

柱状碎石補強体を用いた地盤補強工法（ハイスピード工法）による支持力特性
 （複合地盤の地盤補強効果の確認と液状化に対する効果）

柱状碎石補強体，地盤補強工法，支持力特性
 液状化

正会員 小串 隼人* 同 堀田 誠*
 同 杉野 真衣子* 同 宮原 寛幸*

1. はじめに

柱状碎石補強体を用いた地盤補強工法は，支持力度の増大と不同沈下の抑制に効果がある^{1), 2)}。本報告は，載荷板の形状と柱状碎石補強体の配置を変えた載荷試験の結果，および東日本大震災での戸建て住宅の液状化被害について報告する。

2. 試験概要

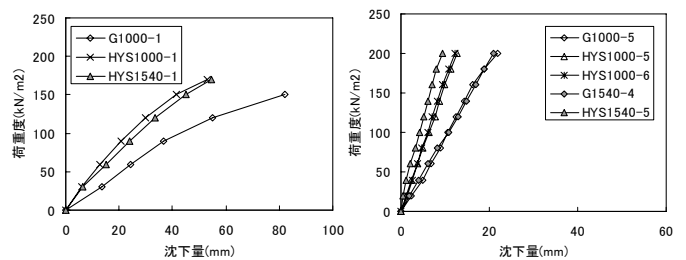
本工法の地盤補強効果を確認するため，載荷板の形状と柱状碎石補強体の配置を変えた載荷試験を行い，原地盤の支持力度と柱状碎石補強体を用いた補強地盤の支持力度を比較した。柱状碎石補強体の径はφ400，φ450，φ550の3種類である。試験で用いた載荷板は1000mm×1000mm=1m²，1380mm×1380mm=1.9m²の正方形板および1540mm×650mm=1m²の長方形板である。置換率(柱状改良体面積/載荷板面積)は0.126~0.252である。表1に載荷板の形状と置換率を示す。試験体の名称は，例えば「G1000-1」は「G」：原地盤，「1000」：載荷板の長辺，「1」：通し番号である。試験地盤は，粘性土地盤5箇所(富山県氷見市，愛媛県西予市，愛媛県松山市，愛媛県八幡浜市，栃木県宇都宮市)と砂地盤3箇所(高知県香南市，岡山県瀬戸内市，徳島県徳島市)である。

3. 試験結果

図1に原地盤と補強地盤の支持力度の比較を示す。ここでは，粘性土地盤と砂質土地盤を1例ずつ示す。柱状碎石補強体を用いた補強地盤は，原地盤より支持力度は大きく，地盤補強効果が認められる。載荷板の形状の違いによる支持力度の差はないことがわかった。

図2，表3に設計の長期支持力度と載荷最大荷重度の比較を示す。設計の長期支持力度は，原地盤部の支持力度と碎石部の支持力度を置換率に応じて負担割合を決め計算したものである。表2に示す試験の長期荷重度は，*1印のものは短期荷重程度までの載荷であるため2で除し，*2印のものは極

限荷重まで載荷したため3で除したものである。長期荷重度を比較すると平均で1.9倍程度実験値の方が大きく，計算値は安全側の評価となっている。なお，実験値/計算値の比の最小が，わずかに1を下回る試験体は，試験の反力が不足したため，途中で試験を中止したものである。また，設計式による長期許容支持力度時の沈下量は最大でも18mmと実用上問題とならない沈下量であることを確認した。



粘性土地盤の例 砂質土地盤の例
 図1 原地盤と補強地盤の支持力度の比較

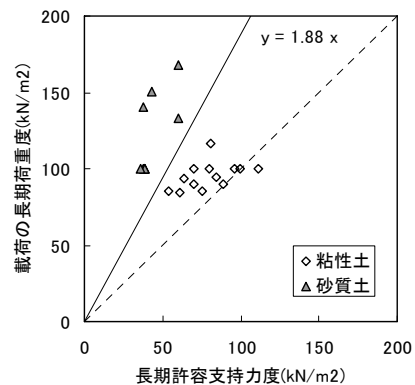


図2 載荷の長期荷重度と長期許容支持力度の比較

表2 設計の長期荷重度と載荷最大荷重度の比較

番号	名称	載荷板(mm)	改良径(mm)	置換率 as (試験力/γ)	土質	実験値(kN/m ²)		計算値(kN/m ²)	実験値/計算値
						最大値	長期荷重度		
18	HYS1000-1	1000×1000	φ400	0.126	粘性土	170.0	85.0 [*]	53.5	1.59
21	HYS1540-1	1540×650	φ400	0.252 (B)	粘性土	170.0	85.0 [*]	75.8	1.12
27	HYS1000-2	1000×1000	φ400	0.126	粘性土	180.0	90.0 [*]	70.0	1.29
30	HYS1540-2	1540×650	φ400	0.252 (B)	粘性土	180.0	90.0 [*]	88.5	1.02
36	HYS1000-3	1000×1000	φ400	0.126	粘性土	200.0	100.0 [*]	79.4	1.26
39	HYS1540-3	1540×650	φ400	0.252 (B)	粘性土	200.0	100.0 [*]	95.8	1.04
45	HYS1000-4	1000×1000	φ400	0.126	粘性土	200.0	100.0 [*]	99.7	1.00
48	HYS1540-4	1540×650	φ400	0.252 (B)	粘性土	200.0	100.0 [*]	111.5	0.90
55	HYS1000-5	1000×1000	φ400	0.126 (A)	砂質土	200.0	100.0 [†]	38.5	2.60
56	HYS1000-6	1000×1000	φ400	0.126 (B)	砂質土	200.0	100.0 [†]	38.9	2.57
59	HYS1540-5	1540×650	φ400	0.126 (A)	砂質土	200.0	100.0 [†]	38.0	2.63
65	HYS1000-7	1000×1000	φ400	0.126	砂質土	200.0	100.0 [†]	38.4	2.61
68	HYS1540-6	1540×650	φ400	0.126 (A)	砂質土	200.0	100.0 [†]	36.2	2.76
72	HY1000(400)-1	1000×1000	φ400	0.126	砂質土	300.0	100.0 [†]	43.4	3.47
74	HY1000(450)-1	1000×1000	φ450	0.159	砂質土	451.2	150.4 [†]	60.4	2.78
78	HY1540(550)-1	1540×650	φ550	0.237 (A)	砂質土	504.0	168.0 [†]	60.2	2.22
79	HY1000(550)-1	1000×1000	φ550	0.238	砂質土	400.0	133.3 [†]	38.0	3.69
80	HY1380(550)-1	1380×1380	φ550	0.125	粘性土	420.1	140.0 [†]	63.7	1.47
85	HY1000(400)-2	1000×1000	φ400	0.126	粘性土	280.3	93.4 [†]	69.8	1.43
87	HY1000(450)-2	1000×1000	φ450	0.159	粘性土	300.2	100.1 [†]	81.1	1.44
91	HY1540(550)-2	1540×650	φ550	0.237 (A)	粘性土	349.8	116.6 [†]	84.2	1.12
92	HY1000(550)-2	1000×1000	φ550	0.238	粘性土	282.7	94.2 [†]	60.8	1.39
93	HY1380(550)-2	1380×1380	φ550	0.125	粘性土	253.0	84.3 [†]	60.8	1.88
平均									

表1 載荷板の形状と置換率

	円φ300, φ400 円φ450, φ550	長方形 1540×650	正方形 1000×1000	正方形 1380×1380
原地盤	○	■	■	■
碎石補強地盤	●	A: ■	■	■
		B: ■	■	■
置換率	1	A: 0.126~0.237 B: 0.252	0.126	0.125

4. 東日本大震災後の液状化による不同沈下の調査概要

震災後の調査は、東日本を中心に1都7県で合計219物件について行った。調査方法は、目視により基礎梁に異常があるもの及び液状化被害を受けたものはレベル測定を行った。多くの物件は、被害を受けていないことがわかったが、茨城県の3件(後出)は液状化により不同沈下が生じていた。

5. 調査結果

茨城県神栖市賀の物件(写真1)は、土間コンクリートが15cm程持ち上がり、基礎の脇から水が噴き出した跡があった。液状化の影響で、北西から南東へ約70mm傾斜していた。茨城県神栖市深芝の物件(写真2)は、外溝のフェンスが大きくたわみ、側方流動のため舗装が開いていた。填砂は多かったが、基礎にはクラックなどは見られなかった。北西から南東に約60mm傾斜していた。茨城県神栖市深芝の物件(写真3)は、北方向から南方向へ約15mm傾斜していた。基礎にクラックなどは入っていなかった。結果として3物件とも、周辺の建物と比べて被害は少なかった。また、不同沈下の度合いは、周辺の建物で傾きが20/1000~60/1000であったのに対し2/1000~6/1000であった。表3にこれらの調査結果をまとめたものを示す。

図3、図4は、茨城県神栖市深芝の物件(写真3)の柱状砕石補強体の設置と地盤調査データである。調査データを見てもわかるようにすべて砂質土で、GL-1.00m~-5.00m付近までN値1~3程度の軟弱な層であることがわかり、液状化しやすい土地であることがわかる。この物件は、支持力について検討したもので、液状化については検討していない。液状化について検討する場合は、建物の外側にも柱状砕石補強体を配置し、厚さ300mm~500mmの砕石透水マットを施工することで、地震発生時の過剰間隙水圧を抑制する。

7. まとめ

載荷試験の結果、実験の長期荷重度は、設計値の長期許容支持力度に比べ平均で1.9倍あり、設計値は安全側である。

震災後の調査結果より、本工法は築造された柱状砕石補強体の隙間に水が通るため、土中の水圧上昇が抑えられ液状化の影響を抑制できると考えられる。また、砕石柱状体の支持力及び、砕石柱状体周辺の原地盤の締め固め効果によるものと考えられる。今回の調査物件の設計は支持力検討のみで、液状化対策をしていないにも関わらず、被害が小さかったことから液状化対策設計をすることでより効果があると考えられる。しかし、今後の課題として液状化発生時の砕石柱状体の透水係数の変化、また経年変化の検証が必要であると考えられる。

参考文献

- 堀田ほか：柱状砕石補強体を用いた地盤補強工法（ハイスピード工法）による地盤改良効果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.575~576，2011.8
- 宮原ほか：柱状砕石補強体を用いた地盤補強工法（ハイスピード工法）による支持力特性，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.577~578，2011.8
- 建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室ほか：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案）pp.136~152，1999.3



写真1 茨城県神栖市賀



写真2 茨城県神栖市深芝



写真3 茨城県神栖市深芝



写真4 沈下計測状況

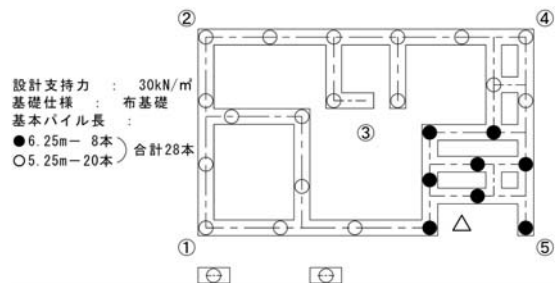


図3 柱状砕石補強体の配置

荷重 N値 (kN)	平均 N値 (kN)	貫入深さ D (m)	100%の 平均N値 (kN)	土質名	調査 N値 (kN)	貫入深さ100%の平均 N値 (kN)	調査 N値 (kN)	砕石柱状体 長さ (m)
1.00	0	0.25	12	砂質土	2.0	2.0	37.2	6.25
1.00	35	0.50	100	砂質土	2.0	2.0	90.0	6.25
1.00	38	0.75	152	砂質土	2.0	2.0	123.1	5.120
1.00	52	1.00	208	砂質土	2.0	2.0	159.9	5.120
1.00	12	1.25	48	砂質土	2.0	2.0	39.2	58.0
1.00	0	1.50	24	砂質土	2.0	2.0	3.6	44.8
1.00	2	1.75	8	砂質土	2.0	2.0	2.5	34.8
0.75	0	2.00	0	砂質土	2.0	2.0	3.5	---
1.00	0	2.25	0	砂質土	2.0	2.0	2.0	---
0.50	0	2.50	0	砂質土	2.0	2.0	1.0	---
0.50	0	2.75	0	砂質土	2.0	2.0	1.0	---
0.75	0	3.00	0	砂質土	2.0	2.0	1.5	---
0.75	0	3.25	0	砂質土	2.0	2.0	1.5	---
0.75	0	3.50	0	砂質土	2.0	2.0	1.5	---
0.75	0	3.75	0	砂質土	2.0	2.0	1.5	---
0.75	0	4.00	0	砂質土	2.0	2.0	1.5	---
0.25	0	4.25	0	砂質土	2.0	2.0	0.5	---
1.00	17	4.50	68	砂質土	2.0	2.0	6.5	70.8
1.00	6	4.75	24	砂質土	2.0	2.0	3.6	44.4
1.00	0	5.00	0	砂質土	2.0	2.0	1.5	---
1.00	1	5.25	4	砂質土	2.0	2.0	2.2	32.4
1.00	2	5.50	8	砂質土	2.0	2.0	2.5	34.8
1.00	3	5.75	12	砂質土	2.0	2.0	2.8	37.2
1.00	3	6.00	16	砂質土	2.0	2.0	2.8	37.2
1.00	0	6.25	0	砂質土	2.0	2.0	2.0	---
1.00	0	6.50	0	砂質土	2.0	2.0	2.0	---
1.00	2	6.75	8	砂質土	2.0	2.0	2.5	34.8
1.00	1	7.00	4	砂質土	2.0	2.0	2.2	32.4
1.00	0	7.25	0	砂質土	2.0	2.0	3.6	44.4
1.00	12	7.50	68	砂質土	2.0	2.0	6.5	70.8
1.00	13	7.75	82	砂質土	2.0	2.0	5.4	61.2
1.00	1	8.00	4	砂質土	2.0	2.0	2.2	32.4
1.00	11	8.25	44	砂質土	2.0	2.0	4.9	56.4
1.00	7	8.50	28	砂質土	2.0	2.0	3.8	40.8
1.00	0	8.75	0	砂質土	2.0	2.0	2.0	---
1.00	3	9.00	12	砂質土	2.0	2.0	2.8	37.2
1.00	19	9.25	16	砂質土	2.0	2.0	7.0	73.8
1.00	11	9.50	44	砂質土	2.0	2.0	4.9	56.4
1.00	14	9.75	56	砂質土	2.0	2.0	5.2	63.6
1.00	13	10.00	82	砂質土	2.0	2.0	5.4	61.2

図4 地盤調査データ

表3 液状化した地域の建物不同沈下調査結果一覧

県名	地名	砕石柱状体長さ	本数	基礎形状	不同沈下量
茨城県	神栖市賀	6	19	ベタ基礎	6.4/1000
		4.5	18		
		2.75	9		
茨城県	神栖市深芝	5.25	28	布基礎	6.0/1000
茨城県	神栖市深芝	6.25	8	布基礎	2.2/1000
		5.25	20		
茨城県	稲敷市	1.50	69	ベタ基礎	被害なし