

# コンステックHD テクニカルレポート

CONSTEC HOLDINGS TECHNICAL REPORT



# 砕石パイルを用いた地盤改良工法【スクリュー・プレス工法】平板載荷実験による支持力推定式の検討

グランテック  
氷見事業本部  
永井 理之

コンステック  
診断技術部  
佐藤 大輔



グランテック  
土木部  
高橋 隆

グランテック  
営業部  
高野 薫



## 概要

住宅、道路、擁壁などの比較的小規模の構造物を対象として、地盤を柱状砕石補強体によって、補強する工法が普及してきている。

スクリュー・プレス工法は、軟弱な地盤の上に住宅、道路、擁壁などの比較的小規模な構造物を築造する際に、不同沈下による事故を防止するために、地盤を補強、強化できる地盤改良工法である。

本稿では、砕石を用いたスクリュー・プレス工法によって改良された地盤について平板載荷試験を実施し確認された鉛直支持力性能について記述する。また、鉛直支持力推定式の妥当性について検討を行った。本稿の内容は(一財)日本建築総合試験にて性能証明を取得するために実施したものの一部である。

**キーワード：地盤改良、砕石パイル、極限支持力**

## 1. はじめに

スクリュー・プレス工法は、螺旋状に接合された羽根を周囲にもつ円筒状で、かつ先細り形状の胴体のスクリュードリルを直立させて回転を与えながら地表面に突き刺し、羽根の推進力で所定の深さまで地盤を削孔し出来た孔に、砕石を充填・転圧して柱状砕石補強体を構築し地盤の性能を向上するものである。

本稿では、粘性土地盤で実施した平板載荷試験を中心に述べる。試験は、小規模建築物へ広く適用されるために必要な(一財)日本建築総合試験所(以下G B R Cと記述する)の認証事業である性能証明取得のために実施したものである。

## 2. スクリュー・プレス工法

### 2.1 開発目標

性能証明を取得するにあたり「スクリュー・プレス工法 設計・施工マニュアル」にしたがって施工された柱状砕石補強体を用いた補強地盤の長期的な荷重(鉛直荷重)に対する支持能力について、本工法の設計・施工マニュアルに定めるスウェーデン式サウンディング試験(以下SWS試験と記述する)結果に基づく支持力度算定式で適切に評価できること」を目標性能とした。また、適用範囲を設定し、それらを証明するための試験を計画・実施した。

### 2.2 適用範囲

#### 2.2.1 柱状砕石補強体の仕様

直 径：φ 400mm

補強体長：4 m 以下

改 良 率： $0.036 \leq a_s \leq 0.43$

※改良率とは載荷面積に対する柱状砕石補強体の面積割合

## 2.2.2 使用材料

JIS 規格 A5001 道路用碎石 1 種 S-40 (3 号)

## 2.2.3 適用地盤

・粘性土地盤

・SWS 試験による換算 N 値(以下 N' 値と示す)の平均 N' 値が、 $N' \geq 1.5$  の地盤とする。N' 値は次式で示される。

粘性土地盤： $N' = 3W_{sw} + 0.05N_{sw}$  . . . . (1)

$W_{sw}$ ：1kN 以下で 25cm 貫入した場合の荷重 (kN)

$N_{sw}$ ：上記荷重で貫入が停止した後、回転により貫入された時の貫入量 1m あたりの半回転数(回 /m)とする。

SWS 試験は、建設予定の建築物の四隅を含む 5 箇所以上で実施する。但し、建築面積が 200 m<sup>2</sup> を超える場合は、超過面積 200 m<sup>2</sup> 毎に 2.5 箇所(小数箇所数となる場合は整数に切り上げ)以上を追加実施することとする。

## 2.2.4 適用建築物

小規模建築物および小規模な擁壁(高さ 2m 以下)、地下室、土留めと小規模な水路構造物に適用する。

本工法における小規模建築物とは

- ① 地上 3 階以下
- ② 建物高さ 13m 以下
- ③ 延べ面積 1500m<sup>2</sup> 以下(平屋の場合 3,000m<sup>2</sup> 以下)

である。

## 3. 平板載荷試験

### 3.1 試験概要

本性能証明では、柱状碎石補強体打設による地盤補強効果を証明するため、地盤工学会基準(JGS1521)に準拠した平板載荷試験を次の 3 つの条件で実施した。

- ① 原地盤のみ
- ② 柱状碎石補強体のみ
- ③ 柱状碎石補強体と原地盤の両方が荷重を負担する複合地盤

また、平板形状を変えることで基礎形式を考慮した。500 × 1100mm は布基礎を 1100 × 1100mm はべた基礎を想定したものである。平板載荷試験状況を写真 1 に示す。



(a) 載荷板 500 × 500mm



(b) 載荷板 500 × 1100mm

写真 1. 平板載荷試験状況

### 3.2 試験内容

平板載荷試験・標準貫入試験・SWS 試験を実施した。実施位置を図 1 に示す。平板載荷試験は緑線の位置に配置し、3.1 に示した平板サイズとともに  $\phi 400$ 、 $500 \times 500\text{mm}$  の載荷板を加え 4 種類にて実施している。SWS 試験は柱状砕石補強体の施工前後に試験位置①～⑤にて実施している。また、原地盤の状態・土質を把握するため、各試験地で施工前に標準貫入試験を実施した。

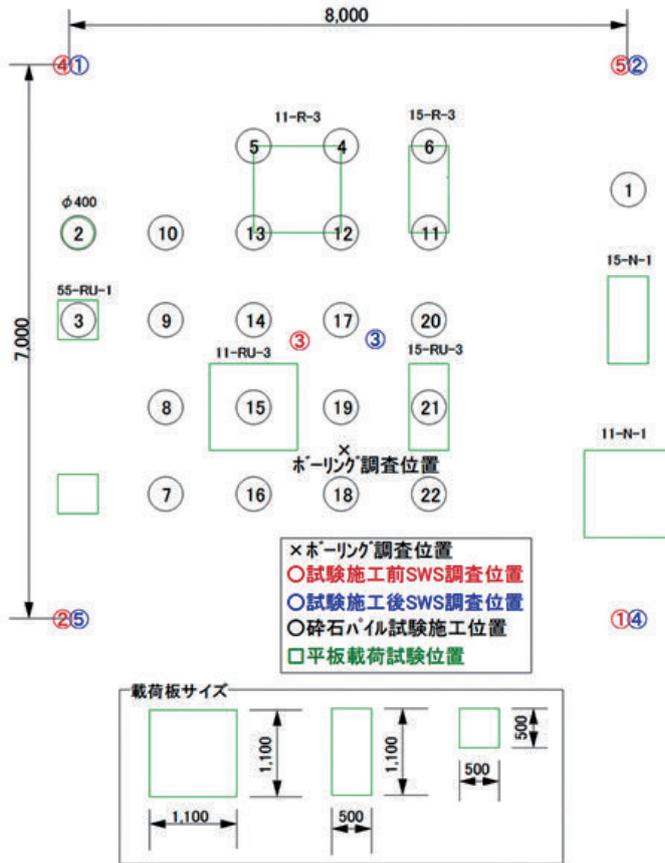


図 1. 試験実施箇所 (上景)

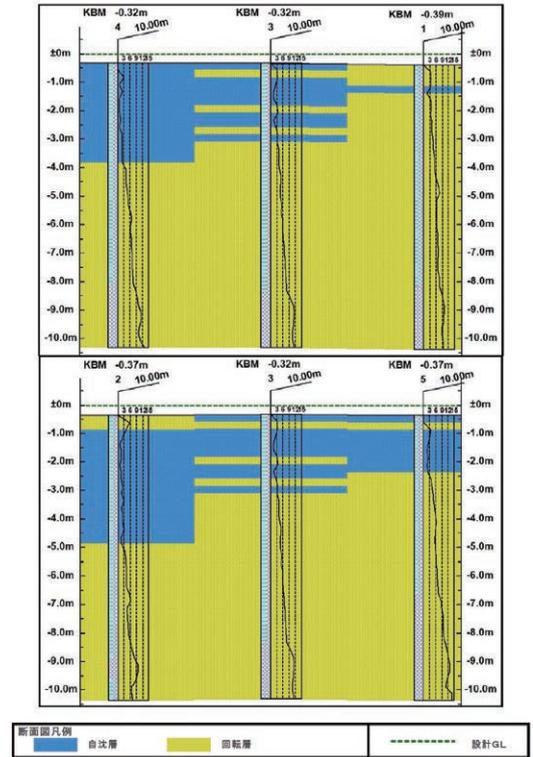


図 2. 推定断面図 (SWS)

標準 尺高 (m)	標準 厚度 (m)	標準 深さ (m)	柱状 状況	土質 区分	色相 対対 調度	相対 密度	相対 含水量	記 事	標準貫入試験				原位置試験 深さ (m)	試験名 および結果	試料採取 深さ (m)	採取 方法	室内試験 ( )	観測 月日
									深さ (m)	10mごとの 打撃回数 (回)	貫入 速度 (m/s)	測定 日						
0.0	0.0	0.0							0.0	0								
1.0	1.0	1.0							1.0	1								
2.0	2.0	2.0							2.0	2								
3.0	3.0	3.0							3.0	3								
4.0	4.0	4.0							4.0	4								
5.0	5.0	5.0							5.0	5								
6.0	6.0	6.0							6.0	6								
7.0	7.0	7.0							7.0	7								
8.0	8.0	8.0							8.0	8								
9.0	9.0	9.0							9.0	9								

図 3. 柱状図

### 3.3 平板載荷試験結果

平板載荷試験結果の一例を図4に示す。柱状碎石補強体を有する場合には基礎幅1,100mmと500mmを比較すると同一変位にて荷重で1.5倍程度増加している。また、基礎幅500mm、荷重300kNの試験では沈下量が基礎幅比の0.1を超えたものの、その他の試験については極限支持力度を超えていないと判断される。それぞれの基礎形状と変位の傾向はほぼ一致している。

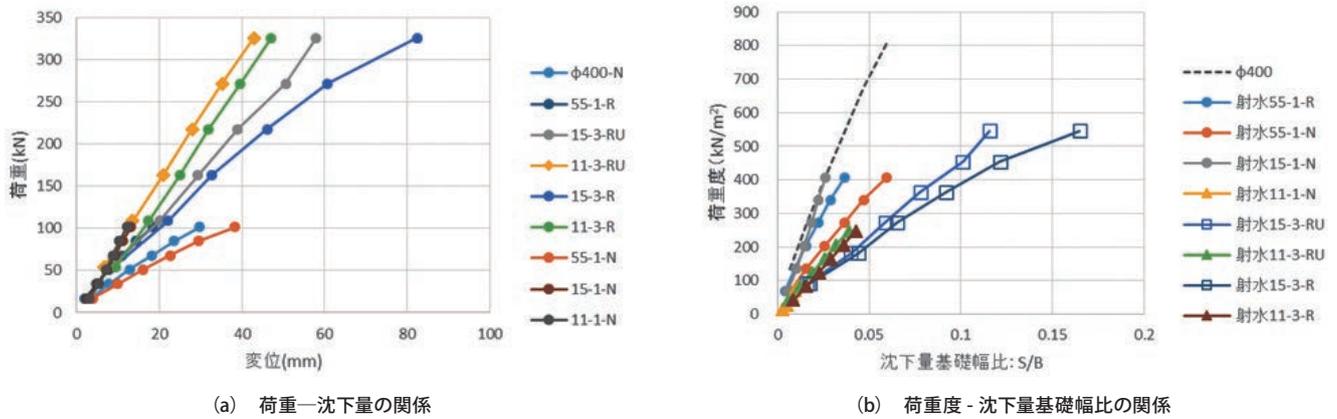


図4. 載荷試験結果の一例

平板載荷試験の全箇所の結果を表1に示す。極限支持力度は、沈下量基礎幅比(S/B)が0.1となるときはその荷重を、またS/B < 0.1となるときは試験時における最大荷重を極限支持力度とした。

表1. 試験結果一覧

試験場所	杭長さ (m)	載荷板サイズ (mm)	載荷位置	改良率	最大値			極限值(S/B=0.1)		
					変位 (mm)	荷重 (kN)	荷重度 (kN/m <sup>2</sup> )	変位 (mm)	荷重 (kN)	荷重度 (kN/m <sup>2</sup> )
富山県 氷見市上泉	4	1,100×1,100	杭頭中心	0.13	75	300	248	—	—	—
			杭間	0.13	83	300	248	—	—	—
		500×1,100	杭頭中心	0.29	124	300	545	50	250	454
			杭間	0.29	69	250	454	50	250	454
	補強体 なし	500×500	—	0.50	54	102	408	50	102	408
		φ400	—	1.00	69	102	809	40	85	674
		1,100×1,100	—	—	28	102	85	—	—	—
		500×1,100			47	102	408	—	—	—
500×500	121	85			340	50	204	14		
富山県 射水市今井	2	1,100×1,100	杭頭中心	0.13	43	300	248	—	—	—
			杭間	0.13	47	300	248	—	—	—
		500×1,100	杭頭中心	0.29	58	300	545	50	250	454
			杭間	0.29	82	300	545	50	250	454
	補強体 なし	500×500	—	0.50	19	102	408	—	—	—
		φ400	—	1.00	39	102	809	—	—	—
		1,100×1,100	—	—	13	102	85	—	—	—
		500×1,100			14	102	408	—	—	—
500×500	30	102			408	—	—	—		
石川県 宝達志水町	4	1,100×1,100	杭頭中心	0.13	27	300	248	—	—	—
			杭間	0.13	33	300	248	—	—	—
	2	500×1,100	杭頭中心	0.29	43	300	545	—	—	—
			杭間	0.29	50	300	545	—	—	—
	4	500×500	—	0.50	32	102	408	—	—	—
			φ400	—	1.00	38	102	809	—	—
	補強体 なし	1,100×1,100	—	—	14	102	408	—	—	—
		500×1,100			13	102	408	—	—	—

## 4. 鉛直支持力の推定手法の検討

### 4.1 柱状碎石補強体の支持力特性

φ 400 柱状碎石補強体による極限支持力度は、今回の最小値である氷見市上泉のデータを参照した。ここで示される荷重度は 674kN/m<sup>2</sup> である。設計時に柱状碎石補強体の支持力を検討する際、この極限鉛直支持力を 300kN/m<sup>2</sup> とすることで、安全側に推定を行うこととする。

### 4.2 鉛直支持力の推定

「建築基礎のための地盤改良設計指針案」(日本建築学会)で、終局限界状態の支持力算定として以下の(3)～(5)式が推奨されている。前節に示す通り、柱状碎石補強体の支持力特性を安全側に推定するため、本工法では  $Q_{up}$  を 300kN/m<sup>2</sup> とした。また、小規模建築物における事前地盤調査では、SWS 試験結果により換算 N 値を得て設計に反映することが一般的である。よって、ここでは杭間地盤(原地盤)が受け持つ極限鉛直支持力  $Q_{ui}$  は、式(6)にて算出することとする。

$$R_u = Q_{up} + Q_{ui} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$Q_{up} = a_s \cdot (i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_p \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma \cdot 2 \cdot D_f \cdot N_q) \cdot A \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$Q_{ui} = (1 - a_s) \cdot (i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_p \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma \cdot 2 \cdot D_f \cdot N_q) \cdot A \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$Q_{ui} = (1 - a_s) \cdot 3 \cdot (30^{-W_{sw}} + 0.64^{-N_{sw}}) \cdot A \quad \dots \dots \dots (6)$$

よって、本工法の鉛直支持力推定式は次式となる

$$R_u = 300 + (1 - a_s) \cdot 3 \cdot (30^{-W_{sw}} + 0.64^{-N_{sw}}) \cdot A \quad \dots \dots \dots (7)$$

$Q_{up}$  : 杭心地盤が受け持つ極限鉛直支持力(kN)

$Q_{ui}$  : 杭間地盤が受け持つ極限鉛直支持力(kN)

$a_s$  : 改良率

$i_c$ 、 $i_\gamma$ 、 $i_q$  : 荷重の傾斜に対する補正係数

$\alpha$ 、 $\beta$  : 基礎の形状係数

$\eta$  : 基礎の寸法効果による補正係数

$\gamma_p$  : 杭心地盤の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_2$  : 根入れ部分の土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$B$  : 基礎幅(m)、(短辺幅)

$N_c$ 、 $N_\gamma$ 、 $N_q$  : 支持力係数

$D_f$  : 根入れ深さ(m)

$A$  : 基礎の底面積(m<sup>2</sup>)

$c$  : 支持地盤の粘着力(kN/m<sup>2</sup>)

$^{-W_{sw}}$  : SWS 試験における貫入時の荷重の平均値(kN)

$^{-N_{sw}}$  : SWS 試験における貫入量 1m あたりの半回転数(150 を超える場合は 150 とする)の平均値(回)

本工法が小規模建築物での適用を想定する場合、式(4)第 2 項の根入れ深さ  $D_f=0$  とする。

### 4.3 鉛直支持力推定の安全性確認

#### 4.3.1 改良率および極限支持力と推定支持力度との関係

図5に試験によって得られた極限支持力度および式(3)によって求められた推定支持力度と改良率との関係を示す。図に示す破線の推定支持力度は、各試験地で得られたN'値から求めたものである。改良を行わない場合の極限支持力度はおよそ50kN/m<sup>2</sup>となる。図より、本支持力度推定式によっても求まる支持力度に比べ、試験によって求められた支持力が大きく極限支持力度を安全側に推定できると判断される。

改良率0.5が推定支持力度の値に近い原因は、前述した通り載荷荷重を100kNまでとしており極限支持力度に到達していないためであり十分安全な設計ができるものと考えられる。

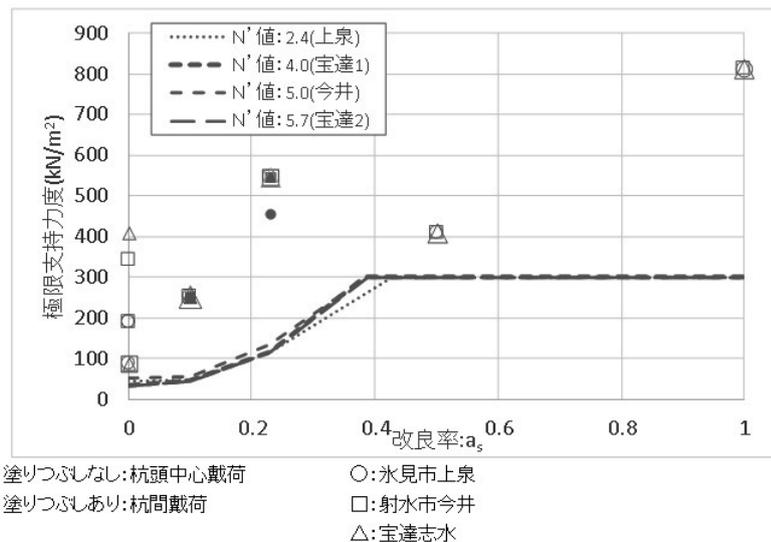


図5. 改良率と極限支持力度および推定支持力度の関係

#### 4.3.2 沈下量の検討

2001年告示1113号によれば、基礎構造として示された杭基礎、べた基礎、布基礎の各構造において、本工法が対象とするべた基礎では20~30kN/m<sup>2</sup>、布基礎では30kN/m<sup>2</sup>が求められることから、式(6)にてN<sub>sw</sub>を0としW<sub>sw</sub>0.5の軟弱地盤を想定し、本工法の支持力度推定式の安全性について確認する。

図6に示すとおり、各試験地で同等に、正方形基礎、長方形基礎いずれの場合も設計支持力度を満足していると判断される。

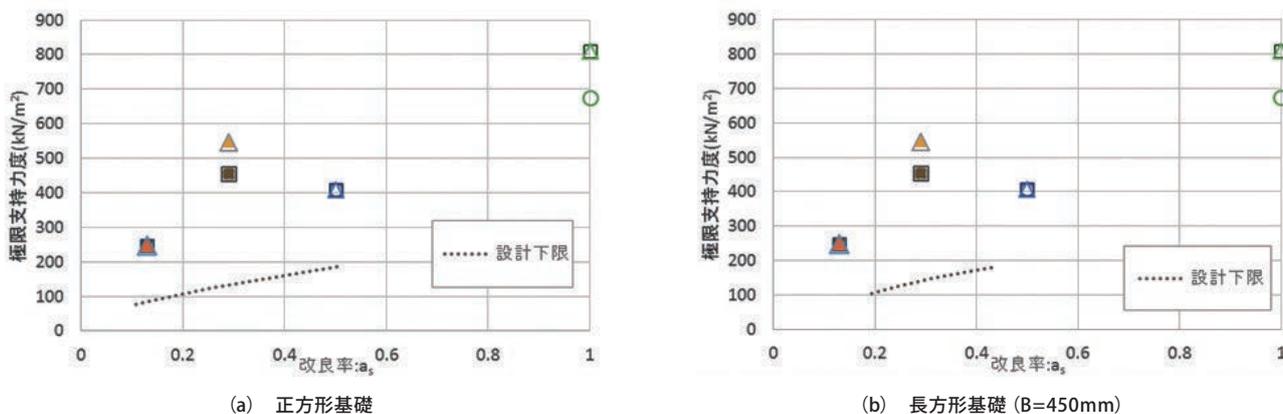


図6. 基礎底面積 (改良率) と極限支持力度の関係

---

## 5.まとめ

本工法にて、構築される柱状碎石補強体を含む複合地盤における平板載荷試験を鉛直支持力推定式に入力し長期許容支持力度を算定した結果、安全側に推定できることが確認された。

本工法では、SWS 試験によって得られた換算 N 値から求まる  $W_{sw}$  や  $N_{sw}$  および碎石の内部摩擦角  $\phi$  を  $40^\circ$  とし得られる係数を用いることとした。

また、碎石パイルによって改良された地盤は適用範囲の  $N' \geq 1.5$  の場合、長期許容支持力  $100\text{kN/m}^2$  の支持力が得られることが確認された。

本稿では、GBRC 性能証明取得のための平板載荷試験について述べた。スクリー・プレス工法ではこれ以外に換算 N 値に対しても安全側に設計するための対策を施し設計している。これらの内容については性能証明の説明資料および設計・施工マニュアルを参照していただきたい。

また、本性能証明では粘性土地盤を対象としたが、今後、砂質土においても液状化対策の実験結果を踏まえ性能証明や審査証明を取得する計画である。

本稿は 2 月に執筆したものであり、GBRC 専門委員会で審査中であり性能証明取得後、内容修正が必要な場合、本稿とは異なることがあることを付記する。

### [参考文献]

- ・日本建築学会、小規模建築物基礎設計指針、2008 年 02 月
- ・日本建築学会、建築基礎のための地盤改良設計指針案、2006 年 11 月