

## フーチングレス橋梁基礎構造の開発と耐震性能評価に関する研究

環境防災研究室 M2 阿部 孝裕

### 1. はじめに

図-1 に示す既製鋼管 4 本組で履歴ダンパー機能を有するせん断パネルにより、ひとつの柱とした構造（鋼管集成橋脚）が提案されている。本工法は、死荷重、活荷重等の鉛直荷重を受けもつ主部材と地震力等の横力対応の二次部材に差別化を図る損傷制御設計を適用している。これにより、地震後の損傷の確認が容易となり、かつ液状化などによる地盤の側方流動からの外力作用を低減させることも可能となる。本研究では、フーチングを配しない鋼管柱それぞれを 1 本の杭基礎により直接支持する構造（鋼管柱基礎）の適用性を数値解析により検証する。その際に、鋼管集成橋脚に一般的な基礎構造である群杭基礎構造を適用した場合と鋼管柱基礎構造を適用した場合の水平抵抗特性および変形メカニズムの比較を行った。また、鋼管柱基礎構造に $\pm\alpha$ を施すことによって、より合理的な鋼管柱基礎構造の提案を行った。

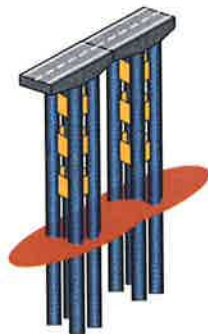


図-1 鋼管柱基礎

### 2. 数値解析概要

フーチングレス橋梁基礎構造である鋼管柱基礎構造の耐震性能評価およびより合理的な基礎構造の開発を目的に 3 次元弾塑性有限要素解析を実施した。鋼管柱基礎の解析モデルを図-2 に示す。せん断パネルはバイリニア型梁要素と 3 方向のバイリニア型ばね要素でモデル化した。また、鋼管ソイルセメント杭はバイリニア型梁要素とコラム要素を組み合わせることでモデル化した。

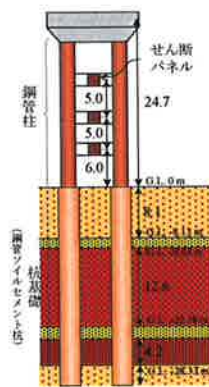


図-2 鋼管柱基礎モデル

地盤は砂と粘土の互層となっており、大阪府大阪市此花区の海老江 JC の地盤を想定してモデル化したものである。杭本数は 4 本で杭間隔は 2.5D (杭径  $D=1.4\text{m}$ ) である。上部工の鋼管集成橋脚は同様で、基礎構造を群杭基礎にしたモデルに対して数値解析を実施して両者の水平抵抗特性および変形メカニズムの比較を行った。今回実施した数値解析は橋脚天端に段階的に水平力を与えていく静的解析と地盤底面に加速度を与える動的解析である。静的解

析では、レベル 2 地震動 (タイプ I, III 種地盤) の設計水平震度  $k_h=1.0$  まで載荷した。なお、水平震度  $k_h=0.3$  がレベル 1 地震動に対する設計水平震度となる。動的解析では入力波として sin 波と神戸波を与えた。Sin 波を与える解析では、加速度 250gal, 5 波を 0.1Hz~5.0Hz まで周波数を変えて与えた。神戸波を与える解析では主要波が含まれる 40 sec を 4000 ステップ、解析における時間刻みを 0.01 sec で与えた。

### 3. 数値解析結果

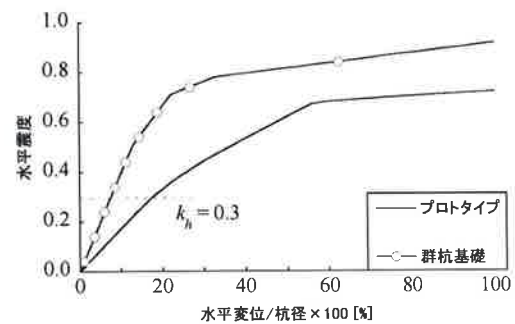


図-3 水平震度-橋脚天端水平変位/杭径 $\times 100$

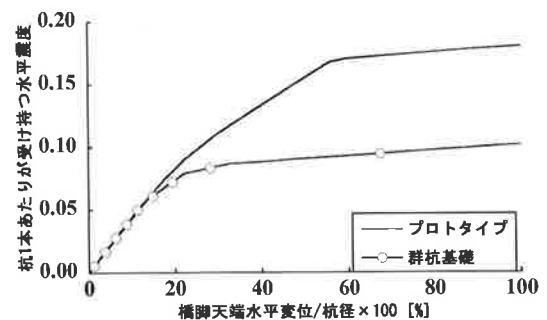


図-4 杭 1 本あたり水平震度-橋脚天端水平変位/杭径 $\times 100$

図-3 は、水平震度と橋脚天端で発生した水平変位の関係を示したグラフである。鋼管柱基礎(プロトタイプ)と群杭基礎それぞれの曲線を比較すると、構造全体として降伏する水平震度はプロトタイプで約 0.66、群杭基礎は約 0.7 となり大きな差はないことが分かる。しかし、そのときの水平変位はプロトタイプが杭径に対して約 55% であるのに対して群杭基礎は杭径に対して約 30% となり大きな差があることが分かる。このことから両者の変形メカニズムに違いがあるということが推察できる。また、このときプロトタイプでは柱、杭ともに降伏しているが群杭基礎では杭は降伏しておらず、柱の降伏により急激に水平変位が増加する事が確認できた。図-4 は、図-3 における各水平変位における水平震度を杭本数で除すことで杭 1 本あたりが受け

持っている水平震度を比較したグラフである。初期は一致していることから、橋脚天端で発生する水平変位と荷重の関係において、初期の傾きは杭本数に依存する事がわかる。その後、天端水平変位が約 15%を超えると差が現れ、プロトタイプの方が粘り強く水平抵抗力を発揮している。つまり、群杭基礎は杭に大きな力が作用することなく、柱が降伏する事により水平抵抗力が減少する傾向にあるが、プロトタイプは杭の力を大きく活用することで粘り強く水平抵抗力を発揮する基礎形式となる。モーメントの深度分布においてもプロトタイプでは杭部で最大モーメントが発生するのに対して、群杭基礎では柱の根元で最大モーメントが発生する傾向がみられた。杭の力を大きく活用できるという面では、プロトタイプはより合理性を追求できる基礎構造であるといえる。ここで、鋼管柱基礎における部材の理想の降伏順はせん断パネル→柱→杭であるのに対して、プロトタイプでは杭で最大モーメントが発生する事から柱よりも杭が先に降伏する事が危惧される。そこで本研究ではプロトタイプに対して杭部を強くするために、杭周辺地盤に固化改良を行ったケース、柱と杭の結合部を強化したケースに対しても同様に数値解析を実施した。

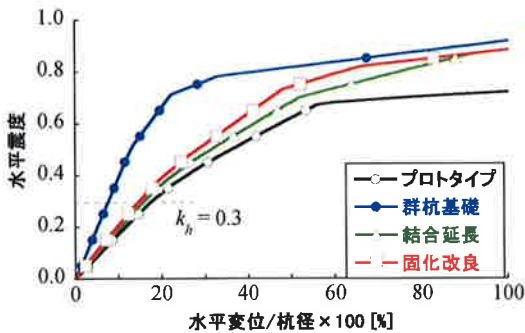


図-5 + $\alpha$  基礎形式との比較(天端)

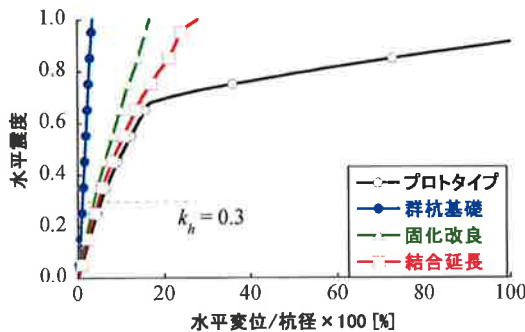


図-6 + $\alpha$  基礎形式との比較(杭頭)

図-5, 6 はそれぞれの基礎構造の荷重～変位関係を杭頭および橋脚天端で比較したグラフである。橋脚天端および杭頭での変位抑制効果が確認できた。また杭が降伏する水平震度を大きくする事が出来る。この二つの+ $\alpha$ による、

水平抵抗力の向上を確認する事が出来た。

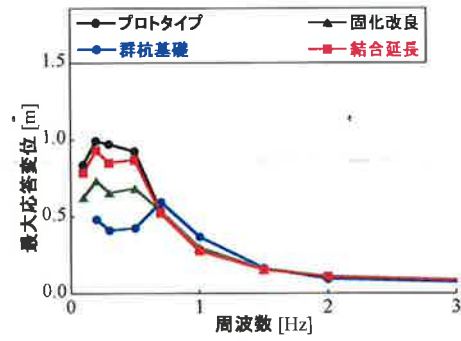


図-7 周波数-最大応答変位

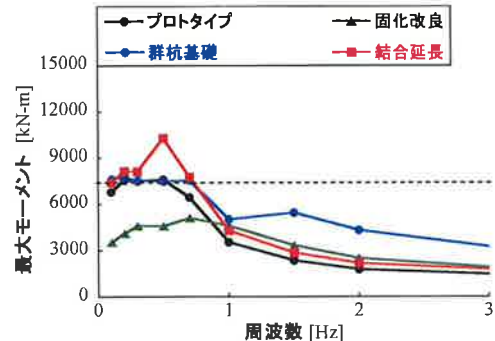


図-8 周波数-最大モーメント

図-7, 8 は sin 波の解析による周波数と最大応答変位, 最大モーメントの関係を示したグラフである。同図より、入力波の周波数が変わると、各基礎構造の上下関係に変化が見られた。図-7 において周波数 0.7Hz までは静的解析と発生する水平変位の傾向は一致するが、0.7Hz~1.5Hzの間では群杭基礎が他の構造を上回る水平変位を発生する。よって静的解析と動的解析で必ずしも同じ傾向を示すわけではないということが示唆された。神戸波による解析においても同様に静的解析結果と一致しなかった。橋脚天端における水平変位、モーメント共に群杭基礎が最も大きな値を示した。また、プロトタイプに+ $\alpha$ を施した基礎形式に関しても静的解析のような効果は確認できず、橋脚天端においてプロトタイプよりも大きな水平変位を示す結果となった。要因としては、神戸波の卓越周期が 0.7Hz~1.5Hzの間にあるということが考えられる。静的水平抵抗特性と動的水平抵抗で必ずしも同じ傾向を示さないことから、設計の際は動的解析による照査も必要となる。

#### 4. まとめ

鋼管柱基礎は杭の力を大きく活用する基礎構造であるため、杭部で最大モーメントが発生する。そこで、+ $\alpha$ として杭部を強くするために固化改良、結合延長を行った結果、静的解析では効果が確認できた。動的解析では周波数によっては効果が得られない場合もあり、設計の際は動的解析による照査も必要であるといえる。