

液状化地盤中の基礎構造物の 挙動に関する実験的研究

澤田 亮¹・西村昭彦²

¹正会員 工修 (財)鉄道総合技術研究所 基礎担当 (〒185 東京都国分寺市光町二丁目 8・38)

²正会員 工博 同 上

鉄道基礎構造物の耐震設計で地盤の液状化を考慮する場合には、液状化前後の地盤条件で設計を実施する2段階の耐震設計法を提案している。しかし、液状化進行中において、過大な応答状態になる場合があることも指摘されている。

本研究では、液状化の進行に伴う基礎構造物の固有振動数の変動に着目して入力波の卓越振動数との関係で生じる過渡的な共振現象を把握し、その際の動的応答特性を明確にすることを目的として模型振動実験を実施した。その結果、液状化進行中に共振状態となる場合、入力波の卓越振動数より若干低い振動数が卓越し、そのため過大な応答状態になることが観測された。

Key Words: liquefaction, foundation, natural frequency, shaking table test

1. はじめに

鉄道基礎構造物の耐震設計において、地盤の液状化を考慮する場合には液状化前後の地盤条件で設計を実施する2段階の耐震設計法を提案している¹⁾。ここで、液状化後については、液状化地盤中の基礎構造物の固有振動数が低下することを考慮した手法を提案しているが十分に検証されてはいない。また、液状化進行過程において、過渡的な共振現象が発生する場合があることも指摘されている²⁾。

本研究では、上述の内容を踏まえて液状化の進行に伴う基礎構造物の固有振動数の変動に着目して入力波の卓越振動数との関係で生じる過渡的な共振現象を把握し、その際の動的応答特性を明確にすることを目的として模型振動実験を実施した。

2. 実験概要

実験は、図1に示すように円形大型せん断土槽(φ=1200mm, h=750mm)を用い、土槽中央に基礎模型(4本杭)を配置して実施した。模型地盤は珪砂6号を用い、水中落下法で所定の相対密度になるように作成した。また、基礎模型は模型地盤に対して模型杭のβ1(β:杭の特性値, l:杭長)が10程度になるよ

うな曲げ剛性を有した材料 (ABS 樹脂) を使用して作成した。

実験ケースは、構造物模型と入力波の固有振動数との関係に応じて表1に示す5ケースとした。なお、各ケースは図2に示すように対応している。ここで、入力レベルについては入力波の振動数が異なる点を考慮し、入力波の速度レベルが同一となるようにした。また、地震波は卓越振動数が1~10Hz 付近にある基盤適合波³⁾を振幅調整したものを用いた。

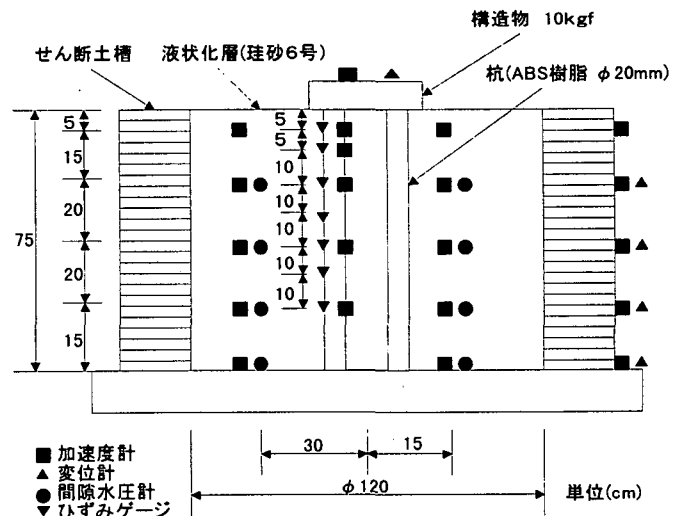


図1 模型概要図

表1 実験ケース

実験ケース	構造物との固有振動数の関係	相対密度	入力波加速度	入力波の固有振動数	構造物の固有振動数
CASE1	$f_i > f_{s01}$	66.70%	150gal	$f_i = 20.0\text{Hz}$	$f_{s01} = 14.8\text{Hz}$
		82.20%	200gal		
		84.80%	600gal	$f_i = 25.0\text{Hz}$	$f_{s01} = 20.9\text{Hz}$
CASE2	$f_i < f_{s01}, f_i > f_{s1}$	71.00%	300gal	$f_i = 7.0\text{Hz}$	$f_{s01} = 15.0\text{Hz}$
		80.30%	500gal		$f_{s01} = 17.0\text{Hz}$
		81.00%			
CASE3	$f_i < f_{s1}$	69.50%	150gal	$f_i = 1.0\text{Hz}$	$f_{s01} = 16.0\text{Hz}$
		69.50%	300gal		
		77.50%	80gal		
CASE4	$f_i = f_{s1}$	53.70%	200gal	$f_i = 2.24\text{Hz}$	$f_{s01} = 13.4\text{Hz}$
		65.00%			
		78.00%			
CASE5	$f_{iR} < f_{s01}, f_{iR} > f_{s1}$	55.60%	200gal	基盤適合波	$f_{s01} = 14.0\text{Hz}$
		66.60%			$f_{s01} = 15.0\text{Hz}$
		75.50%			$f_{s01} = 15.5\text{Hz}$

f_i : 正弦波の固有振動数

f_{iR} : 基盤適合波の卓越固有振動数

f_{s01} : 構造物模型の初期固有振動数

f_{s1} : 構造物模型の液状化後固有振動数

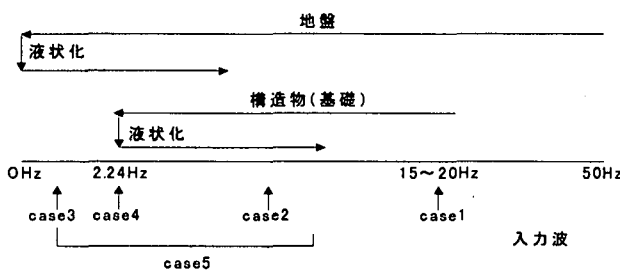


図2 各実験ケースの対応

3. 実験結果

正弦波加振 (Case 1 ~ Case 4) における代表的な構造物の応答加速度, 入力波, 過剰間隙水圧の時刻歴を図3に示す. Case1-1 では構造物の固有振動数よりも大きな振動数を入力波の振動数とした. したがって, 液状化の進行に伴い, 構造物の応答値が減少する傾向になることを確認するのを目的とした. 構造物の応答値は液状化前で最大値となっており, 過剰間隙水圧が上昇し始めると応答値は減少している. 位相差に着目すると液状化前では 180° ずれているが, 過剰間隙水圧が上昇するにつれてさらに位相がずれるのがわかる. Case2-1 では構造物の初期の固有振動数と液状化地盤中での固有振動数の中間の値を入力波の振動数とし, 液状化進行中における過度的な共振現象の把握を目的とした. 構造物の応答値は液状化進行過程で最大値を示している. 入力波との位相差に着目すると, 初期状態では同位相であるが, 過剰間隙水圧が上昇する過程においては位相が 90° ずれており, 構造物の固有振動数が低下し共振状態に移っていることがわかる. 液状化後は逆位相になっており, さらに固有振動数が低下して

いることがわかる. Case3-3 では構造物の液状化地盤中における固有振動数よりも小さな振動数を入力波の振動数とした. この場合は, 液状化の進行に伴い構造物の応答値が増加する傾向にあることを確認することを目的とした. 構造物の応答値は液状化状態で最大となる傾向を示している. 入力波との位相差に着目すると, 初期状態では同位相であるが, 過剰間隙水圧の上昇とともに位相のずれが生じている. 液状化状態ではほぼ 90° ずれていると考えられ, 構造物の固有振動数が低下し共振状態に移っていることがわかる. Case4-1 では構造物の液状化時における固有振動数と同じ振動数を入力波の振動数とした. よって, 完全液状化時における構造物の応答値の把握を目的とした. 構造物の応答値は過剰間隙水圧が初期有効上載圧にほぼ等しくなった時点で最大値を示している. 入力波との位相差に着目すると, 初期状態では同位相であるが, 過剰間隙水圧が上昇し, ほぼ初期有効上載圧と等しい時点では位相が 90° ずれており, 構造物の固有振動数が低下し共振状態に移っていることがわかる. 液状化後は $0 \sim 90^\circ$ と考えられ, さらに固有振動数が低下していることがわかる.

次に, 固有振動数の変化を明確に確認するため, 過剰間隙水圧が上昇する時刻付近におけるランニングスペクトルを求めた. 図4に結果を示す. これらによると, 過剰間隙水圧の上昇に伴いスペクトル値が増減しており, 固有振動数が変化していることが明確にわかる. しかし, Case1-1 以外については, 過剰間隙水圧が上昇中は構造物の共振曲線は入力波の振動数と一致せず, 若干低い振動数が卓越しているのがわかる. また, その場合には共振曲線の幅が広く, 減衰定数が大きいことも予測される.

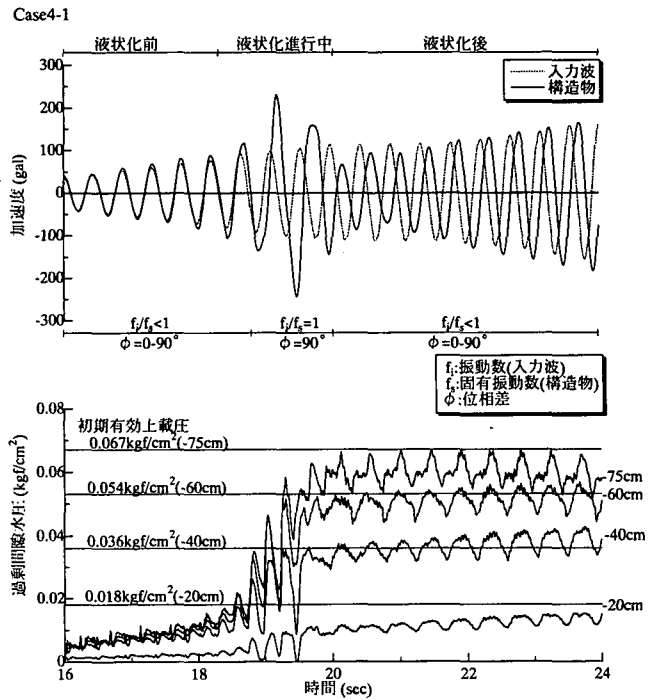
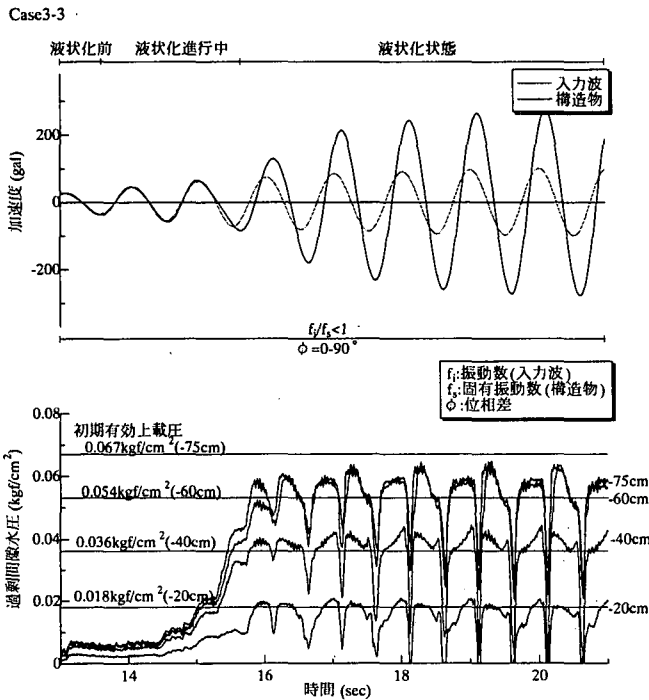
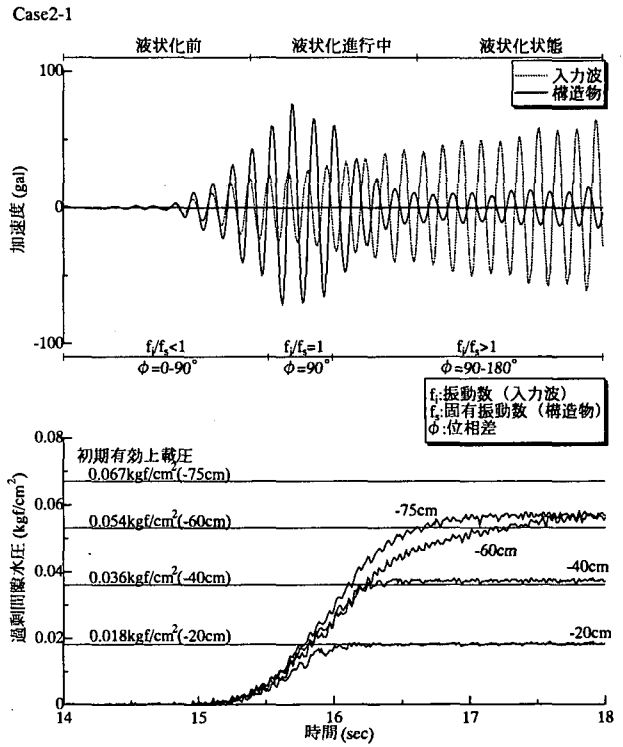
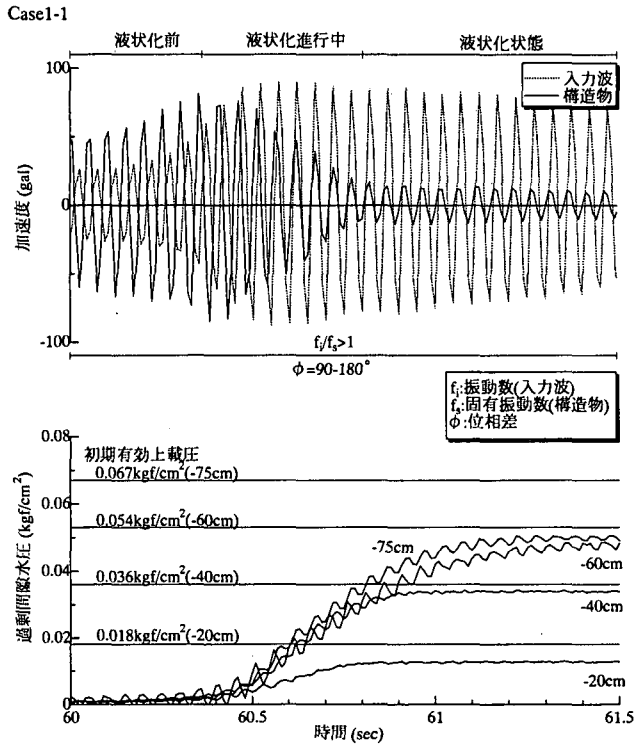


図3 時刻歴応答値

また、各ケースにおける構造物天端における応答加速度と応答相対変位の関係を過剰間隙水圧の上昇程度に応じて整理したものを図5に示す。Case1-1ではその様子は顕著に現れてはいないが、その他のケースでは過剰間隙水圧の上昇に伴い、地盤ばねが低下していく様子がわかる。また、履歴ループの大きさは、Case2-1では構造物の応答が大きくなる過

剰間隙水圧の上昇中に最大となっている。Case3-3では液状化状態で最大となり、Case4-1では過剰間隙水圧が初期有効上載圧にほぼ等しくなった付近で最大となっている。なお、履歴減衰は過剰間隙水圧の上昇中が最大であることが推測され、前述したランニングスペクトルより推定される減衰定数と同様の傾向にあると考えられる。

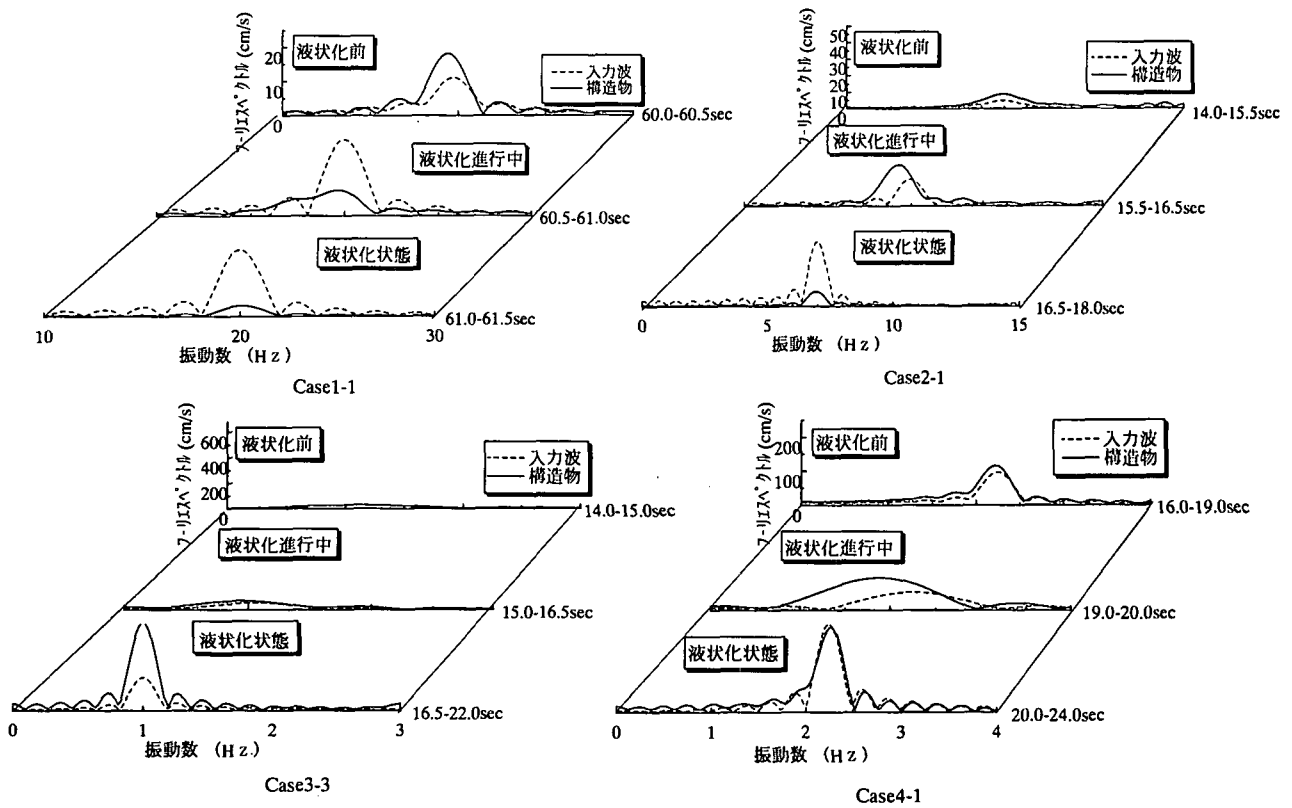


図4 ランニングスペクトル

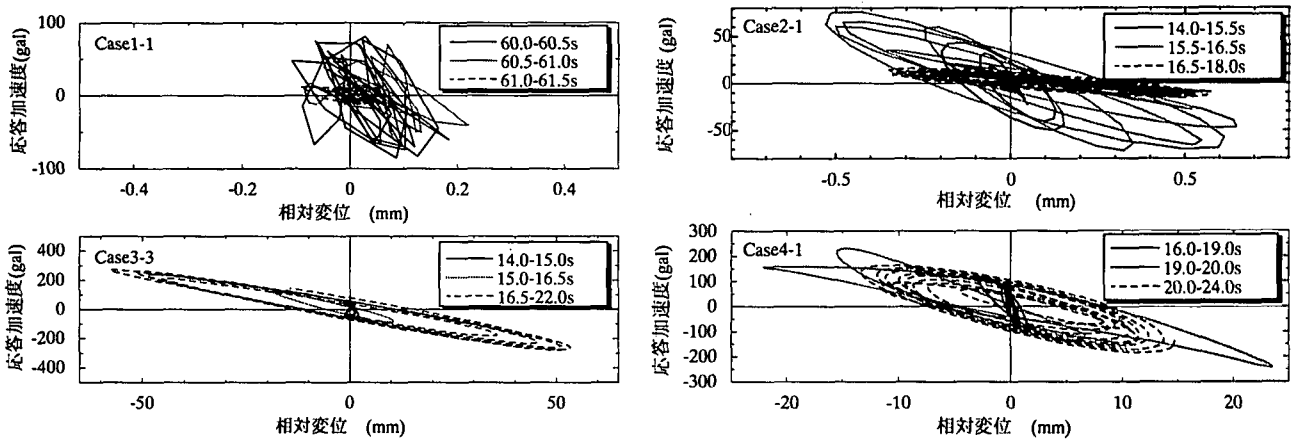


図5 履歴ループ

まとめ

液状化の進行に伴う基礎構造物の固有振動数の変動に着目した模型振動実験を実施した。その結果、過剰間隙水圧の上昇中は履歴減衰が大きいため、その場合に共振状態になると入力波の卓越振動数より若干低い振動数が卓越し、そのため過大な応答状態になることが推測された。また、液状化進行中の基礎構造物の動的応答特性（履歴性状）を把握することで液状化地盤における基礎—地盤系の動的相互作用の検討の基礎資料を得た。

謝辞：模型振動実験の実施にあつては、東急建設株

の大河内保彦室長，川久保政茂室長，遠藤修氏，木村正彦氏に絶大なるご協力をいただいた。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 澤田, 西村: 液状化を考慮した基礎の限界状態設計法の一試案, 基礎構造物の限界状態設計法に関するシンポジウム, 平成7年5月
- 2) 岩崎, 龍岡, 坂場, 野間: 流動化する砂層中の杭の動的挙動に関する模型振動実験, 第12回土質工学研究発表会, 1977
- 3) (財) 鉄道総合技術研究所: 新設構造物の当面の耐震設計に関する参考資料, 平成8年3月