

多列杭を有する既設フーチングの耐震性に関する解析的検討

(一財)阪神高速道路技術センター 正会員○安藤高士, 正会員 服部匡洋
 阪神高速道路(株) 正会員 篠原聖二, 正会員 高田佳彦
 九州工業大学名誉教授 正会員 幸左賢二

1. はじめに

過年度に、多列杭を有する既設フーチングの耐震性を評価するために縮小模型を用いた水平荷重載荷実験を行ったところ、脆性的な破壊形態ではなく、一定の変形能を有することが示された¹⁾。そこで本検討では、多列杭を有する既設フーチングの荷重抵抗機構を明らかにするために本実験の再現解析を試みた。

2. 解析概要

実験対象フーチングは阪神高速道路の既設フーチングにおいて設計基準が昭和55年よりも古く、実験事例の少ない多列杭を有するものの中から選定した。実験セットアップを図-1に、実験再現解析モデルを図-2に示す。実験試験体は実験装置の規模から1/10スケールとし、橋脚(柱)、フーチング及び杭頭部を一体として製作した。44本(荷重方向8列、荷重直下方向6列)の杭を有するが橋脚直下には杭配置のない構造であり、せん断スパン比は最外縁杭位置から2.1, 1.5, 0.6である。

フーチングの鉄筋量は上側引張鉄筋比0.14%, 下側引張鉄筋比0.25%であり、上側鉄筋が非常に少ない特徴を有する。荷重方法は、橋脚天端に上部構造反力に相当する鉛直荷重(175kN)をPC鋼棒により荷重し、地震力に相当する水平荷重を水平ジャッキによる片側繰返し荷重により荷重した。

解析手法は汎用解析プログラムDIANAによる3次元弾塑性有限要素解析(FEM)とした。解析に用いた要素特性はコンクリートにはソリッド要素、鉄筋には埋め込み鉄筋要素を使用しコンクリートと鉄筋は完全付着モデルとした。材料特性はコンクリート及び鉄筋ともに材料試験のデータから弾塑性モデルを設定した。コンクリートの応力-ひずみ関係を図-3に示す。引張側は引張破壊エネルギーを考慮できる引張軟化モデル、圧縮側は圧縮破壊エネルギーを考慮できる放物線モデルとした。また、コンクリートのひび割れモデルは回転モデルとした。境界条件は、杭下端を実験と同様に完全固定とした。

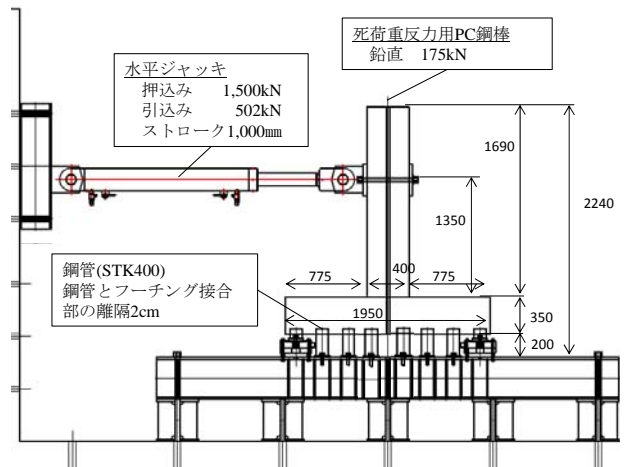


図-1 実験セットアップ (単位: mm)

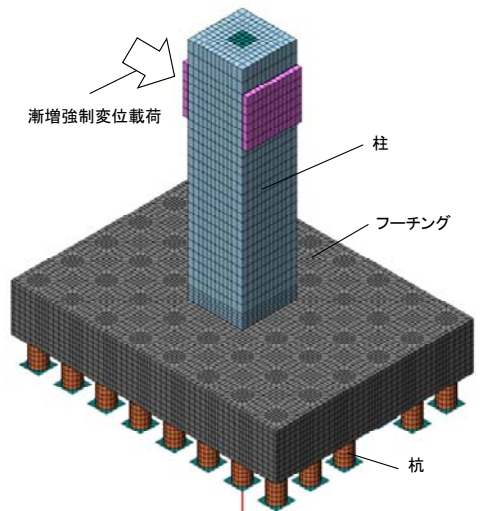


図-2 実験再現解析モデル (実験試験体)

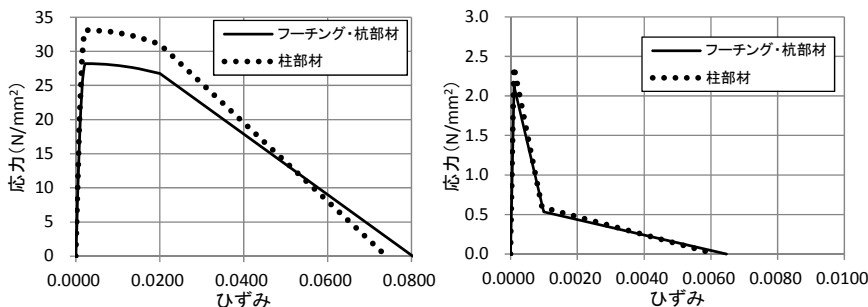


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係 (左: 圧縮側 右: 引張側)

キーワード 既設フーチング, 耐震性, 損傷過程, 変形能, 実験, 弾塑性有限要素解析

連絡先 〒541-0054 大阪府大阪市中央区南本町4丁目5番7号(一財)阪神高速道路技術センターTEL06-6244-6049

3. 解析結果

実験及び FEM における水平載荷位置の水平荷重—水平変位関係を図-4 示す。実験ではフーチングの上面鉄筋降伏(250kN), 下面鉄筋降伏(329kN)の後に最大荷重(349kN)に達し、その後はなだらかに荷重が低下したが水平変位 91 mm まで急激な破壊は生じなかった。図-5 に実験終了後のフーチング切断面での内部ひび割れ状況を示す。載荷側のフーチング内部には水平荷重による柱の回転挙動と柱・杭の引張力による円弧状の引張ひび割れが確認されこのひび割れが荷重低下に起因しているものと考えられた。一方、FEM においても実験と同様の水平荷重—水平変位関係が得られ、フーチング上面鉄筋降伏(272kN), 下面鉄筋降伏(303kN)ともに実験と同様の降伏状況であったことから、FEM により実験での破壊形態を再現できていると考えられる。図-6 に実験最大荷重付近における圧縮応力(最小主応力)の発生状況を示す。押し込み側では①に示す圧縮ストラットの形成が確認された。また、②③に示す方向においても大きな圧縮応力が確認された。図-7 に引張ひずみ(最大主ひずみ)の発生状況を示す。圧縮応力が発生していない④⑤⑥においても引張ひずみが確認された。ここで④⑤については曲げひび割れと考えられるが、⑥は柱の回転挙動と杭の拘束に伴う引張力により生じる引張ひずみであると考えられる。図-8 にフーチング上面鉄筋のひずみ発生状況を示す。鉄筋降伏の範囲は軸方向に加え直角方向においても面的に広がっており、これは下面鉄筋も同様であった。図-9 に引張ひずみ発生状況(5 断面)を示す。引張ひずみの発生状況から円弧状の引張ひび割れは面的に生じ実験最大荷重時にはほぼ全幅に広がっていると考えられる。

4. 考察 実験及び FEM により確認された多列杭を有する既設フーチングの荷重抵抗機構を以下に示す。設計上のせん断耐力で破壊しなかった要因は押し込み側の柱と最近部の杭の間に圧縮ストラットが形成されたことによるせん断耐力の上昇が考えられる。主鉄筋降伏後の水平耐力の増加は、上面、下面鉄筋が面的に抵抗することによると考えられる。また、引張側では円弧状の引張破壊により荷重の低下が生じるものの面的な抵抗により変形能を有する破壊形態でとなったことが示された。

参考文献

1) 安藤, 服部, 篠原: 多列杭を有する既設フーチングの耐震性に関する実験的検討, 第 20 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2017. 7

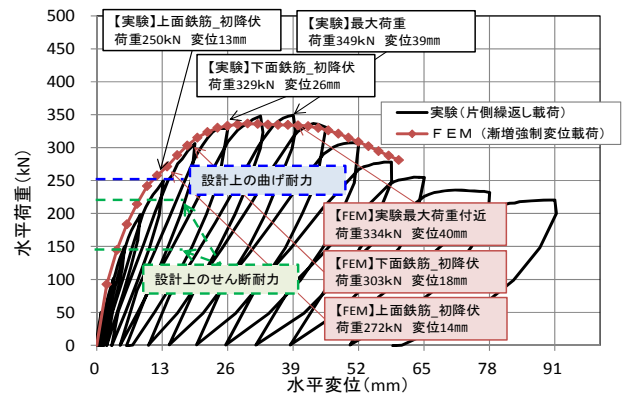


図-4 水平荷重—水平変位関係 (水平載荷位置)

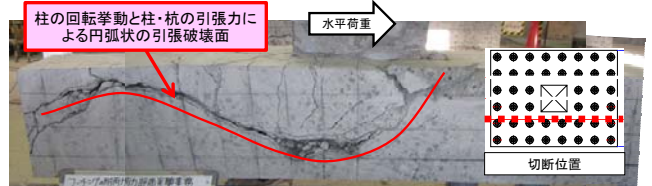


図-5 フーチング切断面での内部ひび割れ状況

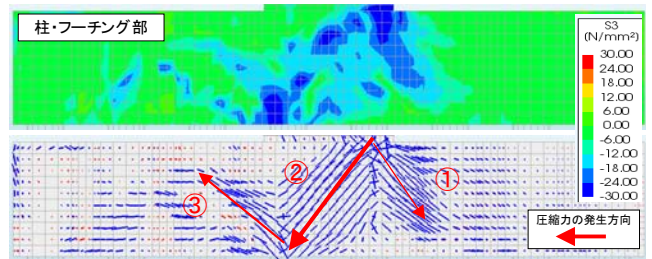


図-6 圧縮応力発生状況 (実験最大荷重付近) (フーチング中央断面 上図: コンタ図, 下図: 矢示図)

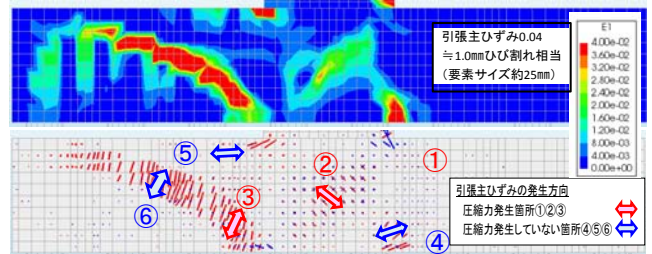


図-7 引張ひずみ発生状況 (実験最大荷重付近)

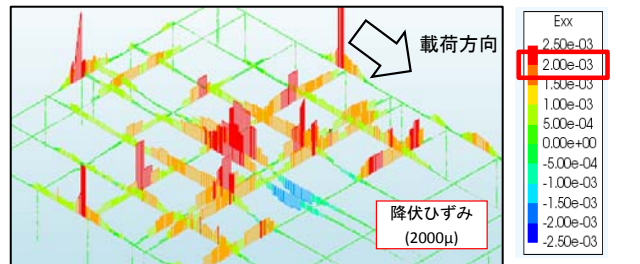


図-8 フーチング上面鉄筋ひずみ (実験最大荷重付近)

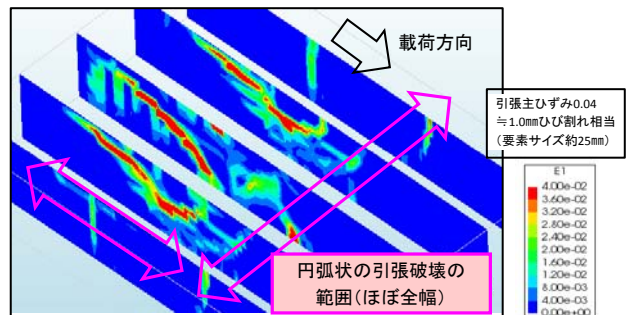


図-9 引張ひずみ発生状況 (実験最大荷重付近: 5 断面)