

IV. 補強工法の現状(問題点)と解決方法

複合地盤(細径鋼管による地盤補強)工法

長尾俊昌・真島正人 ●大成建設技術センター
 福田一久 ●大成建設内住宅事業本部

はじめに

めっき処理された細径の鋼管(足場パイプ)を一定間隔で地盤内に設置することで、地盤の支持力向上と基礎の沈下低減を図る地盤改良工法は、地盤と鋼管の複合効果を利用した工法である。この工法では、地盤のもつ鉛直支持力に加え、細径鋼管の支持力を期待できるため、杭基礎のように建物荷重すべてを鋼管で支持する必要がない。

地盤と杭(または改良体)との双方に荷重を負担させる考え方は、すでにパイルド・ラフト基礎¹⁾やサンドコンパクションパイル工法²⁾などの設計方法に取り入れられている。細径鋼管による地盤補強工法は、特定の戸建住宅の地盤補強工法として開発された。1997年に一般化されてからは、すべての住宅に適用が可能となっており、その採用件数は増加し続けている。

本稿では、細径鋼管による地盤補強工法について、支持力および沈下量に対する設計上の考え方を紹介するとともに、効果を確認するために実施した現位置実験の結果について示す。

補強方法

図1に、戸建住宅の基礎に細径鋼管による補強工法(以下、本工法と記す)を用いた場合のイメージ図を示す。基礎に作用する建物荷重 P は、直接基礎を支える地盤の支持力 P_g と細径鋼管の支持力 P_p とで支持される。本工法で用いる鋼管は、採用長(2.5~7.0m)に比較して直径(48.6mm)が小さく、鋼管の支持力は周面摩擦力が支配的となる。本工法で改良された直接基礎に建物荷重が作用すると、基礎には荷重に応じた沈下量が発生するが、一般には直接基礎の沈下量(図1で鋼管がない場合の P_g による地盤の沈下量)に比べて鋼管の沈下量(図1で $P_p=0$ の場合の鋼管の沈下量)が小さいため、本工法を用いることで大きな沈下低減効果が期待できる。

写①に細径鋼管の施工状況を示す。細径鋼管の地盤への貫入は、鋼管を回転させながら圧入することによって行う。使用する鋼管径は小径であり、最大長も7.0mであるため、ほとんど無騒音・無振動の施工が可能である。貫入時ならびに一定時間経過後に貫入力測定することによって、鋼管の支持力を確認している。

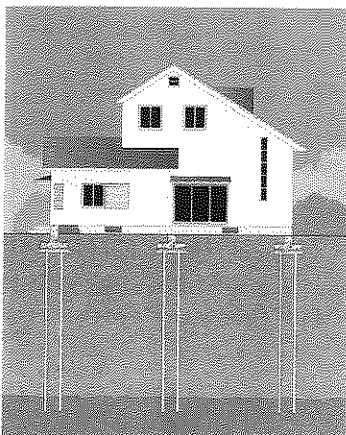
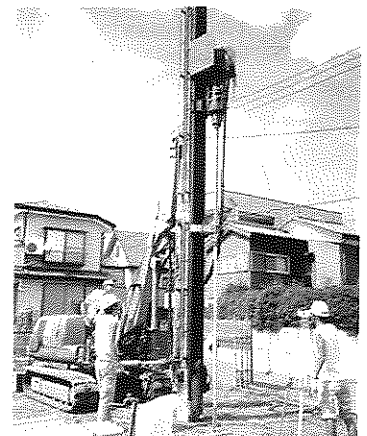
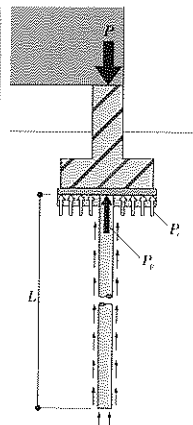


図1 細径鋼管による地盤補強工法



写① 細径鋼管の打設状況例

設計方法

設計手順

図2に細径鋼管の配置方法を示す。本工法は鋼管と地盤との複合地盤による地盤改良工法であり、鋼管の頭部は基礎構造物には根入れしない構造となる。

表1に本工法の適用地盤を、図3に本工法の設計フローを示す。設計に必要な地盤定数は、スウェーデン式サウンディング試験（以下、SWS試験）の結果より求める。補強地盤の長期許容支持力度 q_a は、室内および現位置実験に基づく下式によって求められる³⁾。

$$q_a = \frac{q_d}{5} + \frac{P_d/A}{2} \quad \dots\dots (1)$$

q_d ：補強しない場合の地盤の極限支持力度

P_d ：細径鋼管の極限支持力

A ：鋼管1本が負担する基礎の面積

前述のように、本工法では地盤の支持力に加えて鋼管の支持力が期待できる。長期荷重レベル（極限支持力の1/3）では、両者の寄与する割合が異なるため、(1)式はその効果を考慮したかたちとなっている。(1)式で A を仮定することで、鋼管に必要な支持力 P_d が求まり、地盤条件から必要な鋼管長が決定される（鋼管の支持力は基本的に通常の杭と同様に算定）。べた基礎の場合には、後述する方法によって基礎の沈下量を予測し、あらかじめ設定した許容沈下量を満足することを確認する。

このようにして決定した鋼管長が7.0m以下であれば、本工法による地盤補強が適用可能となる。

沈下量の予測

本工法による地盤の補強効果は、基礎の荷重をパイプと地盤が分担して負担することにより発揮される。用いる鋼管径が48.6mmと小さいため、その支持力はほとんど

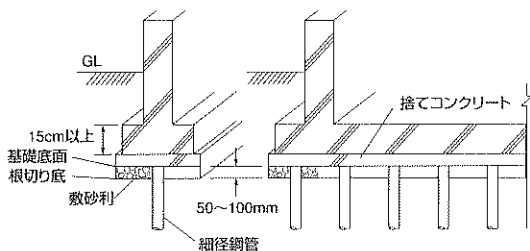


図2 細径鋼管の配置方法

表1 適用地盤

基礎の荷重 P (kN/m ²)	基礎下2mの平均 W_{sp} (N)
$P \leq 30$	$500 \leq W_{sp}$
$30 < P \leq 50$	$750 \leq W_{sp}$

W_{sp} の下限値は500Nとする
ただし、基礎下1mまでの W_{sp} は原則、表中の値以上とする

どがパイプと地盤の摩擦力であり、鋼管は摩擦杭と同等と見なせる。このため、本工法による沈下抑止効果は、バイルド・ラフト基礎と同様であると考えられる。バイルド・ラフト基礎では、ラフト（直接基礎）と杭が地盤を介して相互に影響し合うため、その影響を考慮できる解析手法を用いて基礎設計が行われる。図4に、バイルド・ラフト基礎の沈下解析方法のイメージ図を示す。本工法を適用したべた基礎の沈下予測には、基本的に図4の方法を適用するが、打設される鋼管の本数が多いため、沈下量の予測に膨大な計算時間が必要となり、実務的ではない。そのため、次式によって、補強を実施した場合の基礎の沈下量 W_p を簡易的に評価する。

$$W_p = \alpha \cdot \beta \cdot W_s \quad \dots\dots (2)$$

α ：鋼管による沈下抑止効果を表す係数

β ：基礎の大きさによる沈下量の補正係数

W_s ：地盤補強を実施しない場合の沈下量

α は、あらかじめ決めた大きさの基礎（基準基礎）に対して、鋼管の間隔、鋼管長、地盤条件（強さ・層構成）をパラメータとして図4の手法で算定しておく。 W_p と W_s は、Steinbrennerの近似解を用いて算定することができる。図5に、図4の手法と(2)式による近似計算の結果を比較して示す⁴⁾。両者の結果は、おおむねよい対応を

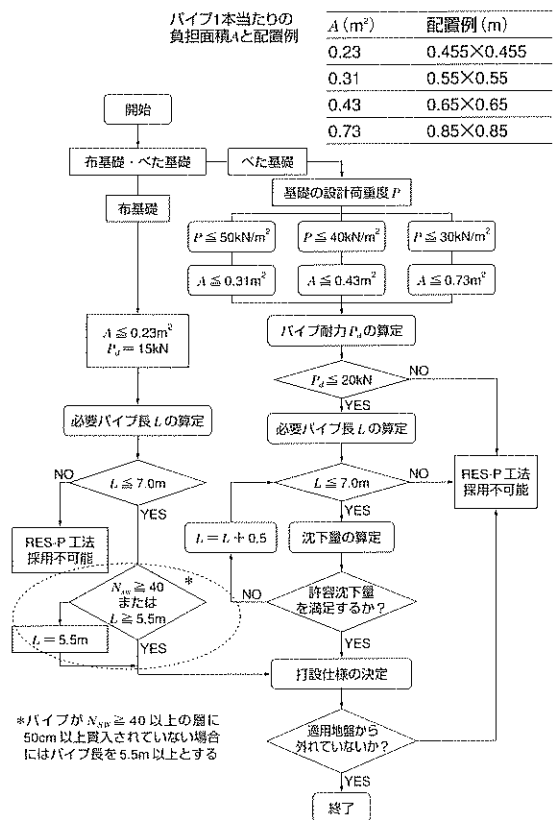


図3 設計フロー

*パイプが $N_{sp} \geq 40$ 以上の層に50cm以上買入されていない場合にはパイプ長を5.5m以上とする

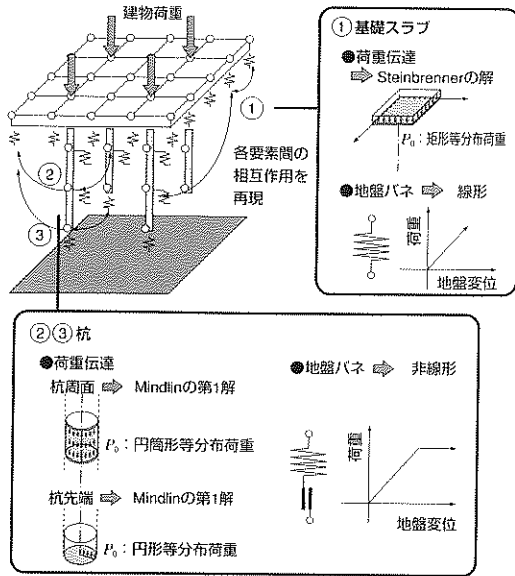


図4 沈下解析の方法

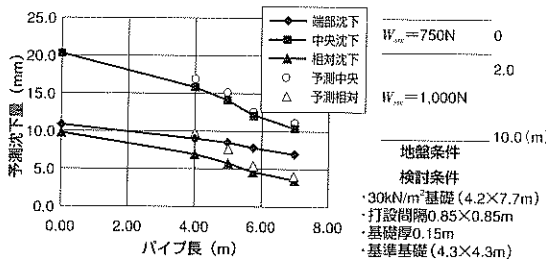


図5 予測沈下量の比較結果

示している。

現位置実験による性能確認

本工法による地盤補強効果を確認するため、千葉県千葉市のローム地盤において、2種類の載荷実験（短期載荷試験・長期載荷試験）を実施した⁵⁾。図6に試験位置で実施したSWS試験結果を、表2および図7に試験体の概要を示す。

短期載荷試験は、鋼管1本当当たりの負担面積を変えた試験体を用いたもので、支持力の確認のための試験である。一方、長期載荷試験は、長期荷重下における沈下量を測定するための試験で、実際の鋼管配置を模倣した小型の基礎6体を用いて、鋼管の有無による沈下抑止効果を確認するための試験である。

図8および図9に、短期載荷試験より得られた各試験体の荷重-変位関係を示す（図9の縦軸は沈下量 S を載荷板の大きさ D で除して求めた値）。

図8から、補強に用いた鋼管の荷重-沈下関係は、載荷荷重が20kN程度までは線形的な挙動を示すものの、

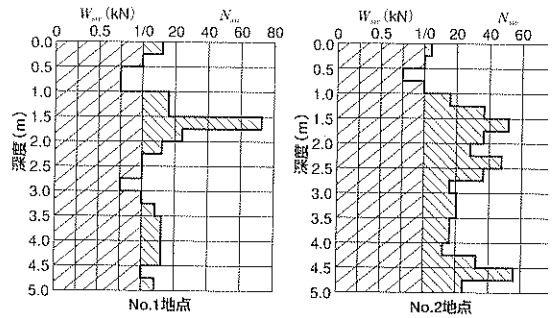


図6 スウェーデン式サウンディング試験結果

表2 短期載荷試験の試験体一覧

試験体	内容	形状	備考
No.1	載荷板（地盤の支持力）	300	載荷は地盤工学会「平板載荷試験」による
No.2	細径鋼管	○	・細径鋼管 材質 鉄に亜鉛めっき
No.3	載荷板+細径鋼管（1本） 50kN/m ² 布基礎	450 450	径 48.6mm 肉厚 2.4mm 長さ 4.5m
No.4	載荷板+細径鋼管（1本） 50kN/m ² べた基礎	550 550	・載荷板 材質 鉄 厚 22mm
No.5	載荷板+細径鋼管（1本） 30kN/m ² べた基礎	850 850	面積 0.20~0.72m ²

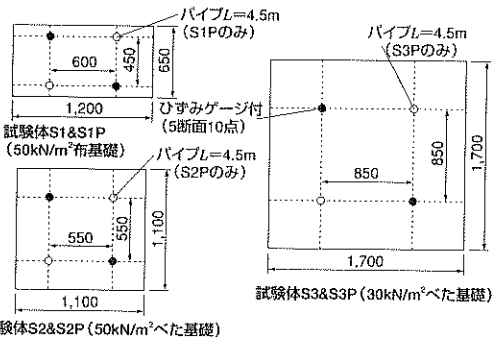


図7 長期載荷試験の試験体

荷重が22kNを超えると急激に沈下量が生じ、極限に至ることがわかる。図9に示す鋼管を打設した載荷板の荷重-沈下関係では、鋼管1本当当たりの支配面積が小さいほど（No.5→No.4→No.3の順）、沈下量が小さくなっている。図には、鋼管を打設しない場合に相当するNo.1の結果も示しているが、鋼管のある試験体に比べ、最も沈下量が大きくなっている。各試験体の極限支持力を0.1Dの沈下が生じたときとすると、鋼管1本当当たりの負担面積が小さいほど、すなわち、鋼管の打設間隔が小さいほど、大きな支持力が得られる。

表3には、実験より得られた各試験体の極限支持力と、

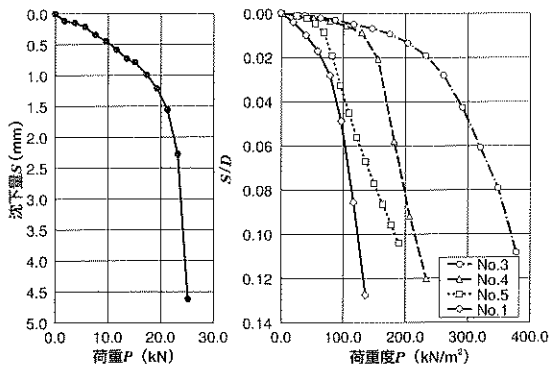


図8 荷重-沈下関係
(No.2試験体)

図9 荷重-沈下関係
(No.1, 3, 4, 5試験体)

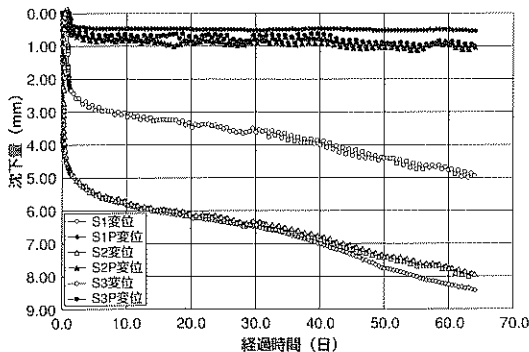


図10 沈下量の経時変化(長期載荷試験)

その値を1/3した許容支持力を示した。同様に表4, 5には, (1)式より求めたそれぞれの試験体の許容支持力度 q_a を示す。表4は, 鋼管の支持力 P_d と地盤の支持力 q_d に載荷試験より得られた値を用いた場合, 表5は, 本工法の設計手法に従って, No.2地点のSWS試験の結果より求めたものである。 q_a の算定結果は, いずれの場合も, 載荷試験の結果より安全側の値となっている。

図10には, 長期載荷試験で測定した沈下量の経時変化図を示す。試験体名にPのあるものが, パイプにより補強した試験体である。鋼管により補強された試験体は, 荷重の載荷初期から沈下量が小さく, 時間が経過しても沈下量の増加はほとんど見られない。パイプによる沈下抑止効果は, 長期的にも有効であることが確認できた。

短期載荷試験および長期載荷試験における沈下量を, 図4に示す解析手法で解析した結果を表6に示す。予測値と実測値は, よい対応を示している。本工法により補強された地盤上の基礎の沈下量は, パイル・ドラフト基礎の沈下予測手法で予測が可能であるといえる。

おわりに

本稿では, 細径鋼管(足場パイプ)を地盤内に一定の間隔で打設することによって, 地盤の支持力を増加させ

表3 短期載荷試験一覧

試験体	No.1	No.2*	No.3	No.4	No.5
支配面積(m ²)	0.0707	—	0.2025	0.3025	0.7225
極限支持力(kN/m ²)	135.8	25.5	377.5	233.2	189.9
許容支持力度(kN/m ²)	45.3	8.5	125.8	77.7	63.3

*単位kN

表4 支持力値の比較1

試験体	載荷板面積(m ²)	q_a (kN/m ²)	P_d (kN)	q_a (kN/m ²)	1/3 q_a (kN/m ²)
No.3	0.2025	135.8	25.5	90.1	125.8
No.4	0.3025	135.8	25.5	69.3	77.7
No.5	0.7225	135.8	25.5	44.8	63.3

表5 支持力値の比較2

試験体	載荷板面積(m ²)	q_a (kN/m ²)	P_d (kN)	q_a (kN/m ²)	1/3 q_a (kN/m ²)
No.3	0.2025	122.5	17.6	68.1	125.8
No.4	0.3025	122.5	17.6	53.7	77.7
No.5	0.7225	122.5	17.6	36.7	63.3

表6 沈下量の比較

試験体	A(m ²)	P(kN)	実測沈下(mm)	解析結果(mm)	解析/実測
No.3	0.20	58.1	0.67	0.78	1.16
No.4	0.30	51.8	1.09	1.00	0.92
No.5	0.72	27.1	0.98	0.99	1.01
S2P	0.30	49.0	1.03	1.4	1.36
S3P	0.72	29.4	1.04	1.4	1.44
S2*	パイプなし	49.0	4.7	5.3	1.13
S3*	パイプなし	29.4	2.6	2.9	1.12

*載荷時間から24時間後の値

るとともに, 基礎の沈下量を低減させる工法について, 設計上の考え方と効果確認実験の概要を述べた。本工法をべた基礎に用いる場合には, パイル・ラフト基礎に用いる沈下予測手法を簡素化した手法によって, 基礎の沈下量を予測するが, 使用する地盤定数はSWS試験結果より推定しているのが現状である。

戸建住宅では, 事務所ビルや高層建物のように地盤調査に費用を割くことは困難である。地盤の支持力の判定も含めて, 比較的簡便で費用負担の少ない小規模建物を対象とした地盤の調査法の開発が望まれる。

(ながお としあき,
まじま まさと,
ふくだ かずひさ)

【参考文献】

- 1) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, pp.327-348, 2001年
- 2) 佐原ほか: 締固め改良地盤上の直接基礎の設計法について, シンポジウム資料「建築基礎のための地盤改良設計指針作成にあたって」, pp.61-77, 2003年
- 3) 若命ほか: 細径鋼管により地盤補強した基礎の沈下挙動とその予測法, 第1報, 日本建築学会構造系論文報告集, No.455, pp.93-103, 1994年
- 4) 長尾ほか: 細径鋼管で補強された地盤の鉛直載荷実験 その4, 第38回地盤工学研究発表会, pp.1549-1550, 2003年
- 5) 西尾ほか: 細径鋼管で補強された地盤の鉛直載荷実験, 第37回地盤工学研究発表会, pp.1379-1382, 2002年