

柱状碎石補強体を用いた地盤補強工法（エコジオ工法）の鉛直支持力特性

締固め碎石杭 支持力 平板載荷試験

(株)サムシング 正 会 員 神村 真 永井優一
(株)尾鍋組 正 会 員 尾鍋哲也
三重大学 国際会員 酒井俊典

1. 背景

近年、住宅のような小規模建築物を対象とした地盤補強工法として、碎石柱を地盤内に築造する工法が普及しつつある。セメント系固化材や鋼管を使用する工法よりも原材料調達段階での CO₂ 排出量が少ないため、注目が集まっているが、その施工法は様々で、それぞれの支持力特性は明らかにされていない。

著者らは、碎石柱築造中の孔壁崩壊の防止や締固め条件を一定とすることで碎石柱の品質を安定化することを試みた碎石柱の築造手法（エコジオ工法）を開発し、この手法により築造した碎石柱上に平板を敷設し、大型平板載荷試験を実施した。ここでは、本工法の概要と平板載荷試験結果について報告する。

2. 工法概要

写真-1 に、本工法で使用するアタッチメントの外観を示す。アタッチメントは、先端スクリーを有するケーシングと碎石投入装置からなる。ケーシングには、ゴム製ドア(EG ドア)が装備されており、これによってケーシングの着底深度によらず碎石を投入することが出来る。ケーシング内に投入された碎石は先端スクリーの回転により締固められる。本工法では、実験結果に基づき、締固め層厚 10cm、締固めトルク 3kN・m 以上と設定している。

写真 1 専用
アタッチメント全景

3. 試験概要

写真-2 に載荷試験状況の一例を、

表-1 に実施ケースをそれぞれ示す。図 1 に載荷試験結果の一例を示す。表-1 に示すように、砂質土、粘性土、ロームを対象に載荷試験を行った。図 2 に、改良率と極限支持力度の関係を示す。ここで、改良率 a_s は、平板底面積に対する補強体断面積(直径 420mm 換算)の比である。改良率 $a_s=0.9$ 付近の実験ケースは、補強体頭部に実施した直径 300mm 平板載荷試験結果とほぼ一致することから改良率 $a_s=1.0$ 相当の実験結果と評価出来る。このため、複合地盤としての実験ケースは、平板寸法が 500×1,000(または 910)mm、600×600mm、1,000×1,000mm の三種類となる。極限支持力度は a_s の増加に伴い増加する傾向にあり、改良率 a_s の増加に伴い原地盤の支持力が補強されることが分かる。

表 1 載荷試験ケース

土質	施工 ピッチ (mm)	補強体長 (m)	基礎幅 (mm)
砂質土	1,820	4.5	400,600
			300
			400,600, 1,000
			500×1,000
ローム	1,820	2.5	400, 600
			400,600
粘性土	910	4.5	400,600
			2.0,3.0,4.5
			400
			600,1,000
			500×1,000
1,820	4.5	400, 600	



写真 2 載荷試験状況

4. 設計手法の検討

3. から本工法により補強された地盤の極限支持力は、改良率 a_s に比例する傾向が確認出来た。この傾向は、日本建築学会が示すサンドコンパクションパイルの支持力特性と対応していることから、本工法の鉛直支持力を日本建築学会が示す手法で推定することとした。なお、住宅分野においてはスウェーデン式サウンディング試験(以下、SWS 試験)に

The characteristics of vertical bearing capacity on reinforced ground by using the gravel pier “ECOGEO”, Makoto Kamimura¹, Yuichi Nagai¹, Tetsuya Onabe² and Toshinori Sakai³ (1:SOMETHING, co., Ltd; 2:ONABE Corporation Co., Ltd; 3:Mie University)

よる地盤調査が一般的であるため、SWS 試験結果を用いて原地盤の支持力を推定することとした。支持力推定式を式(1)に示す。

$$R_u = Q_{up} + Q_{u1} \quad (1a)$$

$$Q_{up} = a_s \cdot (i_p \cdot \beta \cdot \gamma_p \cdot B \cdot \eta \cdot N_{pP} + i_q \cdot \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_{qP}) \cdot A \quad (1b)$$

$$Q_{u1} = (1 - a_s) \cdot \gamma \cdot (90 \cdot W_{sw} + 0.6 \cdot N_{sw}) \cdot A \quad (1c)$$

ここで、 R_u ：補強地盤の極限支持力(kN)； Q_{up} ：砕石部が受け持つ極限支持力(kN)； Q_{u1} ：原地盤が受け持つ極限支持力(kN)； a_s ：改良率()； i_p, i_q ：荷重傾斜に対する補正係数； β ：基礎の形状係数； η ：基礎の寸法効果による補正係数； γ_p ：砕石部の単位体積重量 (kN/m³) (ここでは、 $\gamma_p=16\text{kN/m}^3$)； N_{pP}, N_{qP} ：砕石地盤の支持力係数(ここでは $\phi_p=40^\circ$ で設定)； γ_1 ：原地盤の単位体積重量(kN/m³)； γ_2 ：根入れ部分の土の単位体積重量(kN/m³)； B ：基礎幅(m) (短辺幅)； N_p, N_q ：未補強地盤の支持力係数； D_f ：根入れ深さ(m)(ここでは $D_f=0\text{m}$)； A ：基礎底面積(m²)； W_{sw} ：1kN 以下で 25cm 貫入した場合の荷重。(kN)； N_{sw} ：上記の荷重で貫入が停止した後、回転により貫入させた時の貫入量 1m 当たりの半回転数 (回/m) (ここでは、 $N_{sw}=0$ と仮定)

表 2 に载荷試験を実施した位置での補強体周辺地盤の地盤定数 (SWS 試験結果) を示す。また、図 3 に正方形基礎における推定支持力度と実測支持力度の関係を示す。また、図 4 に、極限支持力の実測値と推定値の関係を示す。図 3、4 から、補強体周辺地盤の N_{sw} を評価しないことで推定支持力度が実測値を過大評価しないことが分かる。

表 2 未補強地盤の地盤定数

	砂質土	ローム	粘性土
W_{sw} (kN)	1.0	0.94	0.77
N_{sw} (回)	85.7	0	0

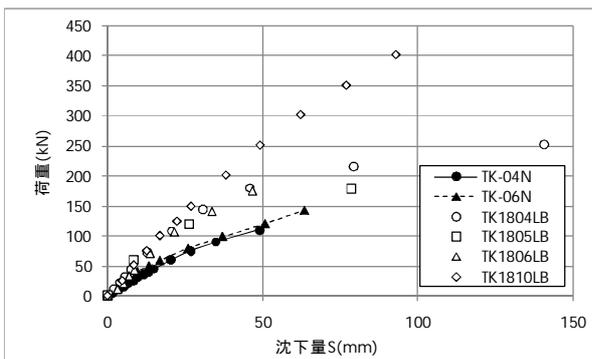


図 1 载荷試験結果の一例 (砂質土)

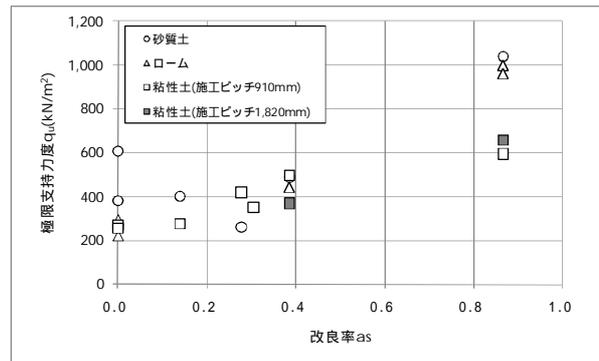


図 2 改良率と極限支持力度の関係

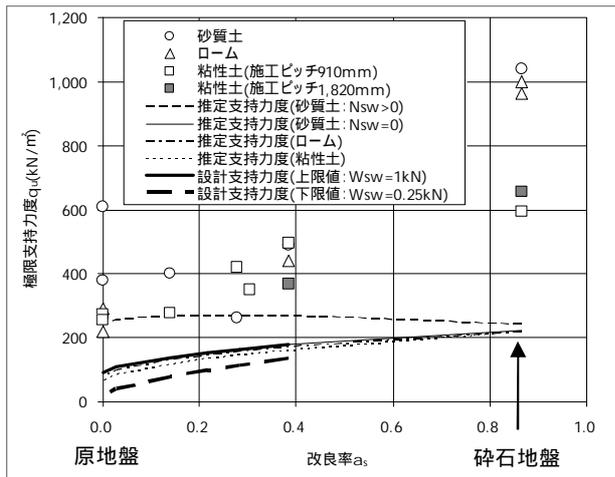


図 3 改良率と今日苦言支持力度の関係(推定値併記)

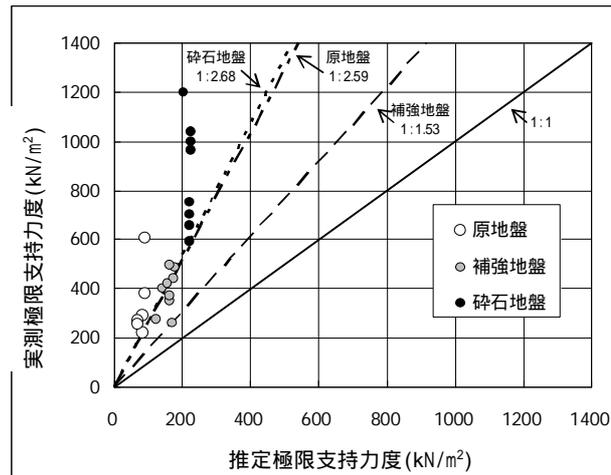


図 4 推定支持力度と実測支持力度の関係

5. 結論

以上のことから、本工法は、粘性土・砂質土・ローム地盤のいずれにおいても施工可能であることが確認できた。また、補強地盤の支持力は、砕石地盤の内部摩擦角 $\phi_p=40^\circ$ および単位体積重量 $\gamma_p=16\text{kN/m}^3$ と設定することで(1)式により安全側に推定出来ることが確認出来た。

【参考文献】日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案, pp350-361,2006