

3.3.7 地盤・基礎実験における三次元数値シミュレーションによる実験の予測解析
(側方流動解析、その2)

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5か年の年次実施計画
- (e) 平成18年度業務目的

(2) 平成18年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
 - 1) 解析対象とする実験概要
 - 2) 解析手法
- (c) 業務の成果
 - 1) 地盤の応答
 - 2) 杭とケーソン護岸の水平変位
 - 3) 杭の曲げモーメント
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

地盤・基礎実験における三次元数値シミュレーションによる実験の予測解析
(側方流動解析、その2)

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
学校法人東京理科大学 理工学部	助教授	塚本 良道	ytsoil@rs.noda.tus.ac.jp
カンターベリー大学・ ニュージーランド	上級講師	ミシュコ チュ ブリノフスキ	misko.cubrinovski@cante rbury.ac.nz
基礎地盤コンサルタンツ 株式会社	防災部長	森本 巖	morimoto.iwao@kiso.co.j p
中央大学理工学部	共同研究員	石井 武司	t-ishii@kc.chuo-u.ac.jp
東京理科大学大学院理工 学研究科	博士課程	鎌田 敏幸	
同上	修士課程	千本 浩一	
東京理科大学理工学部	学部4年	山崎 光貴	

(c) 業務の目的

側方流動を受ける杭基礎に関するE - ディフェンスの震動台実験の数値シミュレーションを、三次元有効応力解析を用いて行い、適切な加振波の選択と最適な液状化実験実施のための事前検討のデータを提供する。本研究を通して、本数値シミュレーション法の精度を確認し、本数値シミュレーションの重要基礎構造物の性能評価への適用性を検討する。

(d) 5か年の年次実施計画

- 1) 平成14年度：液状化による側方流動を受ける矢板護岸に近接した杭基礎に関する室内小型振動台実験（H14実施の2ケース）を対象とした数値シミュレーションによる事前予測解析を行った。具体的には、室内振動台実験の実験条件を整理し、解析条件の設定を行った。検討項目としては、低拘束圧時の砂の液状化強度の適正な評価、モデル地盤の作成過程を考慮した初期応力の評価、杭基礎の有無による護岸流動量の変化、2次元モデルと3次元モデルを用いた杭基礎の応答評価の比較を行なった。
- 2) 平成15年度：液状化による側方流動を受ける矢板護岸に近接した杭基礎に関する室内小型振動台実験から得られた実験結果（H14実施の1ケースとH15実施の1ケース）と、数値シミュレーションによる解析結果を比較検討することにより、解析手法の妥当性と精度を検証した。数値シミュレーションにより、加速度・変位・間隙水圧などの地盤応答と、杭の水平変位と曲げモーメントの最大値は、良好に再現できることがわかった一方、矢板護岸の変位量は過小評価する結果となった。これらの比較検討から、数値シミュレーションにお

けるモデル化や解析上留意すべき点を見出すことができた。具体的には、地盤の変形パターンに影響を与える地盤材料のモデル化（土の構成則）の重要性を再認識した点、適切なモデルメッシュと時間ステップ間隔の設定、地盤と杭の境界条件の設定、模型杭のはり要素によるモデル化などに新しい知見を得た。これらは、今後の大型室内振動台模型実験の数値シミュレーションに非常に役立つものである。

- 3) 平成16年度：過年度と同じく、液状化による側方流動を受ける矢板護岸に近接した杭基礎に関して、フーチング質量が杭基礎の応答に及ぼす影響を調べることを目的とした一連の室内小型振動台実験から得られた実験結果（H16実施の2ケース）と、数値シミュレーションによる解析結果を比較検討することにより、解析手法の妥当性と精度を検証した。数値シミュレーションにより、加速度・変位・間隙水圧などの地盤応答と、杭の水平変位と曲げモーメントの最大値は、良好に再現できることがわかった一方、矢板護岸の変位量は過小評価する結果となった。これらの比較検討から、数値シミュレーションにおけるモデル化や解析上留意すべき点を見出すことができた。具体的には、地盤の変形パターンに影響を与える地盤材料のモデル化（土の構成則）の重要性を再認識した点、適切なモデルメッシュと時間ステップ間隔の設定、地盤と杭の境界条件の設定、模型杭のはり要素によるモデル化などに新しい知見を得た。これらは、今後の大型室内振動台模型実験の数値シミュレーションに非常に役立つものである。
- 4) 平成17年度：液状化地盤内に設置された群杭模型に作用する側方流動の実大振動台模型実験（2006年3月24日実施）に関する3次元数値解析を、有効応力原理に基づく数値解析法を用いて実施した。群杭の応答と液状化後の地盤の流動変位の予測における本解析方法の精度の検証を目的として、地盤の物性評価、数値解析方法の手順、地震動に対する地盤と群杭と矢板岸壁の応答特性など解析結果について検討を行った。事前解析の計算結果から、モデル地盤全体が護岸側へ流動すること、過剰間隙水圧の上昇により飽和層は完全液状化し密な砂特有の膨張的な挙動を示すこと、緩い砂に見られる加速度振幅の減少はなく密な砂特有のサイクリックモビリティを示すこと、杭の曲げモーメントは降伏モーメントを超え大きく損傷を受けることなどが予測された。
- 5) 平成18年度：液状化地盤内に設置された群杭模型に作用する側方流動の実大振動台模型実験（2006年12月15日実施）に関する3次元数値解析を、有効応力原理に基づく数値解析法を用いて実施した。群杭の応答と液状化後の地盤の流動変位の予測における本解析方法の精度の検証を目的として、数値解析方法の手順、地震動に対する地盤と群杭とケーソン岸壁の応答特性など解析結果について検討を行った。事前解析の計算結果から、モデル地盤全体が護岸側へ流動すること、過剰間隙水圧の上昇により飽和層は完全液状化し密な砂特有の膨張的な挙動を示すこと、緩い砂に見られる加速度振幅の減少はなく密な砂特有のサイクリックモビリティを示すこと、杭の曲げモーメントは杭上下端部双方において降伏モーメントを超え大きく損傷を受けることなどが予測された。

(e) 平成18年度業務目的

側方流動を受ける杭基礎に関するE - ディフェンスの震動台実験の数値シミュレーションを、三次元有効応力解析を用いて行い、適切な加振波の選択と最適な液状化実験実施

のための事前検討のデータを提供する。本研究を通して、本数値シミュレーション法の精度を確認し、本数値シミュレーションの重要基礎構造物の性能評価への適用性を検討する。

(2) 平成 18 年度の成果

(a) 業務の要約

液状化地盤内に設置された群杭模型に作用する側方流動の実大振動台模型実験(2006年12月15日実施)に関する3次元数値解析を、有効応力原理に基づく数値解析法を用いて実施した。数値解析の主要な目的は、群杭の応答と液状化後の地盤の流動変位の予測における本解析方法の精度を検証することであり、地盤の物性評価、数値解析方法の手順、地震動に対する地盤と群杭とケーソン護岸の応答特性など解析結果を検討する。

(b) 業務の実施方法

1) 解析対象とする実験概要

今回の数値解析の対象となる実験は、2006年12月15日実施された、ケーソン護岸背後の液状化地盤内に設置された群杭模型に作用する側方流動の実大模型振動台実験である。

実験モデルは、図1に示すように、液状化地盤内に設置された杭基礎の実大模型であり、杭は水際線に相当するケーソン護岸背後の側方流動域に位置する。本実験ではケーソン護岸背後地盤の液状化によりケーソン護岸が変位して護岸近傍の背後地盤に側方流動が生じ、杭基礎に大きな荷重が作用する。杭基礎は、2006年3月実施の実験に使用されたものと同様であり、6本(2×3本)の鋼管杭から構成され、質量10tonのフーチング(長さ1.6m×幅1.6m×高さ0.5m)に剛結されている。鋼管杭は直径152.4mm×厚さ2mmで、曲げ剛性は550.4kNm²である。杭は土槽下端(GL-435cm)にヒンジ結合され、上端はGL-50cmの位置でフーチングに剛結されている。フーチング上には4本の剛柱と12tonの鋼板からなる上部構造物を載せ、上部構造物の荷重を再現している。表1に杭とケーソン護岸の諸元を示す。

杭基礎は、アルバニー砂の3層地盤内に設置され、水際線に相当するケーソン護岸から100cm程度離れた地点に位置する。護岸背後地盤の厚さは4.5mで、地下水面以浅の不飽和状態にある厚さ50cmの地表層、地下水面以深の厚さ325cmの液状化層と厚さ75cmの締まった基盤層から構成される。これらの砂層は、振動締固め法により作成されているが、基盤層は相対密度 $D_r=90\%$ を目標に作成され、上部の2層はおよそ $D_r=60\%$ となっている。地盤材料であるアルバニー砂は、比較的粒径のそろっていて細粒分を含まず、豊浦砂と粒度が非常に類似した砂であるが、アルバニー砂は比較的丸い粒子から成り立っており、このため、最大間隙比 $e_{max} = 0.759$ と最小間隙比 $e_{min} = 0.469$ と、豊浦砂に比べて小さい値となっている。

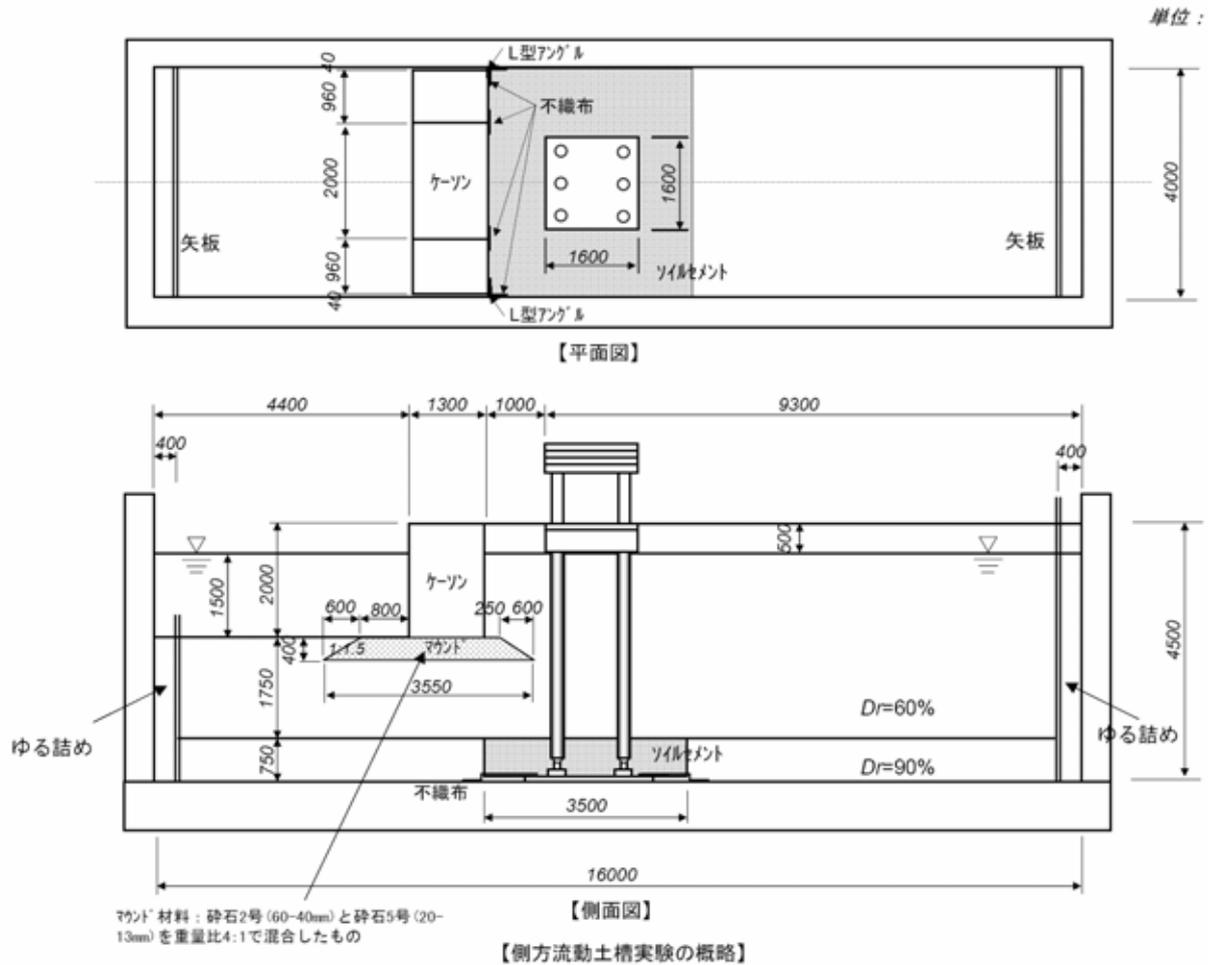


図 1 杭に作用する地盤の側方流動実験の模型概要

表 1 基礎杭の諸元

	杭	備考
外径	D (mm)	152.4
肉厚	t (mm)	2
断面積	A (m ²)	9.450×10 ⁻⁴
断面二次モーメント	I (m ⁴)	2.672×10 ⁻⁶
密度	ρ (t/m ³)	7.9 SS400
ヤング率	E (GPa)	206 SS400
ポアソン比	ν	0.3
降伏応力	(MPa)	240 SS400
降伏曲げモーメント	(kNm)	7.8 常時軸力(16.3kN)を考慮
降伏曲率	(1/m)	0.0142 常時軸力(16.3kN)を考慮
全塑性曲げモーメント	(kNm)	10.8 常時軸力(16.3kN)を考慮
全塑性曲率	(1/m)	0.0196 常時軸力(16.3kN)を考慮

2) 解析手法

a) 有限要素法コードと構成則モデル

前述の振動台実験のシミュレーションを目的に、有限要素法コードとして Diana-J3、砂の構成則モデルとして Stress – Density モデル¹⁾²⁾を用いた 3次元有効応力解析を実施した。用いた構成則モデルは、状態概念に基づくもので、パラメータの定義と土の挙動の再現において、いくつかの特徴を有する。有限要素法コードと構成側モデルに関する特徴を以下に示すが、詳細については文献¹⁾²⁾を参照されたい。

b) 砂の挙動のモデル化

アルバニー砂の構成則モデルの入力パラメータは、文献³⁾⁴⁾に示されている室内実験結果と、本研究で実施した室内実験結果をもとに設定した。本研究で使用している構成則モデルの Stress – Density モデルのパラメータは、4つのグループ（弾性パラメータ、状態量パラメータ、応力 ひずみ関係、ダイレイタンシー関係）に分類される。アルバニー砂に関するこれらのパラメータの同定は、文献⁵⁾で詳述されており、表 2 にまとめて示す。

表2 アルバニー砂のパラメータ

種類	パラメータ	値 (アルバニー砂)
弾性	せん断定数 A	450
	ポアソン比 ν	0.20
	指数 n	0.90
Reference state type	準定常状態線	(e, p')-values
応力 - ひずみ関係	$(\tau/P)_{max}$ に関する係数 a_1, b_1	0.66, 0.015
	$G_{N, max}$ に関する係数 a_2, b_2	317, 86
	$G_{N, min}$ に関する係数 a_3, b_3	255, 28
	定数 f	1.5
ダイレイタンシー	ダイレイタンシー係数 μ_0	0.20
	限界応力比 M	0.72
	ダイレイタンシーひずみ S_c	0.0055

c) 数値解析モデル

3次元有限要素モデルは、土部分は 8 節点のソリッド要素、杭体はビーム要素である。ソリッド要素は、基礎（杭頭）、フーチングに上載する重量マスとケーソン護岸をモデル化する際にも使用し、ビーム要素は、杭頭と上部構造物（重量マス）をつなぐ柱状体をモデル化するのにも使用した。短軸方向については模型の対称性からその半分をモデル化した。図 2 に有限要素メッシュを示す。

長軸方向側面（y-z 面）の境界は、x 方向の変位を固定することにより、剛な土槽を表現した。護岸と直角方向に 1/2 にした面に位置する節点は、y 方向（護岸平行方向）の変位を固定とした。1/2 モデルを採用したことから、モデル化する杭の本数は 4 である。この

うち2本は護岸直交方向に1/2とした面に位置する。地盤と護岸および地盤と杭の境界面においては、地盤側の沈下挙動を再現するために、両者は水平方向を一緒に動くようにするが、鉛直方向に対してはそれぞれが独立に動くように節点の自由度を拘束した。地盤とフーチングの境界面におけるモデル化は、参考文献⁴⁾の解析と同様である。すなわち、フーチングの護岸背後側では地盤とフーチングが同じ変位(x方向)をするが、フーチングの護岸前面側と側面においては地盤とフーチングで別々に変位する。

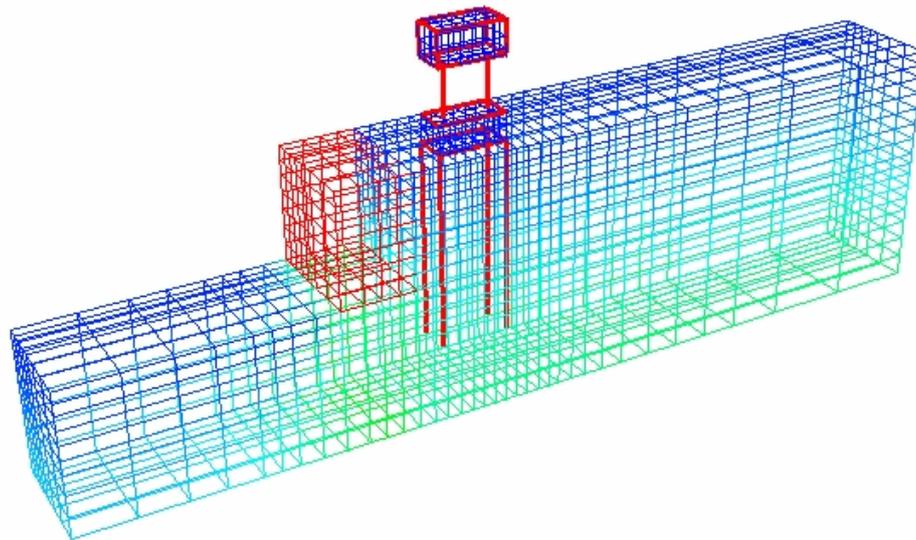


図2 3次元解析に用いた地盤モデルの有限要素メッシュ

d) 初期応力解析

地震動入力前の地盤モデル内の初期応力状態を評価するために、2次元静的解析を実施した。地盤の地震応答、特に側方流動により引き起こされる地盤の変形量は、初期せん断応力により強く影響を受けることが知られている。よって、この初期応力解析は本シミュレーションにおいて重要な手順と位置づけられる。初期応力解析では、地盤モデルの準備段階から作成完了までの手順を考慮し、初期応力状態を次の2段階に分けて計算した。

第1段階は、砂の投入・突固め・飽和・圧密という地盤モデルの作成により生じる応力状態である。地盤モデルの作成中には、ケーソン護岸は固定され、回転と水平移動は生じないと仮定している⁵⁾。これより、地盤モデル作成中、砂層は静止土圧状態を保持していたものと仮定した。つまり、砂層において、 $\sigma'_v = \gamma h$ 、 $\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$ 、 $K_0 = 0.5$ と仮定した。

第2段階は、ケーソン護岸の側方支保の除去である。これにより、ケーソン護岸は背後地盤から不均衡な土圧を受け、水際線方向への変形を引き起こし、地盤内の応力変化をもたらす。静的解析の主要な目的は、上記のような加振前の実験過程における条件を再現し、その結果もたらされる地盤の応力変化を推定することにある。静的解析の手順の詳細は参考文献⁶⁾に記述されている。具体的には、圧密後の応力を初期の応力状態として使用し、支保工除去による不均衡な土圧を水平分布荷重に置き換えてケーソン護岸に作用させた。図3にこのような方法で算定した初期応力の分布を示す。同図において、弾性体と見なしたケーソンと上部工はそれぞれ青色と赤色で表示されている。

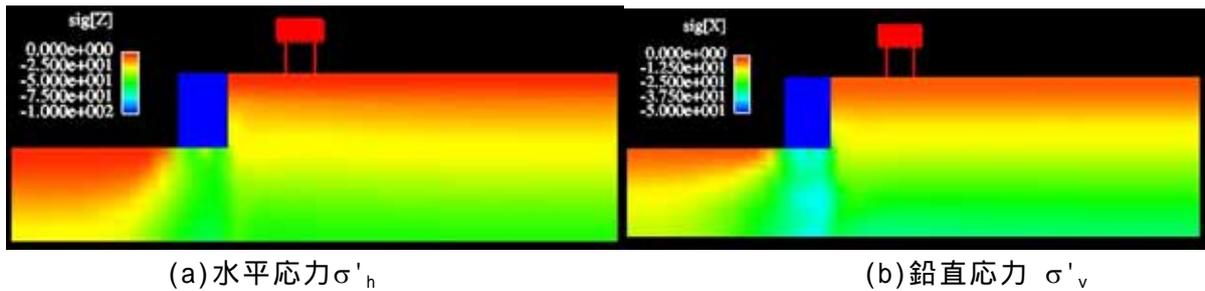


図3 初期応力解析

e) 動的解析

時間ステップを $\Delta t = 0.002$ 秒、レイリー減衰のパラメータを $\alpha = 0$ 、 $\beta = 0.003$ として動的解析を実施した。解析では排水条件を仮定し、計算時間を 20 秒とした。したがって、解析は加振時の応答のみであり、加振終了後の過剰間隙水圧の消散とそれに伴う変形を評価していない。このため、側方流動量は実験結果よりも小さくなるものと予想される。加振波形は 1995 年兵庫県南部地震における JR 鷹取駅での観測地震動の N-S 成分である。その波形を図 4 に示す。解析においてはこの波形をモデルの長軸方向への入力地震動として使用している。なお、本解析では水平方向地震動の影響を明確にするために、鉛直方向の入力地震動は考慮していない。使用したソフトウェアは鉛直方向の地震動も同時に入力することができるので、地震動の鉛直成分の影響が大きいと判断された場合には、水平方向および鉛直方向の同時入力とする。

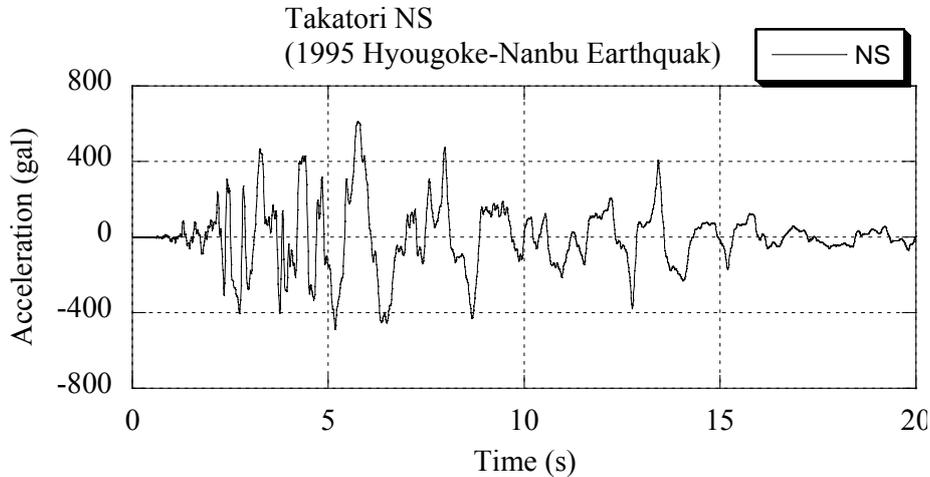


図4 解析に使用した入力地震動

(c) 業務の成果

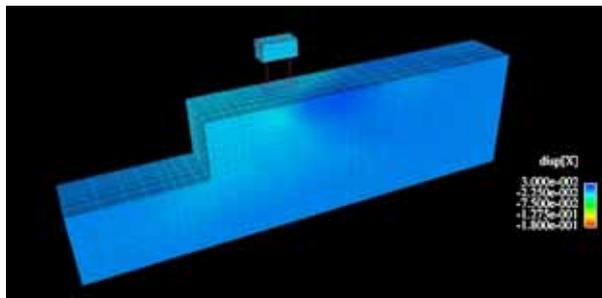
以下に、地盤の応答、ケーソンと杭頭の変位、杭の応答に関する3次元数値シミュレーション結果について記述する。

1) 地盤の応答

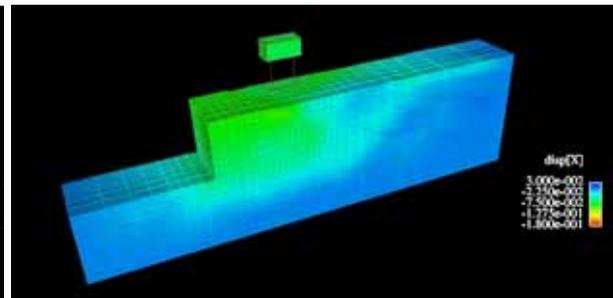
振動台試験の実験結果における特徴は、ケーソン天端が水平方向に1.2mほど海側へ変形したことである。杭基礎も海側へ同程度の変形を生じた。基礎の残留変位の大きさと上部

構造物の傾斜の大きさから、杭の破壊は明らかであった。杭の破壊形態の主要因ではないかもしれないが、座屈の可能性も指摘される。いずれにしても、護岸背後の地盤は、典型的な側方流動の形態を呈した水平変位を生じていて、ケーソン近傍でおよそ1mほどの残留変位を生じた。その変位は護岸から離れるにつれて小さくなる傾向にあった。加振中における地盤の変形挙動は激しく、基礎と背後地盤の間に瞬時的ではあるがギャップが生じ、背後地盤表面においてスロッシングのような現象が伺えた。

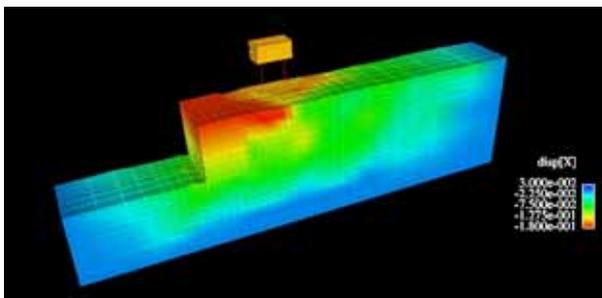
数値解析結果では、上記と同様な変形モードが得られたが、変位量は実験結果よりも小さい結果となった。図5に数値解析で得られた水平変位の分布を変形図に重ねて示す。水平変位の分布から、基礎周りで地盤が流動的な変状を生じているのに対して、基礎の変位が比較して小さい。基礎の周囲における地盤変位の3次元性が明瞭に認められる。なお、残留変形量が小さくなった理由としては、有限要素メッシュが比較的粗いことや要素積分に減退積分を適用していないことなどが考えられる。有限要素メッシュに関しては、利用している計算センターのCPU時間に対する制約から今回のように設定せざるを得なかった。



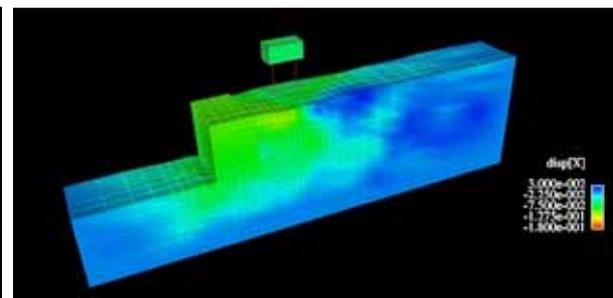
(a) 3秒後



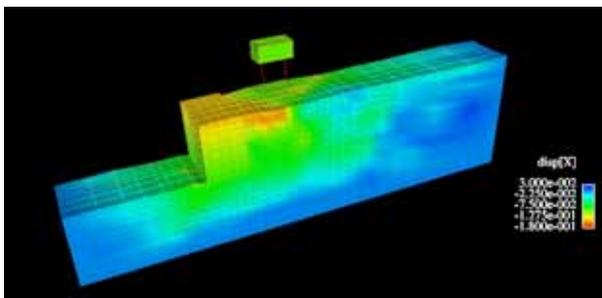
(b) 5秒後



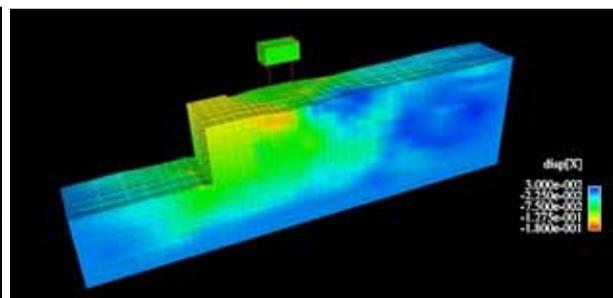
(c) 6秒後



(d) 7秒後



(e) 8秒後



(f) 9秒後

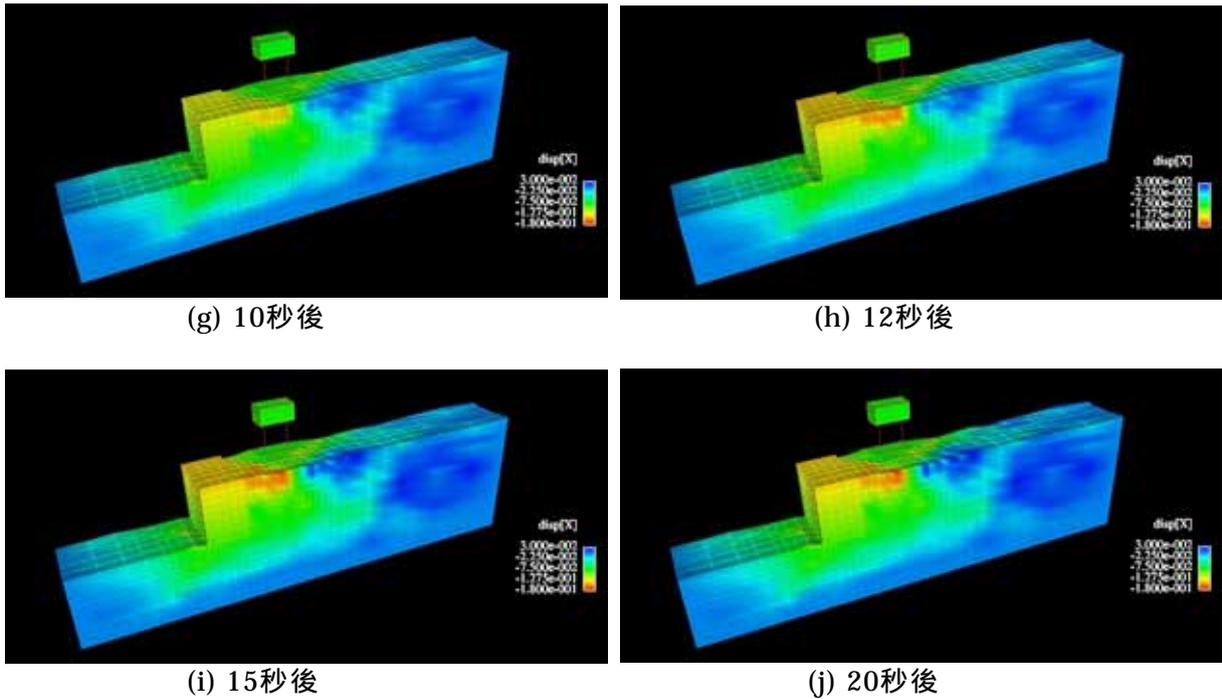


図 5 時間 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20 秒後における長軸方向 (x 変位) の水平変位の計算結果

図 6 に過剰間隙水圧と加速度に関する着目点の位置を示す。図中の 印は過剰間隙水圧の着目点、 印は加速度の着目点である。

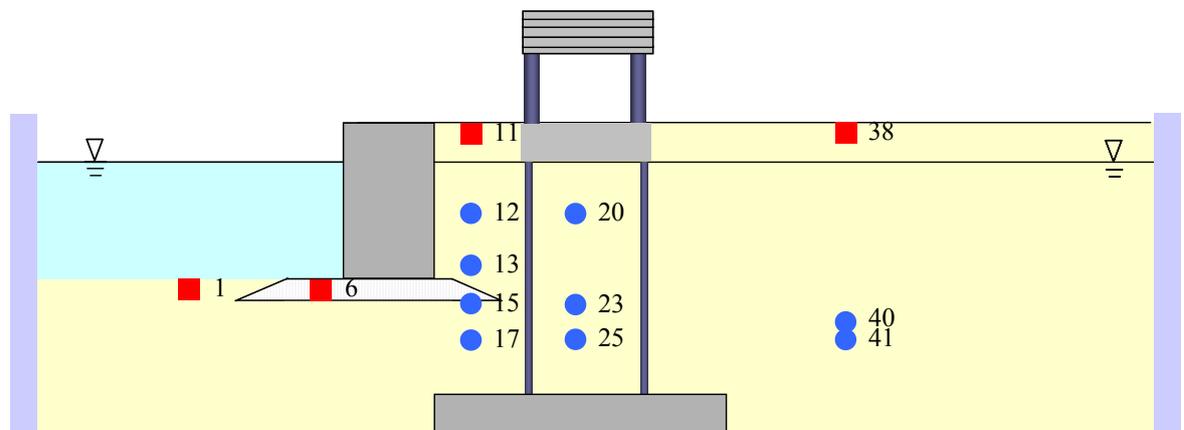


図 6 過剰間隙水圧と加速度に関する着目点の位置

図 7 に、杭基礎から背後へ 4m 離れた位置における地盤内の過剰間隙水圧の時刻歴を示す。深さは GL-1.9m から GL-3.14m の間の 2 箇所である。いずれの深さにおいても過剰間隙水圧は有効土被り圧レベルにまで上昇しており、この近辺の地盤は完全液状化に至っていると判断される。3 ~ 9 秒の間では、たびたび過剰間隙水圧が負となり、強い膨張性挙動を示していることは興味深い。図 8 と図 9 に、杭近辺とケーソン護岸近辺の地盤内における過剰間隙水圧の時刻歴を示す。概して、これら 3 箇所においては地盤内の過剰間隙水圧は、いくつかの相違点があるものの、ほぼ同様なものとなっている。たとえば、加振の進行に従って過剰間隙水圧のピーク値が減少することや、杭間において過剰間隙水圧の膨張的な応答挙動がより顕著になることが指摘される。また、ケーソン護岸から離れるに従って加振終了時の過剰間隙水圧レベルは次第に増加する。これ

は、ケーソン護岸近辺で生じた大きな側方変位および護岸と杭の相対的変位が過剰間隙水圧の挙動に影響を与え、地盤をより膨張的な変形挙動させたものと考えられる。

図 10 に、地下水面以深 (1,6)、ケーソン護岸近辺 (11)、ならびに自由地盤と見なし得る杭基礎より背後へ約 4m 離れた地盤表面 (40) における加速度の時刻歴をそれぞれ示す。液状化に伴う加速度の著しい減衰は認められない。

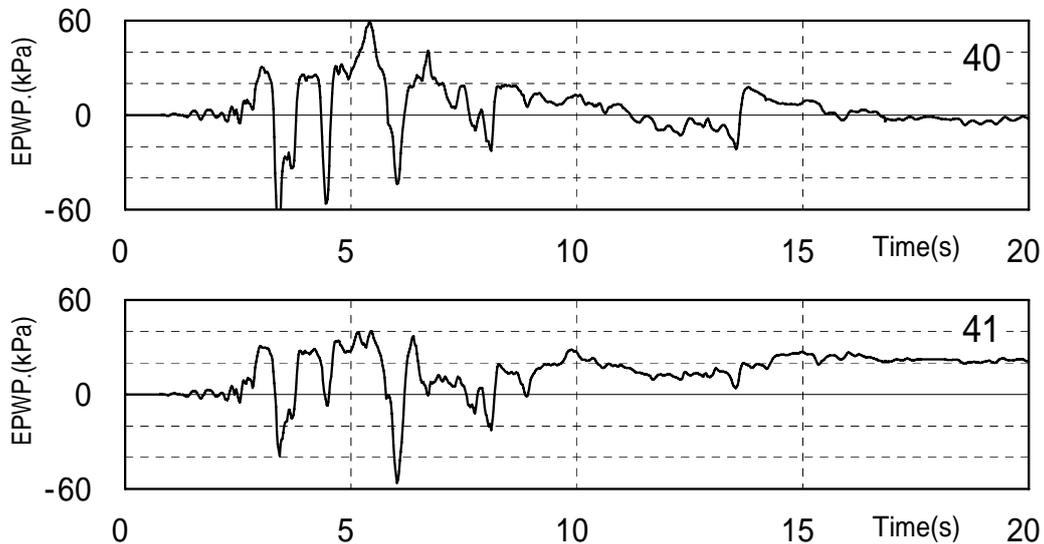


図 7 数値解析で得られた過剰間隙水圧の時刻歴 (杭基礎から約 4m の距離)

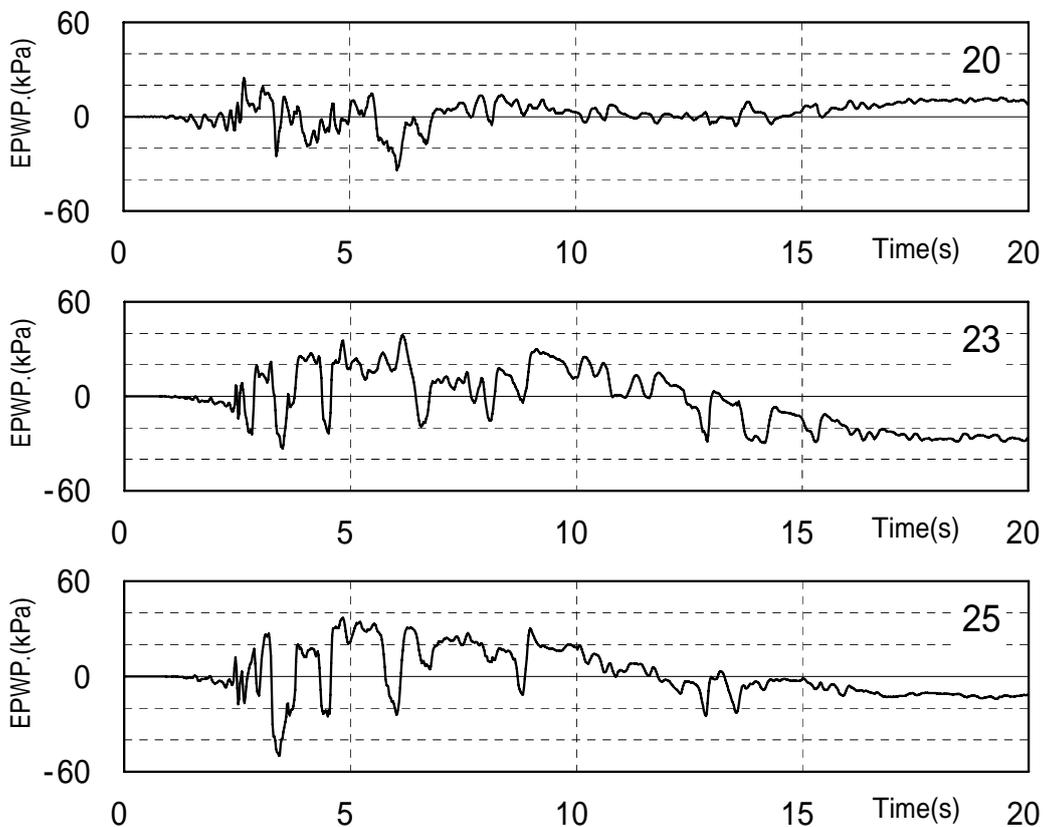


図 8 数値解析で得られた過剰間隙水圧の時刻歴 (杭近傍)

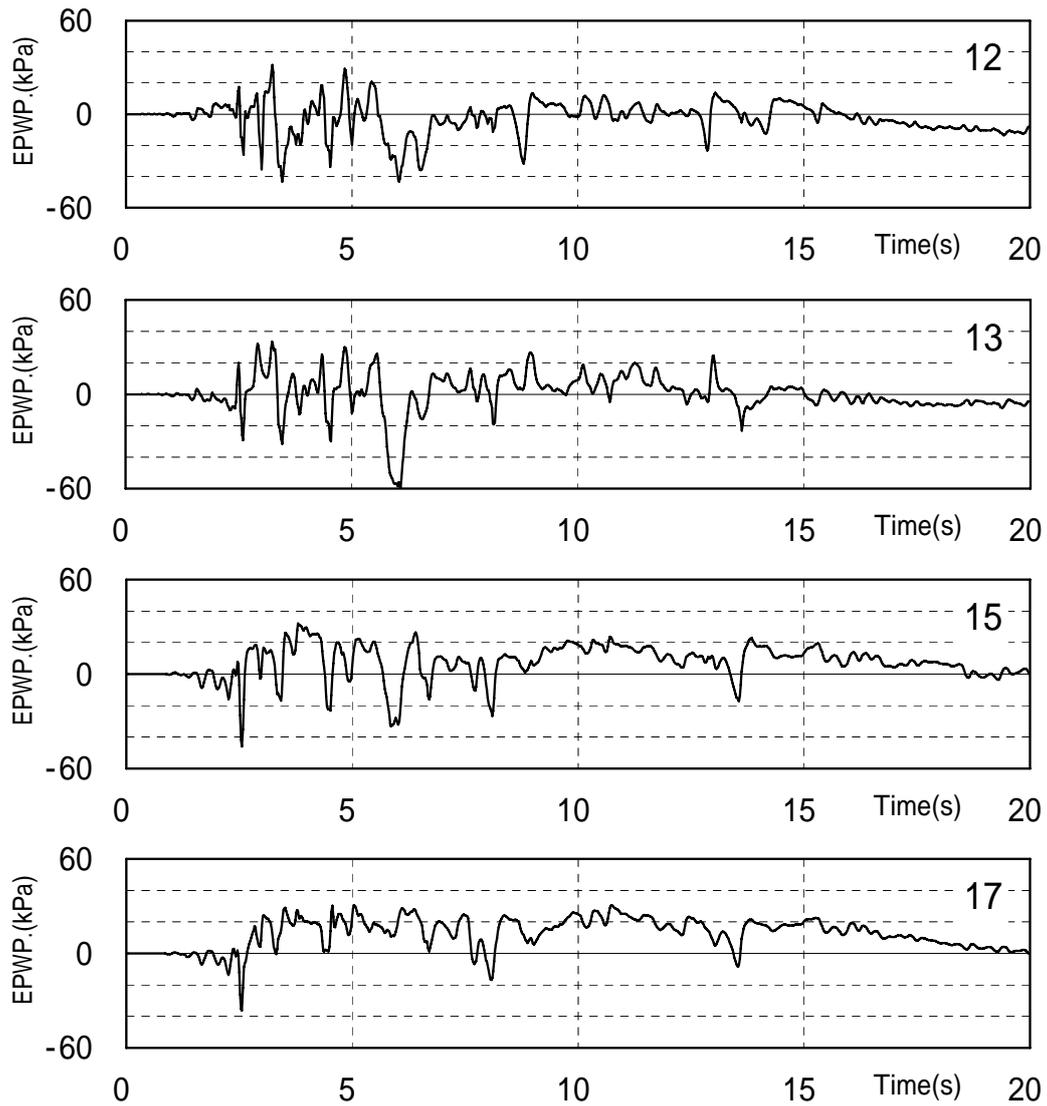


図9 数値解析で得られた過剰間隙水圧の時刻歴（ケーソン護岸背後）

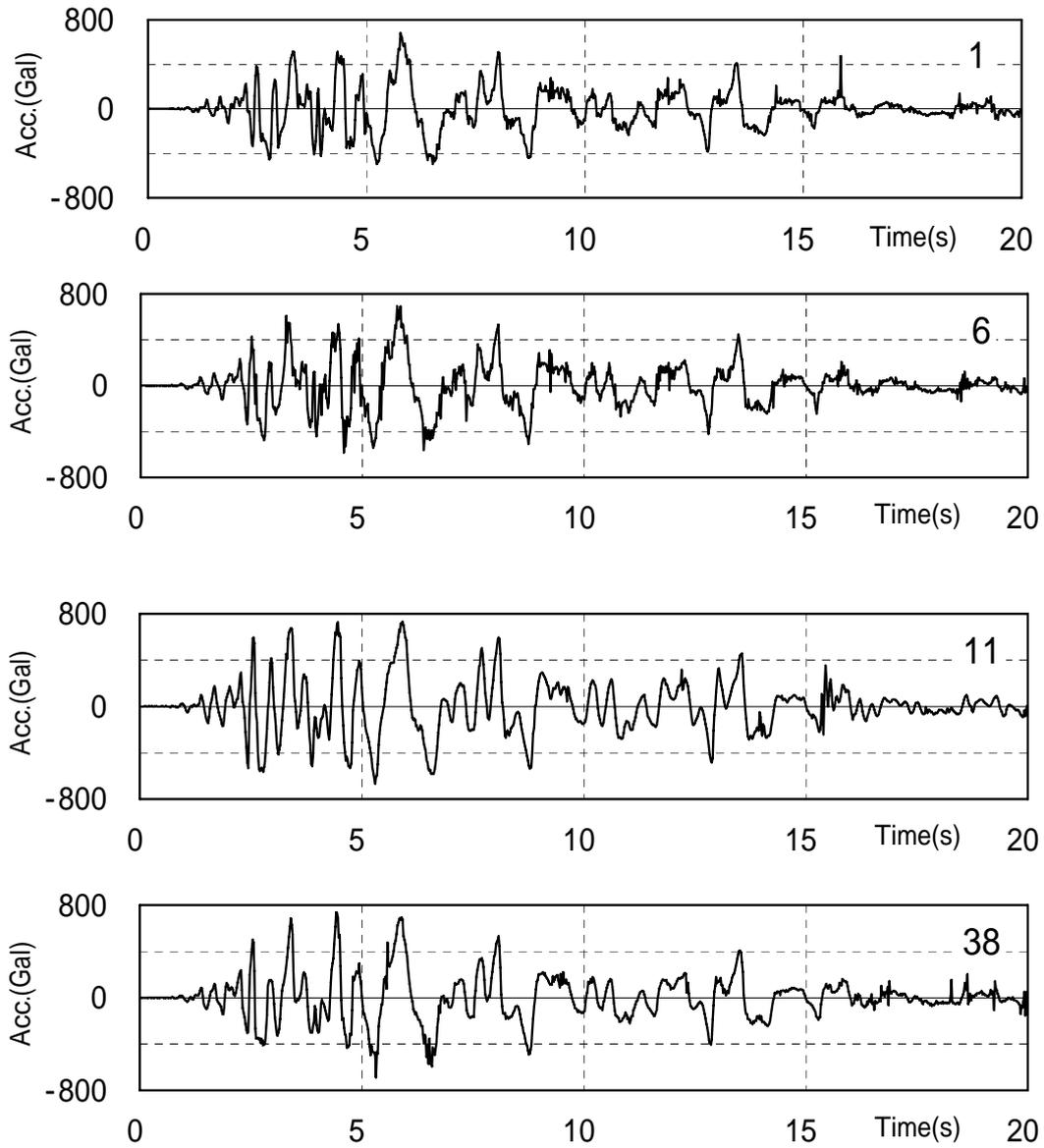


図 10 数値解析で得られた水平加速度の時刻歴
 (護岸前面の地盤表面(1,6); 護岸背後の地盤表面(11,38))

2) 杭とケーソン護岸の水平変位

図11に、ケーソン護岸天端における水平変位の時刻歴を示す。護岸の変位は加振中に次第に増大し、解析終了時(20秒後)に約14cmに達する。特に、地震動振幅が大きい約5.9秒の時点で変位が大きく増加する。ただし、その最大変位は振動台実験で目視観測されたものよりかなり小さい。現時点で両者の相違点を議論するのは早急と思われるが、その原因として「1) 地盤の応答」でも述べたように次のような理由があげられる。(a) 既往の研究⁴⁾⁵⁾で指摘されているように、本解析で減退積分を採用していないので、地盤の要素を硬化させ護岸の変位を減少させる傾向がある。(b) 有限要素メッシュが粗く、変形応答が鈍感になった可能性がある。

図12に、フーチング(杭頭部)の水平変位の時刻歴を示す。変位の最大値は13cmで、解析終了時には7cmとなっている。フーチングの変位はケーソン護岸よりも小さい。

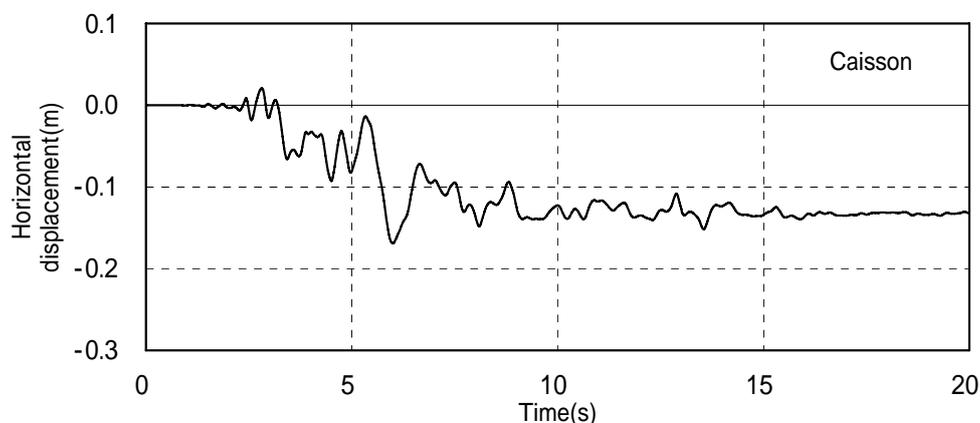


図 11 数値解析で得られた水平変位の時刻歴(ケーソン護岸天端)

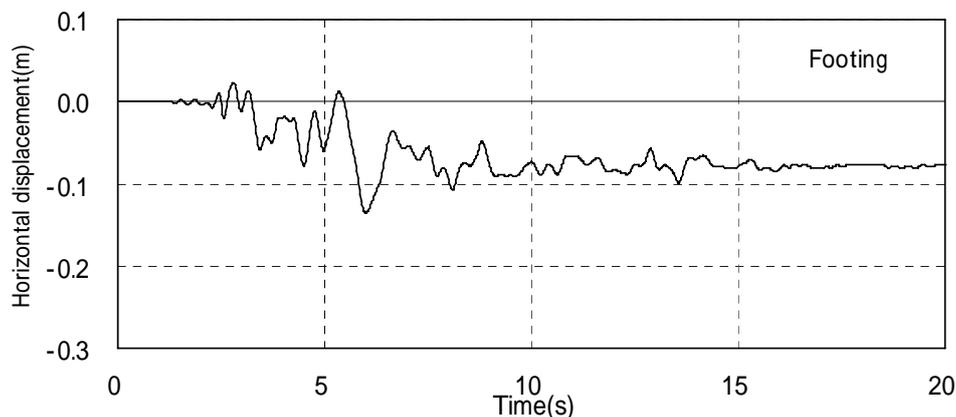


図 12 数値解析で得られた水平変位の時刻歴(フーチングの杭頭部)

3) 杭の曲げモーメント

図13に、杭No.1における上端部と下端部の曲げモーメントの時刻歴を示す。曲げモーメントの最大値は、杭上端部と下端部双方とも杭の降伏モーメントを超えており、杭の上端と下端で破壊したことを明確に示している。杭下端部はセメント固化された高い剛性の地盤（セメント固化層）である。そのため、液状化層とセメント固化層の境界では両者の著しい剛性の違いによって、多大な曲率と曲げモーメントが発生したと考えられる。図14に杭の非線形的な挙動を示す。同図は杭上端付近および中央付近におけるモーメント - 曲率の履歴関係である。

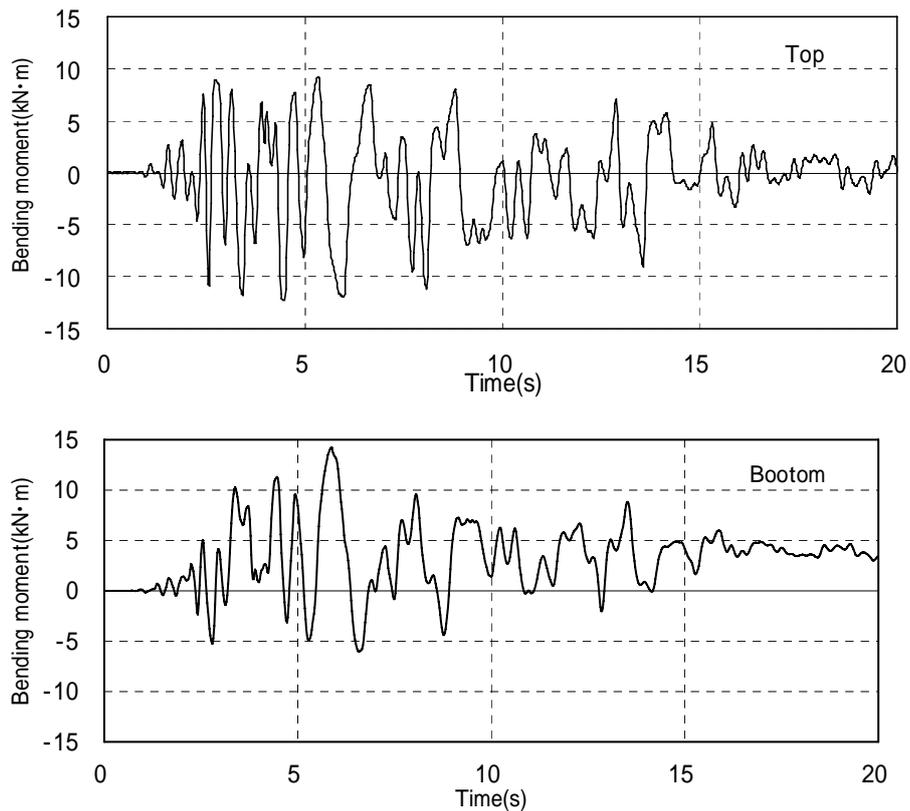


図 13 数値解析で得られた杭 No.1 の曲げモーメントの時刻歴
（上：杭上端部、下：杭下端部）

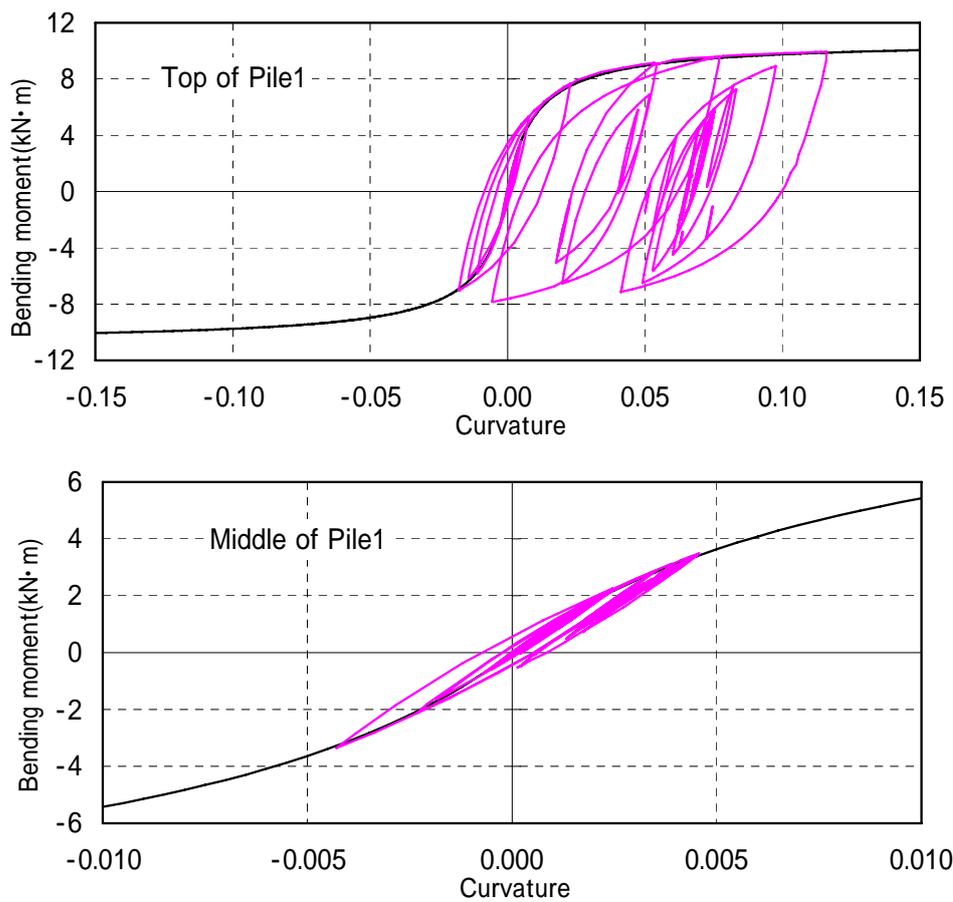


図 14 杭 No.1 のモーメント - 曲率の履歴関係（上：杭上端付近、下：杭中央付近）

図15に入力加速度が最大となる $t=5.76$ 秒における杭の曲げモーメントの分布を示す。曲げモーメントは、杭の上端部および液状化層とセメント固化層の境界で発生する。

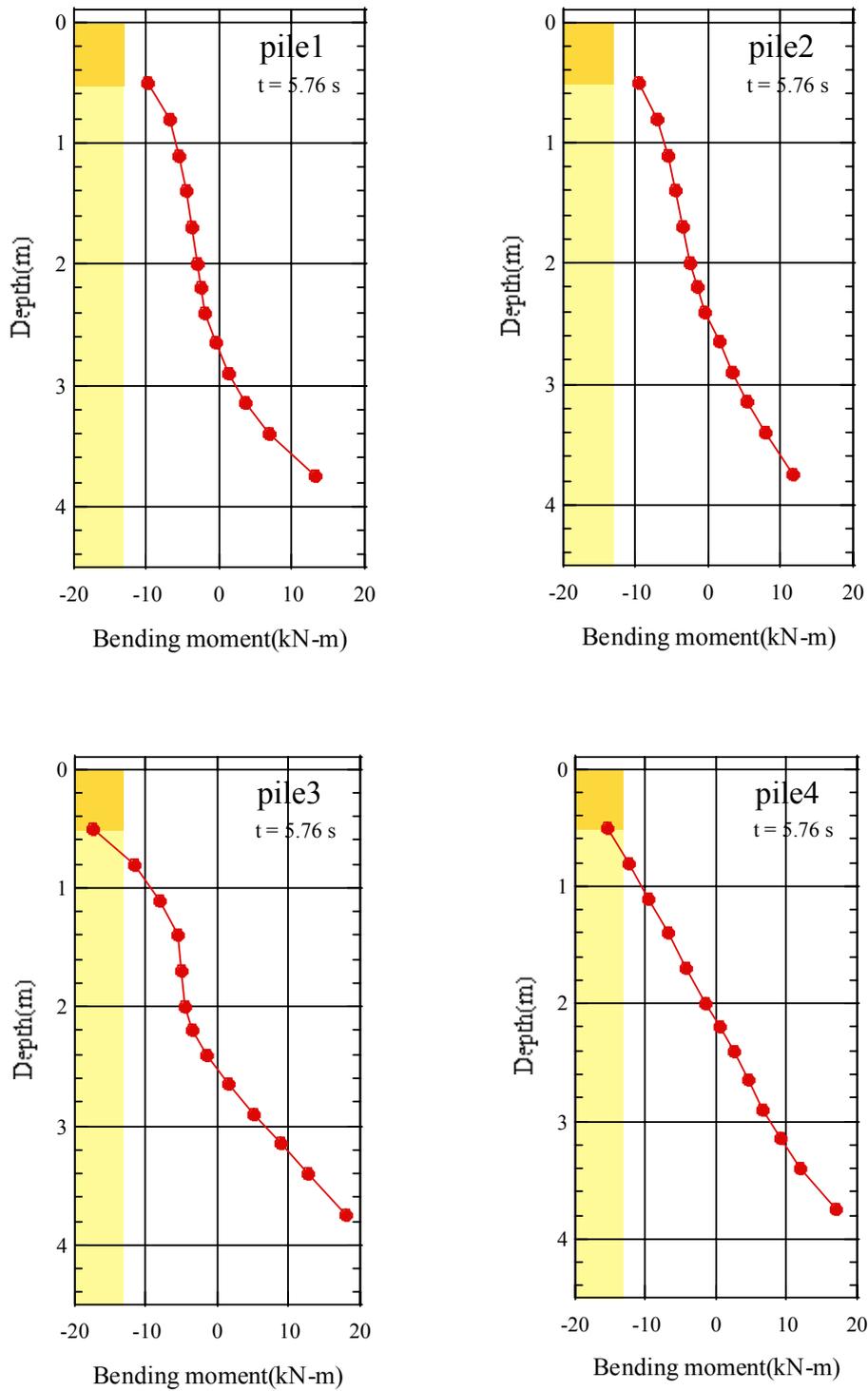


図 15 杭 No.1 ~ No.4 の曲げモーメントの深度分布 ($t=5.76$ 秒)

(d) 結論ならびに今後の課題

事前解析の計算結果をまとめると次のようになる。

- 1) 過剰間隙水圧の上昇程度から飽和層は完全液状化している。また、液状化層は密な砂特有の膨張的な挙動を示すことが指摘できる。
- 2) 加速度応答では、緩い砂に特有な完全液状化後の振幅の減少は認められず、密な砂特有のサイクリックモビリティを示す結果となった。
- 3) ケーソン護岸と杭の変位の最大値は、それぞれ 17cm と 13cm となった。
- 4) 杭の曲げモーメントの最大値は、杭の上下端部ともに降伏モーメントを超えた。これらの部位が明確な破壊を生じることを指摘できた。

数値解析によるシミュレーションの結果より得られた成果を以下に列挙する。

- 1) 杭の上端部および下端部は降伏モーメントを超えており、杭の破壊メカニズムを解明する実験として設定した杭の諸元は概ね妥当なものであると判断できる。
- 2) モデル全体の変形挙動は、地盤全体が護岸側へ流動することが確認された。ただし、護岸の残留変位は 15cm 程度である。本解析方法を用いた過去の解析結果をみると、残留変位は模型振動台実験の約 1/3 程度である。

(e) 引用文献

- 1) Cubrinovski, M. and Ishihara, K. (1998a) “Modelling of sand behaviour based on state concept”, Soils and Foundations, 38(3), 115 – 127.
- 2) Cubrinovski, M. and Ishihara, K. (1998b) “State concept and modified elastoplasticity for sand modelling”, Soils and Foundations, 38(4), 213 – 225.
- 3) 清水建設(2002)「アルパニー砂の室内試験結果」.
- 4) 文部科学省研究開発局，独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト，平成 17 年度成果報告書，3.3.6 .
- 5) 文部科学省研究開発局，独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト，平成 17 年度成果報告書，3.3.7 .
- 6) 文部科学省研究開発局，独立行政法人防災科学技術研究所：大都市大震災軽減化特別プロジェクト，平成 15 年度成果報告書，3.3.7 .

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願
なし
- 2) ソフトウェア開発
なし
- 3) 仕様・標準等の策定
なし