

数値波動水路を用いた傾斜護岸への越波に関する検討

東北工業大学 学生員 ○秋山 貴弘
東北工業大学 正 員 高橋 敏彦

1. はじめに

著者らは直立および 1/0.5, 1/3, 1/5 勾配の傾斜護岸に対する越波や越波防止対策の実験を行い検討報告¹⁾してきた。しかし、室内実験には多大な時間と労力および機器施設等が必要であり、同等の計算実験がパソコン1台で実施できれば労力等大きな節約になると思われる。そこで本研究は、数値波動水路 (CADMAS-SURF) を用いて、これまで室内実験を行ってきた基本的条件による数値計算を行って、傾斜護岸の勾配による越波率や越波量の大小の違い等を検討することを目的とした。

2. 計算条件および計算方法

基本方程式には、2次元非圧縮性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²⁾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 10.04m、高さ 0.6m、天端高 0.45m の計算造波水路を使用した。水路の一端には造波装置、他端には 1/10 勾配を作成し、その上に直立護岸や傾斜護岸を設置し、天端の背後には、越波升を設置している。これらの数値の設定については水理模型実験の条件と同一にする為である。計算堤体概略図を図-1 に示す。堤体は直立および 1/0.5, 1/3, 1/5 勾配を用いている。なお、堤脚水深は 5 種類である。計算条件として、規則波の $T \approx 1.26s$ 、波高 $H \approx 9.15cm$ とした。越波量、越波率は、 $h_i/H_0' \approx 0.00 \sim 1.00$ を越波後 10~60 波目の 50 波で計測を行った。数値計算の安定性や精度は差分スキームに依存し、格子間隔は、格子分割数や計算時間、計算結果等に直接影響するパラメータとなっている。今回、菊地らの傾斜護岸への越波計算³⁾を参考に、差分スキームは DONOR-0.2、格子間隔は $\Delta X : \Delta Z$ を 2 : 1 で各 2cm と 1cm に固定し、造波モデルは造波境界とした。表-1 に計算条件を示す。

3. 実験結果および考察

3-1 通過波の検討

図-2 (a)、(b)は、1/5 勾配の $h_i/H_0' = 1.00$ のケースの造波位置、堤体法先での水位の時系列波形を (c)は越波升の累積越波量 $Q(m^3/m)$ を示したものである。(a)の造波位置での H, T 共に入力した値のきれいな規則波を示している。(b)では浅水変形や戻り流れの影響等から非線形性の波となっている。(c)で累積越波量が 0 から始まっていないのは、流入する水塊を安定して計算するために越波升内の水位は数メッシュ分の水深を設定する必要がある為である³⁾。今回は ΔZ 格子 4 メッシュ分 (4cm) を越波升内の水位に設定することとした。図-4(b)、(c)及び描画より、入射波の 3 波目より越波していることが認められる。

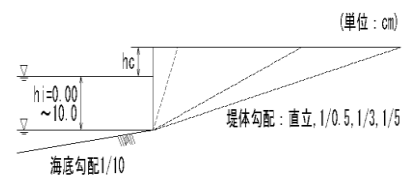


図-1 計算堤体概略図

表-1 計算条件

勾配	h(cm)	hi(cm)	hc(cm)	hi/H ₀ '	hi/L ₀	hc/H ₀ '
直立	30.0	0.0	15.0	0.00	0.00	1.50
1/0.5	32.5	2.5	12.5	0.25	0.01	1.25
	35.0	5.0	10.0	0.50	0.02	1.00
1/3	37.5	7.5	7.5	0.75	0.03	0.75
1/5	40.0	10.0	5.0	1.00	0.04	0.50

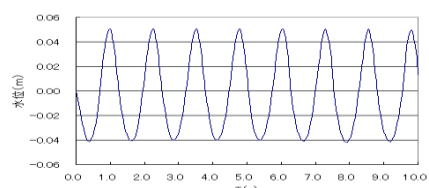


図-2 (a) 造波位置

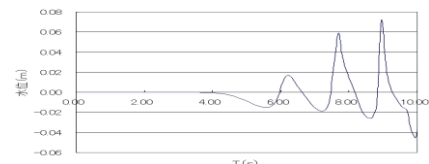


図-2 (b) 堤体法先

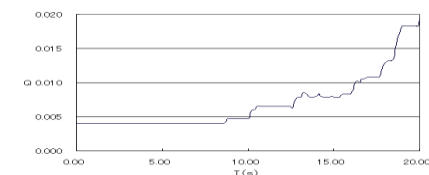


図-2 (c) 累積越波量

キーワード：規則波，直立護岸，傾斜護岸，越波，相対水深

3-2 描画と波の越波状況

図-3 は、 $1/0.5$ 勾配の $hi/H_0' = 1.00$ のケースを描画で示したもので、堤体近傍での波の作用、越波状況を示した 1 例である。 t は波作用経過時間を表している。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へ貯留される。図-2 と同様の堤体法先の波形および累積越波量の図と図-3 の越波状況を見比べてみると、(a) $t \approx 9.07s$ の波は起波後 3 波目の波であり、その前の 2 波目で天端に越波し、天端に水量が幾分認められる。ただし越波升には貯留されていない。(b) $t \approx 9.32s$ で波の峰が天端と同程度の高さまで遡上、(c) $t \approx 9.70s$ で天端へ越流し、(d) $t \approx 9.83s$ で天端に越流した水塊が越波升へ落下している様子が分かる。



(a) $t \approx 9.07s$



(b) $t \approx 9.32s$



(c) $t \approx 9.70s$



(d) $t \approx 9.83s$

図-3 波の越波状況

3-3 越波率 r_0 の比較

図-4 は、 r_0 と堤脚水深・換算沖波波高比 hi/H_0' の関係を表したもので、護岸勾配をパラメータとして図示したものである。越波の定義は、越波升に少しでも越流した場合とした。図より、各勾配共全体的に hi/H_0' が大きくなるにつれて r_0 も大きくなっている。ただし、 $hi/H_0' = 0.00$ において各勾配共に越波は発生していない。 $hi/H_0' = 0.25$ においても $1/0.5$ 以外の勾配で越波は発生していない。また、 $hi/H_0' \approx 1.00$ では各勾配の r_0 が $80 \sim 100\%$ と高い数値を示している。なお、全体的に越波率の大きい順は、 $1/0.5$ 、 $1/3$ 、直立、 $1/5$ となっている。室内実験による結果では $1/0.5$ 、直立 $\approx 1/3$ 、 $1/5$ 勾配であり越波の定義が幾分異なるが、ほぼ同様と考えて良いと思われる。

3-4 無次元越波流量 $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ の比較

図-5 は、 $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ と hi/H_0' の関係について護岸勾配をパラメータとして図示したものである。図より、 hi/H_0' の値が大きくなるにつれて $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ の値が大きくなっていく傾向が認められる。また、各 hi/H_0' において $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ が最も大きい護岸勾配は $1/0.5$ 勾配で、以下 $1/3$ 勾配、直立護岸、 $1/5$ 勾配となっており、 $1/0.5$ 勾配と $1/3$ 勾配の $hi/H_0' = 0.75 \sim 1.00$ において $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ はほぼ同程度の数値となっている。 $hi/H_0' \approx 1.00$ での各勾配の $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ はほとんど同程度の 1.0×10^{-2} 前後の値を示している。今回の数値計算による護岸勾配別無次元越波流量の大きい順番は、不規則波実験¹⁾による結果とほぼ同じである。また $0.5 \leq hi/H_0'$ の無次元越波量も、室内実験と同程度の値となっている。

4. おわりに

数値波動水路を用いて、これまで室内実験を行ってきた直立および傾斜護岸への越波率や越波量を計算した。室内実験では不規則波、数値波動水路では規則波を用いており、不規則波と規則波の違いはあるが、各勾配による越波率や越波量の大小の傾向はほぼ同様であることが分かった。

<参考文献>

- 1) 千葉ら：直立および傾斜護岸への越波に関する比較検討，平成 22 年度土木学会東北支部概要集，2011 2) (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 3) 菊地ら：CADMAS-SURF による傾斜護岸への越波計算に関する検討，平成 20 年度土木学会東北支部概要集，2009

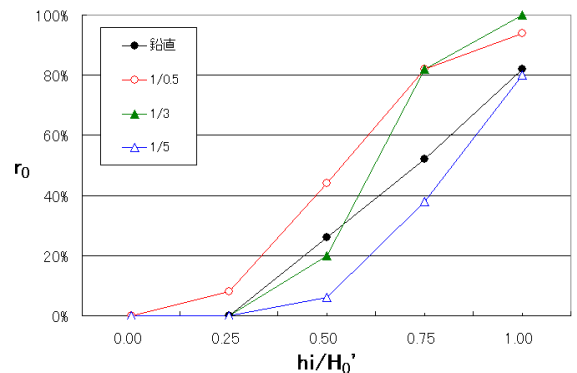


図-4 越波率の比較

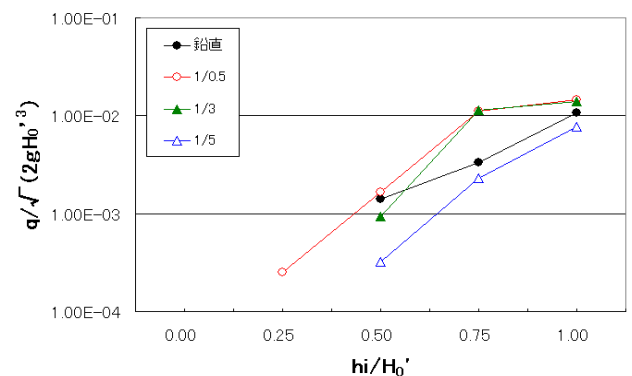


図-5 無次元越波流量の比較