

III-354

杭の水平抵抗挙動のモデル化に関する研究

阪神高速道路公団 正会員○今井康行，橋本良之

京都大学工学部 正会員 木村 亮

(株)建設技術研究所 正会員 伊藤恭平

1. まえがき

現在，構造物の設計手法を従来の許容応力度設計法から限界状態設計法に移行しようとする動きが活発である．限界状態設計法を杭基礎に適用するためには，設計で照査すべき限界状態を定めるとともに，その状態を精度よく表すことのできる安定計算モデルを確立する必要がある．特に杭の水平抵抗挙動を明確にする必要がある．

以上の背景のもとに，図-1に示すように，場所打ち杭・鋼管杭の終局水平抵抗の挙動把握を目的として，これまで実施された荷重試験の中から杭-地盤系がほぼ終局状態に達するまで荷重を行った事例を取り上げ，その破壊メカニズムを系統的に解析した．すなわち，地盤の非線形パラメータ α_k ， α_p を用いた簡易解析モデルにより杭の水平荷重試験より得られた荷重-変位曲線あるいは杭の変位分布・曲げモーメント分布等の同定を実施した．本報告はこれら一連の非線形パラメータを同定するためのモデル化について述べるものである．

2. 解析概要

2-1 地盤の非線形特性 地盤の非線形特性は，建設省土木研究所において提案されている図-2に示すようなバイリニア型モデルで表した． α_k ， α_p は割線地盤反力係数 k_n の倍率，クーロン受働土圧強度の倍率を表す．なお，ここでクーロン受働土圧強度 p_p は道示におけるケーソン基礎（常時）に相当する値と仮定した．

2-2 杭体の非線形特性 RC杭における非線形特性については，曲げ変形理論を適用して得られるM- ϕ 曲線を原点，コンクリートのひびわれ開始点，引張鉄筋の降伏開始点，断面の終局開始点の4点を結ぶ曲線に近似し，鋼管杭については原点，降伏開始点，全塑性モーメントの3点を結ぶ曲線に近似している．

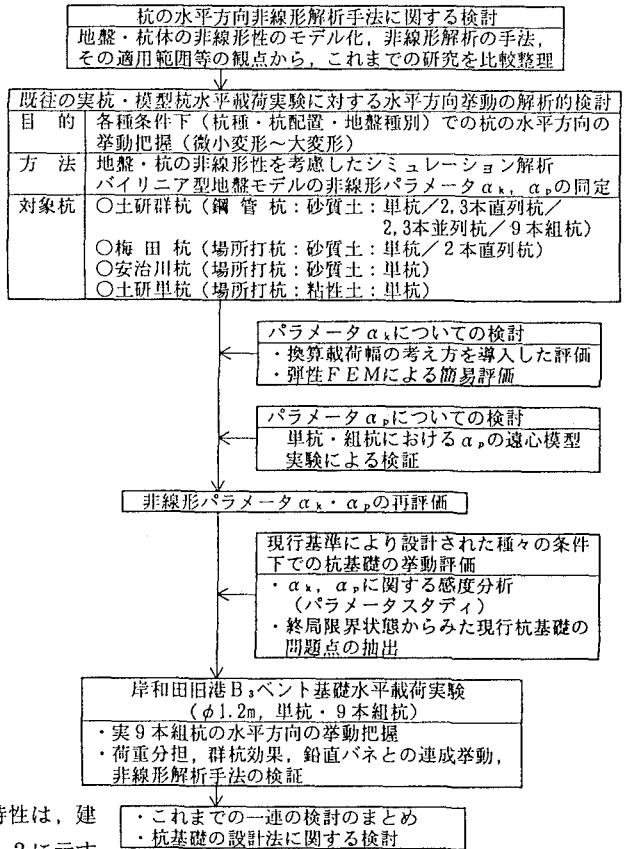


図-1 全体検討フロー

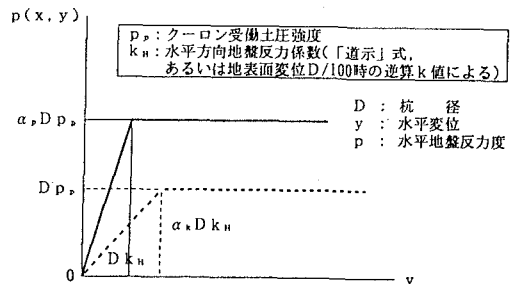


図-2 地盤のバイリニアモデル

2-3 解析手法 前述した地盤・杭体の非線形特性を、骨組系に適用し全体系としての非線形解析を実施する。解析手法を以下に略解する。

- (1) 地盤-杭体系を非線形バネ（地盤）支点上の非線形はり（杭体）としてモデル化する。
- (2) 非線形解析手法として荷重伝達法を適用する。これは線形解析を基本としているが、杭体の非線形性は内力の不釣り合を等価な外力として処理し、また、地盤バネの非線形性も同様に線形地盤反力と非線形地盤反力の差を外力として処理する手法である。

図-3に解析モデルを示す。ここで水平方向の地盤バネはバネ支点として離散化しそれぞれ前述した非線形性を与え、鉛直方向の地盤バネは「道示」に基づく線形バネを杭頭に与えた。

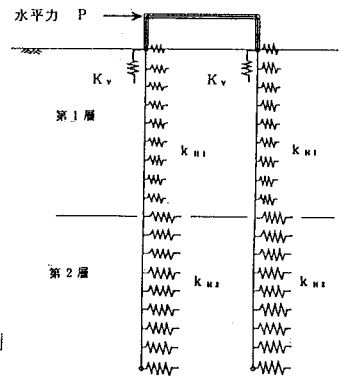


図-3 解析モデル

2-4 解析対象杭の概要 これまで実施された水平載荷実験の中から、

表-1に示すように杭-地盤系がほぼ終局状態まで載荷された事例を取り上げた。梅田杭は阪神高速道路公団・旧梅田入路の撤去工事に際してその橋脚基礎である場所打ち杭を対象とした実杭載荷試験であり¹⁾、土研群杭は建設省土木研究所で実施された鋼管杭の群杭模型載荷実験である²⁾また、土研単杭および安治川杭は以前に実施された実杭載荷実験である。変形特性へ影響の大きい第1層の k_H 値の評価法を表-2に示している。

表-1 検討対象杭の諸元

実験名	構造系	杭種	杭径	第1層
土研群杭	単杭/直列2本杭	鋼管杭	101.6 mm	砂質土層
梅田杭	単杭/直列2本杭	場所打杭	1,000 mm	砂質土層
安治川杭	単杭	場所打杭	2,000 mm	砂質土層
土研単杭	単杭	場所打杭	1,200 mm	粘性土層

表-2 第1層の k_H 値の評価

実験名	評価法	k_H [kgf/cm ²]
土研群杭	逆算 k 値(地表面 $\delta=D/100$)	1.01 $\Rightarrow$ 解析に使用
梅田杭	孔内水平載荷試験+「道示」 逆算 k 値(地表面 $\delta=D/100$)	1.58 $\Rightarrow$ 解析に使用 1.94
安治川杭	N値+「道示」 逆算 k 値(地表面 $\delta=D/100$)	0.34 $\Rightarrow$ 解析に使用 0.45
土研単杭	N値+「道示」 逆算 k 値(地表面 $\delta=D/100$)	0.92 $\Rightarrow$ 解析に使用 1.00

3. パラメータ解析結果

各載荷実験結果（杭頭の荷重-変位関係、杭体の変位分布、曲げモーメント分布、地盤反力度分布）に適合する地盤の非線形パラメータ α_k 、 α_p の解析結果を表-3に示し、以下に結果を要約する。

- (1) 単杭：表層が砂質土系の土研群杭・梅田杭・安治川杭においては α_p の値が2.0~3.0の範囲になった。これに対して表層が粘性土系である土研単杭では α_p が1.5と砂質土系よりも小さく、水平抵抗に關与する地盤に応じて α_p が異なる結果となった。また、 α_k に関しても α_p と同様に地盤に応じて異なる結果となった。

- (2) 直列杭：単杭で同定した α_k 、 α_p をそのまま適用し、後列杭の α_p のみを低減することにより、その挙動を精度よく再現することができた。

4. まとめ

本研究を通じて、単杭や直列2本組杭の水平抵抗挙動についての数値解析の評価法がある程度可能になったものと考えられる。しかしながら、今後実験結果との解析対比例を増やすとともに群杭効果・地盤種別に応じたパラメータの検討・パラメータの理論的検証などによりさらに杭の水平抵抗の挙動を明らかにすることが望まれる。阪神高速道路公団では平成5年度秋に、9本組杭からなる実杭基礎の水平載荷試験を計画しており、その成果はこれまでに例のない規模の実杭試験として貴重な資料を提供することが期待される。

参考文献

- 1) 木村・中林・浜田、伊藤：場所打ち杭の現場水平載荷実験、土木学会第46回年次学術講演概要集、1991年9月
- 2) 社森・岡原・木村・高木：群杭模型の大変形・水平載荷実験-地盤反力度～変位量特性について-、土木学会第46回年次学術講演概要集、1991年9月