

## 平成7年兵庫県南部地震による重力式岸壁の被災数値シミュレーション解析

運輸省港湾技術研究所 森田年一\*

運輸省港湾技術研究所 井合 進\*\*

平成7年兵庫県南部地震では、多数の重力式岸壁が被災した。そこで、被災時の重力式岸壁付近の地盤の挙動を明らかにすることを目的として、数値シミュレーション（非線形動的有限要素解析）を行った。解析時の入射波には、ポートアイランドで観測された鉛直アレー地震記録を用い、対象とした重力式岸壁は観測地点に近いことも考慮して、ポートアイランド西側のコンテナ岸壁とした。解析した後、実際の被災変形量と解析結果の比較を行い、地震時の実際の挙動を解析においてどこまでシミュレートできるか等の検討を行った。その結果、ケーソン天端における変形量の実測値と解析値は、整合性のある結果となり、本研究で用いた解析プログラムによって、おおむね地震時の実際の挙動をシミュレートでき、重力式岸壁の変形量解析における同プログラムの適用性が改めて検証されたという結論に達した。

### 1. はじめに

平成7年兵庫県南部地震では、多数の重力式岸壁が被災した。以前より、筆者らは、応力-歪関係については東畑・石原による任意方向せん断断面の双曲線モデル<sup>1)</sup>を、過剰間隙水圧については筆者らの一人による塑性せん断仕事およびせん断応力の関数として与えるモデル<sup>2)</sup>を、構成則として取り入れた液状化汎用解析プログラム（以下、FLIP: FINITE ELEMENT ANALYSIS OF LIQUEFACTION PROGRAM）を用いて解析を行い、重力式岸壁に関する検討を行ってきた。そこで、平成7年兵庫県南部地震の際に被災した重力式岸壁を対象に、ポートアイランドで観測された鉛直アレー地震記録を用いて解析を行うこととした。

### 2. 地震記録

本報告で対象とする地震は、1995年1月17日5時46分に淡路島北東沖約3km（深さ約20km）を震源として発生した平成7年兵庫県南部地震（マグニチュード7.2）である。地震記録観測地点は、ポートアイランドの北西部に位置する図-1に示す地点で、K.P.+4.5m（地表）・K.P.-12m・K.P.-28m・K.P.-79mの4層で観測されている。

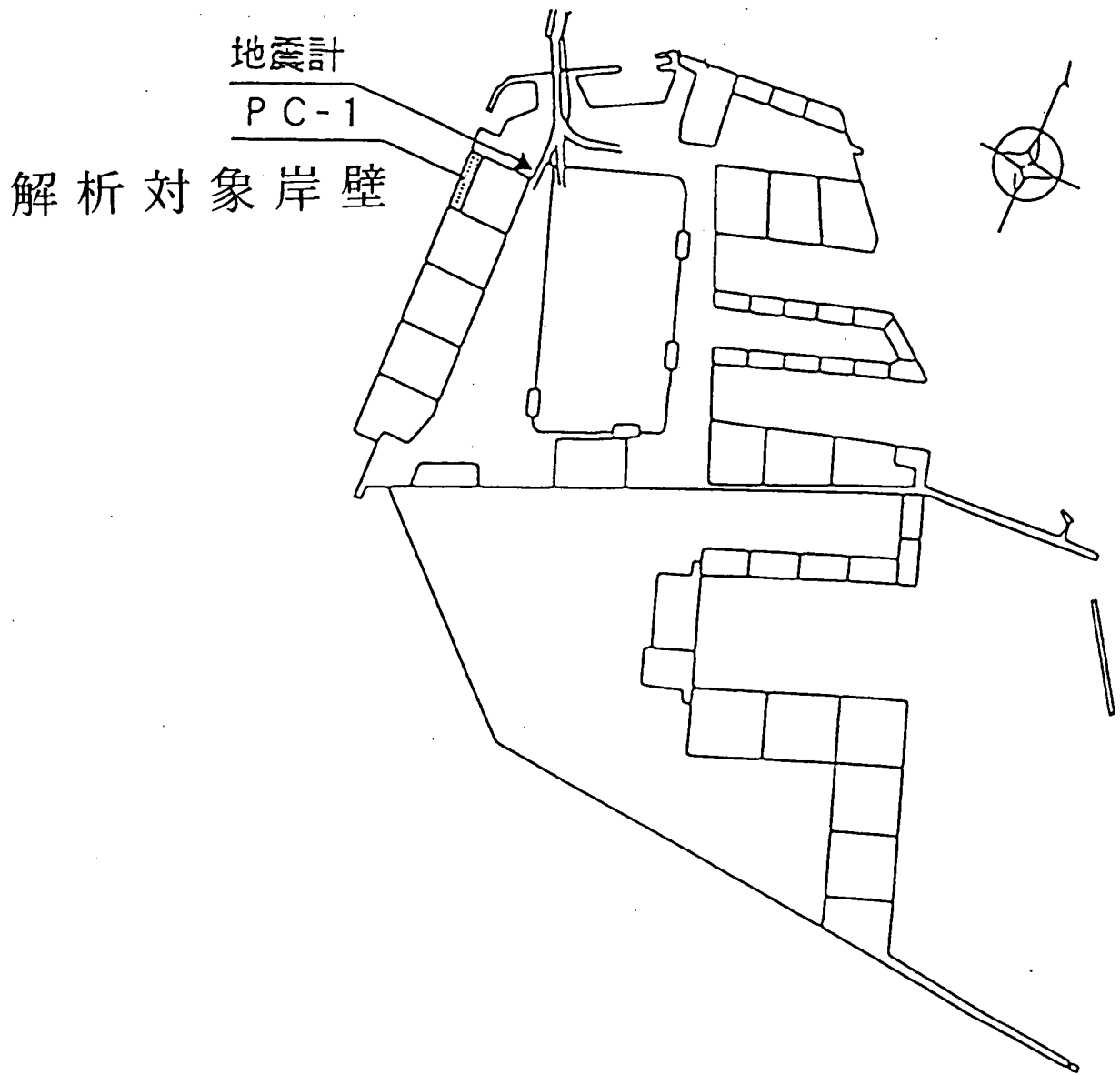
### 3. 物性値の決定

ここで、重力式岸壁の解析で用いる物性値の妥当性について検証を行うため、単位体積重量・ポアソン比・間隙率・最大減衰・内部摩擦角・変相角・液状化パラメータ等について重力式岸壁の解析と同一の値を用い、またその他の値についても同一の算出方法により求めた値を用いて、地震記録観測地点における一次元の地震応答解析を試みた。入射した波形は、K.P.-79mにおいて観測された水平方向成分の卓越方向である真東より25度南に傾いた方向（設置されていた強震計が、水平面内で反時計回りに22度回転して設置されているものと推定すると真南より43度東に傾いた方向に相当する<sup>3)</sup>）の波形である。一次元地震応答解析の結果を、図-2に示す。観測波と解析波を比較すると互いにより対応がみられた

キーワード：重力式岸壁、被災変形量、液状化

\* 運輸省港湾技術研究所地盤震動研究室、  
0468-44-5028

\*\* 運輸省港湾技術研究所地盤震動研究室長、  
0468-44-5028



神戸ポートアイランド

図-1 地震記録観測地点および解析対象岸壁位置

細線 観測波  
太線 解析波

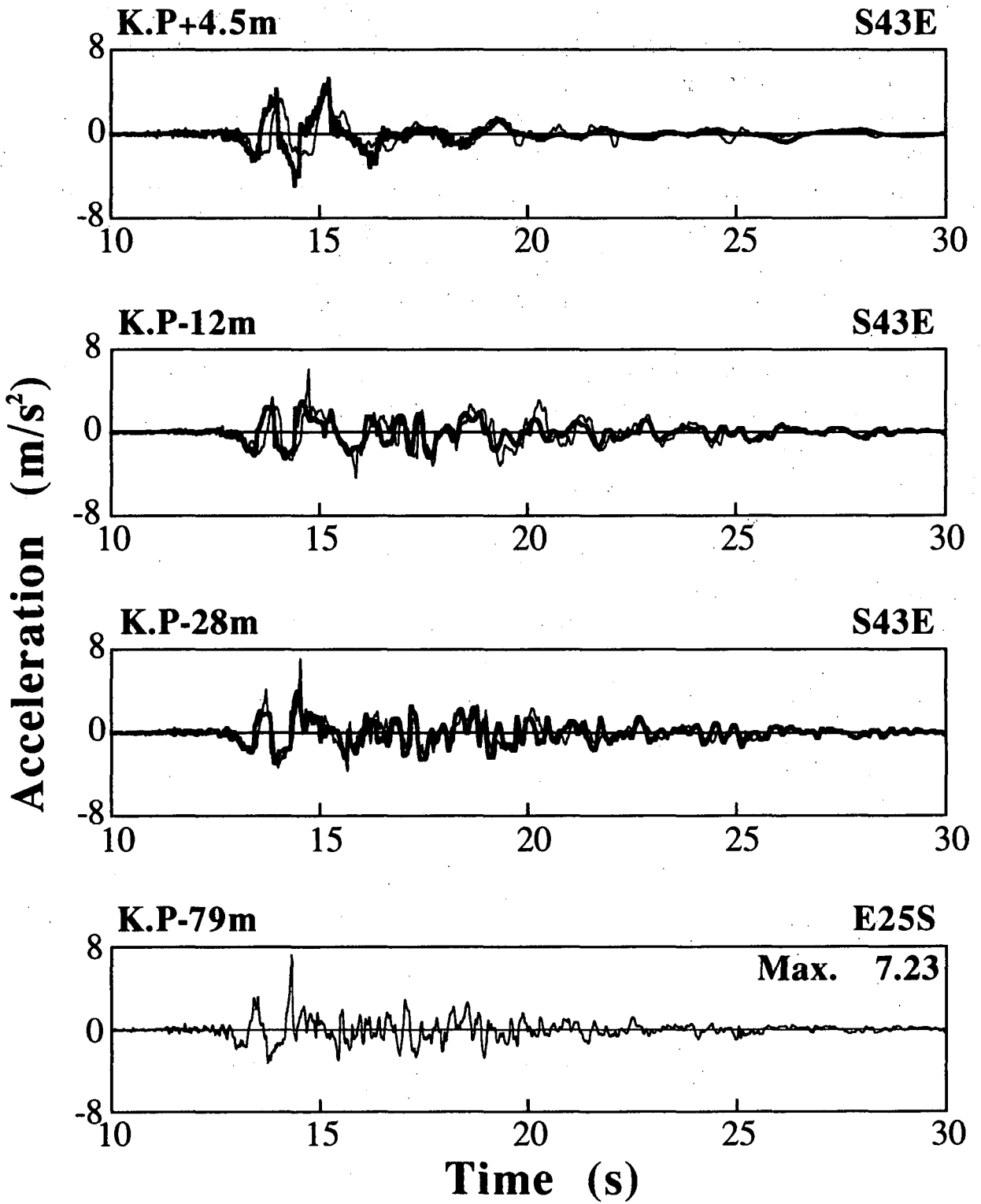


図-2 一次元地震応答解析結果

ため、ここで用いた物性値または同一の算出方法により求めた物性値を用いて、重力式岸壁の解析を行うこととした。なお、この次元解析についての詳細は別途報告したい。

#### 4. 解析方法

本報告では、対象とした岸壁の地震時の挙動をFLIPにより解析した。解析対象とした重力式岸壁は、実際の構造物の被災事例のひとつであり、地震記録観測地点にも比較的近いポートアイランド西側のコンテナ岸壁である。その岸壁の位置を図-1に標準断面図を図-3に示す。解析では、岸壁法線より海側52m、陸側83m、地表もしくは海面より標高-24mの範囲を対象断面として、既存の標準断面図および土質資料をもとに岸壁およびその付近の地盤をモデル化しメッシュ分割をして解析を行った。また、入力地震動は、解析する際に入射する深度を考慮して、K.P.-28mにおいて観測された地震波形を用い、方向成分は水平動1成分および上下動成分とした。水平動成分は岸壁法線直角方向成分を、上下動成分は観測された上下方向成分をそのまま置換土の底部であるK.P.-24mの層に入射した。解析に使用した波形は、図-4に示すように前10秒をカットし、観測開始10秒後から40秒後までの主要動を含む30秒間である。解析は非排水条件下で行い、積分ではWilson- $\theta$ 法( $\theta = 1.4$ )を用い数値解析的に安定性を高めるためにレーレー減衰として $\alpha = 0.0$ 、 $\beta = 0.002$ を液状化の進行にともなって減少させる形で用いた。

#### 5. 解析結果

図-5に解析の結果求められたケーソン天端における水平および鉛直の変位の時刻歴を示す。これを見ると最大で水平変位が2.88m、鉛直変位が1.01mとなっており、筆者が別途収集した地震後の測量結果と整合性のある結果となっている。そして、水平方向入力地震波では加速度が最大となっている4秒から5秒の時点の変形量は、最終的な変形量と比較した場合、それほど大きな値ではなく時間の経過とともに変形量が増大していく様子が見られる。

また、図-6に解析対象断面の最大変形時の変形図とベクトル図を併せて示す。この図によると、ケ

ーソンの背後の岸壁法線より陸側17m付近において1.9mの沈下を生じており、これも地震後の測量結果と整合性のある結果となっている。また、ケーソンの移動については、ケーソン自体が単独で前面に移動しているというよりは基礎捨石部ごと前面に移動している様子がうかがえる。そしてケーソン底部の海側部においては、前方に移動するとともに下方にめり込んで沈下している様子がわかる。

さらに、図-7に、メッシュ分割した要素のうち2つの要素について過剰間隙水圧比を時刻歴で表す。これを見ると、置換土部においては、6秒後までにいったん過剰間隙水圧比が0.6程度まで上昇した後、値は上下しながらも時間の経過とともに上昇していく様子が見られる。一方、ケーソン背後の埋立土部のうち比較的ケーソンから遠い場所においては、6秒後までに値は0.8程度まで上昇し、その後もそのままの値で推移していく様子が見られる。

#### 6. まとめ

本報告で行った重力式岸壁の解析において、対象とした岸壁の地震時の挙動をおおむねシュミレートすることができた。また、重力式岸壁の変形量解析におけるFLIPの適用性も検証できた。

今回の解析では、地震時に実際に海側へ2~3m移動したケーソンの挙動もとらえることができたが、ケーソンの移動量には、ケーソン下部の液状化対象層である置換土部の厚さが、関係しているのではないかという印象を受けた。置換土部では、地盤が軟化したために支持力を失い沈下するとともに背後地盤の土圧を受けて沈下量より大きな海側方向への変位を生じたと推測されるが、図-6を見ると、同じ置換土部でも置換土底面部からの距離が離れるにつれて、言い換えると深度が浅い場所ほど、海側方向への変位は大きくなっていることがわかる。そして、基礎捨石部の海側方向への変位は、置換土上部のそれよりも大きくなっている。

上記のことから、置換土上部に発生した海側方向への力が基礎捨石部にも影響し、基礎捨石部に引きずられるようにケーソンが移動したと推察する。そして、仮に置換土部が非液状化土であったら、あるいはもっと薄かったら、ケーソンの挙動はどのようなになっていたかという疑問が生じた。これらの疑問

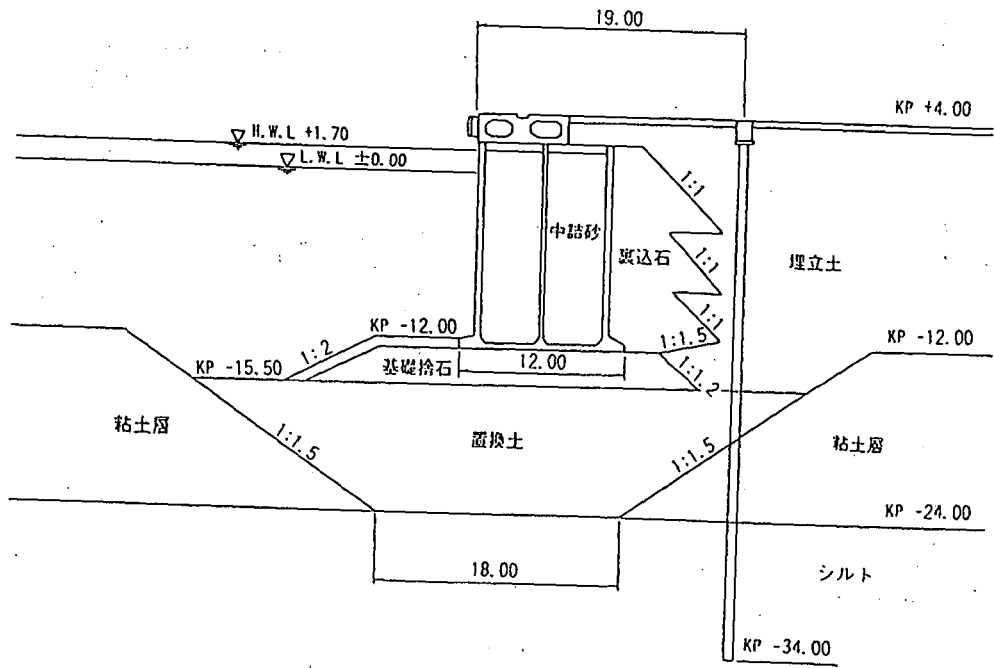


図-3 解析対象岸壁の標準断面図

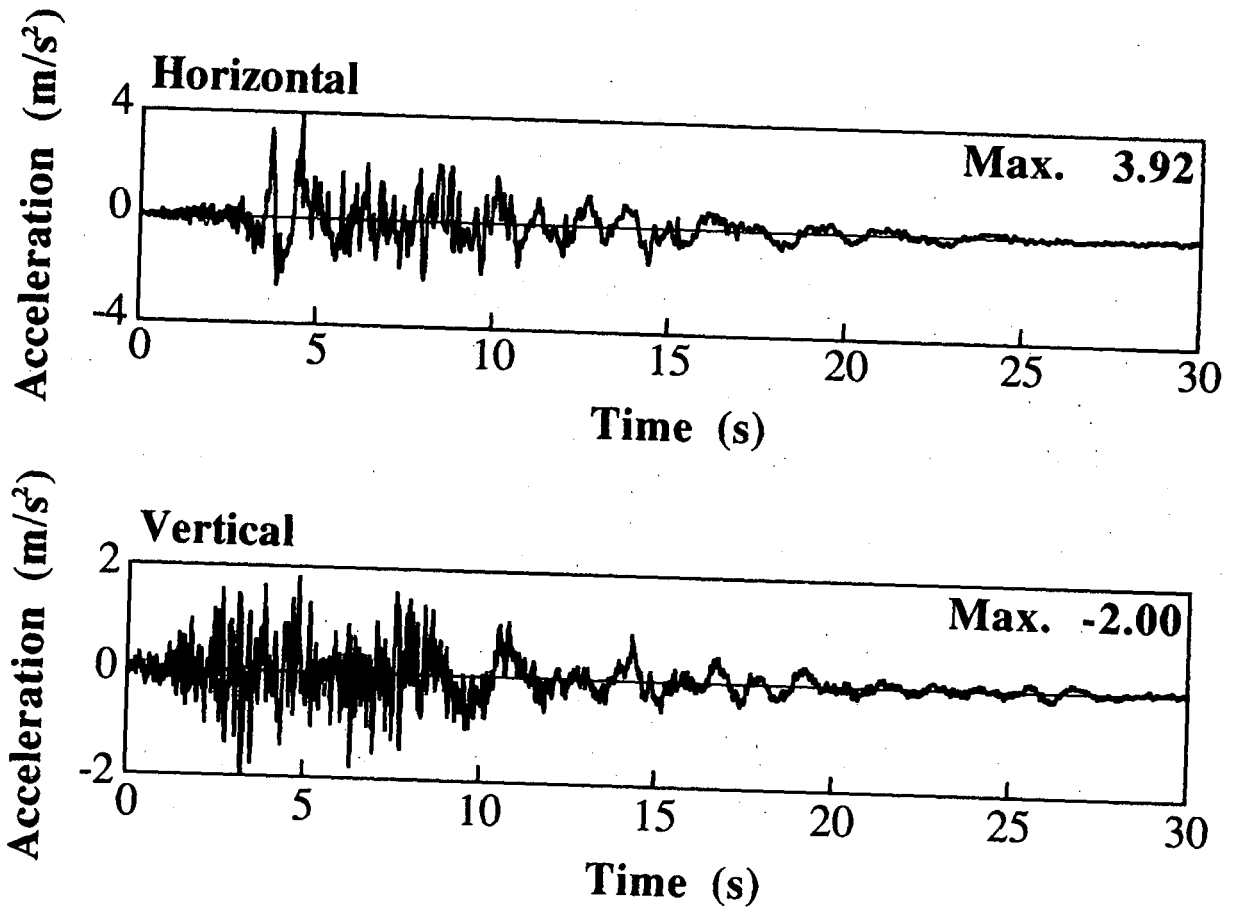


図-4 岸壁の解析に用いた入射波形

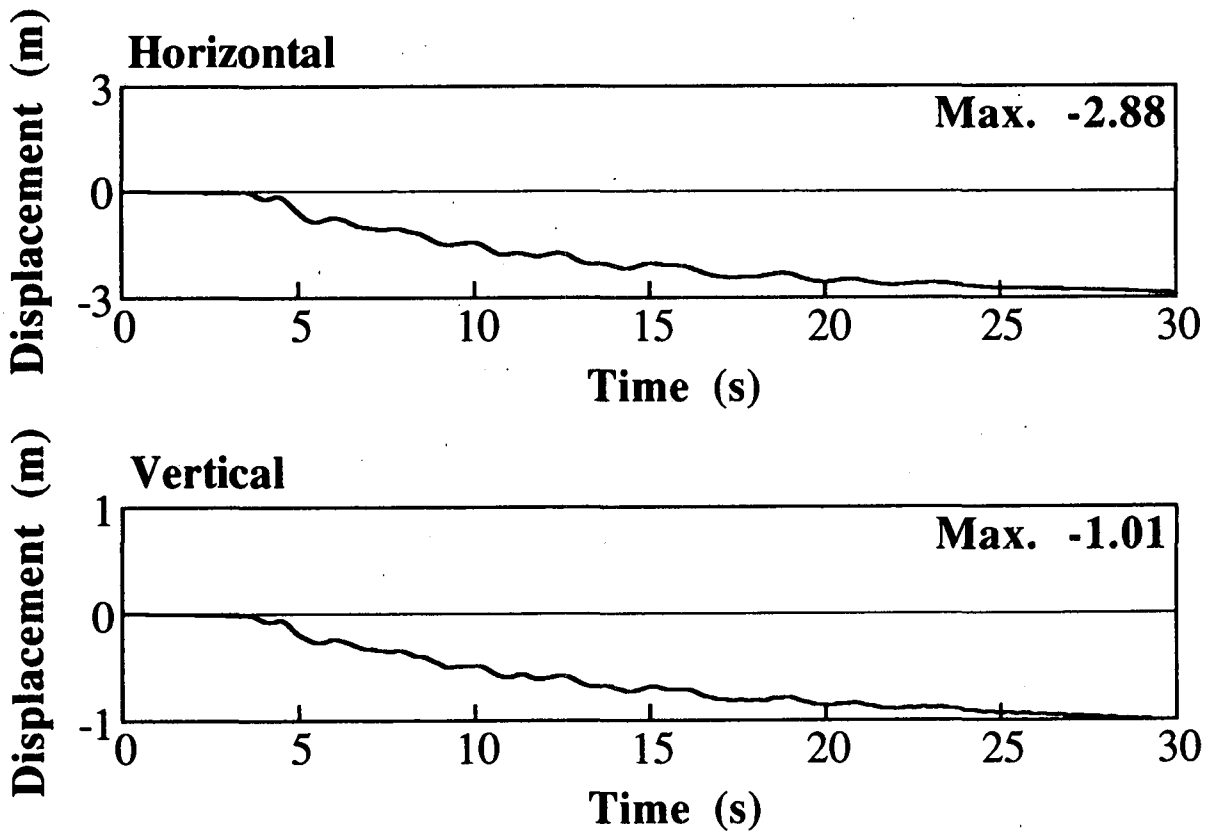


図-5 ケーソン天端における変位時刻歴

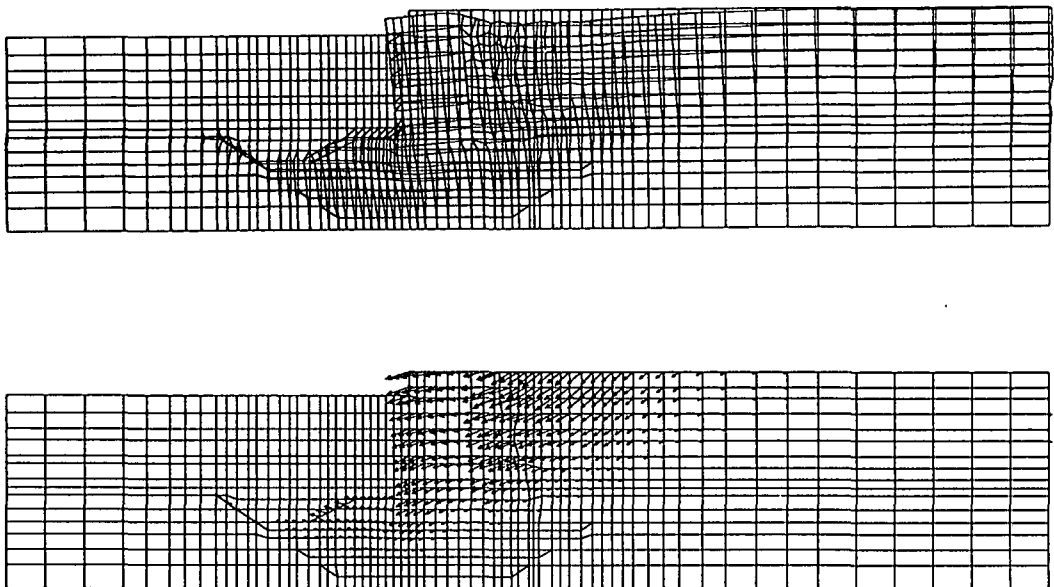
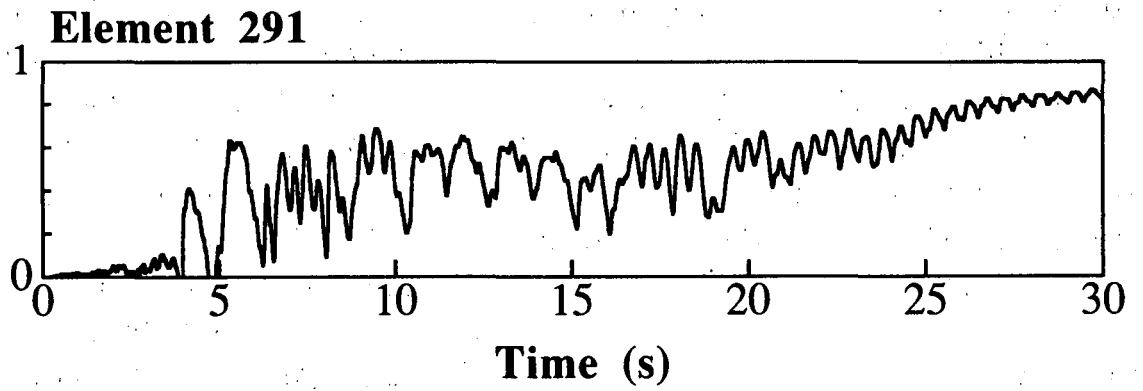


図-6 変形図およびベクトル図

過剰間隙水圧比



過剰間隙水圧比

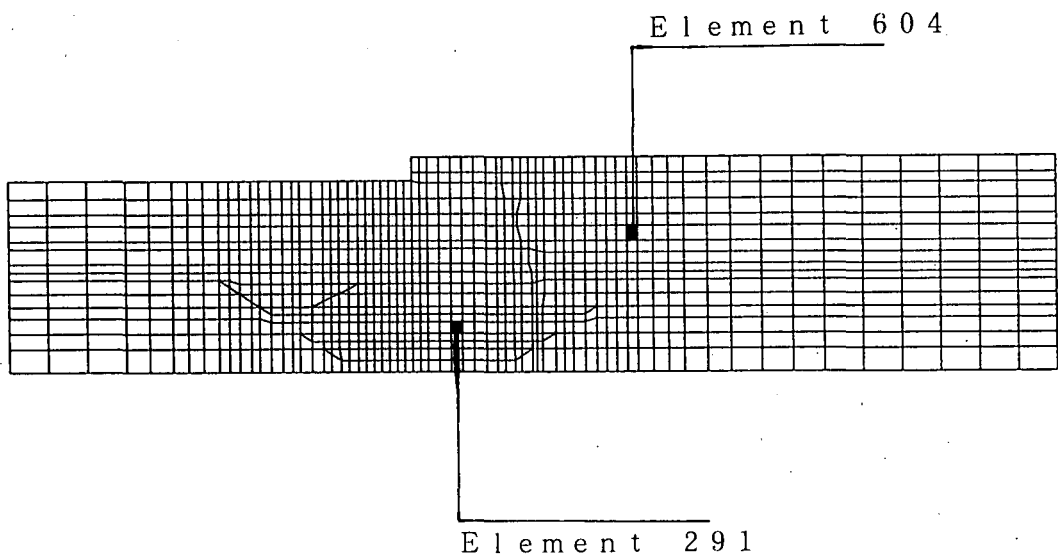
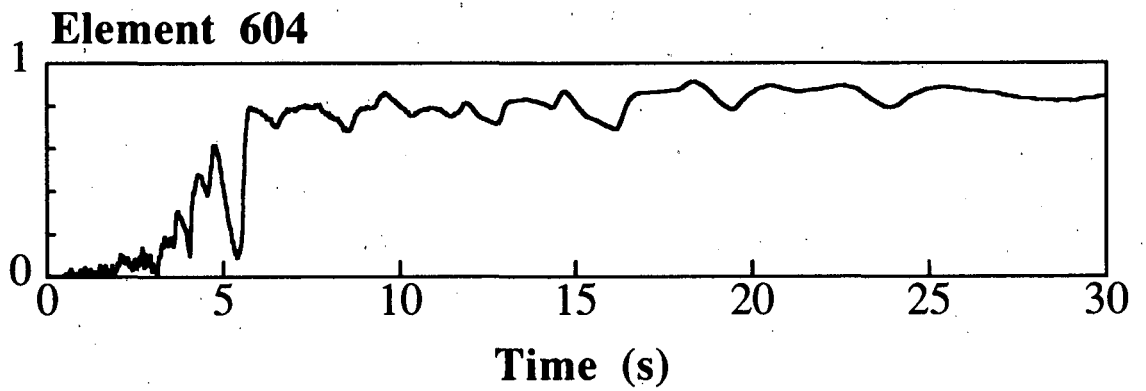


図-7 過剰間隙水圧比の時刻歴

については、今後の検討課題としたい。

さらに、今後は入力レベル・入力地震動特性・地盤の液状化強度を変えて解析を行う等の、より詳細な検討をする必要があると思う。これらの検討結果については別途報告したい。

最後に、地震記録を御提供して下さった神戸市開発局に謝意を表します。併せて、土質資料および測量結果等の収集に関して御協力を頂いた第三港湾建設局および港湾技術研究所土質部・構造部の関係各位にも謝意を表したい。

#### 【参考文献】

- 1) Ikuo Towhata and Kenji Ishihara :  
''Modelling Soil Behaviour under Principal Stress Axes Rotation'', Proc. 5th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Nagoya, 1985, pp. 523-530
- 2) Susumu Iai , Yasuo Matsunaga and Tomohiro Kameoka : ''Parameter Identification for a Cyclic Mobility Model'', Report of The Port and Harbour Research Institute, Vol. 29, No. 4, 1990, pp. 57-83
- 3) Sugito , Sekiguchi , Yashima , Oka and Taguchi : ''Correction of vertical array strong motion data for buried directions and amplification characteristics of the ground (仮題)'' , to be published
- 4) 善 功企、山崎浩之、佐藤泰：事前混合処理工法による処理土の強度・変形特性、港湾技術研究所報告第29巻第2号
- 5) Susumu Iai , Yasuo Matsunaga and Tomohiro Kameoka : ''STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY'' , Soils and Foundations , Vol. 32, No. 2, pp. 1-15
- 6) Hirofumi Inagaki , Susumu Iai , Takahiro Sugano , Hiroyuki Yamazaki and Takamasa Inatomi : ''PERFORMANCE OF CAISSON TYPE QUAY WALLS DURING 1995 GREAT HANSIN EARTHQUAKE'' , Soils and Foundations 投稿中
- 7) 井合 進、亀岡知弘：液状化による矢板岸壁の変形の数値解析、港湾技術研究所報告第30巻第2号

### Simulation of Caisson Type Quay Walls during the 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake

Toshikazu Morita and Susumu Iai

In the effective stress analyses, the caisson type quay wall shown in Fig. 3 was analyzed in the present study. The displacement of these walls were about 2 to 3 m in the horizontal direction, with 1 m settlements.

The effective stress model used for the analysis was a multiple mechanism model defined in strain space (Iai et al., 1992).

The earthquake response analysis showed that the displacements of the caisson wall were gradually induced for about 15 seconds. The residual displacements were 2.9 m and 1.0 m in horizontal and vertical directions.