

地下連續壁—施工品質控制及其規範  
DIAPHRAGM WALL - CONSTRUCTION QUALITY  
CONTROL AND ITS SPECIFICATIONS

歐 晉 德

CHIN-DER OU

原載於台灣營建中心監工實施講習會，73年

*Reprinted from*  
*Proceedings, Building Construction Seminar,*  
*Taipei, 1984*  
*Taiwan Construction Technology Research Center*

## ABSTRACT

Quality control is the most important element in diaphragm wall construction. The paper discusses the various factors which affect quality control including capacity of machinery, excavation of guide trench, manufacture of reinforcement cage, concreting, and control of stability of slurry.

## 基礎工程(二)一地下連續壁工程、基樁工程

歐 晉 德

### 壹、地下連續壁—施工品質控制及其規範

#### 一、前 言

挖掘槽溝並利用穩定液保持槽溝穩定再行水中灌鑄混凝土而成之地下連續壁、和其他形成之地下結構物不同，由於此類工程無論在挖掘，以至於完成混凝土之澆灌，均無法以肉眼直接判別其完整及精確度，且工程一旦完成，事後難以進行補救或補強，因而在施工中應如何訂定品質標準，並以適當可靠之方法評估其可信度，實宜於施工規範明確訂定，並合理的執行，在目前文獻中可見的規範較完整者如英國基樁專業人員聯會（Federation of Piling Specialists, 1973）所建議者頗為各國重視，美國於1981年（Millet & Perez, 1981）所建議之標準，亦值得參考。連續壁施工之控制大致上可歸納為幾項重點：

1 施工機具能力及其裝備。

2 槽溝挖掘。

3 鋼筋籠製作。

4 混凝土澆灌。

以及與槽溝挖掘之穩定性甚至與混凝土品質有密切關聯之

5 穩定液控制，本文乃就此各要點提出檢討，以為施工監督者之參考。

#### 二、施工機具能力及其裝備

連續壁工程亦如基樁施工，牽涉機具能力之處甚多，必需對機具裝備能力有所了解，以免不能達成要求條件，在全世界工程中，目前

使用之地下連續壁挖掘設備甚多，讀者可在甚多論文或書籍中得知（Xanthakos, 1979, 林耀煌, 1983, 藤井清光等, 1975, 蔡朝元, 1983, ），在我國使用地下連續壁工程之經驗，已超過十年，完成工程亦不在少數，如早期新台灣基礎工程公司使用之類似 ICOS 抓斗，利用導桿施工，榮民工程處及海陸工程公司使用之 BW 機具，九泰工程公司使用之 Casagrande 型導桿式抓斗，華熊營運公司使用之 ELSE 鏟斗及 Kelly-ELSE 導桿式蛤型抓斗，及最近由三井工程公司使用之 MHL 吊纜式蛤型抓斗，均各有其適用性，表一即列舉目前在國內使用過之地下連續壁機具能力，必需注意者在機具之垂直控制能力，ELSE-Kelly 係使用地面之導桿控制其垂直度，因此工程地點地表之處理極為重要，應有合適之承重能力方可保持，BW 則係利用裝置於挖掘機上傾度顯示儀，了解挖掘之變化，並利用機具上以油壓控制之反力版調整機具之傾度，因此施工前必須仔細檢核傾度計以及反力版之性能是否正常，MHL 機具亦然，至於無傾度顯示儀之蛤形抓斗則無法配合地層狀況變化，獲得高度垂直之地下連續壁。蛤形抓斗之排土仍可使掘出土塊保持整體形式，易於處理後拋棄，但 BW 採用多鑽頭鑽掘式，泥土先經磨碎後，經泥水管以反循環式抽出泥水後，必需配合振篩、離心式分離機等裝備處理之，此均應於規範中明訂。

由於各種施工機具均有其固定之規格與能力極限，並非適用於所有地質情況，因此在施工前亦應就地質、環境、設計條件等選擇合適之施工機械，表二列舉目前國內所有之施工機械能力以為應用者之參考，一般而言，對棄土之處理以抓斗式為佳，對噪音之管制則以 BW 為優，對垂直度之控制，以導桿式為有效，但抓斗或 BW 如配屬有傾度儀及傾度校正設備，則亦可滿足高度垂直需求，至於挖掘深度較深者如達40公尺以上，均以吊纜式操作活動性較佳。

表一 國內連續壁施工法

工 法 施 工	BW	ICOS	MHL	ELSE- KELLY	ELSE	CASAGRANDE KELLY
壁體之構 築方法	壁狀開 挖	一定間隔 粘挖導體 圓孔、孔 與孔間之 土砂利用 夾鉗(clam )去除	壁球開 挖	壁狀開挖	壁狀開 挖	壁狀開挖
開挖器具	連動式 鑽頭	蛤形抓屐	吊纜式 蛤形抓 屐。	導桿式蛤 形抓屐	鏟式抓 屐	導桿式蛤形 抓屐
開挖作用	旋轉式 無振動	衝 擊	油壓式 挖掘機	衝擊或壓 入	衝 擊	壓 入
排土方法	反循環 (吸上)	直接挖掘	直接挖 掘	直接挖掘	鏟屐挖 取	蛤形吊屐
施工壁厚 ( m )	0.4 ~ 1.2	0.4 ~ 0.8	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.8	0.4 ~ 1.0	0.4 ~ 1.2
挖掘主機 大小 (m)	寬3.0x 長3.5	寬 3.5x 長 6.0	寬2.7x 長7.0	導桿高度 配合開挖 深度可達 40公尺 寬 2.5x 長 5.6	導桿配 合開挖 深度調 整	導桿配合開 挖深度調整
垂 直 度	1 / 250 以上	1 / 70 以上	1 / 300 以上	1 / 300 以上	1 / 200 以上	1 / 100 以上

表二 連續壁施工機械適用性

條 件 開 挖 機 名 稱	深 度	壁 厚	粘 性 土	砂 質 土	砂 (尺寸, 公分)					岩 層	震 動 及 噪 音	棄 土
					>30	20~30	15~20	10~15	<10			
ICOS	>50	>120	極硬 N = 15 以上	極密 N = 50 以上	>30	>30	>30	>30	>30	硬 岩	△	○
	40~50	100~120	硬 N = 8 ~ 15	密 N = 30~50	20~30	20~30	20~30	20~30	20~30	軟 岩	○	○
	30~40	800~100	中等 N = 4 ~ 8	中等 N = 10~30	15~20	15~20	15~20	15~20	15~20		○	○
	<20	<80	軟性 N = 0 ~ 4	鬆散 N = 10 以下	10~15	10~15	10~15	10~15	10~15		○	○
MHL	>50	>120	極硬 N = 15 以上	極密 N = 50 以上	>30	>30	>30	>30	>30		△	○
	40~50	100~120	硬 N = 8 ~ 15	密 N = 30~50	20~30	20~30	20~30	20~30	20~30		○	○
CASAGRANDE KELLY	>50	>120	極硬 N = 15 以上	極密 N = 50 以上	>30	>30	>30	>30	>30		△	○
	40~50	100~120	硬 N = 8 ~ 15	密 N = 30~50	20~30	20~30	20~30	20~30	20~30		○	○
ELSE-KELLY	>50	>120	極硬 N = 15 以上	極密 N = 50 以上	>30	>30	>30	>30	>30		△	○
	40~50	100~120	硬 N = 8 ~ 15	密 N = 30~50	20~30	20~30	20~30	20~30	20~30		○	○
BW	>50	>120	極硬 N = 15 以上	極密 N = 50 以上	>30	>30	>30	>30	>30		△	△
	40~50	100~120	硬 N = 8 ~ 15	密 N = 30~50	20~30	20~30	20~30	20~30	20~30		○	○
ELSE	>50	>120	極硬 N = 15 以上	極密 N = 50 以上	>30	>30	>30	>30	>30		△	○
	40~50	100~120	硬 N = 8 ~ 15	密 N = 30~50	20~30	20~30	20~30	20~30	20~30		○	○

註：◎：最適合 ○：適合 △：不太適合 ×：不適合

### 三、槽溝挖掘

槽溝挖掘精度直接影響了地下連續壁完成後之品質，表三列舉美國、英國、日本常用之規範並與我國亞新工程顧問公司建議之規範相比較，大致上可知垂直度配合設計需求，一般均在  $1 / 80\%$  以上，如地下連續壁將做為永久結構體時，精度更要求達  $1 / 300$  以上。

連續壁施工必需有導溝之設置，其目的在於(1)提供保持穩定液高出地下水位之平衡空間，(2)控制開挖時機具之垂直引導，(3)提供切實之地表承載以供機具活動，因此導牆高度與地下水位變化間之關係應有明確指示，如 FPS 規定導牆頂部應高出地下水位至少 1.5 公尺，由於機具運動之空間需求，導牆間之淨距應較牆厚多出 25 至 50 mm 空間，FPS 尚規定導牆之建造水平偏差應不超過  $1 / 200$ 。

槽溝挖掘時，由於地層變化，牆面難以保持完全平整，FPS 規定其平整度不得超過 100 mm，日本方面大致均要求每片牆挖掘後均以超音波檢測器測定其平整度，亞新亦作如是建議，如發現平整度不合要求，應重新以鑽機修整之。

### 四、鋼筋籠製作

鋼筋籠之設計需求及其考慮，筆者有另文介紹（歐晉德，1983）使用鋼筋大致均應符合中國國家標準，如表四比較之各國規範，大致均符合各國國家標準，按國家標準規定檢驗之，至於鋼筋籠製作重點在

- (1)保持鋼筋籠之平整以避免與槽溝擦撞。
- (2)保持各接點之焊接強度，以免吊起時之鬆散。
- (3)鋼筋間之最小間距，以免妨害骨材通過。

因而規範大致均說明鋼筋之最小間距為 100 mm，亞新規範更清楚說明鋼筋作業均應鋪設混泥土地坪以確實保證鋼筋籠之平整。

表三 槽溝挖掘標準比較

規 範	內 容
USA	(1)垂直度 $1 / 80 \sim 1 / 100$ 。
FPS	(1)垂直度不大於 $1 / 80$ 。 (2)槽溝面平整度不超過 100 mm 。 (3)導牆水平偏差不得超過 $1 / 200$ 。 (4)導牆間淨距應較連續壁厚度多 25 mm 至 50 mm 。 (5)導牆頂部高度應高出地下水位至少 1.5 公尺。
日 本	(1)垂直度大致為 $1 / 100 \sim 1 / 200$ 以上。 (2)導牆大致為 1 至 1.2 m 深，必要時至 1.5 m 。 (3)導牆間淨距較壁厚多 5 公分以供機具之運動。 (4)導牆頂部高出地下水位上至少 1 公尺。 (5)挖掘後應用超音波側壁測定器檢核。
MAA	(1)垂直度保持 $1 / 300$ 以上。 (2)導牆最小深度為 1.5 公尺。 (3)導牆間淨距超出壁厚至少 5 公分。 (4)應利用聲波測定儀檢核。 (5)穩定液應高出地下水位 1 公尺以上。

註：USA 取自 Millet & Perez, 1981

FPS 取自 Federation of Pilig Specilists 規範，1973

日本 係綜合日本方面資料

MAA 取自亞新連續壁規範

表四 鋼筋籠製作標準\*

規 範	內 容
USA	(1)鋼筋應符合 American Iron and Steel Specification 之規定或其他適當之規定。 (2)鋼筋淨間距應以混凝土順利通過為原則。 (3)鋼筋籠之外側應有適當之護耳 ( spacer ) 以保持適當保護層。
FPS	(1)鋼筋應符合 British Standard 之規定。 (2)鋼筋籠主筋間之淨間距應不小於 100 mm 。 (3)鋼筋焊接處之強度應與無焊接處強度一致。 (4)鋼筋籠之鋼筋應避免採用直徑相同而強度不同之鋼筋。 (5)鋼筋籠之放置橫向誤差不得超過 75 mm，頂部誤差不得超過50 mm 。 (6)放置鋼筋籠前應將已完成單元銜接之節點予以清洗。
日本**	(1)鋼筋應符合 JISG 3112之規定，屈服強度 24 kg / mm <sup>2</sup> 以上。
MAA	(1)鋼筋籠吊放橫向誤差不得超過75mm，頂部豎向誤差不得超過50mm。 (2)放置鋼筋籠前，與已完成單元間的節點，應予清洗。 (3)鋼筋籠製作場應以鋼樑設平台於混凝土地坪上。 (4)各鋼筋籠連接筋必須焊接。

\* 參考資料來源如表三所列

\*\* 較不詳細係因筆者收集資料不完整，並非日本方面無明確規定

至於鋼筋籠之放置，若與已完成單元相接，該已完成單元之節點應先予以確實清洗，以免淤泥堵塞，鋼筋籠之放置誤差，橫向不得超過 75 mm，豎向誤向較易控制，應不得超過 50 mm，施工時，均可以水準儀量測控制之。表四中，日本使用規範因筆者資料蒐集未盡完全，未能提供，並非未予規定。

## 五、混凝土澆灌

由於水中澆灌之緣故，連續壁之混凝土品質受污染之潛能甚高，因此除設計中常將強度折減外，施工中之水泥量及水灰比更特別規定，各國規範中對混凝土大致均規定其最低水泥用量在 390 至 400 公斤 /  $m^3$  以上，水灰比不超過 0.5 至 0.6 或規定混凝土 28 天抗壓強度應在 245 至 280  $kg/cm^2$  以上，表五中所示 PFS 規定每單元連續壁應取至少四組樣品進行抗壓試驗檢定品質。

表五 混凝土澆灌標準比較 \*

規 範	內 容
USA	1 混凝土強度採用 ACI 標準。 2 坍度 180 mm ~ 230 mm。 3 最大粗骨材應能通過鋼筋間空隙。 4 澆灌混凝土過程中，特密管底端埋置入混凝土內之深度至少為 15 公尺。 5 連續壁單元寬度超過 4.6 公尺時，應採用至少二支特密管澆灌混凝土。 6 澆灌作業應一次完成
FPS	(1) 混凝土之抗壓強度須符合 CP 114 或 CP 110 之規定。 (2) 水泥須符合 BS 12 或 BS 4027 之規定。 (3) 混凝土最小水泥含量不得低於 400 $kg/m^3$ 。 (4) 混凝土之用水水質需符合 BS 3148 之規定。

(接上頁) 表五 混凝土澆灌標準比較\*

規 範	內 容
FPS	(5) 混凝土之水灰比不得超過 0.6。 (6) 骨材必須符合 BS882 之規定，另骨材之貝殼與氯離子之含量亦須符合規定。 (7) 混凝土之坍度值最小為 150 mm，建議坍度值為 175 mm ~ 200 mm。 (8) 使用二支以上的特密管澆灌混凝土時應注意保持其混凝土面之高程相等。 (9) 澆灌混凝土應一次澆灌完成，不可間斷且澆灌時間應予控制在合理範圍內。 (10) 混凝土之溫度應在 5℃ 以上。 (11) 每單元應採至少四組混凝土試體，根據 BS1881 規定進行試驗。
日 本	(1) 混凝土應符合 JASS5 及 JISA 5308 之規定。 (2) 混凝土坍度 180 ± 20 mm。 (3) 水灰比 0.42。 (4) 最少水泥含量 390 kg/m <sup>3</sup> 。 (5) 粗骨材最大尺寸 25mm，最小水泥抗壓強度 280 kg/cm <sup>2</sup> 。 (6) 澆灌混凝土過程，特密管底端埋置入混凝土之深度至少為 2.0 公尺。 (7) 混凝土澆灌不得中斷。
MAA	(1) 混凝土應符合 CNS 3090 預拌混凝土規定。 (2) 水灰比最大為 0.48。 (3) 坍度在 170 mm 至 200 mm 間。 (4) 7 天之標準試程最小抗壓強度為 170 kg/cm <sup>2</sup> ，28 天之標準試柱最小抗壓強度為 245 kg/cm <sup>2</sup> 。 (5) 骨材最大粒徑 20 mm。 (6) 混凝土應一次澆灌完成。 (7) 特密管底部應保持至少 1 公尺之埋置深度。

\* 參考資料來源如表三所列

爲保持順利的澆灌，並避免分離，混凝土坍度大致在 175 mm 左右，而最大骨材大致爲 20 至 25 mm 視連續壁鋼筋之緊密度而異。

水中澆灌混凝土必需採用特密管，特密管必需緊密銜接，必避免與地下泥水混合，監工應切實檢核特密管之緊密度，同時，澆鑄前管中需放入與管徑大小一致之橡皮塞，以保持混凝土與泥水之分隔，橡皮塞以球型爲最理想，澆灌過程中，特密管底端應經常保持埋置於混凝土中，其埋置深度大致爲 1 至 2 公尺，如須上下抽動時，則應埋置 2 公尺，以減少混凝土污染之機會，同時由於混凝土之流動性並不大，因此當連續壁單元寬度超過 4 公尺以上時，均宜採用 2 支以上之特密管澆灌之，以儘可能保持混凝土面之平整，澆灌作業必需一次澆灌完成，不得分隔過久，造成連續壁混凝土分段凝固，因而在澆鑄作業開始前，應連絡好預拌混凝土車之持續時間，以避免中斷作業。

於亞新之規範中特別提及澆灌前對穩定液含砂量及溝底沉澱量之測定，主因在避免溝底之沉積影響牆基之支承力，以及混凝土之品質，但此含砂量及沉積量之標準尙在研究中，仍有待各方面學者專家之研討建議以進一步保證牆體品質與安全。

## 六、穩定液控制

穩定液的控制在全個連續壁工程施工中甚爲重要，除了直接影響了壁面之平整，防止槽溝崩坍外，尙影響了混凝土的品質，同時由於其使用量相當多，間接的亦影響了工程費用的支出，穩定液之控制標準大致上屬規定較完備的一項，只是應配合土質狀況而作適度調整，一般之規定應包含：

- (1) 比重及粘滯度——直接影響槽溝之穩定性及混凝土品質。
- (2) pH 值——影響穩定液之擴散效果及膠凝現象。

(3) 濾過度及泥膜厚——影響穩定液之強度，滲透性及完工後牆體保護層厚度。

(4) 含砂量——影響混凝土品質。

因此如表六中所列舉各國使用標準中均對以上各項予以明確規定，為求進一步控制品質，更應明確管制混凝土澆灌前後之混凝土品質標準，此類檢驗工作及使用設備在工程地點甚易執行，表七列舉在工地進行測定之時機與頻率供監工者參考。

表六 穩定液控制標準比數 \*

規 範	內 容
USA	(1) 穩定液測定之項目至少應包括粘滯度（粘性）、比重、過濾度及 pH 值等試驗。 (2) 最小粘帶（粘性）度為 40 秒（Marsh）。 (3) 最大比重值為 1.04g/ml ~ 1.20g/ml。 (4) 在澆灌混凝土前之含砂量應小於 5%。 (5) 濾過度值一般為 15 ~ 30 cm <sup>2</sup> 。 (6) pH 值應在 6.5 ~ 10.0 之間。 (7) 槽溝開挖過程中穩定液面至少應高出最高地下水水位面 1 至 1.5 公尺以上。
FPS	(1) Bentonite 應符合 Specification No. DFCP4 之規定並應具備其性質說明書。 (2) 穩定液測定之項目包括比重，粘滯度（粘性），剪力強度及 pH 值，在一般土壤狀況下各項試驗結果應符合下列規定：（惟穩定液之作用以能達成槽溝之穩定為原則） (a) 比重（Mud density balance method）：小於 1.10g/ml (b) 粘滯帶（Marsh cone method）：33 ~ 75 sec (c) 剪力強度（Shearometer method）：1.4 ~ 10 N/m <sup>2</sup> (10min gel strength) (d) PH (PH indicator paper) : 9.5 ~ 12.0

(接上頁) 表六 穩定液控制標準比數\*

規 範	內 容
FPS	(3)穩定液之液面高程應高於地下水位面之高程。 (4)灌注混凝土前應抽取接近槽溝底面之穩定液以檢查其性質是否符合標準。
日 本	(1)比重 1.02 ~ 1.15。 (2)粘滯度 20 ~ 50 視土壤情況而異。 (3)pH 值 7.0 ~ 11.0。 (4)含砂量 5 % 以下。 (5)濾水量 20 cc 以下。
MAA	(1)必需用清水調配。 (2)分離度應保持在 5 % 以內。 (3)穩定液灌入槽溝內 6 小時後，液面下降應保持在 20 公分以內。 (4)比重 1.02 至 1.10。 (5)粘滯度有地下水時 23 至 65 秒，無地下水時 21 至 45 秒 (6)濾過度 25cc 以下，泥膜厚度小於 2mm。 (7)pH 值 8.5 至 11.7。 (8)含砂量 7 % 以下。

\* 參考資料如表三所列

表七 穩定液測定頻率

項 目	時 間 及 次 數
比 重	鑽掘前後，下雨後混凝土澆灌前
粘滯度	每日測定情況如前
濾過度	至少每三日一次
pH 值	混凝土澆灌前後
含砂量	每日測定

測定時通常取槽溝中之泥漿泥，直接檢驗，但需注意者由於自然沉積作用，連續壁槽溝內深度不同處之穩定液品質可能亦異，因此宜利用水中取樣器取不等深度之樣品檢定之，以更有效控制穩定液品質，穩定液可利用 CMC 及 FCL 等增粘劑或擴散劑改善其品質，此類添加劑之使用在許多參考書籍中（藤井清光等，1975，Boyes, 1975）均已論及，不另贅言。

## 七、結論

地下連續壁之施工，除在機具上應事先就其性能上作適當選擇外，其品質端賴工地之控制，本文謹比較各國之規範以供讀者參考，必須說明者，地下連續壁工程之發展日新月異，尤其在穩定液之控制標準需配合地質條件調整，仍有賴施工者與學者專家之研究以改進之。

## ハ 參考資料

1. 林耀煌，（1983），高層建築基礎開挖施工法與設計實例，長松出版社。
2. 歐晉德，（1983），“地下連續壁之設計基本理論及其規範”，深開挖與土壤改良講習會，台灣大學與營建中心。
3. 游坤，（1983）“地下連續壁工程設計準則與施工規範比較”地工技術雜誌第4期。
4. 蔡朝元，（1983），“ELSE-KELLY工法介紹”，地工技術雜誌第四期。
5. 藤井清光、植田進之、堀井陽三、森 喬，（1975），地下連續壁工法の理論と實際，日本山海堂。
6. 日本建設機械化協會編，（1975），地下連續壁工法設計施工ハンドブック，日本技報堂。
7. Boyes, R. G. H. (1975), Structural and Cut-off Diaphragm Walls, Applied Science Publishers Ltd. London.
8. Institution of Civil Engineers, (1977), "A Review of Diaphragm Walls, ICE, London.
9. Federation of Piling Specilists, (1973), "Specification for Cast in Place Concrete Diaphragm Walling", Ground Engineering Vol. 6, No. 4.
10. Millet, R. A. and Perez, J. (1981), "Current USA

Practice-Slurry Wall Specification", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE. Vol. 107, No. GT. 8 .

11. Ou, C. D. (1982), "Underground Diaphragm Wall Construction by BW Technique for Supporting High Rise Building", Proc. of Conference on Diaphragm Walling Techniques, Singapore.
12. Xanthakos, P. (1979), Slurry Wall, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N. Y.

壓實砂樁改良地質案例探討  
SOIL IMPROVEMENT BY COMPACTION  
SAND PILES - CASE STUDY

歐晉德，副總經理

余偉光，工程師

林永光，工程師

亞新工程顧問股份有限公司

C.D. Ou, Senior Vice President

J. YIE, Engineer

Y.K. LIN, Engineer

Moh and Associates, Inc.

Taipei

原載於地工技術雜誌第 8 期，

73 年 10 月，第 37-43 頁

*Reprinted from*  
*Sino-Geotechnics, No. 8*  
*Oct. 1984, pp. 37-43*