

橋脚・杭基礎-液状化地盤系の有効応力解析（その2 非液状化層の影響）

独立行政法人土木研究所 正会員 ○谷本俊輔、杉田秀樹、滝内友則、高橋章浩

1. 研究の背景 液状化地盤における橋脚基礎の地震時挙動に対しては、液状化層の上方に存在する非液状化層が影響を及ぼすと考えられる。つまり、液状化層上の非液状化層は、地震時に最も応力が集中する杭頭部付近を拘束することから、上部構造からの慣性力に対しては抵抗として作用し、地盤の振動変位の作用に対しては外力として作用することになると考えられる。したがって、非液状化層の層厚や強度などの条件は、地震時に杭基礎に作用する2つの外力の作用バランスを決定する要因となりうる。そのため、液状化地盤における杭基礎の耐震設計を考える上では、非液状化層の影響を把握しておくことは重要であると考えられる。

そこで本報では、2とおりの地盤条件に対する有効応力解析に基づき、杭基礎の挙動に対する非液状化層の影響について、定性的な傾向を分析した結果を示す。

2. 解析ケースと検討手法 解析に用いたコードは LIQCA2D¹⁾であり、解析対象とした地盤の条件は図-1に示すとおりである。地下水位以深に存在する $Dr=60\%$ の豊浦砂層には、地震により液状化が生じることを想定しており、液状化層上に 4.9m の非液状化層を有する Case1-1、液状化層上に非液状化層が存在しない Case1-9 の 2+ケースについて解析を行った。著者らは、Case1-1 の地盤条件については動的遠心模型実験および有効応力解析を行っており、その詳細は文献 2)、3)、4)を参照されたい。入力波形は、Case1-1 の実験時に振動台上で計測された加速度波形である。Case1-9 については実験が行われておらず、Case1-1 の解析パラメータをそのまま用い、土層構成のみを変更して行った解析結果である。文献 4)に示したように、Case1-1 に対するシミュレーションでは実験事実をある程度の精度で再現することができていることから、本報に示す2ケースの解析事例は、液状化地盤における橋脚杭基礎の実挙動の特徴を十分に捉えたものであると考えられる。

解析で得られたデータは、文献 5)の方法により整理した。すなわち、図-2に示すようなフーチングの動的な力のつり合いに着目し、上部構造の慣性力、地盤の振動変位の影響、杭の応答の3者を同じ次元で比較するための方法である。以降では、橋脚基部のせん断力 S_s とフーチングの慣性力 $M_f \times \ddot{u}$ の和を「慣性力」と呼び、各杭の杭頭せん断力の総和 $\sum S_i$ を杭の断面力を代表するものと考え、「杭頭せん断力」と呼ぶこととする。また、これらの差をとることにより地盤からフーチングに作用する荷重の総和が求まるが、これを「地盤反力」と呼ぶこととする。地盤反力は、杭基礎に対する地盤変位の作用を代表するものと考えて検討を進めることとする。

3. 解析結果 解析で得られた時刻歴波形を図-3、フーチングに関する水平方向の動的な力のつり合いに基づいて解析結果を整理したものを図-4に示す。液状化層の過剰間隙水圧比より、3～5秒付近で間隙水圧が急激に上昇し始め、7～8秒付近で液状化が生じていることが分かる。両ケースで間隙水圧の上昇にタイムラグが生じているのは、地下水位の違いにより、同じ深さでも初期有効上載圧が異なることによるものであると解釈

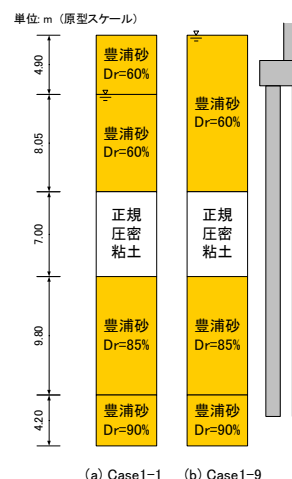


図-1 解析対象とした地盤条件

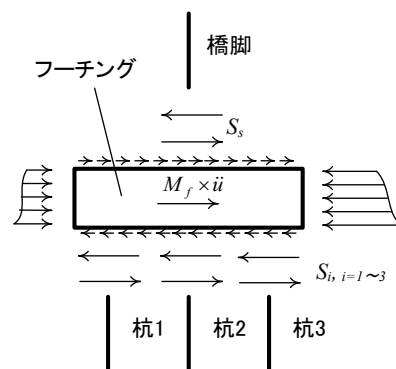


図-2 水平方向に関するフーチングの動的な力のつり合い

キーワード：液状化、杭基礎、有効応力解析、非液状化層

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 独立行政法人土木研究所 TEL: 029-879-6771

される。また、地表面の変位は、12秒程度までは概ね一致しているが、それ以降の一方方向に残留変位が蓄積していく挙動に大きな違いがある。

両ケースで地表面の応答加速度を比較すると、5～10秒付近において差が見られるにも関わらず、上部構造の応答加速度にはほとんど差が生じていない点が特徴的である。そのため、両ケースにおける慣性力の大きさは全時刻にわたってほぼ一致している。このように、橋脚などの上部構造の地震時挙動は、地表面付近の地盤振動によって決まっているわけではなさそうである。地盤の深部から杭を介して橋脚に直接的に伝達する地震力の影響が大きいと解釈することができるかもしれないが、両ケースともに杭頭せん断力と慣性力が同程度となっているわけでもなく、議論の余地が残されている。

地盤反力を比較すると、非液状化層のある Case1-1 は非液状化層のない Case1-9 に比べて大きい。これは、杭頭部付近が非液状化層に拘束された状態で、液状化層に大きなせん断変形が生じることにより、杭基礎に対する地盤の振動変位の影響が大きくなったことによるものである。特に、Case1-9 では地盤に大きな残留変位が生じたにも関わらず、地盤反力が一方方向に残留していないのは、液状化した土の強度が小さいため、地盤からの強制変位の作用を杭の曲げ剛性で押し戻した結果であることを示唆するものである。

4. まとめ 本研究では、非液状化層の影響に着目して行った有効応力解析の結果より、上部構造の慣性力、地盤の振動変位の影響度について検討を行った。得られた知見は、以下のとおりである。

- (1) 非液状化層の有無により、地表面の応答加速度には差が生じたにも関わらず、上部構造の応答加速度には差が生じなかった。そのため、杭基礎に対する慣性力の影響は非液状化層の有無によらず同程度であった。
- (2) 杭基礎に対する地盤変位の影響は、非液状化層がある場合の方が顕著であった。

参考文献 1) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ, LIQCA2D

04(2004年公開版)資料, 2004.9, 2) 谷本俊輔, 杉田秀樹, 高橋章浩, 滝内友則: 杭頭にヒンジを有する橋脚基礎の液状化地盤への適用性に関する実験的検討, 土木技術資料, 2006.5 (投稿中), 3) 滝内友則, 杉田秀樹, 高橋章浩, 谷本俊輔: 液状化地盤における杭頭ヒンジ基礎に関する動的遠心力模型実験, 第41回地盤工学研究発表会, 2006 (投稿中), 4) 滝内友則, 杉田秀樹, 谷本俊輔, 高橋章浩: 橋脚-杭基礎-液状化地盤系の有効応力解析 (その1 動的遠心力模型実験のシミュレーション), 第61回土木学会年次講演会, 2006 (投稿中), 5) 谷本俊輔, 杉田秀樹, 高橋章浩: フーチングの力のつり合いに基づく橋脚-杭基礎-地盤系の地震時挙動の解釈, 第60回土木学会年次講演会講演概要集, I-614, 2005

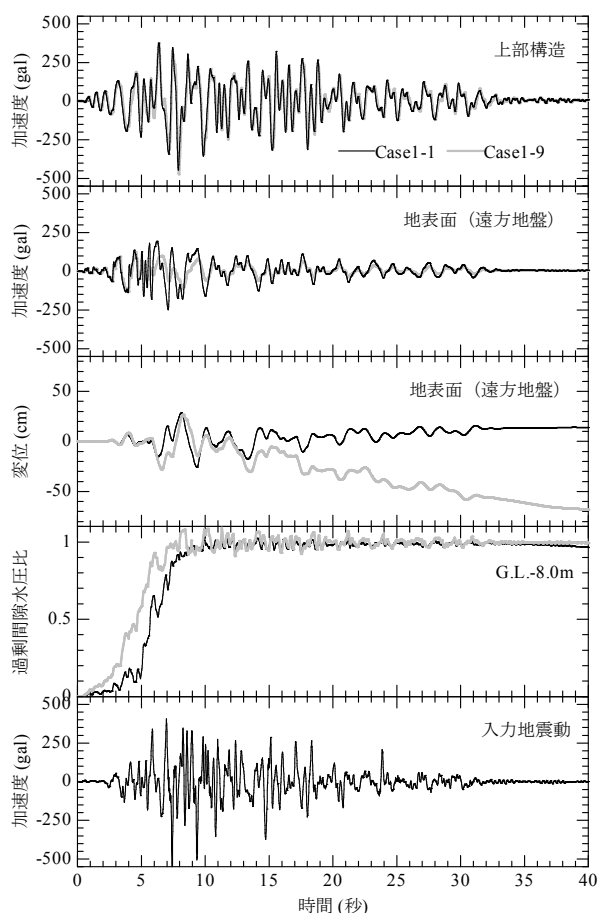


図-3 時刻歴波形

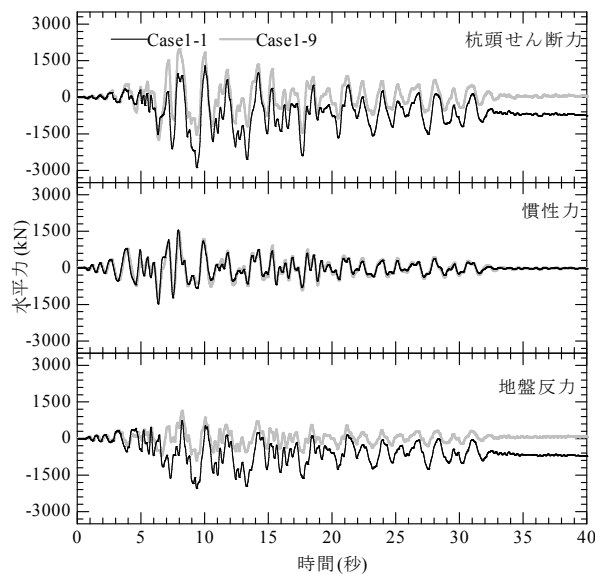


図-4 杭基礎に対する慣性力と地盤変位の影響度