

マレーシアにおける衝撃載荷試験時の打込み杭の沈下と支持力低下現象

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 シンガポール支社 正会員 ○小川 能克
基礎地盤コンサルタンツ株式会社 マレーシア事務所 非会員 Bong Shi May

1. はじめに

東南アジア諸国では、都心部の密集市街地を除く建物の基礎として、RC 杭や PC 杭を利用した打込み杭が使用されることが多い。打込み杭の打止め管理は、杭の最終打撃時の貫入量を規定して行われており、その支持力評価や杭の健全性については、静的載荷試験 (Ultimate Load Test: ULT, Working Load Test: WLT) や衝撃載荷試験 (Pile Driving Analyzer : PDA) によって行われる。本報告では、マレーシアで施工された風化岩を支持層とした打込み杭において、杭打設後の PDA 実施時に発生した過大な杭の沈下と PDA から推定された杭の支持力低下、およびその発生要因について紹介する。

2. 衝撃載荷試験 (PDA)

2.1 PDA システム

PDA は、Pile Dynamics, Inc. (PDI)によって開発された高性能な衝撃載荷試験システムであり、比較的成本が低く、簡単な計測システムで短時間に実施できるため、世界で広く利用されている。本システムは、2種類のセンサー (ひずみ計、加速度計)、ケーブル及び測定機器によって構成される。ひずみ計と加速度計は、杭頭付近 (杭頭部から少なくとも杭径の 1.5 倍下方) に設置し、杭頭にハンマーによる打撃力を与えた時のひずみと加速度を計測する。計測された結果は、一次元波動理論に基づく解析を行うことで、杭打撃に伴う地盤の貫入抵抗力、杭体の発生応力等の情報として取得することが可能である。

2.2 PDA による地盤抵抗力 (支持力) の推定

PDA の結果から地盤支持力を推定するには、主に 2つの手法がある。1つは CASE 法と呼ばれ、ハンマーで加力された下向きを入力波とそれが杭先端まで届いて地盤の抵抗に応じて戻ってきた反射波を測定することにより、簡易的に地盤支持力を算定する手法である。もう1つは、CAPWAP 法であり、杭頭で計測された上昇波形について、計算波形と測定波形を比較し、両者の波形がマッチングするように杭周面抵抗、杭先端抵抗、減衰定数 (Damping) や限界弾性係数 (quake) などの地盤パラメータを調整し、精度よく地盤支持力を

推定する方法である。米国の AASHTO 基準では、PDA による地盤支持力の推定は、CAPWAP 法によって求めることを推奨している。また、同基準では、杭打設中に発生する過剰間隙水圧 (負または正) や周辺地盤の応力変化がある程度収束した時点、例えば、杭を打設してから 2 週間程度放置した後に、PDA を実施して支持力を評価することを推奨している。

3. プロジェクトの概要

3.1 地盤構成

当該地の地盤構成は、表層に層厚 3m の砂質土主体の埋立土層、その下位は頁岩や砂岩などの風化土が分布する。風化土の N 値は、概ね 10 回~50 回以上で深度方向に増加する。杭は、事前調査で確認した N 値 50 以上の風化岩に支持する計画である。

3.2 打込み管理基準

杭は、杭径 600 mm (肉厚 100 mm) の先端閉塞型プレストレストコンクリート杭である。杭の打設は、油圧ハンマー (ハンマー重量; 12 ton, 落下高; 75 cm) を利用し、試験杭による PDA と静的載荷試験によって設定した打止め管理基準に従って行った。試験杭における PDA と静的載荷試験の結果を表 1 に示す。試験杭打設の 2~3 日後に行われた PDA の結果は、設計上の要求支持力 460 ton 以上の値を得た。さらに、杭打設の 4~5 週間後に実施した静的載荷試験でも、十分な支持力が得られた。これらの試験杭の結果に基づき、杭の打止め管理基準は、10 回の打撃あたりの貫入量が 30 mm 未満であることを 2 回連続して確認することとした。

表 1 試験杭での PDA と静的載荷試験の結果

試験杭	杭長 [m]	PDAの結果			静的載荷 試験 [ton]
		Skin	End	Total	
		[ton]	[ton]	[ton]	
TP1	20.50	392	178	570	-
TP4	8.00	510	199	709	> 575
TP9	18.00	413	141	554	> 575

3.3 PDA 実施時の沈下と地盤支持力

本設杭は、設定した打込み管理基準を適用し、杭打設直後と 2 週間経過後に PDA を実施して地盤支持力を

キーワード: 打込み杭, 載荷試験, PDA, 地盤支持力
60, Kallang Pudding Road #02-00, Tan Jin Chwee Industrial Building, Singapore 349320

評価しながら施工を行った。しかしながら、いくつかの本設杭で、PDA 実施時に 1 打撃あたり 5~10 mm の過大な沈下が確認された。さらに、PDA から推定される地盤支持力は、図 1 に示すように、打設直後に比べ、7 日後と 9 日後で極端に低下し、その後、14 日後、35 日後の PDA では支持力の回復傾向が確認された。

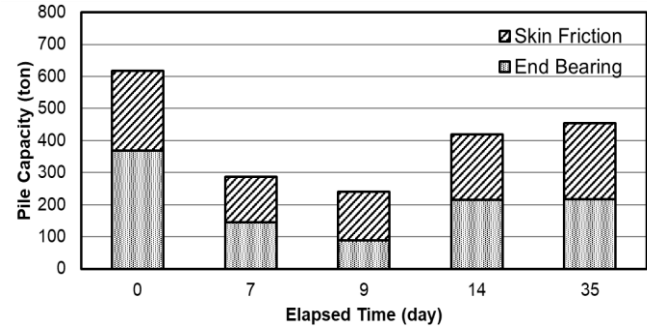


図 1 PDA による支持力の時間的变化

3.4 追加調査による杭先端部の地盤特性

PDA による過大な沈下と支持力低下が確認された杭において、杭中央と杭縁から 60 cm 離れた位置で追加調査を実施した。図 2 は、追加調査で確認した N 値の深度分布図を示す。杭縁から 60 cm 離れた位置で実施した調査では、杭先端付近の N 値は 35 回以上を示すのに対して、杭中央で実施した調査では、杭直下 1.5 m 深さまでの N 値は 10 回未満であることが確認された。

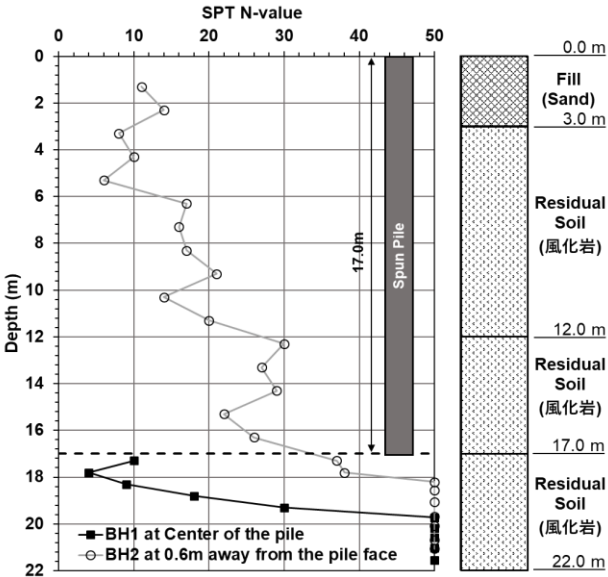


図 2 杭中央と杭から 60 cm離れた位置での N 値の分布

さらに、追加調査で採取した杭先端付近のサンプリング試料をもとに、スレーキング試験²⁾を実施した。結果は、表 2 に示すように、水浸前の試料の状態は、CASE-1 と CASE-2 で大差ないものの、水浸後 1 日経過した後では、CASE-2 の試料は全体に泥土化し、原型をとどめない状態となった。

表 2 スレーキング試験結果

経過時間	CASE-1	CASE-2
水浸前		
水浸後 1440 min (1 day)		

4. 打込み杭の沈下と支持力低下要因の推定

打込み杭の支持力は、地盤特性や打込み時の地盤の過剰間隙水圧（正または負）の変動に伴い変化する場合があり、例えば Pile Set-up や Pile Relaxation がある³⁾。Pile Set-up は、シルトや粘土などの地盤中に杭を打撃する際、地盤中に正の過剰間隙水圧が発生することで有効応力が減少し、打込み直後の支持力は一時的に低下するものの、過剰間隙水圧の消散とともに杭の支持力が回復する現象である。Pile Relaxation は、比較的硬質な粘性土などで、杭打撃時に地盤中に負の過剰間隙水圧が発生し、一時的に地盤の有効応力が増加して杭の貫入が困難となるが、時間の経過とともに有効応力が回復（低下）して、杭の支持力が低下する現象である。本プロジェクトで生じた PDA 打撃時の過大な沈下や支持力低下は、当該地の地盤特性に伴う Pile Relaxation に加え、杭打撃中に杭先端部の地盤に亀裂やクラックが生じ、その周辺に間隙水や雨水などが集まることにより、地盤が軟質化（スレーキング）したことで生じたのではないかと考える。

5. おわりに

本報告では、打込み杭打設後の PDA 実施時の過大な沈下と支持力低下についての 1 例を紹介した。海外では、様々な特性を持つ地盤に遭遇することが多々あるが、事前の調査を綿密に行うことで、施工時の地盤の不確実性を低減することは可能と考える。今後の課題として、地盤のスレーキング特性に着目し、打込み杭打設後の地盤支持力の低下を想定した支持力算定手法について検討したいと考える。

参考文献

1) Samtani and Nowatzki (2006) note that dynamic testing costs much less and requires less time than static pile load testing.
2) 地盤工学会基準, 岩石のスレーキング試験方法
3) Geotechnical Engineering Circular No.12 Volume I Design and Construction Driven Pile Foundations, FHWA-NHI-16-009