

II-38

越波後の流体運動特性

北海道大学大学院 学生 王 毅
 北海道大学大学院 正員 渡部 靖憲
 北海道大学大学院 正員 佐伯 浩

1. はじめに

従来、防波堤から越波した後の伝達波の見積もりは伝達波高の計測により適当なエネルギー減衰係数を与えることで評価されたきた。越波時においてジェットに着水による運動量の供給による圧力の変化のため伝達波が生成されるが、その際衝撃的な流体運動であるため高周波数の変動が存在し、非常に広い周波数領域にわたる水位変動が発生する。さらにジェットに着水により大規模渦が生成され渦と水面の干渉により新たな波が誘発されること。数個の大規模渦同士の干渉により複雑な流速場が堤体背後で形成されることが著者らの研究で報告されている(1998)。防波堤背後の領域は近年来提案されている水産協調型海岸構造物、あるいは二重堤等で利用しようとする意見もあり、その際、この領域内の現象を把握することは不可欠である。

本研究では、数値解析により、この流速場を解き、渦運動、水位変動、運動エネルギーの周波数解析を行い、それらの変動時間スケールを調べた。この解析を通して大規模渦の流体運動及び水位変動への寄与を議論している。

2. 計算方法

越波水の打ち込みに伴う複雑な流体運動を再現するために、ジェットに水塊が飛び込みような流体運動に対して、十分な精度と安定な計算方法が必要である。本研究では、著者ら(1996,1997)と同様にCIP法を用いて数値計算を行った。数値計算の結果を検証するために、同じ条件の実験を行った、実験において越波水着水時に大量の気泡を巻き込んだ、流体運動に影響を与えているが、本計算では、その影響はジェットの運動に比べて小さいと仮定し無視した。

計算領域は図1に示すように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次のクノイトはを造波して、底面及び防波堤堤体にノンスリップ仮定を与えた、そして、透過境界でゼロ速度勾配条件を与え波を透過させる。

入射波は case1: $H/h=0.444$, $m=0.876$, $Re=945000$, $B/h=1.11$; case2: $H/h=0.5$, $m=0.88$, $Re=1106797$, $B/h=1.0$, (H : 波高, h : 水深, m : 楕円関数の母数, Re : Reynolds数) である。case1 は実験室規模で波高20cm, 周期1.7sec, 水深45cm, $B=50$ cm, case2 は25cm, 周期1.7sec, 水深50cm, $B=50$ cm に対応する。また、ケーソン天端高 $h_c/h=1.17$, ケーソン前面から造波境界までの距離 $l_1/h=14.7$, 背後から透過境界までの距離 $l_2/h=4.0$ である。

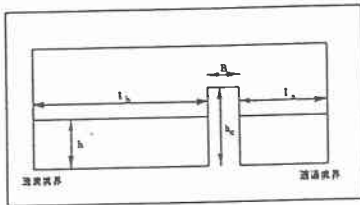


図1 計算領域

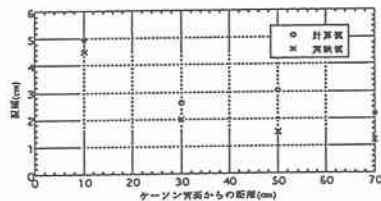


図2 case1における実験値と計算値の比較

3. 結果と考察

最初に、簡単に越波後の流体運動・渦構造について考察する。

図2はcase1における伝達波振幅の空間変化に対して計算値と実験値を比較したものである。実験値に比べて計算値は若干大きく、これは実験中大量の気泡が流体運動に影響を与えるため、この影響を無視した本計算においても良好な再現性があると考えられる。

図3はcase1における越波の防波堤背後の流速ベクトルと渦度分布を表したものである。越波水着水後伝達波として岸向きの流速が発生する（位相）。その後、ジェットに着水によって正の渦度をもつ渦と岸側に隣接して2次的に負の渦度をもつ渦の生成するのが確認できる（位相3~4）。この一対の渦拡散しながら岸方向に移流していく（位相5~）。

図4は入射波高case2の流速ベクトルと渦度分布図である。case1と同様に正負渦度をもつ一対の大

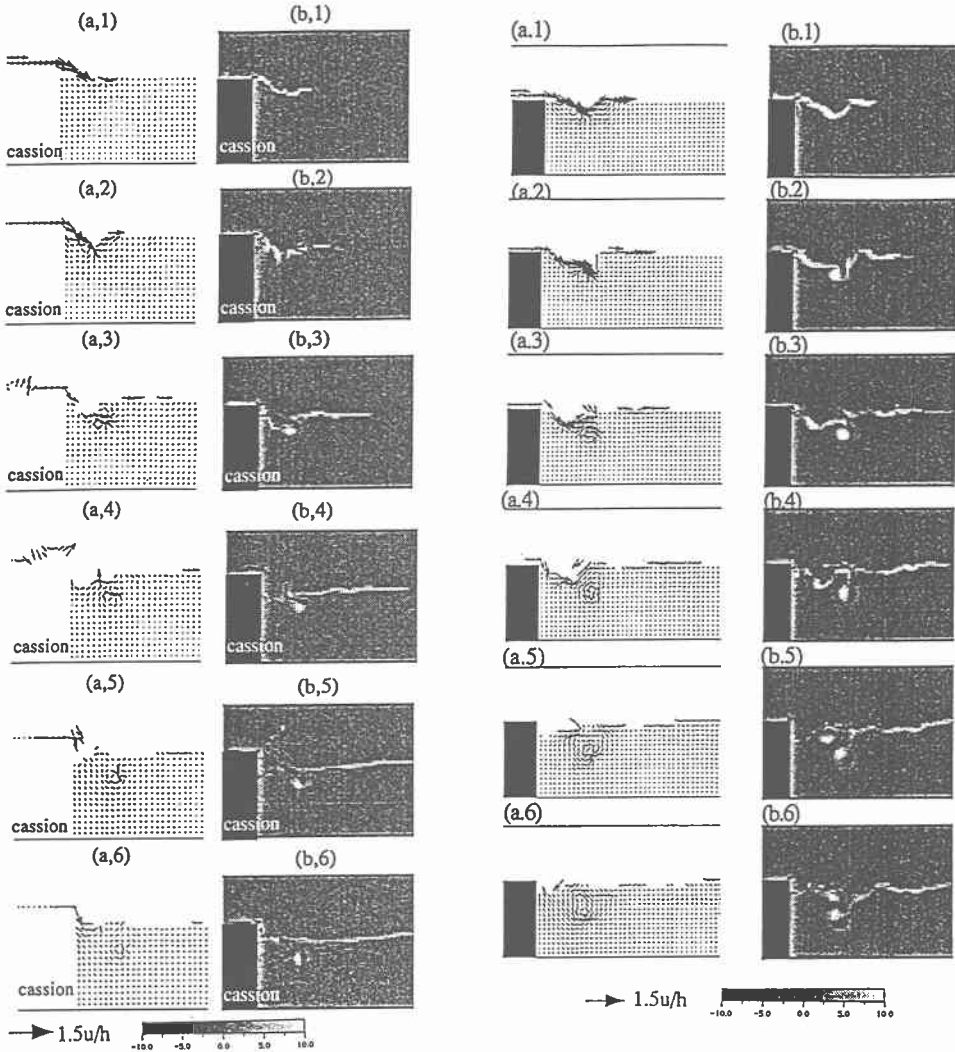


図3 case1における越波水着水後
ケーソン背後の
(a) 流速ベクトル (b) 渦度分布

図4 case2における越波水着水後
ケーソン背後の
(a) 流速ベクトル (b) 渦度分布

規模渦が生成された（位相2～3）。越波流量が多いため、最終的に二つ大規模の生成が見られる（位相4～）。これらの大規模渦・2次渦は渦間干渉により急速回転するように移流し、底面に及ぶ広い範囲にわたって流速を与える（位相5～）。

次に、力学的エネルギーの遷移特性・詳細な流速場の周波数特性を知るために入射波の1基本周期間に渡ってスペクトル解析を行い議論していく。

図5は（a）case1及び（b）case2に対応する水位変動のエネルギースペクトルの岸沖分布を表したものである。両図において図中に矢印で示したジェットの着水点近傍で低周波数成分のエネルギーが若干小さくなっているのがわかる。空間的にエネルギーが大きく変化する、周波数帯は $10\sigma_0 \sim 56\sigma_0$ （ σ_0 :入射波の基本周波数）であり、これより低周波数、高周波数成分に岸沖変化はそう大きくない。また、case1では低周波の波動成分として2倍周波数成分までが伝達波として進行しているが明確してわかる。

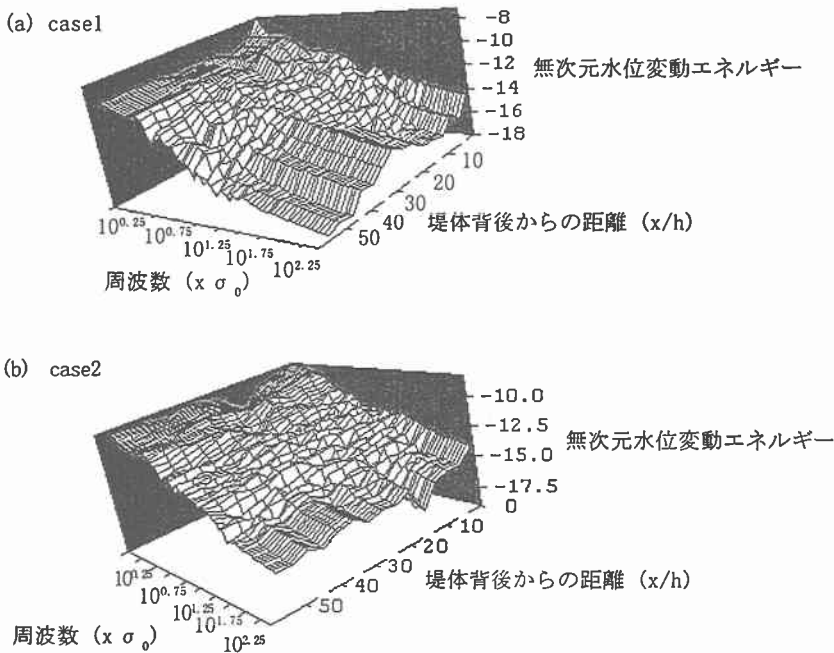


図5 水位変動エネルギースペクトル

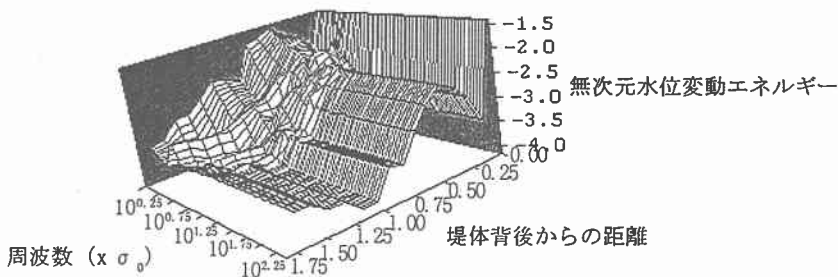


図6 case1における運動エネルギースペクトル

図6はcase1における運動エネルギースペクトルを表している。着水点近傍での周波数で比べても最も高いエネルギーを保有している。また、この位置で10倍周期近傍に大きなピークが存在している。著者らの(1997)過去の研究結果によれば巻き波砕波の大規模渦の周波数帯は10倍周期前後であり、この結果と対応する着水点から岸方向では序々の全ての周波数成分は小さくなるが、約3倍周波数成分が相対的に大きな値をもち減衰はすくない。この周波数成分が伝達波と考えられる。

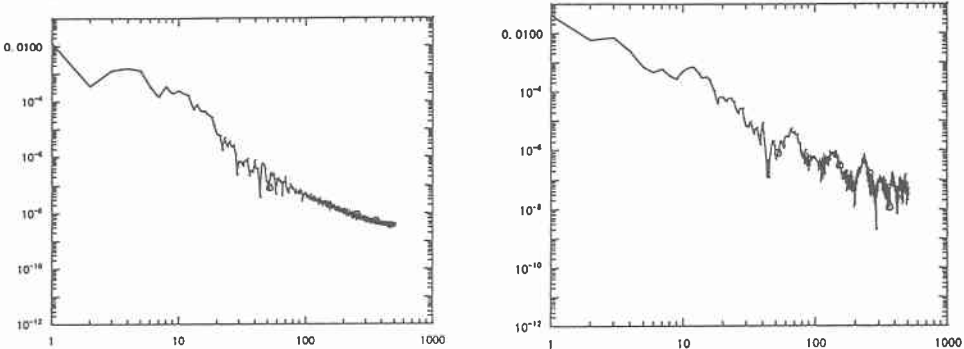
さらに詳細にスペクトルを調べていく。図7は堤体背後0.6x/h (a) 水底から0.15Z/h (b) 0.9Z/hの位置における運動エネルギースペクトルである。6 σ_0 ~10 σ_0 にエネルギー卓越周波数があるが行周波帯はなめらかにほぼ直線的に減少している。一方、(b)のトラフレベル近傍の位置では、やはり10 σ_0 で卓越周波数があり、さらに高周波数側で調和振動を示すエネルギーピークが存在する。着水点近傍独特の現象であり、大規模渦が関係する可能性がある。

図8は(a)堤体背後から1.25x/h (b) 1.65x/hでの水底から0.9z/hの位置における同様のスペクトルを表したものである。前図で見られたようなエネルギーピークはみられず、これが波動性をもった振動成分でないことをあらわす、これらの位置では高周波数側には大きな乱れはないことを示している。

今後さらに大きくケースについて調べる必要がある。

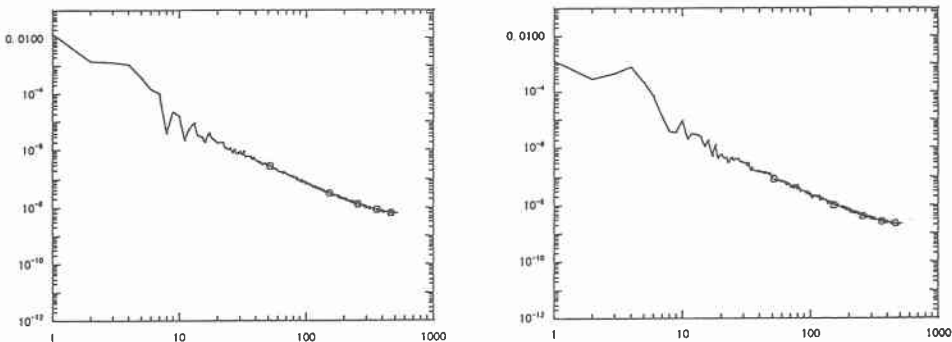
4. 結論

- ・ 数値計算による越波後の流体運動解析により、大規模渦の生成機構・移流特性をしらべた。
- ・ 水位変動、運動エネルギーの周波数解析により今回の対照としたケースの周波数帯を明らかにした。また、伝達波の周波数は入射波の約3倍であった。
- ・ 着水点近傍において高周波帯に調和エネルギーピークがみられる。



(a) 堤体背後から1.25x/h, 水底から0.15Z/h (b) 堤体背後から0.6x/h, 水底から0.9Z/h

図7 堤体背後の運動エネルギースペクトル



(a) 堤体背後から0.6x/h, 水底から0.15Z/h (b) 堤体背後から0.6x/h, 水底から0.9Z/h

図8 堤体背後の運動エネルギースペクトル