

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No 854 Dec. 1996

兵庫県南部地震による港湾施設の被災状況等のVR化

高橋 宏直¹⁾
吉村 藤謙²⁾
中本 隆³⁾
井合 進⁴⁾

運輸省港湾技術研究所



Development of Virtual Reality System for Damages to Port Facilities During 1995 Hyogo-Ken Nanbu Earthquake

Hironao TAKAHASHI*
Hisanori YOSIMURA**
Takashi NAKAMOTO**
Susumu IAI***

Synopsis

Computer graphic technic has been widely applied to make the visual image of numerical simulation result. In the computer graphics, the view point is generally fixed on the one point with a large height. The virtual reality system with five large screens has been developed in order to make the audience have the presence. In the system, the view point is able to be moved to any point during calculation. The system has been already applied to make the maneuvering simulator, the virtual image of the tsunami attack to a harbor and wave transformation.

In the present paper, the virtual reality of damage to port facilities during 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake is developed. The FLIP (Fine element analysis of LIquefaction Program) which is the strain space multiple mechanism model is applied for the numerical simulation .

The virtual reality system for damage to port facilities is applicable for the oneself who analyses the simulation , the designer and the system which supplies the simple information for the citizens.

Key Words : Hyogo-ken Nanbu Earthquake, Virtual Reality, FLIP, Liquefaction

* Chief of System Laboratory, Planning and Design Standard Division

** Member of System Laboratory, Planning and Design Standard Division

*** Chief of Geotechnical Earthquake Engineering Laboratory, Structural Engineering Division

兵庫県南部地震による港湾施設の被災状況等のVR化

高橋 宏直¹⁾

吉村 藤謙²⁾

中本 隆²⁾

井合 進³⁾

要 旨

高精度の数値解析結果をコンピュータグラフィックスによる映像、マルチスピーカステレオシステムによる音響等の媒体を用いて仮想空間を形成するとともに、その空間内を自由に移動することにより空間内の状況を容易に理解出来るシステムを構築し、操船シミュレータ、津波現象、波浪現象等への適用を進めてきた。

今回、新たに兵庫県南部地震による港湾施設の被災状況および液状化対策工法のVR化を行った。その結果、例えば防波堤の被災状況のVR化では、ケーソンの最終的な変形状態に達するまでの変動状態やケーソンの沈み込みに伴うマウンド石、根固めブロックの変化状況等を視覚的に確認することができた。また、液状化対策工法のVR化では、液状化対策の有無による挙動解析結果を同一の時間経過により比較することで、対策工法の有効性を明確に確認できた。

これらにより、地震による被災状況等のVR化は、数値解析者が自ら結果を評価する場合、設計担当者が断面を比較評価する場合はもちろん一般市民に対する解りやすい情報を提供するシステムとして非常に有効であることが明らかになった。

キーワード：兵庫県南部地震，VR，FLIP，液状化

-
- | | |
|------------|----------|
| 1) 計画設計基準部 | システム研究室長 |
| 2) 計画設計基準部 | システム研究室 |
| 3) 構造部 | 地盤振動研究室長 |

目 次

1. まえがき	4
2. 地震時における港湾施設挙動解析のVR化の意義および挙動解析に用いたプログラム概要	4
2.1 VR化の意義	4
2.2 プログラム概要	4
3. VRシステムの概要	5
3.1 GWS (グラフィックワークステーション)	5
3.2 スクリーン	5
3.3 画像表示ソフトウェア	6
4. 港湾施設の被災状況のVR化	6
4.1 被災状況の概要	6
4.2 防波堤の被災状況のVR化	6
4.3 ケーソン式岸壁の被災状況のVR化	8
4.4 橋梁の被災状況のVR化	9
4.5 液状化対策工法のVR化	9
5. あとがき	11
謝辞	12
参考文献	12
付属のCD-ROMについて	13

1. まえがき

VR (Virtual Reality) という言葉は、1989年サンフランシスコで開催されたTEXPO'89で用いられて以来まだ10年も経過していない。さらに、例えば、VRの日本語訳に関して、「仮想現実」と訳すか、「人工現実感」と訳すかについて議論¹⁾があるように、その概念は未だ確定していない。

しかしながら、ハードウェア、ソフトウェアの発展に伴ってその有用性は幅広く認識され、種々の分野での実用化が進展している。

こうした状況において、システム研究室においては早くから港湾空間へのVRの適用の具体化を推進してきた。

まず、我々は、VR化とは高精度の数値解析結果をコンピュータグラフィックスによる映像、マルチスピーカステレオシステムによる音響等の媒体により仮想空間を形成するとともに、その空間内を自由に移動することにより空間内の状況を容易に理解出来るシステム (VRシステム) の構築と定義する。

そして、このVR化の意義を次の3点に整理する。

- ①高精度シミュレータシステムの構築
- ②数値解析研究者自らの結果の評価
- ③一般市民への解りやすい情報の提供

第1のシミュレータシステムとして、操船シミュレータが挙げられる。例えば、今までにない超高速貨物船テクノスーパーライナーの入出港の課題を明確にするとともに、その解決策を操船シミュレータにより検討することをシステム研究室で行ってきており、その成果も報告されている^{2) 3)}。

第2、3に関しては、既に、津波現象、波浪現象を対象とした研究を進めてきている^{4) 5) 6) 7)}。特に、津波現象をVR化した映像は、平成8年9月のNHKの防災特集においてTV放映されるなど、一般市民への情報提供システムとして少しずつ認知されるようになってきた。

今回、②、③視点から新たに兵庫県南部地震による港湾施設の被災状況等を対象としたVR化を行ったので、ここに報告する。

2. 地震時における港湾施設挙動解析のVR化の意義および挙動解析に用いたプログラム概要

2.1 VR化の意義

地震による港湾施設の被害考察手法を静的解析と動的解析の2種類に分類することが可能である。

静的解析としては、強振記録の分析、施設の被災状況の分析、被災の主要因分析、地盤の特性分析、液状化の判定分析等が挙げられる⁸⁾。

一方、動的解析としては、模型振動実験による分析、数値シミュレーション実験による分析等が挙げられる⁹⁾。

特に、この動的解析の数値シミュレーション実験においては、地震動時の構造物の挙動を時間経過とともに連続的に解析することが可能である。

しかしながら、その結果は変形ベクトル図、変形メッシュ図、最終変形図等の図表により整理されるしかないため、20秒近い地震動の間の構造物の挙動を適切には表現できない状況となっている。例えば、地震動の間の前後に揺れるという変動状況は、変形ベクトル図では十分に表現できない。また、背後地盤の液状化等の挙動に支配される構造物の変動状況は、変形メッシュ図では十分に表現できない。このため、精度の高い動的解析が、その特性を十分に発揮しえない状況となっている。

したがって、VR化により、周辺地盤の変動・液状化状況と構造物の変動状況が3次的にかつ時間経過とともに一体的に表示されれば、解析者が自ら結果を評価する際において、また、一般市民に対して解りやすい情報を提供するシステムの構築において非常に有効になる。特に、後者では、被災前断面と復旧断面の比較にすることにより、復旧断面の安全性を容易に明らかにできると考えられる。

なお、VR化の映像は、実際は次章で述べるマルチスクリーン上で表示されるが、本報告では添付したCD-ROMに映像を収録した。

2.2 プログラム概要

本報告においては、動的解析の数値解析プログラムの一つであるFLIP (Fine element analysis of LIquefaction Program)¹⁰⁾による解析結果をVR化することとした。

このFLIPは、地盤の動的変形特性や液状化に関する種々のパラメータを設定したうえで、大地震を対象とした地盤の液状化の程度やこれに伴う構造物の被災変形量などを時系列で求めることができるプログラムである。

具体的には、残留変形、過剰間隙水圧比、ケーソンの天端加速度、天端変位、傾斜角等が時系列が求められる。兵庫県南部地震における、ケーソン式岸壁に対する解

析⁸⁾では、多くの点で数値解析結果は現地調査結果と整合するとともに、特徴的な解析結果についてもその機構が定性的に説明され、被害考察に大きく寄与した。

なお、FLIPによる解析は2次元解析であるが、3次元軸方向の条件は同一であると仮定し、VR化においては3次元表示を実施した。

また、FLIPによる解析の変位結果は、地中基盤からの相対変位であり、地盤の液状化等により支配される量を示している。実際の変位には地中基盤の変位も含まれ、より大きな変位を示すが、VR化においては見やすくするという観点から地中基盤の変位は含まない映像とした。

3. VRシステムの概要

3.1 GWS (グラフィックワークステーション)

本システムの中核となるGWSとしては、シリコングラフィックス社製 Onyx Reality Engine² を用いている。この機種の主な仕様を以下に示す。

①演算仕様

CPU処理能力：85MIPS×2個

(対称型並列プロセッサ構成)

CPUクロック数：外部クロック数50MHz

内部クロック数100MHz

システムバスの帯域：1.2GB/sec

1次キャッシュメモリ：命令キャッシュ 16KB

データキャッシュ 16KB

2次キャッシュメモリ：1MB

内部メモリ：128MB

ラスターマネージャ：2枚

②グラフィックス仕様

リアルタイムテクスチャマッピング機能

テクスチャメモリ：4MB

陰面処理：Z-buffer法

Z-buffer：32bit

発生画素数：1チャンネル時 1280×1024 ビットセル

5チャンネル時 640×480 ビットセル

発生色調：フルカラー 1677216色

③ソフトウェア仕様

オペレーティングシステム：IRIXTM ver5.2

(System V系UNIX準拠)

開発環境：X-Window, C

3.2 スクリーン

数値解析結果を表示する場合、その画面が小規模であると効果は半減する。このため可能な限り大画面に表示することが期待される。

このため本システムでは、リアプロジェクタ方式の70インチスクリーンを図-1のように5台配置した。この結果、図-1に示すポイントAに立った時に、視野角として225度が確保される。また、各スクリーンの上下方向の中心線もポイントAに立った時の目線に合うように設定した。

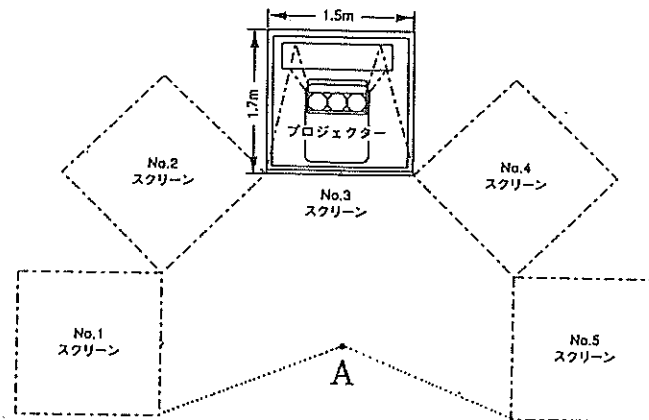


図-1 VRシステムのスクリーン配置

3.3 画像表示ソフトウェア

高精度の数値解析結果をコンピュータグラフィックスにより映像化するためのソフトウェアは、その対象とする数値解析の手法、結果の表示方法により選択される必要がある。

今回対象とするFLIPは、非構造格子のFEMで解析されていることから、この処理が可能でありOnyx Reality Engine²に対応可能なソフトウェアであるFlow Eyes（ソリッドレイ社）を用いた。

4. 港湾施設の被災状況のVR化

4.1 被災状況の概要^{1) 10)}

平成7年1月17日午前5時46分、淡路島北部を震源とするマグニチュード7.2の地震が発生した。活断層直下型地震であった。

神戸市など断層沿いの地域では、地震加速度が大きく、特に上下動の大きさは、過去の記録と比較して極めて大きかった。特に、長田、兵庫、三宮、六甲道、住吉、芦屋、夙川、西宮市・宝塚市の一部および淡路島北淡町・一宮町の一部と帯状に震度7の激震が記録され、その周辺地区でも震度6の烈震を記録した。

この地震により、神戸港、尼崎芦屋西宮港を始めとする24港湾で被害が発生したが、この中で神戸港の被害が最も大きく、ほぼ全ての施設に甚大な被害が発生した。その被害程度としては、重力式岸壁の岸壁法線が最大5m

程度変位、岸壁天端が1~2.5m沈下するという状況であり、岸壁背後に1~4m程度の段差が発生し、エプロン部に沈下・亀裂および岸壁の傾斜等も発生した。また、棧橋構造の施設においては杭の座屈などの被害も発生した。

しかしながら、摩耶埠頭に建設されていた耐震強化岸壁3バースについては、軽微な被害にとどまり、耐震岸壁の地震時安定性が初めて確認された。

4.2 防波堤の被災状況のVR化

(1) 防波堤の被災概要^{1) 10)}

神戸港の防波堤の被災状況は、表-1に示すように法線の出入りは非常に小さく、ケーソン間の目地開きや段差も非常に小さかったものの、天端の沈下がほとんどの防波堤で見られた。この天端の沈下量は1~2.5m程度であり、重力式岸壁と同程度の値となった。

すなわち防波堤の構造形式は、置換砂・基礎捨て石・ケーソンにより構成されており、ケーソンに作用する慣性力だけではその最終的な移動量は小さいと考えられる。

また、被災直後の潜水夫による水中調査によれば、ケーソンがマウンド石の中にめり込むように沈下しており、マウンド石もそれに連れ込むように変形していることが確認された。

(2) 第7防波堤を事例とした被災状況のVR化

第7防波堤の挙動解析のVR化した結果を写真-1、2および連続画像を添付したCD-ROMに示す。この第7防波堤の位置を図-2に、最終的な被災状況を図-3に示す。

防波堤	延長 (m)	天端高 (m)	法線の出入 (m)	天端沈下量 (m)
第1防波堤	1,220	+4	1.0m程度	1.1~1.4
第1南防波堤	300	+4	0.2m程度	1.0~1.6
和田岬防波堤	252	+3	0.1m程度	0.1~1.2
第2防波堤	109	+2.5	0.5m程度	1.1~1.7
第3防波堤西	128	+1.8	0.2m程度	1.9~2.7
第3防波堤東	112	+3	0.3m程度	1.7~2.6
第4防波堤	617	+3	0.6m程度	0.2~1.7
第5防波堤	1,276	+5	0.4m程度	1.3~2.1
第6防波堤	1,052	+5	0.1m程度	1.2~1.7
第6南防波堤	830	+5	0.4m程度	1.2~2.1
第7防波堤	4,180	+5	0.6m程度	1.4~2.6

表-1 防波堤の被災状況の概要

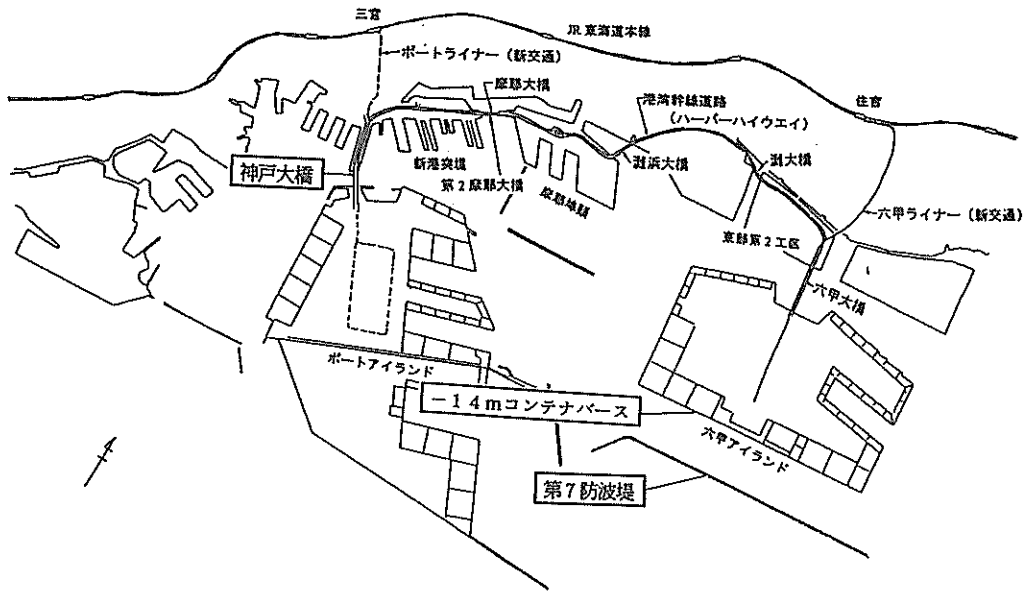


図-2 神戸港における施設施設位置

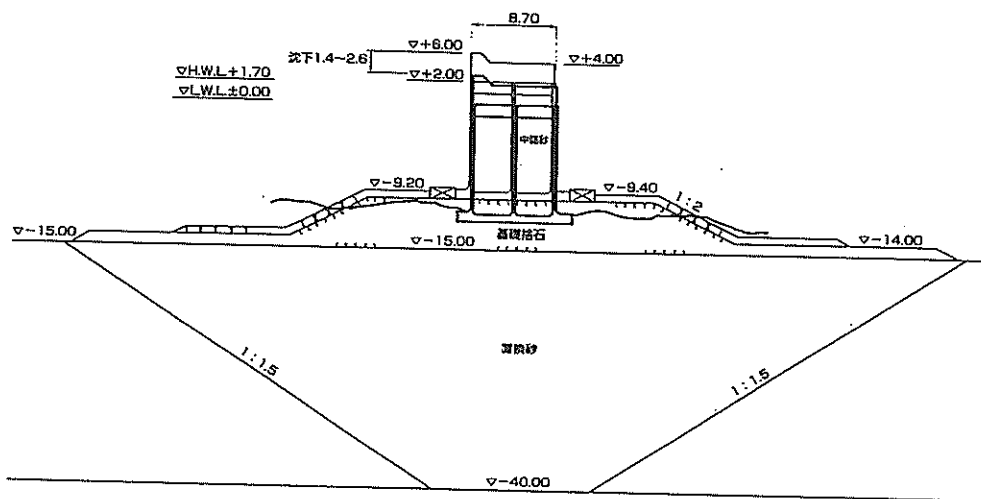


図-3 第7防波堤の被災状況

CD-ROMにおいては次の3種類の視点での映像が記録してある。

- ①ケーソンの挙動把握
- ②マウンドの挙動把握
- ③液状化状況とケーソンの挙動の全体状況把握

ここで液状化の状況は各メッシュごとの間隙水圧比をカラーで表示しており、通常、液状化していると考えられる0.9以上の状態は赤色となっている。

このVR化の結果、次の点が明確に確認される。

- ①ケーソンの最終的な変形状態に達するまでに前後に揺れる状況
- ②ケーソンの沈み込みにもなうマウンド石、根固めブロックの変化状況
- ③置換砂の液状化状況と防波堤全体の挙動状況の関係

4.3 ケーソン式岸壁の被災状況のVR化

(1) ケーソン式大型岸壁の被災概要^{8) 10)}

岸壁は通常陸側から土圧を受ける一方で海側には拘束力がないことから、地震時においては海側に変位し易い。神戸港では、ケーソン式岸壁が大半であったことから、以下に整理されるように被災形態も類似していた。

- ①岸壁法線が海側へ1~1.5m変位
- ②岸壁本体が1~2.5m沈下
- ③岸壁本体が5度前後傾斜
- ④岸壁背面位置での1~4mの段差
- ⑤岸壁背後地に沈下・亀裂
- ⑥一部目地の被害にもなう岸壁背後土砂の流出

また、ポートアイランド、六甲アイランドのケーソン式大型岸壁についての分析においては、東西法線方向の被災変形量は南北の法線方向の被災変形量より大きな値を示しており、これは地震動の卓越方向と整合していた。

(2) 六甲アイランド-14mコンテナバースを事例とした被災状況のVR化

神戸港の中でも特に著しい被災を受けた六甲アイランド南側（法線は東西方向）の-14mコンテナバースの挙動解析のVR化した結果を写真-3、4および連続画像を添付したCD-ROMに示す。このコンテナバースの位置を図-2に、構造断面を図-4に、最終的な被災状況を図-5に示す。

CD-ROMにおいては次の2種類の視点での映像が記録してある。

- ①コンテナバースの挙動把握
- ②液状化状況とコンテナバースの挙動の全体状況把握

ここで液状化の状況は各メッシュごとの間隙水圧比をカラーで表示しており、通常、液状化していると考えられる0.9以上の状態は赤色となっている。

このVR化の結果、次の点が明確に確認される。

- ①コンテナバースの最終的な変形状態に達するまでの変動状況
- ②ケーソンの変動にもなう基礎捨て石、根固めブロックの変化状況
- ③ケーソン背後面の地盤変動状況
- ④置換砂・背後埋立土等の液状化状況とコンテナバースの挙動状況の関係

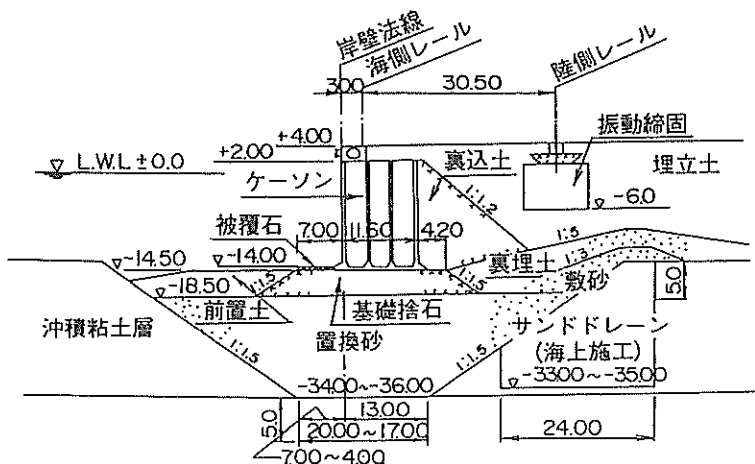


図-4 六甲アイランド-14mコンテナバースの構造断面

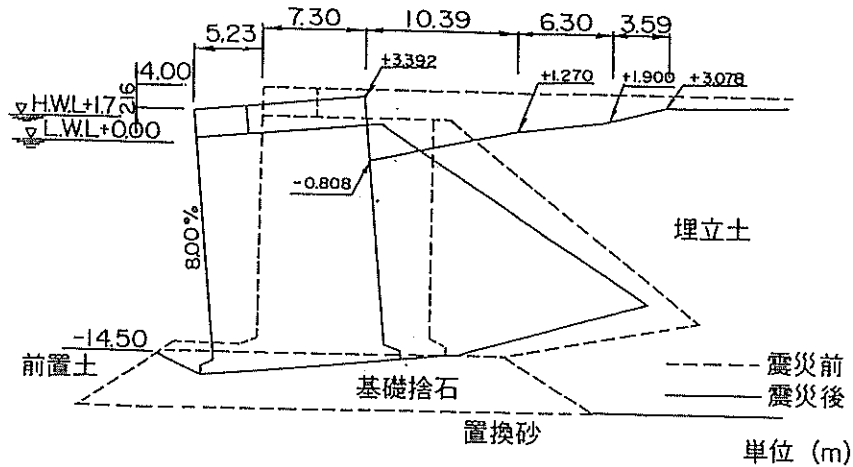


図-5 六甲アイランド-1.4mの被災状況

4.4 橋梁の被災状況のVR化

(1) 橋梁の被災概要⁹⁾

神戸港においては、人工島と陸地を結ぶほか、水路により隔てられた埠頭相互を連絡するため、5つの橋梁が建設されている。

これらの橋梁はいずれも特徴ある構造であることから、ポートアイランドと内陸を結ぶ神戸大橋を事例として被災状況を整理する。

神戸大橋は、わが国初めてのダブルデッキ構造の橋梁で、その規模も最大級である。この神戸大橋の位置を図-2に、構造を図-6に示す。

下部工にはニューマチックケーソン基礎が採用され、護岸を兼用させる構造となっている。また、上部工との支承は、内陸側が可動支承で、ポートアイランド側が固定支承である。内陸側の基礎下部工は海側に変位し、可動支承に60数cmズレが生じた。一方、ポートアイランド側の基礎下部工も20数cm程度の変位および回転移動が生じたが、固定支承には大きな変位は観察されなかった。このように2つの下部基礎工がそれぞれ海側に変位したことで橋脚の間隔が縮まり、支承のズレの相違により、上部工は相対的に北側へ移動した。

(2) 神戸大橋を事例とした被災状況のVR化

被災概要で示した神戸大橋の挙動解析のVR化した結果を写真-5、6および連続画像を添付したCD-ROMに示す。

CD-ROMにおいては次の4種類の視点での映像が記

録してある。

- ①神戸大橋の全体概要（視点移動しながら表示）
- ②上部工中央部の振動状況
- ③可動可能な上部工支承の変動状況
- ④液状化状況と橋梁の挙動の全体状況把握

ここで液状化の状況は各メッシュごとの間隙水圧比をカラーで表示しており、通常、液状化していると考えられる0.9以上の状態は赤色となっている。

このVR化の結果、次の点が明確に確認される。

- ①地盤の液状化の影響による上部工の変動状況
- ②可動可能な上部工支承の最終変位状態に達するまでの変動状況
- ③周辺地盤の液状化による下部基礎工の変動状況
- ④周辺地盤の液状化状況と橋梁の挙動状況の関係

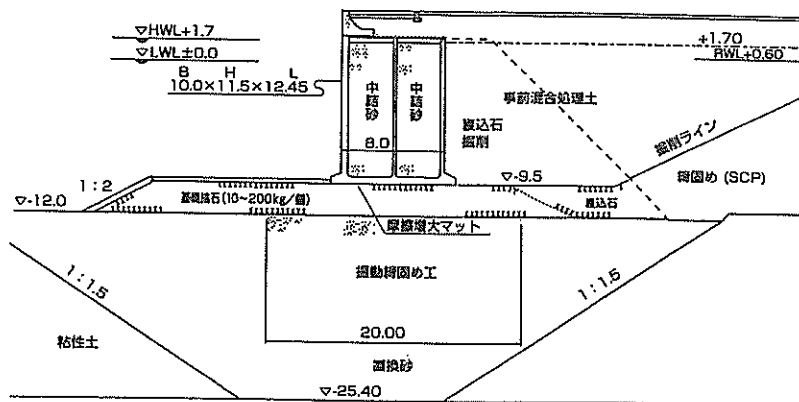
4.5 液状化対策工法のVR化

(1) 液状化対策工法

前節まででは、被災状況についてのVR化を示した。このように被災した施設に関しては、既に運輸省第三港湾建設局、神戸市港湾局を始めとする各関係機関により復興が推進されている。その際に、特に液状化対策に配慮がなされている。

したがって、液状化対策の有無による挙動の比較のVR化を試みる。埋立地の液状化対策ハンドブック¹¹⁾によれば、液状化対策の実施方法を次のように整理している。

- ①埋立地全体ないし大規模な区画ごとの対策



図一七 液状化対策工法の概要

- ・埋立地造成段階での対策
- ・埋立地造成後の対策
- ②各構造物ないし構造物の集合体としての各施設ごとの対策
 - ・構造物建設前ないし建設段階での対策
 - ・構造物建設後の対策

さらに、具体的な主要工法として、締め固め、間隙水圧消散、固結、置換、地下水位低下、せん断変形抑制、プレロード、構造物対策等の工法が挙げられている。

(2) 液状化対策工法のVR化

ここでは、モデルとして選択したケーソン式岸壁について、液状化対策を実施しない場合とケーソン下部の置換砂に対する締め固め改良、事前混合処理工法による背後土圧の低減する工法を液状化対策として採用した場合を比較した。この液状化対策の概要を図一七に示す。

VR化においては、画面を上下に2分割して、上段に対策を実施しない場合の断面を、下段に対策を実施した場合の断面を時間経過を同一にして表示することにより、挙動の違いが明確になるようにした。ただし、この結果ハードに依存する画像更新速度は、被災状況のVR化のように1画面の場合に比較して遅くなっている。

なお、VR化した結果を写真一七、八および連続画像を添付したCD-ROMに示す。また、CD-ROMにおいては次の2種類の視点での映像が記録してある。

- ①ケーソンの挙動把握
 - ②液状化状況とケーソン挙動の全体状況把握
- ここで液状化の状況は各メッシュごとの間隙水圧比をカラーで表示しており、通常、液状化していると考えられる0.9以上の状態は赤色となっている。

このVR化の結果、次の点が明確に確認される。

- ①液状化対策の有無による挙動の相違
- ②対策工法の有効性

5. あとがき

今回の検討の結果、地震による港湾施設の被災状況等のVR化は、解析者が自ら結果を評価する際において有効であること、また、一般市民に対して解りやすい情報を提供するシステムの構築において非常に有効であることが確認された。また、当初想定していなかった、構造物の設計担当者に対しても、設計断面の評価の際に有効なシステムであることも確認された。

しかしながら、今後の課題として次の点が整理される。

- ①FLIP以外の数値解析手法のVR化
- ②より理解し易くするための表現手法の開発
- ③より多くの場面で活用可能な汎用システムの開発

謝 辞

本研究の実施に際して、運輸省第三港湾建設局震災復興本部設計及川研部長、松永康男課長、事業調整部赤司淳也部長、神戸市港湾局技術部岡下主幹に大変ご協力を頂きました。

最後ではありますが、ここに記して感謝の意を表します。
(1996年9月27日受付)

参 考 文 献

- 1) 広瀬通孝：「バーチャルリアリティ」，産業図書，1993
- 2) 高橋宏直，萩原秀樹，早藤能伸，森満賢治：「T S L 対応の入港支援システムに関する研究」，航海学会論文集，Vol.195, 1996, 1-10
- 3) 高橋宏直，早藤能伸，酒井浩二，森満賢治，中本隆，木阪恒彦：「T S L に対応した水域施設の計画手法及び入港支援システム」，港湾技術研究所報告，Vol. 35, No. 3, 1996, PP. 37~71.
- 4) 酒井浩二・高橋宏直・平石哲也：「コンピュータグラフィックスによる津波現象のバーチャルリアリティシステム」，港湾技研資料，No. 805, 1995
- 5) 酒井浩二・高橋宏直・平石哲也：「コンピュータグラフィックスによる波浪現象のバーチャルリアリティシステム」，港湾技研資料，No. 815, 1995
- 6) 酒井浩二，高橋宏直，平石哲也，柴木秀之：「コンピュータグラフィックスによる新しい津波表示システム」，海岸工学論文集，Vol. 42, 1995, pp. 1231-1235
- 7) Hironao TAKAHASHI, Takashi NAKAMOTO, Hisanori YOSHIMURA and Tetuya HIRAISHI：「DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY SYSTEM FOR TSUNAMI AND SEA WAVE」 *International Conference on Virtual Systems and Multimedia '96 in Gifu, 20-1-B-1, 1996*
- 8) 港湾施設被害検討委員会編：「兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察」，港湾技研資料，No.813, 1995
- 9) 井合進・松永康男・亀岡知弘：「ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル」，港湾技術研究所報告，Vol. 29, No. 4, 1990, PP. 27~56.
- 10) 運輸省港湾局，運輸省港湾技術研究所，運輸省第三港湾建設局：「阪神・淡路大震災による港湾施設等被災状況調査報告書（第2集）」，1995. 10
- 11) (財) 沿岸開発技術研究センター：「埋立地の液状化対策ハンドブック」，1993. 3

付属のCD-ROMについて

付属のCD-ROMは、Windows95搭載のPC等により画像を見ることができます。

画像の見方

1. メディアプレーヤーを起動する。
2. (ファイル) - (開く) からCD-ROMの*.aviファイルを選択する。
3. 再生ボタンを押す。

メディアプレーヤーは、(スタートメニュー) - (アクセサリ) - (マルチメディア) 中にあります。無い方は、(コントロールパネル) - (アプリケーションの追加と削除) からインストールして下さい。

このCD-ROMに収録された画像の著作権その他の一切の権利は、運輸省港湾技術研究所および運輸省第三港湾建設局に帰属します。

このCD-ROMの配布を受けた者は、この画像を複製、改題して販売することはできません。画像の利用は、配布を受けた個人、組織の非営利的目的のためだけに限定されます。

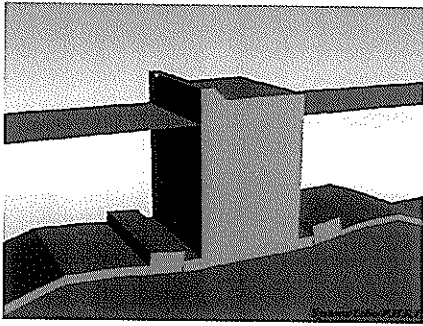
このCD-ROMの使用等に関して、いかなる問題が生じても、当方はいかなる責任もとれません。

また、このCD-ROMからハードコピーした画像を引用する場合には、その成果品に次の字句を見やすいところに必ず明示して下さい。

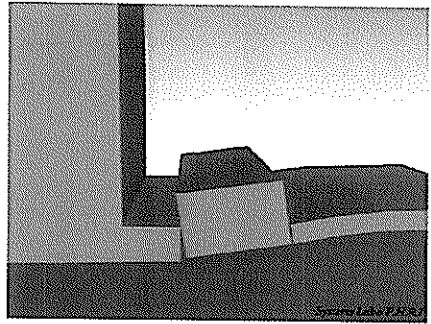
「本画像は、運輸省港湾技術研究所 港湾技研資料 No. 854に付属するCD-ROMから複写したものである。」

画像としては以下のものが収録されています。

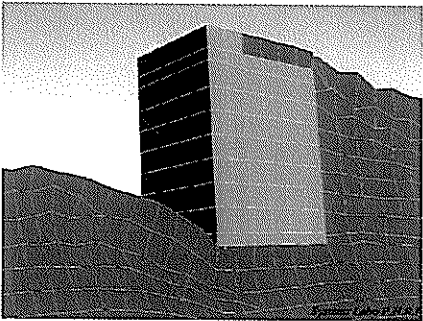
- 1) 神戸港第7防波堤の被災状況のVR化画像
- 2) 神戸港ケーソン式大型岸壁の被災状況のVR化画像
- 3) 神戸港神戸大橋の被災状況のVR化画像
- 4) 液状化対策工法のVR化画像



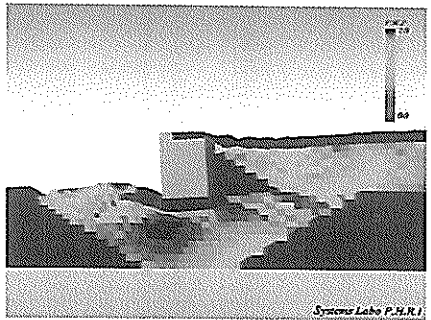
写真一 第7防波堤のVR化 (ケースン全体)



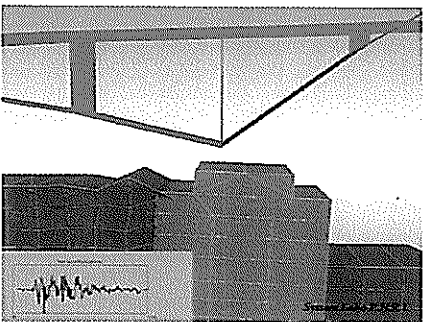
写真二 第7防波堤のVR化 (マウンド部分)



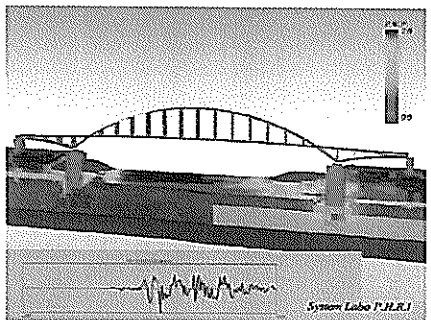
写真三 コンテナバースのVR化 (バース全体)



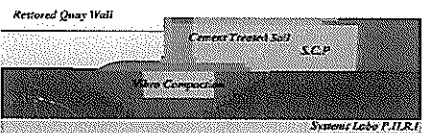
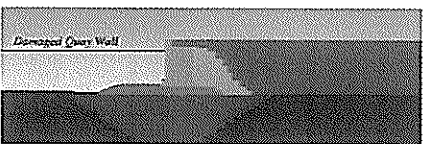
写真四 コンテナバースのVR化 (液状化との関連)



写真五 神戸大橋のVR化 (支承部分)



写真六 神戸大橋のVR化 (液状化との関連)



写真七 液状化対策工法のVR化 (対策工法の比較)



写真八 液状化対策工法のVR化 (変形状態の比較)

港湾技研資料 No854

1996・12

監 修 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所

横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 横浜ハイテクプリンティング株式会社

Edited by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (1996) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。