

締固めグラベルパイルによる液状化対策効果に関する検討

環境防災研究室 猪狩貴寛
指導教官 大塚 悟

1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災では、内陸部や沿岸部において宅地地盤での液状化被害が多数発生した。そのため、小規模な土地が対象となる戸建住宅においても、信頼性の高い液状化対策技術が求められている。(株)グランテックが開発したスクリー・プレス工法による液状化対策は、グラベルパイルの打設により杭周辺地盤の密度増大と間隙水圧消散効果が見込まれている。さらに、宅地地盤のように小規模な場所でも施工が可能であり、自然材料を用いることで環境面の負荷も少ないため、スクリー・プレス工法の有用性が期待されている。

現在、グラベルパイルの液状化対策効果の評価は締固め効果のみを考慮したものであり、他の液状化対策効果は考慮されていない。本研究ではグラベルパイルの液状化対策効果の検討を目的として、現地実証試験、小型模型試験を実施した。得られた知見からグラベルパイルが締固め効果に加えて、排水効果を有することを明らかにした。加えて、試験結果からグラベルパイルが液状化対策として十分効果を発揮することを確認した。

2. 試験方法

2.1 現地実証試験

スクリー・プレス工法によりグラベルパイルを打設した富山県、千葉県の実地盤で施工前後にスウェーデン式サウンディング試験(以下、SWS試験とする)を実施し、得られた結果から換算N値を求めた¹⁾。SWS試験は、図-1に示す測点配置図をもとに施工前後で行った。試験ケースを表-1に示す。試験対象地盤の地下水位は、両地盤ともに地表面から1.5mである。施工前後のSWS試験結果から換算N値を求めて比較し、グラベルパイルの周辺地盤への締固め効果を評価した。

2.2 小型模型試験

本研究ではグラベルパイルの締固め効果を評価するため、コーン貫入試験を実施した。模型地盤には東北硅砂6号を使用し、水中落下法にて相対密度 $Dr=40\%$ の模型地盤を作製した。グラベルパイルの形成には現地試験と同様に碎石7号を使用し、長さは100mmとした。グラベルパイルの影響範囲、打設本数が締固め効果に及ぼす影響を検討するため、試験ケースは表-2に示す通りとする。改良率とは改良体1体当りの分担率であり、現地試験と同等に設定した²⁾。本試験は変位制御条件であり、貫入深さ100mm地点まで貫入抵抗を計測した。

改良体の間隙水圧消散効果を検討するため、表-3に示す試験ケースで振動台模型試験を実施した。模型地盤はコーン貫入試験と同様に東北硅砂6号で作製し、 $Dr=40\%$ である。格子中央の改良体先端における間隙水圧を計測し、過剰間隙水圧比の変化から液状化の判断を行った。入力加速度はsin波(6Hz)とし、 $1.0m/s^2$ となるように加振を行った(図-2)。

3. 現地実証試験結果

現地試験結果を深度ごとに分類したものを図-3に示す。各深度で施工後に換算N値が増加していることがわかる。しかし、施工前後で換算N値が変化していない結果もみられた。これは、当該深度における地盤状態が粘性土であるためと考えられ、このような場合は改良効果を得ることが難しいと考えられる。また、改良率による差異はみられなかった。現地試験より、砂質地盤において換算N値の増加が確認された。

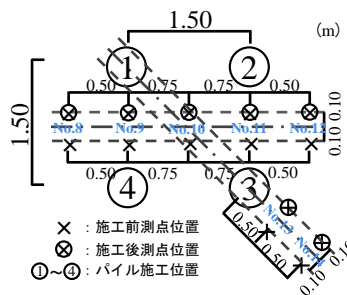


図-1 現地試験測点配置図

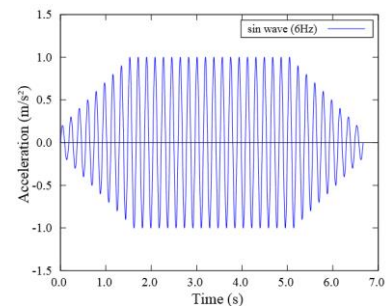


図-2 sin波(6Hz)

表-1 現地試験ケース

杭種	場所	杭径 (m)	杭間隔 (m)	改良率 (%)
グラベルパイル	富山	0.40	1.0	13
グラベルパイル	富山	0.40	1.5	6
グラベルパイル	千葉	0.35	1.5	4

表-2 コーン貫入試験ケース

杭種	杭径 (mm)	打設本数	杭間隔 (mm)	改良率 (%)	測定位置 (mm)
無対策					5ヶ所
グラベルパイル	22	1			杭から50, 100, 150
グラベルパイル	38	1			杭から50, 100, 150
グラベルパイル	22	4	100	4	杭間中央
グラベルパイル	38	4	150	5	杭間中央
砂杭	38	4	150	5	杭間中央

表-3 振動台模型試験ケース

杭種	杭径 (mm)	打設本数	杭間隔 (mm)	効果
無対策				
グラベルパイル	38	4	150	締固め+排水
砂杭	38	4	150	締固め
排水パイプ	38	4	150	排水

4. 小型模型試験結果

グラベルパイルを1本打設した場合の貫入抵抗の変化を図-4に示す。グラベルパイルから50mm離れた地点では特に深度75~100mmにおいて打設後に貫入抵抗が増加していることが確認できる。グラベルパイルから100mmの位置に着目すると、φ38mmの場合は貫入抵抗の増加がみられるが、φ22mmの場合は打設前とあまり変化がないことがわかる。φ38mmの場合は、碎石投入量が多いことでより締固め効果を発揮したと考えられる。150mm離れた地点では、両ケースともに打設前後で大きな変化はみられなかった。次に、杭径の異なるグラベルパイルを同程度の改良率により格子状に打設し、杭間中央での打設前後の貫入抵抗の比較を図-5に示す。試験結果より、両ケースともに45°線より上側に位置しており、締固め効果による貫入抵抗の増加が確認できる。また、ほぼ同様の傾向を示していることから、グラベルパイルが形状によらず改良効果を発揮していると示唆される。改良体の種類による影響を検討するため、グラベルパイルと砂杭の比較を図-6に示す。試験結果より、打設前後の貫入抵抗の変化に差異はみられない。グラベルパイル、砂杭ともに同条件であるため、グラベルパイルが砂杭と同程度の締固め効果を発揮しているといえる。

各工法の過剰間隙水圧比の時刻歴を図-7に示す。Dr=40%の無対策地盤では過剰間隙水圧比が1.0に達していることから液状化していると判断できる。一方、グラベルパイル、砂杭、排水パイプを打設した地盤では、過剰間隙水圧比が1.0に達していないことから液状化していないと判断できる。無対策、排水パイプを比較すると、排水パイプでは過剰間隙水圧比が0.8程度に抑えられており、これは排水効果によるものであると考えられる。無対策、砂杭、グラベルパイルを比較すると、砂杭、グラベルパイルは液状化対策としての効果を発揮している。砂杭は模型地盤と同じ東北硅砂6号を使用しているため、排水効果は無対策地盤と同等である。よって、砂杭の過剰間隙水圧比が0.2程度で抑えられていることは、締固め効果による影響であると考えられる。また、グラベルパイルは砂杭と同杭径であり締固め効果は砂杭と同等であると考えられるため、過剰間隙水圧比の差はグラベルパイルの排水効果を示しているといえる。

5. まとめ

現地試験より、スクリー・プレス工法で施工したグラベルパイルは締固め効果を有し、周辺地盤の換算N値が増加することを示した。コーン貫入試験ではグラベルパイルが発揮する締固め効果の影響範囲、貫入深さと貫入抵抗の関係を把握し、振動台模型試験で液状化対策効果を確認した。グラベルパイルの排水効果が明らかとなり、締固め効果に加えて設計基準に考慮することでより経済的で効果的な液状化対策が可能となると考えられる。本研究より、周辺地盤の締固め効果、排水効果を有するグラベルパイルが液状化対策として有用であることを示した。

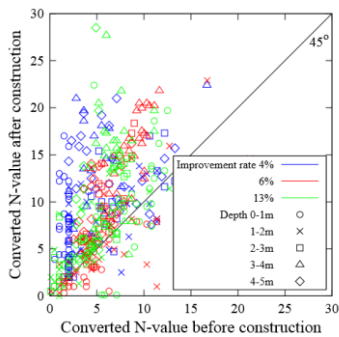
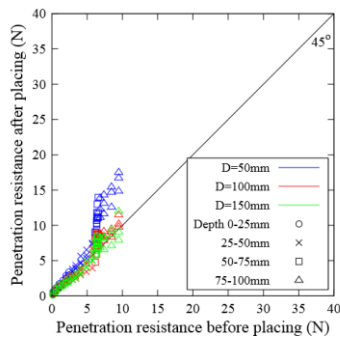
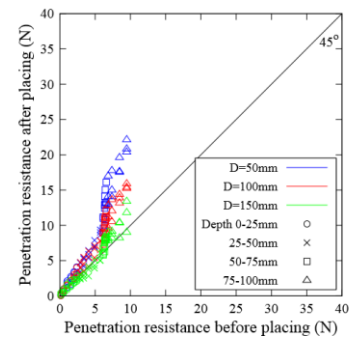


図-3 現地 SWS 試験結果



(a) φ 22mm



(b) φ 38mm

図-4 グラベルパイル打設による締固め効果

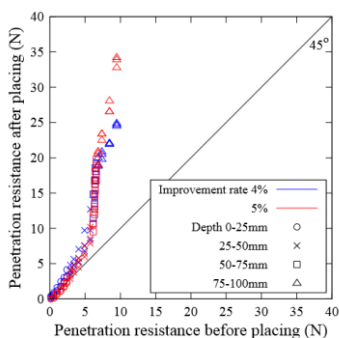


図-5 改良率による検討

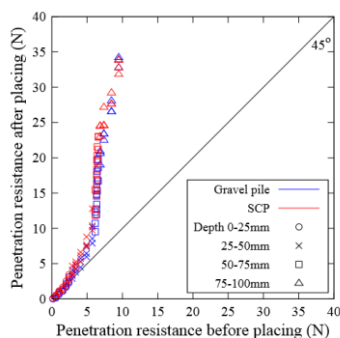


図-6 グラベルパイルと砂杭の比較

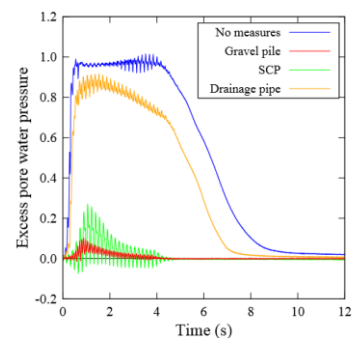


図-7 間隙水圧消散効果

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説，pp.280-289，2004。
- 2) 一般財団法人 沿岸技術研究センター：液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアルーコンパクショングラウチング工法ー，pp.44-46，2013。