

地震引致的土壤液化與側潰現象

■ 陳正興、陳家漢

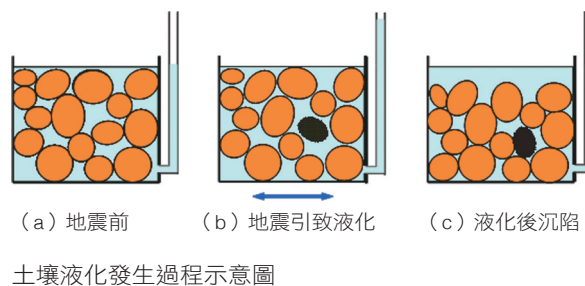
1999年集集地震引致南投貓羅溪沿岸發生數公尺的側向變位，在台中霧峰地區也發生了側潰現象造成農田與地盤龜裂，許多地上、下結構物受損嚴重。

土壤液化 (soil liquefaction) 是地震引致地盤破壞的模式之一，歷史記載都有相關的描述，包括噴砂、噴泥水、地陷、地裂等現象。自從 1964 年日本新潟 (Niigata) 與美國阿拉斯加 (Alaska) 接連發生大規模土壤液化災害以後，各國地震工程學者開始高度關注土壤液化問題，並積極投入研究。迄今在理論分析、試驗、現地調查等方面都有非常多的成果，建構了抗液化工程分析與設計的基礎。

何謂土壤液化

土壤液化是指土壤受地震作用由固態暫時轉化為液態的過程。一般而言，在深度較淺且飽和的疏鬆細砂與粉土質砂層中，土壤顆粒排列較鬆散，若孔隙中充滿的水呈飽和狀態，顆粒間仍會保持接觸。但當受地震作用產生反復剪動變形時，地盤土壤顆粒會因趨向較緊密的排列使得孔隙體積縮減，造成孔隙水壓上升。若水壓無法適時排出，則土壤顆粒間的接觸作用力會受影響而減低。

當地震作用力較大或作用時間夠長時，孔隙水壓會累增到使土壤間的接觸作用力完全消失，土壤顆粒就會懸浮在水中，彼此互不接觸，土壤也會失去原有的摩擦強度，這稱為土壤液化。麻煩的是，地震後激發的孔隙水壓力逐漸消散，土壤恢復較緊密的排列，地盤會因而發生下陷的情形。



土壤液化所引致的災害較少直接造成人命傷亡，但往往會造成大範圍的建築物與維生管線系統損壞，影響民生至鉅。

土壤液化災害

土壤液化所引致的災害較少直接造成人命傷亡，但往往會造成大範圍的建築物與維生管線系統損壞，影響民生至鉅。1999年的集集地震是台灣歷史上規模最大的土壤液化案例，其影響範圍遍及中部各縣市，造成員林、南投、霧峰、太平一帶房舍受損嚴重，台中港1~4碼頭的營運也因此受到影響。



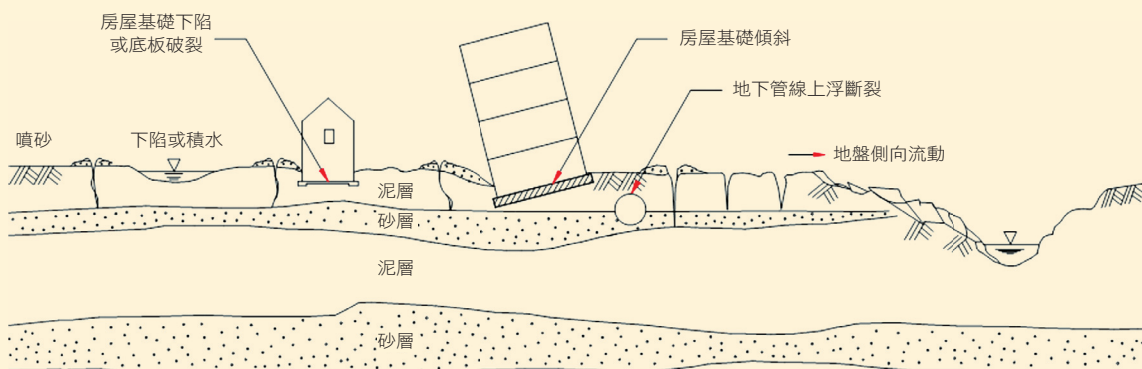
集集地震土壤液化噴砂孔



集集地震土壤液化造成台中港碼頭作業區積砂



集集地震土壤液化造成房舍沉陷而使底板隆起破壞



地震時土壤液化引致的災害示意圖



集集地震土壤液化造成台中霧峰樓房傾斜



集集地震土壤液化造成台中霧峰房舍受損與地下污水池上浮

土壤液化造成的災害，依地盤受地震引起的變位型態主要可分為兩類：水平地盤中常會造成噴砂、地盤沉陷等現象，使得房舍下陷與傾斜，以及地下管線斷裂或上浮等破壞；在傾斜地盤中則由於液化土壤失去強度，上覆土層因重力作用而產生側潰，往較低的一方側向變位流動，因而造成道路與農田開裂或塌陷，橋墩傾斜下陷與落橋，擋土牆、堤防及河岸邊結構物崩塌傾覆等破壞。

側潰現象

土壤液化災害引致的側潰現象常發生於緩坡或近水岸地形，附近的地面常會出現數道幾近平行於堤岸的主要裂縫，並伴隨著許多連接主要裂縫的細小裂縫。很多重大的地震事件伴隨有地盤側潰的現象，如 1964 年新潟地震，地盤液化後曾發生高達 10 公尺的地表側向變位。而在台灣地區，1999 年集集地震也引致南投貓羅溪沿岸發生數公尺的側向變位，台中霧峰地區發生的側潰現象也造成農田與地盤龜裂，許多地上、下結構物嚴重受損。



土壤液化引致貓羅溪河岸地盤側向流動破壞



土壤液化引致台中霧峰地區的地盤側向流動破壞



土壤液化引致台中霧峰地區地盤側向流動的地裂情形



Avon 河附近大規模側潰引致路基與維生管線破壞

近年來，相繼有紐西蘭基督城與日本東北地區因地震造成非常嚴重的土壤液化災害。其中發生在 2011 年 2 月 22 日的紐西蘭南島的基督城地震，地震規模雖僅 6.3，但已使基督城市中心與鄰近郊區發生嚴重的土壤液化現象，大規模的噴砂造成建築物沉陷導致結構物開裂、路面路基破壞、維生管線破裂，以及地盤側潰、橋梁基礎損傷等災害。

基督城位處坎特伯里平原東側，這平原由數條河流經數百萬年沖積而成，是一深厚且軟弱的沖積土層，因此地震發生時容易因場址效應放大震波並引致地盤液化。在這次地震中，土壤液化區域主要在雅芳（Avon）河附近約 49 平方公里的範圍內，尤其沿雅芳河下游區域更有嚴重的側潰破壞，造成約 20,000 棟住宅損壞，其中超過 6,000 戶損壞嚴重，整個社區必須廢棄。另外，區內的自來水與污水下水道系統也受損，嚴重影響生活機能。

在過去的地震事件中，這區域也經常發生土壤液化，可見已發生過土壤液化的區域並無法免疫，應視區域或結構物重要性，透過工程手段進行地盤改良或採用特殊結構形式，以減少土壤液化再次發生與降低其可能的影響。



Avon 河附近大規模側潰引致路面嚴重損壞與橋基移位

2011 年 3 月 11 日的東日本大地震，地震規模達 9.0，除海嘯與福島核電廠是最主要的災害外，在傳統地震災害方面，則以土壤液化最嚴重。

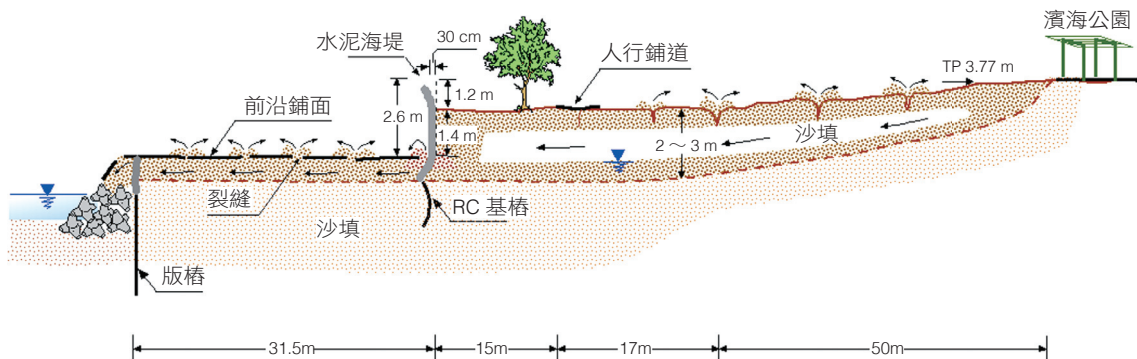


2011 年日本東北地區大地震土壤液化造成地下管線地人孔上浮

東京灣沿岸及其北部鄰近地區都發生過大規模的土壤液化，造成港灣設施、沿河堤岸、地下管線，以及社區住宅重度損壞。根據日本國土交通省的統計資料，因土壤液化而受損的住宅共有 27,000 戶，其中東京灣區的浦安市 (Urayasu) 已是高度開發的新興城市，卻有 85% 的地區發生土壤液化，破壞與嚴重受損的住宅達 3,600 戶。地下維生線系統更因斷裂、上浮或淤塞，修復困難且緩慢，震後數月仍未完全恢復，堪稱是有史以來最大規模與最嚴重的土壤液化災害。



浦安市濱海公園側濱最大裂縫寬約 2.5 公尺，最深處達 2 公尺。



東日本大地震造成浦安市濱海公園側濱的剖面圖 (圖片來源: Ishihara, 2012)



東日本大地震造成的濱海公園與堤岸的側潰破壞現象

千葉縣浦安市雖然距離震央較遠，但由於大多屬海埔新生地，且振動延時長達數分鐘，因此仍然造成嚴重的液化現象。市區普遍出現地盤沉陷，導致維生管線破壞。另外，在海岸旁的濱海公園也發生大規模的側潰，產生超過 500 公尺的張裂縫，裂縫深度接近 2 公尺，並使大範圍海堤側向移動，總計岸肩鋪面整個向外移動 2.5 公尺左右。另外，許多地方的濱海公園與堤岸也發生嚴重的側潰現象。

面對與應對

過去對集集地震土壤液化災區的研究，發現噴砂土樣的顆粒直徑約為 0.01 公分，且集中在河岸、海岸、舊河道等的砂質地層，以及抽砂回填的新生地、扇形地、堤防、砂丘、洪積平原、濱海地區等。為了預防土壤液化災情再次發生，在興建工程前，應委託專業技師進行地質鑽探調查，以了解土壤的組成與地下水位，經評估後如有土壤液化防治的需求，再考慮對策。

目前土壤液化防治工法可以分為大範圍新生地區域和都會區兩類，主要是利用地盤改良的方式改善現地土層的工程性質，

如增加土層密度、固結土壤、降低地下水位、增強土層排水性等。另外是採用深基礎形式或建築補強方式，以減少液化發生時引致的變形破壞。預防土壤液化災害常見的防治工法有地基打設基樁、開挖地基置換土壤、灌漿、擠壓砂樁、動力夯實等。

台灣位於歐亞板塊交界，地震頻繁，西部平原區又屬地質鬆軟的新沖積地層，地下水位也高，大地震時發生土壤液化的可能性本就甚高，如 2010 年甲仙地震時，台南新化高鐵路線附近就發生土壤液化現象，1999 年集集地震也是。有鑑於 2011 年紐西蘭基督城與東日本大地震的土壤液化災害，以及台灣本土的土壤液化案例，台灣必須重視土壤液化防災，以降低地震所帶來的生命財產損失。

陳正興、陳家漢

國家實驗研究院地震工程研究中心