

## III-B5 橋脚杭基礎のフーチング前面抵抗の影響に関する考察

中央復建コンサルタント  
正会員 松浦 靖治  
パシフィックコンサルタント  
正会員 山岡 一雅  
マ イ ダ  
正会員 高橋 正好  
鉄道総合技術研究所  
正会員 西山 誠治  
同 上  
正会員 西村 昭彦

## 1. はじめに

鉄道構造物基礎への限界状態設計法の導入に伴い、杭基礎においても、大変位領域における基礎の変形性能や終局耐力を定量的に評価する必要がある。本論文では、壁式橋脚形式の場所打ちコンクリート杭基礎において、地盤の非線形性を考慮した2次元骨組解析を行い、大変位領域における基礎の変形性能（荷重～変位曲線）や杭体の発生断面力等を定量的に評価した。次に、フーチングの前面抵抗の考慮が解析結果に及ぼす影響について、骨組解析やFEM解析により検討した。

## 2. 構造および土質条件

解析に用いた実杭基礎モデルは、図-1に示す壁式橋脚で、基礎は場所打ちコンクリート杭（ $\phi=1.0m$ 、 $L=14.0m$ ）である。地盤条件は、表-1に示すように上層部は $N=15$ の砂質土層、下層部および杭先端は $N=30$ の砂質土層である。

## 3. 解析方法および解析条件

解析は、杭体は線形、地盤は非線形性を考慮した2次元骨組解析（線路方向）により行った。地盤の非線形性については、 $P \sim \delta$ 関係をバイリニア型で設定し、地盤の抵抗力の上限値は、基礎標準<sup>1)</sup>に示す有効抵抗土圧力や最大周面支持力または基準先端支持力とした。また、地盤バネは、地震時バネとし、フーチングの前面抵抗については、極限水平支持力を上限とした。

## 4. 解析結果

## (1) 大変位領域における変形特性

図-2に、フーチング中心における荷重～変位曲線を示す。水平震度 $K_h$ を徐々に上げていくと、 $K_h=0.44$ で押込み杭の鉛直方向地盤バネが完全降伏するため、荷重～変位曲線に明確な折れ点が生じた。この点の震度を基礎構造物の降伏震度と定義する。

## (2) 前面抵抗の影響

フーチング前面の土の変形係数を $E_s=25kgf/cm^2$ 、または $125kgf/cm^2$ として評価し、その影響を考慮した骨組解析を行った。荷重～変位曲線を、図-2に示す。杭基礎の変形は小さくなり、基礎構造物の降伏震度は、どちらも $K_{fy}=0.48$ となった。

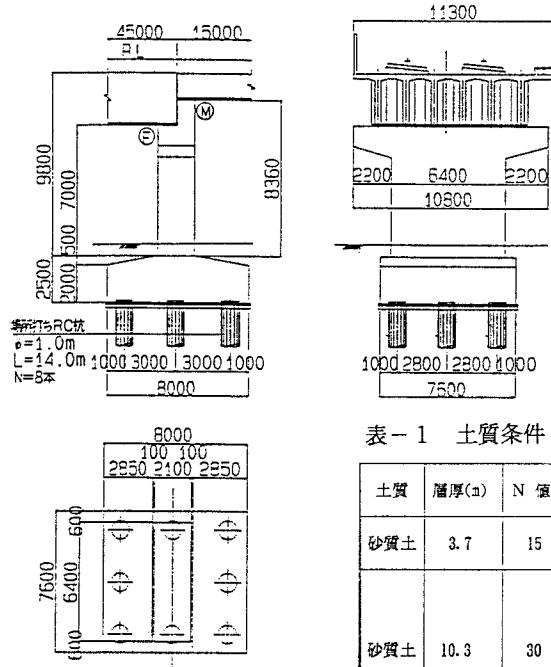


図-1 構造一般図

上部構造物の設計水平震度は、 $K_h = 0.32$ （限界状態設計法）であり、基礎構造物よりも上部構造物の方が降伏震度が低い。したがって、基礎構造物の設計は、 $K_h = 0.32$ で行えば良いことになる。そこで、 $K_h = 0.32$ 時の、杭体に発生する曲げモーメント分布を図-3に、せん断力分布を図-4に示す。また、杭頭発生断面力を表-2に示す。骨組解析による杭頭断面力は、前面抵抗の影響を考慮しない場合と比較すると、 $E_o = 25 \text{ kgf/cm}^2$ の場合で、曲げモーメントは、20%程度減少し、せん断力は、5~15%程度減少した。

前面抵抗の影響を調べるために、静的2次元FEM解析も行った。橋脚、杭は線形梁部材とし、フーチング奥行き長さで除した単位長さあたりの剛性で評価した。また、フーチングは線形ソリッド要素、地盤はバイリニアモデルの非線形ソリッド要素とした。解析は自重を作用させた後に、 $K_h = 0.32$ 相当の地震時水平力を橋脚頂部に作用させることにより行った。ここで、前面抵抗を考慮しない場合はフーチング側面の土要素を削除することにより簡易的に評価した。その結果、表-2に示すように、せん断力で、40%程度の減少となったが、曲げモーメントはあまり変化がなかった。

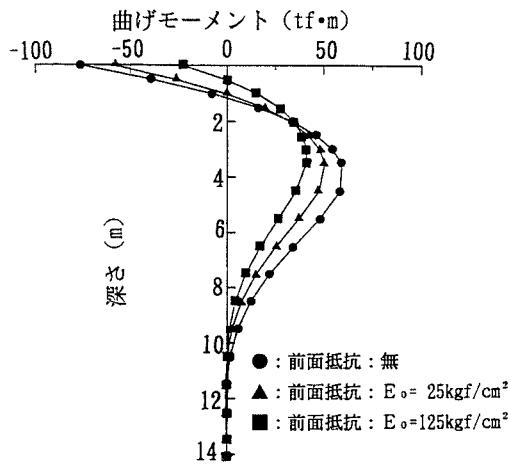


図-3 曲げモーメント分布：引抜き杭

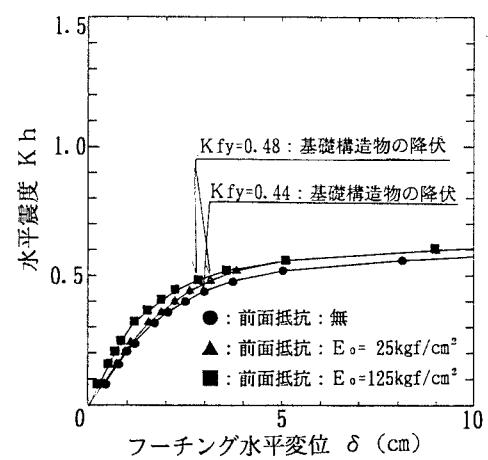


図-2 震度～変位曲線

表-2 断面力結果 (tf·m, tf)

解析方法	骨組解析			FEM解析		
	$E_o (\text{kgf/cm}^2)$	無	25	125	無	125
押込み杭 (杭頭)	M	89	72	37	117	113
	S	78	73	54	154	98
引抜き杭 (杭頭)	M	76	59	23	19	13
	S	74	64	44	56	23

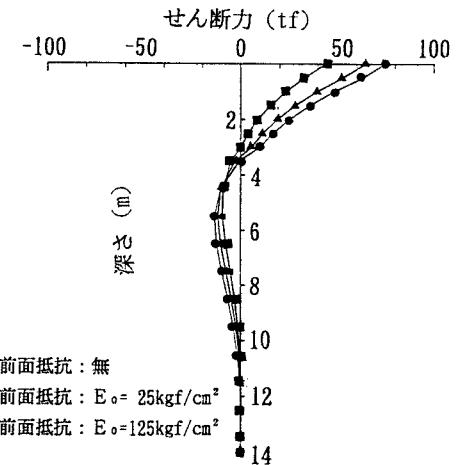


図-4 せん断力分布：引抜き杭

## 5. おわりに

兵庫県南部地震を受けて今後、設計震度の見直しが予想される中、大地震時においても合理的な設計を行うため、杭基礎の限界状態設計法の導入とともに、フーチング前面抵抗の考慮の方法、ならびにフーチング側面の地盤強度や非線形特性について検討していく必要があると考えられる。

なお、本論文は、基礎・抗土圧構造物設計標準に関する委員会杭基礎ワーキンググループでの活動を基に作成したとを付記する。

参考文献 1) 土木学会：国鉄建造物設計標準解説、基礎構造物、抗土圧構造物、昭和61年3月