

液状化前後の地盤における組杭の交番載荷試験

西松建設技術研究所 正会員 ○今村眞一郎 萩原敏行 宮崎啓一

中央大学理工学部 正会員 藤井齊昭 渡辺佑太 室伏弘久

1. はじめに

杭基礎の耐震性評価に結びつけることを目指し、筆者ら¹⁾は3年前から地震時における杭の挙動を遠心模型実験で調べてきた。研究当初は、模型地盤に杭基礎と上部構造物に相当する重量マスを取り付けたオーソドックスな模型で振動実験を行った。しかし、これでは実験結果に及ぼす要因があまりにも多いことから、昨年より地盤の地震時応答と杭の水平抵抗の問題を分けて取り扱うことを試みてきた。すなわち、杭基礎を含む模型砂地盤に振動を与えて、先ずは地盤内の過剰水圧を液化化近くまで高めておく。そして有効応力が十分低下した振動直後の地盤で、杭基礎への水平交番载荷を実施してきた。その結果、地盤内の有効応力がゼロに近い状態であっても、振動前に近い地盤反力が期待できること、その場合には群杭効率の見られないことが、杭の曲げモーメント分布から明らかになった。

2. 振動実験

振動実験、ならびにその後の交番載荷試験は何れも 40G の遠心力場で行った。実験に用いたせん断土槽と模型、ならびに計測センサーの配置を図-1 に示す。模型地盤は、試料に珪砂 8 号($D_{50} = 0.07\text{mm}$, $e_{\max} = 1.333$, $e_{\min} = 0.703$, $k = 2.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$)を用いて作製した、深さ 280mm、相対密度 60%の飽和砂地盤である。なお、杭仕様などの実験内容は既報¹⁾を参照されたい。この模型に与えた振動波形は規則波のほかに、地震波形として宮城沖地震と阪神淡路地震を入力した。規則波としては周波数 3Hz、加速度 147Gal の波を 50 波与えた。これは宮城沖地震を念頭にして、これと等価な規則波に換算したものである。この入力波によって発生した地盤内の間隙水圧を時刻歴で図-2 に示す。振動開始とともに上昇した間隙水圧は 18 波目ほどで水圧比が $r=1$ となり、その状態が加振終了後も 2.5sec (実物では 100sec) 続いている。次に、上記の規則波を 20 波与えたときの間隙水圧を時刻歴で図-3 に示す。図-2 と比較して間隙水圧のピーク値はほぼ同じであるが、20 波では加振終了と同時に水圧が減少をはじめている。この図では水圧の減少過程で曲線が大きく乱れているのは、後述する杭の交番載荷試験の影響によるものである。

3. 交番載荷試驗

図-1 に示す杭は、実物で杭長 10.8m、杭外径 500mm の鋼管杭に相当するもので、この杭を中心間隔 1.2m で 4 本組合せ、杭の上下端はフーチングと土槽底面にしっかり固定された構造になっている。さて、模型地盤に振動を与えているときは、振動台とは独立した不動点にフーチングを固定し、振動が終了すると同時にトリガー信号を得て、杭頭フーチングに水平方向の交番載荷を実施する仕組みになっている。交番載荷は杭頭でのたわみが杭径の 50% になるように、

キーワード 組杭, 水平支持力, 液状化, 遠心模型実験, 動的相互

連絡先 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4054 西松建設愛川衝撃振動研究所 Tel 046-285-7101 Fax 046-285-7104

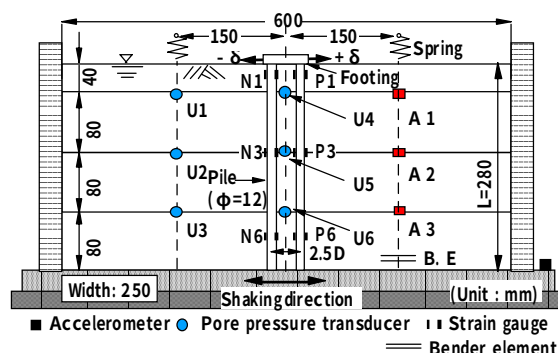


図-1 実験概要およびセンサー配置図

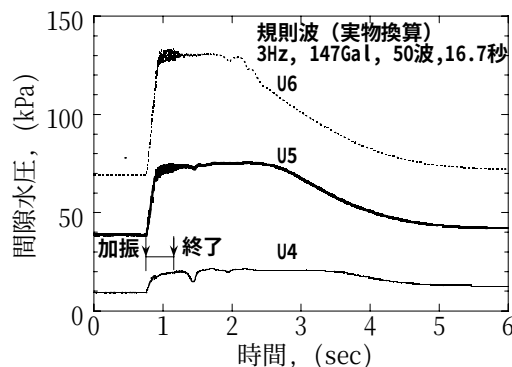


図-2 間隙水圧の時刻歴（規則波 50 波）

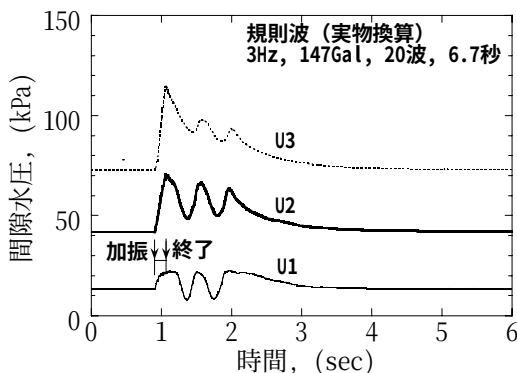


図-3 間隙水圧の時刻歴（規則波 20 波）

ひずみ制御でおこなった。先の規則波を 50 波与えた直後の地盤でおこなった、交番载荷試験による杭の曲げモーメント分布と、この曲げモーメント分布曲線から求めた杭のたわみ分布を **図-4(a), (b)** にそれぞれ示す。

また、規則波を 20 波与えた直後における交番载荷試験による杭の曲げモーメント分布、せん断力分布、地盤反力分布を **図-5(a), (b), (c)** に示す。ここで図中の P 杭、N 杭とは、**図-1** に示す杭列の右側と左側を示し、a, b は载荷 1 サイクル目の最大、最小荷重時を示す。またせん断力やたわみ分布などは、曲げモーメント値を 5 次曲線で近似し、その曲線に対し微分積分を繰り返して求めた。これらの **図-4** と **図-5** の曲げモーメント分布で明らかのように、規則波 50 波の地盤

では杭の全長にわたって地盤反力が全く作用していない片持ち梁の分布をしているのに対し、規則波 20 波の **図-5** では、確かな地盤反力が作用している曲げモーメント分布の形をとっている。地盤内の有効応力分布だけを取り上げてみると、20 波加振も 50 波に近いものであったが、杭の水平抵抗から見ると両者には明らかな違いがある。ところで、規則波とは別に行った宮城沖地震の比較において、地震波入力直後の地盤でおこなった交番载荷試験は、先の 50 波入力の場合と同じであった。しかし、宮城沖地震で最大加速度が表れているのは地震の比較的始めの方で、少なくともこの時点は規則波を 20 波与えた直後、もしくはそれ以上の地盤反力が期待できそうな状態である。このことは地盤内の応答加速度の伝達速度から捉えた、せん断波速度 V_s からも窺い知ることができた。

4. まとめ

この度の実験で得られた結論を要約すると以下の通りであった。

- 1) 不規則波をそれと等価な規則波に置き換えようとするとき、その妥当性を調べるには加振終了後にどれだけ水圧比 1 を保持できたかが目安の一つになる。
- 2) 実地震波形で大きな加速度が作用するのは比較的地震の始めで、この時点で水圧比が 1 に近くてもまだ地盤反力が期待できる。むしろ地震直後の方が、わずかな水平外力でも危険となる。
- 3) 加振によって地盤内の有効応力が低下している段階では、杭の地盤反力に対する群杭効率は認められない。

【参考文献】1) 今村眞一郎, 萩原敏行, 藤井齊昭: 地盤内の間隙水圧レベルが杭の水平抵抗に与える影響, 土木学会第 57 回年次学術講演会論文概要集, III-631, pp.1261-1262, 2002.

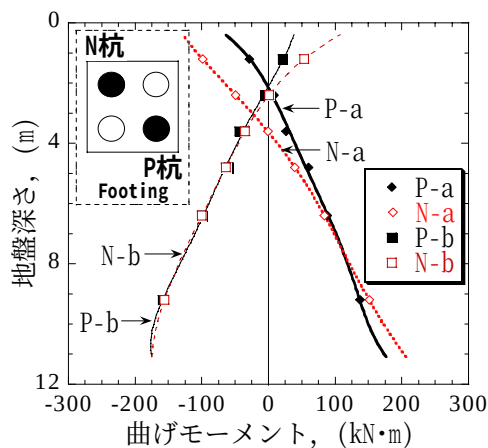


図-4(a) 曲げモーメント分布

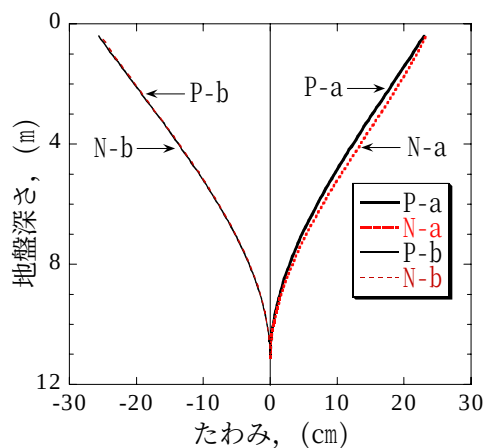


図-4(b) 杭のたわみ分布

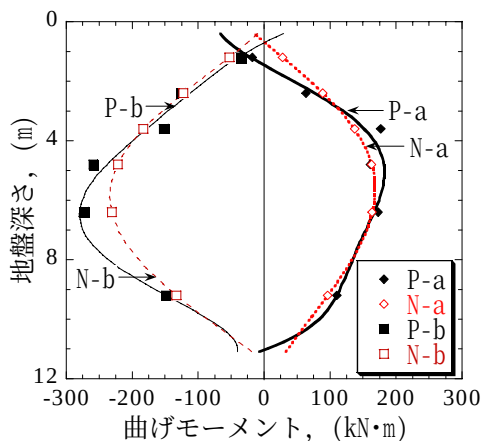


図-5(a) 曲げモーメント分布

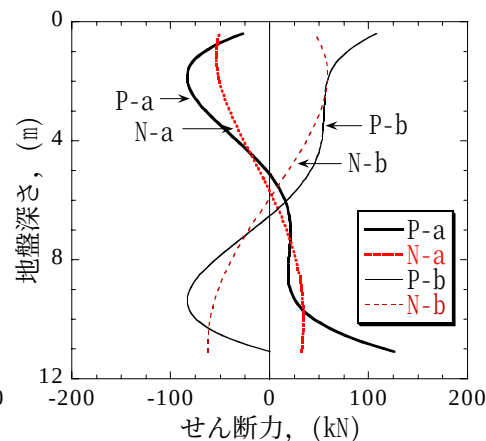


図-5(b) せん断力分布

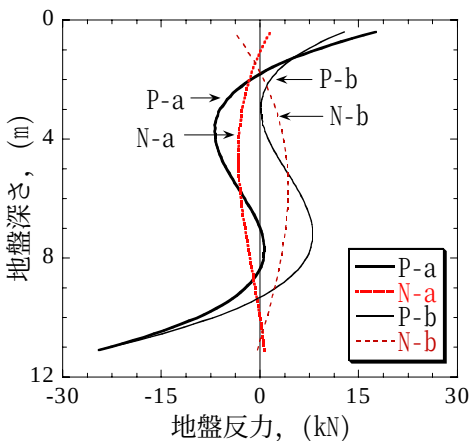


図-5(c) 地盤反力分布