

第III部門

2024年9月6日(金) 9:00 ~ 10:20 Ⅲ A305(川内北キャンパス講義棟A棟)

杭・基礎工(1)

座長：堀 謙吾 (日鉄建材)

9:00 ~ 9:10

[III-357] 鋼管杭の押込み試験におけるシミュレーション解析

*河野 清¹、林 世峻²、亀井 秀一²、渡邊 康司¹ (1. 愛知工業大学、2. 株式会社 地盤試験所)

キーワード：鋼管杭、弾塑性FEM、静的載荷試験、シミュレーション解析

静的載荷試験（以下SLT）は鉛直支持特性の評価に関して信頼性が高いが膨大な費用や工期を要する。急速載荷試験（以下RLT）は費用や工期の面で利点を有するが、測定データに含まれる動的効果を解析により除去する必要がある。RLT結果を精度よく解析できればより合理的な評価が可能となる。本研究では同一鋼管杭に対しSLTおよびRLTを実施し、解析的・実験的検討により動的効果のメカニズムを解明することを目的とした研究を進めてきた。本報ではジョイント要素を付与したSLT結果のシミュレーション解析を実施した。その結果、杭頭部は試験結果を概ね再現し、先端部では閉塞効果の考慮により先端支持力が増加する傾向が得られた。

鋼管杭の押込み試験におけるシミュレーション解析

愛知工業大学 学生会員 ○河野 清か
 (株) 地盤試験所 非会員 林 世峻
 (株) 地盤試験所 非会員 亀井 秀一
 愛知工業大学 正会員 渡邊 康司

1. はじめに

杭の鉛直支持特性は、載荷試験により評価される。静的載荷試験（以下、SLT）は、実際の杭と同様の荷重条件で実施するため、鉛直支持特性の評価に関して信頼性が高いが、載荷試験装置には加力装置や測定装置だけでなく、大規模な反力装置が必要となることから、膨大な試験費用や工期を要する。一方、急速載荷試験（以下、RLT）は、杭頭に重錘を自由落下させ継続時間の短い荷重を加える試験であり、試験装置に反力装置を必要としないため、費用や工期の面で利点を有する。しかし、測定データに杭や地盤の動的な抵抗や慣性力の影響が含まれるため、静的な鉛直支持特性として評価するには、解析により動的効果を除去する必要がある。

RLT で得られた結果を静的な鉛直支持特性として精度よく解析できれば、より合理的に載荷試験を行い、鉛直支持特性を評価することが可能となる。

本研究では、同一の鋼管杭に対して SLT および RLT を実施し、解析的検証検討および実験的検証検討を行うことによって、杭の鉛直支持特性に与える動的効果のメカニズムを解明することを目的とし、SLT に関する解析的検討を進めてきた¹⁾。本報では、弾塑性 FEM を用いた SLT 結果のシミュレーション解析を実施し、現行基準で示される評価式を用いたパラメータ評価やモデル化手法の妥当性を検討した結果を報告する。

2. 押込み試験結果のシミュレーション解析

本研究で用いた解析モデルを Fig.1 に示す。なお、鋼管杭の実大鉛直載荷試験（押込み試験）、シミュレーション解析方法、道路橋示方書に示される算定式に基づいて設定された地盤のパラメータについての詳細は、文献¹⁾を参照されたい。

2.1 ジョイント要素を設けたシミュレーション解析

本節では、鋼管杭と地盤間における周面摩擦挙動を

再現するために杭周面にジョイント要素を設定したシミュレーション解析について示す。

ジョイント要素のパラメータはせん断剛性、法線剛性、粘着力、内部摩擦角を考慮して設定した。また、ジョイント要素は、実大鉛直載荷試験結果の周面摩擦力度-区間変位関係に基づき、バイリニア型に近似した。ジョイント要素のパラメータは、せん断剛性を段階的に小さくなるように3ケース設けた。法線剛性は、せん断剛性を100倍したものを用い、粘性土に接するジョイント要素の粘着力は、周面摩擦力度-区間変位関係の最大周面摩擦力度を採用した。

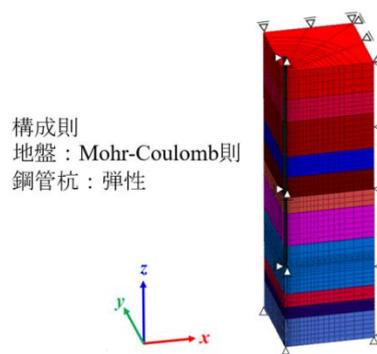


Fig.1 解析モデルおよび境界条件

2.2 解析結果

解析で得られた軸方向力-変位量関係を Fig.1~3 に示す。Fig.1 に示す杭頭部における軸方向力-変位量関係に着目すると、Case1 および Case2 では弾性域での挙動、各荷重段階における軸方向力の値が概ね一致した。同様に、Case3 においても、各荷重段階における軸方向力の値は概ね一致していることがわかる。しかしながら、載荷初期段階から同一軸方向力における変位量の値が SLT 結果より大きくなる結果となった。2 断面における軸方向力-変位量関係は、Fig.2 より Case1.2 で同一荷重における変位量が SLT 結果とほぼ対応しており、高い精度で再現することを確認できた。一方、Fig.3 に示す

キーワード 鋼管杭, 弾塑性 FEM, 静的載荷試験, シミュレーション解析
 連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町千八草 1247
 TEL 0565-48-8121

ように杭先端部における軸方向力-変位量関係では、全ケースでSLT結果を過小評価する結果となった。

3. 杭先端部閉塞効果を考慮したシミュレーション解析

3.1 解析方法

2章で示したCase1~Case3において、杭先端部における軸方向力-変位量関係を正確に再現することが出来なかった。そこで、杭先端部における閉塞効果を考慮したシミュレーション解析を実施した。本研究で対象としている鋼管杭は、開端杭であるため、打設に伴い杭内部に侵入した土により形成されたソイルプラグをモデル化した。なお、ソイルプラグ先端は、鋼管杭の打設による締固め効果を考慮し変形係数を周辺地盤の100倍に設定した。

閉塞効率 η は、押込み試験における先端支持力/シミュレーション解析における先端支持力でケースごとに算出し、式(1)を用いて換算根入れ長を逆算で求めた。

$$\eta = 0.16 (L_b / D) \quad (30 \geq \eta) \quad (1)$$

ここで、 L_b : 換算根入れ長 (m)、 D : 杭径 (m) 換算根入れ深さが求まることで、ソイルプラグの高さの算出が可能となる。Table.2 にケースごとの閉塞効率と、換算根入れ長を示す。

Table.2 ケースごとの閉塞効率と換算根入れ長

	閉塞効率 η	換算根入れ長 (m)
Case1	2.95	5.88
Case2	2.49	4.95
Case3	1.77	3.52

3.2 シミュレーション解析結果

杭先端部の閉塞効果を考慮したシミュレーション解析における先端支持力と変位量の間関係を Fig.4 に示す。Fig.4 より、杭先端部における閉塞効果を考慮することで、全てのケースで先端支持力が増加する傾向が得られた。Case3 で得られた解析結果が、SLT で得られた結果に近い傾向を示した。

4. まとめ

本研究では、弾塑性FEMを用いた押込み試験結果におけるシミュレーション解析を行った。その結果、ジョイント要素を設けることで杭頭部においては再現性の高い結果が得られた。しかしながら、杭先端部において、SLT結果との整合性が低下することが分かった。先端部については、閉塞効果を考慮することによって全ケースで先端支持力が増加する傾向が得られた。Case3で得られた解析結果が、SLTで得られた結果に最も近い傾向

を示したが、その差は大きいため閉塞効果の評価が今後の課題となる。具体的には、ソイルプラグの閉塞高さだけでなく、鋼管による管内土の拘束効果も考慮する必要があると考えられる。

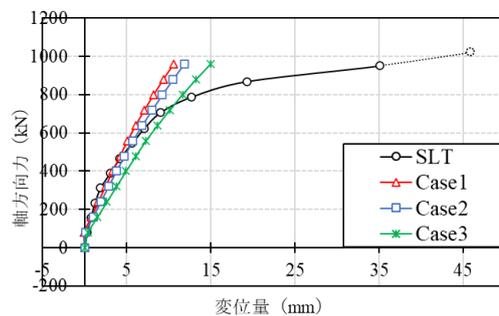


Fig.1 1断面（杭頭部）における軸方向力-変位量関係

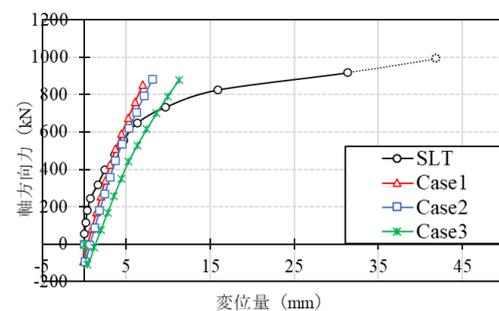


Fig.2 2断面における軸方向力-変位量関係

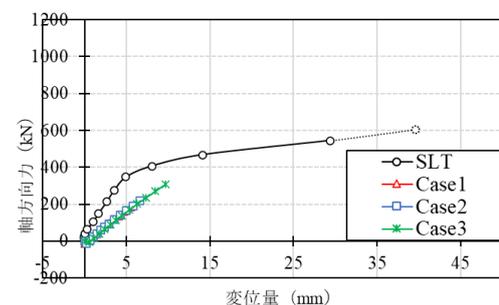


Fig.3 3断面（先端部）における軸方向力-変位量関係

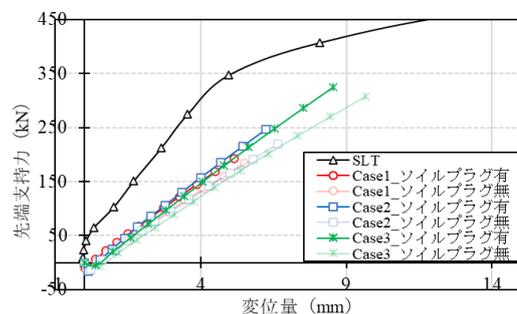


Fig.4 閉塞効果を考慮した場合の先端支持力-変位量関係

参考文献

- 1) 河野清かほか：鋼管杭の押込み試験におけるシミュレーション解析、第59回地盤工学研究発表会講演概要集、2024。（投稿中）