港灣報導季刊

第 74 期

交通部運輸研究所

中華民國九十五年六月

港灣報導第七十四期
刊期頻率：季刊
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：台北市 105 敦化北路 240 號
網　　址：www.iot.gov.tw
電　　話：(02)23496789
總 編 輯：黃德治
編輯委員：邱永芳、李豐博、張金機、林昭坤、朱金元
　　何良勝、簡仲璟、蘇青和、單誠基、馬維倫
出版年月：每年二、六、十月
創刊年月：中華民國七十七年二月一日
定　　價：100 元
本次出刊：520 冊

GPN：2007700020
ISSN：1019-2603

目　　錄

CFRP 貼片與 RPC 補强之抗彎强度理論值與實驗值探討 …1
李明君 朝陽科技大學營建工程系所
張大鵬 國立台灣科技大學營建工程系所
陳桂清 交通部運輸研究所港研中心研究員
吳建興 朝陽科技大學
林淑蘭 朝陽科技大學

港口組織創新環境研究之初探 …… 14
莊立民　長榮大學經營管理研究所助理教授
張雅富　長榮大學經營管理研究所　博士生

貨櫃船進港時間選擇行為探討 …… 22
李和曉　台中港務局工程員

邊緣波引致花蓮港共振問題之研究 …… 27
陳冠宇　中山大學海洋物理研究所專任助理教授
簡仲璟　運輸研究所港研中心研究員兼科長
蘇青和　運輸研究所港研中心研究員
曾相茂　運輸研究所港研中心研究員

人工岬灣應用－離岸堤群後側平衡灘線分析 …… 41
朱志誠　中華顧問工程司港灣部 組長
陳建中　中華顧問工程司港灣部 工程師

CFRP 貼片與 RPC 補強之抗彎強度理論值與實驗值探討

李明君 朝陽科技大學營建工程系所
張大鵬 國立台灣科技大學營建工程系所
陳桂清 交通部運輸研究所港研中心研究員
吳建興 朝陽科技大學
林淑蘭 朝陽科技大學

一、前言

台灣位處地震頻繁的地帶，許多結構物受地震力作用而造成混凝土龜裂或剝落，導致結構物嚴重受損；此外，許多公共建設如橋樑結構及核能電廠等老舊結構物，受環境因素影響造成結構物劣化迅速，即將面臨拆除重建或維修補強的問題，故混凝土結構的維修補強也就愈重要；因此，預期在未來混凝土結構維修補強方面的需求將迅速增加。

十餘年來，隨著混凝土技術的發展，使得傳統混凝土得到相當大的改善，法國、美國及加拿大正積極研發超高強高性能混凝土—活性粉混凝土（Reactive Powder Concrete，簡稱RPC），RPC 因爲其中不包括粗骨材在內，在日本 1991 年亦被稱爲高活性粉砂漿，或稱之爲「超高性能水泥基複合材料」。主要原因是這種材料不但具有 200 MPa 的抗壓強度，經特殊預鑄製程抗壓強度可達 800 MPa，而且也具超高的韌性及耐久性。由於活性粉混凝土強度、韌性及耐久性遠遠超過傳統混凝土，因此預期未來活性粉混凝土將廣泛應用在土木建築及許多特殊工程【1、2、3、4、5】。

以活性粉混凝土及碳纖維強化複合材料補強混凝土構件皆可獲得良好的補強成效，其中，活性粉混凝土作爲補強材料則需注意活性粉混凝土與混凝土底材之黏結問題，因此，黏結界面之鑿毛處理特別重要；由文獻【6】之研究結果得知，鋼纖維之形狀、排列方向、長徑比及鋼纖維的添加量將影響混凝土強度，因此，拌和時應確保鋼纖維能均勻分佈，減少鋼纖維糾結在一起。根據文獻【7、8、9】對活性粉混凝土之耐久性能之測試結果顯示，活性粉混凝土具有極佳抗磨損能力、抗化學侵蝕及抗二氧化碳侵害之能力，故在惡劣之環境以活性粉混凝土作爲補強材料，對其強度並無太大之影響【10、11、12】。

在台灣地區鋼筋混凝土結構物或

橋樑墩柱結構，因外力作用受損或周遭環境溫度、濕度、化學性侵害使混凝土劣化造成結構承載力不足時，一般較常採用鋼筋混凝土補強工法加大柱斷面以增加承載力，但使用一般的混凝土補強其品質控制不易及內部孔隙大易產生乾縮變形等影響，降低補強之效果，且加大柱斷面造成外形上的不美觀及空間使用上之不便；因此，本研究針對活性粉混凝土與補強工法常使用的碳纖維複合材料（CFRP），進行補強普通混凝土試驗，並測試其抗彎強度，比較兩種補強材料修補成效及抗彎強度理論值計算與實驗值探討，希望藉由本研究能提升國內外在混凝土結構維修補強技術與設計之參考。

二、試驗計劃

本研究係以活性粉混凝土與補強工法常使用的CFRP貼片補強材料進行補強混凝土試驗，主要試驗分成兩個部分，首先測試活性粉混凝土其不同纖維含量下之抗彎強度性質，其次，以兩種活性粉混凝土(纖維含量0.5％與1.0％)或CFRP貼片補強普通混凝土試體，並測試其抗彎強度，比較兩種補強材料修補成效及抗彎強度理論值計算與實驗值探討，有關普通混凝土與活性粉混凝土之配比如表1所示。

2-1 試驗方法

本研究主要分成二個部分，首先是實驗部分包括補強試體製作與混凝土補強試驗，並以兩種活性粉混凝土(RPC1纖維含量0.5％與RPC2纖維含量1.0％)或CFRP貼片補強普通混凝土試體，並測試其抗彎強度與比較兩種補強材料修補成效，第二部分爲補強材料抗彎強度理論值計算與實驗值探討，以材料力學之轉換斷面法或極限應力法計算補強後之複合樑所能承受最大破壞載重，並比較計算求得之最大破壞載重理論值與實驗值之差異。

2-2 試體製作

(1) CFRP貼片補強混凝土試體製作

抗彎試體製作是以普通混凝土灌製10×10×35cm之抗彎試體，拆模後在飽和石灰水養護14天，養護完畢將試體置於空氣中24小時以上，待試體乾燥後，方可貼覆CFRP貼片；抗彎試體貼覆CFRP貼片如圖1所示，分爲一層、二層與三層補強，試體測試齡期爲CFRP貼覆完成後14天即進行抗彎強度試驗。

(2) RPC補強混凝土試體製作

抗彎試體製作方面，是以普通混凝土灌製8×10×35cm或9×10×35cm之抗彎試體，拆模後在飽和石灰水養護14天，待養護完畢，在普通混凝土試體上方再澆置一層2×10×35cm或

表1 普通混凝土(PC)與活性粉混凝土(RPC)之配比(kg/m³)

材料	水泥	粗骨材	細骨材	矽砂	矽灰	石英粉	鋼纖維	強塑劑	水
PC	342[(1)]	926	785	—	—	—	—	—	222
RPC1	720[(2)]	—	—	900	216	252	40	71.3	133.7
RPC2	720[(2)]	—	—	860	216	252	80	71.3	133.7

註：[(1)]水泥爲波特蘭第I型水泥，[(2)]水泥爲波特蘭第II型水泥。

1×10×35cm之活性粉混凝土，使之黏結成一 10×10×35cm 混凝土樑如圖 1 所示，硬固拆模後再置於 90℃水中養護，試體測試齡期爲 RPC 澆置完成後 14 天即進行抗彎強度試驗。

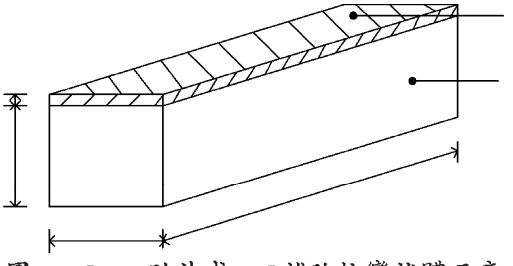


圖 1　CFRP 貼片或RPC補強抗彎試體示意圖

三、結果與討論

依據本研究試驗計劃，將試驗結果區分爲活性粉混凝土與 CFRP 貼片補強抗彎試驗及其理論計算，並探討其補強成效之差異。

3-1 活性粉混凝土其不同纖維含量之抗彎強度試驗

圖 2 爲活性粉混凝土分別添加 0 %、0.5 %、1 %及 1.5 %鋼纖維之抗彎強度試驗結果，由圖可清楚看到隨著鋼纖維含量的增加，抗彎強度有明顯增加之趨勢，當鋼纖維含量增加至 1.5 % 時，其抗彎強度比未添加鋼纖維強度約高 2 倍，說明了鋼纖維的添加確實能有效提升混凝土抗拉性及韌性。

普通混凝土試體受三點抗彎試驗時，試體會從中間加載處斷成兩截破壞，而活性粉混凝土因添加鋼纖維增加韌性，在抗彎試體中間加載時，在試體加載處下方會有裂縫產生，裂縫會慢慢向上延伸，裂縫開口亦漸漸變大，此時在裂縫裡可清楚看到鋼纖維被拉出之情形。抗彎試體破壞時因鋼纖維有束制功效，使得試體破壞並不會突然的斷成兩截，因此，從抗彎試驗結果可明顯看到添加鋼纖維對混凝土脆性缺點之改善，可提高混凝土抗彎強度，避免混凝土裂縫的產生，增加結構物之韌性及抗震能力。

由於鋼纖維成本較高，本研究因考量施工性與材料成本因素，故在混凝土補強試驗其活性粉混凝土配比採用 0.5 %與 1%之纖維含量。

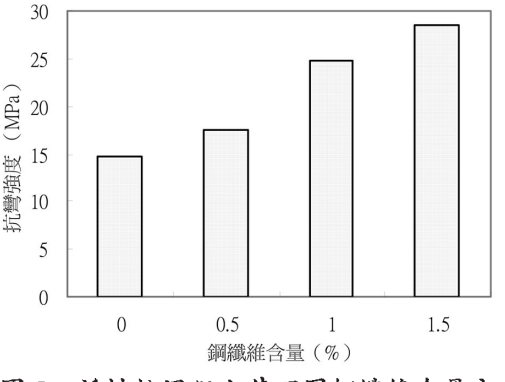


圖 2　活性粉混凝土其不同鋼纖維含量之抗彎強度

3-2 混凝土補強試驗

混凝土補強試驗是 CFRP 貼片及 RPC 兩種材料補強普通混凝土，測試其抗壓強度與抗彎強度之補強效果；CFRP 貼片補強分爲貼覆一層、二層及三層的 CFRP 貼片於普通混凝土試體，而 RPC 補強則以 1cm 及 2cm 厚的 RPC1 或 RPC2 直接澆置於普通混凝土試體，比較兩種材料的補強效果，其測試果結如表 2 所示。

表 2　RPC 與 CFRP 貼片補強混凝土 28 天齡期之抗彎強度（MPa）

補強型式與試體編號	1	2	平均值 (變異係數)
PC 控制組	4.82	5.67	5.24 (11.5%)
RPC1 補強 1cm	7.55	7.06	7.31 (4.7%)
RPC1 補強 2cm	9.59	10.39	9.99(5.7%)
RPC2 補強 1cm	8.48	9.18	8.83(5.6%)
RPC2 補強 2cm	11.12	13.10	12.11(11.5%)
CFRP 補強 1 層	8.99	8.56	8.78 (3.4%)
CFRP 補強 2 層	11.67	11.24	11.45 (2.6%)
CFRP 補強 3 層	14.00	13.32	13.66(3.5%)

3-2-1 CFRP 貼片補強混凝土之結果

由表 2 得知，抗彎試體補強一層 CFRP 貼片其抗彎強度比未補強（控制組）的增加約 65 %，補強二層 CFRP 貼片其抗彎強度比未補強的增加約 110 %，補強三層 CFRP 貼片其抗彎強度比未補強的增加約 160 %，很明顯看出抗彎強度隨著補強層數的增加而提高。CFRP 貼片補強抗彎試體破壞時，在試體加載處會有裂縫產生，當裂縫變大時會繼續向 CFRP 貼片與混凝土黏結界面延伸，最後會從黏結界面較弱的一方破壞，導致試體斷成兩截，另一邊的混凝土試體則仍與 CFRP 貼片緊密黏結，而斷落的混凝土試體有僅與 CFRP 貼片在黏結界面產生破壞，CFRP 貼片則未發生斷裂。

3-2-2 RPC 補強混凝土之結果

活性粉混凝土補強普通混凝土抗彎試體之強度發展情形，由表 2 得知，隨著鋼纖維含量與修補厚度的增加，其強度有明顯增加，其中以 1cm 厚度 RPC2 補強約等於包覆一層 CFRP 貼片，以 2cm 厚度 RPC1 補強也約等於包覆二層 CFRP 貼片，以 2cm 厚度 RPC2 補強也約等於包覆三層 CFRP 貼片，顯示以 RPC 補強混凝土亦可獲得很好的補強效果。

補強後抗彎試體破壞情形與普通混凝土很類似，破壞時由加載處下方的維修材料開始產生裂縫，活性粉混凝土內的鋼纖維已有拉脫的現象，此時裂縫會漸漸向上延伸至普通混凝土，最後導致試體斷成兩截；而活性粉混凝土與普通混凝土之間黏結界面，並未發現有損壞或脫落的情形發生，兩材料仍緊密的結合，顯示以活性粉混凝土作爲補強材料不僅能達到補強之效果，而且與普通混凝土底材能有極佳之黏結強度。

CFRP 貼片補強抗壓試體，試體破壞時會產生無預警之脆性破壞，且隨著補強層數的增加，試體脆性破壞情形更爲明顯【9&10】，因此在結構補強設計方面則應避免此現象發生。混凝土補強主要著重於新舊材料界面之黏結問題及補強之成效，觀察 CFRP 貼片補強抗彎試體破壞情形，發現 CFRP 貼片補強一層與二層最後皆因裂縫產生而導致黏結界面破壞，因此以 CFRP 貼片補強樑構件時，則可在 CFRP 貼片末端以化學螺栓或加勁板加以錨定，以增加補強之效果。而以活性粉混凝土作爲維修材料補強抗彎試體，試體雖破壞斷成兩截，但活性粉混凝土卻能與混凝土底材發揮極佳之黏結強度，故以活性粉混凝土作爲混凝土構件之維修材料確實可達到補強效果。

3-3 補強材料抗彎強度理論值計算與實驗值

以材料力學之轉換斷面法或極限應力法計算補強後之複合樑所能承受

最大破壞載重，並比較計算求得之最大破壞載重理論值與實驗值之差異。

3-3-1 RPC補強抗彎試體實驗值與理論值比較

因爲補強材料與混凝土底材之材質不同，兩種材料之彈性模數亦不相同，因此，抗彎試體補強後形成一複合樑，以材料力學之轉換斷面法計算補強後之複合樑所能承受最大破壞載重，比較計算求得之最大破壞載重理論值與實驗值之差異。

附錄 1 是以材料力學之轉換斷面法，計算 1cm 厚 RPC1 補強抗彎試體之最大破壞載重理論值；由結果顯示此補強抗彎試體其理論值之最大破壞載重 P = 1603.9 kgf，比未補強之抗彎強度增加 34.9 %，而實驗值之最大破壞載重 P = 1658.9 kgf，比未補強之抗彎強度增加 39.5 %，實驗值與計算所得理論值之最大破壞載重非常相近。其他如 2cm 厚 RPC1 補強抗彎試體、1cm 厚 RPC2 補強抗彎試體與 2cm 厚 RPC2 補強抗彎試體之最大破壞載重理論值增加百分比，計算結果如表 3 所示。由於 RPC 補強混凝土以材料力學之樑內應力分析，所求得最大破壞載重理論值與實驗值可得到近似之結果，因此，此方法適合用來評估 RPC 補強混凝土之補強成效。

3-3-2 CFRP 補強抗彎試體實驗值與理論值比較

附錄 2 是以材料力學之轉換斷面法及極限應力法兩種方法，計算 CFRP 貼片補強抗彎試體之最大破壞載重理論值；由材料力學之轉換斷面法計算結果顯示貼覆一層 CFRP 貼片補強抗彎試體，其理論值之最大破壞載重 P = 1222.5 kgf，比未補強之抗彎強度增加 2.8 %，而實驗值之最大破壞載重 P = 1990.3 kgf，比未補強之抗彎強度增加 67.3 %；貼覆二層 CFRP 貼片補強抗彎試體與貼覆三層 CFRP 貼片補強抗彎試體，其理論值之最大破壞載重理論值增加百分比，計算結果如表 3 所示，由表中很明顯看到貼覆一層、二層與三層 CFRP 貼片其理論值與實驗值之最大破壞載重有相當大的差異與低估。

表 3　補強混凝土試體對控制組(未補強)之最大抗彎破壞載重理論值與實驗值之增加比率

補強型式	實驗值	轉換斷面法理論值	極限應力法理論值
RPC1 補強 1cm	39.5 %	34.9%	-
RPC1 補強 2cm	90.7%	92.7%	-
RPC2 補強 1cm	68.5%	70.4%	-
RPC2 補強 2cm	131.2%	140.6%	-
CFRP 補強 1 層	67.3%	2.8%	104.9%
CFRP 補強 2 層	118.4%	6.4%	310.8%
CFRP 補強 3 層	160.8%	10.3%	618.2%

極限應力法計算結果顯示貼覆一層 CFRP 貼片補強抗彎試體，其理論值之最大破壞載重 P = 2436.7 kgf，比未補強之抗彎強度增加 104.9 %，而實驗值之最大破壞載重 P = 1990.3 kgf，比未補強之抗彎強度增加 67.3 %；貼覆二層 CFRP 貼片補強抗彎試體與貼覆三層 CFRP 貼片補強抗彎試體，其理論值之最大破壞載重理論值增加百分比，計算結果如表 3 所示，由表中很明顯看到貼覆一層、二層與三層 CFRP 貼片其理論值皆有高估的現象，說明以材

料力學之轉換斷面法及極限應力法分析樑內應力無法正確評估 CFRP 貼片補強之成效。

造成理論值與實驗值有如此大的差異，可能是因爲混凝土試體補強後進行抗彎試驗，載重由 CFRP 貼片與混凝土共同承受，而 CFRP 貼片比混凝土能承受較大的變形，當混凝土在加載處有裂縫產生時，此時混凝土幾乎無法再承受拉力，拉力轉由 CFRP 貼片與混凝土之黏結界面承受，由於 CFRP 貼片比黏結界面有較高之抗拉強度，故當拉力大於界面所能承受之黏結強度時，最後造成混凝土與 CFRP 貼片之黏結界面脫落破壞，但 CFRP 貼片則未發生撕裂破壞。轉換斷面法所求得理論值皆因爲混凝土受拉力作用而破壞，並未考慮在混凝土破壞後，CFRP 貼片與混凝土黏結界面所提供之強度，因此，計算所求得之理論值會明顯比實驗值低；而極限應力法所求得之理論值是假設混凝土不能承受拉力且 CFRP 貼片已達降伏狀態，這與實驗時所觀察到的現象並不相同，故會造成極限應力法所求得理論值高於實驗值【11】。

四、結論與建議

本研究針對活性粉混凝土與碳纖維複合材料，進行補強普通混凝土試驗，並測試其抗彎強度，比較兩種補強材料修補成效及抗彎強度理論值計算與實驗值探討，希望藉由本研究提供混凝土結構物維修補強技術與設計之參考。

4-1 結論

1. 由抗彎試驗結果得知，活性粉混凝土隨著鋼纖維含量的增加，抗彎強度有明顯增加之趨勢，當鋼纖維含量增加至 1.5 %時，其抗彎強度比未添加鋼纖維強度約高 2 倍，故添加鋼纖維確實能有效提升混凝土抗拉性及韌性。
2. 以 CFRP 貼片補強混凝土試體之抗彎強度，包覆一層 CFRP 貼片強度可增加 67.3 %，包覆二層 CFRP 貼片則可增加 118.4 %，包覆三層 CFRP 貼片則可增加 160.8 %，顯示以 CFRP 貼片補強混凝土可獲得很好的補強效果，隨著 CFRP 貼片補強層數的增加，抗彎強度有明顯的提升。
3. 以活性粉混凝土補強混凝土試體之抗彎強度，隨著鋼纖維含量與修補厚度的增加，其強度有明顯增加，其中以 1cm 厚度 1 % 鋼纖維含量之活性粉混凝土補強約等於包覆一層 CFRP 貼片，以 2cm 厚度 0.5 % 鋼纖維含量之活性粉混凝土補強也約等於包覆二層 CFRP 貼片，以 2cm 厚度 1.0 % 鋼纖維含量之活性粉混凝土補強也約等於包覆三層 CFRP 貼片，補強效果良好，且黏結界面未發生破壞，顯示以 RPC 補強混凝土亦可獲得很好的補強效果。
4. RPC 補強混凝土以材料力學之轉換斷面法樑內應力分析，所求得最大破壞載重理論值與實驗值可得到近似之結果，因此，此方法適合用來評估 RPC 補強混凝土之補強成效。

5. 以材料力學之轉換斷面法及極限應力法分析樑內應力無法正確評估 CFRP 貼片補強之成效。

4-2 建議

1. 以活性粉混凝土作爲補強材料，可調整鋼纖維含量及改變鋼纖維之形狀大小等方面加以研究，以達到較佳之補強效果。若鋼纖維含量增加太多，在破壞發生時可能會發生爆裂現象，應加以考慮。
2. 有關 RPC 高溫養護在實務上可行性需要進一步研究評估。
3. 混凝土結構補強需考慮整體結構補強後強度之均衡性、穩定性與補強材料耐久性，應避免補強構件強度過高，導致未補強構件（未損壞之構件）反而變爲破壞之弱面，因此，補強的強度應視整體結構需要而定，選擇最適當的補強工法，使補強之效益與結構安全達到平衡。

參考文獻

1. 苗伯霖，「新型高性能超高強建築材料—活性粉混凝土」，營建知訊，162 期，第 52-60 頁，1996。
2. 李騰芳、姚錫齡、徐力平、廖淑萍，「以活性粉混凝土（RPC）製造低階核廢料貯藏桶包封容器之研究」，土木水利，第二十六卷，第四期，第 72-78 頁，2000。
3. Dugat, J., N. Roux, and G. Bernier, "Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete", Materials and Structures, Vol. 29, pp. 233-240, 1996.
4. Richard, P. and M. Cheyrezy, "Composition of Reactive Powder Concretes", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7, pp. 1501-1511, 1995.
5. 陳振川、苗伯霖、詹穎雯、姚錫齡、李明君、徐力平，「超高強高性能混凝土配比及性質研究」，期末報告，財團法人台灣營建研究院，1996。
6. 賴榮森，「纖維混凝土之發展與應用」，財團法人台灣營建研究院，1983。
7. Roux, N., C. Andrade, and M. Sanjuan, "Experimental Study of Durability of Reactive Powder Concretes", Journal of Materials in Civil Engineering, February, pp. 1-6, 1996.
8. Bonneau, O., M. Lachemi, E. Dallaire, J. Dugat, and P. C. Aitcin, "Mechanical Properties and Durability of Two Industrial Reactive Powder Concretes", ACI Material Journal, Vol. 94, No. 4, pp. 286-290, 1997.
9. Ming-Gin Lee, Chui-Te Chiu, Yung-Chih Wang, "The study for bond strength and bond durability of reactive powder concrete," Advances in Adhesives, Adhesion Science, and Testing, ASTM STP 1463, Editor: Dennis Damico, West Conshohocken, PA, pp. 104-113, ISBN: 08031-3489-4 (2005). Also Publish

on Journal of ASTM International, Vol.2, No.7, 2005.
10. 吳建興、李明君，「超耐磨RPC混凝土地坪初步研究」，第十二屆路面工程學術研討會論文集，華梵大學，台北，2003。
11. 吳建興，”活性粉混凝土補強混凝土構件與耐久性之初步研究”，碩士論文，朝陽科技大學，民國九十二年。
12. 李明君、王勇智、干裕成、吳建興、林淑蘭，”活性粉砂漿補強混凝土構件之初步探討”,中國土木水利工程學刊，第十六卷，第四期，第 715 至 722 頁，民國九十三年。

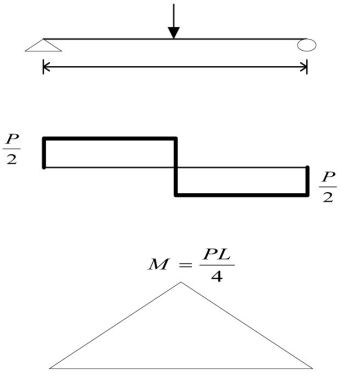
附錄 1．RPC1 補強之抗彎強度理論值計算

以 1cm 厚 RPC1 補強 10×10×35 cm 之抗彎試體，跨長 L = 30 cm，計算當樑試體進行三點抗彎試驗時，計算其最大破壞載重 P，混凝土底材與補強材料之基本性質如下：

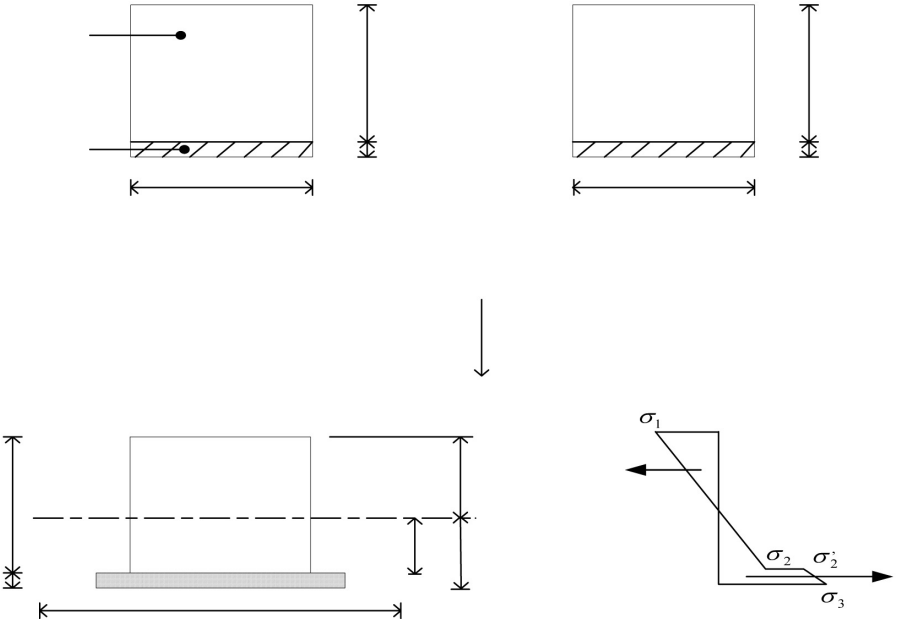
普通混凝土：彈性模數 $E_1=2.41\times10^5$ kg/cm^2，抗壓強度 $\sigma_1=347$ kgf/cm^2，抗彎強度 $\sigma_2=53$ kgf/cm^2，斜剪強度 $\tau=117$ kgf/cm^2

活性粉混凝土：彈性模數 $E_2=3.01\times10^5$ kg/cm^2，抗彎強度 $\sigma_3=201$ kgf/cm^2

簡支樑受一 P 力作用其剪力圖與彎矩圖如下：



以轉換斷面法計算複合樑之樑內應力



$$n=\frac{E_2}{E_1}=\frac{3.01\times10^5}{2.41\times10^5}=1.25$$

$$\bar{y}=\frac{E_1h_1^2+2E_1h_1h_2+E_2h_2^2}{2(E_1h_1+E_2h_2)}$$

$$=\frac{(2.41\times10^5)\times(9)^2+2(2.41\times10^5\times9\times1)+(3.01\times10^5)\times(1)^2}{2(2.41\times10^5\times9+3.01\times10^5\times1)}=4.89cm$$

$$I=\frac{1}{3}\times10\times(5.11)^3+\frac{1}{3}\times12.5\times(4.89)^3-\frac{1}{3}\times2.5\times(3.89)^3=882.9cm^4$$

普通混凝土受最大壓應力：$\sigma_1=\frac{M_1y_1}{I}$

$$M_1=\frac{\sigma_1I}{y_1}=\frac{347\times882.9}{5.11}=59954.3kg\cdot cm$$

普通混凝土受最大拉應力：$\sigma_2=\frac{M_2y_2}{I}$

$$M_2=\frac{\sigma_2I}{y_2}=\frac{53\times882.9}{3.89}=12029.2kg\cdot cm$$

活性粉混凝土受最大拉應力：$\sigma_3=\frac{nM_3\bar{y}}{I}$

$$M_3=\frac{\sigma_3I}{n\bar{y}}=\frac{201\times882.9}{1.25\times4.89}=29032.8kg\cdot cm$$

黏結界面受剪應力 $\tau=\frac{VQ}{Ib}$

$$117=\frac{P/2\times54.875}{882.9\times10}\Rightarrow P=\frac{117\times882.9\times10\times2}{54.875}=37648.9kg$$

最大破壞載重爲普通混凝土受最大拉應力時控制

$$M=\frac{PL}{4}=12029.2$$

理論值 $P=\frac{4M}{L}=\frac{4\times12029.2}{30}=1603.9kg$

實驗值 P=1658.94 kg

補強 1 cm 比未補強之理論值強度增加 34.9 %

補強 1 cm 比未補強之實驗值強度增加 39.5 %

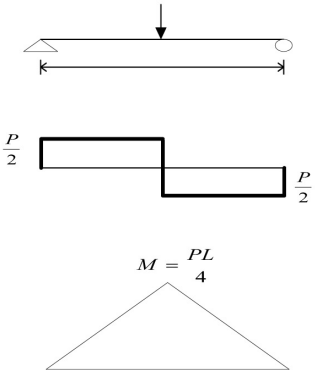
附錄 2．CFRP 貼片補強之抗彎強度理論值計算

貼覆一層 CFRP 貼片補強 10×10×35 cm 之抗彎試體，跨長 L = 30 cm，計算當樑試體進行三點抗彎試驗時，計算其最大破壞載重 P，混凝土底材與補強材料之基本性質如下：

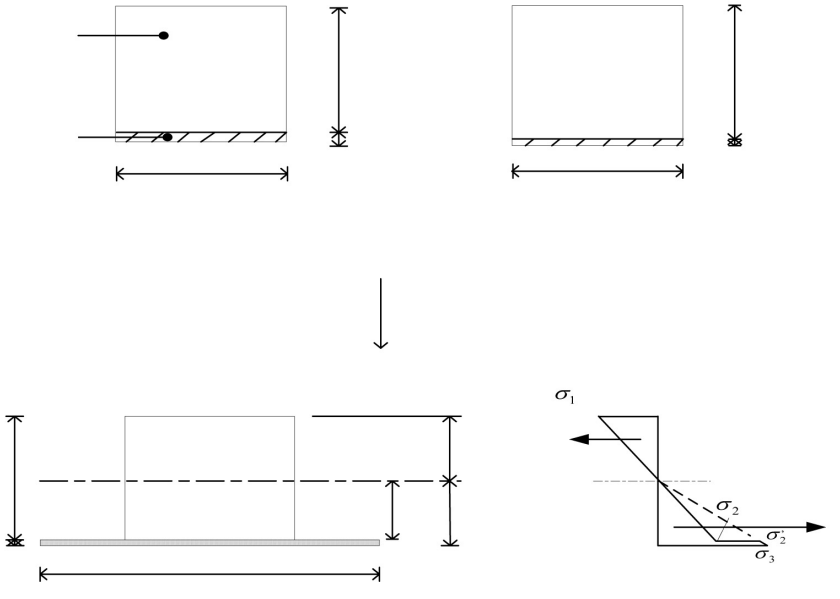
普通混凝土：彈性模數 $E_1=2.41\times10^5$ kg/cm^2，抗壓強度 $\sigma_1=347$ kgf/cm^2，抗彎強度 $\sigma_2=53$ kgf/cm^2

CFRP 貼片：彈性模數 $E_2=7.4\times10^5$ kg/cm^2，抗曲強度 $\sigma_3=7800$ kgf/cm^2，黏結面之剪切強度 $\tau=100$ kgf/cm^2，厚度 t = 0.3mm

簡支樑受一 P 力作用其剪力圖與彎矩圖如下：



（1）以轉換斷面法計算複合樑之樑內應力：



$$n=\frac{E_2}{E_1}=\frac{7.4\times10^5}{2.41\times10^5}=3.07$$

$$\bar{y}=\frac{E_1h_1^2+2E_1h_1h_2+E_2h_2^2}{2(E_1h_1+E_2h_2)}$$

$$=\frac{(2.41\times10^5)\times(10)^2+2(2.41\times10^5\times10\times0.03)+(7.4\times10^5)\times(0.03)^2}{2(2.41\times10^5\times10+7.4\times10^5\times0.03)}=4.98cm$$

$$I=\frac{1}{3}\times10\times(5.05)^3+\frac{1}{3}\times30.7\times(4.98)^3-\frac{1}{3}\times20.7\times(4.95)^3=856.3cm^4$$

普通混凝土受最大壓應力：$\sigma_1=\frac{M_1y_1}{I}$

$$M_1=\frac{\sigma_1I}{y_1}=\frac{347\times856.3}{5.05}=58838.8kg\cdot cm$$

普通混凝土受最大拉應力：$\sigma_2=\frac{M_2y_2}{I}$

$$M_2=\frac{\sigma_2I}{y_2}=\frac{53\times856.3}{4.95}=9168.5kg\cdot cm$$

CFRP 貼片受最大拉應力：$\sigma_3=\frac{nM_3\bar{y}}{I}$

$$M_3=\frac{\sigma_3I}{n\bar{y}}=\frac{7800\times856.3}{3.07\times4.98}=436870.6kg\cdot cm$$

黏結界面受剪應力 $\tau=\frac{VQ}{Ib}$

$$100=\frac{P/2\times4.57}{856.3\times10}\Rightarrow P=\frac{100\times856.3\times10\times2}{4.57}=374748.4kg$$

最大破壞載重爲普通混凝土受最大拉應力時控制

$$M=\frac{PL}{4}$$

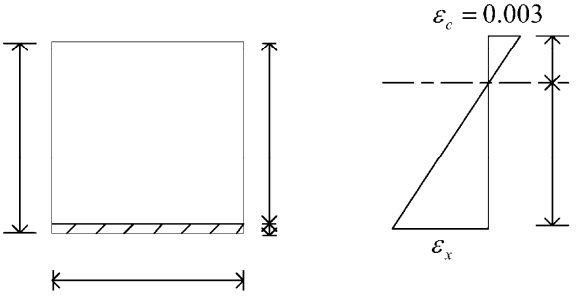
理論值 $P=\frac{4M}{L}=\frac{4\times9168.5}{30}=1222.5kg$

實驗值 P=1990.3 kg

補強一層比未補強之理論值強度增加 2.8 %

補強一層比未補強之實驗值強度增加 67.3 %

（2）極限應力法計算複合樑之樑內應力：



假設混凝土不能承受抗應力

混凝土應變 $\varepsilon_c = 0.003$

求中性軸位置

$$\frac{0.003}{x} = \frac{\varepsilon_x}{d-x}$$

$$\varepsilon_x x = 0.003d - 0.003x$$

$$x = \frac{0.003d}{\varepsilon_x + 0.003} = \frac{0.003d}{\sigma/E + 0.003} = \frac{0.003 \times 10.03}{7800/7.4\times10^5 + 0.003} = 2.22cm$$

$$T = \sigma A_s = 7800 \times 10 \times 0.03 = 2340kgf$$

10.03-2.22=7.81cm

M=7.81×2340=18275.4 kgf·cm

$$M = \frac{PL}{4}$$

理論值 $P = \frac{4 \times 18275.4}{30} = 2436.7kgf$

實驗值 P=1990kgf

補強一層比未補強之理論值強度增加 104.9 %

補強一層比未補強之實驗值強度增加 67.3 %

港口組織創新環境研究之初探

莊立民　長榮大學經營管理研究所助理教授
張雅富　長榮大學經營管理研究所　博士生

摘　要

台灣港口近幾年隨著國內產業外移而進出口量不再大幅成長，加上鄰近地區港口的快速發展，港口的營運作業與民間企業同樣受到國際競爭壓力。因此本文試整理有關「組織創新」文獻，特別是組織的「管理創新」部分，藉以將港口組織之管理功能相結合，建立相關的管理指標以供後續研究驗證。

一、前言

在講求多元化及快速變遷的工商社會，任何組織處於多變的環境中，都希望透過組織變革而提升組織的競爭力，進而使組織能永續發展。今日組織面對的是更廣泛複雜的環境變化，管理者既有的變革(Change)方法已不足以與環境相抗衡，唯有激發組織的創新(Innovation)能力，才能有恃無恐的迎接未來挑戰(林良慶，2003；賴姿蓉，2000)。近年來企業界運用各項組織理論，甚至鼓勵員工學習，其目的都在使組織能快速而有效的反應產業變動、顧客需求等，並獲得良好的績效。而台灣港口管理機關所面臨航運環境變化及鄰近港口競爭，其情勢亦不亞於民間企業，特別是台灣的港口公部門組織在光復後歷經數十年時光，亦須思考以私部門爲師對管理組織進行改革，以迎接鄰近新興港口的挑戰。

二、創新與組織

國外學者 Drucker(1985)在「創新與創業精神」一書中，說明創新爲系統化且有目的、有組織的尋求改變，而創新活動本身則創造了資源。Daft(1995)也說明今日策略性「變革」角色即爲「創新」，許多成功的企業藉由創新得以保持競爭優勢，例如微軟、通用電子等公司。Robbins(1996)則在「組織行爲」一書中說明，許多管理者或商業期刊皆認同現代重要的議題即爲刺激「組織創新」。由此可見「組織創新」議題爲學術界與實務界所共同關切，更是當今組織變革的新趨勢(賴姿蓉，2000)。

而創新是知識經濟中最重要的元素，因而如何讓組織具創新性是任何組織發展最重要的課題，但是要組織有創新性，必須經營組織的創新文化(洪榮昭，2002)。通常團隊創造的效能是大於個人創造，因此組織創新無可避免的要儘量塑造團隊知識分享的組織文化(Ahmed, Kok & Loh, 2002)。

但是創新的成功與否，主要是在

於組織的文化或實行上，其支持的因素多少。創新組織的成立更需要個人、群體、組織等三方面的配合(King & Anderson, 1995)。而這些包括了組織的結構、個人扮演的角色、員工的訓練發展、團隊工作的建立、人員涉入創新的程度、組織如何去學習及分享知識等。因此創新組織的建立，必需落實於個人、團體、組織等三方面，如表 1 所示(賴姿蓉，2000)：

國內學者賴士葆等人(1997)持續其對技術能力衡量指標之研究，也加入管理能力與學習型組織的概念，將其擴大爲組織之創新能力(innovative capability)，並將創新能力定義爲：「個別組織在更新知識的過程中，表現於個人、團體、產出與結構等因素之總體能力」。蔡啓通(1997)則採取多元指標的觀點將創新能力定義爲：「組織在近三年內，組織由內在產生或由外部購得的技術產品或管理措施之創新廣度及深度。創新廣度包括設備、系統、政策、方案、過程、產品、服務等，創新深度則包括各項創新對企業經營的重要性、影響程度或長期潛在之獲利性等」，由上述可知組織創新的構面極爲複雜。

目前國內企業爲了增加創新能力、提高創新績效，往往著重在硬體的投資或強調研發支出佔銷售額的比重，但是企業必須朝整體考量，尤其是特別著重在企業所易於忽略的創新性工作環境加以強化，因此當企業能夠建立符合員工期望的工作環境時，員工當能發揮其創新能力(黃佑安、鄭佩君，2002)。

國內學者蔡啓通(1997)與莊立民(2005)經過實證研究，將「組織創新」分成「技術創新」及「管理創新」等兩大構面。莊立民更透過驗證性因素分析(CFA)與層級分析法(AHP)建構組織創新衡量模式。該架構在彙整專家學者的意見後，建立研究層級架構，共分爲三個層級(分爲系統構面、主要構面與指標)，分別爲「技術創新」與「管理創新」兩大系統構面，系統構面的「技術創新」又分爲「產品創新」與「製程創新」兩大主要構面。而系統構面的「管理創新」則分成爲「創造力工作環境」、「行銷創新」、「組織特性創新」、「組織制度創新」、「策略創新」五大主要構面，而七大構面之下則有 70 個指標(主觀指標 58 個，客觀指標 12 個)。

回顧歷來學者之研究，文獻中常見「創新」(innovation)一詞，且創新之探討多集中於技術上的改進或突破，因此關於技術研發創新的相關研究較多，然而就整體組織觀點來探討組織創新的研究則相對較少，因此關於組織創新理論的補充與其內涵之探討就更顯重要(劉春初、蔡明田、莊立民，2001)。

有鑑於組織創新可能爲港口組織

表 1、創新組織的構成成份

個人層次	團體層次	組織層次
●關鍵人物的重要 ●個體創造性的培養	●有效的團隊建立 ●人員的高度參與創新 ●開放的溝通系統	●彈性的組織結構 ●創造性的文化氣候 ●學習型組織的建立

實務上達成的目標之一，然而組織創新理論尚在持續發展的階段，組織創新內容更需要加以探討，以做爲建構創新理論或後續相關實證研究之基礎。

三、台灣港口的營運環境變化

今日東亞地區是全球貨櫃運輸最繁忙的地區之一，所謂的東亞地區以廣義的地理範圍來區分，北從南韓、日本到中國大陸、香港、臺灣以及東南亞國協各個國家等，但各個國家或地區的貨櫃運輸發展情形並不相同。而東亞地區目前是世界主要國際貿易的中心，特別是貨櫃運送服務的表現，使此地區成爲各國航運貨櫃運送業競逐的市場。從表 2 可看出在 1979-1989 的貨櫃量分佈變化，東亞地區的 6 個港口 1989 年排名在世界前 10 大貨櫃港之列，香港與新加坡當時已超越鹿特丹港成爲世界第一與第二大貨櫃大港，高雄港也曾排行爲世界第四大港。

由於各港貨櫃量長期資料不足，本文再依據 Cargo Systems(2001-2005) 的統計資料，以佔有率及成長率方式經整理，2001、2002、2003、2004 年東亞地區分別有 33、34、36、32 個貨櫃港進入世界 100 大之列。東亞地區貨櫃量成長率爲 17%、15%、16%、14.9%，均高於世界 100 大貨櫃量成長率的 4%、11%、13%、13.6%，而本地區的貨櫃量佔世界 100 大的比例分別爲 52.06%、54.18%、54.84%、53.9%，顯見亞太地區已成爲貨櫃運輸的重心，如加入南亞及中東的港口，則亞洲區貨櫃量將更大。表 3 顯示香港及新加坡貨櫃量雖有成長，但市場佔有率已被大陸港口所侵蝕，高雄港的市場佔有率也同樣下降，同時因貨櫃量成長差距加大而有使港口分爲不同群組發展現象。

目前中國大陸擁有 1 千 4 百 30 個港口，3 萬 4 千個生產泊位，2004 年貨櫃吞吐量達到 6 千 1 百 68 萬 TEU(請參閱表 4)，開始居於世界第一位，據大

表 2　1979 及 1989 年世界前 10 大貨櫃港

1979		1989	
Port	TEU	Port	TEU
1.紐約/紐澤西港	1,779,000	1.香港	4,463,709
2.鹿特丹	1,733,463	2.新加坡	4,364,400
3.神户	1,304,267	3.鹿特丹	3,617,295
4.香港	1,303,923	4.高雄	3,382,512
5.聖胡安	802,965	5.神户	2,458,964
6.高雄	777,183	6.釜山	2,158,828
7.奧克蘭	733,584	7.洛杉磯	2,056,629
8.新加坡	698,500	8.紐約/紐澤西港	1,988,318
9.布萊梅	692,217	9.基隆	1,787,067
10.西雅圖	669,463	10.漢堡	1,727,067
其他	21,491,522	其他	51,810,831
全球合計	31,986,087	全球合計	79,816,162

資料來源：Containerization International Yearbook (1982, 1992)

表 3　東亞地區主要貨櫃港市場佔有率及排名

Port	2000	Rank	2001	Rank	2002	Rank	2003	Rank	2004	Rank
香港	17.0%	1	16.8%	1	15.6%	1	14.6%	1	14%	1
新加坡	16.0%	2	14.6%	2	13.8%	2	12.9%	2	13.6%	2
上海	5.2%	5	5.9%	5	7.0%	4	8.1%	3	9.3%	3
深圳	3.7%	6	4.7%	6	6.2%	6	7.6%	4	8.7%	4
釜山	7.1%	3	7.6%	3	7.7%	3	7.4%	5	7.3%	5
高雄	7.0%	4	7.1%	4	6.9%	5	6.3%	6	6.2%	6
巴生港	3.0%	7	3.5%	7	3.7%	7	3.4%	7	3.3%	7
青島	1.9%	10	2.4%	10	2.7%	8	3.0%	8	3.2%	8
丹戎帕拉帕斯	0.3%	15	1.9%	12	2.1%	11	2.4%	9	2.22%	10
東京	2.7%	8	2.7%	8	2.4%	9	2.3%	10	2.29%	9
蘭加邦	1.9%	11	2.2%	11	2.2%	10	2.2%	11	2.3%	13
天津	1.6%	12	1.8%	13	1.9%	13	2.1%	12	2.4%	12
寧波	0.8%	14	1.1%	15	1.5%	15	1.9%	13	2.5%	11
廣州	1.3%	13	1.5%	14	1.7%	14	1.9%	14	2.1%	14
馬尼拉	2.1%	9	2.6%	9	2.0%	12	1.8%	15	1.6%	15

註：市場佔有率以各港在該年東亞地區總貨櫃量的比率計算，排名以市場佔有率排序。

表 4　中國大陸主要港口貨櫃量及成長率(TEU)

2000	Port	2001	%	2002	%	2003	%	2004	%
5,613,000	上海	6,334,400	13	8,611,890	36	11,370,000	32	14,550,000	21.9
3,993,714	深圳	5,076,435	27	7,613,754	50	10,650,000	40	13,660,000	22
2,116,300	青島	2,638,500	25	3,410,000	29	4,230,000	24	5,139,000	19.7
1,708,400	天津	2,011,000	18	2,408,100	20	3,020,000	25	3,810,000	20.7
902,100	寧波	1,213,100	34	1,859,000	53	2,772,200	49	4,000,000	30.7
1,426,700	廣州	1,628,300	14	2,172,800	33	2,760,000	27	3,313,200	16.7
1,084,600	廈門	1,294,800	19	1,754,370	35	2,330,000	33	2,871,700	18.9
1,011,600	大連	1,208,900	20	1,367,192	12	1,670,590	22	2,210,000	24.4

陸「交通部」預測至 2010 年時，貨櫃年吞吐量將達到 1 億 4 千萬 TEU。中國大陸在 2003 年首次有 7 個港口進入前 30 大，而廈門港也首次超越大連港並突破 2 百萬 TEU，未來發展對鄰近的高雄港影響仍須評估。華北天津、青島等的港口群如陸續擴建完成後，也會對韓國釜山港造成一定影響。而上海、深圳港的快速發展，首當其衝的就是高雄與香港，香港受鄰近不遠深圳港的低作業成本影響，其貨櫃量成長率及世界排名將會受到影響(請參閱表 5)，而高雄港在上海洋山深水港區於 2005 年底陸續啓用後，原有在高雄港的航商其在東亞航線的調度安排將可能變動。

大陸近幾年的港口布局及發展策略已顯而可見，在硬體上改善碼頭設施，以航道深水化、櫃場大型化及機具自動化爲主，在軟體上改善碼頭作業方式，以轉變港口管理體制、加快通關作業、引進國外投資等爲主，初步已能負荷大陸的進出口貿易需求，解決早期港口設施不足的困境，但隨

表5　2005年中國港口貨櫃量前10名

名次	港名	2004年1-12月 (萬TEU)	2005年1-12月 (萬TEU)	同期比增幅%
1	上海	1455.72	1808.40	24.30
2	深圳	1361.52	1619.70	18.60
3	青島	513.97	630.70	22.70
4	寧波	400.55	520.80	30.02
5	天津	381.40	480.10	25.80
6	廣州	330.82	468.30	40.74
7	廈門	287.17	334.23	16.39
8	大連	221.12	265.50	20.00
9	中山	92.15	107.59	12.00
10	福州	70.79	100.53	100.20

著其未來新建碼頭的完成，其目前借助大陸境外港口轉運的情況將獲得改善，因此對其他地區原有的港口的轉口櫃源，在未來5-10年將可能產生磁吸效果，特別是廈門港對高雄港的轉口櫃影響。因此台灣港口的營運與民間企業一樣會受到國內外市場的競爭，故港口組織亦須藉由組織創新方式以提高其效能。

四、港埠組織及發展

港口當局(Port Authority)負責提供船舶及其所載客貨服務與設施。從整體港埠所有權(Ownership)的型態觀察，除了特殊「私有專用」的工業專用港外，國際商港大都是公有的，尤其是「港區土地」部份，這是因爲港埠具有爲國防與外貿出入口的公共性質。

港埠經營型態根據「港埠當局」參與各項港埠設施與服務之程度加以區分，一般以不參與港埠營運的地主港(Landlord Port)，是指港口管理機構，只從事該港口擁有的土地、設施、人員的行政工作，而不從事實際營運作業的港埠，至於實際營運業務則交由民營公司經營，港口管理機關只站在監督的立場收取租金，而不干涉其經營；或負責全部港勤與棧埠營運作業的營運港(Operating Port)兩種來區別。

目前臺灣地區管理國際商港之港務局是集合航政、港務與棧埠業務於一體的組織型態，在其業務項目下扮演之角色如表6所示：

⑴港務局兼辦中央航政監理業務(船

表6　國際商港主要業務

港務	營運管理	工務
●港區水陸區域管理 ●船席指派 ●船舶入出港管理 ●船岸信號聯絡 ●海難救護協助等	●碼頭裝卸業務營運管理 ●棧埠倉儲設施營運管理 ●港勤作業申請營運管理 ●營業資產出租、使用管理	●港埠設施規劃、設計、施工及維修、擴建工事等

船、船員、航業之監理、海事、技術等）

⑵港務局爲港埠行政管理機關（負責擬訂國際商港之規劃與興建等）

⑶港務局爲港埠營運單位（船舶進出泊靠、貨物裝卸及倉儲等服務並收費）

有關國內港口的管理問題可以「企業精神」的經營理念來改造港口，問題是何謂具「企業精神」的港口，其組職、職能與分工之內容爲何？依據已故之 J. A. Schumpeter (1883-1950)說法：企業精神指企業家應具備「創新」(Innovation)的精神與能力，將原來的生產要素加以重新組合，在不增加各項生產要素數量的前提下創造新的產業機能，以因應市場的需求與挑戰，唯有以企業精神革新組織與創新產品(服務)策略，才能突破限制確保企業的生存與發展。

而對未來商港管理體制改革之規劃，政府正規劃由交通部航司掌理全國性整體航政、港政與航路標識等公權力業務；港務局則改組爲具有獨立自主特性之「行政法人」，負責商港區域內土地及港埠設施之規劃、建設、經營、管理及安全等事項，以提升商港之管理、經營效率及競爭力。

而一個港口可依其國家的經濟成長、國家整體發展、區域發展及創造就業機會等目標所作貢獻、區分爲不同的任務角色。此應由政府界定港口的身份，特別是臺灣港口組織即將轉型爲「行政法人」，對選擇以何種方案進行組織創新爲佳以提升效能，應有相當關鍵性作用。

五、結語

本文試以莊立民(2005)將組織創新的「管理創新」構面：「創造力工作環境」、「行銷創新」、「組織特性創新」、「組織制度創新」、「策略創新」五大主要構面爲參考，嚐試建立港口組織初步的管理創新分析構面及參考指標如圖 1 所示：

由於港口組織創新過程並可由民間共同參與，其目的包括以下幾項：

- 廣集民間能力來參與港埠管理與經營工作，使在競爭激烈環境中，能以成本最小化及加強服務來促進效率及生產。
- 增加港埠收入及減少國家投資，使政府可由民營業者以裝卸貨物的權利金所得來支應開銷。再者民間方面不斷應邀投資、興建及經營港埠設施，或購下既有設施的經營權，政府因此即可將資金改用於他途。
- 藉民間參與來吸引新或更多的商機，原從事運輸有關業務者（如輪船公司即是），可因此作爲投資人，爲港埠帶來更多業務。
- 營運風險分擔，不論單獨或是數項經濟、技術及管理問題時，共同分擔風險可大爲減低單一方面所承受的負擔。

本文是初步整理有關組織創新的研究與發展，並說明台灣港口當前進行組織創新的可能動機與環境，後續進一步仍須更多相關的文獻探討，以建立合適的研究架構，進而尋求合理的港口管理創新指標。

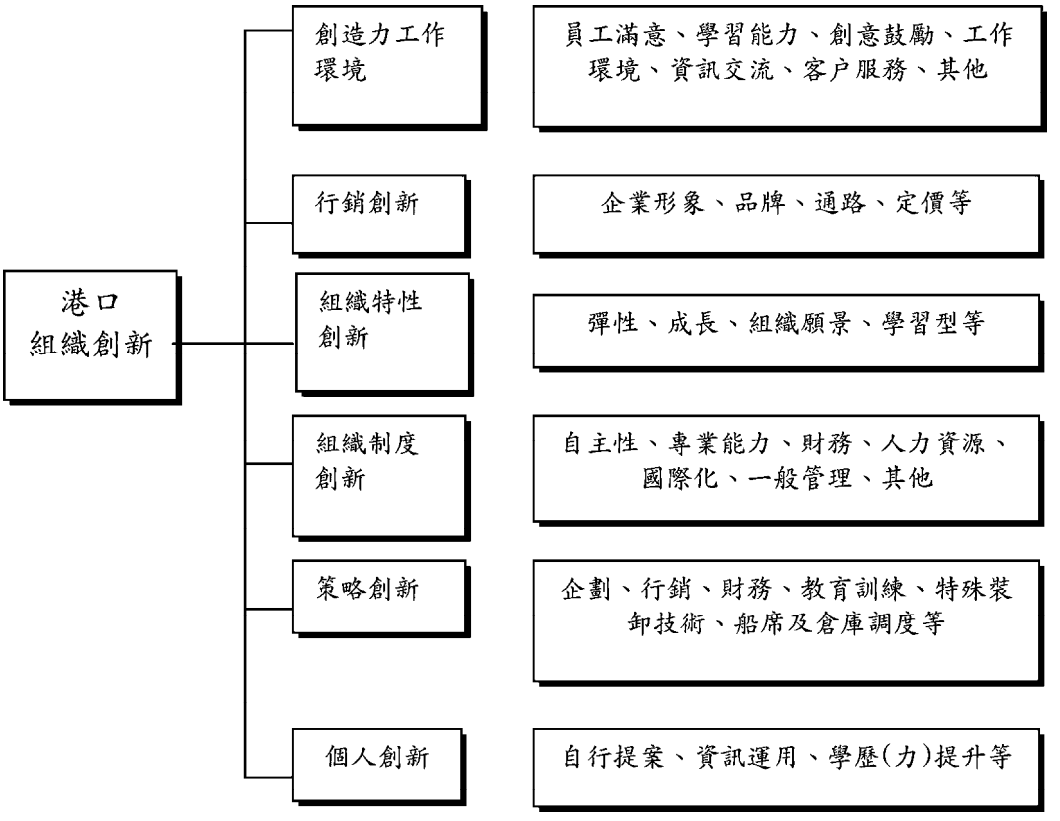


圖 1　港口組織創新構面及指標

參考文獻

1. 林良慶，2003，地方公部門運用教導型組織理論進行組織創新之研究，研習論壇月刊，第 27 期，頁 29-36。
2. 洪榮昭，2002，組織創新文化之探討，社會教育學刊，第 241 期，頁 267-284。
3. 黃佑安、鄭佩君，2002，組織創新環境與創新績效模式建構之研究，管理研究學報，第 2 卷第 2 期，頁 279-304。
4. 蔡啓通，1997，組織因素、組織成員整體創造性與組織創新之關係，國立台灣大學商學研究所博士論文。
5. 莊立民，2005，台灣資訊電子業組織創新歷程模式之研究—以六家個案企業爲例，商管科技季刊，第 6 卷第 1 期，頁 69-92。
6. 張雅富，2006，東亞港口近年貨櫃發展趨勢分析上，航貿週刊，第 04 期。
7. 張雅富，2006，東亞港口近年貨櫃發展趨勢分析下，航貿週刊，第 05 期。
8. 劉春初、蔡明田、莊立民，2001，台灣高科技企業組織創新衡量模式建構之研究，人力資源管理學報，第 1 卷第 1 期，頁 53-71。
9. 賴士葆、王秉鈞、黃佑安，1997，

創新能力與新產品研發過程關係之研究，中華民國科技管理研討會論文集，頁 83-89。
10. 賴姿蓉，1998，廿一世紀變革的新趨勢—組織創新，人事管理月刊，第 35 卷第 12 期，頁 30-40。
11. 賴姿蓉，2000，廿一世紀變革的新趨勢—組織創新，人事月刊，第 30 卷第 1 期，頁 26-36。
12. Ahmed, P. K., Kok, L. K., & Loh, A. Y. E., 2002. Learning through knowledge management, Boston: B. H.
13. Daft, Richard L., 1995. Organization theory and design, 5th edition. Minneapolis/St. Paul: West Pub.
14. Drucker, Peter Ferdinand., 1985. Innovation and entrepreneurship: practice and principles, 1st edition. New York: Harper & Row.
15. King, Nigel & Anderson, Neil., 1995. Innovation and change in organizations, London; New York; Routledge.
16. Robbins, Stephen P., 1996. Organizational behavior: concepts, controversies, and applications, 7th edition. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

貨櫃船進港時間選擇行為探討

李和曉　台中港務局工程員

一、前言

船舶進港時間選擇行爲對於港埠營運績效指標中之船舶平均等候進港時間與港口擁塞指標二項績效指標影響甚巨，對船舶進港時間之選擇行爲影響因素可概略分爲航商因素與港口因素兩大部份，對於港口管理單位所在意的是港口因素，此部份是港口管理單位須努力改善的。至於航商因素而致船舶延誤進港這一部份，是港口管理單位須瞭解掌握，以作爲港埠規畫與營運管理政策制訂之參考。

基於上述原因，本文由臺中港進港貨櫃船舶加以抽樣分析，建立航商選擇船舶進港時間之行爲模式。

二、理論架構

有關探討貨櫃航商選擇進港時間行爲理論，可從下列幾項探討：

2.1 決策者（The Decision Maker）：

要瞭解航商選擇進港時間之決策過程，必須先分析誰是選擇進港時間之決策者，一般而言，貨櫃船選擇進港時間可分下列幾種情況：

1. 定期航線貨櫃船，由貨櫃航運公司台北總公司或總代理訂出各別航線可容許滯港時程及各航線作業優先順序後，由當地之分公司或代理行據以依當地情況進行決策。
2. 不定期航線貨櫃船，由當地船務代理業或分公司決策，向總代理或總公司報備同意後執行。
3. 貨櫃船緊急進港，由船長決定，請當地船務代理業或分公司執行並向總代理或總公司報備同意。

基於以上分析，爲瞭航商選擇進港時間之行爲，本研究將以灣靠臺中港貨櫃船作爲調查對象。

2.2 替代方案（Alternatives）

航商在船舶到港後，船席亦已空出，其選擇是否立即進港，依航商需求而定。所謂替代方案，即可供航商選擇立即進港或在港外等候之替代方案。

2.3 屬性（Attributes）

航商對船舶進港時間之選擇行爲之屬性，係指選擇進港時間之影響因素，從船舶靠港後須要港口提供的服務項目概分爲三大類：

⑴對船舶的服務：例如引水、拖船、帶解纜、加油、加水、船舶修理、船舶証書的簽証與更新、船舶檢查等等。

⑵對船員的服務：例如更換船員、船員休閒娛樂調劑身心、船員日常用品的提供、船員証書的簽証

與更新、與親戚朋友相聚等。

⑶對貨物的服務：例如卸貨、裝貨、翻艙、貨物繫固等等。

經由航商訪談中觀察航商對進港時間之選擇行爲，可以將選擇進港時間之影響因素歸納爲「船舶」、「貨物」與「其他因素」三大類。

2.4 決策規則（The Decision Rule）

航商選擇船舶進港時間之決策規則，可分下列情況探討：

⑴當在航運景氣時期，船噸供不應求，貨物滿載，在此時期航商以增加船舶周轉率爲最高指導原則，要求船舶隨到隨靠，絲毫不得延遲。

⑵當在航運不景氣時期，船噸過剩，貨物不足，在此時期航商以服務能維持，致力於降低成本與減少費用支出爲最高指導原則，船舶是否隨到隨靠，則要視當時之船舶、貨物與其他因素而定。

⑶在公用碼頭航商以單一船舶本身爲決策考慮範圍，以船舶本身效益最大爲決策原則。

⑷在專用碼頭由於船隊、櫃場均屬同一公司所有，因此決策考慮範圍會擴及前後船舶與櫃場等因素，以公司效益最大爲決策原則。

三、資料蒐集

在港埠營運績效指標將船舶分類概分爲貨櫃船與非貨櫃船，由於非貨櫃船各別差異甚大，貨櫃船則較具有一致性，比較基礎相似，且是各港排名之重要項目，因此本文選擇以灣靠臺中港之貨櫃船作爲母體資料。

當船舶到港後可能是船席已空出，等候船舶前來靠泊。另一可能則是船席上仍有船靠泊，因此需等候該船出港，再進港靠泊，此一部份航商被迫須在港外等候，無選擇行爲發生，是港口管理機關須深入研究改善之處。至於船舶到港後船席已空出，此時航商可選擇立即進港靠泊，或是在港外稍候，選擇在最有利之時間點進港靠泊，此一部份是本研究之重點。

經訪談各大航商，談整理歸納貨櫃船在港外等候原因彙整如次：

3.1 港方因素而致貨櫃船在港外等候之原因：

1. 等候船席：因船席不足或船席擁塞所致。
2. 等候領港與拖船：頂多延遲 1 至 2 小時。多發生在早上 7 至 10 時尖峰時段。
3. 檢疫問題：來自疫區之船舶須經過潛伏期才可以無線電檢疫，否則須登輪檢疫。登輪檢疫受限於人力調度與夜間視線不良等安全問題，儘可能地在上班時間進行，惟若航商有需要，仍可事先申請於夜間進行。
4. 天候不佳：避季風、避颱風。
5. 演習、戰爭：管制進出港。
6. 群眾、漁船圍港抗爭：航道受阻，船舶無法進出港。
7. 罷工：因罷工而致船舶無法進出港。

3.2 船方因素而致貨櫃船在港外等候之原因：

1. 等候貨物通關放行：例如船13日到，貨櫃14日16:00放行，若有卸貨，則安排於14日早上或中午進港。將卸貨完成時間與裝貨開始時間相銜接，以免船舶在碼頭等候。
2. 船舶故障：例如主機、錨機、發電機故障，可自行在港外修復者，就可選擇先行在港外進行，若無法自行在港外修復者，就必須申請緊急進港，尋求支援修復。
3. 等候母船或子船：例如子船13日到，母船14日到，子船等母船的貨櫃。
4. 船貨糾紛：例如運費未付、貨主拒收。
5. 未完成裝卸貨準備：例如多用途船須進行局部調整，才可裝載貨櫃。
6. 船期因素：船期計畫完成，經實際執行，與計畫難免會產生無法契合之處，必須藉由船期調整的動作，讓實際與計畫相契合。在船期鬆時，採在港外等候策略，在船期緊時，則是採跳躍式停靠策略，捨棄次要港口。
7. 避開加成時段進港：目前臺中港有夜間加成規定，在夜間進港增加費用支出，對航商而言若避開加成時段進港是可降低成本
8. 合約因素：航商新租用船舶時多以領港上船時間爲起租日開始計算租金。於此情形航商會策略性延後進港時間以節省租金。
9. 其他：例如船舶失火等。

四、資料背景說明與樣本分析

4.1 資料背景說明

臺中港目前設有二個貨櫃中心，分別說明如次：

1. 臺中港第一個貨櫃中心：第一個貨櫃中心，配置有9、10、11貨櫃碼頭三座長度900公尺，橋式貨櫃起重機五部。中國貨櫃運輸公司承租其中10、11貨櫃碼頭二座，橋式貨櫃起重機五部，經營型態爲公用貨櫃碼頭。
2. 臺中港第二個貨櫃中心：第二個貨櫃中心，配置有31、32、33、34、35貨櫃碼頭五座長度1478公尺，橋式貨櫃起重機八部。長榮公司承租其中32、33貨櫃碼頭二座，橋式貨櫃起重機四部，經營型態爲專用貨櫃碼頭兼具公用貨櫃碼頭。萬海公司承租其中34、35貨櫃碼頭二座，橋式貨櫃起重機四部，經營型態爲專用貨櫃碼頭兼具公用貨櫃碼頭。

4.2 樣本分析

本次抽樣以臺中港民國95年3月1日起至民國95年3月31日止之進港貨櫃船爲調查對象，每天即時記錄彙整，詢問船舶延遲進港之原因，依航商所述之等候原因加以歸類，並以每日「船舶進港出港在港動態日報表」所登錄之船舶到港、進港、出港時間前後比對研判。

在這段期間經實地調查共有229艘次貨櫃船進港，有效樣本資料229筆，本文以此資料爲樣本分析如次：

1. 以等候時間分析：

⑴等候時間最長者爲編號 951304，在港外等候了 32.7 小時，等候原因爲等候貨物通關放行。

⑵等候時間最短者爲編號 950887，在港外僅有 0.2 小時。

⑶平均等候時間 2.36 小時。

⑷等候時間小於 2 小時者共有 183 艘次，佔 79.91%。

⑸等候時間大於 2 小時，小於 12 小時者共有 32 艘次，佔 13.97%。

⑹等候時間大於 12 小時，小於 24 小時者共有 12 艘次，佔 5.24%。

⑺等候時間大於 24 小時者共有 2 艘次，佔 0.87%。

2. 以貨櫃場別分析：

⑴中櫃：75 艘次，佔 32.75%。

⑵長榮：83 艘次，佔 36.24%。

⑶萬海：71 艘次，佔 31%。

3. 以等候原因分析：

⑴隨到隨靠共有 183 艘次，佔 79.91%。

⑵等候船席者有 20 艘次，佔 8.73%。

⑶等候貨物通關放行者有 15 艘次，佔 6.55%。

⑷船期因素者有 3 艘次，佔 1.31%。

⑸避開加成時段進港者有 8 艘次，佔 3.49%。

4. 調查原因歸類分析：

⑴隨到隨靠共有 183 艘次，佔 79.91%。

⑵自願性等候有 26 艘次，佔 11.36%。

⑶被迫性等候有 20 艘次，佔 8.73%。

5. 綜合分析：

⑴由櫃場別分析得知，靠泊中櫃碼頭合計有 75 艘次，佔 32.75%，靠泊長榮碼頭合計有 83 艘次，佔 36.24%，靠泊萬海碼頭合計有 71 艘次，佔 31%。每個貨櫃場靠泊船次比例各約佔三分之一，顯示臺中港三家貨櫃場具有同等重要性。

⑵以等候原因分析得知隨到隨靠共有 183 艘次，佔 79.91%，這是航商與港務局都樂於見到的結果，亦顯示出貨櫃航商對船舶隨到隨靠有強烈偏好。

⑶被迫性等候之原因，經調查爲等候船席者有 20 艘次，佔 8.73%。

⑷自願性等候之原因，經調查等候貨物通關放行有 15 艘次，佔 6.55%、船期因素有 3 艘次，佔 1.31%、避開加成時段進港有 8 艘次，佔 3.49%，以上合計 26 艘次，佔 11.35%，這是港口管理當局所須瞭解掌握的地方，例如避開加成時段進港雖是歸類爲船方因素，若是改變費率制度，是否可改變航商行爲，值得深入研究。在等候貨物通關放行方面，航商雖可隨時調整收貨截止期限，但其受限於商譽不可擅自爲之。如何運用船期餘裕，以提升競爭力，是航商值得思考的課題。

⑸在等候時間分析中，等候時間

最長者爲編號 951304，在港外等候了 32.7 小時，其等候原因爲等候貨物通關放行。

五、結論與建議

本文以臺中港 95 年 3 月份進港貨櫃船爲母體進行抽樣調查，由調查資料分析可以得知航商偏好隨到隨靠，至於貨櫃船等候原因集中在等候船席、等候貨物放行、船期因素與避開加成時段進港。

船舶進港選擇行爲對港埠規畫與港埠經營管理上有相當大的助益，建議可擴大母體，以瞭解各類船舶的選擇行爲，作爲港埠規畫、政策制定與港埠經營管理之參考。

參考文獻

一、朱金元，（1991 年）高雄港貨櫃碼頭營運作業績效指標之研究。運輸計劃季刊　第二十卷　第四期。

二、郭塗城，（1998 年）建立各國際（內）商港港灣作業及棧埠作業服務指標委託調查分析研究。基隆市

三、吳濟華、洪文賺，（1998 年）高雄港營運績效量測及時間序列分析。　高雄市

四、祁敏、林健成、李和曉、葉啓明，（1999 年）台中港危險品碼頭港灣作業服務績效之探討。台中縣

五、王昱傑（2000 年）汽車購買選擇分析。基隆市

六、傅世鎰（2000 年）基隆港務局航港改革時員工選擇工作行爲模式之研究。基隆市

邊緣波引致花蓮港共振問題之研究

陳冠宇　中山大學海洋物理研究所專任助理教授
簡仲璟　運輸研究所港研中心研究員兼科長
蘇青和　運輸研究所港研中心研究員
曾相茂　運輸研究所港研中心研究員

1. 簡介

以一個東部最大商業港的角色而言，花蓮港對於台灣整體的平衡發展是非常重要的，然而它的營運卻長期以來就一直受著颱風波浪所影響：即令颱風中心還遠在一千公里外的菲律賓東方海域時，其湧浪也會引致花蓮港港池內的共振，迫使港內的船隻必須及早遠離以避開危險。

爲了瞭解這共振現象並提出改善之道，先前已有些方案曾被港灣學者所提出（參見蘇等，1996）。這些研究各有不同的著眼點，然而他們均是立基在港池對平面的入射波之反應，且這些研究均推斷最主要的共振振態比一般的重力波還低頻，因此可被稱爲亞重力波（infragravity， 0.004Hz — 0.04Hz），就像紅外線（infrared）的輻射是比一般紅光低頻一樣。

亞重力波可分爲二維及三維兩大類。其中三維波截留在海洋邊緣，因此通常被稱爲邊緣波；而二維波則在側向上有一致的振幅。有些亞重力波就像一般重力波一樣能夠自由地傳播，但也有些則會因非線性而與短波群一同移動，並由短波群強制而產生所謂被束縛的長波，即 bound wave。

花蓮港外海之亞重力波的存在已由港研中心的實測所證實，然而，是否直接以波譜中的亞重力波分量作爲入射波的條件即能模擬現場的波浪？

首先，單一的儀器並無法辨認此分量是源自於入射波或反射波。其中，只有入射波會造成港池的振盪。其次，除非綜合研判數個不同位置的波高資料，否則無法分辨所測得的亞重力波分量是眞正自由的亞重力波還是受束縛的長波(即 bound wave，因波浪非線性而與短波群一同移動並由短波群強制所產生)；後者可能與自由亞重力波的產生有關，但本身並無法引致港池的長週期振盪。再者，單一位置的波高紀錄也無法給予我們長波分量之正確空間分布的資訊：亞重力波可能是平面波或截留的邊緣波。

就上述的理由可以得知：波高紀錄中的亞重力波分量並不能被直接作爲造成港池共振現象的入射條件。

2. 亞重力波的產生

依據現場實測資料顯示，亞重力

波並不存在於深海（參 Elgar et al, 1992），因此其發生機制與波浪和海岸間的交互作用有關。

其中，二維亞重力波可分爲兩種，一爲由地形反射波群而造成，一爲由波群碎波而造成。然而根據徐（1996）對於花蓮港外簡化後的地形作推估，二維的亞重力波只有一公分高，並不足以造成港池內的大幅振盪。

三維的亞重力波即所謂的邊緣波，其發生機制有非線性共振與波群碎波而造成等（參見Gallagher,1971；Foda 與 Mei,1981；Schäffer,1994）。這些理論顯示風浪的能量可以成功地轉換成亞重力波分量，截留在海岸附近並沿著海岸傳播。

另有研究（參見 Holman et al., 1984；Oltman-Shay and Guza,1987；Howd et al.,1991；Elgar et al., 1992；Schäffer,1994）將亞重力波分爲邊緣波與滲漏波。值得注意的是，花蓮外海並無島嶼可反射自南而來的颱風波浪，因此滲漏波多已逸散至深海而與港內的共振無關。

根據Schäffer（1994）的說法，當外海入射波浪與海岸近乎垂直時會產生最終傳向外海的平面波，即滲漏波；而當入射方向不垂直時，則有相當的能量會成爲邊緣波。

當花蓮港產生港池共振時，颱風常遠在 1000 公里外的南方。台灣東部海岸是呈南北走向，因此颱風波浪總是以斜向入射海岸線，根據 Schäffer 的理論可知此時邊緣波將會沿著長直的東部海岸線而產生。至於平面的亞重力波則可能早已滲漏到廣大的太平洋中，不會影響到花蓮港池的穩靜。

3. 邊緣波存在之證據

在考慮港池共振問題時，港灣工程師通常會讓港灣的開口正對著大海，此時唯一的外力項是由外海入射而來的平面波。然而就花蓮港而言，它的開口並未朝著大海，而是與海岸線平行，這種特殊的港口配置使其易受邊緣波影響。以下幾點即爲邊緣波存在於花蓮港外側的證據。

3.1 物理實驗的證據

港灣學者曾以測量波譜爲基礎，對花蓮港做了一個物理模型實驗，其外力項設定爲南南東方向傳來的平面波。在此實驗裡，港外的水面振盪集中在靠近海岸處，類似由南向北傳的邊緣波（如圖 2），此結果顯示邊緣波非常容易沿著花蓮港海岸產生的。

在週期是 140 秒而水位因共振而上漲時，位於外港池西邊的 22 號碼頭會爲海水所淹沒。而當設置一凸堤於 22 號碼頭和東側防波堤之間時，共振現象就會消失，22 號碼頭也不再淹水。碼頭與防波堤的位置請參見圖 1 之標示。

此物理模型實驗顯示邊緣波易經由斜向入射波而產生，而當颱風平行於長直的海岸北上，此邊緣波的能量也會逐漸累積。因此，花蓮港外存在一定能量的邊緣波是一相當自然的結果。

3.2 現場觀測的證據

根據平面波的港池共振理論，入射波浪由外海傳入港內，不會受到港

外海岸條件的直接影響；唯一可能影響共振的海岸因素只有外海波浪在海岸的反射。花蓮港南側海岸原是沙灘，近幾年來則陸續建設一系列的離岸堤以保護海灘（參見圖3）。這些改變對沙灘反射率的影響看似微不足道，但對共振的影響卻十分顯著：使得共振發生時間較之前類似情況下延遲了一至二小時。這一看似難解的現象如果以邊緣波作爲入射外力來解釋卻是相當合理：邊緣波的振幅集中在海岸線附近，能量最容易受離岸堤之類的海岸結構物所消減；入射能量減少的結果，在港池內要造成大的動盪自然需要更多時間累積。

4. 數值模擬探討

4.1 入射條件與邊緣波的數值模擬

波浪數值模式的研究與發展，常是先設定其目的爲解決某一類的波浪問題，因此若是原始設定與欲解決的問題不盡相同時，模式往往需要經過重大的修改，甚至必須另外發展新的模式。

一般波浪的數值模擬大都使用緩坡模式將平面波入射條件以解析的形式放入邊界，或以造波線的方式產生波浪，而造波線上的振幅則設爲相等。但邊緣波的特性則是距海岸一定距離以後，振幅會隨著距離而成指數衰減，因此一般波浪模式無法模擬邊緣波的入射。

再者，就遠域邊界條件而言，有些模式使用的是輻射條件或其變形，然而這對邊緣波並不適用，因爲邊緣波的波數與平面波是不同的。實務上，在平面波與邊緣波均存在的情況下，只能以所謂的海綿層（sponge layer）方式來防止波浪在自由邊界的反射。

綜合以上所述，丹麥水工（DHI）的 Mike 21-BW（Boussinesq Wave）布氏方程模組應是現有模式中較適用於本研究的數值模式：它不僅採用海綿層的技術，而且也容許入射條件的非一致性。

由於布氏方程式係一水深平均的二維模式，所以我們採用 Eckart 的淺水理論（參見 Mei,1989）作爲邊界的通量條件，如圖 4 所示。要注意的是本模擬只採取最低的振態（Stokes Mode），因爲它是最常出現的邊緣波振態。

沿海岸之波速可由海面水位推算而得；由於沿海岸之海底底床坡度並非常數，因此我們得到的波數值並非唯一。圖 5 的頻散關係顯示底床坡度介於 1/30 到 1/20，此結果與海圖相一致。

4.2 邊緣波對花蓮港的影響

根據先前的數值計算與港內實測波浪的分析，花蓮港在週期 160 秒左右會產生顯著的共振。此外，物理模型試驗與港內實測值顯示 140 秒也是可能的共振週期。這些週期之所以重要，一方面因爲它們不會輕易被一般的工程設置所消散，再者如以下所述，我們發現兩種共振週期的振態有明顯差異。因此以下即選定 140 秒與 160 秒兩種週期的亞重力邊緣波進行數值計算。

圖 6 與圖 7 顯示的是在邊緣波週

期 140 秒時港內的最大流速。圖中箭頭的長度與方向代表瞬間水體移動的速度，而其相對於港外入射波的放大率可以箭頭的長度比上港外箭頭的長度求得。在現有配置下（見圖 6），橫方向的共振現象發生在外港池。當置一凸堤於 22 號碼頭與東防波堤之間時（如圖 7），共振現象就會被破壞，此點和物理模型試驗的結果相符。

圖 8 與圖 9 顯示的是週期 160 秒邊緣波沿著海岸向北傳播引致的港內最大流速。在現有配置下（見圖 8），縱方向的共振振態遍佈整個港池。當置一凸堤於 22 號碼頭與東防波堤之間時（如圖 9），共振之振態雖產生變化，但流速並未顯著降低，顯示原來的共振仍然存在。

4.3 共振機制與假想的波源效應

由花蓮港物理模型試驗裡可以看出，週期 140 秒之邊緣波產生後，在岸邊靠近港口處（即北濱海岸，見圖 1）有往東傳播的現象；當波浪碰到東防波堤後即反射並在東堤與 22 號碼頭間來回振盪。因此，共振機制是發生在兩個封閉的邊界間的橫向振態。

爲釐清此種型態的共振機制，我們在北濱海岸設置了一個週期爲 140 秒的假想造波機，此造波機產生平面波向東傳播，其結果顯示在圖 10。在與圖 6 作對照後，顯示此假想造波機產生一個橫向振態，這與沿著海岸入射之 140 秒邊緣波所產生的振態十分類似。而同樣的，當置一凸堤於 22 號碼頭與東防波堤之間時，共振現象亦會遭到破壞；因此，我們驗證了先前推測的共振機制：邊緣波在北濱海岸往東傳播，碰到東防波堤後反射並在東堤與 22 號碼頭間來回振盪。

另一方面，當週期爲 160 秒時，北濱海岸的假想造波機並未引致大幅震盪，因此其與週期 140 秒的共振機制並不同；其振態反而比較接近於週期 160 秒之下平面波入射的結果，此種共振一側爲開放邊界，另一爲封閉之邊界，共振則於此二邊界間不斷反射。

橫方向的振態也可由理論來得到驗證：兩個封閉的邊界間的共振條件爲波長對港池長度的比值是 N/2；其中 N 爲整數，代表節點（或節線）的數目。在外港池平均水深 13 公尺下，可預估週期 140 秒之淺水波波長（1580 公尺），波長對外港池寬度（800 公尺）的比值是 0.51，非常接近於理論值 1/2。

然而由於地形的不規則、花蓮港縱方向的港池深度並不一致、且近港口入口處的節點位置很難決定，因此，縱方向的振態不能用一邊開放、一邊爲封閉邊界時的簡單公式來驗證振態。先前的研究（見陳，2000）顯示，藉著觀察模擬結果的振幅和流速分布，我們可以驗證縱方向的共振振態。圖 11 所示即爲花蓮港在週期 140 秒及 160 秒時的橫向與縱向共振振態。

4.4 與實測頻譜之比較

由港研所所設置的花蓮港波浪測站位置可參考圖 1。其中 8 號、10 號碼頭的測站與 22 號碼頭的測站分別代表內港區與外港區的振幅。以上測站在 1994 年 7 月堤姆颱風侵襲花蓮時所測得的完整波浪資料，可用來與上述

之數值實驗作比較。

雖然頻譜分析受採樣時間之限制，然而根據五個不同時段的水位分析，顯示不同的時間仍有近似的特性。從圖 12 中可看出內港區（8 號與 10 號碼頭）在 160 秒附近頻譜的振幅明顯增大，而外港區（22 號碼頭）的頻譜在 140 秒左右有一高峰。前者是因爲花蓮港存在 160 秒的縱向振態使得內港區的振幅增大；後者則可解釋爲外港區的140秒橫方向振盪所導致。由於這兩種特性均與現場的實測資料相符，大大提高了邊緣波係花蓮港港池共振之主要原因的合理性。

5.討論 — 離岸堤之消波作用

針對離岸堤造成港池共振之延遲發生，此點在文獻上並找不到類似的情況；花蓮港可能是邊緣波引致共振之理論的第一個例子，其重要性值得吾人再做進一步的討論。

時至今日並無考慮離岸堤效應之邊緣波理論探討；然而，若只著眼於流體動力上的宏觀效應時，一般是可以忽略細部的幾何影響。舉例而言，多孔的岸壁若被視爲一個後有游水池的表面，則消波機制可被視爲入射波的一部分在外壁表面反射，另一部分則傳入水池而在盡頭反射（參見圖 13）；假設游水池的長度是入射波長的1/4，這兩個反射的波因反相而互相抵銷，反射波將減至最小。入射波能量的絕大部分侷限於游水池內，再藉由紊流、摩擦等效應逐步消散。

爲了利用上述對多孔岸壁的分析研究來解釋花蓮港港池共振之延後因素，我們提出了以下的理論：

外港的平均坡度介於1/20至1/30之間，一般可以1/25當成其估計值；海岸到離岸堤之間的平均距離爲 100 公尺，而根據等坡度的邊緣波最低振態之頻散關係，在140秒週期和160秒週期的沿岸波長分別是 1200 公尺和1400 公尺；此結果與數值模擬所得的波長是一致的。離岸堤扮演的正是多孔岸壁之外壁的角色：部分能量被堤岸反射，好像離岸堤之間的間隙並不存在；而另一方面，有部分的邊緣波能量穿透離岸堤之間隙，結果被海岸反射。因此，我們得到一個結論：有兩種邊緣波的振態會同時存在於離岸堤區，一是能量被離岸堤反射的邊緣波，另一種爲未受離岸堤影響的邊緣波（參見圖 14）。

後者的頻散關係可表爲

$\omega^2=gks,$

此處ω是角頻率，g 重力加速度，k 表沿岸的波速，s 是底床坡度。在任何邊緣波的論文皆可見到此一關係式。

至於第一種邊緣波的例子則沒有頻散關係式可用；理論的估計值，可運用 Green（1986）的結果。就其論文中之頻散圖外差，被離岸堤反射的邊緣波波長約爲未受離岸堤影響的邊緣波之 2/3。也就是說，在防波堤區域裡的波浪振幅可以下列式子表示：

$$\left|A\, e^{i(kx-\omega t)}+(1-A)\, e^{i3(kx-\omega t)/2}\right|.$$

其中，實數 A 介於 0 與 1 之間，且其正確值視離岸堤的配置而定。在經過長度 l 的離岸堤區域後，其邊緣

波的振幅變爲

$|A\,e^{i(kl-\omega t)}+(1-A)\,e^{i3(kl-\omega t)/2}|$.

最小的振幅$|1-2A|$出現在當kl相當於2π或它的奇數倍。在花蓮港外海，不論週期是 140 或 160 秒，這兩種振態皆接近反相（見圖 15），因此，能量將會截留於離岸堤而達到最大的消波作用。

最小具有最佳的截留作用離岸堤區域的長度 l 恰爲邊緣波之波長。週期 140 秒與 160 秒產生的波長分別是 1200 公尺與 1400 公尺，而整個離岸堤區域的長度是 1500 公尺，因此離岸堤對兩種週期之邊緣波均有效地達到了消散的作用。

更進一步而言，我們可以藉著修改離岸堤的設置排列來改善目前花蓮港港池共振的情況。目前的排列是每 100 公尺置放一防波堤，而爲了要獲得最佳的截留作用，針對週期 140 秒的邊緣波，我們可能得移除或修改三座防波堤；建議將它們改爲潛堤，如此邊緣波的振幅變小，不必大費周章的施工，而且對環境的衝擊也最小。同樣地，針對週期 160 秒的邊緣波，我們建議可修改一座防波堤。

當然，最終的改善方案仍取決於對花蓮港港外的實測結果，以確認邊緣波主要的週期；而決定被離岸堤反射的邊緣波之波長的方法也須更進一步的研究。

6.結論

花蓮港與一般的海港有著不同的設計：由於海底地形甚陡，整個港池沿海岸興建，花蓮港的開口因而與海岸線平行，這種特殊的港口配置使其易受邊緣波影響。雖然已針對外海而來的各種波浪而設置了層層保護，然而邊緣波仍能輕易地滲透入港池。基於此，亞重力邊緣波變成了一個引起花蓮港港池共振的主要外力。

雖然透過港外的單一測站並無法說明是否亞重力波可被解釋爲一入射自由波，然而，物理模型上的實驗反映出邊緣波是極易出現於花蓮港海岸的。且文獻的研究及其他證據亦指出邊緣波確實對花蓮港的港池共振有著舉足輕重的影響。

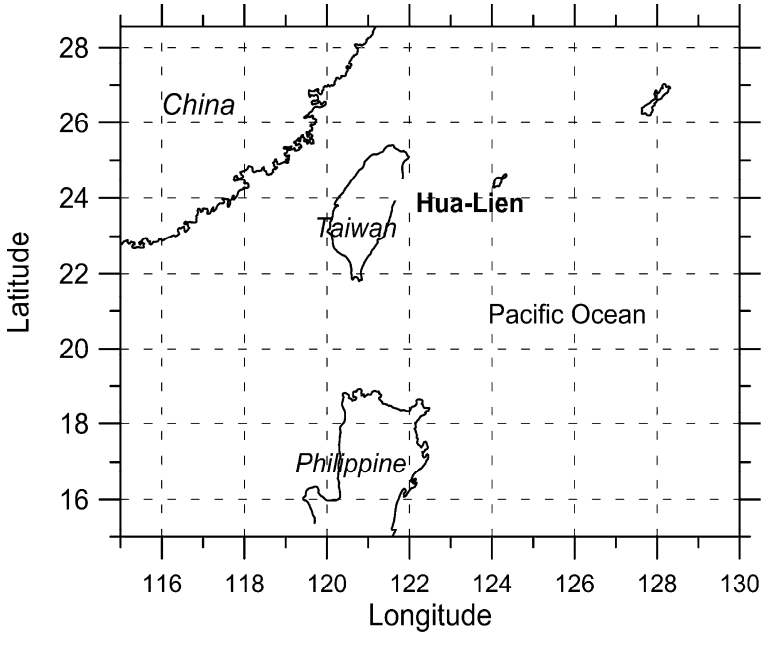
數值實驗顯示，140 秒週期的邊緣波會引起花蓮港橫方向的振盪，但並不會有縱方向的振盪；相反的，160 秒週期的邊緣波則僅會引起縱方向的振盪。這些特點與現場實測的結果是一致的，因此，更加說明了邊緣波引致花蓮港港池共振的可能性。

儘管目前爲止並沒有太多處理此一新的共振機制的經驗，然而離岸堤的設置確實具有消散亞重力入射邊緣波的功用，同時它們也可保護海岸免於沖蝕，因此是一個可行的防護措施。

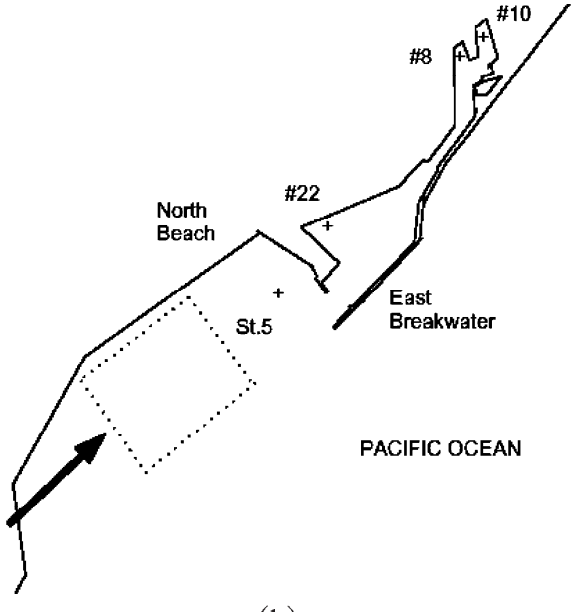
先前的計算與目前的研究均指出共振可能發生於不同的入射波頻率，但可惜的是我們並無法去避免這些頻率，而只能針對常見並且會造成重大損害者的頻率來處理。因此，持續的對港內及港外做觀察是改善花蓮港營運的解決之道。

誌謝

本文原發表於 Journal of Oceanography, V60, no. 6，感謝姚秋宜小姐協助翻譯。



(a)



(b)

圖 1　(a)係花蓮港的地理位置，(b)係其碼頭配置圖，而箭頭方向及虛線的位置是圖 2 拍照的地點。

圖２　在實驗室裡，顯示港外的振盪似爲一沿著海岸由南而北傳導的邊緣波，拍照的方向及位置顯示在圖１。

圖３　港外設置的離岸堤使得港池內的共振延遲了一個小時以上。

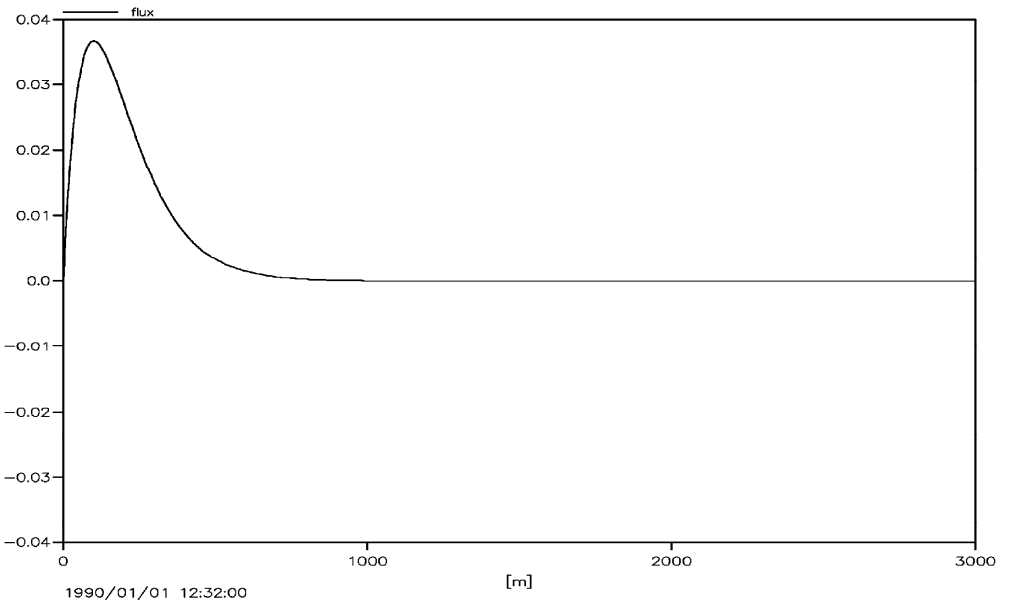


圖 4　入射邊緣波的通量（水深和流速的乘積）之分佈；要注意的是，本模擬採取的是極小的振幅，水深可採用平均水深。

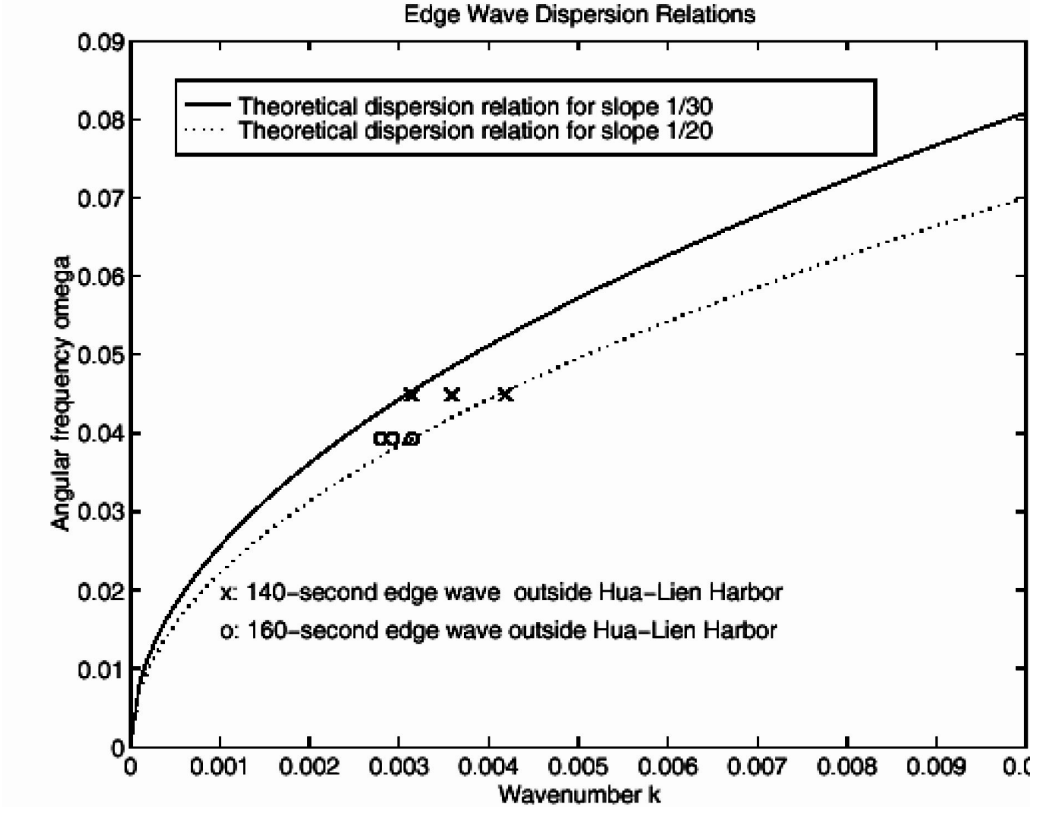


圖 5　頻散關係顯示底床坡度介於 1/30 到 1/20 之間，此結果與海圖是一致的。

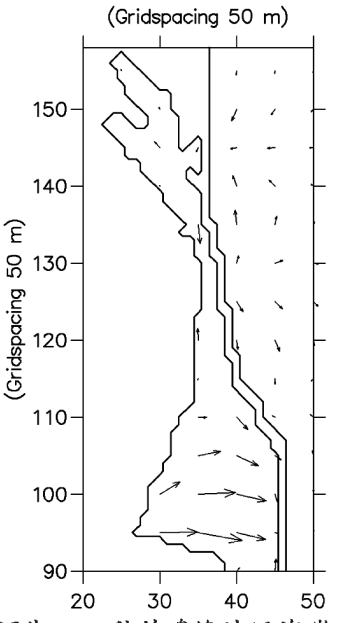


圖 6　週期 140 秒的邊緣波沿海岸向花蓮港傳播造成的港內最大流速；在此配置下橫方向的共振現象發生在外港池。

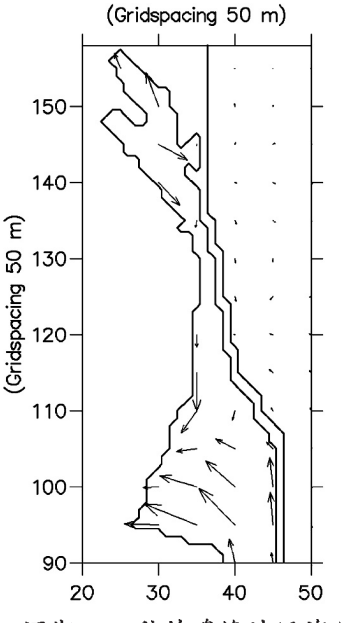


圖 8　週期 160 秒的邊緣波沿海岸向花蓮港傳播造成的港內最大流速；在此配置下，縱方向的共振振態遍佈整個港池。

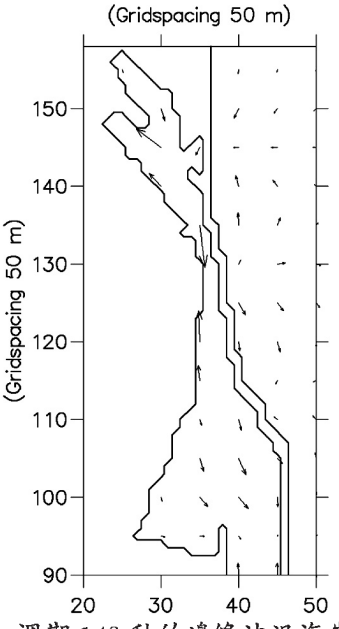


圖 7　週期 140 秒的邊緣波沿海岸向花蓮港傳播時，若置一凸堤置於 22 號碼頭與東防波堤之間，則共振現象就會被破壞；港內的最大流速如圖中箭頭所示。

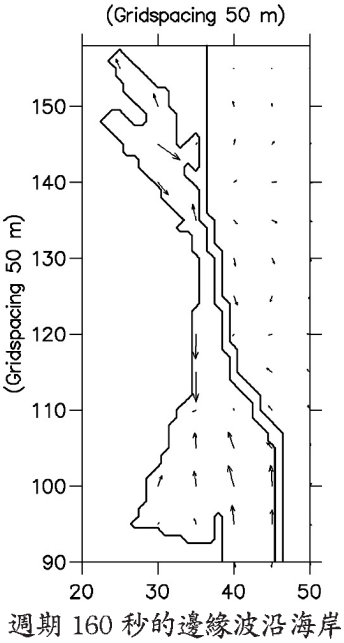


圖 9　週期 160 秒的邊緣波沿海岸向花蓮港傳播時，若置一凸堤置於 22 號碼頭與東防波堤之間，則縱方向的共振現象產生變化，但流速並未顯著降低，顯示共振現象並未被破壞；港內的最大流速如圖中箭頭所示。

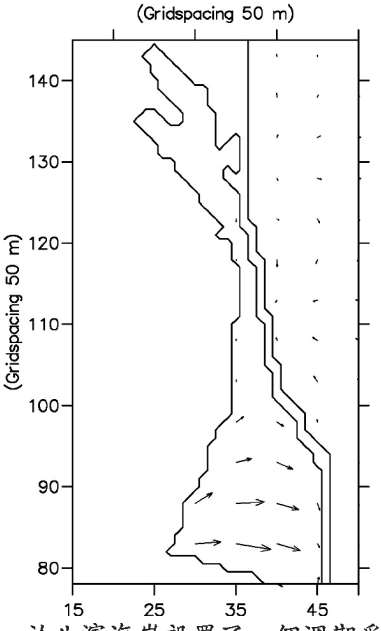


圖 10　於北濱海岸設置了一個週期爲 140 秒的假想造波機產生平面波向東傳播時，橫方向的共振發生在外港池；此振態類似於圖 6 中週期 140 秒的邊緣波引致的結果。

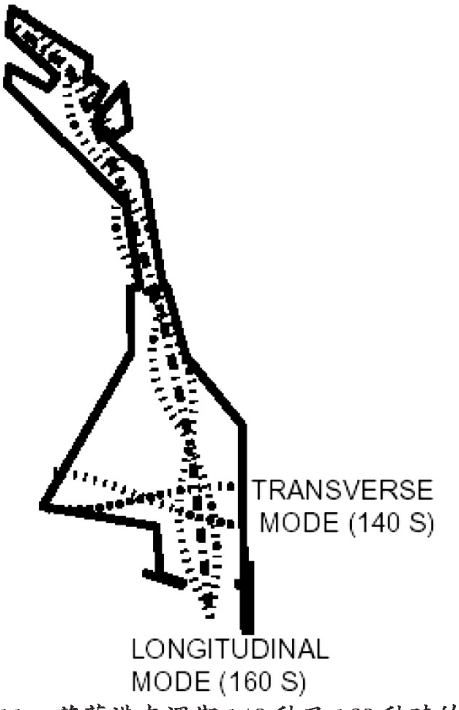


圖 11　花蓮港在週期 140 秒及 160 秒時的共振振態。

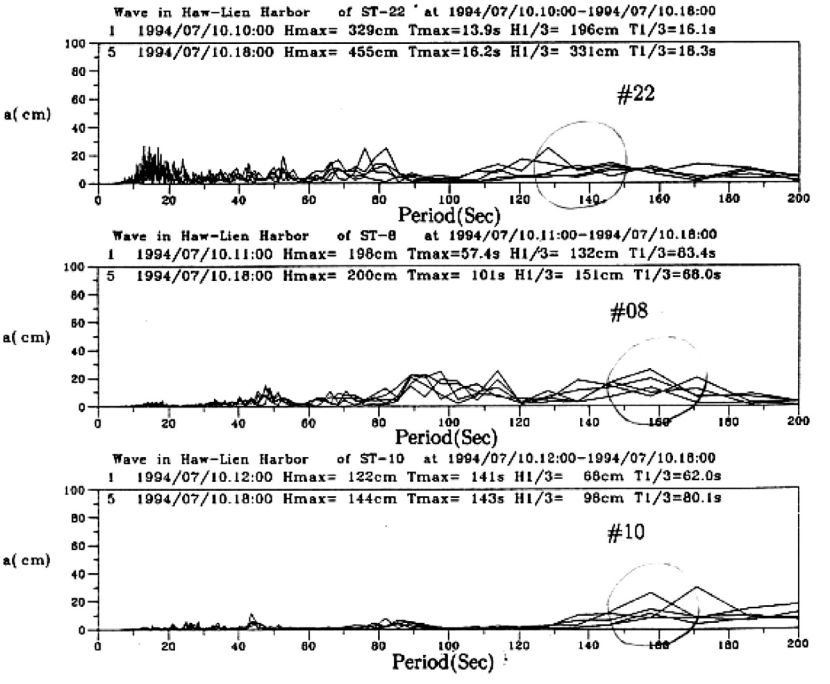


圖 12　1994 年 7 月堤姆颱風期間，五個時段的頻譜分析顯示內港區（8 號與 10 號碼頭）在 160 秒附近振幅明顯增大，而外港區（22 號碼頭）的頻譜在 140 秒左右有一高峰。

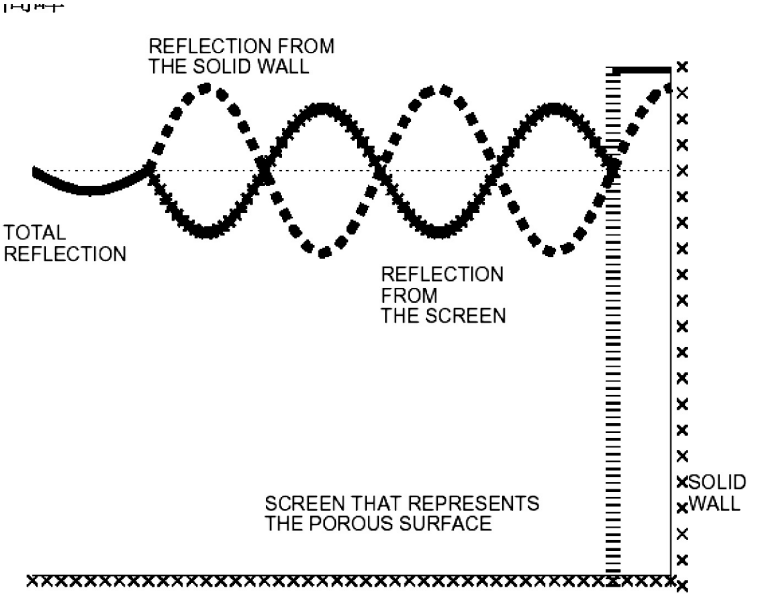


圖 13　多孔岸壁的消波機制可被視爲入射波的一部分在外壁表面反射，另一部分則傳入游水池而在盡頭反射；這兩個反射的波因反相而互相抵銷，反射波將減至最小。

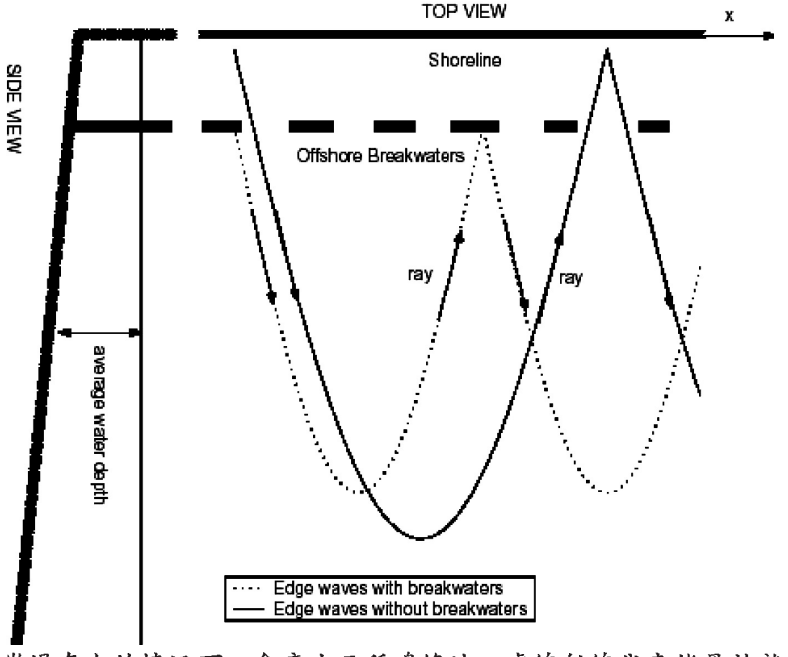


圖 14　在離岸堤存在的情況下，會產生兩種邊緣波：虛線射線代表能量被離岸堤反射的邊緣波；實線射線代表未受離岸堤影響的邊緣波。

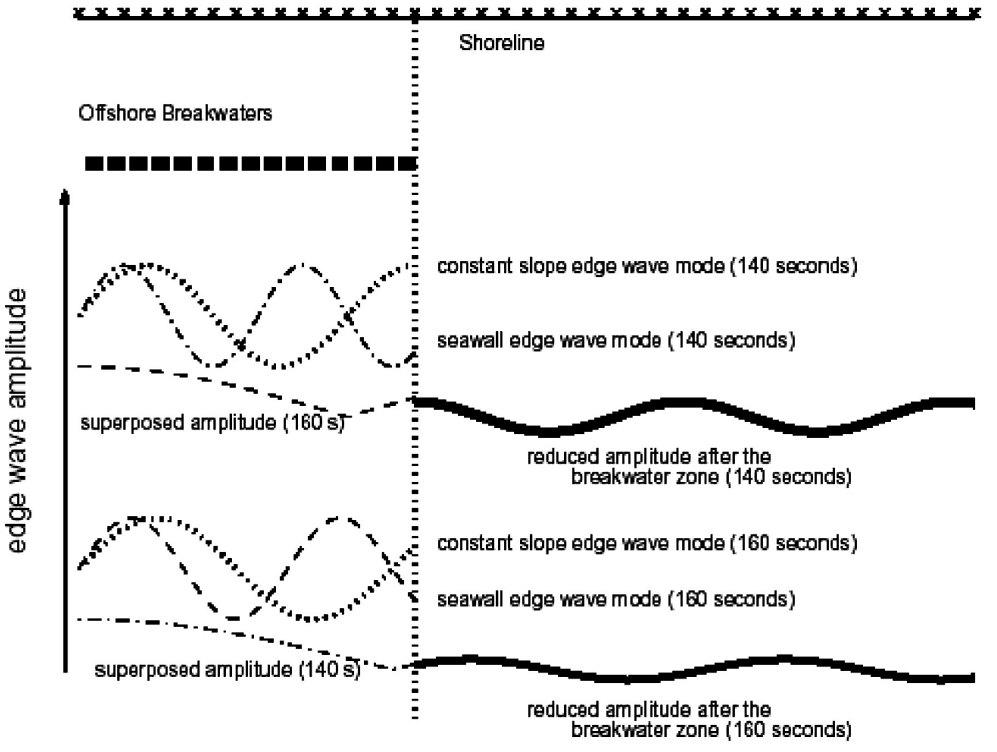


圖 15　在通過離岸堤區域後，不論週期是 140 或 160 秒，被離岸堤反射的邊緣波與未受離岸堤影響的邊緣波皆接近反相，因此透過離岸堤區域的邊緣波皆大幅消減。

參考文獻

1. 張金機，曾相茂(1993) "花蓮港現存問題之探討"。花蓮港現存問題及未來發展之探討研討會論文集，港灣技術研究所。
2. 徐進華(1995) "長波非線性效應研究"，港灣技術研究所。
3. 徐進華(1996) "花蓮和蘇澳港附近長波研究"，港灣技術研究所。
4. 蘇青和等(1996) "花蓮港港灣設施改善計畫之研究-數值模擬"，期末報告，港灣技術研究所。
5. 簡仲璟等(1997) "花蓮港長浪及飄沙防治研究-防波堤提線配置平面試驗"，期末報告，港灣技術研究所。
6. 簡仲璟、曾相茂(1998) "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"，港灣技術研究所。
7. 張憲國等(1999)"花蓮港共振機制研究"，交通大學土木研究所。
8. 蔡瑤堂(2000)"日本創親水海岸的觀念介紹"港灣報導，No.52，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，6 頁-19 頁。
9. 陳冠宇(2000)"港池共振機制探討"，港灣報導，No.52，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，30 頁-38 頁。
10. 莊文傑、江中權(2000) "亞重力波

與花蓮港之波動共振"，第二十一屆海洋工程研討會論文集。
11. 徐進華(2001) "花蓮港港內和港外長波數值模式研究"，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
12. Guan-Yu Chen, Chung-Ching Chien, Ching-Ho Su and Hsiang-Mao Tseng (2004), Resonance induced by edge waves in Hua-Lien Harbor, Journal of Oceanography, V60, no. 6, pg. 1035-1043
13. Elgar, S., T. H. C. Herbers, M. Okihiro, J. Oltman-Shay and R. T. Guza, "Observations of infragravity waves", J. Geophys. Res., 97 (C10), 15,573-15,577(1992).
14. Chiang C. Mei, The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, Wiley, New York(1989).
15. Mostafa A. Foda and Chiang C. Mei, "Nonlinear Excitation of Long-trapped Waves by a Group of Short Swells", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 111, pp. 319-345 (1981).
16. Gallagher, B., "Generation of surf beat by non-linear wave interactions", Journal of Fluid Mechanics, 49, 1-20(1971).
17. Holman, R. A. and A. J. Bowen, " Longshore structure of infragravity wave motions", J. Geophys. Res., 89 (C4), 6446-6452(1984).
18. Howd, P. A., A. J. Bowen and R. A. Holman, "Edge waves in the presence of strong longshore currents", J. Geophys. Res., 97(C7), 11,357-11,371(1992).
19. Howd, P. A., J. Oltman-Shay and R. A. Holman, "Wave variance partitioning in the trough of a barred beach", J. Geophys. Res., 96(C7), 12,781-12,795, (1991).
20. Oltman-Shay, J. and R. T. Guza, " Infragravity edge wave observations on two California beaches", Journal of Physical Oceanography, 17(5), 644-663(1987).
21. Hemming A. Schaffer, "Edge Waves Forced by Short Wave Groups", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 259,pp.125—148 (1994).

人工岬灣應用－離岸堤群後側平衡灘線分析

朱忘誠　中華顧問工程司港灣部 組長
陳建中　中華顧問工程司港灣部 工程師

摘要

人工岬灣應用於海岸灘線之預測乃爲非常簡便之方法，但在台灣地區至今少有提出合理之驗證機制，尤其如何正確之應用及其試用範圍，亦未詳細說明。本文乃藉由台灣地區之航照圖資料，研究離岸堤後側穩定灘線形狀，並將人工岬灣觀念代入，獲得淺水離岸堤後可形成穩定灘線之合理描述，此穩定灣形爲一對稱人工岬灣之組合，並分別經過頂角爲 48.4°之等腰三角形外圍，由於僅須配置淺水區離岸堤群，即可繪製正確灣線，對工程規劃設計上有實質之助益。另文中並對平直海岸、離岸堤後側沙舌等非穩定灘線與人工岬灣間之關聯性加以探討，以期正確闡述人工岬灣穩定灣形之定義及適用範圍。

壹、前言

近年來，在國際海岸工程界流行的靜態安定岬灣理論、經驗式及其電腦軟體，於工程實務之應用上甚爲便利；而如何正確使用這種工法，則甚爲重要。目前學理上所探討的岬灣，偏重於單一灣形之海岸，但於實際工程案例上，離岸堤群設置會造成何種海岸地形，則未有明確之案例。茲蒐集台灣地區之航照圖，研究離岸堤群後側岸線之變化情形，並引用人工岬灣理論探討其特性，以利工程界之應用及學術界之研究參考。

貳、人工岬灣應用之說明

一、基本理論

Hsu and Evans(1989)[1]的拋物線型灣岸經驗公式，是以實驗室模型試驗結果及現場灣岸原型，在上游沒有漂沙進入與灣內沒有河川輸沙的條件下，共 27 個混合灣岸的數據，經迴歸求得「靜態平衡」(Static equilibrium)的岬灣海岸線。該岬灣經驗公式是一個二階多項式，參數之示意圖如圖 1 所示。

圖中，R_0：控制線長度，亦即上游控制點(岬頭、波浪繞射點)到下游控制點的距離

β：優勢波浪入射波峰線於上游控制點處與控制線之間的夾角

θ：由上游控制點的波峰線到灣岸任意點的極座標角度

R：由上游控制點到灣岸上任意點的極座標距離

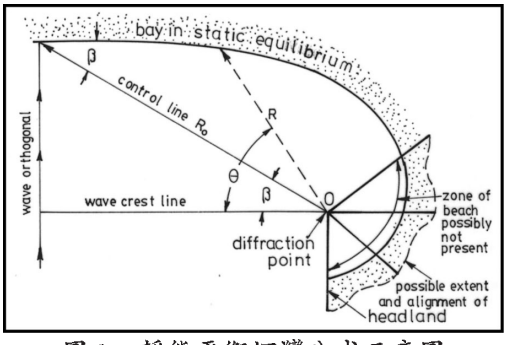


圖 1　靜態平衡岬灣公式示意圖

經驗公式如下：

$$\frac{R}{R_0}=C_0+C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right)+C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2 \quad --(1)$$

其中 C0,C1,C2：與波浪入射角β有關的常數，如圖 2 或表 1 所示。

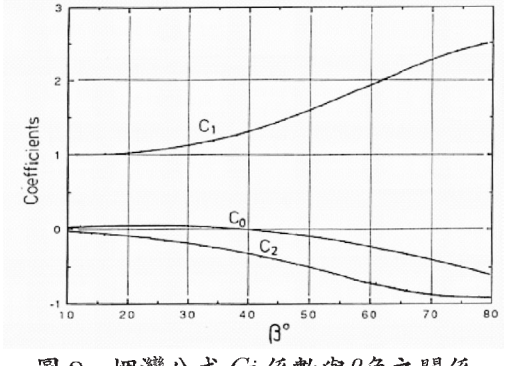


圖 2　岬灣公式 *Ci* 係數與β角之關係

表 1　岬灣公式 *Ci* 係數與β角之關係

β^0	C_0	C_1	C_2
10	0.036	1.011	-0.047
15	0.050	0.998	-0.049
20	0.055	1.029	-0.088
25	0.054	1.083	-0.142
30	0.045	1.146	-0.194
35	0.029	1.220	-0.253
40	-0.000	1.326	-0.332
45	-0.039	1.446	-0.412
50	-0.088	1.588	-0.507
55	-0.151	1.756	-0.611
60	-0.227	1.930	-0.706
65	-0.315	2.113	-0.800
70	-0.409	2.284	-0.873
75	-0.505	2.422	-0.909
80	-0.600	2.520	-0.906

二、實務應用探討

應用靜態平衡岬灣經驗式，可佈置一適當之岬頭與靜態平衡之人工灣岸線，使入射的卓越波浪最後能正向到達灣岸內各點，從而把沿岸漂沙量降到最低。因此在灣岸上游零輸沙的條件下，該灣岸仍然能保持平衡。

以岬灣公式來驗證現場灣岸時，Hsu and Evans(1989)提及在岬灣下游控制點的選定上，常因人而異，雖不致有不合理的誤差出現，但仍賴實際經驗才能圓滿達到預測的目的。因此，下游選點對這公式可能引發現象，必須事先加以了解。

人工岬灣之應用必需決定波向、上游及下游岬頭，此三項參數之決定方式將影響灣形特性。茲探討如下：

(一)波向

波浪之方向可分爲深海波向、近岸波向，所謂人工岬灣採用之波向，依理論應爲到達上游岬頭之波向，然於現有自然灣岸中，因上、下游岬頭相距較遠，以致上、下游岬頭之波向已有所不同，應如何決定呢？尤其當海岸岬頭(人工岬頭)設置於較深之水域，其上游岬頭之波向約與深海波向相同，下游岬頭則與近岸波向相同，當深海波向與下游平直海岸之偏斜度較大時，若用人工岬灣之方式繪製現有灣形甚難符合，經由數值模擬分析灣內波向時，可找出上、下岬頭間等波向線之位置，並可順便找出下游岬頭適當位置，藉此方式可得較佳之灣形，且符合上、下岬頭波向一致岬灣現象。

(二)上岬頭之決定

波向決定後，其上岬頭位置應該是上游硬性構造物與波向相切之點，但在實際應用上，上岬頭若爲緩坡拋石，其繞射點依潮位及拋石結構緊實度而有差異，一般誤差度可達 10m 附近。

(三)下游岬頭之決定

下游岬頭之位置在沿海岸方向之取用，其誤差乃屬有限，亦即β角在15°～60°間對灣內型狀之改變不大。若下游岬頭爲平直沙岸，其位置可伸入陸地，亦可能突出水域，何者爲較正確之位置影響灣形甚大，故其應用上有待進一步研究。但若下游岬頭爲固定海岸突出物於接岸側之平直沙岸，則假設平直海岸之漂沙不致流出岬頭下游，則可確認其爲正確之下游岬頭。

由上述之分析，雖然人工岬灣理論僅需三項參數即可決定灣形，在自然海岸尋找出合理之灣形較爲容易，若在平直海岸上設置岬頭工程，其未來可能之灣形之準確預測，則尚待正確決定灣形三要素，尤其波向及下游端點之決定。因此，在評估自然灣岸上增加設置結構物之影響性，較易經由人工岬灣方式進行快速準確之判斷，若在台灣西部海岸之平直砂岸設置構造物時，因其下游端之海岸與主波向甚難達到垂直。故下游岬頭控制之選取極爲重要，至今尚缺少實際案例之報導；所幸台灣西部海岸侵蝕已有長久之整治工程，海岸突堤或離岸堤構造物佈設於海岸區域，已隨著自然變遷而漸達穩定狀態，當可由其實際穩定岸線，以探討人工岬灣之應用性。

參、離岸堤後側灘線之預測初步探討

一、既有研究成果

Hsu and Silvester (1990)[2]蒐集了 46 個單一離岸堤受正向波浪作用下，後側沙舌之形狀(其中 35 個爲模型試驗，4 個爲原始地形，7 個爲數值分析)。有關沙舌形狀之定義詳圖 3，其中各項參數定義如下：

Y：沙舌離岸長度

B：離岸堤長度

X：沙舌離堤長度

S=Y+X=離岸堤離岸距離

R_1：堤頭端與沙舌端之距離

α：R_1與離岸堤之交角

因沙舌主要受離岸堤後之折繞射影響爲主，以 X/B 及 B/S 之關係性較佳，詳圖 4 所示，其關係式

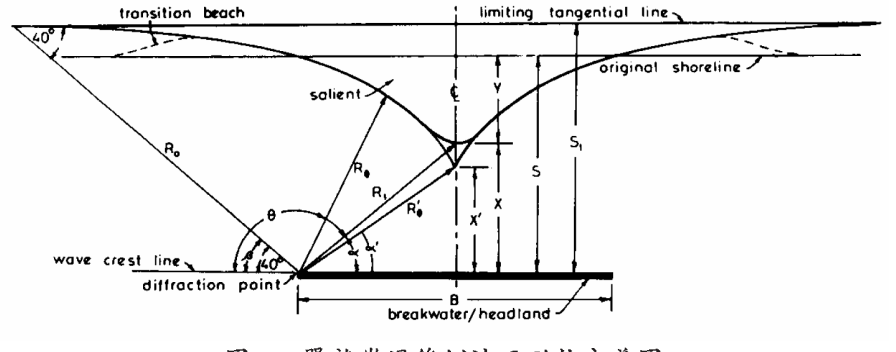


圖 3　單離岸堤後側沙舌形狀定義圖

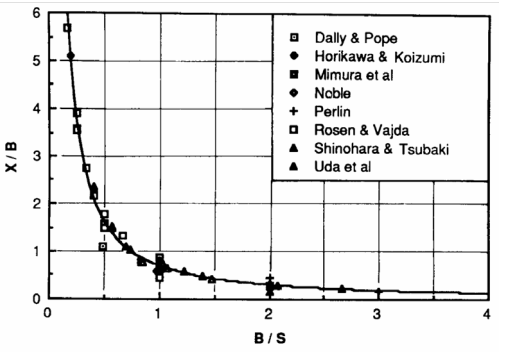


圖 4　X/B 與 B/S 間之關係圖

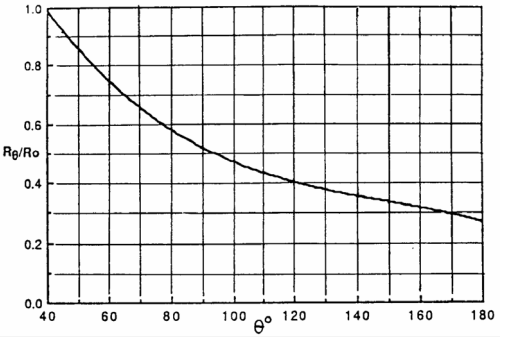


圖 5　離岸堤後側沙舌參數 R_θ/R_0 與θ之關係圖(β=40°)

$X/B = 0.6784\ (B/S)^{-1.2148}$---(2)

或 $X/B = -0.1626+0.8439(S/B)+0.02741(S/B)^2$---(3)

其迴歸之相關係數 R^2 在 0.98 以上。

以此迴歸式推估離岸堤寬度爲離岸距離 5.208 倍時將發生繫岸沙洲，即 X/B=0，當 B/S=5.208(約 5 倍)。

茲應用拋物型式之靜態平衡灣線理論並選取 12 組正向入射波浪之結果分析其(R_o/R_o，θ)之關係式爲

$R_o/B=0.1737+1.683(S/B)$ ($R^2=1.0$)，---(4)

而各 R_o 則可由圖 5 之關係求得。

其中上、下游岬頭連線與海岸線之夾角以 40° 估計(因採用 40°～180° 其結果差異不大)，而離岸至下游海岸線之垂直距離 $S_1=R_o\sin 40°$，沙舌形狀參數如下，即：

$S_1/B=0.1112+1.082(S/B)$--------(5)

$X'/B=-1.593+2.583(S/B)-0.675$

$(S/B)^2+0.083(S/B)^3$ ($R^2=1.0$)--(6)

$R_\theta'/B=0.6638(S/B)^{1.2115}$ ($R^2=1.0$) -(7)

$\tan\alpha'=-3.1856+5.1655(S/B)-1.3502(S/B)^2+0.1656(S/B)^3$ ($R^2=1.0$)--(8)

由上述關係可得如下結論：

＊離岸堤之離岸距離爲堤寬之 0.2～0.75 倍爲可能發生繫岸沙洲之現象，其中 0.2 爲自然海岸，0.75 爲在長期波浪作用下之結果。

＊離岸堤之離岸距離爲堤寬之 4.94～5.18 倍，則爲不發生沙舌現象。

二、淺水區離岸堤群之繫岸沙洲形狀預測

(一)現象描述

由彌陀及茄萣地區 89 年之航照相片顯示淺水離岸堤群之開口寬度約 40～50m，離岸距離約 100m，灣入深度約與開口相當，繫岸沙洲在離岸堤群之上游段多已形成穩定之灣形，詳圖 6 及圖 7；另蒐集大鵬灣海岸之離岸堤群堤後灘線如圖 8 所示，離岸堤長度約 75m，開口寬度約 40m，離岸距離約 100m。在利用人工岬灣理論試圖以正向波浪入射，下游端點開口中心處之海岸，繪製淺水離岸堤群後側之灘線時，發現繫岸沙洲之形狀幾乎符合人工岬灣之灣形，但其繪製方式可能因個人主觀假設而異，主要因爲下游端

岬頭之決定及波向將影響灣形，可能因選錯點而繪出怪異之灣形。若依據實際灣形加以試繪可了解，雙灣形必須平順銜接方與實際一致，然如何尋得一合理方式預測離岸堤後側海岸線則爲本文之重點。

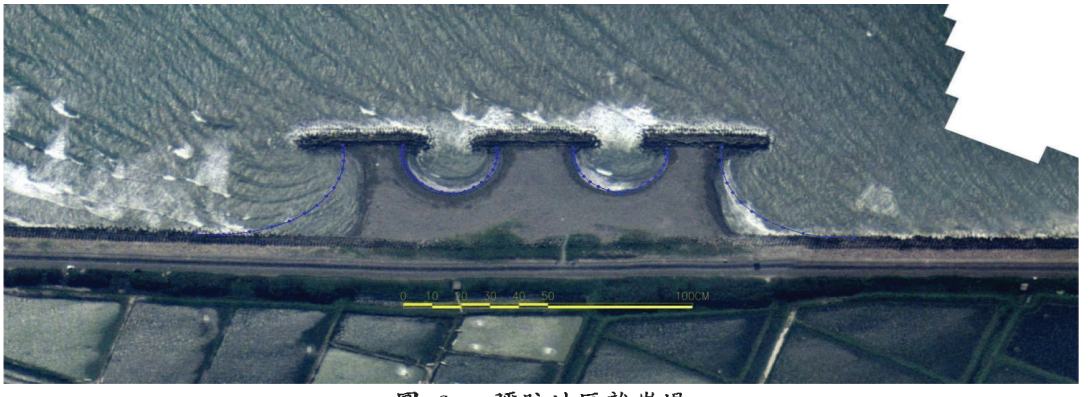


圖 6a　彌陀地區離岸堤

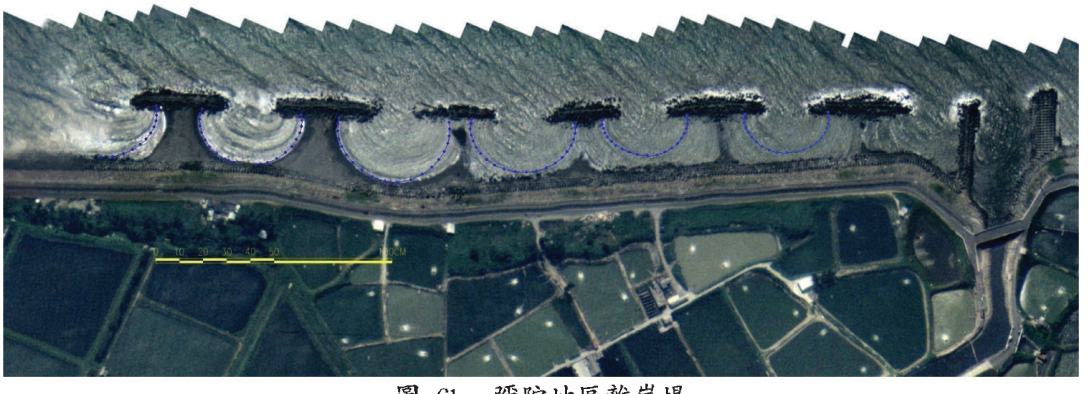


圖 6b　彌陀地區離岸堤

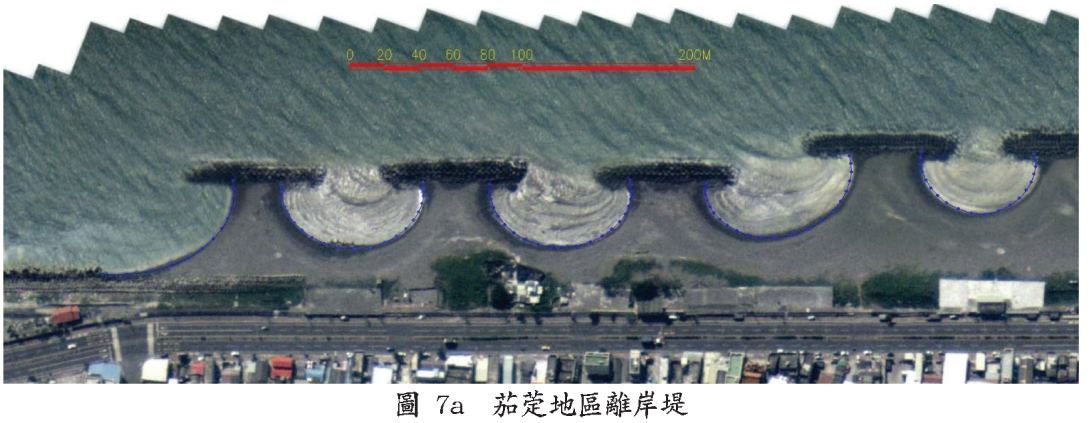


圖 7a　茄萣地區離岸堤

圖 7b　茄萣地區離岸堤

圖 8a　大鵬灣地區離岸堤

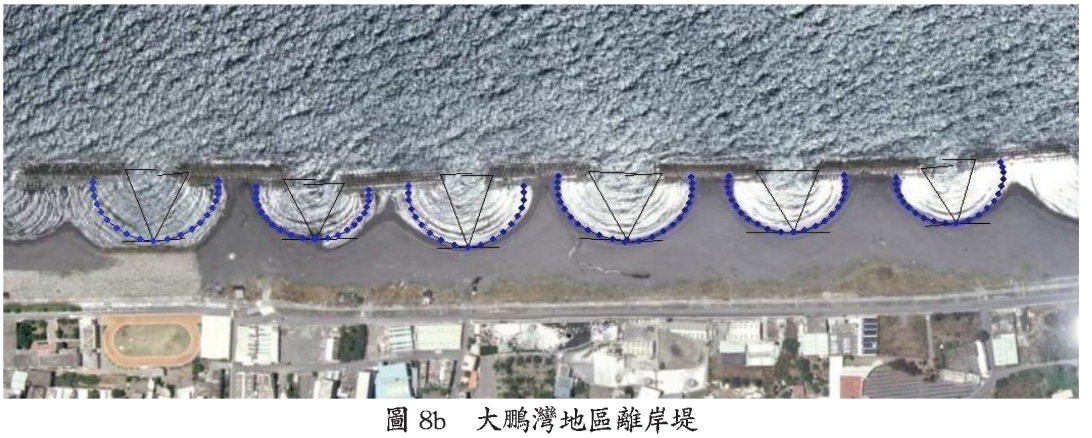


圖 8b　大鵬灣地區離岸堤

(二)正向入射灣形推估

依據上述現象及下列假設進行灣形之分析：

＊假設岬灣理論適用於離岸堤群之配置。

＊波浪方向垂直海岸入射－因開口寬度約與波長相當，故其繞射現象明顯，灣內波向約成爲

對稱方式散開(灣內波向雖爲斜向入射，但對灣內之影響性不大)。

＊離岸堤開孔中間爲兩對稱灣形—灣岸形狀相當平順，形同兩對稱之人工岬灣組合灣形，茲假設此二灣形之入射波向皆爲正向，且其灣形已達穩定(灣入進出之漂沙量爲零)，則此二灣形應有相同之下游端點，方可能形成對稱，而灣內深度應該是人工岬灣之上岬頭與下岬頭在波浪前進方向之距離。

若依上述假定，由離岸堤群定義圖（圖9），令G爲開孔寬度；S爲灣入深度；B爲離岸堤長度。因爲開孔中間段波浪與海岸垂直，故該點乃爲下游端點，其中

$RoSin\beta=S$，$RoCos\beta=\frac{G}{2}$，$\tan\beta=2S/G$

由岬灣理論可知，最大灣入深度可由$R\sin\theta$之極值求得，即

$$\frac{\partial R\sin\theta}{\partial\theta}=\frac{\partial}{\partial\theta}\left[R_o\left(C_o+C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right)+C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2\right)\right]\sin\theta=0 \quad ---(9)$$

其極值出現時，$\theta=\beta$，故

$$\tan=\theta\frac{\theta(C_0+C_1+C_2)}{C_1+2C_2}=\frac{\theta}{C_1+2C_2} \quad ---(10)$$

由內差法可得$\theta=\beta\fallingdotseq65.8^0$，由此再求最大灣入深度S。因此，

上、下岬灣之距離$R=\frac{G}{2}/\cos65.8^0=1.18G$，

灣入深度$S=R_o\sin\beta=\frac{G}{2}\tan65.8^0=1.072G$。

同理，離岸堤繫岸砂洲水平方向最大灣入深度之長度T，可由$\frac{\partial R\cos\theta}{\partial\theta}=0$推得。$\theta=152.2^0$(當$\beta=65.8^0$)時，有極大值出現，求解得T=0.462G。又由上述離岸堤群後側之平衡灣線可知灣內深度S=1.072G，若離岸堤形成繫岸沙洲之最小堤長，$B_{min}=0.462GX2=0.924G$，故形成繫岸沙洲與沙舌之分界點$S/B_{min}=1.16$。當S/B>1.16時，將出現沙舌，其長度Y=0.8263G，X=0.2457G，$X/B=\frac{0.2457G}{0.924G}=0.266$。

經求解得正向入射其灣內深度約在上下游岬頭連續與波峰線夾角爲65.8^0時發生。當$\theta<65.8^0$，其灣入深度變化不大，但當$\theta>65.8^0$時，灣內深度

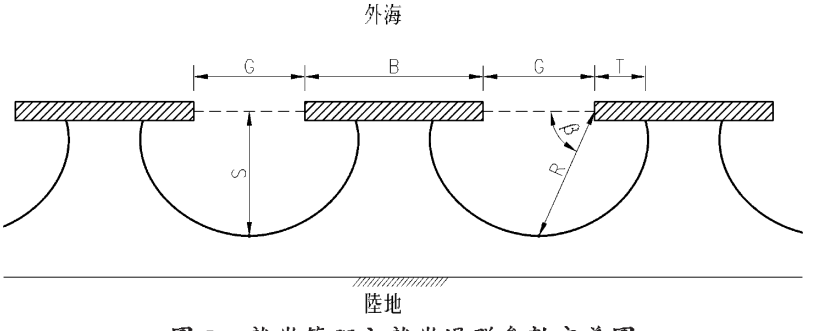


圖9　離岸等距之離岸堤群參數定義圖

明顯變小，若以此關係繪製對稱之灣形顯示幾乎與現況一致。故繪製此類灣形可利用等腰三角形繪製。離岸堤頭處爲 65.8⁰，離岸堤開口中間之海岸線之角度爲 48.4⁰，詳圖 10 所示。

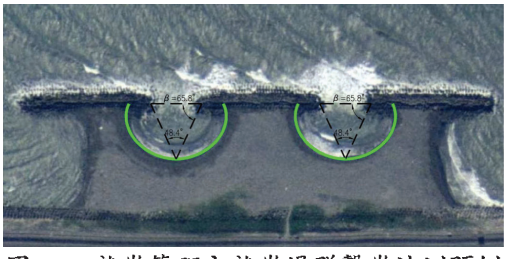


圖 10　離岸等距之離岸堤群繫岸沙洲預側與相片比較圖

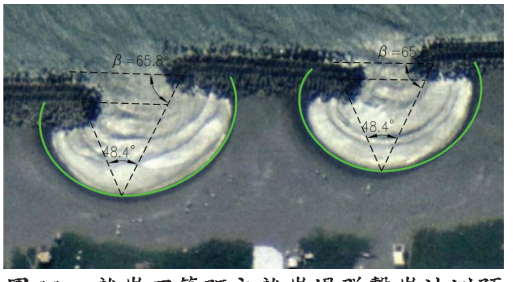


圖 11　離岸不等距之離岸堤群繫岸沙洲預測與相片比較圖

(三)斜向入射灣形推估

另於航照圖上發現，相鄰兩堤之離岸距離不等時，則上述等腰三角形無法適用。經調整其入射方向後，可發現波峰線與上、下游岬頭之夾角仍爲 65.8°，僅因兩處上岬頭距離海岸不同，故組合之灣岸並不對稱，詳圖 11 所示，此現象初步判斷因離岸較長之岬頭其繞射影響範圍較大，反之離岸較短之岬頭，其繞射影響範圍較小，故形成波向之轉折，自然灣形亦改變，唯在淺水區域不同離岸距離之離岸堤組合，其影響灣內波向之關係乃爲一特殊現象，應可進一步研究。初步假設已知開口間距 Gx 及入射波向與開口方向之夾角爲，可繪製非對稱灣形，定義詳圖 12，其推估方式如下說明：

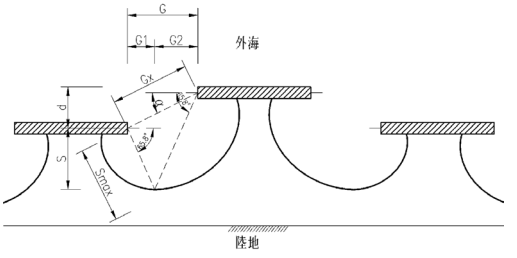


圖 12　離岸不等距之離岸堤群參數定義圖

若已知 Gx、α可得 d、G：

$$\begin{cases} d = Gx\sin\alpha \\ G = Gx\cos\alpha \end{cases}$$ 而

$$\begin{cases} S = G1\tan 65.8° \\ S + d = G2\tan 65.8° \\ G_1 + G_2 = G \end{cases}$$

由上列可求解未知數 S、G_1 及 G_2 ：

$$\begin{cases} G_2 = G - G_1 \Rightarrow S + d = (G - G_1)\tan 65.8° \\ S = (G - G_1)\tan 65.8° - d \\ \quad = G_1\tan 65.8° \end{cases}$$ 故

$$\begin{cases} (G - 2G_1)\tan 65.8° = d \\ G_1 = \left(G - \dfrac{d}{\tan 65.8°}\right)\dfrac{1}{2} \end{cases} \quad \text{------(11)}$$

由以上之說明可知，在雙岬頭之海岸構造物很可能形成固定形狀之灣形，原來認爲下游端點取用不同可能有不同之結果，但若在淺水區域(沿岸輸砂區域內)，則灣內長期仍將達到靜態平衡。

另由茄萣及彌陀海岸之離岸堤後側灣岸之延續現象亦可知，因上游區之供沙較易，故穩定灣形較易形成，而下游區域因尚未完成穩定，故僅爲沙舌現象，相信在沙源補充下應可達

到穩定，故在配合人工養灘下之離岸堤應可迅速完成穩定海岸之功效，詳圖 6b 之演變過程。

（四）綜合結論

由上述之說明，可得初步見解如下：

* 淺水離岸堤群設置後所形成之穩定灣形，可由人工岬灣理論預測，其灣入深度約爲開口之 1.07 倍。
* 離岸堤長度約爲開孔寬度之 0.81 倍時，即可形成繫岸砂洲，其灣形之尖端在由上岬頭起算約θ=152°的位置。
* 現有離岸堤配合人工養灘應可提供彌陀地區海岸連續灣形之沙灘。若離岸堤離岸太近，或採用開口過大之離岸堤群，其保護海岸之效果可能不完善，無法提供颱風期海岸緩衝帶所需之適當沙灘寬度。
* 建議較適之離岸堤佈置應考量颱風期間之緩衝寬度約 50m，則離岸堤長以 100m 考量，則灣入深度爲 107m，亦可估計離岸堤之離岸距離可採 157m。

五、深水區離岸堤群之平衡灣形探討

當離岸堤設置於較深之海中，若開口寬度小於波長，則開口寬之波向應與淺水離岸堤相似，唯因離岸較遠，預測穩定灣之灣入岸線離現有海岸線較遠，若以自然力形成繫岸砂洲，可能非常困難；若以人工養灘填造所需之海灘，所需經費必相當可觀；這種規劃只能形成沙舌，而此現象僅爲形成繫岸砂洲之過程。若離岸堤開口寬度大於波長，堤後海岸地區部份受繞射及折射的共同影響，但其他部份只有波浪折射。故人工岬灣形狀是否含平直段，乃爲設計重點之一，而此平直段是否爲穩定海岸亦尚有爭議。由上述茄萣與彌陀現有離岸堤群後側岬灣形狀驗證之結果，可得初步認識如下：

由於與波向垂直之平直海岸有很多組可能的平行線，故平直海岸其實爲非穩定海岸，因此離岸堤群後側海岸，發生平直海岸與沙舌組合之現象亦應屬不穩定之灣形。爲整治海岸而規劃以人工養灘配合離岸堤時，預測其灣形應特別謹慎。若離岸堤長度太短，而僅能在其背側形成短小的沙舌時，就不宜使用人工岬灣理論，因爲發生在單一離岸堤兩端之繞射現象，其能量會穿越彼此能量區域，其水平方向的分量可互相抵消，但向岸方向之能量會有加乘效果，故中央段發生沙舌現象之灣形無法與人工岬灣一致；若參考前述單離岸堤後側灘線預測，比較其灣形亦有此現象。有關沙舌灘線與人工岬灣公式之比較，詳圖 13 所示。由於沙舌現象之分析數據尚不完整，可進一步研究離岸堤群因堤長不足，形成沙舌灣形之相互關係，應與本文針對繫岸沙洲之探討目標相似。

肆、結論與建議

人工岬灣理論僅利用局部波向與上下游岬頭相對位置，而決定靜態平衡灣岸之平面形狀，然台灣地區冬、夏波長不同，在應用上將因冬、夏而

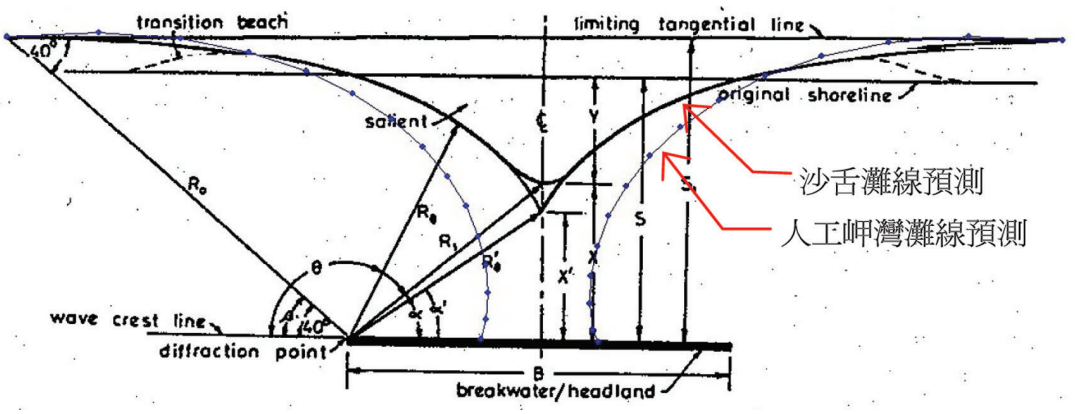


圖 13　沙舌與人工岬灣灘線預測比較圖

異，故應如何確定設置海岸結構物後之穩定灣形，乃爲規劃者應該妥爲考慮的因素之一。本文採用近岸離岸堤群之實例，因其開口寬度較局部波長小，灣內之波向幾乎常年一致不變，故可形成穩定灣形。

自然海灣之形狀藉由實測資料加以統計而得人工岬灣理論，其應用上非常簡易，對於一般工程師之助益甚大，但往往在實際應用上卻因沒有經驗而缺乏信心。本計畫舉例現有人工離岸堤背側產生之灣形，可由人工岬灣加以合理解釋，故近年來，已可於規劃離岸堤之設置時，以岬灣理論評估規劃灘線之安定性。至於在中度水深處設置離岸堤之效果及灣岸形狀，仍有待蒐集較多之案例加以分析佐證，以增加應用岬灣理論之說服力。

參考文獻

1. Hsu, J.R.C. and Evans, C. “Parabolic bay shapes and applications.” Proc. Instn. Civil Engrs., London, Part 2, 87: 557-570. (1989).

2. Hsu, J.R.C. and Silvester, R. “Accretion behind single offshore breakwater.” J. Waterway, Port, Coastal & Ocean Eng., ASCE, 116 (3): 362-380. (1990).

港灣報導徵稿簡訊

1. 本刊爲提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。

2. 投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。

3. 來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：

   (1)以紙本或是數位方式出版。
   (2)進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用户下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行爲。
   (3)再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。
   (4)爲符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。

4. 作者應保證稿件爲其所自行創作，有權爲前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。

5. 稿件每篇以八頁（含圖）（4000~5000 字）以內爲原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及户籍地址（含鄰、里）。

6. 本刊每年刊行三期，分別於二月、六月、十月出版。如蒙惠稿請於每期出版前三十日寄交本刊。

7. 聯絡電話：(04)2658-7139 馬維倫
   傳眞電話：(04)2656-4415
   E-mail：**elisa@mail.ihmt.gov.tw**

8. 歡迎賜稿，來稿請寄：
   台中縣 435 梧棲鎮中橫十路 2 號
   交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣報導編輯委員會」 收