

不規則波を用いた傾斜護岸への越波に関する数値計算

東北工業大学 学生員 ○和田 拓巳

東北工業大学 正 員 高橋 敏彦

1. はじめに

著者らは、不規則波を用いた 1/3 勾配の傾斜護岸に対する越波の数値計算を行い検討報告¹⁾してきた。その結果、数値計算と実験値がほぼ対応することが確認できた。今回、不規則波を用いた 1/5、1/0.5 勾配の傾斜護岸への越波に関しての数値計算を行うことで、不規則波による越波計算の確立を高めることができると考えられる。そこで本研究は、数値波動水路(CADMAS-SURF)^{3~4)}を用いて、不規則波による 1/5、1/0.5 勾配の傾斜護岸への越波に関する数値計算を行い、既往の室内模型実験結果²⁾の越波率や越波量との比較検討を行い、不規則波による越波計算の確立を計る事を目的とした。

表-1 検討ケース

	勾配	h_i	h_i/H_0	$H_{1/3}(\text{cm})$	$h(\text{cm})$	$T(\text{s})$
CASE 1、5	1/5 1/0.5	2.5	0.25	9.15	32.5	1.26
CASE 2、6		5.0	0.5		35.0	
CASE 3、7		7.5	0.75		37.5	
CASE 4、8		10.0	1.0		40.0	

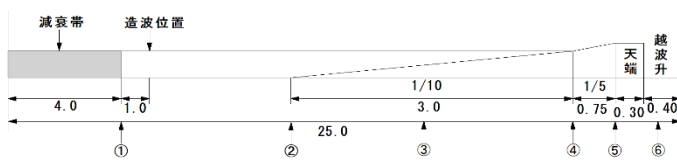


図-1 計算断面

単位：m

2. 計算条件および計算方法

基本方程式には、2次元非圧縮粘性流体を対象とした連続式および Navier-Stokes 方程式をポラースモデルに基づいて拡張した式³⁾を用いた。なお、紙面の制約上式の記述は割愛する。計算水路は長さ 25.0m、高さ 1.0m、の計算造波水路を使用した。水路の一端には減衰帯、造波装置、他端には 1/10 海底勾配を作成し、その上に 1/5、1/0.5 勾配の傾斜護岸を作成した。天端高 0.45m の背後に越波升を設置した。計算条件は堤脚水深 $h_i=2.5 \sim 10.0\text{cm}$ 、一様部水深 $h=32.5\text{cm} \sim 40.0\text{cm}$ 、有義波波高 $H_{1/3} \div 9.15\text{cm}$ 、有義波周期 $T_{1/3} \div 1.26\text{s}$ とした。越波量、越波率は、堤脚水深・換算沖波波高比 $h_i/H_0' \div 0.25 \sim 1.00$ を越波後 10~110 波目の 100 波で計測を行った。今回の越波計算の差分スキームは、DONOR-0.2、格子間隔は $\Delta X:\Delta Z$ を 4:1 で各 4cm と 1cm に固定し、造波モデルは造波ソースとした。表-1 に 1/5、1/0.5 勾配での基本検討ケースを示す。なお、海底勾配は 1/5、1/0.5 勾配ともに 1/10 としている。検討ケースは、堤脚水深 h_i を 2.5cm~10.0cm まで 2.5cm 毎に水位を変えている。図-1 に計算断面を示し①~⑥は波高計位置を示す。なお、縮尺 $S=1/40$ としている。

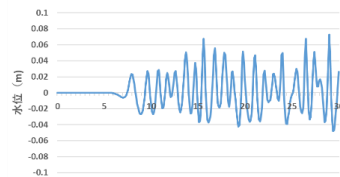


図-2 時系列波形(海底法先②)

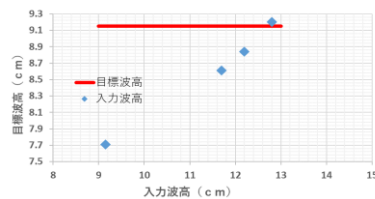


図-3 入力波高と目標波高の関係

3. 実験結果および考察

(1)通過波の検討

図-2 は、検討 CASE2 で 1/5 勾配の傾斜護岸の海底法先②での水位の時系列波形であり起波後 0~30s のものである。図-2 より、造波位置から不規則波が海底勾配法先②まで伝播する時系列波形の様子が見てとれる。図-3 は、CASE2 で 1/5 勾配の造波位置①の入力波高と海底勾配法先②の位置における目標波高の関係を示したものである。目標波高は、同地点における $H_{1/3} \div 9.15\text{cm}$ である。図より、入力波高 9.15cm を入力して計算した場合、②での目標波高は 7.71cm となり目標波高に比べて小さい値となった。そこで、②の位置における目標波高が 9.15cm になる様に、数ケース入力波高を代えて計算を行った結果、12.8cm を入力する事により、

キーワード：数値波動水路，傾斜護岸，越波，不規則波

〒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

目標波高 $H_{1/3} \approx 9.15\text{cm}$ となることが分かった。

図-4 は 1/5 勾配の傾斜護岸の検討 CASE1~4、すなわち一様水深部 $h=32.5 \sim 40.0\text{cm}$ (法先水深 $h_i=2.5 \sim 10.0\text{cm}$)の 2.5cm ごとに h をパラメータとして図示したもので、横軸に起波後の経過時間 $t(\text{s})$ 、縦軸に越波升の累積越波流量 $Q(\text{m}^3/\text{m})$ を示した。いずれのケースも $t=15\text{s}$ 程度から越波升に越波流量が貯留し始めている。当然ながら h が増加すると共に、累積越波流量が増えていく様子が分かる。

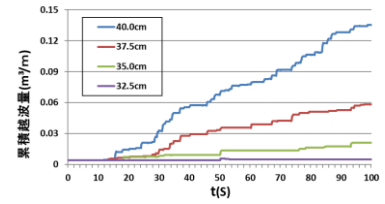


図-4 累積越波量と経過時間

(2)波の越波状況

図-5(a)、(b)は 1/5、1/0.5 勾配の傾斜護岸周辺の波作用、越波状況を示した例であり、 $h=35.0\text{cm}$ のケースを図示したものである。堤体の右側は越波升となっており、堤体を越波した波がこの中に貯留される。 t は波作用経過時間を表している。両図とも、波の遡上から越波して越波升に貯留される様子が認められる。波の作用経過時間が短い 1/0.5 勾配の方が 1/3 勾配より越波升内の貯留水量が多いことも認められる。

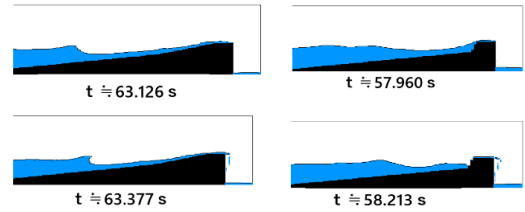


図-5(a) 1/5 勾配 $h=35.0\text{cm}$ 図-5(b) 1/0.5 勾配 $h=35.0\text{cm}$

(3)越波率 r_0 の比較

図-6 は、CASE1~4 の 1/5 勾配の r_0 と堤脚水深・換算沖波波高 h_i/H_0' の関係を表したもので、法肩⑤と越波升⑥及び比較のために斎藤らの実験値²⁾をパラメータとして図示したものである。数値計算の越波の定義はそれぞれの位置へ越波したものとした。なお実験値は、越波升に少しでも越流した場合である。図より、実験値と計算値⑥はほぼ同程度の値となっている。計算値の法肩⑤が越波升⑥よりも最大で 25%程度 r_0 が多い。 $h_i/H_0'=1.0$ では、3 ケースとも約 90%以上で、高い数値を示している。

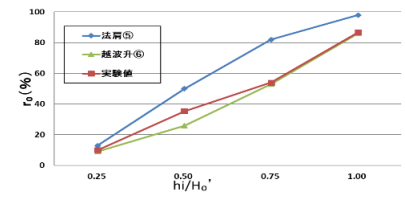


図-6 越波率の比較

(4)無次元越波流量 $q/\sqrt{(2gH_0^3)}$ の比較

図-7 (a) は、 $q/\sqrt{(2gH_0^3)}$ と h_i/H_0' の関係について前報¹⁾の 1/3 勾配と、本計算の 1/5 と 1/0.5 勾配の計算をパラメータとして図示したものである。図より、 h_i/H_0' の値が大きくなるにつれて $q/\sqrt{(2gH_0^3)}$ の値が大きくなり 1/3、1/0.5、1/5 の順に無次元越波流量が多いことが確認できる。図-7(b)は、実験値と計算値を比較したものである。1/3 勾配の計算値は簾内ら³⁾1/5 勾配は本計算値で、斎藤ら²⁾の計算結果も併記して比較したものである。図より両勾配共、 $h_i/H_0'=0.25$ 、0.75 で計算値の方が実験値より大きい値を示しているが、全体的には計算値と実験値はほぼ同程度の値になっている。

図-7 (a) 無次元越波流量の比較

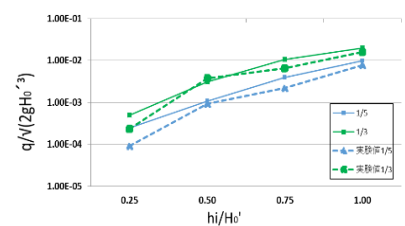


図-7 (b) 無次元越波流量の比較

4.おわりに

数値波動水路を用いて、不規則波による 1/5、1/0.5 勾配の傾斜護岸への越波に関する数値計算を行った。その結果 1/5 勾配において、越波率、越波流量ともに斎藤ら²⁾の実験値と概ね一致する結果となった。今後、1/0.5 勾配や他勾配について更に数値計算結果の検討を進める予定である。

<参考文献>

- 1) 簾内春太、高橋敏彦：傾斜護岸への不規則波を用いた越波に関する数値計算、平成 30 年度土木学会支部概要、II -68, 2018.
- 2) 斎藤和哉、高橋敏彦：直立及び傾斜護岸への越波に関する検討、平成 21 年度土木学会東北支部概要、II -85,2014.
- 3) (財)沿岸開発技術研究センター：CADMAS-SURF 数値波動水路の研究・開発、沿岸開発技術ライブラリーNO.12, 2001.
- 4) (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, 2009.