

CADMAS-SURF による傾斜護岸への波の遡上計算に関する検討

東北工業大学 学生員 ○渡邊 雄二
東北工業大学 正員 高橋 敏彦

1. はじめに

近年のコンピュータの急速な発達に伴い、数値計算を海洋構造物の設計に取り入れる研究が盛んに行われている。その中でも VOF (Volume of Fluid) 法による数値波動水路 (CADMAS-SURF) を用いた数値計算方法^{1) 2)} が報告されている。そこで本研究では、最近様々な海域施設の耐波設計等に適用され、その有用性が報告されている CADMAS-SURF を用いて、傾斜護岸への波の遡上現象を数値計算によって再現し、水理模型実験³⁾ と比較検討することを目的とした。

2. 計算方法

(1). 計算方法

基礎方程式には、2次元非圧縮性粘性流体を対象とした連続式及び Navier-Stokes 方程式をポララスモデルに基づいて拡張した式²⁾ を用いた。なお、紙面の都合上式の記述は割愛する。

(2). 実験方法

計算値と実験値を比較するため計算条件等は、水理模型実験の条件と同一にする必要がある。水理模型実験は、長さ 20m、高さ 0.7m の造波水路を使用した。水路の一端には造波装置、他端には 1/20 海底勾配を作成し、その上に 1/3 勾配の傾斜堤を作成した。実験は、一様部水深 $h=30.00\text{cm}\sim 44.00\text{cm}$ 、周期 $T=1.34\text{s}$ 、波高 $\approx 1.0\text{cm}\sim 13.0\text{cm}$ 、堤脚水深・沖波波長比 $h_i/L_0=0.00\sim 0.05$ である。入射波の波高、周期は水路の約半分の所で計測しており、その結果が表-1 に示す計算条件である。なお、実験の遡上高 R は 1~40 波目を読み取り、5~40 波目の値を用いて実験値としているが、計算の遡上高 R は 1~10 波目までの遡上高を読み取りそれらを平均して計算値としている。また、計算断面を図-1 に示す。

3. 結果及び考察

(1). 差分スキームの検討

計算の安定性や精度は、差分スキームに大きく依存する。そこで、一般的に使用されている DONOR-0.2 と DONOR-0.5 について検討を行った。DONOR-0.2 は数値粘性は小さいが不安定であり、DONOR-0.5 は数値粘性は大きい安定しているとされている。図-2 は、横軸に沖波波形勾配 H_0/L_0 、縦軸に静水面からの鉛直遡上高 R を示し、計算条件 CASE-2 において DONOR-0.2 及び DONOR-0.5 を用いた計算値と実験値の比較を示したものである。両差分スキーム共に計算値は、 $H_0/L_0 < 0.015$ の場合遡上高は実験値に比べ小さくなっているが、 H_0/L_0 が大きいケースでは、DONOR-0.5 を用いた方が実験値に近い値を示している。

(2). 造波モデルの検討

造波の方法には、造波ソース (わき出し強さの考え方による造波) と造波境界 (定形進行波) の 2 種類を

表-1 計算条件

計算CASE	$T_{1/3}(\text{sec})$	$H_{1/3}(\text{cm})$	$h_i(\text{cm})$	h_i/L_0	$h(\text{cm})$
CASE-1	1.34	1.0 ~ 13.0	0.00	0.00	30.00
CASE-2			2.80	0.01	32.80
CASE-3			5.60	0.02	35.60
CASE-4			8.40	0.03	38.40
CASE-5			11.20	0.04	41.20
CASE-6			14.00	0.05	44.00

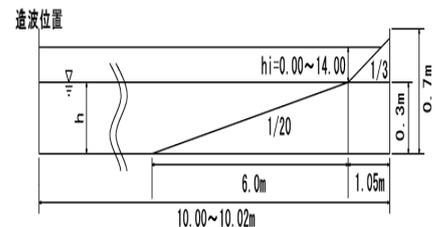


図-1 計算断面

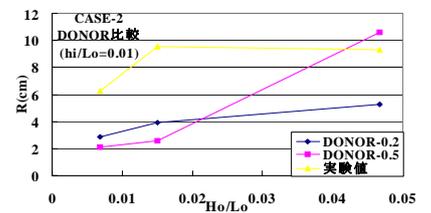


図-2 差分スキームによる検討

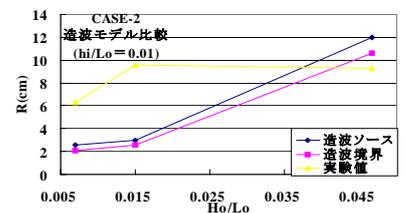


図-3 造波モデルによる検討

キーワード：CADMAS-SURF、傾斜護岸、波の遡上計算、相対水深

設定できる。そこで、同条件時に造波モデルの違いが計算結果に与える影響を検討した。なお、図-3は、横軸に沖波波形勾配 H_0/L_0 、縦軸に静水面からの鉛直遡上高 R を示し、造波モデルを造波境界と造波ソースを用いた場合の計算値と実験値の結果を示したものである。図より、造波境界及び造波ソースを用いた計算値は、ほぼ同程度の値を示しているが、 H_0/L_0 の大きいケースでは幾分造波境界の方が実験値に近い値を示している。

(3). 格子間隔の検討

格子間隔は格子分割数や計算時間、計算結果等に影響を与えるパラメータである。そこで、格子間隔が計算結果に与える影響を検討した。計算の ΔX と ΔZ の格子間隔の比率は 5:1 以下が推奨されている。そこで、格子間隔の検討を、計算条件の CASE1~6 の中でそれぞれ最も大きい波高、周期に対して計算を行った。なお、差分スキームは DONOR-0.5 を、造波モデルは造波境界を用いている。図-4に横軸 hi/L_0 、縦軸に実験値の R に対する計算値の R の割合を示した。 ΔZ は 0.01m に固定し、 ΔX は 0.02、0.025、0.03、0.04、0.05m の 5 種類で検討を行いパラメータとして ΔX の値を示している。図より、 $hi/L_0=0.01$ の場合に各計算値共実験値にほぼ対応する結果となっており、その中でも $\Delta X=0.02m$ では実験値に一致する値を示した。 $hi/L_0=0.00$ の場合は、各計算値共実験値の 1.27 倍~2.38 倍の値となって計算値が大きくなる結果となっている。一方、 $hi/L_0=0.02$ 以上の場合は、全ての計算値が実験値よりも小さくその割合が 0.53 倍~0.88 倍の値となっている。今回の ΔX の計算範囲においては、 $hi/L_0=0.00\sim 0.01$ 及び $0.02\sim 0.05$ の範囲でそれぞれ $\Delta X=0.02m$ 及び $0.03m$ とした場合が最も実験値に近い値を示す結果となった。また、 $hi/L_0=0.01$ では実験値と計算値はほぼ対応するが、それ以下では計算値が、それ以上では実験値の方が大きい値となる傾向が認められた。

図-5は、CASE-5 の場合について堤体近傍での波の作用、遡上及び戻り状況を示した例である。t は波作用経過時間を表しており、時間の経過と共に波が斜面上をなめらかに遡上し、戻り流れとなる様子が確認できる。

4. おわりに

本研究では、CADMAS-SURF における解析条件が計算結果に与える影響を比較し傾斜護岸への波の遡上計算に関する検討を行った。その結果、差分スキーム、造波モデル、格子間隔等の計算結果に与える影響が明らかになった。 H_0/L_0 の小さいケースでは実験値と計算値には大きな差が生じている。また、 hi/L_0 による R の計算値と実験値の再現性の違いも明らかになった。なお、傾斜護岸への遡上現象の状況はよく再現されている。

<参考文献> 1) (財)沿岸開発技術研究センター：数値波動水路 (CADMAS-SURF) の研究・開発、沿岸開発技術ライブラリーNo. 12、457p、2001。 2) (財)沿岸開発技術研究センター：CADMAS-SURF 実務計算事例集、沿岸開発技術ライブラリーNo. 30、364p、2008。 3) 加藤・高橋：波の打ち上げ高さに及ぼす堤脚水深の影響に関する実験、平成 15 年度東北支部発表会講演概要、pp312-313。

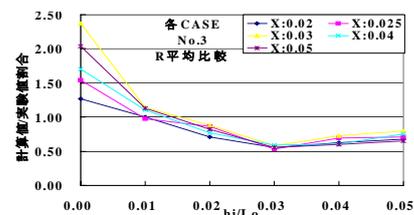
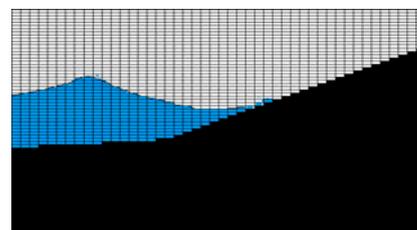
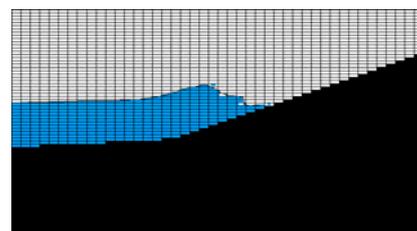


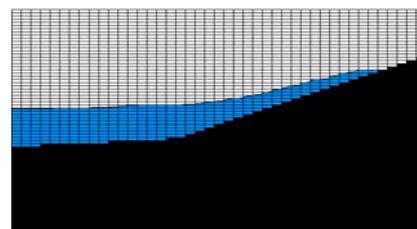
図-4 格子間隔による検討



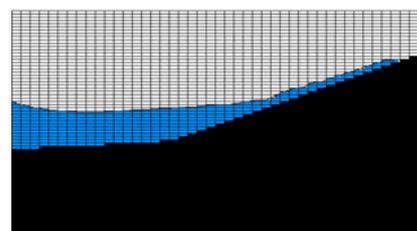
(a) t ≃ 8.04(s)



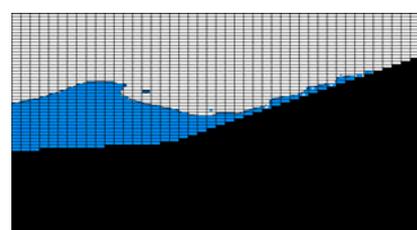
(b) t ≃ 8.37(s)



(c) t ≃ 8.71(s)



(d) t ≃ 9.05(s)



(e) t ≃ 9.38(s)

図-5 波の遡上状況