

米国における基礎の耐震補強事例について

岸下崇裕¹・中村正博²・稲木孝義³・大谷義則⁴・山根隆志⁵

¹正会員 工修 (株)フジタ 技術研究所 (〒224 横浜市港北区大鰐町 74)

²フェロー 工博 (株)フジタ 技術研究所 (〒224 横浜市港北区大鰐町 74)

³ヒロセ(株) 補強土統括部 (〒550 大阪市西区南堀江 2 丁目 6 番 1 9 号)

⁴正会員 ヒロセ(株) 補強土統括部 (〒135 東京都江東区東陽 4 丁目 1 番 1 3 号)

⁵正会員 M. S. 極東工業(株) 技術本部 (〒162 東京都新宿区山吹町 347 番地)

現在、日本では兵庫県南部地震以後の応急復旧とともに「震災対策緊急橋梁補強事業」として、首都高速等の橋脚の柱部を鉄板または炭素繊維で巻きたてる耐震補強工事がされつつある。同様に地震の被害経験の多い米国においても 1989 年のロマプリータ地震を契機にして構造物の本格的な耐震補強を始めてきたが、騒音・振動に対する制限や、空頭制限、地中障害物、フーチングの拡張が出来ない、といった既設構造物の問題に悩まされてきた。本論文では、こういった既設構造物による制約条件下において、有効的で経済的な基礎の耐震補強工法としてカリフォルニア州交通局で採用されている高耐力マイクロパイル工法について、施工事例を紹介し、日本における適用性について述べるものである。

Key Words : Seismic Retrofit, Micro Pile, Foundation

1. はじめに

ヨーロッパにおいて開発されたマイクロパイルは、構造物補強・地盤補強として現在全世界に普及している状況にある。1971 年のサン・フェルナンド地震での橋梁被害に端を発したアメリカでの橋梁耐震補強工事において、1989 年のロマ・プリータ地震以後からマイクロパイルの適用が試みられている¹⁾。我が国においては、兵庫県南部地震による橋梁の設計基準の見直しにより現在、既設橋梁の耐震補強が急務となっている状況にある。

ここで、日本におけるマイクロパイルによる耐震補強の適用を目的に、アメリカにおける橋梁の耐震補強事例による調査を行うとともに我が国でのマイクロパイルの適用性について考察したので以下に報告する。

2. マイクロパイル工法の概要

マイクロパイルとは、小口径 (300mm 以下) で現場打ちまたは埋込による杭の総称と定義される。1970 年代にヨーロッパを中心に開発され、その後ヨーロッパのみならず全世界に普及していった。我が国においては 1980 年に展望台のアンダーピニング

として適用²⁾されて以来多くの実績がある。

(1) 形状、材料

図-1 の基本形状に示される様に、鋼管、鉄筋等の鋼材とグラウト材 (セメントミルク、モルタル) を主たる部材としている。現在、使用されているマイクロパイルのほとんどが、杭径 100mm~250mm、杭長 5.0m~30.0m、杭体の強度 2200KN~170KN である。

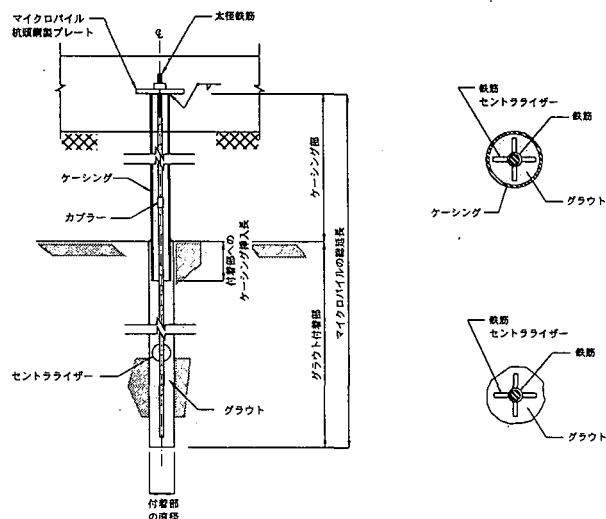


図-1 マイクロパイルの基本形状⁸⁾

(2) 施工

施工は、ボーリングマシンによりケーシング削孔を行い、削孔孔に既製杭を埋込むか現場打ちにより杭を形成する。施工にあたり大口径杭の施工機と比較して小型のボーリングマシンを使用するために、施工空間に制限のある現場、掘削の困難である複雑な地盤条件、騒音振動の規制のある都市部において施工性が高いという特長を有している。

(3) 分類

パイルの配置法により図-2に示される単杭、グループ効果が期待される杭、ネットワーク効果が期待される杭の3タイプに分類される。2つの効果について模型実験³⁾による単杭に対する支持力の増加率が確認されている。ここで、表-1に示すように配置法と杭形式によりマイクロパイルを概ね2つに分類することが出来る。

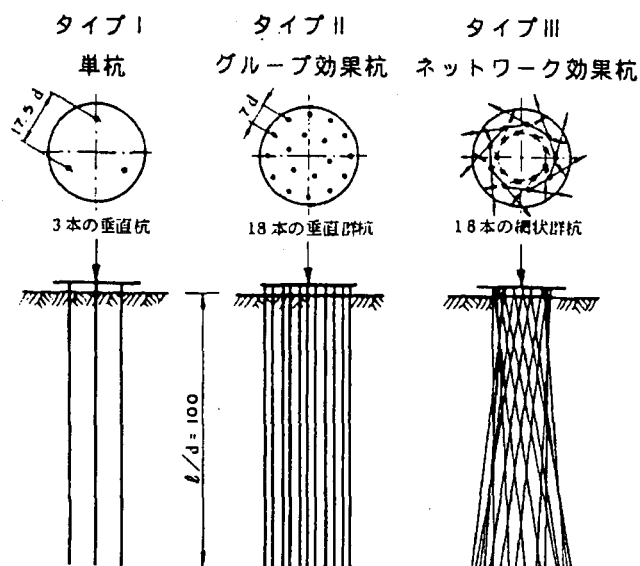


図-2 マイクロパイルの配置法³⁾

表-1 マイクロパイルの分類

	高耐力MP	低耐力MP
補強材料	鋼管・異形棒鋼	異形棒鋼
パイルの支持力	$\geq 1000\text{KN}$	$420\text{KN} \geq$
杭径	$300\text{mm} \geq D \geq 150\text{mm}$	$D < 150\text{mm}$
杭配置	I	II

(4) 改良

パイルは、小口径の杭材形状により先端支持力を期待しない摩擦杭としての特性を持っている。このため、膨張性グラウト材による周面摩擦を向上⁴⁾やコンクリート三次元拘束効果による靱性の向上⁵⁾を目的とした杭体の改良を試みている。

3. 米国における耐震補強事例

1989年のロマ・プリエタ地震の後、橋梁基礎の補強工事に関する研究がカリフォルニア州運輸局で盛んに行われてきた。橋梁基礎の補強工事で最もよく採用された対策は、既設フーチングの周囲に張力/圧縮パイルを追加するものであった。それまでの橋梁基礎のパイルは、打込み（または圧入）工法による既製コンクリートパイルまたは、スチールパイルが主であった。しかし、騒音や振動に対する制限、頭上空間の狭さからくる施工上の困難性、地盤内に障害物が存在したり、地下水位が高い等、杭打ち作業やボーリング作業が難しい、フーチングを拡張することができない等の施工上の問題や、より大きい強度を望などの要求に対応するため、通常タイプの打込みパイル（圧入パイル）に変わるパイルが望まれるようになってきた。

米国におけるマイクロパイルによる耐震補強実績を表-2に示す。マイクロパイルによる耐震補強は、地震の発生が多い米国西海岸で施工され、橋梁構造物を中心に1993年より行われている。

表-2 耐震補強実績

構造物	場所	施工年
橋梁	Seattle, WA	1996
インターチェンジ	San Dimas, CA	1995
ビル	Auburn, WA	1995
橋梁	Pasadena, CA	1993
橋梁	San Francisco, CA	1996
橋梁	Federal Way, WA	1996
橋梁	Emeryville, CA	1995

1) 施工事例1

サンフランシスコのフリーウェイ280号線の橋脚基礎の耐震補強の事例を示す。本工事では、既設フーチング周辺にマイクロパイルを施工し、フーチングを増して基礎の耐震補強を行っていた。マイクロパイルを耐震補強として採用された理由としては、桁下空間が狭かった、近接に鉄道が走っている、地下埋設物が存在する等であった。現地の状況を写真1に断面図を図-1に示す。写真-2を見ても分かるように、施工機械は、削孔マシン、ジェネレータ、セメントミキシングマシンおよびクレーン車だけである。施工空間は、約5m程度であった。写真-3にマイクロパイルの芯材を示す。施工概要について以下に示す。

・152mmの削孔径に、径約70mmのねじ節鉄筋を挿入し、セメントミルクを充填している。

(写真2参照)

- ・定着は、岩盤部を約1.1m取っている。
- ・看板より上部には、中心保持用管としてPVCパイプを使用している。



写真-1 マイクロパイルによる補強

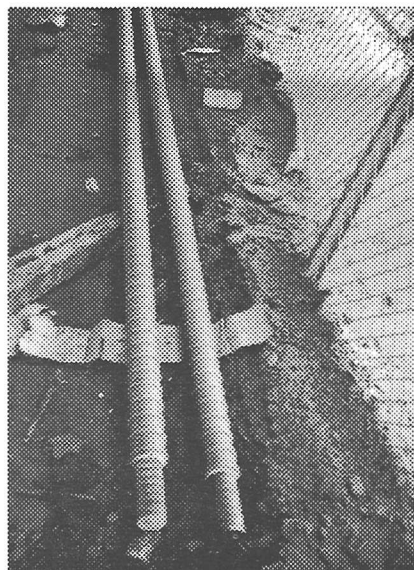


写真-3 マイクロパイルの芯材

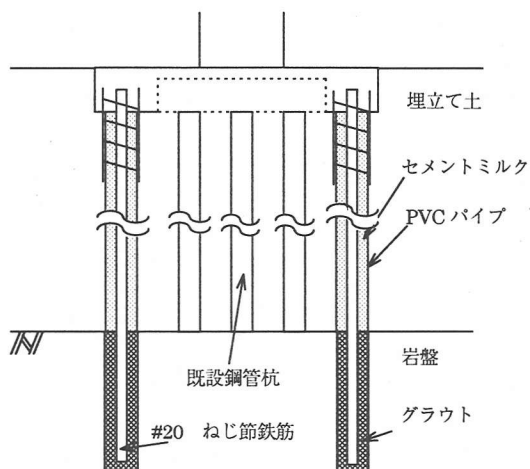


図-3 耐震補強概念図

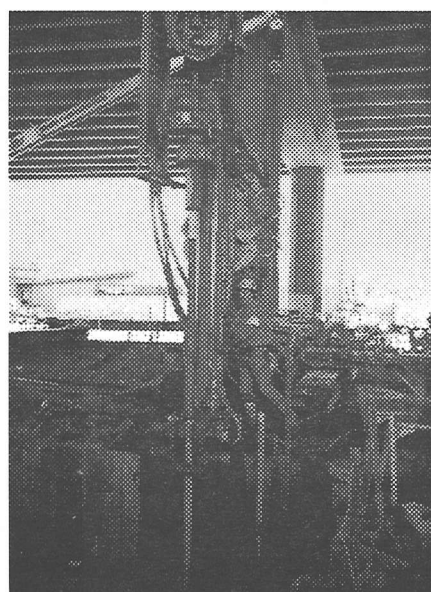


写真-2 マイクロパイル設置状況

2) 施工事例 2

ロサンゼルスフィゲロア通りの橋脚 I-5 地点に向かう南行きランプの事例⁷⁾を示す。本工事は、当初Φ 610mm の C I D Hコンクリートパイルを設置する予定であったが、既存コンクリート構造物がある等ボーリング工事の困難性に加え、上部空間が狭い等の問題があったため、マイクロパイルによる耐震補強が行われた。施工概要について以下に示す。

- ・外径 178mm、肉厚 12.7mm の鋼管に径 35mm、のねじ鉄筋を挿入、セメントミルクを充填した。
- ・地盤は、上部は埋立て土で下部は砂礫層である。

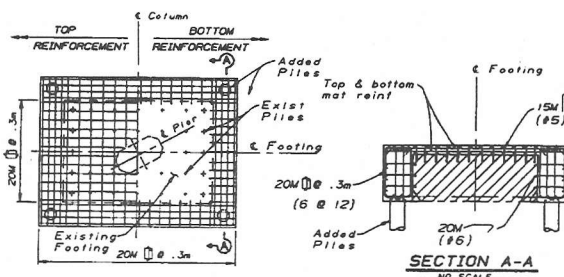


図-4 CIDH パイルによる当初計画

4. 日本での適用に関する一考察

高耐力マイクロパイル工法に用いる杭体は、通常厚肉細径の鋼管杭にグラウトを充填したもので、その部材特性はコンクリート充填鋼管とほぼ同様であるとかんがえられる。したがって、コンクリートを充填しないコンクリートと比べてじん性に優れ、軸剛性も大幅に改善できる。しかしながら、マイクロ

パイルのような細径鋼管杭を基礎の耐震補強に使用するには、既設杭との剛性の差に十分留意する必要がある。

地盤バネを考慮したフレーム解析によれば、マイクロパイルを鉛直杭としてモデル化すると、既設杭に対する補強効果はほとんどなかった。これはマイクロパイルの曲げ剛性が既設杭に比べて著しく小さいため、地震時慣性力による曲げモーメントが既設杭に集まったためである。

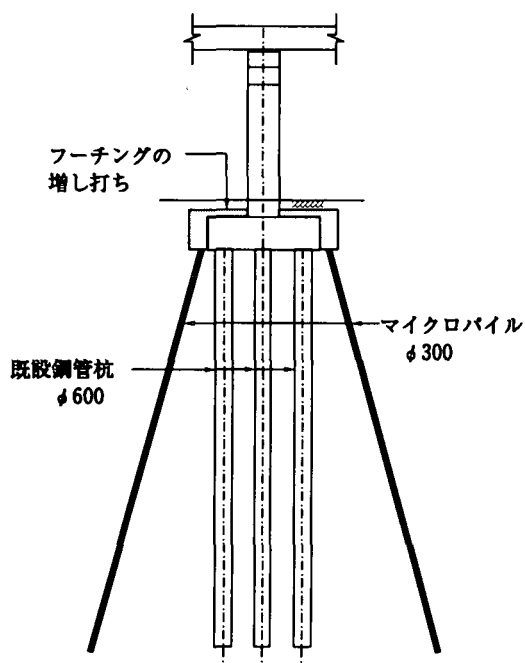


図-5 マイクロパイルによる橋脚基礎の補強例

ところが、図-5 に示すようにマイクロパイルを斜杭としてモデル化すると、これらは曲げ部材としてではなく軸力部材として挙動し、大きな補強能力を発揮することがわかった。(マイクロパイルに関する研究は、現在フィージビリティスタディの段階で、これらの解析は確立された部材特性や解析方法によるものではないので解析結果を本文に掲載することは控える)。

直径の小さいマイクロパイルが軟弱地盤に打設され大きな圧縮力を受ける場合、座屈の影響を無視することができなくなる。とくに液状化地盤では地震時の横方向地盤バネの軟化によって軸剛性が低下し、地震時に圧縮部材となる列のマイクロパイルの軸抵抗力はうしなわれる。

このような場合、マイクロパイルによる耐震補強効果は引張側マイクロパイルの軸剛性に大きく依存することになる。そのため、マイクロパイルの地盤

への確実な定着に加え、地盤との付着や充填グラウトによるテンションステイニングの効果を考慮した剛性の評価などが耐震補強設計を行ううえで重要となる。

5. おわりに

今回米国で行われているマイクロパイルによる橋梁基礎の耐震補強事例を基に日本における適用性についてフレーム解析により検討を行った。その結果、マイクロパイルの支持機構や変形性能に不明な点があるものの、環境や施工性を考えるとマイクロパイルの日本における適用性は十分あると思われる。今後は、マイクロパイルの支持機構や変形性能等について実験や解析により検討を行い、耐震補強としての有効性について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) D.A.Bruce, E.K.Chu : Micropiles for Seismic Retrofit
- 2) 三木五三郎他：網状ルートパイル(R.R.P)工法の日本における実施例，土と基礎，Vol131, No9, 1983
- 3) Lizzi, F : Reticulated Root Piles to correct Landslides, ASCE Convention Chicago, 1978
- 4) 大谷義則他：膨脹性モルタルを用いたマイクロパイルの支持力特性，第32回地盤工学研究発表会，1997
- 5) 山根隆志他：コンクリート橋脚の基部リング拘束耐震補強工法，耐震補強・補修技術及び耐震診断技術に関するシンポジウム，土木学会（投稿中）
- 6) Takashi Yamane : Grout-Filled Pipe Splices for Precast Concrete Construction, PCI Journal V.40, No. 1, January-February 1995
- 7) Ray Zelinski : Reprinted from Earthquake-Induced Movement and Seismic Remediation of Foundations and Abutments, ASCE Soil Dynamics Committee of the Geotechnical Engrg. , 1995
- 8) D.A. Bruce : Fundamental Test on The Performance of high Capacity Pin Piles, DFI Conference, 1993