

工程品質保證計劃及程序

地下連續牆工程

一、通則及適用範圍

本章內容適用於建築及土木工程相關之鋼筋混凝土連續牆的施工和材料等之品質管理工作。連續牆常用於地下開挖，作臨時的擋土結構，防止外側的土壤崩坍及和基坑周邊地下水的滲入，維護新建工地的施工安全及確保鄰近樓房及設施的結構安全；同時，亦可作為永久地基及地庫結構；永久結構也分為承重(load-bearing)和非承重(non-load bearing)結構。

連續牆於現場之品質保證有下列幾方面的基本要求：

- ✓ 材料品質（混凝土、鋼筋籠）檢驗的要求；
- ✓ 連續牆施工時護壁泥漿制備及成槽後清基的檢測；
- ✓ 導牆允許的偏差，如寬度、垂直度、平整度、平面位置及頂面標高；
- ✓ 成槽允許的偏差，如槽段深度、位置、牆厚、垂直度及沉渣厚度等；
- ✓ 連續牆牆體完整性的檢驗，包括超聲波檢驗法(CSL)和鑽取芯樣檢驗等；
- ✓ 連續牆與持力層接觸狀況和沉渣厚度。

上述基本要求均需要滿足設計與相關標準、法規條款。

二、工程品質保證文件之要求

地下連續牆工程於各施工階段，需提交下列文件作審閱或記錄存檔：

工程施工前

- ✓ 工地地質勘察報告及相關土壤/岩石測試安排計劃；
- ✓ 鄰近建築物狀況記錄及保護措施，包括安全監測（如水壓、位移及沉降變化）及環境保護的計劃；
- ✓ 施工設備資料，包括成槽機械(如旋轉切削多頭鑽、導板抓斗、沖擊鑽等)及其他一切施工機具之規格；
- ✓ 施工計劃，內容需包括連續牆施工材料的運輸、儲存、場地佈置與規劃、機具設備、施工步驟、品質管理、地下水控制、工地安全和緊急應變措施等；
- ✓ 應用材料的詳細技術資料及相關檢驗報告，包括混凝土材料、鋼筋材料、灌漿材料、護壁泥

漿等，對上述混凝土材料和鋼筋材料的技術資料要求，可詳閱鋼筋混凝土工程的品質保證計劃及程序(編號：S-01)；

- ✓ 連續牆整體的檢測計劃，須包括於工地現場進行驗收作業之獨立(第三方)檢查及試驗機構資料。

工程施工階段或竣工驗收時

- ✓ 連續牆材料的試驗記錄和報告；
- ✓ 工地現場施工記錄，包括：
 - 成槽機械型號及附屬設備；
 - 連續牆的編號、坐標位置、寬度及深度；
 - 實際土層與地下水之描述及土方量、清除淤泥量等；
 - 泥漿製作材料、配比、來源、數量等；
 - 成槽時水泥漿標高高度；
 - 新拌及澆灌混凝土前之泥漿品質記錄，如密度、失水量、Marsh 數值、酸鹼度、含砂量和泥皮厚度；
 - 施工過程中發生之特殊狀況，包括鋼筋籠吊放與混凝土澆置；
 - 混凝土澆注記錄、其應包括灌注時間、位置、特密管深度、混凝土體積、混凝土頂面平均上升高度及混凝土澆置曲線圖等；
 - 連續牆更改/補強位置和尺寸(厚度和深度)；
 - 連續牆的偏度記錄(水平、垂直變位與傾斜度)等。
- ✓ 現場檢測報告(包括鋼材續接位置焊縫外觀質量、焊縫探傷檢測報告，成槽的檢測報告和連續牆完整性的檢測報告等)；
- ✓ 連續牆的竣工平面圖。

三、檢查、測試及驗收工作

地下連續牆工程的檢查工作可歸納於下表：

連續牆工程檢查項目表								
檢查項目	位置偏差			施工控制	材料控制	檢查頻率	標準要求	備註
	水平	高程	傾斜度					
基準點控制	✓	✓		✓		全數檢查	a, b, c, d	
基坑及鄰房之安全監測 ¹	✓	✓	✓	✓		如有需要 ^①	a, b, c, d	
材料標識/批號、級別					✓	全數檢查	c, e	
外觀質量					✓	全數檢查	c	
規格尺寸					✓	全數檢查	c, e	
材料之存放及運輸					✓	全數檢查	c, e	
設備檢查 ²				✓		施工前	-	
施工精度控制 ³	✓	✓	✓	✓		全數檢查	c, f	
導牆檢查 ⁴	✓	✓	✓	✓		全數檢查	c, g	
成槽檢查 ⁵	✓	✓	✓	✓		全數檢查 ^②	c, h, i	
槽底之清除和檢查 ⁶				✓		全數檢查	c, f, h, i	
鋼筋籠製作、吊放及接續				✓		全數檢查	c, d	
混凝土澆注 ⁷				✓		全數檢查	c, g	
連續牆頂部處理				✓		全數檢查	a, b, c	
環境保護 ⁸				✓		如有需要 ^①	c	

註： 檢查項目

1 - 基坑及鄰房之安全監測

於施工開挖過程中應針對基地四周鄰房建物、地表和基坑部份，透過周邊建築物沉降、周邊建築物傾斜、地表沉降、圍護結構最大位移、支撐軸力、土壓力、支撐立柱沉降和基坑底部隆起等監測項目，以了解因工地施工開挖對鄰房結構和基坑變形的影響，進而研判鄰房建築物和基坑的安全性，可詳閱「土工安全監測的品質保證計劃及程序」。當工程的承攬規則或設計有判定指標時，應以相關要求為依據；如無相關指標依據時，可按 DBJ/T 15-20[14]中基坑變形的要求進行監控。

2 - 設備檢查

一般包括成槽機械、沖錘及其他一切施工機具和設備。

3 - 施工精度控制

施工精度能影響基礎的承載功能、支護系統的受力情況和建築設計的使用，故施工精度應控制在規定的容許範圍內；當工程的承攬規則或設計有判定指標時，應以相關要求為依據；如無相關指標依據時，可按 GB50202[4]

中的要求，施工精度的容許誤差可歸納如下：

- 垂直度：永久結構 $\leq 1/300$
臨時結構 $\leq 1/200$
- 槽深 $+100\text{mm}$
- 地下牆表面平整度：永久結構 $\pm 100\text{mm}$
臨時結構 $\pm 150\text{mm}$
插入式結構 $\pm 20\text{mm}$

4 - 導牆檢查

導牆的設置為準確標示地下連續牆體平面位置和作為高程測量的基準，予此為成槽機械和灌注混凝土機架導向及儲存泥漿並穩定槽內液面；當工程的承攬規則或設計有判定指標時，應以相關要求為依據；如無相關指標依據時，可按 DG/TJ08-2073[5] 中的要求，導牆允許偏差如下：

- 寬度 $\pm 10\text{mm}$
- 垂直度 $H/500$ ，且 $\leq 5\text{mm}$ (H 為導牆的深度)
- 平整度 $\leq 5\text{mm}$
- 平面位置 $\pm 10\text{mm}$
- 頂面標高 $\pm 20\text{mm}$

5 - 成槽檢查

槽段成槽過程中，抽檢泥漿性能指標，以免孔壁土壤崩坍。混凝土澆注前需以測壁儀進行最終的檢測，以確定壁體尺寸及沒有發生崩坍的情形；同時成槽後，應對於相鄰段混凝土的端面進行清刷，刷壁應到底部，且清刷至刷壁上無泥。

對於泥漿性能指標，當工程的承攬規則或設計有判定指標時，應以相關要求為依據；如無相關指標依據時，可按 EN 1538[13] 中的要求，應符合如下表規定：

項目	單位	新拌制泥漿性能指標	再用泥漿性能指標	混凝土澆注前漿性能指標
密度	g/cm^3	<1.10	<1.25	<1.15
Marsh 數值	sec	32 - 50	32 - 60	32 - 50
失水量	cm^3	<30	<50	-
pH 值		7 - 11	7 - 12	-
含砂率	%	--	--	<4
泥皮厚度	mm	<3	<6	-

對每單元連續牆於混凝土澆注前應進行上述之泥漿性能指標檢測測試，相關測試需採用合適的取樣器將泥漿從槽底取出，其測試方式宜依據 American Petroleum Institute Recommended Practice 13B-1[7]。

6 - 孔底清除和檢查

成槽至預定的深度後，須徹底進行清孔的工作，排除孔底的淤泥和雜物；若預定設計基礎須要嵌入岩層內，相關的槽段於混凝土澆注前需進行入岩深度檢查，以保證其深度符合設計之要求。另外，於岩面及牆體基礎底部，需收集岩石樣本，進行外觀檢驗和核定岩石質量。

7 - 混凝土澆注

連續牆在進行混凝土澆注時，應採取有效的施工工藝，以確保混凝土質量；當工程的承攬規則或設計有判定指標時，應以相關要求為依據；如無相關指標依據時，可按 DG/TJ08-2073[5] 中的要求，應符合下列規定：

- 導管水平布置距離不應大於 3m ，距槽段兩側端部不應大於 1.5m ；
- 混凝土初灌後，混凝土中導管埋深度應大於 500mm ；
- 混凝土澆築應均勻連續，間隔時間不宜超過 30min ；
- 槽內混凝土面上升速度不宜小於 3m/h ；導管混凝土埋入混凝土深度為 2m 至 4m ，相鄰兩導管間混凝土高差應小於 0.5m 。

澆注混凝土時應確實填寫混凝土澆注記錄資料，其包括灌注時間、位置、特密管深度、混凝土體積及混凝土頂面平均上升高度等，同時，以其相對深度所對應的累積混凝土澆置量，制作混凝土澆置曲線圖，以評定施工時的品質狀況及了解可能產生瑕疵情形。

8 - 環境保護

連續牆施工應慎選相關的機具設備，以使噪音與振動值能符合本地法規之規定。

檢查頻率

- ① - 當工程的設計或施工要求須特定考慮該項測試或監測結果作為工程的指標；或該項測試結果/參數對該工程的施工或質量有著重要的影響時，須加以考慮進行。

- ② - 成槽時需要之泥漿主要是利用泥漿高出地下水壓之壓力差，使其滲入開挖壁之空隙並形成薄膜，以維護開挖壁之穩定，因此每幅槽段於施工期間對泥漿的使用應分三階段進行控制，即泥漿新製作階段、鑽掘階段和澆灌混凝土前等部份。

標準要求

- a - 地工技術規章 [1]
- b - 基礎設計指引 [2]
- c - 專案工程技術規格/承攬規則
- d - General Specification for Civil Engineering Works [3]
- e - 生產商成品技術規格
- f - GB 50202 建築地基基礎工程施工質量驗收規範 [4]
- g - DG/TJ08- 2073 地下連續牆施工規程 [5]
- h - American Petroleum Institute Recommended Practice 13B-1 [7]
- i - EN 1538 Execution of Special Geotechnical Work – Diaphragm Wall [13]

連續牆工程的測試及驗收工作可歸納於下表：

連續牆工程試驗項目表									
檢測方法	檢測項目	地質調查	牆體材料	牆體完整性	牆體承載力	建議檢測頻率	標準要求	合格準則	備註
地質鑽探		✓				如有需要 ^①	a, b, c, e	-	
續牆應用材料	鋼筋材料的測試 ¹		✓			-	c	-	
	混凝土材料的測試 ²		✓			-	c	-	
	灌漿材料的測試 ³		✓			每次灌注時	c ASTM C939 [6]	-	
	型鋼材料的測試 ⁴		✓			如有需要	c	-	
岩層/持力層之檢定(超前鑽) ⁵					✓	承重(load-bearing)：每一單元/每 4m 非承重(non-load bearing)：每 10m	c, d, f, g		i
成槽超聲波檢驗 ⁶				✓		永久結構：每一單元(每單元兩點) 臨時結構：20%(每單元兩點)	c, h		-
牆身混凝土超聲波完整性檢驗 (CSL) ⁷				✓		承重(load-bearing)：每一單元 非承重(non-load bearing)：10%	c, d ASTM D6760 [8]		-
混凝土與岩層介面之檢測 ⁸					✓	每一單元	g		-
混凝土鑽孔取芯及芯樣抗壓強度測試 ⁹				✓		5%	c, d EN 12504-1 [9]		ii 最少 2 個單元

註： 檢測方法

- 1 - 鋼筋材料的測試
一般包括幾何尺寸及重量檢驗、拉伸性能測試及鋼筋拼接的測試等，可參閱鋼筋混凝土工程的品質保證計劃及程序。
- 2 - 混凝土材料的測試
一般包括混凝土試拌分析、坍落度測試、立方試體抗壓強度測試及鑽孔取心測試等，可參閱鋼筋混凝土工程的品質保證計劃及程序。
- 3 - 灌漿材料的測試
一般包括漿液試拌分析、灌漿材料強度測試(Grout-Crushing Strength)及灌漿材料流動性試驗(Flow Cone Efflux Time)等，水泥漿體應製作 100mm 之立方試件進行抗壓強度測試 (每組試體應由九個試件所組成，以進行三天、七天及二十八天之強度測試)。
- 4 - 型鋼材料的測試
採用型鋼材料之連續牆接口，材質應具有足夠強度及剛度，其應依參有關設計規定。

5 - 連續牆岩層/持力層之檢定(超前鑽)

當預定設計的深度須要支承在岩層上或嵌入岩層內，為了確保連續牆底部以下約 5m 深度不存在軟弱土層，可採用下列方式對相關的基礎底部進行檢定的工作：

- a. 於混凝土澆注前/後進行岩石鑽孔試驗，檢測方法主要以直徑不少於 60mm 的鑽孔取芯的形式，按照承攬規則和設計圖則的要求，利用鑽取的樣芯進行相關的試驗，包括 TCR/RQD 檢定、外觀檢查及樣芯抗壓試驗等，用以確定基礎底部 5m 深度內不存在軟弱土層；
- b. 在工程進行前，於連續牆的位置採用上述 a 項的方式進行地質超前鑽(pre-drilling)工作，以確定連續牆底岩層/持力層的位置；當專案工程技術規格沒有提及超前鑽數量時，對於承重(load-bearing)連續牆，沿連續牆宜以 4 m 之間距或對每一單元佈置一超前鑽孔，而對於非承重(non-load bearing)連續牆，宜以 10 m 之間距進行超前鑽佈置。
- c. 當鄰近基礎位置有充足的地質鑽探資料時，可利用該地質資料來研判基礎岩層/持力層的位置；
- d. 除了須按上述 a 項的方式作岩層/持力層連續性檢定外，在足夠的地質鑽探資料支持下，可於施工過程中收集每單元連續牆的碎石粉樣本，並根據 Guide to Rock and Soil Descriptions [10]之岩石樣本描述進行評定。

6 - 成槽超聲波檢測

可採用 Korden Test 超聲波測試，通過超聲波發射和接受之間的時間差，自動計算孔壁與深測頭的距離，了解孔形輪廓，確保牆厚及垂直度滿足要求。

7 - 牆身混凝土超聲波完整性檢驗(樁身埋設聲測管超聲波試驗, Cross-hole Sonic Logging Test, CSL)

利用超聲波檢測設備(超聲波檢測儀、發射換能器/發射探頭、接收換能器/接收探頭等)，透過預埋於混凝土連續牆內的聲測管，可判斷牆體內本身混凝土的完整性和質量。

在下放鋼筋籠之前應將聲測管焊接或綁扎在鋼筋籠內側，每節測管在鋼筋籠上固定點間距離不可超過 1.0m，聲測管之間應在全長範圍內都互相平行，並需延伸出地面 1.5m 的範圍，以便試驗之進行。

一般建議可採用內徑不少於 42mm 及厚度不少於 2.5mm 以上的鋼管，聲測管之續接建議使用機械連方式。

聲測管的埋設數目根據連續牆長度確定，每一對聲測管組成一個檢測面，當連續牆長度少於 3m 時，應埋設三根聲測管，可組成三個檢測面；連續牆長度大於 5.6m 時，應埋設至少六根聲測管，可組成九個檢測面。

對於非承重連續牆，有關需預埋聲測管的單元數量，一般需由設計單位定訂，如無相關規定依據時，建議先選取連續牆單元總數量之 30%預埋聲測管，完成混凝土灌注工作後，再從當中選取樣本進行超聲波完整性檢驗。

8 - 混凝土與岩層介面之檢測

利用鑽機進行機械式鑽孔取芯，以檢測混凝土與岩層之間是否存在有沉渣；鑽孔取芯的深度應進入連續牆底持力層/岩層至少 1m 或以上。

一般建議可採用直徑不少於 150mm 的鑄鐵管或鋼管，預埋管之埋設深度放至樁底以上 1m 便可，預留管之續接方式建議使用機械連接方式進行，而所鑽取的芯樣尺寸應不小於 60mm。

當驗收測試完成後，鑽孔內需以已獲批核之無收縮回填材料進行全面灌漿。

9 - 混凝土鑽孔取芯及芯樣抗壓強度測試

利用鑽機進行機械式鑽孔取芯，以檢測連續牆牆體的完整性及混凝土的強度。鑽孔取芯的深度應進入連續牆底持力層/岩層至少 1m 或以上。

鑽取芯樣直徑必需至少為混凝土最大骨料直徑的 3 倍，一般應至少為 70mm [15]；

當驗收測試完成後，鑽孔內需以已獲批核之無收縮回填材料進行全面灌漿。

建議檢測頻率

- ① - 當工程的設計或施工要求須以此鑽探數據作為施工之對照依據，則應考慮進行。而鑽孔深度方面，除非在較淺的地方發現堅固岩體或堅硬之土體，否則其深度應最小至基礎底部 5m 或以上。

標準要求

- a - 土工技術規章 [1]
- b - 基礎設計指引 [2]
- c - 專案工程技術規格/承攬規則
- d - General Specification For Civil Engineering Works [3]
- e - Guide to Site Investigation [10]
- f - Foundation Design and Construction [11]
- g - Code of Practice for Foundation [12]
- h - DG/TJ08- 2073 地下連續牆施工規程 [5]

合格準則

- i – 當測試結果不能滿足法規或技術規格要求時，牆體之深度必須增加，直至到達滿足準則要求的持力層/岩層。
- ii – 當測試結果不能滿足法規或相關技術規格的要求時，建議另外選取兩個鄰近的位置進行覆試，對於不能滿足要求之連續牆，需提交補救措施/方案，並進行適當的補強工作。

四、引用法規/參考技術文件

- [1] 法令第 47/96/M 號, 地工技術規章, 澳門政府
- [2] 基礎設計指引, 土地工務運輸司, 澳門政府
- [3] General Specification for Civil Engineering Works, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [4] GB 50202, 建築地基基礎工程施工質量驗收規範
- [5] DG/TJ08-2073, 地下連續牆施工規程
- [6] ASTM C939, Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)
- [7] API RP 13B-1, Recommended Practice for Field Testing Water-based Drilling Fluids, American Petroleum Institute, United State of America
- [8] ASTM D6760, Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing
- [9] EN 12504-1, Testing Concrete in Structures - Cored Specimens - Taking, Examining and Testing in Compression
- [10] GEOGUIDE 2, Guide to Site Investigation, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [11] GEO Publication No. 1/2006, Foundation Design and Construction, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [12] Code of Practice for Foundations, Buildings Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [13] EN 1538, Execution of Special of Geotechnical Work – Diaphragm Wall
- [14] DBJ/T 15-20, 建築基坑工程技術規程
- [15] JGJ 106, 建築基樁檢測技術規範