

深開挖工程失敗實例研究
CASE STUDY ON THE FAILURE
OF DEEP EXCAVATION

王劍虹，蘇鼎鈞
C. H. Wang and T. C. Su

原著載於 1996 深開挖與地下施工研討會論文集
1996 年 4 月，第 91~105 頁

*Reprinted from Proceedings of Conference on Deep Excavation
and Basement Construction
Taipei, Taiwan
April, 1996, pp.91~105*

深開挖工程失敗實例研究

王劍虹

亞新工程顧問股份有限公司
大地一部

蘇鼎鈞

亞新工程顧問股份有限公司
大地一部

壹、前言

G.A. Leonards教授對大地工程的失敗作如下的解釋：當分析及設計所預期之工程行為與觀測所得結果之間有無法接受的差異性時，即為失敗；例如地層的破壞、沖蝕、未預期之地面或結構物裂隙產生，位移導致結構物功能降低或造成結構物損壞，以及監測系統對即將發生之災害無法適時提出警告等等，皆可視為失敗。

但一般社會大眾所知道的失敗係指災變，亦即突然的破壞，因其造成的後果非常嚴重，可能是龐大的財物損失，甚至是危及生命的安全。對於重大的災變，一般都會加以調查，儘管大家都期望災變的調查可以對新知識的獲得、分析方法及設計、施工程序的改進提供很好的學習及教育機會，而有助於工程水準的提昇；然而由於諸多因素的牽扯，很多災變的內情遭到了遮掩的命運，即使有調查也可能缺乏深入性，不過也有極少數的災變是以追根究底的精神進行調查。近年來，民國78年6月北投公館路，民國82年2月北投石牌路，民國82年9月士林百老匯等工地相繼發生類似隆起破壞之案例，由於這些災變一再發生，對社會衝擊不小，而上述災變及善後並無詳盡資料公佈於世，致使社會大眾對於災變之原因仍有摸不著頭緒之迷惑。上述的隆起破壞與民國69年台北市北區的一個隆起破壞案例相當類似，証明了歷史在一再重演，筆者等經亞新工程顧問股份有限公司之同意特將一個具有較完整的資料及分析的隆起破壞案例整理如本文，希望工程界能記取教訓，而能防止類似情形發生。

貳、基地現場概況

本案例位於台北市北區，基地東側鄰近山坡，西臨約20公尺寬之道路，此區域地層大致上屬基隆河流域之沖積層，粘土層厚且非常軟弱。基地建築面積約達2500平方公尺，平面呈L形配置如圖一所示，基礎開挖深度達9.2公尺，於民國69年基礎開挖期間發生擋土設施崩塌破壞。

參、基地土層概況及地下水

根據三次鑽探調查之結果(如圖一所示)，本基地之地層可大致分為五個層次，由上而下，其性質分述如下：

- (1) 第一層次：表土層，厚約1公尺。
- (2) 第二層次：粉土質粘土層，厚約5至9公尺，偶夾粉土質砂土，自然含水量在35%至40%間，標準貫入試驗N值在1至2之間，屬相當軟弱之土層。
- (3) 第三層次：粉土質細砂層，厚約2至4公尺，平均N值約為5至8之間，呈疏鬆狀態。此層次之頂部平均深度在5至7公尺，但在BH-2，B-3及A-2之鑽孔則在深度9至10公尺間。因此此砂層所出現之深度並不規則，局部有較大的變化。
- (4) 第四層次：粉土質粘土層，厚度隨土層下方之岩盤的起伏而有極大的變化。其厚度在基地東側約有15公尺，而在西側則達30公尺。且在深度25公尺以內之平均N值只有1至2左右，25公尺深以下之N值亦只有2至7，屬相當軟弱之土層，含水量平均為40%，相當接近液性限度。
- (5) 第五層次：粉土質粘土夾礫石層，此層次只有在局部地區發現，厚度不大，約在1至2公尺左右，但在B-6鑽孔則厚約9公尺，此層次之N值約在7至18間，含水量約為35%。土層下方為風化岩盤，主要由砂岩及頁岩所組成，岩盤面的起伏變化頗大，根據各鑽孔繪出之岩盤等高線如圖二。

由岩盤等高線之分佈顯示，基地所在位置在沖積層覆蓋之前為一伸入台北盆地之山脊，山脊之走向東南向西北伸入盆地，因此岩盤面自山脊線分別向東北及西南傾斜。圖三為土層分佈斷面圖。試驗室試驗結果之粘土層不排水剪力強度隨深度關係如圖四。圖中顯示，粉土質粘土層之不排水剪力強度不高，其重模強度約達原有強度之20%。

本區域之地下水位大致接近地表，根據歷次調查結果，地下水位大致呈東北向西南傾斜，然因資料有限，且以往調查之地下水位可能受到災變發生後開挖區回填的影響，因此較精確的地下水位分佈情形無法確定。災變後基地東側補充調查之BH-2鑽孔，裝設之水壓計顯示，地下水壓曾有高出地面之現象，但因資料有限，無法判別是否為開挖區回填時產生之超孔隙水壓。第三次補充調查顯示，基地西側之地下水位約在地表下2.5公尺左右。

肆、擋土工程設計及施工概況

本案例原設計係以YSP-III 400×125×13型16公尺長鋼板樁作為基礎開挖之擋土設施，採水平支撐工法。水平支撐大小為H300×300×10×15，共分三層，支撐位置分別在地面下1公尺、2.85公尺及6.75公尺處，第一層及第二層支撐均為單根H型鋼，第三層支撐則為雙排並列；支撐間距為6公尺，設計開挖深度為9.2公尺，擋土設施系統之設計示意圖，如圖五所示。

從工程檔案照片中可檢視出，鋼板樁於打設後平均露出地面約1公尺，而重型施工機械則停放於靠近開挖面外約3公尺處。災變前平均開挖深度達7.3公尺，崩壞區域平均開挖深度達9.2公尺。

伍、工程失敗過程簡述

據了解，在開挖過程中，當施工至第三層支撐之深度時，鋼板樁即已發生可感覺有很大變形，橫樑部份彎曲，經加強後繼續架設第三層支撐，架設後繼續往下開挖，當基地平均開挖深度達7.3公尺，而基地東南角開挖深度達9.2公尺時，首先於東南角發生破壞，土壤迅速擠進，

而引發南側之全面性破壞，自東南角之支撐破壞到南側的全面性破壞只有數分鐘。

根據災變發生後之工程檔案照片研判，支撐有上折及挫屈現象，開挖底部土壤隆起，大量土壤自底部湧入，鋼板樁外傾，開挖面外側地表發生大量下陷。

陸、工程失敗原因分析及檢討

依據上述資料，本案例施工發生失敗之原因綜合討論如下：

(1) 地質調查資料缺乏

由於缺乏原始調查資料，無法直接瞭解災變前之調查是否充份與確實。但根據災變後的第一次補充調查之鑽孔配置及鑽探結果與第二次及第三次補充調查之結果比較，其結果無大差異，故第一次補充調查可謂完整，也顯示了原始地質調查資料不夠充份。

(2) 擋土設施設計不當

根據歷次調查資料分析結果，開挖面隆起之安全係數與開挖深度的關係如圖六所示，當開挖深度達9.2公尺時，隆起之安全係數為0.97，若開挖面外均佈載重達1公尺時，則安全係數僅為0.91。因此擋土設施之貫入深度設計顯然不足。

以開挖深度為9.2公尺，支撐間距為6公尺，支撐材為H300×300×10×15，各層支撐可能承受的最大軸向載重及設計支撐允許之最大軸向載重分別如表一。

本案例災變後重新設計施工，依據觀測結果開挖深度為7.8公尺，且在開挖面外側挖除0.7公尺厚之土壤，以降低擋土設施側壓力，且三層支撐之位置分別在0.65公尺、2.15公尺及5.3公尺之情況下，分析及量測所得之各層支撐之最大軸向荷重如表二所示，可知分析之結果與觀測結果相當接近。因此，災變前第二及第三層支撐之最大可能軸向載重均超過設計支撐構材之允許軸向載重，所以原設計支撐設計亦顯然不足。

依工程之檔案照片，水平支撐有挫屈及上折現象，所以本工程可能首先發生隆起破壞，當隆起破壞發生時，側土壓力亦大於水平支撐所能承受的程度，使支撐上升而挫屈，開挖面也迅速隆起，將中間樁上推，使得基地南側發生全面性崩塌。

(3) 施工控制

由於鋼板樁並沒有完全貫入土中，平均露出地面約1公尺左右，因此原設計已感不足之貫入深度，因施工沒有確實執行，使開挖底面隆起的安全係數更低，且於發生崩壞之開挖面外側約三公尺處停放了重型施工吊車，使擋土設施承受了額外的載重壓力。

另據了解，於第三層支撐架設完成後，繼續往下開挖過程中，土壤已出現隆起現象，且支撐系統發出響聲，鄰近地表亦有下沉感覺，然施工單位沒有警覺到此等現象之嚴重性，而繼續往下開挖，並未採取適當預防或補救措施，終至演發出嚴重之工程意外。

柒、重新設計及施工結果

本基地於災變發生後曾重新進行基地地層調查及分析(第一次補充調查)，並重行設計擋土設施與施工程序，同時採用施工安全監測系統。開挖方面，將L形基地分為兩個長方形施工區，當先行開挖區域之地下室構築完成後，始進行另一區域之開挖工作。總開挖深度為7.8公尺，並在開挖區域外側移除0.7公尺之覆土，以降低擋土設施所受之側壓力。擋土設施採用NKSP-IV型16公尺長之鋼板樁，水平支撐之斷面及位置則如表三所示。

施工期間密切注意監測系統之變化，嚴格控制各階段之施工，將監測系統之觀測結果作為施工控制之依據。圖七為基地東側基礎施工過程中監測系統所量得之鋼板樁側向變位情形，由圖中可知鋼板樁之最大側向變位達約14公分，約達開挖深度之2%。圖八則為該區域開挖過程中所量測得之開挖面隆起量變化情形，隆起量最高達約8公分。

捌、結論與建議

1. 造成本工程之失敗原因有地質調查資料缺乏，擋土設施設計不當及施工控制不良等。
2. 若於擋土設施設計之初，對基地土層特性及地下水狀況能有充份了解，增加鋼板樁之貫入深度調整支撐位置及支撐間距，施工時建立監測系統，並予適當之施工控制，應可避免災變發生。
3. 由重新設計及施工的經驗及監測結果，顯示施工安全監測系統應有其功效。
4. 災變或失敗例的調查，對於新知識的獲得、分析方法及設計、施工程序的改進提供了絕佳的學習及教育機會，亦有助於工程水準的提昇。因此，如能對每一失敗案例以追根究底的精神，公正而詳盡的予以探討，除了可防止類似情形再度發生外，並對達成如何構築經濟而安全的開挖工程有所助益。
5. 由於開挖工程問題相當複雜，土層具有其變異性，業主、分析及設計單位、施工單位應密切合作，並配合監測系統之觀測記錄，隨時進行檢討並採取適當之措施，應可將災害減到最低的程度甚或完全免除。

誌 謝

本文係亞新工程顧問股份有限公司研究台北市地下工程失敗實例探討及建議工作成果之一，承蒙亞新工程顧問股份有限公司之同意惠准發表，特此感謝；本文之完成亦感謝同事蔡文森博士協助整理文稿及許如蕙小姐協助打字。

表一 災變前設計之擋土支撐軸向載重分析結果(開挖9.2公尺)

軸向載重，噸 位置	分類	最大可能軸向載重	設計之構材允許載重
第一層支撐		124	125
第二層支撐		285	125
第三層支撐		326	125×2

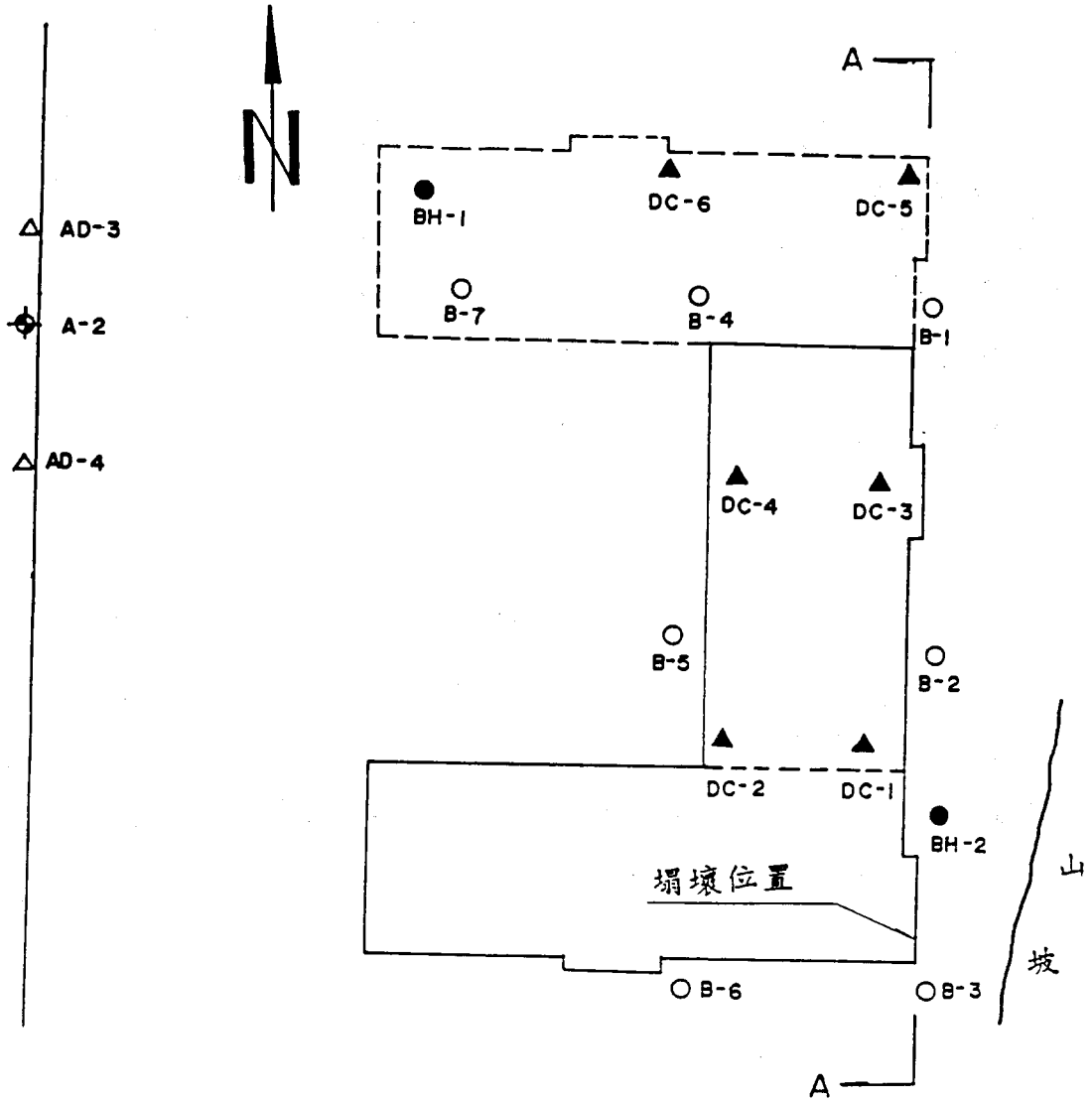
表二 災變後重新設計施工所量得及分析所得之軸向載重(開挖7.1公尺)

軸向載重，噸 位置	分類	分析所得最大可能 軸向載重	觀測所得最大 軸向載重	構材允許軸向載重
第一層支撐		63	50	125
第二層支撐		159	100	196
第三層支撐		191	150	196

表三 重新設計採用之支撐斷面及位置

層次	斷面(mm)	支撐位置 (地表下，公尺)	無支承長度 (公尺)	設計容許荷重 (噸)
第一層	H:300×300×10×15	0.65	6	125
第二層	H:350×350×12×19	2.15	6	196
第三層	H:350×350×12×19	5.30	6	196

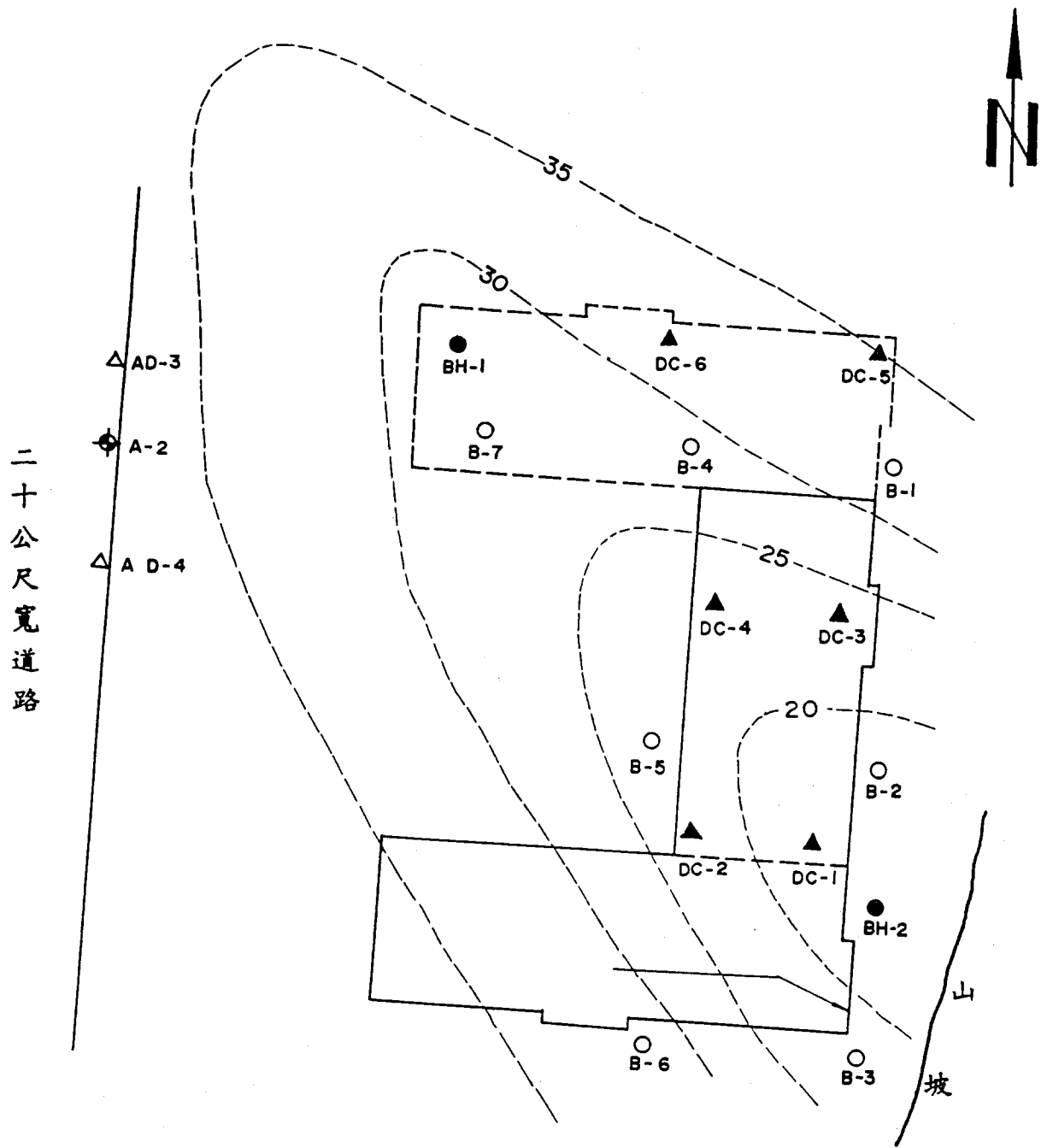
二十公尺寬道路



scale = 1:900

- 圖例：
- 第一次補充調查鑽孔位置(69年12月)
 - 第二次補充調查鑽孔位置(70年2月)
 - ⊕ 第三次補充調查鑽孔位置(75年4月)
 - ▲ 第二次補充調查之荷蘭錐試驗孔位置(70年2月)
 - △ 第三次補充調查之荷蘭錐試驗孔位置(75年4月)
 - 工程失敗時之基地範圍
 - 工程失敗後重新設計之基地範圍

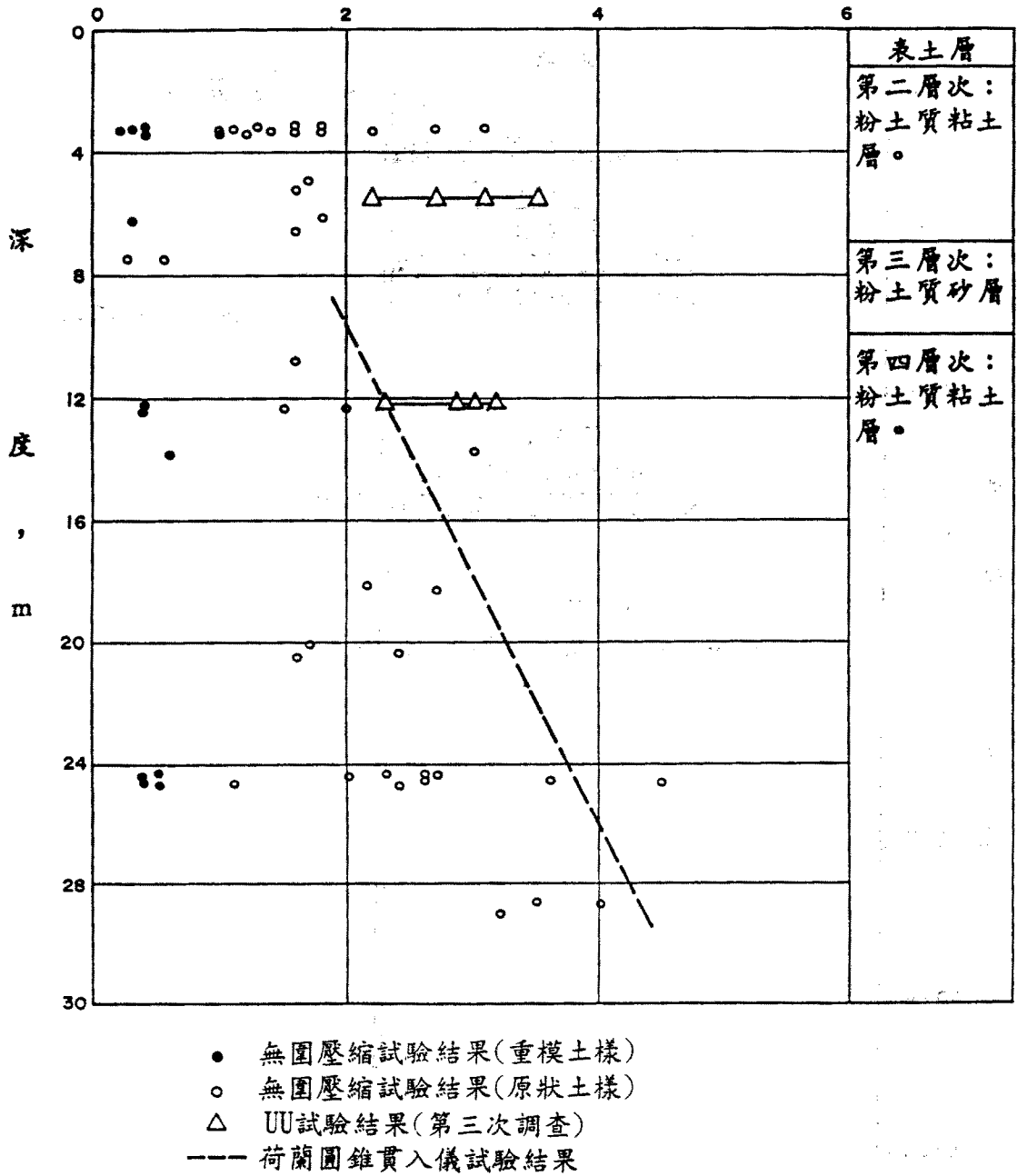
圖一 基地位置及歷次補充調查位置圖



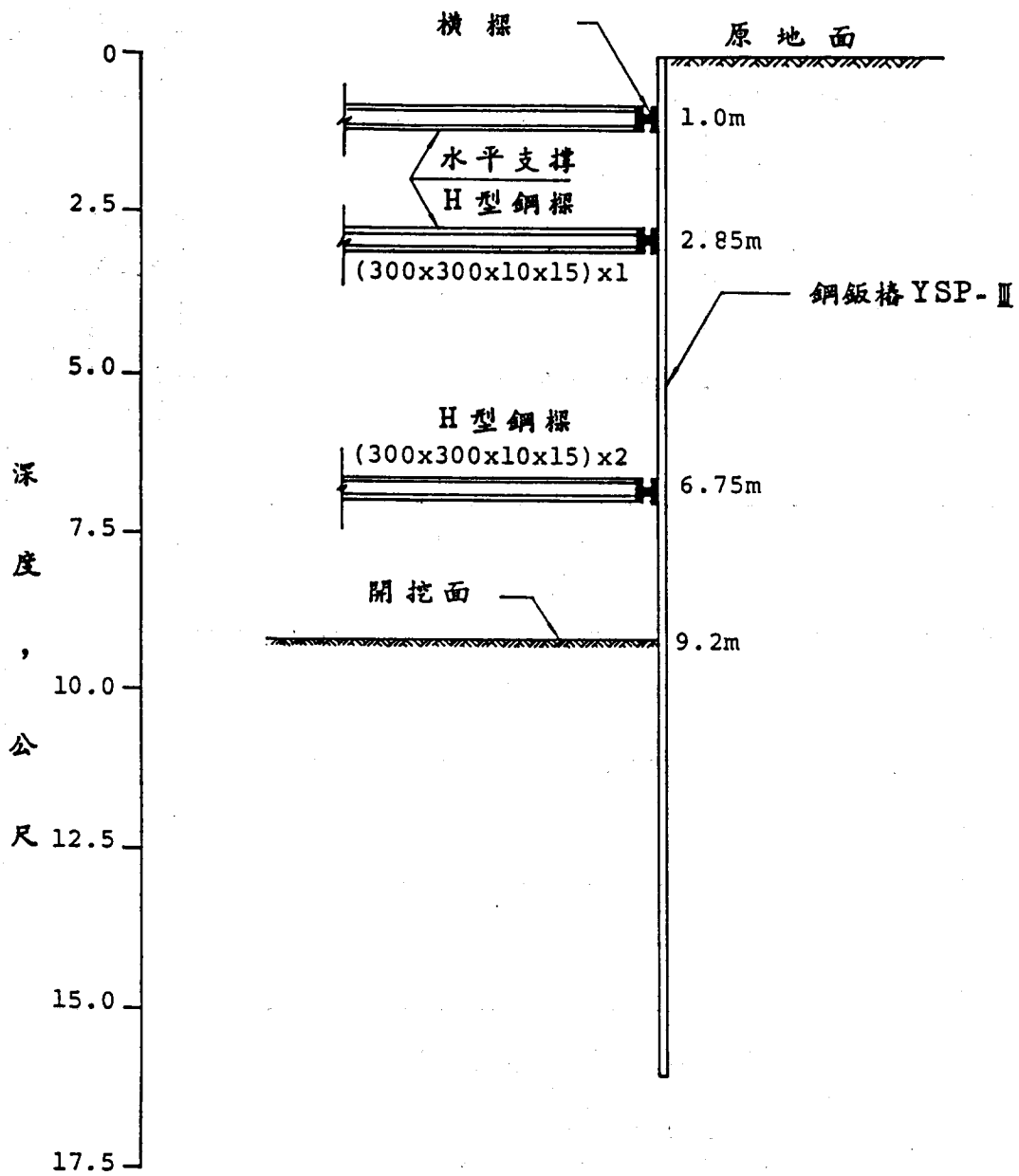
scale = 1:900

圖二 岩盤等高線圖

不排水剪力強度 S_u , t/m^2

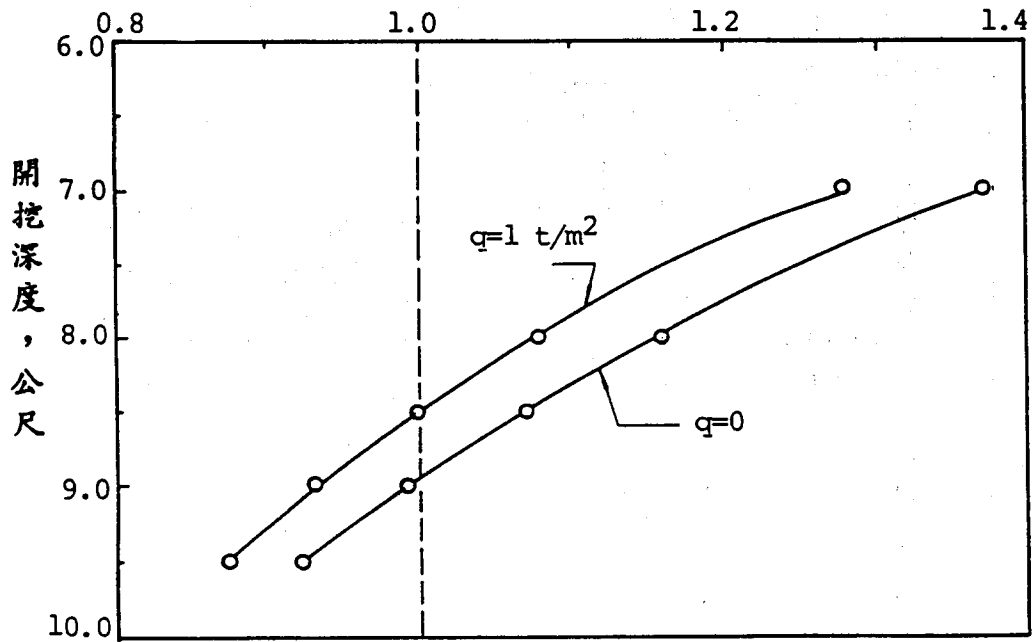


圖四 土層之不排水剪力強度與深度之變化關係



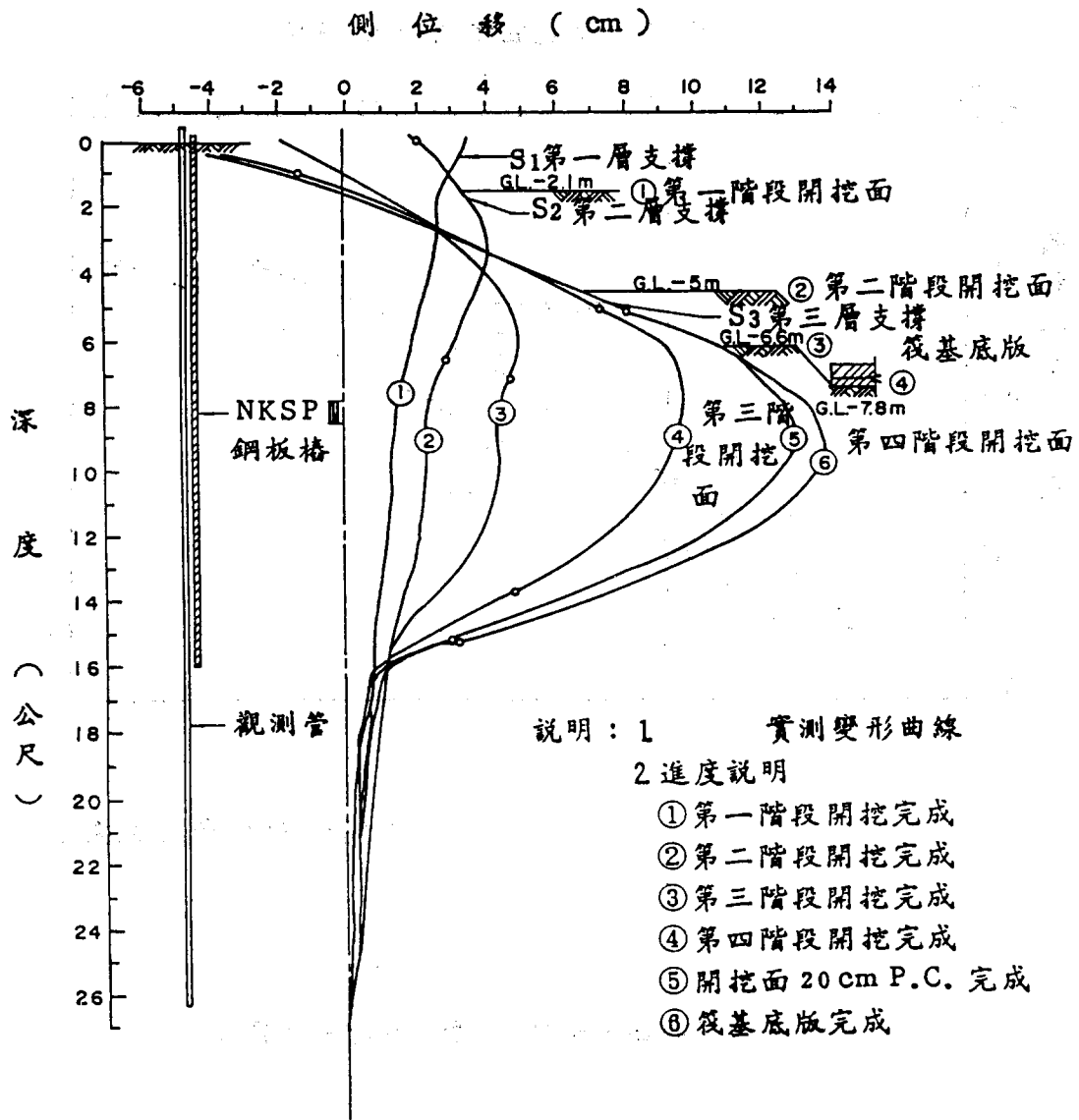
圖五 擋土設施系統施工示意圖

開挖面隆起破壞之安全係數

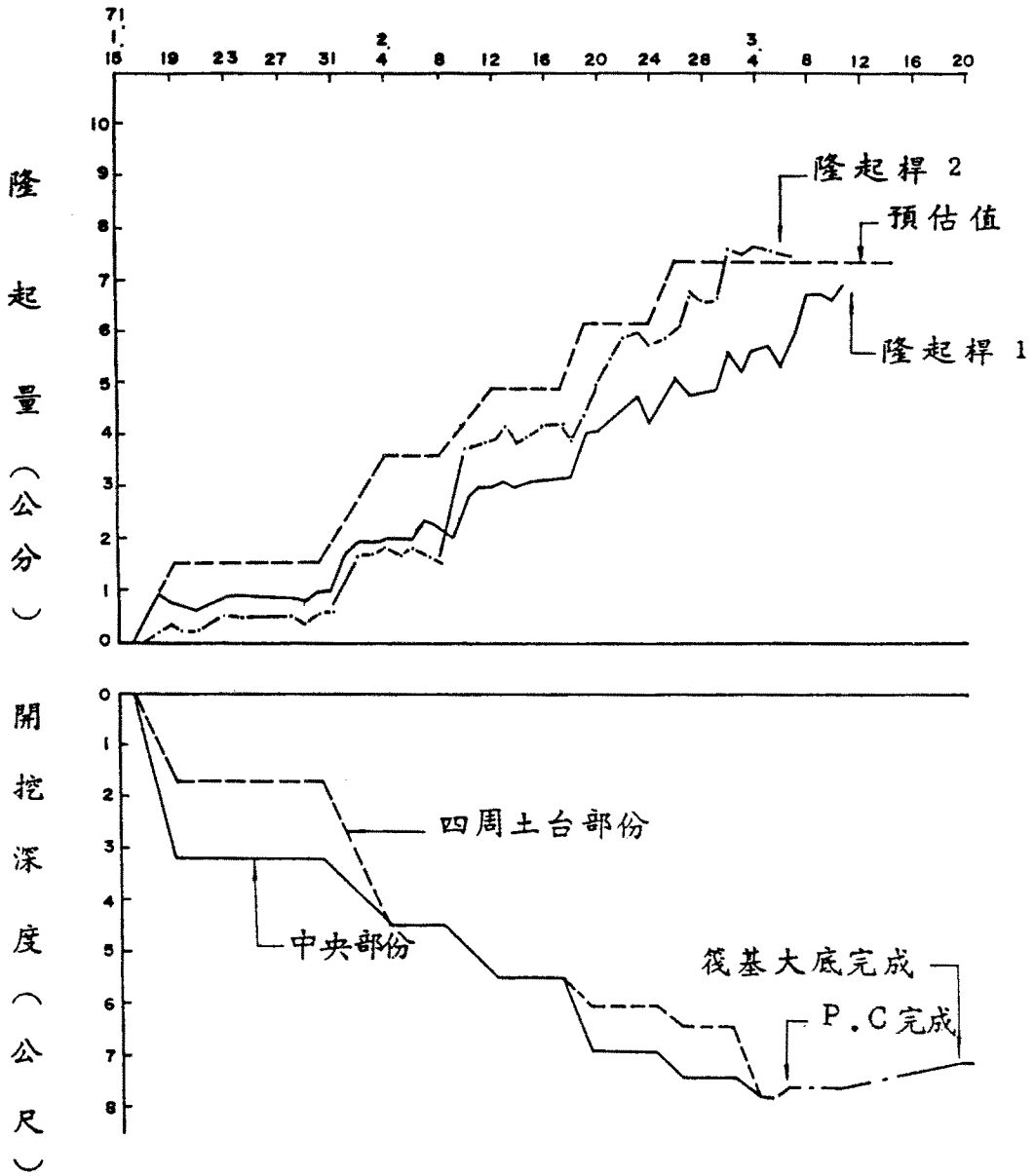


(q 為開挖面外平均載重)

圖六 開挖面隆起安全係數與開挖深度關係



圖七 東側鋼板樁變形曲線



圖八 開挖面隆起量觀測結果