多優點的扶正補強工法，但在921集集大地震後實際修復補強的案

例得知，灌漿工法失敗的機率較頂升工法為高，為主要問題點如下所述：

(1)扶正補強計畫是否周詳

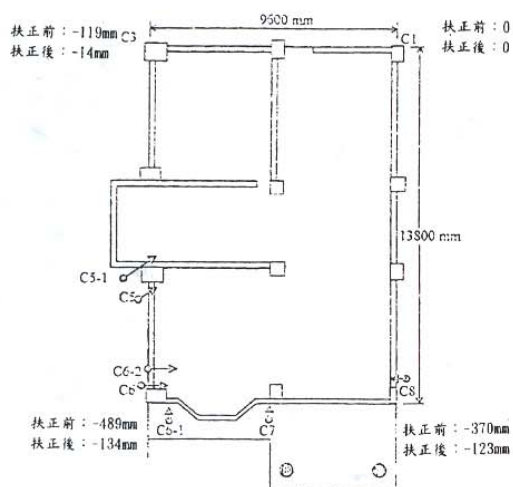
周詳之扶正補強計畫應包括地層條件掌握、扶正工法的選擇、施工管理計畫、施工監測計畫等。在921集集大地震後許多扶正補強個案，事前調查之基本資料包括地層分佈、傾斜原因都不清楚，就進行扶正及補強，就如同瞎子摸象一般，失敗機率自然較高。

(2)灌漿採用之工法及施工品管是否適當

灌漿採用之工法對扶正之成功與否，影響甚大；一般而言，以擠壓灌漿工法及雙重管灌漿工法較能達到扶正的目的，至於灌漿中之施工品管亦甚為重要，包括壓力、流量、灌漿材之配比控制均是。許多失敗案例發現，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目的實在十分困難。

5.3 頂升工法及灌漿工法優缺點綜合比較

在921集集大地震後，用於直接基礎之修復補強以頂升工法及灌漿工法最多，



圖五 案例B-2灌漿孔配置圖及建物扶正後比較圖

該兩種工法經上述案例之分析說明後，其優缺點綜合比較如下：

(1)技術取得之容易性比較

由於頂升工法所需設備較簡單，技術性較為單純，且該頂升工法亦係民間常用來做為低樓層建築物大幅搬移位置(俗稱"搬家")之用，故目前國內有較多的廠商可提供類似的服務。但灌漿工法則相反，目前國內具有完善設備、工法及經驗之廠商較少。

(2)經濟性比較

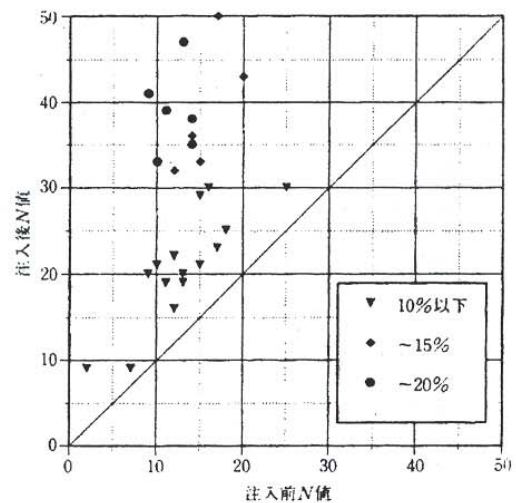
在良好的施工品管下，對於獨棟建築物而言，兩種工法所需費用應甚接近。

(3)工期比較

在良好的施工計畫及管理下，灌漿工法所需工期較頂升工法為短，以獨棟建築物而言，頂升工法之工期約需30~60天左右，而灌漿工法約需7~15天左右。

(4)扶正補強效果比較

頂升工法一般只能達到單純建築物扶正之效果，並無任何地盤改良補強效果，但如採灌漿工法，視其對地層置換或擠壓之程度，而有若干程度的改良效果，圖六係為擠壓灌漿前後，在不同注入率條件下地層改良之效果示意圖，由圖中可知



圖六 擠壓灌漿改良前後N值比較 (林敬次郎等人,1996)

表六 常用的基礎修復補強工法優缺點比較

工法	優點	缺點	適用條件
頂升扶正工法	●以千斤頂將建築物扶起，其過程可見，施工控制及管理較易。	●工期較長(一般約30~60天) ●本工法僅能達到扶正目標，未能提供補強功能。	●獨棟狹長型建築物最適用。 ●適用淺基礎或樁基礎。 ●施工承商在良好的監控下即可施做
灌漿工法	●工期較短(一般約7~15天) ●部份灌漿工法能同時提供地盤改良效果	●施工控制及管理不易，控制不當會造成其他災害。	●獨棟或非獨棟式建築均適用。 ●需由具專業能力及良好品管的承商進行補強。 ●適用於淺基礎，不適用於樁基礎。

改良後N值可提高5~20，故就對地層改良效果而言，灌漿工法優於頂升工法。

綜合上以說明可知，兩種工法各有其優缺點，無法簡單說明何者較佳，應視個案詳細的事前調查結果而定，其綜合比較詳表六所示。

六、結語及建議

1.基礎修復補強工法甚多，各有其優缺點及適用範圍，為順利完成基礎修復補強目標，事前周詳的調查及補強計畫擬定、施工中良好的施工品管及嚴密的監測等工作，環環相扣，缺一不可。

2.921集集大地震中因地層土壤液化後，受損建築物之基礎修復補強工作，目標大都只著重於建築物之扶正，使其恢復原有使用功能，但對基地地層土壤抗液化能力之加強，則未能提供必要之補強及耐震安全改善，殊為可惜。尤其此次土壤液化的深度並不深，實際提高抗液化能力所需工程費用並不高，且可有效避免地震時再度液化引，而起建築物產生損壞之可能。

3.建議政府有關單位加強液化防災資訊之教育及宣導，並將地層土壤具高液化潛能區及重要工程之地層土壤液化潛能調查及評估，列入強制審查項目之一，以減少地震引起之土壤液化災害。

參考文獻

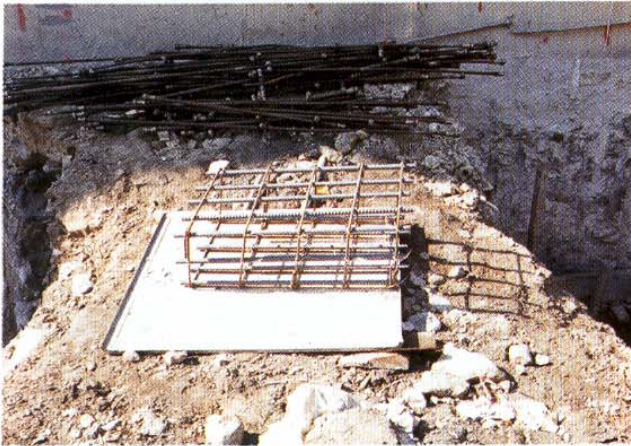
- 台北市及台灣省大地工程技師公會(民國89年9月),“液化區基礎修復補強工法對策說明書”。
- 大澤一實、間瀨哲、田村昌仁(1995),“基礎の破壊原因と復舊方法”,建築技術, No.5, pp.54~62。
- 徐松圻、褚炳麟、張益銘(民國89年),“霧峰土壤液化區基礎維修案例探討”,土壤液化防災與補強技術研討會論文集”,國立台灣科技大學營建系, pp.3-1~3-28。
- 台灣探勘工程股份有限公司(民國89年),“台中縣東勢鎮傾屋扶正灌漿工程竣工報告”。
- 林敬次郎、大澤一實(1996),「不同沉下した直接基礎建築物の沉下修正」,基礎工,Vo1.24, No.11, pp.114~119。
- 島田俊介、有馬重治(1995),「傾斜した建築物の復元注入工法-阪神大震災における後舊工事例」,土木技術, 50卷11號, pp.88~94。



(a) 挖除基礎下方土壤，並設置千斤頂(以地盤改良及枕木做為反力設施)



(b) 以油壓千斤頂同步施工，將建築物頂起



(c) 補強RC座之鋼筋組力



(d) 以頂升工法扶正後再以RC座在原基礎下方補強



(e) 在基礎四周以混凝土做主要填塞灌漿，並預埋PVC管，做為後續填縫灌漿之用



(f) 進行基礎下方最後之填縫灌漿

照片一 案例A-1千斤頂頂升工法施工過程



(a) 建築物遠眺照片



(b) 傾斜估計約1/60，以頂升工法扶正



(c) 建物角隅以千斤頂頂升



(d) 千斤頂安裝時將部份基礎截斷

照片二 案例A-2千斤頂頂升工法施工過程



(a) 地上3F、筏式基礎之建築，扶正前最大下陷達50cm
傾角約1/37



(b) 採用雙重管低壓灌漿工法，灌漿設備包括灌漿機、
流量計



(c) 採用多部灌漿同時施灌，並控制凝固時間



(d) 瞬結型之灌漿液固結後形成之灌漿體

照片四 案例B-2灌漿工法扶正建築物之施工照片



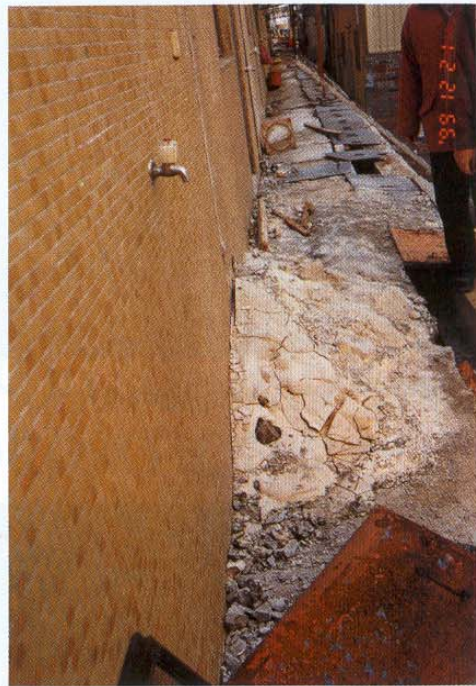
(a) 左側為地上3F、獨立基腳之建築，右側為地上5F
地下1F之建築，兩者地震後行為差異甚大



(b) 3F建築物下陷約80cm左右，進行灌漿扶正



(c) 為進行左側建築之扶正及補強，採用低壓灌漿工法



(d) 灰白色之灌漿液(水泥加水玻璃)四處流竄



(e) 扶正及補強採用單管灌漿



(f) 灌漿施工時造成鄰房地坪隆起

照片三 案例B-1灌漿工法扶正案例



(a) 地上7F、地下1F筏式基礎(遠眺照片)



(b) 建築物下陷約1/50~1/60 之間



(c) 附近地表發生預期外之隆起現象



(d) 扶正之建築物及鄰房均設置電子式傾斜儀進行監測

照片五 案例B-3以灌漿工法扶正建築物之施工照片