

淺談沒水沉箱之起浮

林東廷

嵩博水利技師事務所技師

摘要

重力式沉箱廣泛應用於港灣工程之防波堤、碼頭等構造物，且大型沉箱不僅體積龐大，其重量動輒數千噸以上，端賴利用水中浮體特性進行下水、拖航及沉放等施工作業。沉箱製作完成下水後常需在適當水域臨時儲存，俟安放時再將沉箱抽浮進行拖航及沉放，相關施工技術在國內港灣工程已累積相當成熟及豐富經驗。如臨時儲存沉箱因故延宕拖放，加上儲存水域未具良好遮蔽環境，在長時間之海流、波浪作用下，沉箱底部可能產生刷深掏空現象，進而導致沉箱傾倒及沒水狀況，而影響後續沉箱起浮作業之困難度。近年來國內漁港建港工程發生臨時儲存沉箱沒水情形，由於此異常狀況不常見，國內可資參考之施工案例較為缺乏，致後續工程發包不順利，而大幅調高沉箱起浮預算因應。有鑑於此，本文借鏡國外經驗，初步分析沒水沉箱起浮之施工要領，俾供國內施工參考。

一、前言

重力式沉箱具有大的單體構造，其結構體於船塢、浮船台、沙灘等地點製作可施工確實，並縮短海上作業天數，故廣泛應用於港灣工程構造物。由沉箱之製作、出塢、下水、臨時儲存、抽浮、拖航及沉放，由於港灣用沉箱之體積、重量相較於方塊、消波塊等高出甚多，非一般施工船機可直接吊移，端賴利用水中浮體特性進行施工。施工過程如沉箱臨時儲存因故延宕拖放，且儲存水域之遮蔽環境不佳，在海流、波浪作用下，可能受海流所產生渦流、入反射波交會形成短峰波等因素，造成沉箱周邊底床沖刷，長時間下來可能產生沉箱底部掏空現象，甚至發生沉箱傾倒及沒水狀況，如圖 1 所示。

以國內漁港之建港工程為例，近年來曾發生沉箱臨時儲存時因故久置未進行拖放，且因儲存水域位於港口海側，未受防波堤遮蔽保護，而於沉箱周邊底床發生明顯刷深情形，致臨時儲存沉箱均有不等程度之傾斜狀況，並有部分沉箱遭海水漫入箱內隔艙，甚至少數沉箱完全沒入海中，於低潮時仍無法露出海面，如圖 2 所示。因臨時儲存沉箱發生沒水之異常狀況不常見，在國內缺乏可參考之施工案例情況下，可能左右廠商對於施工方法、施工費用、施工風險及投標意願等評估，亦影響後續工程發包作業之不順利，而為提高廠商投標意願，主辦機關乃大幅調高沉箱起浮預算因應。由上述沉箱臨時儲存不善案例，不僅造成工程發包延宕且增加工程預算，實值得省思與借鏡，以避免重蹈覆轍。

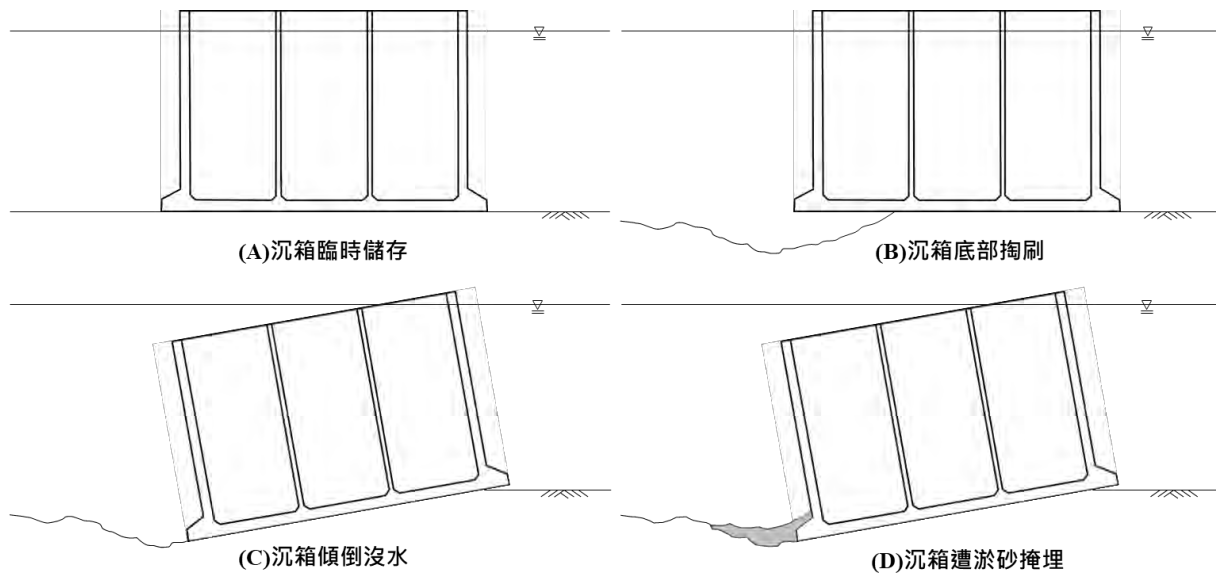


圖 1 沉箱臨時儲存發生沖刷掏空及傾倒沒水示意圖



圖 2 臨時儲存沉箱沒水例

二、沒水沉箱之起浮工法

一般沉箱製作完成後常拖往臨時儲存場定泊，等候後續拖放，即所謂之沉箱臨時儲存。沉箱儲存場應有適當水深，使沉箱進水坐底後，於高潮位時海水不致漫入箱內，待沉箱拖放時再重新抽水起浮。為避免臨時儲存沉箱之周邊海床發生掏刷，對箱體之穩定與結構安全造成破壞，沉箱臨時儲存場宜選擇具有遮蔽、底床平坦及地形穩定之海域，以降低海流、波浪及漂砂作用之影響。正常之臨時儲存沉箱抽水後即可起浮，當沉箱發生傾倒沒水狀況時，就

無法僅靠抽水工法使沉箱起浮，而尚需配合其他前置設施，故無論作業時間或施工費用均會增加。

2.1 臨時儲存沉箱沒水之起浮

臨時儲存沉箱發生沒水狀況時，需在沉箱頂部安裝封艙蓋板及設置作業孔，並於蓋板與沉箱間以橡膠墊片維持水密性，以阻隔海水進入沉箱內部，確保沉箱有效抽水及降低箱內水位，使坐底沉箱順利起浮。主要施工方法及流程(如圖 3)如下：

1. 沉箱頂部安裝封艙蓋板及設置作業孔
2. 清除沉箱周邊之淤砂
3. 裝設抽水泵浦設施
4. 沉箱抽水及起浮

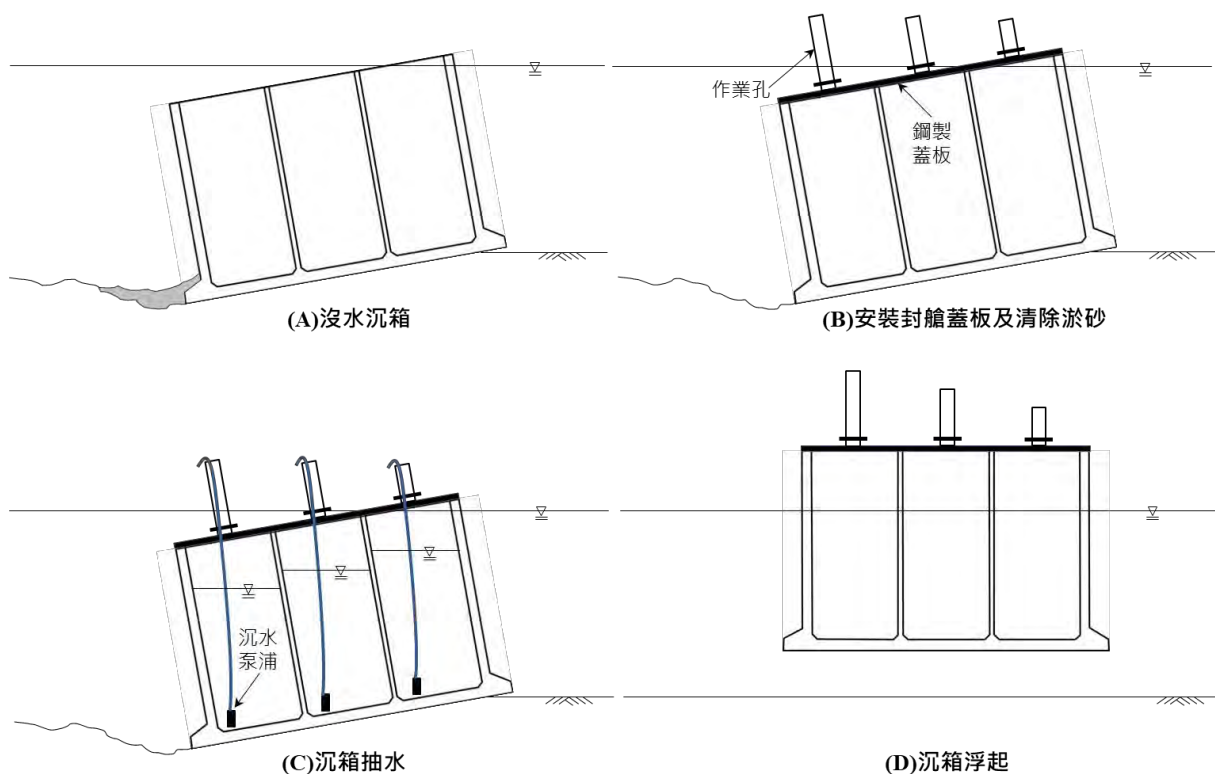


圖 3 臨時儲存沉箱沒水之起浮示意圖

2.2 既設構造物沉箱沒水之起浮

除上述臨時儲存沉箱可能發生沒水狀況外，防波堤、碼頭等港灣構造物亦可能因颱風波浪、地震等作用而造成破壞，導致既設之沉箱發生傾倒及沒水情形，如圖 4 所示。前述致災之港灣構造物如經評估沉箱結構體無損害情況不需打除，惟需將沒水沉箱起浮拖離，俾利進行災害復建工程。

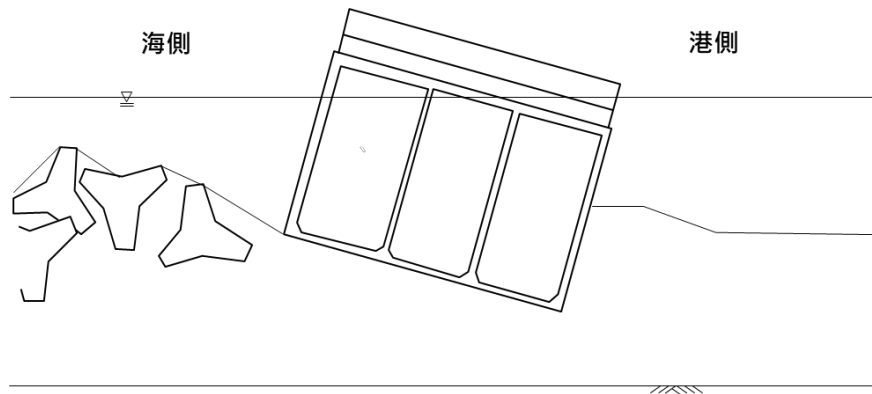
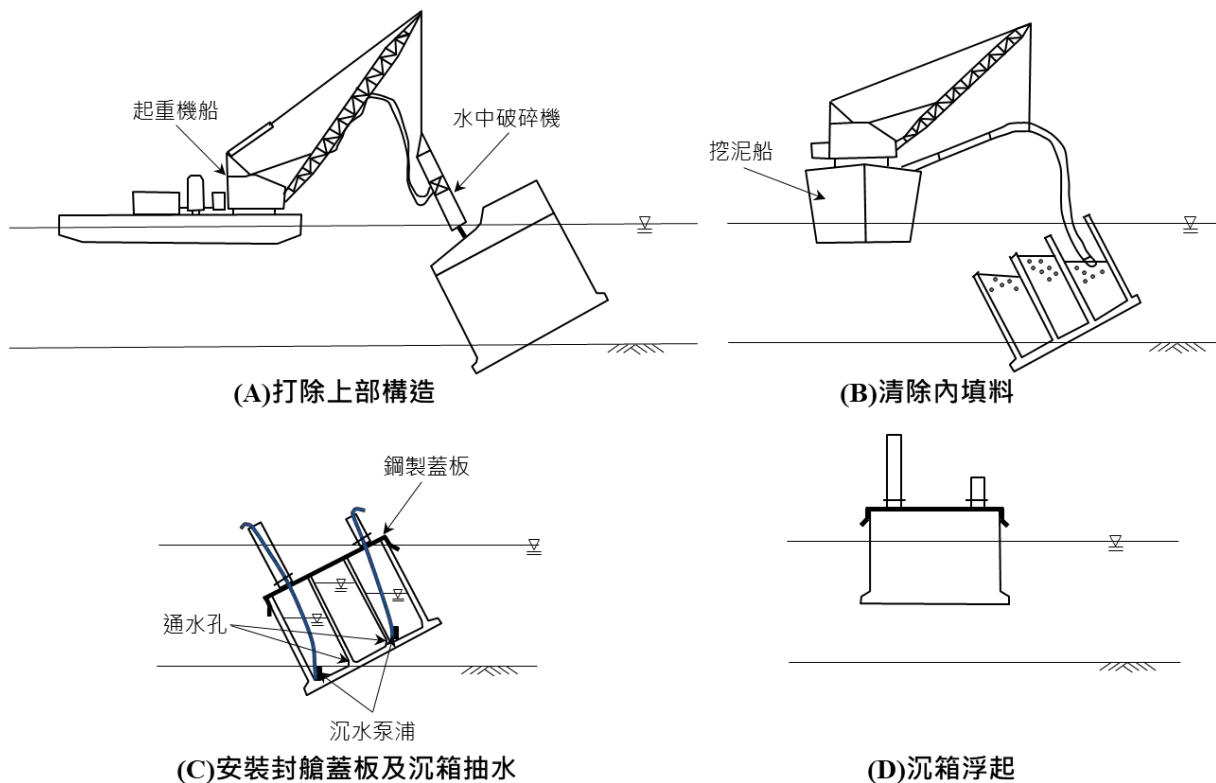


圖 4 既設構造物沉箱沒水示意圖

既設構造物沒水沉箱與臨時儲存沒水沉箱起浮施工之差異處，主要為尚需打除沉箱上部構造、清除沉箱內填料等，接續之起浮作業原則相同。主要施工方法及流程(如圖 5)如下：

1. 打除沉箱上部構造
2. 清除沉箱內填料
3. 沉箱頂部安裝封艙蓋板及設置作業孔
4. 清除沉箱周邊之石料、混凝土型塊(方塊、消波塊)及淤砂等
5. 裝設抽水泵浦設施
6. 沉箱抽水及起浮



資料來源：日本海中部地震災害復旧工事 (1984)

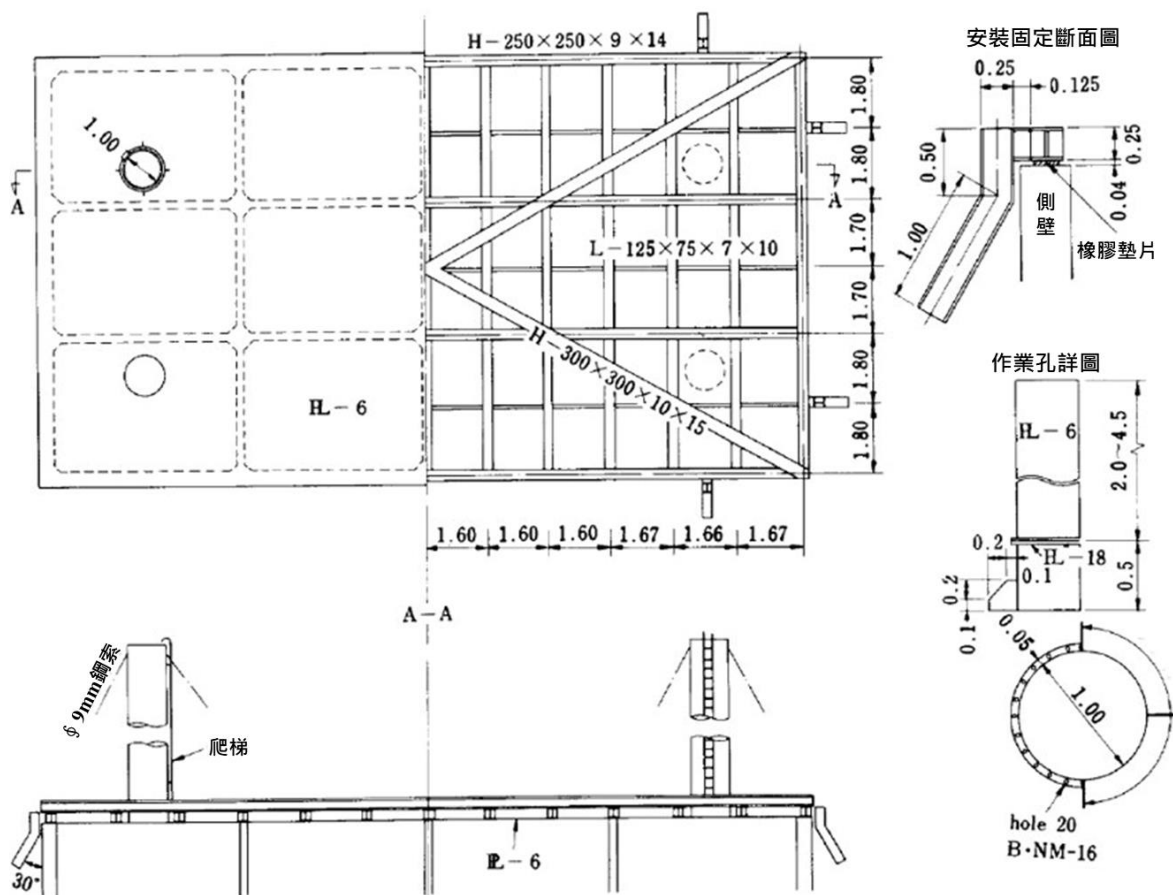
圖 5 既設構造物沉箱沒水之起浮示意圖

三、沒水沉箱起浮案例

近年來日本港灣構造物受地震及海嘯侵襲，亦有發生沉箱沒水事件，參考其封艙蓋板設計及沉箱起浮施工等案例分述如下。

3.1 封艙蓋板設計例

沒水沉箱之起浮主要藉由封艙蓋板阻隔海水進入沉箱隔艙，俾利抽取箱內海水以獲得浮力，使沉箱自力浮上海面。一般封艙蓋板係由鋼材製作而成，並留設抽水之作業孔，於蓋板與沉箱頂部間安裝橡膠墊片以維持水密性，圖 6 為日本秋田縣之能代港於 1983 年 5 月 26 日遭受日本海中部地震引發海嘯，造成護岸沉箱傾倒沒水所採用起浮之封艙蓋板設計例。



資料來源：日本海中部地震災害復旧工事 (1984)

圖 6 日本能代港之鋼製封艙蓋板設計例 (單位：m)

3.2 臨時儲存沉箱沒水起浮施工例

日本於 2011 年 3 月 11 日發生東北地方太平洋海上地震(東日本大震災)及海嘯，沿岸港灣設施及地區遭受嚴重破壞與災害，並造成宮城縣石卷港第一線防波堤之沉箱下陷、消波塊散落，而臨時儲存場之沉箱亦發生傾倒情形，傾斜角為 16 度，沉箱頂部之高低差為 4 公

尺，即使低潮時仍有部分隔艙處於沒水狀況。經潛水伏下水調查沒水沉箱之內部與周邊狀況，確認沉箱結構未受損壞，遂評估將沉箱起浮再利用。沉箱起浮作業在製作安裝密閉蓋板及進行抽水後，沒水沉箱順利浮出海面，如圖 7 所示。



資料來源：津波により転倒水没した防波堤ケーソンの浮上管理 (2014)

圖 7 日本石卷港之臨時儲存沉箱沒水起浮施工例

3.3 既設構造物沉箱沒水起浮施工例

上述日本於 2011 年 3 月 11 日所發生之東日本大震災，亦造成福島縣相馬港之沉箱式離岸防波堤遭受相當大災害，總長 2,730 公尺防波堤之 181 座沉箱中有 177 座沉箱發生位移、損壞等。在調查各段防波堤之傾斜狀況與受損情形，並考量挖斗式、抓斗式等挖泥船機清除沉箱內填料之施工操作限制，將沉箱之傾斜角度納入打除或再利用之評估因子，經評估檢討後，決議將沉箱傾斜角度達 15 度以上或沉箱結構體有損壞者，打除該防波堤構造，而沉箱傾斜角度未達 15 度且沉箱結構體無損壞者，則將既有沉箱起浮後再重新利用。既有防波堤沉箱沒水之起浮作業，首先須打除沉箱之上部混凝土構造與封頂混凝土，並清除沉箱隔艙之內填料，再於沉箱頂部安裝封艙蓋板，利用作業孔裝設抽水泵浦後進行抽水，使沒水沉箱浮出海面，圖 8、圖 9 分別為相馬港離岸防波堤之二座重新利用沒水沉箱起浮作業施工情形。



(A)上部構造鑽孔



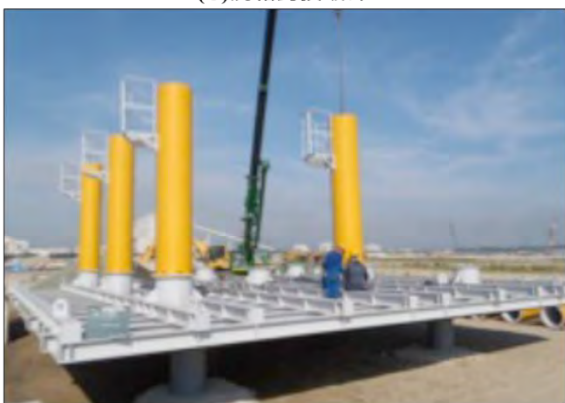
(B)上部構造破碎



(C)沉箱封頂破碎



(D)清除内填料



(E)封艙蓋板製作



(F)安裝封艙蓋板



(G)沉箱抽水



(H)沉箱浮起

資料來源：転用ケーソンの浮上・仮置きについて (2013)

圖 8 日本相馬港之離岸防波堤沉箱沒水起浮施工例(一)



(A) 安裝封艙蓋板



(B) 沉箱抽水



(C) 沉箱浮起



(D) 沉箱拖離防波堤

資料來源：五洋建設 http://genba-story.com/fukushima10/03_shashin.html

圖 9 日本相馬港之離岸防波堤沉箱沒水起浮施工例(二)

四、結語

重力式沉箱廣泛應用於港灣構造物，雖然沉箱重量動輒數千噸以上，仍可藉由浮力於海中進行沉箱之拖航、沉放等施工作業，以克服施工船機之吊重限制。國內在沉箱工程之施工技術已相當發達，不過近年來在漁港建港工程發生較為罕見之臨時儲存沉箱沒水之異常狀況，可能受國內可資參考之施工案例較為缺乏影響，造成後續工程發包不順利及大幅調高沉箱起浮預算因應。由前述沉箱沒水之施工不善與起浮案例，值得省思與借鏡之處主要如下：

1. 沉箱臨時儲存場宜選擇具有遮蔽、底床平坦及地形穩定之海域，以降低海流、波浪及漂砂作用之影響，避免臨時儲存沉箱發生沒水之異常狀況。
2. 既設之沉箱構造物受地震、颱風等侵襲威脅下，亦可能發生沉箱位移、傾倒及沒水狀況，於進行復建工程時宜根據沉箱損害情形，評估沉箱起浮取代打除之可行性，以節省公帑。
3. 沒水沉箱之起浮作業施工要領，主要藉由沉箱頂部安裝封艙蓋板，以阻隔海水進入沉箱隔艙內，再利用作業孔抽取隔艙內海水以獲得足夠浮力，使沉箱自力浮出海面。

参考文献

1. 中川正吉、大井誠 (1984) , 「日本海中部地震災害復旧工事」, 西松建設技報 Vol.7。
2. 菅原豊明、前田直久、箭子英雄 (2014) , 「津波により転倒水没した防波堤ケーソンの浮上管理」, 平成 26 年度東北地方整備局管内業務発表會。
3. 三重野泰宏 (2013) , 「転用ケーソンの浮上・仮置きについて」, 平成 24 年度港湾技術報告会講演概要集。