

実験と数値計算による津波の防波堤越流現象の解析

鹿児島大学大学院理工学研究科 学生会員 ○上村 昇大
鹿児島大学 正会員 長山 昭夫・井崎 丈・浅野 敏之
鹿児島大学 非会員 種田 哲也 (株)エコー 正会員 石本 健治

1. はじめに

東日本大震災の津波の画像・映像記録から認められるように、建物群や防波構造物があるときの津波の越流の様相はきわめて 3 次元的である。本研究では、津波造波装置を用いて構造物周辺の 3 次元流動特性を実験的に検討した。また、実験結果の妥当性を検証するために、CADMAS - SURF/2D, 3D による数値解析結果との比較検証を行い、防波堤模型を越える津波流動について総合的に検討した。

2. 実験の概要

2.1 実験装置 鹿児島大学に設置された長さ 26m, 幅 13m, 最大水深 1.2m の実験水槽(図-1)内に、長さ 2m, 幅 3m のコンクリート平坦床を造成し、その上に上底 0.07m, 下底 0.39m, 高さ 0.08m, 幅 0.8m, の防波堤モデル構造物(図-2)を設置した。造波方法は図-1 中のプランジャー型津波造波装置を 3.3s 間で 0.6m 水中に押し込むことで孤立波を発生させた。図-3 は波高計 7 台をライン上に間隔 0.1m で並べた波高形アレイである。これらの装置は、原寸の構造物と地形をフルード数相似則より縮尺 1/50 の模型化で設定されている。図-4 に示すように、防波堤中心軸を原点として沖向きを正として x 軸を取り、y 軸を防波堤長さ方向(沿岸方向)に取った。数値解析結果との比較検討は、原寸で行うため、図-4 中に原寸換算の寸法を赤字で表示した。

2.2 実験方法 図-4 に示すように測定点は x, y 方向に模型寸法で 0.1m(原寸で 5m)ずつ離れた格子状の 105 点である。図-4 に示した 105 点に対する波の 3 次元的水位変動を測得するため、波高計アレイを x 軸方向に 0.1m ずつずらして同じ造波条件で複数回の測定を行い、沖の波高計の水位変動を基準として同時記録となるよう整理した。

3. 数値解析の概要

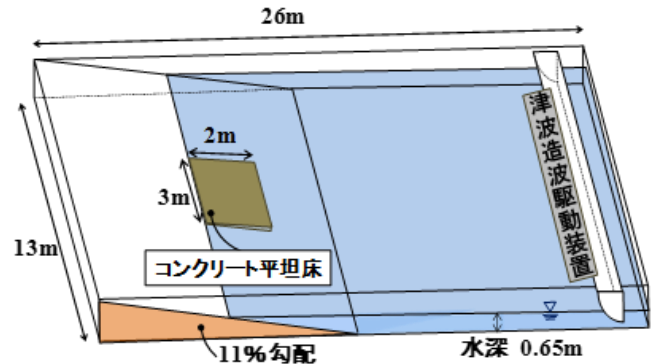


図-1 実験水槽

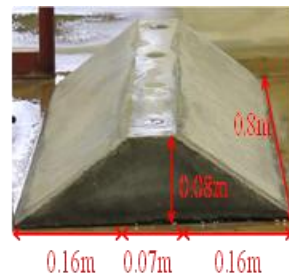


図-2 防波堤モデル



図-3 波高計アレイ

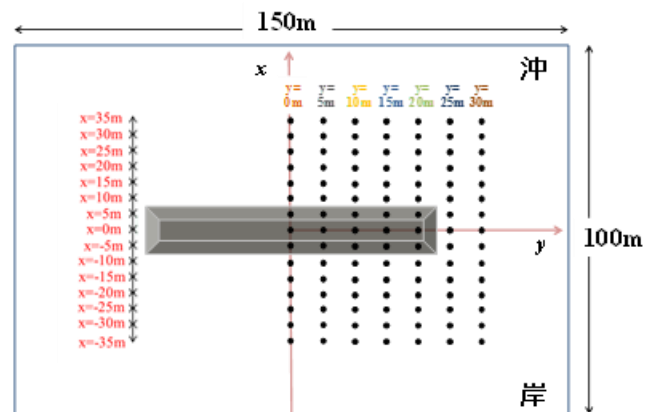


図-4 実験装置の配置図

図-5 に解析モデル全体図を示す。造波ソースとして、ストークス波またはクノイド波の造波関数を用い、造波側では Sommerfeld の放射境界、エネルギー減衰帯を組み合わせた無反射造波とした。領域右端は十分な容量の排水溝により、無反射境界とした。格子サイズは、防波堤付近において $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.01\text{m}$

とし、他の領域は適宜調節を行った。時間刻みを CFL 条件を満たす $\Delta t=0.01s$ とした。造波ソース幅を水路幅と等しい 1.5m, 側方条件を放射境界条件, 底面・側壁境界条件を SLIP, 減衰帯幅を 1.5m(水路幅)とし減衰帯長さを 3.5m に設定した。全体の計算領域の寸法は $x=27m, y=1.5m, z=1.4m$ とした。

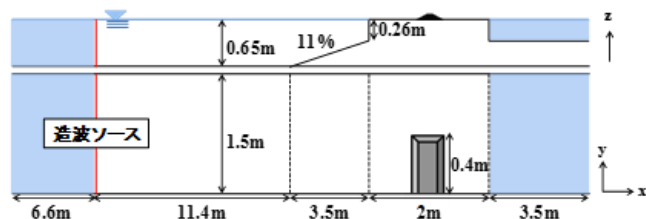


図-5 解析モデル全体図

4. 解析結果

4.1 水理模型実験について 図-6 は、防波堤模型の沖側 $x=20m$, $x=10m$ および岸側 $x=-15m$ における沿岸距離 y が異なる地点の時間波形を示したものである。 $x=10m$ の結果において、 $t=17s$ 付近で水位が増大しているのは、入射した波が防波堤によって反射したものである。この反射波のピーク値は防波堤からの距離とともに小さくなり、第 1 波と反射波の時間的間隔が広がっていく。また防波堤のない $y=25m, 30m$ でも反射波が認められる。岸側 $x=-15m$ の地点では防波堤がない $y=25m, 30m$ に着目すると、 $y=0m$ から $20m$ に比べて水位のピークが遅れて現れ、ピーク値は大きくなっている。これは通過波に防波堤を越流した波が沿岸方向に拡がり重合したためと考えられる。

4.2 数値解析結果との比較・検討 図-7 は、 $x=20m$, $y=0m$ の地点における実験値と CADMAS-SURF/2D による計算値の時間波形を示したものである。計算値が実験値よりやや大きいものの、波形、水位ともほぼ一致している。数値計算結果は実験値と比べの波の峰の立ち上がりの遅れが認められ、また水位変動波形に細かな振動が現れる。これらの原因については現在検討中である。

5. まとめ

防波堤沖側では防波堤のない開口部でも反射波の存在が認められた。防波堤岸側では、通過波と越流後の拡散波が重なるため、防波堤背後よりも開口部の方が水位ピークの発生時刻が遅れ、ピーク値が大きくなる等の 3 次元流動特性が得られた。CADMAS-SURF/2D による数値解析結果と実験結果の比較では、ピーク値の大きさはほぼ一致したが、ピーク出現時間のずれなど細部で不一致が認められた。現在 CADMAS-SURF/3D による解析を急いでいるところである。

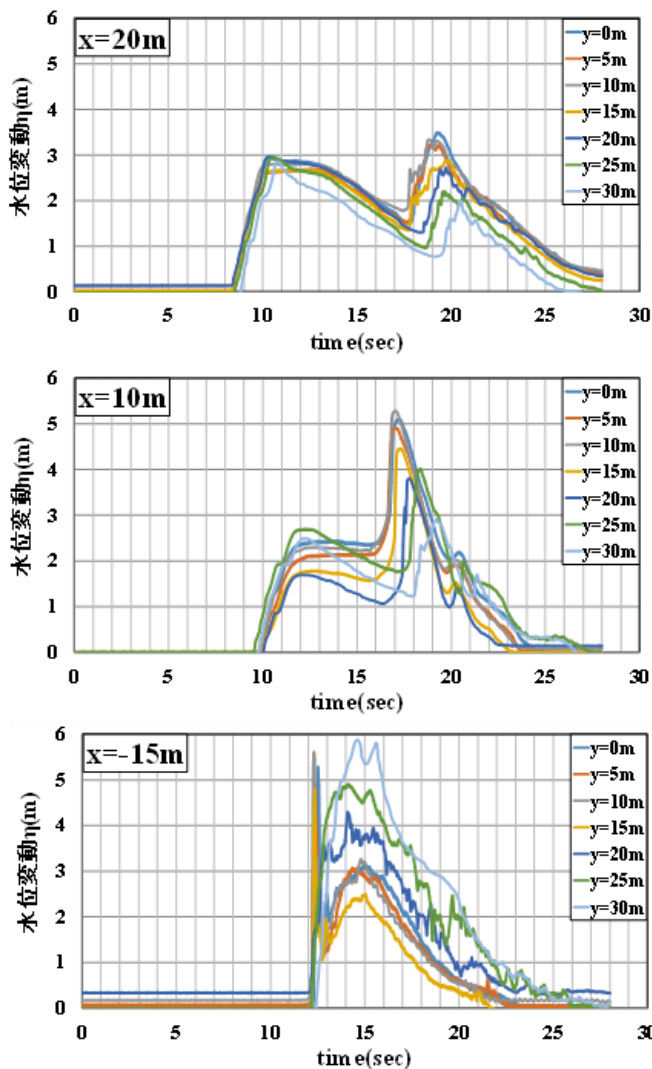


図-6 沿岸方向位置をパラメーターとした水位の時刻歴

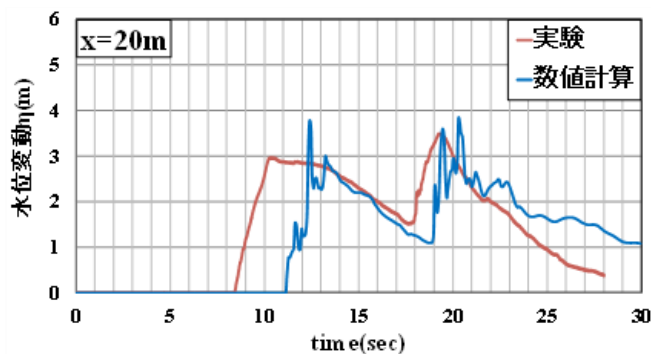


図-7 実験値と計算値との比較