

台灣地區 深開挖工程災變分析 及防治對策探討

關鍵詞：深開挖工程、連續壁、隆起、砂湧

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／資深協理／陳福勝 ①

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／經理／周功台 ②

台灣世曦工程顧問股份有限公司／大地工程部／副理／吳文隆 ③

摘要 SUMMARY

台灣地狹人稠，地形地質條件複雜，回顧過去三十年來的快速經濟成長，公共工程及民間建設蓬勃發展，工程規模愈來愈大，基礎及地質構造開挖愈挖愈深。由於各種如地質條件不佳、調查不確實、設計不完善、施工不當等因素，肇致深開挖工程失敗的案例頻仍、地下管道設施斷裂損壞，造成房屋龜裂下陷傾斜嚴重等災變事故，亦時有所聞，令人觸目驚心。本文即針對國內各地區之地質條件，探討其深開挖可能發生之災變原因及對策，並舉災變案例進行分析與探討，企望能藉案例之說明及判斷，從災變的教訓學到寶貴之經驗，提供日後工程界參考，以減少災變的發生。



①



②



③

壹、前言

台灣都會區人口與建築物的密度相對很高，新、舊建築物櫛比鱗次，工程開挖往往緊鄰其他建築物或公共設施，容易對鄰近建築物及設施造成影響。由於台灣各都會區所在之地理位置及地質條件不同，如台北、台南、高雄等都會區之地層屬沉積或沖積土、地下水位高，土壤大多屬疏鬆之砂土或軟弱粘土層，而台中、桃園、新竹等則以卵礫石層為主。對於大地工程而言，必須針對每一種不同地層之工程特性加以瞭解掌握，以做為深開挖工程設計施工之依據，如此方能避免造成重大工程災害，影響人民生命及財產之安全。

貳、深開挖工程造成災變破壞原因

災害原因很多，從基地調查、設計、施工階段及自然因素各方面來探討，大致如下所述：

一、基地調查方面

(一)地質調查：

- 1.地質鑽探報告造假、錯誤，以致造成設計或施工誤判。
- 2.鑽探孔數不足，深度不足，位置不對。
- 3.鑽探取樣過程，樣品受擾動品質不佳，試驗結果不正確。
- 4.試驗項目及數量不足。
- 5.水文資料掌握不確實，無長期地下水位調查資料，以致無法掌握雨季地下水位之變化情形。
- 6.沼氣、漂流木、障礙物之影響。
- 7.地層層次變化大，以致夾層或薄層遺漏、未調查清楚。

8.地質鑽探孔完成後，未確實回填，形成地下水砂湧之流通路徑。

(二)鄰房及地下管調查

- 1.自來水管等地下管線未詳細調查，因深開挖地層變形，造成水管鬆脫大量湧水。
- 2.地下埋設物位置、深度、型式未確實調查，以致擋土壁體開挖過程崩塌失敗。
- 3.鄰房結構物之基礎型式與埋設深度未調查。
- 4.鄰房屋齡及維護未確實調查。

二、設計方面

- (一)設計規範、準則引用不當。
- (二)土工參數選定錯誤而高估，或分析計算錯誤。
- (三)未考慮地層互層狀況及地下水位變化。
- (四)擋土壁體貫入深度不足。
- (五)粘土層底部隆起破壞。
- (六)地下水壓過大上舉破壞。
- (七)砂土層開挖底部砂湧破壞。
- (八)橫檔、水平支撐斷面不足，造成支撐系統破壞。
- (九)斜檔水平剪力過大，造成支撐系統破壞。
- (十)中間柱入土深度不足，支承力不足而下陷或上拔破壞。
- (十一)擋土壁體變形量過大，引致周邊地盤下陷。
- (十二)山坡地不當開挖造成邊坡滑動破壞。
- (十三)監測系統規劃設計不當。

三、施工方面

- (一)鋼板樁打設引致振動，造成地盤下陷。
- (二)鋼板樁接頭接合不良，造成漏水湧砂。
- (三)PIP擋土排樁重疊部份不足，施工不良，造成砂湧破壞。
- (四)連續壁導溝施工品質不良，溝壁內擠，或回填不良而造成地盤下陷。
- (五)連續壁溝槽開挖坍塌，造成地盤下陷。
- (六)連續壁體施工不良，品質不佳，壁體包泥缺陷，壁體破洞，公母單元接頭止水性不佳，漏水或砂湧，造成地盤掏空下陷。
- (七)開挖挖土作業與支撐架未能充分配合，支撐系統架設時機延誤，壁體靜置過久而變形。
- (八)開挖深度控管不良，有明顯超挖情事。
- (九)支撐構材強度不足，斷面不足，或支撐間距過大、支撐長度過長、無斜撐而挫屈破壞。
- (十)結合螺栓不確實，托架焊接強度不足或螺栓數量不足。
- (十一)水平支撐上堆置鋼筋、模板載重、中間柱當構台支撐柱使用。
- (十二)開挖過程中地下水位超抽，因土壤有效應力增加，砂土層產生密實，或粘土層產生壓密沉陷，造成地盤下陷。
- (十三)連續壁單元分割不當，造成單元坍孔或漏水。
- (十四)改盤改良工法施工機具設備欠佳，而無法達到設計要求。
- (十五)支撐拆除過快，未考慮永久結構體之是否達到強度或再支撐之時機。
- (十六)鋼板樁拔除後，空隙未回填確實。
- (十七)水平支撐預力不足或過大，或支撐無法保持平直，支撐力量不均勻。

- (十八)安全監測系統計測管理工作未落實，緊急應變措施不佳。
- (十九)中間柱打設或拔除、鑽孔安裝水壓計時，貫穿不透水層，空隙未封填確實，形成地下水流路，而造成底部砂湧破壞。
- (二十)背拉擋土支撐系統，地錨打設深度，覆土太淺，造成土壤承載不足，而產生地盤向開挖內側位移。
- (二十一)粘土層中打設地錨，因土壤摩擦力或承載力不足，土壤產生大量之地錨滑動側向變形。
- (二十二)砂土層中地下水以下之深度鑽孔、洗孔過程中，背側地下水及土砂噴出與流失現象。
- (二十三)開挖區周邊超載荷重不當增加產生土壓力增加，擋土壁體變形。
- (二十四)暴雨後水位急驟上昇，水壓力劇增，擋土壁體產生異常變形。
- (二十五)施工前未妥善完戶鄰房保護措施。
- (二十六)地下水位未嚴密控制，造成結構體上浮。

四、天然災害方面

- (一)地震引致擋土壁體之應力增加產生變形，造成地盤側向位移下陷。
- (二)地震作用力造成支撐系統之破壞。
- (三)暴雨造成地下水位急驟上升，水壓力增加，壁體側向變形。

參、災害案例介紹

茲將台灣地區深開挖工程因土壤性質、地質條件不相同，所以發生之破壞類型有所不同，如表1所示。

表1 深開挖災變常見之破壞類型

工程位置 災害原因	台北盆地	台中盆地	嘉南平原	高屏平原	花蓮平原
隆起破壞	○	X	△	△	X
上舉破壞	○	X	△	△	X
砂湧破壞	○	△	○	○	△
邊坡不當開挖	○	○	○	○	○
擋土壁體施工困難	X	○	X	X	△
壁體漏水	○	○	○	○	○
擋土樁拔除不當	○	○	○	○	○
支撐系統配置不當	○	○	○	○	○

○：有、△：偶有、X：無

一、信義雙星大樓基礎開挖工程失敗案例

(一)概述

本工地位於台北市信義路五段150巷旁，於民國77年8月進行基礎開挖工程，採用60cm厚之連續壁為擋土結構，而開挖內部以二階之H型鋼為水平支撐系統。

本工地地下室開挖深約9.0m，開挖範圍長約115m，寬約70m，採全面開挖方式，開挖支撐系統並未設置監測系統。在開挖過程中，連續壁發生側向位移與變形，於民國77年10月31日產生隆起破壞，工地全部支撐系統倒塌，連續壁體折斷所幸現場施工人員，機具有二部小型裝載機與一部混凝土幫浦車，均坍塌於開挖區內，如圖1所示。

(二)災變原因綜合研判

1.本基礎開挖工程支撐失敗之主因，為軟弱地層開挖底部隆起，而造成嚴重的災害。



圖1 信義雙星大樓基地隆起破壞情形



圖4 島式開挖土堤邊坡滑動破壞

- 2.連續壁之貫入深度不足，經穩定分析可知安全係數皆小於1，連續壁體斷面強度亦不足。
- 3.支撐系統之H型鋼之接頭位置，未使用充足的螺栓數目，且未充份鎖緊而發生接頭斷裂，而且連接板並未扭曲，顯示螺栓不足而被剪斷或根本未鎖螺栓。
- 4.開挖工程未設置監測系統，以致無法提供預警效果。

為五階水平支撐，以致內部支撐系統不足。



圖2 鄭州路地下街支撐破壞災變搶救情形

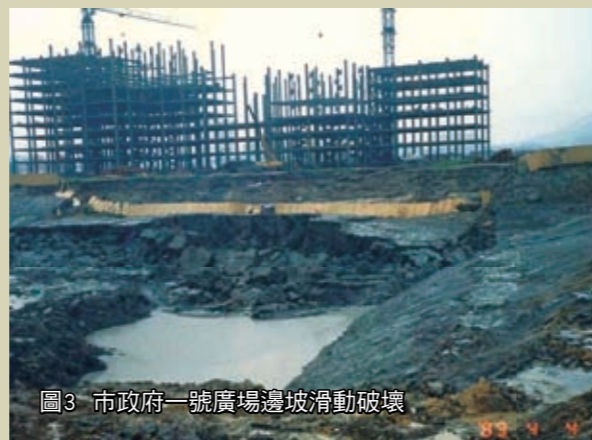


圖3 市政府一號廣場邊坡滑動破壞

二、台北市鄭州路地下街開挖災害案例

(一)概述

本基地開挖面積37m×800m，開挖深度19m，採用連續壁厚100cm，深度30m，內部六階水平支撐，端部採大斜撐方式。於民國84年10月4日凌晨發生，大斜撐支撐失敗，連續壁擋土支撐破壞造成塔城街側30×40m陷落區，如圖2所示。

(二)災變原因綜合研判

- 1.原設計採六階水平支撐，施工計畫變更

- 2.開挖最後第五階支撐太慢，連續壁因久置產生大量變形，造成大斜撐之橫檔與連續壁間滑移，鬆脫，以致大斜撐預壓值下降，支撐力不足及支撐系統鬆弛。
- 3.中間柱底部支撐之反循環基樁澆置作業深度控制不佳，開挖階段採底部超挖以便進行水平支撐位置之樁頭混凝土敲除，因底部超挖及混凝土敲除震動，造成支撐鬆脫及滑移，導致整個連續壁及水平支撐系統失敗。

- 斜坡開挖，由於弱軟粘土開挖解壓後久置，造成土壤剪力強度降低，而產生漸進式破壞。
- 2.於施工期間降雨入滲造成粘土泡水軟化；施工產生震動造成土體強度下降。
- 3.另於斜坡上構築臨時施工便道，車輛載重及震動造成土壤剪應力之增加，而產生開挖邊坡土壤擾動，剪力強度降低而滑動破壞。
- 4.邊坡坡底超挖

三、台北市政府一號廣場地下停車場工程開挖災變案例

(一)概述

台北市政府前廣場施工，採用島式開挖施工，邊坡採用為二階段，坡度為1：2.5(垂直：水平)，開挖深度13.6m，長度300m，寬度200m，於民國78年4月3日發生邊坡圓弧滑動破壞，如圖3所示。

(二)災變原因綜合研判

- 1.本基地開挖深度達13.6m，採用1:2.5之

四、台北市濱江果菜市場工程開挖災變案例

(一)概述

本基地位於台北市民族東路附近，採用島式開挖施工，由於開挖邊坡過陡，加上地盤改良效果欠佳，於民國89年5月21日發生邊坡滑動破壞造成路面嚴重塌陷面積達350m²，並有六部自用車滑落坍塌區，如圖4所示。

(二)災變原因綜合研判

- 1.災變前之觀測紀錄發現地下水位迅速提升，可能因基地附近道路埋設有80cmφ

污水管，受到開挖變形產生滲漏，並更進一步提供更大之側向土壓力，造成崩塌災變。

2.連續壁混凝土水中澆置品質不良，主筋搭接處包泥而握裹力不佳，使抗彎抗剪能力降低。

3.本開挖原設計為內支撐系統，開工後變更為島式開挖，其擋土壁應力分布不同，本次災變連續壁斷裂於島式開挖彎矩最大處，亦為主筋搭接處。

五、台北捷運新店線CH221標通風豎井工程開挖災變案例

(一)概述

本基地位於台北市兒童交通公園西側，採用28m直徑圓形豎井開挖，擋土牆由單元連續壁構成，開挖深度為35m，由於隧道與通風豎井接頭湧水、湧砂破壞，於民國83年4月1日上午11:30造成林口社區一百餘戶民宅傾斜及下陷，如圖5所示。

(二)災變原因綜合研判

1.上行隧道於拆除假洞門、環片、安



圖5 豎井附近兒童交通博物館橋梁下陷情形

裝柔性接頭時，由於CJG (Column Jet Grouting)改良之水泥塊體局部龜裂，造成10cm直徑之缺口，導致開挖外側之土砂大量衝破改良體。

2.由於巨大之土水壓力之淘洗使缺口逐漸



圖6 P21橋墩施工鋼板樁接頭漏水湧砂湧水支撐破壞情形

加大，大量的水與土壤湧入豎井內，以致地盤淘空而下陷，房屋傾斜而倒塌。

3.改良深度位置松山層第一次層與景美層礫石層因地層透水係數高，灌漿液容易流失，較無法灌實，造成品質缺陷。

六、第二大崙溪鐵路高架工程橋墩基礎開挖砂湧破壞

(一)概述

本基地位於台北縣板橋市南雅南路之307施工標，開挖面積14m×19m，開挖深度H=11.1m，於民國92年1月18日，P21橋墩基礎開挖至預定深度，鋼板樁深度12~16.5m範圍接頭不密合，地下水由縫隙入滲發生開挖底面湧砂湧水，擋土支撐系統崩壞。開挖擋土壁體SP-IV型鋼板樁尺寸，樁長L=19m，擋土支撐型式內

部四階水平支撐、橋墩基礎採用φ2.0m基樁計12支於開挖區底部，如圖6所示。

(二)災變原因綜合研判

1.開挖深度約11.1m，由現場災害情形僅CP1中間樁旁有一湧砂孔，並非全面性之開挖底面砂湧現象，顯示鋼板樁深度於12.0~16.5m砂土層範圍內之接頭不密合，恐有較大之開口或空隙，以致地下水向上湧入開挖區內。

2.設置於開挖區內點井，其深度不足，無法有效抽降入滲之大量地下水，因此當地下水滲流路徑長度減少、滲流梯度增大，使得地下水滲透壓力大於土壤有效覆土壓力，以致產生開挖底部砂湧現象。

3.鋼板樁接頭接合不良之原因可能採用舊

料，其卡榫變形及破損產生間隙，或於打設頭接時已脫離所致。

七、台灣土地銀行基隆分行新建大樓工程案例

(一)概述

台灣土地銀行基隆分行，其基地位於基隆市義一路與信二路口，興建一棟地上15層，地下3層之辦公大樓。本工程基地面積約2000m²，開挖深度為10m，擋土結構採60cm厚之連續壁，內部三階水平支撐，連續壁體深度係視岩盤面深度分佈不同由13.5m至22.5m不等。

基地於81年4月30日開挖至設計深度GL.10.0m

時，因施工不當，於水平支撐上堆置鋼筋，於北側三層支撐部份塌落，致造成南北連續壁體發生較顯著變形位移現象，同時南、北側之路面亦產生下陷龜裂，北側沉陷點之最大沉陷量則達191mm，如圖7所示。

(二)災變原因綜合研判

1.本基礎開挖工程鋼筋等材料，未堆置於構台上或空地，而直接堆置於水平支撐上，由於托架無法承受垂直載重，而造成水平支撐塌落。

2.三階支撐由上而下塌落，本工程採用連續壁壁深入岩盤，壁體呈懸臂式擋土牆，尚能維持擋土擋水功能，僅造成路面下陷及民房傾斜，實屬不幸中之大幸。



圖7 水平支撐塌落破壞情形

肆、防治對策

有關深開挖工程災原因，經上述各項檢討分析後，了解其問題，必須擬訂適宜之注意事項及處理對策。說明如下：

一、基地調查方面

(一)地質調查

- 1.地下水位應有長期觀測資料，以掌握其高、低水位變動情形。
- 2.地層層次變化、地層岩盤傾斜、鑽孔宜以空間三維來佈設。

二、設計方面

- (一)引用及依據合宜及最新版本之設計規範及準則。
- (二)土工參數採用要合適，不能高估；尤其軟弱粘土更應小心，考量加權值，不可採用平均值。
- (三)地下水位應注意季節變化情形。
- (四)開挖穩定分析必須正確，分析程式要事先加以認證及分析結果校核。

- (五)監測系統之規劃、設計、監測項目、採用儀器數量、位置要充分且有效。

三、施工方面

- (一)施工前進行必要的補充地質鑽探調查或地下障礙物調查，確認工址環境條件。
- (二)依設計圖說製作周詳之施工計畫(包括施工法選定、施工機具、施工步驟、施工品質控制…等)。
- (三)製作周延的開挖安全監測系統及執行工作。
- (四)開挖期間經常檢查支撐系統及檢討土壓、水壓、地盤變化情形。
- (五)每階段開挖後，依規定儘速立即架設支撐，避免久置而使擋土壁產生較大之變形。
- (六)開挖施工期間避免於開挖區內打設抽水井或安裝水位觀測井，避免造成開挖底部砂湧破壞。
- (七)鋼板樁打設前先檢查外形，確認堪用，接頭要密接。

四、天然災害方面

- (一)設計、施工階段應考量、土石流、洪水、風災、地震等災害，提研擬相關防治及應變措施，以減低災害。
- (二)施工階段投保營造業綜合險及第三者責任險。

伍、深開挖災變原因分析

前述之深開挖災害原因，已大致分成基地調查方面、設計方面、施工方面及天然災害方面等加以詳細說明，然而一個發生災變之事件，有時可很容易釐清各方面責任歸屬，有時卻無法釐清各方面之責任歸屬與比例，況且每一個工地狀況與破壞模式皆不同，加以災變發生，立即進行緊急搶救，回填或灌漿，以致無法保持原貌，惟從現場之蜘蛛馬跡，根據設計及施工紀錄，以學理與實務經驗亦可加以釐清與鑑定。

在國內土木建築工程上部結構施工災變，大部分是屬模板鷹架支撐失敗倒塌事件；而下部結構施工災變，就以深開挖災變發生頻率最高。茲以國內蔡錦松與張家齊(民國85年)對於台北地盆深開挖工程災變之調查分析，如表2所示。

由表2中災變以設計及基地調查方面所佔之比例較多，顯示大地工程地質變化複雜，加以不確定性高，以致在無法充分了解基地狀況，且無大地工程學理背景與實務經驗之下，進行深開挖工程時發生災害頻次是相當高達75%，必須加以重視，且施工方面所佔之比例亦達20%，顯示施工不良亦是發生災變之重要原因，足見主要原因係人為因素，然而值得一提的是，天然因素方面所佔比例不多僅為5%，顯示深開挖災變與天然因素之關聯性較低。

表2 深開挖災變原因與頻次(蔡錦松，民國85年)

項次	原因	頻次(%)
1	分析及設計不完善	45
2	基地調查資料不足	30
3	施工不良	20
4	天然因素	5

陸、結語

根據以上的災變案例說明分析與探討，本文有以下的結語：

一、台灣地區地質年輕，土質鬆軟，加上人口密度高，緊臨老舊鄰房，由深開挖工程案例中，經常發生深開挖損鄰災變，必須加以警惕與避免類似事件之發生。

二、深開挖災變發生原因可從基地調查、設計、施工、天然因素等四方面，加以探討與分析，提供日後工程界之借鏡。

三、由深開挖災變原因與發生頻次統計分析得知，最主要是屬基地調查資料、分析與設計不完善及施工不良等人為疏忽方面所致。

參考文獻

- 1.蔡景松(1994)，”軟弱地盤深開挖之穩定分析-台北基隆路案例”，地工技術雜誌第45期，第13-22頁。
- 2.洪如江等(1996)，”都市深開挖問題之探討與對策”，地工技術雜誌，第53期，第85-91頁。
- 3.沈茂松(1999)，”高雄地區擋土開挖損鄰事件的原因探討與對策研究”，營建工程防災技術基礎施工篇，文笙書局，第1-20頁。
- 4.胡邵敏(1999)，”深開挖工法之品質控制”，土壤深開挖之台北經驗研討會，第137-153頁。
- 5.方永壽、陳福盛等(2003)，”大地工程困難案例”，地工技術雜誌社。