

# グラベルパイルによる砂質地盤の締固め効果に関する室内および現地試験

環境防災研究室 笹川文弥  
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、一般に締固め効果、排水効果が期待される。本研究室の過去の研究から、振動台模型試験によって締固め効果が最も効果的であることが示された。さらに、小型コーン貫入試験による締固め効果の評価によって格子状打設時の効果発現特性、面積比を用いた改良率  $a_s$  による整理の有効性が示された。特に原地盤密度の高い条件では改良率による改良効果の差が表れず効果の上限が示唆された。本研究では、GP の原地盤密度にかかわる締固め効果の発現特性を解明し、設計法構築を目的として、室内模型地盤に対する室内コーン貫入試験と現地実証試験を実施した。

## 2. 小型コーン貫入試験

模型地盤は、東北硅砂 6 号を用いて水中落下法により  $400 \times 400 \times 300 \text{mm}$  の地盤を作成した。模型地盤は間隙比と地盤体積から土試料投入量を算出し、相対密度を管理した。GP 材料には碎石 7 号を使用し、杭長は  $150 \text{mm}$  とした。また、コーン径  $10 \text{mm}$ 、貫入速度  $63 \pm 2 \text{mm/min}$ 、貫入長は  $160 \text{mm}$  とし、測定した貫入力  $P (\text{N})$  とコーン断面積  $A (\text{mm}^2)$  から貫入抵抗値  $R (\text{kN/mm}^2)$  を求めた。相対密度の異なる未改良地盤に対してコーン貫入試験を行い、得られた貫入抵抗値  $R$  を貫入深度  $Z (\text{mm})$  で除すことで深度依存性を取り除いた貫入抵抗比  $R/Z$  が求められる。その結果、相対密度の増加に伴い貫入抵

抗比が指数的に増加する関係が得られ、これを締固め効果の指標とした。

### 2. 1 GP 格子状打設時における貫入試験

模型地盤に対して GP を格子状に打設し、格子中央点における締固め効果を評価した。打設杭は  $\Phi 24 \text{mm}$ 、改良率 5%、8%、15%の格子中央点、3 ケースを  $D_r=30, 50\%, 70\%$  の地盤で実施した。試験ケースを表-2 に示す。

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 (%)
1	グラベルパイル (格子状4本)	24	95	5
2			75	8
3			55	15

表-2 に示す試験ケースに加えて昨年に実施した GP 格子状打設時の試験結果を併せて図-1 に示す。格子中央点における貫入抵抗比を  $R/Z$ - $D_r$  関係で換算することで GP 打設後の強度を相対密度に等価な値として表現できる。本研究ではこの値を換算相対密度として改良地盤の評価に使用した。緩い地盤における締固め効果から密な地盤における締固め効果の上限まで表現できており、原地盤密度にかかわる締固め効果が明らかになったと言える。

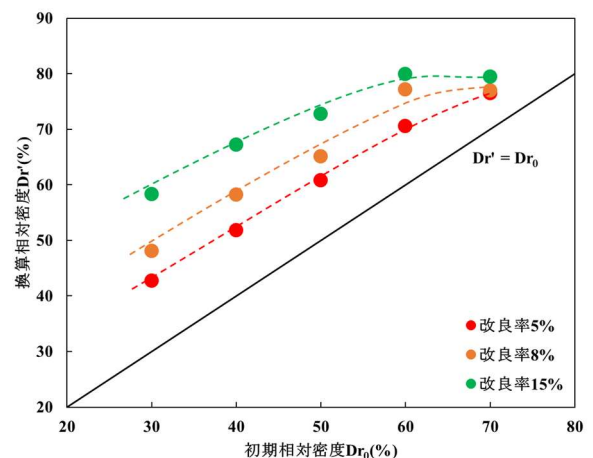


図-1 換算相対密度-相対密度関係

### 3. 現地実証試験

試験は新潟県南蒲原郡田上町横場新田地内河道掘削地において実施した。地盤は深度 10m まで概ね中砂で構成されており、地下水位が -0.5m と高い。現場密度試験から相対密度  $Dr=22.2\%$  と極端に緩い地盤である。GP は杭長 4m で打設し、施工前後に 3 成分コーン貫入試験(CPT)によって地盤調査し、締固め効果を評価した。さらに施工 1 ヶ月後および 4 ヶ月後に 3 成分 CPT およびスクリーウエイトサウンディング(SWS)試験によって追加調査を行った。

表-3 現地実証試験ケース

試験ケース	杭種	杭径 (mm)	杭間隔 (mm)	改良率 (%)
K-1	グラベルパイル	350	1500	4.3
K-2	(格子状4本)		1000	9.6

#### 3. 1 GP 格子の締固め効果

模型試験と同様に、GP を格子状に打設した際の格子内部における締固め効果を評価した。打設杭は  $\Phi 350\text{mm}$ 、改良率 4.3%、9.6%の 2 ケース実施した。打設翌日および 1 か月後は格子中央点を 3 成分 CPT、4 か月後は格子中央点から 250mm 離れた箇所を SWS 試験によって評価した。試験ケースを表-3 に示す。

各調査時の GP 格子内部の換算 N 値推移を図-2 に示す。施工翌日は明らかな改良効果は確認されない。施工から 1 か月経過後ではケース K-2 において顕著な N 値の上昇がみられた。しかし、4 か月後においては未改良値を下回る結果

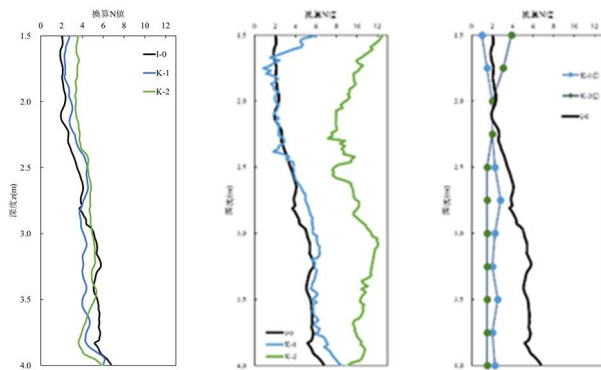


図-2 現地 GP 格子内部換算 N 値推移

となり、模型試験の結果の裏付けを得ることはできなかった。

#### 3. 2 現地実証試験の考察

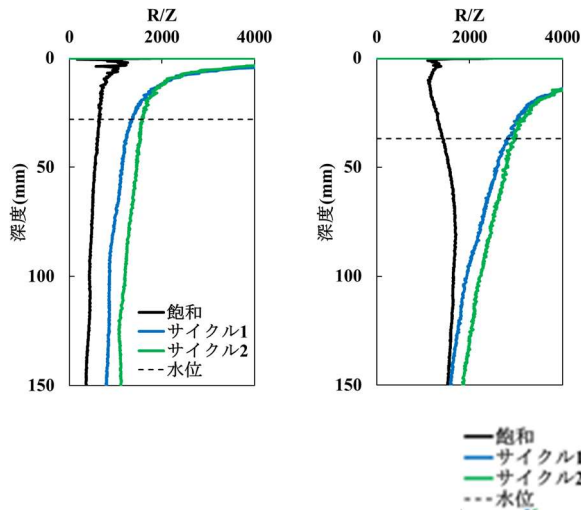
現地試験地は河川敷に位置し、河川水位の変動に伴って試験地地下水位も大きく変化することが考えられる。その際、いったん下降した水位が回復する際に間に隙に空気を取り込むことで飽和度が低下し、サクションによる見かけの粘着力が発生する。さらに、検討範囲は地盤表層部であるために上載圧が小さく、コーン貫入試験結果に及ぼす粘着力の影響が大きいと考えられる。そのため、発達した粘着力によって未改良地盤の N 値を過大に評価した。さらに、GP 打設後も水位変動に伴って粘着力が変化したために、試験結果が大きく変動したと考察した。

#### 4. 水位変化を伴う小型コーン貫入試験

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後、1~2 回の排水と吸水を行うことで水位変化の履歴を与えた。GP の形成方法についても飽和地盤に対するコーン貫入試験時と同様の手順で作成した。

##### 4. 1 繰返し水位変化の検討

地下水位の下降と上昇がコーン貫入試験結果にどのような影響を及ぼすかを検討した。地盤高 300mm に対して水位を -300mm まで低下させたのち、約 270mm まで上昇、その後地表面と一致させた。各回復水位においてコーン貫入試験を実施し、これを 2 サイクル行った。地盤条件  $Dr=30$ 、50%の 2 ケース実施した。結果を図-3 に示す。水位変化サイクルの繰返しによって貫入抵抗比が増加することが確認された。さらに、その傾向は緩い地盤において顕著なことが確認された。また、図-3 は回復水位と地表面が一致しない例だが、これと比較して地表面と一致する例では貫入抵抗比が減少する傾向がみられた。これは水位回復と同時に取り込まれた



Dr=30%

Dr=50%

図-3 繰返し水位変化の検討

空気が抜けることでサクシオンを喪失するためであると考える。

#### 4.2 水位変化履歴のある地盤への締固め効果の検討

水位変化1サイクルを与えた模型地盤に対してGPを格子状に打設し、格子中央点における締固め効果を評価した。打設杭はΦ24mm、改良率5%、8%の格子中央点、2ケースをDr=30、50%の地盤で実施した。試験ケースを表-4に示す。

表-4 水位変化を伴うGP打設試験ケース

試験ケース	杭種	杭径 (mm)	杭間隔 (mm)	改良率 (%)	相対密度 (%)
L-1	グラベルパイル (格子状4本)	24	95	5	Dr=30%
L-2			75	8	
M-1			95	5	Dr=50%

試験結果を図-4に示す。GP打設に伴って水位が上昇し、地表面付近の貫入抵抗比が減少すること、深部では水位変化後も締固め効果を発揮することが確認された。また、緩い地盤では飽和地盤に対する改良後貫入抵抗比と比較して大差がないため、GPの締固め効果を過小評価する可能性が示唆される。

#### 5. まとめ

本研究では、模型地盤においてGPの締固め効果を検討し、原地盤密度を考慮した締固め効

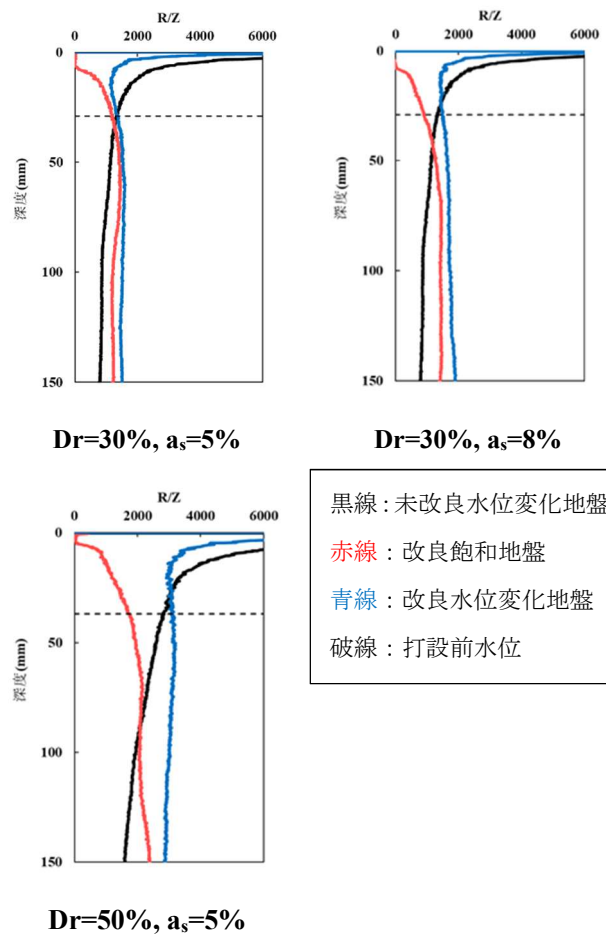


図-4 水位変化を伴うGP打設

果の発現メカニズムを明らかにした。さらに模型試験の結果の汎用化を目的として現地実証試験に取り組んだ。試験地の特性に影響され、整合する結果は得られなかったが、水位変化に着目した模型試験から、液状化地盤の調査における課題を示した。

#### 【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