

## 斜杭により増し杭された群杭基礎の水平力学挙動に関する数値解析的検討

摂南大学 正会員 ○寺本 俊太郎  
 京都大学 正会員 木村 亮

## 1. はじめに

既往の大地震による構造物被害を受け、設計指針が改訂されてきた経緯から、現在の日本では構造物に高い耐震性能が求められており、既設構造物に対して様々な耐震補強が施工される事例が増加している。本研究が対象とする増し杭工法は、既存基礎の周囲に新規基礎を構築・一体化する耐震補強工法であるが、新旧フーチングの接合処理に多大な労力を要していることが施工上の主要な問題点として挙げられる。そこで本研究では、図 1 に示す新旧フーチング間の接合を不要とする合理的な増し杭工法の開発を目指し、実構造を模擬した 3 次元弾塑性有限要素解析を実施している<sup>1)</sup>。本稿では、増し杭を斜杭形式とした場合における、既存基礎と新規基礎の接合条件、フーチング形状の違い、鋼製外殻による補強が両基礎の一体性に及ぼす影響を検討した。

## 2. 数值解析条件

本解析には、3次元弾塑性 FEM コード「DBLEAVES<sup>2)</sup>」を用いた。図 2 に有限要素メッシュを示す。実構造の高速道路橋脚基礎を想定し、4 本既存杭 + 6 本増し杭（斜杭）による 10 本群杭基礎をモデル化した。図 3 に示すように、新旧フーチングを連続体として完全に接合した場合（接合ケース）、新旧フーチング間をジョイント要素で接続した場合（非接合・外殻無ケース）、鋼製外殻によって増しフーチングを覆った場合（非接合・外殻有ケース）の 3 ケースを実施した。また、既存フーチング上面に対する増しフーチングの被りもパラメータとしており、被接合の場合における新旧基礎の一体性に対して、フーチング被りが及ぼす影響について検討する。さらに、直杭の場合の結果と比較し、斜杭による水平抵抗への影響についても検討する。

各部の重量は実設計を参考にし、橋脚：上部工：フーチングを 1:1:3 と設定した。これに L2 設計水平震度を乗じると計 4,130 kN の設計水平荷重となるが、その 2 倍となる 8,260 kN を静的に作用させた。杭は弾性体のハイブリッドモデル<sup>3)</sup>でモデル化し、群杭効果を適切に表現した。実用では鋼管杭による斜杭を想定しているが、既往の RC 直杭の結果<sup>1)</sup>との比較のため、RC 杭における物性 ( $EI$  は同径の肉厚 19 mm の鋼管杭に相当) を与えた。地盤は大阪の実地盤をモデル化し、地盤モデルは subloading  $t_j$  model<sup>4)</sup>とした。以上の杭、フーチング、橋脚、地盤、ジョイント要素の入力パラメータは既往の研究<sup>1)</sup>と同様である。

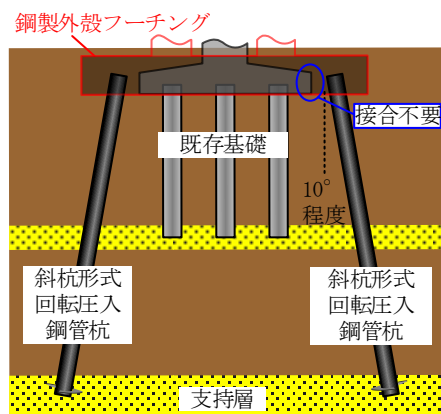


図1 提案する合理的な増し杭工法

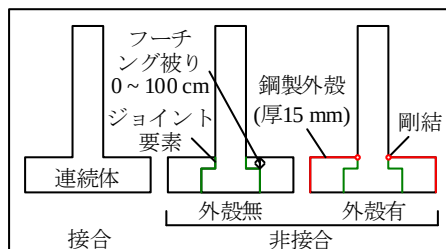


図3 数値解析の検討ケース

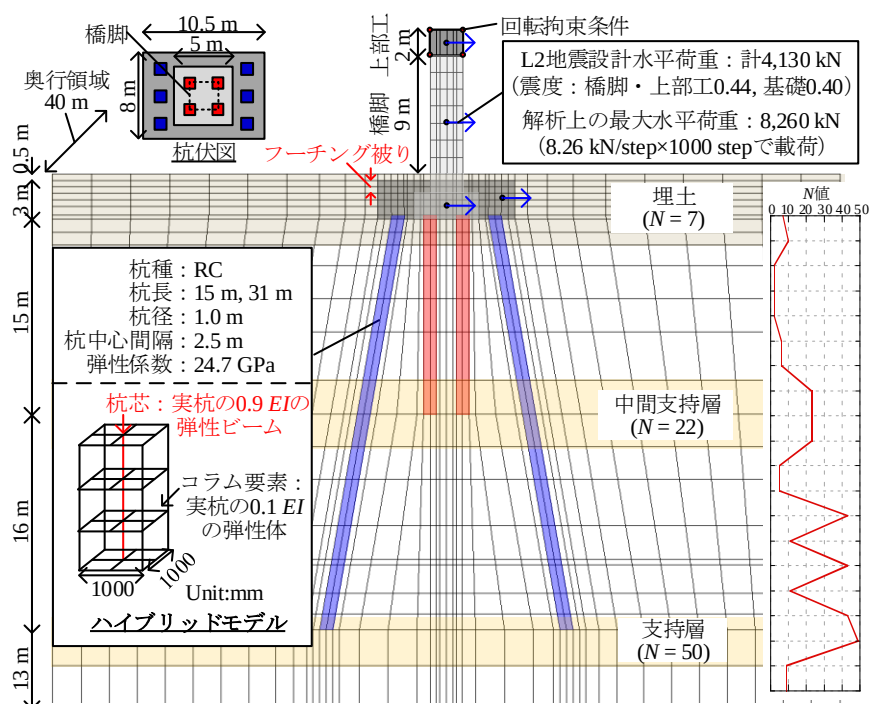


図2 有限要素メッシュと解析条件

キーワード 杭基礎, 群杭基礎, 増し杭工法, 斜杭, 有限要素法

連絡先 〒572-0074 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 摂南大学理工学部都市環境工学科 TEL 072-839-9126

### 3. 解析結果

図4に総水平荷重に対する杭が負担する荷重の割合を示す。逆に、この割合を1から減じた割合はフーチングの負担する割合を示している。約1,650 kN 載荷時に杭の負担割合は最小となり、荷重の増加に従って増加した。この増加は、主にフーチング周辺地盤の塑性化による。斜杭の水平抵抗が大きいことから、負担する割合も斜杭が0.13程度大きくくなっている。接合の場合に対して非接合の杭の負担割合は減少するが、外殻有の場合にはその影響は若干小さい。

図5に荷重変位関係を示す。フーチング中央底面位置では、全ケースでほぼ同変位となったため最大荷重時の値を示している。上部工位置では、外殻無の場合は接合した場合と比較して22%変位が大きい。斜杭の場合、いずれの位置においても36%変位が小さくなり、基礎の水平抵抗が向上した。

つづいて、各フーチング被りにおける上部工位置の変位を図6に示す。外殻無の場合、フーチング被りの減少に伴って変位は増加したが、外殻有の場合には、被りの影響をあまり受けず、接合の場合と同程度の変位となった。

増し杭を1とした時の既存杭の平均杭頭せん断力の割合を図7に示す。外殻無の場合には、接合の場合と比較して既存杭の負担割合は0.06低く、被りの減少に伴って低下する。外殻有の場合には、接合の場合と同程度となった。また、斜杭となる増し杭に荷重が集中することから、既存杭が直杭と比較して半分程度の負担となった。

### 4. まとめ

本研究では、増し杭工法の合理的かつ新しい構造形式の提案を目指し、L2地震動相当の静的水平荷重を受ける増し杭された実大群杭基礎（既存杭4本+斜杭形式増し杭6本）に対する3次元有限要素解析を実施し、フーチング形状が新旧基礎の一体性に及ぼす影響を検討した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 外殻無の場合、接合の場合に対して上部工位置の水平変位は増加し、フーチング被りの減少に伴って増加する。外殻有の場合は接合の場合と同程度となる。斜杭は直杭に対して36%変位が小さい。
- 2) 外殻無の場合、接合の場合に対して既存杭のせん断力の割合が低く、フーチング被りの減少に伴ってさらに低下する。外殻有の場合は接合の場合と同程度となる。斜杭は直杭に対して既存杭の負担割合は約半分となる。
- 3) 以上より、斜杭による増し杭においても、増しフーチングを鋼製外殻で覆う事でフーチング間の接合無しでも一体性が保たれ、水平抵抗において直杭による増し杭よりも有利であると言える。

参考文献 1) 寺本ら：数値解析によるフーチング形状が増し杭された群杭基礎の一体性に及ぼす影響の検討，第54回地盤工学研究発表会発表論文集，2019。 2) Ye et al.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, S & F, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007。 3) 段野ら：杭基礎の長期沈下挙動に対する群杭効果の影響，地盤工学ジャーナル Vol.5, No.2, pp.181-191, 2010。 4) Nakai et al.: A simple elastoplastic model for normally and over consolidated soils with unified material parameters, S & F, Vol.44, No.2, pp.53-70, 2004。

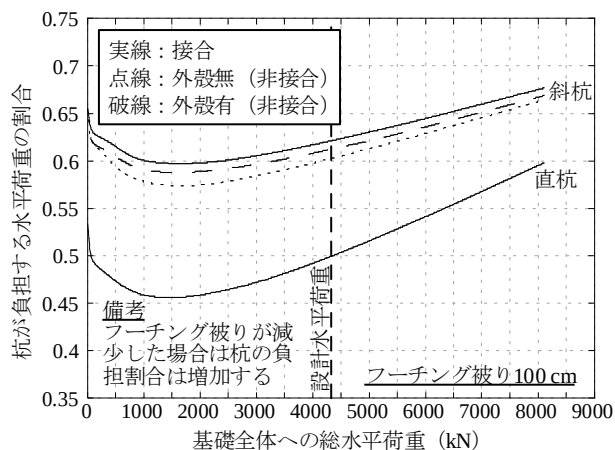


図4 総水平荷重に対する杭が負担する水平荷重の割合

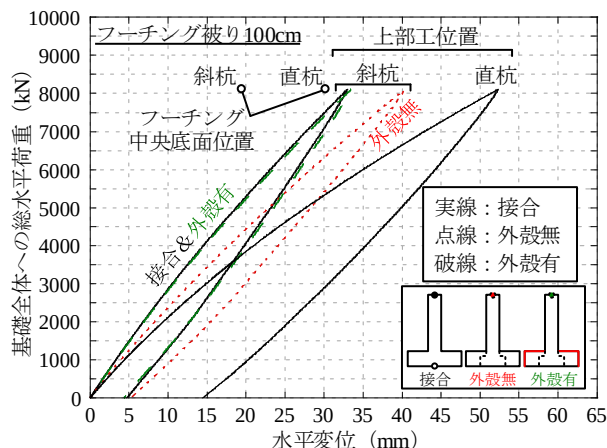


図5 荷重変位関係

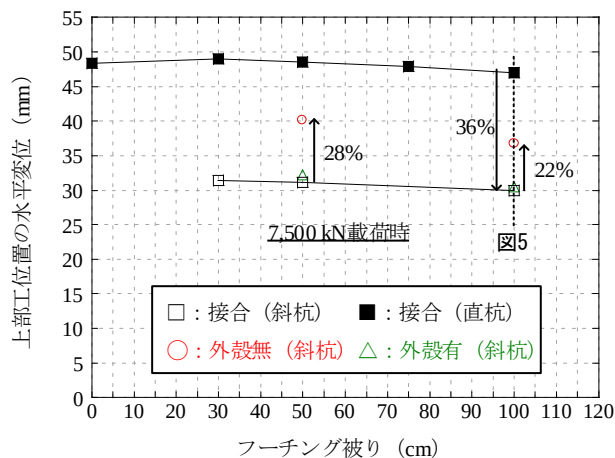


図6 フーチング被りと上部工位置の水平変位の関係

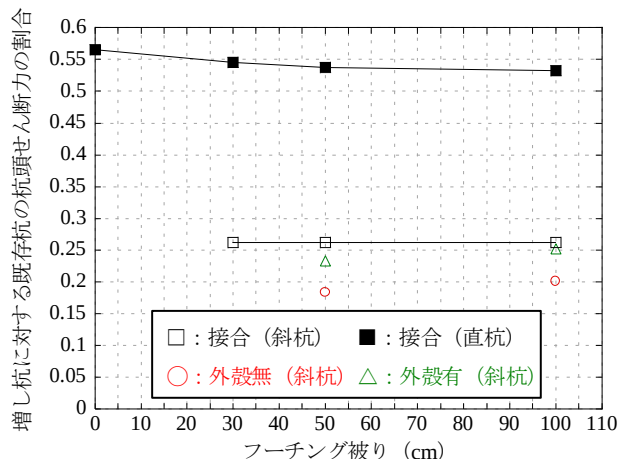


図7 フーチング被りと杭頭せん断力の関係