

# 空中載荷・地中載荷時の RC 杭頭部の耐力・変形性能

RC 杭頭部 水平耐力 変形性能

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○阿部 慶太  
 (財)鉄道総合技術研究所 国際会員 神田 政幸  
 日鉄環境エンジニアリング(株) 小島隆之  
 (株)複合技術研究所 太田剛弘

## 1. はじめに

性能照査型設計法では、損傷レベルを考慮して部材の耐力および変形性能を適切に評価する必要がある。しかしながら、RC 杭の耐力および変形性能については、地中材であることから部材性能に与える杭周辺地盤の影響について詳細に検討された事例<sup>1)</sup>が少ない。そこで本研究では、群杭のように杭頭回転が拘束され杭頭に損傷が集中する砂地盤中の RC 杭頭を模擬した試験体を製作し、これを用いて水平載荷試験を実施した。また本研究では、RC 杭頭部周辺の地盤の有無による RC 杭頭部の耐力および変形性能に着目して考察した。

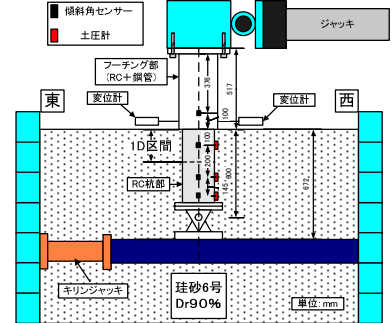


図-1 試験の概要

## 2. 試験概要

試験の概要を図-1 および表-1 に示す。回転拘束された杭頭部の部材性能に着目するため、実際の杭で曲げモーメントが最大になる杭頭接合部から 0 になる点までを対象とし、下端では水平、鉛直方向を拘束、上端の載荷点では鉛直、回転方向を拘束して水平変位（西側：正方向，東側：負方向）を作用させ、試験体を気中で載荷する場合（以後、空中載荷）、試験体を乾燥砂中（ $D_r=90\%$ ）に設置して載荷する場合（以後、地中載荷）および神田ら<sup>2)</sup>により検討されている杭頭部の帯鉄筋を密にして変形性能の向上を期待した試験体を地中で載荷する場合（以後、密帯筋地中載荷）の 3 ケースに対し試験を行った。試験体は RC 部材の杭部と RC 部材を鋼管で囲み剛性を高めたフーチング部からなり、密帯筋地中載荷では杭頭接合部から 1D 区間で D6 帯鉄筋を 15mm 間隔で密に配置し、帯鉄筋外側にシート材を介しその外側を無筋コンクリートとした。測定項目は、載荷点での荷重、変位、モーメント、杭体の傾斜角、軸方向鉄筋、帯鉄筋のひずみ、杭体表面の土圧であり、杭体の傾斜角は試験体断面中心に塩ビパイプを挿入し亚克力棒とシリコンで固定した傾斜計で計測した。なお、材料試験より軸方向鉄筋、帯鉄筋の引張降伏強度はそれぞれ  $353\text{N/mm}^2$ 、 $516\text{N/mm}^2$  であった。

表-1 試験ケースの概要

試験体	$f'_c$ ( $\text{N/mm}^2$ )	杭径 (mm)	軸方向鉄筋 (SD295)	帯鉄筋 (細径線材 SS400 程度)	地盤の 有無	引張 鉄筋比	帯鉄筋比
空中載荷	27.7	200	D6-20	$\phi 4@30\text{mm}$	空中	0.40%	0.42%
地中載荷	27.7	200	D6-20	$\phi 4@30\text{mm}$	地中	0.40%	0.42%
密帯筋 地中載荷	27.7	200	D6-20	杭体： $\phi 4@30\text{mm}$ 1D 区間： $D6@15\text{mm}$	地中	0.40%	杭体：0.42% 1D 区間：1.88%

## 3. 試験および解析結果

図-2 に各ケースで得られた載荷点での水平荷重—水平変位関係の骨格曲線を、鉄道構造物等設計標準<sup>3)</sup>に基づいた骨組みモデル<sup>4)</sup>により求めた計算値とともに示す。なお、密帯筋地中載荷の場合では杭体傾斜に初期不整があったため正負載荷方向の耐力に差が生じている。空中載荷では、荷重が 19kN の時最外縁の軸方向鉄筋が降伏（以後 Y 点）し、 $3.0\delta_y$ （ $\delta_y$ : Y 点時の変位 8.0mm）の時最大耐力点（以後 M 点）、 $5.0\delta_y$ の時終局点（以後 N 点）となった。一方、地中載荷では、荷重が 30kN の時 Y 点、 $3.0\delta_y$ の時 M 点、 $5.0\delta_y$ の時 N 点となり、空中載荷時と比べ靱性能には大きな差がないが耐力に差が生じた。また、密帯筋地中載荷では、荷重が 34kN のとき Y 点、 $2.0\delta_y$ の時 M 点、 $6.0\delta_y$ の時 N 点となり、他ケースに比べ N 点での靱性能が向上した。計算値は、空中載荷では概ね評価できているが地中載荷では耐力を過小評価しており、密帯筋地中載荷では神田らのモデル<sup>2)</sup>により靱性能をおおよそ評価できた。

図-2 に各ケースの杭頭部でのモーメント—曲率関係を計算値とともに示す。なお、曲率は Y 点までは最外縁の軸方向鉄筋のひずみ差から、M 点以降は傾斜角とフーチング部からの抜き出し回転角との差を塑性ヒンジ長（=杭径）で除して求めた。その結果、空中載荷と地中載荷間に大きな差がなく計算値も実験値を概ね評価できた。また、密帯筋地中載荷では、他ケースに比べ靱性能が向上し計算値は正負載荷方向のモーメントの平均値を概ね評価できた。なお、曲率が一致しない原因は、杭体傾斜の初期不整で傾斜計の精度が悪化したためと考えられる。

図-3 に杭頭部の軸方向鉄筋で軸方向ひずみが生じた範囲をひずみレベル毎に示す。全ケースにおいて Y 点、M 点時

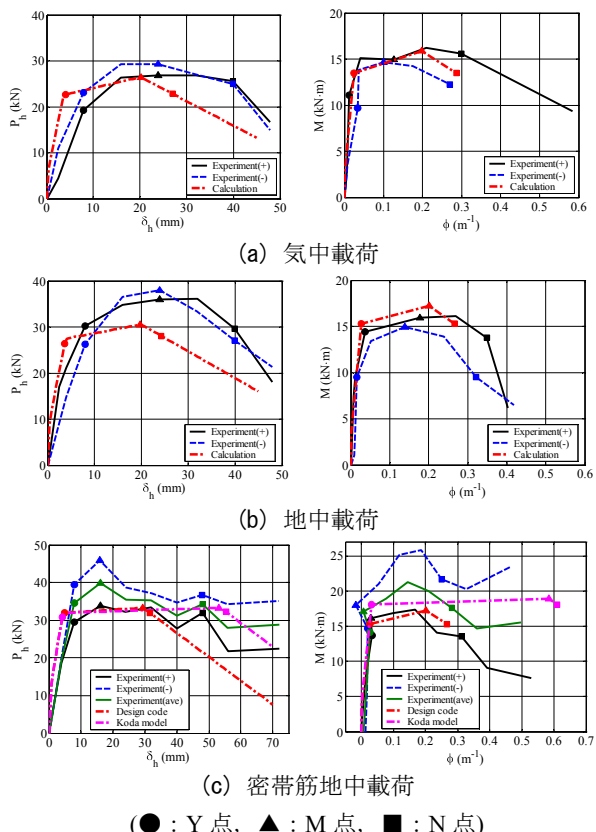


図-2 水平荷重—変位関係とモーメント—曲率関係

とくにM点での土圧は大きい。なお、密帯筋地中載荷では地中載荷に比べ土圧が大きい、M点までの両者の変形量が同等であることを考慮すると、杭体傾斜の初期不整に伴い土圧計の精度が悪化したために生じた差であると考えられる。

#### 4. 試験結果のまとめおよび考察

上記の試験結果より、以下のようにまとめることができる。

- 1) 載荷点での水平荷重—水平変位関係の骨格曲線では、気中載荷と地中載荷の間で耐力に差が生じ、現行の設計法では地中載荷時の耐力を過小評価する。よって、杭頭部周辺の地盤が耐力に及ぼす影響は大きいと考えられる。
- 2) 杭頭部のモーメント—曲率関係では、気中載荷、地中載荷の間で差は小さく、同一損傷レベルにおける軸方向鉄筋の軸方向ひずみの分布形状についても大きな差はないことを考慮すると、杭頭部周辺の地盤が杭体の変形性能に及ぼす影響は小さいと考えられる。このことは、RC 杭頭部の部材の変形性能の評価については気中載荷で求められたこれまでの研究成果を用いて良いことを意味する。
- 3) 密帯筋地中載荷時のモーメント—曲率関係では、靱性能が向上し、神田らのモデルによりその傾向を表現できる。
- 4) 現行の設計法は杭頭部の土圧（水平地盤抵抗の上限値）を過小評価する。

以上より、杭頭部においては、周辺地盤の有無はモーメント—曲率関係すなわち部材の変形性能に与える影響は小さいが、水平荷重—水平変位関係に及ぼす影響は大きかった。また、載荷時に杭頭部周辺に作用する土圧（水平地盤抵抗の上限値）を設計では過小に評価した。このことは、密帯筋地中載荷でも同様であり、他ケースとの違いは密帯筋の拘束効果による靱性能の向上が主であると考えられる。したがって、杭頭部で周辺地盤の影響を考慮する際、本試験の地盤特性の範囲内では、部材の変形性能に対する影響は小さいと考えられるが、水平荷重—水平変位関係に代表される耐力については、載荷に伴い部材変形が生じた際、設計値が大きくなるように検討が必要であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 例えば、今村年成、室野剛隆、永尾拓洋：地盤による拘束圧を考慮した RC 杭の変形性能の評価手法に関する検討，土木学会地震工学論文集，Vol.28, No.161, 2005.
- 2) 神田政幸、濱田吉貞、山東徹生、青木一二三：密帯鉄筋 RC 杭頭接合構造の変形性能のモデル化，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集，pp.961-962, 2005.
- 3) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，1999.
- 4) 阿部慶太，神田政幸：スウェイに着目した RC 杭頭接合部の変形性能の評価，土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集，pp.761-762, 2006.

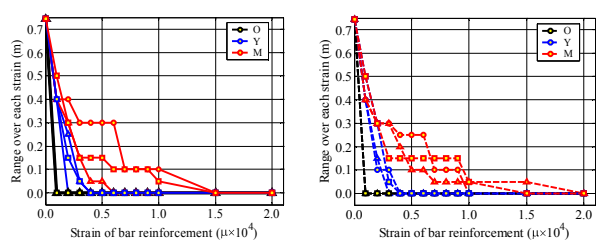


図-3 ひずみレベル毎の分布

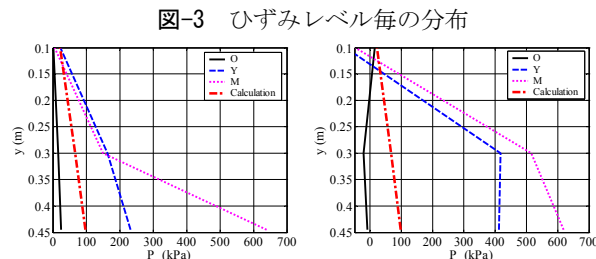


図-4 載荷時の土圧分布

ともに分布の違いは小さく、杭頭部周辺の地盤が軸方向鉄筋のひずみに与える影響は小さいと考えられる。なお、杭頭接合部から 1D 区間の帯鉄筋のひずみにおいても、杭頭部周辺の地盤が与える影響は明確に確認できなかった。

図-4 に実験から得られた載荷時の土圧を計算値（水平地盤抵抗の上限値）とともに示す。計算値に比べ実験値は大きく、