

# 地工技術

## 研討會專欄

### 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (第二部份:參訪紀實)

時間：2005年9月12日~16日 地點：Grand Cube Osaka in Osaka, Japan

報告撰寫者：李嶸泰、周坤賢、吳博凱、邱俊翔、林晏吉、柯永彥、郭治平、熊彬成、  
盧之偉、魏佳韻、龔東慶 (依姓名筆劃順序)

贊助單位：地工技術研究發展基金會

## 九、Technical Visit

### 9.1 日本關西國際機場二期工程介紹

#### 9.1.1 工程背景與一期工程簡介

早期機場興建一般都相當靠近市區，航空器起降的噪音和安全性對居民造成相當大的衝擊。隨著都市的發展，機場容量逐漸不敷使用，在擴建機場之用地取得不易，以及居民的抗爭下，將機場遷建於較偏遠地區，再藉由捷運和高速公路與市區連結，是目前發展的趨勢，日本關西國際機場（簡稱關西機場）之興建背景也是如此。

關西機場位於距離日本大阪灣東南部泉州海域5公里的海面上，是阪神地區的主機場，距離大阪神戶和歌山市中心只需一小時車程。關西機場是日本第二大國際機場，也是日本第一個24小時營運的機場，機場建築由義大利建築師倫佐·皮亞諾（Renzo Piano）和日本建築師岡部憲明（Noriaki Okabe）負責主要設計。

關西機場興建計畫共分為三期（參見表9.1），第一期已完工，第二期正在興建，第三期尚未興建，第一和第二期施工進度年表可參見

表9.2。第一期工程於1987年動工，1994年完工啟用，總共用了1.8億立方米的土方，在水深達17~18m的海上填出了511公頃的機場用地。大阪灣海底的地址條件不佳，如圖9.1所示，海床頂部為厚約18m的沖積層（alluvium），其下為厚度約340m的洪積層（diluvium），回填之荷

重會造成可觀之沈陷。

機場建有一條3,500米長的跑道，機場航廈長達1.5公里，採用玻璃和金屬的高科技風格，相當壯觀。機場的建設費用約為120億美元，機場完工後獲得建築界和工程界無數贊譽，也獲得美國土木工程師協會於千禧年遴選為20世紀機場代表作之殊榮。

#### 9.1.2 二期工程施工計畫

關西機場二期工程預定填築一個面積達545公頃之人工島，興建一條長達4,000m的跑道，其四周之海堤護岸總長度達13公里，回填砂總量達兩億五千萬立方米，預測回填引致之沈陷量可達18m。關西機場二期工程總經費為1兆4千2百億日圓，施工計畫主要包含海床沖積層地盤改良、海堤護岸興建、回填及機場設施建造等階段。二期工程於1999年動工，預計於2007年完工啟用，其中地盤改良、海堤護岸興建均已完成，回填之施工進度也超過百分之九十。

表 9.1 關西機場三期計畫總覽




	第1期 (供用中)	第2期 (整備中)	第3期 (全體構想)
跑道長度	• A 3500m	• A 3500m • B 4000m	• A 3500m • B 4000m • C 3500m
面積			
	約 510ha	約 1055ha	約 1300ha
年運輸量	約 16 萬架次	約 23 萬架次	26~30 萬架次

表 9.2 關西機場第一和第二期施工進度年表

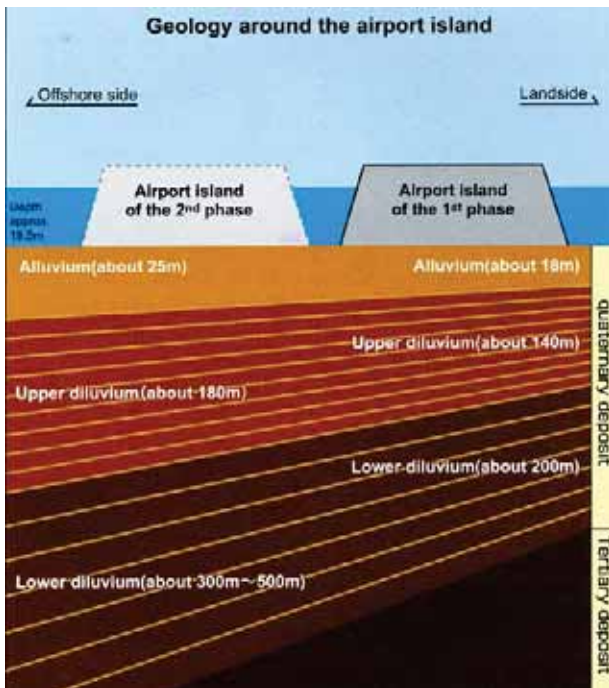
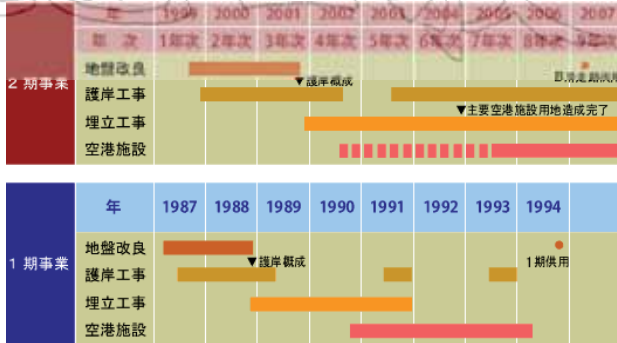


圖 9.1 關西機場工址之海床地質狀況

### 9.1.3 地質條件

如圖9.1所示，關西機場二期工程工址之沖積層厚度約為25m，洪積層厚度則超過500m，洪積層約於兩百萬年前至一萬年前形成，沖積層形成於洪積層之後。沖積層主要由高含水量的軟弱黏土組成，一期工程回填之人工島引致嚴重的沈陷問題，主要便是這層沖積層所導致，二期工程工址沖積層厚度比一期工程更厚，為了避免遭遇一期工程嚴重的沈陷問題，二期工程決定進行大規模的地盤改良。

### 9.1.4 海床沖積層地盤改良

二期工程採用垂直砂樁排水工法加速沖積層孔隙水之排出，其原理可參見圖9.2，當黏土質沖積層承受回填砂土之荷重後，所激發之超額孔隙水壓便可沿預先打設之砂樁排出，大幅減少壓密沈

陷之時間，垂直砂樁排水工法施工程序如下：

步驟一：首先於改良區域內（也就是二期工程預定回填之區域）之海床上鋪上一層厚度為1.5m的砂，鋪一層砂的主要目的是為了讓沖積層之孔隙水能順利沿著砂樁往上排出，鋪設砂土之設備為撒砂船（見圖9.3）。

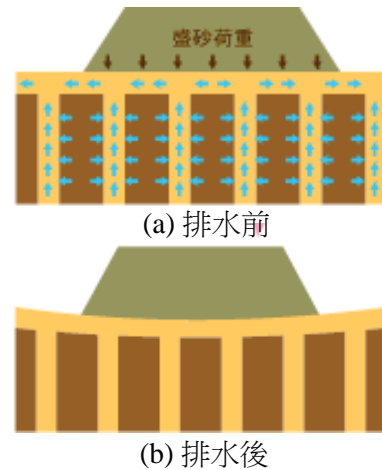


圖 9.2 垂直砂樁排水工法之原理



圖 9.3 撒砂船施工之情形

步驟二：當海床上已鋪設一層1.5m厚的砂，便進行打設砂樁之作業，採用之施工機具經由特別設計，見圖9.4，可同時打設6支砂樁，每支砂樁樁徑40cm、樁長25m，樁與樁中心之間距為2.5m，均勻地打設於沖積層，總共必須打設一千兩百萬支砂樁。由於砂樁數量龐大，為了加速工程進行，施工單位同時採用多艘施工船進行作業，為了精確地控制打設砂樁之位置，每艘施工船都配備有全球定位系統（GPS）以確保施作之

位置無誤，圖9.5為垂直砂樁施工之剖面圖。



圖 9.4 打設砂樁之施工船

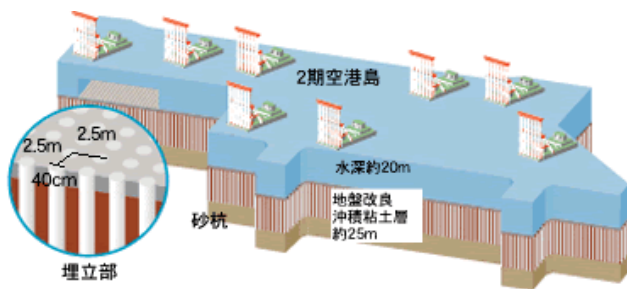


圖 9.5 垂直砂樁施工之剖面圖

### 9.1.5 海堤 (seawall) 之興建

海堤之興建主要目的是為了保護回填區域填入之砂石不被波浪沖走，圖9.6為海堤護岸剖面圖。為了能兼顧生態保育，整個二期工程四周，超過90%的海堤以對海底生態衝擊最小的粗石填築，消波塊也經特別設計，讓藻類可以較容易附著生長。

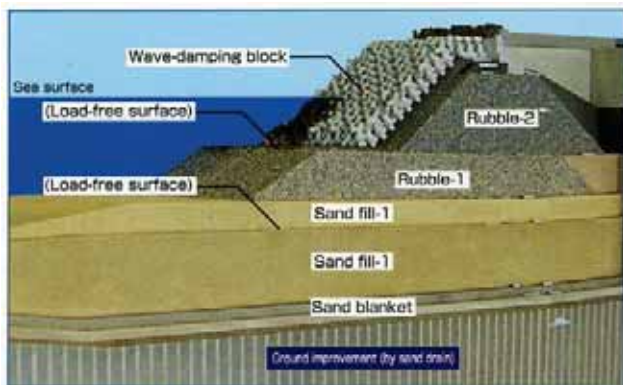


圖 9.6 海堤剖面圖

海堤護岸興建過程相當繁複，本文並不詳細說明每個施工細節，有興趣的讀者可以上關西機場施工廠商之網站瀏覽，網址為：[www.kald.co.jp](http://www.kald.co.jp)。圖9.7為2000年到2002年海堤興建之航空照片，隨著海堤的興建，二期工程施工範圍逐漸浮現。

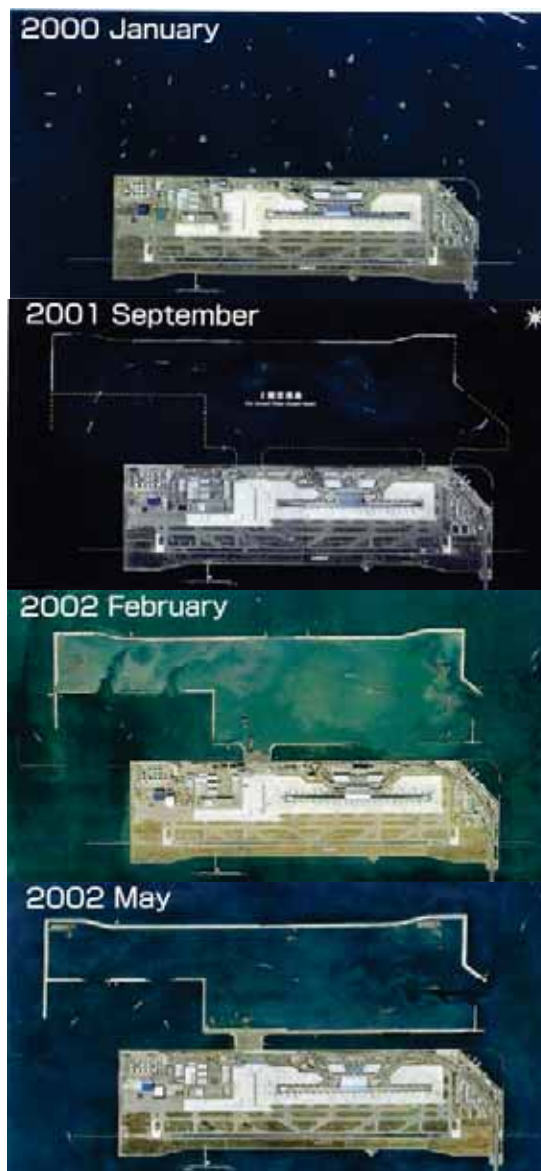


圖 9.7 海堤興建過程航照圖

### 9.1.6 填海工程

填海工程可區分為五個階段，如圖9.8所示，依序為第二次海床鋪砂 (2<sup>nd</sup> sand blanket)、第一次直接拋砂 (Direct sand dumping-1)、第二次直接拋砂 (Direct sand dumping-2)、第一次填築 (Reclamation-1) 以及第二次填築

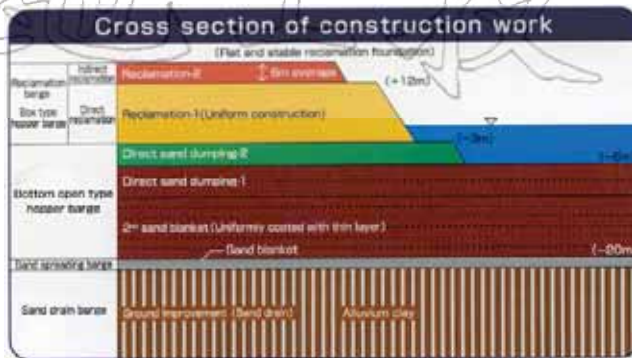
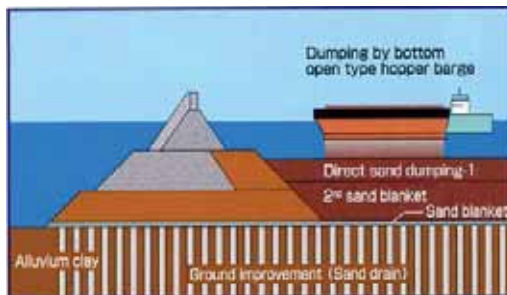
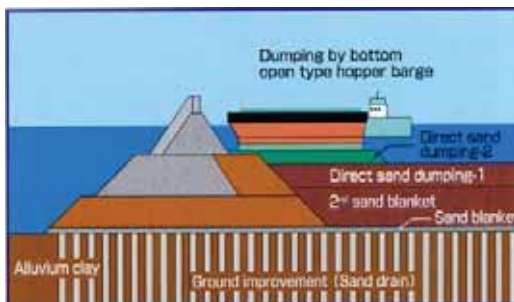


圖 9.8 填海造陸程序剖面圖

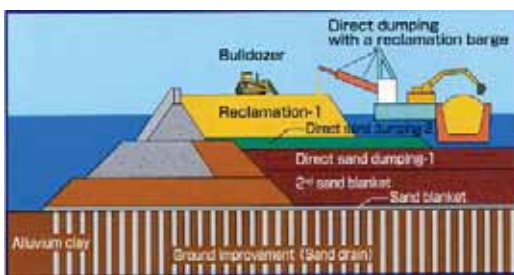
(Reclamation-2)。各階段施工示意圖請參見圖9.9，其中第二次海床鋪砂、第一次直接拋砂以及第二次直接拋砂都是使用底卸式的運砂船，將砂料運抵預定之位置，直接打開運砂船底部將砂料置入海中，底卸式運砂船之照片可參考圖9.10。



(a) 第二次海床鋪砂與第一次直接拋砂



(b) 第二次直接拋砂



(c) 第一次填築

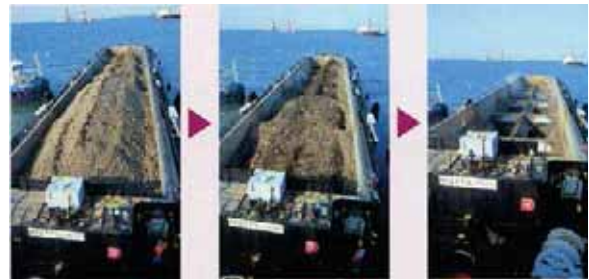


(d) 第二次填築

圖 9.9 填海工程階段示意圖



(a) 以GPS進行定位



(b) 卸土中

圖 9.10 底卸式運砂船

當完成第二次直接拋砂作業，此時回填之高程為海面下3m，底卸式運砂船已經無法進行作業，接下來改由大型平底運砂船進行第一次填築，首先將砂料運至適當位置，藉由挖土設備將砂料移至輸送砂料之機具，直接進行填築作業（見圖9.9c），填築之高程為海平面以上12m，岸上同時有多組機具進行夯實作業。由於必須精確地進行填築，每部底卸式運砂船一樣都配備有全球定位系統GPS，以便進行拋砂位置之控制，相關設備之照片可參考圖9.11。

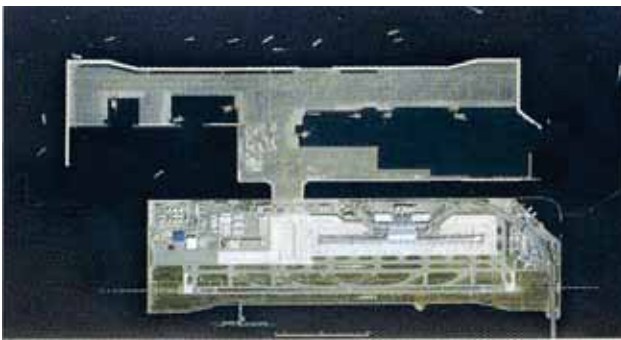
最後一個填海工程階段為進行第二次填築，此時二期工程填築之高程已經超過海平面，此時大型平底運砂船無法開進回填區，只能開到二期工程回填區之四周，將砂料運抵岸邊放置岸上，藉由路上運土設備進行第二次填築，第二次填築之厚度平均為6m（見圖9.9d）。



圖 9.11 大型平底運砂船及輸砂設備

### 8.1.7 其他工程照片與最新工程進度

圖 9.12 為延續圖 9.7 之航照圖，分別為 2003 年五月和 2004 年十月所拍攝，照片中可以看出回填作業的進展，截至目前，整個填海工程接近完工，接續之地上工程已經即將陸續展開，最後圖 9.13 附上最新之空拍照片，在不久的將來，若有機會搭機前往關西國際機場，不要忘了往四周多看幾眼，看看這個工程發展史上相當重要的工程建設，也希望工程界能師夷之長，提昇國內的施工技術。



2003, may



2004, October

圖 9.12 延續圖 9.7 之航照圖



圖 9.13 2005 年最新之空拍圖

### 9.2 明石海峽大橋與北淡町震災紀念公園

明石海峽大橋，係由本州四國聯絡橋公團（目前民營化為本州四國聯絡高速道路株式會社）為所興建，為聯絡日本之本州與四國兩大部分的公路橋梁系統之一。其由兵庫縣神戶市的垂水區跨越明石海峽，連接淡路島津名郡淡路町的松帆，故得名之。

明石海峽大橋為一具有三跨距及兩橋塔的吊橋（圖 9.14），全長 3,911 公尺，中央跨距長度為 1,991 公尺，兩側跨距長度為 960 公尺，為目前世界最長之吊橋。由於瀨戶內海為一相當繁忙之海上通道（圖 9.15），因此必須預留足夠之淨空，供船隻安全航行之用，這就是為何必須將中央跨距設計到接近 2,000 公尺之緣故。



圖 9.14 明石海洋大橋全景



圖 9.15 橋墩基礎與航行於其旁之船隻

橋墩基礎的施築(圖9.16)為興建跨海大橋最大的困難之一，而在此處，由於海床深度深(50~60公尺)，潮流又強，因此任務更為艱鉅。本州四國聯絡橋公團應用了過去在此海域興建跨海大橋所累積的工程經驗，在此處之橋墩基礎採用大面積圓形斷面的鋼製沈箱沈入海中置放於海床上，配合巨積水下高性能混凝土之澆灌，並於橋墩上部採用鋼製緩衝墊來避免船隻可能的衝撞造成橋墩的破壞。其中，值得注意的，是此處的侵蝕問題。由於潮流強，海床多砂礫，當橋墩基礎設置後，所引致之渦流便很容易造成橋墩底部的侵蝕，而危害其安全。因此在這裡，特別在海床採用大圓石配合底層濾層來保護橋墩底部，確保其可靠性。



圖 9.16 橋墩基礎施築示意模型

明石海洋大橋的另一大困難點為吊橋鋼纜之設置，因為跨距相當長，而鋼索負擔的張力會相當的大，使得鋼索斷面會很大，而在海上設置鋼索又更形困難，因此此實為本工程的另一大挑戰。在這裡主鋼纜(圖9.17)係由290股鋼索構成，每一股鋼索則由170條高強度鍍鋅鋼絲構成，以達到強度與防鏽的需求。在鋼纜的設置上，係利用直昇機先架設導引索，再利用導引索將鋼索漸次拉到定位，加上被覆層後合為主鋼纜，在施加預力錨定之(圖9.18)。另外，一些特殊的科技也被採用在本工程，例如利用工作通道設置的防

暴風固定索，主要鋼纜內部的防鏽乾燥空氣通風系統，懸吊索採用聚乙烯管保護等等。

這次的參觀，除了聽取工程師進行簡報之外，我們也獲准能夠進入位於橋版下方的維修通道(圖9.19)，在這裡不僅更能體驗這座橋的壯觀，也能直接看到一些特殊技術實際運作的情形，如前述的鋼纜通風系統的通氣管線，便位在此處。



圖 9.17 主鋼纜斷面示意圖

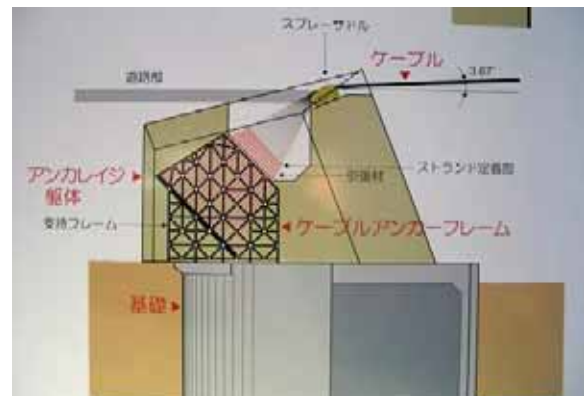


圖9.18 錨定結構示意圖



圖 9.19 維修通道

在明石大橋這邊所得到最令人印象深刻的資訊是，在明石海峽大橋興建的過程中，發生了阪神大地震，強烈的震動並未造成此橋的重大損壞，甚至地震引起之地殼變動，造成橋墩基礎的位移（原本中央跨距設計長度為1,990公尺，地震後變為1,991公尺），但仍未因此造成任何嚴重的破壞。在予以適當補強後，明石海峽大橋仍然如期完工，並且至今沒有發生任何問題。因此，這次參觀可說是一個相當難得的體驗，讓人對日本工程的技術水準有更深一層的認識。

結束明石大橋的參觀行程後，便前往位於淡路島淡路市的北淡町震災紀念公園。其主要的展覽主題為1995年1月17日發生之阪神淡路大地震造成的災害概述，遭破壞的建物遺跡，以及最重要的，因地震造成之野島斷層出露在地表的各種特徵與現象。

相較於九二一集集大地震，野島斷層的位移量並不大，但是此處將斷層保存得相當完整，讓人能夠一目了然，瞭解各種斷層破裂的表徵。如圖9.20，可以看到地表的斷層崖，並且明顯的標示出水平與鉛垂位移量；而圖9.21，除了斷層崖外，亦可看出地表張裂縫。

此處亦保存了一些建物遭破壞的遺跡，例如圖9.22，地表位移造成圍牆的破裂；以及圖9.23，地表水平位移造成花園的剪壞，水平位移量達120公分。



圖 9.20 斷層崖與斷層位移示意



圖 9.21 斷層崖地表張裂縫



圖 9.22 因地表變位造成之圍牆破壞



圖 9.23 因地表水平位移造成之花圃破壞



圖 9.24 斷層剖面



圖 9.25 過去之液化證據

而最重要的，此處利用挖溝，讓人可清楚看出地層中所保存的斷層特性。由圖9.24可以看到很明顯的斷層剖面，而且斷層位移不過幾十公分，但是斷層上下盤土層明顯不同，因此可以推論此處在過去就曾發生過地震，不斷累積斷層錯動量，而導致土層之差異。另由圖9.25可以看出土層中保有液化之遺跡，其發生在1995年阪神地

震之前，也再度證明了此處過去即發生過大地震。類似的現象在中央大學所進行之車籠埔斷層挖溝計畫亦可發現，因此證明了對古斷層的研究，在震學上絕對具有正面意義。

對地震遺跡的保存，不但可以讓人記取地震的教訓，時時保持警覺之心，在學術研究上亦有相當大的助益，因此不論在台灣，日本，或其他地方，目前都設置了類似的機構。其最終的目的，都是希望在遭遇到無可避免的地震現象時，能夠將人類遭受的損害降到最低的程度，身為土木工程界的一份子，在參觀時，感觸更是特別的深。

## 十、京都大學防災研究所參訪

日本京都大學參訪行程安排，主要參訪座落在京都大學宇治校區的防災研究所，此行程主要分為研究成果簡報與試驗室參觀兩部分。此研究所下設綜合防災、地震災害、地盤災害、水災、大氣等災害研究部門，另有災害觀測實驗、地震預告、火山活動、水資源、巨大災害及坡面災害等研究中心，堪稱世界上數一數二之防災研究所。經副所長寶馨之介紹，上午則安排該研究所之地震災害研究之動向，地盤災害研究之動向及土石流災害之研究動向三場演講。其內容分別為：

1. 地盤災害研究動向（井合進教授－地盤災害研究部門 地盤防災解析分野）：主要介紹土壤結構物動態分析，經由performance base的設計理念，對結構體例如樁基礎及堤防，進行動態分析。

2. 地盤災害研究動向（斧井俊孝助教授－地盤災害研究部門 傾斜地保全分野）：主要藉由近期在城市地區發生之破壞性地震（例如1978年發生在Miyagiken-Oki的地震、1993年發生在Kushiro-Oki的地震及1995年的Hyougoken-nanbu地震）介紹地震引發之山坡地災害及其發生潛能評估，並透過類神經網路進行類似崩塌地滑狀況之模擬。

3. 土砂災害研究動向（藤田正治助教授－流域災害研究中心 流砂災害領域）：主要以地物調查方式進行地下管線調查。

下午則先安排至坡地災害研究中心參觀，了解日本如何作坡地防災以及對國際上國際遺產

保護之貢獻。日方另安排參觀全世界獨一無二之大型環剪試驗儀（詳圖10.1），此儀器由Prof. Sassa所主導，其特點為以大尺寸之環形剪力試驗儀器，最快轉速可達2.14m/sec，以高速進行土石流物質之強度試驗，並用以模擬泥流發生機制之土壤材料力學機制。最後則有台灣赴日本留學生郭耕杖介紹該中心之震動臺（詳圖10.2），規模為3m×5m，目前正在進行大尺寸木造結構物之耐震試驗。此震動臺雖小，但所試驗之木構造房屋為在三本市超大型震動臺之試驗木構造房屋，除尺寸外，其餘均一模一樣，其目的為驗證一般日式木造建築物之耐震能力及地震力所可能造成之災損，因此可比較不同尺寸震動臺對試驗結果之比較，這點應也只有在日本方可執行。然值的一提的是，目前日本已完成一大型振動台之興建，其尺寸為20公尺長及15公尺寬，目前正在進行全尺寸之木造建築之耐震試驗。而京都大學所進行之試驗將與此試驗成果進行比較，以提出耐震試驗在不同試驗尺寸之成果分析。



圖 10.1 大型環剪試驗儀



圖 10.2 震動臺



## 十一、兵庫耐震工學研究中心參訪

在此次大阪會議期間，在台灣大學翁作新教授與陳正興教授帶領下，前往位於兵庫縣三木市，隸屬於防災科學技術研究所（National Research Institute of Earth Science and Disaster Prevention, NIED）之兵庫耐震工學研究中心（Hyogo Earthquake Engineering Research Center），參觀三向度全尺寸震動破壞試驗設施（Three-Dimensional Full-Scale Earthquake Testing Facility，如圖11.1右所示）。該設施之緣起，主要係由於1995年1月17日發生之阪神淡路大地震，對關西地區許多結構物造成嚴重的破壞。為了提昇今後結構物的耐震能力，新建的結構物必須採用合理的設計方法，而舊有的結構物則必須予以適當的補強。而為了確保這些設計方法之正確性與補強措施之效能，以全尺寸試驗來驗證是必須的。

該震動試驗設施暱稱 E-Defense，E 代表 Earth，因此其暱稱有「防禦地球災害」之含義。其最主要之試驗裝置為一目前世界上規模最大之三向度振動台（如圖11.1左所示），該振動台尺寸為15m×20m，相較於台灣目前於國家地震工程研究中心5m×5m的振動台，面積為國震中心振動台的12倍。其具有水平x方向、y方向以及垂直z方向的加振器，可進行三向度之振動模擬。振動台本身重量為800噸，最大可搭載重量為1200噸，在最大質量搭載時，可施加之水平最大加速度為900cm/s<sup>2</sup>，鉛垂最大加速度為1,500cm/s<sup>2</sup>，容許速度水平向為200 cm/s，鉛垂向為70cm/s，容許變位水平向為100cm，鉛垂向為50m。由以上特點，可知此振動台最主要的功能，即在可進行全尺寸之強震破壞試驗。

該振動台係由油壓所驅動，其相關配合設施包括：主油壓幫浦，其能輸出油壓，並能發電供整個試驗設施使用；主油壓儲存槽，儲存已施加高壓的液壓油；加振器，其利用油壓槽輸出之油壓驅動；試驗準備室，用以施築試體；以及掌控整個試驗設施的控制室。



圖 11.1 右：三向度全尺寸震動破壞試驗設施 E-Defense；左：三向度振動台

參觀當天，由副所長佐藤正義博士接待我們一行人，首先進行詳盡的試驗設施報告，讓我們對整個試驗設施有初步的瞭解。接著帶領我們參觀振動台的控制室、振動台本身、振動台之驅動設備與油壓設備室。控制室包含有伺服控制系統、資料擷取系統與影像紀錄系統；伺服控制系統係由控制系統的大廠MTS所設計（圖11.1），能夠對總重可達2000噸的振動台，準確施加三向度的加速度歷時；資料擷取系統共有960個頻道可供使用，取樣頻率最高可達2kHz；而影像記錄系統，可從不同角度來拍攝試驗影像，並可在100英吋的電漿螢幕上即時播放，以供試驗監控之用。振動台本身當時恰好有一剛架設置於其上，讓人對其尺寸有更直接的感覺，真的相當巨大！而振動台的驅動設備包含由主油壓儲存槽將油壓輸出並降壓的複雜管線、低壓油壓槽以及加振器（圖11.1）；油壓設備室則包含前面提到的主油壓幫浦與主油壓儲存槽。這些實地參觀讓我們見識到在這一看似簡單振動台運作背後龐大複雜的機電系統，實在令人嘆為觀止。



圖 11.2 MTS 伺服控制閥

目前振動台已完成所有的組裝，並已經完成相關測試，測試中比較令人印象深刻的是，為了確認振動台是否能輸出預定的振動歷時，除了直接量測振動台本身的振動反應外，另外也進行了一個標準鋼剛架的受振反應量測。未來保養維修時，則可再度組立標準剛架，進行試驗，與先前所量得之反應比較，來檢驗振動台的性能。以結構反應作為檢驗基準，可謂一相當合理可靠的確認方法。而目前已經進行了木造結構與小尺寸鋼筋混凝土結構振動破壞之試驗（圖11.4）。接下來即將進行之試驗包括：現有木造建物與補強木造建物之耐震性能比較研究、全尺寸鋼筋混凝土建物受震破壞試驗、地盤受震產生側向流動之行為以及有關土壤－基礎互制行為研究之振動台試驗。（圖11.5）。

這次的參觀，讓人見識到日本試驗技術之先進，而其投注在地震工程上的精神與心血也相當令人佩服，當然，還有令人咋舌的投資成本。相信E-Defense未來會進行許多大型試驗，而能對地震工程相關研究之進行有相當大的幫助。也期待未來台灣能有機會與其進行研究合作或研究成果的交流，而能互相砥礪，互相提昇！

## 十二、夢州地下鐵延伸線工程(前田建設)

參訪時間：2005.9.14（三）下午1:30~6:00

參訪人員：何泰源、熊彬成、龔東慶、林晏吉、邱俊翔、李嶸泰、周坤賢

工程名稱：北港科技港線咲洲連接建設工程（第一標）

業主：株式會社大阪港開發商

施工廠商：前田（40%）、佐藤（25%）、森本（20%）、松村（15%）特定建設工事共同企業體

工程概要：為了發展大阪市臨海地區包括有舞洲、夢洲、咲洲等地之鐵道（北港科技港線（圖12.1），全長7.3km），將既有之雙線車行箱涵（1鐵道+1車行）拓建為（1鐵道+2車行（圖12.2））之工程。擴建單孔箱涵部份之長度為208.2m；新建三孔箱涵長度為91.9m，總工區長度為300.1m。最大開挖深度17.9m。擋土壁係採用直徑1公尺之鋼管樁



圖 11.3 左：低壓油壓槽；右：起振器



圖 11.4 上：木造結構振動破壞試驗；下：鋼筋混凝土結構振動破壞試驗



左上：現有木造建物與補強木造建物之耐震性能比較試驗  
右上：全尺寸鋼筋混凝土建物受震破壞試驗；  
左下：地盤受震產生側向流動試驗；  
右下：土壤－基礎互制行為試驗

圖11.5 土壤－基礎互制行為研究之振動台試驗

本工程特色：

- (1) 臨近海邊，基本上來說是在海埔地上。
- (2) 須維持既有地下鐵及車行箱涵之正常運行。

施工期間：2003年9月9日至2006年3月20日

總工程費：¥3,261,300,000（含稅）

工區平面圖說明(圖12.3)：

工區東側為既有地下鐵 **コスモスクエア** 車站，將既有之雙線車行箱涵（1鐵道+1車行）拓建為（1

鐵道+2車行）之工程。擴建單孔箱涵部份稱之為增築部，長度為208.2公尺；新建三孔箱涵稱之為漏斗部，長度為91.9公尺，總工區長度為300.1公尺。最大開挖深度17.9公尺。

地形、地質概述(圖12.4)：

現地位於大阪市北港地區，地表高程約5.1~6.2m，地勢平坦，為填海造地產生。本新建箱涵工程深度位於地表11m~17m左右。

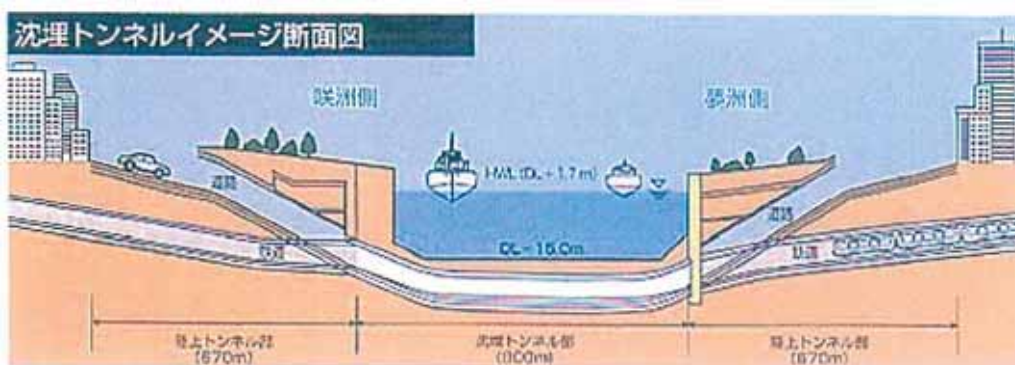


圖 12.1 地下鐵北港科技港線剖面圖

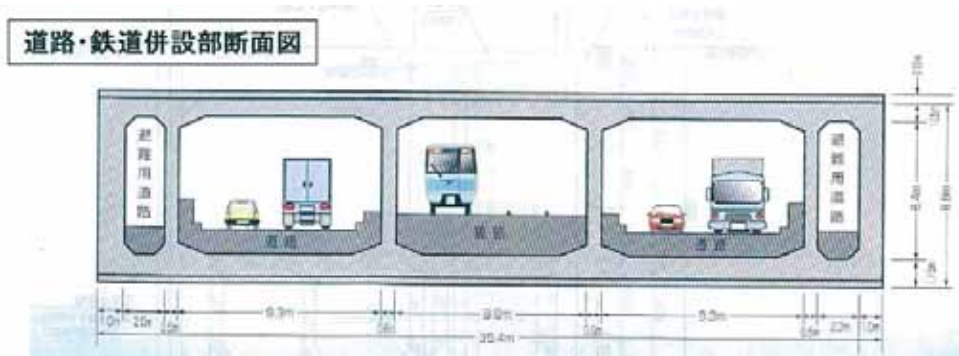


圖 12.2 地下鐵增設箱涵圖

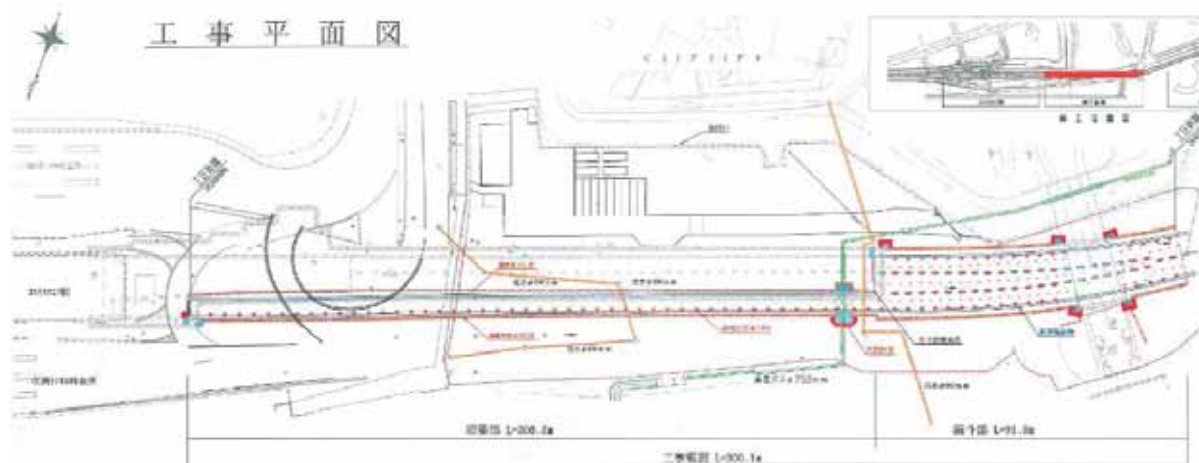


圖12.3 工區平面圖說明

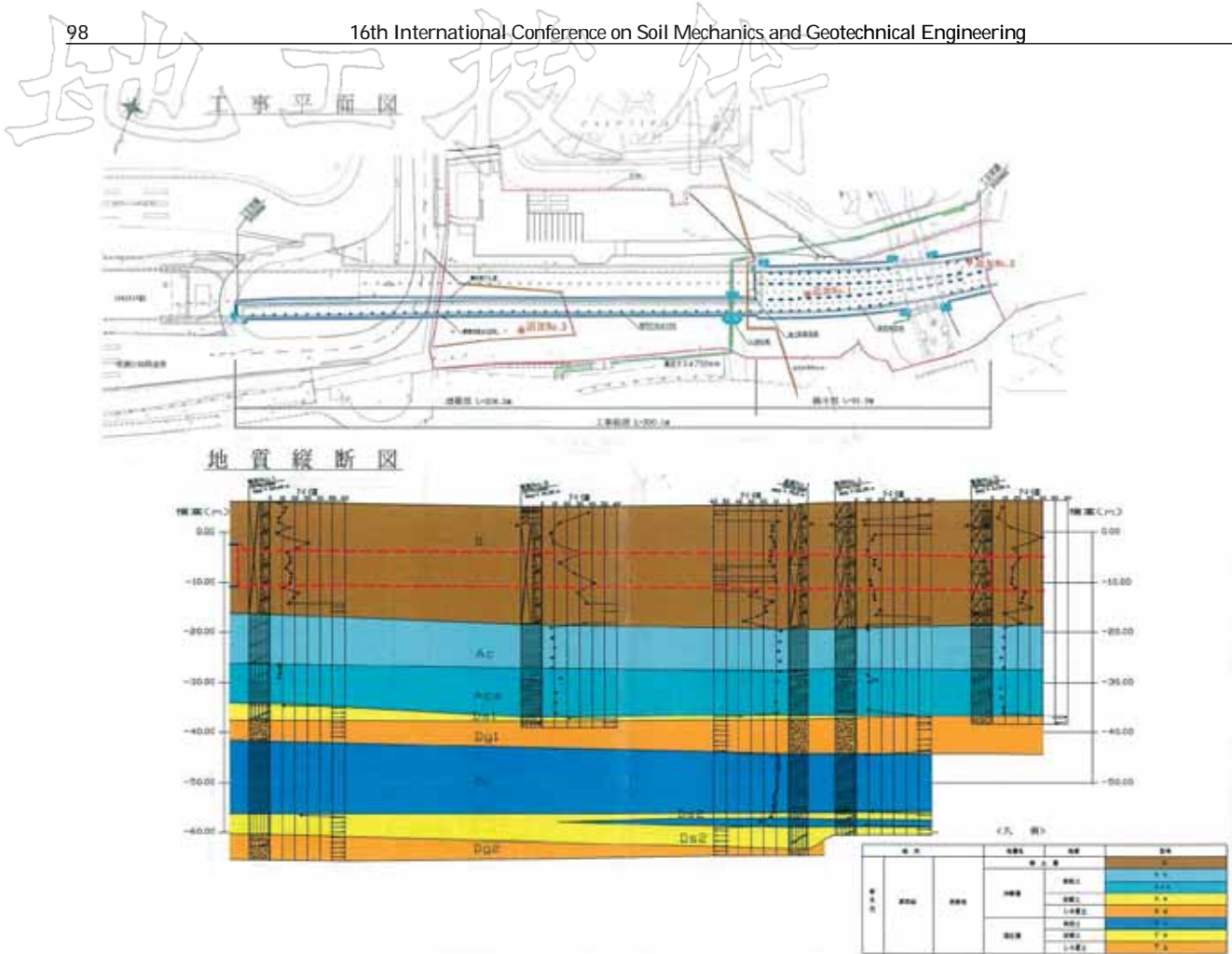


圖 12.4 工區平面及地質剖面圖

地表下0~24m為埋土層，也就是填海造地層，N值介於8~60之間，在接近回填層底部應屬礫石層，其N值皆大於60。其下為第四紀更新世沖積層及段丘層，由上而下總共有7個次層。地表下24~42m為粘性土，屬不透水層，本區之擋土措施設計貫入此粘土層以避免地下水（或海水）影響。地表下42m以下為砂粘土及礫石互層，砂層厚度介於1m~4m。地表下44~50m為礫石層，其N值皆在50以上，厚度約為6m。

擋土措施說明(圖12.5)：

(一) 增築部

增築部之開挖寬度為7.65m，開挖深度為17.2m，採型鋼內支撐系統，不設中間樁。擋土壁在左側為直徑1m之鋼管樁，L=34m。於右側，因作用於既有箱涵上方，故採用鋼版樁VL型，於既設箱涵接合處採藥液地盤改良方式處理(圖12.6~12.8)。配合開挖作業之進行，原來直徑1.2m之鋼管樁須配合逐階切除。開挖支撐系統總

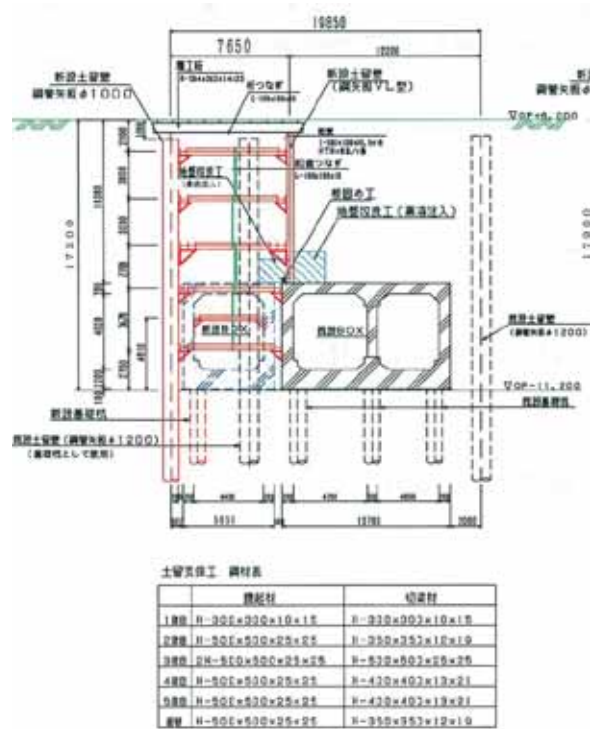


圖 12.5 擴建部份之斷面圖

# 地工技術



圖 12.6 鋼管樁開挖支撐照片

共有分五階開挖，以及五階支撐。配合箱涵施築另有一回撐。為增加底部支承力，於箱涵底下另有設置基礎樁。支撐及橫擋之型號如下表示所，最大應力發生於第三階支撐，第三階支撐為H500x500x25x25，橫擋為2H500x500x25x25。

## (二) 漏斗部(圖12.9)

漏斗部之開挖寬度為20.85m，開挖深度為17.9m。擋土壁採直徑1m之鋼管樁，長度為35m。配合開挖支撐採用三排中間樁。開挖分五階段進行，最大應力發生於第三、四階，其支撐型號為H500x500x25x25，其橫擋型號為2H500x500x25x25。



圖 12.7 擴建部份左側為新建鋼管樁；右側為鋼版樁

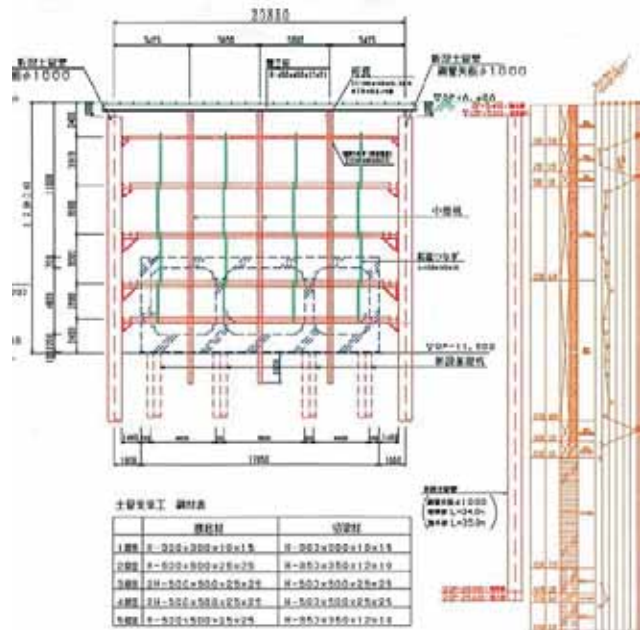


圖 12.9 新建部份之斷面圖



說明：鋼管樁間之止水係採用灌漿管由鋼管樁T型接頭部份由下往上灌，可充分確保灌漿之品質。

圖12.8 鋼管樁接合詳圖及灌漿止水處理

## 監測系統(圖12.10)：

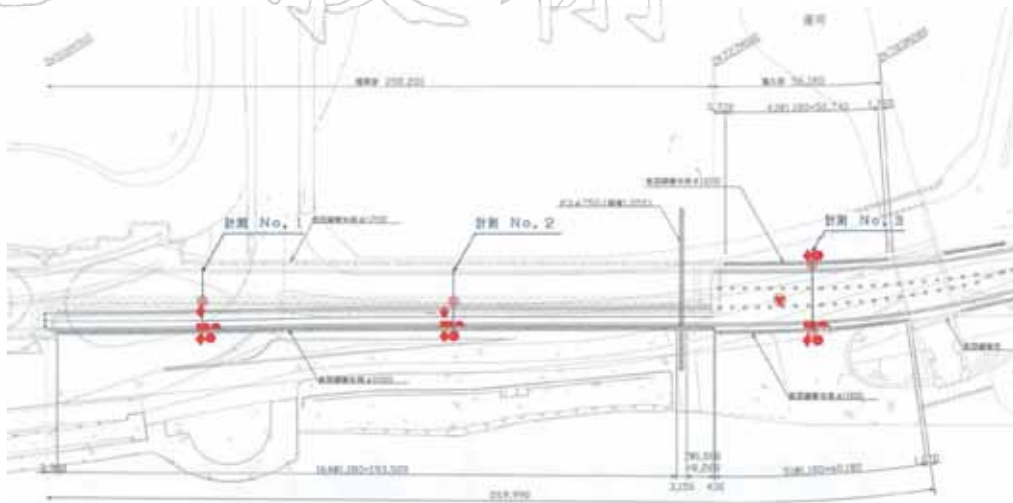
本工程總長度約300公尺，總共設置有3組主要計測斷面，在增築部2組，在漏斗部1組(圖12.10)。

## 參觀心得與討論：

本次參觀前田建設所承包之工地，由參觀行程之安排以及接待人員之用心可充份體會日本營造廠對於工地之用心。

本工程與目前興建中之高雄捷運CO1標之工址現況類似，包括鄰近海邊、高地下水位等，如何在此施工條件下確保開挖擋土壁體之止水性，使用鋼管樁是一良好的選擇，相關之施工技術可做為類似工程之參考。

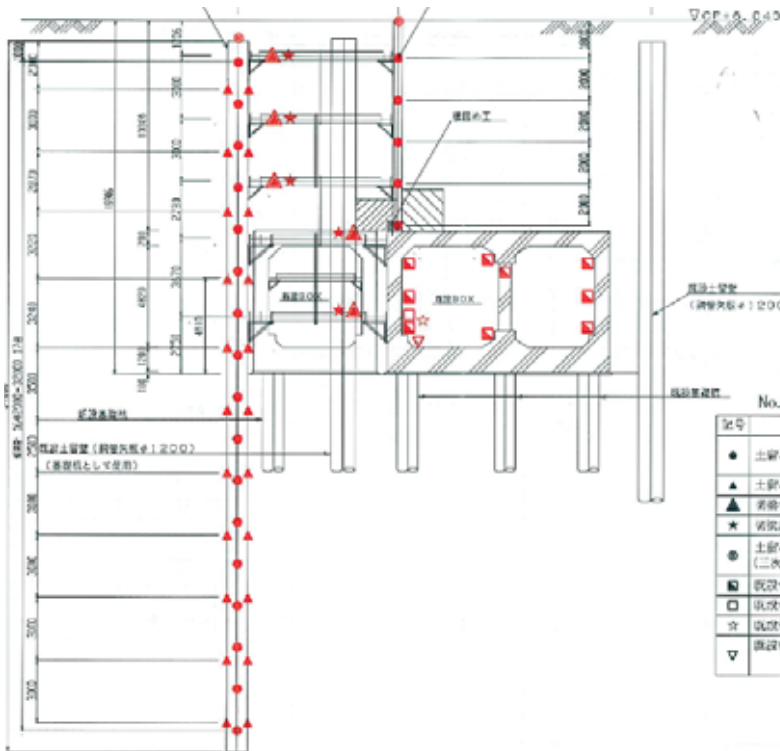
# 土工技術



凡例

計測対象	測定項目	計測器	数	記号
山留壁	鋼管	変形測定 差動トランス式固定型傾斜計	鋼管矢板 17深度×1台×4箇所 = 68点 鋼管矢重 4深度×1台×2箇所 = 8点	◆
	矢板	応力測定 差動トランス式ひずみ計	11深度×2台×4箇所 = 88点	●
	壁頂部	変形測定 三次元測定器	No.1,2-各2ポイント No.3-2ポイント	◎
支保工	軸力測定	差動トランス式ひずみ計	5段×2台×3箇所 = 30点	■
	温度測定	白金抵抗式温度計	5段×1台×3箇所 = 15点	▲
掘削地盤	地中鉛直	差動トランス式層別沈下計	4深×1台×1ヶ所 = 4点	▽
	変位測定		不動点 1ヶ所 (G.L.-70m)	✦

圖 12.10 監測系統平面圖



No. 2断面 凡例

記号	計測項目	計測器	数量
◆	土留め変形計測	差動トランス式固定型傾斜計	鋼管矢板 17台 鋼管矢重 4台
●	土留め応力計測	差動トランス式ひずみ計	11台×2(11×0.5)=22台
▲	鋼管軸力計測	差動トランス式ひずみ計	5段×2台=10台
★	鋼管温度計測	白金抵抗式温度計	5段×1台= 5台
◎	土留め変位計測 (三次元平面計測)	三次元光學測定器	2台
■	既設構造物傾斜計測	差動トランス式固定型傾斜計	3台
□	既設構造物断面変位計測	高精度非接触型固定型変位計	1台
▲	既設構造物断面温度計測	白金抵抗式温度計	1台
▽	掘削地盤三次元変位計測 (手動計測)	三次元光學測定器	1台

圖 12.11 監測系統剖面圖 (No.2 増築部)

# 地工技術

## 十三、綜合心得與誌謝（龔東慶、林晏吉、盧之偉、李嶸泰、魏佳韻、熊彬成）

筆者感謝地工技術基金會此次願意提供經費，補助十一名年輕工程師和研究人員參加大地工程界最盛大的國際研討會，藉由實際參與研討會的議程和工地參訪，相信除了瞭解最新的研究成果，也能學習到新的施工技術發展，同時可以認識許多國際友人，加強國際間學術以及文化交流，這個經驗絕對不是光用錢就可以買到的。與會期間看見大家求知若渴地到處參加議程，以及不時地討論會議論文發表的成果，比起之前參加的國際學術研討會，台灣與會人員屈指可數的情況，心中真的是充滿喜悅，台灣要走入國際不能只是口號，人人都有責任，相信地工技術基金會這個創舉只是個開端，我們這十一人要成為種子部隊，學術界要努力做研究，多發表論文以及參與國際事務，建立學術交流的基礎，工程界的也要將有價值的工程案例和技術提供出來，希望可以略盡一己之力，讓台灣可以在國際間發聲發光（龔東慶）。

邊坡穩定及地層滑動是一個相當大的研究議題，本人有幸能參加此次會議且聽取這麼多來自世界各地之專家學者，對此議題發表寶貴之研究成果，著實感動；亦有幸能在有生之年認識這麼多優秀的國內外大地精英，深表欣慰。在此，除了要感謝財團法人地工技術研究發展基金會之熱情贊助外，更要感謝富國技術工程股份有限公司之栽培、陳斗生博士及田永銘吾師之教誨，最後要感謝的是家人對我的支持（林晏吉）。

筆者很榮幸能在這次的國際研討會中見到國內外著名的學者專家們，以前可只能在書本上或是國內外期刊雜誌上聽過的名字，這次筆者很榮幸地能與這些學者專家們見面，有時可以握到手寒暄交換名片，有時甚至運氣好可以坐在他們身旁聽演講或用餐。當然，能和幾位優秀的年輕工程師變成朋友是更值得高興的事，藉由這次的在日本共享甘苦的情誼，我想這份友誼會很特別的。最後，感謝國立高雄第一科技大學營建系之栽培、感謝大地工程學會的推薦能給予筆者機會參加這個國際盛會和感謝財團法人地工技術研究發展基金會之部分經費贊助（盧之偉）。

本次的日本行，地工技術研究發展基金會對於

台灣大地界之貢獻很大。除了對於組團協助之外，還對在學的博士生、年輕工程師進行協助，鼓勵大家走出去參與世界性的會議。這次會議共有近一千六百人參加，在地工技術研究發展基金會的號召下，我們台灣是第三大團，可說是不容易的一件事情。在日本時，也受到地工技術研究發展基金會的餐宴招待，在此一併感謝。感謝 貴會提供如此好的機會讓我可以參與此一地工界的盛會，並感謝 貴會給予補助與各項事務之協助。此行我可說是獲益良多，相信一同參與的台灣地工界前輩們也是一樣吧。（李嶸泰）

這次的行程，是筆者踏入職場以來所參加的第一場國際研討會，雖然在國內亦曾參與舉辦過國際研討會，但是，由舉辦單位轉換至實際出席單位的感覺是差異很大的，所學習到的地方也有很大的不同。所以非常感謝本公司（台灣營建研究院）給筆者這個機會參與此次的國際盛會，使筆者可以有機會跟隨著台灣大地工程界產、官、學各界的資深大老同行前往大阪，因為除了在會場的演說過程中可以吸取國際間之研究成果外，透過平日與各國與會同仁的溝通與交流，更可以隨時隨地獲取這些前輩的過往經驗累積，然這些收穫是無價的。另外，很榮幸這次的行程筆者可以獲選大地工程聯盟的贊助名額，也非常感謝大地工程聯盟舉辦這樣的選拔活動。因為透過這樣的活動，讓筆者可以接觸到位處台灣各地之新生代優秀的大地工程師，透過這次的參訪行程，除確實將大會的相關資訊帶回台灣外，在大家的團結分工下，亦可將大家所學專長進行交流，期許未來亦能多舉辦相關的活動，使台灣大地工程在大家的努力下，能早日登上國際的舞台。（魏佳韻）

此次青年團能夠順利成行，並且獲得豐碩的成果，除了感謝大地工程聯盟所屬各單位的推薦以及地工技術基金會的贊助外，還得感謝以下單位與個人的協助：

Dr. Jan Hellings

日商前田建設株式會社

台灣觀光協會大阪辦事處王沁柔小姐(熊彬成)

註：本文係由總編輯林三賢教授摘錄作者群參加16ICSMGE心得報告之精彩內容整理而成。文章內容除作順序調整及刪減少部份文字、圖、表以符合本期篇幅之要求外，均忠於作者原著。