

数値波動水路による波の遡上計算に関する基礎的検討

東北工業大学 学生員 ○玉山 将汰

東北工業大学 正員 菅原 景一・高橋 敏彦

1. はじめに

四方が海に囲まれている日本は、絶えず波が打ち寄せており、時として台風などによる侵食の危機にさらされている。従来の海岸法は、このような災害から海岸を「防護」することが中心であったが、2000年に海岸法が改正され、「環境・利用の調和」も海岸保全の目的となり、環境や利用への配慮がさらに重要となった。これに伴い、様々な海岸保全施設が整備されてきているが、数値波動水路(CADMAS-SURF)は海岸保全施設の耐波設計に適用され、その有用性が報告されている²⁾³⁾。本研究では、任意の勾配を有する斜面に対して規則波の遡上計算を行い、計算精度について検討することを目的とした。

2. 計算方法

(1) 解析手法

数値波動水路は、基礎方程式として2次元非圧縮性粘性流体を対象とした連続式及びNavier-Stokes方程式をポーラスモデルに基づいて拡張した式を採用している。自由表面解析モデルには、汎用性が高く、複雑な表面形状が解析可能であるVOF法が採用されている。さらに、移流方程式の離散化には、表面がぼやけないために特別に工夫されたドナー・アクセプタ法を使用している¹⁾³⁾。また、波の遡上高さは、VOF関数のF値を使用し、水平方向に関しては岸から沖側へ向かって、鉛直方向に関しては上から下へ流体の下に構造物があるところを検索し、所要の時間内で最も高い位置にあるときに遡上高とした¹⁾。

(2) 計算条件

本研究では、検討1として規則波による一様斜面への遡上高に関するHuntの実験式⁴⁾との比較、検討2として相対水深を考慮した波の遡上に関して豊島らの算定図⁵⁾との比較を行い、計算精度を検討している。計算の造波水路は、長さ10m、高さ0.7mを使用した。検討1では、水路の一端に造波装置、他端に1/3, 1/5, 1/10勾配の一様斜面を設置した。条件は、一様部水深 $h=30.00\text{cm}$ 、周期 $T=1.26\text{s}$ 、波高 $H=3\text{cm}, 5\text{cm}, 8\text{cm}$ である。検討2では、水路の一端に造波装置、他端に1/20勾配の海底勾配を設置し、その上に1/3勾配の緩傾斜堤を設置した(図-1)。計算条件は、表-1に示すように $h=30.00\text{cm}\sim 44.00\text{cm}$ 、 $T=1.34\text{s}$ 、 $H=1.0\text{cm}\sim 13.0\text{cm}$ 、堤脚水深・沖波波長比(相対水深) $h_i/L_0=0.00\sim 0.05$ である。なお、遡上高 R は1~10波目を読み取り、海底勾配開始点に設置した波高計から波高が安定しているところを読み取り、該当する波数の遡上高を平均して計算値としている。また、計算の安定性や精度に影響する差分スキームは、実験値に近い値を示すDONOR-0.5を使用し、計算結果等に影響を与える格子間隔は、実験値に近い値を示す $\Delta X=0.03\text{m}$ 、 $\Delta Z=0.01\text{m}$ を使用した⁶⁾。

3. 結果及び考察

(1) Huntの実験式⁴⁾との比較

Huntの実験式は、 $R/H = 1.01 \tan \alpha / (H/L_0)^{1/2} = \xi$ ($0.1 < \xi < 2.3$)で表され

キーワード：数値波動水路(CADMAS-SURF)、波の遡上計算、一様斜面、複合斜面、相対水深

〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町35-1 東北工業大学 工学部 都市マネジメント学科 TEL：022-305-3539 FAX：022-305-3501

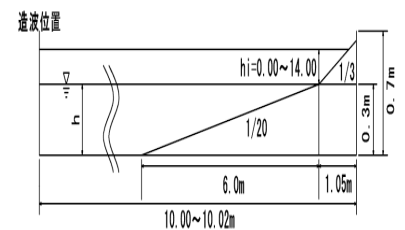


図-1 計算断面

表-1 計算条件

計算CASE	H	T	h	h _i	h _i /L ₀
1			30.00	0.00	0.00
2	1.0	1.34	32.80	2.80	0.01
3	~		35.60	5.60	0.02
4	13.0		38.40	8.40	0.03
5			44.00	14.00	0.05

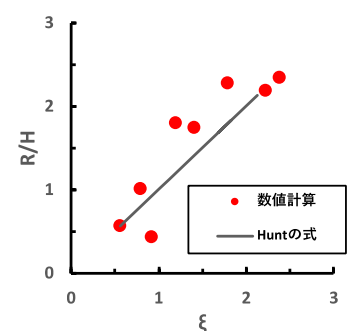


図-2 Huntの実験式との比較

る。この式に計算条件を代入して計算し、同条件で数値波動水路による波の遡上計算を行い、その結果と比較している。結果は、遡上計算により作成された時系列ファイルから得られた波高を使用し、Huntの式を $1.01 \approx 1.0$ として換算した $\xi = \tan \alpha / (H/L_0)^{1/2}$ より ξ を計算し、 R/H は遡上計算から得られた遡上高の計算値と波高を用いて計算した。ここで、 $\tan \alpha$ は一樣斜面勾配である。図-2は ξ と R/H の関係を示したものであり、数値波動水路による遡上計算の結果とHuntの実験式による結果を比較している。結果は、数値波動水路による計算値/Huntの実験式の値が、Huntの実験式と同程度の値も含め、0.48~1.61倍でプロットされた。以上より、数値計算による遡上計算とHuntの式はほぼ一致し、一樣斜面に対しての数値計算の精度は比較的高いと考えられる。

(2) 豊島らの算定図⁵⁾との比較

豊島らは、 h_i/L_0 を考慮した堤勾配と海底勾配を組み合わせた複合斜面に対する実験を行い、波の打ち上げ高さに関する算定図を作成している⁵⁾。本研究では、海底勾配 1/20、堤体勾配 1/3 を対象として数値波動水路による波の遡上計算を行った。図-3は、 $h_i/L_0=0.00\sim 0.02$ 、図-4は、 h_i/L_0 が 0.03 及び 0.05 での数値計算の結果と豊島らの算定図を比較したものである。結果は、数値波動水路による計算値/豊島らの算定図より、算定図と比較してCASE1が0.35~0.91倍、CASE2が0.25~0.97倍、CASE3が0.43~0.88倍、CASE4が0.59~0.68倍、CASE5が0.65~0.85倍となった。また、CASE3まではH及び沖波波形勾配 H_0/L_0 が大きくなると算定図との差が小さくなっている。さらに、全CASEを通してh、 h_i 及び h_i/L_0 が大きくなると算定図との差が小さくなっている。これらのことより、複合斜面への波の遡上計算(海底勾配 1/20・堤体勾配 1/3)は、 $h_i/L_0 = 0.00\sim 0.02$ の場合は、H、 H_0/L_0 が小さいときに過小評価されると考えられ、この条件のときは、計算精度が低くなると考えられる。 h_i/L_0 が 0.03 及び 0.05 のときは、算定図との差が小さく、計算精度は比較的高いと考えられる。この傾向は、数値波動水路の検討結果と同傾向となっている³⁾。なお、図-5は、検討2のCASE5-No.2における波の遡上の様子であり、波の打ち寄せから波の遡上状況、沖へ戻る流れの様子が確認でき、よく再現されていると考えられる。

4. おわりに

本研究では、数値波動水路(CADMAS-SURF)を用いて波の遡上計算を行い、一樣斜面に関しては、Huntの実験式、複合斜面に関しては、豊島らによる波の打ち上げ高さの算定図と比較し、計算精度の検討を行った。その結果、一樣斜面に関しては、比較的高い精度で計算できる傾向が見られるが、複合斜面に関しては、 H_0/L_0 が小さい場合には過小評価となり、 H_0/L_0 が大きくなると比較的高い精度で計算できる傾向が見られた。

〈参考文献〉

- 1)南・能登谷：CADMAS-SURF法を用いた緩傾斜護岸遡上高さに関する数値計算，八戸工業高等専門学校紀要第38号，2003.12，p149-155
- 2)桜庭・櫛山ら：波の遡上に対するCADMAS-SURFの適用性の検証，海洋開発論文集第24巻，2008.7，p867-872
- 3)(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.12，2001.10
- 4)Hunt.I.A.Jr：Design of seawall and breakwaters，Journal of the Waterways and Harbors Division，Proc of ASCE，Vol85，Issue3，p123-152，September.1959
- 5)豊島・首藤・橋本：海岸堤防への波のうちげ高-海底勾配 1/20-，第12回海岸工学講演会講演集，1965，p180-185
- 6)渡邊・高橋：CADMAS-SURFによる傾斜護岸への波の遡上計算に関する検討，平成20年度土木学会東北支部技術研究発表会，p121-122

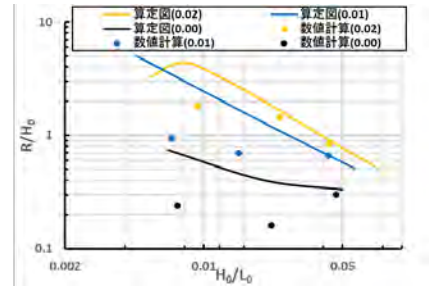


図-3 豊島らの算定図との比較(CASE1~3)

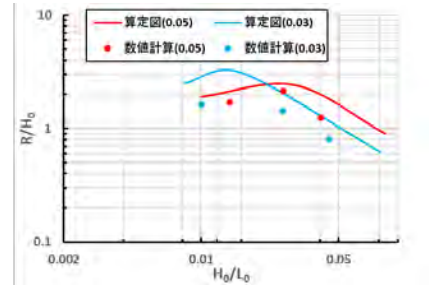


図-4 豊島らの算定図との比較(CASE4~5)

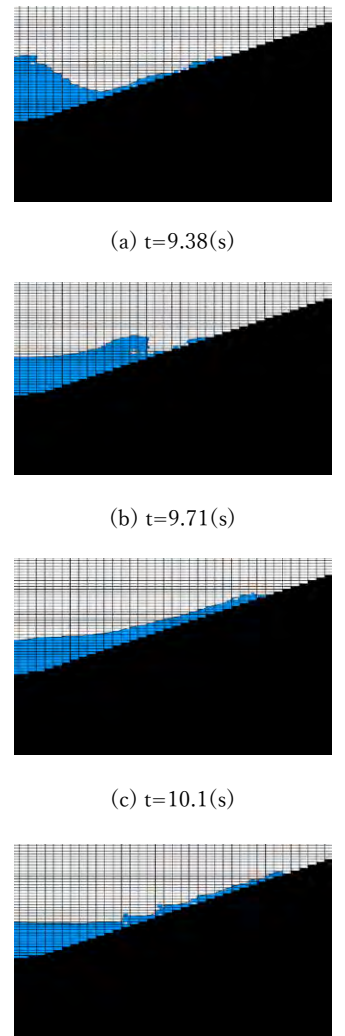


図-5 波の遡上の様子
(検討2-CASE5-No.2)