

港内波浪のための新しいグラフィック表示システム

中 本 隆*・森光賢治*・高橋宏直*・平石哲也**

1. はじめに

港内における波浪現象の数値解析結果は、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。これらの表記形式では、広域な計算領域全体を等しく把握することはできるが、高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たり、防波堤等の構造物の波浪制御効果を視覚的に検討することができない。最近では、津波等の長波の伝播状況を動画画像化して示す試みがなされているが、コンター表示されたものを連続的に画像表示したもので、観測者の視点が固定され、臨海部に位置した観測者の視点から現象を把握することはできない。そこで、筆者ら(酒井ら, 1995b)は、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し、それを用いて高知県須崎港における南海道地震津波の来襲状況をバーチャルリアリティ画面として示した。ここでは、システムを改良して、高い精度を有する数値計算で得られた港湾の波を動画表示し、波の来襲状況を視覚的に検討できるようにした。さらに、港湾内の波高を定量的に把握できるように、任意点の水位変化と波高をグラフィック画像上に表示できる新しい機能を付加した。

2. グラフィック・システムの概要

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、波の変形と伝播の様子を観測する。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。したがって、画面の前の試験者は、いわゆるバーチャルリアリティイメージとして港内における波の変形状況を観測できる。試験者の視

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	
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°	

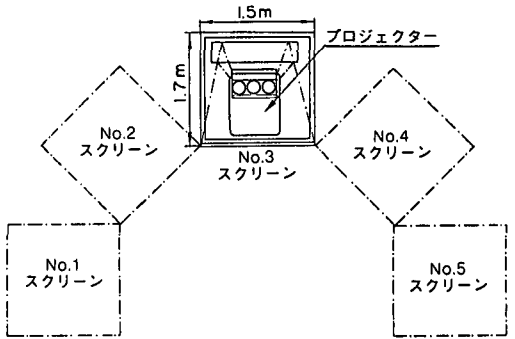


図-1 スクリーンの配置

点は計算途中であっても自由に移動させることができ、鳥瞰図や岸壁の観測者からの視点による画像などが自由に選択できる。また、計算結果を実時間で出力したり、

* 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 工博 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室

時間を早くして高速で表示することも可能で、出力する画像の時間的な早さを任意に変更することができる。

今回の表示システムで用いたモデルは、サーフェイスモデルと呼ばれるものである。これは、3次元の空間に2次元の平面を配置して物体を表現するもので、その平面の頂点がねじれた位置にならないように、その平面は三角形で表現される。個々の三角形平面をポリゴンと呼ぶ。空間画像素子の形状や配置の仕方ならびに海と陸の境界における画像処理の手法等の詳細については文献(酒井ら, 1995 a, 酒井ら, 1995 b)を参照されたい。

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。

沿岸部のイメージは、国土地理院撮影のカラー空中写真を、平面データに張り付け(テキストチャマッピング機能)で作成した。なお、この写真は、建設省国土地理院長の承認を得て、複製している(承認番号 平7総復第72号)。そして、波浪変形計算結果を統合して、3次元画像として出力している。また、各タイムステップ毎の計算結果をメモリーに記録し、後述の波高の計算に用いた。

3. 港内波浪の数値計算

本システムでは、港内における波の屈折、回折、碎波、反射による変形を、ブシネスク方程式に碎波および摩擦項を加えた佐藤ら(1993)のモデルを用いて求めた。碎波は、基礎方程式中に渦動粘性係数を付加してエネルギー逸散を求めることにより評価されている(佐藤ら, 1990)。なお、計算法の詳細については、平石ら(1995)を参照されたい。本計算では、港内において水深変化が大きく、従来的一様水深を仮定した高山法(高山, 1981)

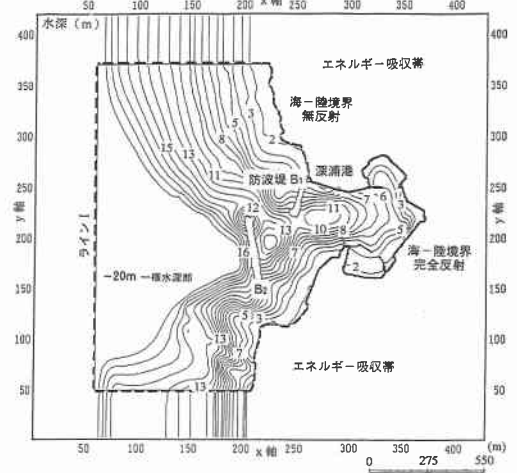


図-2 深浦港計算領域の地形

では港内波高を正確に推定することができないモデル港湾として、青森県西部の深浦港を用いた。写真-1に深浦港の航空写真を示す。

図-2は、深浦港の計算対象領域の水深分布を示す。深浦港は、奥行きおよび幅ともに1 kmに満たない小型港湾で、港口部に、長さ380および200 mの防波堤を有している。港口部の水深は13 m程度であるが、港内は浅くなり、港奥の小型漁船用の船だまりでは、2~3 mである。計算は、ブシネスク方程式による計算法の適用範囲を考慮して水深20 mから開始するものとし、計算領域内の水深20 mより深い部分もすべて20 mで一樣とした。図-2の太い線で囲われた領域の外側には、エネルギー吸収帯を配している。すなわち、この太い線では原則として、波は反射せず、すべて吸収される。したがって、図中の海-陸境界では波は反射しないことになる。

ただし、港内には自然海岸、消波岸壁、直立護岸などが混在しており、本来は、それぞれ適切に反射率を設定しなければならない。しかし、ブシネスク方程式による計算法で、任意の反射率を設定することが困難であるため、海と陸との境界は、反射か吸収のどちらかにする必要がある。写真-1に示すように深浦港内には波除堤が点在し、直立岸壁が多用されているので、港内の海陸境界については波は完全反射されるものとした。図-2において、太い線で示した海-陸境界の中で、破線部では波を吸収、実線部では波を反射させている。港口部の防波堤B₁およびB₂は、直立ケーソンを用いた混成堤であり、消波工は一部しか使用されていない。そこで、計算では陸地とし、その外縁では波は完全反射されるものとした。

その他の数値計算の主な条件は以下の通りである；



写真-1 深浦港の概観(青森県港湾課)

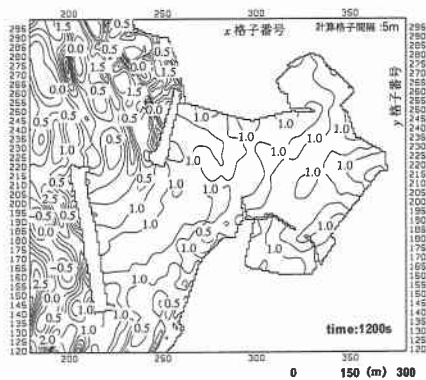


図-3 1200 s後の港内の計算水位分布

計算格子間隔: 5 m

計算時間間隔 (タイムステップ): 0.2 s

計算時間: 1200 s

入射波は、Bretschneider-光易型の周波数スペクトルおよび光易型の方向関数分布を有する多方向不規則波 (たとえば, 平石, 1992) とし, 図-2 に示したライン I より, 主波向が図の横軸方向になるように入射させた。有義波高 $H_{1/3}$, 有義波周期 $T_{1/3}$ および波の方向分散性を示すパラメータ S_{max} はそれぞれ 5 m, 10 s および 70 とした。

図-3 は, 1200 s 後における港内周辺の水位分布の計算結果を示したものである。防波堤の沖側では, 防波堤からの反射波により水位の高低差が顕著になっている。港内では, 水位の場所的な差は小さく, 防波堤の遮蔽効果によって港内波高が小さくなっていることがわかる。ただし, 平均すると港内の水位は上昇しており, これは, 波による浅海域の平均水位上昇効果が表れているためと思われる。図-3 のように計算結果を図示すると, 詳細に観測すれば港内の波の状況を定量的に把握することができる。しかし, 港内に係留された漁船上や岸壁上の観測者が得る視覚的なイメージを把握することができない。

4. 港内波浪のグラフィック出力

(1) グラフィック・システムの活用

本システムによるバーチャル・リアリティ (VR) グラフィックは, 5 枚のスクリーンに表示されるものなので, それ自身を紙面上に出力することができない。ここでは, 1 枚のスクリーン上に表示される連続画像の一部を画像データとして保存し, カラープリンター上に出力した画面を示す。

図-4 は, 深浦港へ侵入する波の状況を, 鳥瞰図として示したものである。写真-1 と比較すると, 深浦港の沿岸部の町並みや防波堤の外観もよく再現されており, VR 画像として活用できることがわかる。なお, グラフィッ

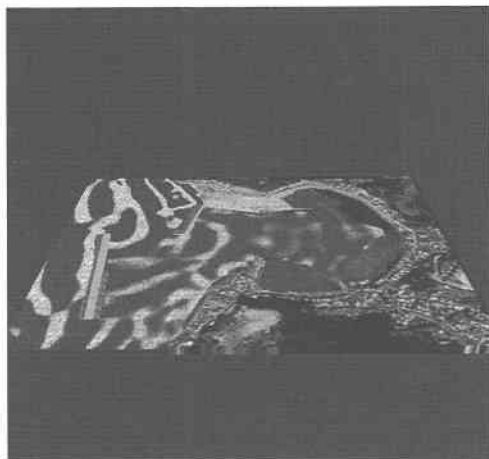


図-4 深浦港へ侵入する波のイメージ図

ク画面で波の高さを表すためには, 水面の勾配に従って影をつける手法がよく用いられる。本システムでも水面の輝度を変化させているが, 浅海域では波の高さが比較的小さくなるため, 遠くから海面を見た画面では波の峰の位置が判別できない。そこで, 波の峰の位置を判断できるように本システムでは, 水面がある高さ以上になると水の色が青から若干白に変色する技法を取り入れた。白く変色させる高さの基準は, 視点の位置や波の高さによって随時変化させた。したがって, 図-4 において波の頂部が白く見えるのは, 峰を識別しているためで, 砕波点を示しているわけではない。

図-5 は, 観測者の視点を下げてイメージを作成した場合の例で, 深浦港の背後の高台から防波堤 B₁ 周辺の波の状況を観測した場合を示す。防波堤による波の遮蔽効果等が判断でき, 現地の港湾施設の設計等で本システムを活用できることがわかる。

図-6 は, さらに視線を下げて, 防波堤の先端部付近から港外を観測した状況である。波の峰が交差して見えており, 陸地からの反射波の影響が表れていることがわかる。このように, 本システムの画像は数値計算結果を視覚的に検証する場合にも適用できる。

(2) バーチャルセンサーの開発

これまでは, 数値計算結果のイメージ図が港湾施設の設計等に活用できることを示した。ただし, 港湾施設の詳細設計には, 従来のように対象点での波高・周期・平均水位等の数値情報が必要となる。ここでは, グラフィック画面上でも対象点での数値情報が出力できる手法を考案した。

本来, システム中には, 全計算格子点での 1200 s 間の計算結果があらかじめメモリーに保存されている。そこで, 画像出力中でも任意点を指定すると, その指定点に

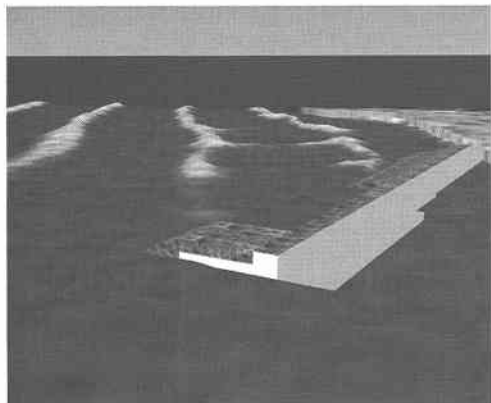
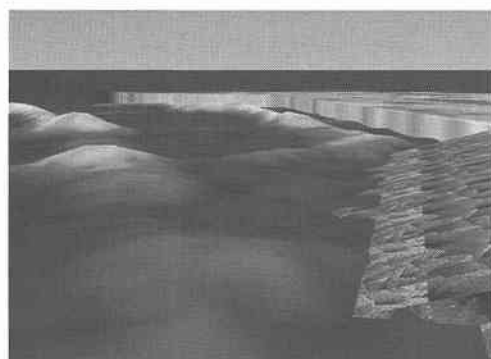
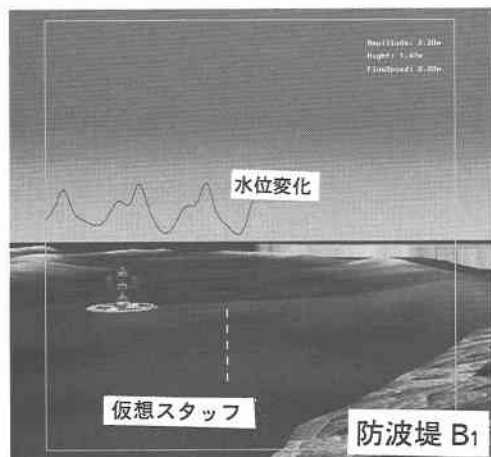
図-5 防波堤 B₁周辺の波の状況図-6 防波堤 B₁近傍の波の状況

図-7 バーチャルセンサーを用いた水位変動の観測

最も近い計算格子点の水位計算結果を、0 から画像が表示されている時刻まで画面に出力できるような技法を作成した。それと同時に、その水位データを用いてゼロアッ

ブクロス法で個々の波を定義し、それから有義波高 $H_{1/3}$ を計算して同一画面に出力した。

図-7 は、図-6 とほぼ同一の視点から防波堤より港外側の波浪状況を観測した画像である。画面中央の、交互に黒と白（実際の VR 画像では赤と白）で着色された棒状のものは仮想スタッフである。この仮想スタッフは、VR 画像出力時間中、いつでも表示でき、実際のシステム操作では、マウスによって簡単に任意点に移動させることができる。図-7 における曲線は、仮想スタッフが設置されている地点における水位の変化を示す。これは、計算開始時刻からの水位変化を示し、これにより任意時刻の任意点における水位変化を定量的に検討できる。

図-8 は、図-7 と同様に仮想スタッフによる観測状況を示したものである。ゼロアブクロス法で個々の波を定義すると、ある波の最低水位から最高水位までの高さと波高が定義できる。図-7 の画面中央部の白い縦破線は、計算中の波の最高および最低水位の位置を示しており、この値は個々の波の波高として常時、画面右上に出力されている。また、画像表示時刻までの個々の波の波高を基に計算した $H_{1/3}$ も画面右上に表示される。

このように、本システムを用いると港内の任意点における波高を定量的に把握することができる。なお、地元での説明会などでは、棒状の仮想スタッフを表示しただけでは、一般の見学者には何をしているか理解しにくい。そこで、宇宙船を模した円盤型の仮想海象センサーを作成した。図-7 および 8 の画面で水面に浮いている円形の装置が仮想海象センサーである。棒状の仮想スタッフと同一の機能を有している。

5. あとがき

ここでは、バーチャル・リアリティ・グラフィックス

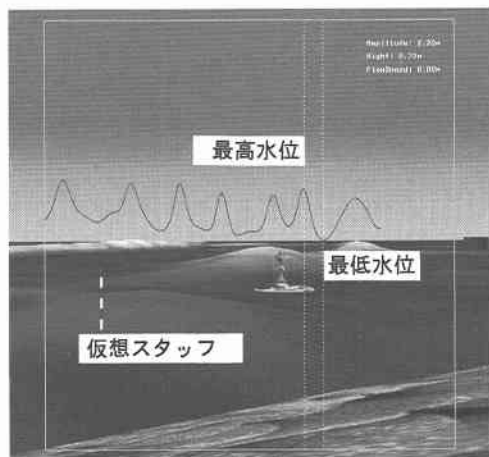


図-8 バーチャルセンサーによる港内波高の測定状況

システムを港内波浪の計算に応用し、計算結果を視覚的に把握できるとともに、仮想センサーを用いて、任意点の波高・周期を定量的に出力できることを示した。今後は、本システムを港湾計画策定支援システムとして整備していくつもりである。

参 考 文 献

酒井浩二・高橋宏直・平石哲也 (1995a): 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, 港研資料, No. 815, 14 p.
酒井浩二・高橋宏直・平石哲也・柴木秀之 (1995b): 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, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1231-1235.
佐藤慎司・鈴木秀典 (1990): 砕波帯における底面流速変動波形の評価法, 海岸工学論文集, 第 37 巻, pp. 1231-1235.
佐藤慎司・M. Kabiling (1993): Boussinesq 方程式を用いた波浪・海浜流・海浜変形の数値計算, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 386-390.
高山知司 (1981): 波の回折と港内波高分布に関する研究, 港研資料, No. 367, 140 p.
平石哲也 (1992): 多方向不規則波の発生とその応用に関する研究, 港研資料, No. 723, 175 p.
平石哲也・上原 功・鈴木康正 (1995): ブシネスク方程式を用いた波浪変形計算法の適用性, 港研資料, No. 814, 22 p.
