

ジャケット式基礎の地震時挙動に関する研究 (その1) —単杭の動的遠心模型実験—

大川 賢紀¹・亀井 宏之²・張 鋒³・木村 亮⁴

¹正会員 工修 三菱重工業 (株) 高砂研究所 (〒676-8686 高砂市荒井町新浜2-1-1)

²正会員 工修 三菱重工業 (株) 神戸造船所 (〒652-8585 神戸市兵庫区和田崎超1-1-1)

³正会員 工博 岐阜大学工学部助教授 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

⁴正会員 工博 京都大学大学院助教授 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

ジャケット式基礎は、鋼管をトラス状に組み立てたジャケットを海底面に鋼管杭で固定するものであり、トップヘビーな従来基礎に対し、杭基礎の負担を軽減できる構造である。ジャケット式基礎が軟弱地盤に設置される場合には、地震時の地盤変位が杭に与える影響と上部構造の慣性力の影響を評価する必要がある。これらを地盤・杭基礎・上部構造一体系で適切に考慮した耐震構造の検討が要求される。本報告では、まず、動的遠心模型実験手法を利用し、地盤と杭の動的相互作用現象を把握することを目的として、地盤の密度をパラメータとした単杭の加振実験を行い、上部構造の応答特性や杭体の変形モードなどを調べた。

Key Words : Steel pile foundation, dynamic centrifuge model test, dynamic interaction

1. まえがき

鋼管をトラス状に組み立てたジャケット構造を海底面に鋼管杭で固定するジャケット式基礎は、トップヘビーな従来基礎に対し、杭基礎の負担を軽減でき、表層に軟弱地盤がある場合でも地盤改良を不要とするため、施工コスト、工期の両面でメリットが大きい¹⁾。著者らは今までに斜杭を含む群杭基礎の静的支持力特性を詳細に調査してきた^{2)~6)}。杭基礎が軟弱地盤に設置される場合には、地震時の地盤変位と上部構造の慣性力の影響を考慮した杭の設計が必要であり⁷⁾、これらを3次元で動的に考慮した耐震構造の検討が要求される。本報告では、まず、地盤と杭の動的相互作用現象の把握を目的として、3種類の異なる地盤条件で単杭の動的遠心模型実験を行い、上部構造の応答特性や杭体の変形モードなどを調べた。

2. 実験方法

動的遠心模型実験で使用した供試体を図-1に示す。せん断土槽に模型杭を固定した後、乾燥状態の豊浦標準砂を用いて気中落下にて地盤を作成した。模型地盤の寸法は、高さ369mm、幅510mm、奥行き330mmである。模型杭は外径20mm×板厚1mmのアルミパイプを使用し、上部構造を模擬するため、杭頭部には45mm×20mmのSUSのブロックを固定した。表-1に杭および上部構造の諸元を示す。計測項目

は図-1の杭の曲げ歪みBM1~BM5と、上部構造加速度SA1および地盤内加速度GA1~GA5とした。実験では、供試体を有効半径2.5m、最大塔載容量80g・tonの遠心载荷装置に搭載し、遠心加速度45G下で加振した。入力地震波は図-2に示す東神戸大橋周辺地盤の実観測波を調整して使用した。なお、実験ケースは表-2に示すとおりとし、地盤条件は相対密度をパラメータとして3種類設定した。

表-1 杭および上部構造の諸元

項目	模 型	プロトタイプ
杭径	20mm	900mm
杭長	386mm	17.37m
杭曲げ剛性	191.2N・m ²	7.842×10 ⁸ N・m ²
上部構造質量	273g	25ton

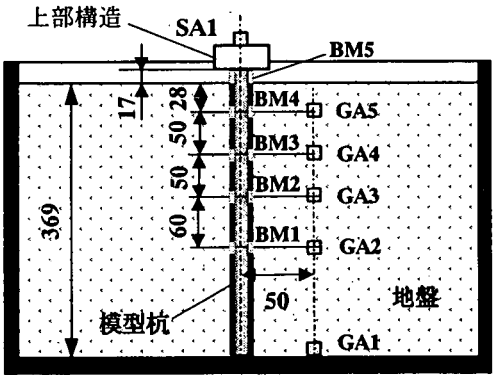


図-1 動的遠心模型実験の供試体

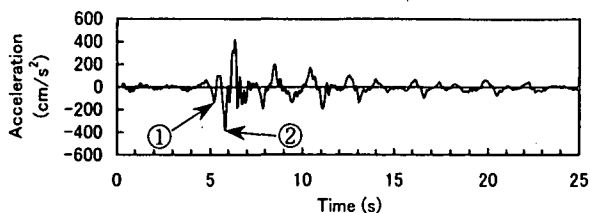


図-2 入力地震波

表-2 実験ケース

地盤	Ground1	Ground2	Ground3
相対密度	全層厚 73%	全層厚 30%	上層 220mm : 30% 下層 149mm : 73%
間隙比	0.68	0.85	0.85/0.68
密度	1.58g/cm³	1.43g/cm³	1.43/1.58g/cm³

3. 地盤の応答特性

Ground1 と Ground2 の地盤加速度の時刻歴を図-3に、地盤の加速度応答スペクトルを図-4に示す。時刻歴の応答は相対密度が大きい Ground1 の方が大きい。応答スペクトルより、Ground1 では固有周期1s 付近の応答が増幅されるのに対し、Ground2 は全固有周期にわたってほとんど増幅されない。図-2の①、②のピークが伝播する状況を図-5に示す。相対密度の大きい地盤は小さい地盤よりも速く伝播すること、初期の入力①より、その後のレベルの高い入力②が作用した時の方が伝播が遅いことを把握し、本実験で相対密度差による地盤の動的挙動をシミュレートできることを確認した。

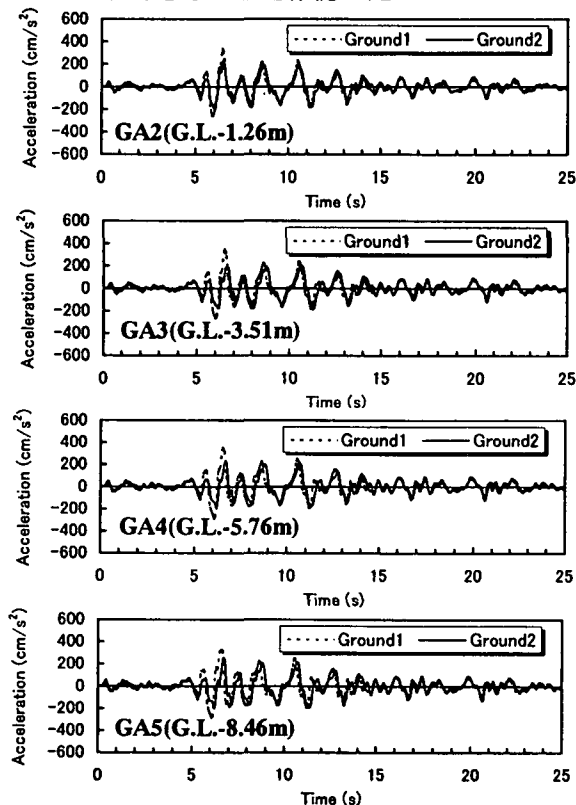


図-3 地盤加速度の時刻歴

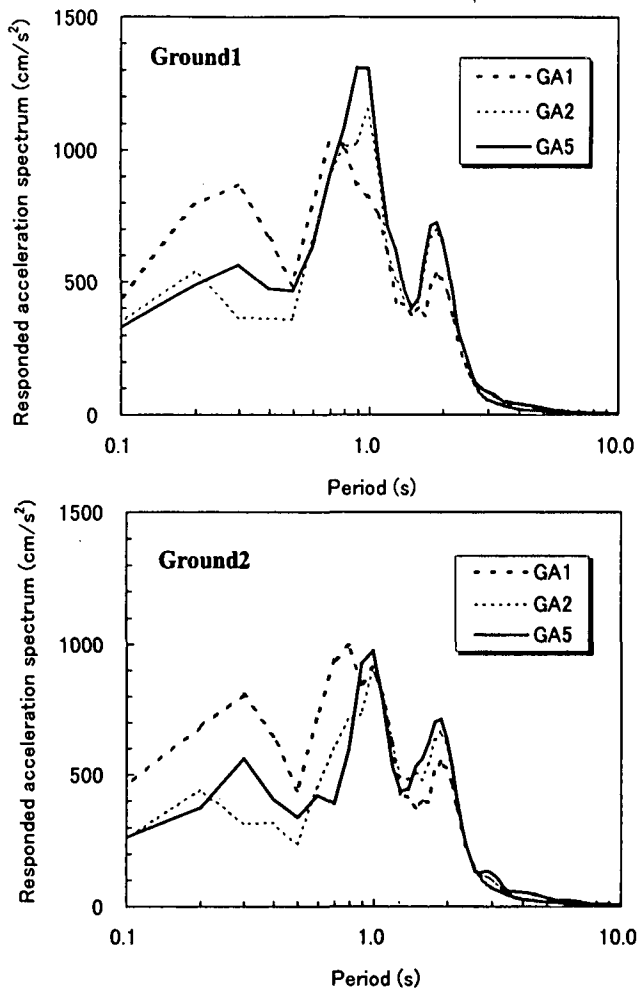


図-4 地盤の加速度応答スペクトル

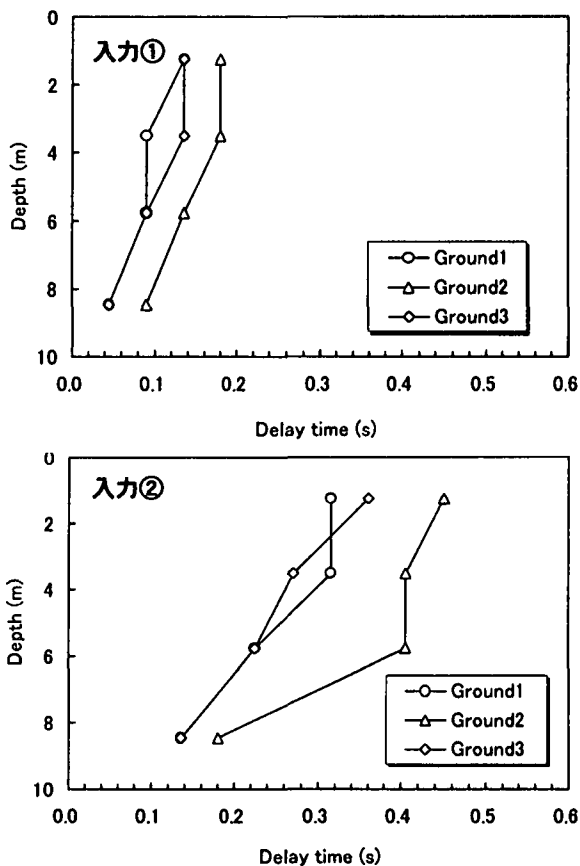


図-5 地盤加速度の伝播特性

4. 上部構造の応答特性

Ground1 と Ground2 の上部構造加速度の時刻歴を 図-6 に示す。加速度応答スペクトルを図-7 に、変位応答スペクトルを図-8 に示す。時刻歴の応答は Ground1 の方が大きい。加速度応答スペクトルは、いずれの場合も固有周期 1s, 2s で応答が卓越するが、応答レベルに大差はない。Ground1 は固有周期 0.3s 付近の高周波の応答が大きいところが他ケースと異なる。応答変位スペクトルより、Ground2 の応答がやや大きく、相対密度が小さい方が上部構造の変位を大きくすることが確認できる。

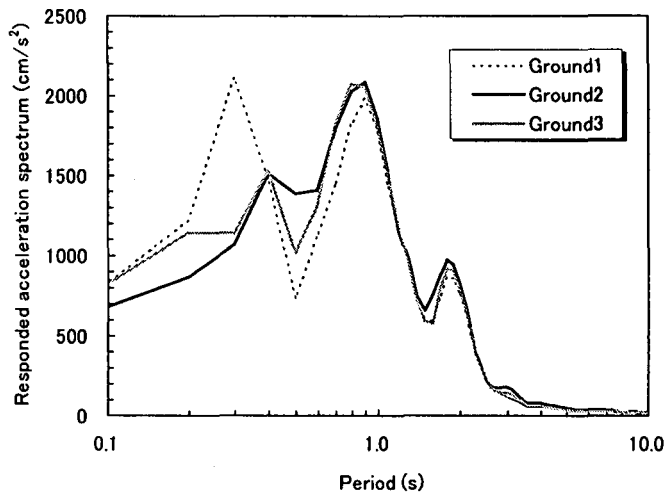


図-7 上部構造の応答加速度スペクトル

5. 杭の変形特性

Ground1 と Ground2 について、上部構造の慣性力と杭の曲げモーメントの履歴特性を図-9 に示す。地表面付近の杭の曲げモーメントは、上部構造の慣性力にほぼ比例し線形の相関を示すが、深いところでは履歴がループ形状となり相関が低い。原因としては、地盤と杭の相互作用によるものと考えられる。

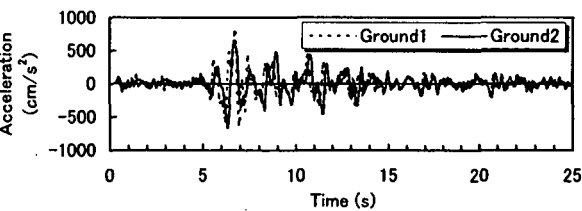


図-6 上部構造加速度の時刻歴

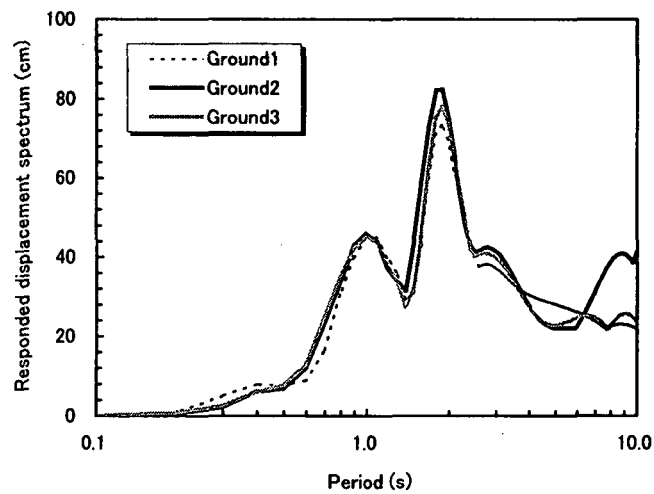


図-8 上部構造の応答変位スペクトル

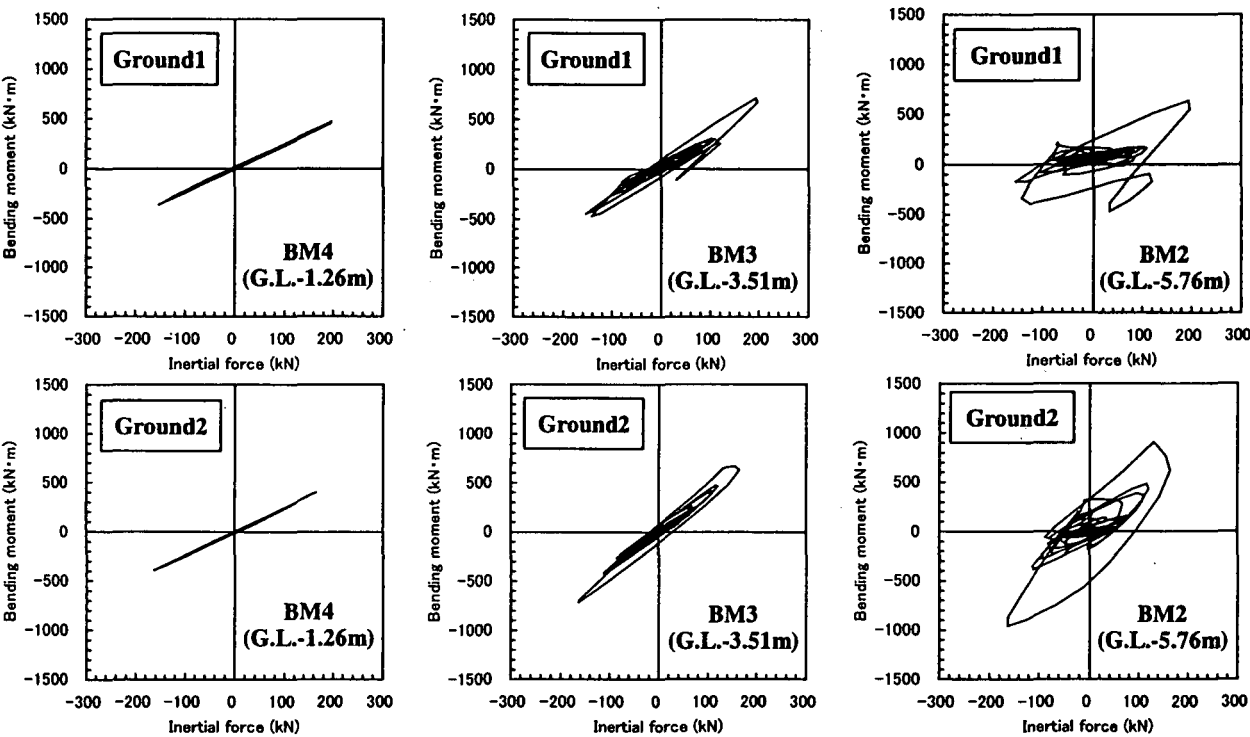


図-9 上部構造の慣性力と杭の曲げモーメントの履歴特性

Ground1 は上部構造の慣性力が最大になる時と杭の発生モーメントが最大になる時はほぼ一致し、慣性力が支配的な変形モードであると言える。Ground2 は、Ground1 の場合より深い位置で最大モーメントが発生している。また、図-10 の BM1 の履歴特性より、上部構造の慣性力が最大になる時と、最大モーメントが発生する時には時間的なずれがあることがわかる。さらに詳細に調べるため、上部構造の加速度が最大の時と、杭の曲げモーメントが最大になる時の曲げモーメント分布を図-11 に示す。なお、曲げモーメント分布の符号は比較しやすいように調整した。Ground1 では、いずれの場合も BM3 付近で杭のモーメントが最大となる分布で、両者の差は小さいが、Ground2 では、明らかに変形モードが異なっている。これは、軟弱地盤では、地盤との動的相互作用を考慮した杭の変形モードを確認することが杭の設計上重要であることを示している。また、Ground3 では、地盤の相対密度差がある境界部で発生するモーメントが Ground2 の同じ位置でのモーメントに比べて大きく、地盤の剛性変化が大きい境界部で杭が損傷した事例を裏付ける結果である。

6. まとめ

地盤条件をパラメータにした単杭の動的遠心模型実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 地盤の加速度応答スペクトル、地震波の伝播特性を調べることで、地盤の相対密度に応じた地盤の動的挙動を実験的にシミュレートできることを確認した。
- 2) 上部構造の応答と杭の変形モードの関係は、地盤条件によって異なるため、杭設計時には、地盤条件に応じて、地盤と杭の動的相互作用を考慮した杭の変形モードの調査が重要である。

今後、斜杭を含む群杭の地震時挙動も検討していく。

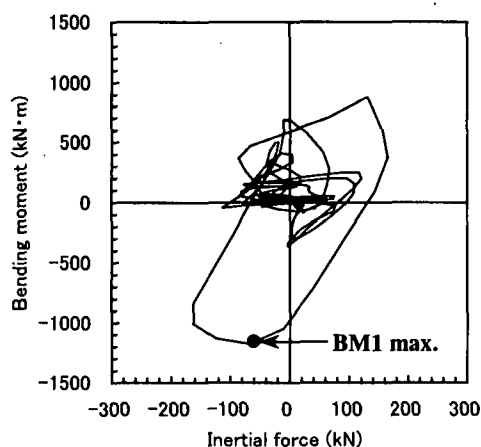


図-10 Ground2 の上部構造の慣性力と杭の曲げモーメント BM1 の履歴特性

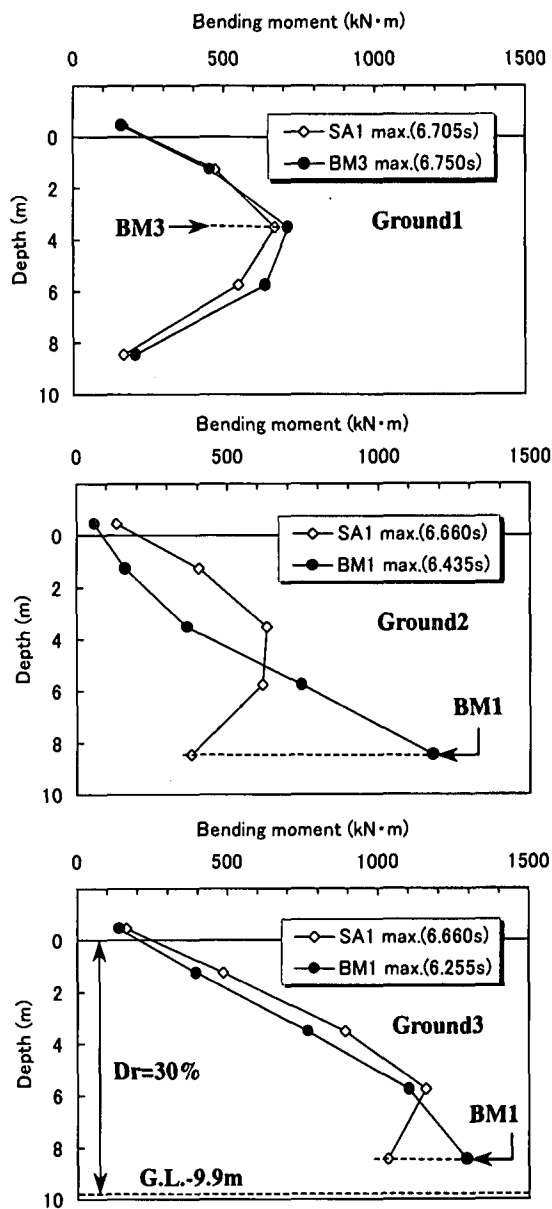


図-11 杭の曲げモーメント分布

参考文献

- 1) 岡部：海洋橋の明日を拓く，土木学会誌，Vol. 83，pp. 16-18，1998.
- 2) 木村ほか：斜杭を有する群杭基礎の水平抵抗に関する遠心模型実験，第 33 回地盤工学研究発表会概要集，pp. 1499-1500，1998.
- 3) 木村ほか：斜杭を含む鋼管杭基礎の支持力特性の調査，第 34 回地盤工学研究発表会概要集，pp. 1441-1442，1999.
- 4) 木村ほか：斜杭を含む群杭の水平荷重分担と軸力分担に関する実験的研究，第 53 回土木学会年次学術講演会概要集，Ⅲ-B，pp. 72-73，1998.
- 5) 大川ほか：斜杭を有する群杭基礎の水平支持力解析，第 54 回土木学会年次講演会概要集，Ⅲ-A，pp. 828-829，1999.
- 6) 木村ほか：繰り返し水平荷重下における斜杭の群杭の変形特性，第 35 回地盤工学研究発表会概要集，pp. 1771-1774，2000.
- 7) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999.