

(11) 既設基礎の耐震補強に関する検討 (その5)

—ねじ込み式マイクロパイルの支持力および施工性能—

(株)鴻池組 正会員 橋立健司
 土木研究所 正会員 福井次郎
 (株)鴻池組 正会員 谷 善友

1. はじめに

筆者らは、既設基礎の耐震補強技術として、ねじ込み式マイクロパイル工法（以下 MH-MP）によるものを共同研究 중이다。現在までの研究成果としては、MH-MP を既設基礎の耐震補強に用いた場合の効果について、地震時保有水平耐力法に基づき、試設計を行い、ほぼ明らかとした。解析で用いた MH-MP の支持力性能を検証するため、実大載荷試験（押込み、引抜き）を実施した。また、載荷試験の試験杭、反力杭の施工時に打設試験として、試設計結果で有効性が認められた斜杭の施工を行った。この際に、MH-MP の施工性の確認を行った。本論文は、今回の載荷試験結果と過去の載荷試験結果を合わせて、MH-MP の支持力の設定を行った結果と施工性能についてまとめたものである。

2. ねじ込み式マイクロパイルの概要

MH-MP は、直径 $D_0 = \phi 114.3\text{mm} \sim 267.4\text{mm}$ の鋼管（STK400 または STK490）に、外径の異なる 4 枚のらせん状の翼を一定間隔（1.33m）でテーパ状（1 翼ごとに 50mm 拡大）に取付けた下杭と、それに接続される鋼管のみの中・上杭で構成される杭（図-1、表-1 参照）を直接地中に回転埋設する工法であり、以下の特長がある。①らせん状に取付けた翼の効果により、小径杭で大きな支持力を得ることができる。②回転推進力により施工を行うため、無排土で施工ができる。③小径杭であるので、小型の機械で施工が可能で、狭険地での施工に適している。④振動・騒音が小さく、施工時にセメントミルク等を用いないので環境に優しい。

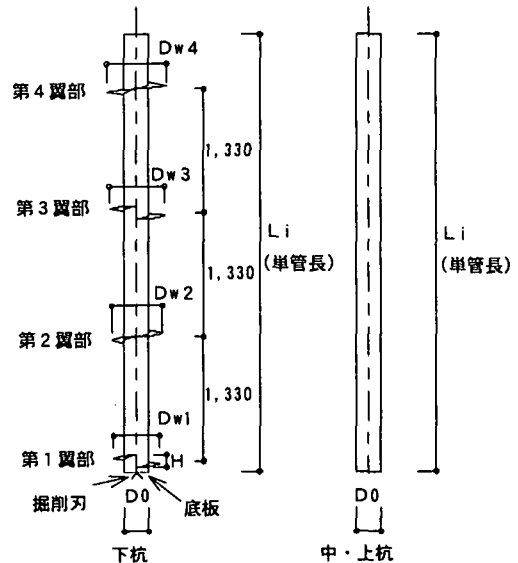


図-1 ねじ込み式マイクロパイルの形状

3. 試験地盤と計測位置

試験地盤の施工前に行った地盤調査結果を図-2 に示す。標準貫入試験と三成分コーン貫入試験の結果から総合的に判断して、支持地盤である砂礫層を除き、地盤の強度にバラツキのある概ね粘性土地盤であるといえる。

また、土質柱状図と試験杭の位置関係を併せて示した。ひずみゲージ位置は、軸部では約 5m ピッチ、翼部では羽根の上下に取付け、各翼ごとの軸力差を計測し、翼ごとの支持力度を算出できるようにした。

表-1 ねじ込み式マイクロパイルの主要寸法

軸 部		翼 部		
杭 径	肉 厚	翼 径	ストローク	板 厚
$D_0(\text{mm})$	$t(\text{mm})$	$D_w(\text{mm})$	$H(\text{mm})$	$t_w(\text{mm})$
114.3	4.5~8.6	250~400	70	6~16
139.8	4.5~9.5	300~450	80	6~16
165.2	5.0~11.0	350~500	100	6~22
190.7	5.0~12.0	400~550	110	6~22
216.3	5.8~12.7	450~600	120	6~25
267.4	5.8~15.1	500~650	130	6~25

キーワード：耐震補強、増し杭、らせん翼、支持力、斜杭

連絡先：〒101-8316 東京都千代田区神田駿河台 2-3-11 TEL:03-3296-7602, FAX:03-3296-8460 E-mail: hashidate_kj@konoike.co.jp

4. 杭の施工および施工精度

4-1. 施工概要

載荷試験を行うために、図-3 に示す配置で載荷試験杭4本、反力杭15本の施工を行った。載荷試験杭および反力杭の諸元を表-2 に示す。なお、載荷試験杭の翼厚は、地盤調査結果から各翼ごとに算出した²⁾。図-4 に施工機械の概念図を示す。本施工機は、リーダを機械前方に17度、機械方向に20度傾けての施工が可能である（写真-1、写真-2 参照）。図-5 にMH・MPの施工手順（直杭）を示す。

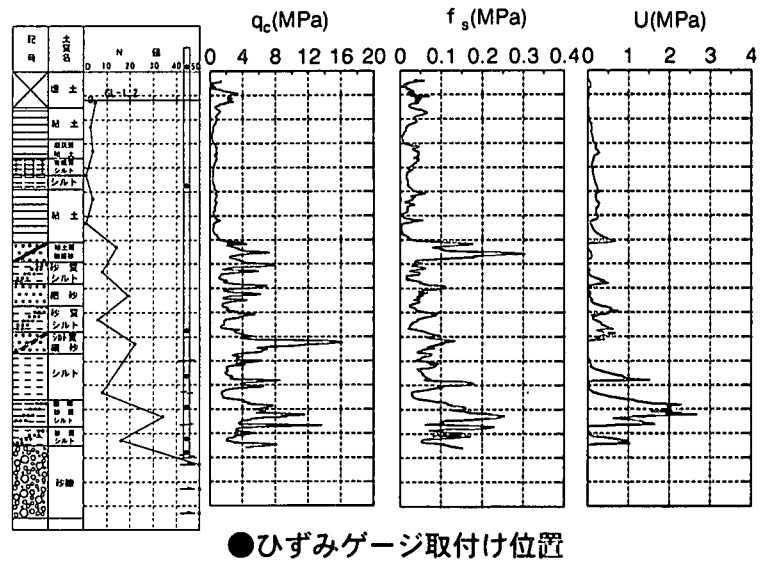


図-2 地盤調査結果および計測位置

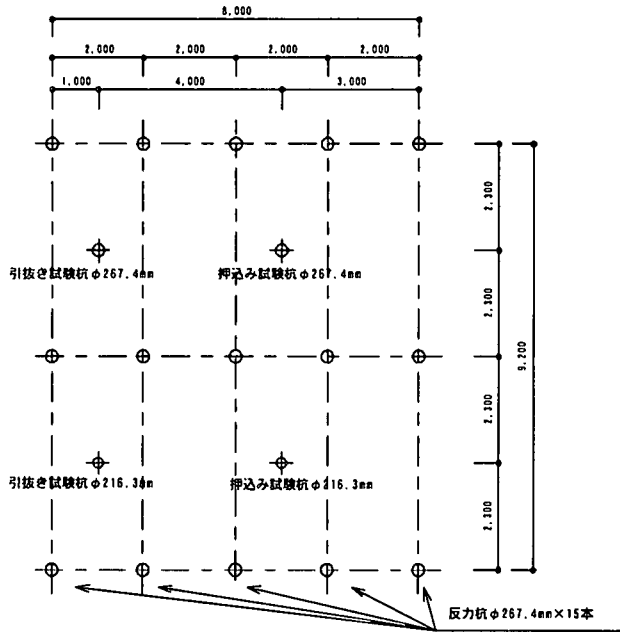


図-3 載荷試験杭の配置

表-2 試験杭の諸元

杭種	軸部			翼部	
	杭径 D_0 (mm)	杭長 L (m)	管厚 t (mm)	翼径 D_w (mm)	翼厚 t_w (mm)
載荷試験杭	216.3	17.0	18.0	4	600
				3	550
				2	500
				1	450
	267.4	17.0	18.0	4	650
				3	600
				2	550
				1	500
反力杭	267.4	17.0	12.7	4	650
				3	600
				2	550
				1	500

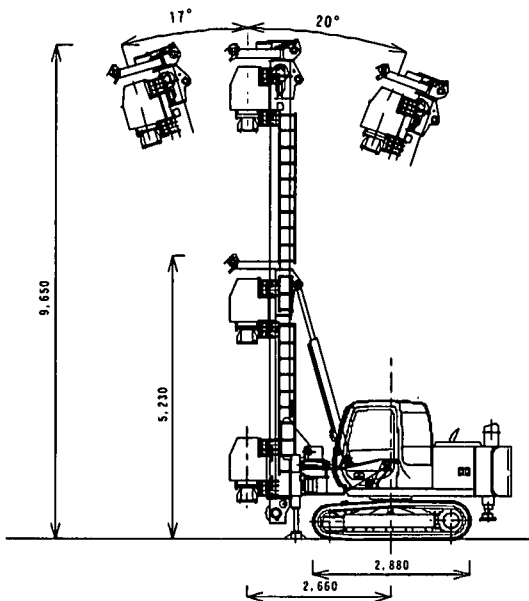


図-4 施工機械概念図

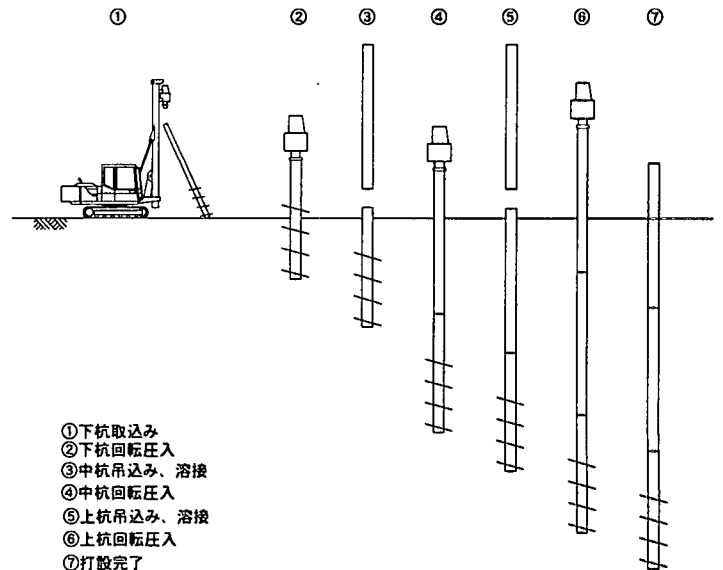


図-5 施工手順（直杭）



写真-1 斜杭施工状況（施工機前方）



写真-2 斜杭施工状況（施工機方向）

斜杭の施工試験は、リーダを施工機の方向に傾けて施工した。施工角度は0度、10度、15度の3ケース行い、施工精度の確認を行った。施工に用いた杭は、反力杭と同じ形状寸法である（表-2 参照）。

4-2. 直杭の施工結果

直杭の施工記録と施工精度を表-3 に示す。施工時間および打止め時の貫入量は、地盤によりバラツキが見られたが、施工精度は日本道路公団の管理値（打設深度 5cm 以内、偏芯量 10cm 以内、傾斜 1/100 以下）を高い精度でクリアできた。図-6 に地盤と貫入トルク（油圧値）の関係を示す。この関係は、地盤性状をよく表しており、支持層の管理に用いることができる。

表-3 施工記録と施工精度（直杭）

施工記録			施工精度		
施工時間 (分)	最終貫入トルク Tr (kN・m)	打止め時の貫入量 (mm)	打設深度の誤差 (mm)	偏芯量 (mm)	傾 斜
72~114	99	32~100	-6~+6	3~38	0~1/100

※ 施工深度は 16.0m、溶接個所は 2 箇所、傾斜は杭頭部で計測した

4-3. 斜杭の施工結果

斜杭の施工記録と施工精度を表-4 に示す。施工記録および施工精度については直杭とほぼ同等の結果であった。施工角度の精度は、挿入式傾斜計（写真-3 参照）により測定した。この傾斜計は、鋼管の内径をガイドとして計測できるものである。施工角度の計測結果を図-7 および写真-4 に示す。

表-4 施工記録と施工精度（斜杭）

施工記録			施工精度	
施工時間 (分)	最終貫入トルク Tr (kN・m)	打止め時の貫入量 (mm)	偏芯量 (mm)	傾 斜
72~89	99	40~60	25~31	1/217~1/1,295

※ 施工深度は 16.0m、溶接個所は 2 箇所、傾斜は傾斜計の測定結果から算出

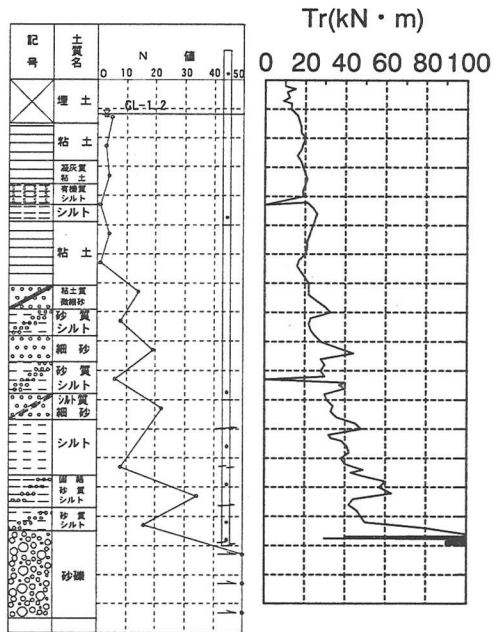


図-6 地盤と貫入トルクの関係

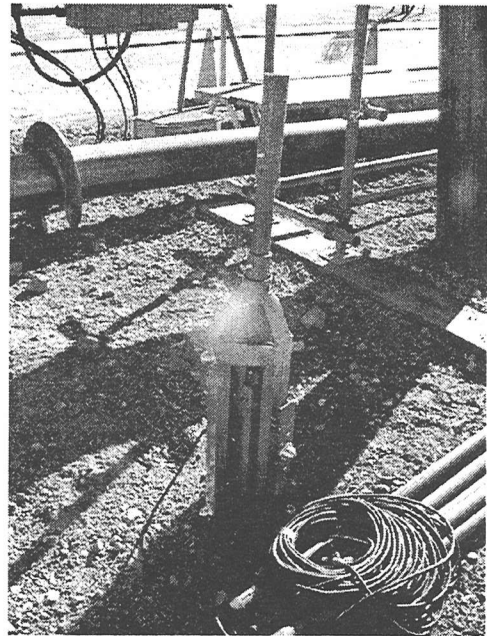


写真-3 挿入式傾斜計

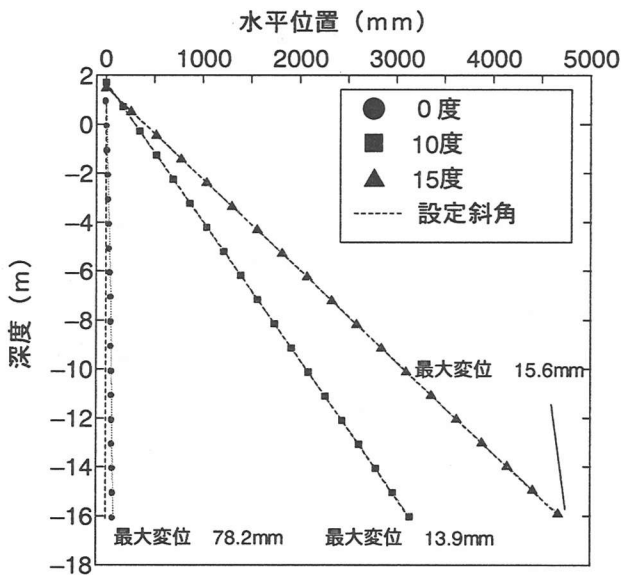


図-7 斜杭傾斜角度測定結果

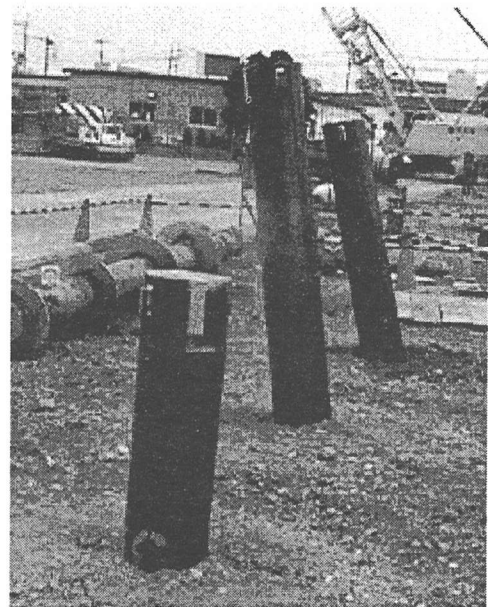


写真-4 斜杭の打設状況 (手前より0度、10度、15度)
杭長は0度が17m、10度と15度は18mを使用

図-7 に示すように、設定斜角の水平位置と実測水平位置がほぼ一致している。杭先端部の最大変位も 14mm ~78mm 程度で、斜杭についても直杭と同様に良好な精度で施工できることが確認できた。

4-4. 施工性能のまとめ

MH-MP の直杭および斜杭の施工性能の確認を行った結果、施工時間および打止め時の貫入量については地盤によってバラツキがあることが確認された。施工精度については、日本道路公団の管理値は満たしているが、マイクロパイルとしての管理値をどのようにするかについては、今後検討する必要があると考えられる。

5. 載荷試験結果

MH・MPの支持力を確認するため、杭径の異なる $\phi 216.3\text{mm}$ と $\phi 267.4\text{mm}$ の杭により、押し込み載荷試験と引抜き試験をそれぞれ実施した。載荷試験方法は地盤工学会基準の「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」および「杭の引抜き載荷試験方法・同解説」の時間制御方式で行った。

5-1. 押し込み試験結果

押し込み載荷試験結果を図-8、図-9にそれぞれに示す。平均翼径の10%沈下量($\phi 216.3\text{mm}$: 52.5mm, $\phi 267.4\text{mm}$: 57.5mm)における押し込み支持力は、 $\phi 216.3\text{mm}$ で2,330kN、 $\phi 267.4\text{mm}$ で2,470kN($\phi 216.3\text{mm}$ の1.06倍)となった。また、4枚の翼部と杭先端の純抵抗面積は $\phi 216.3\text{mm}$ の杭で 0.765m^2 、 $\phi 267.4\text{mm}$ の杭で 0.880m^2 となり、両杭の純抵抗面積比は1.15倍である。両杭の支持力比と純抵抗面積比を比較すると、支持力比は純抵抗面積比に比べ $\phi 267.4\text{mm}$ がやや小さい結果となった。これは、周囲のボーリング結果を比較した結果、先端地盤の性状がやや異なっていたためと考えられた。

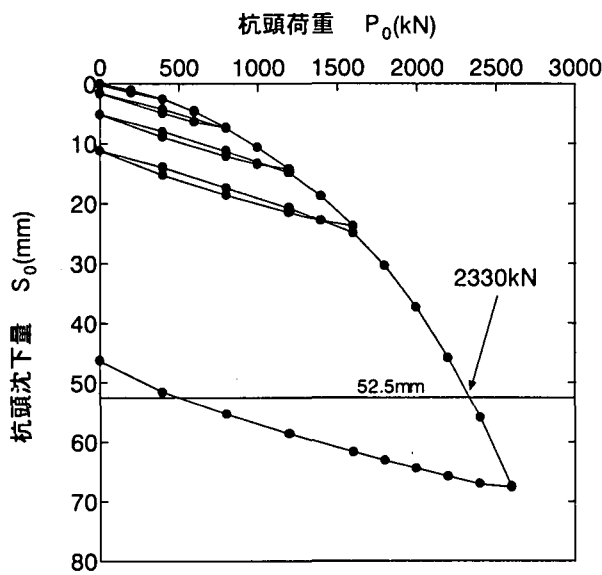


図-8 押し込み載荷試験結果($\phi 216.3\text{mm}$)

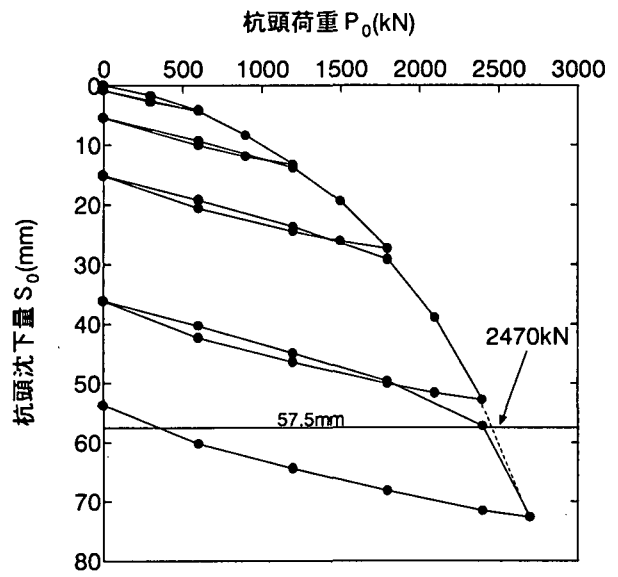


図-9 押し込み載荷試験結果($\phi 267.4\text{mm}$)

図-10～図-11に軸力分布図をそれぞれ示す。軸力分布から、軸部ではほとんど周面摩擦力が発生しておらず、翼部により支持されていることが判る。これは軸部の地層が軟弱粘性土であることに起因する。

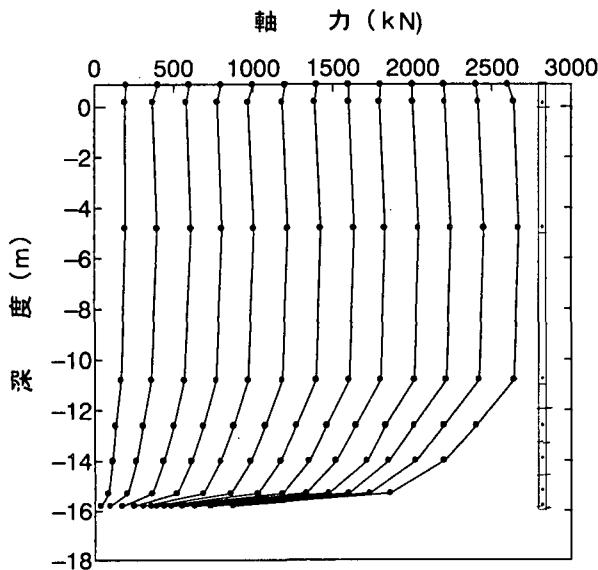


図-10 軸力分布図(押し込み: $\phi 216.3\text{mm}$)

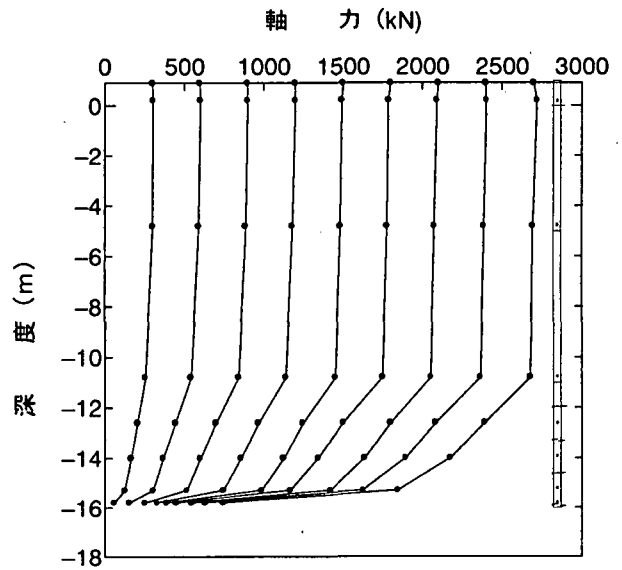


図-11 軸力分布図(押し込み: $\phi 267.4\text{mm}$)

5-2. 引抜き試験結果

引抜き荷重試験結果を図-12、図-13にそれぞれに示す。平均翼径の10%沈下量における引抜き支持力は、 $\phi 216.3\text{mm}$ で1,200kN、 $\phi 267.4\text{mm}$ で1,340kN ($\phi 216.3\text{mm}$ の1.12倍)となった。また、4枚の翼部の純抵抗面積は $\phi 216.3\text{mm}$ の杭で 0.729m^2 、 $\phi 267.4\text{mm}$ の杭で 0.824m^2 となり、両杭の純抵抗面積比は1.13倍である。両杭の支持力比と純抵抗面積比を比較すると、比率はほぼ同等であった。

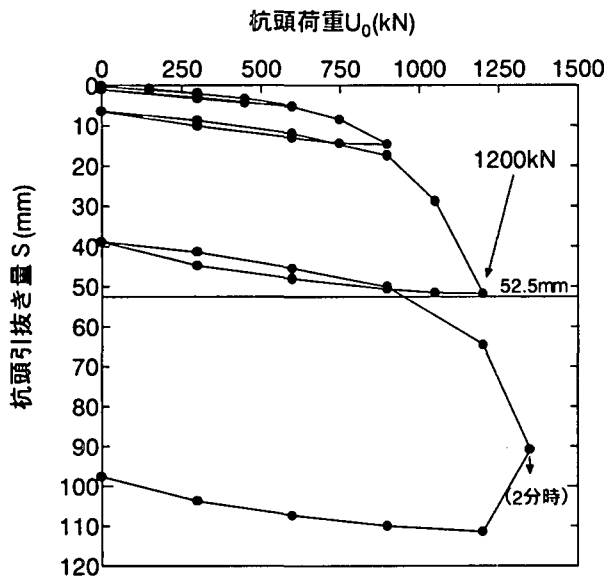


図-12 引抜き荷重試験結果 ($\phi 216.3\text{mm}$)

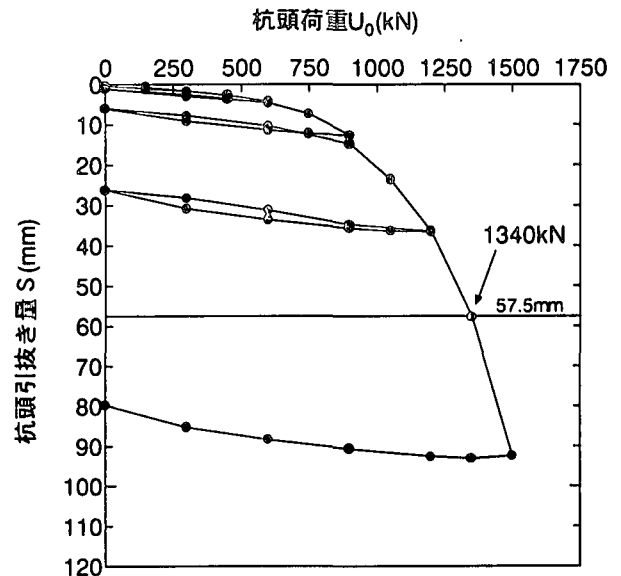


図-13 引抜き荷重試験結果 ($\phi 267.4\text{mm}$)

図-14～図-15に軸力分布図をそれぞれ示す。軸力分布から、押し込み荷重試験結果と同様に軸部ではほとんど周面摩擦力が発生しておらず、翼部により支持されていることが判る。

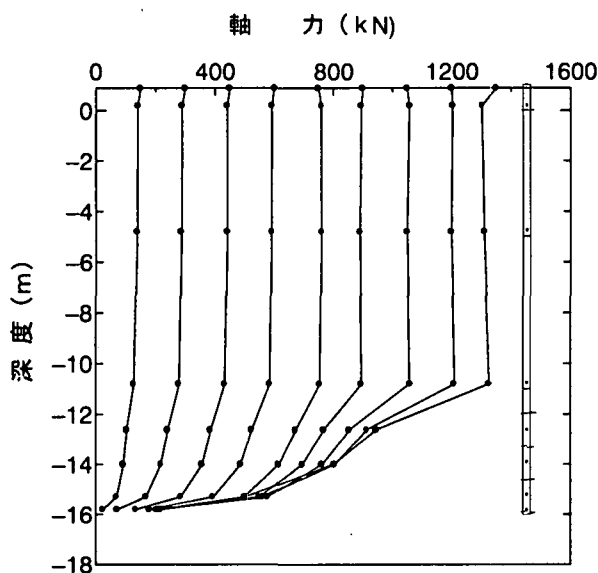


図-14 軸力分布図(引抜き: $\phi 216.3\text{mm}$)

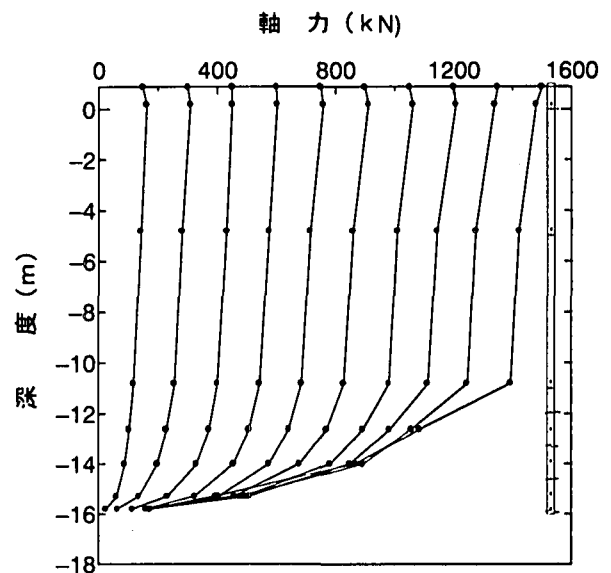


図-15 軸力分布図(引抜き: $\phi 267.4\text{mm}$)

5-3. 荷重試験結果のまとめ

今回の荷重試験における支持力は、軸部の周面摩擦力が得られなかったため、翼部および杭先端の純抵抗面積でほぼ表すことができた。今後は、中間層が砂質土地盤等で軸部の周面摩擦力が得られる地盤で、荷重試験を行い、軸部を含めた支持力性能を把握したいと考えている。

6. 支持力式の推定

今回の载荷試験結果と過去の载荷試験結果を合わせて支持力式の推定を行った。押し込み支持力、引抜き支持力および杭の軸方向バネ定数について推定結果をそれぞれ示す。

6-1. 押し込み支持力

押し込み支持力は、式(1)により求められる。

$$R_u = \sum q_{wi} A_{wi} + U \sum L_i f_i \quad \dots \dots (1)$$

ここで、 q_{wi} : 各翼および底面の支持力度(kN/m²)

A_{wi} : 各翼および底面の抵抗面積(m²)

U : 軸部の杭周長(m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層厚(m)

f_i : 各層の最大周面摩擦応力度(kN/m²)

支持力係数の設定は、杭先端部(底板,1翼)と一般部(2~4翼)に分けて算定した。既存のデータは、杭先端部が砂質土に根入れされたものを用いた。算出結果は図-16に示すように、先端部砂礫層で150N~200N程度の範囲になると推定されるが、データ数が少ないため特定はできない。また、一般部では50Nとなった。なお、一般部の支持力度の評価は、下限値により算定した。また、軸部の周面摩擦力についてはデータが少ないため、今回は評価しなかった。

6-2. 引抜き支持力

引抜き支持力は、押し込み支持力と同様に式(1)により求められる。ただし、先端部底板の抵抗は評価できない。支持力係数の設定は、押し込み支持力同様に杭先端部(1翼)と一般部(2~4翼)に分けて算定した。既存のデータは、杭先端部が砂質土に根入れされたものを用いた。算出結果は図-17に示すように、先端部で70N~80N程度、一般部で50Nとなった。なお、一般部の支持力度の評価は、下限値により算定した。また、軸部の周面摩擦力についてはデータが少ないため、今回は評価しなかった。

6-3. 杭の軸方向バネ定数

杭の軸方向バネ定数は翼部の効果により、軸部の軸力が大きく変化するため、翼部における軸力と翼部長さ(仮根入れ長)によりバネ定数を評価した。係数aと根入れ比の算出結果を図-18に示す。ただし、この係数は翼部のみに対して算出されるものであるため、実際に設計を行う場合は、軸部のバネ値と合わせて評価する必要がある。

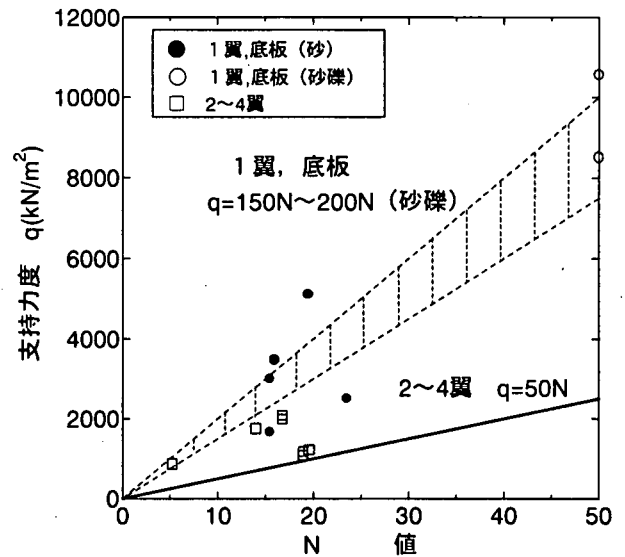


図-16 押し込み支持力度の算出結果

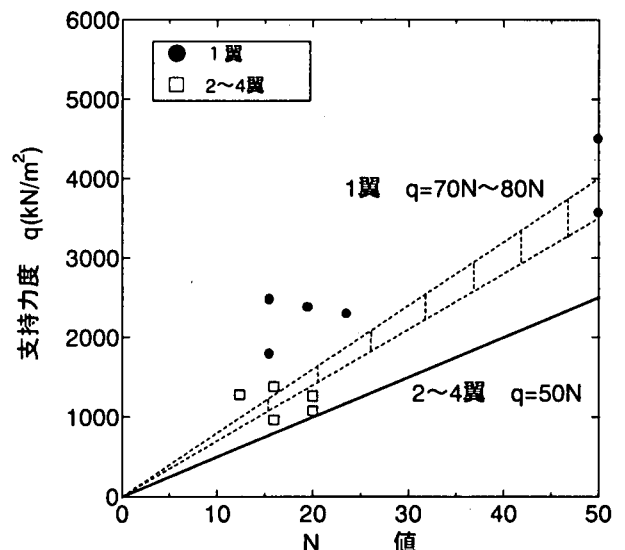


図-17 引抜き支持力度の算出結果

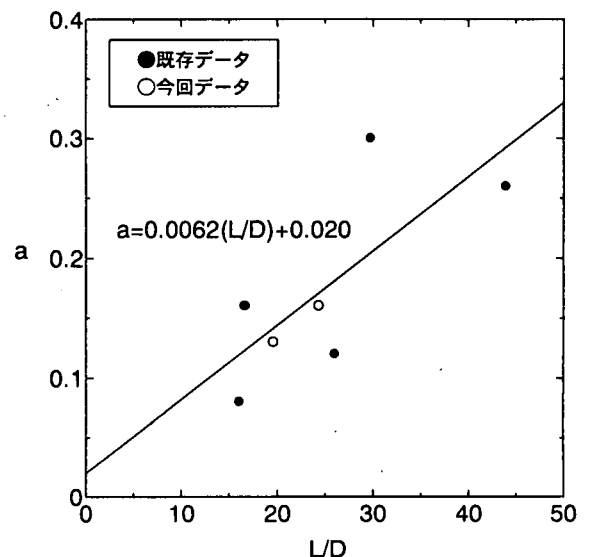


図-18 杭の軸方向バネ定数の算出結果

6-4. 支持力推定式のまとめ

今回の支持力推定結果のまとめを以下に示す。

① 押し込み支持力

1 翼・底面： $q = 150\text{N} \sim 200\text{N}(\text{kN}/\text{m}^2)$

2 翼～4 翼： $q = 50\text{N}(\text{kN}/\text{m}^2)$

② 引抜き支持力

1 翼： $q = 70\text{N} \sim 80\text{N}(\text{kN}/\text{m}^2)$

2 翼～4 翼： $q = 50\text{N}(\text{kN}/\text{m}^2)$

③ 杭の軸方向バネ定数（翼部以深の杭の軸方向バネ定数に関する係数 a 値）

$$a = 0.0062(L/D) + 0.020$$

なお、今回評価を行わなかった軸部の周面摩擦応力は、過去のデータ（図-19 参照）においてバラツキが大きいことが判っている。また、N 値 50 以上の層に支持させた場合の載荷試験結果（押し込み、引抜き）が少ないため、今後はこれらのデータを集積し、設計値を再評価する必要があると考えられる。

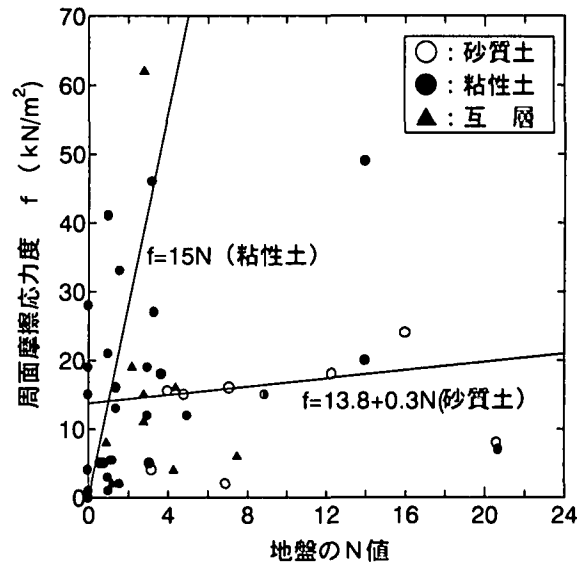


図-19 軸部の杭周面摩擦応力

7. おわりに

今回、MH・MP の支持力と施工性能の検討を行い、設計値および施工精度等の確認することができた。今後は、施工および載荷試験データの集積、鋼管の無溶接継手の検討、設計・施工マニュアルの確立等を行い、耐震補強技術としての実績を増やしていきたいと考えている。

8. 謝 辞

載荷試験を行うにあたり、載荷杭の提供を頂いた日本鋼管(株)、施工およびデータ整理に協力して頂いた、千代田工営(株)に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 橋立, 福井, 吉田, 谷: 「既設基礎の耐震補強に関する検討 (その 3) -ねじ込み杭工法-」, 土木学会第 55 回年次学術講演会, 2000.9
- 2) 土屋, 大杉, 稲, 吉田: 「翼付鋼管杭の軸力測定」, 土と基礎 Vol.48 No.8 Ser.No511, pp17~19, 2000.8
- 3) 土屋, 吉田, 大杉: 「多翼部を有する小径鋼管杭工法の開発」, 日本建築学会技術報告集, 第 10 号, pp57~60, 2000.6
- 4) 橋立, 福井, 谷: 「ねじ込み式マイクロパイルの支持力性能」, 第 36 回地盤工学会研究発表会, 2001.6
- 5) 橋立, 福井, 谷: 「既設基礎の耐震補強に関する検討 (その 7) -ねじ込み式マイクロパイルの支持力-」, 土木学会第 56 回年次学術講演会, 2001.10