

# (10) 既設基礎の耐震補強に関する検討 (その4) -ST マイクロパイル工法-

東洋建設 (株) 正会員 ○三木 健男  
 東洋建設 (株) 正会員 岡 憲二郎  
 独立行政法人土木研究所 正会員 福井 次郎  
 独立行政法人土木研究所 正会員 大下 武志

## 1. はじめに

兵庫県南部地震を契機に既設構造物の耐震補強が進められているが、構造系全体の耐震性向上のためには、地中にある基礎の補強も不可欠である。しかし、既設基礎の耐震補強は、用地境界、空頭制限、隣接構造物、道路通行規制等の施工上の制約を受け、従来の大型機械による補強が困難な場合が多い。このような中、小型機械で施工が可能な、マイクロパイルによる既設基礎の増杭補強が注目されている。一般に、マイクロパイルとは海外で発展した直径 300mm 以下の杭工法であるが、小口径であるため単杭としての支持力・水平抵抗は小さく、構造物規模や設計条件によっては多くの杭本数が必要になると考えられた。そこで、マイクロパイルと同じ施工機械で、セメントミルクの高圧噴射攪拌による改良体を造成し、その中に芯材として高張力鋼管を設置する ST マイクロパイル工法を開発した。小型の施工機械ながら、改良体と節付き高張力鋼管の一体化抵抗によって大きな支持力を確保し、拡張した改良体の水平地盤抵抗によって比較的大きな杭の水平抵抗を期待できるものである。ここでは、本工法の試験施工、鉛直・水平載荷試験による単杭としての支持力・水平抵抗特性の検討、既設基礎の耐震補強に関する試算結果を報告する。

## 2. 工法概要

本工法は図-1 に示すように、セメントミルクの高圧噴射攪拌による改良体と小口径の節付き高張力鋼管との合成構造となっている。支持機構としては、上部構造から芯材鋼管に伝達された荷重に対して、節付き鋼管と改良体の一体化抵抗によって大きな支持力を確保し、水平抵抗に関しては、高張力鋼管および拡張した改良体の水平地盤抵抗によって比較的大きな水平抵抗を期待できるものである。また、改良体造成径は施工時の噴射エネルギー、地盤条件、要求される支持力等に応じて  $\phi 600\text{mm} \sim \phi 1,000\text{mm}$  の改良体を造成し、 $\phi 165.2\text{mm} \sim \phi 267.4\text{mm}$  の節付き高張力鋼管を芯材として挿入する。

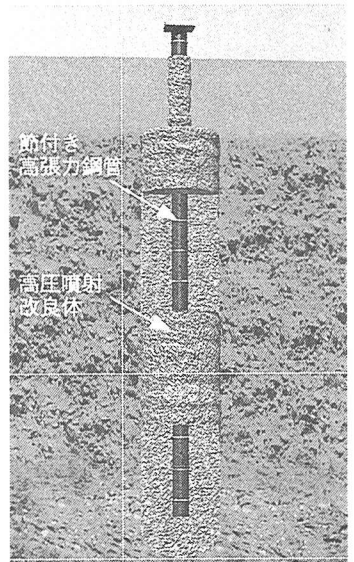


図-1 ST マイクロパイル工法の概要図

本工法の主な特長を以下に示す。

- ①施工機械が制約条件に応じて選定でき、空頭が 4.0m 程度あれば施工可能である。
- ②施工機械が小型でプラント等との遠隔作業も可能なため、狭小空間での作業が可能である。
- ③多様な削孔ツール (ダウンザホールハンマー等) により、大礫、転石等の地盤条件でも削孔可能である。
- ④小さな削孔径で大きな改良体を造成し、芯材鋼管と改良体の合成抵抗によって大きな支持力 (押し込み・引抜き) と水平抵抗を確保できる。
- ⑤節突起 (ビード溶接) 付き鋼管によ

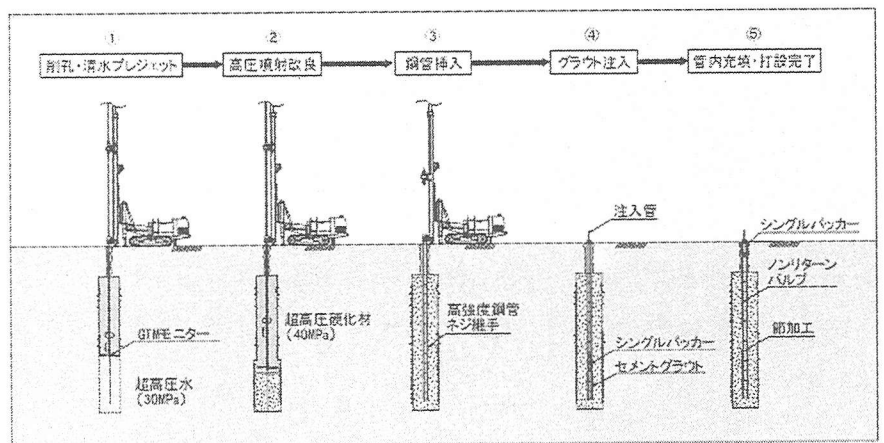


図-2 ST マイクロパイル工法の施工手順

キーワード：マイクロパイル、耐震補強、既設基礎、水平抵抗、支持力特性

連絡先：東京都千代田区神田錦町 3-7-1, TEL 03-3296-4622 FAX 03-3296-4662, miki-takeo@toyo-const.co.jp

り付着性能<sup>1)</sup>を向上させ、改良体へ確実な荷重伝達を図ることができる。

- ⑥杭の剛性・耐力は主に芯材鋼管の材料性能に期待するが、高張力鋼管により大きな杭体耐力を確保できる。
- ⑦母材剛性・耐力以上のカップラー式ネジ継ぎ手<sup>2)</sup>を用い、低空間での施工性・品質を向上することができる。

### 3. 試験施工

表-1 試験杭の材料・施工諸元

項目	規格	諸元	備考
鋼管	φ165.2mm,t=11mm 機械構造用高張力鋼管 HT80	耐力 ( $\sigma_{0.2}$ ) =690N/mm <sup>2</sup> 以上 引張強さ=790N/mm <sup>2</sup> 以上	ビード溶接 (h=2.5mm以上) による節加工150mm間隔
注入グラウト	セメントミルク W/C=50% 1m <sup>3</sup> 当たりセメント量1,230kg	圧縮強度 = 30N/mm <sup>2</sup> 以上	鋼管内および鋼管と削孔壁間に 充填
改良体	セメントミルク W/C=68% 1m <sup>3</sup> 当たりセメント量1,000kg	計画造成径 = 800mm	セメントミルクの高圧噴射による改良体

本工法の鉛直支持力・水平抵抗特性を検討するため、実大規模の試験施工を行った。施工場所の土質条件は後述するように、比較的ゆるい細砂層と良く締まった砂礫層で構成されている。

図-2に施工手順、表-1に材料諸元を示す。施工手順は、セメントミルクの高圧噴射攪拌によって円柱状の改良体を造成後、オーガ削孔し鋼管を建込み、鋼管と削孔壁間をセメントミルクで充填・定着した。写真-1に高圧噴射のテスト状況を示す。改良体中に挿入した芯材鋼管はφ165.2mm,t=11mmの高張力鋼管

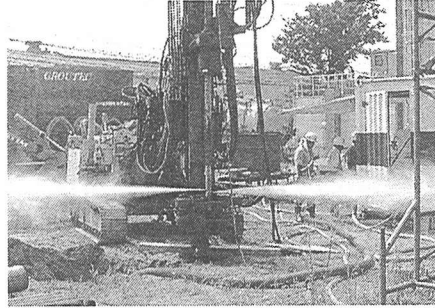


写真-1 高圧噴射テスト

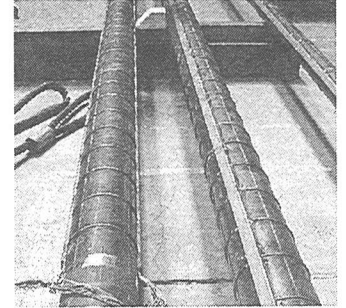


写真-2 節付き高張力鋼管

(HT80)であり、表面には150mm間隔でビード溶接による節突起加工を施している(写真-2)。改良体の施工は1m<sup>3</sup>当たりのセメント量が1,000kg、W/C=68%のセメントミルクを圧力40Mpaで高圧噴射攪拌したものである。試験杭のサンプリングを実施した結果、改良体の一軸圧縮強度は平均8N/mm<sup>2</sup>であった。写真-3には試験杭の杭頭部出来形を示す。杭頭付近の改良体造成径は約1,000mmであり、杭先端付近(砂礫層)では約900mmの出来形であった。なお、鋼管内および鋼管と削孔壁間に充填する注入グラウトは、W/C=50%、圧縮強度30N/mm<sup>2</sup>以上のセメントミルクを充填した。

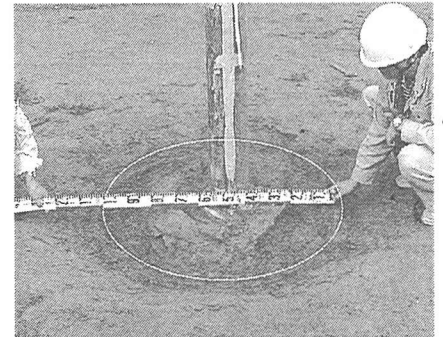


写真-3 杭頭部出来形

### 4. 鉛直載荷試験

#### 4-1. 押し込み載荷試験

##### (1)押し込み載荷試験概要

試験杭の構造・計測位置、土質柱状を図-3に示す。土質条件としては、表層から深度約5mまでがゆるい細砂層であり、それ以深は砂礫層で構成されている。杭長は砂礫層を支持地盤とし、載荷用の油圧ジャッキ能力を考慮して決定した。また、鋼管表面には付着性能を向上させるための節加工(ビード溶接)を施しているが、節間隔が300mm(Ⅱ-I),150mm(Ⅱ-II)の2本の試験施工・載荷試験を実施し、支持力特性や芯材鋼管の付着性能を検討した。載荷方法は、移動式載荷フレームを反力とし、5,000kN油圧ジャッキを使用して極限状態まで多サイクル載荷を行った(写真-4)。

##### (2)押し込み載荷試験結果

###### ①荷重～変位関係等の比較

試験結果として、図-4に各杭頭における押し込み荷重～杭頭変位関係を示す。Ⅱ-I,Ⅱ-II試験杭とも最大荷重到達後、荷重低下が認められ、後述する試掘調査結果から、杭～地盤間の破壊ではなく杭内部の破壊により

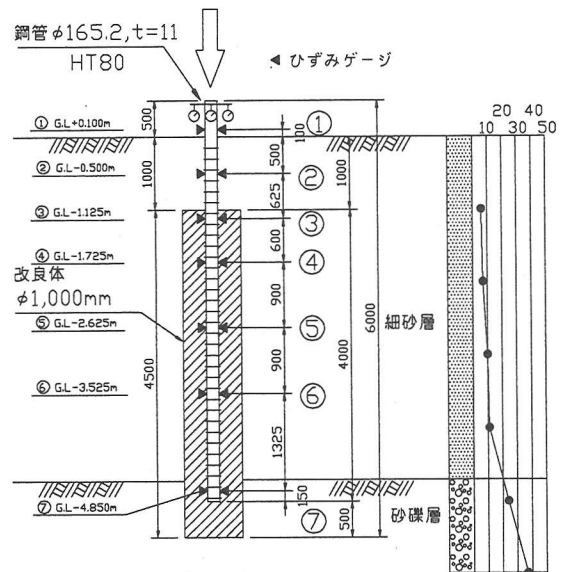


図-3 押し込み載荷試験杭一般図  
(節加工間隔150mm:試験杭Ⅱ-II)

極限状態に達したものと考えられる。そのため、試験時の最大荷重を極限支持力とすると、節間隔が300mm(Ⅱ-I)は3,200kN、150mm(Ⅱ-II)は4,360kNが杭の極限支持力と判定される。ここで、本工法の地盤改良効果を確認するため、

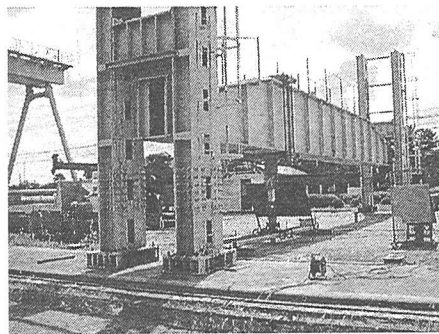


写真-4 押込み載荷試験状況

地盤改良を併用しないマイクロパイル(Ⅰ)の試験施工および載荷試験も行った<sup>3)</sup>。同図には試験杭Ⅰの試験結果を併記したが、極限支持力は450kN程度であり、地盤改良を併用することによって効果的に支持力を増大できることが確認された。一方、Ⅱ-IとⅡ-IIの極限支持力を比較した場合、両者に約1,200kNの差が生じている。試験後の試掘調査を行った結果、Ⅱ-I試験杭には鋼管と注入グラウトの間に約60mmの節加工のずれ跡が確認され、Ⅱ-I試験杭は支持力性能を十分には発揮できず、芯材鋼管の付着切れによって最大荷重が決まったものと考えられる。

### ②軸力・周面摩擦力度の分布

Ⅱ-II試験杭における軸力分布を図-5に示す。軸力は鋼管のみならず、鋼管および管内グラウトの剛性も考慮して求めたものである。同図より、載荷初期では先端部の軸力負担は相対的に小さいが、極限支持力付近では杭先端部にも大きな軸力が発生していることが分かる。図-6は上記軸力から、改良体の直径(実測値φ1m)で単純に整理した地盤と改良体間の周面摩擦力度の深度分布である。同図には、道路橋示方書Ⅳ<sup>4)</sup>(以下、道示と略する)の場所打ち杭を準用して推定した設計時の最大周面摩擦力度を併記した(太線)。試験時の周面摩擦力度にばらつきがあるものの、概ね道示場所打ち杭の推定値を満足しているものと考えられる。また、改良体直径を実測のφ1mとし、道示場所打ち杭を準用して算出した極限支持力は3,460kNであり、Ⅱ-II試験杭はその1.3倍の極限支持力を発揮した。

### ③鋼管の付着性能

ここでは、節付き鋼管の付着性能について検討する。図-7は室内試験<sup>1)</sup>から得られた節付き鋼管の付着強度の上限値と節仕様の関係を表したものである。この付着強度の上限値は、室内試験での付着曲線 $\tau \sim \delta$ 関係における見かけの降伏付近の付着強度( $\tau_{0.2\%}$ : 鋼管とグラウトの相対変位が鋼管径の0.2%相当となる時の付着応力)を用いた。図-8はⅡ-II試験中に鋼管周面に発生した最大付着応力と、図-7から推定した付着強度の上限値の関係を示したものである。なお、付着強度の上限値は改良体の平均圧縮強度から求めた。同図より、試験時に発生した最大付着応力は推定した上限値より全体的に小さいこと、試掘調査時に鋼管と注入グラ

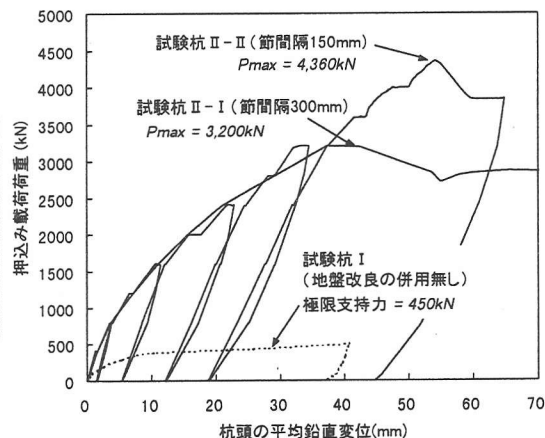


図-4 押込み荷重～杭頭変位関係

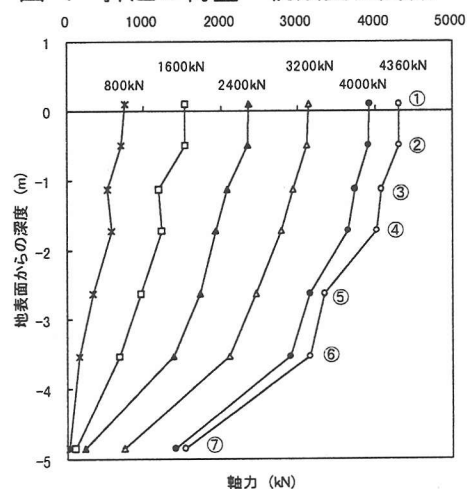


図-5 軸力分布 (押込み載荷)

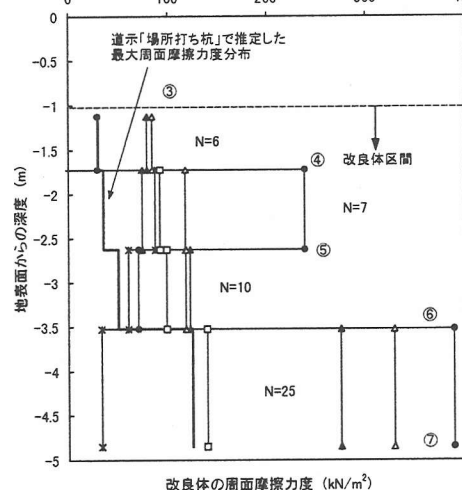


図-6 改良体の周面摩擦力度分布

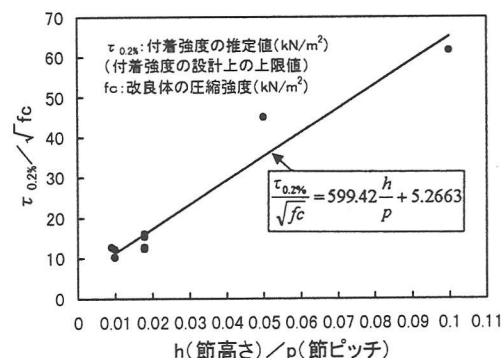


図-7 節付き鋼管付着強度の推定方法



ウト間のずれ跡が無かったことから、II-II試験杭においては、十分な鋼管の付着性能が確保されていたと判断できる。また、鋼管の付着切れが発生したII-I試験杭においては、試験時の極限支持力に比べて図-7を用いて算定した鋼管の付着力の方が小さいことから、概ね室内試験から設定した付着強度の上限値により、設計時の付着照査を行うことが可能と考えられた。なお、II-II試験杭の破壊形態は、試掘調査から注入グラウトと改良体間での摩擦切れ、あるいは芯材鋼管近傍での改良体のせん断破壊的なものと考えられる。単純ではあるが、II-II極限支持力時の注入グラウトと改良体間の平均摩擦応力は  $1.1\text{N/mm}^2$  であり、この値は改良体圧縮強度の約  $1/8$  であった。今後、このような破壊形態についても設計に考慮していく必要があると考えられる。

#### 4-2. 引抜き荷重試験

##### (1) 引抜き荷重試験概要

試験杭の構造・計測位置、土質柱状を図-9に示す。支持層は深度約5m以深の砂礫層とし、杭長は7.5mとした。計測項目は、杭頭の鉛直変位、杭体のひずみ計測として鋼管に8断面ひずみゲージを貼付した。荷重は2,500kNジャッキ2台にて、450kNピッチで引抜き荷重を与えた。写真-5は荷重試験終了時の杭頭付近の地盤状況である。地表面のひび割れや隆起の観測結果から、改良体直径1mに対し、周辺地盤への影響は約2.5mであった。

##### (2) 引抜き荷重試験結果

引抜き荷重～杭頭変位の関係を図-10に示す。引抜き荷重が1,800kN付近から変位の増分が大きくなり、最大荷重は2,565kN

となった。別途整理したLogP～LogS関係の勾配変化点から降伏支持力は1,800kN、変位の進行程度から杭の極限支持力は2,565kNと判定した。また、試験終了時の地表面状況、杭体試掘調査、後述する鋼管に発生した付着応力の関係から、改良体と地盤間の摩擦切れによって最大荷重が決まったものと考えられる。

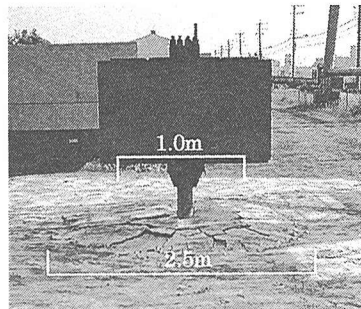


写真-5 試験後の地表面状況

次に、鋼管の平均軸ひずみに、鋼管軸剛性EAを乗じて求めた軸力分布を図-11に示す。改良体天端から深度に応じて、ほぼ三角形に軸力が低下していることから、試験杭の摩擦抵抗が改良体全長に渡って発揮していることが分かる。図-12に上記軸力から、改良体の直径(実測値φ1m)で整理した地盤と改良体間の周面摩擦力度の深度分布を示す。また、同図には、道示場所打ち杭を準用して推定した設計時の最大周面摩擦力度を併記した(太線)。これより、押し込みに加えて引抜き荷重試験においても、試験時の最大周面摩擦力度は、概ね道示場所打ち杭の推定値を満足しているものと考えられた。また、改良体直径を実測のφ1mとし、道示場所打ち杭を準用して算出した極限引抜き支持力は2,394kNであり、試験結果はその1.1倍の極限支持力を発揮した。なお、試験中に発生した鋼管の最大付着応力は、いずれの区

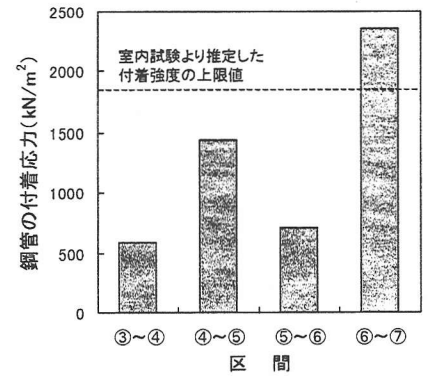


図-8 荷重中の鋼管付着応力(最大値)

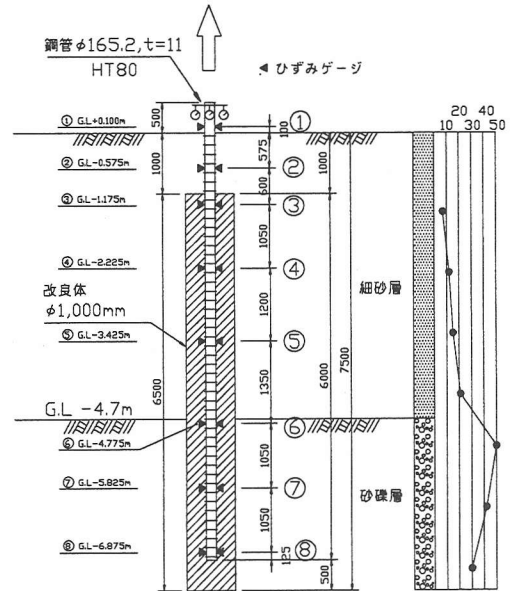


図-9 引抜き荷重試験杭一般図

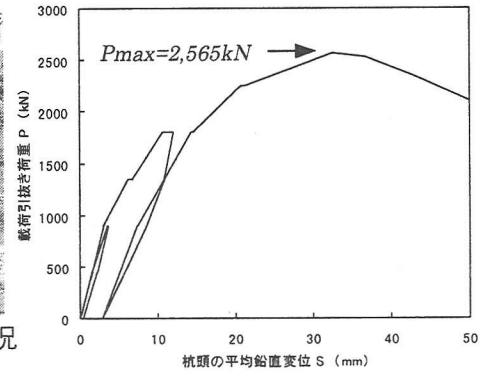


図-10 引抜き荷重～杭頭変位関係

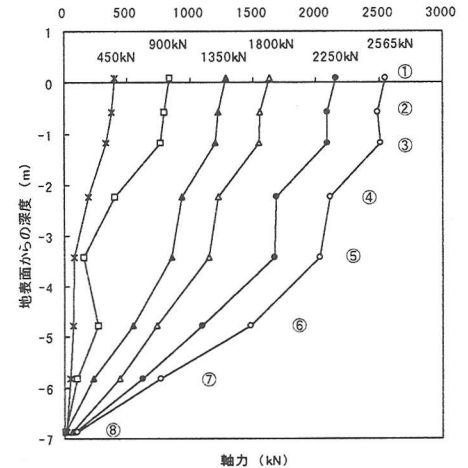


図-11 軸力分布(引抜き荷重)

間も室内試験から推定した付着強度の上限値より小さな値であり、引抜き荷重試験においても、節付き鋼管の十分な付着性能が確保できたと判断できる。

## 5. 水平荷重試験

### (1) 水平荷重試験概要

ここでは、小口径高張力鋼管と拡張改良体の合成構造としての水平抵抗特性を確認するため、水平荷重試験を行い、主に改良体が負担する水平地盤抵抗について検討を行った。図-13 に試験杭の構造・計測位置、写真-6 に水平荷重試験状況を示す。試験場所の土質は押し込み荷重試験と同じく、細砂層 (1/β 範囲の平均 N 値=7) と締まった砂礫層で構成されている。改良体の施工はセメントミルクの高圧噴射攪拌に土被り (H=1.0m 以上) が必要となるため、事前盛土の上から行い、地表面と改良体天端が同じ高さとなるように施工した。水平荷重試験は、事前盛土の撤去後、反力壁に荷重治具を取り付け、地表面から 300mm 上った箇所 (鋼管) を正負方向に交番荷重した。また、荷重は 1,000kN 油圧押し込みジャッキで荷重～変位曲線において明確な非線形性が生じるまで荷重を与えた。写真-7～8 に荷重試験後の杭頭近傍の状況を示す。1 サイクル当たり 40kN の荷重を 5 サイクルまで行ったが、第 2 サイクルで改良体にクラックが発生しはじめ、第 4 サイクル付近では改良体に放射状の大きなひび割れが生じた。

### (2) 水平荷重試験結果

図-14 に水平荷重～荷重点水平変位の履歴曲線を示す。最大荷重は正方向に 214kN、最大変位は 289mm である。また、荷重荷重 160kN 程度から水平変位が急増しており、鋼管ひずみの値と分布傾向から、この荷重付近で鋼管が降伏ひずみに達しているものと考えられた。

### (3) 静的非線形解析との比較

地盤改良を併用した本工法の水平抵抗について、杭体と地盤の非線形性を考慮した解析により、評価手法を検討した。表-2 に解析ケースおよびモデルを示す。CASE1 が改良体の水平地盤抵抗を考慮しないモデル、CASE2 は改良体を杭と見なし、水平地盤抵抗の増大要素として期待するモデルである。地盤抵抗の増大効果を期待する杭の抵抗幅 (水平抵抗に関する計算上の杭径: D') としては、荷重終了後の改良体ひび割れ状況 (写真-8) から、今回は 500mm と設定した (図-15)。

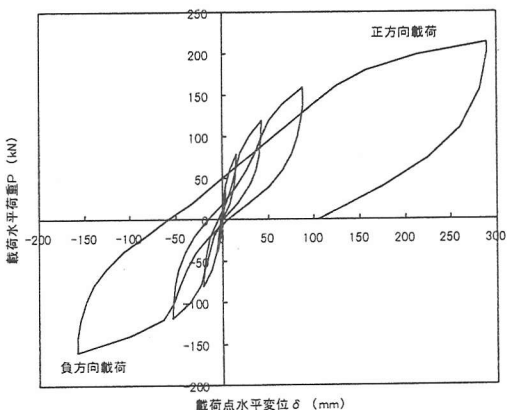


図-14 水平荷重～荷重点水平変位関係

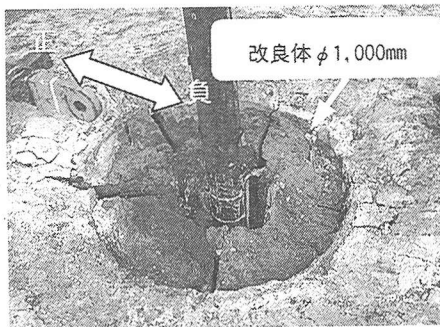


写真-7 試験後の杭頭全景

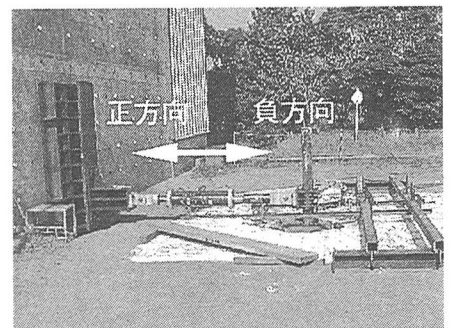


写真-6 水平荷重試験状況

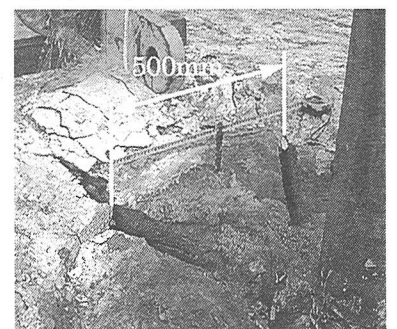


写真-8 試験後の杭頭近影

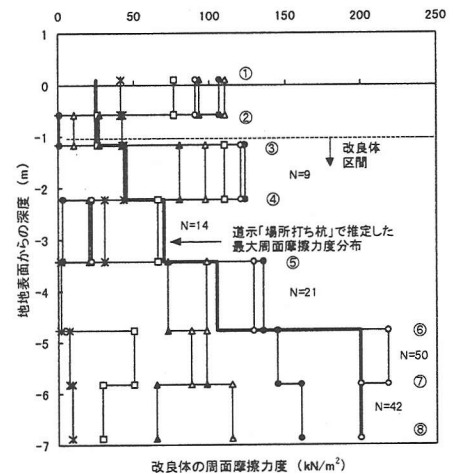


図-12 改良体の周面摩擦力度分布

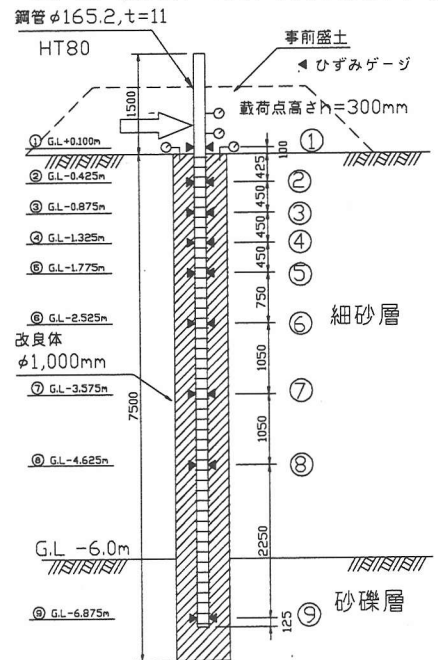


図-13 水平荷重試験杭一般図

なお、杭の変形が進行すると改良体にひび割れが生じ、改良体自体の曲げ抵抗はあまり期待できないと考えられるため、杭体の曲げ剛性 EI は芯材鋼管と鋼管内に充填したグラウトのみを考慮するものとした。

表-2 静的非線形解析ケースおよびモデル

解析ケース	水平地盤抵抗幅 (計算上の杭径)	杭の曲げ剛性EI	補正係数 $\alpha_k$	補正係数 $\alpha_p$
CASE1	D = 165.2mm (鋼管径) (改良体の水平地盤抵抗無視)	鋼管+鋼管内 グラウト	2.0 (道示基準1.5)	4.0 (道示基準3.0)
CASE2	D' = 500mm (改良体の水平地盤抵抗考慮)			

また、杭体の非線形性(M~ $\phi$  関係)については鋼管部材のみの全塑性モーメントを上限値としたパイリニア型、地盤の非線形性については道示に準じて単杭の水平地盤反力度を上限値とする弾塑性型とした。ここで、単杭の水平方向地盤反力係数の補正係数  $\alpha_k$ 、水平地盤反力度の上限値の補正係数  $\alpha_p$  は表-2 のように設定している。これは、地盤改良を併用しないマイクロパイルの水平載荷試験<sup>6)</sup>を別途実施しており、三軸圧縮試験等から土質定数を設定した結果、 $\alpha_k=2.0$ 、 $\alpha_p=4.0$  とした解析結果と試験結果が精度良く一致したためである。

解析結果として、図-16 に水平荷重~載荷点の水平変位関係を示す。CASE1 と試験結果を比較した場合、改良体の水平地盤抵抗を無視することは明らかに過小評価であることが分かる。一方、CASE2 は試験結果と比較的近い P~ $\delta$  関係を示しており、特に水平変位が 100mm 程度までは両者が良く一致している。なお、この水平変位時の地表面での変位は約 70mm であり、計算上の杭径 D' の約 15% に相当する。それ以降は試験結果の変位が急増しているが、

これは、正負交番載荷の進行による地盤の塑性化と改良体の局所的な破壊によるものと考えられる。また、杭頭変位の小さな範囲では、改良体の一部の曲げ剛性も杭の水平抵抗に寄与し、解析結果に比べて試験結果の初期剛性が高いものと考えられた。図-17 には、杭体降伏時の試験結果と非線形解析による曲げモーメント分布を示す。ひずみが測定できた断面が少ないため、十分な整合性は確認できないものの、杭の水平抵抗に大きな影響を及ぼす範囲の分布形状は概ね一致していると考えられた。

## 6. 既設基礎の耐震補強に関する試算検討

ここでは、ST マイクロパイルによる既設基礎の耐震補強効果を確認するため、鉛直・水平載荷試験結果を考慮した支持力・水平抵抗特性をモデル化し、本工法を増し杭として用いた耐震補強に関する試算検討を行った。

### (1) 検討方法

検討モデルは旧設計基準で構築された単柱式T型道路橋脚(PC杭基礎)であり、基礎の水平耐力不足に対して既設基礎を取り囲むように増し杭補強を想定した(図-18)。

増し杭は改良体造成径が  $\phi 600\text{mm}$ 、芯材鋼管は  $\phi 267.4\text{mm}$  および  $\phi 216.3\text{mm}$  の高張力鋼管(HT60:  $\sigma_{0.2}=490\text{N/mm}^2$  以上)である。検討方法は道路橋示方書IV<sup>4)</sup>の地震時保有水平耐力法に基づき、既設杭と増し杭を含めたラーメン構造として非線形フレーム解析を行った(解析コード:RESP-T)。なお、既設基礎の設計条件や、荷重分担等の補強設計の考え方は参考文献<sup>7)</sup>を参照されたい。検討ケースとしては非液状化時を対象とし、改良体の水平抵抗を期待しない CASE-A、改良体の水平抵抗を期待するものとして CASE-B、CASE-C とした(表-3)。以下に増し杭の各抵抗特性の考え方を示す。

#### ① 増し杭の軸直角方向抵抗特性

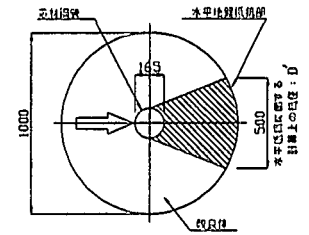


図-15 改良体の水平地盤抵抗モデル

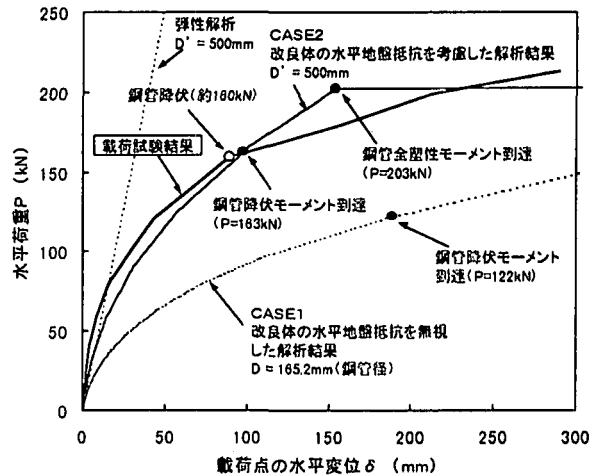


図-16 非線形解析結果(水平荷重~杭頭変位)

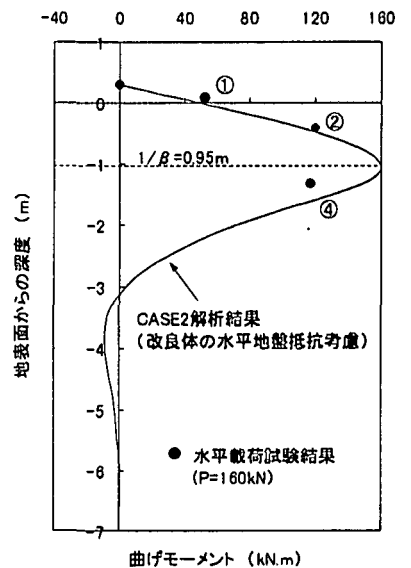


図-17 非線形解析結果  
(曲げモーメント分布)

水平荷重試験および解析結果を考慮し、杭の曲げ剛性には改良体を期待しないが、改良体のある範囲を水平地盤抵抗の増大要素（水平バネの増大）として期待するものとし、軸直角方向の各節点の抵抗特性を図-19 に示すようにモデル化した。ここで、改良体による水平地盤抵抗幅（水平抵抗に関する計算上の杭径：D'）は鋼管径や改良体直径によって変化すると考えられるが、荷重試験結果を考慮し、図-20、表-3 のように設定した。

### ②増し杭の軸方向抵抗特性

増し杭の軸方向抵抗特性は図-19 のようにモデル化した。支持力の上限值に関しては、押込みおよび引抜き荷重試験結果から、改良体直径を杭径とする道示IV「場所打ち杭」の支持力推定式を準用して求めた。また、軸方向バネ定数  $K_V$  に関しては、これまで実施してきた荷重試験結果を参考に、簡便的に求めた推定式<sup>8)</sup>により設定した。

### ③杭体の曲げモーメント $M$ ~ 曲率 $\phi$ 関係

杭体の  $M$  ~  $\phi$  関係を図-19 に示す。杭の水平変位が増加すると改良体にひび割れが生じ、改良体自体の曲げ抵抗はあまり期待できないため、杭体の曲げ剛性  $EI$  は芯材鋼管と鋼管内に充填したグラウトを考慮するものとした。また、非線形性については鋼管のみの全塑性モーメントを上限值としたバイリニア型とした。これは、鋼管内にグラウトを充填した杭体の曲げ試験結果<sup>2)</sup>から、鋼管内のグラウトは杭体の曲げ剛性の増加としては効果があることを考慮したものである。

### (2) 試算検討結果

検討結果として、図-21 に水平荷重~杭頭変位関係（橋軸直角方向）を示が、いずれのケースも増し杭により既設基礎の剛性・水平耐力を大きく増加させる結果が得られている。なお、ここでの補強基礎の降伏の定義としては、既設杭に過大な損傷を与えないという観点から、次の状態に先に達するときとした<sup>7)</sup>。

- ① 全ての既設杭が降伏した状態
- ② 増し杭あるいは既設杭の杭頭反力が押込み支持力の上限に達した状態

既設 PC 杭に比べてマイクロパイルは杭の剛性が小さく、補強基礎の破壊形態は、既設杭がまず杭体の降伏~終局に達し、荷重~変位関係に非線形性が現れた後、増し杭が杭体の降伏や支持力の上限值に達する傾向であった。したがって、このような異種杭で補強された基礎全体の降伏状態は、比較的剛な既設杭の破壊モードが卓越し、今回の補強基礎の降伏定義は妥当なものと考えられた。

各補強 CASE の荷重~変位曲線に着目した場合、改良体の水平抵抗を無視した CASE-A に対して、CASE-B の基礎の降伏時荷重（既設杭全列が降伏したとき）は 1.2 倍程度増加している。したがって、改良体の水平地盤抵抗を考慮することは既設基礎の水平耐力増加に効果的であり、合理的な補強設計が可能になるものと考えられた。また、図-22 には設計水平荷重作用時に、各杭に生じ

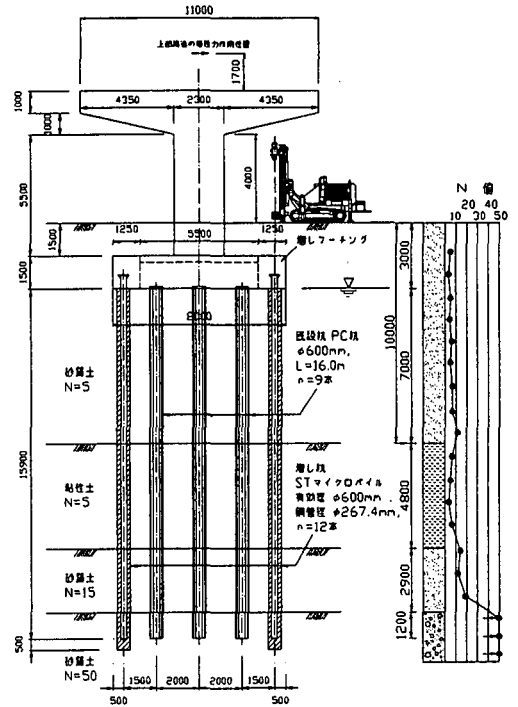
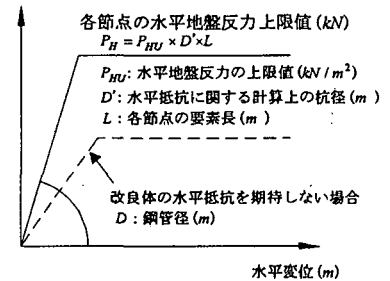
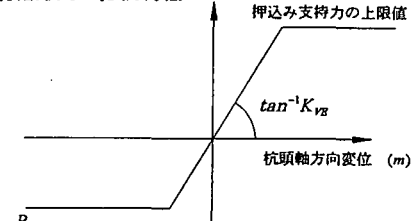


図-18 既設基礎の耐震補強検討モデル

水平地盤反力 (kN) ・ 増し杭の各節点水平バネ



### ・ 杭軸方向の抵抗特性



### ・ 杭体の $M$ ~ $\phi$ 関係 (増し杭)

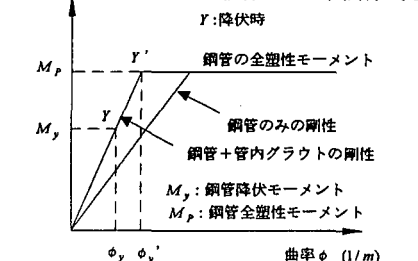


図-19 増し杭の各抵抗特性のモデル化

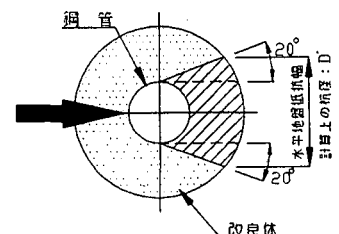


図-20 水平地盤抵抗のモデル化

表-3 耐震補強検討ケースおよび補強モデル

解析ケース	鋼管径 (mm)	鋼管肉厚 (mm)	改良体直径 (mm)	水平地盤抵抗幅 (mm) (水平抵抗に関する計算上の抗径D)	増し杭本数
CASE-A	267.4	15	600	D = 267.4 (改良体の水平地盤抵抗無視)	12
CASE-B	267.4	15	600	D' = 450 (改良体の水平地盤抵抗考慮)	12
CASE-C	216.3	12	600	D' = 350 (改良体の水平地盤抵抗考慮)	12

たせん断力を示す。本検討例においては、設計水平荷重 (5,534kN) に対して、基礎の降伏状態には余裕があるものの、既設 PC 杭のせん断耐力照査で増し杭諸元が決定されており、増し杭が負担できる断面力のオーダーが設計上の大きなポイントとなっていた。同図より、改良体の水平地盤抵抗を考慮しない CASE-A においては、増し杭の剛性が小さく、また、過小な水平地盤反力しか受け持てないため、比較的大きなせん断力が既設杭に作用していることが分かる。一方、改良体の水平地盤抵抗を考慮した検討結果では、CASE-B のように増し杭が受け持つ水平地盤反力の増加によって既設杭に生じるせん断力を大幅に低減させ、CASE-C のように鋼管径を 1 ランク下げても設計照査を満足する結果が得られた。このように、旧基準で設計・構築された既設基礎の補強では、既設杭の耐力照査も重要な事項であり、その場合、既設杭と増し杭の断面力の負担割合が大きなポイントになると考えられる。今回の検討では、小口径鋼管による増し杭補強でも、改良体の水平地盤抵抗を考慮することによって、既設基礎の水平耐力を増加させ、また、既設杭が負担する断面力を低減できることが確認できた。

7. おわりに

今回の試験施工・载荷試験では、小口径の節付き高張力鋼管と拡径改良体との一体化抵抗により大きな支持力 (押し込み・引抜き) を確保し、改良体による水平地盤抵抗の増大により比較的大きな杭の水平抵抗を得ることが確認できた。また、試算検討からは、このような小口径鋼管を用いた増し杭工法でも既設基礎の耐震補強が可能であり、改良体の水平地盤抵抗を考慮することが補強設計上、効果的であることを確認した。今後は、確実な荷重伝達等を目的とした杭頭部の補強方法などを検討する予定である。なお、本報告は、土木研究所官民共同研究「既設基礎の耐震補強技術の開発」の活動の一環として取りまとめたものである。

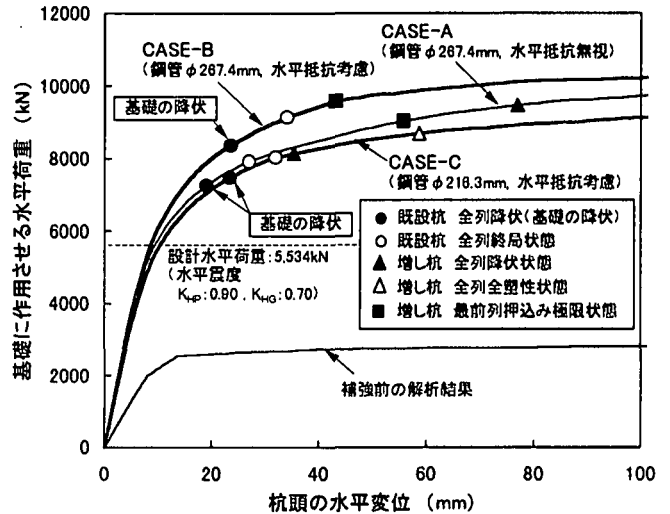


図-21 検討結果：荷重～変位関係 (橋軸直角方向)

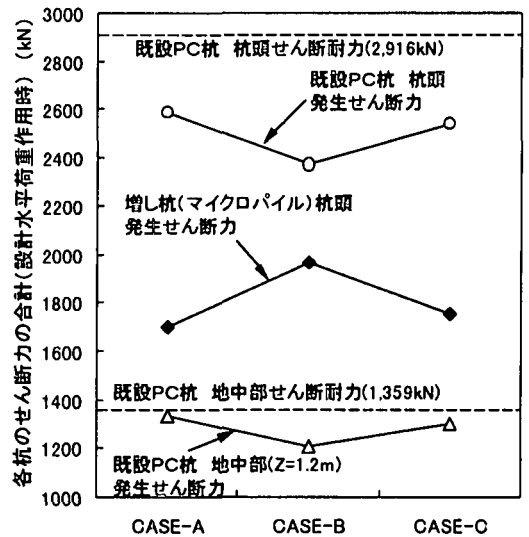


図-22 検討結果：各杭に生じたせん断力合計 (橋軸直角方向)

【参考文献】

1)村田他：高張力鋼を用いたマイクロパイルの芯材用鋼管の開発 (その1) -付着性能試験結果-, 土木学会第54回年次学術講演会, 1999. 2)黒崎他：高張力鋼を用いたマイクロパイルの芯材用鋼管の開発 (その2) -材料性能試験結果-, 土木学会第54回年次学術講演会, 1999. 3)黒崎他：砂質地盤におけるマイクロパイルの鉛直载荷試験 (その1), 第35回地盤工学研究発表会, 2000. 4)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編, 1996. 5)村田他：砂質地盤におけるマイクロパイルの鉛直载荷試験 (その2), 第35回地盤工学研究発表会, 2000. 6)三木他：砂質地盤におけるマイクロパイルの水平载荷試験, 第35回地盤工学研究発表会, 2000. 7)建設省土木研究所他：既設基礎の耐震補強に関する共同研究報告書 (その1), 2000. 8)村田他：地盤改良併用型マイクロパイルの引抜き载荷試験, 第36回地盤工学研究発表会, 2001.