

# グラベルパイル工法による砂質地盤の締固め効果に関する定量的評価の検討

環境防災研究室 新宮康希  
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 と記す)に着目した。しかし、宅地地盤は規模が小さく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指針が必要である。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、コーン貫入試験を実施した。

## 2. 試験方法

模型地盤には、東北砕砂 6号を用い水中落下法により 400×400×300 の地盤を作成した。模型地盤は間隙比から作成地盤体積に対する試料投入量を算出し、相対密度の管理を徹底した (Dr=40%: 72. 252 kg, Dr=60%: 75. 062 kg)。GP の形成には、砕石 7号を使用し、長さは 150 mm とした。コーン貫入試験により実施した検討項目を以下に示す。

- ①GP 打設 1 本による締固め効果の距離減衰
- ②GP 格子状打設による締固め効果
- ③GP 打設による締固め効果の重ね合わせ影響

本概要集では、①及び②についての試験結果を記す。

### 2. 1 GP 打設 1 本による締固め効果の距離減衰

Dr=40%, Dr=60%の模型地盤作成後、GP を 1 本打設することで杭周辺の地盤に GP による締固め効果がどの範囲まで影響を与えているのか検討を行った。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距離減衰を検討している。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=60%の地盤で実施した。測定位置概念図と試験ケースを以下に示す。

表-1 GP 打設 1 本試験ケース

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	

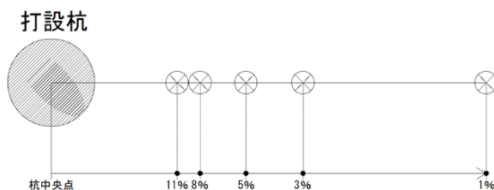


図-1 測定位置概念図

### 2. 2 GP 格子状打設による締固め効果

Dr=40%, Dr=60%の模型地盤作成後、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が可能であるか、検討結果から定量的評価による設計指針の構築を行った。打設杭は φ24 mm, φ38 mm の 2 種類、改良率 5%と 8%の格子中央点、計 4 ケースを Dr=40%, Dr=60%の地盤で実施した。試験ケースを以下に示す。

表-2 GP 格子状打設試験ケース

杭径 (mm)	測定距離 (mm)	改良率 (%)	測定距離 (mm)	杭径 (mm)
24	95	5	150	38
	75	8	120	

### 2. 3 GP 打設による締固め効果の重ね合わせ影響

GP を格子状に打設する場合に着目し、打設本数が増えるごとに締固めがどう変化しているか検討を行った。打設杭は φ24 mm, φ38 mm の 2 種類、格子状打設の改良率 5%の場合で、計 6 ケースを Dr=40%, Dr=60%の地盤で実施した。測定位置概念図と試験ケースを以下に示す。

表-3 重ね合わせ影響試験ケース

杭径 (mm)	測定位置	杭径 (mm)
24	1 (2本目打設予定位置)	38
	2 (3本目打設予定位置)	
	3 (4本目打設予定位置)	

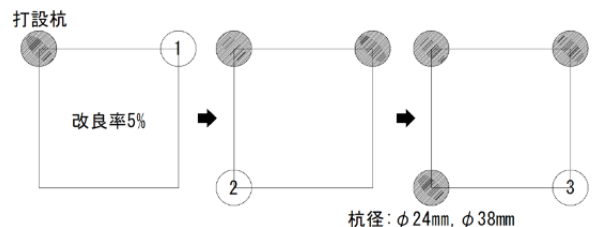
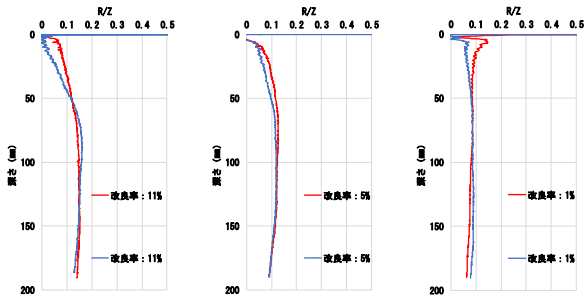


図-2 測定位置概念図

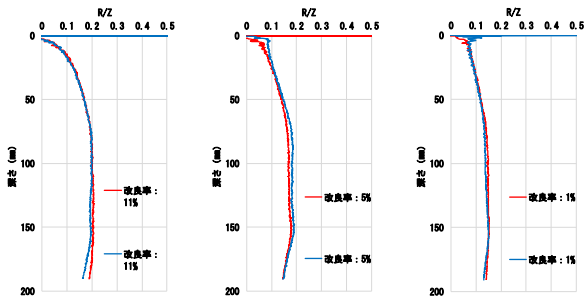
## 3. 試験結果

### 3. 1 GP 打設 1 本による締固め効果の距離減衰

地盤条件 Dr=40%の試験結果を図-3 に Dr=60%の試験結果を図-4 に示す。グラフは、貫入抵抗値 R を深さ Z ごとに除した貫入抵抗増加率 R/Z で表現した。図に示した試験結果は、左から改良率 11%, 5%, 1%の 3 ケースである。図-3, 図-4 とも改良率が小さくなる (杭中心からの距離が遠い) ほど締固め効果の影響範囲が小さくなり、徐々に未改良地盤と同程度の抵抗値になった。φ24mm と φ38 mm の試験結果を比較すると、改良率に応じて同程度の貫入抵抗値を得ることができた。このことから GP 一本杭の締固め効果は、杭径が異なる場合でも改良率で整理すれば締固め効果は同程度であるといえる。



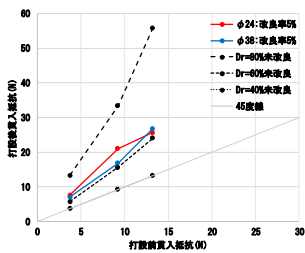
(a) 改良率 11% (b) 改良率 5% (c) 改良率 1%  
 図-3 Dr=40%, φ 24 mm・φ 38 mm 距離減衰



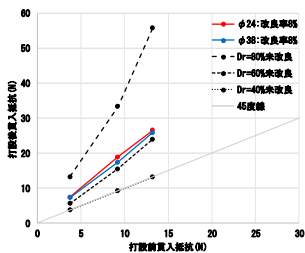
(a) 改良率 11% (b) 改良率 5% (c) 改良率 1%  
 図-4 Dr=60%, φ 24 mm・φ 38 mm 距離減衰

3. 2 GP 格子状打設による締固め効果

各試験ケースで行った格子中央点の貫入抵抗値の結果を図-5, 図-6 に示す. グラフは横軸に未改良地盤の貫入抵抗値, 縦軸に打設後の貫入抵抗値を示しており, プロットした点は下点から貫入深さ 50, 100, 150mm の位置を示している. Dr=40%, Dr=60%ともに各深度で締固め効果を発揮しており, 杭径が異なる場合でも改良率で整理することで同程度の締固め効果を発揮した.

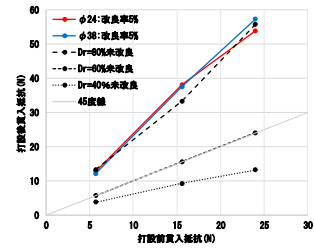


(a) 改良率 5%

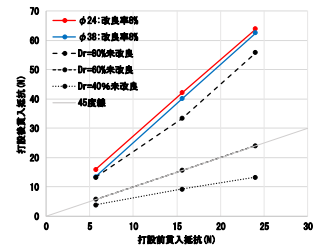


(b) 改良率 8%

図-5 Dr=40%, φ 24 mm・φ 38 mm 格子中央点



(a) 改良率 5%



(b) 改良率 8%

図-6 Dr=60%, φ 24 mm・φ 38 mm 格子中央点

コーン貫入試験で得られる貫入抵抗値からは, GP 打設後の地盤の相対密度を定量的に判断することができず, 予測するに過ぎない. ここで, 打設後の地盤の体積変化及び地盤内部の間隙比の変化に着目し, 計算により算出される打設後相対密度とコーン貫入試験によって得られた打設後予測相対密度との比較を行った.

【打設後相対密度の算出法】

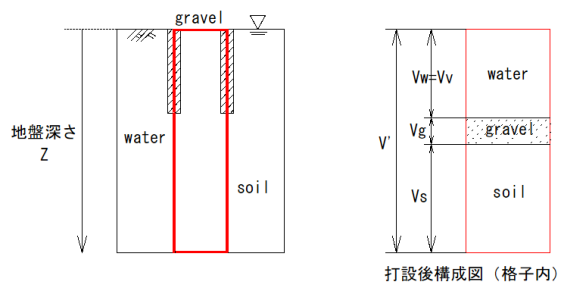
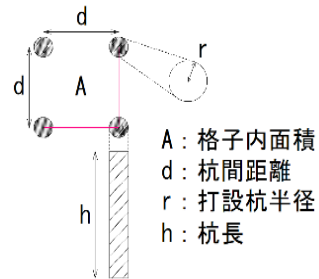


図-7 打設後相対密度概念図

・ 打設後間隙の体積  $V_v$  を算出 (沈下量  $\Delta Z$  考慮)  
 $V_v = V' - V_g - V_s - A\Delta Z$  . . . . . (1)

【 $V' = AZ, V_g = r^2\pi h, V_s = AZ/e + 1$ 】

・ 改良率  $\alpha = r^2\pi/A$  を式変換  
 $A = r^2\pi/\alpha$  . . . . . (2)

・打設後の間隙比 $e_a = Vv/Vs$ に代入

$$e_a = e - \frac{(e + 1)(\alpha h + \Delta Z)}{Z} \dots \dots \dots (3)$$

$e_a$  : 打設後間隙比  $e$  : 間隙比  $\alpha$  : 改良率  
 $h$  : 杭長  $Z$  : 地盤深さ  
 $\Delta Z$  : 打設後格子内地盤沈下量

・打設後相対密度の算出 $D_r'$

$$D_r' = \frac{(e_{max} - e_a)}{(e_{max} - e_{min})} \dots \dots \dots (4)$$

表-3 に示した(a)と(b)を比較すると格子内沈下量 $\Delta Z$ を考慮することで概ねの打設後相対密度を予測することが可能となった。格子状打設の場合、改良率で整理することが可能であることから、改良率を用いた打設後間隙比 $e_a$ の算出が可能となれば、定量的に地盤の改良効果を把握することが可能であるといえる。

表-3 打設後相対密度の試験と算出法の比較

相対密度	改良率	打設後予測相対密度
Dr=40%	5%	約60~63%
	8%	約62~65%
Dr=60%	5%	約79~82%
	8%	約83~86%

(a) コーン貫入試験

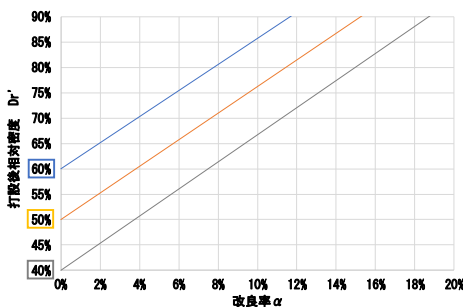
相対密度	改良率	杭径	沈下量 (mm)	打設後相対密度
Dr=40%	5%	24mm	4.0	60.5%
		38mm	4.5	61.5%
	8%	24mm	2.0	65.0%
		38mm	2.5	65.8%
Dr=60%	5%	24mm	4.0	79.7%
		38mm	4.5	80.7%
	8%	24mm	2.0	84.1%
		38mm	3.0	85.7%

(b) 算出法

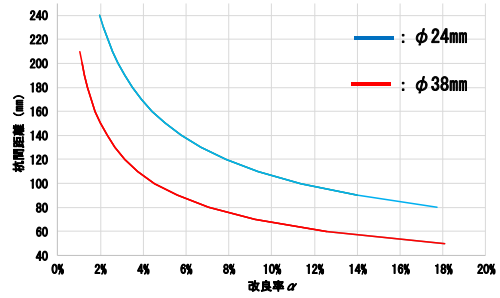
GP 締固め効果の設計指針の構築として、現場で用いやすいように打設後相対密度算出法と改良率の関係を図-8(a)に示す。なお、打設後相対密度は、最も安全側に設定するため、格子内沈下量0mmとした。

$$Vv = V' - Vg - Vs \dots \dots \dots (5)$$

また、模型試験に合わせて $\phi 24$ mm,  $\phi 38$ mmの格子杭間距離と改良率の関係を図-8(b)に示す。以上より、現場設計フローの提案をする。



(a)  $D_r'$ と $\alpha$ の関係

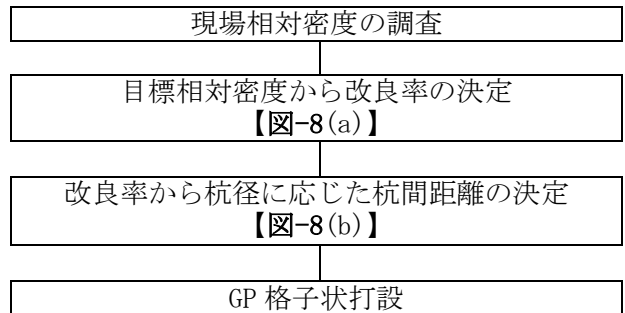


(b) dと $\alpha$ の関係

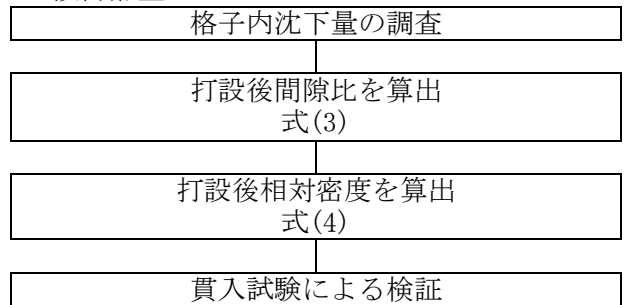
図-8 GP 締固め効果の設計指針

【現場設計フローの提案】

・設計から施工



・設計照査



#### 4. まとめ

打設杭1本の締固め効果では、指標として定義した貫入抵抗増加率(R/Z)に着目すると、杭中心からの距離の増加とともに減少する結果が得られた。杭径は異なるが改良率が同じ事例の試験では、深さ抵抗率の増分は等しい結果が得られた。

格子状打設時の締固め効果では、打設前後の貫入抵抗値の関係に着目すると、打設後貫入抵抗値は未改良地盤に対して全域で増加しており、大きな締固め効果を示した。杭径は異なるが、改良率が同じ事例の試験では、貫入抵抗値の増分は等しく、GP 締固め効果は面積比による管理が可能であることが明らかとなった。また、格子状打設時の地盤内部の変化に着目した算出法とコーン貫入試験によって得られたデータを比較することで、改良率を用いた打設後相対密度の予測を定量的に算出することが可能となった。

#### 5. 今後の展望

打設杭1本の締固め効果では、浅層部が弱い結果が確認できた。原因として抜け上がりによる影響が考えられ、これを考慮する設計、施工方法を

検討する必要がある。

格子状打設時の締固め効果では、改良率と打設後相対密度の関係を示すことができ、設計指針を概ね構築することができた。しかし、今回提案した設計指針では、打設後の地盤の間隙比にのみ着目しており、打設による内部応力を取り入れていない。杭径が大きい場合などの応力発生の確認を再度行い、設計指針に取り入れていく必要があるといえる。また、格子内沈下量についても簡易的な計測による値であるため、正確な沈下体積を計測できていない。沈下量を数学的に算出する必要がある。

最後に、現地試験を実施し、算出法が正しいか確認も行う必要があると考えられる。

#### 【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