

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 正会員 岡 憲二郎
建設省土木研究所 正会員 大下 武志 正会員 市村 靖光

1. はじめに

兵庫県南部地震以後、道路橋の耐震設計基準が改定され、既設構造物の耐震補強の必要性が高まっている。橋脚については鋼板巻立等の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、地中にある基礎部の補強も不可欠である。しかし、一般に基礎の補強は、桁下空間での施工性、作業ヤードの確保、用地境界などの制約条件を考慮すると施工が困難で、コストも高額となるなどの課題を抱えている。本報は、制約条件下での基礎の効率的な補強方法のひとつとして、地盤改良併用のST マイクロパイル(図-1)¹⁾を用いた増し杭補強効果について試算検討を行ったものである。

2. 工法概要

ST マイクロパイルとは、プレカット工程を取り入れたセメントミルクの高圧噴射攪拌を行い、その改良体を再削孔(リボーリング)し鋼管を挿入した後、鋼管と削孔壁の隙間をセメントミルクで加圧充填する工法である。本工法は小さな削孔径で大きな杭の有効径を確保し、その拡径改良体と芯材として用いる小口径高張力鋼管が一体となり、大きな支持力を得るものである。一方、施工機械が小型であり、狭隘な施工条件下でも優れた機動性を有していることから、制約条件下での有効な補強工法であると考えられる。

3. 検討方法

検討モデルは旧設計基準で構築された既設基礎²⁾ (PC 杭基礎) の水平耐力不足を想定し、図-2 に示すような増し杭補強を行うものとした。検討方法は道路橋³⁾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杭～ラーメンモデルで非線形解析を行った。検討ケースを表-1 に示す。基礎の耐震性⁴⁾を確保するために必要な増し杭諸元を、地盤条件・補強方法をパラメータとして検討するものとした。前述したように、本工法は改良体と芯材鋼管が作用外力に対して複合構造で抵抗するものである。ここで、マイクロパイルの軸方向支持力特性に関しては過去に実施した载荷試験結果⁵⁾を参考に設定した。しかし、軸直角方向の抵抗特性について、拡径改良体が受け持つ地盤抵抗の効果を現状では定量的に把握していないため、今回の検討においては芯材鋼管径で水平地盤反力を受け持つ完全弾塑性型と仮定した。また、部材の非線形性を表す $M-\phi$ 関係に関しては、高張力鋼管と管内グラウトの曲げ剛性を考慮したバイリニア型と設定した。

4. 検討結果

(1) 非液状化時の検討結果（ケースⅠ、Ⅱ）

非液状化時の検討結果

表-1 検討ケース

として、表-2 に増し杭諸元、図-3 に水平荷重～杭頭変位関係を示す。既設PC杭に比べてマイクロパイルがたわみ性の杭であるため、鉛直に打設した

ケース	地盤条件	補強方法
I	非液状化	鉛直打設による増し杭
II		斜杭打設による増し杭(15度)
III	液状化	鉛直打設による増し杭
IV		斜杭打設による増し杭(15度)

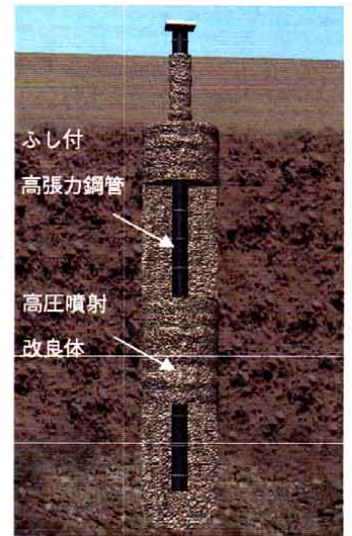


図-1 ST マイクロパイルの概要

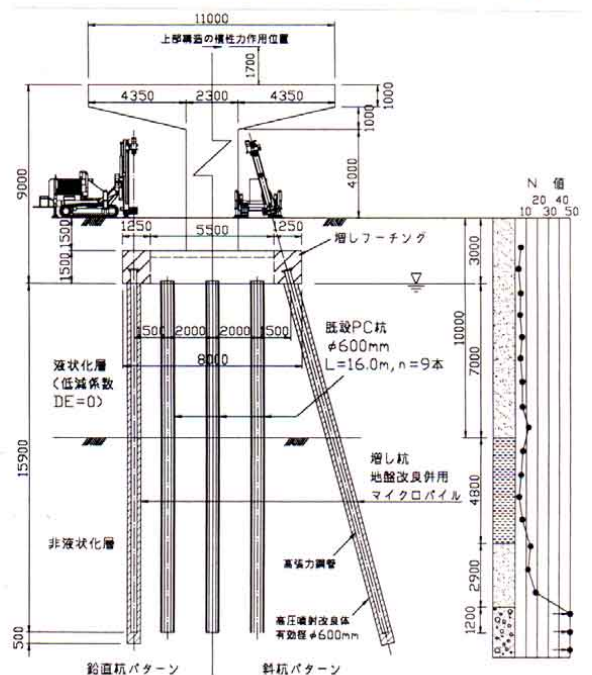


図-2 既設基礎の補強概要図

キーワード：マイクロパイル、地盤改良、セメントミルク高圧噴射攪拌、基礎杭、耐震補強、斜杭

連絡先：〒101-8463 東京都千代田区神田錦町 3-7-1 興和一橋ビル TEL 03-3296-4622, FAX 03-3296-4628

増し杭基礎の破壊形態は既設杭がまず降伏～終局に達し、荷重～変位関係に非線形性が現れた後、増し杭が降伏する傾向である。よって、このような異種杭から構成される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するものと考えられた。また、断面力照査

表-2 検討結果

	地盤条件	増し杭諸元			増し杭本数	基礎の降伏震度		基礎の塑性率	
		工 法	有効径	鋼 管		橋軸方向	橋軸直角	橋軸方向	橋軸直角
I	非液状化	鉛直杭MP	φ 600mm	φ 267.4mm(HT60)	12	0.83以上	0.90以上	—	—
II		斜杭MP	φ 600mm	φ 216.3mm(HT60)	8	0.83以上	0.90以上	—	—
III	液状化	鉛直杭MP	φ 600mm	φ 267.4mm(HT80)	16	0.27(0.83)	0.27(0.90)	9.9(3.0)	9.8(3.0)
IV		斜杭MP	φ 600mm	φ 216.3mm(HT60)	12	0.74(0.83)	0.80(0.90)	1.7(3.0)	1.6(3.0)
—		従来工法	場所打ち杭 φ 1,000mm		8	0.56(0.83)	0.56(0.90)	2.7(3.0)	2.7(3.0)

()内は設計値

を行った場合、既設杭の負担断面力が大きく、既設 PC 杭のせん断耐力照査で増し杭諸元が決まる傾向であった。これは、マイクロパイルの曲げ剛性が小さいことと、拡張効果で増大するであろう地盤抵抗を考慮していないためと考えられる。一方、斜杭の場合、鉛直杭に比べて少ない増し杭本数で補強が可能という結果が得られた。これは、基礎に作用する水平力、曲げモーメントを斜杭の軸抵抗が大きく受け持つことにより、既設杭が負担する断面力を大幅に低減できたためである。

(2) 液状化時の検討結果 (ケース III, IV)

液状化時の検討結果を表-2、図-4 に示す。鉛直杭では比較的多くの増し杭本数としたが、小さな水平力で増し杭基礎の降伏に達し、今回設定した制限値 ($\mu_{FR}=3$) を超える大きな塑性率 μ_{FR} となった。本検討モデルではフーチング下端から 7m の深度まで地盤強度の期待できない液状化層 ($D_E=0$) が存在し、鉛直杭で基礎の耐震性を確保するには、さらなる増し杭本数の増加が必要である。一方、斜杭による補強では鉛直杭に比べて少ない増し杭本数・小さな鋼管としたが、応答塑性率は制限値以下であり、液状化時においても有効な補強効果が確認できた。

5. まとめ

今回の検討結果からは、このような小口径の増し杭工

法でも基礎の補強が十分可能であり、用地境界などの制約がなければ斜杭によって大きな補強効果が得られるものと考えられた。表-2 には従来工法(場所打ち杭 φ 1,000mm)による液状化時の検討結果²⁾も示すが、マイクロパイル(斜杭)はその 1.5 倍程度の増し杭本数で補強が可能という結果を得た。したがって、制約条件下での施工性、フーチング拡幅面積など、従来工法と比較しても本工法は基礎の耐震補強工法として適用できるものと考えられた。

今後の課題としては以下のようなことが考えられる。

- ①増し杭基礎全体系の設計課題として、異種・異径杭から構成される群杭の水平抵抗分担率、斜杭を組み合わせた群杭の実補強効果などが挙げられ、模型実験等から補強効果をさらに検討する必要がある。
- ②検討結果から、増し杭が負担できる地盤抵抗の大きさが既設基礎の補強効果に影響すると考えられ、本工法の拡張改良体の地盤反力特性を載荷試験等から検討する予定である。

なお、本報告は、建設省土木研究所共同研究「既設基礎の耐震補強技術の開発」、平成 11 年度活動報告に基づきとりまとめたものである。【参考文献】1)黒崎ら：砂質地盤におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験(その 1)，第 35 回地盤工学研究発表会，2000。(投稿中) 2)日本道路協会：既設道路橋基礎の補強に関する参考資料，2000。 3) 日本道路協会：道路橋示方書 IV 下部構造編，1996。 4)市村ら：既設基礎の耐震補強に関する検討(その 1)，土木学会第 55 回年次学術講演会，2000。(投稿中) 5)村田ら：砂質地盤におけるマイクロパイルの鉛直載荷試験 (その 2)，第 35 回地盤工学研究発表会，2000。(投稿中)

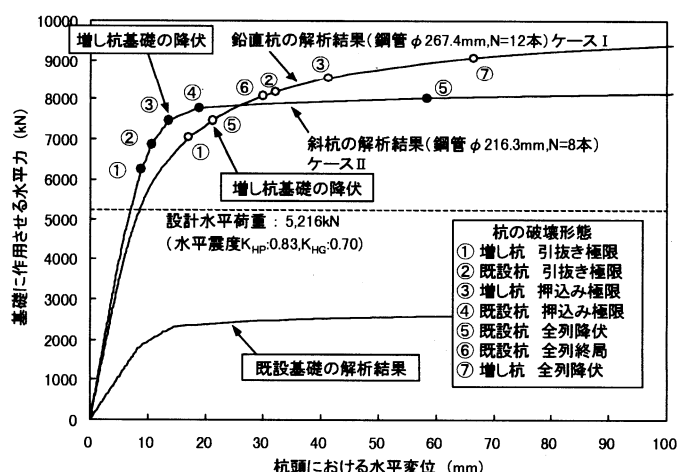


図-3 液状化時の荷重～変位関係 (ケース I, II)

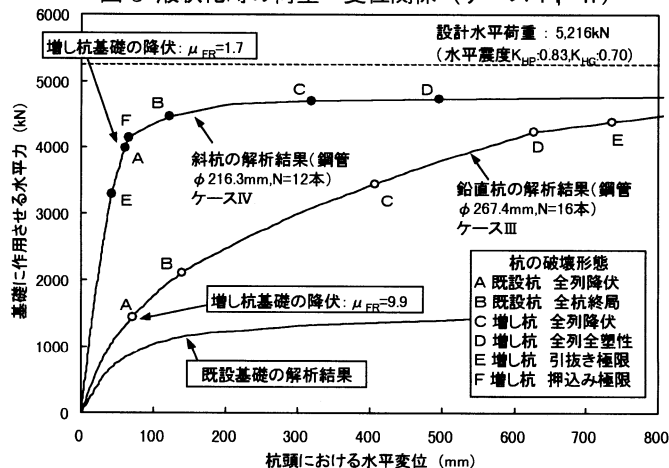


図-4 液状化時の荷重～変位関係 (ケース III, IV)