

端板鉄筋方式による PHC 杭の杭頭結合部のモデル化について

(株) 複合技術研究所

正 鈴木 聡

(公財) 鉄道総合技術研究所

正 西岡英俊

正 田所敏弥

(一社) コンクリートパイル建設技術協会

正 平川康行

正 後庵満丸

1. はじめに

近年,PHC 杭のフーチング等への新しい結合方法として杭頭の端板にアンカー鉄筋を機械式継手あるいは溶接継手によって定着する方法(以下,端板鉄筋方式と記す)が開発されている。端板鉄筋方式では,施工時の高止まりへの対応が難しいというデメリットがあるが,中掘り根固め杭工法やプレボーリング根固め杭工法のように高止まりの懸念が少ない施工方法を用いる場合であれば,従来の補強鉄筋をはつり出す方式よりも合理的な杭頭結合方法であると考えられ,今後の普及が期待される杭頭結合方式である。本稿

では,端板鉄筋方式による PHC 杭の杭頭結合方式を鉄道構造物に適用することを想定し,鉄道設計標準^{1),2)}に準じた解析モデルを提案するとともに,既往の載荷試験事例との比較によりその適用性について検討した。

2. 載荷試験シミュレーション解析におけるモデルの概要

本検討で対象とした端板鉄筋方式は,アンカー鉄筋の継手が異なる 2 工法(スタッド溶接方式³⁾とトルク固定方式⁴⁾)である。これら 2 工法の既存の載荷試験結果(表 1)に対して,鉄道構造物における鋼管杭の杭頭結合部のモデル化の考え方⁵⁾を基本とした 3 種類の解析モデルを用いて静的非線形解析によるシミュレーションを実施した。ただし,鋼管杭の場合はアンカー鉄筋の杭側での定着のため中詰めコンクリートが杭径の 1.5 倍程度まで打設されているのに対して,表 1 の載荷試験では中詰めコンクリートはフーチング底面までとなっている。また,表 1 の載荷試験は杭頭部のフーチング内根入れ長が 100mm の試験体が主である。

本解析における骨組みモデルの代表図を図 1 に示す。本解析における骨組みモデルは,フーチング下端を剛に固定した片持ちモデルとして,PHC 杭(M- 部材),杭頭結合部(剛域+仮想 RC 部材(M- 部材)),フーチング(剛域)に要素を区分したモデルである。各部材の要素長の設定は,杭体部については 1.0D (D: 杭径)ピッチで分割し,杭頭結合部については,剛体部材と仮想 RC 部材(仮想 RC 部材の要素長 0.1m)を合わせた要素長を 1.0D (D: 杭径)に設定した。解析ツールは JR-SNAP (2 次元骨組構造物の非線形解析プログラム)を用い,載荷点位置(節点 No.1)に水平変位 0.1m を 200step に分割して作用させる変位増分解析を行った。

非線形部材である PHC 杭および仮想 RC 部材の M- 関係・M- 関係は鉄道設計標準²⁾によりモデル化した。その際,仮想 RC 部材のアンカー鉄筋(および杭体内の補強鉄筋)の引張降伏強度の特性値は,実際の平均値相当の値となるように JIS 規格の下限値(345N/mm²)に

表 1 載荷試験結果一覧

(a) スタッド溶接方式³⁾

解析 Case	試験体 No.	杭径 (mm)	杭種	アンカー鉄筋量	圧縮軸力 (kN)
Case1	A-3	500	A 種	D16-9 本	0
Case2	A-2	500	A 種	D16-9 本	980.7
Case3	B-1	500	B 種	D19-14 本	0
Case4	B-2	500	B 種	D19-14 本	980.7
Case5	B-3 ^{注1)}	500	B 種	D19-14 本	1961.3

(b) トルク固定方式⁴⁾

解析 Case	試験体 No.	杭径 (mm)	杭種	アンカー鉄筋量	圧縮軸力 (kN)
Case6	N-1	450	B 種	D19-4 本	0
Case7	N-2	450	B 種	D19-6 本	0
Case8	N-3	450	B 種	D19-6 本	588.4
Case9	N-4	450	B 種	D19-12 本	0
Case10	N-5 ^{注2)}	450	B 種	D19-0 本	0
Case11	F-1	400	B 種	D22-4 本	0
Case12	F-2	450	B 種	D22-8 本	0
Case13	F-3	450	B 種	D22-8 本	588.4
Case14	F-4 ^{注1)}	450	B 種	D22-16 本	0
Case15	G-1 ^{注3)}	400	B 種	D25-6 本	0
Case16	G-2 ^{注1)}	400	B 種	D25-6 本	0

注 1 杭頭結合部ではなく杭体が破壊した試験体

注 2 フーチングへの根入れ長を 900mm とした試験体

注 3 フーチングへの根入れ長を 10mm とした試験体

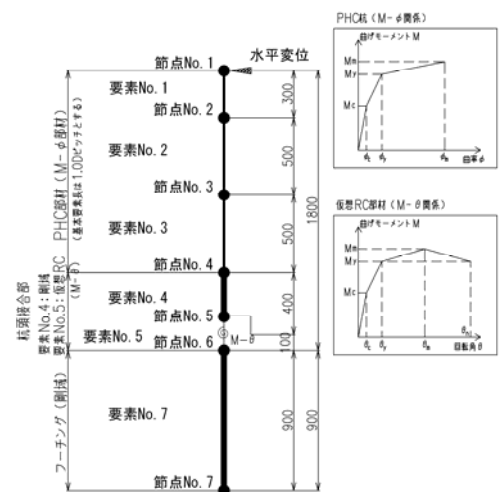


図 1 骨組みモデルの代表図

キーワード PHC 杭, 杭頭結合部, 端板鉄筋方式

連絡先 〒160-0004 東京都新宿区四谷 1-23-6 (協立四谷ビル 5F) (株)複合技術研究所 TEL 03-5368-4101
〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

材料修正係数として $m=1.2$ を乗じた値を用いた。一方、PHC 杭部材の PC 鋼棒の引張強度の特性値については材料修正係数を $m=1.0$ として特性値 ($f_{puk}=1420\text{N/mm}^2$) を設定した。また、材料係数は 1.0 とした。

仮想 RC 部材に設定した 3 種類の断面モデル（以下、杭頭モデル ~ ）の考え方を、試験体 A を例として図 2 に示す。杭頭モデル は鋼管杭の杭頭結合部のモデル化の考え方⁵⁾に準じ、PHC 杭と同一の外径の中実円形断面の仮想 RC 部材とし、そのコンクリート強度の特性値は中詰めコンクリートの強度の試験値（試験体 A では $f'_{ck}=30\text{ N/mm}^2$ ）としたモデルである。杭頭モデル は建築技術審査証明^{3),4)}での考え方に倣い、外径を杭径からフーチングへの埋め込み長分だけ拡大させた中空円環断面の仮想 RC 部材である。杭頭モデル は、最大曲げ耐力時に支配的となる縁端部のコンクリートは PHC 杭の杭体部分であることを考慮し、杭頭モデル からコンクリート強度の特性値のみを PHC 杭のコンクリートの設計基準強度（A 種：80，B 種：85 N/mm^2 ）まで引き上げたモデルである。

3. 解析結果

図 3 に荷重変位関係の実測と解析結果の代表例（解析 Case1）を示す。杭頭モデル は、初期剛性は比較的一致するが耐力は安全側評価となった。一方、杭頭モデル については、耐力は比較的一致するが、初期剛性は過大評価となった。鉄道設計標準の考え方に基づいて杭頭での変形性能を評価する場合には、建築技術審査証明における埋め込み長に応じて仮想 RC 部材の外径を拡大する考え方を準用することは適切でないと考えられる。一方で、杭頭モデル の考え方は耐力を過小評価する傾向にあり、合理化の余地があると考えられる。

全解析ケースの最大耐力の解析値と実験値の荷重比を図 4 に示す。荷重比が 1.0 より大きい場合は、部材耐力を過大評価していることを意味する。杭頭モデル の荷重比は大半が 1.0 を超えており過大評価の傾向にあるのに対して、杭頭モデル は実験で PHC 杭自体が破壊したケース（Case5，14，16）を除けば 0.6~0.9 程度と過小評価の傾向にある。杭頭モデル

からもコンクリート強度を引き上げた杭頭モデル は 0.7~1.0 程度となり安全側ながら杭頭モデル よりも推定精度が向上していることがわかる。

4. おわりに

本解析により、PHC 杭の端板鉄筋方式の杭頭結合構造を鉄道設計標準の考え方でモデル化する場合には、杭径を外径とする中実の仮想 RC 断面（杭頭モデル または ）として評価することで、耐力設計としては安全側に評価できることがわかった。

【参考文献】

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物），2014.
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004.
- 3) 日本建築センター：建設技術審査証明（建築技術）報告書 既製コンクリート杭の杭頭接合技術「パイルスタッド工法」，2006.
- 4) 日本建築センター：建設技術審査証明（建築技術）報告書 既製コンクリート杭の機械的耐震杭頭接合技術「NCP アンカー工法」，2006.
- 5) 江口，谷口，濱田，神田，平田，木下：鋼管杭と橋脚基礎の接合部モデルの提案，鉄道総研報告，Vol.18，No.4，2004.

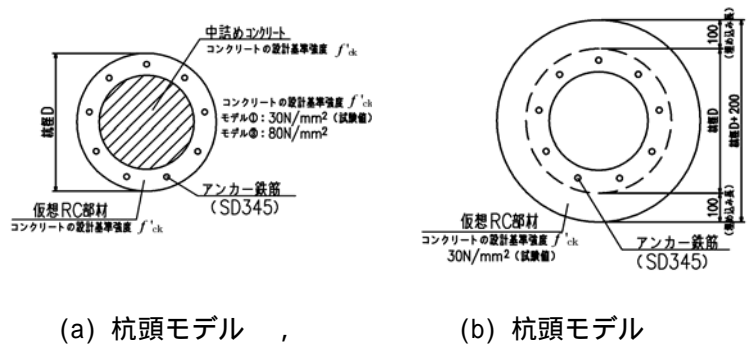


図 2 杭頭結合部の仮想 RC 部材のモデル化の考え方

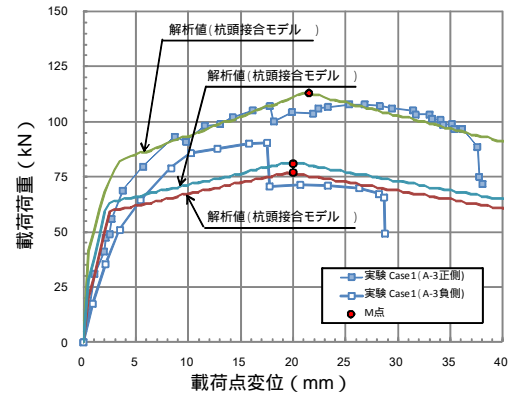


図 3 荷重変位関係の実測と解析結果の代表例（解析ケース：Case1）

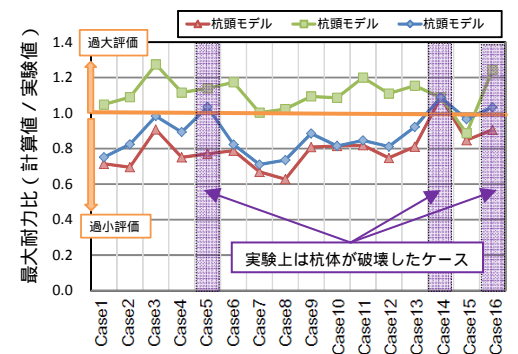


図 4 部材耐力の評価