

増し杭された群杭基礎の荷重分担機構に関する数値解析的検討

京都大学大学院 学生会員 ○寺本俊太郎
京都大学大学院 正会員 木村 亮

1. はじめに

構造物を支える基礎に対する耐震補強方法としては、既存の基礎に対して杭とフーチングの増設によって補強を行う増し杭工法が一般的である。しかし、増し杭工法は既存の基礎に杭径、杭材の異なる基礎を組み合わせるという特性上、一般的な群杭基礎よりも力学挙動が複雑となるため、合理的な設計手法が確立されていない。

そこで合理的な増し杭設計手法の確立を目指し、複雑な杭配列の2本、3本群杭における杭の相互作用を調べた¹⁾。本稿では、実施工されている増し杭された橋脚基礎に対して3次元弾塑性有限要素解析を実施し、その力学挙動の把握を目指す。

2. 対象構造物の概要

対象となる構造物は橋脚であるが、図1に橋脚基礎の部分と、設計における2次元骨組解析のモデルを示す。5本のRC既存群杭に対して、6本のRC杭の増し杭および増しフーチングが行われている。この既存杭および増し杭は、橋軸方向に対しては各々の基礎の中心線がずれているため、その影響を考察する。

3. 数値解析条件

解析には弾塑性FEMコードDBLEAVES²⁾を用い、杭はハイブリッド要素³⁾、地盤は弾塑性モデルsubloading t_{ij} model⁴⁾で表現した。有限要素メッシュを図2に示す。

粘土地盤は、土質試験結果から設計に用いられたデータを使用した。砂質地盤は圧密試験結果がないため、式(1)より κ を算出した。 λ はIizuka & Ohtaの方法より求めた。

$$\kappa = \frac{3(1-2\nu)(1+e)p}{E} \quad (1)$$

ここに ν : ポアソン比, e : 間隙比, p : 平均主応力, E : 地盤のヤング率である。

設計においては、基礎、橋脚、上部工に働く地震時慣性力(地震時保有水平耐力法におけるL2地震荷重)をフーチング底面中央に作用させ、応答を照査している。数値解析上では、まず全構造物の死荷重による解析を実施する。続いて図2に示すように、フーチング中央位置(フーチング底面から高さ1.2 m)の各節点に、その位置に相当する設計地震荷重である水平荷重5120 kNおよび曲げモーメント19733 kN・mを作用させる。

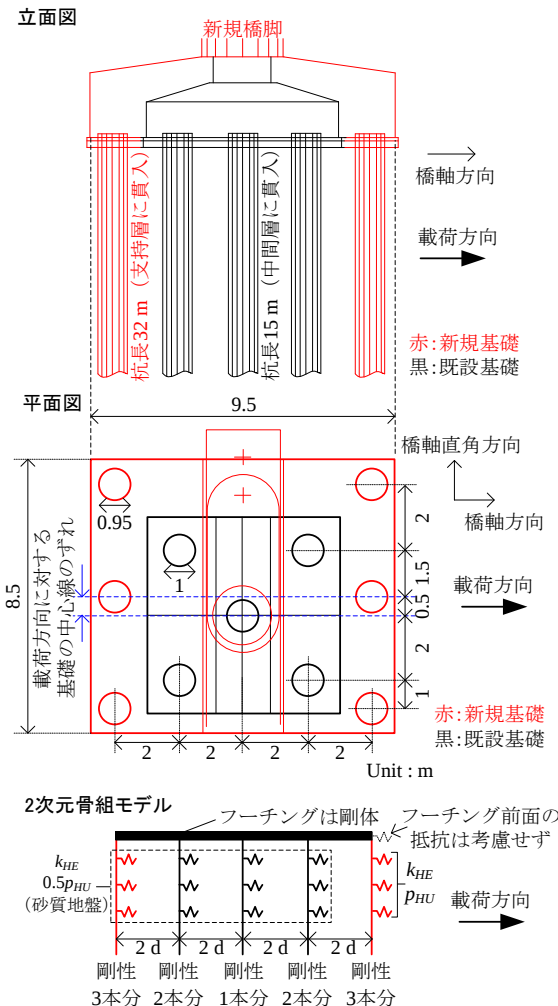


図1 対象の群杭基礎と設計の2次元骨組モデル

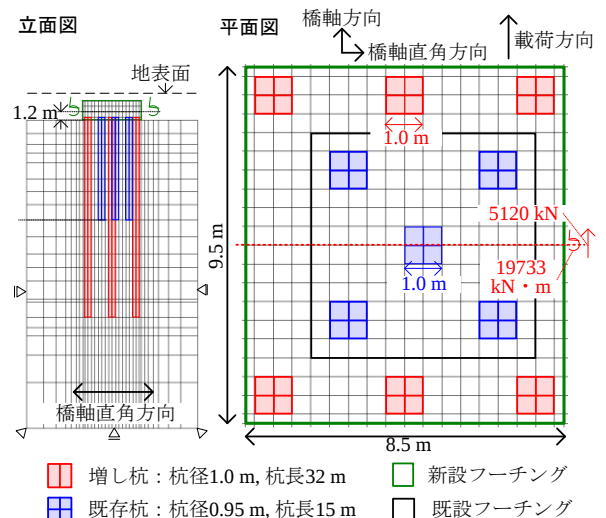


図2 有限要素メッシュ

キーワード 群杭, 増し杭, 数値解析

連絡先

〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-4-291 TEL 075-383-3136

4. 数値解析結果

4.1 各杭の水平荷重の分担機構

図3に、最も水平荷重を分担している杭A1を1とした時の各杭の荷重の分担比を示す。まず最前列の増し杭3本について見ると、杭A1が大きな荷重を分担し、内側の杭A2の分担比が最も小さくなった。これは、並列に並んだ杭の分担比は中央が最も小さくなるという既往の研究結果⁵⁾と、後列の杭が直列に近い位置にあるほどその前列杭の分担比が小さくなるという結果¹⁾を総合して説明できる。つまり、最前列の3本杭のみに载荷された場合は、杭A1と杭A3は等しい荷重で杭A2のみが小さくなるが、後列に既存杭が存在し、杭A1と杭R1の距離より杭A3と杭R2の距離の方が近いために杭A3の分担比が減少したと予想される。

最後列の増し杭3本について見ると、最前列と同様に左、右、中の順で荷重を分担している。ここで、杭A4を1とした場合について計算すると（括弧で示す）、A5は0.74、杭A6は0.85となり、最前列よりも分担比の低下が大きい。これは前列の杭が後列の杭に与える影響の方が後列の杭が前列の杭に与える影響より大きく、特に杭A5のように並列2本杭の背面の中間位置における杭は影響が大きいためである。

4.2 各列の水平荷重の分担比の分布の比較検討

図4に最前列の平均荷重を1としたときの、各列の平均の荷重分担比を示す。また、諸条件が異なるため厳密に比較することはできないが、既往の7×9群杭における、杭径の約3%変位時（本項において着目したL2地震荷重時変位）の結果⁵⁾も併記している。

本解析結果や既往の7×9群杭では、最前列が最も荷重を負担し、続いて最後列の負担が大きく、中央の杭が最も小さくなった。一方で設計における骨組解析（図1のモデル）の場合は、中央の既存杭の分担率を過大に評価していると言える。

ただし、設計モデルではフーチング前面の土圧を考慮しないが、考慮した場合は55%程度の水平荷重をフーチング前面が負担しており（別検討解析）、これを踏まえると設計は安全側であった。

5. まとめ

実施工される増し杭された群杭基礎に対する3次元弾塑性解析を実施した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 既往の大規模な7×9群杭や2本、3本群杭の相互作用に関する知見を用いて、本対象のような複雑な杭配置の増し杭された群杭の荷重分担機構について説明できた。
- 2) 現在の設計手法においては、杭本数が多い場合には中央列の荷重分担比を大きく見積もるため、設計における杭本数による群杭効果の考慮や3次元FEM解析のような精密なモデルによる検討等が重要となると言える。

参考文献 1) 寺本ら：有限要素解析による群杭の杭配置が杭の相互作用に及ぼす影響の考察，第49回地盤工学研究発表会，2014（投稿中）。 2) Ye, B. et al.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction- consolidation of sand, *Soils & Foundations*, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007. 3) Zhang, F. et al.: Mechanical Behavior of Pile Foundations Subjected to Cyclic Lateral Loading up to the Ultimate State, *Soils & Foundations*, Vol.40, No.5, pp.1-17, 2000. 4) Nakai et al.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, *Soils & Foundations*, Vol. 44, No. 2, 53-70. 5) Teramoto, S. et al.: In-situ Static Lateral Loading Test on 9×7 Group Pile Foundation, *Proceedings of the International Conference on State of the Art of Pile Foundation and Pile Case Histories*, C1-1-6, Indonesia, 2013.

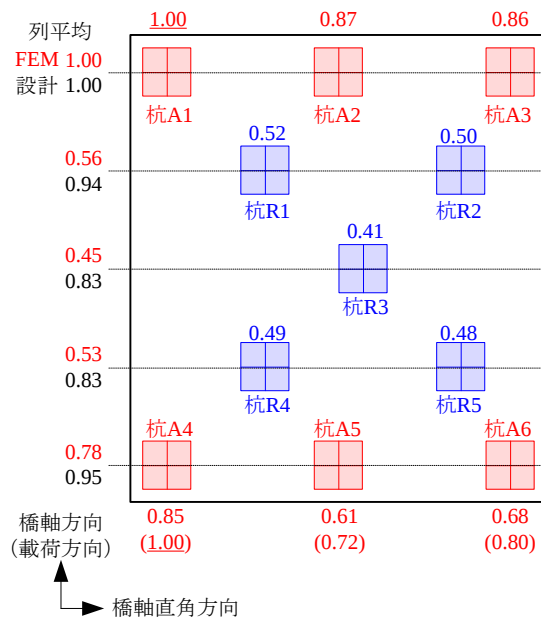


図3 各杭の水平荷重の分担比

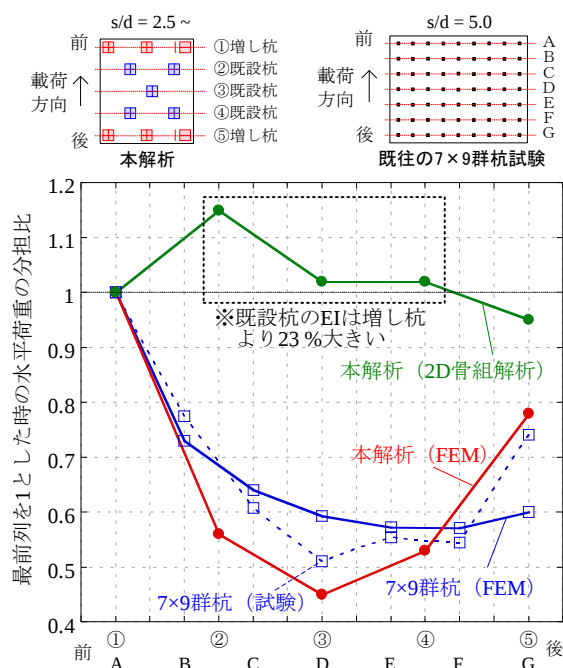


図4 本解析と既往の研究の各列の水平荷重の分担比