

実物大単杭による液状化地盤中の杭基礎の耐震性能に関する実験的研究

鉄道総合技術研究所 正会員 ○澤田 亮
 ジェイアール東日本コンサルタンツ 正会員 桐生 郷史

1. はじめに

近年では、想定地震外力の増大により液状化の発生する可能性のある地盤が多くなっている。液状化の可能性のある地盤に構造物を構築する際には一般的に杭基礎が採用されるが、液状化地盤では支持力が極めて小さいことが想定されるため、杭基礎は大径化する傾向にあり、施工性・経済性に課題がある。

そこで、本研究では液状化地盤中の杭基礎の耐震性能を精度よく把握することを目的に実物大の単杭に対して正負交番載荷試験を実施し、液状化程度に応じた杭の破壊形態を把握するとともに、液状化地盤における杭の減衰特性について検討した。

2. 正負交番水平載荷試験

液状化した地盤中における杭基礎の耐震性能を把握することは、液状化の影響を考慮した耐震設計を実施する上で極めて重要である。これまで、線形部材を用いた1G場の振動実験などから地盤・杭基礎系の荷重-変位関係を把握し、地盤の非線形化が進行する影響による変形・支持力特性を把握することは実施されている¹⁾。また、非線形部材を用いた同様の実験も実施されている²⁾が、この場合、地盤と杭部材の双方が非線形化するため、どちらの影響が顕著であるかを評価することが困難である等の課題がある。杭部材の非線形挙動を把握するには正負交番載荷試験の実施が有効である。これまでにも液状化地盤を対象にした正負交番載荷試験が実施されている³⁾が、杭基礎の破壊形態と耐震性能の関係について評価した研究は少ないのが実状である。

そこで、鉄道総研所有の動静的載荷試験装置を用い、地盤を液状化させた状態で図1に示すような杭基礎の正負交番載荷試験を行い、杭部材の変形性能を把握することで液状化した地盤での杭基礎の耐震性能を検討した。

載荷試験は、過剰間隙水圧比を指標として設定した液状化状態に応じて実施した。すなわち、所定の過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma'v=0.0, 0.3, 0.6, 1.0$) に達した時点で正負交番載荷を行い、過剰間隙水圧比と杭基礎の損傷程度の関係について検証を行った。

検討の対象とする杭基礎は実基礎の1/5スケールの単杭のRC杭とした。杭の諸元を表1に示す。また、地盤は珪砂6号 ($G_s=2.652, e_{max}=0.903, e_{min}=0.582$) を用いて

目標相対密度を60%として空中落下法により構築し、その後水位面が模型地盤天端に一致するように飽和さ

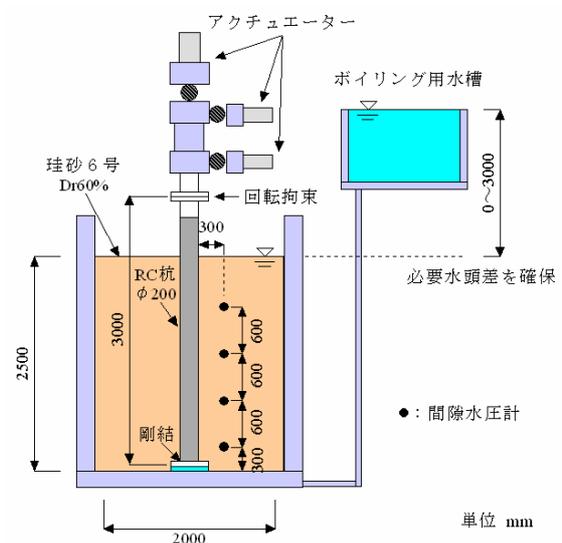


図1 載荷試験の概要

表1 杭の諸元

杭径 mm		200
鉄筋	主鉄筋	D6-20 (SD295)
	帯鉄筋	D4-1組ctc30
コンクリート強度 N/mm ²		30

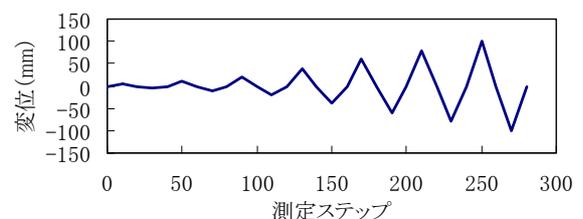


図2 載荷パターン

キーワード 液状化, 杭基礎, 正負交番載荷試験, 所要降伏震度スペクトル

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

せて作成した。

載荷試験の制御方法は、載荷時は変位制御、除荷時は荷重制御として、図2に示す載荷パターンで行った。また、液状化はボイリングにより発生させることとし、載荷中は液状化に必要な水頭差を確保し、間隙水を循環させることで液状化状態を持続させることとした。なお、基本的な性状を把握することを目的に上載荷重は考慮せず、鉛直方向力は杭の自重による軸力のみとし、杭頭は回転拘束、杭先端は剛結とした。

3. 液状化地盤における杭の耐震性能

水平載荷試験の結果より得られた水平荷重と水平変位の関係より算定される等価減衰定数を図3に示す。これによれば、過剰間隙水圧比が1.0の場合において、減衰定数が杭体の降伏以降に急激に増加していることがわかる。これは、地盤が液状化状態であるため、地盤の粘性抵抗が発揮されていることと、降伏したことにより杭体の減衰特性が増加したためと考えられる。減衰の影響は杭の動的挙動に大きく関与するため、適切な減衰の評価が杭体の降伏後の挙動を推定する上で重要になると考えられる。

そこで、降伏後の履歴減衰の増加を、初期減衰定数を割増すことで簡易に考慮した所要降伏震度スペクトルを算定し、上記の影響について検証した。ここで、図3の関係より、降伏後の初期減衰定数は、初期値の2倍を考慮し0.1に設定した。図4に塑性率4の場合の所要降伏震度スペクトルの比較を示す。これによれば、杭体降伏後の減衰特性を評価することで、降伏震度を1～2割程度低減しても同程度の変形性能を確保できることがわかる。このことは、杭の諸元の経済化が図られ、合理的な評価となることを示唆している。

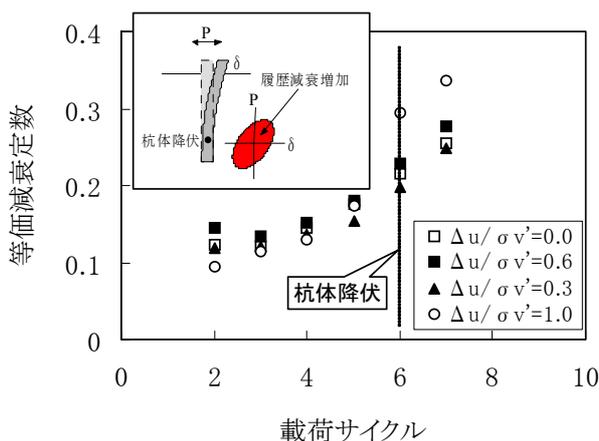


図3 等価減衰定数の変化程度

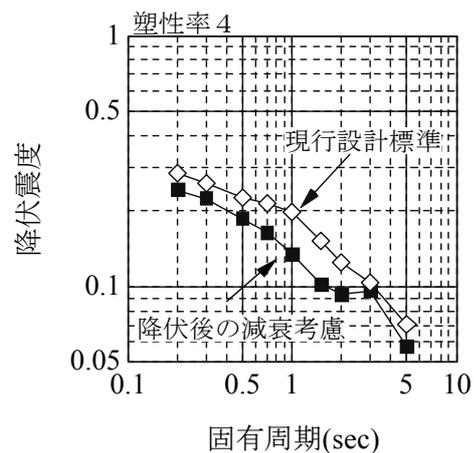


図4 所要降伏震度スペクトルの比較

4. おわりに

液状化地盤中の杭基礎の耐震性能を精度よく把握することを目的に実物大の単杭に対して正負交番載荷試験を実施した。その結果、液状化程度に応じた杭の減衰特性を把握し、これを考慮した所要降伏震度スペクトルから、液状化地盤中における杭の耐震性能を把握した。今後は、さらに精査を行い、実態に即した杭基礎の液状化時の評価手法を構築したいと考えている。

謝辞

本研究は、国土交通省からの補助金を受けて得られた研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 澤田 亮, 西村明彦: 液状化地盤における基礎構造物の振動性状に関する基礎的研究, 土木学会論文集, 第736号/III-63, 2003年
- 2) 時松孝次, 鈴木比呂子, 鈴木康嗣, 藤井俊二: 大型振動台実験に基づく液状化過程における杭の水平地盤反力の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第553号, 2002年
- 3) 土屋富男, 内田明彦, 濱田純次, 河合栄作, 高橋計人, 山下 清, 加倉井正昭: 液状化地盤における模型杭の水平載荷実験(その1～その2), 第36回地盤工学研究発表会, 2001年
- 4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 1999年10月