

ソイルセメント本設杭工法の開発

尻無濱 昭三^{*1}藤原 達夫^{*2}

概 要

地下空間の有効利用，地下工事の省力化，環境負荷の低減を可能とする工法として，仮設構造物であるソイルセメント柱列壁の芯材を建物の地下外壁として利用する合成壁工法を開発し実用化している。今回，この工法を更に発展させ，芯材の一部を支持層まで延長し，本設の支持杭として利用できるソイルセメント本設杭（Permanent Soil Cement Mixing Pile：PSP）工法を開発した。本工法は杭基礎や深層混合処理工法と同様に建物を支持する本設の支持杭として機能させるために，仮設山留め壁造成時より，富配合のセメントミルクを原位置で攪拌混合し高強度のソイルセメントを構築し，応力伝達材として芯材（形鋼）を挿入するものである。本報告は，PSP 工法の概要と本設杭としての支持性能を確認するために実施した各種実験について述べたものである。

キーワード：杭基礎，ソイルセメント，品質確認実験，施工実験，載荷試験

DEVELOPMENT OF PERMANENT SOIL CEMENT MIXING PILE

Shozo SHIRINASHIHAMA^{*1}Tatsuo FUJIWARA^{*2}

Abstract

For enabling effective use of underground space, labor saving of underground construction projects, and reduced environmental impact, a method for constructing a composite wall (RCS composite wall) was developed and has been practically utilized. This method is to make a row of temporary soil-cement mixing columns used as an underground external wall of building. Based on this method, we developed a technique for constructing permanent soil cement mixing pile (PSP) with part of cores (steel shapes) extended to the bearing layer. These piles, like pile foundation and deep mixing method of soil stabilization, can be employed as permanent piles. In a project by this new technique, from the time of construction of temporary earth retaining wall (soil mixing wall), rich cement milk is mixed in situ with soil, to produce high strength soil cement, and cores (steel shapes) that transmit stresses are inserted. This paper outlines the PSP technique and discusses various tests conducted to verify its bearing performance as permanent piles.

Keywords: pile foundation, soil cement, quality evaluation test, construction test, loading test

* 1 Architectural Technology Development Group, Institute of Technology

* 2 Manager, Architectural Technology Group, Engineering Division

ソイルセメント本設杭工法の開発

尻無濱 昭三^{*1}・藤原 達夫^{*2}

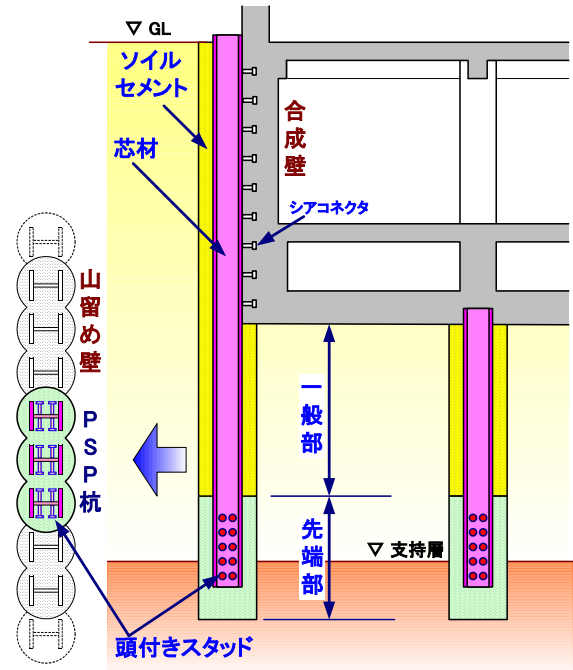
1. はじめに

基礎工事の合理化、環境負荷の低減を目的に、基本的に仮設構造物であるソイルセメント柱列壁を建物の地下外壁として利用する合成壁工法を開発・実用化している。本研究では、この合成壁工法を更に発展させ、芯材（形鋼）の一部を支持層まで延長して、杭基礎や深層混合処理工法と同様に、建物を支持する本設の支持杭として利用可能なソイルセメント本設杭（Permanent Soil Cement Mixing Pile; PSP）工法を開発した。本報告は、PSP 工法の概要および開発に際して実施した各種実験の概要を述べる。

1. 1 PSP工法の概要

開発した PSP 工法の概要を図－1 に示す。本工法は、本設の杭（地盤改良体）として利用するために、ソイルセメントカラム（柱）を支持層に確実に到達させて、支持力を確保するために、大深度の施工にも実績のあるソイルセメント柱列壁工法の施工機械を用い、仮設山留め壁の構築と同時に施工を可能にする。また、支持性能確保のため、ソイルセメント先端部は富配合として目標一軸圧縮強度を $5.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、その他の一般部を $1.0(\text{N}/\text{mm}^2)$ とし、さらに、本設構造物としての品質の確保ならびに芯材の建込みに必要な流動性と均質性を得るために、十分な攪拌を行うこととしている。

荷重伝達機構は、建物外周部に設置させる場合は、芯材フランジ面に取り付けたシアコネクタを介して（中杭として利用する場合は、底盤に直接）、芯材で鉛直荷重を受けた後、芯材とソイルセメントの付着力およびソイルセメントの周面摩擦力により周辺地盤へ荷重を伝達し、付着力および先端部の芯材ウェブに設置したシ



図－1 PSP工法の概要

アコネクタ（頭付きスタッド）とソイルセメントの支圧、あるいは芯材先端部とソイルセメントとの支圧を介して先端部の支持地盤に伝達させるものである。

1. 2 各種実験の概要

PSP 工法の開発にあたって、本設の構造物としての品質と性能を確保できる設計、施工方法を確立するために、下記に示す実験および検討^{1),2)}を実施した。

- 1)ソイルセメントの品質確認(含;室内配合試験)
- 2)施工性確認試験
- 3)応力伝達機構の把握のための構造実験および解析的検討
- 4)支持性能確認のための載荷試験

なお、本報告では、設計、施工と関連のある実験項目の概要と結果を抜粋して示す。

* 1 エンジニアリング本部 技術研究所 建築技術開発グループ

* 2 エンジニアリング本部 建築技術部 建築技術グループリーダー

2. ソイルセメントの品質確認試験

ソイルセメントの品質に関しては、芯材からの応力伝達に必要な強度が得られることと、その強度に PSP 杭の部位（一般部と先端部）におけるバラツキが少なく、均質であることが求められ、さらに、芯材を所定の深度まで建込むための流動性の確保も重要となる。

本章では、PSP 工法としての施工性や品質確認する目的で実施した実大の施工性試験結果から、ソイルセメントの品質に関する試験結果について報告する。

2. 1 ソイルセメントの圧縮強度

ソイルセメントの一軸圧縮強度(以後、圧縮強度または強度と称す)は、施工段階に応じて、①現地土を用いた室内配合試料による強度、②施工直後のソイルセメントから採取した未固結試料の強度、③施工後 1 週間以上経過したソイルセメントのコアボーリングから採取したコアの強度を管理標準としている。

図－2 に施工性試験を実施した地盤条件を図－3 にそれぞれの試験場で施工した試験杭から採取したコア供試体の圧縮強度の分布を示す。コア強度の分布は、それぞれ深度に比例して強度が増加し、ソイルセメントの配合（一般部、先端部）を反映したものとなっている。試験場 2 では、深度 20m 付近からのシルト層の影響を受けて、一般部の強度の低下が見られる。

次に、コア供試体から求めた強度と変動係数ならびに設計基準強度との関係を表－1 に示す。ここでの、設計基準強度の算定は、次式³⁾による。

$$F_c=(1-mV) \cdot q_u \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

F_c ; 設計基準強度(N/mm²)

V ; 変動係数

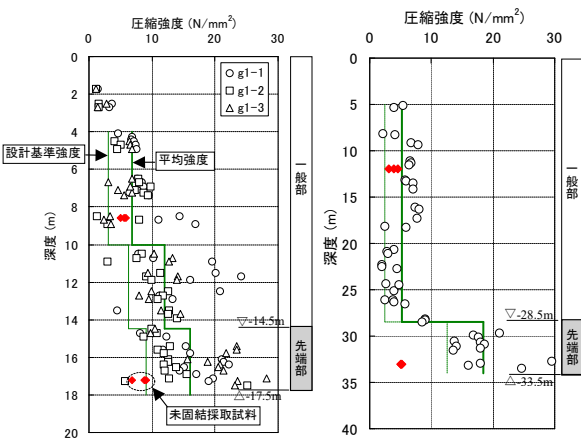
m ; 不良率 10%時に 1.3

算定にあたっては、強度の深度方向での分布特性を考慮して、一般部を上下に分けている。

設計基準強度は、全て目標強度（一般部：

試験場1（千葉県白井市）			試験場2（茨城県猿島郡）		
深度(m)	土質区分	N値	深度(m)	土質区分	N値
-0.9	盛土	—	-1.3	盛土	—
-2.7	ローム	6-8	-8.9	ローム 細砂 互層	5 21-30 2
-5.2	粘性土	1-2	-16.7	細砂	30-53
-5.8	細砂	6	-27.0	砂質 シルト	4-6 6-13
-14.1	細砂	12-26	-32.8	細砂	>60
-14.7	シルト	3			
	細砂	24-37			

図－2 試験場の土質柱状図



(a) 試験場 1 (b) 試験場 2

図－3 ソイルセメントの圧縮強度

表－1 コア強度（材齢 28 日）と変動係数および設計基準強度の関係

試験場	施工深度 (m)	採取位置	供試体数	平均強度 (N/mm ²)	変動係数	設計基準強度 (N/mm ²)
1	17.5	一般部上部	39	6.90	0.43	3.01
		一般部下部	35	11.48	0.43	5.08
		先端部	41	15.80	0.37	8.27
	17.5	一般部上部	36	7.58	0.44	3.37
		一般部下部	36	12.92	0.43	5.78
		先端部	44	14.66	0.35	7.90
	17.5	一般部上部	39	3.90	0.31	2.32
		一般部下部	36	8.98	0.28	5.67
		先端部	44	9.76	0.37	5.12
2	33.5	一般部(砂)	18	7.00	0.27	4.25
		一般部(シルト)	15	3.55	0.35	1.94
		先端部	13	18.40	0.24	12.60

1.0N/mm²、先端部：5.0N/mm²)を上回り、強度のバラツキを表す変動係数は 0.44 以下と、深層混合処理工法と同程度の品質が確保されていることを確認した。

施工直後のソイルセメントカラムから採取した未固結試料の圧縮強度とコア供試体の圧縮強度との関係を図-4に示す。未固結試料の圧縮強度は、コア供試体の強度を下回り、全試料による回帰分析からは、コア供試体の圧縮強度 $=1.71 \times$ 未固結試料圧縮強度という関係が得られた。また、構造上、重要となる先端部のコア供試体の圧縮強度は、 $1.5 \times$ 未固結試料の圧縮強度によって保証される。

ソイルセメントのその他の定数（変形係数： F_{E50} 、せん断強度 F_{t50} 、引張り強さ F_{st} 、内部摩擦角 ϕ_s ）は、式(2)～(5)に示すソイルセメントの設計基準強度 F_c との関係が得られている。

$$F_{E50}=180 \cdot F_c \quad (\text{N/mm}^2) \quad (2)$$

$$F_{t50}=0.31 \cdot F_c \quad (\text{N/mm}^2) \quad (3)$$

$$F_{st}=0.1 \cdot F_c \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4)$$

$$\phi_s=28.9^\circ \text{ (砂)}, 31.5^\circ \text{ (シルト)} \quad (5)$$

2.2 ソイルセメントの攪拌混合度

ソイルセメントの攪拌混合度は、施工時の攪拌回数等の影響を受けることから、施工管理においては、①コア採取率、②土塊混入率および③電気比抵抗を管理指標とした。

図-5に標準的な施工方法で構築した試験体からコアボーリングにより採取したコア採取率（採取されたコア全長／削孔長）を示す。コア採取率は、対象とする全ての試験体で、95%以上であり、良好なソイルセメント改良体が構築されていることがわかる。また、同じ試験体で実施した電気比抵抗調査の測定値の変動係数は0.4以下となっており、コア採取率と対応した結果が得られている。

試験場1（図-2参照）で施工したソイルセメント試験体を掘り出し、水平断面積に対する土塊混入面積の割合（土塊混入率）を求めた。調査状況を写真-1に、土塊混入率結果を図-6に示す。土塊混入率は、表層付近GL-4m程度までは、10%を超える割合となっているが、それ以深は5%以下に留まっており、土塊の少

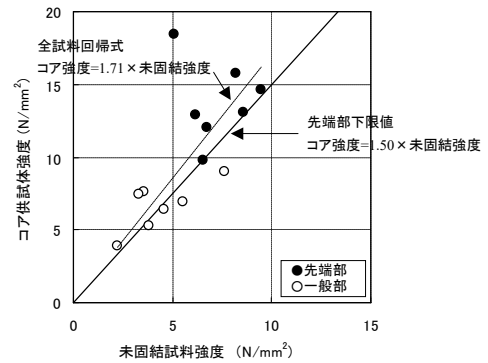


図-4 未固結試料とコア供試体の圧縮強度の関係

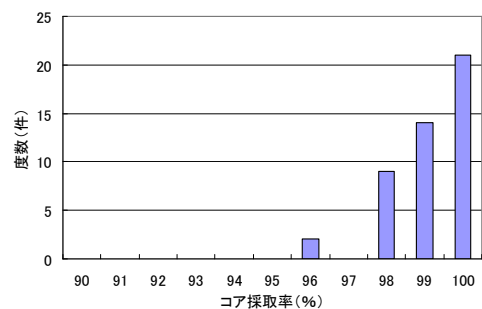


図-5 コア採取率測定結果



写真-1 土塊混入率調査

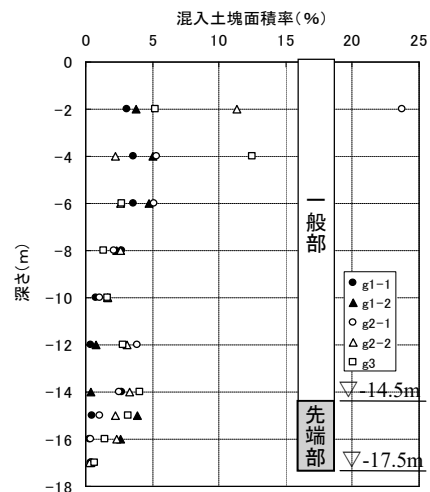


図-6 土塊混入率

ない良好なソイルセメント改良体が築造されていたものと判断できる。

2. 3 未固結ソイルの流動性

ソイルセメントの流動性は、芯材の建込み難度に影響を与える要因の一つと考えられることから、ソイルセメントカラム構築後に採取した未固結ソイルの経過時間における硬化の度合いと芯材の建込み率の関係を検討した。

芯材の建込み難度試験は、ソイルセメントカラム削孔終了後、1,2 および 3 時間後を目安に、自重による芯材の落とし込みを行い、最終的に建込めた長さを計測し、削孔長との対比から建込み率（芯材建込み長さ／削孔長）を求めた。未固結ソイルの硬化（粘性）は、シリンダーフロー試験から求めた。図-7 にシリンダーフロー値と建込み率の関係を示す。シリンダーフロー値が 150mm 程度まで粘性が増加した時、芯材の建込み率が低下することが分かる。また、経過時間については、削孔後 3 時間程度までは、芯材建込み率 90% 以上は確保されていることも分かる。施工深度が比較的浅い場合を除いた場合、良好な芯材の建込みを得るための未固結ソイルのシリンダーフロー値として 150mm 以上が判断基準となる。

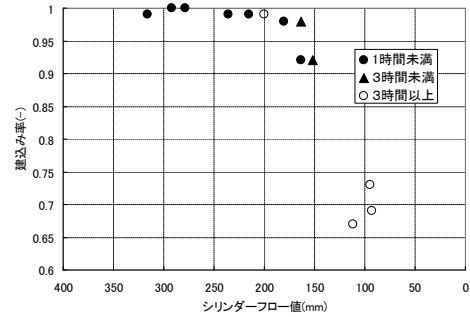


図-7 シリンダーフロー値と建込み率
(削孔長 17.5m 以上)

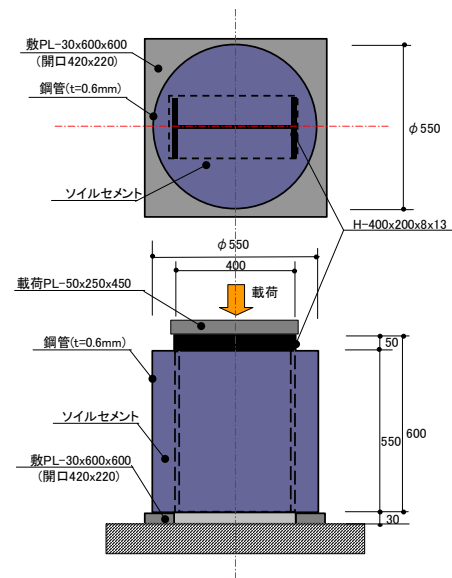


図-8 一般部付着力試験の試験体

3. ソイルセメントと芯材間の荷重伝達

本工法は、ソイルセメントカラムから応力伝達材として挿入される芯材（形鋼）間の応力伝達機構を把握する目的で実施したソイルセメントと芯材間の付着力（摩擦力）試験について報告する。

3. 1 一般部付着力試験

ソイルセメントカラムの一般部におけるソイルセメントと芯材間の付着力を確認するために、図-8 に示すような試験体により試験を行った。試験体は、実地盤での周面からの拘束圧を模擬出来るように、 $\phi 550\text{mm}$, $t=0.6\text{mm}$ の鋼管を外枠にして、ソイルセメント（ $F_c=0.5, 2.5, 5.0\text{N/mm}^2$ の 3 水準）を打設し、芯材として H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13 の形鋼を挿入し

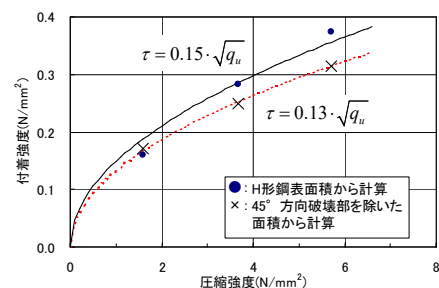


図-9 圧縮強度と付着強度の関係

た。载荷は、静的ジャッキにより芯材頂部を押し下げて実施した。また、芯材の押し抜きに対応するため、試験体の底部には、H 形鋼の閉鎖断面積よりやや大きな開口部を有する敷プレートを設置している。

図-9 にソイルセメントの圧縮強度と付着強度の関係を示す。実験の最終段階に、H 形鋼下

部から 45° 方向への押し抜きによるソイルセメントの破壊が見られたことから、この部分の耐力（斜引張強度 $S_t=0.2 \cdot q_u$ で評価）と面積を除いて得られた付着強度より、次式の関係を得た。

$$\tau = 0.13 \cdot \sqrt{q_u} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (6)$$

τ ; 付着強度(N/mm²)
 q_u ; ソイルセメントの圧縮強度(N/mm²)

3. 2 先端部支圧・付着試験

本工法は、構造上の特徴として、ソイルセメントカラム先端部の H 形鋼ウェブ部分に頭付きスタッドを付設することとしている。ここでは、頭付きスタッドの効果（せん断（支圧）耐力）を把握するために行った押し抜きせん断試験について報告する。試験体は、図-10に示すように、2 本（間隔 450mm）の H 形鋼間のフランジ外面に拘束用鉄板を溶接し、その内側にソイルセメントを充填させた。試験はソイルセメントと芯材間の付着の有無、ソイルセメント強度(0.5,2.5,5.0,10.0N/mm²)、頭付きスタッドの径($\phi 13,19$)をパラメータとして、ソイルセメントに直接载荷する押し抜き方式とした。ソイルセメント強度が 0.5N/mm² 以外の試験体は、明確な降伏が確認できなかったため、安全側の評価となるように、ソイルセメントの相対ずれ(5mm)を考慮して、支圧強度とソイルセメント強度の関係を整理したものを図-11に示す。これより、下限回帰したものをスタッドの支圧強度とし、次式に示す。

$$q_s = 8.0 \cdot s_c a \cdot q_u \quad (\text{N}) \quad (7)$$

q_s ; スタッドの支圧強度(N)
 $s_c a$; 頭付きスタッドの軸部断面積(mm²)
 q_u ; ソイルセメントの圧縮強度(N/mm²)

また、式(6)、(7)の適用性の確認と先端部に配置した頭付きスタッドによるソイルセメントの拘束効果を確認するために、図-12に示す

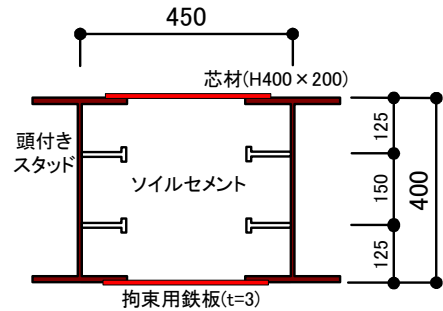


図-10 先端部支圧・付着試験体

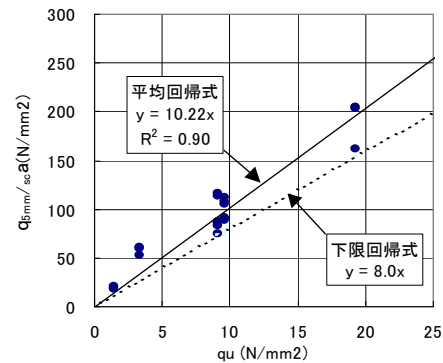


図-11 ソイルセメントの圧縮強度とスタッドの支圧強度の関係

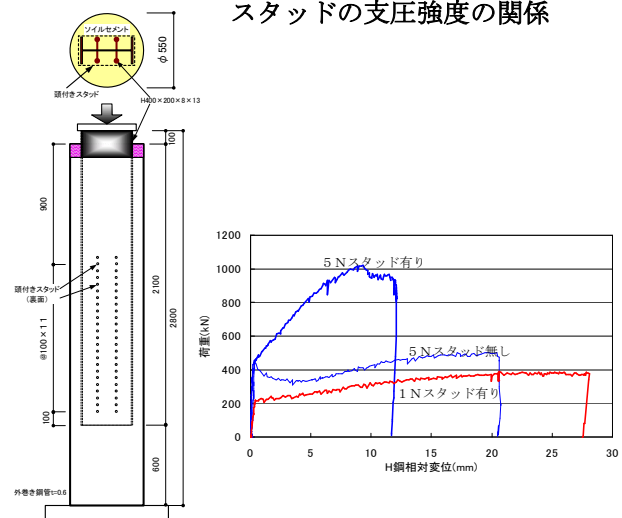


図-12 先端部支持力確認試験の試験体概要と結果

支持力確認試験を行った。試験体は、杭先端部を想定し、ソイルセメント外周の周辺地盤の拘束圧を考慮するため、 $\phi 550\text{mm}$ 、厚さ $t=0.6\text{mm}$ の鋼管に、ソイルセメントを打設し、その中に、芯材として H 形鋼を設置した。試験はソイルセメントの目標強度(1.0,5.0N/mm²)と頭付きスタッドの有無をパラメータとした。

荷重と変位の関係から、全試験体ともに载荷の初期段階では、付着がされるまでは、初期剛

性の差は見られない。頭付きスタッド無しの場合は、付着ぎれによって荷重が低下し、H形鋼直下のソイルセメント圧縮強度まで先端支持力が発揮されていない。逆に、頭付きスタッド有りの試験体は、付着ぎれ後も荷重が上昇し、ソイルセメントの圧縮強度までは、先端支持力が発揮されている。また、最下段の頭付きスタッドには、残留変位が見られたものの、その他のスタッドには、大きなひずみは発生していなかった。H形鋼に頭付きスタッドを付設することにより、H形鋼の先端においてソイルセメントと閉鎖断面が形成され、一体となって荷重伝達することが確認された。

4. 載荷試験

本章では、本工法で構築した単杭および3連杭（壁状杭）の構造性能を実証する目的で実施した鉛直載荷試験、引き抜き試験、水平載荷試験から、先端支持力、周面摩擦力および水平抵抗に対する試験結果を報告する。

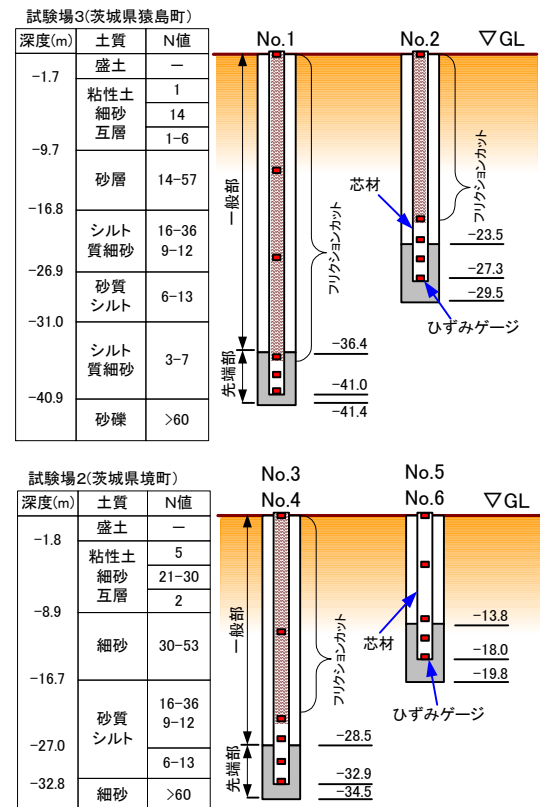
4. 1 鉛直載荷試験

先端支持力および周面摩擦力を確認するために実施した鉛直載荷試験は、表－2に示す試験杭に対して、図－13に示す茨城県猿島郡内の2箇所の試験場で実施した。鉛直載荷試験の状況を写真－2に示す。杭先端の地盤条件は、支持杭仕様(No.1,3,4)でN値60以上の砂礫または細砂層とし、摩擦杭仕様(No.2,5,6)では、シルト層（一部砂層）とした。

試験杭の基本的な施工条件は同一として、ソイルセメントの目標強度を一般部 1.0N/mm^2 、先端部 5.0N/mm^2 としたが、試験場2で試験施工したソイルセメントカラムからコア採取した試料によると、圧縮強度の平均値は、それぞれ 5.2N/mm^2 と 18.4N/mm^2 であった。また、杭先端到達荷重を確保するために、試験杭 No.1～4では、芯材にフリクションカットを行っている。載荷方法は、地盤工学会の「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」⁴⁾に準拠し、計画最大荷重に対して9～12段階、5サイクルで載荷を行った。

表－2 鉛直載荷試験の諸元

試験	断面形状	杭長 芯材長(m)	芯材寸法	場所	先端 地盤
No.1	φ900×3連	41.4(41.0)	H-428×407×20×35	3	砂礫
No.2	φ900×3連	29.5(27.3)	H-582×300×12×17		シルト
No.3	φ650×単杭	34.5(32.9)	BH-300×300×22×32	2	細砂
No.4	φ650×3連	34.5(32.9)	BH-300×300×12×25		細砂
No.5	φ650×単杭	19.8(18.0)	H-400×400×13×21		砂質シルト
No.6	φ650×3連	19.8(18.0)	H-390×300×10×16		砂質シルト
No.5' (引抜き)	φ650×単杭	19.8(18.0)	H-400×400×13×21		—



図－13 試験地盤と載荷試験杭の概要



写真－2 鉛直載荷の状況

載荷結果として、先端荷重と先端沈下量の関係を図－14に示す。いずれの試験体も最大荷重時までにH形鋼の貫入による破壊は見られなかった。なお、これらの値は試験結果に基づ

き字都らの方法⁵⁾を用いて算出した。

また、第2限界抵抗力(極限荷重)を評価するための沈下量の算定にあたっては、図-15に示す施工径(削孔機のオーガー径): D 、および3連の場合は面積の等しい円形に置換した場合の有効径: De の両方で評価している。また、図-14中には、次式に示す地盤改良指針による極限先端支持力 R_{pusl} の値も併せて示している。

砂質土の場合:

$$R_{pusl} = 75 \cdot N_{ave} \cdot A_s \quad (\text{kN}) \quad (8)$$

粘性土の場合:

$$R_{pusl} = 6 \cdot c_u \cdot A_s \quad (\text{kN}) \quad (9)$$

N_{ave} : 杭先端付近(下方1D 上方1Dの範囲)の平均N値(上限を60とする)

D : ソイルセメントの施工径(m)

A_s : 先端部の有効断面積(m^2)

c_u : 粘性土層の粘着力 $=qu/2$ (kN/m^2)

本工法の標準的な施工方法により施工された杭の先端支持力は、地盤改良指針による式(8)、(9)により評価すれば、安全側の設定となることを確認した。このとき、第2限界抵抗力(極限荷重)を評価するための沈下量の算定に施工径を用いても安全側であった。また、3連杭で施工した場合も群杭効果は見られず、式(8)、(9)の有効断面積 A_s としてソイルセメントの断面積で評価できること、杭先端付近の平均N値を算定する範囲を求めるための D はソイルセメントの施工径とできることも確認している。

次に、本試験結果の摩擦抵抗力の極限值 P_{ful} と地盤改良指針による極限周面摩擦力 R_{ful} (式10)との比較を図-16に示す。

$$R_{ful} = \phi (10/3 N_{save} \cdot L_s + 1/2 q_{uave} \cdot L_c) \quad (\text{kN}) \quad (10)$$

ϕ : ソイルセメント周長(m)

N_{save} : 砂質地盤の平均N値(上限を30)

L_s : 砂質地盤に接する長さの合計(m)

q_{uave} : 粘土質地盤の一軸圧縮強度平均値(上限 $200(\text{kN/m}^2)$)

L_c : 粘土質地盤に接する長さの合計(m)

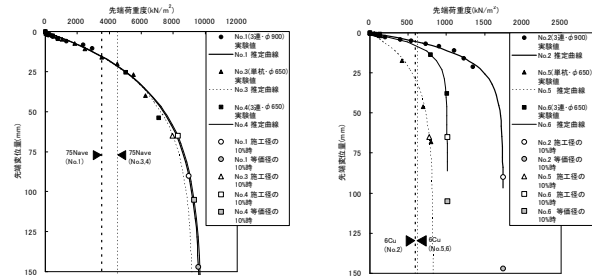


図-14 先端荷重と先端沈下量の関係

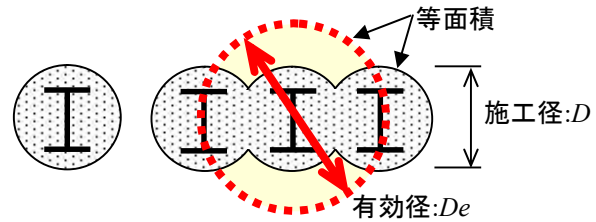


図-15 施工径と有効径の関係

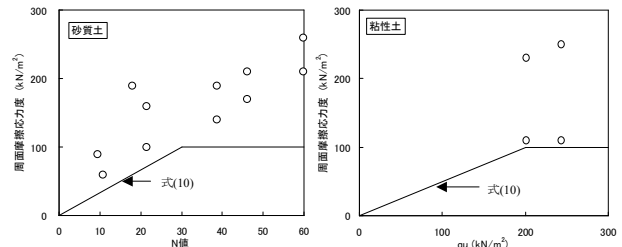


図-16 周面摩擦の比較

なお、摩擦抵抗の極限值は杭頭沈下量が杭径の10%に達した時点の摩擦抵抗とし、杭頭沈下量が杭径の10%に達していない場合は杭頭荷重最大時の摩擦抵抗を採用した。本工法の標準的な施工方法により施工された杭の周面摩擦力は式(10)により評価すれば、安全側の設定となることを確認した。芯材とソイルセメントの付着抵抗から決まる極限付着抵抗力は周面摩擦力の試験値、計算値ともに上回っていた。

また、先端部の芯材とソイルセメントとの付着抵抗と頭付きスタッド(20本以上配置)のせん断耐力の和は、先端支持力と芯材の先端部への貫入長分の周面摩擦を上回っており、芯材先端部に頭付きスタッドを20本以上配置すれば、ソイルセメントカラムへの応力伝達が可能であることを確認した。

3連杭で施工したNo.4,6において、有効断面積 A_s としてソイルセメントの全断面積を、周長として3連杭の外周として、単杭のNo.3,5と比

較した結果、これらの間では群杭効果は見られなかった。

引抜き力は、鉛直載荷試験を実施した No.5 に対して、後日引抜き載荷試験を実施した結果、次式による評価を上回る結果となった。

$$R_{pu} = \phi (4/5)(10/3 N_{save} \cdot L_s + 1/2 q_{uave} \cdot L_c) \quad (\text{kN}) \quad (11)$$

係数等は、式(10)を参照。

4. 2 水平載荷試験

水平方向地盤反力係数算定時の杭幅の確認と壁杭使用を想定した群杭効果の確認を主目的に行った水平載荷試験結果について述べる。

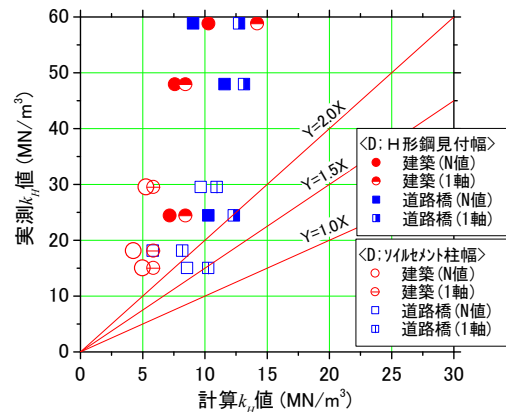
表－3 に水平載荷試験の試験杭の諸元を示す。試験は、前項の試験場 2 と同一敷地内で実施し、試験杭は、ソイルセメントの外径を $\phi 650\text{mm}$ とし、単杭および 3 連杭を対象とした。ソイルセメントの設計基準強度は、全試験杭とも一般部仕様の 1.0N/mm^2 とした。試験は、一方向多サイクル載荷方式⁶⁾とし、解析における試験杭は杭頭突出高 0.6m の突出杭とした。

水平方向地盤反力係数(k_H)算定時の杭幅の違いについて、建築センター指針⁷⁾による方法と道路橋示方書⁸⁾による方法とにより基準変位 10mm として検討した実測値と計算値の関係を図－17 に示す。ここで杭幅は、H 形鋼の見付幅 ($B_H=0.2\text{m}, 0.4\text{m}$) とソイルセメント柱径 ($B_{SC}=0.65\text{m}$) とした。また、各ケースについて、変形係数 E_0 の推定は、 N 値および一軸圧縮試験結果とし、杭体の曲げ剛性は、H 形鋼の剛性とした。実測 k_H は、計算値の 1.5 倍程度以上の値となり、本杭工法においても、従来の算定式の適用が可能であることが分かる。杭幅は、ソイルセメント柱径を用いると、実測値との対応が良いことが分かるが、設計上、H 形鋼の見付幅を用いることにより安全側の評価となる。

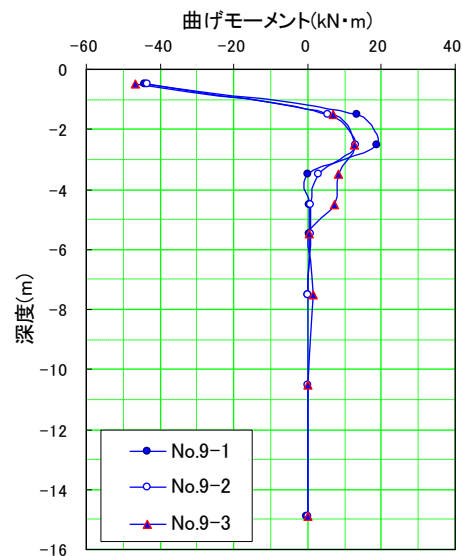
最後に、壁状（弱軸の連続配置）の場合の群杭効果について、載荷荷重 300kN 時の No.9 の 3 連杭に作用している曲げモーメントを各々の杭について図－18 に示す。加力側の No.9-3

表－3 水平載荷試験の試験杭の諸元

No.	断面形状	削孔長 [芯材長] (m)	芯材寸法	加力 方向
7	$\phi 650 \times$ 単杭	16.5 [15.0]	H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13	弱軸
8	$\phi 650 \times$ 単杭	16.5 [15.0]	H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13	強軸
9	$\phi 650 \times$ 3 連	16.5 [15.0]	H-400 $\times$ 200 $\times$ 8 $\times$ 13	弱軸



図－17 実測 k_H 値と計算 k_H 値の関係



図－18 3連杭の曲げモーメント分布
(No. 9, P=300kN)

の曲げモーメント分布が他の杭と傾向が異なるものの、相互の杭頭曲げモーメントの差異は $3\text{kN}\cdot\text{m}$ 程度と小さく、水平方向地盤反力係数についても、単杭の No.7 より大きい結果となっていることから、面内方向の水平抵抗の評価にあたっては、群杭効果を考慮する必要のないことを確認した。

5. PSP工法の標準施工方法

各種試験および施工性試験に基づいて、性能確保に必要な施工水準を定めた。表－4に適用地盤毎のソイルセメントの設計基準強度を、表－5に標準配合を示す。

施工は、ソイルセメント柱列壁工法で用いる3軸削孔機構を搭載した3点支持型クロウラクレンを用いて原位置で注入液と土を攪拌混合する方式を採用し、十分な攪拌混合を行うために、図－19に示すような標準施工サイクルによって施工管理を行うこととしている。一般部の配合で杭の最深部まで削孔した後、混練軸を途中まで引き上げてターニングを行う。先端部を構築する深度に達した時点で、注入液の配合を先端部用に切り換え、先端部を構築する。最深部においては、注入液を吐出しながら攪拌混合を行う「孔底攪拌」を3分以上行い、その後、混練軸の引き上げを行い、先端部の築造を行い、再度、一般部用の配合に切り換えて攪拌混合して、最上部まで引き上げて、ソイルセメントカラムを築造し、その後、芯材の挿入を行うものである。

6. まとめ

ソイルセメント本設杭（PSP）工法開発時に実施した、各種実験の概要ならびに結果の要点について述べた。今後、本工法の普及を図る予定である。なお、本工法の詳細な設計・施工方法は、「建築技術性能証明 評価概要報告書」を参照されたい。

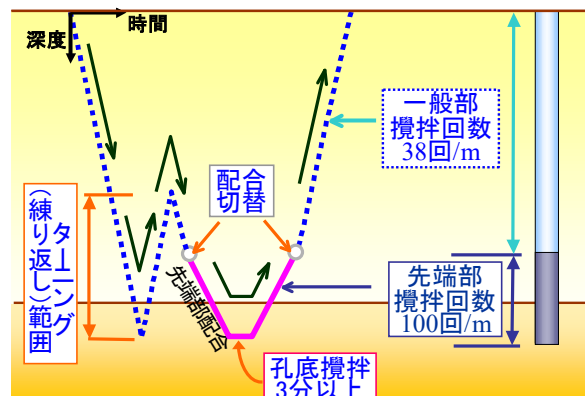
本報告は青木建設、浅沼組、安藤建設、大木建設、奥村組、鴻池組、五洋建設、住友建設（現、三井住友建設）、銭高組、鉄建建設、戸田建設、西松建設、松村組、三井建設（現、三井住友建設）の14社による共同研究の成果の一部をまとめたものであり、開発したPSP工法に対して2003年3月10日付けで（財）日本建築総合試験所の建築技術性能証明 第02-22号を取得している。

表－4 設計基準強度

適用地盤	設計基準強度 (N/mm ²)		適用地盤	設計基準強度 (N/mm ²)	
砂質土	一般部	1.0	粘性土	一般部	1.0
砂礫	先端部	5.0	土	先端部	1.0

表－5 標準配合

	セメント量 C(kg/m ³)	水量 W(kg/m ³)	水セメント比 W/C(%)	ベントナイト量 (kg/m ³)	注入量 (L/m ³)	その他 添加剤	注入液 設計比重
一般部	353	530	150	10	650	適宜	1.37
先端部	705	564	80	10	800	適宜	1.7



図－19 標準施工サイクル

参考文献

- 1)中村良雄ほか：ソイルセメント本設杭工法の開発(その1～その8)，日本建築学会大会梗概集,構造Ⅰ,20336～20343,2003.9
- 2)平澤雅巳ほか：H形鋼を芯材とするソイルセメント杭に関する研究(その1～その3),土木学会第58回年次学術講演会講演梗概集,Ⅲ-302～304,2003.9
- 3)日本建築センター：改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針,2002.11
- 4)地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説,2002.5
- 5)宇都ほか：杭の載荷試験結果の整理方法，基礎工,pp.21-30,1982.9
- 6)地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説,1983.10
- 7)日本建築センター：地震力に対する建築物の基礎の設計,1993.7
- 8)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編,2002