

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

独立行政法人土木研究所 正会員 ○谷本 俊輔

独立行政法人土木研究所 正会員 杉田 英樹

独立行政法人土木研究所 正会員 高橋 章浩

1. はじめに 著者らは、液状化地盤における橋脚基礎の地震時挙動を把握するため、橋脚-杭基礎-地盤系を対象とした有効応力解析を行った。本報では、得られたデータをフーチングの力のつり合いに着目して整理し、浅い位置の地盤と杭基礎の動的相互作用に関する解釈を試みた結果を示す。

2. 解析条件 解析対象は、一般的な諸元を有するある 1 基の橋脚および橋脚基礎の橋軸方向である。図-1 に示すとおり、地盤は砂質土層および粘性土層を含む互層構成であり、地下水位～G.L.-13m には、 F_L が概ね 0.3 程度の緩い砂質土層が存在する。想定した橋脚は橋高 10m の T 型 RC 橋脚であり、基礎は 3×3 配列、杭径 1.2m、杭間隔 3.05m の場所打ち杭である。

解析に用いたコードは LIQCA¹⁾ である。解析モデルは 2 次元とし、土を平面ひずみ要素、橋脚および基礎を梁要素とした。土要素には土-水の連成を考慮した弾塑性構成則を適用し、梁要素にはトリリニア型の非線形性を与えた。上部構造は、解析対象橋脚が分担する桁重量を有する質点を橋脚天端の節点に与えることによりモデル化した。土要素の奥行き幅は杭中心間隔相当の 3.05m とし、杭基礎は 3 列のうち 1 列分をモデル化し、上部構造、橋脚およびフーチングは質量・剛性を想定橋梁の 1/3 とした。

解析ケースは表-1 に示すとおりであり、JMA-Kobe 基盤波および鉄道構造物等設計標準の基盤地震動³⁾を入力した。JMA-Kobe 基盤波とは、兵庫県南部地震における種々の観測記録から推定した解放基盤面における地震動の振幅特性に、神戸海洋気象台の地表面記録を解放基盤面に引き戻した波形の位相特性をフィッティングさせて得られた波形である³⁾。「修正」とは、基盤の弾性による下降成分の減衰の影響を考慮するため、割り切りにより振幅を 0.7 倍としたことを表す。

表-1 解析ケース

ケース名	入力地震動
Case3-1	修正 JMA-Kobe 基盤波
Case3-3	JR Level1 適合波
Case3-4	修正 JR スペクトル I 適合波
Case3-5	修正 JR スペクトル II 適合波

3. 解析結果 解析で得られたデータに基づき、図-2 に示すように、フーチングに関する水平および回転の力のつり合いについて検討した。水平成分については、橋脚基部のせん断力 S_y 、フーチングの慣性力 $M_f \times u''$ の和と杭頭せん断力の総和 ΣS_i を比較し、回転成分については、橋脚基部の曲げモーメント M_y 、フーチングの回転慣性 $J_f \times \theta''$ の和と杭頭の曲げモーメントの総和 ΣM_i 、杭の軸力により生じる回転力 $\Sigma N_i \times s_i$ のつり合いを考えた。ここに、 M_f 、 J_f はそれぞれフーチングの質量および慣性モーメント、 s_i は杭の中心間隔を表す。以降では、

S_y 、 $M_f \times u''$ および $M_y + J_f \times \theta''$ を慣性力、 ΣS_i および $\Sigma M_i + \Sigma N_i \times s_i$ を杭頭反力と呼ぶこととする。これらを比較したときに生じる差の主たる要因を、フーチングに作用する土からの水平力および鉛直力であると考え、慣性力が杭頭反力より大きい場合は、フーチング周辺地盤は抵抗側として作用しており、その逆の場合は外力側として作用していると解釈することができる。すなわち、杭基礎の地震時挙動に支配的な影響を及ぼす浅い位置の地盤の挙

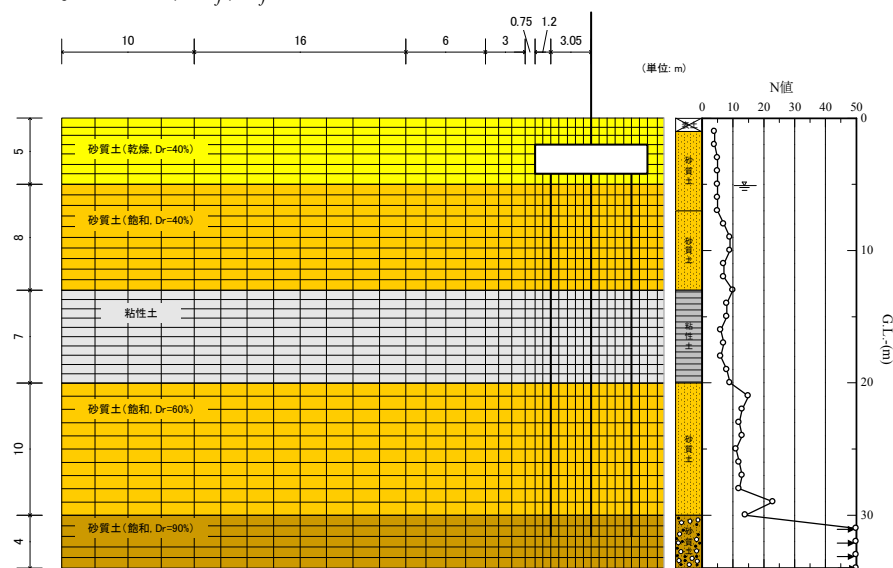


図-1 解析モデルおよび地盤条件

キーワード：橋梁基礎、液状化、動的相互作用

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 - 6, TEL 029-879-6771 FAX 029-879-6735

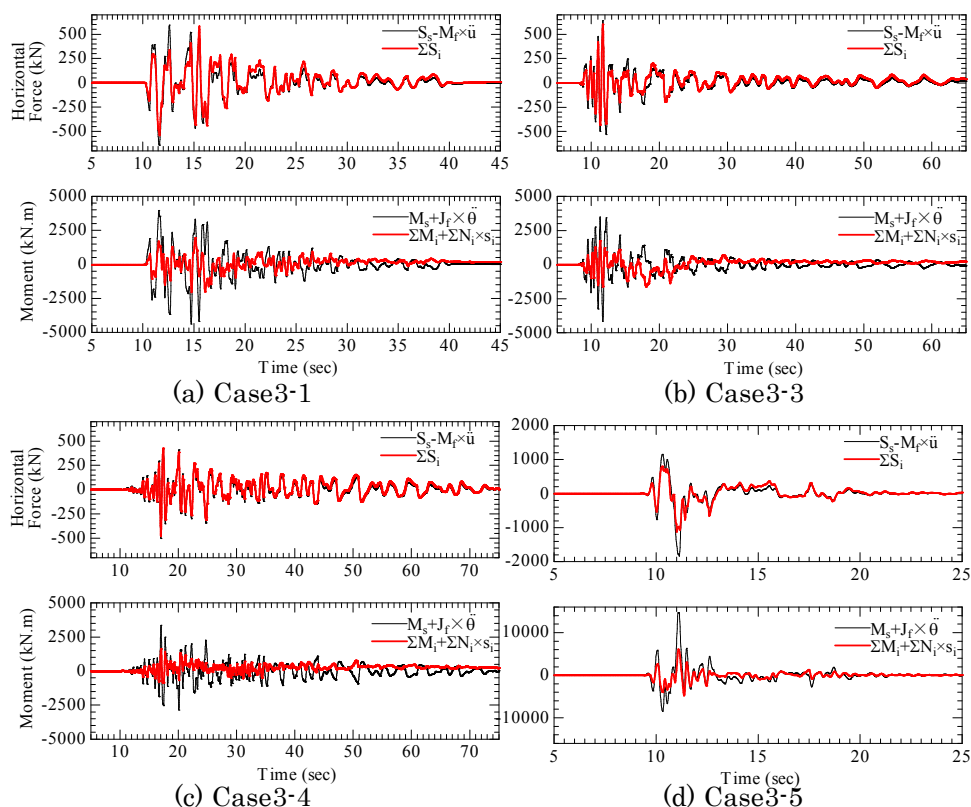
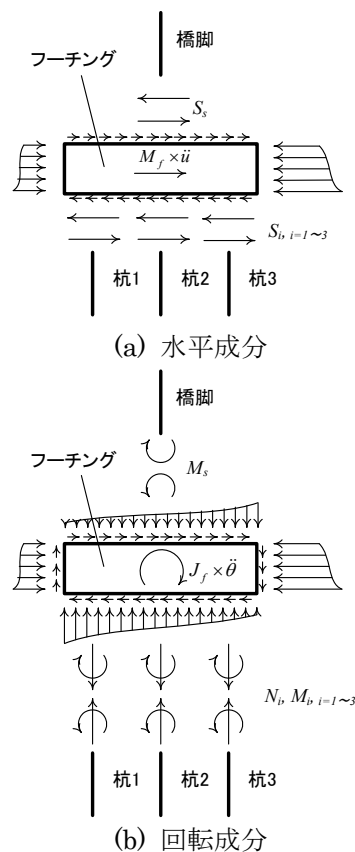


図-3 慣性力と杭頭反力の比較

図-2 フーチングの力のつり 動を代表しているものと考えられる。

合い

各ケースにおいて慣性力と杭頭反力を比較した結果を図-3 に示す。慣性力および杭頭反力の水平成分を比較すると、全ケースについて、慣性力または杭頭反力が最大となる時刻前後までは杭頭反力に対して慣性力が上回っており、それ以降の時刻では、両者が同程度または杭頭反力の方が大きくなっている。すなわち、最大応答が生じる前後の時刻までは浅い位置の地盤が抵抗側、それ以降の時刻では外力側として作用していることが分かる。この傾向は、内陸直下型を想定したの地震動を入力した Case3-1、3-5 において特に顕著である。今後、地盤および構造物の動的挙動をより詳細に分析することにより、この挙動の解釈について検討する必要がある。

また、全ケースに関する回転成分を見ると、慣性力または杭頭反力が最大となる時刻前後において、慣性力が杭頭反力を大きく上回っていることが分かる。このことから、フーチング周辺の土が上部構造からのロッキングの影響を軽減する方向に作用していることが分かる。ただし、この挙動はフーチングと土要素の節点の結合方法や土要素のモデル化にも依存するものと考えられ、実験結果とのキャリブレーションにより妥当性を検討する必要がある。

4. まとめと今後の課題 本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 入力地震動によらず、慣性力または杭頭反力が最大となる時刻付近までは、浅い位置の地盤が杭基礎に対して抵抗側に作用し、それ以降の時刻では外力側に作用する。また、この傾向は内陸直下型を想定した地震動を入力した場合に顕著となる。
- 2) フーチング周辺の土は、上部構造から杭基礎に伝達されるロッキングの影響を軽減する方向に作用する。今後は、入力地震動による地盤-構造物の動的相互作用の違いについてさらなる分析を行うとともに、本解析で対象とした橋梁を模した動的遠心模型実験を行い、本解析におけるモデル化手法の妥当性および橋脚-基礎-地盤系の地震時挙動の再現性について検討を行う予定である。

参考文献 1)液状化解析手法 LIQCA 開発グループ, LIQCA2D04(2004 年公開版)資料, 2004.9 2)国土交通省土木研究所耐震技術研究センター振動研究室, 大規模地震を考慮した地中構造物の耐震設計法に関する試験調査, 平成 12 年度振動研究室調査試験研究成果概要報告書, 振動研究室資料, 第 22 号, pp.19-20, 2001.3 3)鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等設計基準・同解説 耐震設計, pp.37-38, 1999.10