

数値計算による堤体前面における衝撃砕波力の算定

北海道大学大学 ○学生員 松本 靖治
 北海道大学大学院 正会員 渡部 靖憲
 北海道大学大学院 フェロー 佐伯 浩
 開発局開発土木研究所 早川 哲也

1. はじめに

急勾配地形を有する浅海域に防波堤を設置する場合や大波浪時には非線形性の強いあるいは砕波を伴いながら堤体にぶつかる。この時堤体にはたらく波圧は通常のものとは比べて大きく、最大波圧が発生する時間間隔は非常に短い。こうした衝撃圧は海岸構造物・消波工の安定に大きな影響を与える。防波堤にはたらく波圧は合田式により与えられるが、堤体前面海底勾配を有する場合、大きく異なるものになることは以前から指摘されてきた。

著者らは巻き波砕波の数値シミュレーションを通して衝撃的流体運動の計算手法を提案し妥当性を検証してきた。

本研究は鉛直壁に作用する砕波圧特性を解明する基礎的研究として同様な計算手法を用いて解析を試みた。ジェットを伴う衝撃砕波を再現するために安田ら(1993)と同一な地形を設定した。また2つの直交座標系を重合させ構造物前面の底面勾配をもつ地形に適合した座標系を用いた計算法を示していく。

2. 計算方法

計算はNavier-Stokes式を支配方程式とし、圧力に関するポアソン方程式と組み合わせ、スタッガードグリッドを用いたCIP法で計算した。衝撃砕波を再現するために安田ら(1993)と同様に図1に示すようなステップをもち鉛直壁を終端にもつ計算領域を採用した。座標系・地形条件を図1に示すように堤体前面にステップをもつ直立堤をモデルとして計算を行った。造波境界において、2次的クノイド波を造波して、底面及び防波堤堤体にノンスリップ条件を与えた。

波浪条件は、 $H/h=0.444$, $m=0.95$, $Re=181865$ (H :波高, h :水深, m :楕円関数の母数, Re : Reynolds数)である。この波浪条件は実験室規模で波高20cm, 周期1.7sec, 水深45cm, $B=50$ cmに対応する。また、ケーソン天端高 $h_1/h=1.4$, ステップ高 $b/h=0.6$, ケーソン前面から造波境界までの距離 $l_1/h=14$ である。

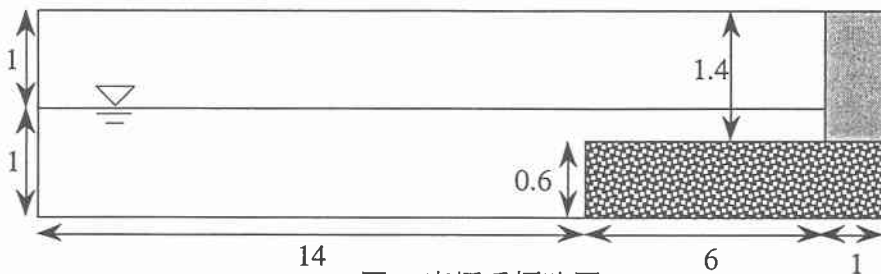


図 1. 座標系概略図

Numerical Simulation of the Impulsive Force Acting on the Vertical Structure

by Yasuharu Matsumot, Yasunori Watanabe, Tetsuya Hayakawa, Hiroshi Saeki

3. 結果

本研究は数値シミュレーションであるため、モデル化された現象であり、実際の現象を何処まで忠実に再現しているかについては議論が必要であるが、実際の実験では計測が不可能な領域において微小な時間についてもシミュレーションの場合は計測が可能となる。そして今回注目したのは、堤体前面に与える砕波の影響、つまり衝撃砕波力である。

今回用いた条件では堤体前面のステップ上で砕波が起こり、砕波ジェットの着水により引き起こされたジェットが堤体前面に到達する。図2は流速ベクトルの時間変化を表したものである。図3、図4は砕波フロントが堤体前面に到達する瞬間の前後の時系列における堤体前面での水位と堤体底面での圧力を表したものである。時系列は周期によって無次元化され、水位及び圧力は静水位時の造波境界における水位及び水の密度により無次元化されている。2つの図を見比べてみると圧力のピーク時と水位のピーク時に時間のズレが生じているのがわかる。今回の場合、圧力のピー

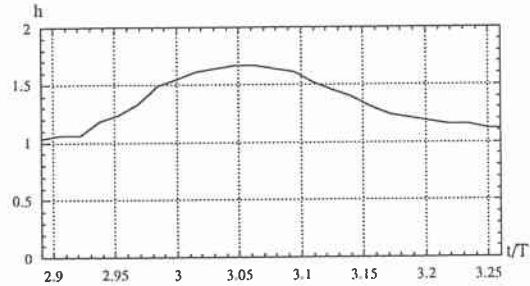


図4. 堤体底面での圧力変化

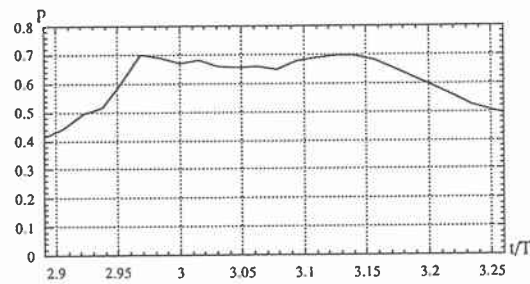


図3. 堤体底面での圧力変化

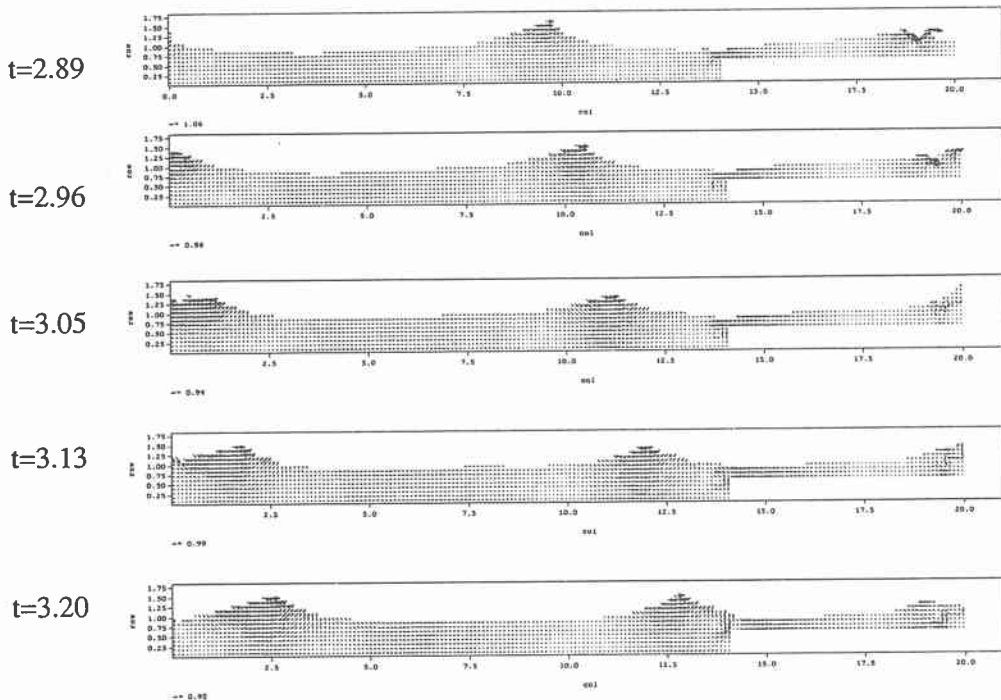


図2. 流速ベクトル

クは時系列において2カ所で現れているが、はじめの圧力のピーク時は碎波ジェットが堤体前面に到達する瞬間と一致している。また2回目の圧力のピーク時は水位のピーク時をはさんではじめの圧力ピーク時とほぼ対称な時刻で起こっている。これは碎波ジェットが堤体前面に衝突したことにより引き起こされた圧力が水位と一致していないため起こるものと考えられる。つまり、圧力と水位の時間的ズレを打ち消すために負の圧力が生じた結果、2次的に起こった圧力が「2回目の圧力」としてグラフに現れていると考えられる。実験においても碎波フロント衝突時における負の圧力は確認されている(服部ら1990)。今回の計算により碎波フロントが着水後のジェットであるため、顕著ではないが碎波によりつくられた圧力と水位の時間的なズレが碎波時の圧力の減衰振動を起こさせる原因と考えられる。

実験ではタイムラグが微小で計測が困難であるということ、碎波時の水面(水位)の定義が困難であるため、計測は難しいと考えられる。今回の計算により圧力と水位のタイムラグを計測できたことは今後衝撃力を扱う上で有効な情報になると考えられる。今後碎波フロントを直接堤体に衝突させ、時系列もより細かくし、圧力と水位の時間的ズレを明らかにしてゆきたい。

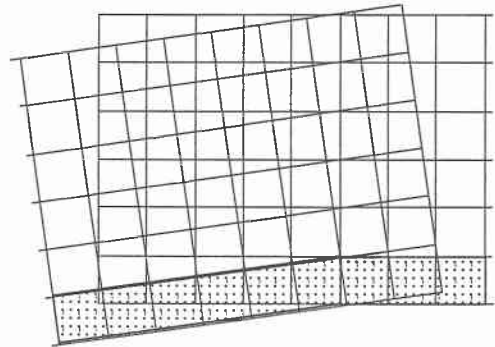
4. 重合座標系

構造物前面で傾斜した地形を表すために2つの直交座標系を組み合わせて重合させる座標系を採用した。

重合計算について

今回の計算ではステップをもち終端に鉛直壁のある計算領域の他に、構造物前面で傾斜した地形についても計算を試みた。堤体沖側の勾配を表現するのに計算グリッドの関係で階段状にするのではなく、直線で表現するために2つの直交座標系を組み合わせて重合させる座標系を採用した。底面を直線で表現することにより階段状の底面で表れる渦等を完全になくすことが可能となる。

そこで問題となったのが重合計算である。本計算で採用しているCIP法においては一階微分値も座標系内で補完された物理量が移流するため直交座標系を適用しようとしたことがこの座標系を採用した理由である。2つの座標系を重合させる方法として、重合している部分全体を補完する方法が考えられたが採用しなかった。数値誤差を考慮すると厳密に2つの座標系を対応させるよりもある程度自由度をもたせた方がよいと考えた結果である。採用した重合計算は2つの座標系の重合する範囲内のそれぞれの終端部、開始部においてのみ補完することとした。この方法を用いても圧力のポアソン方程式が正しく解ければ重合する全てのメッシュを互いに補完するのとはほぼ同一の解を得ることができる。しかし底面境界におけるポアソン方程式を収束させることができず今回は評価できる結果が得られなかった。今後計算法を改善していきたい。



直交座標の重合部分

5. 結論

- ・砕波時における圧力の減衰振動について新たな考察を試みた。今後さらに詳細な研究をすすめていく。
- ・今後実験も行い、本シミュレーションと実験の結果を比較してゆきたい。堤体にかかる圧力をより詳しく評価していく。
- ・今回載せることができなかったが構造物前面に直線勾配をつけたシミュレーションについても進めてゆきたい。

<参考文献>

安田孝志・篠田成郎(1993): ステップ上の直立壁に作用する衝撃砕波圧と砕波形式の関係, 海岸工学論文集, 第40巻, p756-760.

荒見敦史・服部昌太郎(1990): 衝撃砕波圧の算定モデル, 海岸工学論文集, 第37巻 p629-633