

Ⅲ-A447 小口径摩擦杭（高耐力マイクロパイル）の支持力特性（その2） —水平交番載荷試験結果—

建設省土木研究所 正会員 石田 雅博 正会員 福井 次郎
同 上 正会員 加藤 秀章 正会員 三木 健男*

1. はじめに

アメリカにおける橋梁基礎の耐震補強工法に関して、小口径の摩擦杭（マイクロパイル）を採用する事例が増えつつあり、日本においてもマイクロパイルは新しい基礎の補強工法として期待されている（図-1）。その設計の考え方は、既設基礎の周囲に打設したマイクロパイルの軸力抵抗のみによって、基礎に作用するモーメント荷重に抵抗させようとするものである。しかし、マイクロパイルには水平、曲げ抵抗もあり、これらを見逃した設計は不経済な設計となる可能性があり、また、逆に水平、曲げ抵抗に対する照査をしていないことは危険側の設計となっている可能性がある。よって、マイクロパイルの鉛直載荷試験¹⁾に引き続き水平交番載荷試験を行い、マイクロパイルの水平抵抗特性、基礎の耐震補強への適用性に関する検討を行った。

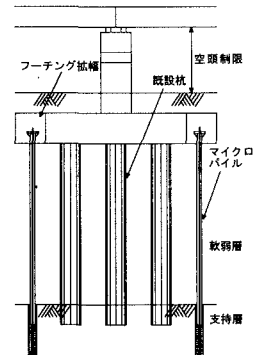


図-1 マイクロパイルの耐震補強例

2. 試験杭の概要および地盤条件

マイクロパイルの諸元は参考文献²⁾を参照されたい。ただし、鉛直載荷試験と同様に低空間での施工性を確認するため、鋼管に1.5m毎のネジ式カップリング継手を設けている。図-2には実験地盤の土質柱状図、三軸圧縮試験等の土質試験から得られた土質定数を示す。なお、表層には碎石、砂質土、粘性土を含んだ埋土層が存在し、この埋土層の評価は困難であった。

3. 水平交番載荷試験方法

載荷試験時の計測位置を図-2に示す。天端から4.5mの深さまでの3本の鋼管には、継手部から150mm離れた鋼管の内側にひずみゲージを貼り付け、グラウトの加圧注入完了後、再挿入させた。それ以深の鋼管には施工手順の関係から、ひずみゲージを設置できないため、この区間には鉄筋にひずみゲージを配置した。なお、地表面部の鋼管のひずみゲージ①は杭の施工完了後、鋼管の外側に貼り付けた。載荷方法としては正負方向の交番載荷とし、最終サイクルでは道示³⁾における地震時変位の制限値である400mm付近まで大変形載荷を行った。

この大変位載荷を行うため、ジャッキストロークが200mmのセンターホールジャッキを2台直列し、ストロークの限界まで載荷を行った。

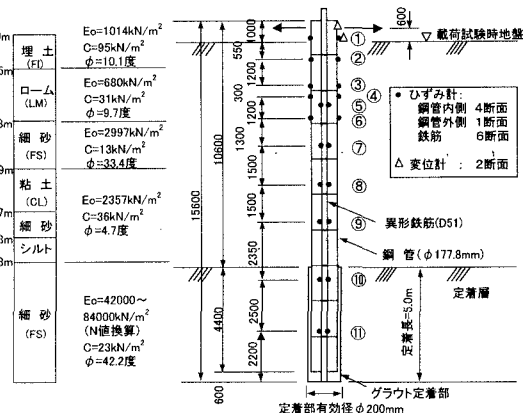


図-2 土質データおよび計測位置図

4. 載荷試験結果

図-3には水平荷重～杭頭変位の履歴曲線を示す。最終サイクルでは、最大水平荷重を正方向に160kN載荷し、杭頭を355mm変位させた。別途実施されたマイクロパイルの気中曲げ試験³⁾では、 $M \sim \phi$ 関係はバイリニア型に近く、全塑性モーメントは杭体が複合部材から構成されているため、鋼管のみの全塑性モーメントより大きな値を得ている。この実験値を参考にすると、水平荷重150kN時で杭体(⑤断面)がほぼ全塑性モーメントに達していることになるが、荷

キーワード：マイクロパイル、小口径摩擦杭、水平交番載荷試験、耐震補強

連絡先：茨城県つくば市旭1 TEL:0298-64-4916 FAX:0298-64-0565 *：交流研究員（平成10年4月～11年3月）

重～変位関係における明確な変化点や残留変位の急増点は見られなかった。今回の荷重試験では終局状態までの荷重は行えなかったものの、杭体が全塑性に至った後も急には耐力が低下せず、後述する解析結果からも、マイクロパイルはある程度のじん性を有するものと考えられた。次に、杭体の最外縁に補正した曲げひずみ分布(正方向荷重時)を図-4に示す。ここで、②～④断面の曲げひずみは、他の断面との分布傾向が大きく異なった。これらの計測箇所はいずれも、一般部に比べて断面剛性が大きいカップリング継手部に近かったため、その影響により過小なひずみになったものと考えられる。

5. 静的非線形解析との比較

マイクロパイルのような小口径で複合構造の杭と、道路橋の現行設計手法との整合性を確認するため、単杭の静的非線形解析を行った。ここで、地盤は完全弾塑性型とし、杭体の $M \sim \phi$ 関係は前述のマイクロパイルの気中実験結果を参考とした。図-3の水平荷重～杭頭変位曲線には荷重試験結果に加えて解析結果を示した。ここで、解析結果1は各土層で実施した三軸圧縮試験および孔内水平荷重試験結果を用いて土質定数を設定したものである。また、解析結果2はこれらの土質試験に加え、連続的な土質データを測定することを目的として実施した、静的コーン貫入試験(CPT試験)結果を用いて土質定数を設定したものである。地盤物性の評価方法による差はあるものの、これらの解析結果は実測値に比べて若干安全側の結果となった。よって、群杭効果は別として、マイクロパイルに関しても杭・ラーメンモデルで解析できる可能性を示すものと考えられる。図-5には水平荷重150kN時(⑤断面全塑性)の各深度の曲げモーメント値をプロットし、両解析ケースにおいて杭体が全塑性モーメントに達した時点の曲げモーメント分布を示した。なお、今回のマイクロパイルの βL は7.4、杭の特性値である $1/\beta$ は2.0mで荷重試験の最大曲げモーメントの深さとほぼ同じであった。この図からは、前述したような鋼管継手部のデータを除けば、実測値と解析値は最大曲げモーメント発生深さや分布形状が比較的一致していると解釈できた。しかし、今回は杭体の計測点が少なく、深度方向に連続したデータを得られなかったため、十分な検証結果とはいえない。さらに、今回は一般部の $M \sim \phi$ 関係を用いて解析を行ったが、継手部は断面が一般部より大きいが一断面ではないため、構造的弱点になる可能性がある。よって、今後は継手部を含んだマイクロパイルの気中曲げ実験などを行い、杭全体の変形特性を検討する必要がある。

6. まとめ

今回は桁下等の低空間を想定したマイクロパイルの試験施工を行い、その施工性からは基礎の耐震補強工法への適用性を確認できた。また、マイクロパイルを設計上単杭と考えた場合、今回の荷重試験では明確な終局状態は確認できなかったものの、杭体の変形特性(一般部)を適切に評価することによって、荷重～変位関係を概ね予測できると考えられた。しかし、継手が多い場合の杭体各部に生じる応力分布に関しては十分な検討は行えず、今回のような鋼管継手部の影響をどう評価するかが今後の課題である。さらに、群杭としての耐震補強効果を考えた場合には、比較的大口径の既設杭と小口径マイクロパイルの水平抵抗分担や、網目状に打設されたネットワーク効果などの課題が残る。

【参考文献】1)福井他：小口径摩擦杭(マイクロパイル)の支持力特性(その1)、土木学会第54回年次学術講演会、1999。
2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編、1996。3)斉藤他：鋼管を用いたマイクロパイルの曲げ特性(その1)、土木学会第54回年次学術講演会、1999。

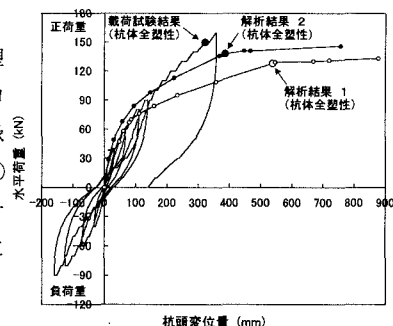


図-3 水平荷重～杭頭変位曲線

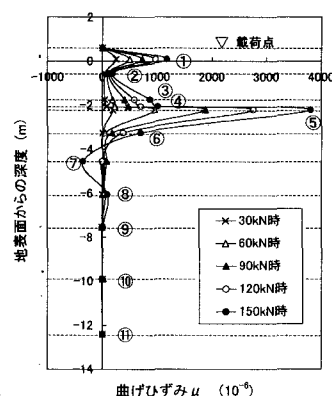


図-4 曲げひずみ分布図(正方向)

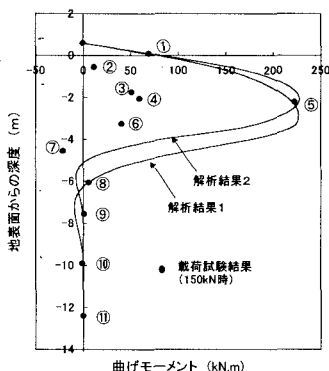


図-5 曲げモーメント分布図