

我家就在地震土壤液化潛勢區，不怕！

——206 台南地震後對現有建築物抗地震土壤液化的低成本有限度預防及減災補救技術芻議

余韋慶、李勝男/德翰智慧科技公司 update @ 2016-05-27

前言

2016-02-06 凌晨 03:57 在高雄美濃發生深度 14.6 公里、芮氏規模 6.6 級地震，最大震度為臺南市新化 7 級[1]。災害除台南永康區永大路的：維冠金龍大樓完全倒塌，死亡達 117 人，災情最嚴重外，尚有多起房屋倒塌。重大影響之一：此次地震中，部分房屋因土壤液化而傾斜.....行政院決定公布各縣市的土壤液化潛勢區域。

在 1970 年代起，台灣正值經濟蓬勃發展，人民所得快速增加，賴以遮風避雨、安身立命的房屋也隨之興建眾多。早期的房屋、由於技術不夠進步，工程技術及法規對自然界的地震風力等災害也還處在摸索階段，讓這些早期興建起來的老房子存在著許多的不確定安全隱憂。土地房屋等不動產，除了有「有土斯有財」的高度資產經濟價值外，在國人內心深處，還有著情感上的濃厚依存，混合著家人共同生活點滴、汗水奮鬥的苦樂過程等。由於這一份對房子的依戀，我們不得不對“土壤液化”災害的影響及其補救改善來嘗試盡一份心力。希望文中揭示的改善方式能在未來救救許多人的寶貴生命。我們判斷，本文中的改善技術不必然最佳的方式，但可以作為後續專家學者、工程先進們的進一步研究的參考，希望可以參酌精進出更好的工程技術。

一、因地震引起土壤液化的一些成因、及案例

1.1 土壤液化成因簡介

作為一篇通俗的技術文章，土壤液化的許多較深澀的科學技術成因在此不便深言，篇幅也不宜太長，我們只針對其中一種成因解釋。土壤液化 (soil liquefaction) 是地震工程的一個術語，指土壤因地震的壓密作用，造成原本在深層土壤的水份被擠壓到表層，土壤顆粒間的有效應力下降為零，土壤失去剪應力強度，呈現如液態的狀況。當地表承受不住地下水的壓力時就會破裂。

土壤液化主要出現在分布深度較淺，充滿水的砂質土壤或粘土，且其底部排水較差。通常在外力反覆震盪下（如地震），鬆散的土壤因受到壓縮，內部空隙減小，而擠壓孔隙水，導致空隙內水壓升高，砂粒間的結合力減少或消失。當水壓升高至超過土壤內承受的外部壓力時，加上水分不能從地底排出，就會產生土壤液化。液化時砂與水混和成如泥漿般的液體，使土壤失去支撐力，造成房屋傾斜、地層下陷、地下管線破裂或上浮。

最容易發生的液化的土壤是年代比較輕（如近一萬年的冰河時期）的細沙，或顆粒大小相當且排列整齊的泥土中，地層只有數尺厚，富含水分。這樣的地形通常可以在河岸、海岸、舊河道、海埔新生地或因風力而堆積而成的沙丘中找到。土壤液化的例子包括流沙、流粘土、濁流和地震液化。[2]

土壤液化主要原因即是：地震使土壤孔隙水壓力過大，而致使土壤承载力喪失 (圖 1-1)。

疏鬆砂土 + 地下水位高 + 強烈地震 → 液化

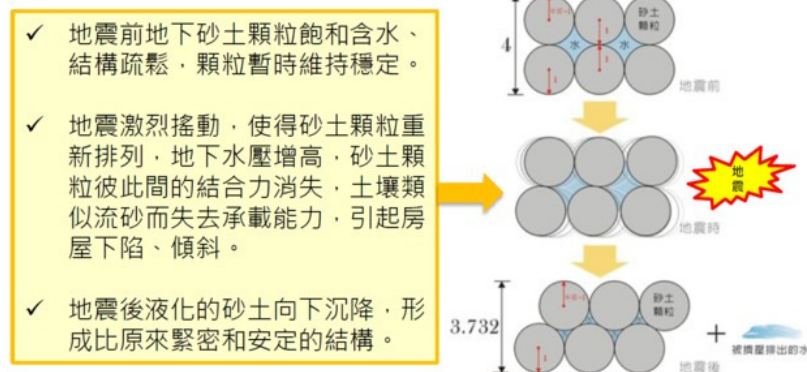


圖 1-1 土壤液化成因 (資料來源：地調所網站)

此次發生災害的台南市即是位於全台最大的嘉南平原，台灣許多地方正符合這些“土壤液化潛勢區域”的特徵。而我們的家人朋友許多的房屋都已經被建設在這片土地上很多年了，所有的土壤液化補救技術，如樁基礎、及其他的土壤改良方法如土壤置換法、動態夯實法、擠壓砂樁、礫石樁，深層或淺層震動工法等，對老房子而言，都顯的不濟於事；因為它們實施上都著重於「新建」，而非補救，小面積建築的效果以樁基礎的成效最大且最直接。其中，唯一有效的高壓灌漿法，常見於個案性、小面積的鄰損傾倒補救(如蓋大樓時使鄰屋傾斜)，但對於大面積的「土壤液化」(如圖 1-2 所示之台南都會區土壤液化潛勢圖) 成效並不確定，更何況經費也不是政府或百姓負擔得起。

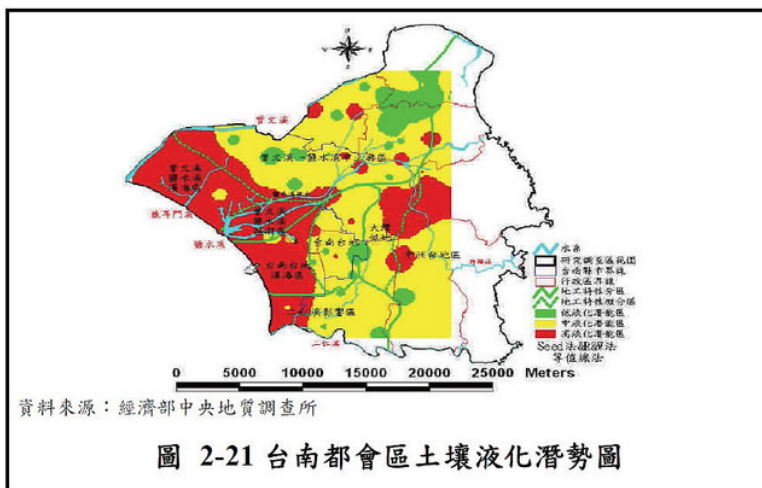


圖 2-21 台南都會區土壤液化潛勢圖

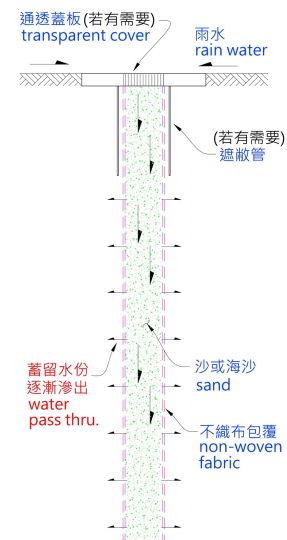


圖 2-1 排水沙柱技術簡圖

圖 1-2 台南都會區土壤液化潛勢圖

(資料來源：水利署、中央地調所) (註：當用作土壤液化預防時，水流方向相反)

當我們住的老房子，面積不大、鄰居也多、又無法拆除重建、又無充裕資金時，那怎麼預防土壤液化災害？我們先參考一下鄰居的作法吧！

1.2 日本 311 地震案例

在 2011 年東日本大震災(311 地震)，除了引起海嘯災害外，在關東地區、東北地區均出現了因地震引發的廣泛的道路，房屋土壤液化現象。日本政府也著實花了很多的力氣在執行災害的救助，其中以「格子狀地中壁工法」、「地下水位低下工法」二種工法為可行，日本(浦安市)也真正札實地估算了所需的經費，以 500 戶為一區概估經費：「格子狀地中壁工法」約

需 50~125 億日圓，「格子狀地中壁工法」約需 25~45 億日圓，外加每年維護費 4~5 千萬日圓[3]。

其他，如千葉市也有類似的處理措施：地下水位低下工法在一地區（約 240 戶）實施，建設成本約 7 億日圓，且另須每年維持管理費（假設 30 年，每戶每年 30 萬日圓）。另一格子狀地下壁工法，在一區 20 戶的規模下，建造成本約 2 億 4 千萬日圓，攤分每戶負擔約 800 萬日圓，千葉市期望的輔助是 1/2 以下並以 200 萬日圓為限[4]。資料太長，請讀者自行查閱該市官網（應該還存在，日本人的作法是非常仔細的）。幣值請自行換算，約日圓:台幣= 3:1。

由這些發生在日本的土壤液化事件，其實我們可以發現，土壤液化在既有建築物或稱老屋（很抱歉，容我如此形容這些現有建築物）上，具體而言，是無法改善的。這當然是跟經費有關，政府不可能限制的花費下去（日本政府也不可能），而居民對自行負擔的部份，其實，也是花不下去。對一棟南台灣最常見的透天厝，負擔 600 萬日圓去修理自己的房子，實在有些強人所難。最好的方法，還是打掉重建或另購新屋較實際。記得，以小面積的小型民用住宅為例，最有效的抗土壤液化方法，就是作成樁基礎，尤其以使用預力基樁為為經濟。

但，在此，我們仍就德翰公司技術中提出一個可以有限度的改善方法，供大家參考。

二、排水沙柱技術的向上排水設計(技術簡介)

我們重新思考了土壤液化的前因後果，發現只要能將「地下土壤中的孔隙水迅速排出」，就可以有效降低土壤液化災害程度。現有建築物所在上方土壤(含地坪)多已被「夯實」過，形成了低透水層或不透水層(意即滲透率極低)，地下土壤孔隙水無從排除。在 2013 年的工程技術中，有一份算是相當冷門的「排水沙柱」技術(或吸管排水工法)，本來是用作為水資源保育、抗旱、抗澇技術之用，但卻也可以被適當的轉換應用在土壤液化防治領域。在土壤液化防治上，這個技術主要顯現在「縮短排水路徑長度」；當然它原先的主要功能並非如此而已。

如大眾習知的，由於萬有引力之故，水只能向下或水平橫向排除，無法向上排除。當地震發生土壤液化時，建築物下方的土壤孔隙水會因為周圍都受到拘束，無法向外排出，而形成液化現象。建築物失去土壤承载力，而造成沉陷、傾斜、倒塌等災害。一般建地的地下水位約在地表下 4~6 米，即是在地表層仍有一層乾燥的土壤足以支承，地震液化時，會地表下更深的土層(如 4~20 米)先行液化(失去土壤承载力)，再逐步使地面的建築物因失去支承力而沉陷傾斜，故我們只要能夠在地下埋置足夠的透水管或排水管類，用以收納土壤孔隙水，則液化的災害將因而降低許多。

當我們在土地上設置了許多的排水沙柱(圖 2-1)，深入土層中 3~6 米 (深度可以再增加)，土壤孔隙水的排水路徑就會因此而大大縮短。而排水沙柱中填塞的沙，尤其是篩選過的級配沙(或海沙、或礫石等)，是排水性優良的材質(如海灘上的沙可迅速讓海水滲透)，排水率是一般土壤的 10~100 倍 (詳表 2-1，砂土與其他土壤的滲透係數的比較)，可以加速土壤孔隙水的排除。而當地震來襲時，巨大的地層動力則是供了足夠且超額的壓力及動能，讓這些土壤孔隙水向外擠出，透過就近流向這些「排水沙柱」，最終能「向上排水」。這些災害的發生及土壤孔隙水的消散，可能只發生在幾秒至十幾秒鐘而已。可能的現場狀況是排水沙柱連沙及水向上奔出，雖「排水沙柱」經地震後可能無法再滿足使用功能，但在其產品生命週期中已達成了災害預防的任務。

表 2-1 土壤最終入滲率 f 及滲透係數 k 值簡易對照表

土 質	砂土	粉土	黏土	高塑性黏土
最終入滲率 $f(m/s)$	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}
土壤滲透係數 $k(m/s)$	10^{-5}	10^{-7}	10^{-9}	10^{-11}

資料來源：內政部營建署建築基地保水設計技術規範 [5]

當排水沙柱設計為深入土層 6 米深(若更深，效果會更佳，視設計量而定)，在理想狀態下，會使得地表下 6 米的土壤不致於快速軟化或液化，在地震力作用的十幾秒鐘內，仍可維持一定的承載力(如同建築物漂浮在一層比較硬的土壤殼上)，等到地震過後，壓力卸除或土壤孔隙水逐漸排出，土壤承載力也可以逐漸恢復到一定程度，建築物就可以處在比較安全的狀態。這些可能只是不到半分鐘的時間內發生並結束的事情(即使後續餘震連連)。

排水沙柱使用到的材料都是環保材料，與環境可以充份融合、無害。即使多年之後遭廢棄，也不會造成環境污染或負擔。

三、排水沙柱技術的工程成本考慮

上列的排水沙柱原始設計直徑約 6"~10" Φ 、深入土層 3~6 米而已，以其小而不深的特性，施工成本相當便宜。當然，對映土壤液化問題所需的尺寸可能會與原始排水目的設計不同。而在「縮短地下土壤孔隙水的排水路徑」的設計上，多設排水沙柱的數量，所形成排水路徑的縮短，可能會比大尺寸、深鑽掘的排水沙柱來的有意義多了。

這個技術有考慮到成本問題，使用最普及的工程材料、並使用現代化的自走式機械施工，可以使成本降低、施工工期快。雖然目前所需的施工機械尚未在市場中出現，但以台灣的機械研製能力，佐以市場需求，相信這種自走型式的施工機械是很容易製造的。而施工中所使用的材料，諸如不織布(長袋型過濾膜或其他材質的濾布)、沙(或漂洗過的便宜海沙)、PVC 管(可無)、混凝土格柵蓋(可無)等都是市場上極易取得的工程材料，意思是成本低廉。而以自走式施工機械施作，施工時間將會大量縮短，有利於交通干擾度及時間的降低。

而這些排水沙柱是可以分段分年陸續施工的(如果經費充裕，當然以一次完成為佳)，適合按年攤提或分區施作(例如按潛勢風險區分)，這在財務設計上是相當重要的。排水沙柱損壞了，也可以補作或加作，利於維護。

許多家庭基於各種原因，對已經住久了的老房子有了感情，想搬走又捨不得；家人工作和小孩子教育都在這裡，想搬也不方便；有些人資金不豐，想換個新建的窩的錢又花不太下去；液化潛勢區的老房子想脫手也非易事；理由太多了。可是，有時候，被列入土壤液化潛勢區也實非自己自願的，讓人有些無奈。自己的家即使做了「老屋健檢」的耐震檢查，可能只是加強結構體耐震，對於地下的土壤液化防治，似也無幫助，也是無奈。

這個簡單技術或許可以為自己家人未來 10、20、30 年的土壤液化災害進行有限度的預防及減損，這也可能是許多人可以負擔得起的費用。當然，工法技術也是有些限制，如土地空間必須足以讓機械施工等，也難免有些擾鄰(鄰居也在潛勢區，沙柱施工對其有利，諒也不會太計較)。而預期的預防成果則是要看沙柱實施的尺寸、內填充材料(如粗砂或礫石等級)、密度及深度而定(跟成本有關，也跟後續的維護有關)。

四、總結

這個排水沙柱技術是一個相當簡單的工程技術，實施上並無困難。對百姓或政府而言，施工經費上也過得去，可能還比重造路邊水溝便宜。主要的觀點是在「災害的預防」，而非是「災害的補救」。

基於 206 地震所產生災害，我們思考了這個排水沙柱技術確實是一個可以有效運用在老舊住宅的低成本預防方法；同時間，不只是台南區域可以用得上，其他的都會區在人口條件及地質條件上更是有運用的空間。

台灣地區「排水沙柱」(W1: DH-RAIN) 技術是一個可以提供非盈利的公益授權免費技術。本文只是一篇簡介文而已，無法一一闡述理論，多數更詳細的資料可參考我們[官網\[6\]](#)，也歡迎有需要的單位機構來與我們洽詢。我們心中最大的期待仍是希望在未來土壤液化災害中，可以幫助社會的地震災害人身傷亡、財產損失能得以減輕。

最後順便提一下：除土壤液化防災外，這個技術實施同時也提供了：水資源保育(最原始設計)、都市排水、及都市節能的功能；當然，仍有其他如抗沉陷等延伸性功能。

參考文獻：

- [1] 維基百科(2016-03-11 查詢)，"<https://zh.wikipedia.org/wiki/2016年高雄美濃地震>"。
- [2] 維基百科(2016-03-11 查詢)，"<https://zh.wikipedia.org/wiki/土壤液化>"。
- [3] 浦安市官網(2013-01-30)，"市街地液状化対策實現可能性検討調査結果の概要"，www.city.urayasu.lg.jp/todokede/anzen/shinsai/ekijoka/1002237.html，浦安市，日本。
- [4] 千葉市(2013-12-27)，"千葉市の液状化対策・その4(「地下水位低下工法」と「格子状地中壁工法」)"，www.city.chiba.jp/somu/shichokoshitsu/hisho/mes-tf62.html，千葉市，日本。
- [5] 營建署(2012)，"建築基地保水設計技術規範"，表 3，台北市，台灣。
- [6] 德翰智慧科技公司官網(2013)，"www.dehantech.com"，W1:DH-RAIN 吸管排水工法，高雄市，台灣。