

工程品質保證計劃及程序

現場灌注樁工程

一、通則及適用範圍

本章內容適用於工程現場灌注樁基礎的施工和材料等之品質管理工作。灌注樁大體可分為沉管灌注樁、鑽孔灌注樁和沖孔灌注樁等，本章主要針對常用的鑽孔灌注樁(Bored Piles)作詳細說明，鑽孔灌注樁主要是以鑽挖機具依設計孔徑鑽挖樁孔至預定深度後，吊放鋼材、安裝特密管、澆置混凝土或無收縮水泥漿至設計高程而成。按地質條件的須要，可選用套管或穩定液保護孔壁，因應不同的施工方式和所使用的樁體材料，其品質保證計劃及程序亦有所不同。

現場灌注樁之品質保證有下列幾方面的基本要求：

- ✓ 樁體材料品質檢驗的要求；
- ✓ 施工精度之要求，包括樁中心偏移(水平精度)與傾斜(垂直精度)兩方面；
- ✓ 按現場灌注樁型式，須對樁體之完整性及其承載力的檢驗，包括超聲波檢驗法(CSL)、鑽孔取芯測試(包括混凝土鑽孔取芯測試及接觸面鑽孔取芯測試)、動力荷載試驗(DLT)和靜壓荷載試驗(SLT)等。

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

現場灌注樁工程於各施工階段，需提交下列文件作審閱或記錄存檔：

工程施工前

- ✓ 工地之地質鑽探報告；
- ✓ 鄰房鑑定及保護措施，包括安全監測計劃；
- ✓ 施工設備資料，包括樁孔鑽挖機、套管打拔機及其他一切施工機具之規格；
- ✓ 施工計劃，內容需包括灌注樁施工材料的運輸、儲存、場地佈置與規劃、機具設備、施工步驟、品質管理與施工控制、地工安全和緊急應變措施等；
- ✓ 樁體材料的詳細技術資料及相關檢驗報告，包括混凝土材料、鋼筋及連接器材料、穩定液等，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；

- ✓ 現場灌注樁整體的檢測計劃，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

- ✓ 樁體材料的試驗記錄和報告；
- ✓ 工地現場施工記錄，包括：
 - 鑽挖機型式及附屬設備；
 - 基樁平面位置及編號；
 - 套管長度、打入及拔出情形；
 - 實際土層與地下水之描述等；
 - 穩定液製作材料及配比等；
 - 新拌及灌注混凝土前之穩定液品管記錄，如比重、含砂量、黏滯性、酸鹼度等；
 - 混凝土澆置量、特密管管徑及長度等；
 - 補樁位置、樁徑、樁長及樁數；
 - 樁頭變位記錄(水平、垂直變位與傾斜度)等；
- ✓ 基樁現場檢測報告(包括用作套管續接位置焊縫外觀質量、焊縫探傷檢測報告、樁體之完整性及其承載力的檢測報告等)；
- ✓ 基樁的竣工平面圖。

三、檢查、測試及驗收工作

現場灌注樁工程的檢查工作可歸納於下表：

現場灌注樁工程檢查項目表									
檢查項目	檢查目的	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	
工地及鄰房之安全監測 ¹					✓		如有需要 ^①	a, b, c	
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	a, b, c, d	
打入、拔出套管 ⁴					✓		全數檢查	c	
套管續接 ⁵					✓		全數檢查	c	
鑽挖樁孔作業 ⁶					✓		全數檢查	a, b, c	
穩定液材料的測試 ⁷					✓		每批及每樁孔 ^②	f	
孔底之清除和檢查 ⁸					✓		全數檢查	c, d	
鋼筋籠製作、吊放及接續					✓		全數檢查	c, d	
混凝土材料澆注 ⁹					✓		全數檢查	c, d	
樁頭處理					✓		全數檢查	a, b, c	

註： 檢查項目

1 - 工地及鄰房之安全監測

於施工過程中可針對基地四周鄰房建物，透過裝設沉降觀測釘、建物傾斜計、裂縫計及質點速度峰值量測儀(地震儀)等，以了解因工地施工機具振動對鄰房結構的影響，進而研判建築物的安全性，可詳閱「土工安全監測的品質保證計劃及程序」。

2 - 設備檢查

一般包括樁孔鑽挖機、套管打拔機及其他一切施工機具和設備。

3 - 施工精度控制

施工精度能影響基樁之承載功能、建物基礎之荷重偏心、套管續接效果之損失，故施工精度應控制在規定的容許範圍內。施工精度的容許誤差必需符合專案工程技術規格/承攬規則的要求，並至少按澳門基礎設計指引[1]第 5.7.3 項的要求，該施工精度的容許誤差可歸納如下：

- 垂直偏差為 1/75 (陸地樁)、1/25 (海上樁)；
- 斜樁相對於設計斜度之偏差為 1/25；

- 相對於指定切斷高程之偏差為 25mm。
- 4 - 打入、拔出套管
套管一般可分為樁頂保護之短套管及整體樁身保護之全套管二類，套管應平滑圓直，表面刻標尺，可讀取套管深度。於打入套管時，不得損及鄰近已完成之基樁、結構物，若套管需分段打設，其接合處須堅固密合，以防止地下水或其他雜物侵入管內。在拔出套管時，套管應隨同混凝土澆置面之升高，於已打設之混凝土尚未初凝前緩慢提昇，避免在拔管時發生帶動鋼筋籠的現象。
- 5 - 套管續接
當樁體須以套管作保護進行施工並以焊接法進行套管續接時，有關焊接工藝的檢查項目可詳閱鋼結構工程的品質保證計劃及程序。
- 6 - 鑽挖樁孔
基樁鑽掘前應依施工機具之特性，制訂鑽挖過程鑽孔精度之校正方式，以能保持鑽孔精度在容許範圍內。基樁鑽挖至預定深度後，應檢核孔壁狀況、深度及垂直精度，如發現與設計要求不符時，應立即進行補救或修正措施。於鑽孔作業中，一般以套管或穩定液作為孔壁穩定的方式，若以穩定液保護孔壁，穩定液之液面高度應以能確保孔壁不致崩坍為目的。
- 7 - 穩定液材料的測試
一般包括穩定液材料特性包括密度(Density)、Marsh 數值(Marsh Value)、酸鹼度(pH)及含沙量(Sand Content)的測定。對每根樁於澆灌混凝土前應以合適的取樣器將穩定液從樁孔底部取出，以進行穩定液試驗。
- 8 - 孔底清除和檢查
基樁鑽挖至預定的深度後，須徹底進行清孔的工作，排除孔底的淤泥和雜物；若預定設計的深度須要嵌入岩層內，相關的基樁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。
- 9 - 混凝土材料澆注
現場灌注樁在進行混凝土或水泥漿澆注前，先利用特密管吸除孔底的淤泥和雜物，然後隨混凝土面之升高，特密管必須維持埋於混凝土中至少 1 m 以上，澆注作業須連續進行不可間斷。此外混凝土應澆注至較基礎面高出至少 1 m 或至設計所示的高度，於開挖後再將高出部份之劣質混凝土鑿除。

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 - 對於穩定液之全新、再用及灌注混凝土前之特性要求，應參照專案工程技術規格或承攬規則，如設計沒有指定時，則須符合規範 EN 1536 [10]中之要求。

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 - EN 1536 [10]

現場灌注樁工程的測試及驗收工作可歸納於下表：

現場灌注樁工程試驗項目表									
檢測方法 \ 檢測項目		地質調查	樁體材料	基樁完整性	基樁承載力	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, d	-	
現場灌注樁樁體材料	鋼筋材料的測試 ¹		✓			每批	c	-	
	鋼筋連接器材料的測試 ¹		✓			每批	c		
	混凝土材料的測試 ¹ (超前鑽)		✓			每批	c	-	
岩層/持力層之檢定(超前鑽) ²					✓	100%	c, e, f, g, h	i	
穩定液材料的測試 ³			✓			每次全新製作時、使用中及澆灌混凝土前 ^②	c, j EN 1536 [10]	-	
樁孔超聲波檢驗 (Koden Test) ⁴				✓		100% ^③	c, g	-	
超聲波透射法測試 (CSL) ⁵				✓		100%	a, b, c ASTM D6760 [13]	-	
混凝土鑽孔取芯測試 ⁶				✓		5%	a, b, c EN 12504-1 [14]	ii, iii	
接觸面鑽孔取芯測試 ⁷				✓		100%	a, b, c	-	
動力荷載試驗 (DLT) ⁸ 樁身完整性測試				✓		如有需要 ^④	a, b, c ASTM D4945 [15]	ii	
動力荷載試驗 (DLT) ⁹ 包括承載力分析					✓	如有需要 ^⑤	a, b, c ASTM D4945 [15]	ii	
靜力荷載試驗 (SLT) ¹⁰ (包括豎向拉力、壓力和橫向荷載試驗)					✓	至少 1% ^⑥	a, b, c ASTM D1143 [16] ASTM D3689 [17] ASTM D3966 [18]	ii	

註： 檢測方法

1 - 鋼筋、鋼筋連接器及混凝土材料的測試

鋼筋及混凝土材料的測試可參閱鋼筋混凝土工程的品質保證計劃及程序。

2 - 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，為了確保預定樁底標高以下至少 5m 內不存在軟弱土層 [6]，可採用下列方式對相關的基樁進行檢定的工作：

a. 在基樁工程進行前，於樁孔的位置進行地質預鑽探(Pre-Drilling)工作，以確定岩層/持力層的位置，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，利用鑽取的岩石芯樣進行相關的試驗，包括連續性檢定、外觀檢查及岩石芯樣強度試驗等，用以確定預定樁底標高以下至少 5m 內不存在軟弱土層[6]。

- b. 對於端承樁或摩擦端承樁之持力層處於砂層或礫石層時，若設計參數受持力層土體特性控制，可進行相關現場地質檢定或收集地質樣本進行試驗，例如採用 SPT 試驗等，以了解相關土層參數是否符合設計之要求[6]。
 - c. 樁徑小於或等於 2.5m，每支樁佈置 1 個超前鑽孔；樁徑大於 2.5m，每支樁佈置 2 個超前鑽孔[4]。
 - d. 超前鑽孔進行驗收及報告編撰的獨立第三方單位必須為澳門獲得廣泛認可及從事地工勘察經驗豐富的單位，超前鑽驗收記錄及報告必須由該獨立第三方單位的符合資格的土木工程師/岩土工程師簽署。
- 3 - 穩定液材料的測試
一般包括穩定液材料特性包括密度(Density)、Marsh 數值(Marsh Value)、失水量(Fluid Loss)、酸鹼度(pH)及含沙量(Sand Content)的測定。對每根樁於澆灌混凝土前應以合適的取樣器將穩定液從樁孔底部取出，以進行穩定液試驗。
- 4 - 樁孔超聲波檢驗 (Koden Test)
為核實樁身及放大底的垂直度及尺寸，應利用超音波測壁儀進行樁壁平整度之檢驗(Koden Test)，按實際的情況進行改善補救措施，此外於混凝土澆注前亦須利用超音波檢驗進行最終的檢測，以確定壁體沒有發生崩塌的情形。
- 5 - 超聲波透射法測試 (預埋聲測管超聲波試驗, 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)，透過預埋於混凝土樁身內的聲測管，用於判斷沉箱樁身混凝土的完整性和質量；
在下放鋼筋籠之前應將聲測管綁扎在鋼筋籠內側，每節聲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及保持垂直，並盡可能延伸出混凝土及地面 1.5m，以便試驗之進行；
一般建議可採用內徑為 50~60mm 的鑄鐵管或鋼管，聲測管之續接方式建議使用機械連接方式進行；
聲測管的埋設數目一般需由設計單位定明，若設計單位沒有定明，建議可根據樁徑大小而定，每一對聲測管組成一個檢測面，當樁徑為 0.75~0.9m 時，至少應埋設三根聲測管，可組成三個檢測面；當樁徑大於 0.9m 時，至少應埋設四根聲測管，可組成六個檢測面；
若檢驗結果評定為進需一步檢驗時，需對該樁額外進行混凝土鑽孔取芯測試或補修。
當驗收測試完成後，聲測管內需以已獲批核之無收縮回填材料進行全面灌漿。
- 6 - 混凝土鑽孔取芯測試
利用鑽機進行機械式鑽孔取芯，以檢測樁身混凝土的完整性及混凝土的強度是否符合設計的要求，鑽孔取芯的深度應為樁身長及鑽入嵌岩段持力層/岩層，鑽取岩層長度應為樁直徑的一半或 1m(選取較大者)；
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 [24]；
對於樁身混凝土芯樣抗壓強度測試之取樣，當樁長小於 10m 時，建議可選取 2 組(每組三個芯樣)；當樁長為 10~30m 時，建議可選取 3 組(每組三個芯樣)；當樁長大於 30m 時，建議可選取不少於 4 組(每組三個芯樣)作混凝土抗壓強度測試；
上部芯樣取樣位置距樁頂設計標高不宜大於 1 倍樁徑或 2m，下部芯樣取樣位置距樁底不宜大於 1 倍樁徑或 2m，中間芯樣宜等間距取樣；
當同一基樁的鑽孔數大於 1 個，其中一孔在某深度存在缺陷時，應在其他孔的相同深度位置抽取芯樣進行混凝土抗壓試驗；
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。
- 7 - 接觸面鑽孔取芯測試
利用預埋樁身之鑄鐵管或鋼管，以鑽機進行機械式鑽孔取芯，以檢測樁底以上 1m 混凝土與岩層交接面的完整性，鑽取岩層長度應為樁直徑的一半或 1m(選取較大者)；
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，預埋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。
- 8 - 動力荷載試驗 (樁身完整性測試)
對於樁徑較小的鑽孔樁，如無法進行超聲波透射法測試或混凝土鑽孔取芯測試時，可考慮使用動力荷載試驗(DLT)作取代。屬於樁的動力量測和分析方法，主要通過安裝在樁側頂部的加速度和應變計分別測出樁頂處的

振動速度和力(或應力)隨時間的變化曲線,從而判斷樁的質量。其原理乃利用敲擊而產生音波,當音波在傳遞時遇到不均質而形成反射波時,依據其波形及位置研判樁之完整性,屬於一種非破壞性的檢驗。對於以永久套管作護壁進行鑽掘的基樁,並不適合使用此試驗方法。

9 - 動力荷載試驗 (包括承載力分析)

屬於樁的動力量測和分析方法,主要通過安裝在樁側頂部的加速度和應變計分別測出樁頂處的振動速度和力(或應力)隨時間的變化曲線,從而分析得出樁的靜承載力。此檢測設備主要由錘擊設備和量測儀器兩部份所組成。其中錘擊設備需選擇適當的錘重,保證在錘擊時,使樁產生足夠的貫入度,樁側阻力和樁端阻力才能得到充分發揮,從而得到動阻力和樁的極限承載力。對於以永久套管作護壁進行鑽掘的基樁,並不適合使用此試驗方法。

10 - 靜力荷載試驗 (Pile Static Compression Loading Test, SLT)

對工地上經現場灌注而完成之基樁,可在其樁頂逐級加荷並測其變形,用以確定單樁豎向的承載力。靜載試驗裝置由加壓部份和樁頂沉降觀測部份組成。加壓部份通過裝在樁頂上的液壓千斤頂進行,千斤頂反力由壓重平台或反力錨樁承受。此外,對大直徑鑽孔樁可考慮採用 Osterberg Cell 或相似之試樁法,於樁底或樁身安裝油壓千斤頂(或稱荷載箱)向上推擠基樁,以量度樁頂及其他位置之位移。對樁之軸向壓力荷載試驗需按照澳門地工技術規章 [1]、基礎設計指引 [2] 和 ASTM D1143 [16] 的要求進行,可得出樁之總沉降量及其殘餘沉降量。此外,靜力荷載試驗還包括豎向拉力荷載試驗 (ASTM D3689 [17]) 和橫向荷載試驗 (ASTM D3966 [18])。

建議檢測頻率

- ❶ - 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預定樁底標高以下至少 5m 內不存在軟弱土層[6]。
- ❷ - 鑽掘基樁需要之穩定液主要是利用穩定液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,因此每根基樁於施工期間對穩定液的使用應分三階段進行控制,即穩定液新製作階段、鑽掘階段和澆灌混凝土前等部份。
- ❸ - 為測試樁身及放大底的垂直度及尺寸,因此每根基樁於鑽孔完成後,應由獨立第三方進行測試。
- ❹ - 對於樁徑較小的鑽孔樁,如無法進行超聲波透射法測試或混凝土鑽孔取芯測試時,可考慮使用動力荷載試驗(樁身完整性測試)作取代,其測試頻率應事先協定或按兩者檢測頻率要求的比例,以 1 個額外的動力荷載試驗(樁身完整性測試)取代 1 個超聲波透射法測試或混凝土鑽孔取芯測試。
- ❺ - 當工程的設計或施工要求須特定考慮該項測試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。
- ❻ - 對軸向拉力荷載及橫向荷載試驗需視符專案工程技術規格/承攬規則的要求、設計需要及施工情況而決定是否需要進行。

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 - Guide to Site Investigation [7]
- e - Foundation Design and Construction [5]
- f - Code of Practice for Foundations [6]
- g - Particular Specification for Large Diameter Bored Piles with Bell-outs [19]
- h - Particular Specification for Large Diameter Bored Piles Socketed into Bedrock [20]
- j - EN 1536 [10]

合格準則

- i - 當測試結果不能滿足法規或技術規格要求時,基樁之深度必須增加,直至到達滿足準則要求的嵌岩段持力層/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基樁進行覆試,對於不能滿足要求之基樁,需提交補救措施/方案,並進行適當的補強工作。
- iii - 樁身混凝土芯樣抗壓強度必需符合專案工程技術規格/承攬規則的要求。

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] General Specification for Building, Architectural Services Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [5] 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
- [6] Code of Practice for Foundations, Buildings Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [7] GEOGUIDE 2, Guide to Site Investigation, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [8] GEOGUIDE 3, Guide to Rock and Soil Descriptions, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [9] Canadian Foundation Engineering Manual, Canadian Geotechnical Society
- [10] EN 1536, Execution of Special Geotechnical Work – Bored Piles
- [11] EN 10002, Tensile testing of metallic materials
- [12] ISO 1920-4, Testing of Concrete – Strength of Hardened Concrete
- [13] ASTM D6760, Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing
- [14] EN 12504-1, Testing Concrete in Structures - Cored Specimens - Taking, Examining and Testing in Compression
- [15] ASTM D4945, Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles
- [16] ASTM D1143, Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load
- [17] ASTM D3689, Standard Test Method for Individual Piles Under Static Axial Tensile Load
- [18] ASTM D3966, Standard Test Method for Piles Under Lateral Loads
- [19] Particular Specification for Large Diameter Bored Piles with Bell-outs, Architectural Services Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [20] Particular Specification for Large Diameter Bored Piles Socketed into Bedrock, Architectural Services Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [21] 樁基檢驗手冊, 中國水利水電出版社
- [22] 基礎工程施工規範與解說, 科技圖書
- [23] 土力學地基與基礎, 中國建築工業出版社
- [24] JGJ 106, 建築基樁檢測技術規範