

導報灣港



季刊 No.55

要 目

- ❖ 和平工業區專用港施工概況介紹
- ❖ 美國住宅型海岸結構物設計理念簡介
- ❖ 密建於日本瀨戶內海聯通「越智諸島」的跨海橋樑群
- ❖ 921 地震台中港 1 至 4A 碼頭液化潛能與碼頭穩定性分析
- ❖ 金門水頭建港海象條件
- ❖ 淺談丹麥與瑞典間新建海底隧道

中 華 民 國 九 十 年 元 月 出 版

目 錄

一、和平工業區專用港施工概況介紹 -----	1
陳吉紀 宇泰工程顧問公司總經理	
陳森河 宇泰工程顧問公司協理	
張文欽 宇泰工程顧問公司副理	
二、美國住宅型海岸結構物設計理念簡介 -----	10
葉曙純 國立成功大學水文中心副研究員	
三、密建於日本瀨戶內海聯通「越智諸島」的跨海橋樑群 -----	15
陳文樹 交通部郵政研究所研究員	
四、921 地震台中港 1 至 4A 碼頭液化潛能與碼頭穩定性分析 -----	18
賴聖耀 港灣技術研究中心副研究員兼組長	
五、金門水頭建港海象條件 -----	30
沈建全 國立高雄海洋技術學院副教授兼系主任	
六、淺談丹麥與瑞典間新建海底隧道 -----	39
陳正和 前省府交通處技正	

和平工業區專用港施工概況介紹

陳吉紀 宇泰工程顧問有限公司總經理

陳森河 宇泰工程顧問有限公司協理

張文欽 宇泰工程顧問有限公司副理

一、前言

和平工業區專用港設置之目的，主要在於肩負起和平工業區內之水泥廠及和平 IPP 電廠之原物料與成品之對外運輸問題，本專用港規劃之營運量為需滿足年產 1300 萬噸之水泥製品輸出與其所需之燃、副料(鐵渣、石膏…等)輸入，與額定 132 萬仟瓦之和平 IPP 電廠所需之燃煤輸入，總吞吐量至少可達每年 1900 萬噸。為因應和平工業區與和平 IPP 電廠之整體開發時程，規劃第一期全部建港工程需於三年半內完成，即預訂於 86 年下半年開工，90 年初完工正式啓用營運。

和平工業區專用港自民國 85 年 10 月奉經濟部核定同意開發，嗣經行政院於 86 年 6 月劃定港區界限範圍後，整體投資興建計畫方正式起跑。同年 7 月和平工業區專用港實業股份有限公司(以下簡稱和平港公司)，開始著手邀請國內外知名營建廠商，浚挖廠商..等，進行本專用港建港工程之邀商招標作業，同年 9 月底正式決標動工興建。

由於本專用港港區範圍侷限，

致船席數有限、且進港船型亦受港區限制無法提昇，故規劃作業時即採用高度自動化作業之裝卸輸儲系統，以提高作業效率與碼頭使用率，降低因船席數與船型限制之影響。也正因採用自動化裝卸輸儲作業，第一期工程雖預訂三年半之整體建港時程，然扣除相關裝卸設施、輸儲設施…等機械設備與電氣設備之組裝、配置與試運轉，實質上可用於港灣主體設施土木工程部份已不足三年。

故如何在短短三年內，將一面積達 158.8 公頃之工業專用港從荒蕪之灘地轉變為可供 7.3 萬噸煤輪安全進港之國際港口，自細部規劃起，就該將設計、施工、土木機電界面整合、與營運時程…等詳加考慮，以符合計畫時程之要求，故就港區規劃、工程設計、乃至施工監造…等，均是一項極為嚴苛之挑戰。

和平工業區專用港之興建堪稱順利，自 86 年 9 月底開工以來，所有港池水域、外廓防波堤、碼頭…等港灣主體已於開工後二年半內(89 年初)全部完成，碼頭與後線之

相關卸運設備與輸儲設施亦於89年10月完成裝設與試運轉作業，整體建港工程如預定期程於三年半內完成，預計90年初開始正式啓用對外營運。

本文僅針就和平工業區專用港之第一期港灣主體工程部份，依其工程內容、施工工法、機具與特性、施工過程…等，作一簡要概述，並探討和平工業區專用港港灣主體工程於二年半內完成之主因，期與國內港灣工程界分享相關經驗。

二、專用港第一期主體工程

本專用港計分兩期開發，第一期係以滿足工業區內現有台灣水泥公司投資興建之水泥廠及和平IPP電廠運量需求。第一期工程主要包括：全港區之航道泊渠水域、外廓防波堤、港區所有公共設施與營運管理中心、5席碼頭及其後線之裝卸輸儲設施…等。至於第二期工程則視工業區內開發狀況，依實際開發設廠時程與需要再行擴建所需碼頭與裝卸輸儲設施。

第一期工程中港灣設施主體工程中土木部份，主要分為港池水域浚挖工程、外廓防波堤工程、碼頭及護岸工程等三大類，總計於此三大類工程中，使用各式消波塊近5萬7千個、鋼筋近5萬公噸、大尺寸鋼棒近20萬公噸、各式混凝土澆置近70萬立方公尺、各式塊石拋放近90萬立方公尺。

以下僅針對各類工程之主要內容、工材數量與施工特性…等分

別說明於后：

(一)港池水域浚挖工程

由於本專用港港址位處和平海域，海底底床陡峭，無法依傳統建港方式以築堤填地取得港池水域與港區用地，所有港池水域係採內挖既有灘地取得，港區範圍總面積達158.8公頃，其中港池水域佔104.3公頃。總計港池水域部份（主航道、迴船池、泊渠…等）總浚挖量超過1,700萬立方公尺，浚挖深度港池部份最深達EL.-20m、防波堤基礎則逾EL.-40m。

倘再計入碼頭工程與外廓防波堤堤身基礎之浚挖量，本專用港之總浚挖量將近2,000萬立方公尺。

(二)外廓防波堤工程

本專用港外廓防波堤堤頭延伸入海雖僅約60m長，其堤頭水深卻已近EL.-15m，防波堤結構之堤趾基礎水深更達EL.-40m。預計施築全長2,116m之防波堤設施，其中北外防波堤全長1,090m、南外防波堤全長885m、南北內堤全長141m。

南北內堤採沉箱合成堤結構外，分別由三座20m(B)×22m(L)×13m(H)及兩座20m(B)×22m(L)×16m(H)沉箱組成。南北外防波堤均採拋消波塊堤結構，堤心消波塊重量10T及40T，覆面消波塊則有10T、40T、50T、61T、70T不等，總拋放數量超過57,000個。其中重型消波塊與高比重消波塊(50T

型Dolos消波塊、比重 2.3t/m^3 、 2.8t/m^3 、 3.2t/m^3)數量更近20,000個，堤身塊石拋放量近66萬立方公尺。

(三)碼頭及護岸工程

和平工業區專用港第一期工程共計興建五席專用碼頭、長120m之港勤碼頭及980m長之消波護岸，共計使用鋼筋約4,000公噸、各式混凝土約58,000立方公尺、拋放塊石約24萬立方公尺、打設800mm ϕ 之鋼管樁共近1,200支、打設長度全部近43,000公尺。

第一期工程中興建之碼頭計有N2卸煤碼頭長300m、水深EL.-16m，供7.3萬噸煤輪靠泊，其上設有2部1,600TPH之連續式卸料機(CSU)，及一條3,300TPH之輸煤帶、轉運塔與其相關輸儲設施。

S1重件碼頭長120m、水深EL.-11m，供電廠及水泥廠建廠時所需重件運輸船靠泊，碼頭面版部份區域荷重設計達 20t/m^2 ，以利重件及其重型運輸車輛使用，俟建廠完成後，S1碼頭可轉供萬噸級船舶卸靠作業。

S2多用途碼頭長220m、水深EL.-13m，可靠泊3萬噸船舶，其上設置1,000TPH之移動式水泥裝船機與卸料機各一部，及輸送帶與輸儲設施，可供水泥裝船輸出或燃副料卸運作業。

S3、S4則為水泥專用碼頭，分別長220m及200m、水深EL.-13m及EL.-12m，靠泊3萬噸以下

之水泥專用船，為一專用碼頭設計，其上各設置一部1,000THP之固定式水泥裝船機，供水泥專用運輸船於此裝運水泥西運。

除港勤碼頭採重力方塊式結構外(水深EL.-6m)、其餘五席碼頭均採鋼管斜樁棧橋式碼頭，以提高碼頭之耐震性至 $K_h=0.20$ ，其中S3、S4水泥專用碼頭則採離岸樁叢式結構，以節省碼頭建設費用。

三、工程面臨之困難與挑戰

本專用港工程除了時程緊迫之壓力外，更面臨地質條件不良、海象條件嚴苛、及外在因素干擾(環保問題、漁民抗爭……)等之困難與挑戰。

(一)時程壓力

就私人投資興建之產業而言，時間成本在財務分析上可能遠高於初期投資成本，本專用港工程依投資業主之整體需求預定自86年下半年度開工，三年半完成第一期整體建港工程，90年初正式啓用對外營運，就一個從無到有之國際港口而言，時程可謂緊迫。

投資單位與規劃設計單位除加快相關計劃送審之腳步外，從環評審查、開發計畫審核、建照(開發許可)申請、細設作業、招商邀標作業……等各階段作業，儘量採平行化且同步化之作業方式進行，以節省時效。並於計劃開始之初，配合水泥廠及電廠之興建時程，擬訂一整體建港計劃時程控管網圖(PERT)

，嚴格控管各階段作業之工作進度與時程。

施工階段更要求承包商於進場施作前，擬訂一系列之整體工程施工計畫、單項工程施工計畫、施工網圖、品管計畫…等，經與設計監造單位及業主間充份溝通修正後，據以嚴格執行及控管工程進度與品質，利於監造單位定期控管工程進度與品質，必要於進度落後時，要求承攬廠商提出趕工計畫或緊急應變計畫，以攢趕工進。

(二)地質不利因素

本專用港港址為和平溪出海口三角洲，屬高灘地，依計畫開始之初進行之地質鑽探資料顯示，港區土層多屬粗砂夾雜卵礫石、卵礫石含量可達40%以上、直徑達30cm以上者更常現於港區。於此地質進行建港工程已非易事，更需於二年半內完成超過2,000萬立方公尺之全港區浚挖工作，經國外數家知名浚挖廠商評估實屬困難且費用甚高；此外在卵礫石土層欲構建深水碼頭，國內港灣工程亦屬罕見。如此不利之地質因素，都為設計與施工單位能否如期完成本建港工程帶來莫大之壓力與挑戰。

浚挖工作面臨之困難，主要以加大施工機具能量及增加施工機組與工作面來完成，由施工效率較高之陸上浚挖機具負責進行港池水域之上半部之浚挖工作，並配合地下水位與潮汐，加長浚挖機具之浚挖深度，以達最大效率。另以自航絞

刀抽吸式挖泥船、及定位抓斗式挖泥船配合受泥船，負責港池水域下半部之浚挖工作。

至於深水碼頭構建面臨之困難，除了要兼顧耐震性、經濟性、結構荷重…外，更需考慮對港池水域靜穩度之影響。設計之初即捨棄易反射波浪之重力沉箱式碼頭結構，而以具消波能力之棧橋式結構為主，惟鋼管樁之打設能否成功是設計上需考量之處，故於設計斷面評估時，即進行鋼管樁之試打(800mm ϕ 、長50m)與載重試驗，以確定於此地質進行鋼管樁打設施工之可行性與基樁承载力。

(三)海象條件嚴苛

本專用港位於台灣東部，每年6-9月常受颱風侵襲，11月至隔年2月則為東北季風期，全年可供海上船機作業之天數有限，依觀測之海象資料評估，全年可供沉箱拖航安放施作及海上消波塊吊放之工作天數已不足二個月，海上作業工作天數明顯不足。

外廓防波堤堤身位於近灘碎波區，即使堤頭水深已近EL.-15m，然離灘線不足100m，波浪碎波引致之強烈波流、對於施工船機之安全威脅甚大，尤其是大型浚挖與消波塊吊放施工船機，於近灘區工作危險性更是加高。加以和平海域底床沖刷嚴重，防波堤基礎開挖後不旋踵即又回淤，更加深防波堤基礎施工之困難性。

為克服此一先天不利之因素，

除以大型海上施工船機增加施工能量與效率、及在各海上施工船機配置差分式衛星定位系統(DGPS)，精確掌握施工位置及精度、浚挖位置與深度外外，更由業主、監造單位、承包商密切配合，於完成基礎開挖後，旋即進行水深檢測工作，檢測無誤後立即進行塊石拋放與消波塊吊排工作，降低回淤造成施工之不利影響。

至於颱風影響方面，本專用港工程開工之初，即由承商擬訂一套防颱計畫，經與設計監造單位、業主充份溝通檢討後修正施行，期將可能面臨之颱風災損降至最低，減少業主之損失。

(四)施工場地侷限

扣除港池水域面積，實際上本專用港陸域土地面積僅約54.5公頃，以此有限之面積要容納浚挖施工機具、碼頭施工機具與材料、工程人員辦公與生活區、各式工材堆置場與機具維修廠、塊石臨時堆儲場、及高達數萬個之各式消波塊之臨時堆置與養護場，就工程界面之協調與工作場地之安排，確實為監造單位及業主帶來另一方面之困擾與難題。

為降低界面整合之困難度，特將港灣主體工程分為三大主標，第一標主要負責港池浚挖及外廓防波堤施作，第二標負責製作各式消波塊供應第一標所需、第三標則為碼頭工程。如此可減少同一時間內施工場地內之承包商數量，降低土地需

求及個別承商動員機具與人力之費用；且更藉由嚴格控管外廓防波堤施工進度，來達到減少消波塊堆置場與養護場之大量土地需求。

(五)外在因素

本專用港高達近2,000萬立方公尺之浚挖土方棄置與能否再利用問題，不僅攸關建港開發成本，也與建港成敗息息相關。規劃階段即研擬數種解決方案，包括回收再利用（廠區填方、篩選砂石建材…）、港區南側人工養灘、海拋…等方式。惟施工時人工養灘與海拋作業之相關審核管理單位與法令皆未完備，加上漁民抗爭，環保因素…等，皆使本專用港工程開工後之浚挖土方處理產生難題。於克服種種法令限制、降低環境影響衝擊、及與漁民充份溝通協調後，將浚挖土方用以養灘及海拋數量大幅減少，增加土石資源回收再利用之數量，使得本工程得以順利進行。

然施工期間仍有因土方堆置問題尚未解決，而將2、3百萬立方公尺之浚挖土方暫時堆置於電廠預地定之情況發生，雖增加二次搬運所需費用，但相較於獲得3、4個月工期，就時間成本而言，仍屬值得。

四、施工概況

(一)港池浚挖工程

港池水域浚挖工程分為陸上及水下兩種，分界點概為EL.-8m(實際分

界依地下水位及潮汐而定)。陸上挖方概分兩層，在地下水位以上者採大型挖溝機(PC1000型，挖斗 4.3 m^3 、作業能量可達 $400\text{ m}^3/\text{hr}$ 以上)配合裝載卡車，將浚挖土方運至堆置場進行資源回收利用，尖峰期時港區各式陸上浚挖機組達15組以上，每月浚挖量可達120萬立方公尺。地下水位以下則採挖溝機加長臂，以增加浚挖深度，惟此時港區內多已形成水域，挖溝機於岸壁施作之效率與能量將大幅降低。水下挖方為EL.-8m至設計浚挖深度，依施工區域之特性採用不同之機具。對於防波堤基礎、碼頭基礎…等較深之浚挖工作，以 25 m^3 及 10 m^3 定位抓斗式挖泥船配置DGPS及受泥船、拖船..等船機進行作業。其中 25 m^3 抓斗式挖泥船最大浚挖深度可達EL.-60m、除負責防波堤基礎浚挖外，並在近灘區兼負主航道之破口浚挖工作，然因受到碎波波流影響及浚挖土方礫石含量過多之影響，其中一部 25 m^3 抓斗式挖泥船於施工過程中嚴重受損。

當主航道已破口且深度足夠時，則由兩艘萬噸級自航絞刀式抽砂船負責港區水域、主航道、迴船池之浚深工作，抽砂船上自備DGPS及相關監測設備，隨時掌控浚挖深度與位置。至於與岸壁相接之修邊浚挖工作，則由較小型之鏟斗式挖泥船負責。

整體浚挖工程自86年10月開始，持續至88年11月底，長達26個月，平均每月浚挖量達75萬立方公尺以上。

(二)外廓防波堤工程

為克服近灘區海上船機不易施工之困境，及縮短工期之要求，外廓防波堤施工時，其塊石拋放與消波塊吊排原則上儘量以採陸上端進法施作，並由德國進口兩部超大型履帶全迴旋式吊車，荷重分別達500T、及300T，配合輪型400T吊車，分別在臨時碼頭進行消波塊裝船作業，及在堤面進行消波塊吊排作業。其中500T吊車其桁架達90m、於吊重50T消波塊時，安全水平吊距為72m，就國內海事工程之施工船機而言，亦屬罕見。

由於陸上吊車吊距及能量提高，可大幅降低海上消波塊之吊放數量，達到縮短工期之目標；至於堤身基礎及深水段之消波塊吊排則以海上吊船負責，海上塊石拋放作業則由傾卸式拋石船進行。

整體外廓防波堤施工作業流程大致上如下：堤身與堤趾基礎浚挖(挖溝機配合抓斗式挖泥船)、堤身塊石回填(供陸上機具臨時施工便道使用)、堤趾基礎塊石與消波塊海拋、堤心消波塊吊排(陸吊及海吊)、覆面消波塊吊排(陸吊及海吊)、堤身混凝土澆置。

至於內防波堤所用之五座沉箱，由於港區水域施工初期水深不足，無法在港內以浮船塢施作，故改以陸上施作，並配合港池泊渠之浚挖，利用千斤頂將空重已逾4,000公噸之沉箱，以推進方式緩緩推入泊渠內，再完成拖航安放作業。

(三)消波塊製作工程

本建港工程50T以上之重型消波塊已近2萬個，為及時提供外廓防波堤施工承包商所需各式消波塊，乃要求承包商提高產能。經與監造單位討論後，採國內首見之生產線輔以蒸氣養生製作，兩條生產線共配置50組50T型Dolos消波塊模具，每日最大產能可達50個重型消波塊。

50T型Dolos消波塊每個高達5.7m，重量更依不同鋼筋籠配置可達50T、61T及70T，鋼筋籠吊放組裝及成品之吊離模具均非易事，故為增加吊放速度，每個消波塊上增設四組德國製DEHA快速吊件，取代傳統鋼索捆綁施工不便、易造成混凝土表面破損，及吊筋強度勘慮與不易拖鉤之缺點。為控制蒸氣養生強度，承包商於廠房甫生產之際即敦請國內知名專家學者赴廠指導，並每日製作試體配合蒸氣養生，試體於隔日經試壓強度足夠後，消波塊方得以吊離工廠，運至臨時堆置場堆置。

另為提高生產效能，70T重型消波塊之組裝由原設計之16支小尺寸鋼棒組合（22cm*22cm*450cm、1.7t/pcs）、提高至8支大尺寸鋼棒（33cm*cm*450cm、3.8t/pcs），降低組裝支數，並採廠外模組化組裝方式，減少廠房內電焊與組裝作業時間，以提高產能。

(四)碼頭工程

本專用港碼頭工程最大之挑戰在於鋼管樁之打設，由於地質因素較為不利，鋼管樁打設可能遭遇到之地下障礙物無法事前預知，對碼頭工程之工進充滿著不確定性影響。施工期間曾因遭遇地下直徑達3m以上之石塊，使工程停頓約二週用以排除此障礙。

於監造單位、設計單位及承包商配合下，當鋼管樁無法打設至預訂設計深度時，設計單位立即判斷是否廢樁、拔除重打、或補樁處理，業主彈性且充份授權尊重專業之評估作業，使得碼頭鋼管樁之打設雖多次遭逢地下石塊之阻礙，均能迅速解決，不致延宕工期。

五、如期完工主要因素探討

本專用港港灣主體設施之建設工程能如期於89年底完成，其主要原因可歸功於以下幾點：

(一)規劃設計得宜

規劃設計階段即充份考量時間成本因素，並對可行之施工方式、工法、機具、數量…等預先探討與分析，配合防波堤、碼頭設計…等相關配套措施，研擬達到縮短工期之可行性。除於設計時採用可大量陸上施工之拋消波塊堤斷面外，另亦採用陸上打設鋼管樁方式，以彌補海上船機施工能量受限之不足。施工時更由業主、設計監造單位、承包商針對港區地質特性與自然條件，可動員施工機具…等研擬出一套合宜之施工計畫與防颱應變計

畫，依預訂計畫施作以收成效。

(二)未逢颱風災損

建港期間除87年遭逢兩次輕度颱風侵襲，局部未完工堤段輕微損壞外，並未遭受重大颱風災損，使得南北兩外廓防波堤得以迅速完成施作。另原設計時即考量東北季風期常時波浪對防波堤施作之影響與便利性，將堤心消波塊由10T提高至40T，抗浪性得以提高，即使未完成覆面重型消波塊吊排之堤段，於東北季風期甚至遭逢輕度颱風時仍具有一定之抗浪性，降低颱風災損。

(三)當地居民溝通協調

為順利排除港區浚挖土方之堆置與海拋問題，開工之初即由業主、設計監造單位、承包商組成團隊，與當地各級政府、漁業單位、漁民、居民…等溝通協調，除大幅減少養灘海拋數量與增加砂石資源回收數量外，並承諾保證全力降低海域污染，每週定期進行檢測海拋區與養灘區外之海水水質，以確保海域生態，取得當地居民之信賴與共識，減少抗爭。

(四)DGPS衛星定位系統之運用

本專用港工程大量運用差分式衛星定位系統(DGPS)，作為水下工程定位與檢測之用，其精度可達1m以內。

所有非自航式之海上浚挖船機均裝設有DGPS，並於分區浚挖前

即完成該分區浚挖深度、範圍與路線之電腦圖檔，由裝設於操作手側方之電腦螢幕顯示該分區目前之浚挖深度與位置，達到精準浚挖之要求。另拋石船亦裝設DGPS，依拋放前擬妥之路線位置圖進行塊石拋放作業，當船隻駛至本次預定拋放位置時，電腦螢幕即顯示該拋放區與預訂拋放數量(船次)，如此可大幅提昇塊石拋放效率與精度。

海上消波塊之吊排船機亦於其吊桿上裝設DGPS，操作手依事前繪製之吊排區位置與數量圖，由DGPS系統導引至吊放區進行吊排動作，提高工程施工品質與精度。

(五)重型陸上吊車使用

外廓防波堤施工時，大量使用重型吊車及機具，提高吊具能量與效率。另為確保陸上吊排消波塊位置之正確性，消波塊吊排施作採分區進行，考量吊車能量、吊距、…等並事先作好吊車停放位置之測量作業，經由電腦程式核算該分區每個消波塊吊排位置之各項參數(如吊距、深度、角度…)，作成電腦檔案供吊車操作手引導之用，吊車操作手只要依其操作面板上之各項數據(如目前桁架伸長高度、角度、迴旋角度、伸距、吊索長度…等)，來決定消波塊之吊放位置，大幅提高消波塊吊排之施工精度。

六、結論

欲於本省東部海域建港本已是極大之挑戰，更何況要在海象條件

惡劣、地質狀況不佳之和平海域興建深水港，且需於短短二年半內完成，更是一項不可能之任務。和平工業區專用港之順利完成除因天時地利人和等因素配合之外，更重要的是，在規劃設計階段即充份考量日後施工之可行性與困難性，進而謀求解決之道，並在施工階段擺脫傳統海事工程之思考模式與作業方

法，大量運用高科技定位系統、高能量與高效率之施工機具、與現代化設備，來達成縮短工期與提高施工精度與品質之目標。除此之外，業主之充份授權、彈性作業與尊重專業作法，亦為設計監造單位、施工承包商能不受阻礙戮力向前之主要因素之一。

美國住宅型海岸結構物設計理念簡介

葉曙純 成功大學水文中心副研究員

一、概述

近年來，由於國民所得大幅提高，以及受到世界潮流的洗禮，國人對遊憩休閒設施需求逐漸殷切，順應週休二日制度逐步成型後，台灣地區依山傍海，卓越的地理條件，未來具有多元化發展遊憩休閒設施的潛力。換言之，上山下海將會是休閒遊憩的主流。早年為配合疆土防禦政策，許多海岸區域列管，即使坐擁廣大面積之海岸土地，開發情形極不均衡。反觀山林資源的開發較早也較蓬勃，例如，不勝枚舉的森林遊樂區與休閒農場等。有鑑於社會、經濟、人口的快速成長與海防之大幅開放，海岸地區已成為我國國土開發中不可或缺之新開發空間，致使海岸空間利用規劃必須滿足更高之期望，海岸結構物的設計即是為了達成最佳的海岸空間設計。

海岸結構物相關研究發展在國內外均有相當長久的歷史，尤其在第二次世界大戰後，因為波浪理論

的發展成熟而有突破性的發展，並且建立具體動力模式提供設計應用之參考，且利用大型實驗室，建立經驗公式，以彌補理論之不足。但縱觀國內在海岸結構物研究發展方向，雖研究計劃均有逐年執行，但與國外比較則顯然起步較晚。而且研究重點也比較偏向海堤對海域環境之影響及其穩定性探討，而比較少探討設計理論及新型海岸結構物之開發。尤其後者的研究，必須配合台灣海岸開發政策與法令。現階段涉及海岸開發之政府機關頗多，各其有職掌，整合性不足，且海岸相關法規紛紜，有待釐清與界定，並不利於新型海岸結構物之開發。

就海岸結構物之設置而言，過去台灣是以防止海浪侵蝕破壞的海堤為主，目的單純只為保護海岸地區生命財產安全。早期海岸防護工法以海堤、護岸、突堤及離岸堤等結構物為主，相關試驗及研究成果相當豐富，同時，颱風波浪推算、近海波浪推算及海岸地形變遷模式等皆累積相當的經驗。如今，海岸

設施乃朝向景觀美化與遊憩行為並重等多功能的親水性設計。因此，設計使人們易於接近海洋之親水性海岸結構物，並探討其力學特性，期能作為相關工程設計之依據，並求解最適當的開發方式。住宅型海岸結構物在「親水」與「防災」兩方面的要求更是比一般海岸結構物來得嚴格，安全經濟之工程設計及符合環境保護規範之要求，遂成為住宅型海岸結構物設計時首要需要考慮的因素。

二、住宅型海岸結構物如何兼顧「親水」與「防災」

「親水」是一個高度概念性的名詞，意指在海岸整治過程中除了安全保護的考量外，可同時兼顧到景觀，且使人們易於親近海洋，包含玩水、釣魚、觀景、散步、慢跑等活動。所以親水性住宅的設計必須兼顧到安全、景觀、「近水」的原則。「近水」可謂縮短與海的距離，亦減少進行遊憩行為所需花費的路程時間。親水性住宅不只探討造型及功能設計等工程力學問題，亦探討住宅與海岸環境之和諧性，亦即考量景觀美化與減少生態破壞等功能，並討論異常天候下，親水性住宅的承受度分析，尤其為了符合「近水」的原則，對波浪所引致之外力對親水性住宅之影響等，都屬其研究的範疇。

美國美國聯邦緊急務管理總署(Federal Emergency Management Agency, FEMA)成立後，為

主掌防救災措施之所有事宜。1968年國會通過「國家洪水保險法案」(National Flood Insurance Program)並在房屋都市發展部內成立一「聯邦保險局」(Federal Insurance Administration)，專管洪水保險及洪氾區管理業務。聯邦保險局負責的防洪保險計畫，提供研究經費，發展減災的工作。1973年國會通過洪災保護法，洪災範圍又稱洪災保險率地圖，作為房屋建造規範與保費計算的基礎，對易遭洪水侵襲之地區的瞭解、確定、規劃、評估，以符合大眾安全與經濟效能的需求。美國聯邦緊急務管理總署(Federal Emergency Management Agency, FEMA)支持許多相關的研究計畫，結合現地工程師的會勘經驗與學術單位研究在理論上的發展，不斷地修正規範，希望能兼顧「親水」與「防災」雙重目的。

三、住宅型海岸結構物的設計理念

台灣位於大陸棚與西太平洋交接處，既有多變性的海島氣候，又受大陸性氣候的影響。且位處西太平洋颱風路徑之要衝，每於夏秋之際，常遭颱風或熱帶性低氣壓帶來狂風暴雨之侵襲。冬季期間又有東北季風引起之長浪。自然而然，具有便利遊客到達海邊從事遊樂，或吸引遊客樂於親近海洋環境等親水性住宅，便受到複雜的海氣象的限制，反觀美國的地理環境，東岸臨大

西洋，南接墨西哥灣，夏秋也免不了颶風或熱帶性低氣壓的肆虐，但住宅型海岸結構物仍不勝枚舉，所以，住宅型海岸結構物在台灣仍有發展的機會，本文就住宅型海岸結構物的材料、施工、安全、工程設計來說明美國海岸住宅的設計理念，同時對照台灣的情況，提出適當的建議。

1. 材料

美國海岸地區之土地利用，以優先保護海岸珍貴資源，維護公共安全，配合環境影響評估制度，選擇不具污染性建材，以促進海岸地區之合理開發利用，而木材是不具污染性的優良建材，也是美國境內可獲取最便宜之建材，無形中也促進相關產業（林業生產、製造、加工、運輸、研發）的蓬勃，也使木材幾乎成了唯一選擇。由於台灣地處太平洋板塊地震帶上，在去年921地震及今年611地震所帶來之災害，皆讓國人已有深刻之體認，其中水泥建材因為無法回收利用或銷毀，損廢的房屋所產生之混凝土廢棄物，造成環境問題，再加上傳統營建使用之土石方工程材料日益短缺下，啓用替代或採用同等功效之材料，則益形重要。港灣構造物中近年也開始走向綠色環保，而木材與其他綠色建材的取得，可從廣泛地蒐集資訊，來取得市場與供應情形，分別由國產與進口雙管齊下。

2. 施工

木製建築(wood-frame buildings)容易施工，所須的施工機具較少，成本較低，落實在工程運用上，工時短自然是一大優勢。

台灣的海況而言，一般可區分為夏季西南季風與冬季東北季風之兩大類型，在夏季從事各項營建工程，尚須考慮颱風之侵襲；而冬季季風大約每年十月至翌年三月，期間風速十分強勁，各項土木工程每有執行上的困難，因此施工天數常是一個非常重要的因素。

3. 安全

美國東岸每於夏秋之際，常遭颶風或熱帶性低氣壓帶來狂風暴雨之侵襲。以安全的考量而言，即使再完整的海岸建築物規範，也不能預期所有的狀況，例如附屬結構物（譬如招牌）的飛落致人於死等等。異常天候下撤離所有人員，才是避免生命損失的方法。美國各州政府建立決策指標，於特殊天候下，強行撤離居民，若有財產損失，由洪水保險分擔損失，清除回收廢棄物後，重新搭蓋便宜、環保、簡易的木造建築。

台灣的海況更加惡劣，撤離才是避免生命傷亡的不二法門。至今對於各項海洋環境調查工作，只有區域性、片面的環境資料調查，導致國內海洋環境背景資料不完整，未能普遍應用於設計理論及新型海岸結構物開發之基礎。因此建議由

政府統籌建立海洋環境背景資料，尤其是自然環境基本資料和海岸現況資料，得定期調查更新，並製訂撤離決策指標（如安全自動化監測系統與安全預警決策支援系統等），以確保安全。

4. 工程設計

海岸住宅是海岸結構物之一種，有高度限制，以一層或兩層獨棟的建築物為主，設計原則因地制宜，尤其是海岸災害嚴重的地區，沙灘受波浪能量和水位的變化，多伴隨海岸侵蝕與暴潮溢淹的問題，將整個建築物架高（見圖一）是最大原則，架高可減少海岸溢淹時的總體受力面積，沒有過多的外力傳遞到主要支撐結構和地基，整棟建築得以保存。尤其台灣地層下陷嚴重，海岸災害發生頻繁，更可以此為借鏡。

除了架高之外，制控附屬結構物的強度，增加利用，是另一個設計重點，許多附屬結構物在平時是使用無虞的，但當風、水、雪等環境外力超過某種程度時，附屬結構物所傳遞到主要支撐梁柱和地基的力量可能會導致主建築物破壞，所以控制附屬結構物的強度，使之在一定的外力下，脫離主建築物，就不會有過多的外力傳遞，而主建築物得以保存。

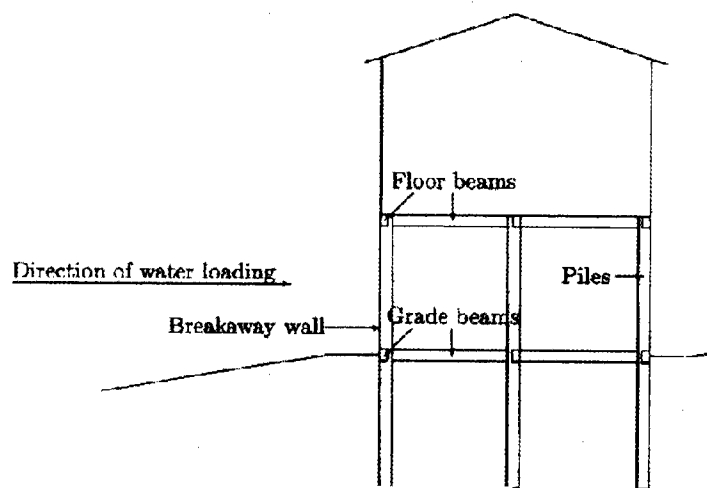
四、結論

因為海況、國情、消費習慣不

同，美國住宅型海岸結構物不見得合適移植到台灣，但是，但設計理念中透露，國外已利用價值工程的關點進行規劃設計工作，不考慮安全係數設計方法。在工程安全及經濟中，加入風險評估因子，從工程建造、風險評估、災損維護及破壞重建間，尋求最適開發方式。此外，海岸開發之工程實例，從生產力、作業性能、維修需求與經濟效益乃採循序漸進之方式，朝著增加生產力、減少勞力、作業安全性、提高品質、加速更新速度之方向邁進。

參考文獻

1. Yeh, S. C., 1997, *Behavior of Breakaway Walls*, doctoral dissertation, North Carolina State University (Raleigh, NC)
2. ASCE Standard, 1996, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, ASCE 7-95. American Society of Civil Engineers (New York, NY)
3. *Coastal Construction Manual*, FEMA-55/February, 1986, Federal Emergency Management Agency (Washington D.C.)
4. *Design/Construction Guide-Residential and Commercial*, 1994, American Plywood Association (P.O. Box 11700, Tacoma, WA 98411-0770).



圖一 美國住宅型海岸結構物是由柱(Pile)"架高"的。一樓是完全沒有遮蔽物的。

密建於日本瀨戶內海聯通「越智諸島」的跨海橋樑群

陳文樹 交通部郵政研究所研究員

「越智諸島」古來即是日本船舶通行往來最頻繁的海域和港灣區，扼瀨戶內海之咽喉，而第二大港——神戶港與另一大港——廣島即是分別位於瀨戶內海之東、西兩端。今越智諸島之間已建竣有多座橋樑，對當地的陸運乃至海運業務俱有直接、間接的顯著裨益。

迄今之千禧年止，日本計有四座用以連結國境四大島（本州、九州、四國和北海道）的跨海大橋，若依其建竣年代來列示係分別為關門大橋、鳴門大橋、瀨戶大橋和明石大橋；另則有連通本州和九州的「關門海底隧道」、連通本州和北海道的「青函海底隧道」。由是觀之，日本的本土國境四大島在人力建設的努力下，早即連為一體了。事實上，除了上述的四座大橋之外，尚有數座建於瀨戶內海之上、用以連接散布於瀨戶內海諸離島的跨海大橋，尤以位於本州廣島和四國愛媛兩縣之間的瀨戶內海西部海域群島最為密集。

這些島嶼係被「安藝灘」、「備後灘」和「燧灘」等三大灘（日文的灘是指波濤洶湧的海面，與中文向稱的海難有別）所環繞，合稱

為「越智諸島」。在以往的封建朝代，屬越智諸島之一的「能島」即因地理條件優適，遂建成有全日本名氣最響亮的「村上水軍」（由領主村上氏所肇建），今之日本自衛隊則在能島駐建有一支武力部隊。

歸屬廣島縣之伯方島、生口島暨歸屬愛媛縣的大島、大三島…等各島間之海域，波浪則較為平穩緩和，諸島並散住有數千至萬餘名以漁撈和漁產加工為主業的居民，其中又以歸屬於愛媛縣的「大島」人口最眾，蓋島上所產的石材自四百多年前就馳名全日本，例如建於東京的國會大廈和赤阪離宮即是以掘產於大島的石材作為主要的建材之一；且因近十餘年來觀光業的興盛蓬發致遊客紛至沓來，工商業逐漸取代了往昔的漁產業，連帶的也亟需來改善其陸路運輸。而要改善陸運，可想而知當然得從加強島際聯通、興建橋樑的營造工程來著手。

在廿世紀、九〇年代之間已有三座大橋建竣於上述的「越智諸島」間，其中以建於來島海峽全長四·一公里，旨在連通大島市吉海町和愛媛縣今治市的「來島大橋」最負盛名，係在一九九九年才全部

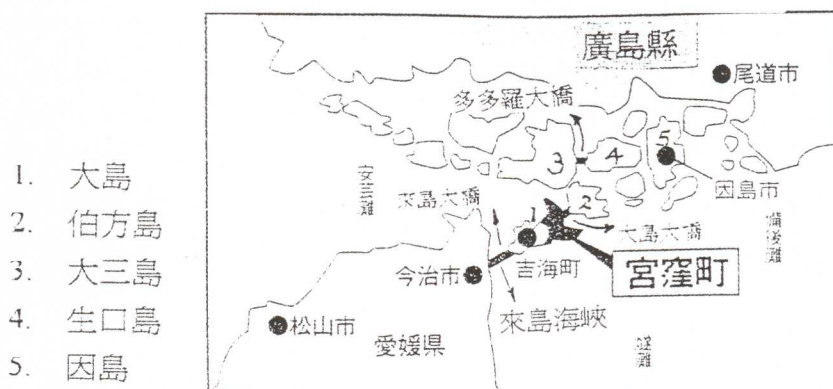
完工。該座大橋實際上是由三座吊橋合組而成，故日本人特稱為「三連吊橋」，誠為舉世首見者。橋樑全線共有六座呈灰色外觀、略似H型但橋頂又增設橫樑補強，高度為二百廿四尺的橋塔，最大的跨距達三百廿公尺；橋面上共有四線車道，有四十六公尺左右的寬度。每一單座吊橋的橋面距離海面皆在五十公尺以上，俾橋面下仍可供豪華郵輪、貨輪、漁船以及自衛隊的艦艇通行，不致妨阻在「越智諸島」間原本就相當發達的海運。橋體外觀亦十分的磅礴闊偉，其橋墩俱是建在島邊的洲瀨沙地上，必須先進行土質改良將周圍鬆軟的沙地錘實再打樁加強土質的固密效果，之後再施工架建橋體。由於三座吊橋的跨距均在五百公尺以上，爰設計為吊橋的型式，因為吊橋型式的橋樑可將其承重力分散至懸垂於橋頂的鋼纜主索再傳至橋墩，乃可有較大的跨距，其它的「大島大橋」、「多多羅大橋」亦皆是吊橋的造型。來島大橋通車後，愛媛縣今治市和鄰近諸市町的貨物也可載運至大島吉海町的「下田水港」來轉運至全日本各地，對推展當地的海運事業也

有甚為顯著的裨益。

建於大島宮窪町和其東邊伯方島之間的「大島大橋」長度約莫三・五公里，主橋係由兩座高聳達一百六十八公尺、呈長腳門字造型的橋塔所搭建，竣工於一九九五年，原是供銜接大島和伯方島兩離島的公路運輸，但是現在則復因上段描述之「來島大橋」的落成，致已得使伯方島直通至愛媛縣了！此外，在「大三島」和「生口島」間亦新建有一座三公里長之「多多羅大橋」，俟將來「大三島」和「伯方島」之間以及自「生口島」往東通至「因島」甚至廣島尾道市的大橋陸續的按計畫興建完工後，則從本州廣島將可駕車經過多座島嶼、多座大橋而直通四國的愛媛縣，如此則是跨越瀨戶內海最長也最多的橋樑線。按照日本運輸省的規劃，此一目標預計可在廿一世紀的前十五個年頭之內達致，屆時座落當片水域的「越智諸島」必可吸引更多的遊客慕名前來瞻仰這一全球罕見的跨海「橋樑群」，此亦是經由公路營造工程而構成，將離島與陸地連成為一體的厥偉浩大建設。



圖一 連接大島宮窪町和東邊伯方島的「大島大橋」



圖二 位於本州廣島和四國愛媛兩縣之間且座落於瀨戶內海之島嶼與橋樑位置圖

921地震台中港1至4A碼頭液化潛能與碼頭穩定性分析

賴聖耀 港灣技術研究中心副研究員兼組長

一、前言

921大地震台中港區4000多公頃中，僅有1至4A號碼頭7公頃多受損較為嚴重，該沉箱碼頭因為地震外移0.5至1.7公尺，碼頭後線作業區及道路發生崩裂、噴砂、凹洞或隆起現象，如照片1所示，緊鄰沉箱碼頭之倉儲棧房地基淘空，機具傾斜，距離較遠的倉儲亦受波及導致糖蜜和化學品外漏、油管和污水等管線塌陷破裂，損失較大。由於1至4A號碼頭地區為抽砂回填區，無地質資料，故本研究於地震災後立即進行現地地質補充調查，並進行液化危害度及下陷潛能及碼頭穩定性等分析，希望對災損原因進行研判，以提供未來港灣地區碼頭設計及維修的參考。

二、碼頭規劃及設計資料檢討

台中港1至4A號碼頭皆屬沉箱重力式碼頭，碼頭面高程均為+6.2m，設計水深分別為1至3號碼頭高程-13m，4號碼頭-11.0m，4A號碼頭為-9.0m，沉箱寬度在16m至18m間，1至3號碼頭碼頭長度均為250公尺，4號及4A號碼頭長度分別為200公尺

及185公尺，沉箱碼頭基礎為厚約1.5公尺之塊石及1公尺厚之卵石基礎拋石。1至4A號碼頭建造於民國65年，根據台中港務局提供之碼頭結構斷面資料如圖1所示，設計資料顯示1至4號碼頭牆背為粒徑10cm以上之卵石，回填料成三角形分佈，回填料坡度約1:1.5接近回填料之安息角，其上加鋪2公尺厚粒徑10cm以下之河床料作為濾層，碼頭基礎浚挖時坡度原設計為1:2，由於開挖完成七天後，坡度即超過原設計1:2，所以施工之坡度修改為EL.0以上為1:8，EL.0以下為1:3.5，因此碼頭基礎浚挖時係分成三層作階梯式施工，分別為1:2，1:3.5及1:8，如圖1所示，其上再以水力回填砂回填作為碼頭後線作業場，根據碼頭基礎竣工圖研判，自沉箱至現有倉儲區亦即921地震發生液化及嚴重破壞範圍內均屬水力回填區。

三、震後地質調查分析

3.1 震後地質調查分析

921集集大地震後，本中心隨即針對台中港1至4號碼頭液化地區

進行荷式錐貫入試驗(CPT)地質調查工作，並研判該區土層特性進而分析液化潛能。本次調查位置為1至4號碼頭之後線第一線(距沉箱約17公尺)、第二線(距沉箱約42公尺)及後方道路中心線(距沉箱約57公尺)等3個斷面，各個碼頭為3個試驗孔，共計18孔，如圖2所示。調查結果如下：地表下約可分為兩種粉土質細砂層，一為疏鬆之水力回填砂，其 q_c 值約為25~50kg/cm²，另一為較緊密之原沖積土層，其 q_c 值約為50~200kg/cm²。

3.2 現場災害與鬆軟土層分佈之關係

現場災害有下陷、噴砂、崩裂、凹洞；鬆軟土層之分佈，如圖3至圖6之土層分佈圖。現場災害與鬆軟土層分佈之關係，概述如下：

- 1.由圖4可知，1至4號碼頭之後線第二線疏鬆土層之分佈：1號碼頭較厚，往1-2號碼頭交界漸薄，往2-3號碼頭交界最厚，又往3號碼頭中心漸薄，至3-4號碼頭交界附近又變厚。此可說明碼頭之後線第二線下陷及大坑洞之分佈：1號碼頭坑洞、2號碼頭近2-3號碼頭交界處之大坑洞、及3-4號碼頭交界處之下陷及大坑洞？
- 2.由圖5可知，1至4號碼頭之後方道路中心線疏鬆土層之分佈：1號碼頭最厚，往3號碼頭中心漸薄，往3-4號碼頭交界又變厚。此可說明1號碼頭鐵道及3-4號碼頭交界附近鐵道，為何有大面積之液

化噴砂？

- 3.由圖3及圖6可知，碼頭後線第一線、第二線至後方道路中心線之疏鬆土層分佈：碼頭後線第一線最厚約12-14m，往第二線至後方道路中心線漸薄。此可說明：為何碼頭後線第一線下陷量較大及大坑洞較多？除了因碼頭外移增加下陷量，少量滲漏產生坑洞外，12-14m厚之疏鬆土層亦為重要因素。

四、液化潛能評估

4.1 液化潛能之評估方法

本文分別以Shibata & Teparaksa (1988)所建立之液化臨下限及Olsen (1997)、Robertson & Wride (1997)所建立之液化潛能曲線及賴聖耀 (1999)所建立之液化潛能判別模式，及港研中心液化機率評估法，作為CPT評估液化潛能之依據。

4.2 液化潛能評估結果

台中港1至4A碼頭距離921地震之震央約55公里，根據中央氣象局提供921地震之資料，另本中心根據926之實測資料，推估台中港區921主震時之可能PGA值為160 gal。

本文以本次地質調查之18孔電子式水壓錐貫入試驗(CPTU)為評估地震引致液化之分析依據，其液化潛能分析結果，分為碼頭後線第一線即A-A斷面、第二線即B-B斷面及後方道路中心線即C-C斷面

等3個部分討論：

以安全係數比較：後線第一線最低，第二線次低，後方道路中心線較高。以液化機率比較：後線第一線最高，第二線次高，後方道路中心線較低。以液化土層深度比較：後線第一線可能液化之土層最厚，其可能液化土層約為地表下2.8~14m，後線第二線可能液化之土層次厚，其可能液化土層約為地表下2.8~12m，後方道路中心線可能液化之土層最薄，其可能液化之土層約為地表下2.8~10m。

4.3 液化危害指數 (IL) 分析結果

為瞭解921地震發生時台中港1至4碼頭液化危害之影響程度，根據各孔以各種CPT液化分析方法求得安全係數，以20 M進行加權計算，計算得出各孔之液化危害指數 (IL) 及液化機率 P_{LW} ，如表1及圖7至圖9所示：

若 $IL=0$ ， $P_{LW}<0.1$ 為液化危害度極低者； $0<IL<5$ ， $0.1<P_{LW}<0.2$ 為液化危害度輕微者； $5<IL<15$ ， $0.2<P_{LW}<0.3$ 為液化危害度中度者； $15<IL$ ， $0.3<P_{LW}$ 為液化危害度嚴重者。

由表1顯示：

後線第一線之平均液化危害指數：R & W法、Olsen法和Lai法分析結果為中度液化，S & T法分析結果為嚴重液化，而平均液化機率約為約0.4。

後線第二線之平均液化危害指數：R & W法、Olsen法分析結果為

中度液化，S & T法分析結果為嚴重液化，Lai法分析結果為輕度液化，而平均液化機率約為0.3。後方道路中心線之平均液化危害指數：Olsen法、Lai法分析結果為輕度液化，R & W法、S & T法為中度液化，而平均液化機率約為0.23。

1至4號碼頭後線全區之平均液化危害指數：由整體之分析結果顯示，R & W法、Olsen法分析結果為中度液化，S & T法分析結果為嚴重液化，Lai法分析結果為輕度液化，而平均液化機率約為0.32。整體而言應為中度液化。

五、地震下陷潛能分析

5.1 921大地震震陷潛能分析結果

本文以本次地質調查之18孔電子式水壓錐貫入試驗 (CPTU) 為評估地震引致沉陷之分析依據，分別以Olsen(1998)、R & W(1998)、S & T (1988)、賴聖耀(1999)誤差機率 $P=0.29$ 之判別式及港研中心(2000)液化機率 $P_L=0.5$ 之判別式，再結合Ishihara et al.(1991, 1996)所建立之 q_c 值，抗液化安全係數及體積應變之相關經驗圖，作為CPT評估地震沉陷之依據，分析各孔20m內之沉陷量及區域沉陷圖，分別如表2及圖10至圖11所示：

分析結果將分為碼頭後線第一線即A-A斷面、第二線即B-B斷面及後方道路中心線即C-C斷面等3個部分討論。由表2顯示：

後線第一線之平均沉陷：最大

為52cm,最小為30.6cm。以S & T法分析結果最大, Olsen法分析結果最小。其中Lai法分析結果為52cm。

後線第二線之平均沉陷:最大為49.5cm,最小為25.8cm。以S & T法分析結果最大, Lai法分析結果最小。其中Olsen法、R & W法分析結果,第二線之平均沉陷比第一線之平均沉陷還大。

後方道路中心線之平均沉陷:最大為33.3cm,最小為6.4cm。以S & T法分析結果最大, Olsen法分析結果最小。其中Lai法分析結果為9.2cm。

1至4號碼頭後線全區之平均沉陷:由整體之分析結果顯示,第一線之平均沉陷最大,第二線之平均沉陷次之,後方道路中心線之平均沉陷最小。

另由圖10及圖11顯示:若不考慮碼頭背填土液化後回填砂外漏被掏空造成之4-5公尺大坑洞,沉陷量皆由岸壁向碼頭後線遞減,與沉陷災害調查結果地表之差異沉陷趨勢相似,與回填砂厚度及液化程度亦相當吻合。唯下陷潛能分析結果皆較實測下陷量小,此與砂土填補碼頭位移之空間及部份回填砂往港池滲漏流失有關。

5.2 震陷分析與現地災害比較

921地震台中港一至四號碼頭後線背填土區之下陷,依據震後水準測量之估算,一至四號碼頭後線總面積約為6萬 m^2 ,總下陷體積約

為3.7萬 m^3 ,其下陷原因依本中心分析約可分三方面:

- (1)一至三號碼頭沉箱平均外移約0.9m、四號碼頭沉箱平均外移約0.5m,共填補沉箱外移之填砂量約有1.5萬 m^3 。
- (2)根據宇泰公司估算一至四號碼頭沉箱基腳淤砂量約有0.6萬 m^3 。
- (3)總下陷體積減去(1)、(2)項體積,即為背填土區震陷之體積約有1.6萬 m^3 ,因此背填土區液化之平均下陷約為27公分。

由以上現地災害之下陷分析與表2五種震陷分析比較結果,筆者初步認為Olsen法、Lai法及Liao法較接近現地災害之下陷分析。

六、碼頭之穩定性分析

台中港1至4A號碼頭皆屬沉箱重力式碼頭,在受到地震力時,不但構造物本身有慣性力,背填土會引致動態土壓力及動態水壓力,若背填土壤發生液化,亦會產生液化之側壓力,造成港灣構造物更加不穩定,背填土壤部分深度液化,另部分深度非液化,其沉箱之受力示意圖,如圖12所示,本章分別以921台中港1號碼頭未液化、液化、部份液化之抗滑動之穩定性加以分析探討,其分析結果如表3所示。

由本文第三節之液化潛能分析得知,921台中港1至3號碼頭後線,其可能液化土層約為地表下2.8~14m,而且碼頭有背填卵石,由表3分析結果顯示,其抗滑動安全係數,FS=0.87,

因此碼頭不穩定,而向海側移動。

七、結論與建議

1. 根據本中心之推估, 921 集集大地震台中港距離震央約55公里, PGA值為160gal。
2. 根據碼頭基礎竣工圖研判, 自沉箱至現有倉儲區亦即本次地震發生液化及嚴重破壞範圍內均屬水力回填區, 其回填厚度由碼頭岸肩附近之 12-16 公尺逐漸遞減至鐵軌之 1-3 公尺, 而水力回填砂愈厚之區域液化及下陷等破壞愈嚴重, 因此碼頭後線破壞程度: 1 至 3 號最大, 4 號次之, 4A 號最小。且各碼頭後線距離碼頭岸肩愈近破壞愈嚴重, 愈遠破壞愈輕微。
3. 根據 CPT 地質調查試驗, 碼頭後線之水力回填砂土質非常疏鬆軟弱, 其 CPT- q_c 值小於 50kg/cm^2 , 且距離碼頭岸肩愈遠之區域疏鬆軟弱層愈薄, 此與回填砂厚薄趨勢吻合; 而原沖積土層較為堅硬, 其 CPT- q_c 值約為 $50\text{--}150\text{kg/cm}^2$, 唯在部份地區如 1 號碼頭鐵道及 3-4 號碼頭交界附近鐵道, 其原沖積土層亦非常疏鬆軟弱, 此可說明該地區為何有大面積之液化噴砂?
4. 由液化危害指數分析: 1 至 4 號碼頭後線之液化程度為中度液化, 平均液化機率約為 0.32。在碼頭岸肩附近可能液化之土層深度約為地表下 2.5-14m。
5. 1-4 號碼頭後線下陷之原因, 約可分三方面: 土壤液化造成平均下

陷約為 27 公分; 沉箱外移之填砂量約有 1.5萬 m^3 , 其造成平均下陷約為 25 公分; 滲漏量約有 0.6萬 m^3 , 其造成平均下陷約為 10 公分。

6. 沉箱式碼頭向海側移動 0.5 至 1.7 公尺之原因: 除了地震引致沉箱之慣性力外, 可能是背填土之液化超額孔隙水壓力及液化時之動流體壓力所造成。液化超額孔隙水壓力約為未液化主動土壓力之 1.7 倍。

參考文獻

1. 台中港務局 (1976), 「台中港第一期工程完工報告」。
2. 港灣研究中心 (1999) 「台中港 1~4A 碼頭 921 地震液化災損初步調查研究」 港灣研究中心專刊 172 號。
3. 賴聖耀、謝明志 (2000) 「港灣地區土壤液化與震陷潛能評估」, 港灣工程耐震安全評估與災害防治研討會。
4. Ishihara, K., Yasuda, S., and Nagase, H., (1996), "Soil characteristics and ground damage", Special Issue of Soils and Foundations, pp.109-118
5. Iwasaki, T., Arakawa, T. and Tokida, K. (1982), "Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction During Earthquakes", Soil Dynamics and Earthquake Engineering Conference Southampton, pp.925-939.

6. Olsen, R. S. (1998) , "Cyclic Liquefaction Based on the Cone Penetrometer test," In Proceedings of the 1996 NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil. Edited by T.L. Youd and I.M. Idriss. NCEER-97-0022.
7. Robertson, P. K. and Wride C. E. (1998), "Cyclic Liquefaction and its Evaluation Based on SPT and CPT", Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil, Edited by T. L. Youd and I. M. Idriss. NCEER -97-0022.
8. Shibata, T. and Teparaksa, W. , (1988), "Evaluation of liquefaction Potentials of Soil Using Cone Penetration Tests", Soils and foundations, Vol.28, No.2, pp.49-60.
9. Tokimatsu, K. and Seed, H.B. (1987) , "Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking, "Journal of ASCE, Vol.113, GT8, pp.861-878.
10. 日本(財)沿岸開発技術研究センター(1997), 「埋立地の液状化対策ハントフシク」。
11. 日本土質工學會(1993), 「液状化対策の調査、設計から施工まで」。

表1 台中港區1-4號碼頭後線回填區921大地震液化危害指數(IL)

孔號	(Olsen, 1998 + Iwasaki, 1986) 危害指數IL	(R & W, 1998 + Iwasaki, 1986) 危害指數IL	(S & T, 1988 + Iwasaki, 1986) 危害指數IL	(Lai-P=0.20 + Iwasaki, 1986) 危害指數IL	(港研中心 + Liao, 1988)液化 機率 P_{LW}
後線第一線平均值	9.55	12.98	27.01	5.41	0.39
後線第二線平均值	8.92	12.69	23.21	2.92	0.30
後線道路中心線平均值	0.87	5.85	6.91	0.33	0.23
後線總平均值	7.74	11.15	20.60	3.28	0.32

表2 台中港區1-4號碼頭後線回填區921大地震引致土層之沉陷量

孔號	(Olsen, 1998 + Ishihara, 1996) 沉陷(cm)	(R & W, 1998 + Ishihara, 1996) 沉陷(cm)	(S & T, 1988 + Ishihara, 1996) 沉陷(cm)	(Lai-P=0.29 + Ishihara, 1996) 沉陷(cm)	(港研中心-P _L =0.5 + Ishihara, 1996) 沉陷(cm)
後線第一線平均值	30.62	46.96	52.07	40.46	44.37
後線第二線平均值	32.96	47.14	49.54	25.80	27.47
後線道路中心線平均值	6.43	33.34	28.51	9.24	11.64
後線總平均值	26.29	43.95	45.70	27.27	29.91

表 3 921 台中港 1~3 號碼頭抗滑動之穩定性分析

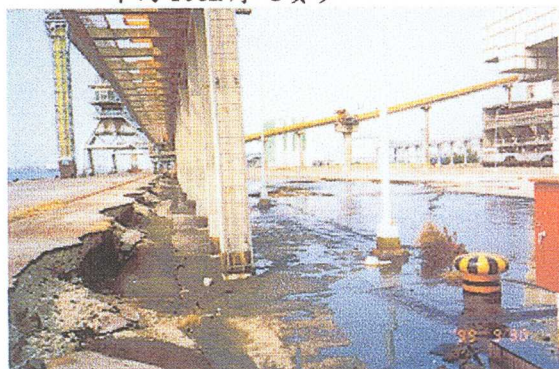
	未液化	全部液化		部分液化 (地表下 2.8~14m 液化)	
地震力係數 K_h	0.163	0.163		0.163	
考慮背填卵石	是	否	是	否	是
抗摩擦力(t/m)	269.41	269.41	430	269.41	348.44
慣性力	124.87	124.87	199.85	124.87	161.67
殘留水壓力	23.48	23.48	23.48	23.48	23.48
動態土壓力 + 陸側動水壓力	112.06	3.13	3.13	49.24	49.24
海側動水壓力	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10
液化之動流體壓力	0	51.14	51.14	23.42	23.42
液化之超額孔隙水壓力	0	217.14	217.14	119.17	119.17
抗滑動安全係數 FS	0.96 (日本 1999 年基準) 1.03 (原基準)	0.61	0.83	0.75	0.87



照片 1-1 台中港 1 號碼頭後線背填土之砂液化流失，造成約 4-5m 深之大坑洞，地表並留下約 10cm 厚之噴砂



照片 1-2 台中港 1 號碼頭後線排水溝附近之土壤液化，地表並留下約 15cm 厚之噴砂



照片 1-3 台中港 3 號碼頭輸送帶支架下陷約 50 cm



照片 1-4 台中港 3 號碼頭後線之土壤液化，地表留下之圓形噴砂孔

照片 1 台中港 1、3 號碼頭後線液化災害照片

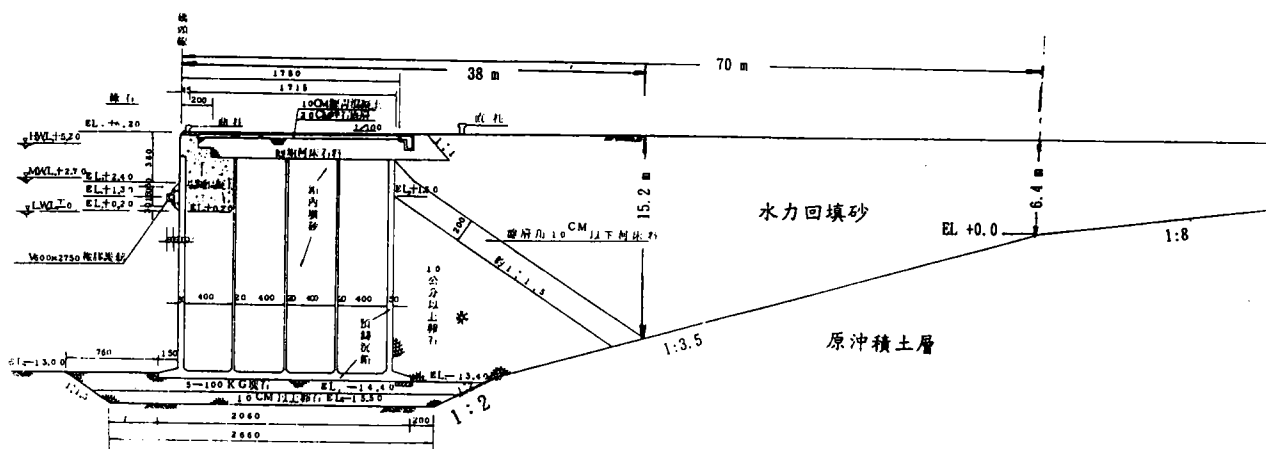


圖 1 1 至 3 號碼頭竣工斷面圖

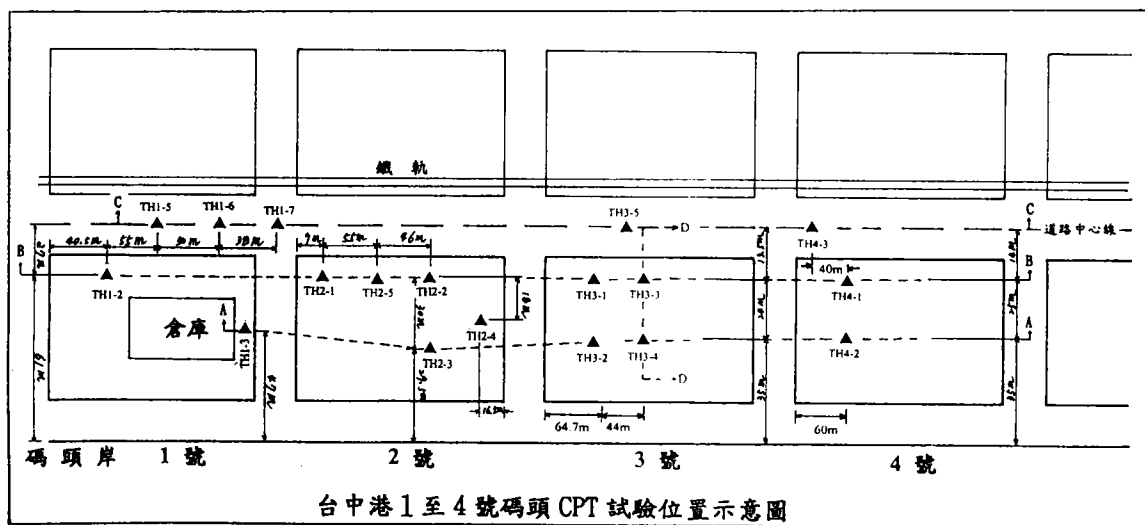


圖 2 CPT 試驗位置示意圖

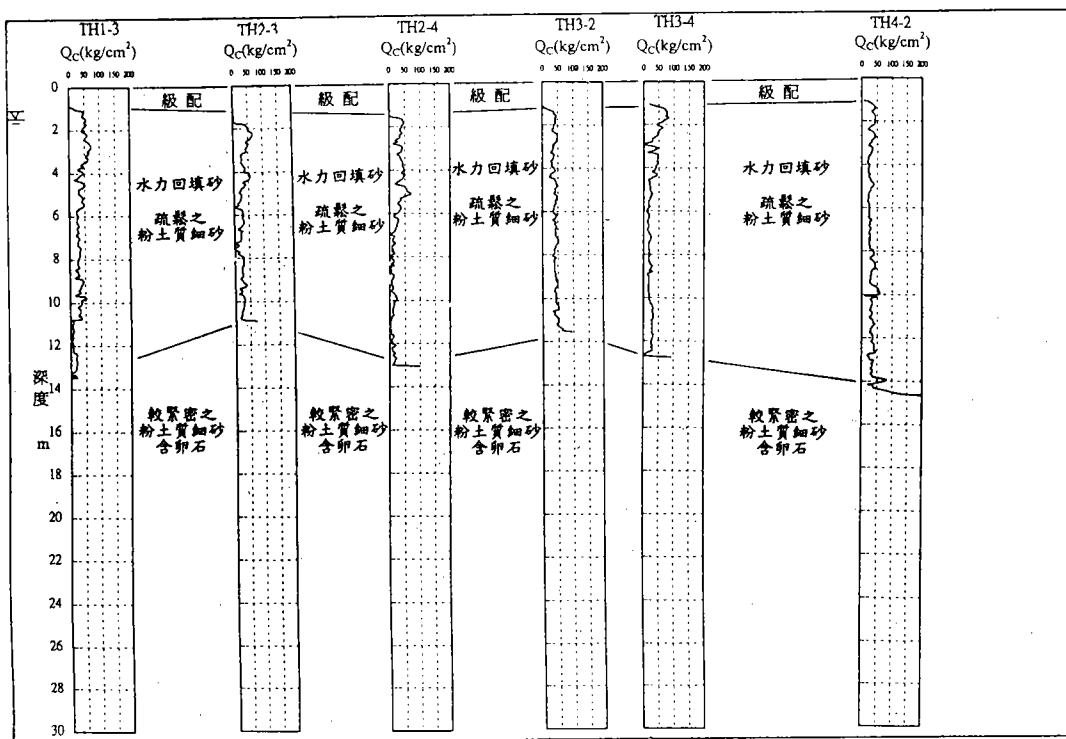


圖 3 A-A 斷面(碼頭之後線第一線, 距沉箱約 17 公尺)土層分佈圖

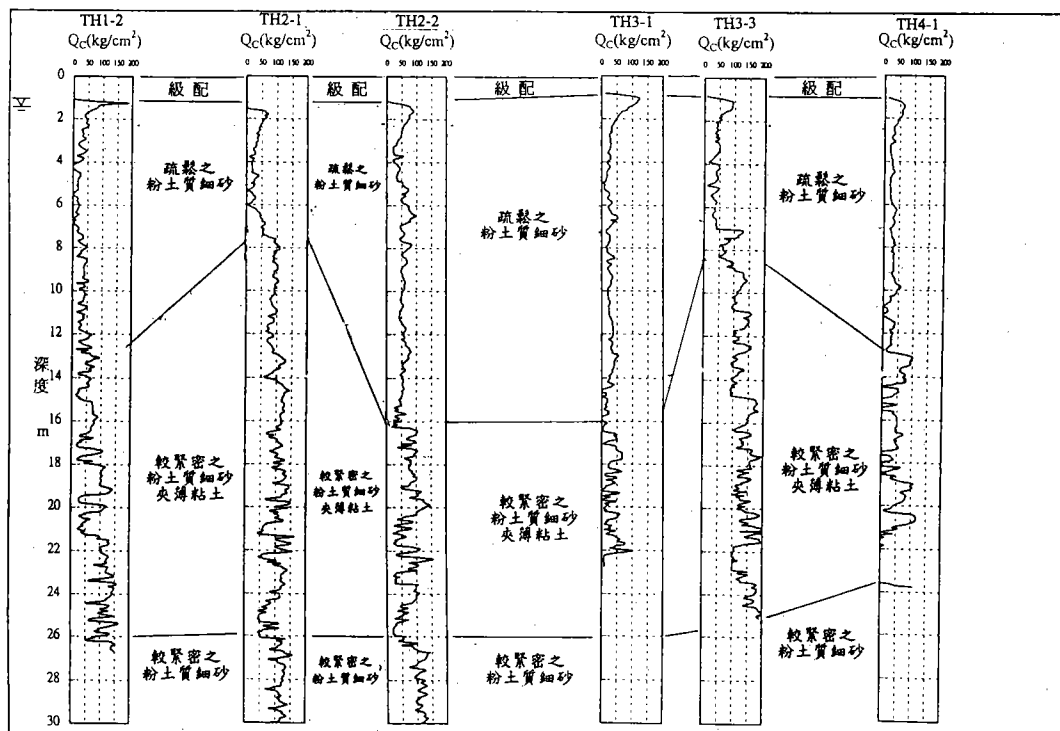


圖 4 B-B 斷面(碼頭之後線第二線, 距沉箱約 42 公尺)土層分佈圖

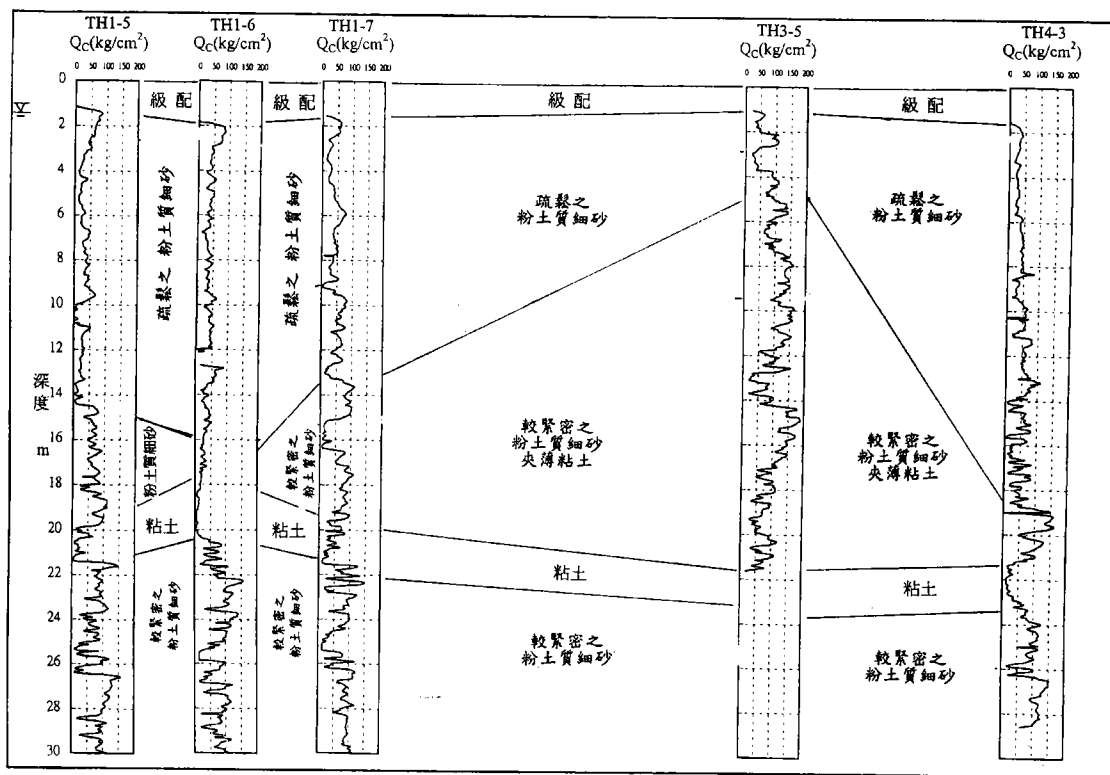


圖 5 C-C 斷面(後方道路中心線, 距沉箱約 57 公尺)土層分佈圖

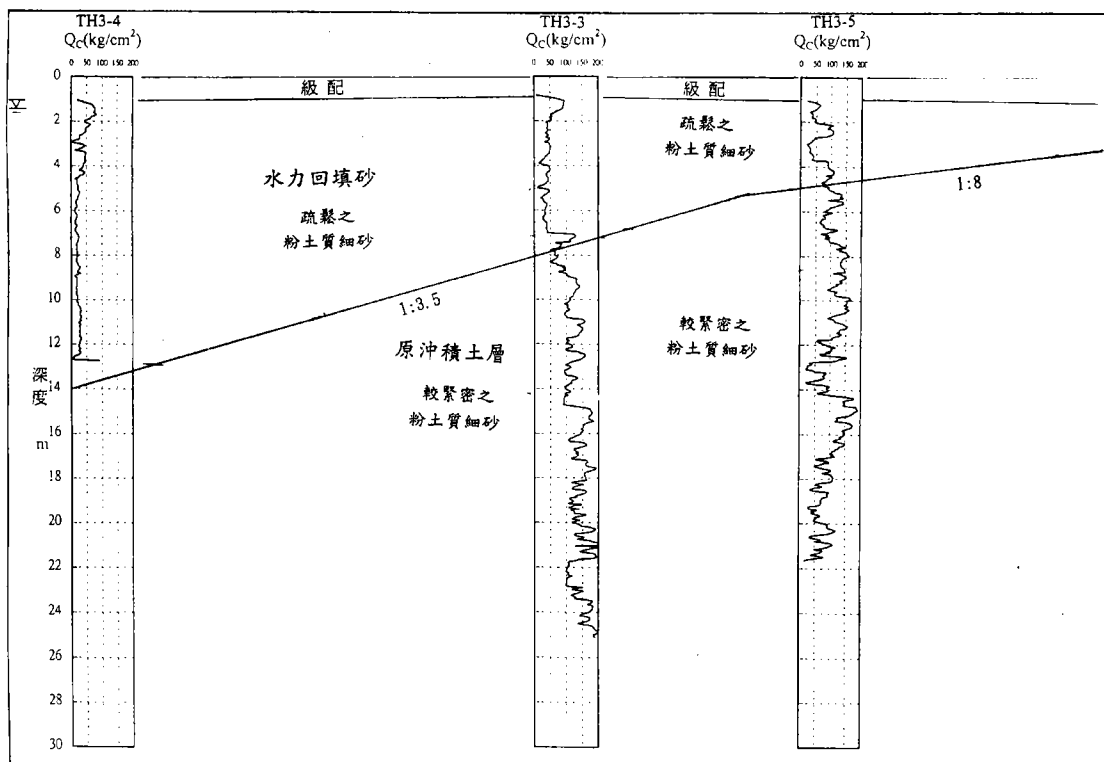


圖 6 D-D 斷面(垂直碼頭法線之 3 號碼頭後線縱斷面)土層分佈圖

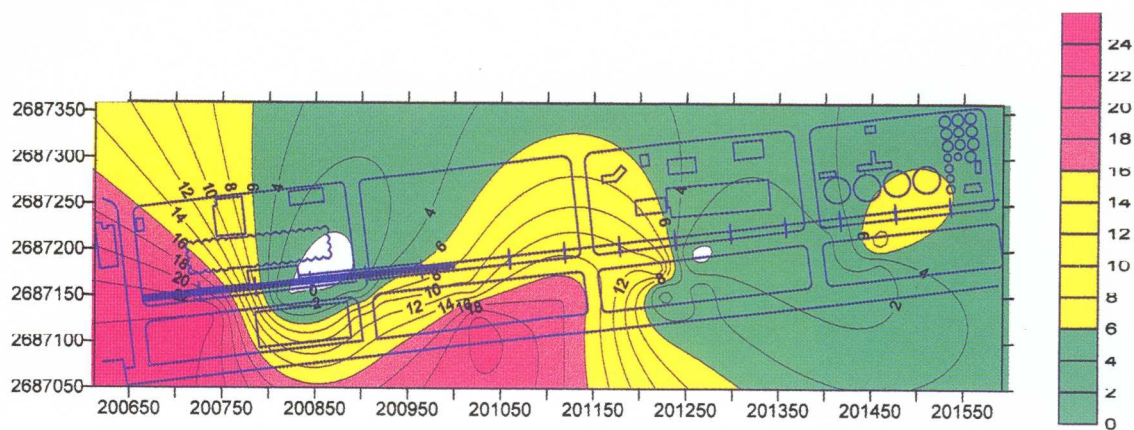


圖 7 台中港1-4 號碼頭Olsen(1988)+Iwasaki(1986) CPT 方法 評估液 化危 害指數之分析 結果 (危害指數)

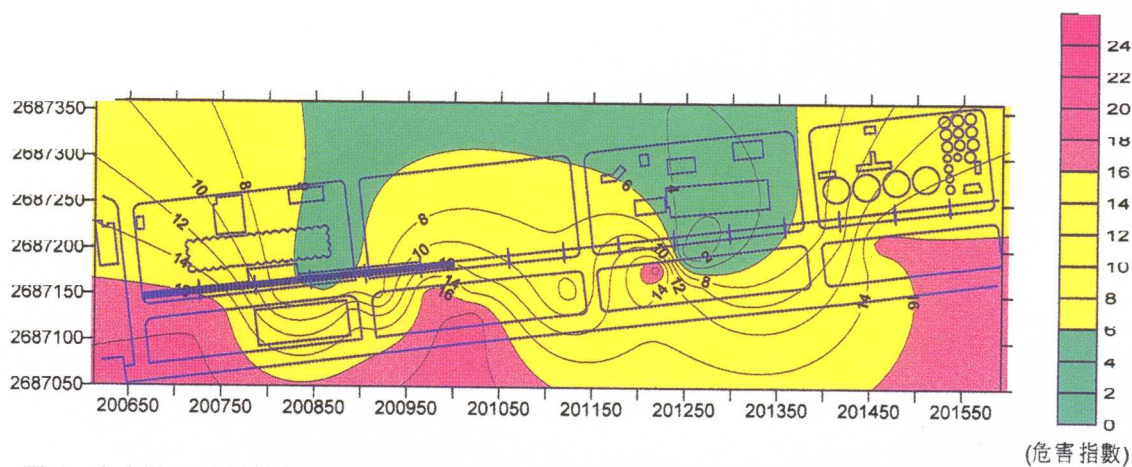


圖 8 台中港1-4 號碼頭R & W(1988)+Iwasaki(1986) CPT 方法 評估液 化危 害指數之分析 結果 (危害指數)

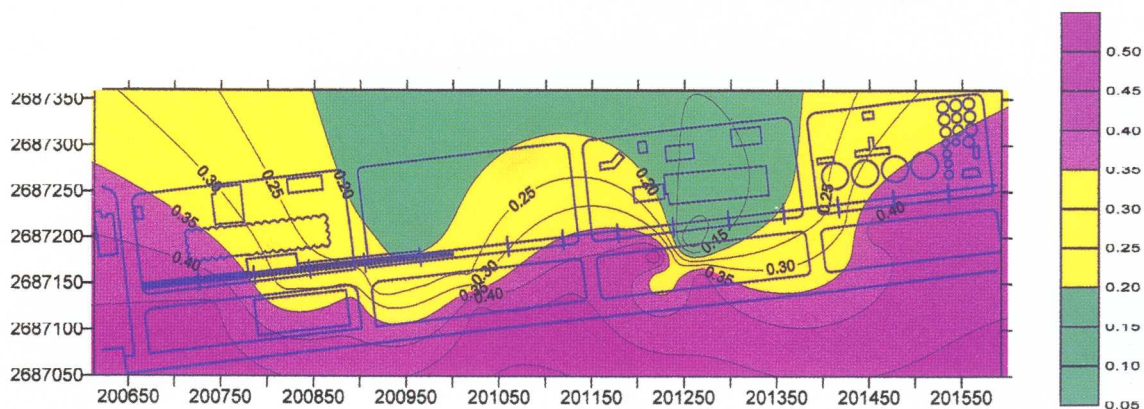


圖 9 台中港1-4 號碼頭 IHMT(2000) CPT 方法 評估液 化 機率之分析 結果 (機率)

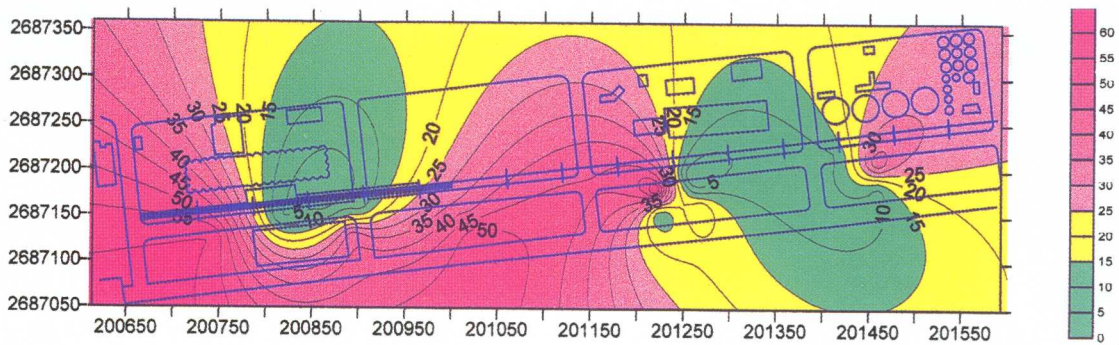


圖 10 台中港1-4號碼頭Olsen(1998)+Ishihara(1996) CPT 方法 評估震陷之分析結果 (cm)

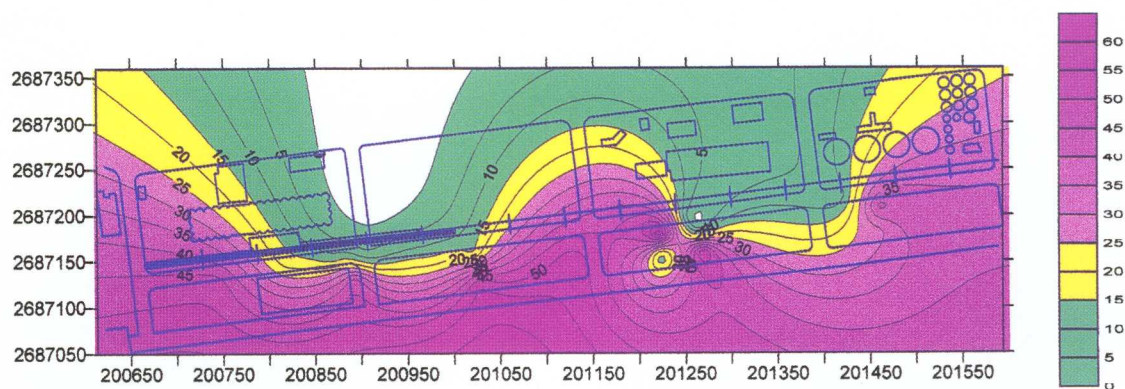


圖 11 台中港1-4號碼頭 Lai-P=0.29(1999)+Ishihara(1996) CPT 方法 評估震陷之等值色階圖 (cm)

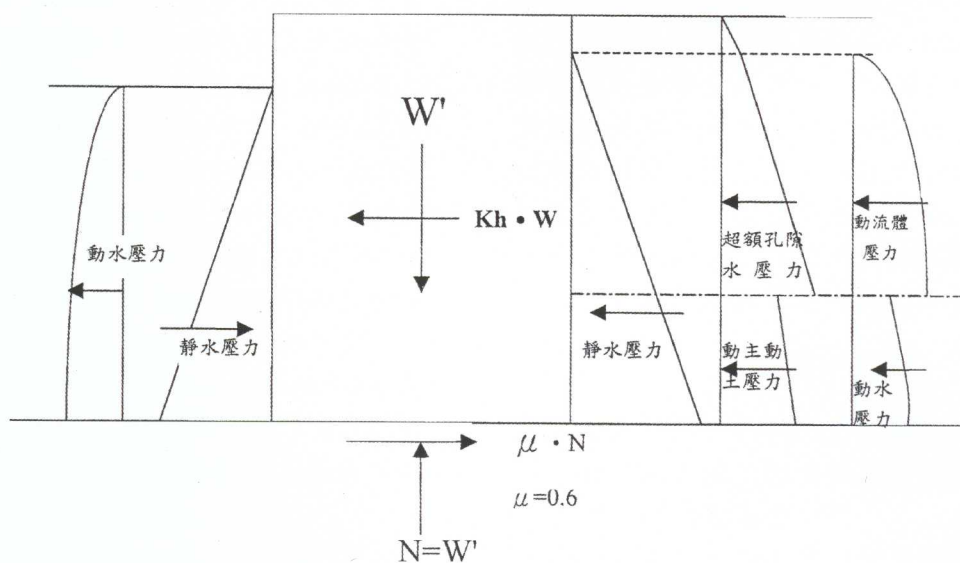


圖 12 背填土壤部份液化之沉箱式碼頭受力示意圖

金門水頭建港海象條件

沈建全 國立高雄海洋技術學院海環副教授兼系主任
吳念祖 中興工程顧問有限公司 工程師
龔誠山 中興工程顧問有限公司 經理

一、前言

金門水頭商港位處大陸福建省九龍江出海口、金門西側南端凹陷處，面朝西北邊，地形隱蔽，無巨浪侵襲之害，其設港條件在金門全境乃最佳者，為對小金門運補及交通之最重要碼頭，目前行政院陸委會推動與中國大陸小三通計畫，乃以此為最主要之通航港口，尤為國人眼光注目焦點，為強化對金門建設，政府正打算在此建設水頭商港，其開港條件經筆者一年餘之觀測顯示，海況深受九龍江河口水理變化及內灣地形影響，簡要言之其海況為風大、浪小、流強、潮差大、海水混濁、冬季海水冰冷。

二、風速、風象

風速、風向乃一地之基本氣象資料，其在商港建設上則對於商船進出港口側向受風力影響，可提出實測資料以供參考，風速、風向資料亦可提供船舶錨泊繫纜等作用力估算參考，此外對於數值模式推估

波浪、海流等皆屬必須之資料，尤其此乃建港環境影響評估所必須者。

水頭商港風速風向自每年十月份起至翌年四至五月份皆以東北季風為主要風向，其單一方位風向比例甚至可達50%以上，僅在六、七、八、九月以南風或西南風為主要季風型態，除夏季外，春、秋、冬季皆盛行東北季風，平均風速分布全年統計結果0-2m/s者佔52.07%，2-4m/s者佔17.59%，4-6m/s者佔14.8%，6-8 m/s者佔10.63%，8-10m/s者佔3.94%，大於10m/s者佔0.96%，全年平均風速為3.0m/s；全年測得最大瞬時風速為19.04m/s，出現在86年8月30日卡絲颱風來襲時。夏季除非颱風來襲，否則風速甚小(平均約1.4m/s)，秋、冬季之10、11、1、2等四個月由於東北季風強勁，其平均風速可達4.3m/s。

三、潮汐

潮汐乃任一海域建港之最基本

資料，由潮汐之長短、高低及最低、最高水位可決定碼頭面高程及航道須濬挖到何深度，且潮汐型態偏向半日潮型或全日潮型等皆左右往後港口營運狀況。金門水頭商港位處大陸九龍江口，與廈門島遙相對望，其特色乃潮差特大，潮間帶寬廣，潮流十分強盛，凡此種種皆使建港施工及往後航運倍增困擾。

水頭商港潮汐以半日潮 M_2 、 S_2 為主要分潮，全日潮之分量甚小。全年觀測到之最高潮位為650cm，最低潮位為34cm，最大潮差為616cm，月潮差最大者為87年3月份之598cm，最小者為86年8月之451cm，平均月平均高潮位為553.03cm，平均月平均低潮位為155.91cm，平均月平均潮差為397.12cm，全年平均潮位為344.95cm。絕對水溫最高為6月份之29.04℃，最低為1月份之10.99℃，月平均水溫介於27.31℃至13.87℃之間，年平均水溫為21.01℃。每年12月至次年3月其水溫較低，影響水下施工。

四、海流

海流資料為任何海域建港之基本資料，海流之強弱決定將來海上操船進出口之側向力，並對其安全性有重大影響；金門水頭海域位處福建九龍江口其潮汐漲退導致之潮流強大，屬於浪小、流浪、潮差大之海域，強大之海流對於將來築港工程及港域完成後之營運皆會造成重大影響，為防範未然，因此乃需

要對港區海域之海流做完整之調查，以作為規劃、設計及營運之參考。

水頭海域定點海流共進行北、中、南三站之調查，其調查結果顯示，平均流速在四季中以夏、冬二季在中間B站流速較大，分別為21.24cm/s及17.21cm/s，而南邊C站則在秋、春二季流速最大，分別為30.51cm/s及21.23cm/s。測得之最大流速在夏季以中間B站之106.59為最大，秋、冬、春三季則以北邊A站之111.82cm/s、119.66cm/s及126.93cm/s為最大，其中126.93cm/s為全年三測站所測得之最大中層流速。流速絕對值平均除夏季以B站之38.53cm/s為最大外，其餘三季分別以A站之48.57cm/s、47.16cm/s及49.11cm/s為最大。此外在金龜尾岬角（水頭商港西南為航道必經之處），其流速最大，估計約有4-5節之流速，宜小心規劃。

海流流向在漲潮時朝東北流動，退潮時朝西南流動，以後者佔優勢。在全年流向主要以朝正南(S)到西南(SW)為主要流向，朝正北(N)到東北(NE)為次要流向，一般而言，朝西南者其流向百分比比較朝東北者佔有2倍左右之優勢，故整體水質朝西南流動。

五、漂流浮標

漂流浮標追蹤調查其目的乃在調查表面海流之流速、流向及在漲、退潮時之流線、流跡或流型，此種方法一方面可以拉格蘭其方式了

解海流之流跡，以補定點尤拉式海流觀測之不足，一方面可獲得即時之海流流線資料，以補充萬一定點式海流儀資料不佳或儀器流失之窘境，故常為一般調查海流流速、流向者所喜歡使用。

金門水頭海域漂流浮標追蹤調查結果，A點表層漂流速度可達 171.7 cm/s，B點可達 133.56 cm/s，C點更可達 218.43 cm/s，在退潮時北邊A點漂流浮標皆往西南流動，南邊C點在漲潮時先順時針繞一半圓再往北北東或東北流動。中間B點則介於二者之間。而在漲潮時段水頭商港預定海域有一順時針之二次漩渦存在，且南邊C站之表、中層海流有朝相反向流動現象，其原因有可能為強烈漲潮流導致之二次環流現象。

六、波浪

金門水頭商港預定海域，屬於九龍江出海口之河口內灣，其揚波距離除北方及北北西方以外皆甚短，不足以形成大波巨浪，其波浪雖小，但歷年來幾乎沒有任何學術單位在此測過波浪，故其資料一直十分缺乏。

水頭商港波高不大，大部份時候波高共有 5-20cm，但在秋季颱風來襲時其示性波高可達 1.25m，最大波高可達 2.5m，週期一般介於 3-8 秒之間，另外亦有部份長週期湧浪（波高 10cm 左右，週期大於 10 秒者）自台灣海峽繞射進入。此外在 88 年恰逢波高計撤回時候，

但據金門船家估計約有 3 公尺左右之波高。

七、底質、懸浮底質及沿岸流

海底底質調查其重要性乃在於確定海底底質成份，其承載強度等，此等資料可作為將來興建防波堤時，底質受到重壓，是否會造成大量不均勻沈陷而導致防波堤崩塌，或將來濬挖航道及泊地難易程度之參考。

水頭海域海底底質調查結果，在 0-15m 間共 8 個斷面，其平均粒徑 D_{50} 在夏季介於 0.19-2.0mm 之間，在秋季介於 0.20-0.65mm 之間，在冬季介於 0.45-0.90mm 之間，在春季則介於 0.16-0.30mm 之間，以冬季粒徑最大，秋季次之，夏季再次之，春季最小。其底質黏稠性不佳，顏色為灰棕色或紅棕色，含有大量花岡石碎屑或石英結晶體顆粒。

海底懸浮底質調查之目的有二，其一乃在觀測某地海底之細小懸浮顆粒之大小及數量，以作為造成海底混濁懸浮質估算之依據，另一方面亦可作為海底底質移動懸浮漂砂量計算之參考。但本項調查在執行上困難度頗高，且精確性不佳，故一般並未將其當成是海況調查之重要項目。

將全年四季懸浮底質調查結果，各季、各斷面八方向二種深度所捕獲之懸浮底質總量相加，可製成表 6-2-5，由其中可知各季各斷面所採得懸浮底質總量，再將其相加

則可得到各季所採得懸浮底質總量，由表中可得知夏季-5m、-10m深，八方向捕沙總量為1093.58g，秋季為804.6g，冬季為2011.86g，春季為96.12g；四季中以冬季捕沙量居冠，夏季次之，秋季再次之，春季最少，約只有冬季之20分之1。顯見金門水頭商港水域懸浮底質活動量以冬季最強，夏、秋季次之，春季最弱。但因本調查皆在海況良好下，以潛水伏下水安置及回收捕沙器，其水中停留時間長短不一（以24小時為準，誤差為1-2小時），故不易進行修正，況且懸浮底質大量活動時，往往皆是颱風巨浪肆虐及強烈季風，夾雜強烈海流同時作用所致，而此時卻又是潛水作業最無法進行之時刻，因此本項調查可能會錯過最大懸浮底質發生時段，其只具有定性結果，僅可供參考之用，但無法據以評估漂沙量。

懸浮底質活動量以冬季最強，夏、秋季次之，春季最少，但因皆在海象狀況較佳日下水調查，未能求得最大值，其結果僅供參考。

沿岸流漂流調查其目的乃在調查波浪碎波後輻射應力所帶動之沿岸表面海流之流速、流向，此種漂流浮標調查方法一方面可以拉格蘭其方式了解沿岸海流之流跡，以補定點沿岸流尤拉式海流觀測之不足，一方面可獲得即時之沿岸海流流線資料，故常為一般調查沿岸海流

流速、流向者所喜歡使用。但由於金門水頭商港海域其波浪甚小，除少數時間波浪甚少碎波，故沿岸流之調查不易，不調查乃近似於近岸流之調查，但其結果亦可提供給設計單位參考，或可供數值模擬近岸場域流型之判斷參考。

沿岸流漂流浮標調查結果顯示，在四季之漲潮時段，水頭沿岸流皆有由東北朝西南流動之趨勢，此與北邊及中間A、B二站之中、下層海流方向相反，而與C點中層海流相似，且呈現一順時針方向之流動，與漂流浮標追蹤調查者相同，其原因乃由於漲潮流太強所導致之二次流及東北季風吹拂作用，但以前者較有可能。

八、結論

水頭海域建港之海象條件尚屬中等，其特性為風大、浪小、流強、潮差大、海水混濁。冬季海水冰冷，但尚未達到困難之地步，以目前海洋工程之施工技術無問題，較大之問題乃是金門禁採砂、石，因之建港砂石材料若由台灣本土運去勢必造成太高成本，值此小三通開始之際，由廈門一帶供應，成本可降低60%以上，應可解決問題，必已完成而遭捨棄，因此本港不宜做大規模之開發規劃，方符經濟效益。

九、附表

表 1 金門水頭商港週年風速、風向特性表

月份	月平均風速	月最大風速			月主要風向及其所佔百分率
	風速 (m/s)	瞬時風速 m/s	風向	發生日期 及時間	
86 年 8 月	2.27	19.04	NNE	8.30 11:00	S (15.28%)、SSW(11.19%)、 NNE(9.77%)、NE(8.88%)
86 年 9 月	3.7	15.06	NE	9.22 18:00	NE(26.53%)、NNE(24.86%)、 S(11.25%)、ENE(8.89%)
86 年 10 月	4.3	16.49	NE	10.31 13:00	NE(46.37%)、NNE(22.04%)、 ENE(8.2%)、ESE(4.7%)
86 年 11 月	4.06	14	ENE	11.1 1:00	NE(33.33%)、NNE(25.07%)、 N(7.08%)、ENE(5.31%)
86 年 12 月	3.62	13.67	NNE	12.10 11:00	NE(45.38%)、NNE(12.45%)、 ENE(5.22%)、E(5.22%)
87 年 1 月	4.23	12.62	NE	1.29 10:00	NE(50.93%)、NNE(15.42%)、 S(5.14%)、NNW(4.67%)
87 年 2 月	3.94	13.18	NE	2.28 14:00	NE(51.25%)、NNE(7.5%)、 S(7.5%)、SSW、SSE(5.3%)
87 年 3 月	2.72	11.81	NE	3.1 13:00	NE(42.50%)、S(9.64%)、 NNE(7.14%)、ENE(6.43%)
87 年 4 月	2.19	12.8	NE	4.2 4:00	NE(24.79%)、S(16.57%)、 SSE(11.84%)、SSW(7.94%)
87 年 5 月	2.83	12.27	NE	5.27 7:00	NE(41.7%)、NNE(12.42%)、 S(7.69%)、ENE(7.02%)
87 年 6 月	1.79	12.63	NE	6.3 16:00	S(20.39%)、NE(15.33%)、 SSE(10.55%)、NNE(10.41%)
87 年 7 月	1.58	12.52	NN W	7.27 19:00	S(27.02%)、SSW(18.41%)、 SSE(7.8%)、SW(7.66%)
87 年 8 月	1.39	9.94	S	8.4 10:00	SSW(36.43%)、S(26.80%)、 SW(7.56%)、SSE(7.22%)
春季	2.55	12.8	NE	4.2 4:00	NE(34.85%)、S(11.67%)、 NNE(9.20%)、SSE(7.07%)
夏季	1.79	19.04	NNE	8.30 11:00	S(22.09%)、SSW(15.16%)、 SSE(8.66%)、NE(8.58%)
秋季	4.04	16.49	NE	10.31 13:00	NE(35.57%)、NNE(23.95%)、 ENE(7.52%)、S(5.88%)
冬季	3.91	14	NE	1.29 10:00	NE(48.80%)、NNE(12.20%)、 S(5.14%)、NNW(4.49%)
年統計	3.00	19.04	NNE	8.30 11:00	NE(31.23%)、NNE(13.05%)、 S(11.24%)、SSW(7.31%)

表 2 金門水頭商港週年潮汐特性表

性貴 月份	月最高潮 (cm)	發生時間	月最低潮 (cm)	發生時間	月潮最大差 (cm)	月高平均潮 (cm)	月低平均潮 (cm)	月潮平均差 (cm)	月潮平均位 (cm)	月水最高溫 (cm)	月水最低溫 (cm)	月水平均溫 (cm)
86/8	533	8.8 3:00	82	8.7 20:50	451	508.31	156.92	351.39	325.45	28.56	26.46	27.31
86/9	626	9.20 3:06	54	9.20 8:36	572	538.76	146.10	392.66	338.61	27.09	23.14	25.10
86/10	634	10.17 13:45	59	10.14 5:22	575	550.87	147.98	402.89	341.15	26.52	20.22	24.65
86/11	628	11.17 14:10	34	11.16 7:10	594	544.76	148.33	396.43	337.97	22.84	17.67	20.95
86/12	641	12.2 13:30	60	12.15 6:50	581	574.00	174.93	399.07	365.92	21.28	14.94	17.55
87/1	635	1.29 13:20	48	1.30 7:30	587	562.26	167.55	394.71	359.03	18.30	10.99	14.67
87/2	647	2.28 13:50	61	2.12 7:10	586	550.93	151.62	399.31	344.10	15.76	11.80	13.87
87/3	650	3.1 14:00	52	3.1 14:00	598	568.60	157.07	411.53	354.34	19.17	12.87	15.12
87/4	650	4.28 1:30	67	4.1 20:50	583	575.00	130.14	444.86	324.35	24.09	16.63	20.54
87/5	643	5.26 0:20	46	5.27 19:20	597	556.10	158.30	397.80	348.00	27.29	21.96	25.03
87/6	609	6.12 1:50	78	6.22 23:20	531	553.71	176.05	377.66	355.49	29.04	24.53	26.27
年統計	年最高潮位 (cm)	發生時間	年最低潮位 (cm)	發生時間	年最大潮差 (cm)	平均高月潮平 (cm)	平均低月潮平 (cm)	平均潮月差平 (cm)	年平均潮位 (cm)	年最高水溫 (cm)	年最低水溫 (cm)	年平均水溫 (cm)
	650	3.1 14:00	34	11.16 7:10	616	553.03	155.91	397.12	344.95	29.04	10.99	21.01

表 3 金門水頭商港海流調查四季各測站流速分佈表

季 節	有效資料時段 (年.月.日)	流速分佈 (cm/s) 與百分比 (%)												最大流速及流向		平均流速及流向		流速絕對值平均 cm/sec	
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	100-120	120 以上	流速 cm/sec	流向°	流速 cm/sec		流向°
夏 A	86.8.15 - 86.8.30	14.83	17.43	23.30	21.44	22.08	0.92								58.76	207.85	8.77	244.83	27.08
	86.8.15 - 86.9.08	13.07	11.90	14.72	14.99	14.76	10.78	8.84	5.44	3.33	1.89	0.28			106.59	217.30	21.24	241.76	38.53
夏 C	86.7.4 - 86.7.30	75.69	19.66	2.56	0.68	0.44	0.28	0.28	0.20	0.12	0.08				91.62	245.02	5.39	260	7.68
秋 A	86.9.26 - 86.10.9	6.83	8.95	9.95	12.90	14.37	13.21	11.75	9.62	6.54	4.09	1.78	0.01		111.82	203.65	18.20	246.20	48.57
秋 B	86.9.27 - 86.10.22	15.16	18.10	17.28	15.26	13.67	9.93	6.30	3.25	0.90	0.14	0.01			106.54	233.98	18.44	211.84	32.11
秋 C	86.9.27 - 86.10.22	16.16	14.19	18.03	12.80	14.03	13.55	8.58	2.27	0.40					85.66	250.90	30.51	201.62	33.15
冬 A	87.1.9 - 87.1.22	9.24	10.32	9.61	10.45	13.42	14.73	13.44	7.64	4.49	4.02	1.97	0.68		119.66	206.45	14.75	252.85	47.16
冬 B	87.1.9 - 87.2.05	7.43	17.68	16.94	18.41	15.56	9.96	7.66	4.28	1.62	0.46	0.01			100.19	213.1	17.21	255.63	36.11
冬 C	87.1.10 - 87.1.31	32.03	31.28	19.93	12.2	4.43	0.14								53.88	249.85	16.44	213.76	17.40
春 A	87.4.24 - 87.5.24	7.52	9.24	10.50	10.89	12.61	15.31	12.74	8.2	5.64	3.49	2.43	1.31	0.38	126.93	209.06	17.61	246.82	49.11
春 B	87.4.24 - 87.5.14	25.70	43.81	23.92	6.06	0.52									46.67	198.75	8.81	169.62	16.07
春 C	87.4.24 - 87.5.2	23.18	29.86	14.98	16.59	15.02	0.37								52.56	252.65	21.37	206.56	22.13

表 4 金門水頭商港海流調查四季各測站流向分佈表

季 節	有效資料時段 (年.月.日)	流向分佈與百分比(%)															
		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
夏 A	86.8.15-86.8.30	11.74	15.43	6.12	2.81	1.52	1.84	2.33	3.59	10.91	40.55	1.22	0.48	0.14	0.07	0.23	1.29
夏 B	86.8.15-86.9.08	1.11	6.74	11.74	10.35	3.23	1.51	1.89	3.00	5.63	46.39	7.64	0.28	0.15	0.12	0.15	0.36
夏 C	86.7.4-86.7.30	7.45	3.80	3.84	3.80	2.64	3.40	10.05	29.64	30.80	1.20	1.32	1.28	0.32	0.12	0.08	0.20
秋 A	86.9.26-86.10.9	4.13	21.67	8.65	2.10	1.01	0.87	1.28	1.65	3.18	49.58	3.33	0.40	0.59	0.59	0.36	0.60
秋 B	86.9.27-86.10.22	9.02	7.14	5.81	6.13	1.54	0.31	0.36	0.45	0.95	14.70	42.35	4.14	1.36	1.18	1.24	3.33
秋 C	86.9.27-86.10.22	0.32	0.67	1.32	2.34	2.64	1.46	1.11	1.28	1.66	3.46	35.59	46.24	1.14	0.33	0.21	0.22
冬 A	87.1.9-87.1.22	9.00	19.56	7.74	2.7	2.07	2.15	2.05	2.21	9.32	42.56	0.21	0.18	0.11	0.03	0.05	0.05
冬 B	87.1.9-87.2.05	0.01	8.12	11.36	9.78	3.94	2.24	2.28	2.75	7.52	51.48	0.41	0.03	0.01	0.03	0.01	0.05
冬 C	87.1.10-87.1.31	0.00	0.00	0.01	0.09	0.43	4.91	5.68	2.04	0.3	4.12	78.12	4.2	0.05	0.06	0	0
春 A	87.4.24-87.5.24	6.08	22.02	7.61	2.17	1.41	1.47	2.31	3.60	8.34	45.02	0.01	0.01	0.05	0.01	0.05	0.19
春 B	87.4.24-87.5.14	0.79	6.74	11.95	10.56	5.35	1.03	1.03	11.56	43.33	6.53	0.29	0.27	0.21	0.00	0.04	0.31
春 C	87.4.24-87.5.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.23	2.07	3.50	1.52	0.92	2.58	63.55	24.10	0.23	1.15	0.09	0.00

表 5 金門水頭商港八斷面四季懸浮底質採集總量表

季節	夏季	秋季	冬季	春季
調查日期	86年8月 28、29日	86年10月 22、23日	87年1月 14、15日	87年5月 22、23日
Sec-1	353.24	113.37	279.74	13.14
Sec-2	117.87	130.09	283.58	7.55
Sec-3	86.48	99.16	228.11	11.75
Sec-4	139.43	105.24	233.14	14.28
Sec-5	100.76	90.19	268.05	14.01
Sec-6	104.68	82.75	269.44	15.22
Sec-7	77.07	92.09	229.41	12.46
Sec-8	114.05	91.71	220.39	7.71
合計	1093.58	804.60	2011.86	96.12

淺談丹麥與瑞典間新建海底隧道

陳正和 前省府交通處技正

不少的國家已在其境內建有跨海大橋或海底隧道，台灣地區的澎湖縣和高雄港早在二、三十年前也各已建有一座跨海大橋（聯接白沙和西嶼兩鄉）和海底隧道（正式名稱為「過港隧道」，聯接高雄市的前鎮區和旗津區），唯跨越洋面浩瀚的公海或用以聯接不同國家的大橋與隧道可就尚屬十分罕見了，目前大概僅有連通英法兩國、穿越英吉利海峽的這麼一條海底隧道了！而在新加坡和馬來西亞的柔佛州之間固然也興建有可聯接星、馬兩國的大橋，但因非屬國際公海的柔佛海峽甚為狹窄，以致柔佛大橋在工程艱難度和壯觀度上還遠遠遜乎一般跨越溪河的大橋；另外，在土耳其固然建有一條號稱跨越博斯普魯斯海峽、連接歐亞兩洲的大橋（聯接歐境的伊斯坦堡和亞境的烏斯庫達），但因都是在土耳其國境域內，故其風采恐將被拙文所述的建設給比了下去。北歐的丹麥和瑞典兩國在本世紀九〇年代初期，即合作計畫在波羅底海松德海峽一帶興築一條可聯通兩國的「烏雷松隧道」（Oressund Tunnel）和「弗林特大

橋」（Flinterenden Bridge），是項工程將可在近期內完工通車，得謂是繼英吉利大橋竣事後，最受全球營建業界矚目的一項浩大隧道與橋樑營造工程。

本項重大的跨國合作營建工程，起自丹麥的哥本哈根（Copenhagen）迄達瑞典的馬爾摩（Malmo）。哥本哈根係位於松德海峽附近一個名為Zealand的島上、而非位於和歐洲大陸相連且通常是被視如丹麥本土的「日德蘭半島」之上，馬爾摩則位於瑞典本土斯堪地那維亞半島的最南端，工程施工線大致上是呈東西向的走勢。在哥本哈根靠海之端的海岸邊先填造一430米長的Kastrup人工半島，接著為4,050米長的烏雷松隧道（其中有3,510米係位於海底），烏雷松隧道東端銜接一座狹長形，計4,055米長的「人工島」（本座人工島以瑞典語名為Saltholm，意為鹽之城，因為是挖掘海水下之土方填造而成之鹽島），自人工島最東處朝東則是一座「三合一」，總長為7,845米的跨海大橋（該跨海大橋因中段跨越船舶通行的航道，故需向上架高

，兩邊則較低，遂呈明顯倒V字型
的虹拱狀，自西至東分別長3,014
米、1,092米和3,739米），橋樑最
終處，也就是整個工程最東端則是
位於馬爾摩Lernacken區的收費站
暨管理處。從上述的阿拉伯數字資
料可算出此條跨海兼跨國隧道橋樑
的全部長度為16,380公尺，即十六
公里又三百八十公尺。所有的建設
涵蓋有人工半島、碼頭港埠、海底
隧道、人工島以及跨海大橋，工程
相當的龐大，所需的技術和資金也
十分的高超可觀。既然需投注如此
龐鉅的資金來興造，通車後自然要
對行駛於其上的火車和汽車收取通
行費用，火車是核照鐵路公司之客
貨車車班來預先收取，汽車收費則
係採兼電子收費方式（即於車上駕
駛員位置處裝設 OBU，于偵測感
應後可自動向車主扣收通行費，是
針對車籍設於丹麥、瑞典兩國之車
輛而設的）和刷卡、現金繳費，收
費設施的主控處與橋樑隧道管理處
則俱設於靠近瑞典之端的馬爾摩郊
區，蓋當地有較廣的腹地可供容納
，反之哥本哈根卻是寸土寸金，難
以尋覓到需用的土地。

此一跨國營建的工程（以下均
以「丹瑞大道」稱之），在八〇年
代時之初步構想原祇限於通行汽車
，路線係來回各三線，共有六線（
路肩不計入路線內），後鑒於輸運
量不足反無法充分發揮效益，且觀
乎僅限通行火車的「英吉利海底隧
道」經營成效頗佳，爰將預定之構
想變更為四線公路和兩線鐵路（即

雙軌鐵路），另有一條施工專用道
，唯工程結束後施工道將改作為緊
急疏散道。自一九九五年十月正式
動工興建起，預定四年十個月內完
工，即可在今年八月左右落成通車
，這將是本世紀內，甚至是人類歷
史上最闊大的跨海兼海底道路建設
之一。工程進行期間，共有四萬五
千名人員投入建設之行列，總經費
若依一九九〇年的幣值計算，近達
四百八十億克朗(DKK, 又稱丹麥克
朗，乃廣泛流通於北歐各國間的強
勢國際通貨)，以西元兩千年的幣
值衡量則近約六百二十億克朗了，
折合為新台幣二千四百億(89.6.1時
的匯率係一克朗兌換3.875新台幣)
，平均每公里的造價高達一百四十
六億新台幣，約是台北市捷運路線
每公里單位造價的三至五倍，乃全
球頂尖的築路費用。蓋本工程是在
海域和海底施工，且波羅底海一帶
的海面風浪極為險惡洶湧，加上丹
瑞大道又是四線公路、兩線鐵路
的大道，因而造價自然極為令人咋
舌。試想每公里的建造費用就可在
台北或高雄蓋一幢四百坪寬、廿層
樓高的公寓大樓，是何等的大手筆！
也有人質疑，從哥本哈根所在的海
島至瑞典馬爾摩的車流並非如梭行
於其它著名大橋之上者那般的稠密
，建造這麼高昂的道路實在不划算
，而且兩國的人口數亦不多（丹麥
和瑞典各約六百萬和一千萬人，兩
國的人口總數還明顯的少於台灣呢
），實用價值並非極高。但丹麥、
瑞典兩國則從經濟、交通、國民方

便性、提昇勞動參與率（即調降國民失業率）、帶動觀光旅遊風潮和提高營建技術…等多方面的效益來考量；再者，藉由本工程的施工得以填造出屬丹麥哥本哈根市所擁有的人工半島新生地（計劃開築為哥本哈根的附屬港）和屬丹瑞兩國共有共管的人工島，這對領土原本甚小的丹麥而言實為一大利多，爰促成此一計畫的實現。

Kastrup人工半島僅約一平方公里大，國際機場即在其南邊，穿過哥本哈根市區的鐵路和原濱海而建的公路在此匯合（鐵路有一支線通往港口以供載運貨物），且在半島上劃設有一鐵路列車的維修區，是逕售予鐵路公司作為專用地。從烏雷松隧道入口往東且往下進入海面下，長4,050公尺的海底隧道有將近三千公尺的路段是在海面之下十二公尺的深度處，而海面至海底間的水深係廿餘公尺，經過整平海床底部後使得隧道頂緣至海床留有超逾八米相當足夠的深度，以確保由沈箱構築而成的海底隧道能夠極其堅固和寬敞。Saltholm人工島約莫五平方公里，乃由挖整烏雷松隧道時，累計達一百八十萬立方公尺的土方填成的狹長島嶼，繼「丹瑞大道」建竣後，管理機構將次第進行一連串的土地改良與綠化工程；而挖鑿工程是由Chicago和Castor兩家公司得標承包，在工期中兩公司每天共可挖出五千至八千立方公尺的泥量，能力頗為可觀。隧道是以埋放廿節沈箱，每節176米長的

技法構築而成，和吾國高雄港過港隧道的營建方式大致相同，故上所述及的挖泥旨在使沈箱安放處的海床得以平整，其實大都是以吸泥法來吸取海泥後再予整平的。沈箱的橫斷面係38.8M*8.6M，俟沈箱埋放妥當後再予接合管路並覆蓋，俾求堅牢穩固。

丹麥人和希臘人總愛告訴外國人說，他們這兩個分立於南、北歐的國家是歐洲近代文明的發源地，當您曉得它們的歷史之後，對這種洋洋得意的說法應該會有所釋懷或認同哩！丹麥的領土面積雖僅比台灣稍大（不含格陵蘭，僅主要的日德蘭半島和周圍近五百個離島），人口卻僅約台灣的四分之一，在十一世紀初丹麥曾越海統治隔著北海相望的英格蘭（莎士比亞的哈姆雷特劇作即是以丹麥王室作為取材的背景），後續世紀則又擴張統治今之挪威、瑞典，建立起勢力龐大的「卡瑪聯合王國」，還曾兼領冰島；十六世紀之前，丹麥是北歐地區勢力最強大的國家，國勢足可與西歐的法國和東歐日漸崛起的俄羅斯相抗衡。直至十九、廿世紀，瑞典等國先後獨立，丹麥才縮減為今之形勢，反而成為一國域甚小的蕞爾小國。

唯丹麥在近數十年來一直採行溫和改革和與鄰國敦睦友好的國策，致能遠避戰爭，戮力建設，維持經濟蓬勃穩定、內政長治久安的局面，像諾貝爾獎中的和平獎審理委員會即是設於丹麥。近十餘年來丹

麥人所設計製造的樂高積木玩具 (LEGO) 亦大量行銷全球各國，為原以畜牧、漁撈和輕工業為主業的丹麥拓展出一片新天地。其它的輕巧性精密工業在丹麥亦相當的發達，例如迴紋針即是丹麥人發明的，甬小看這一由鋼絲捲繞而成的小玩意，在其專利權有效期間可曾為丹麥賺進可觀的外匯。本世紀九〇年代初期，丹麥於完成初步規劃後率先向瑞典提出興建聯通兩國的跨海大橋和隧道之構想，順利獲得瑞典首肯，而使得此一重大建設得以付諸實現。就營造業的領域論之，此

涵蓋人為填造港、人工島、鋪設于海底之隧道和跨海橋樑的「丹瑞大道」不啻是一營建工程的綜合與經典之作。興建期間，曾有不少獻身土木暨公路橋樑工程的專業人士前往考察見學，且丹、瑞兩國也僱用了不少來自東歐乃至於土耳其的外籍勞工投入此一鉅大的營建行列，對提昇營建技術，傳揚營造科技也有極大的裨益，確可視之為是人類從事土木營造工程上的一大里程碑。

資料來源：丹麥哥本哈根港電腦網路，網址為 www.cphport.dk