

工程品質保證計劃及程序

嵌岩式鋼樁工程

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嵌岩式鋼樁(Rock-Socketed Steel H-Piles)基礎的施工和材料等之品質管理工作。嵌岩式鋼樁常用的直徑一般為 610mm，樁體主要由 H 型鋼及水泥漿所組成。本章主要針對嵌岩式鋼樁作詳細說明，嵌岩式鋼樁主要是以鑽挖機具及採用鋼套管保護方式依設計孔徑鑽挖樁孔至預定深度及岩層後，吊放 H 型鋼、安裝灌漿喉管、澆置水泥漿至設計高程而成。

嵌岩式鋼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；
- ✓ 樁體之承載力或拉拔力的檢驗，包括嵌岩段鑽孔取芯測試、靜壓荷載試驗(SLT)和軸向拉拔力試驗(STT)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

嵌岩式鋼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，包括安全監測的計劃；
- ✓ 施工設備資料，包括樁孔鑽挖機及其他一切施工機具之規格；
- ✓ 施工計劃，內容需包括嵌岩式鋼樁施工材料的運輸、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，包括灌漿材料、H 型鋼(鋼材之產地來源證明書，規格尺寸、重量、力學性能及化學分析等)及焊材等材料，對上述鋼材材料的技術資料要求，可詳閱鋼結構工程的品質保證計劃及程序；
- ✓ 焊接人員之有效及認可的資格證明文件，相關的焊接工藝規程及評定記錄(WPS 及 PQR)的文件要求，可詳閱鋼結構工程的品質保證計劃及程序；

- ✓ 嵌岩式鋼樁整體的檢測計劃，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、打入情況；
 - 實際土層與地下水之描述等；
 - 鑽挖中發生之特殊狀況，包括 H 型鋼吊放與水泥漿澆置；
 - 水泥漿澆置量；
 - 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 H 型鋼續接之焊縫目視檢驗及無損探傷檢測報告、樁體之承載力或拉拔力的檢測報告等)；
- ✓ 基樁的竣工平面圖。

三、檢查、測試及驗收工作

嵌岩式鋼樁工程的檢查工作可歸納於下表：

嵌岩式鋼樁工程檢查項目表								
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❶	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, f	
打入套管 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	c	
孔底之清除和檢查 ⁷				✓		全數檢查	c, d	
H 型鋼吊放及接續				✓		全數檢查	c, d, f	
水泥漿材料澆注 ⁸				✓		全數檢查	c, d, f	
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，透過裝設沉陷觀測釘、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[2]第 5.7.3 項的要求，施工精度的容許誤差可歸納如下：

- 在切斷處量測，平面上相對於指定位置之偏差為 75mm (陸地樁)、150mm (海上樁)；
- 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 - 打入套管
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。
- 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，一般以套管作為孔壁穩定的方式。
- 7 - 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，一般利用壓縮空氣進行清孔工作；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。
- 8 - 水泥漿材料澆注
嵌岩式鋼樁所使用之灌漿材料應為無收縮水泥漿材料，灌漿方式是通過高壓灌漿泵及已安裝好之灌漿喉管把現場預拌好之無收縮水泥漿由基樁底部向上灌注，直至把樁孔內之積水全部排出樁外，澆注作業須連續進行不可間斷。

檢查頻率

- ① - 工程的施工須特定考慮該項測試或監測結果作為地工安全的指標；而該項測試結果/參數對該工程的施工或質量有著重要的影響時，亦須加以考慮進行。

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 - General Specification for Civil Engineering Works [4]
- e - 生產商成品技術規格
- f - General Specification for Building [5]

嵌岩式鋼樁工程的測試及驗收工作可歸納於下表：

嵌岩式鋼樁工程試驗項目表									
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, e, f	-	
樁體材料	套管鋼材制品驗收測試 ¹		✓			每批 ^②	c, g	-	
	H 型鋼材料的測試 ¹		✓			每批 ^②	c, g	-	
	灌漿材料的測試 ²		✓			每次灌注時	c, f ASTM C939 [13]	-	
嵌岩段岩層/持力層之檢定 ³ (超前鑽)					✓	每批	c, d, e, f, h	i	
套管續接：焊縫目視檢驗及無損探傷試驗 ⁴				✓		如有需要 ^③	c	-	
H 型鋼續接：焊縫目視檢驗 ⁴				✓		100%	c	-	
H 型鋼續接：焊縫無損探傷試驗 ⁴				✓		10%	c	-	
嵌岩段鑽孔取芯測試 ⁵				✓		10%	f	ii	
靜力荷載試驗 ⁶ (包括豎向拉力、壓力和橫向荷載試驗)					✓	至少 1% ^④	a, b, c ASTM D1143 [15] ASTM D3689 [16] ASTM D3966 [17]	iii	

註： 檢測方法

1 - 套管鋼材制品驗收測試及 H 型鋼材料的測試

取樣後之鋼材試件應進行抗拉試驗，試驗方法應符合 EN10002[11] 標準之規定。當鋼材軋制證書內並沒有鋼材化學成份及沖擊吸收功之資料時，應對鋼材進行夏比沖擊試驗及化學成份分析。沖擊試驗之試驗方法應符合 EN10045[12] 標準之要求。

2 - 灌漿材料的測試

一般包括漿液試拌分析、灌漿材料流動性試驗(Flow Cone Efflux Time)、泌水試驗(Bleeding Test)及灌漿材料強度測試(Grout-Crushing Strength)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，以進行七天、二十八天及其他齡期之強度測試)。

3 - 嵌岩段岩層/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 [7]，可採用下列方式對相關的基樁進行檢定的工作：

- 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，以確定嵌岩段岩層/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 [7]；
- 當鄰近基樁位置有充足的地質鑽探資料時(5m 半徑範圍內)，可利用該地質資料來研判嵌岩段岩層/持力層的

位置。

- c. 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。

4 - 焊縫無損探傷試驗

以焊接法進行續接的套管及 H 型鋼，其焊縫可按照鋼結構工程的品質保證計劃及程序的要求進行目視檢驗及無損探傷檢測。

5 - 嵌岩段鑽孔取芯測試

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，以檢測嵌岩段灌漿材料的完整性，鑽孔取芯的深度應為整個嵌岩段及鑽入樁底岩層，鑽取樁底岩層長度應為 600mm，芯樣直徑建議可取 84 mm。

對水泥漿嵌岩段芯樣進行目視檢測，當出現以下任一情況時可視為測試不合格[5]：

1. 水泥漿芯樣發現明顯的缺陷，如芯樣存在蜂窩或缺乏水泥漿料；
2. 水泥漿芯樣之抗壓強度測試值換算為現場立方體評估強度少於水泥漿設計標稱強度的 75%；

一般建議可採用內徑 150mm 的鑄鐵管或鋼管，預埋管之埋設深度放至嵌岩段頂面以上 0.6m 便可，預留管之續接方式建議使用機械連接方式進行，建議取 100%之樁孔進行預埋鑽芯導管的工作；

當驗收測試完成後，預埋管及鑽孔內需以已獲批核之無收縮回填材料進行全面灌漿注滿。

6 - 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。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 [15] 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[16]) 和橫向荷載試驗 (ASTM D3966[17])。

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預定樁底標高以下至少 5m 內不存在軟弱土層 [7]。
- ② - 關於鋼材制品之檢測頻率可參閱建築鋼結構規章第八十六條和承攬規則之要求。按規章的要求，取樣可按同一爐號相同厚度之每一斷面，每 40 噸抽取一個試件進行測試。其中“相同厚度”是指厚度變化少於 5mm 之相似斷面。測試件應在現場中以隨機方式進行抽樣。
- ③ - 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。
- ④ - 對軸向拉力荷載及橫向荷載試驗需視專案工程技術規格/承攬規則及地工技術規章的要求、設計需要及施工情況而決定抽樣率。

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 [8]
- e - Guide to Rock and Soil Descriptions [9]
- f - General Specification for Building [5]
- g - 建築鋼結構規章 [3]
- h - Foundation Design and Construction [6]
- i - Code of Practice for Foundations [7]

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岩層/持力層。
- ii - 當在水泥漿芯樣之目視檢測結果存疑時，可抽取水泥漿芯樣進行抗壓強度測試，水泥漿芯樣抗壓強度值換算為現場立方體評估強度不應少於水泥漿設計標稱強度的 75% [5]；當測試結果不能滿足要求時，建議額外選取兩

個鄰近的基樁進行取芯測試，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 – 當測試結果不能滿足法規或相關技術規格的要求時，建議額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。

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] 第 29/2001 號行政法規, 建築鋼結構規章, 澳門特別行政區政府
- [4] General Specification for Civil Engineering Works, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [5] General Specification for Building, Architectural Services Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [6] 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
- [7] Code of Practice for Foundations, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [8] GEOGUIDE 2, Guide to Site Investigation, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [9] GEOGUIDE 3, Guide to Rock and Soil Descriptions, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- [10] Canadian Foundation Engineering Manual, Canadian Geotechnical Society
- [11] EN10002, Tensile testing of metallic materials
- [12] EN10045, Charpy impact test on metallic materials. Test method (V- and U-notches)
- [13] ASTM C939 Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)
- [14] ISO 1920-4, Testing of Concrete – Strength of Hardened Concrete
- [15] ASTM D1143, Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load
- [16] ASTM D3689, Standard Test Method for Individual Piles under Static Axial Tensile Load
- [17] ASTM D3966, Standard Test Method for Piles under Lateral Loads
- [18] 樁基檢驗手冊, 中國水利水電出版社
- [19] 基礎工程施工規範與解說, 科技圖書
- [20] 土力學地基與基礎, 中國建築工業出版社
- [21] JGJ 106, 建築基樁檢測技術規範, 中華人民共和國行業標準