

砂地盤に施工された鋼管杭の静的載荷試験および各種解釈法による急速載荷試験結果の比較
その2：静的載荷試験および急速載荷試験結果

杭, 急速載荷試験, 事例
Pile, Rapid load test, Case study

地盤試験所 正会員 ○関口 雄紀 正会員 小林 剛
国際会員 亀井 秀一 国際会員 山本 伊作
国際会員 MANDAL Ram Krishna
金沢大学 国際会員 松本 樹典

1 はじめに

その2では静的載荷試験 (SLT) とさまざまな解析方法による急速載荷試験 (RLT) からの静的荷重-変位曲線を比較・考察する。

2 試験概要

2.1 試験地盤

載荷試験は, 地盤試験所の猿島試験場で実施した。図-1に地盤調査結果と試験杭を示す。試験地盤は砂質土主体であり, 深さ $z = 45$ m 以深には, $N \geq 50$ の砂礫土層が存在している。試験杭を $z = 46$ m に施工した。地下水位は, $z = 3.5$ m に位置している。

2.2 試験順序

表-1に試験杭の試験順序を示す。静的載荷試験 (SLT) は, 杭施工後の養生期間 29 日のあとに実施した。SLT 後の養生期間 1041 日のあとに, 相対載荷時間 $T_r \geq 5$ が要求される JGS 基準 (JGS, 2002) に従って, $T_r = t_L / (2L/c) = 5$ (t_L は載荷時間, L は杭長, c は縦波伝播速度) の RLT を実施した。

表-1 試験順序

PILE INSTALLATION DATE	2021/04/07
CURING(DAY)	29
SLT	2021/05/06
CURING(DAY)	1041
RLT($T_r = 5$)	2024/03/12

2.3 試験杭

表-2 に試験鋼管杭の仕様を示す。杭はプレボーリング工法で施工した。杭頭付近にひずみゲージ2点と加速度計2点を取り付けた。

表-2 試験鋼管杭の仕様

Item	Value
Pile length, L (m)	48
Embedment length, L_d (m)	46
Outer diameter, D_o (mm)	800
Inner diameter, D_i (mm)	750
Wall thickness, t_w (mm)	25
Cross-sectional area, A (m ²)	0.061
Young's modulus, E (GPa)	205
Density, ρ (ton/m ³)	7.811
Bar wave velocity, c (m/s)	5123
Mass, m (ton)	22.821

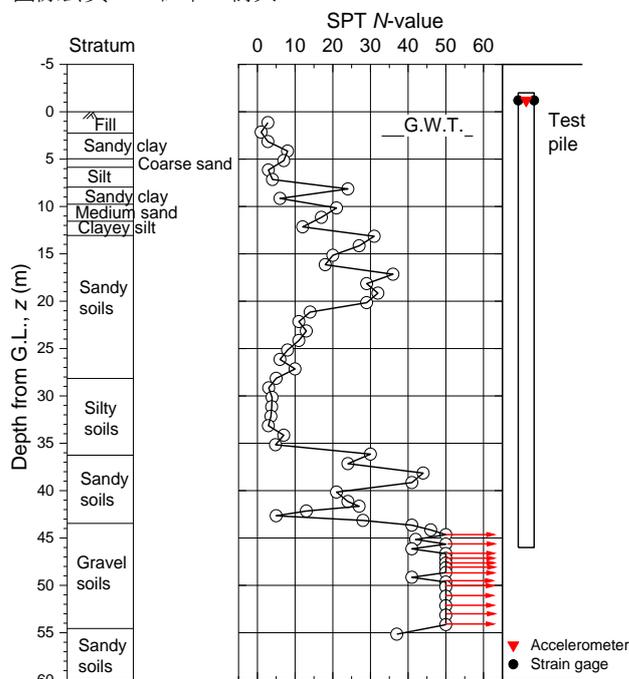


図-1 試験地盤の柱状図と試験杭の概要

3. 試験結果

3.1 静的載荷試験 (SLT)

段階載荷方式で SLT を実施した。各荷重段階の保持時間は 30 分とした。SLT の結果は, RLT の結果と比較して示す。

3.2 急速載荷試験 (RLT)

RLT では, 質量 $m_h = 70$ ton の重錘を用い, 落下高さ h を 0.01 m から 2.5 m まで増加させながら, 7 回の試験を実施した。試験では軟クッションのばね係数を調整し, 載荷時間 t_L を変化させ, 相対載荷時間 $T_r \geq 5$ となるようにした。測定した動的シグナルを, ULPC, ULPC_CM, $\alpha\beta$ 法, および $\alpha\beta$ _CM 法の 4 つの方法 (小林他, 2025) で解析し静的な荷重-変位関係を求めた。

図-2 に, $h = 2.5$ m の RLT で測定された動的シグナルである急速荷重 F_{rapid} , 杭頭変位 w , 速度 v , および加速度 a を示す。また, 図-2 には, ULPC 法による地盤抵抗 R_{soil} (ULPC), ULPC_CM 法による R_{soil} (ULPC_CM), $\alpha\beta$ 法による静的地盤抵抗 R_w ($\alpha\beta$ 法), および $\alpha\beta$ _CM 法による R_w ($\alpha\beta$ _CM) を F_{rapid} とともに示している。さらに, 下降波 F_d と上昇波 F_u も示している。

$v = 0$ となる最大 w での R_{soil} は, ULPC 法および ULPC_CM 法における R_w (R_{ULP}) として定義される (一点鎖線を参照)。静的荷重-変位関係は, 複数の打撃

(RLT)でのULPCからの R_{ULP} を接続することで得られる。ULPC_CMでも同様である。

$F_{rapid} (max)$ での R_w ($\alpha\beta$ 法)と R_w ($\alpha\beta_CM$)は、 $\alpha\beta$ 法および $\alpha\beta_CM$ における静的地盤抵抗として定義される(破線を参照)。静的荷重-変位関係は、複数の打撃からの R_w を接続することで得られる。

図-3にULPC, ULPC_CM, $\alpha\beta$ 法, $\alpha\beta_CM$ による静的荷重-変位関係をSLTの結果と比較して示す。 $\alpha\beta$ 法, $\alpha\beta_CM$ では、既往の研究(小林他, 2025を参照)に基づき $\alpha=0.1$, $\beta=0.2$ を用いた。RLTの結果から、ULPCおよび $\alpha\beta$ 法による静的地盤抵抗 R_w は、ULPC_CMおよび $\alpha\beta_CM$ による静的地盤抵抗 R_w より大きいことが分かる。

ULPC_CMと $\alpha\beta_CM$ からの荷重-変位関係は、SLTの結果とよく一致している。

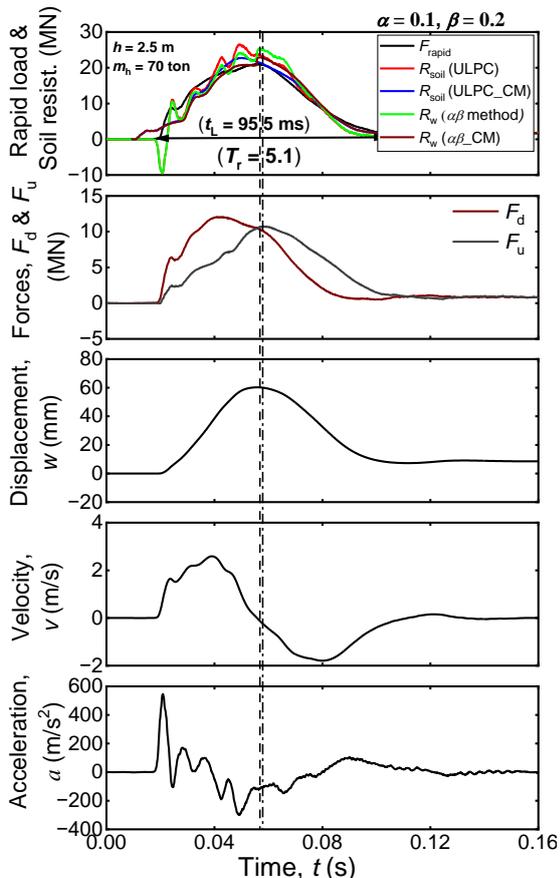


図-2 動的シグナル ($h = 2.5$ m)

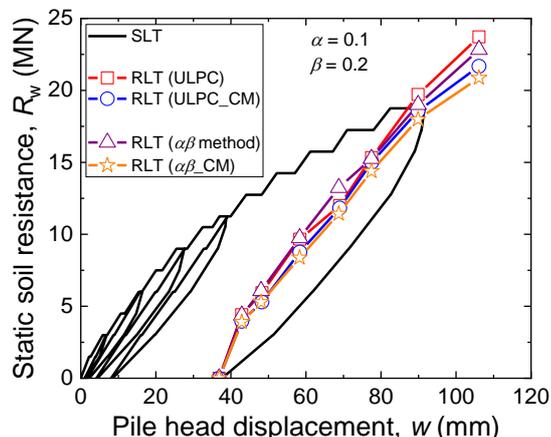


図-3 SLTとRLTの荷重-変位関係の比較

4. 感度分析

α は静的地盤抵抗に影響するが、 β は静的地盤抵抗にあまり影響しない。

図-4に、 β を0.2と一定に設定した場合の静的荷重-変位曲線に対する α の影響を示す。図-4において、 α が減少するにつれて静的地盤抵抗が増加している。今回の砂地盤のケースでは、 $\alpha = 0.1$ のULPC_CMからの静的荷重-変位曲線がSLT結果の最良の推定値であった。

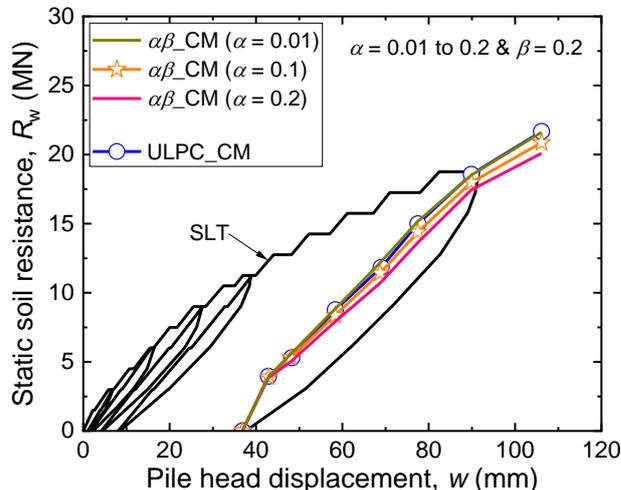


図-4 α の影響

5 結論

本研究では、砂地盤にプレボーリング工法で施工された長尺鋼管杭について、SLTとRLTの比較を行い、新しい解釈法である $\alpha\beta$ 法と $\alpha\beta_CM$ 法の妥当性を検討した。試験杭では、JGS基準に従って $T_r \geq 5$ のRLTを実施した。

ULPC法と $\alpha\beta$ 法による静的荷重-変位曲線($R_w - w$)は、SLT結果をわずかに過大評価している。 $\alpha\beta$ 法とULPC法では、杭の剛体質点モデルを使用して地盤抵抗 R_{soil} を推定している($R_{soil} = F_{rapid} - ma$)。

ULPC_CM法と $\alpha\beta_CM$ 法による $R_w - w$ はSLT結果と一致している。これらの方法では、次元波動理論に基づくCase法を使用して R_{soil} を推定している。 $\alpha = 0.1$ を仮定した $\alpha\beta_CM$ 法による $R_w - w$ は、SLT結果と最もよく一致した。

現在のRLT装置を使用して、より長く、より大きな支持力を持つ杭に対してULPC_CM法または $\alpha\beta_CM$ 法によるRLTを適用できる可能性を示した。

今後、粘性土地盤等における $\alpha\beta$ 法および $\alpha\beta_CM$ 法の適用性を検討する予定である。

参考文献

- 1) JGS 1815-2002 杭の鉛直載荷試験方法・同解説(第一回改訂版) 杭の急速載荷試験方法, 地盤工学会.
- 2) 小林, 関口, 亀井, 山本, Mandal, 松本 (2025) : 砂地盤に施工された鋼管杭の静的載荷試験および各種解釈法による急速載荷試験結果の比較 その1 : 急速載荷試験シグナルの各種解釈法, 第60回地盤工学研究発表会.