

III-401 場所打ち杭の現場水平載荷実験

京都大学工学部 正会員 木村 亮
 阪神高速道路公団 正会員 中林正司, ○浜田信彦
 (株)建設技術研究所 正会員 伊藤恭平

1 まえがき 阪神高速道路梅田入路の撤去に際して、その橋脚基礎である $\phi 1000$ の場所打ち杭(施工後約25年経過)を対象に組杭としての水平方向変形特性、水平地盤抵抗を調査し、杭の弾性～終局時の挙動を明らかにすることを目的として実杭(組杭)の静的繰返し水平載荷実験を実施した。

2 実験概要 実験は、フーチング撤去後2本の杭頭を新設のコンクリートで完全剛結して組杭(直列杭)を構成し、油圧式ジャッキ(500tf 1台)にて1方向多サイクル載荷を行った(図-1, 表-1)。最大荷重は別途実施の単杭の試験結果を参考に300tfを目標として、杭体あるいは地盤の破壊までとした。

3 杭の水平挙動 水平載荷試験における荷重載荷点の荷重-変位関係を図-2に示す。これより、今回の試験は通常設計レベルで考える基準変位量(基礎幅の1%:10mm)をはるかに超える試験であり、杭-地盤系の非線形性、塑性化の進行の性状を示しているのがわかる。

杭本体に埋め込んだ多段式傾斜計のたわみ角から求めた杭体の変形性状を図-3に示す。これより、杭の不動点が荷重レベルの増加に伴って深くなること、前列杭の不動点が後列杭に比べて深いことがわかる。

4 群杭効率 ここでは、群杭効率を、 $e = (\text{群杭の載荷重}) / (\text{単杭の載荷重} \times \text{群杭の本数})$ として求めた。また、杭頭固定度を調べるため、単杭と組杭の骨組モデルにおいて同一地盤条件で単位荷重を載荷してその変位の比を求め、 α (杭頭固定条件による補正係数)とした。

群杭効率は変位レベルが進行するに伴って、大きな値となっており、地盤の k 値が小さくなると群杭効率が大きくなり杭が単杭的に挙動することがわかる(図-4)。

5 杭～地盤系の耐荷・変形特性 ここでは実杭の挙動を合理的に説明するため、地盤ならびに杭本体の非線形特性を考慮した解析を行う。地盤の各層の水平方向の非線形特性をここでは慣用的な $k(y) = k_0 \cdot y^{-1/2}$ (ここに、 k_0 : 基準変位量 $y_0 = 1\text{cm}$ に対応する横方向地盤反力係数、 y : 任意位置での杭の水平変位量、 $k(y)$: 変位 y に対応する横方向地盤反力係数) で表現する。また、杭体の非線形特性を、軸方向力 N と曲げモーメント M を受ける円形RC断面に対して曲げ変形理論を適用し、曲げモーメント (M) - 曲率 (ϕ) 曲線をコンクリートのひびわれ開始時 (C)、引張側主鉄筋降伏開始時 (Y)、断面の終局時 (U) の3点を結ぶトリリニア曲線で近似する。解析は、地盤-杭系を非線形バネ (= 地盤) 支点上の非線形はり (= 杭体) としてモデル化し、荷重伝達法 (stress transfer method) により非線形解析を行う。

組杭の場合、水平荷重の作用により前列杭・後列杭にはそれぞれ圧縮・引張軸方向力が発生するため、杭体断面の $M-\phi$ 関係は軸方向力の大きさに応じて変化することになる。試験時最大荷重に近い $P=180\text{tf}$ の場合を対象にして、杭に発生する軸方向力 ($N = \pm 120\text{tf}$) に応じた $M-\phi$ 関係を用いて解析を行った結果を図-5に示す。変位分布図によると前列杭の第1不動点は後列杭よりも深くなっており、実験結果と符合している。したがって前列杭と後列杭の挙動の差異は、各杭に生じる正負の軸方向力による杭体の非線形性に起因していることが推察できる。また、曲げモーメント分布図によると前列杭の方がより大きな曲げモー

メントを示しており、軸方向圧縮力により相対的に剛性と断面耐力の増大した前列杭が、軸方向引張力により剛性低下した後列杭よりも組杭系全体の水平抵抗に寄与していると説明することができる。

6 あとがき 本試験では、荷重がホールドできなくなるような極限状態までの荷重を行い、地盤-杭系の終局状態に至るまでの挙動を捉えることができた。また、杭体と地盤の非線形性と軸力を考慮した解析により、組杭の挙動を再現することができた。本研究は(財)阪神高速道路管理技術センターの「杭の水平抵抗に関する調査研究会」での研究成果をまとめたものであり、ここに御指導いただいた調査研究会委員の方々に深く感謝いたします。

表-1 場所打ち杭の諸元

杭 径	φ1000
コンクリート強度	$\sigma_{c1}=240 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリートの弾性係数	$E_c=2.7 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
配 筋	D22-24本, D19-24本
鉄筋強度 (規格 S54S)	
許容応力度	$\sigma_{sa}=1600 \text{ kgf/cm}^2$
許容軸力度	$\sigma_{sy}=2800 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋かぶり	10cm (1段配置)

杭 状 況		N 値	
深 度 (m)	土 質	杭 被 覆 面	10 20 30 40 50
0	吹上り	吹上り	
5	シルト	シルト	
10	シルト	シルト	
15	シルト	シルト	
20	シルト	シルト	
25	シルト	シルト	
30	シルト	シルト	
35	シルト	シルト	
40	シルト	シルト	
45	シルト	シルト	
50	シルト	シルト	

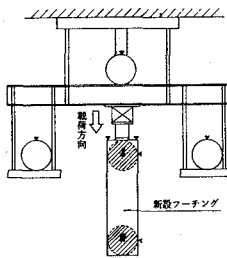


図-1 荷重方法

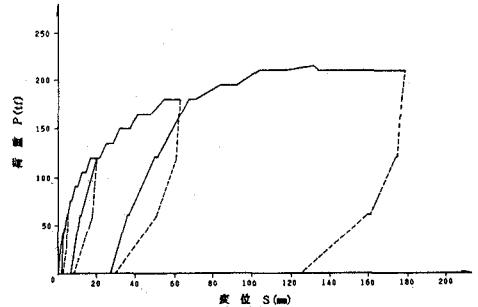


図-2 荷重～変位関係

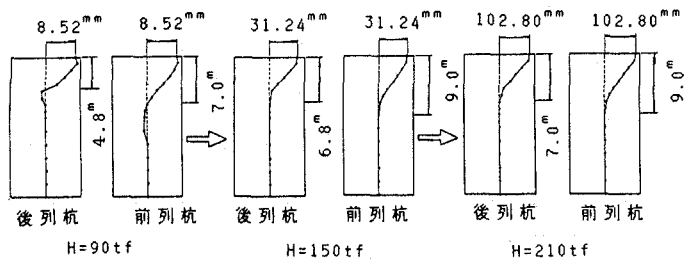


図-3 杭体の変形状

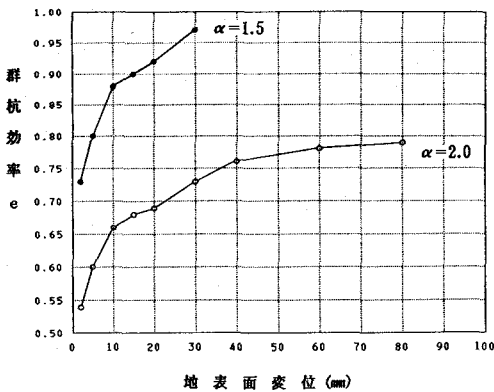


図-4 群杭効率はのひずみ依存性

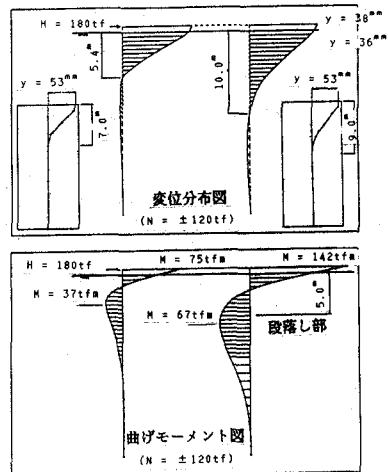


図-5 杭の耐荷・変形特性