

自完整性檢測結果之統計分析看 場鑄基樁設計及檢驗數量之合理性

張龍騰 陳鴻運 洪漢德 *

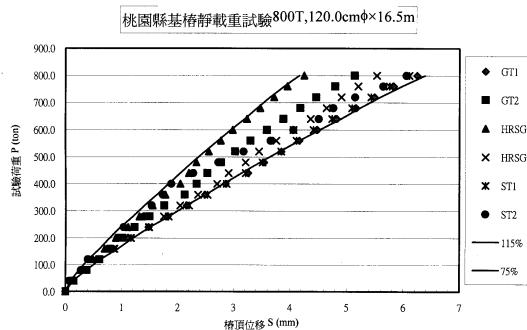
摘要

以跨孔音波法檢驗基樁混凝土之完整性於國內已行之有年，累計了相當數量的試驗記錄及鑽孔試樣資料。本文係將所累積之 1310 支基樁檢測結果利用簡易的統計分析，說明常見的瑕疪種類及其出現機率，同時藉由比較不同工法、樁徑之瑕疪比例，探討瑕疪之可能形成原因，以及瑕疪對基樁功能可能之影響。統計結果顯示有瑕疪之基樁比例達 31.91%，其中有斷樁現象或具樁底沉泥等顯著瑕疪之基樁為 14.89%，體認瑕疪比例甚高且難以完全消除之事實，審視現行之基樁設計、施工及檢驗系統，多數顯得過於理想化，因此本文最後對於包括樁底點承是否應納入設計值、樁底灌漿或補樁等措施是否應於設計階段即加以考慮等問題提出建議。

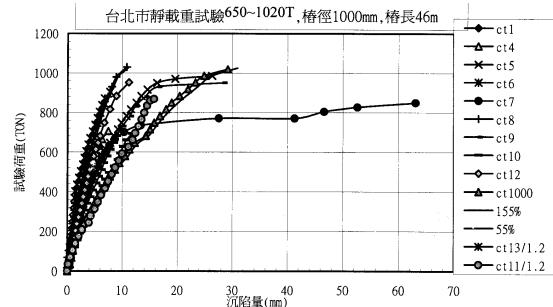
一、前 言

近年來國內有大量的基礎工程採用場鑄基樁之型式構築，其優點為低噪音、低震動、口徑大(可達 3m)、樁長幾乎不受限制，缺點則是工法複雜，施工步驟及管理細節繁瑣，易有品質不一之現象，為有效控制場鑄基樁之施工品質，一般設計均規定場鑄基樁須預埋檢測管以便跨孔音波法全面檢測或部份抽測基樁品質。

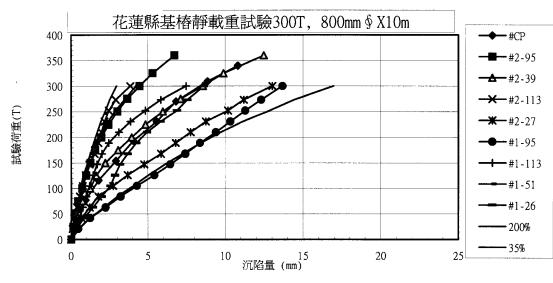
現行的基樁設計雖規範有適當的安全係數，以涵括施工差異、地層變化等不確定因素。然而由於大量的靜載重試驗結果如圖一~四顯示正常完整性良好之基樁，在相同或近似條件下之荷重一位移關係仍具相當之變異



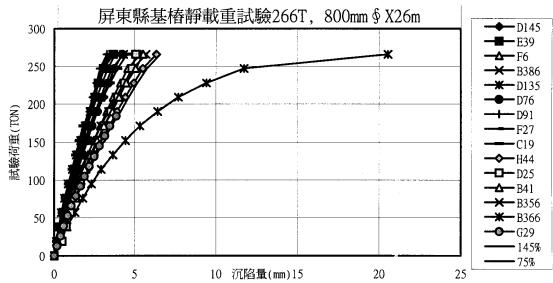
圖一



圖二



圖三



圖四

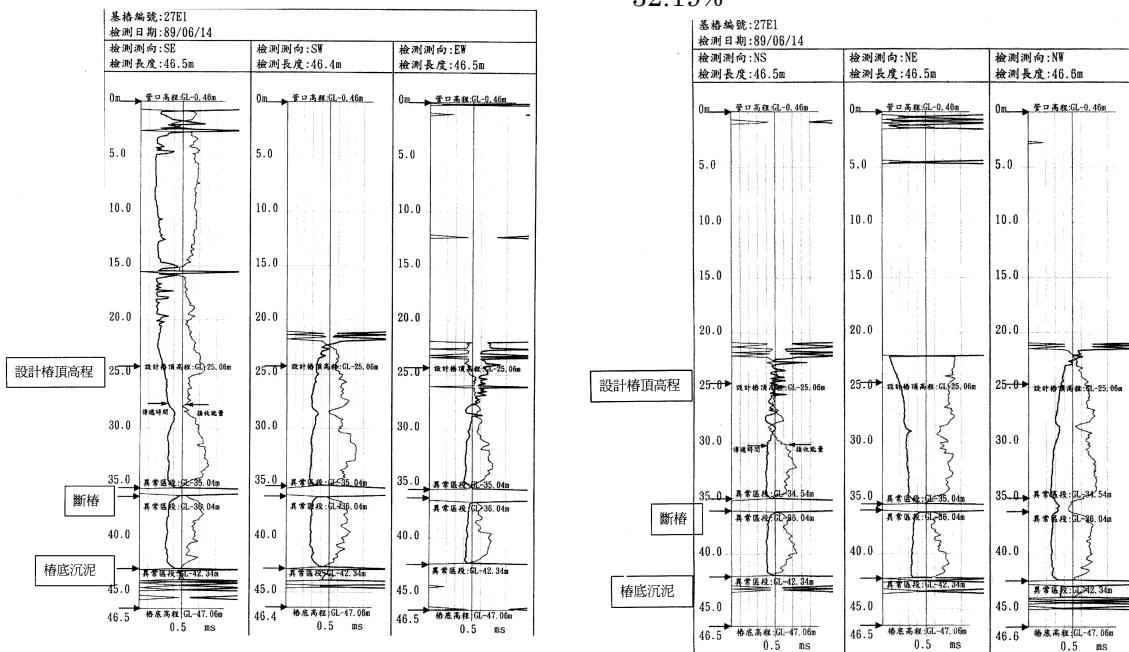
性，因此容許基樁瑕疵存在之空間實在不多，特別是單樁單柱位的一般建築設計，其風險性更高。針對完整性試驗可辨識之幾種主要瑕疵進行數量統計或可幫助我們了解實際情形，此外藉由比較不同工法、樁徑之瑕疵比例，探討瑕疵之可能形成原因，提供承商作為參考及改善之方向。

二、基樁瑕疵數量統計

本次瑕疵數量統計係針對88年4月至90年4月間基樁完整性實測結果進行，統計對象包括反循環基樁、全套管基樁及螺旋鑽掘樁等三種不同工法之場鑄樁，共計檢測1310支基樁。各工法基樁支數及所佔比例詳如表一，其中數量最多者為反循環基樁774支，所佔比例為59.08%。若就樁徑大小區分其中口徑<1.5m有494支、口徑=1.5m有374支、口徑>1.5m有442支，所佔比例較為平均。

有關瑕疵之統計為便於歸納，區分為4類：1.斷樁2.樁身瑕疵3.樁底沉泥4.弱質混凝土等，其定義如下：

斷樁—5個以上測向於同一深度位置出現瑕疵訊號；檢測記錄及照片詳照片一~三。



照片一 斷樁和樁底沉泥之檢測記錄

表一 檢測樁中各工法、樁徑所佔比例

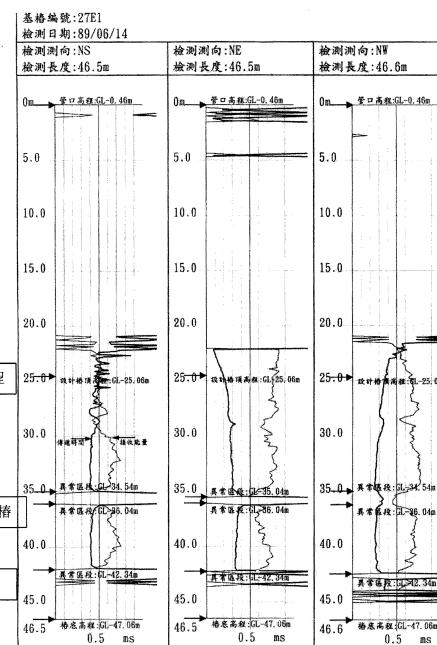
	檢測樁數	佔有比例
反循環施工法	774	59.08%
全套管施工法	342	26.11%
螺旋鑽掘法	194	14.81%
樁徑<1.5m	494	37.71%
樁徑=1.5m	374	28.55%
樁徑>1.5m	442	33.74%
總樁數	1310	

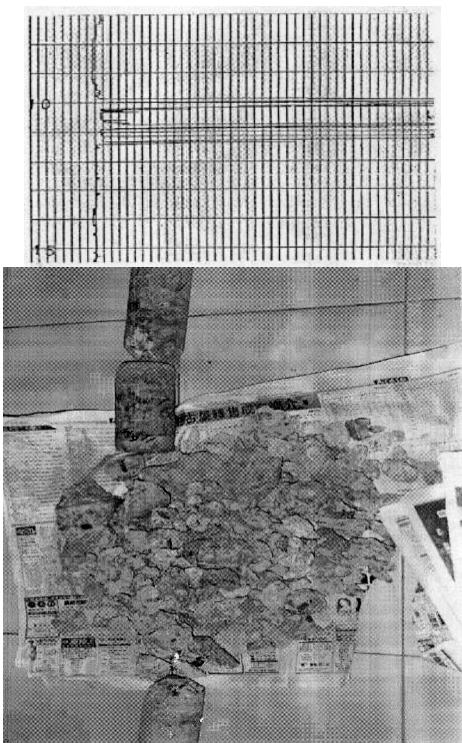
樁身瑕疵—1個以上測向於不同深度位置出現瑕疵訊號(詳照片七)。

樁底沉泥—3個(含)以上測向於樁底出現嚴重之瑕疵訊號(詳照片一、二、四~六)。

弱質混凝土—於基樁樁底出現較輕微之瑕疵訊號；(照片四~六)。

概括性統計結果詳如表二，顯示1310支受檢測之基樁中，有418支(約31.91%)之基樁有異常訊號即瑕疵存在，其中反循環基樁有259支瑕疵樁佔反循環基樁總數之33.46%、全套管基樁有瑕疵樁111支佔全套管基樁總數之32.46%、螺旋鑽掘樁則有瑕疵樁48支佔螺旋鑽掘樁總數之24.74%，瑕疵樁口徑<1.5m有159支佔小口徑基樁總數之32.19%、





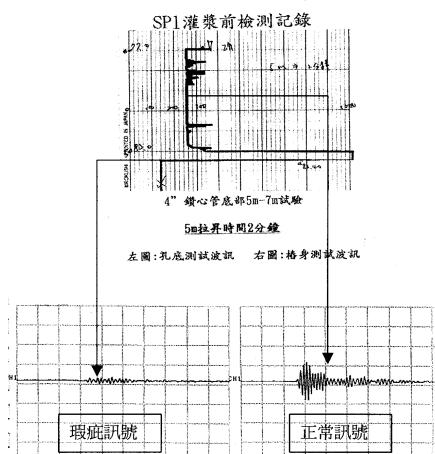
照片二 斷樁之檢測記錄及鑽心照片



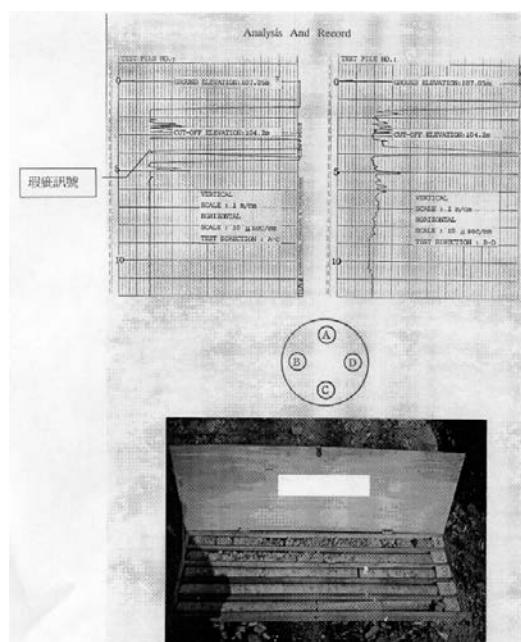
照片五



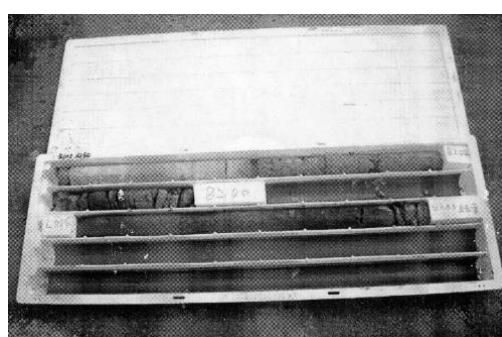
照片六 樁底瑕疵及其檢測記錄



照片三



照片七 樁頭劣質及其檢測記錄



照片四

瑕疪樁口徑 = 1.5m 有 137 支佔 1.5m 口徑基樁總數之 36.63%、瑕疪樁口徑 > 1.5m 有 122 支佔大口徑基樁總數之 27.60%。就本次統計結果而言如圖五所示，瑕疪樁數與檢測樁數大致成線性關係，其中依工法區分的三組數

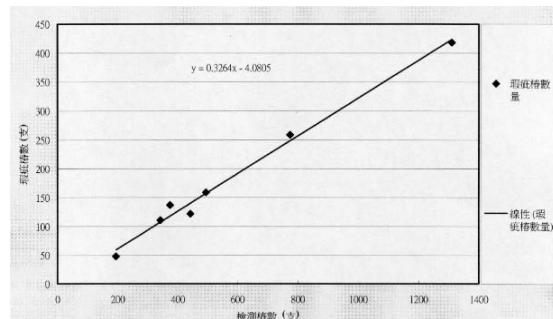
據相互獨立，但與總樁數及依樁徑區分的三組數據並不完全獨立，故嚴格而論此線性關係僅由三組數據組成。

$$y = 0.3264x - 4.0805$$

y：出現瑕疵之樁數

x：檢測樁數

就瑕疵種類而言，所有檢測樁中樁底沉泥之出現機率最高，達14.81%有194支，包括其他瑕疵之出現機率詳表三。儘管工法不同樁徑有異，然而樁底沉泥是品質上共有的困擾，特別是大口徑基樁有23.53%經檢測發現有樁底沉泥詳表五。如比較工法差異則反循環基樁出現樁底沉泥之機率較其他工法為高，應與其鑽掘使用穩定劑及口徑較大有關詳表四。斷樁及樁身瑕疵則以全套管基樁出現之機率較高，與一般對套管拔起作業之質疑相同。螺旋鑽掘樁多數應用於低水位之處，可能是樁底弱質混凝土出現機率較高的原因。



圖五 瑕疵樁數與檢測樁數之線性關係

表二 各工法、樁徑之瑕疵樁所佔比例

	檢測樁數	瑕疵樁數量	瑕疵比例
總數統計	1310	418	31.91%
反循環施工法	774	259	33.46%
全套管施工法	342	111	32.46%
螺旋鑽掘法	194	48	24.74%
樁徑<1.5m	494	159	32.19%
樁徑=1.5m	374	137	36.63%
樁徑>1.5m	442	122	27.60%

表三 檢測樁中各項瑕疵所佔比例

異常原因	累計數量	佔有比例
斷樁	7	0.53%
樁底沉泥	194	14.81%
弱質混凝土	113	8.63%
樁身瑕疵	110	8.40%
完整性良好	892	68.09%
總樁數	1310	

表四 不同工法之各項瑕疵所佔比例

異常原因	反循環施工法	全套管施工法	螺旋鑽掘法
斷樁	0.39%	0.88%	0.52%
樁底沉泥	16.28%	11.70%	14.43%
弱質混凝土	8.53%	7.60%	10.82%
樁身瑕疵	8.27%	13.16%	0.52%
完整性良好	66.54%	67.54%	75.26%

表五 不同樁徑之各項瑕疵所佔比例

異常原因	樁徑<1.5m	樁徑=1.5m	樁徑>1.5m
斷樁	0.61%	0.00%	0.90%
樁底沉泥	11.13%	13.64%	23.53%
弱質混凝土	9.11%	10.96%	5.61%
樁身瑕疵	3.85%	18.72%	5.61%
完整性良好	75.30%	63.37%	85.56%

三、基樁瑕疵原因探討

調查及整理基樁施工作人員之經驗及鑽孔試驗結果，歸納可能造成基樁瑕疵之原因，經與上述統計分析之結果比對吻合。

3.1 斷樁

1. 漆灌混凝土時，特密管插入深度記錄錯誤，致使特密管被拔出混凝土面，而使表面劣質或浮水被混凝土覆蓋形成斷樁。

2. 預拌混凝土車次銜接時間過長，致使特密管內混凝土凝結無法流動，此時若拔出特密管清除阻塞，則發生斷樁。

3. 預拌混凝土內夾石塊，漆灌時石塊卡在特密管內，致使特密管需拔出以便清除管內石塊。

4. 全套管樁因施工需要須將套管內水位降低，如套管外有較高水位之砂質土壤時，易因管內降水而發生砂湧現象，將套管外土層掏空，導致灌注混凝土期間，當套管提升至土層掏空處時，混凝土瞬間坍落填入掏空部份，造成特密管底脫離混凝土面，形成斷樁。

3.2 樁底沉泥或弱質混凝土

1. 反循環樁之沉澱池與鑽掘樁位距離不夠，導致排出之泥漿未經沉澱即回流入鑽孔內，於鋼筋籠吊放期間，泥漿即沉澱至樁底，嚴重者可達數公尺之多，若混凝土灌注

前未作抽取處理，將導致混凝土灌注時無法將沉泥擠出，造成樁底沉泥及弱質混凝土。

2. 反循環樁於鑽掘時未使用皂土或高分子系列之穩定劑，而以鑽掘之泥漿水當穩定液，土壤顆粒沉澱後形成厚層沉泥。

3. 反循環基樁於混凝土澆灌前，鑽孔內水位不足，造成孔壁崩坍而未作抽取處理。

4. 下鋼筋籠時，因鋼筋籠與孔壁磨擦，致使土壤坍落入樁底，混凝土灌注前未作處理而形成樁底沉泥。

5. 螺旋鑽掘樁受鑽頭長度限制，即便以取土器清理樁底，亦無法完全清出。

6. 大口徑基樁混凝土灌注時，因無法將所有沉泥擠出，而殘餘之沉泥與混凝土混合成為弱質混凝土。

7. 混凝土灌注時，特密管未確實插至樁底，灌注時因衝力造成樁底骨材析離。

3.3 樁身瑕疪

1. 混凝土灌注前特密管接頭未旋緊致管壁進水，混凝土灌注時形成蜂窩。

2. 混凝土灌注過程中，將清水灌入特密管內清洗漏斗及特密管壁造成混凝土凝結不良或骨料析離之現象。

3. 於澆灌混凝土時，若地下水壓力大於鑽孔內之靜水頭壓力甚多時，產生滲流而將淤泥帶入或造成崩坍。

4. 因預拌車次安排不當，出廠時間過早影響混凝土品質。

5. 因預拌車次安排過於疏鬆，造成新舊混凝土間凝結不良；有時因擔心超時之混凝土塞管，而將特密管上下抽動以便混凝土流動但此舉易造成骨材析離。

6. 同理因預拌車次銜接問題，全套管樁之套管內之混凝土已初凝，此時再以振動機拔取套管時，因振動易造成骨材析離；若以搖管機提升套管，則會在套管與混凝土接觸面形成蜂窩。

7. 特密管提升速度過快，於樁體內造成空洞。

8. 全套管樁如同斷樁原因，當套管提升至土層掏空處時，混凝土因空間增加瞬間坍落，掏空處如有土壤存在，易受混凝土之拖曳捲入混凝土中形成包泥或弱質混凝土之現象。

四、瑕疪對基樁功能之影響

4.1 斷樁之影響

根據現有之斷樁資料及照片所顯示之混凝土斷裂情形，推測斷樁對基樁功能可能之影響，包括抵抗軸向壓力或彎矩力以及側向壓力之能力降低，因樁身可壓縮性增加故受力所致之位移亦將大量增加。

4.2 樁身瑕疪之影響

具連續性之樁身瑕疪大致而言集中於樁頂部份，通常係劣質未完全擠出之故，經敲除後重灌大多能為設計單位所接受。而位於樁身中段之瑕疪則不具連續性否則即為斷樁。根據本次統計結果推測因混凝土澆灌或坍孔所致之樁身瑕疪較易集中於保護層附近，因此測得瑕疪之測向數不多。

4.3 樁底沉泥之影響

於一般載重試驗常發現，樁底沉泥不僅使激發點承力所需之位移大量增加，同時因樁身之有效長度縮短亦降低原有之總摩擦力。

4.4 弱質混凝土之影響

樁底弱質混凝土有類似沉泥之影響，但造成之破壞情形較輕，因其定義係採同案相較，相較於樁底沉泥其瑕疪訊號之傳遞時間較短相對能量較高，雖強度較正常混凝土為弱，但仍足以傳遞部份荷重至樁底，且有效樁長仍較具樁底沉泥之基樁長。

如就瑕疪定義及其對基樁承載或抗拔功能之影響重新歸納，具樁底沉泥或斷樁等顯著瑕疪之基樁共 195 支，佔檢測樁數 1310 之 14.89%，至於基樁具樁身瑕疪或樁底弱質共 223 支佔 17.02%，其承載或抗拔功能未必不受瑕疪影響，仍須視個案而定，一般而論

其瑕疵影響較小或具影響性之機率較低詳如表六。

表六 就影響基樁功能之程度區分

異常原因	累計數量	佔有比例
斷樁或樁底沉泥	195	14.89%
樁身瑕疵或樁底弱質	223	17.02%
完整性良好	892	68.09%

五、合理之基樁設計及檢測數量

如前述瑕疵樁數平均所佔比例約31.91%，其中具樁底沉泥或斷樁等顯著瑕疵之基樁比例約14.89%，因此設計或施工規範之基樁完整性抽測數量實不宜太少，合理的檢測辦法為基樁全面埋設檢測管，而抽測數量建議為1/3以上即33.3%以上之基樁總數。此外，須了解的是當抽測出基樁具樁底沉泥或斷樁等顯著瑕疵時，並不代表該基樁必無法達成承載或抗拔之設計要求，應配合壁面超音波檢測、混凝土澆灌品質記錄以及載重試驗結果作綜合判斷，根據部份載重試驗結果，即便有樁底瑕疵存在如設計載重不大時，有效樁長內之樁周摩擦即足以承擔大部份之試驗荷重，同時樁頂位移處於結構容許範圍內，因此未必不能達成設計需求，但如安全係數較低時建議對工作樁之樁身摩擦作長期觀測。

就現實面考量，設計單位對於基樁設計之基準實不應建築於完美之施工品質，承商受工期成本之限制加上風險承擔實難將32%之高比例減至零，本文雖未顯示但統計資料確也反應良好富經驗之承商可降低基樁之不良率，但其相對成本提高。因此為避免施工及檢測完成後發生爭議，不如設計階段即訂定適當之檢測辦法〈包括檢測數量、合格標準〉，規劃樁身埋設多種儀器能區分點承與摩擦之載重試驗，以及提出預防及補救措施〈樁底灌漿、補樁〉方案。一方面讓業主及早編列預算，否則臨時檢討及設計補救措施

不僅影響工期，同時預算可能不足造成多方困擾。另一方面，當基樁載重試驗與部份完整性檢測完成時，設計單位可與基樁承商及試驗廠商討論作綜合評估，檢討抽測比例、以及補救措施之必要性。長期而言，承商仍應針對主要瑕疵及其形成原因，在工法機具及施工品質上精益求精，降低基樁之不良率與其他承商作良性競爭。業主包括政府單位對於不良率低之績優承商亦應有獎勵辦法，才能全面提升基樁之施工品質。

最後必須說明，本文所據之統計分析目的在於說明現象提供工程界參考，限於即有資料結構特性，比較的基礎並非於相同的條件下，因此立論或許不夠嚴密，例如包括三種工法的總數量不同、樁長不同、施工廠商及人員專業素養不同等，但在國內尚無相關資料提出的情況下，乃為文希冀有所貢獻。

參考文獻

- 林永光等(1995), “反循環基樁施工與品質管制”, 地工技術雜誌第五十二期, , pp. 15-26, 十二月.
 FLEMING, W. G. K., WELTMAN, A. J., RANDOLPH, M.F. AND ELSON, W.K. (1985) “Piling Engineering”, pp. 264-281.
 FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, (1986) “Bored Pile”, pp. 237-261.