

変動軸力を考慮したPHC杭の曲げ挙動

山口大学大学院 学生員 ○山本将士

山口大学工学部 正会員 麻生稔彦、三浦房紀

1.はじめに

基礎構造物は、地震による被災状況の把握や被災した場合の速やかな対処が困難であるため、特に十分な耐震安全性に配慮しなければならない。一方、近年の道路橋の耐震設計は許容応力度法から、変形性能を考慮した限界状態設計法へと移行しつつある。限界状態設計法では部材に作用する力および部材の変形挙動をあらかじめ的確に把握する必要がある。そこで、本研究では、軸力変動を考慮したPHC杭の非線形曲げ特性を $M-\phi$ 関係により定義し、PHC杭の軸力変動下での非線形曲げ挙動を明らかにするとともにPHC杭の耐震設計における変動軸力の影響を検討することを目的とする。

2.PHC杭の曲げ実験

杭径600mmのB種PHC杭について軸力を変化させた曲げ破壊実験が実施されている。杭は長さ8m、壁厚90mm、PC鋼棒の径が10mm、本数19本であり軸力は-1000,0,1300,2600kNの4パターンで実施する。実験結果の一例として、載荷荷重と中央点のたわみの関係を図-1に示す。この図より、圧縮軸力を加えた場合には終局時の変位が小さくなっており終局荷重は大きくなっている。一方、引張軸力の場合には終局荷重が低下しており、PHC杭の変形挙動には軸力の影響が大きいことがわかる。

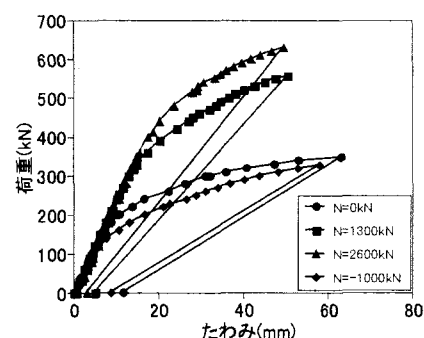


図-1 荷重～たわみ関係

3.曲げモーメント (M)～曲率(ϕ)関係の算定

PHC杭の非線形曲げ挙動を曲げモーメント(M)～曲率(ϕ)関係で定めるものとする。本研究では $M-\phi$ 関係をひび割れ、PC鋼棒降伏、および終局の各状態における曲げモーメント、曲率から定義されるトリリニアとする。 $M-\phi$ 関係を算定するにあたっては、PHC杭の断面を薄い板状の要素に分割し、断面内に生じる圧縮力と引張力のつりあいより中立軸位置を算定する。算定された中立軸位置に関する内力の曲げモーメントより、ひび割れモーメント、降伏モーメントおよび終局モーメントを求める。この際、コンクリートおよびPC鋼棒の応力～ひずみ関係が必要であり、コンクリートには図-2に示すモデルを用い、PC鋼棒は図-3に示すモデルとする。なお、算定にあたっては平面保持の法則を仮定し、さらに同一円周上に均等に配置されたPC鋼棒を等断面の薄肉鋼管と仮定した。

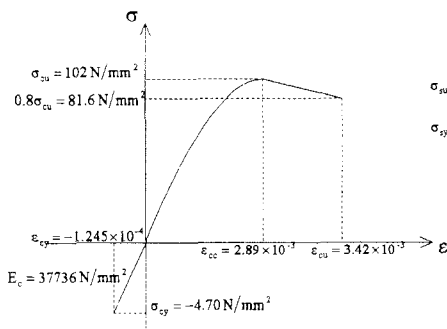


図-2 コンクリートの応力～ひずみ関係

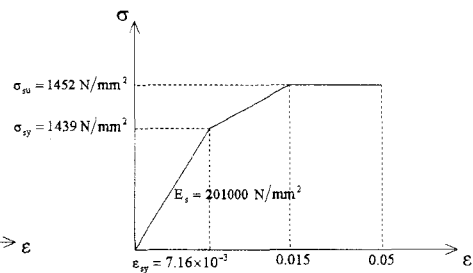


図-3 PC鋼棒の応力～ひずみ関係

図-2に示すモデルを用い、PC鋼棒は図-3に示すモデルとする。なお、算定にあたっては平面保持の法則を仮定し、さらに同一円周上に均等に配置されたPC鋼棒を等断面の薄肉鋼管と仮定した。

4.解析値と実験値の比較

上述の方法より実験に用いた杭の $M-\phi$ 関係を算定する。得られた結果を実験値と比較して図-4に示す。圧縮軸力 $N=1300$ kNを作用させた場合にはひび

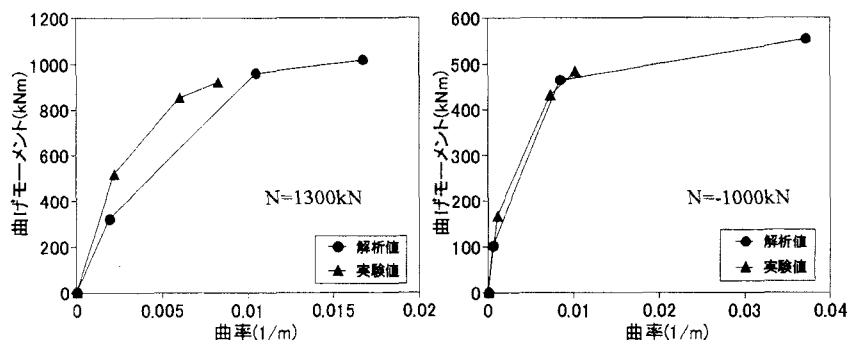


図-4 $M-\phi$ 関係

割れ以降に実験値と解析値に差がある。これは仮定した応力～ひずみ関係に起因するものと考えられる。特に、スパイラル筋の影響は無視できないと考えられるが現状ではその評価は困難である。一方、引張軸力が作用した場合には両者はほぼ一致している。これらの図より圧縮軸力の増加により杭の耐力が増加していることがわかる。

今回求めた $M-\phi$ 関係を用いて、実験と同様の曲げ解析を行った。解析より得られた杭中央部の荷重～変位関係を図-5に示す。この結果より、解析値と実験値は概ね一致しており設定した $M-\phi$ 関係はほぼ妥当であると考えられる。

5. 地震応答特性

本研究で得られた $M-\phi$ 関係を用いて変動軸力を考慮した地震応答解析を行う。解析では、図-6に示す橋脚～基礎～地盤モデルを用いる。モデルの地盤は図-7とし、2次元平面ひずみ要素でモデル化する。地盤の底面を固定境界とし、側方は地盤の十分な広がり方を考慮するために粘性境界とした。なお、地盤の非線形性にはH-Dモデルを用いた。杭の曲げ非線形性は、ひび割れと終局で定義するバイリニアとする。一方、軸力変動を考慮する場合には、図-8に示す

$M-N$ (軸力) 関係をあらかじめ設定する。入力する地震波はⅡ種地盤の標準地震波(JR鷹取)を図-7の基礎に引き戻した地震波とし、減衰は要素減衰(地盤20%、構造2%)とした。なお、解析にはTDAPⅢを用いた。これより得られた外側に位置する杭の杭頭下2.8mでの軸力波形を図-9に、杭頭下0.3mでの $M-\phi$ 履歴を図-10に示す。杭基礎の外側に位置する杭には大きな変動軸力が発生しており、橋梁下部構造の回転による変動軸力を受けていることがわかる。また、図-10より軸力変動を考慮しない場合にはこの部分は降伏に至らず弾性範囲である。しかし、軸力変動を考慮した場合には、非線形となり履歴ループを描いている。したがって、変動軸力の考慮の有無より杭の曲げ挙動が異なることが明らかとなり、軸力変動を考慮する必要があることが示される。

6. まとめ

種々の軸力下におけるPHC杭の非線形曲げ挙動を解析により再現できた。また、杭の耐震設計においては変動軸力を考慮する必要があることを示した。

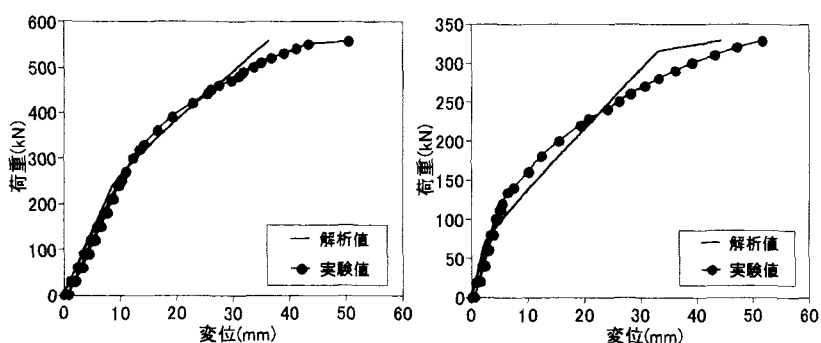


図-5 実験値との比較(荷重～変位関係)

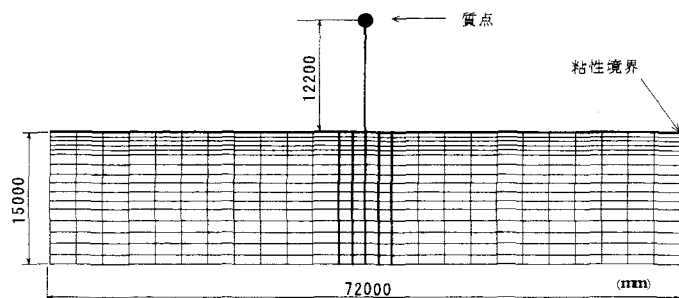


図-6 解析モデル

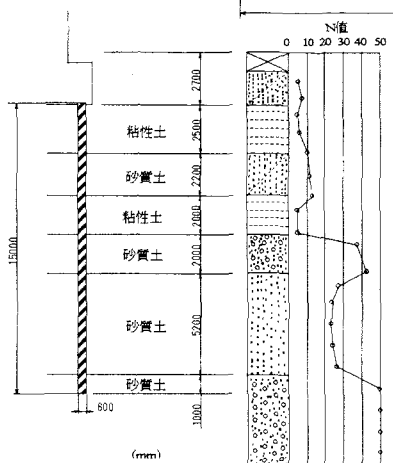


図-7 地盤柱状図

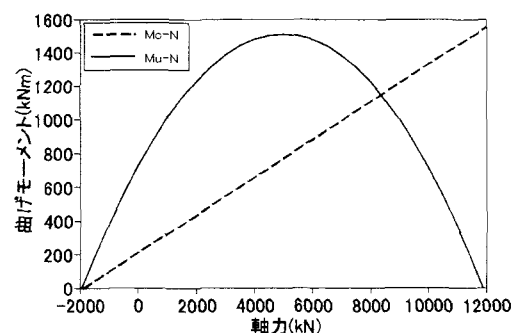


図-8 $M-N$ 関係

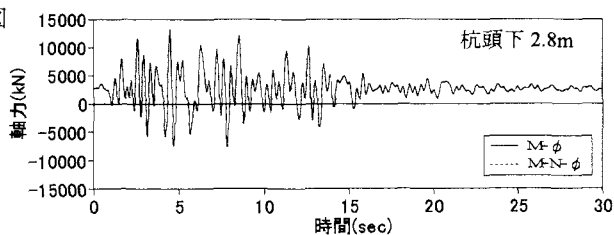


図-9 軸力波形

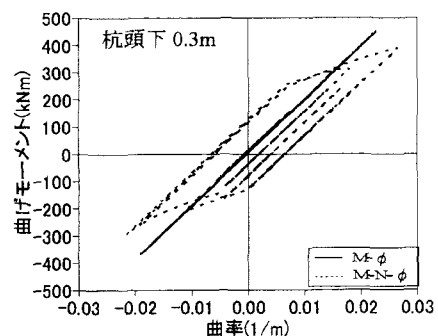


図-10 $M-\phi$ 履歴