

港灣報導



季刊 NO.38

要 目

- ❖ 臺灣地區四大國際商港特性分析
- ❖ 港灣技術研究所八十七年度基本研究計畫簡介
- ❖ 苗栗沿海電廠溫排水擴散模擬
- ❖ 由破裂之消波塊探討鹼骨材反應
- ❖ 高雄港老舊碼頭調查研究系列報告(1)

中華民國八十五年十月出版

台灣省政府交通處港灣技術研究所

目 錄

- 一、臺灣地區四大國際商港特性分析..... 1
港研所「四港整體規劃」小組
- 二、臺灣技術研究所八十七年度基本研究計畫簡介..... 13
錢爾潔 港灣報導編輯委員
- 三、苗栗沿海電廠溫排水擴散模擬.....19
周憲德 國立中央大學土木工程研究所副教授
- 四、由破裂之消波塊探討驗骨材反應.....30
李 釗 國立中央大學土木工程研究所副教授
許書王 國立中央大學土木工程研究所博士班研究生
陳桂清 港研所港工材料組副研究員
- 五、高雄港老舊碼頭調查研究系列報告(1).....41
蘇吉立 港研所大地工程組助理

台灣地區四大國際商港特性分析

港研所「四港整體規劃」小組

一、各港地理區位特性

(一)對海外海運地理區位特性

台灣地區在地理區位上，恰位於東北亞、東南亞與大陸地區聯通航運之樞紐，不管就相關海運航線之擺錘說亦或經濟圈組成之說法，均足以彰顯出台灣地區在未來海運及貿易地理區位之重要性。惟若欲就台灣地區各國際港再細分為所謂海運區位條件時，則因各港並無太大之地理區位距離差異性，故均可視為台灣地區之同一點位。

(二)台灣地區內在地理區位特性

1. 基隆港

基隆港鄰近政治、經濟中心之台北市，所屬腹地範圍遠達新竹地區。港區位於台灣本島東北端，與基隆市區相緊鄰，海運北通上海、天津、大連、日本，西對福州、廈門，南達香港及南洋群島，為遠東海運要道。陸運方面，除了有鐵路西部幹線及北迴線可到達外，尚有中山高速公路與北二高銜接之西岸聯外道路，預期將可與鄰近之省道，構成綿密之運輸路網。

2. 台中港

台中港位於台灣本島西海岸中央，距離北部之基隆港及南部之高雄港各約110哩，北有大甲溪，南鄰烏溪，自民國65年啓用通航以來，營運量逐年攀升，港區設施興建已頗具規模，在區位角度而言，台中港已為本省中部地區重要之進出口戶。

3. 高雄港

高雄港位於台灣西海岸南端，港灣形勢天成，地理條件優良，港口西臨台灣海峽，距金門僅155哩，距廈門約165哩。南臨巴士海峽，距菲律賓馬尼拉543哩；西南距香港342哩，距新加坡1,621哩，位處台灣對中國大陸及東南亞航線之交通要衝。

4. 花蓮港

花蓮港地處台灣東部海岸，東臨太平洋，西依中央山脈，北距蘇澳港約50哩，距基隆港約90哩。民國52年開放為國際港之後，續經四期擴建，港埠設施已具規模，足供擔負東部地區產業發展及港埠運輸之重要任務。

二、各港自然環境條件分析

影響港口營運與擴建之自然條件，主要項目包括波浪、海流、潮汐、海岸地形及地質與漂砂。基隆港與花蓮港，由於較缺乏天然遮蔽，以致平均波高、最大波高與設計波高等條件均較其他各港為高，較易受季風與颱風所影響。對海岸地形而言，基隆港若欲配合港口外海擴建，將面臨沿岸底床坡度較陡且水深較深所造成成本增加影響；而花蓮港更是受限於海底坡度大之限制，故僅得以朝沿岸方向擴展。對台中港而言，除東北季風影響暫不列入比較外，其港口側向海流與潮差及沿岸漂砂，對較大型船舶進出與作業皆為其主要不利或尚待減輕之自然條件限制。高雄港相較於其他各國際商港，顯然具有較佳之自然條件。詳如表1。

三、各港腹地內產業及貨源概況

台灣地區四大國際商港之服務腹地，若以地理位置區分，大致可分為北、中、南、東部四個區域，分別由基隆港、台中港、高雄港、花蓮港承擔該地區之貨物進出散雜貨較不適合長途內陸轉運，業者大抵以所在區位之港口進出貨物，而貨櫃因其易於運輸且多為高價值之特性，在配合船期及航商偏好等因素下，進出港口之選擇較不受服務腹地之圍限，時有北櫃南運或南櫃北運之狀況發生。

(一)各港腹地內產業概況

1. 產業人口

各區域歷年之產業人口以二、三級產業所佔比例較高，若以分佈地區而言，以北部區域之二、三級產業人口數所佔比例較高，但近年有逐漸分散至中部及南部區域之趨勢，東部區域產業佔台灣地區之比例則仍低。

2. 國內生產毛額

近年來各區域國內生產毛額所佔之比例變化不大，北部區域所佔比例最高約達50%左右，其次為南部區域約為28%，中部區域約在19%左右，東部區域則僅佔2.2%。

3. 產業結構

各區域各級產業所佔GDP之百分比，以三級產業所佔比例較高。若以直接能影響進出口貨量之二級產業中的製造業為例，其歷年在各區域之產業結構比例中，以南部區域之比例較高約35%~38%、北部區域約32%~36%、中部區域約31%~34%、東部區域則在20%~23%之間，顯見各區域之製造業仍佔有相當的比例。

4. 工業區開發比較

台灣地區至民國82年開發完成之工業區共11,735公頃，已編定未開發之工業用地共2,499公頃，而民營企業開發工業區共934公頃。各區域開發完成之工業區面積以南部區域最高

表 1 台灣地區各港口之自然限制條件

自然條件	基隆	台中	高雄	花蓮	基隆
平時波浪	最大波高 9.7m 全年平均波高 1.27m 全年平均波週期 6.1sec 最常出現波高 0.25m~1.25m 機率 48.9% 1m以下波高機率 40.4% 2m以上波高機率 26.8% 最常出現波週期 6~8sec 機率 68.9%	最大波高 6.3m 全年平均波高 1.15m 全年平均波週期 5.7sec 最常出現波高 0.25m~1.25m 機率 55.7% 1m以下波高機率 52.2% 2m以上波高機率 15.6% 最常出現波週期 5~7sec 機率 61.9%	最大波高 7.0m 全年平均波高 1.17m 全年平均波週期 5.6sec 最常出現波高 0.5m~1.5m 機率 80.0% 1m以下波高機率 51.8% 2m以上波高機率 8.9% 最常出現波週期 4~6sec 機率 62.4%	最大波高 12.2m 全年平均波高 1.80m 全年平均波週期 7.3sec 最常出現波高 1.0m~2.0m 機率 51.5% 1m以下波高機率 17.7% 2m以上波高機率 30.8% 最常出現波週期 6~8sec 機率 63.2%	最大波高 12.2m 全年平均波高 1.80m 全年平均波週期 7.3sec 最常出現波高 1.0m~2.0m 機率 51.5% 1m以下波高機率 17.7% 2m以上波高機率 30.8% 最常出現波週期 6~8sec 機率 63.2%
颱風波浪	平均每年約有2.03次颱風通過，推算最大颱風波浪為NE向，H=13.0m (T=50年)。	台中地區每年平均遭颱風侵襲頻次約0.65次，由於受到中央山脈阻隔及颱風路徑之因素，颱風波浪較小，H=7.5m (T=50年)。	平均每年約1.6次颱風影響附近海域，推算颱風波浪於SSE向為H=9.7m (T=50年)。	平均每年1.97次颱風影響本區域，推算颱風波浪於ENE向為H=12.6m (T=50年)。	平均每年1.97次颱風影響本區域，推算颱風波浪於ENE向為H=12.6m (T=50年)。
海流	流向約平行海岸線，平均流速0.2~1.2節間，曾測得最大者為2.23節。	流向約平行海岸線，平均流速0.2~1.2節間，曾測得最大者為2.23節。	流速分佈大抵小於50cm/sec，佔90%以上，0~25cm/sec最多，達70%以上，最大流速曾達117.66cm/sec，平均流速約為15.08~22.07cm/sec，平均潮差0.63m。	流向大致與海岸平行，潮流流動以半日潮為主，潮流振幅約在30~40cm/sec間，長期平均為7.14cm/sec。	流向大致與海岸平行，潮流流動以半日潮為主，潮流振幅約在30~40cm/sec間，長期平均為7.14cm/sec。
潮汐	平均潮差0.37m。	平均潮差3.54m，潮差較大，較不利於小型船舶之泊岸。	平均潮差0.63m。	平均潮差0.97m。	平均潮差0.97m。
海岸地形	沿岸底床坡度甚鉅，水深由岸線陡增至30m後，緩慢加深至50m以上。	海岸地形十分平緩，屬砂岸。	海岸地形為平緩之砂岸，依82年台水工所報告海岸地形維持穩定狀態。	外海較深處海底坡度大，美崙溪至吉安溪間水域因淤積則較為緩和。	外海較深處海底坡度大，美崙溪至吉安溪間水域因淤積則較為緩和。
漂砂	由於附近並無主要河川，其沿岸輸砂量不大，非限制條件。	主要砂源為大甲溪及烏溪，沿岸波浪影響之輸砂量約為190萬立方公尺左右，漂砂活動須加以考量。	漂砂活動並不激烈。	受建港影響而失衡，但非限制條件。	受建港影響而失衡，但非限制條件。
海底地質	近岸海底為岩盤，餘有不等厚未壓密之沉積層，最厚處達24m。	主要為細砂，非限制條件。	主要為砂質，非限制條件。	為堅硬之砂礫沉泥層，但非限制條件。	為堅硬之砂礫沉泥層，但非限制條件。

註：1. 上表所引用資料，係本報告整理所得。

2. * 平時波浪，資料來源為「台灣四周海象、氣象調查研究」，港研所，83.6.30。

達5,583公頃，若以可建廠面積之使用率而言，依次為南部區域之4,484公頃、北部區域之2,340公頃、中部區域之1,383公頃、東部區域之128公頃。顯示各區域開發工業區面積，呈現南北兩極化，尤以南部區域之工業區面積最大，其產業發展有相當的潛力。

(二) 港埠貨源地分佈分析

1. 非貨櫃貨

(1) 基隆港

以北部區域為主（進港佔88%、出港佔80%），各類貨物當中又以基本金屬及金屬製品為大宗。

(2) 台中港

以中部區域為主（進港佔69%、出港佔76%），各類貨物中又以穀類產品為大宗。

(3) 高雄港

以南部區域為主（進港佔71%、出港佔86%），各貨種中又以金屬及相關製品為大宗。

(4) 花蓮港

以東部區域為主（進港佔86%、出港佔95%），各貨種中又以水泥及其他製品為主。

(5) 蘇澳港

蘇澳港之進出貨種均為非貨櫃貨物，其分佈區域以北部區域為主（進港佔90%，出港佔89%），尤以蘭陽地區最為明顯。各類貨種當中又

以水泥、砂石為主。

2. 貨櫃貨源分佈

(1) 進出口貨櫃貨源分佈

① 進口貨櫃

進口貨櫃之目的地主要集中於北部地區（佔58.6%），各港分佈如下：基隆港以北部地區為主佔90.3%；台中港則依序為中部區域（50.1%）、北部區域（37.1%），共佔87.2%；高雄港則分佈於南部區域（36.4%）、北部區域（31.1%）、中部區域（30.0%）。

② 出口貨櫃貨

就出口貨櫃貨源而言，主要集中於北部區域（50.2%），各港分佈如下：基隆港集中於北部區域佔93.7%，台中港則集中於中部及北部區域共88%，高雄港則分散於北部區域（34.3%）、中部區域（33.5%）、南部區域（32.2%）。

(2) 貨櫃內陸轉運

台灣地區貨櫃內陸轉運之現象非常嚴重，且內陸轉運量仍在成長之中。若以實櫃之內陸轉運量來分析，自民國72年至民國82年，十年內貨櫃內陸轉運量增加約43萬個。其中基隆—高雄間增加19.3萬個；高雄—台中增加20.4萬個，基隆—台中間僅增

加3.4萬個。

以內陸轉運實櫃佔全部進出口實櫃比率來分析，民國72年為24.05%，民國82年為26.97%，內陸轉運實櫃約佔進出口實櫃之四分之一。其中高雄—基隆間有409,010個貨櫃往來，約佔全部轉運量之59%；台中—基隆間有50,025個，約佔全部轉運量之8%；台中—高雄間有228,494個，約佔全部轉運量之33%。

四、各港貨櫃貨主要航線、航商、貨物運量分析

(一)主要航線

1. 基隆港

就83年之貨櫃運量而言，進口貨櫃依序為香港航線(35.1%)、北亞航線(29.7%)、東南亞航線(5.9%)，共佔70.7%；出口貨櫃則依序為香港航線(31.1%)、東南亞航線(19.9%)、北亞航線(16.4%)，共佔67.4%。若以進出口貨櫃合計則香港、北亞、東南亞航線共佔69.2%，而北美及歐洲航線僅佔18%。

就歷年進出口貨櫃運量成長而言，以香港及東南亞航線成長最為快速，而歐洲航線僅成長5.1%，美東及美西航線均呈現負成長。

2. 台中港

就8年之貨櫃運量而言，進口

貨櫃依序為香港航線(51.3%)、東南亞航線(26.4%)、北亞航線(11.2%)，共佔88.9%；出口則依序以香港航線(73.4%)、北亞航線(14.4%)、東南亞航線(7.5%)，共佔95.3%。若以進出口貨櫃合計則香港、東南亞、北亞航線共佔92.1%，並無北美及歐洲航線之遠洋航線。

就歷年進出口貨櫃運量成長而言，以印度及亞洲、其他航線成長最為快速，其次依序為東南亞航線、東非及北非地中海航線、香港航線、北亞航線，其餘航線則均呈現負成長，顯然台中港之貨櫃航線營運以東亞地區近洋航線為主。

3. 高雄港

就83年之貨櫃運量而言，進口航線運量前三名依序為美西航線(29.7%)、東南亞航線(15.2%)、歐洲航線(14.9%)；而出口航線依序為香港航線(33.6%)、北亞航線(25.0%)、東南亞航線(16.2%)；進出口貨櫃合計，則前三名依序為香港航線(21.2%)、北亞航線(18.7%)、美西航線(18.7%)。

就歷年進出口貨櫃運量成長而言，以香港航線成長最為快速，美東航線、紐澳航線均呈現負成長，顯然未來貨櫃航線營運以東亞地區最有潛力；但因其航線分佈包括遠洋及近洋航線，未來高雄港仍將為遠洋航

線主要轉運基地港。

(二) 主要航商

1. 基隆港

因環境限制擴建不易，為求碼頭使用之公平性，其貨櫃碼頭均不出租，但與15家主要航商簽定優先靠泊合約。

貨櫃倉儲設施僅部份出租航商經營，例如西20號碼頭後線及第一突堤後側租予陽明海運，第二貨櫃中心之部份後線租予長榮海運。

2. 台中港

已將#31、#32碼頭及後線用地分別租給萬海航運及立榮海運，#9、#10、#11碼頭後線租予中國貨櫃公司經營貨櫃業務。

3. 高雄港

19座營運碼頭中有14座分別出租予10家輪船公司，且各貨櫃中心之貨櫃場、貨櫃集散站由承租碼頭之公司自行經營或委託集散站業者經營。

(三) 貨物運量

1. 進出港貨物吞吐量成長趨勢

民國83年台灣地區各港埠貨物總吞吐量共計15,344萬公噸，其中高雄港約佔49.4%、基隆港19.3%、台中港22.1%、花蓮港5.6%，蘇澳港約佔3.6%。若就歷年各港佔

五港總量之比例變化而言，高雄港及台中港分別顯現漸減及漸增之趨勢，基隆港之變動起伏較大，花蓮及蘇澳港則維持較穩定的比例。另就各港歷年

之吞吐量成長概況而言，以台中港之成長最為穩定。

2. 進出港貨物裝卸量成長趨勢

民國83年各港埠裝卸量總計為40,263萬船運噸，其中高雄港佔62.4%、基隆港佔22.7%、台中港佔11.2%、花蓮港2.2%、蘇澳港1.5%。因為高雄港與基隆港貨櫃量較大，故裝卸量佔台灣地區總量之比例較吞吐量為高。

3. 轉口貨運量成長趨勢

高雄港為台灣地區最主要的貨櫃轉口港，其次為基隆港，而台中港歷年轉口數量均甚少且不穩定。高雄港的轉口貨櫃量一直維持穩定的成長，近幾年來之成長率均在20%~30%之間。

五、各港港區擴建之潛力與限制

對於各港港區擴建之潛力與限制，本節除對各港供給能力（硬體設施）之配合提出擴建潛力與限制之說明外，亦將對其貨源需求面可能造成擴建潛力與限制作部份分析。

(一) 需求面之擴建潛力與限制

1. 基隆港

(1) 潛力

北部地區不論在GDP與產業人口結構等均較為優越，而基隆港因鄰近消費能力較高之大台北地區，各大型企業之總公司大多設於大台北地

區附近，故基隆港一直係為消費性貨品及生產設備輸入台灣之主要港口，於基本運量需求上，極具基本之貨源供給潛力。

(2)限制

惟對出口而言，因目前輸往東北亞地區具競爭力之產品較為有限且國內新興產業（如資訊、電子等業）已有南移至新竹、桃園等地之現象；再加上由基隆市區至台北以南縣市之貨運路徑多須通過台北市區，此區段交通狀況十分擁塞，若未改善，將影響貨主使用基隆港之意願，此為其對貨源快速成長之首要限制條件。

2. 台中港

(1)潛力

台灣中部為國內機械工具業聚集地區，此類產品亦為目前政府所推動之較高附加價值產品，將成為未來出口主力之一。因此未來產業升級如能達成，並配合積極推動之境外轉運中心及加工再出口業務，台中港之貨源運輸需求必有極可觀之增長潛力。

(2)限制

台中港開港營運後，初期因船運代理業者之習慣及港口自然條件配合問題，無法開闢定期航線，營運量成長緩慢，較預測值相去甚遠，此

為運量成長之潛在限制因素。

3. 高雄港

(1)潛力

高雄港現為國內吞吐量最高之港口，本身地理及自然條件十分優越，並為中南部地區進出口貨櫃及散雜貨之主要港口，且由於貨櫃碼頭出租方式及自然條件受大型航商青睞，故大型航商皆以高雄港作為台灣地區之基地，橫跨太平洋航線之航商也皆以高雄港作為停靠之港口，因而帶動高雄港之運量成長。未來在海運中心業務之推動下，勢必將會造成另一波貨運需求之潛力。

(2)限制

如各項行政效率及營運管理未能進一步提升以吸引更多大型航商，則將是影響其成長及發展之主要限制因素。

4. 花蓮港

(1)潛力

東部地區無論總體GDP或製造業相關之GDP表現與成長進度，均不及整體西部發展來的快速，故貨源成長一直有限，惟配合政府積極推動產業東移政策下，將具拓展貨運需求之潛力。

(2)限制

如果產業東移政策不能落實，東部地區貨運量無法進一步成長，則將限制花蓮港之

運量需求。

(二)供給面之擴建潛力與限制

1.基隆港

(1)陸域港區擴建潛力

①擴建潛力

港區緊臨基隆市區，已無擴建潛力，僅能朝港區內之改建方式進行調整。

②擴建限制

- 西岸港區範圍線外側多為陡峭山坡地，且住戶密集，擴建開發極度困難。
- 東岸港區範圍線緊臨高度開發之都市密集區，已無發展空間。
- 和平島及正濱漁港區外圍已為極度密集之住宅區所聚集，亦無發展空間。

(2)海域港區擴建潛力與限制

①擴建潛力

- 八尺門區（貯木池外側海域），早年曾研擬開發第二港口之可行性。
- 外海港區（協和電廠外側海域），自民國73年起，曾進行多次基隆新港規劃工作。

②擴建限制

A、八尺門區

- 受正濱漁港區阻隔，後線腹地不易連貫。
- 陸側之土地已為海洋大學校區擴建所利用。

- 碼頭後線用地不足。
- 聯外交通受限制。
- 與八斗子漁港區之擴建將會產生衝突。

B、外海港區

- 水深太深，整體投資效益不佳。
- 深水防波堤施工困難度極高。
- 碼頭後線用地不足，填築成本甚鉅。
- 協和電廠溫排水排放口須配合解決。
- 對外木山漁港之影響須先排除。
- 外海港區無天然屏障，港區作業將受風力影響限制。

2.台中港

(1)陸域港區擴建潛力與限制

①擴建潛力

依台中港第二階段發展計畫所規劃之港區範圍已十分遼闊，可充分提供關聯產業之建廠需求，目前距發展需求之飽和點仍有一段距離，是為目前各大國際商港中，港區內腹地發展潛力最佳者，而外港擴建亦具潛力。

②擴建限制

為期保有與周圍居民之隔離性並減少環境衝擊，故本階段暫不考量朝陸域範圍再作擴充。

(2)海域港區擴建潛力與限制

①擴建潛力

- 北填方區與南填方區之填築，發展潛力極高。
- 外海港區之擴建可行性，極具研究價值。

②擴建限制

- 外海港區無天然屏障，故港區作業將受到風力影響。
- 外海擴建對原港址之漂沙環境將造成影響，故可能造成現有地形變遷之影響。

3. 高雄港

(1)陸域港區擴建潛力與限制

①擴建潛力

- 現有港區內工業區與加工出口區予以重新整合運用。
- 研擬之小港機場外海遷建案與整體港區土地作更有效之整合運用。

②擴建限制

- 高雄港區內之碼頭及碼頭後線土地並不完全屬於高雄港務局，無法作進一步擴建。
- 紅毛港遷村等問題仍未解決，將限制其擴建及土地整合利用。
- 港區緊臨市區，陸域港區範圍擴展受限。
- 加工出口區隸屬於經濟部，遷離不容易。

(2)海域港區擴建潛力與限制

①擴建潛力

由於本區海域坡度尚稱平緩，亦無嚴重之漂沙問題，波浪條件亦佳，是故極具外港填築擴建之潛力，過去與現有之相關計畫均曾研擬有多項外海之擴建計畫。

②擴建限制

本海域擴建之限制，除成本因素考量外，另尚包括南側高屏溪口之海底深溝影響，此外，對既有結構物所造成之限制與影響亦必須加以考量。

4. 花蓮港

(1)陸域港區擴建潛力與限制

①擴建潛力

僅能朝沿岸方向擴展。

②擴建限制

港區範圍與市區相鄰，雖具相當之緩衝地帶，但港區欲朝陸側發展已無空間。

(2)海域港區擴建潛力與限制

①擴建潛力

外海底床坡度較陡，離岸方向可發展空間有限，僅能朝沿岸方向擴展。

②擴建限制

波浪條件不佳，且受外海底床陡峻限制，欲朝海域擴建受到極大限制。

六、各港聯外交通系統問題

(一)基隆港

1. 港市交通未能作有效分離

2. 鐵路平交道影響港區聯外交通
3. 碼頭後線空間不足
4. 港區貨車停車空間不足
5. 主要聯外幹道擁擠，影響港區聯外運輸

(二) 台中港

1. 臨港路之交通安全與環境衝擊問題
2. 台中港煤炭運輸問題
3. 鐵路運輸資源未能有效利用
4. 港區與特定區間之發展配合

(三) 高雄港

1. 鐵路承運量不高，未能減輕公路運輸負荷
2. 台17省道之道路系統功能重疊
3. 高速公路系統未直接銜接港區
4. 工業區鄰近港區，通勤旅次與貨運旅次互相干擾
5. 主要集散道路線型不佳，且寬窄不一易形成交通瓶頸
6. 進出港區缺乏專用道路
7. 貨車行駛路線管制問題
8. 大貨車停車問題嚴重
9. 港區道路系統封閉，缺乏整體性連繫
10. 貨櫃集散場分佈於港區外，易對鄰近地區造成衝擊

(四) 花蓮港

1. 花蓮地區聯外運輸狀況與花蓮港息息相關
2. 縣193公路之定位與運輸功能之強化
3. 鐵路運輸資源未能有效利用

七、各港碼頭及後線設施經營方式

(一) 基隆港

1. 裝卸業務

國內航線及300總噸以下國際航線船舶裝卸業務由互惠公司辦理；300總噸以上國際航線船舶裝卸業務，每年提出2,059,468裝卸噸由大同公司、基港裝卸公司及基隆勞動搬運合作社三家民營裝卸業者承辦海上裝卸業務外；其餘皆由港務局棧埠處辦理。

2. 碼頭營運

① 優先靠泊碼頭（貨櫃）

除採公用方式外，為了維持與高雄港之競爭力，促進貨櫃裝卸量之成長，使現有之設施能夠充分利用，自民國66年起開始與航商簽訂合約，讓簽約航商享有優先靠泊貨櫃碼頭與使用貨櫃橋式起重機之權利。

至於優先靠泊之先後順位，係以前一年該船公司優先船之航次、櫃數和作業效率各依20%、60%和20%之比例，計算各公司績效值之高低來決定名次。

② 快速裝卸碼頭（雜貨）

目前指定東二、三、六及西四等碼頭，提供為雜貨船快速裝卸碼頭。快速船之靠泊秩序，應按其中請快速之等級以及到港之先後順序排定，且無論天候狀況及任何因素，必須於規定時間內裝卸完畢並駛離港區。

3. 倉棧營運

除部份設施係出租使用及合作投資興建而由投資者經營外，倉棧大部份多為公用。

(二) 蘇澳港

裝卸業務均由蘇澳港棧埠所承作。碼頭均未出租專用，僅部份碼頭後線出租予民間業者使用。

(三) 台中港

台中港於民國65年10月開始營運時，棧埠業務即開放民營以吸收民間資金參與國家重大經建計畫。開放營運迄今，民間投資業者共有20餘家。除兩家經營一般散雜貨裝卸倉儲業務外，其餘多以專業性者居多，尤以液體貨物及化學品原料為首。未出租碼頭則由棧埠管理處經營，故其棧埠業務成為公民營雙軌並進型態。

(四) 高雄港

1. 裝卸業務

除出租與合資興建之部份，其裝卸業務係由承租人辦理外，國內航線及300噸以下國際航線由高雄港民營碼頭裝卸聯營處承攬；300噸以上國際航線，每年有固定3,360,958噸之散雜貨分配予高雄港碼頭裝卸聯營處（台通、中安及高雄碼頭裝卸等三家公司）、南部通運公司及高雄市碼頭裝卸搬運勞動合作社等幾家甲種輪船裝卸承攬業承作；其餘皆由港務局棧埠處自行辦理。

2. 碼頭營運

① 貨櫃碼頭

目前除40、41、42、43及64號等五座碼頭保留公用外，其餘十三座均分別出租予各輪船公司專用。承租人不僅可裝卸自有之貨櫃，亦可依租約規定邀其餘輪船公司共同使用。當承租專用碼頭有空檔時，亦可由港務局指泊其他船隻靠泊，但以不影響承租人作業為原則，並以使用碼頭及貨櫃起重機為限。

② 合作興建之專用碼頭

由廠商出資港務局提供土地及水域，合作興建港埠設施，並在約定優先使用年限期間廠商免繳碼頭、廠房租金，但仍應繳管理費、碼頭碇泊費、土地租金、碼頭通過費及水面使用費等費用。

3. 倉棧營運

第一、二、三、四貨櫃中心出租碼頭之貨櫃場、貨櫃集散站，係由承租人自行經營或由其委託之集散站業者經營。公用碼頭因不辦理貨櫃集散站業務，其貨櫃場由港務局自行經營；至於合資興建部分則由投資者自行經營。

(五) 花蓮港

目前花蓮港務局除棧埠處外，尚有民營起卸公司一家參加輪船裝卸作業。民營裝卸公司分擔船上裝卸業務之四成，陸上裝卸工作則由棧埠管理處自行

辦理。另有部分出租供民營公司專用之碼頭，則由其負責裝卸。

八、各國際港發展之意見調查分析

(一)目的：瞭解航商對航運政策之看法及國內港埠發展之建議。

(二)方式：針對重要航商進行面對面訪談，其他則採郵寄問卷調查方式。

(三)分析方向：

- 灣靠港口特性分析
- 整體港埠發展建議
- 轉運中心建立之看法
- 開放兩岸直航後之對策
- 推動環島航運之看法
- 各國際港最適發展定位之看法

分析結論：

1. 約60%之重要航商有造船計畫，貨櫃船載櫃量約4,000~5,000TEU（遠洋）。
2. 有成立亞太營運中心之必要，但須重視下列幾點：
 - ①港務局之經營心態必須調整
 - ②碼頭工人之問題解決
 - ③海關作業效率須提高

④高雄港為主要轉運中心

3. 開放直航將可競分香港轉口市場之比例，各航商看法不一，平均約35%。

4. 環島貨運較無法比陸上運輸具有時效

- 可能之貨種—貨櫃
- 以現有船舶搭載

5. 各港定位之看法

- 現況及未來仍以高雄港為主要灣靠港
- 高雄港應定位為海運轉運中心與運銷中心
- 基隆港及台中港則定位為兩岸直航之樞紐港及區域性貨物進口港
- 約85%之航商五年內會選擇台中港，其船舶運能約500~1500TEU

6. 各港埠發展建議

各港均應改善之建議：

- 港埠費率
- 碼頭工人
- 管理增設裝卸機具
- 延長作業時間
- 提升作業效能
- 簡化海關作業

港灣技術研究所八十七年度基本研究計畫簡介

錢爾潔 港灣報導編輯委員

本所成立於民國七十年二月，至今已滿十五年，主要任務係引用新方法、新技術、新設備等積極推動研究發展港灣科學及工程技術，其業務除接受各港務局與有關單位委託辦理主要工程技術研究外，為協助解決本省港灣建設與發展所遭遇之各項問題，每年並編列經費辦理基本研究業務，謹將八十七年度本所基本研究計畫簡介如下。

(一)港埠運量預測模式之研究

各類貨種未來各年度運量預測結果，為從事未來港埠規模規劃所必先決定之最基本資料。各類物種未來年之船席數目夠不夠？是否需要擴建？擴建席數到底需要多少？擴建時程為何？都要配合運量預測之結果。以往，當需要運量預測數字時，都由各別計劃分別委託顧問公司或學術單位來從事研究，各計劃限於時間及經費，不但所應用之預測方法不盡相同，其預測出來之結果有時候差異也很大。

鑑於運量預測結果對於港埠規劃者之重要性，因此有必要有一專責單位來從事運量預測模式之建立，而且不斷進行修正，經常調整。本年度進行本研究之最主要目的，

乃在培養本所相關研究人員對於港埠運量預測之研究能力，從而建立長期自主之研究成果。所以將從最基礎之各種運量模式開始研習，然後蒐集各種模式所需之資料加以建檔。如果時間許可時，則嘗試將各模式寫成電腦程式，並比較其預測結果。

(二)環島海運貨物量調查研究

台灣地區由於經濟發展及人口迅速增加，致陸上交通負荷愈來愈形沉重，時有運輸瓶頸發生，目前政府雖然積極推行各項重大內陸交通建設，但從長期觀之未來恐仍有不足，故為減輕內陸交通負荷，節省土地使用、善用廣大海域資源，發展環島航運實為有效途徑。

過去由於內陸上客運、鐵路、公路、管道各種運輸方式齊全，而且方便，導致沿海之環島航運貨源被分散，造成貨源不足，經營困難，致使沿海航運無法順利推廣。近年來台電、中油等國營企業及台泥亞泥等公司利用環島航運輸送原料或產品之需求持續增加，配合基、高兩港間貨櫃南北轉運量之大幅成長，使環島航運之經營又出現生機，本研究擬藉公路汽車貨運調查報

告為基礎，調查與環島航運潛力有關之貨物種類及數量作起訖點之分析藉以了解各地域汽車貨運流量之數據與目前環島航線運送之大宗貨物、貨櫃以及一般雜貨可移轉為環島航運之貨物量之數據，作為未來規劃國內商港港址之依據。

(三)台灣海域海氣象現場調查與即時回報系統建立之應用研究

本研究係依據行政院第十三、十四次科技顧問會議有關建議方案及執行規劃中建議由交通部召集相關單位進行「建立海象長期觀測網」之細部規劃，其規劃方針(一)長期觀測網依任務導向作為責任區分(二)港灣工程及海岸保育部份由本所負責。

整體規劃與建站時必需考慮需求與優先次序，並且配合國家海洋政策實施及交通處之政策，在此原則下，從現有觀測站之整合其先後次序為花蓮港、台中港、蘇澳港、基隆港、高雄港等五個國際港之長期波浪觀測再配合潮汐、風及短期之海流作有系統之觀測，並將資料鍵入電腦資料庫，以提供海洋資源開發及港灣建設所需資料，本研究已於七十五年開始作有系統之資料整理，建立初期之電腦資料處理系統，今擬配合國家經建中所投入海象觀測經費、人力與站網有系統整合，逐漸完成我國長期海象觀測網，繼續作此方面之調查研究。

行政院研考會正推動「政府機

關電子資料流通」之業務，藉此將五個國際港之海氣象資料以靜態及動態方式透過資訊網路提供國內船舶業者及有關人員查詢，促進政府資訊快速流通，提供民眾各種方便的資訊服務，及各機關間的資訊交換。

(四)屏東林邊海岸沖淤調查研究(II)

台灣本島四面環海，陸地資源有限，過去為配合經濟發展需要，政府及人民相競於海岸地區圍堤築港、闢墾海埔新生地、養殖漁塭等工程措施，以提高民生經濟發展，然當時之開發過程均未詳細評估工程開發後對當地生態環境及海岸安定問題可能造成之影響，以致在高度開發之後造成本省多處海岸產生嚴重之侵蝕現象，自北往南如基隆新港、淡海新市鎮、淡水國內商港、觀音工業區及專用港、新竹漁港、新竹海埔地、香山區開發、通霄電廠及通霄南區開發、台中港、大肚溪口之垃圾掩埋場、彰濱工業區、王功海埔地、永興海埔地、六輕及雲林離島工業區、熱鼓海埔地、台南縣之中心漁港、濱南工業區、安平港、興達電廠至永安 LNG 接收站、南星廢棄物掩埋場、高雄紅毛港、東港深水漁港等大大小小之工業區，商漁港工程之進行，無一不是移山填海造陸工程，致使得本省林口海岸、台中港外海、雲嘉外海、高雄彌陀海岸、屏東林邊海岸等均是海岸線遭受嚴重侵蝕，砂灘多

處流失，更甚者已危及當地居民之生命財產安全，使得政府常須另外投注一筆龐大之經費於海岸防治設施之興建上。

故欲於海岸地區進行開發工作，首要當須了解當地海岸性質，如地質、未來海岸線變遷情形、海象條件等，以確保工程設施安全，本計劃研究目的即繼續針對海岸線日漸消失之屏東林邊侵蝕海岸分別進行海象監測以及海岸沖淤研究調查，作為日後屏東大鵬灣開發該處海岸保護措施研擬之參考依據。

(五) 港域海象特性及其監測應用研究

微波遙測包含各類波段，如 SAR 之微波、紅外線波段、近紅外波段至可見光波段等，可分別對不同地面物質有不同之反應特性。然後利用萃取、強化或波段整合等技術，可以使感興趣之地面或海面現象顯現出來，再以不同之數學物理方法進行分析。本研究乃希望藉由遙測技術及數學手段對近岸海域之波浪與海流特性，由點至面，作全面性探討並配合現場輸砂資料，建立一完善的海岸地形變遷模式。

其次，對於資料分析之手段，常隨信號之種類或所應用之領域的不同而有個別之最適化方式。本研究亦將同時進行波譜、調變及子波分析之特性以比較研究，並探討其於水波學之應用特性。

雖然波譜、調變及子波分析的理論根基及相關解析手段或數值解

析方式多衍生於傅立葉分析，然而三者各有各之專擅，亦各有各之不定性。其對訊號特性研究之結果，至今在綜合及診斷上甚難連貫，特別是在水波學上的闡述。故此部分研究，除將進行嚴密完整之基礎理論探討，也將開發嚴謹、完密、功能廣泛之解析程式，並應用實測資料（試驗室或現場資料）探析界定各分析項目之特長及拘限，特別是其於水波訊號分析上之注意要點。

(六) 台中港附近波浪預報模式設計：海流效應

台灣附近海域因有黑潮通過，故東西岸皆有明顯洋流存在，台中港附近且有很大的潮流，故我們可預期波流交互作用現象在此極顯著，例如在台中港北防波堤頭附近，因流較強，故經常出現波濤洶湧的現象，在其他區域，波流交互作用現象亦應普遍發生。

以往波流交互作用的理論，當實際應用於三度空間流場時，僅能對折射現象加以計算，當波行進至 caustic 發生反射時，Smith(1975) 雖提供一極嚴密且完美的理論，但應用它來從事實際的計算將極困難，甚至於不可能，因此，到目前為止，所有已知的波浪數值計算模式皆無法計算波被三度空間流反射的現象，甚至因無法避免其發生，而完全忽略了流的存在，其影響所及，使人們至今對於流是否會使海岸受更多入射波侵襲，此一基本問題尚無定論。

Shyu & Phillips在1990年提供波被流反射現象另一種形式的解，此解最近且被Shyu & Tung延伸至可被直接應用於波被三度空間不穩定流反射的計算，因此本計畫將根據Shyu & Phillips (1990)及Shyu & Tung的理論設計一計算波由深海入射至淺海，受地形和海流影響發生變化（包括被流反射）之數值模式，利用此一模式，我們可配合其他深海波浪預報模式（如WAM-model），對台中港附近的波浪場從事例行性的預報，另外，我們也可利用此模式對台中港附近各點在各種情況下的波浪特性加以研究，因而對此區域內船隻的航行、結構物的設計、以及漂沙量的估計等皆有很大的幫助。另外，由於流在淺海的變化受當地海底地形影響很大，而前者的變化使波除受後者直接影響外，亦產生額外的變化，因此目前的數值計算模式對我們欲利用人造衛星影像（表電磁波被海面波浪散射回來的信號），估計淺海海底地形或海流分佈亦有很大的幫助。

(七)基隆港區老舊碼頭基礎穩定性調查及評估研究

基隆港自清光緒十二年（西元一八八六年）建港迄今已超過百年歷史，港區碼頭一直伴隨著台灣地區經濟之繁榮發展而不斷的增建擴建，惟仍有部份碼頭建造於日據時期或更早，而至目前為止仍繼續使用中，推測其使用時間已將近五十

年或更長，由於建造當時無論船舶海運規模或碼頭土木營造技術等均與目前不同，尤其近年來國際貿易密切，來往貨運頻繁，故相繼採用大型貨櫃船或海輪。

由於泊船時之衝擊力、牽引力及碼頭水深之需求等均與老舊碼頭建造當時之設計條件不同，老舊碼頭若仍繼續維持使用，則對其安全性應重新檢討評估，否則一但損毀其影響將甚大，是故老舊碼頭之安全性問題極為重要。

國內至目前止對老舊碼頭之穩定性及安全性並無一套完整的辦法加以檢核，相關的法規及維護作業要點等亦極缺乏，本研究擬對基隆港區選擇數個較具代表性的老舊碼頭就其穩定性及安全性進行有系統的調查研究，其目的在提供其它碼頭維修管理之參考依據。

(八)布袋港地層下陷監測與地質建檔研究

由於超抽地下水易造成區域性之地下水位下降，西南沿海之台中港、布袋港、安平港等港灣地區，其地下水位大多已降到海平面以下，有引發海水入侵之疑，若水位繼續下降，恐會導致地層下陷；因此為維護港區工程及各樣設施之安全，針對各港區地下水位變化與地層下陷長期性之監測研究，極為重要。

國內至目前為止，對於各港區之地層下陷，地下水位變化等地下水文之觀測資料相當缺乏，本研究

擬對目前可能沉陷較嚴重之布袋港，選擇適當地點，以無線電波感應式層別沉陷儀進行港區地層分層沉陷之長期監測，並埋設水壓計，水位觀測井，以瞭解地下水位及水壓變化對港區地層下陷之影響，其目的不但可成為維護港區現有工程及各樣設施安全監測之一環，並可做為港區碼頭、堤防等擴建工程規劃設計之參考。

本計劃擬於布袋港區，埋設沉陷計及水壓計，進行長期觀測，並搜集港區現有地質資料進行建檔，提供港區工程規劃設計及工程維護之參考。

(九)港灣環境下高性能結構體之性質研究

在海洋環境下的鋼筋混凝土結構物，由於許多混凝土本身的問題，如混凝土施工不良，配比不當，外力超過容許範圍，受海洋環境物理和化學的侵蝕問題的影響，使混凝土有過高的滲透性或產生裂縫，而使有害性物質容易侵入混凝土內部，再經由各種因素的交互作用和惡性循環，使混凝土產生新裂縫和加速舊裂縫之延伸，擴大海洋環境侵蝕的現象，進而使氯離子更易侵入混凝土，破壞鋼筋表面的純態保護膜，使鋼筋發生腐蝕，因而減少結構物的使用年限，尤其台灣四面環海，在高溫高濕的腐蝕環境下，混凝土腐蝕問題更為顯著。

高性能混凝土具有高流動性與高品質之特性。其高流動性使混

土施工具有不需搗實，可自動澆置與減少施工噪音優點；廣泛的自流特性能減少混凝土之輸配以及可以流通狹窄鋼筋間距或斷面，達到充分填充。其高品質特性除顯現於硬固後之性質，在施工階段可顯現其減少骨材析離與泌水現象之優點。

高性能混凝土兼具有安全性、耐久性、工作性、經濟性及環保性等優越的工程材料特性。未來在土木建築工程上勢必扮演著非常重要的角色。為提升港灣工程混凝土科技的技術水準，因此激起本研究計畫之擬定。

(十)現有結構物安全評估及維護研究

我國工程結構是否安全堪用，必須明確的瞭解，俾採必要之防範措施，基於此一需求，急需進行結構物安全評估工作，國外針對新舊結構物建立結構檢測方法，並已建立完善評估制度，使結構物達到安全、經濟有效益維護，增長使用壽命之目的，國內尚未建立結構物評估制度，並無統一標準的測試方法，故鋼筋混凝土結構物之檢測技術研究有其必要性。

結構物之維護是為確保安全、使用功能及延長使用年限，目前我國工程與設施較著重興建，或全面維修，對於維護均認為是例行公式，編列維護經費，作低效益，無專業技術之表面粗淺之維護工作，英、美、日等先進國家則均依環境腐蝕特性，規劃完整之維護計劃，不

但使維護經費做最有效之運用，且可杜絕龐大維護費用之浪費，對人、社會及環境造成最低之衝擊，強化港灣結構之維修技術中陰極防蝕、脫鹽還鹼……等新技術與應用應為重要之課題。

(二)高雄港港池水質擴散模式之研究

依據省府交通處指示，為瞭解國內幾個重要國際港，即高雄港、基隆港、台中港、蘇澳港及花蓮港各港區港域污染程度，因此在本省海岸與港灣水質規劃與管理之工作上，有必要考慮到比較大範圍內適當尺度之水理傳輸特性及海域環境容量。本計畫即針對此問題擬發展一個可供今後規劃台灣地區港灣及附近各海地區有效的水理水質計算工具。以供作為整體規劃我國港灣

、河口及其他沿海地區之水質保護工作之有效工具。

本研究擬採用模型實驗、數值模式和現場調查三種方法對高雄港港域的流場情況和擴散特性進行研究。模型實驗擬用一平面水槽模擬潮汐對港池內流況之影響，並使用雷射引致螢光法 (LIF) 對港池內濃度分佈、擴散情形做全域的測量。數值模式擬以二維水深平均之有限元素法模擬港池污染物在風力及潮汐之作用下之傳輸情形。並藉由數值條件之改變來分析對於水理及污染物傳輸之影響。模型實驗之結果與數值結果並佐以現場實測資料將互相驗證以確定三者間之正確性。期能對高雄港港域污染有更深入之瞭解和對港域水質作更有效之管理。

苗栗沿海電廠溫排水擴散模擬

周憲鴻 國立中央大學土木工程研究所副教授

一、前言

台灣西部苗栗海岸，由於沙岸平緩、土壤貧瘠，並缺乏天然灣澳之條件，是以漁牧觀光等業較難發展。有鑑於電廠民營化之趨勢及縣區內豐富的天然資源蘊量，新設火力電廠之籌建實為地方工商業發展的當務之急。

由於電廠之籌建所需之考慮因素及影響層面頗廣泛，而電廠之籌建及運轉時對於廠址附近環境之衝擊頗為巨大，故進行新設火力電廠籌建之可行性評估時，在廠址評選及電廠佈置決定前，應對於廠址附近之各項相關海氣象資料進行全盤性之蒐集與分析。電廠冷卻水之吸取與排放應避免發生迴流現象以致影響發電效益；同時電廠溫排水亦對附近海域生態產生深遠之影響。凡此皆亟待事前研究其可能發生之情況並預謀解決之道。本文乃針對苗栗海岸之四個可能火力發電廠廠址，以二維數值模式模擬電廠營運時，冷卻循環水吸取及排放過程中，海域之流場及溫度場之分佈，以作為廠址評選及海域環境影響評估之基本參考資料。

二、海岸環境調查與新設火力電廠廠址評選

海岸環境調查包含海象、氣象、海域水質、地形、漂砂、以及海岸變遷等。苗栗海岸之各項調查內容參見相關報告書（張，1996）。

苗栗沿海之四個可能新設火力電廠廠址由北而南依序為竹南鎮之臺拓、後龍鎮之灣瓦、通霄鎮之通霄灣、苑裡鎮之苑裡港（見圖1）。臺拓廠址位於竹南鎮中港溪出海口北岸約2公里處，其西北面為苗栗海岸，屬平直沙灘，東南側為保安林，寬約50公尺。灣瓦之預定廠址位於苗栗縣後龍鎮中和里灣瓦附近，廠址之南側為海線縱貫鐵路，東側為西湖溪及後龍溪出海口，西側及北側為苗栗海岸。廠址現地沙丘起伏，西湖溪出海口南岸海岸線呈90°轉彎，有利於避免熱水之迴流。通霄灣廠址位於苗栗縣通霄鎮通霄海水浴場以北約2公里處，東側為台一號縱貫公路及海線縱貫鐵路，西側為苗栗海岸。通霄火力電廠位於廠址西南方約2.5公里。廠址現為養殖漁塭區。苑裡港廠址則位於苗栗縣苑裡鎮苑裡溪出海口南

側，東側為台一號縱貫公路及海線縱貫鐵路，西側為苗栗海岸。廠址現地為墳地、沙灘、濕地、及早地所組成。此處之飛沙淤積頗為嚴重，海岸線則向內陸退縮。

三、溫排水擴散理論分析

溫排水排入海域後，因其溫度及速度與週遭海水有明顯差異而造成快速混合現象。其後一部分之熱量轉為大氣蒸發，其餘之熱量隨海水運動而傳輸，並由溫度梯度之效應而產生擴散現象。在數值分析上將模擬之海域分為(1)近域模式 (near-field model) 及(2)遠域模式 (far-field model) 二區域。近域模式著重排放口附近海域，由於溫排水排出之動量而造成之浮昇射流捲增現象(buoyant jet entrainment)，相較之下，此區域之表面熱損失常忽略不計。遠域模式則著重大範圍海域之模擬並近域模式之結果為其邊界條件。遠域模式並考慮海域受溫排水之浮昇力及潮流、波浪之作用下海域之流場及水溫分佈。而風及大氣與水面之熱量交換對水溫之分佈亦有所影響。以下就本文之近域模式及遠域模式分別加以介紹。

(一)溫排水之近域分析

溫排水自排放口排出後，因其密度較週遭海水小，所以其流況為浮昇射流之初期混合現象。一般之近域研究假設流場中速度及溫度符合自相似性分佈，故可將控制偏微分方程式(即水及能量之守恆定律

及動量方程式)積分處理而得一組常微分方程組，再由 Runge-Kutta 之數值方法即可逐步求得射流之流場及溫度場(周和張，1993)。此一數值結果亦為遠域分析之邊界條件。工程上之分析則採用經驗公式或簡化之理論公式(Ryan and Harleman, 1975; Jirka et al., 1981)。本文採 CORMIX 專家系統(Cornell Mixing Zone Expert System)進行溫排水近域分析。CORMIX 依據排放管之佈置、排放量及排放處之水深、洋流等資料，配合理論及數值模式，將流況分類以計算出近域之稀釋值(Jirka and Akar, 1991; Jirka and Doneker, 1991)。此一專家系統共分成三部分：(1)CORMIX1：適用於潛式單孔排放，(2)CORMIX2：適用於潛式多孔排放，及(3)CORMIX3：適用於明渠表面排放。一般而言，以(2)及(3)之擴散稀釋效果較佳，故為一般電廠之溫排水所採用之方式。如台中火力電廠採明渠表面放流，而核能四廠則就明渠及多孔排放二者分別加以分析，本文分別以 CORMIX2 及 CORMIX3 進行近域分析。

(二)溫排水之遠域模擬

在分析整個海域對溫排水之稀釋能力時，必須對其流場及海域參數做正確之評估。本文之遠域模式由水理模式-CAFE (Wang and Connor, 1975)，及水質模式-DISPER3 (Leimkuhler, 1974) 二部份組成。CAFE 及 DISPER3 二個模式之配合常應用於電廠溫排水之海域溫升

模擬 (Findikakis et al., 1985, 鄭等, 1989)。此二模式皆以 Galerkin 方式之有限元素法求得整個海域內流況及溫升之分佈。詳細之計算步驟請參照相關文獻 (Wang and Connor, 1975; Leimkuhler, 1974; 莊等, 1994)。

四、溫排水擴散數值模擬

(一)電廠運轉條件

1. 電廠設計容量

依據台灣電力公司之火力電廠可行性評估，新設火力電廠之整廠發電容量應達到3000百萬瓦(MW)，方符合經濟效益，亦即廠址內可裝載四部容量為750MW之慣常火力發電機組(以煤或重油為燃料)。每一機組之冷卻循環用水在排放前的設計溫升為 7°C ，而其所需之冷卻循環用水為38.2cms。亦即在火力電廠滿載運轉條件下，電廠溫排水之總排放量為152.8cms。

2. 溫排水之法令規定

根據環保署規定之放流水標準，溫水直接排入海洋者，須符合下列二項條件：

- (1)距排放口五百公尺處之表面水溫差不得超過攝氏四度。
- (2)排放口水溫不得超過攝氏四十二度。

經由現場資料之數值模擬，可以驗證或改善電廠溫排水之佈置以確保符合環境保護之要求。

3. 溫排水配置分析

溫排水之綜合溫升包含三部份：
(1)近域熱流溫升，指溫排水排入海域後，因其啓始動量及浮昇量(由於溫度差)的作用形成浮昇射流，造成周遭海水捲增吸入，而達到溫度稀釋之功效。此一部份之溫升，可由近域模式計算求得。
(2)近域熱迴流溫升，指溫排水由排水口排入海域後，再由取水口吸入，進而造成排水水溫提高，亦即所謂之迴流現象。此一部份之溫升，一般由水工模型之試驗結果決定。依工程經驗，海底排放之近域熱迴流溫升約 0.3°C ，而表面排放之近域熱迴流溫升則約 0.5°C (鄭等, 1989)。
(3)背景溫升，是整個海域之長期溫升現象，其值決定於海水之擴散能力、風、潮流大小及恆流之值。此一部份之溫升，可由遠域模式計算求得。為了儘量避免迴流現象，取水口應位於恆流之上游，而排水口則應位於恆流之下游。苗栗海域之恆流方向為東北向，故取水口應位於廠址之西南側，而排水口則應位於廠址之東北側。

(二)近域溫排水配置分析

如上所述，為了增進溫排水之稀釋功效並減低其對海域環境之衝擊，取放水口皆採用位於10m水深處之離岸結構，並分別就明渠排放及潛式多孔排放二種方案加以分析

。因缺乏工程細部資料，乃以現有電廠之取排水口之工程尺寸進行分析。本研究以 CORMIX3 模式之分析結果顯示，採明渠排放時，距離排水口（水深為 10 公尺處）500 公尺之溫升超過 4°C ，並不符合環境保護之要求，且浮昇於水面之溫水往上游移動，而容易造成熱迴流而降低了冷卻水之效率。若要有好的稀釋效果，則需將渠道延伸至離岸水深處，如此必造成工程成本之增加。此一階段並不建議採取此一排放方式。若採潛式多孔排放，根據 CORMIX2 模式之分析結果，其排放管處之水面溫升為 2.2°C ，500 公尺內之溫升為 2°C 。此一方式之稀釋效果較佳，然其垂直方向之溫升均勻，可能對近域之底棲生物有所影響。

(三) 廠址海域資料分析

1. 海域地形資料

本文依據民國 64 年之海圖資料，分別將苗栗海岸四個可能火力電廠廠址（如圖 1 所示）之海域地形及水深資料建成三角形元素格網點。竹南鎮之臺拓廠址之模擬海域包含 107 個格點及 175 個三角元素（圖 2）、後龍鎮之灣瓦廠址包含 164 個格點及 272 個三角元素（圖 3）、通霄鎮之通霄灣廠址包含 116 個格點及 189 個三角元素（圖 4）、苑裡鎮之苑裡港廠址包含 164 個格點及 210 個三角元素（圖 4）。各廠址模擬海域之範圍沿岸長約 9 公里，寬

約 5 公里，等水深線大致與海岸線平行。

2. 海象資料

水理模式 CAFE 中，苗栗海域之海象參數輸入資料分別為潮汐周期為 12 小時 25 分鐘，潮差取為 4.0m，風速則採 1.0m/s 西南風，其相對應之水面熱損失係數為 $30\text{ Watt/m}^2/^{\circ}\text{C}$ （Ryan and Harleman, 1973）。海床之粗糙係數（曼寧 n 值）則假定為 0.03。海域之渦流黏滯係數（eddy diffusivity）， E ，依北部海域之特性採 $E=200-400\text{ m}^2/\text{s}$ ；亂流擴散係數（trubulent diffusivity）， K 則採用 $K=5\text{ m}^2/\text{s}$ （莊等，1994）。 E 值之決定乃根據模擬之潮流值是否與現場實測之潮流值相符。

3. 邊界條件

(1) 陸上邊界條件

水理模式 (CAFE) 中所需之陸上邊界條件為垂直於陸上邊界各格點之流量為零。在溫度擴散模式 (DISPER3) 中之陸上邊界條件則為陸上邊界各格點之垂直溫度梯度為零。

(2) 海上邊界條件

水理模式 (CAFE) 中所需之海上邊界條件為潮汐振幅及相位差。本模式假設潮汐為一簡單之正弦函數，其邊界上各格點之相位差，則由潮流之方向及大小來驗證。溫度

擴散模式 (DISPER3) 中之海上邊界條件則令其邊界各格點之溫升為零。

(3) 排水口邊界條件

水理模式(CAFE)中，離岸取水口可視為一匯流點(sink)，亦即此格點之流量為-152.8cms；而離岸排水口則可視為一源流點(source)，即此格點之流量為152.8cms。而溫度擴散模式(DISPER3)中排水口之溫升值則由近域模式計算求得或由冷卻循環水之設計溫升值決定。

(四) 遠域模式流況及溫升模擬

1. 廠址附近海域流況模擬

電廠於取水口處引入海水(溫升前)，並於排水口處將溫升後之冷卻水排入海域，取放之過程中容易產生迴流現象。台拓廠址之排水口處位於格點61，而取水口處位於格點36(圖2)。灣瓦廠址之排水口處位於格點114，而取水口處位於格點62(圖3)。通霄灣廠址之排水口處位於格點59，而取水口處位於格點35(圖4)。苑裡港廠址之排水口處位於格點66，而取水口處位於格點43(圖5)。由於潮流之效應，漲潮時之迴流現象較退潮時明顯，本文乃針對漲潮流況加以分析。圖6至圖9所示為以CAFE模式模擬漲潮

時各廠址附近海域含取排水口之流況。由圖中可知取排水口之冷卻循環用水會使局部流場改變，其中以台拓廠址(見圖6)及苑裡港廠址之迴流現象最為明顯(見圖9)。

2. 廠址附近海域之溫升分佈

溫排水由排水口處排入海域後，在潮流、海域亂流、風及近域取水口之作用下，形成溫升之擴散及傳輸現象。本文以DISPER3模式模擬廠址附近海域之溫升分佈。以下就四個廠址之附近海域之溫升分佈加以說明。

① 竹南鎮之臺拓廠址

由於臺拓廠址附近海域之流況有明顯之迴流現象(見圖6)，所以其溫升之分佈範圍較廣(見圖10)。排水口之溫升設定為 7.0°C ，而圖中之等溫升線間距為 0.69°C 。漲潮時(潮流向南)之溫升範圍偏廠址之北側，取水口之溫升值約為 1.0°C 。

② 後龍鎮之灣瓦廠址

灣瓦廠址因自然外凸海岸地形，加以排水口位於廠址西北側，而取水口位於廠址西南側，可避免迴流現象。離岸排水口處有天然海溝形成(見圖1)。圖11為漲潮時之等溫升圖，圖中之等溫升線間距為

0.69°C。由圖所示，可知並無迴流現象發生，取水口之溫升值僅約為0.1°C，且溫升範圍均偏向廠址之北側。

③通霄鎮之通霄灣廠址

通霄廠址因海岸地形平直，有些許之迴流現象發生（見圖8）。圖12為漲潮時之等溫升圖，圖中之等溫升線間距為0.69°C。其漲、退潮時（潮流向北）之等溫升範圍差異較其他廠址小，取水口之溫升值約為0.6°C。而現有之通霄火力發電廠位於通霄灣廠址以南2.5公里，故取水口之溫升會受通霄火力發電廠之溫排水所影響。

④苑裡鎮之苑裡港廠址

圖13為苑裡港廠址海域漲潮時之等溫升圖，圖中之等溫升線間距為0.69°C。由圖中可看出苑裡港廠址之取排放口間有明顯之迴流現象，且高溫升範圍均偏向廠址岸邊。取水口之溫升值約為0.6°C。

五、結 論

苗栗海岸之海岸環境調查結果顯示，此海域之水質情況大致良好。經近域及遠域海域之溫排水稀釋模擬結果可知，四個評選廠址中以灣瓦廠址海域之稀釋能力最好。灣瓦廠址因自然外凸海岸地形，迴流

現象最小，且溫水排放口位於廠址北側海域之天然海溝，可因海溝之較大水深提供較佳的稀釋功效。台拓廠址及苑裡港廠址則有明顯之迴流現象，不利於溫排水之稀釋效果。通霄廠址海域有些許之迴流現象發生，廠址之取水口則緊臨通霄火力發電廠之溫排水口處，故其海域之溫升會受通霄火力發電廠之溫排水所影響。為了儘量避免迴流現象，取水口應位於恆流之上游，而排水口則應位於恆流之下游。苗栗海域之恆流方向為東北向，故取水口應位於廠址之西南側，而排水口則應位於廠址之東北側。溫排放建議採離岸之多孔潛式排放管排放以提供較佳的稀釋效果。另一方面，苗栗海岸之飛沙問題對於電廠之運轉亦有負面之影響，防風植栽之工程應一併考慮。

六、謝 誌

本研究承電源開發基金會及苗栗縣政府補助經費，台灣省政府港灣技術研究所副所長莊甲子博士及美國太平洋電力公司涂舜威博士分別在海象資料及數值模式上提供寶貴資料及意見，台灣電力公司王振勇先生熱忱幫忙，特此致謝。

七、參考文獻

1. 張正賢（1966）· 苗栗縣沿海地區籌建電廠之初步可行性研究，國立中央大學環境研究中心，苗栗縣政府委託計畫，中華民國八十五年一月。

2. 周憲德，張凱復 (1994) . “排放口佈置對多孔浮昇射流混和之影響”，第15屆海岸工程研討會論文集，pp.547-560。
3. 莊甲子，李中彥，周憲德，吳瑞賢 (1994) . “點污染源在潮汐作用下之擴散效應”，第16屆海岸工程研討會論文集， pp.149-162。
4. 吉興工程顧問股份有限公司 (1991) . 通霄發電廠複循環第六號機組發電計畫環境影響評估，民國80年。
5. 中興工程顧問股份有限公司 (1992) . 全省火力發電廠可能廠址環境影響評估，民國81年。
6. 鄭石璋，蕭海南，陳家正，洪志群 (1989) . “核能電廠溫排水排放方案研究(-)，台電核能月刊，No. 74, pp.2-21, 1989。
7. Jirka, G.H., E.E. Adams and K.D. Stolzenbach (1981) " Buoyant Surface Jets", J. of Hydr. Div., Vol. 107.
8. Ryan, P.J. and Harleman, D.R .F. (1973) . "An Analytical and Experimental Investigation of Transient Cooling Pond Behavior". Tech. Report #161, Ralph M. Parsons Lab. , MIT., January, 1973.
9. Leimkuhler, W.F. (1974). "A Two-Dimensional Finite Element Dispersion Model", M.S. Thesis in Dept. of Civil Engineering, MIT, Boston, U. S.A.
10. Wang, J. and J.J. Connor (1975). "Mathematical Modeling of Near Coastal Circulation", Technical Report No . 200, R.M. Parsons Lab., MIT., Boston, U.S.A., 1975.
11. Findikakis, A. N., P.J., Ryan, S.W. Tu and H.D. Farin (1985). "Hydrothermal Studies for A 6000 MW Coastal Power Plant" (Draft), Bechtel Civil and Minerals, Inc. , San Francisco, U.S.A.
12. Jirka, J.H. and R.L. Doneker (1991). "Hydrodynamic Classification of Submerged Single-Port Discharges", J. Hydr. Engrg., Vol. 117, No.9 , pp.1095-1112.
13. Jirka, J.H. and J. Akar (1991) . "Hydrodynamic Classification of Submerged Multiport-Diffuser Discharges", J. Hydr. Engrg., Vol. 117, No.9, pp.1113-1128.

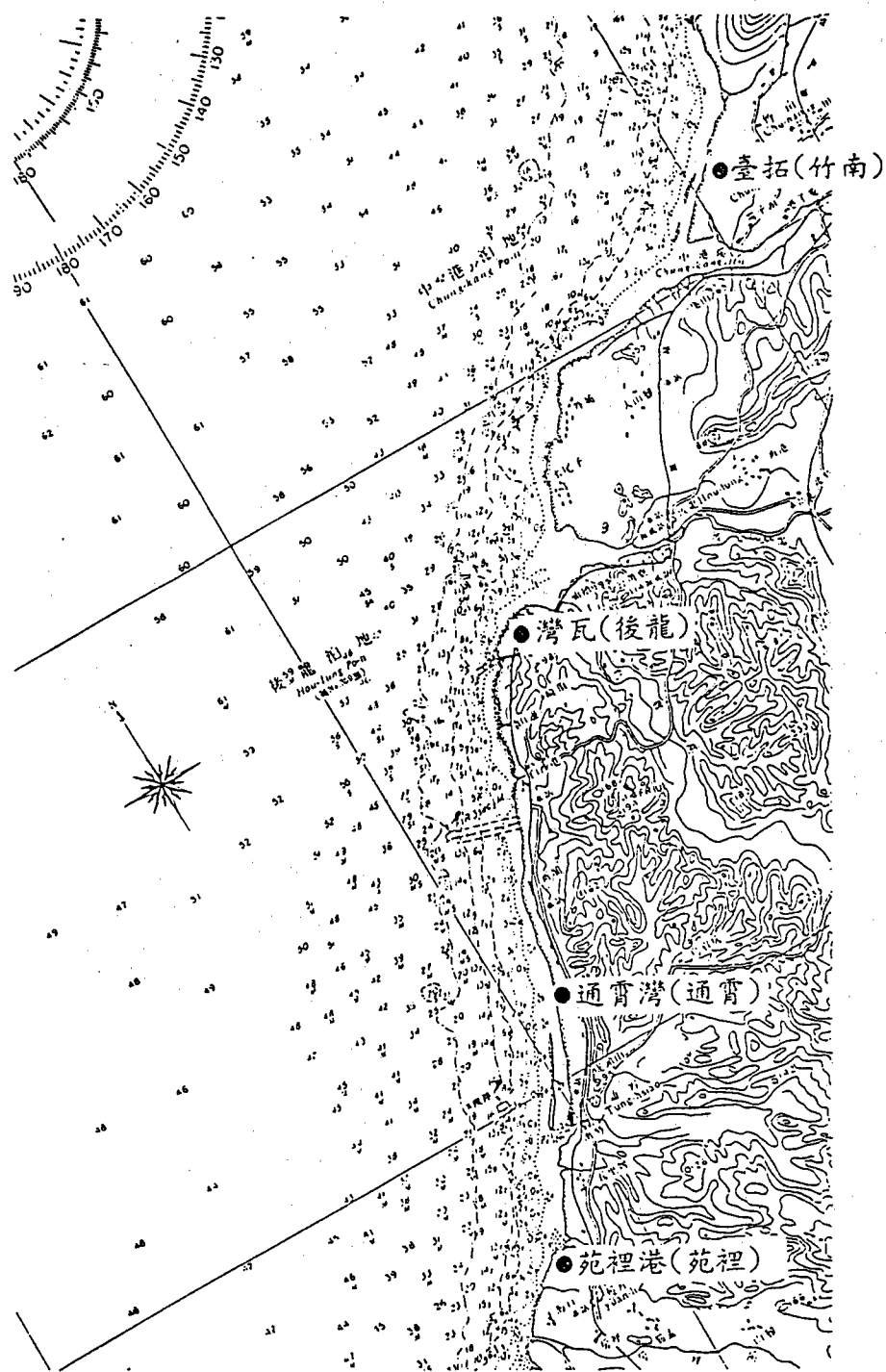


圖 1 苗栗縣沿海地區新設火力電廠之候選廠址位置圖

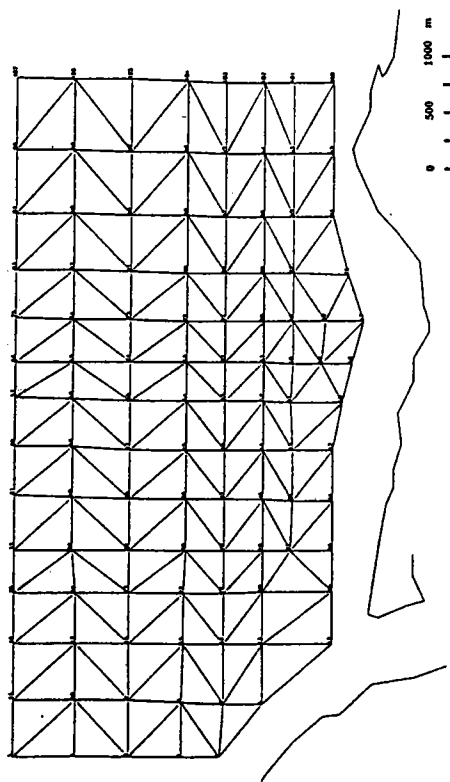


圖 2 臺拓廠址海域三角元素網格圖

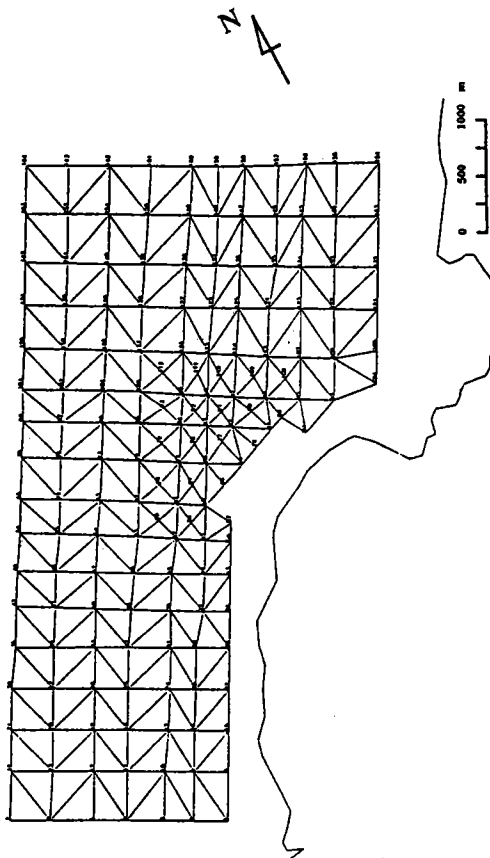


圖 3 灣瓦廠址海域三角元素網格圖

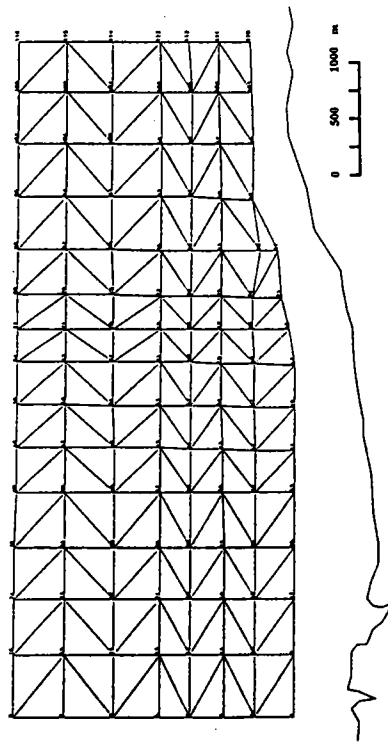


圖 4 通霄廠址海域三角元素網格圖

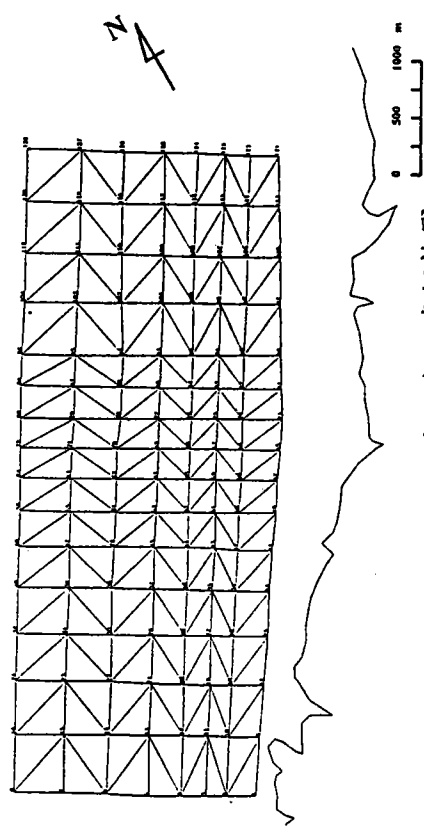


圖 5 苑裡港廠址海域三角元素網格圖

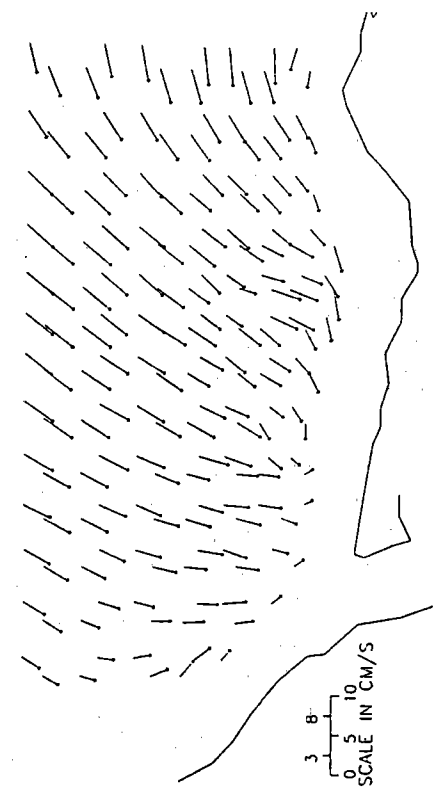


圖 6 臺拓廠址海域漲潮時之流況

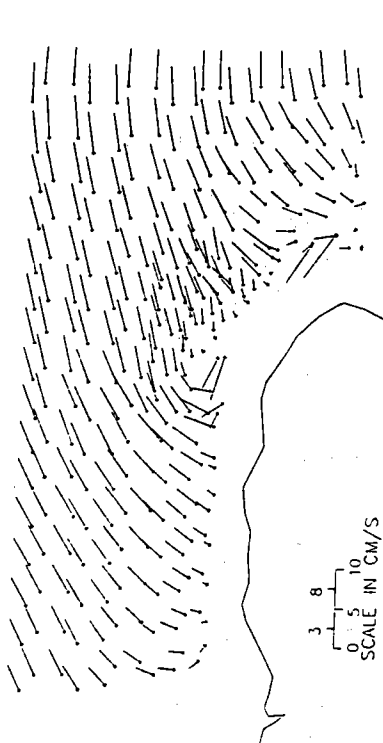


圖 7 灣瓦廠址海域漲潮時之流況

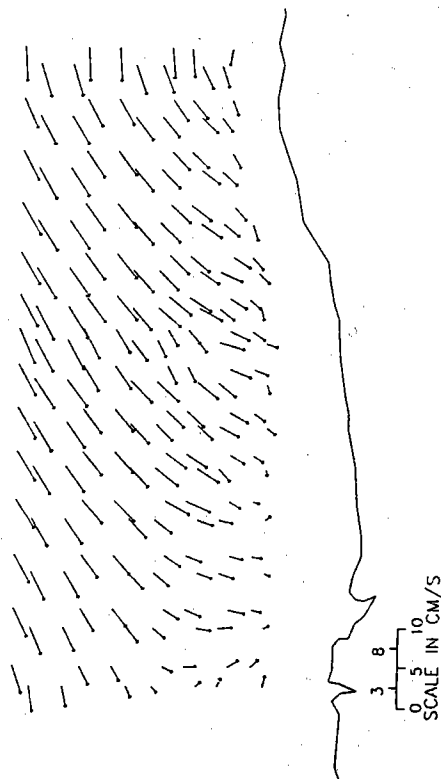


圖 8 通霄灣廠址海域漲潮時之流況

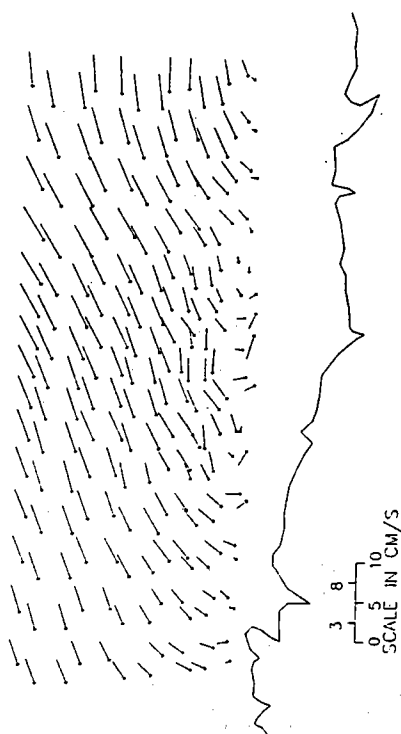


圖 9 苑裡港廠址海域漲潮時之流況

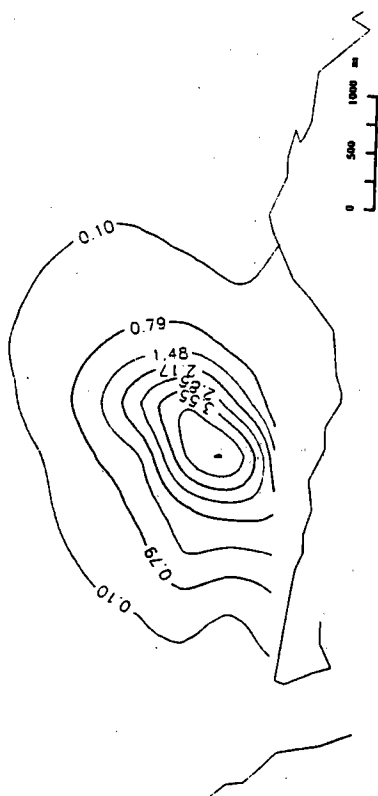


圖10 臺拓廠址海域漲潮時之溫升分佈

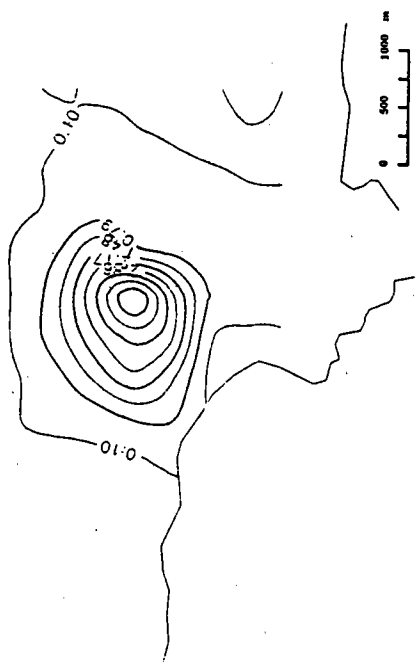


圖11 灣瓦廠址海域漲潮時之溫升分佈

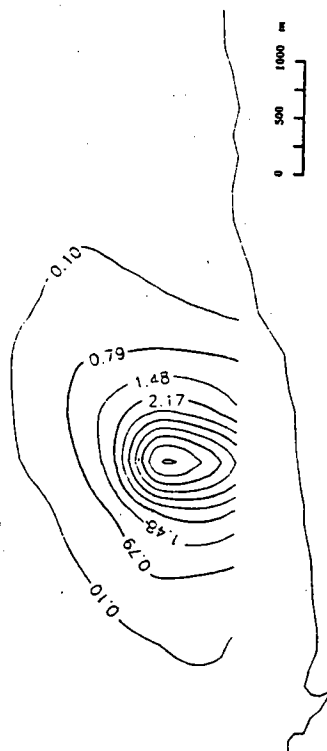


圖12 通霄灣廠址海域漲潮時之溫升分佈

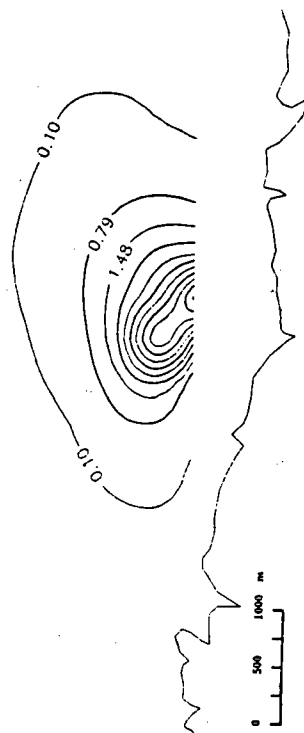


圖13 苑裡港廠址海域漲潮時之溫升分佈

由破裂之消波塊探討鹼骨材反應

李 釗 國立中央大學土木工程研究所副教授
許書王 國立中央大學土木工程研究所博士班研究生
陳桂濟 台灣省交通處港灣技術研究所副研究員

摘 要

自從海砂屋事件發生後，經媒體不斷的報導，國人大多已瞭解使用海砂對鋼筋混凝土結構物的影響，然而混凝土構造物的另一種病變——鹼骨材反應，目前尚未被國人所重視。有鑑於混凝土構造物發生鹼骨材反應之齡期甚長，易為人疏忽，但是發生鹼骨材反應之混凝土構造物往往影響深遠，嚴重時會危害生命財產的安全，因此藉由工程參觀的發現，並配合相關文獻的說明與經驗，初步研判花蓮港區東堤部份之消波塊可能有鹼骨材反應的現象，期望藉由本文能喚起相關單位的重視，從事進一步的研究，以免重要設施發生相關與延伸性的危害，影響生命與財產的安全。

一、前 言

本文係於84年7月11日參觀花蓮港時，發現港區防波堤外之消波塊有異於一般混凝土構造物龜裂的形狀，其型態與硬固混凝土中鹼骨材反應的破裂模式相似，因此引發撰寫本文的動機。

鹼骨材反應是由於骨材中含有

活性砂的成份，會被氫氧根離子分解，再結合水泥中的鹼金屬（鈉、鉀）形成鹼矽膠體(alkali-silica-gel)，在吸水後會產生膨脹，使混凝土產生地圖狀的裂縫，因而會使結構物強度降低和構件變形，嚴重時甚至會造成混凝土構造物的崩毀。由於鹼骨材反應，屬於發病期較慢的混凝土病變，其發病期達5~12年或是更久，國內目前雖未見明顯的鹼骨材反應案例，但在目前骨材料源缺乏的情形下，使用未知特性骨材的機會增加，且台灣的骨材經調查後，發現部份骨材具有潛在的活性，因此值得吾人瞭解造成鹼骨材反應的原因和預防方法，本文擬藉消波塊的破壞模式，說明鹼骨材反應的症狀、反應機理、預防方法、影響因素及維修策略。

二、鹼骨材反應的症狀及消波塊龜裂情形

硬固混凝土構造物在發生鹼骨材反應之後，如果混凝土內部無法吸收鹼骨材反應所產生的膨脹量時，混凝土表面會產生裂痕，由於混凝土構造物有埋設鋼筋與純混凝土構造物之分，其受力行爲不同，因

此以下分開討論。

(一)純混凝土構造物

純混凝土構造物，在發生鹼骨材反應之後其表面會產生不規則的地圖狀裂縫，且此裂縫可能會隨時間而變寬，由於骨材分佈的不規則性，裂縫的生成始於反應性骨材較集中的地方，並形成焦點中心，有數條不同走向的裂紋並交會於焦點中心。在近混凝土表面活性骨材產生鹼骨材反應，混凝土表面會有起泡爆裂 (pop-out) 的情形，在沒有受到磨蝕與沖刷的情形下，其表面的裂痕或混凝土表面可觀察到滲出反應物 (膠體)，呈透明、白色、或濕點狀。

(二)鋼筋混凝土構造物

鹼骨材反應造成之地圖狀裂縫，會受到結構物受力的情形而改變，鋼筋混凝土構造物在有鹼骨材反應之現象時，由於鋼筋的束制，其裂縫沿著主應力方向開裂或與鋼筋平行，惟鋼筋混凝土構造物有時其表面會有鐵銹斑。

(三)混凝土內部症狀

一般而言在凍融、乾濕循環以及硫酸鹽侵蝕的情況下，也會造成混凝土構造物表面的龜裂，因此有必要從混凝土內部加以確認，當混凝土發生鹼骨材反應時其內部的徵候包括微細裂縫、膠體反應產物、骨材周圍有暗色的反應圈。

(四)消波塊之破裂情形

消波塊顧名思義，係指為消除波浪直接拍打堤防等港灣結構而施作的構造物，因此消波塊本身必須

承受海洋嚴酷的環境，包括了海水鹽份、硫酸鹽等有害物質，消波塊形狀雖有不同然其所遭遇之環境應大致相同，主要係由混凝土或鋼筋混凝土所形成。由於混凝土製之消波塊吊放的位置均在海邊，常年處於海洋嚴酷的條件下，日夜受海浪沖打，導致有乾溼循環的現象，並承受海水鹽份的侵蝕及日夜溫差等環境影響，加上海水中之鈉離子會加速惡化鹼骨材反應，所以海洋混凝土構造物的耐久性是一個重要的課題，尤其是著眼於消波塊的功能，因此對於消波塊的耐久性必須加以重視。

在現場調查所見到的消波塊，表面裂損呈典型的地圖狀裂縫，且部份有白色膠體殘留於混凝土表面，如照片一、二所示，並有部份消波塊因破裂嚴重，且內部無鋼筋而有斷裂現象。依文獻及經驗判斷，此現象為典型的鹼骨材反應破壞情形，鑑於鹼骨材反應可能產生的危害甚大，值得深入進行相關試驗，以確認是否確為鹼骨材反應所造成的破壞，並進行相關的研究及早擬定對策。

三、鹼骨材反應概論

(一)鹼骨材反應的種類

Gillott 依骨材成份和性質的不同，將鹼骨材反應分為三類：

(1)鹼—氧化矽反應 (Alkali-Silica Reaction)

鹼氧化矽反應發生的案例較多，且花蓮港區消波塊龜裂的情

形亦可能屬於鹼氧化矽反應所造成，所以本文將針對鹼氧化矽反應進行討論。

(2) 鹼—矽酸鹽反應 (Alkali-Silicate Reaction)

混凝土發生鹼矽酸鹽反應，主要係由於使用如 phyllites, grey-wackes, argillites 和 granitic 等岩石所製成的骨材，此反應的速率比鹼氧化矽的速率反應慢，所以 ASTM C227 和 C289 的規範並無法有效鑑定此種骨材的活性。

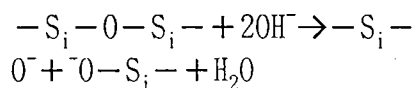
(3) 鹼—碳酸鹽反應 (Alkali-Carbonate Reaction)

使用夾雜有黏土的含鎂石灰石 (dolomitic limestone, $\text{MgCO}_3/\text{CaCO}_3$) 作為混凝土骨材，是造成鹼碳酸鹽反應的可能原因，但是其反應機理目前尚未完全瞭解。

(二) 鹼骨材反應機理

(1) 鹼骨材反應的過程

鹼骨材反應的機理目前仍有多種說法，其中較易瞭解的機理如圖 1 所示，當水泥水化後在混凝土的孔隙溶液中會產生 Na^+ , K^+ , Ca^{+2} 和 OH^- 等離子，若混凝土中含有活性骨材， OH^- 會打斷骨材中結合能量較低的矽—氧鍵結，產生帶負電的 $-\text{Si}-\text{O}^-$ ：



帶負電的 $-\text{Si}-\text{O}^-$ 須與帶正電的陽離子結合，形成穩定的反

應產物，在此反應系統中， Na^+ 和 K^+ 因帶一個正電且原子比 Ca^{+2} 小，較易和 $-\text{Si}-\text{O}^-$ 先結合成鹼矽膠體 (alkali-silica gel)。鹼矽膠體在有水的情況下會吸水而膨脹，因而造成混凝土內部產生膨脹壓力，當混凝土本身無法承受此內部壓力時，混凝土的體積會增加，進而龜裂以釋放內部壓力。

鹼矽膠體在形成初期，由於尚未吸水為較乾的膠狀體，在吸水後除會造成體積膨脹外，膠體的黏度亦會降低，若持續吸水膠體會變成流體狀的物質，流至混凝土中之孔隙，而降低鹼矽膠體的膨脹壓力。

鹼矽膠體在形成後若周圍有足夠的鈣離子，鈣離子會取代鹼矽膠體中的鈉、鉀離子，形成含鈣的鹼矽膠體 (lime-alkali-silica gel)，而鈉、鉀離子釋放出來後，會再進入混凝土的孔隙溶液中，繼續與活性骨材反應生成鹼矽膠體，此種含鈣的鹼矽膠體，其吸水後的膨脹壓力小於不含鈣的鹼矽膠體，鹼矽膠體吸水膨脹的能力會受其組成成份及環境因素的影響，Diamond 在一項為期四個月於密閉室溫的環境中，發現膠體的膨脹量並不固定，對不活潑的膠體，其膨脹量小於 2%，而較活潑的膠體，其膨脹量高達 63%。

(2) 鹼金屬的來源

混凝土中的鹼金屬主要來自水泥原料，在產製水泥高溫燒結時，鹼金屬會揮發出來，若未隨廢氣排入大氣，就在廢熱回收和預熱系統循環，與硫酸鹽結合成硫酸鈉、硫酸鉀或二者的固溶液(solid solution)，此種鹼金屬的硫酸鹽為水溶性，通常在拌合混凝土時即會溶解出來。另外，在燒結水泥時，部分的鹼金屬會進入水泥單礦物，以固溶液的型態存在於水泥中，一般鈉會取代鋁酸三鈣(C_3A)中的鈣形成 NC_3A_3 ；鉀會取代矽酸二鈣(C_2S)中的鈣變成 $KC_{23}S_{12}$ 。在水泥化後，單礦物中大部份的鹼金屬會隨水化過程釋放出來進入孔隙，參與鹼骨材反應。

(3) 活性骨材

活性骨材與一般正常骨材的差異，主要在其結晶構造，一般正常的骨材結晶完整，如圖 2-(a) 所示，其原子間的鍵結能量高，不易被氫根離子打斷產生鹼骨材反應；而活性骨材的結晶不完整，如圖 2-(b) 所示，其原子排列散亂，矽—氧間的鍵結易被氫根離子打斷，而進行鹼骨材反應。

一般可能會產生鹼骨材反應的活性骨材包括：(1)結晶不良或含水的矽質材料，如 opal，chert，和 flint 等；(2)含玻璃質或半結晶的骨材，如 rhyolite，andesite，dacite，

latites 及人造玻璃等；(3)微細結晶或半結晶的石英(quartz)；(4)曾受極大應力發生結晶變形的石英等。在工程實務上有一套判斷骨材是否具有活性的試驗方法，將另行說明。

(三) 防止鹼骨材反應的策略與方法

綜合前述的反應機理，混凝土發生鹼骨材反應須具備以下的條件：

- (1) 孔隙溶液中有氫氧根離子與鹼金屬離子
- (2) 骨材含有活性矽的成份
- (3) 混凝土含有足夠的水份

防止鹼骨材反應的策略，則掌握其發生的條件，若能控制其中任何一項不發生，則可降低產生鹼骨材反應的機會，所以一般預防策略包括下列八種方法：

- (1) 控制孔隙溶液中的 pH 值。
- (2) 控制含水量。
- (3) 控制活性矽的含量。
- (4) 控制鹼金屬的濃度。
- (5) 改變鹼矽膠體。
- (6) 使用適當的波蘭物質。
- (7) 做好混凝土的防水。
- (8) 使用品質良好記錄良好的骨材。

在工程實務上可藉下述的手段達到預防鹼骨材反應的目標：

- (1) 使用低鹼水泥：使混凝土中僅含有少量的鹼金屬離子，ASTM C150 規定水泥中的鹼金屬當量(equivalent Na_2O % = $Na_2O + 0.658K_2O$) 應低

於0.6%，但是此規定未考慮混凝土的水泥用量及其他來源的鹼金屬離子，因此數位學者建議利用混凝土中的鹼金屬應低於 2.5kg/m^3 、酸性鹼金屬含量應低於 3.25kg/m^3 。

- (2)避免使用活性骨材：藉試驗的方法選用適當的骨材，試驗流程如圖3所示。
- (3)添加波蜀蘭物質：以波蜀蘭物質取代部份水泥，藉波蜀蘭反應消耗氫氧根離子和鹼金屬離子。
- (4)降低混凝土滲透性與做好混凝土防水，減少鹼矽膠體吸水的機會。
- (5)使用輪氣劑，使鹼矽膠體在吸水膨脹時，有適當的孔隙容納膨脹的鹼矽膠體，因此降低膨脹壓力。

(四)混凝土發生鹼骨材反應後的維修方法

當混凝土已發生鹼骨材反應現象時，前述屬於施工時的預防措施已無法進行，僅能運用防水的策略，以阻止鹼骨材反應繼續造成危害，目前混凝土發生鹼骨材反應的維修方法包括了下列幾種：

(1)表面被覆法

由於鹼矽膠體吸水膨脹是造成混凝土破裂的關鍵因素，因此採行表面封阻法，防止鹼矽膠體吸水，使鹼骨材反應減緩或停止，但是若防水失效，水份再度進入後，鹼骨材反應即會

恢復，因此表面封阻的有效性以及封阻材料的耐久性是关键。對於已經產生鹼骨材反應的混凝土構造物在早期而言對於防止混凝土劣化有其成效，然而當混凝土因鹼骨材反應已經使構造物強度急遽下降及彈性模數降低時，即使表面封阻已有成效，但是結構上的安全考量會是最重要的指標，也就是結構上的安全評估已符合要求後，再行評估改善的可行性，始有成效。目前表面封阻法所使用的材料在文獻中以環氧樹脂以及高分子材料加水泥漿居多。

(2)裂縫封阻法

當混凝土構造物由於鹼骨材反應，其於混凝土表面會產生裂縫，本法係以加壓的方法將封阻材料灌入裂縫中，其目的之一為防止水份進入混凝土構造物內部，以免內部之膠體吸水而膨脹，此外本法對於已降低強度之混凝土構造物，有提升的作用，目前文獻中大部分使用的裂縫封阻材料包括：環氧樹脂(EPOXY)、高分子水泥漿(Polymer Cement Paste)、兩液型或單液型填縫膠等。

(3)裂縫封阻法加表面被覆法

本法係以前述兩種方法合併使用，先行以灌入的方法將裂縫填塞，再以覆面材料將表面被覆，使用的材料亦如前述，由於封阻和被覆同時施做，因此

對於防止水份的進入有較佳的效果。

四、結論與建議

- (一)依研判一般混凝土構造物，受外力而產生的破壞應該是局部性的，而本次現場發現消波塊表面龜裂並非迎浪面才有，因此似非單純因潮汐力量破壞，且破壞模式與鹼骨材反應相當接近，所以值得進一步深入研究。
- (二)鑑於區域性使用砂石材料的特性，建議對較重要的混凝土構造物，如防波堤等進行檢測，以免延宕時日導致危害發生。
- (三)在未有任何檢測加以確認之前，建議目前選用混凝土材料中之砂石，應先加以檢驗確認為非活性骨材後再予以使用，或作有效的預防措施。

五、誌謝

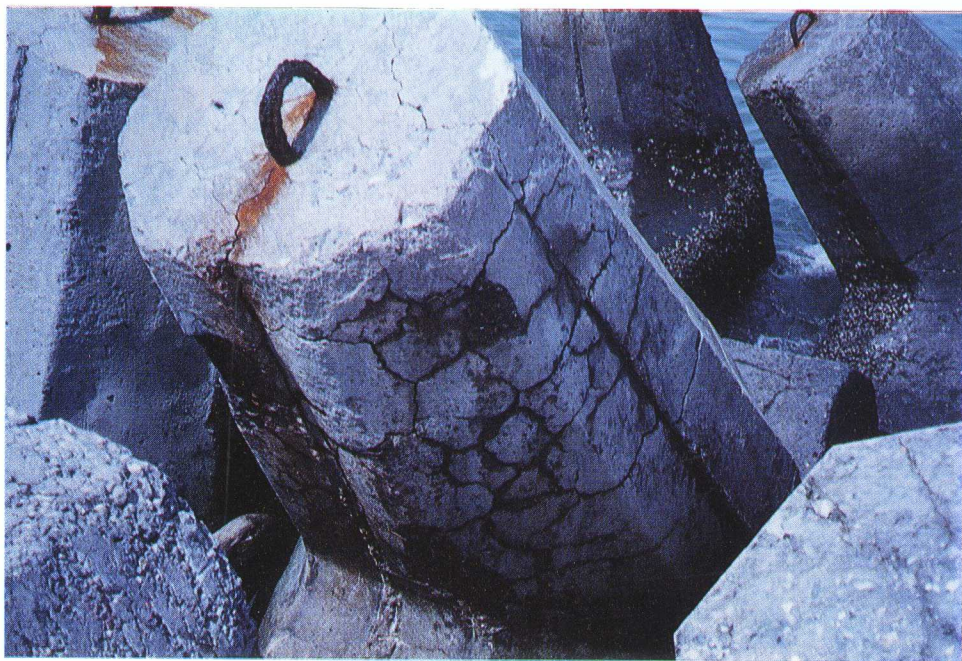
由於花蓮港務局的長官大力協助，使得本次工程參觀得以圓滿完成，謹此致上最大的謝意。

六、參考文獻

- 1.王櫻茂，「台灣地區鹼骨材反應特性之研究」國科會專題研究報告，NSC78-0410-E006-20。
- 2.Sidney Mindess and J. Francis Young, "Concrete, " Prentice-Hall, Inc. 1981.
- 3.P. K. Mehta, "Concrete Structure, Properties, and Materials, " Prentice-Hall, Inc., 1986.
- 4.M.kawamura and M. Ichise, (1990), "Characteristics of Alkali-Silica Reaction in The Presence of Sodium and Calcium Chloride," Cement and Concrete Research, Vol. 20, pp757-766.
- 5.D. W. Hobbs, (1988), "Alkali-silica Reaction in Concrete ," Published by Thomas Telford Ltd, Thomas Telford House, 1 Heron Quay, London E14 9xF.
- 6.K. Okada, S. Nishibayashi, and M. Kawamura, (1989), " Alkali-Aggregate Reaction," ICAAR, 8th International Conference.
- 7.Chau Lee, (1986) "Available Alkalis in Fly Ash and Their Effects on Alkali-Aggregate Reaction," PhD Disseratation , Iowa State University.
- 8.J. E. Gillot, (1975) "Alkali -Aggregate Reaction in Concrete," Engineering Geology, Vol. 9, pp. 303-326.
- 9.S. Diamond, (1981) "A Review of Alkali-Silica Reaction and Expansion Mechanisms II. Reactive Aggregates," Cement and Concrete Research, Vol. 6, pp. 549-560.
- 10.D. W. Hobbs, (1981) "Expansion Due to Alkali-Silica

Reaction and the Influence
of Pulverized Fuel Ash,"
Proceedings of the 5th

International Conference on
Alkali-Aggregate Reaction in
Concrete, S252/30.



照片一 花蓮港區部份消波塊表面龜裂照片



照片二 花蓮港區部份消波塊表面龜裂照片



照片三 美國胡佛(Hoover)水壩齡骨材反應的案例

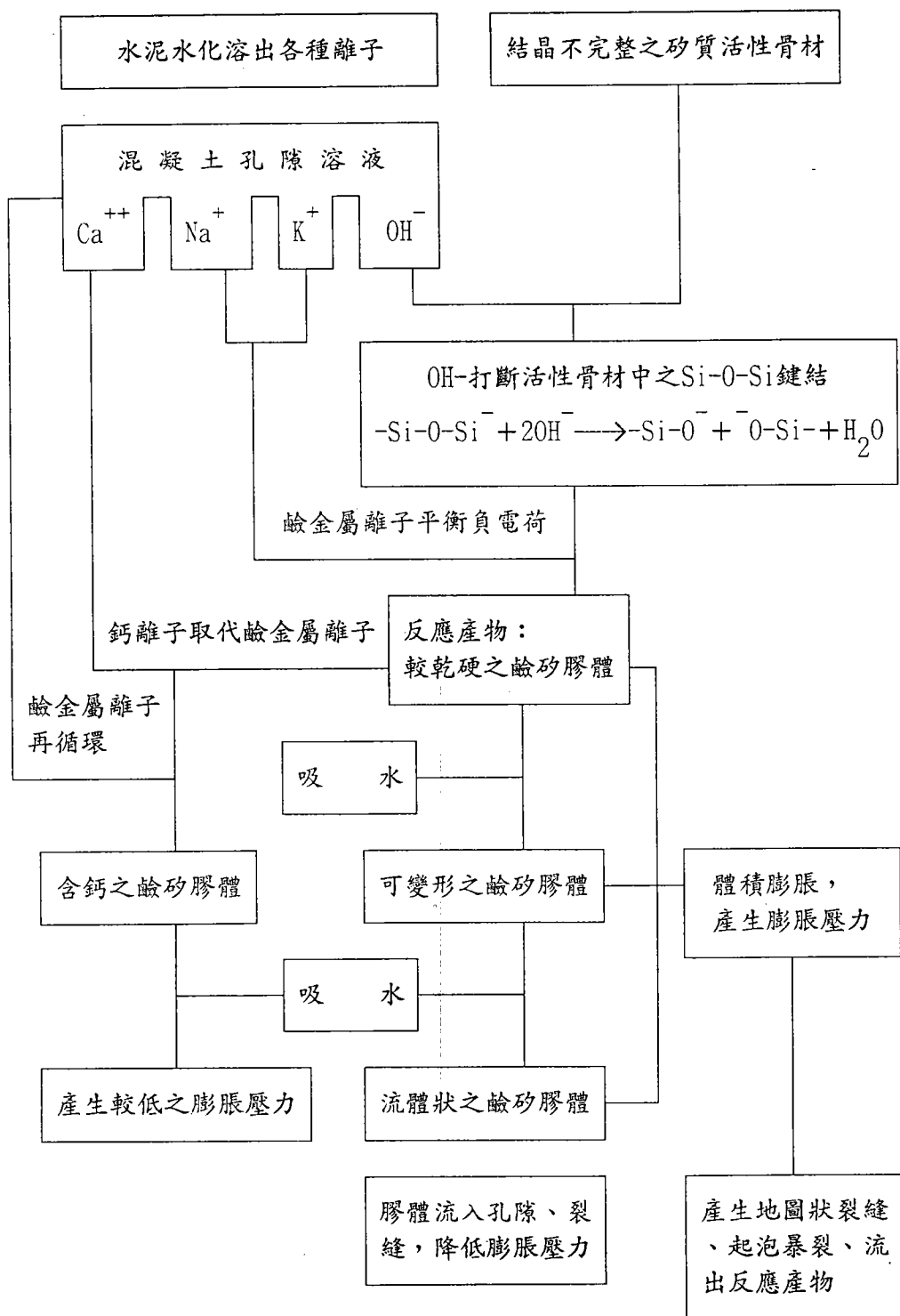
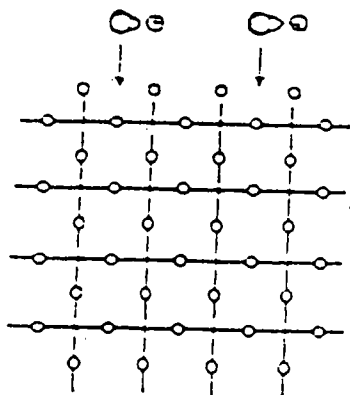


圖 1 鹼骨材反應之機理與過程

(a)



(b)

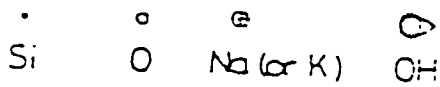
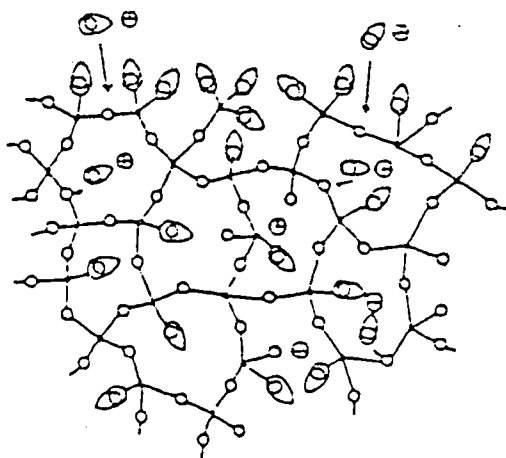


圖 2 (a)非活性骨材之結晶構造示意圖
(b)活性骨材之結晶構造示意圖

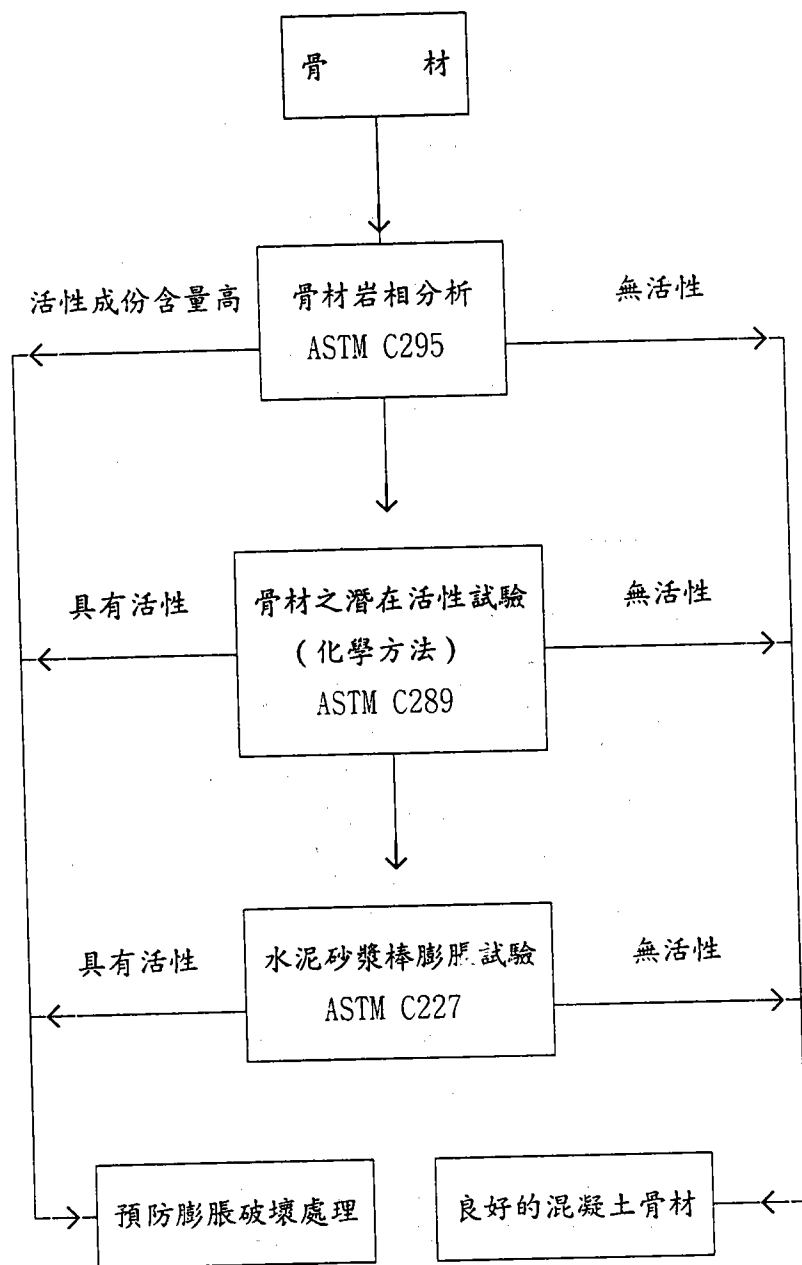


圖3 活性骨材之檢驗流程與相關規範

高雄港老舊碼頭調查研究系列報告(1)

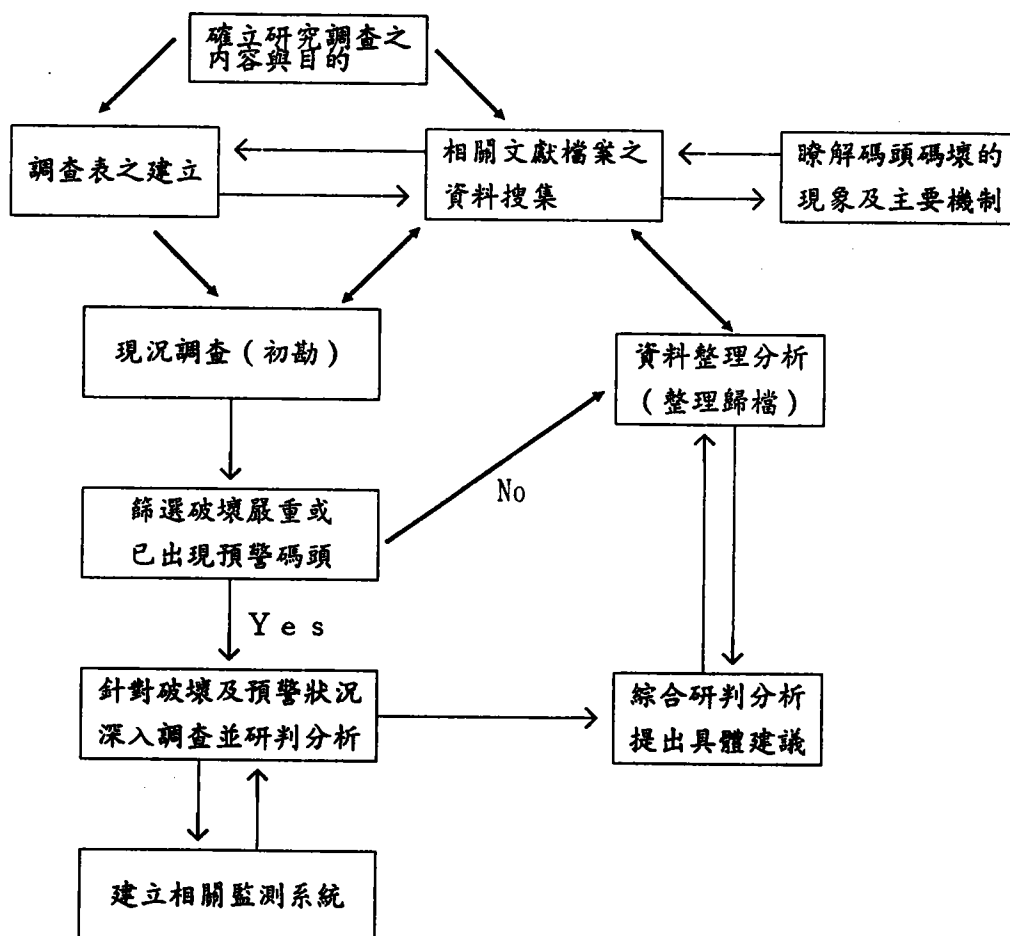
蘇吉立 港研所大地工程組助理

本報告將依個人分配研究工作，配合進度做本人對研究心得與成果之系列性報導。

一、研究調查之內容、預期目的與方法

本研究主要工作內容為碼頭之現況調查；包括老舊程度、損壞程度及影響因素之探討分析，期能提出一套有效之碼頭維修管理系統。

根據前述，本研究擬定一系列之研究調查流程如下：



二、影響碼頭使用年限縮短之因素探討

影響碼頭使用年限縮短之因素可歸納如下：

- (一)規畫設計錯誤。
- (二)施工不良。
- (三)使用管理不當。
- (四)天災人禍；影響所及超出原規畫設計所考慮範圍。
- (五)未妥善維護。

其中(三)及(五)兩項若予確實妥善執行，必可確保碼頭設計使用年限，甚或延長。如此影響深遠之事卻常被忽視。

三、碼頭構造型式之探討

碼頭之構造型式，一般可歸納分類如下：

- (一)重力式(gravit type)——沉箱、空心塊、方塊、L型塊、鋼板樁圍成圓筒狀、鋼板樁築成細胞型、其它。
- (二)板樁式(sheet pile type)——自立式(cantilever type)、錨錠式(anchor type)、其它。
註：板樁斷面型式又分：U型、Z型、箱型、圓型等。板樁材質又分：鋼造與RC造等。
- (三)樁基擁壁式(quay on pile type)(上部擁壁，下部樁基支持)——L型擁壁式、箱型擁壁式、其它。
- (四)腳柱式(pier or pile type)——棧橋式(landing pier)、繫船臺(dolphin)、其它。
- (五)浮式(floating type)——浮碼頭

、繫船浮筒(mooring buoy)、其它。

四、碼頭構造物破壞因素與現象之探討

引起碼頭構造物破壞的因素及現象，經探討歸納如下：

- (一)外力之干涉——將直接使碼頭產生整體或部份結構內部應力起變化、失衡，進而導致結構壁體上的傾斜、破裂、彎曲及地面上的破裂、隆起、沉陷等現象，此等現象常非單一產生。輕者造成使用不適，增加工作之危險。重者將對生命、財產構成嚴重威脅，決不容忽視。
- (二)物理性與化學性之干涉——常見者為腐蝕、含水率與溫度之影響。此等干涉常具時間性，且對於結構的威脅，並非直接行為，如此並非意謂其不重要，相反的；因其歷經一段時間後，將轉換為力學行為，且兩者產生類似循環性之變化，互相使對方異變加速，最後導致結構之突然崩垮，不可謂不慎。

五、調查表的建立：

綜上所述及斟酌日後建檔之須，本研究特設計一調查表如附表：

六、結 論：

本研究國內外，幾無完整之案例可循，研究極具挑戰性，為期獲得良好之研究成果，本研究小組，正全力加緊研究中。本次報告暫告段落，日後將依進展續提報告。

附表 高雄港區老舊碼頭安全調查記錄

調查表(A)

碼頭編號：		用途屬性：			
長度：	縱深：	水深：	原設計	目前	
原設計泊靠船級：		實際泊靠船級：			
調查員：		時間： 年 月 日			
1.建造日期：		啓用日期：			
2.碼頭構造形式： 詳如附圖					
3.碼頭附屬設備					
項 目	損 壞 程 度 (附 相 片 圖 說)				註
	極完整	完 整	毀 損	危 險	
a.作業機械設備—					
b.繫船柱—					
c.防舷材—					
d.照明設施—					
e.給水設施—					
f.排水設施—					
g.供油設施—					
h.機車輪—					
i.倉庫—					
j.辦公室及一般房舍—					
k.堆置場—					
l.通棧—					
m.其它—					
4.碼頭主體結構之損壞狀況：(附相片圖說)					
損壞種類	位 置	狀 況	可 能 原 因		
a.裂縫(地面)					
b.裂縫(壁體)					
c.沉陷					
d.拱起					
e.傾斜					
f.滲水					
g.出水					
h.腐蝕					
i.破損					
j.其它					
5.維修過程說明：					
6.綜合評估：					
極佳	佳	老舊	極老舊		
7.建議深入調查事項：					

製表：蘇吉立 民國85年7月