第 33 屆海洋工程研討會論文集　國立高雄海洋科技大學　2011 年 12 月
Proceedings of the 33rd Ocean Engineering Conference in Taiwan
National Kaohsiung Marine University, December 2011

複合式環保地工織物袋應用於港口汙泥疏濬海拋

曾俊榮 [1]　林靜怡 [2]　唐玄蕙 [3]

[1] 盟鑫工業股份有限公司 技術支援組 主任工程師
[2] 盟鑫工業股份有限公司 技術支援組 副理
[3] 盟鑫工業股份有限公司 技術支援組 經理

摘要

為了因應海運市場瞬息萬變之供需關係，各商港之開發與發展計畫應與時俱進，俾能切合實際發展的需求，因此維持航運的正常運作，將決定貿易港成功之關鍵。而影響航運的潛在因素，莫過於港池淤泥淤積，如何防治以減少港區營運成本，並提高服務航商滿意度，在此提出環保應用工法於港池淤泥處理。本文將介紹此工法之應用，及數值計算並模擬小型水工試驗，最後於香港維多利亞港進行實際尺寸拋放作業。

關鍵詞：地工砂袋、清淤、港池淤泥、疏濬

ACECONTAINER® APPLIED IN HIGH-POLLUTING SLUGDE

Chun-Jung Tseng*　Zoe Lin　Amy Tang

* Chief Engineer, Department of Technical Support, ACE Geosynthetics

ABSTRACT

In order to respond the constant evolution of maritime market demands, the development of commercial harbor has become an essential duty of the local harbor bureau. Thus, to maintain the normal operation of shipping shall determine the success of the key trading port.

However, there are some hidden factors that affecting the operating of maritime market, one of them is basin silt deposition due to oil mixed settlement of suspended solids or drift sand. How to control operating costs, and improve service satisfaction at the same time? An favorable environmental construction method was adopted to the sludge treatment.

Keywords: Geotextile Container; Dredge; Harbor basin sludge

Gold-Joint

一、前言

同處亞大地區的香港維多利亞港，其日吞吐量龐大，港池中貨櫃船進出頻繁，日積月累的油污混合懸浮物或漂砂沈降到港池底部形成底泥，屬高污染污泥，不可隨意棄置，如採用生物修復，脫氯或土壤清洗等處理技術，將耗時費工。沉積物的疏浚，在於緊急及安全的因素考量下，通常採取避免危害環境，維持港口航運順暢為原則。香港處理疏浚沉積物的容量有限。所以截至目前，未受污染的沉積物棄置於公海的處置場位於南長洲(South Cheung Chau），東果洲(East of Ninepin)，大嶼山北部 North Lantau，東龍洲 East Tung Lung Chau，大磨刀洲 West of the Brothers 和南青衣 South Tsing Yi，而受污染的沉積物則置放於密閉海洋處置站，於東沙洲 East Sha Chau。這些處置場均由香港土木工程署(CED)管理，負責海洋環境監察，並對傾運商規定具體的處理條件，以確保任何海洋處置作業不會造成不可接受的海洋環境衝擊。

為尋求有效防止浚渫沉積物對海洋環境造成衝擊，本文採用地工砂袋進行施作。基於地工砂袋可

達環保需求的特性，且已廣泛應用於浚渫淤泥海拋，事業廢棄物海拋，甚至高污染性衛生淤泥儲存等。在此進行地工砂袋快速施工法研究，以有效解決浚渫污泥並維持港區商務正常運作。

複合式地工織物環保袋採以地工織布包覆淤泥，故淤泥於海拋過程中可避免懸浮物在海水中擴散造成二次公害，於是灣仔發展第二期計畫中，設計規劃使用地工砂袋進行疏濬汙泥海拋作業，並於疏濬及拋放過程中進行水質監測。本文處理之受污染沉積物歸屬 Type 3 第三類特別處理/卸置沉積物。

二、研究方法

地工砂袋在築堤工程中屬較新穎性的工法，可構築壩體或防波堤堤心、海底管線保護或其他水下工程。而地工砂袋早已成功被應用於海岸工程、填海造地的圍堤，但也被應用於儲存與隔離汙染土料及港口疏浚(Pilarczyk, 1999; Heerten et al, 2000; Fowler et al 1995)。

大型土工袋體，可裝載達 100 到 1000 立方砂石或泥漿，並透過分割駁船載運且拋放。2003 年香港在銅鑼灣避風塘的一些高污染的底泥疏浚需要被預先處理及特別處置，當時處置方法有許多種，但是使用地工材料是被公認可遏制最少污染物進入海洋環境的方案。

本案設計別於 2003 年香港拋放的地工砂袋幾何尺寸，本次採用尺寸為圓周 28m 長 12m 之地工砂袋(圖 1)，藉由工廠加工方式，相較於早期設計，不但可有效節省 18%織物使用量，還可達到每一袋體設計裝填量 300m^3。

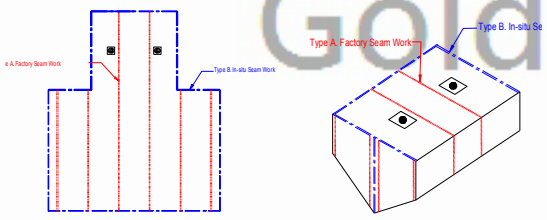

圖 1 地工砂袋

單艘開底船同一時間可處理最大淤泥量為 1000m^3，本案所採用之開底船為改良之船艙(圖 2)，總共區隔三個隔間，每一槽體可裝填量為 330m^3。有鑑於尺寸變更，於是進行數理計算分析並配合水工模擬試驗驗證此工法之安全性及可行性。

圖 2 開底船

2.1 數理計算

依據 Bezuijen A.學者經驗公式計算袋體拋落過程所需之織物強度，袋體拋落過程中受張力最大處分別為開底船開啟及落地衝擊時(圖 3)，分別計算如下：

Bezuijen et al. (2000), De Groot (2003)

$$T_1 = 0.45\frac{W'}{L} \quad (1)$$

式中 W'地工砂袋於水中重量，L 表地工砂袋長度，T_1 為袋體通過開底船所受張力強度。

Bezuijen et al. (2000), Bezuijen et al. (2002)

$$T_2 = v\sqrt{\frac{A\rho E'}{S}} \quad (2)$$

式中 A 為垂直於地工砂袋軸向橫斷面積，ρ 表示回填材密度， E'為織布勁度模數，而 S 表示垂直於地工砂袋軸向圓周，T_2 為袋體觸底時所受張力。

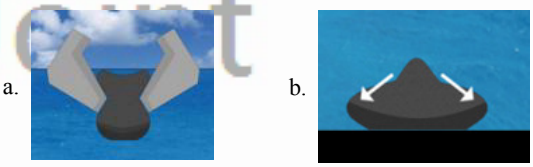

圖 3 地工砂袋拋落示意圖 a.)通過開底船 b.)袋體觸底

2.2 水工試驗

水工模擬試驗採用 1:20 等比例縮小尺寸模擬袋體拋落過程，模擬試驗分別以乾拋及濕拋(水中拋放)等多組試驗，濕拋為 1m 水深(實際水深 20m)；分別紀錄拋放時間、裝填率、過程變化及觸底後幾何形

Gold-Joint

狀。並檢測其袋體是否遭受破壞，裝填物是否外漏等考量。

表 1 模型尺寸

		實際	模型
開底船長	(m)	11	0.55
水深	(m)	20	1
織布強度	(kN/m)	200	10
廠內縫合強度	(kN/m)	140	8.67
現地縫合	(kN/m)	82.5	5.04

2.2.1 乾拋試驗

試驗採用鐵架製作等比縮小之開底船模具(圖 4)，內填物採用美國矽砂，乾拋試驗中採用相同裝填量，不同開啟速度，主要觀察拋放後袋體尺寸及檢視袋體是否破壞。

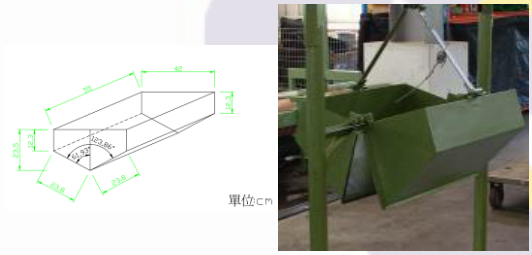

圖 4 模擬開底船之模具

2.2.2 濕拋試驗

濕拋於大型水槽中進行，本次試驗尚未考量水流及波浪效應影響。濕拋試驗主要為袋體拋落現象的觀察，並檢視土壤孔隙空氣竄流時產生的壓力是否會將浮球帶出，所以於裝填物中摻入微型浮球，倘若袋體拋放時，任何一弱面破壞，浮球浮出水表面即表示試驗失敗。

圖 5 濕拋試驗中裝填過程

2.3 水質監測

水質監測於七處監測站進行：兩站在拋放點上游，五站在拋放點下游，所有監測站離地工沙袋拋放點 200~600m 之距離。水質監控頻率為 30 分鐘間格持續監控，直到拋放作業結束後兩小時才完成。

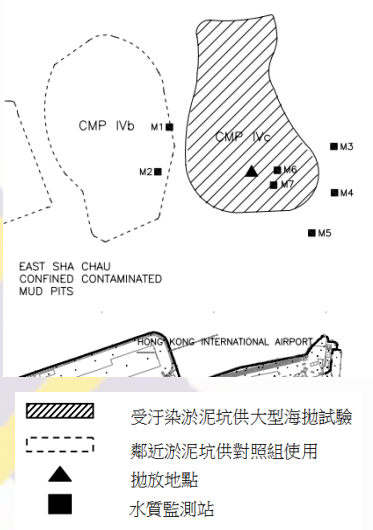

圖 6 水質監測站分布圖

三、結果與討論

經由數理計算尋找符合設計強度之袋體，配合實際水工試驗證明地工砂袋使用上安全無虞後，於香港維多利亞港進行實際尺寸拋放作業，並於拋放過程中全程進行水質監測管控。本案已進行兩次現場拋放，分別為不同裝填量及填充材，均無破壞及外漏之疑慮，成功解決高污染淤泥處置問題。

3.1 數理計算

經由經驗式計算，可得當拋放水深 h=20m，開底船開啟寬度 b_0=2.0m，開底船單一槽體長度 L=11m，槽深 h_b=4.92m，疏浚底泥單位重γ 假設為 12kN/m3，計算得到袋體通過開底船所受張力強度 T_1=83.08kN/m，袋體觸底時所受張力 T_2=86.38 kN/m。本案採用之地工織布為 ACETex® GT200-II PP，張力強度為 200kN/m，縫合強度可達 140kN/m。所以可完全符合設計強度需求，地工織物其他規格詳列如下表 2：

Gold-Joint

表 2 地工砂袋織布規格

Description of ACETex® GT200-II			Test Standard
Material	Polypropylene (PP)		
Nominal tensile strength - MD	kN/m	≧200	ASTM D4595
Nominal tensile strength - CD	kN/m	≧200	ASTM D4595
Elongation at nominal strength - MD	%	≦23	ASTM D4595
Static Puncture Resistance	N	≧14000	ASTM D6241
Permittivity	1/S	≥0.3	ASTM D4491
AOS, O_{95}	mm	≦0.425	ASTM D4751
Factory seam strength	kN/m	≥140	ASTM D4884

3.2 水工試驗結果

水工模型袋體尺寸為圓周 1.4m 長 0.55m，可裝填總砂土量為 0.065m^3。試驗中採用美國矽砂為填充材，不考慮汙染物滲出問題，主要考量為美國矽砂不會影響水中濁度，以利方便水工觀察地工砂袋拋放過程。填灌率為裝填量與開底船單槽容積比。

3.2.1 乾拋試驗結果

乾拋試驗設計裝填量固定為 0.02749m^3，計算得裝填率約為 66%，拋放時間及觸底後袋體幾何取兩個樣體整理如下表 3，D_1 拋落時間較長原因為分兩段式開啟，而 D_2 為一次開啟到 20cm；此兩組樣體試驗結果顯示開啟寬度若一次到位，開啟所需寬度較大。試驗結果顯示袋體無任何破壞，矽砂無外漏現象。

圖 7 乾拋袋體觸底後狀態

表 3 乾拋記錄

Items		D_1	D_2
Hopper open time,	(s)	32	24
Hopper open width,	(cm)	17	20
ACEContainer Avg. height,	(cm)	11.3	8
ACEContainer Avg. width,	(cm)	58	63.7
Filling rate,	(%)	66	66

3.2.2 濕拋試驗結果

濕拋試驗於大型水槽中進行，設定水深為 1m，裝填率約為 75~78%，另外於每層裝填矽沙時順帶加入直徑 2~3mm 微型浮球，目的在於確保此施工法於水中試驗拋放時，無任何間隙允許浮球漏出。試驗狀態如圖 8 所示。

圖 8 濕拋袋體觸底後狀態

表 4 濕拋紀錄

Items		W_1	W_2	W_3	W_4
Hopper open time,	(s)	18	25	33	34
Hopper open width,	(cm)	17.5	22	21	20
ACEContainer Avg. height,	(cm)	7	7.1	6.75	6.9
ACEContainer Avg. width,	(cm)	59	57.7	61	62
Filling rate,	(%)	75	75	78	77

試驗數據取四個樣本紀錄如表 4，由數據顯示開底船平均開啟寬度為 20cm，袋體始得完全脫離模具槽體。試驗結果顯示，無任何浮球浮於水面，無沙源滯留於水槽底部，顯示此工法可達到完全封裝袋體，袋體強度及接逢強度均可達設計要求。

Cold-Joint

3.3 水質監控結果

拋放地點位處香港東沙洲(East Sha Chau)淤泥處置池，為了避免海流影響地工砂袋拋落位置，拋放時間選定於下午海流流速較緩時進行。當日海流流速為 0.22m/s。於拋放前進行例行性檢視(圖 9)。

圖 9 拋放前確認

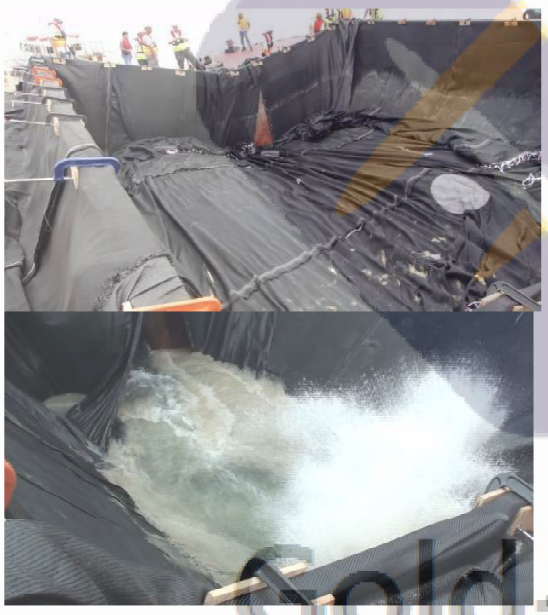

圖 10 拋放

於試驗前先對拋放場地水質進行檢測，作為拋放時數值之對照組，M1&M2 表海拋上游監測點，M3&M4&M5 為海拋下游監測點，M6&M7 分別為海拋點水質監測點。

水質檢定包含溶氧量 Dissolved Oxygen (DO)、濁度 Turbidity、懸浮固體 Suspended Solids、酸鹼值 PH 等數據，檢定標準分別定義為：溶氧量位於表層、中層及底層監測值不得大於拋放前水體檢測數值 5%；濁度及懸浮固體監測數據不得大於上游採樣點檢測值 120%或拋放前水體檢測值 95%。

本案採用地工織物 ACETex GT200-II，配合內襯不織布，根據檢測數據溶氧量、濁度、懸浮固體均在水質標準內(圖 11~14)。下面圖說分別依地工砂袋拋放點及拋放處上下游觀測站兩種型式呈現，明顯顯示拋放作業進行時，數值均不超出水質標準範圍，證實地工砂袋(ACEContainer)具有有效遏制污染物進入海洋環境的方案。

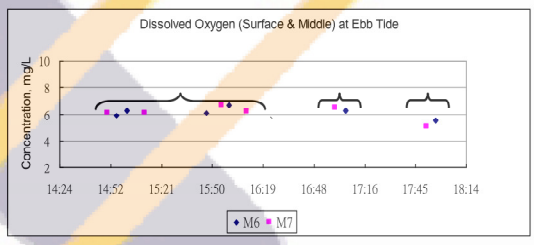

圖 11 拋放處觀測站含氧量監測值

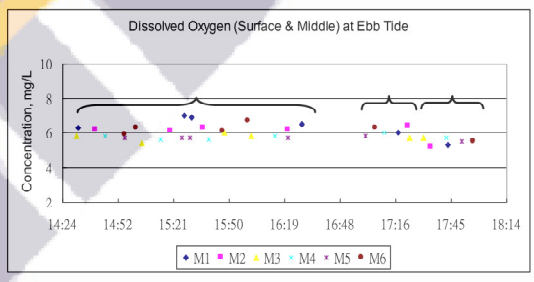

圖 12 上下游觀測站含氧量監測值

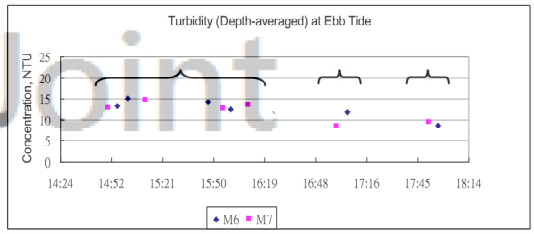

圖 13 拋放處觀測站濁度監測值

Gold-Joint

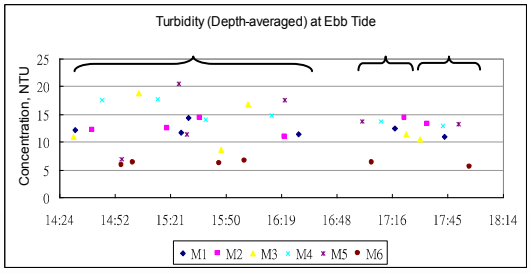

圖 14 上下游觀測站濁度監測值

3.4 監測結果

水質監測會在淤泥傾倒於東沙洲後持續進行 5 日。對照組監測會在拋放前 2 小時蒐集數據，被用來監管後續監測水質資料是否符合標準。結果顯示上下游監測站沒有觀察到任何污染源。水質記錄中僅部分 DO 超標。根據調查，超標原因被認為是由於海水條件下的自然波動造成。

四、結論

經由數理計算及水工模擬試驗模擬結果，可針對不同條件設計符合海拋作業之地工砂袋。地工織布具有高強度、高透水及順應開底船槽體變化之特性，使得複合式地工織物環保袋(ACEContainer)在本案中扮演有效處理受汙染淤泥之關鍵角色。透過實際海拋作業，證實複合式地工織物環保袋(ACEContainer)可應用於浚渫淤泥的處置，達到快速清淤、維持航道深度且不影響航運及兼顧海洋污染防治功效。此外，地工砂袋亦可取代應用於海事結構物堤心，加速施工效率及節省成本之效用。

參考文獻

1. A. Bezuijen & M.B. de Groot, “PLACING ACCURACY AND STABILITY OF GEOCONTAINERS.”, GeoDelft.
2. Bezuijen A, Schrijver R.R., Klein Breteler M., Berendsen E., Pilarczyk K.W. (2002) Field tests on geocontainers. Proc. 7 th Int. Conf. on Geosynthetics, Nice.
3. Pilarczyk K.W. (2000), Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering,

Gold-Joint