

## 既製 RC 杭に対する PHC 杭のせん断耐力評価式の適用性の検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○藤岡 健祐, 江口 康平, 大住 道生

## 1. はじめに

平成8年道路橋示方書より前の基準で設計された道路橋基礎は、当時の基準では考慮していなかったレベル2地震動に対する照査を満足しない事例が多い。一方、実際の地震被害において確認された基礎杭の被害は必ずしも多くない。ただし、既製 RC 杭（以下「RC 杭」という。）等については、一部の橋でせん断破壊による重篤な被害が生じている例もある。そこで、本研究では、RC 杭のせん断耐力評価の合理化を目的として、載荷実験<sup>1)</sup>並びに FEM 解析による再現解析及びパラメトリックスタディによる検討を行った。本稿では、RC 杭に対して、H14 道示に基づく従前のせん断耐力評価式<sup>2)</sup>（以下「はり式」という。）及び類似構造である PHC 杭の H29 道示に基づくせん断耐力評価式<sup>3)</sup>（以下「PHC 杭式」という。）の推定精度について検討した結果を報告する。

## 2. 実験の再現解析

既往の実験<sup>1)</sup>では、既設橋梁より撤去された RC 杭を用いて、せん断破壊に着目した静的載荷試験を行っている。載荷試験の概要図を図-1、せん断破壊が確認されたケースの実験終了後の損傷状態を図-2 に示す。なお、載荷用治具は、鋼製治具と杭体との隙間を石膏で固め、杭体側に厚さ 1mm のゴム板をかませて固定している。再現解析は、せん断破壊が確認された杭径 450mm、せん断スパン 450mm のケースを対象として、載荷用治具及び固定コンクリートブロックをモデル化の対象に含めた全

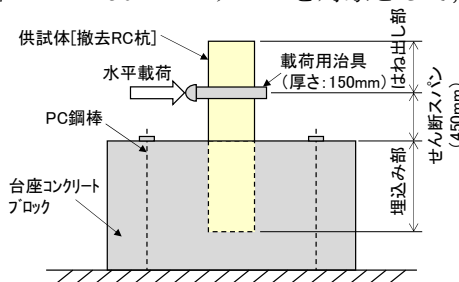


図-1 載荷試験概要

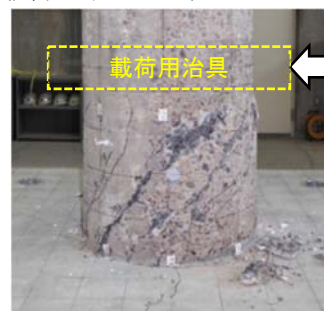


図-2 実験終了後の損傷状態

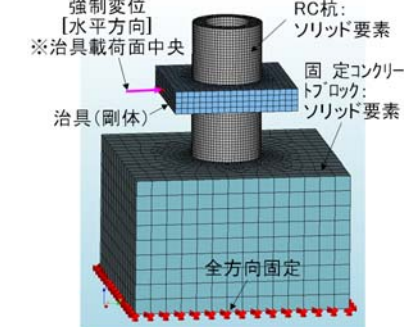


図-3 全体再現モデル

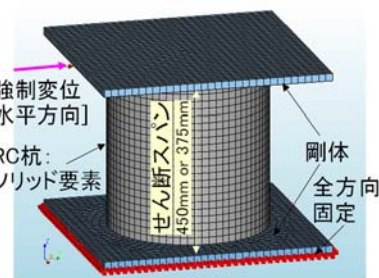


図-4 せん断スパン抽出モデル

体再現モデル (図-3) と、RC 杭のせん断スパン間のみを抽出したせん断スパン抽出モデル (図-4) の 2 パターンの 3 次元 FEM 解析モデルによる検証を行った。また、実験において、せん断ひび割れ上端が載荷用治具の下面付近に確認されたことから、せん断スパン抽出モデルにおいては、せん断スパン上端を治具中心又は治具下面位置とした場合の 2 ケースで解析を行った。図-5 に、実験及び各解析ケースの荷重変位関係を示す。全体再現モデルでは、実験値と初期剛性がよく一致しており、また、最大荷重は解析値 (489.8kN) / 実験値 (532.9kN) = 0.92 で概ね再現できている。せん断スパン抽出モデルでは、両ケースとも

実験値と比べて初期剛性が大きい。これは杭上下端を剛結の条件としているため、杭のコンクリートブロックからの抜け出しや、杭と治具の境界面のずれに起因する変位が含まれないこと等が要因であると考えられる。最大荷重に着目すると、実験値及び全体再現モデルによる解析値は、せん断スパン抽出モデルにおけるせん断スパン上端を治具中心とした場合と治具下面とした場合の解析値の間の値を示している。したがって、計算上のせん断スパン上端に相当する位置は治具中心～治具下面の間にあると考えられる。

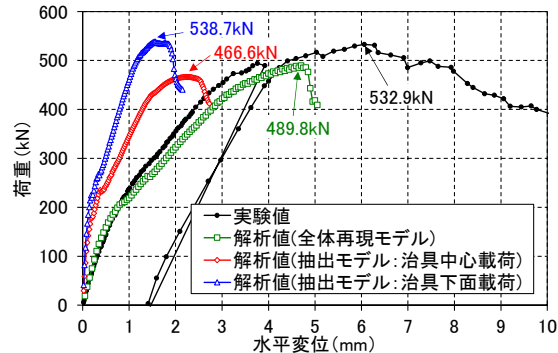


図-5 実験及び再現解析による荷重-変位関係

キーワード 既設コンクリート杭, 既製 RC 杭, せん断耐力, せん断載荷試験, FEM 解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研) 土木研究所 CAESAR TEL 029-879-6773

### 3. FEM 解析によるパラメトリックスタディ

FEM 解析によるパラメトリックスタディによって、各パラメータがせん断耐力に及ぼす影響を確認するとともに、各せん断耐力評価式の推定精度を比較する。解析モデルは、せん断スパンが明確であり、再現解析により耐力算出における一定の妥当性が確認されたせん断スパン抽出モデルを用いた。検討対象とするパラメータは表-1 に示す7項目とし、各パラメータの値は JIS 規格値や実橋サンプル等を参考に設定した。なお、各検討においては、着目パラメータのみを変更し、他のパラメータは固定とした。

解析結果においては全ケースでせん断破壊型の破壊形態が確認された。各パラメータがせん断耐力に及ぼす影響を確認するため、各パラメータの基準ケースに対する解析値及び各せん断耐力評価式による推定値の変動率を図-6 に示す。コンクリート強度及びスパイラル鉄筋材料の影響に対しては、解析値と各せん断耐力評価式による推定値は概ね近い変動率を示している。一方、杭径、せん断スパン比、軸方向鉄筋比、スパイラル鉄筋径の影響に対しては、はり式と比べて PHC 杭式による推定値の方が解析値と近い変動率を示している。杭径及び軸方向鉄筋比の影響に対しては、はり式において有効高及び軸方向鉄筋比に関する補正係数が一定値で規定されている<sup>2)</sup> ことから、それらの影響を考慮しきれず、実験値と乖離が生じたと考えられる。また、スパイラル鉄筋径の影響に対しては、はり式においてはせん断補強鉄筋が円形であることによる補強効果の低減が考慮されておらず、せん断補強鉄筋の補強効果を大きく見積もる傾向があることが確認できる。

さらに、はり式においては軸力の影響を大きく評価し、せん断スパン比の影響を小さく評価する傾向が確認できる。

解析値と各せん断耐力評価式による推定値の関係を図-7 に示す。はり式による推定値は、解析値に対して3倍程度の安全率が確保されている。一方で、PHC 杭式による推定値は解析値に対して13%程度安全側に評価することが確認された。また、各せん断耐力評価式による推定比(解析値/推定値)の標準偏差を比較すると、PHC 杭式はり式と比べて推定比のばらつきが小さく、比較的精度よくせん断耐力を評価できることが確認された。

### 4. まとめ

本稿では、実験の再現解析により妥当性が確認された FEM 解析モデルを用いて、パラメトリックスタディを行い、RC 杭のせん断耐力評価に対する PHC 杭式の適用性について検討した。その結果、表-1 に示す条件では、PHC 杭式を準用することにより、各パラメータの影響を精度よく安全側に評価できた。なお、解析では考慮されていない使用材料等の各種ばらつきが推定式の信頼性に及ぼす影響については、今後検証が必要であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 河口大輔, 鬼木浩二, 澤田守, 大住道生: 撤去杭を用いた既製 RC 杭のせん断破壊に着目した実験的検討, 第21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, pp.17~22, 2018.7, 2) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IV下部構造編, 2002.3, 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IV下部構造編, 2017.11

表-1 パラメトリックスタディにおける変更パラメータ

変更パラメータ	パラメータ値	備考
杭径	300, 450, 600 (mm)	JIS規格範囲を参考
せん断スパン比	0.5, 1.0, 1.5, 2.5	実験結果等を参考
コンクリート強度	27, 35, 40, 50 (N/mm <sup>2</sup> )	過去のJIS規格値を参考
軸方向鉄筋量(※鉄筋比)	2.7[A種], 4.0[B種], 5.4[C種] (%)	JIS分類A~C種に対応
スパイラル鉄筋量(※鉄筋径)	0, 4, 6, 9, 12 (mm)	ピッチは100mm固定
スパイラル鉄筋材料	SMW-B, SR235, SD295, SD345	過去採用実績を参考
軸力	0, 200, 400, 600 (kN)	実橋サンプルを参考

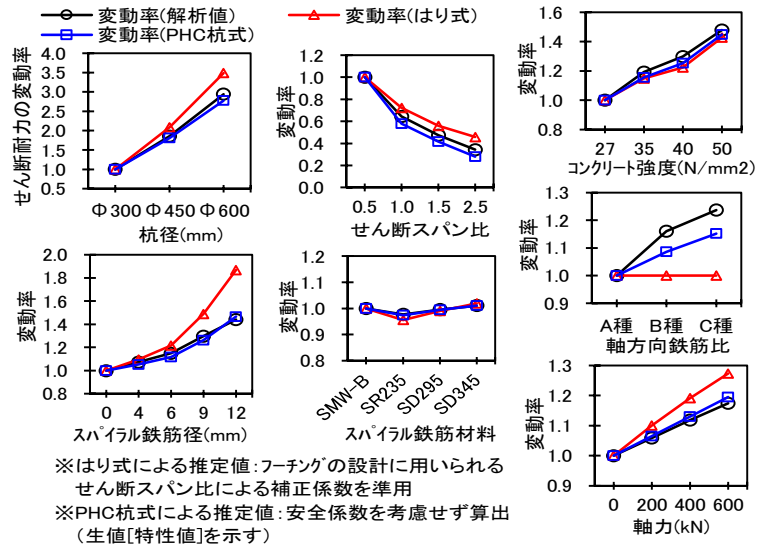


図-6 各パラメータに対するせん断耐力の変動率

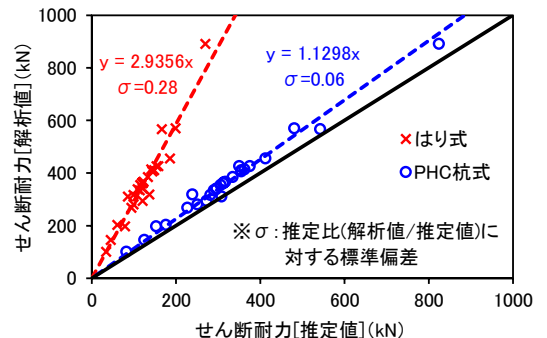


図-7 解析値と各推定値の関係