



從 0206 地震省思 地質改良

張東源／中聯資源股份有限公司營業處經理

張家豪／中聯資源股份有限公司品管處經理

蔡宗和／中聯資源股份有限公司品管處工程師

2016年2月6日凌晨3時57分發生芮氏規模6.4的強震，震央雖位於高雄市美濃區，卻造成台南地區多處房屋倒塌與嚴重傷亡。中央氣象局表示，從地震發生到災害出現，影響有3階段，一是震源所在地斷層破裂後震波傳遞的方向，其次是路徑，最後是「場址效應」，也就是災害所在地的地質特性較鬆軟，造成原本應該是震央附近，震度會最大、搖晃最久，但卻是台南搖得比震央附近還嚴重，搖晃長達8秒之久，使得台南地區成重災區，參見圖1。

地震發生後，土壤液化引發各界熱議，關於土壤液化的防治技術之提昇與推廣，不僅是重要且迫切的課題，也是對居住於土壤液化區之居民最有實質的幫助。本文將針對土壤液化的成因與防治技術、水泥系處理劑用於土壤液化的防治工法與案例等進行說明。

土壤液化的成因

台灣西部濱海地區的沉積地層，主要為細砂或粉砂類土壤，若基礎位於此類地層，則有壓縮性大，抗剪強度低，或有發生土壤液化之潛能。液化防治在於提高土壤對液化抵抗之能力，藉由增強土壤之抗液化強度、改善土壤對變形之抵抗能力或促進土壤內孔隙水壓之消散方法來達成，參見圖2。



圖 1 0206 美濃大地震造成台南地區房屋倒塌

地質改良工法用於土壤液化的防治技術

有液化潛能的土層，可以透過液化處置措施來提升土層的抗液化能力，但要選用那種方式，必須考量其液化深度範圍、建築物構造或特殊性、地質條件及施工便易性與經濟性。常見的液化防治方法如：樁基礎、地下室或地下永久擋土結構加深、土壤夯實改

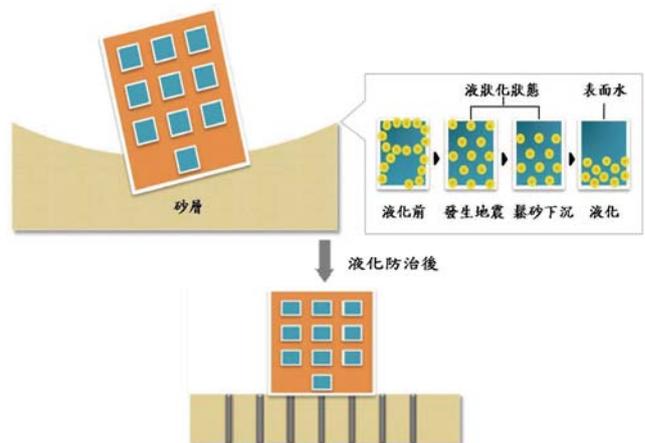


圖 2 液化發生過程變化與液化防治效益之示意圖 [1,2]

良、增加地中壁或限制土體位移的鋼板、開挖置換土壤及排水工法等 [2]。

水泥系處理劑應用在液化防治方面，常見的地質改良工法如前述之灌漿工法與拌合工法之地質改良技術。不論進行攪拌樁、高壓噴射樁、深層攪拌樁等地質改良工程時，皆可配合使用水泥系處理劑，強化地盤與防止構造物沉陷方面，可獲得更好的成效。

應用於土壤液化防治地質改良工法分類

地質改良工法應用於土壤液化防治係利用水泥系處理劑與化學藥劑等材料，以填充土壤間孔隙或與土壤混合成一體，藉化學作用而改良地質。而膠結改良技術之型態，依藥劑與土層之結合方式，主要有深層攪拌處理工法、藥液注入工法及事前混合處理工法等三種方式，詳細說明如下所述。

深層攪拌處理工法

利用特殊之機械於軟弱地層中攪拌土壤之同時注入水泥系處理劑使與土壤混合形成固結體之工法，深層攪拌工法在軟弱地層之處理上是極為有效之工法。格子狀改良工法為最常使用方法之一，參見圖 3。

藥液注入工法

近年來普遍採用地質改良工法，所採用之藥液及其配比、注入率等均需依照地質鑽探資料決定，目的在於將藥液緩慢灌注並且滲透進入土壤孔隙間，以填充土層間之孔隙，以降低滲透係數防止沉陷與隆起等變形，使土層更加穩定。

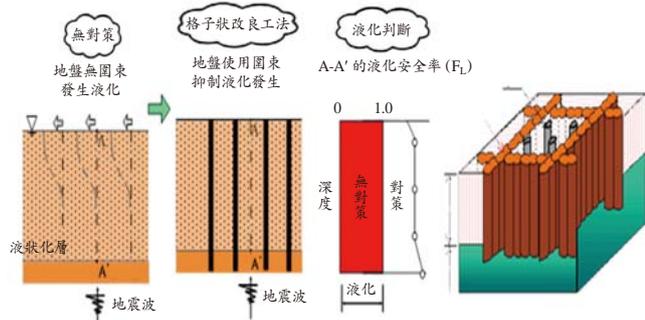


圖 3 深層攪拌處理工法示意圖 [3]

事前混合處理工法

將工區軟弱土壤添加水泥系處理劑，混和攪拌後成具高強度的新材料，並運送新材料至工區回填於地質。此添加水泥系處理劑於軟弱地質的目的在於改良其力學性質、增加降低滲透率及提高承載能力。

水泥系處理劑用於防止土壤液化之成效

添加水泥系處理劑後，做反覆應力載重分析及直接剪力試驗，結果表現甚佳，添加水泥系處理劑後，的確可以減少其位移量、減低液化發生的潛能，另外從鑽心試體的破壞型式判斷，添加卜特蘭水泥試體是脆性破壞，強度驟降，而添加水泥系處理劑的試體在達到最大荷重後，則強度無瞬間驟降狀況，顯示添加水泥系處理劑確實對防止土壤液化有優異表現，參見圖 4。

水泥系處理劑之高細度對灌漿效果與耐久性影響

水泥系處理劑主要是由高細度爐石粉等礦物摻料及其他助劑所調配而成，因其特殊的顆粒特性與均勻的粒徑分佈，有益延長可工作時間及灌漿液之流動範圍，與細顆粒土壤拌合之均勻性或灌漿工程土粒空隙之滲透性，皆有優異的表現。

其利用特殊化學配方與水混合硬化後即產生新的結晶體，此結晶體可提高整體的緻密性，同時具有抗硫酸鹽侵蝕、抗海水侵蝕、低氯離子滲透等優良之耐

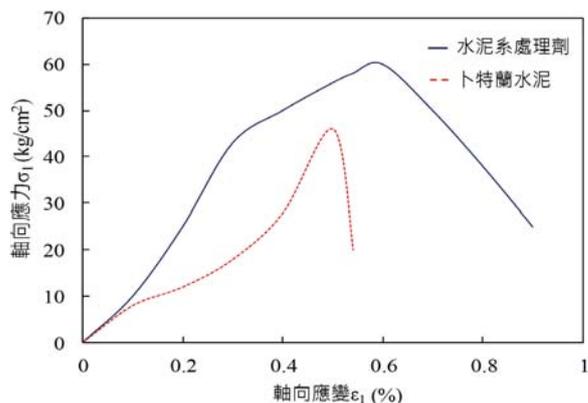


圖 4 齡期 30 天之鑽心試體應力應變關係圖

久性能表現，參見表 1 及圖 5 ~ 6 所示，適用於鄰近海域地區地下灌漿工程，而液化防治之灌漿處理多為永久防治工法或鄰近海岸，前述相關性能特點甚為重要。

土壤液化潛能區之防治工法施工案例

深層混合攪拌工法^[4]

高層大樓地盤改良施工概要

大阪港由於嚴重之土壤液化及土壤永久變形，當在鄰近岸壁進行高層大樓建設工程時，為降低因地震帶來的災害如液化，於開挖前以水泥系處理劑配合深層混合攪拌工法施作格子狀改良，以強化軟弱地盤。

設計、施工與管理

圖 7 之 Oriental Hotel 基地地盤在 GL-12 m ~ GL-13 m 處為軟弱沖積層，地下水位 GL-1.5 m。其為地上 14 層，高 60 m，建築面積 10,789 m² 之船型建築物，其主構造為鋼骨結構。深層混合攪拌工法施工後，進行強度試驗，改良體的抗壓強度為 5.5 MPa。改良範圍為 134.4 m × 59.2 m。

液化防治效益

Oriental Hotel 僅建物表面有發生破損現象，但碼頭沿岸之堤岸、擋土牆及周圍地盤大部分都破壞。採用格子狀改良工法的地盤並未有地表沉陷現象，未使用格子狀改良工法者則發生地表面變形，噴砂等現象。

表 1 不同水質拌合養生對抗壓強度之影響^[3]

土壤種類	配比(%)		地質改良材		拌合用水		養護用水		抗壓強度(kgf/cm ²)	
	*土漿	地質改良材	卜特蘭水泥	水泥系處理劑	淡水	海水	淡水	海水	7天	28天
砂土	100	10		✓		✓		✓	14.0	18.6
	100	10	✓			✓		✓	4.2	**6.9
	100	10		✓	✓		✓		15.2	25.6
	100	10	✓		✓		✓		2.6	4.9
	100	10		✓	✓			✓	13.8	20.0
	100	10	✓		✓			✓	3.4	**6.1
粘土	100	10		✓	✓		✓		22.6	36.1
	100	10	✓		✓		✓		5.9	9.6

備註 *土漿-砂土:水=2:1(重量比)、粘土:水=2:1(重量比)、** 試體尚未抗壓前表面已有裂紋。



10%卜特蘭水泥+100%土壤
 硬化3天後浸泡海水養生6個月



10%水泥系處理劑+100%土壤
 硬化3天後浸泡海水養生6個月

圖 5 卜特蘭水泥與水泥系處理劑的試體之抗硫酸鹽(海水)性能比較^[4]

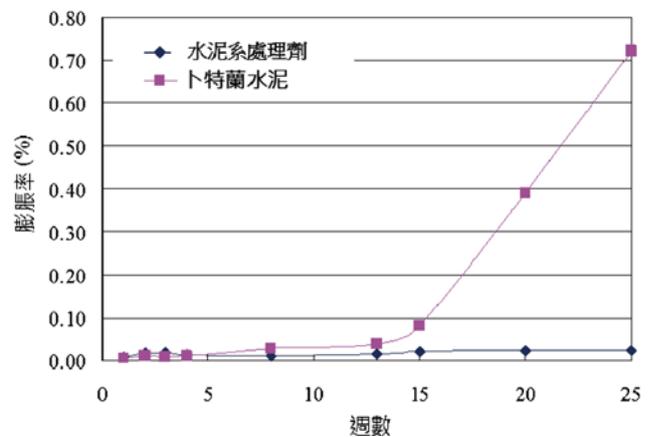


圖 6 抗硫酸鹽膨脹試驗 (ASTM C1012 方法)^[3]

植入式基樁工法^[5]

高雄港 44 號碼頭之工程概要

現場施作工址形狀為長 78.55 m、寬 45.77 m 的矩形，土質為水力抽砂回填的均勻砂土，水力回填為台灣最被廣泛採用的填土造地方法之一。

設計與施工

設計與施工：原地質已有打設直徑 45 m、長度 25 m 的 PC 樁改良，預定在工址處建造卜特蘭水泥儲運

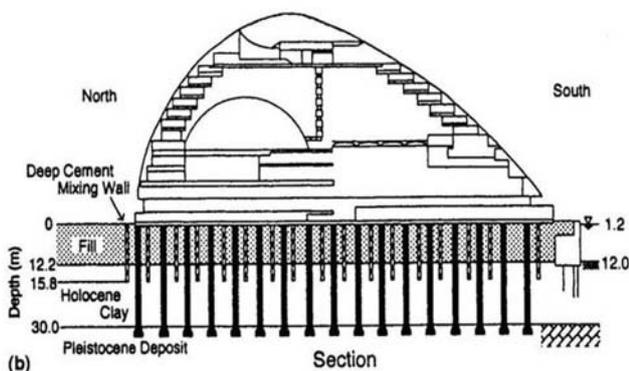


圖 7 Oriental Hotel 大樓全景與設計圖

站，先將原穀倉拆除，在 PC 樁間隔處施作直徑 1 m、長度 25 m 的場鑄植式基樁，共 354 支。

成效確認

於反覆載重試驗下，添加水泥系處理劑所製成之試體，僅在浸水一天的情形下，側向應變平均減少 50% 以上，顯示添加水泥系處理劑後，的確可減少其位移量，減少液化發生的潛能。

高壓噴射灌漿改良工法

高雄地鐵工程（愛河段／高雄車站）之高壓噴射灌漿改良工法，於 102.12 ~ 103.05 使用 2,843 MT 之水泥系處理劑，如圖 8 所示。

結論

1. 水泥系處理劑的硬固强度高、低滲透性、止水效果甚



圖 8 海岸旁地鐵工程進行高壓噴射灌漿工法全景

佳，其抗硫酸鹽侵蝕、抗海水侵蝕、抗鹼侵蝕作用及氯離子滲透低等耐久性表現甚佳，各項性能皆優於一般卜特蘭水泥，適合用於鄰近海域地區之地下灌漿工程。

2. 綜合所述，目前國內外常見液化防治之地質改良技術，不論進行深層混合攪拌、植式基樁、高壓噴射樁及事前混合處理等地質改良工法，皆可使用水泥系處理劑作為地質改良材料。

參考文獻

1. 李維峰、柯武德（2009），「HSC301 地質改良劑技術手冊改版更新」，台灣科技大學研發產字 2921 號研究報告，第 71-83 頁。
2. 東京都都市整備局（2013），「液狀化による建物被害に備えるための手引」，第 1-52 頁。
3. 中聯資源（股）公司（2010），「HSC301 處理劑」，使用手冊。
4. 陳振川、李維峰、潘昌林、黃亦敏（2009），「土壤液化改良應用研究」，財團法人台灣營建研究院案號 TRC-89002 研究報告，第 1-41 頁。