

I-521 地震時の群杭挙動

京都大学防災研究所 土岐憲三 佐藤忠信 清野純史 N.Kishi G.
 俣奥村組筑波研究所 耐震研究室 ○吉川正昭 荒野政信

1. はじめに

杭支持構造物の耐震設計が、臨海部の埋立て地盤を含む深い沖積地盤に大型構造物群の建設が計画されているため、注目されている。杭支持構造物の耐震性の評価には、地盤性状に関する土質工学的考察、杭材の構造性能、施工法ならびに支持力性状などを含めた状態で、入力地震動や地震応答解析など耐震性に関する問題を考察する必要がある。特に群杭の水平抵抗に関しては、単杭の示す変位や応力の重ねあわせで評価するのは十分でないにもかかわらず、杭中心間隔を $2.5d$ (d :杭直径)以上ならば群杭は単杭の集合体として取り扱う設計法が多い。群杭と地盤の動的相互作用を定量的に評価できるまでに至っていないためである。そこで、複素剛性が振動数に依存することができるハイブリット実験¹⁾を行い、並進と動揺時の復元力特性曲線を求め、初期剛性比と割線剛性比による群杭効率を比較検討した。

2. 実験方法と目的

数学的に解明が困難な、あるいはモデル化が非常に複雑な地盤-構造物系の非線形な復元力特性を実験結果より検出する。これをオンラインで計算機内に送り込んで全体系の数値解析を行う非線形動的相互作用に関するハイブリット実験手法 (HENESSI)²⁾を用いた。1, 2, 3, 9本の鋼管杭(直径355.6mm, 肉厚9.5mm, 杭間隔889mm)³⁾に3種類の地震波(タフト, 八戸, 茨城観測波)を入力した。杭先端は砂礫地盤に約50cm貫入している。2機のアクチュエータを用いて、並進と動揺のモードを容易に分離できるようにした。地震波の最大加速度を180ガルとし、並進時の最大応答水平変位と水平反力、動揺時の最大モーメントと回転角を求め、各種杭の比較をした。並進と動揺時の復元力特性曲線から、初期接線剛性と割線剛性を求め、これらの剛性比から、群杭効率を求め、群杭効果を評価する手法の基礎資料とする。

3. 実験結果と考察

3種類の地震波入力(最大加速度180ガル)に対する4種類の杭基礎(1, 2, 3, 9本の重心位置(ばね取付位置でも同じ)の最大モーメントをFig.1に示す。振動系が異なるため、入力地震波によって、最大値が異なることがわかる。共振実験による1, 2, 3, 9本杭の卓越振動数はそれぞれ2.5, 4.5, 6.0, 6.2Hzである。復元力特性曲線を用いて、各種杭基礎の剛性を求める。代表例として、2本杭と3本杭に茨城県南西地震(1987年7月, 5Hz近傍に卓越周期を有する)を入力したときの復元力特性をFig.2に示す。縦軸に水平反力又は抵抗モーメント, 横軸に変位又は回転角を示す。2, 3本杭の剛性の低下率($\{\text{初期接線剛性}-\text{割線剛性}\}/\text{初期接線剛性}$)を比較すると、2本杭より3本杭の方が剛性の低下が小さい。同一入力に対し、2本杭の方が3本杭よりも非線形挙動に入りやすいことがわかる。各種杭の並進と動揺の剛性を復元力特性曲線の勾配から求め、Fig.3, 4に示す。剛性の上限と下限値はそれぞれ初期接線剛性と平均の割線剛性に対応する。次に、群杭の剛性 K_g を、単杭の剛性 K_s を n (本数)倍して無次元化した $e = K_g / (n K_s)$ でFig.5, 6に示す。 e (動的群杭効率)は K_g , K_s がそれぞれ最大, 最小値を有するため、4通りの値, 割線剛性の比(min/min), 初期接線剛性の比(max/max), 最大値(max/min), 最小値(min/max)を示す。4通りのうち、単杭と群杭が同一条件のもとで無次元化されるのは割線剛性比と初期接線剛性比である。2, 3, 9本のそれぞれが群杭と同じ機能しか有しない値(群杭下限剛性値)はそれぞれ0.5, 0.33, 0.11となる。Fig.3, 4より、杭本数の増加により、動揺ばねは並進ばねに比べて3倍程度増える。並進と動揺のいずれかが卓越する場合、本数が増加すると動揺よりも並進運動が卓越する。Fig.5, 6より、並進の群杭効率は杭本数が増えても、動揺の群杭効率が增加する程、増加しない。割線剛性比による e は1本杭の剛性を n 倍した剛性より大きくなる。これは杭間隔を $2.5d$ としたことにより、群杭としての機能を発揮できることを示している。初期剛性比による並進の e は1以下、動揺の e は1以上を示し、並進の e が本数が増えても増加しないのに対し、動揺の e は杭

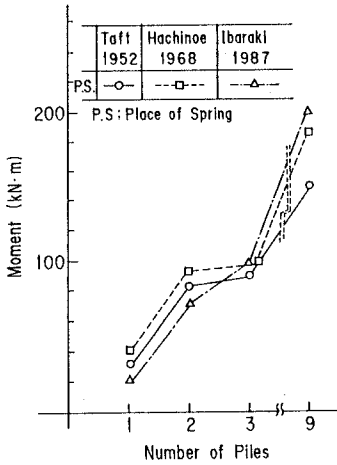


Fig. 1 Maximum Moment (180 cm/s²)

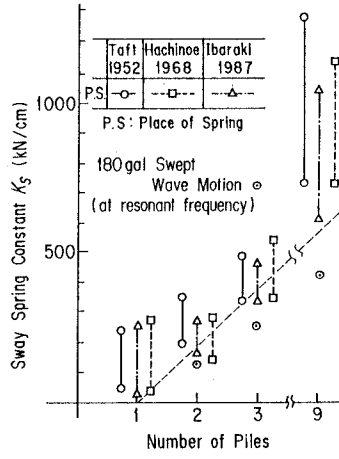


Fig. 3 Sway Spring Constant K_S

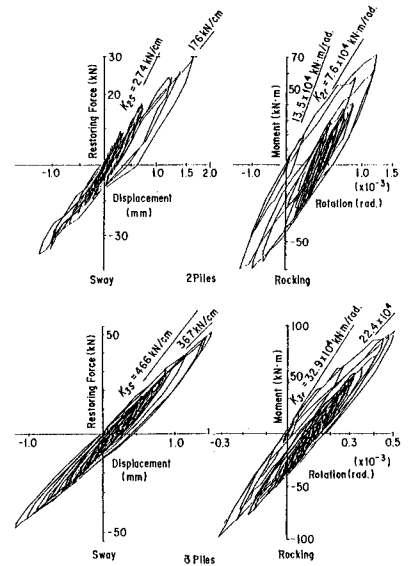


Fig. 2 Restoring Force Characteristics (SW part of Ibaraki, 180 cm/s²)

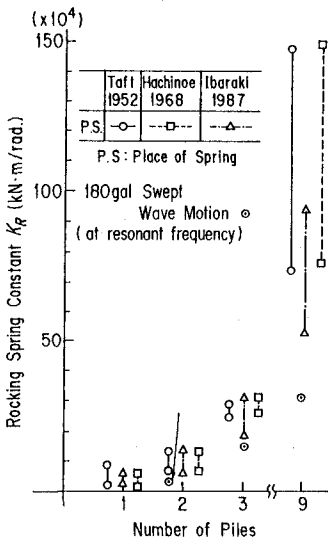


Fig. 4 Rocking Spring Constant K_R

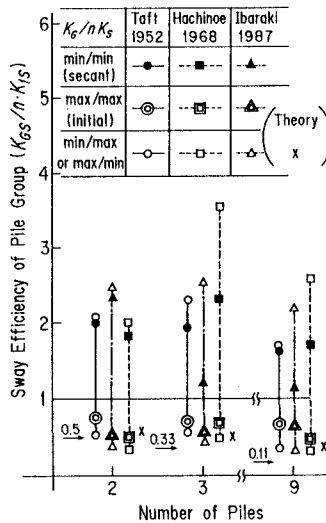


Fig. 5 Sway Efficiency of Pile Group

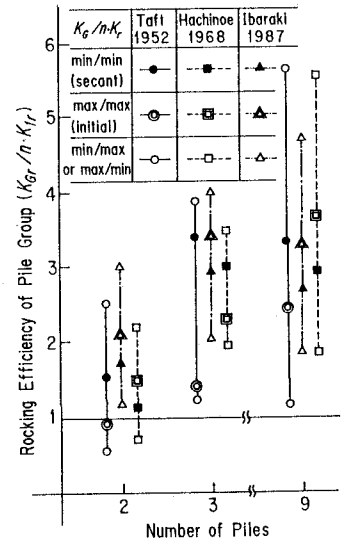


Fig. 6 Rocking Efficiency of Pile Group

本数に比例して増加する。このことは杭本数が増えると、動揺ばねが並進ばねに比べて3倍程度増加することと同義で、卓越する運動が動揺から並進へと変化するためである。次に、群杭効率の定式化を弾性近似理論⁴⁾を用いて行い、初期接線剛性と比較する。Fig. 5に解析結果を示すと、両者がほぼ近似することがわかる。

参考文献

- 1) kenzo TOKI etc, 'Hybrid Experiments on Non-linear Earthquake-induced Soil-Structure Interaction EESD(1990,1)
- 2) 土岐憲三他: 非線形動的相互作用を考慮したハイブリット実験手法の開発, 地盤と土構造物の地震時挙動シンポ
- 3) 吉川正昭他: 並進と動揺時の杭のひずみ, 第26回土質工学研究発表会(1991,7)
- 4) 吉川正昭他: 地上式タンクの地震応答解析・主として相互ばねの評価について, 第13回土質研究発表会