

# 混合式沉箱性能探討

蔡 瑤 堂

台灣省水利技師公會會員、水利技師

## 摘 要

由鋼板、型鋼及鋼筋混凝土構成之混合式沉箱已廣泛應用於防波堤、碼頭、海堤及護岸等工程。主要是利用鋼板、型鋼及鋼筋混凝土組成之複合構件產生超高結構強度、高可塑性及易施工性等特性。因強度高，其外牆、底版及基腳版厚度可減小，重量減輕，施工較容易，或可製造較長或較高之沉箱。而 SRC 基腳版可擴伸，若用在防波堤，可提高抵抗傾倒及滑動的能力，而縮小沉箱寬度；若用在碼頭、海堤或護岸，則基腳上之背填料可增加沉箱之穩定性，進而亦可縮小沉箱寬度。另外擴伸之基腳大大增加沉箱與地面接觸面積，減小作用在地盤之壓力，故適用於軟弱地盤。因使用鋼板及型鋼，可塑性高，可依需要做出各種複雜的形狀。但因大量使用鋼材，必須有防蝕措施，是其缺點。在設計理念上主要是如何讓鋼板或型鋼與鋼筋混凝土充分結合成為一體，其他則與傳統鋼筋混凝土沉箱之設計無太大差異。

## 一、 前言

在台灣傳統鋼筋混凝土沉箱已廣泛用在防波堤、碼頭、及海堤工程，但其在強度、可塑性、及施工上仍有改善的空間。

日本於二十幾年前開發混合式沉箱(hybrid caisson)，明顯提升沉箱之性能。傳統沉箱是以鋼筋混凝土製造，而混合式沉箱則以鋼板、型鋼及鋼筋混凝土等構成複合構件(composite structure members)，因使用兩種不同材料，各取其優點以達到構件強度要求，故稱為混合式沉箱。

混合式沉箱現已在許多國家應用到防波堤、碼頭、海堤及護岸等工程。如圖1至圖6所示為各種用途及型式之混合式沉箱。



圖1. 海堤混合式沉箱(新日鐵住金株式會社)



圖2. 防波堤柵欄消波混合式沉箱(日立造船株式會社)



圖3. 碼頭L型混合式沉箱(JFE 工程公司)



圖4. 建造中耐強震碼頭混合式沉箱(JFE 工程公司)



圖5. 50公尺長碼頭混合式沉箱(JFE 工程公司)



圖6. 建造中40公尺長臨時護岸混合式沉箱(JFE 工程公司)

因在台灣筆者尚未見過混合式沉箱之應用，故特在此就其性能加以探討，以供港灣及海岸工程界參考。

## 二、混合式沉箱特性

### (一) 材料特性互補

由鋼板、型鋼及鋼筋混凝土等建造之混合式沉箱，因鋼材具有高強度，混凝土具有耐久及抗腐蝕性，各取此兩種材料優點以達到超高的構件強度、施工可塑性及施工方便性等之要求。此兩種材料構成之複合構件經完整結合在一起後，產生協調作用，從而大大改善強度，不是原來個別材料所能單獨達到的。複合構件能展現優異之機械性能，即具高承載能力和剛性。

### (二) 混合式沉箱複合構件種類

複合構件可分為兩種：複合版及鋼構鋼筋混凝土(steel reinforcement concrete, SRC)。複合版是鋼筋混凝土牆一側以鋼板加強；SRC則以H型鋼嵌入鋼筋混凝土版。

圖7顯示兩種常用在港灣設施混合式沉箱構件。其中一種其複合構件的鋼板只在一側。另一種是SRC結構，H型鋼包在鋼筋混凝土內。「混合式沉箱」一詞是泛指此兩種結構型式。

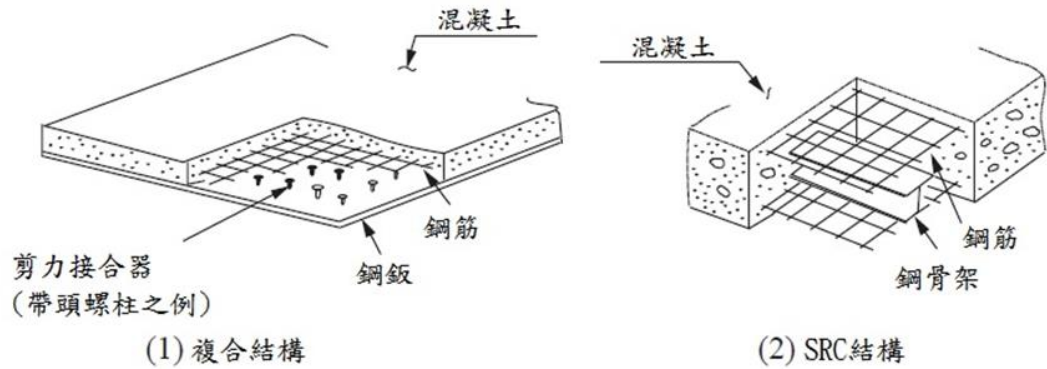


圖7. 混合式沉箱構件

一般混合式沉箱其外牆採用複合版，底版和基腳版則採用SRC，隔牆則以鋼加勁版製造，如圖8所示。

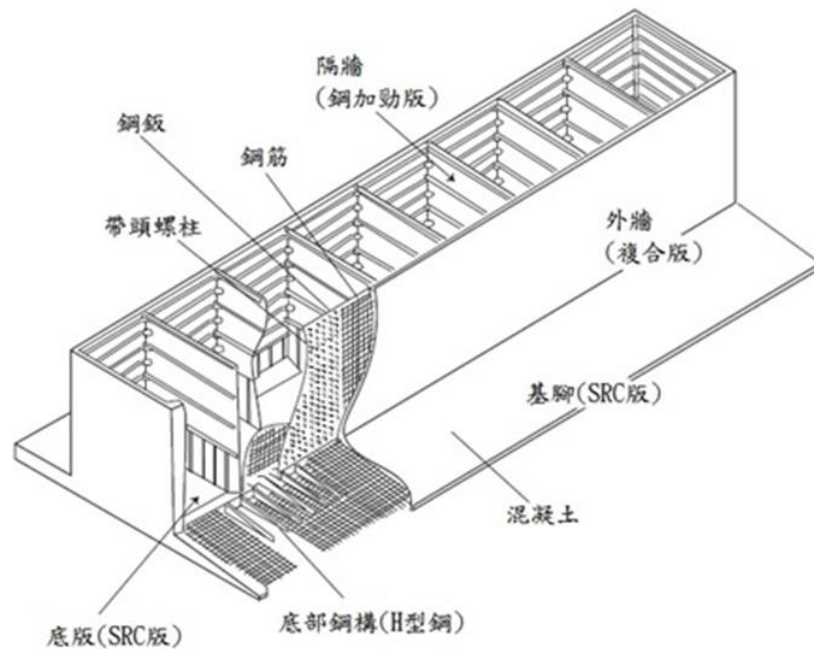


圖8. 混合式沉箱構造示意圖

### (三) 混合式沉箱之優點

1. 重量輕：

混合式沉箱因結構强度高，外牆、底版及基腳版厚度可減小，因此重量輕。

2. SRC基腳版可擴伸：

寬大基腳版會帶來很多好處，用在防波堤可降低地盤作用力、可防止沉箱傾覆及壓制水平滑動，這些都有利於沉箱本身的穩定。若用在碼頭或海堤，因在設計重力式碼頭或海堤時，在基腳上部之背填料可視為抵抗主動土壓力重力式構造物的一

部分，因此擴伸基腳版可縮小沉箱寬度。

3. 可製造較長及較高之沉箱：

因厚度可縮小及沉箱寬度可縮小，結構重量減輕，因此可製造較長(如50m)及較高(適用於大水深)之沉箱。

4. 可塑性高：

因大量使用鋼材及高強度，可按功能需求做出特別形狀的沉箱。

5. 適用軟弱地盤：

因基腳寬度大(如10m)，則沉箱作用在地盤之壓力顯著減小，故適用在軟弱地盤。

#### (四) 混合式沉箱之缺點

因大量使用鋼材，與空氣或海水接觸的鋼材必須做防蝕，如使用被覆材或陰極處理。而傳統鋼筋混凝土沉箱，則以其保護層防蝕，無需其他防蝕措施。

### 三、 混合式沉箱設計之考量重點

#### (一) 斷面力計算

斷面力計算可依一般傳統鋼筋混凝土沉箱之斷面力計算方法計算。

#### (二) 複合版之設計考量重點

1. 彎曲力矩

就彎曲力矩，斷面應力計算可視複合版為一雙重鋼筋混凝土構件，即把鋼板轉換成當量之鋼筋。

2. 剪力

複合版之剪力可如同鋼筋混凝土版分析。

3. 鋼板及混凝土之結合

在混合式結構材料結合中，剪力接合器是特別重要的構件元素。在複合版，帶頭螺柱和型鋼最常做為剪力接合器。剪力接合器所需之數量及排列之設計必須考慮防止鋼板和混凝土分離，並保證發生在鋼板和混凝土界面水平剪力之傳達。

### (三) SRC構件設計考量重點

1. 鋼構及鋼筋混凝土(SRC)構件的設計，以充分考量由於鋼構型式差異之結構特徵，必須能抗彎矩和剪力。
2. 根據鋼構型式，SRC構件一般分類如下：
  - a. 實腹式型(full-web type)
  - b. 桁架腹式型(truss web type)
3. 計算彎曲力矩，可把鋼構轉換成當量鋼筋，然後以鋼筋混凝土構件計算斷面應力。在實腹式型SRC，若鋼構端與混凝土之固定不足時，則必須以獨立的鋼構構件及鋼筋混凝土構件的複合來計算。
4. 計算剪力，如果是桁架腹式型，可把鋼構轉換成當量鋼筋，然後以鋼筋混凝土構件計算剪力。如果是實腹式型，鋼構本身就具抗剪力，可在設計中適當的考量。

### (四) 隔牆設計考量重點

因隔牆之作用為外牆及底版之支承面，在設計時，隔牆斷面之穩定必須確能抵抗以支承面作用力所計算的斷面力。

### (五) 轉角和接頭設計考量重點

1. 轉角及接頭必須能順利及確實地傳遞斷面力，並且容易製造及施工。
2. 為確保在轉角及接頭有足夠的強度，最好是把張力側的鋼材確實連結到壓力側，也要有剪力加勁鋼材(拖臂)承受在接頭混凝土張力。

### (六) 疲勞破壞設計考量重點

1. 混合式沉箱使用大量的焊接點以連結鋼板，並加裝剪力接合器及抗剪力鋼，因此，常承受重複載重的構件，在焊接處必須檢驗其抗疲勞強度。
2. 在海岸護岸及碼頭，重複作用力的影響較小。然而，對防波堤而言，當構件之應力由於波浪重複的作用而有顯著的變化，則有必要對沉箱作疲勞破壞檢核。

## 四、防蝕

1. 混合式沉箱防蝕須在性能要求、維護等級、施工條件、及其他相關因素適當地設定。
2. 複合構件老劣化的主要原因是鋼材的腐蝕。鋼材的腐蝕會導致混凝土龜裂，

為了改善複合構件的耐久性，對鋼板需採取適當的防蝕措施。混凝土本身的老劣化特徵要依傳統鋼筋混凝土考量。

3. 用在混合沉箱外側的鋼材一般以混凝土或瀝青面層包覆。而內部因有混凝土封頂與外界大氣隔絕，但仍與靜態填充砂及殘留海水接觸。因此，在設計混合式沉箱時，一般要避免構件之鋼板直接與海洋環境接觸。為防蝕，把鋼板放在內側，混凝土在外側，避免鋼板直接與新鮮海水接觸。如果鋼板與海水直接接觸，必須採取防蝕措施，如飛濺帶或潮間帶採用被覆法，在水下採用陰極防蝕法。

## 五、結語

在台灣設計傳統式鋼筋混凝土沉箱之技術已相當成熟，若要採用混合式沉箱，在技術上應該毫無困難。就像SRC建築取代鋼筋混凝土建築一樣。因此在設計防波堤、碼頭、海堤及護岸等沉箱時，不妨把混合式及傳統式沉箱就各項條件做個詳細比較，尤其是軟弱地盤，混合式沉箱應有其優勢。

## 六、謝誌

因交通部運輸研究所港灣研究中心給予作者參與「港灣構造物設計基準」相關研究的機會，始能對混合式沉箱做進一步探討並與大家分享，特此致謝。

## 七、參考文獻

1. Ko, K. Park, K. (2005): Recent Experiences on Kwangyang 3-2 Container Terminal Project, Proceeding of 2005 International Offshore and Polar Engineering Conference.
2. The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (2009): Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities, p. 998.

投稿 105.05.12  
校稿 105.05.23  
定稿 104.05.24