

### 3次元波動場における波・流れの相互作用に関する数値計算

名古屋大学大学院 正会員 ○許東秀・水谷法美  
豊田市 正会員 前田祐介

#### 1. はじめに：

日本の港湾は港内への流入河川や運河を有していることが多く、出水時に運ばれる土砂の港内への堆積が問題になることがある。そのため、導流堤の設置など、港内の流れを制御する必要が生じるが、例えば導流堤などの配置や形状を決めるには港内への流入水の挙動を精度よく予測する必要がある。従来、このような問題は流れの問題として流れのみを対象に検討されてきているが、出水時は荒天時と重なることが多く、そのような場合には港内波浪の影響も無視できない。すなわち波・流れ共存場としての扱いが必要である。波・流れ共存場に関する研究は、一定の流れの場における波の変形をエネルギー流束の保存則に基づいて解析する手法が中心であったが、波の存在は流れにも影響を及ぼすため、このような問題は波・流れの相互作用問題として解析する必要がある。本研究では、三次元の場合を対象に、波と流れを同時に入力して両者の非線形相互作用を解析するための数値計算手法を提案し、その妥当性を検証するとともに、単純な形状の港を取り上げ、三次元の場合における波と流れの相互干渉について議論するものである。

#### 2. 数値解析：

本研究では、VOF 法に基づく数値波動水槽<sup>1)</sup>を三次元場に拡張する。基礎式は、従来と同様、3次元非圧縮性流体の連続式と Navier-Stokes 方程式、VOF 関数の移流方程式からなる。造波ソースを使った数値波動水槽では、造波ソースに任意の流速の時間変化を入力できることを利用し、港奥部と港口部に設置した造波ソースのそれぞれで河川流と波浪に対する流速を入力した。

この数値計算を以下の二種類に対して行った。すなわち、①有限幅の長水路内における波・流れの相互干渉、②直線河川が流入する矩形形状の港、の二種類である。前者は、主に本数値計算の妥当性の検証と波・流れ相互作用によって生じる現象を明らかにすることを目的とし、後者は、主に波・流れ相互作用における三次元性の影響を議論することを目的とする。

#### 3. 結果と考察：

図1に、①の長水路における数値計算結果を例示する。すなわち、同一流速の河川流を、周期の異なる波が遡上する場合の波高の変化の数値計算結果を示す。図には、岩崎・佐藤<sup>2)</sup>による水理実験結果も合わせて示してある。同図から、流れを波が逆上する場合、波の進行とともに波高が減少することが確認できる。波高の減衰率は周期が短いほど顕著である。これは、周期が長くなると波速が速くなるため、単位距離を進むのに要する時間が短く、したがって、その間に流れとの相互干渉によって生じる

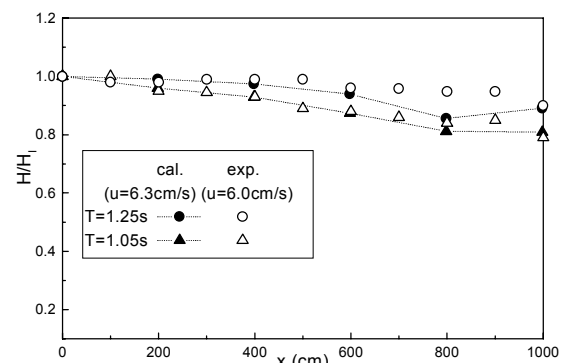


図1 波高減衰率

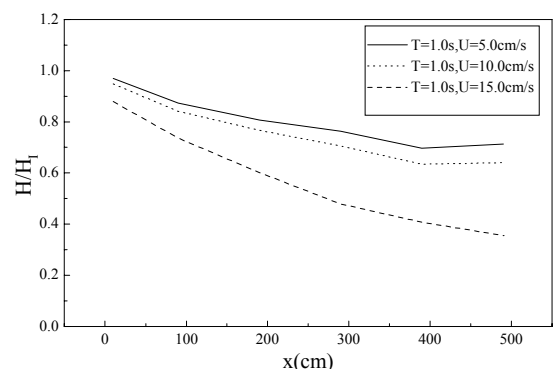


図2 流れによる波高変化

キーワード：波・流れ相互作用，河川流，平均水位，数値計算

連絡先：〒464-8603 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻（TEL 052-789-4632 FAX 052-789-1656）

エネルギー消費が小さくなったためであると考えられる。これらの傾向は岩崎・佐藤<sup>2)</sup>の水理実験結果と共通しており、また、流速に若干差はあるものの計算値と実験値との対応も良好である。したがって、本数値解析手法は波・流れの相互作用を妥当に再現していると判断できる。

図-2は、入射波が一定の条件の下で、流速を変化させた場合の波高の変化特性を示す。同図より、流速の早い方が波高の減少率は大きくなることが確認できる。以上の結果より、波が流れを遡上すると、波の進行にともなって徐々にエネルギーが減少し、最終的にはすべてのエネルギーが消費されるものと考えられる。そして、流れが速くなるにともなって、早くエネルギーが消費され、波が遡上できる距離も減少するものと考えられる。

図3は水路内におけるある点での水位の時間変化を、流れのみの場合と流れを波が遡上する場合で比較した結果を例示したものである。計算開始直後は計算の不安定性を防ぐために流量を徐々に増加させていることにより、しばらくは水位が上昇する。その後、流量が所定の値に達すると流れのみの場合は水位は一定となり、安定している。一方、波が入射する場合、波の先端が流れと衝突すると平均水位が上昇していることがわかる。これは、波の存在により流れが抵抗を受けて流速が減少したために水位が上昇したと考えられる。また、水位の上昇量と波高の変化は密接に関連しており、波高減衰の大きいほうが水位上昇量は大きくなることが確認できた。

これまで流れによる波の変形は、主に微小振幅波理論に基づいた波のエネルギー流束の保存則に基づいて検討されており、波が流れを遡上する場合、波高は増大すると考えられていた。しかし、今回の計算は、これとは全く異なる結果となっている。本計算では、粘性を考慮した非線形理論に基づいているので、波のエネルギーは一定ではなく、波と流れが相互干渉によるエネルギーの逸散なども生じており、これが従来の結果との差の重要な要因であると考えられる。そして、同一の入射波に対して、流れが強いほど波高の減衰が強くなるのは流と流れの相互干渉の非線形性を示唆するものであると考えられ、本数値計算手法のような非線形解析が重要であることを示すものと考えられる。

図4は矩形水域に直線河川が流入する場合の水域内における平均水位の空間分布を例示したものである。同図の左下が河川流の流入境界を、右に造波境界を設けている。流れが静穏水域に流入する場合、河川流の広がりに応じて平均水位の上昇量も変化し、港内に平均水位の勾配が発生する。さらに波も入射すると流れによる水位上昇と重合し、図-4のように空間的には複雑な平均水位の変化を生じさせる。この平均水位の勾配は水域内の平均流の外力ともなり得るものであり、その正確な予測は港の施設配置を考える上で極めて重要であるといえる。

#### 4. おわりに：

本研究では、波・流れの非線形相互作用特性について、数値解析を行って検討を行った。今後も引き続き、実海域への適用も視野に入れた、より汎用性が高い波・流れ共存場における数値解析手法の開発について更に検討を加えていく所存である。

<参考文献> 1)許東秀(2000):名古屋大学博士論文、 2)岩崎・佐藤(1971):海岸工学講演会講演集,第18巻。

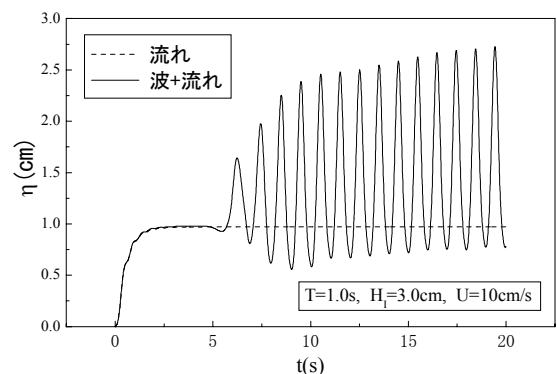


図3 水位変動の時間波形

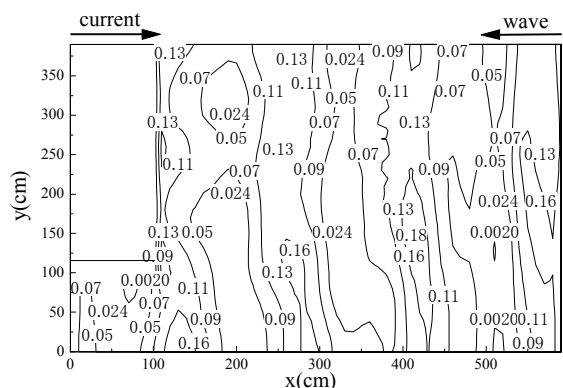


図4 平均水位  
( $T=1.5s$ ,  $H_1=3.0cm$ ,  $U=5cm/s$ )