

淺談浮動碼頭

劉彥忠

中華民國水利技師公會全國聯合會
台灣省水利技師公會
台北市水利技師公會

常務理事

一、概述：

碼頭工程建造時，其構造型式應按海底基礎的狀況、設置水深、地震大小、波浪強弱、潮差高低等自然條件及船舶的種類和大小、貨物的種類、施工的條件、工程期限、工程費用等狀況作最適當的選擇，早期的碼頭工程，坊間以構造型式可區分為：

1. 重力式碼頭，用沉箱、方塊、L型塊構築成壁體，以其本身的重量承受碼頭的上載荷重，並抵抗背後土壓力、海側水壓力及船舶衝擊力，適用於地質良好的地盤，但適用經濟水深約為 5~6 公尺之碼頭。
2. 鋼板樁式碼頭，以不同型式之鋼板樁深植入海底，構築成海側直立岸壁及陸側錨錠板樁，中間以高耐索或拉桿聯結後，兩排鋼板樁中間填砂、壓實後成為一堅

強的結構體，抵抗波浪、土壓等外力，優點為施工容易，工期較短適用經濟水深約 9 公尺之碼頭。

3. 棧橋式碼頭，在碼頭護岸以外 20~30 公尺範圍內以預鑄預力混凝土樁或鋼管樁密集打設(必要時可加打斜樁抵抗水平力)，樁頂構築支撐樑及預鑄碼頭面版，樁間作斜面消波設施，此型碼頭優點為適合深水碼頭(10 公尺以上)可承受較大之波浪水平力及荷重，缺點為構造複雜，工期長，工費多。

近十餘年來為適應快速增加的遊艇及小型客輪、漁船，業界發展出所謂的「浮動碼頭」，本文將就浮動碼頭之特性、設置條件以及設計監造單位和施工者應注意的事項作簡單論述，尚祈公會先進多所指正。

二、浮動碼頭之構造：

浮動碼頭為以各型浮箱體聯結至岸壁或原有固定式碼頭之設施，浮箱體可以隨潮水上下移動，浮箱體之間以引橋連接，浮箱體與岸壁或碼頭之間以連絡橋連接（照片1，照片2）



照片1，小型浮箱體與岸壁之連絡橋



照片2，大型浮箱體與岸壁之連絡橋

浮箱體與浮箱體之間以預埋螺栓套箍及螺栓相連結，浮箱體本身連結完成之後，早期是以錨鍊及錨碇設施固定位置，近期多以浮箱體上裝置之三角腋板及導框（照

片3）固定於海上預先施打完成之鋼管基樁（照片4）



照片3，三角腋板及導框



照片4，浮箱固定於鋼管基樁

如此浮箱體只能隨潮水上下移動不致左右漂浮，一則靠船方便，二則也可消除海底錨鍊防礙行船之弊。以上所提及的浮箱體、連絡橋、引橋、鋼管基樁再加繫船柱、橡膠碰墊等等即為浮動碼頭之主要構造物。

三、浮動碼頭之興建位置：

1.工程因素考量：浮動碼頭顧名思義，碼頭是隨潮水上下浮動的，如此可方便乘客上下，但正因為碼頭會上下浮動，所以此種碼頭一定要興建在波浪不大的內港，才不致於會使乘客在大浪中發生危險，亦不致於使碼頭常易受損。依據交通部運研所與榕聲工程顧問公司合作出版的「港灣構造物設計基準修訂版」所規範之基準，浮動碼頭以設置於海流小於 0.5m/sec，且波高小於 1.0m 之處為原則，換言之，港內的海流及波高愈小，愈適合於浮動碼頭之興建，如港內波高大於以上規定時，原則上是不宜興建浮動碼頭的，如有必要則應加強配套措施，此點容後詳述。

2.使用因素考量：浮動碼頭連接之碼頭，其後線腹地必須有足夠的設施供給旅客遊憩、消費及轉運。

四、浮動碼頭之配置：

浮動碼頭之配置形式，依浮箱體聯結至岸壁或原有固定式碼頭之方向而有突堤式（照片 5，照片 6）及平行式（照片 7）兩種配置形式，亦有浮箱體自身垂直聯結而有所謂主走道及支走道之配置形式（圖 1，照片 8，照片 8-1），於研擬浮動碼頭配置時，應考量擬靠泊船舶之型式再考量水

深、水流、波浪、海底地質等自然條件之後，再選擇最合理的配置形式。



照片5，突堤式浮動碼頭近照



照片6，突堤式浮動碼頭遠照



照片7，平行式浮動碼頭

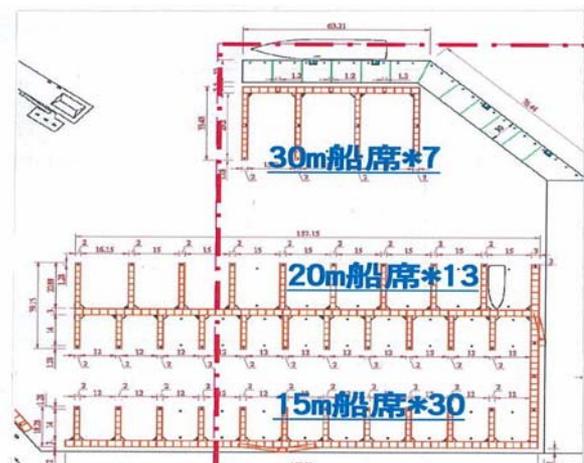


圖1，主走道及支走道之圖面配置



照片8，主走道及支走道之浮動碼頭(一)



照片8-1，主走道及支走道之浮動碼頭(二)

五、浮動碼頭之設計：

1. 設計波浪（含波高及週期）及流速之確定—浮動碼頭興建位置之波浪應依據即有以往港口實測資料作波浪推算，並將推算結果經過統計分析之程序後與水工模型試驗成果交叉比對，以確定用來設計的波高及流速均在基準之規範以內，過程中尚須考量波浪進入港口後之淺化及變形效果，最後如發現用來設計的波高及流速均無法滿足基準之規範時，絕對不可輕率使用。

2. 浮箱材質之設計—浮箱為構築浮動碼頭之主體，必須謹慎為之，浮箱為一有堅固外殼之箱型物體，內依須要劃分類似船艙之內隔艙，如此浮箱才能浮出水面不致下沉，各隔艙內為防止漏水均填充表面柔軟但水密性特佳之材料，通常使用之材料為保麗龍發泡體（聚苯乙烯）。其外殼之材質概分為：

(1) 鋼筋混凝土製浮箱（圖2）—此種浮箱具耐久性，適合小型浮箱採用，製作費及維護費均較鋼製浮箱為低。然對承受碰撞能力較差，水密性亦隨時間而降低。為使鋼筋混凝土製浮箱保持有較佳之水密性，應特別注意混凝土施作之配比。



圖2, 鋼筋混凝土製浮箱(2.7M*1.7M*2.7M)

(2) 鋼板製浮箱 (照片 9) — 此種浮箱製作容易, 對承受碰撞能力強, 且修補容易適合大型浮箱採用, 但其電焊、防蝕程序均要求嚴謹, 測漏步驟更要符合中國驗船規範。吃水方面則較鋼筋混凝土製浮箱為淺, 故受水流之影響較小。但因鋼材容易鏽蝕, 常須上架除鏽油漆, 其耐久性較鋼筋混凝土製浮箱差。



照片 9, 鋼板製浮箱 (22M*8M*1.5M)

- (3) FRP 製浮箱 — FRP 製浮箱, 因質輕且吃水較淺, 故較不穩定, 然耐久性甚佳, 且安裝便捷。目前小規模之浮碼頭, 甚多採用 FRP 製浮箱作為遊艇泊靠之用。
- (4) 塑膠製浮箱 — 塑膠製浮箱, 較鋼筋混凝土製浮箱無龜裂之慮, 且具有良好之水密性, 厚度亦較薄等優點。此外為減少斷面應力, 亦有以塑膠管組裝成浮箱。
- (5) 木製浮箱 — 此種浮箱製作費用低廉, 但水密性較差, 且易受腐蝕耐久性差, 為維持其正常功能, 常須定時上架維修保養。
- (6) 鋼絲混凝土製浮箱 — 此種浮箱之壁體較鋼筋混凝土製浮箱及塑膠製浮箱為薄, 其水密性則介於兩者之間。

3. 浮箱尺寸之設計 — 為方便裝卸貨物及旅客上下船, 浮箱甲板須有充足之面積, 無論滿載及空載時均有適宜之乾舷高度, 依規範內容, 大型浮箱尺寸長約 20m~30m, 寬約 10m~15m, 高度約 2m~4m (鋼筋混凝土製浮箱厚度, 外牆及底版為 15cm~20cm, 面版及隔牆為 10cm~20cm; 鋼製浮箱厚度以 6mm~10mm)。小型浮箱尺寸長約 3m~5m, 小型浮箱長度及寬度應儘量接近 (正方形尤佳, 特別應避免細長型), 高度以不超過 2m

為原則。浮箱乾舷高度計算之原則為浮箱高度減去浮箱吃水深度。

4. 作用於浮箱之外力計算

(1) 裝載載重及活載重—裝載載重大小，依所裝卸貨物及上下旅客而定。一般供旅客上下船為主之浮碼頭，其載重以 500kg/m^2 計算。供汽車經浮碼頭轉載於渡輪時，活載重應以允許通過汽車之輪載重為設計標準。

(2) 連絡橋及引橋支點反力—等同作用於面版之集中載重計算。

(3) 水壓力—作用於浮箱外牆之水壓力，依浮箱吃水深度計算。

(4) 浮箱自重—浮箱自重依浮箱所採用材質計算之。

(5) 壓艙重量—浮箱因受連絡橋支點反力作用，會發生傾斜現象，為求平衡，必要時須放置壓艙物。壓艙重量應與連絡橋支點反力相互平衡，以保持浮箱穩定。

5. 浮箱穩定性檢討：

(1) 浮箱長向對稱軸連絡橋邊滿載載重，加上連絡橋支點反力後，浮箱仍能保持穩定狀態，甲板傾斜須小於 $1:10$ ，且甲板面仍保持於水面上，即乾舷高度大於 0.0 。

(2) 浮箱浸水時穩定檢討—檢討浮箱穩定時，應考慮艙內浸水深度，一般

可視為浮箱高度之 10% ，此時浮箱乾舷至少仍應維持 0.5m 左右。

(3) 當浮箱艙內浸水且承受均佈載重時之穩定計算，

(4) 當浮箱承受偏心載重時之穩定計算—浮箱承受偏心載重時，為確保浮箱穩定，即浮箱甲板傾斜須小於 $1:10$ ；且甲板面仍保持於水面上，即乾舷高度大於 0.0 。

關於以上各項之詳細計算式可參閱前述「港灣構造物設計基準修訂版」。

6. 浮箱構件設計：浮箱面版、外牆、底版、

隔牆、梁及支柱，依其結構假設適宜型式設計之。例如①面版可視為由梁及外牆四邊固定之雙向版，依可能發生之最大應力（裝載載重+自重、活載重+自重、連絡橋支點反力+自重）設計之。②

外牆可視為由底版及外牆或梁四邊固定之雙向版，假設浮箱全部浸入水中 0.5m 時所承受之靜水壓力設計之。③底版可視為由外牆或梁四邊固定之雙向版，假設浮箱全部浸入水中 0.5m 時所承受之

靜水壓力設計之。④隔牆可視為四邊固定之版，假設承受一隔艙滿水時之靜水壓力設計之。⑤梁及中央支柱，可視為箱型剛性構架，假設面版承受最大載重，及承受浮箱吃水與浮箱高度相等時之水壓力設計之。⑥鋼筋混凝土製浮箱保護

層厚度，直接接觸海水者以大於 3cm，其他不接觸海水者以大於 2cm 為原則。此兩數值較一般海中結構物鋼筋保護層為薄，故對混凝土之水密性，於設計時須特別留意。

7. 浮箱連結：浮箱於波浪作用發生搖動時，為避免各浮箱互相碰撞發生破損，各浮箱互相間之連結須非常堅固，且須在各浮箱間加裝防舷材以策安全。

六、鋼管基樁之設計：

浮動碼頭之鋼管基樁用在固定一只浮箱或是一串已連結之浮箱，並無上部結構之連接，故須先依據地質條件確定於海底某處為固定點，再詳細計算基樁之材質及尺寸，確定可以承受浮動碼頭設置位置所發生之水平力（風力、地震力、船舶拉力及衝擊力、波浪衝擊力及水流力等）。

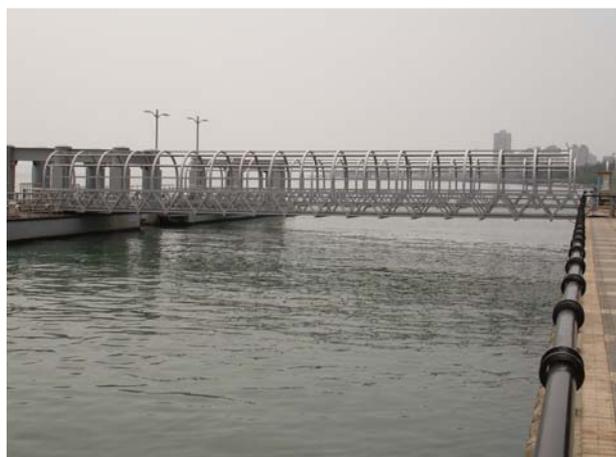
七、連絡橋及引橋之設計：

如僅供旅客通行使用之連絡橋及引橋（照片 10、11、12），設計時僅須考慮行人載重，其他依一般橋樑設計相關規則辦理。

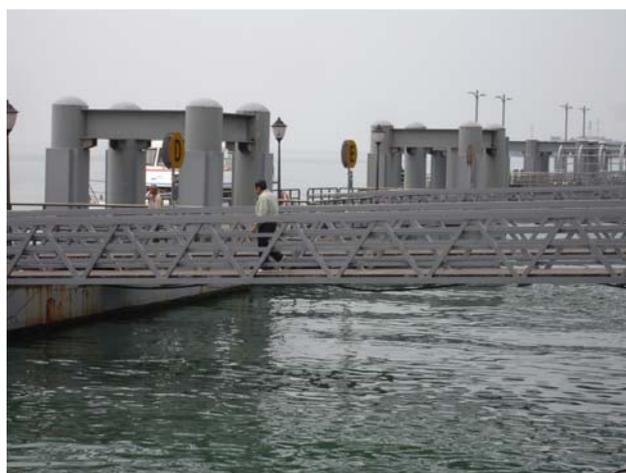
1. 構造型式一連絡橋之前端多數直接放置於浮箱上，一般為鋼構，其結構以小型桁架及版梁為多，架設於浮箱間之引橋一般為鋼構，其結構以版梁、工字梁、

小型桁架或面版等結構為多。

2. 連絡橋與浮箱之連接一連絡橋之支承，如浮箱較少搖動時，於陸側可採用鉸接支承，於浮箱上可用滾輪支承，在搖動較多之浮箱，其連絡橋僅靠於浮箱及岸上，為防止連絡橋滑動脫落，應使用鏈條將連絡橋固定於岸上及浮箱上。
3. 引橋與浮箱之連接一連接浮箱間之引橋，一端採用鉸接支承，另一端則採用滾輪。



照片10，連絡橋（一）



照片11，連絡橋（二）



照片12，連絡橋（三）

八、浮動碼頭興建過程中常見之問題

1. 實際發生之波浪（波高及週期）較設計波浪為大：

波浪推算、演算程序有誤或是引用之原始資料不正確，最後得出之波浪資料亦未與水工模型試驗成果交叉比對（甚至於根本從未作過水工模型試驗），如該港口再缺乏長期之實測波浪資料時，因為往後關於作用於浮箱之外力計算、浮箱穩定性檢討、浮箱構件設計乃至連絡橋及引橋之設計均是以「設計波浪」為計算依據的，所以實際發生之波浪較設計波浪為大之後果將會影響到整個浮動碼頭成敗之關鍵。此種問題多發生在遮蔽效果不佳或新設立之小型港口，規畫設計時宜特別加以留意。

2. 浮動碼頭各項連結設施未能以設計波浪值加以檢核其能承受之各種應力，以

致於常會發生預料外之損壞及災情：應就港內之設計波高檢算本浮動碼頭各項結構設施，包括鋼管基樁與浮箱體之連接系統、各浮箱間之連接系統、浮箱與岸壁之間等等的細部連結零件如三角腋板及導框、各式鋼板及滾輪框座、絞鍊等主體及配件均應詳細計算其結合螺栓之口徑、翼板厚度等等基本數據以確認能承受所可能發生之各種應力。

3. 浮箱製作品質控管問題：

浮動碼頭是以浮箱組構而成可以隨潮水上下移動的靠船設施，大型鋼製浮箱可以自成一座碼頭，如鋼製浮箱發生品質不佳而傾斜時，整座碼頭即陷入危險，國內絕大多數的浮動碼頭是以為數上百個或是更多個小型浮箱組合而成，如有部份浮箱發生品質不佳而傾斜時，損壞之浮箱尚會影響其他正常之浮箱，情況將更為嚴重，因此無論如何浮箱製作之品質均非常重要。

鋼筋混凝土製浮箱多在混凝土製品工廠製作，但浮箱之製作程序較其他混凝土製品之製作程序要求嚴謹得多，舉凡組模、配比均有特殊規定之外，更重要的是製品完成後必須遵守之①保養方式②保養時間③吊運方式④水中測試等特殊工作準則，因此慎選具規模及經驗

之混凝土製品廠商即變得非常重要。

混凝土之保養成效直接關係到鋼筋混凝土製浮箱之強度，因此保養方式要以合格的蒸汽式保養，時間依規範規定，吊運方式無論吊移或入水都儘可能以「整箱捧起」的方式處理，箱體才不致被破壞，水中測試主要測試浮箱入水之後是否能保持平穩狀態，如浮箱未能保持於水中平衡，將會造成額外受力，造成螺栓斷裂、三角框架鬆脫及浮箱體傾斜等損害，故監造單位應於水中測試期間確實調查浮箱之傾斜程度後責成施工單位及時修復或廢棄重製。

4. 浮箱尺寸不一問題：

這個問題多發生在以小型浮箱組合的情形，小型浮箱長度及寬度應儘量接近（正方形尤佳，特別應避免細長型），

每座浮箱之高度應該相同，當不同高度之浮箱體相連結時，會造成浮箱體間產生額外拉力而致固定螺栓斷裂鬆脫、三角框架鬆脫掉落及浮箱體傾斜之情形，筆者曾遇到某港口之浮動碼頭因配置須要而設置主走道與支走道，但主走道之浮箱與支走道之浮箱除尺寸不同以外，兩種浮箱之高度竟然相差達主走道浮箱高度之一半（圖3），主走道與支走道浮箱體深度不同會產生額外拉力，因水中運動方向及大小差異，連結三角翼版承受更大外力因而造成破壞，當遇颱風來襲時，上述之災損情形筆者均曾親見一一發生。再者，深度較大之浮箱體，波浪作用下受波力及水流作用面較大，易使浮箱體傾斜，若傾倒中心位於傾斜側，則更易傾斜。

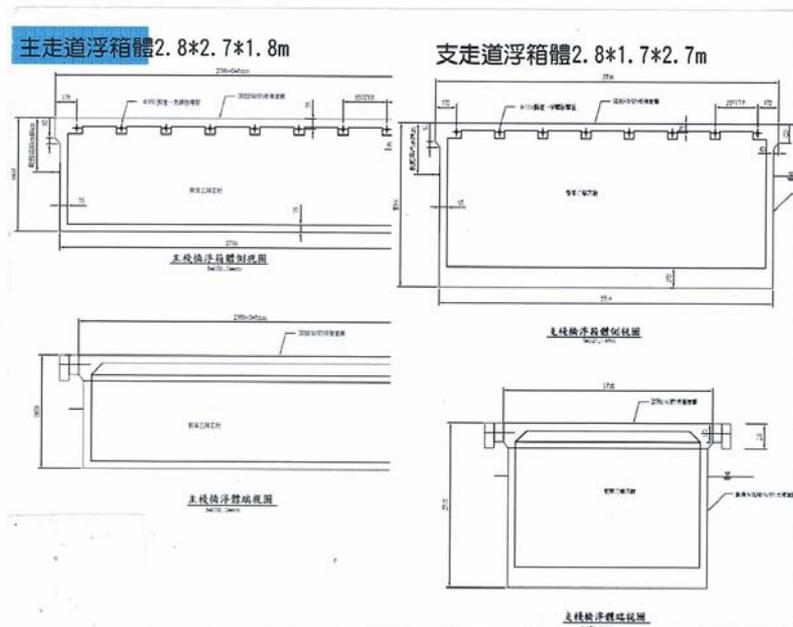


圖3，主走道及支走道之浮箱

5. 乾舷高度之合理性：

浮動碼頭浮箱體之乾舷高度一般為 50 公分，如乾舷高度明顯大於 50 公分時，浮箱體尺寸之設計必須作特殊之考量，因乾舷高度較大之浮箱，其深度必定較大，造成側向靜水壓及波動水壓增加，浮箱體承受之波高相對降低，因此浮箱體之長寬尺寸必須適度加以放大，才不會導致連結及固定系統承受更大外力時，因負荷超載而破壞。

組成浮動碼頭之浮箱，設計單位在設計圖說中多會註明「浮箱高度僅供參考，廠商須自行計算送審核可後方可施工」，但實務中常會遇到廠商並不瞭解浮箱高度對浮箱受外力作用時保持平衡之意義，再加上設計單位亦未用心儘到審核之責任，以致於竣工之後碼頭屢遭損壞難以正常使用，此種在有主走道與支走道浮箱體相連結時情況將更為嚴重。

6. 遇颱風或強烈季風來襲時之應變措施：

浮動碼頭可以承受之波浪衝擊力及船舶撞擊力本就較弱，因此浮動碼頭靠泊之遊艇、帆船其船型及噸位建議設計單位就碼頭之結構特性加以設限，碼頭之何處可以繫纜，何處不可以繫纜，更進一步，關於船舶之繫纜方式亦應加以嚴格規範，以避免不當之靠泊狀況損及碼頭本體。

如遇颱風或是強烈季風警報時，建議比照河川防汛之作法，撤離河床上所有之人員、機具及物料以保留足夠的洪

水行水斷面以避免洪水氾濫成災，因此對於浮動碼頭而言，完善的管理制度之制定應是必須的，包括不同型式之船舶應有不同程度之防颱措施，例如小型船舶必須吊離碼頭區，中大型船舶必須限時駛離本浮動碼頭，如此當能將本浮動碼頭日後受颱風之災損情形降至最低。

九、結語

浮動碼頭相對於傳統式碼頭構造簡單、造價低廉、工期較短但因此可以承受之波浪衝擊力及船舶撞擊力較弱是必然的，所以浮動碼頭一定必須興建在遮蔽良好的內港，但對於小型船舶之遊客上下、漁貨及漁具之裝卸，可隨潮水上下浮動的碼頭絕對是值得推廣及興建的，唯在構築過程中，設計單位對興建位置之決定、波浪之推算、浮箱尺寸之原則確立、浮箱配置之抉擇，最後關於浮箱受到各種外力之計算（含各連結配件之設計）均應精確務實，監造單位對施工過程之監督更是要步步為營，特別對於浮箱製作品質控管問題依規範要求不得放鬆，施工單位必須全部按照圖說及規範，不可心存僥倖更不可偷工減料，如遇專業問題時，尤忌輕舉妄動，必須事先向設計單位及監造單位提出請益並求證。

以上之敘述似有老聲常談之意，但工程之規畫、設計、監造及施工本就有一定的程序及規則可循，浮動碼頭變數雖多，但只要瞭解其特性並遵守專業的規定，相信興建浮動碼頭並非難事。