

# 基礎構造物の耐震補強のための地盤改良の適用性の検討

木村 亮\*

## 1. 研究の目的

軟弱地盤や液状化地盤における杭基礎は、現行の設計法に基づいて耐震照査を行うと、下部構造が大規模化し、建設コストや必要用地が増大する場合がある。そこでフーチング下部に地盤改良を施工し、杭の水平抵抗を増大することで、杭本数やフーチングを縮小する種々の工法が開発されてきた(例えば<sup>1)</sup>)。その中で篠原ら<sup>2)</sup>は、狭小地での液状化地盤対策に、地盤改良と杭基礎を組み合わせた工法を適用するため、2次元動的解析を実施した。その結果、適切な強度の地盤改良を施すことで杭頭変位を抑制し、曲げモーメントを大きく低減する効果を得られることを明らかにしている。また稲上ら<sup>3),4)</sup>は、液状化地盤上に建設された2×2群杭基礎を対象とし、フーチング下部に施す地盤改良強度の差異が杭の地震時挙動に与える影響を遠心力載荷実験により検討を行っている。本研究では、稲上らの実験結果を詳しく分析し、篠原らの解析結果との相違点について知見を整理した。

## 2. 稲上ら<sup>3),4)</sup>の実験の概要

図-1に実験模型の概略図と計測機器の配置を示す。表層部に液状化層が存在する条件を想定しているため、表層3mと下部10mの相対密度は、それぞれ $D_r = 40\%$ と $85\%$ である。実験ケースは、Case-1が改良を施さない杭基礎のみ、Case-2では強度の低い地盤改良( $q_u = 830 \text{ kN/m}^2$ ,  $E = 8.52 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ ), Case-3では強度の高い地盤改良( $q_u = 6350 \text{ kN/m}^2$ ,  $E = 5.94 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$ )をフーチング直下に施すものである。杭模型は、杭長12m、直径0.4m、肉厚40mmの杭基礎を想定し、アルミニウム製のパイプで作製されている。入力波は最大加速度 $2.5 \text{ m/s}^2$ を目標とした、1Hzテーパ付正弦波20波である。

図-2に各ケースの杭頭加速度および杭頭変位の時刻を示す。10秒までに着目すると、杭頭加速度は各ケースで同程度であるが、杭頭変位は改良を施したCase-2,3で小さい。一方、10秒以降では、改良を施した2ケースで杭頭加速度が大きくなるのに対し、杭頭変位は全ケースで同程度である。すなわち、地盤が完全に液状化するまでは改良による反力効果が認められるが、地盤が液状化した後は、改良による杭頭変位の抑制効果は確認できない。ここで、改良を施した2ケースに着目すると、改良強度の低いCase-2において、杭頭加速度と杭頭変位の減衰が早い。これは、実験後に改良体に亀裂が生じていたため、改良体の損傷によりエネルギーが吸収されたためと考えられる。

図-3に杭頭変位と杭頭加速度の関係を示す。Case-1はループが直線的であるのに対し、Case-2は丸みを帯びており、Case-3は杭頭変位の最大値周辺での傾きが大きい。これは、Case-2は杭頭加速度と杭頭変位の位相差が大きく、Case-3は杭頭加速度が大きい状態で変位抑制効果が大きいのを示している。つまり、改良施した2ケースは、杭頭加速度は

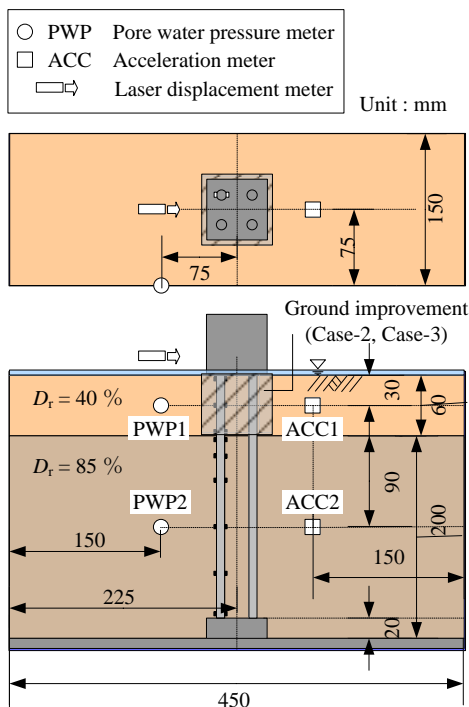


図-1 実験模型の概略と計測機器の配置図<sup>3),4)</sup>

\*京都大学・教授

Case-1より増大したが、それぞれ異なる挙動により杭頭変位はCase-1と同程度に抑制したといえる。

図-4に、各ケースにおいて杭頭変位および杭の曲げモーメントが最大となる時刻での曲げモーメントの深度分布を示す。Case-1では曲げモーメントが杭頭部で最大であるのに対し、Case-2、Case-3では杭頭部でほぼ0を示し、改良体下端で最大値となる。杭全体の曲げモーメントの最大値は、Case-1で515.0 kN・mに対して、Case-2は304.1 kN・m、Case-3は453.0 kN・mであり、特にCase-2において最大曲げモーメントが低減されることが確認できた。

### 3. 得られた成果

稲上ら<sup>3), 4)</sup>の実験により、改良強度の差異が杭頭加速度・杭頭変位の挙動に影響を与え、適切な強度の地盤改良工を施すことで杭体に発生する曲げモーメントの最大値を低減できることを確認した。これらの知見は篠原ら<sup>2)</sup>の解析と同様の傾向である。しかしながら、篠原ら<sup>2)</sup>の解析においては、フーチング下部に地盤改良を施すと、杭頭変位が抑制されていたのに対して、稲上ら<sup>3), 4)</sup>の実験では地盤改良による変位の抑制効果は確認できなかった。この原因の一つとしては、杭頭部に地盤改良を施すことにより、地震による慣性力の影響を大きく受けることが考えられる。今後は、橋脚部分を精緻にモデル化した検討を実施し、上部構造の応答も考慮に入れた検討を行う必要がある。

### 4. 謝辞

本研究は、株式会社 不動テトラより委託されたものであり、関係各位に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 富澤幸一，西川純一：深層混合処理工法により形成した複合地盤における杭設計手法，土木学会論文集，No.799/III-72，pp.183-193，2005。
- 2) 篠原聖二，茂呂拓実，金治英貞，坂梨利男，谷澤史剛：地盤改良幅および強度が地震時杭挙動に与える影響検討，土木学会第67回年次学術講演会講演集，I-381，pp.761-762，2012。
- 3) 稲上慶太，澤村康生，小坂 崇，西海能史，木村 亮：杭周辺の液化化層に施す地盤改良の強度と杭体曲げモーメントに関する実験的検討，平成30年度土木学会関西支部年次学術講演会，投稿中。
- 4) 稲上慶太，澤村康生，小坂 崇，西海能史，木村 亮：杭基礎周辺の地盤改良が杭の地震時挙動に与える影響に関する遠心模型実験，第53回地盤工学研究発表会，投稿中。

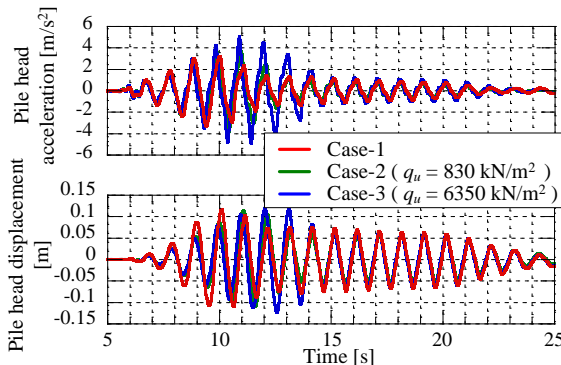


図-2 杭頭加速度と杭頭変位の時刻歴<sup>3), 4)</sup>

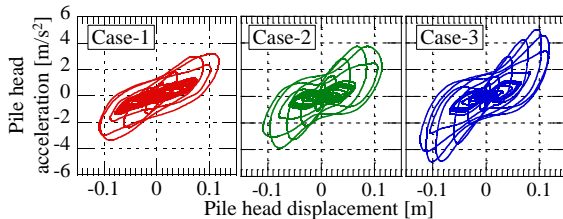


図-3 杭頭変位と杭頭加速度の関係<sup>3), 4)</sup>

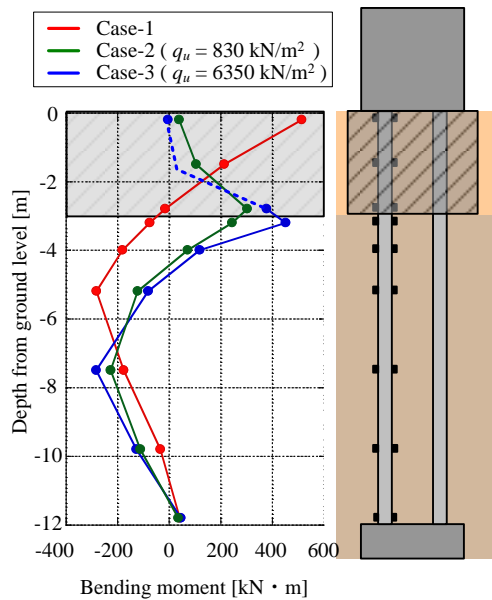


図-4 杭頭変位最大時の曲げモーメント分布<sup>3), 4)</sup>