

ねじ込み式マイクロパイルの橋梁基礎への適用事例

Application Examples of Newly Built Bridges Using Multi-helix Micropiles

谷 善友*¹ 橋立 健司*¹ 吉田 弘司*²
Yoshitomo Tani Kenji Hashidate Kouji Yoshida
松浦 健次*² 金井 重夫*³
Kenji Matsuura Shigeo Kanai

要旨

ねじ込み式マイクロパイル工法は、都市部の狭隘地や空頭制限下で、既設橋梁基礎の増杭による耐震補強を安全確実かつ経済的に行うことを目的に、(独) 土木研究所、(財) 先端建設技術センターとの共同研究により開発された基礎杭工法である。本工法は狭隘地で施工でき、低騒音・低振動かつ残土を出さないなど、周辺環境への負荷が極めて小さいことから、小規模橋梁の更新工事への適用事例が増えつつある。ここでは、本工法の河川横断道路橋および歩道橋への適用事例を紹介する。

キーワード：マイクロパイル 回転杭 狭隘地 空頭制限 適用事例

1. はじめに

ねじ込み式マイクロパイル工法（以下、MH-MP 工法と称す）は、(独) 土木研究所、(財) 先端建設技術センターとの共同研究により、施工面の制約条件を克服する既設基礎の耐震補強技術として開発された工法である（NETIS 登録番号 CB-030009）。MH-MP 工法は、小径鋼管（ $\phi 300\text{mm}$ 以下）に4枚のらせん翼を取付けた杭を回転させ、無排土で地盤中に貫入するものである。本工法は、増杭による既設基礎の耐震補強技術として開発されたものであるが、近年小規模の新設橋梁基礎への適用事例が増えつつある。本報告は、MH-MP 工法を新設橋梁基礎として実際に施工した事例を挙げ、本工法の適用性について述べるものである。

2. ねじ込み式マイクロパイルの概要

MH-MP 工法は、直径 $D_0=114.3\sim 267.4\text{mm}$ の鋼管に、外径の異なる4枚のらせん状の翼を1.33mの一定間隔でテーパ状（1翼毎に50mm拡大）に取付けた翼部と、それに接続される鋼管のみの軸部で構成される杭（図1参照）を、直接地中に回転貫入する工法である。本工法は次のような特長を有している。

- ① 翼の効果により、小口径にもかかわらず大きな支持力を確保できる。また、斜杭を設計に取り入れることにより、合理的かつ経済的な耐震補強ができる。
- ② 小型機械によって施工を行うため、低空頭かつ狭隘な

場所での施工が可能である。

- ③ 回転推進力により杭を地中に貫入する施工方法であるため、無排土施工が可能で発生土がない。また、施工時の騒音や振動が小さく廃棄泥水等も発生しないため、環境にやさしい。
- ④ 継手箇所については、新たに開発した機械式継手（スプライン継手）を用いることで、信頼性や施工性の向上が図れる。

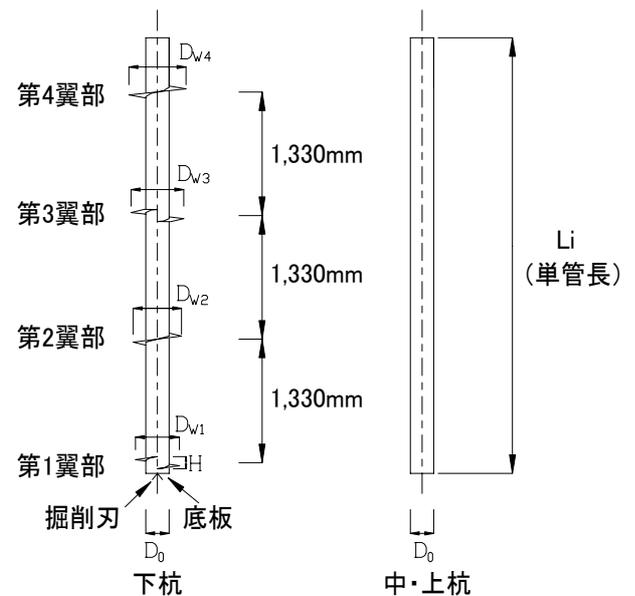


図1 ねじ込み式マイクロパイルの形状

3. ねじ込み式マイクロパイルの支持力

3.1 極限支持力

MH・MP の極限支持力は、過去の載荷試験結果から次のように設定されている⁷⁾。

杭 1 本当りの軸方向極限支持力は、式 1 により求められる。

$$R_u = \sum q_{wi} \cdot A_{wi} + U \sum L_i \cdot f_i \quad \dots \dots \dots \text{式 1}$$

ここに、 q_{wi} : 各翼および底板の単位面積当たりの極限支持力度(kN/m²)

A_{wi} : 各翼および底面の抵抗面積(m²)

U : 軸部の周長(m)

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚(m)

f_i : 各層の最大周面摩擦力度(kN/m²)

式 1 における翼部の極限支持力度 q_{wi} は、各翼ごとに N 値を用いて推定する。押し込み時には表 1 の、引抜き時には表 2 の推定式を用いる。

表 1 翼部の押し込み極限支持力度 q_{wi}

第 1 翼、底板部の算定法
$q_{w1}=150N$ (kN/m ²) (砂礫)
$q_{w1}=100N$ (kN/m ²) (砂)
ここに、 N : 標準貫入試験の N 値
第 2~4 翼部の算定法
$q_{wi(i=2\sim4)}=50N$ (kN/m ²) (砂質土および粘性土)
ここに、 N : 標準貫入試験の N 値

表 2 翼部の引抜き極限支持力度 q_{wi}

第 1 翼部の算定法
$q_{w1}=70N$ (kN/m ²) (砂および砂礫)
ここに、 N : 標準貫入試験の N 値
第 2~4 翼部の算定法
$q_{wi(i=2\sim4)}=50N$ (kN/m ²) (砂質土および粘性土)
ここに、 N : 標準貫入試験の N 値

※引抜き時は、底板は考慮しない

また、軸部の最大周面摩擦力度 f_i は、押し込み、引抜き同様に N 値を用いて推定する。推定式を表 3 に示す。

表 3 軸部の最大周面摩擦力度 f_i

地盤種別	軸部の最大周面摩擦力度(kN/m ²)
砂質土	$f_i=N$ (≤ 50 kN/m ²)
粘性土	$f_i=3N$ (≤ 100 kN/m ²)

3.2 水平地盤反力係数

水平地盤反力係数は、通常の鋼管杭と同様に、軸部の鋼管の曲げ剛性を用いて算出する。

3.3 杭の軸方向バネ定数

軸方向バネ定数は、軸部のバネ定数と翼部のバネ定数を算出し、両者を合わせて評価する。算出モデルを図 2 に、算出式を式 2 にそれぞれ示す。

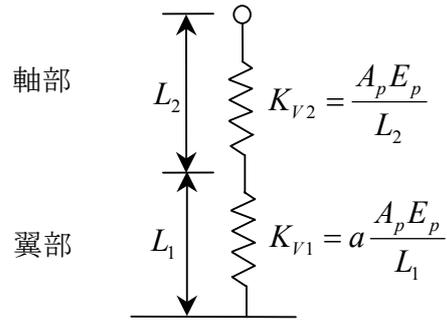


図 2 軸方向バネ定数の算出方法

$$K_V = \frac{K_{V1} K_{V2}}{K_{V1} + K_{V2}} \quad \dots \dots \dots \text{式 2}$$

ここに、 K_V : 杭の軸方向バネ定数(kN/m)

A_p : 軸部の純断面積(m²)

E_p : 杭体のヤング係数(kN/m²)

K_{V1} : 翼部の軸方向バネ定数(kN/m)

L_1 : 翼部の長さ(m)

K_{V2} : 軸部の軸方向バネ定数(kN/m)

L_2 : 軸部の長さ(m)

a : 翼部の係数

また、翼部の係数 a は式 3 により算出される。

$$a = \frac{\lambda \cdot \tanh \lambda + \gamma}{\gamma \cdot \tanh \lambda + \lambda} \cdot \lambda \quad \dots \dots \dots \text{式 3}$$

ここに、

$$\gamma = \frac{A_i k_v L_1}{A_p E_p}, \quad \lambda = L_1 \sqrt{\frac{C_s U}{A_p E_p}}$$

k_v : 杭先端地盤の鉛直方向地盤反力係数(kN/m³)

C_s : 翼部周面~地盤間のすべり係数 (kN/m³)

A_i : 杭の先端閉塞面積 (m²)

L_1 : 翼部の長さ(m)

U : 軸部の周長(m)

なお、 C_s および k_v は、それぞれ地盤の N 値から算出される。算出式を式 4、式 5 にそれぞれ示す。

$$C_s = 770 N_w \quad \dots \dots \dots \text{式 4}$$

ここに、 N_w : 翼部平均 N 値

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{D}{0.3} \right)^{-3/4} = \alpha \frac{E_0}{0.3} \left(\frac{D}{0.3} \right)^{-3/4} \dots \text{式 5}$$

- ここに、 k_v ：杭先端地盤の鉛直方向地盤反力係数(kN/m³)
- k_{v0} ：直径 30cm の剛体円盤による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数(kN/m³)
- α ：地盤反力係数の推定に用いる係数
- E_0 ：杭先端地盤の変形係数
 $E_0=2800N$ (kN/m²)
- D ：軸部の径(m)
- N ：杭先端地盤の N 値

4. 歩道橋基礎への適用例¹³⁾

4.1 施工概要および施工状況

本工事は、老朽化が進み利便性に欠ける旧歩道橋を撤去し、バリアフリー化に対応するエレベーターと斜路を備えた新設歩道橋に架け替えるものである。工事の概略平面図および断面図を図3に示す。特に、国道20号線と平行するP1橋脚側については、車両・歩行者の通行が頻繁な道路を規制した中での狭隘地施工に加え、杭位置が地下埋設物(上水道)に近接する構造であったため、特に地盤変状に注意して施工を行った。また、橋脚部の杭については、レベル2の地震動への検討も行われている。

工事概要を以下に記す。

- ・ 工事名称：代田橋駅前歩道橋改良工事
- ・ 工事場所：東京都世田谷区、杉並区
- ・ 発注：国土交通省東京国道事務所
- ・ 施工：豊平製鋼㈱
- ・ 杭施工：㈱鴻池組
- ・ 工期：平成16年4月～平成17年1月
- ・ 工事内容：ねじ込み式マイクロパイル工法
47本、 $\phi 267.4\text{mm}$ 、 $L=15.5\sim 19.0\text{m}$

4.2 施工状況

本工事における施工状況を写真1に示す。本工事の施工における課題は、工事概要で述べたような施工環境への対応と、支持層への適正な根入れ管理が挙げられた。

施工に際しては、新たに導入した最大トルク 120kN・m の中空オーガ施工機(写真2)を用いて硬質な支持地盤への貫入性を高めた。本施工機の特長としては、中空オーガ内に杭体を通過させることができるため、従来施工機に比べ鋼管の単管長を長く設定することができ、これにより継手箇所数を減らすことが可能となった。加えて、空頭制限についても、従来機が 5.3m 以上であったものが 4.0m 以

上となり、更なる厳しい施工環境への対応が可能となった。表4に従来機との比較を示す。

図4に中空オーガ施工機を用いた施工手順例を示す。本工事では、この施工方式とP1橋脚側については機械式継手(スプライン継手)⁷⁾⁹⁾を用いて施工能率の向上を図った。

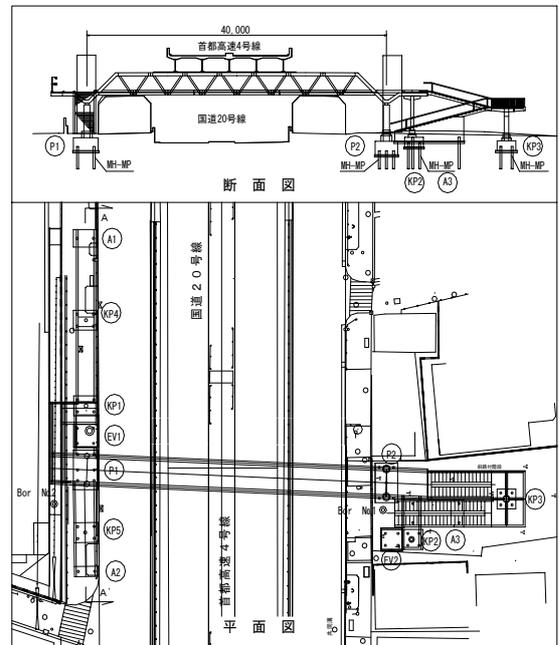


図3 概略平面図および断面図



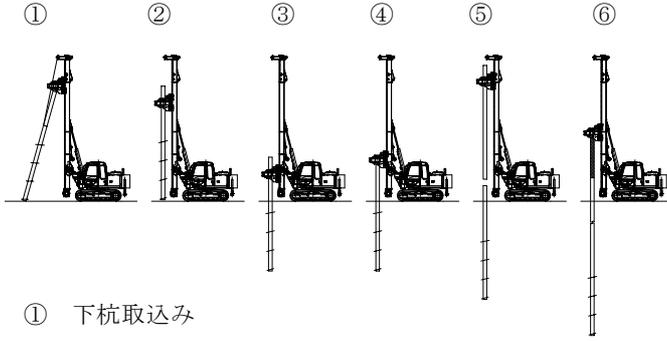
写真1 施工状況



写真2 中空オーガ使用状況例

表 4 従来施工機との比較

	従来施工機	中空オーガ施工機
最大トルク	100kN・m	120kN・m
空頭制限	5.3m 以上	4.0m 以上
斜杭最大打設角	20 度	30 度
最大単管長	7.0m	8.0m



- ① 下杭取込み
- ② 中空オーガ内で杭体固定、杭芯セット
- ③ 杭回転貫入
- ④ オーガ移動、杭回転貫入
- ⑤ 中・上杭接合
- ⑥ ヤットコ等により杭定着

※ 所定の深度まで③～⑤を繰り返し

図 4 中空オーガ施工機を用いた施工手順

図 5 に、P1 橋脚施工位置の地盤と施工時の貫入トルクの関係例を示す。この図から N 値と貫入トルク値の傾向は良く対応していることが分かる。この関係を基に貫入トルクを管理することにより、相対的な地層の変化を把握することができ、地盤調査位置 (BorNo.2) から 40m 程度離れた A1 橋台の杭施工時においても、確実な支持層への根入れを確認することができた。

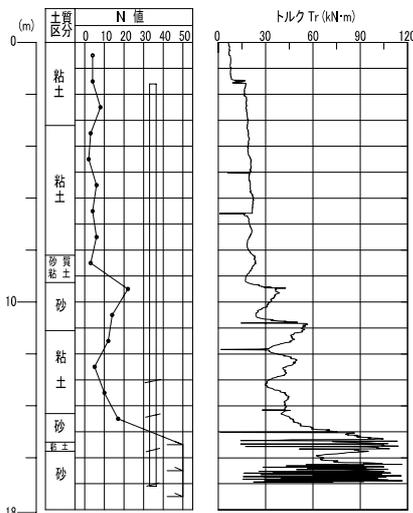


図 5 施工地盤と貫入トルクの関係の一例 (P1 橋脚)

5. 橋台基礎への適用例

5.1 施工概要および施工状況

埼玉県戸田市内を流れる上戸田川に架かる新田橋は、河川改修に伴い橋梁の架替が必要となった。しかし、周辺道路状況や家屋が密集している場所であるため、通常の三点式杭打機による基礎杭の施工は困難と考えられた。このため、狭隘地で施工が可能で、周辺環境への負荷が少ない MH-MP 工法が採用された。また、橋梁としても小規模であるため基礎杭に作用する荷重がさほど大きくないことも採用理由の一つとして挙げられる。

工事概要を以下に記す。

- ・工事名称：上戸田川（新田橋架替）工事
- ・工事場所：埼玉県戸田市
- ・発注：埼玉県戸田市役所
- ・施工：(株)ユナイター・(株)市ヶ谷組経常建設共同企業体
- ・杭施工：(株)ジオ ダイナミック
- ・工期：平成 17 年 12 月
- ・工事内容：ねじ込み式マイクロパイル工法

16 本、 $\phi 216.3\text{mm}$ 、 $L=33.0\text{m}$

当工事の平面図および断面図を図 6 および図 7 にそれぞれ示す。また、施工状況を写真 3 および写真 4 に示す。

施工機は、空頭に架空線があったため、リーダを 6.8m 程度に縮小したものを用いた。

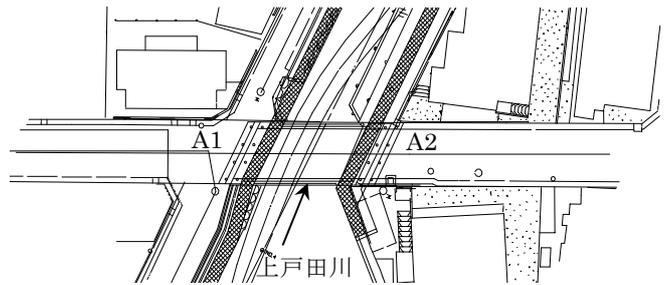


図 6 施工平面図

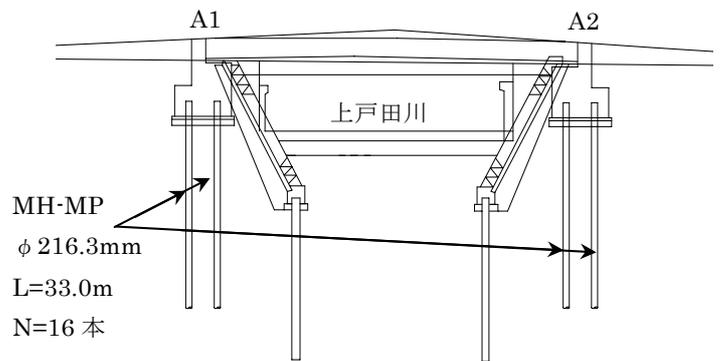


図 7 施工断面図

当現場の地盤と施工時の貫入トルクの関係例を図8に示す。施工時の貫入トルクは、地盤性状を良く表しており、支持層への根入れの確認を確実に行うことができる。図8は、一例であるが、全ての施工において同様の傾向が見られた。



写真3 施工状況（全景）



写真4 施工状況

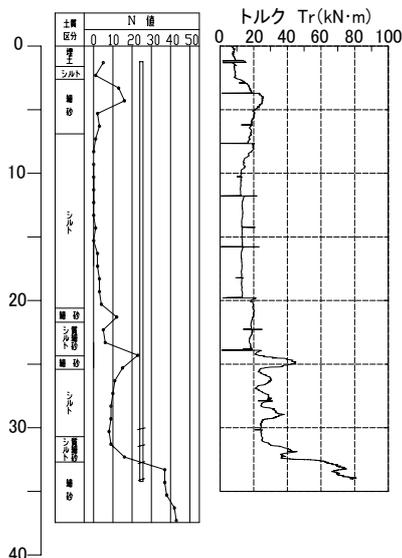


図8 施工地盤と貫入トルクの関係の一例（A2橋台）

5.2 杭の支持力確認

MH-MP工法は、当現場で初めて新設道路橋として採用されたため、載荷試験により設計荷重の確認を行った。載荷装置の設置状況を写真5に示す。

載荷試験結果を図9に示す。載荷は、本杭を用いたため常時許容荷重の2倍の荷重まで実施し、支持力を確認した。



写真5 載荷試験装置

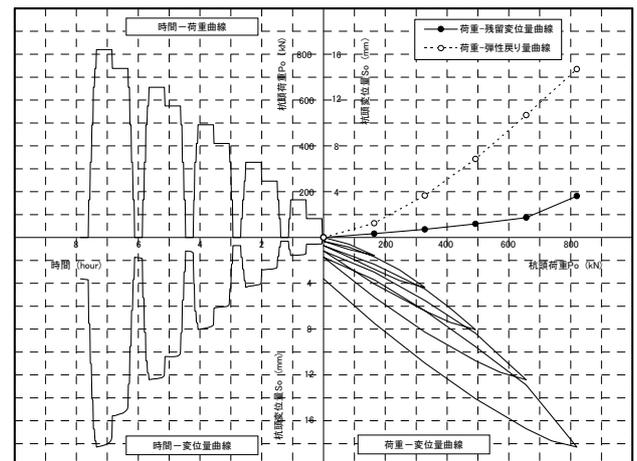


図9 試験結果総合図

今回の載荷試験の結果から得られた、試験結果総合図(図9)や $\text{Log}P_0 \sim \text{Log}S_0$ 曲線、 $S_0 \sim \text{Log}t$ 曲線および $P_0 \sim \Delta S_0 / \Delta \text{Log}t$ 曲線(図9以外は図を省略)それぞれの図から、明確な急折点は現れておらず第1限界抵抗力(降伏荷重 P_y)は得られなかった。このため、本載荷試験において試験杭は、第1限界抵抗力に至っていないと判断される。したがって、第2限界抵抗力(極限荷重 P_u)に至っていないと判断される。

このことから、打設した杭は、設計荷重に対して十分な支持力を有していることが確認できた。

また、打設した杭が実際にどの程度の支持力を有しているかを判断するために、ワイブル曲線を用いて第2限界抵

抗力を推定した。第2限界抵抗力の推定結果を図10に示す。この結果、翼部平均径の10%(52.5mm)の沈下時の荷重を第2限界抵抗力とすると1226kNとなる。ただし、ワイブル曲線推定時に载荷試験の最終荷重および最終沈下量を便宜上、第1限界抵抗力として入力しているが、载荷試験の結果から第1限界抵抗力に至っていないと判断されることから、実際の極限荷重は、推定値よりも大きくなることが予想される。

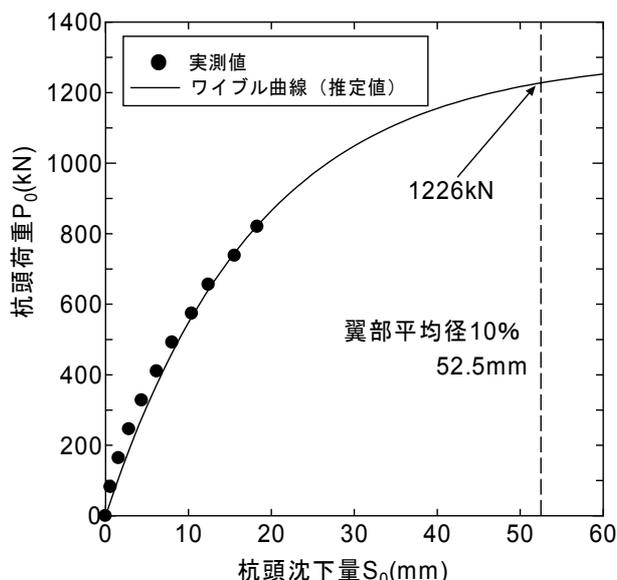


図10 ワイブル曲線による第2限界抵抗力の推定

6. おわりに

今回報告したMH-MP工法は、小規模道路橋を含めて新設橋梁基礎へ十分に適用可能であることが分かった。今後は、既設橋梁基礎の耐震補強や新設橋梁基礎に加え、処理場等の新設基礎へも分野を拡げていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 橋立健司、福井次郎、吉田幸司、谷善友：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) 橋立健司、福井次郎、谷善友：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、pp.1555～1556、2001.6

- 3) 橋立健司、福井次郎、谷善友：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－、第5回耐震補強・補修技術、耐震診断に関するシンポジウム、pp.77～84、2001.7
- 4) 橋立健司、福井次郎、谷善友：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、pp.692～693、2001.10
- 5) 橋立健司、福井次郎、谷善友：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工法－、第24回日本道路会議、pp.354～355、2001.10
- 6) 橋立健司、谷善友：ねじ込み式マイクロパイルによる既設基礎の耐震補強、第13回アーバンインフラ・テクノロジー推進会議、pp.185～188、2002.2
- 7) (独)土木研究所他：既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書(その3)(6分冊の4)、2002
- 8) 橋立健司、谷善友：マイクロパイルによる既設基礎の耐震補強技術の開発、近畿地方整備局平成14年度管内技術研究発表会、pp.5-1～5-4、2002.7
- 9) 橋立健司、福井次郎、谷善友：既設基礎の耐震補強に関する検討(その8)－ねじ込み式マイクロパイル用機械式継手の性能確認試験、土木学会第57回年次学術講演会、pp.1273～1274、2002.9
- 10) 橋立健司、谷善友、堀川慎司、金井重夫、深谷利行：ねじ込み式マイクロパイルの引抜き抵抗(その1)－試験概要－、第38回地盤工学会研究発表会、pp.1503～1504、2003.7
- 11) 金井重夫、橋立健司、谷善友、堀川慎司、高野公寿：ねじ込み式マイクロパイルの引抜き抵抗(その2)－評価法の検討－、第38回地盤工学会研究発表会、pp.1505～1506、2003.7
- 12) 橋立健司、西村泰治、深谷利行、金井重夫：ねじ込み式マイクロパイル工法による既設基礎の耐震補強工事事例、第39回地盤工学会研究発表会、pp.1813～1814、2004.7
- 13) 橋立健司、松浦健次、金井重夫、渡部豊土：ねじ込み式マイクロパイル工法の新設歩道橋基礎への適用事例、第40回地盤工学会研究発表会、2005.7