

グラベルパイルによる砂質地盤の液状化対策効果に関する検討

環境防災研究室 中島啓太
指導教員 大塚 悟

1. はじめに

本研究では、宅地地盤の液状化対策としてグラベルパイル工法(以降、GP 工法と記す)に着目した。宅地地盤は小規模で地盤表層部の対策であるため、社会基盤施設に用いる地盤改良工法の設計指針をそのまま適用するのは問題があり、宅地に合わせた設計法が必要である。GP 工法は液状化対策効果として、締固め効果、間隙水圧消散効果、剛性による構造効果が期待できるが、それぞれがどの程度影響するかは明らかでない。本研究では、GP の締固め効果について検討を行い、設計指針を構築することを目的として、室内模型地盤にてコーン貫入試験と圧力分布測定試験を実施した。

2. コーン貫入試験

模型地盤には、東北硅砂 6 号を用いて水中落下法により 400×400×300mm の地盤を作成した。模型地盤は間隙比から模型地盤の土試料投入量を算出し、相対密度の管理を徹底した。GP の形成には、砕石 7 号を使用し、長さは 150 mm とした。また、コーン径は 10mm で貫入長さは 150mm とした。

2.1 GP 単杭打設時における貫入試験

模型地盤作成後、GP を一本打設し杭周辺の地盤に GP による締固め効果がどの範囲まで影響を及ぼすか検討した。測定位置は杭中心からの距離を面積比による改良率に変換して距離減衰について検討している。打設杭は φ24 mm, φ38 mm の 2 種類、測定位置は改良率 1~11% 間の 5 測点、計 10 ケースを Dr=40%, Dr=50%, Dr=60%, Dr=70%, Dr=80% の地盤で実施した。試験ケースを以下に示す。

表-1 GP 単杭打設試験ケース

杭径 (mm)	測定距離 (mm)	改良率 (%)	測定距離 (mm)	杭径 (mm)
24	120	1	190	38
	70	3	110	
	55	5	85	
	40	8	65	
	35	11	55	

GP を一本打設し周辺地盤にてコーン貫入試験を行った。全試験結果を図-1 にて示す。グラフではばらつきの少ない結果が得られる貫入深さ 100mm~150mm での平均貫入抵抗増加率で示した。

横軸には改良率をとった。図-1 から単杭打設時の改良効果は線形的に増加することがわかった。また、原地盤の相対密度が高いほど近似曲線の傾きは小さくなる傾向にあることがわかる。したがって、地盤が密になるほど改良効果は小さくなると言える。

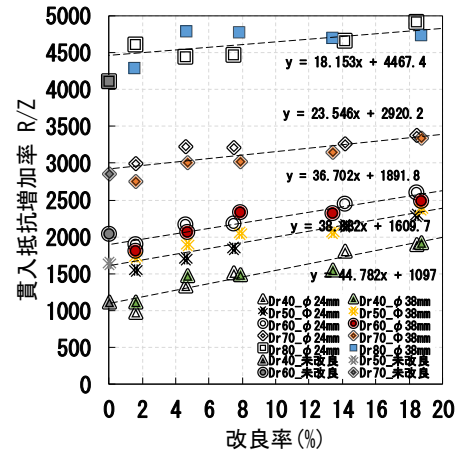


図-1 GP 単杭打設試験結果

2.2 GP 格子状打設時における貫入試験

模型地盤作成後、GP を格子状に打設し格子中央点における締固め効果を改良率で整理できるか、改良効果の定量的評価の可能性について検討した。打設杭は φ24 mm, φ38 mm の 2 種類、改良率 5% と 8% と 15% の格子中央点、計 6 ケースを Dr=40%, Dr=60% の地盤で実施した。試験ケースを表-2 に示す。GP を格子状に打設し格子中央点にてコーン貫入試験を行った。全試験結果を図-2 にて示す。グラフではばらつきの少ない結果が得られる貫入深さ 100mm~150mm での平均貫入抵抗増加率で示した。横軸には改良率をとった。図-2 の Dr=40% に着目すると改良効果は概ね線形的に増加していくことが見てとれる。これに対して Dr=60% (黒色のプロット) では改良率 8% までは線形的に増加していくが、15% になると同様の増加が得られていないことがわかる。これは原地盤の密度によって締固め効果が異なるために生じているものだと考えられる。また、単杭と比較すると低改良率、つまり地盤が緩い場合においては改良効果が線形的に増加する点では同様の傾向を示すが、密な地盤においては異なる傾向を示すことが確認された。

表-2 GP 格子状打設試験ケース

試験ケース	杭種	杭径 (mm)	杭間隔 (mm)	改良率 (%)	備考
1	グラベルパイル (格子状 4本)	24	95	5	
2			75	8	
3			55	15	
4	38	150	5		
5		120	8		
6		85	15		

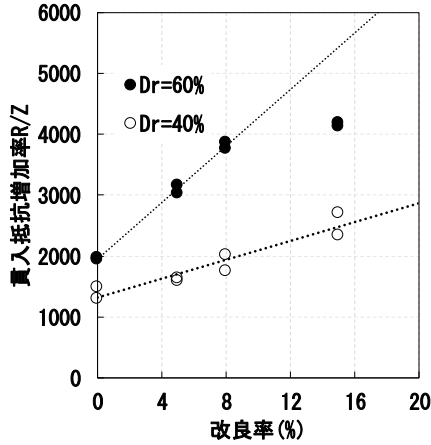


図-2 GP 格子状打設試験結果

3. 圧力分布測定試験

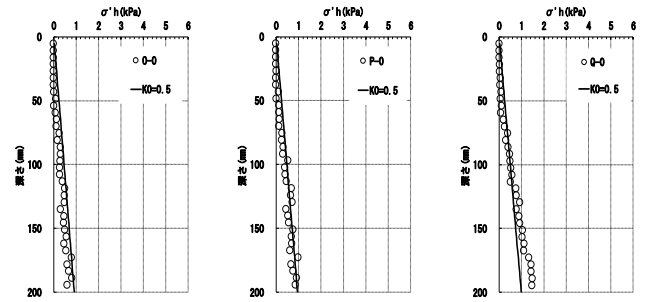
模型地盤には、コーン貫入試験同様東北珪砂6号を用いて水中落下法にて地盤を作成した。GPの形成方法についてもコーン貫入試験時と同様の手順にて作成した。試験ケースは表-3に示す通り、杭径と改良率を固定し地盤条件を変化させて試験を実施した。

表-3 圧力分布測定試験ケース

試験ケース	相対密度 (%)	杭径 (mm)	杭間隔 (mm)	改良率 (%)
O-1	40	38	120	8
O-2				
P-1	60			
P-2				
Q-1	80			
Q-2				

3.1 未改良地盤における測定試験

模型地盤作成後、未改良地盤にて圧力分布測定試験を実施した結果を図-3に示す。水平土圧を正確に算出することは難しいため $K_0=0.5$ とした時の理論値である有効水平応力と測定した有効水平応力を比較した。図-3を見ると未改良時の測定値は $K_0=0.5$ とした理論値と一致する結果となった。また、相対密度による大きな変化は見られないが、密になると少し大きくなることわかる。本結果は一般的に見て妥当な結果であることから、均質な地盤が作成できていると共に未改良地盤での応力状態を正確に示していると考えられる。



Dr=40%

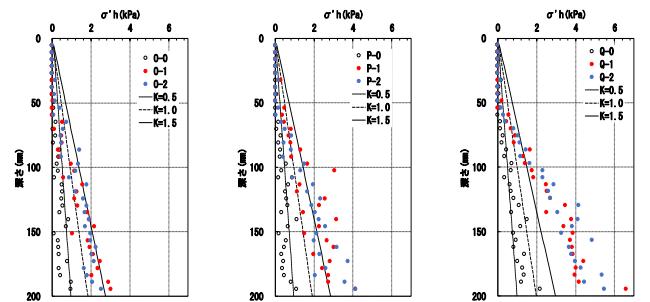
Dr=60%

Dr=80%

図-3 未改良地盤での測定試験結果

3.2 GP 打設後における測定試験

模型地盤作成後、計測地点を格子中央と見立ててGPを二本打設した後圧力分布測定試験を実施した結果を図-3に示す。これを見ると各相対密度においてGPの打設後に有効水平応力が増加していることがわかる。また増加傾向としては原地盤の相対密度が高いほど大きな増加傾向を示すことがわかった。したがって、GPの打設による有効水平応力は本試験のような著しく有効土被り圧が小さい場合においても発生することが確認された。



Dr=40%

Dr=60%

Dr=80%

図-3 未改良地盤での測定試験結果

4. 単杭と格子杭の評価

実務における液状化対策としてのGP工法では格子状にGPを打設する場合がほとんどである。よってGPの格子状打設時における設計指針は極めて重要である。本研究で単杭打設時と格子状打設時の効果を比較したところ、双方の関係性は式(1)で示されることがわかった。

$$\alpha = \frac{\beta_l}{\beta_s} \quad (1)$$

ここに、 α : 変化係数
 β_l : 格子の傾き
 β_s : 単杭の傾き

上記の関係より格子状時の改良率は単杭時の改良率より可能となる。

$$F_l = \alpha F_s \quad (2)$$

ここに、 α : 変化係数
 F_l : 格子の改良率
 F_s : 単杭の改良率

5. まとめ

本研究成果をまとめると、①GP の改良効果としては単杭と格子状で異なる点があることを確認した。②比較的浅層部においても有効水平応力が発生する可能性を試験結果から示した。③格子状打設時と単杭打設時の改良効果について評価した。

5. 今後の展望

数々の貴重な研究成果を参考に液状化強度 - 相対密度 - コーン貫入抵抗は関連付けることが出来る。したがって本研究で得られたコーン貫入抵抗 (R/Z) と改良率の関係により、GP に適した設計指針の構築が可能となる。しかしながら、本研究成果の汎用化には現地コーンとの整合性が不可欠である。そのため現地実証試験を予定している。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人 レジリエンスジャパン推進協議会：住宅を対象とした液状化調査・対策の手引書，pp. 82-85, 2016. 8
- 2) 伊藤克彦・中島豊・大北康治・大石博：突棒を用いた碎石ドレーン工法における周辺地盤の締固め効果，土木学会論文集 No. 444/VI-16, pp. 21-30, 1992. 3