

コンピューター・グラフィックスによる新しい津波表示システム

酒井 浩二*・高橋 宏直**・平石 哲也***・柴木 秀之****

1. はじめに

波浪現象等の数値解析の結果は、数値データとして流況のベクトル表示や水位のコンター表示などによって出力されてきた。これらの表示形式では広範囲の計算領域全体を等しく把握することはできるが、津波の来襲状況を動的に表して、地域住民に視覚的な防災情報を与えることができない。最近では、津波の来襲状況の計算結果を画像表示して、伝播の過程をアニメーションとして表す試みが多くなされている(たとえば、山下ら, 1994)。また、海底地形を再現した水槽で模型実験によって津波の伝播状況を観測する(Tanaka, 1995) 試みがなされている。

これらの表示形式は、いわゆる鳥瞰図として津波を観測するもので、海岸部に位置する地域住民の視点で津波を捉えるものではない。地域の避難計画等の立案あるいは津波災害の警鐘のためには、海岸部まで視点を降ろせる表示法が必要である。もちろん、広範囲な浸水状況を把握するためには高所からの判断が必要であり、観測視点は、海岸部の低地から高所まで自由に移動できることが望ましい。そこで、本研究では、津波の計算結果をリアルタイムで動画表示しながら、観測者の視点を自由に移動できるシステムを開発することを目的とした。

一方、コンピューターグラフィックス(CG)の利用の一環として、飛行機、自動車、船舶の操縦シミュレーターなどのバーチャルリアリティ(VR)表示システムが利用されている。港湾の分野では、水域施設の最適設計のために操船の容易さを検討する操船シミュレーターの開発(早藤ら, 1990)が行われている。初期のものは、ディスプレイ上の簡単な画像表示のみを行っているが、最近では専用のグラフィックス・ワークステーションと多面スクリーンの応用により、より現実的な画像が出力できるようになっている。そこで、本研究では、操船シ

ミュレーター装置を改良して、津波のVR表示を試みた。

2. リアルタイム表示システム

本リアルタイム表示システムで用いたワークステーションはSilicon Graphics社製のOnyx Reality Engine 2である。表-1に装置の仕様および周辺機器を示す。図-1は表示用のスクリーンの構成を示したものである。スクリーンは幅70インチのものを5枚円弧状に配置した

表-1 システムの構成

EWS本体	Onyx Reality Engine 2 (シリコングラフィックス社製)
CPU処理能力:	85 MIPS×2 (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 50 MHz 内部クロック数 100 MHz
システムバス帯域:	1.2 GB/sec
1次キャッシュメモリ:	命令キャッシュ 16 KB データキャッシュ 16 KB
2次キャッシュメモリ:	1 MB
内部メモリ:	128 MB
ラスターマネージャー:	2枚
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:	4 MB
陰面処理:	Z-buffer法
Z-buffer:	32 bit
発生画素数:	1チャンネル時 1280×1024ピクセル 5チャンネル時 640×480ピクセル
発生色調:	フルカラー
ソフトウェア仕様	
オペレーティングシステム:	IRIX™ ver 5.2 (System V系 UNIX 準拠)
開発環境:	X-Window, C
スクリーン仕様	
リアプロジェクター方式	
70インチスクリーン×5台	
視野角 225°	

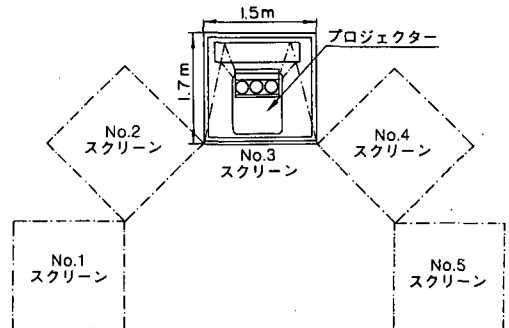


図-1 スクリーンの配置

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所計画設計基準部システム研究室

** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所計画設計基準部システム研究室長

*** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部主任研究官

**** 正会員 工修 (株)エコー第一技術部

ものである。表示はリアプロジェクター方式を採用し、試験者は、円弧の中心点位置に立って、津波の伝播・遡上の様子を観測する。このときの視野角は 225° となり広い角度の映像が出力される。

津波画像を映写するにあたり、背景となる町並み、山および港湾施設が画像データとして効率よく保存されていなければならない。この画像作成ではソフトウェア MultiGen (Software Systems 社製) を使用した。このソフトウェアでは、作成した画像データを階層構造に分割して3次元データとして管理する。このソフトは、3次元画像データ上に写真を貼り付けて同時に表示する機能(テキストチャマッピング)も有している。

MultiGen により作られた町並み地形と津波の数値計算結果を統合して3次元画像を再構成するために、本システムではソフトウェアとして IRIS Performer (Silicon Graphics 社製) を使用した。これは、システム中で、CPU、キャッシュメモリ等を効率的に管理し得る画像ライブラリであり、特徴的な機能として以下の機能を有する；

1) データカリング機能：画像として表示する必要のない、つまり定義された視野角を越える画像データについては、その部分のデータについてあらかじめ計算を行わない定義をし、画像の更新速度を向上させる。

2) レベル・オブ・ディテール機能：画像データを、その属性と距離に応じて自動的に必要とされる詳細度のモデルに設定する。

3) システム・ロード・マネージメント機能：リアルタイム画像表示のための、CPU、キャッシュ、メモリ等の有効活用を図るために、表示する画像の更新速度をあらかじめ計算する。

数値解析結果の出力としては、水位、流速、圧力、水粒子の運動等が考えられる。ここでは、実際に沿岸に位置する観測者が視覚的に判断する情報として水位データの画像表示を行う。これに加えて、流速情報を付加すると臨場感が深まるが、現行のシステムの画像更新速度を考慮して、流速等のデータ情報は表示していない。

CG における3次元形状の表現の仕方には、以下の3種類のモデルが使われている；

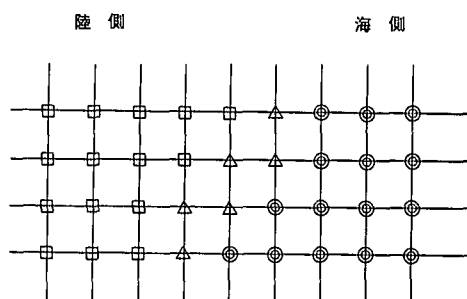
1) ワイヤフレームモデル：3次元空間にある物体をワイヤフレーム(線)で表現するもので、データ構造が単純なためコンピューター内部の記憶容量が少なく済み、高速な図形処理が可能である。

2) サーフェスモデル：ワイヤフレームにおいて、ワイヤーの間に面を張ったモデルで、3次元空間に2次元の空間を配置することにより物体を表現する。その平面は通常、三角形で表現し、一つの面要素をポリゴンと呼ぶ。

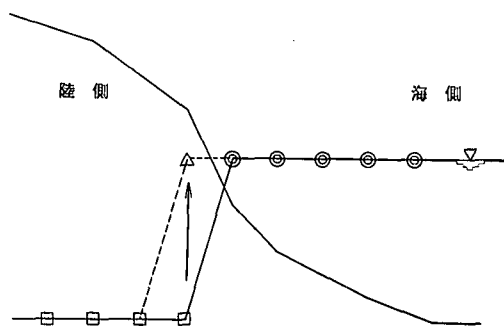
3) ソリッドモデル：サーフェスモデルに立体情報をつけ加えたもので、3次元物体のある平面で切ると、その切り口に、3次元物体の内部情報が含まれている。

今回の津波表示においては、計算機の容量を考慮してサーフェスモデルを採用した。図-2に本システムにおけるデータの配列状況を示す。本システムでは、図(a)に示すように地形を格子で表現する。格子は、海上部と陸上部に大別される。海面の各格子には各時間ステップにおける水位の計算結果を与える。陸側の格子には、 -99 m のダミー値をあてはめる。このままでは、海-陸の境界に水面の壁ができてしまうので、図(b)に示すように陸側の1格子内部のデータとしては、その格子点を囲む海上格子データの平均値を補正值として与えた。このとき、汀線は海面のポリゴンと地形のポリゴンの境界として表現される。

地形データとしては、建設省国土地理院発行の“数値地図250 mメッシュ(標高)”と対象地区の都市計画図から空間補正を行って、50 m 間隔の格子データを作成した。また、空中写真をテキストチャマッピング機能により重ね合わせて表示色を調整した(国土地理院複製許可



(a) 空間的な格子の配置



● 海側：水位計算データ
 △ 陸側：水位計算の補正データ
 □ 陸側：水位ダミーデータ(-99 m)

(b) 海-陸境界の模式

図-2 格子による地形の表現

承認番号平7総複, 第23号)。

3. 対象地形と津波

本システムでは, 現在津波防波堤が建設中で, 地域の防災計画の策定が進められている高知県須崎港をモデル港湾として選択した。須崎港は, 近年では昭和南海およびチリ地震津波により大きな被害を受けており (高山・平石, 1986), 現在湾口部に総延長 1420 m の津波防波堤が建設中である。ただし, 本報告での計算では, 地形は現況とし防波堤は含んでいない。津波の計算法は, 非線形長波の連続式と運動方程式を Leap-frog 法で差分化して解くもの (後藤・佐藤, 1993) である。遡上計算は岩崎・真野 (1979) に従った。遡上計算においては底面摩擦の計算が必要で, 本計算においては $gn^2MQ/D^{7/3}$ で底面摩擦を評価した。ここに, D は全水深, M は x あるいは y 方向への流量フラックス成分, Q は全流量フラックスである。 n はマンニングの粗度係数で 0.025 を用いた。

対象とした津波は, 昭和南海地震津波 (1946) で, 断層モデルとしては, 相田 (1981) が提案したモデルを, 補正しないで採用した。計算に用いる差分格子地形は, 断層を含む外洋で 3.6 km で表現した。浅海域では, 順次, 2~3 分割して細分化し, 須崎港は 50 m 格子地形で表現した。計算時間間隔は 1 s とした。図-3 は, 須崎港の 50 m 格子による計算領域を示す。陸上域においても, 遡上が予想される範囲には, 図に示すように, あらかじめ計算格子を設定した。画像表示を行う範囲は, 図-3 に示した領域と同一で, システム内では, 図-3 の各格子上の水位計算結果を 15 秒間隔でデータとして保存した。なお, 津波の伝播計算は, 別の計算機で行い, 須崎港における地震発生後 4 時間分の水位の計算結果のみを本シ

テムに保存した。計算時間中の湾口部における最大水位は, 地震発生 32 分後の +2.3 m である。これは, 須崎港に襲撃する津波の第 1 波のピークに相当する。

ところで, 画像出力においては, 格子間隔が定まると, 本来波速に応じた時間間隔で出力しなければ, 最高波のピークの伝播状況を動画として観測できない。須崎港の場合, 平均水深を 20 m とすると, 波速は約 14 m/s となり, 50 m の格子間隔では約 3 s の画像出力間隔が必要である。しかし, 3 秒間隔で水位データを保存するためにはシステムの記憶容量が足りない。そこで, 対象とした津波の周期が約 50 分で比較的長いので, 短時間で急激に水位が変化することがないものとして, 前述したように 15 s 間隔で水位データを保存し, 間を内挿して画像を作成した。

4. 画像表示例

本システムの特徴は, 1) 広視野角である, 2) 視点場の移動が可能である, 3) 動画経過時間を自由に設定できることである。本来は, スクリーンの前にいる試験者が, 沿岸の津波観測者として VR 化された津波を体感できる動画システムであるが, 本稿では, 表示した画像の内, 一つのスクリーンで映写された一画像をコピーしたものを例として示す。図-4 は, 本稿で表示した画像の視点場とその方向を示す。

視点 1 は, 防波堤の建設地点である。図-5 は視点 1 の上空 500 m の地点から須崎湾を観測した画像であり, 従来の津波伝播状況を示す動画と同様な鳥瞰図による表示

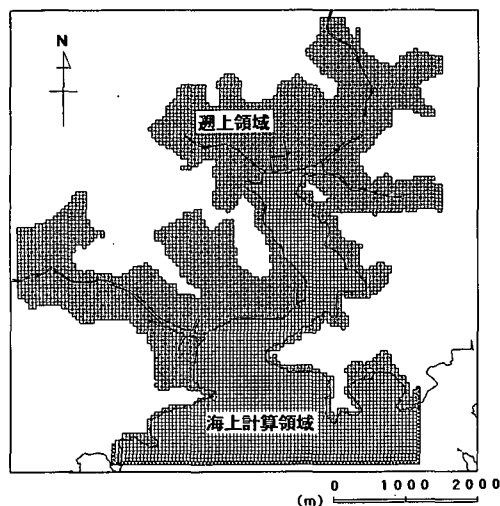


図-3 須崎港の計算領域

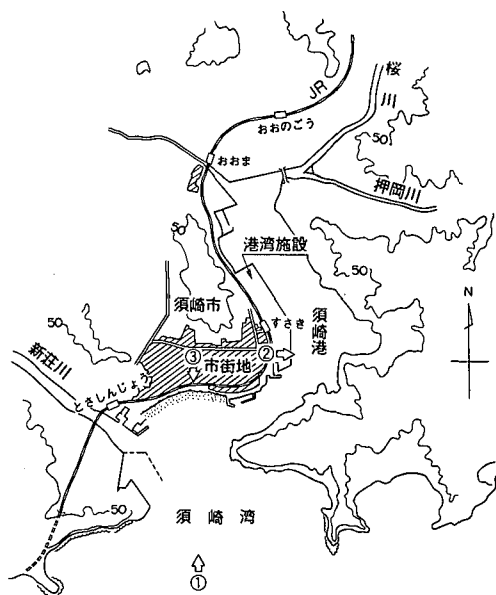


図-4 視点場とその方向

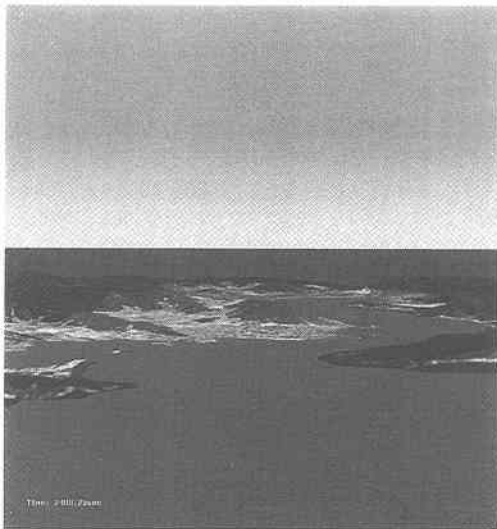


図-5 視点1からの鳥瞰図



写真-1 現地の状況 (視点2)

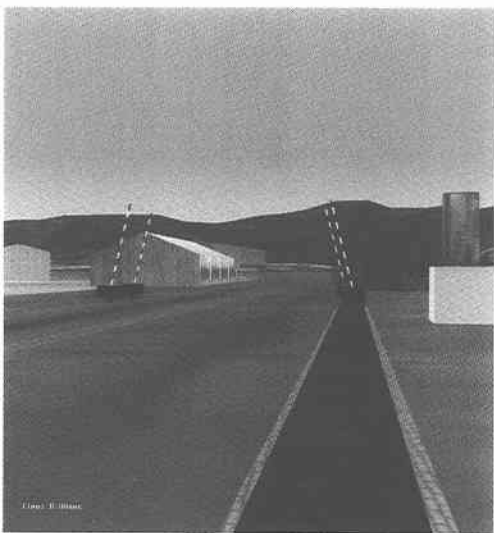


図-6 視点2の道路上の観測者からの映像 (津波来襲前)

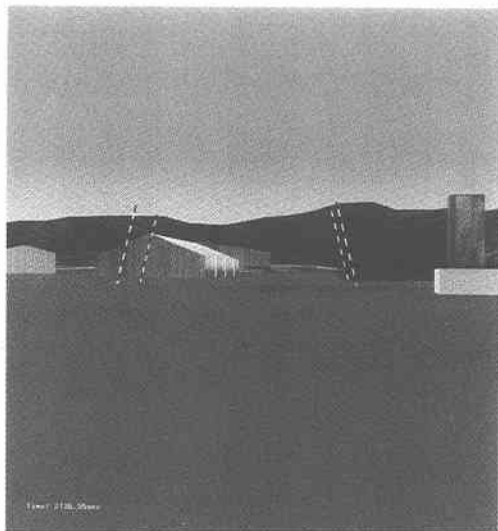


図-7 視点2の道路上の観測者からの映像 (津波第1波来襲時)

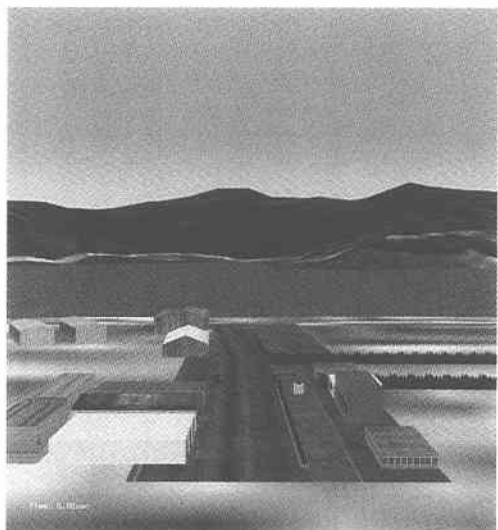


図-8 視点3のビル屋上からの映像 (津波来襲前)

例を示している。本システムにおいては、図のように対象地域全域の浸水状況の把握が可能である。

視点2は、須崎市の市街地の道路上における視点場で、図-6に津波来襲前の状況を示す。図では、道路上の観測者から鉄道踏切、倉庫等が見えている。図の右端のモニメントは、南海地震およびチリ地震津波災害碑である。これらの建造物は、写真-1に示す現地の状況から町並みデータとして作成したものである。図-7は、地震発生35分後の同一地点の浸水状況である。このように試験者は、津波の来襲時刻とその状況をVR画像で観測でき、



図-9 視点3のビル屋上からの映像（津波第1波来襲時）

本システムを避難計画等の立案および津波災害の警鐘に役立てることができる。

図-8および9は、視点場3付近で最も高いビルの屋上（高さ50m）から、市街の南側の浸水状況を観測したものである。図-8が津波来襲前、図-9が津波の第1波来襲時に相当する。図-9に示すように、津波の来襲により、低地の道路および家屋の一部が浸水する状況が明らかになり、従来の計算結果をより効果的に表現することができる。

視点場を静水面程度まで低くした場合には、視点場自

体が津波高より低くなり水没してしまう場合が生じる。その場合には、水の色をやや紺色に変化させ、水面下に視点が来ていることを表現できるようにした。

5. あとがき

本システムは、津波の計算結果をVR画像として、広視野角のスクリーンで表示するもので、ここでは、須崎港における昭和南海地震津波の来襲状況をシュミレートした。表示された画像から、津波の浸水状況等が詳細に判断でき、現地の避難計画の策定や、津波災害の警鐘などに資することができる。

参 考 文 献

- 相田 勇(1981): 南海道沖の津波の数値実験, 地震研究所集報, Vol. 56, pp. 71-101.
- 岩崎敏夫・真野 明(1979): オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 70-74.
- 後藤智明・佐藤一央(1993): 三陸沿岸を対象とした津波数値計算システムの開発, 港研報告, Vol. 32, No. 2, pp. 3-44.
- 高山知司・平石哲也(1986): 須崎港における津波に関する水理模型実験, 港湾技研資料 No. 549, p. 131.
- 早藤能伸・村田利治・根木貴史・中島 大(1990): 操船シミュレーターの航路計画評価への適用, 港湾技研資料, No. 686, 41 p.
- 山下隆男・高林 努・土屋義人(1994): 北海道南西沖地震による津波と奥尻島育苗地区での津波の氾濫解析, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 231-235.
- Tanaka, S., S. Sato and K. Noguchi(1995): Propagation of Hokkaido-Nansei-Oki Earthquake Tsunami Around Cape Aonae, 2nd Int. Symp. on Wind and Earthquake Engineering for Offshore and Coastal Facilities, Session F.