

シートパイル補強工法を用いた 既設道路構造物基礎に対する耐震補強の適用に関する検討

An examination on applicability of seismic reinforcement by installing sheet piles to existing pile foundation of road bridges.

北武コンサルタント株式会社	正会員 ○齊藤 聡彦 (Akihiko Saitou)
北武コンサルタント株式会社	正会員 渡邊 忠朋 (Tadatomo Watanabe)
北武コンサルタント株式会社	正会員 関根 悦夫 (Etuo Sekine)
公益財団法人鉄道総合技術研究所	正会員 神田 政幸 (Masayuki Kouda)
公益財団法人鉄道総合技術研究所	正会員 西岡 英俊 (Hidetoshi Nishioka)
公益財団法人鉄道総合技術研究所	正会員 松浦 光佑 (Kousuke Matsuura)

1. 目的

建設年代の古い構造物には、現行の耐震性能を満たさず、耐震補強の必要なものが存在する。兵庫県南部地震以降、これらの既設構造物についても耐震補強の必要性が指摘され、例えば橋脚の場合、橋脚く体のせん断補強が優先的に進められてきた。しかしながら基礎の耐震補強については、橋脚く体等の地上部分に比べて大規模な工事となるため、費用面だけでなく施工面からも実施が困難な場合が多い。効率的に基礎の耐震補強を進めるには、経済性および施工性に優れた基礎の耐震補強工法の確立が急務となっている。

これまで、掘削時の仮土留め工として用いる鋼矢板（シートパイル）をフーチングと一体化する「シートパイル補強工法」が開発^{1)・2)}されており、既設鉄道構造物基礎を補強する際の実務的な設計手法が提案^{3)・4)}されている。既設道路構造物基礎へのシートパイル補強工法の適用事例⁵⁾も徐々に増えつつあるが、その実務的な設計手法は十分に整理されていないのが現状である。そこで本検討では、シートパイル補強工法の既設道路構造物基礎へ適用する際の実務的な設計法を整理・構築することを目的に、実構造物を用いた検討を行った。

2. シートパイル補強工法の概要

本工法は、橋梁等の比較的中小規模（フーチング幅で最大10m程度）の既設杭基礎を主な補強対象として、図1に示すように既設フーチングを取り囲むようにフーチング幅程度の根入れのシートパイルを打設し、既設フーチング上面に増しフーチングを打設してシートパイルを既設橋脚と一体化する耐震補強工法である。シートパイルと増しフーチングを剛体とみなせる性能を確保するための接合部基本構造を図2に示す。既設杭基礎の補強工法についてはシートパイル補強工法以外にも多数提案されているが、本提案工法と既往の補強工法との主な相違点は、地盤改良を伴わないことと、シートパイルの根入れが比較的短く、既設杭の支持層には到達させないことである。その分大幅な改良効果は望めない（特に鉛直支持力は向上しない）ものの、経済性・施工性に優れており、費用対効果に優れた補強工法になり得ると考えられる。

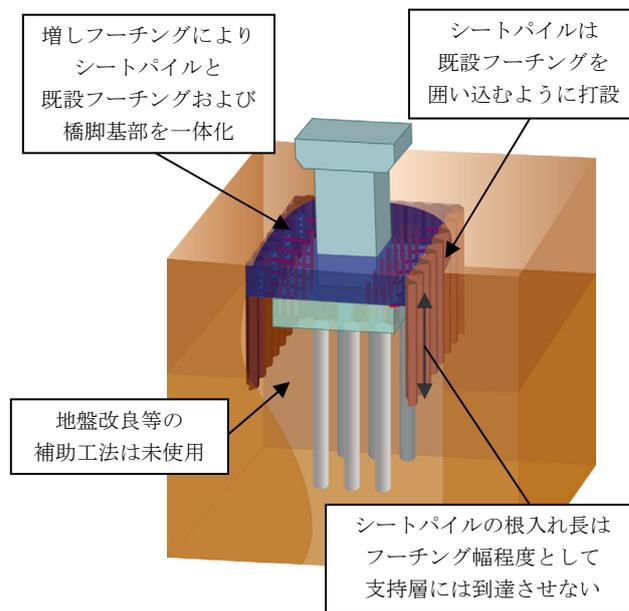


図1 既設杭基礎のシートパイル補強工法の概要

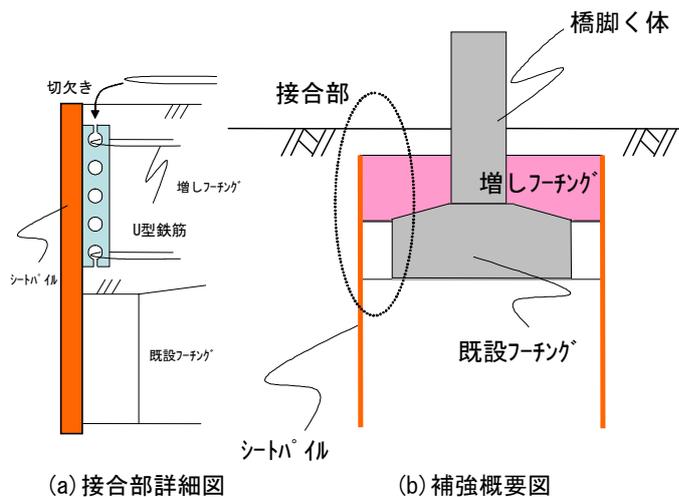


図2 シートパイルと増しフーチング接合部の基本構造

3. 検討概要

3.1 検討対象構造物

本検討では、既設鉄道橋脚に対するシートパイル補強工法の試設計事例⁶⁾に示されるRC橋脚(杭基礎)を対象とした。図3に一般図を示す。

本橋脚は、耐震診断の結果、く体耐力を向上させる必要があり、橋脚く体に対して厚さ250mmでRC巻き立てを行っている。しかし、この補強により橋軸直角方向において基礎が降伏に達してしまう。そのため既設杭の荷重低減を目的として、図4に示すようにシートパイルを用いて基礎の補強を行った。

3.2 検討方法

検討は、道路基準^{7), 8)}によりシートパイル補強工法の設計を行った場合の補強効果について確認する。補強効果は、補強前後での既設杭に生じる断面力(曲げモーメントおよびせん断力)を指標とした。また、道路基準^{7), 8)}と鉄道基準^{4), 9), 10)}により設計した場合の補強効果の差異を確認することとした。

3.3 解析モデル

解析モデルは、橋脚と基礎を一体とする二次元骨組みモデルとした。構成部材は、フーチング、既設杭およびシートパイルを線材でモデル化するものとし、フーチングおよびフーチングとシートパイルの接合部は剛域とする。

シートパイルは、載荷方向と直交する面部材を線材として線形でモデル化し、継ぎ手効率を考慮した曲げ剛性を用いるものとする。載荷方向と平行な面部材では、各シートパイルを1列ずつ棒部材として線形でモデル化し、シートパイル間の継ぎ手はせん断力を伝達しないものとする。

なお、本検討においては、基礎の影響を確認することが目的であることから、橋脚く体は線形とした。

また、地盤抵抗として、杭の水平・鉛直地盤抵抗、増しフーチング前面の水平地盤抵抗、シートパイルの水平・鉛直地盤抵抗を考慮する。

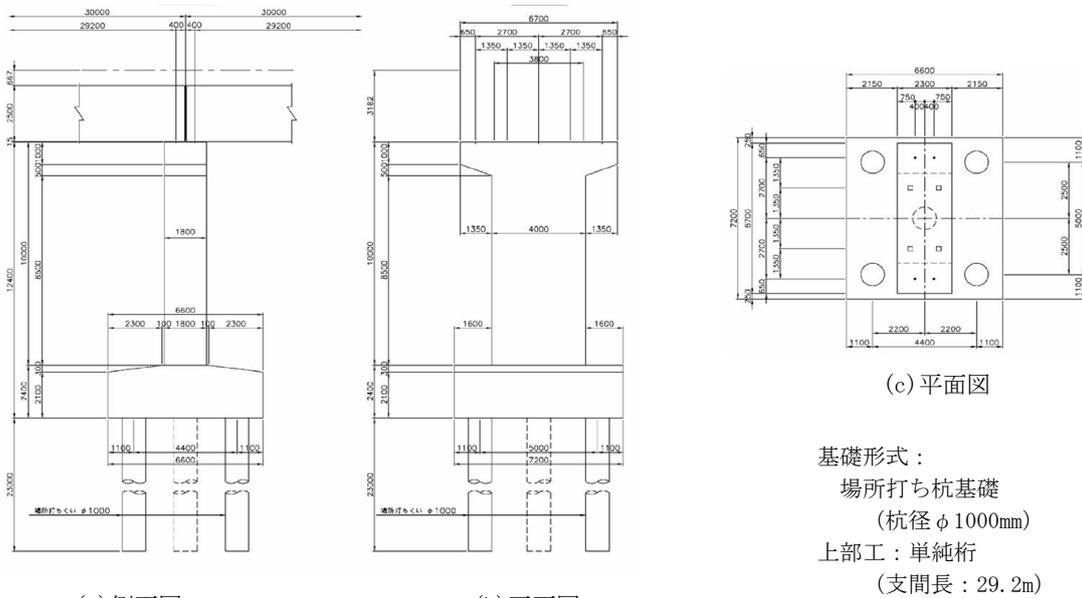


図3 検討対象構造物の一般図

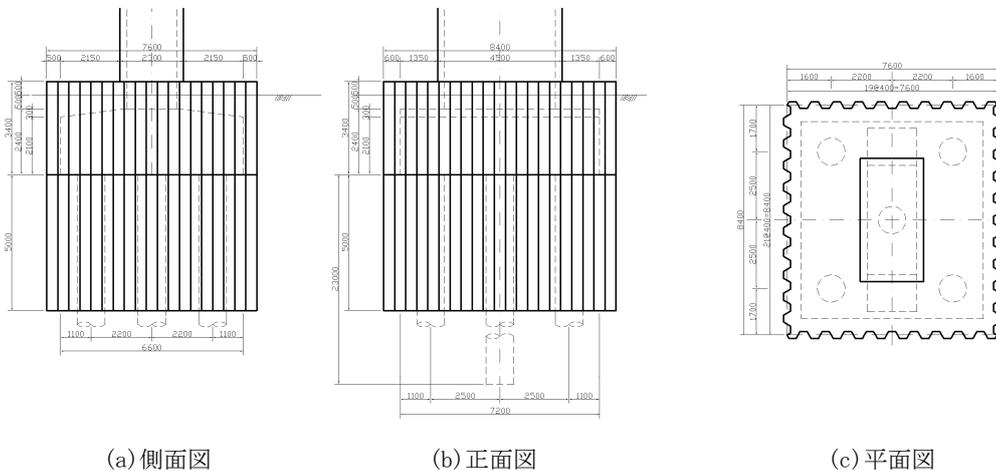


図4 シートパイル補強時の一般図

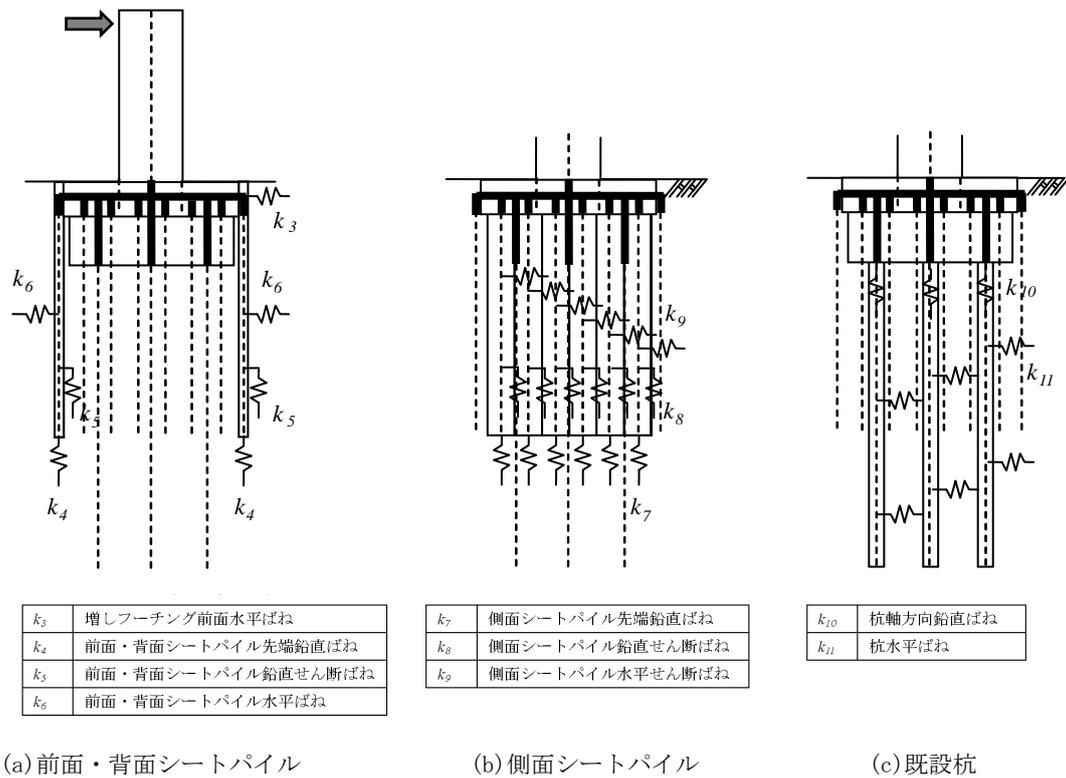


図5 シートパイル補強杭基礎の地盤抵抗モデル

既設杭の地盤抵抗モデルは、現行の道路基準^{7),8)}に準拠し、シートパイルの地盤ばねについては、水平地盤反力係数を道路基準^{7),8)}の鋼管矢板基礎に準じて算定し、鉛直せん断地盤反力係数は水平地盤反力係数の0.3倍とした。シートパイル先端地盤反力係数も道路基準^{7),8)}の鋼管矢板基礎を準用する。

なお、シートパイルの鉛直方向地盤ばねについては、杭頭への集約は行わずに深さ方向に分散配置した。図5にシートパイル補強杭基礎の地盤抵抗モデルの概念図を示し、図6に解析モデルを示す。

3.4 解析結果

シートパイル補強前およびシートパイル補強後の載荷震度と変位の関係を図7に示す。シートパイル補強前で降伏震度は $Kh=0.418$ 、降伏変位117mmとなり、シートパイル補強後で降伏震度は $Kh=0.669$ 、降伏変位90mmとなった。この結果、シートパイル補強により基礎の降伏震度は1.6倍程度増加した。

シートパイル補強前の最大震度時($Kh=0.48$)における既設杭の断面力図を図8に示す。各震度レベルにおける既設杭の曲げモーメントおよびせん断力の補強前後の割合を図9に示す。シートパイル補強することで、曲げモーメントにおいては、載荷震度に関わらず20%程度に減少しており、せん断力についても、補強前後で載荷震度に関わらず20%程度に減少する結果となった。これは、鉄道構造物のシートパイル補強工法を用いた補強設計時とほぼ同等な低下割合となった。したがって、既設杭体および既設フーチングに対して、大幅な補強効果が認められる。

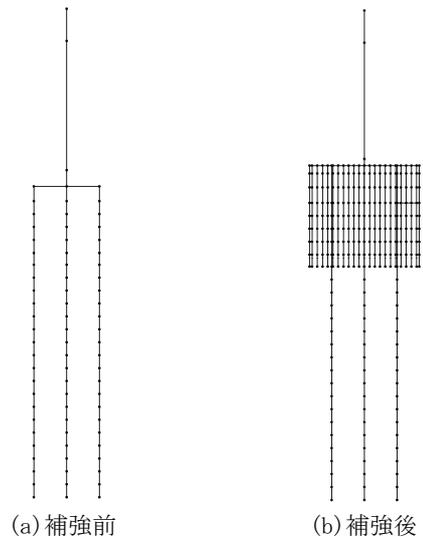


図6 解析モデル図(橋軸直角方向)

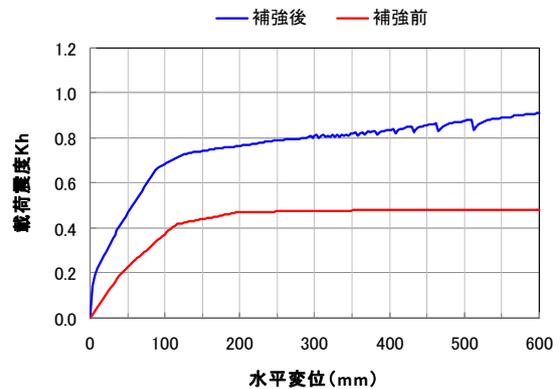
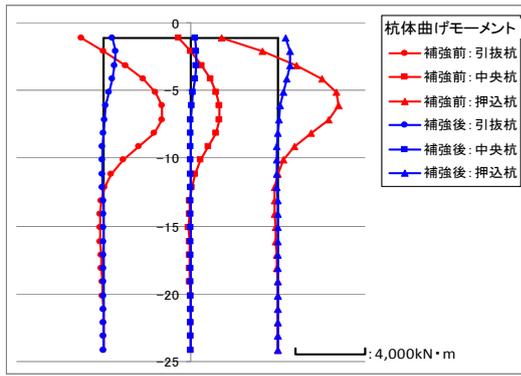
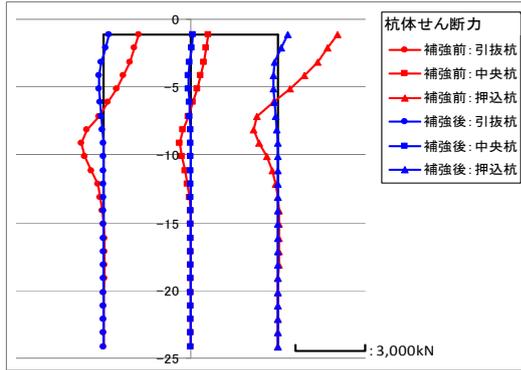


図7 載荷震度と変位の関係

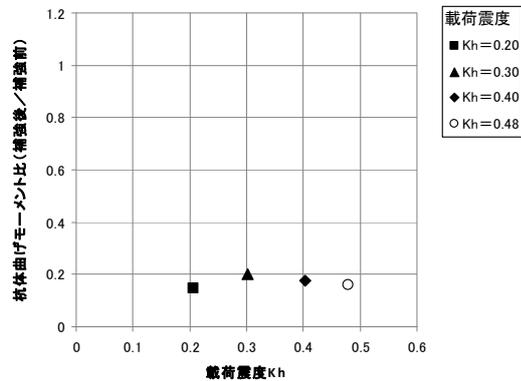


(a) 曲げモーメント

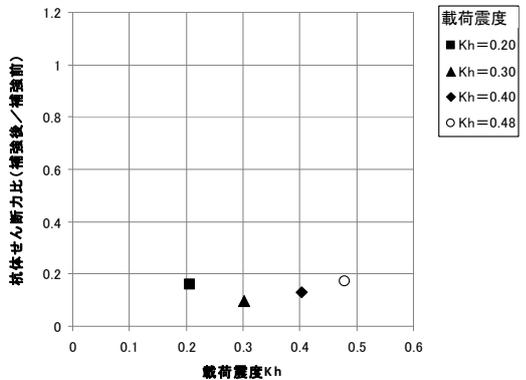


(b) せん断力

図8 杭の断面力図 (Kh=0.48)



(a) 曲げモーメント



(b) せん断力

図9 各震度レベルにおける補強前後の杭最大曲げモーメント比, 最大せん断力比

4.まとめ

本検討では、シートパイル補強工法を既設道路構造基礎に対して適用する場合に、道路基準による設計モデルを整理した。そして、実構造物に対する補強計算を実施し、既設道路構造基礎に対する耐震補強にシートパイル工法を用いた場合も補強効果が得られることを確認した。また、鉄道基準による補強計算と同程度の補強効果を評価できるモデル化であることが確認できた。

今後、既設道路構造物に対するシートパイル補強工法の実務的な設計手法等を詳細に整理し、シートパイル補強工法を用いた既設道路構造物の耐震補強マニュアルを整備する予定である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所・大林組：鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル（第2版），2006.
- 2) 西岡英俊，樋口俊一，西村昌宏，神田政幸，山本忠久，平尾淳一：シートパイルによる既設杭基礎の耐震補強効果に関する模型実験，第54回地盤工学会ジャーナル，Vol15，2009.12.
- 3) 西岡英俊，西村昌宏，神田政幸，山本忠久，樋口俊一，杉江茂彦：鋼矢板とフーチングの一体化による既設杭基礎の耐震補強工法，鉄道総研報告，Vol23，2009.12.
- 4) 鉄道総合技術研究所・大林組：シートパイルを用いた既設鉄道構造物基礎の耐震補強設計マニュアル，2011.
- 5) 木村和之，坂村和俊，加藤剛，神田政幸，西岡英俊：シートパイル補強工法による道路橋基礎の保護対策，土木学会第66回年次学術講演会，I-447，2011.
- 6) 松浦光佑，西岡英俊，平尾淳一，山本忠久：既設杭基礎鉄道橋脚に対するシートパイル補強工法の試設計事例，第9回地盤工学会関東支部発表会，2012.10.
- 7) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説（IV下部構造編），2012.3.
- 8) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V耐震設計編），2012.3.
- 9) 運輸省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物・抗土圧構造物，2000.
- 10) 運輸省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999.
- 11) 齊藤聡彦，渡辺忠朋，関根悦夫，神田政幸，西岡英俊，松浦光佑：シートパイル補強工法を用いた既設道路構造物基礎の耐震補強に対する適用，土木学会第66回年次学術講演会，III-168，2013.