

動的解析による既設道路橋の既製コンクリート杭基礎の耐震性に関する一検討

(独)土木研究所 正会員 ○安藤滋芳, 河野哲也, 谷本俊輔, 西田秀明, 星隈順一

1. はじめに 古い時代に設計された既製コンクリート杭基礎は、耐震性が低いとされ、かつ既設数が多い基礎形式である。そこで本検討では、当該杭基礎の中でも相対的に耐震性がより低い条件を適切に抽出することを目的として、杭種と地盤条件が異なる場合の耐震性について動的解析により評価し、その比較検討を行った。

2. 検討ケース 動的解析の検討ケースを表-1に示す。対象は、液状化しない地盤に建設された支持杭を有する道路橋であり、これらを試設計を行って設定したものである。試設計では、その杭種に応じて採用実績の多い年代の荷重条件を想定し、例えば設計水平震度については、最も採用実績が多い年代の基準の値を用いている。橋脚及び杭の諸元は、想定している年代の設計基準を満足するよう設定した。杭種は、その採用年代が比較的新しいとされる PHC 杭と、採用年代の古い RC 杭を選定した。地盤条件の違いについては、杭頭部の地盤が極めて弱いもの(N値=2)と、やや硬いもの(N値=15)の2種類とした。支持層は砂れき層とし、そのN値はそれぞれの年代の基準で支持層となり得る目安の下限値とした。

3. 動的解析モデルの概要 本検討で用いた動的解析モデルは、図-1に示すように、上部構造-橋脚-杭基礎-地盤抵抗-周辺地盤から構成される。RC 橋脚の非線形性は $M-\phi$ 関係のトリリニア型モデルで考慮した。フーチングは剛体とし回転慣性を考慮した。杭はファイバー要素によりモデル化し、そのコンクリート及び鉄筋は H14 道示に準じた $\sigma-\epsilon$ 関係とした。PHC 杭の PC 鋼材は、初期プレストレスによる応力を考慮した非対称型のモデルとした。杭-地盤間の水平抵抗は、Winkler 型 $p-y$ 曲線の履歴則を与えたバネ³⁾を用いた。杭-地盤間の鉛直抵抗は、杭周面の摩擦抵抗と杭先端の地盤抵抗をそれぞれモデル化し、周面のすべりや押込みによる沈下を考慮できるスリップ型の履歴モデルとした。周辺地盤は、地盤挙動についての動的遠心実験のシミュレーションにて検証されているモデル化手法²⁾を用い、多層系のせん断土柱とした。

4. 入力地震動 本検討では大規模地震時における杭基礎の耐震性評価を行うことを目的としているため、入力

表-1 検討ケースの概要

Case	杭種	杭工法	適用基準	杭頭部 N値	支持層 N値	橋脚高さ(m)	設計水平震度	杭本数(本)	杭径(mm)
A	PHC	中掘り杭	H2道示	2	30	10	0.25	20	600
B				15	30	10	0.25	18	600
C	RC	打込み杭	S39指針	2	25	10	0.20	20	600
D				15	25	10	0.20	16	600

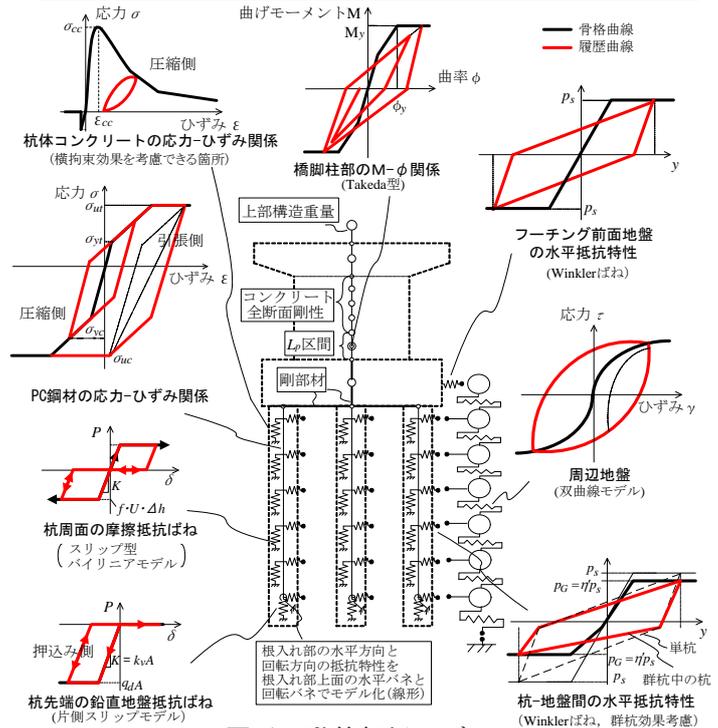


図-1 動的解析モデル

地震動は、地表面にてレベル2地震動(タイプII)相当となるよう振幅調整した基礎面の加速度波形とした。

5. 解析結果 (1) フーチング底面位置の変位

図-2に、入力地震動と各ケースのフーチング底面位置での水平変位の時刻歴を示す。杭種の違いが基礎の応答に与える影響についてみると、それぞれ杭頭付近のN値が小さいCaseA(PHC杭)とC(RC杭)の両ケースには同程度の水平変位が生じている。杭頭付近のN値が大きいCaseB(PHC杭)とD(RC杭)の水平変位にも明確な差は生じていない。このことから、杭種の違いはフーチング底面位置での水平変位に有意な影響を与えないことが分かる。次に、杭頭付近のN値の違いが基礎の応答に与える影響についてみると、杭種が同じPHC杭のCaseAとBを比較すると、N値の小さいCaseAの方が、N値が大き

キーワード 動的解析, 既設道路橋, 杭基礎, コンクリート杭, 耐震性評価

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

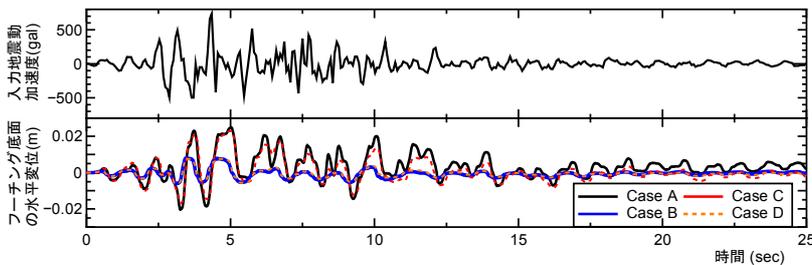


図-2 入力地震動とフーチング底面位置の水平変位

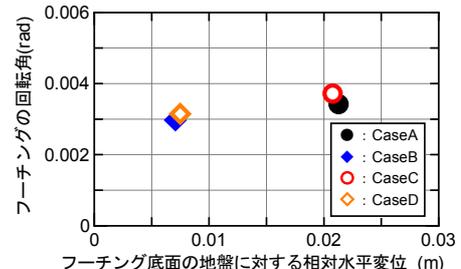


図-3 フーチング回転角と水平変位関係

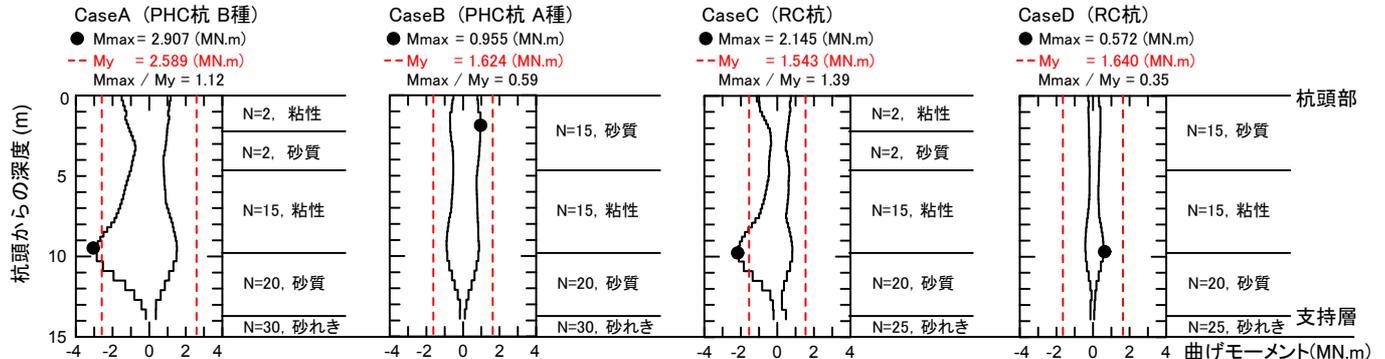


図-4 発生曲げモーメント及び降伏曲げモーメントの深度方向分布(フーチング中心側の杭)

い CaseB よりも 2.5 倍程度大きな変位が生じている。また、RC 杭同士の CaseC と D の比較についても同様である。以上より、杭基礎の最大応答水平変位に対しては、杭種よりも、杭頭付近の地盤条件が大きく影響することが分かる。図-3 は、横軸にフーチング底面での最大応答水平変位、縦軸にフーチングの最大応答回転角を示したものである。縦軸の回転角に着目すると、杭頭付近の N 値や杭種による違いは殆どない。しかし、水平変位には、前述のとおり杭頭付近の N 値によって大きな違いが生じている。結果、杭種に関わらず、杭頭付近の地盤の N 値が小さいと基礎の回転よりも水平変形の挙動が卓越する。この影響は、次に示す杭頭部の発生曲げモーメントが、その直下の地層よりも大きくなることに表れている。

(2) 杭体に生じた断面力 図-4 に、動的解析で杭に生じた曲げモーメントの深度方向分布と最大値 M_{max} 、杭体の降伏曲げモーメント M_y 及びその比率を示す。杭種に関わらず、杭頭付近の N 値が小さい CaseA と C では、地中部で生じた杭の曲げモーメントが杭体の降伏曲げモーメントを超えている。 M_{max} と M_y の比率についてみると、杭頭付近の N 値が大きい場合、CaseD (RC 杭)は CaseB(PHC 杭)よりも比率が小さい。これは、対象下部構造の設計基準や荷重の違いにより橋脚の配筋が異なり、より年代の古い CaseD の橋脚の耐力が小さく、結果として基礎に伝わる断面力が小さくなったことが影響していると考えられる。ただし、いずれの杭種も、杭体の降伏に対して余裕がある。一方、 N 値が小さい場合、

CaseA(PHC 杭)の M_{max} / M_y は 1.1 倍程度であるが、CaseC(RC 杭)では 1.4 倍程度の比率を示している。これは、このような条件下で設計された PHC 杭の降伏曲げモーメントが、RC 杭に比べて大きい事が影響している。以上より、杭に生じる曲げモーメントの値に対して、杭頭付近の地盤条件が支配的な要因となることがわかる。加えて、杭種の違いも耐震性に影響を及ぼす要因となり、中でも杭頭付近の地盤が軟弱な RC 杭の場合には、降伏曲げモーメントに対して最大発生曲げモーメントの比率が最も大きくなる。なお、発生せん断力は、CaseA と C の杭体で、降伏曲げモーメントを超えた付近において、せん断耐力を超過した結果となっている。

6. まとめ 本検討の結果、既製コンクリート杭基礎の地震時における挙動は、杭種よりも杭頭付近の地盤条件に強く依存することが明らかになった。さらに、杭頭付近の地盤が緩い条件では、杭が降伏に達しており、杭頭付近の地盤が締った条件下のものに比べて、相対的に耐震性が低いと判断される。中でも、採用年代が古い RC 杭は、他の既製コンクリート杭に比べ、杭頭付近の地盤条件により耐震性の評価が大きく変わる傾向がある。

なお、解析モデルの妥当性確認や精度の向上、耐震性の評価方法については、今後更なる研究を行っていく。

参考文献 1) 中谷ら：既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究，土木研究所資料，第 4168 号，2010.， 2) 白戸ら：動的解析における群杭のモデル化に関する検討，地震工学論文集，vol.28，2005.， 3) 谷本ら：大地震時の地盤の動的挙動に関する動的遠心模型実験とその動的解析，第 13 回地震時保有水平耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp275-282，2010.