

1. はじめに

これまで傾斜護岸に対する越波や越波防止対策の計算を行い検討報告^{1~2)}してきた。その中で越波防止対策として、波返し工を傾斜護岸の天端に設置することで越波防止対策の効果があることを示してきた。しかし、水路のプログラム一部にミスがあることが確認された。そこでプログラムのミスを修正して既報告の文献^{1)~2)}の計算検討内容を再計算して修正報告することを目的とした。

表-1 検討ケース

	hi	hi/Ho'	H(cm)	h(cm)	T(s)
CASE1	2.5	0.25	9.15	32.5	1.26
CASE2	5.0	0.50	9.15	35.0	1.26
CASE3	7.5	0.75	9.15	37.5	1.26
CASE4	10.0	1.00	9.15	40.0	1.26

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方程式をポーラ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10.08m、高さ0.6m、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1/3勾配と1/5勾配の緩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。計算条件は一様部水深 $h=32.5\text{cm}\sim 40.0\text{cm}$ 、規則波 $T=1.26\text{s}$ 、波高 $H=9.15\text{cm}$ とした。越波量、越波率は、堤脚水深・換算沖波波高比 $hi/Ho' = 0.00\sim 1.00$ を起波後10~60波目の50波で計測を行った。ただし、1/3勾配で水深が40cmの対策工無し・波返し工の場合では、越波升から水が溢れて

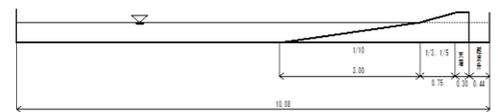


図-1 計算水路概略図 単位：m

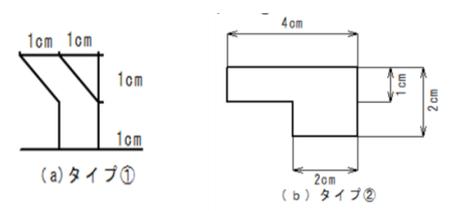


図-2 波返し工の形状

しまうことを確認したため、20波で測定している。今回、前報⁴⁾の傾斜護岸への越波計算を参考に、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に基本検討ケースを示す。基本検討ケースに図-2(a)¹⁾、(b)²⁾の形状が異なる同じ高さの波返し工を設置したケースも含め合計24ケースを検討対象ケースとした。図-1に計算水路概略図を示す。図-2には波返し工の大きさ及び形状を示す。なお、縮尺 $S=1/40$ としており、波返し工の広さは現地換算で80cmとなる。

3. 実験結果及び考察

3-1 越波の状況

図-3は、水深 $h=40.0\text{cm}$ の1/3勾配時における堤体近傍での波の作用、越波状況を示した例であり、(a)対策工無し、(b)と(c)はそれぞれタイプ①、②の波返し工設置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。図より各ケース共ほぼ同一に遡上しており、図-3(a)では遡上から越波升へ越波している状況が認められる。一方、波返し工を設置している(b)では、波返し工で遡上波の一部が反射され一部が越波している。(c)の波返し工では(b)の遡上状況と同様のものであるが、越波がより少ない状況となっている。

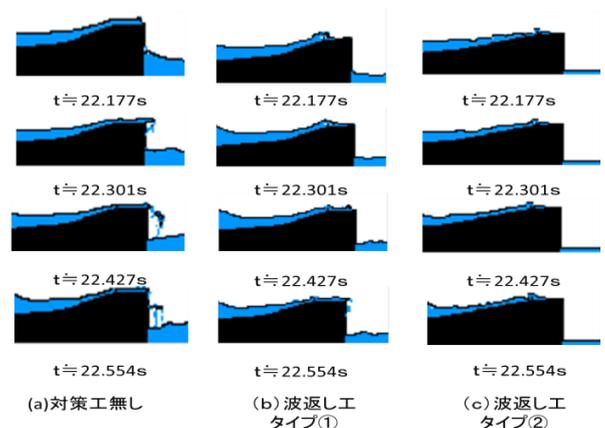


図-3 越波の状況(1/3勾配h=40.0cm)

キーワード：数値波動水路, 波返し工, 傾斜護岸, 越波, 越波防止

3-2 越波率 r_0 の比較

図-4.1, 4.2は、1/3 及び 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、対策工無し、波返し工①、②設置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。両図より、 h_i/H_0' が大きくなるに従って r_0 は大きくなる傾向は同じである。また、 r_0 の大きい順は、対策工無し、波返し工①、波返し工②の順となっている。なお、 $h_i/H_0' = 0.25$ では、両勾配の波返し工無しでも越波は殆ど発生していない。図-4.1の1/3勾配において r_0 は、 $h_i/H_0' = 0.5$ では越波が確認され対策工無しが約40%に対して両波返し工では、越波が小さくあまり差はない。 $h_i/H_0' = 0.75$ では、対策工無しが約90%に対して波返し工①、②はそれぞれ58%、50%となっている。 $h_i/H_0' = 1.0$ では、波返し工の有無に関わらずそれぞれ約100%となっている。図-4.2の1/5勾配では、波返し工の設置の有無に関わらず $h_i/H_0' = 0.25 \sim 0.50$ で越波は計測されないが、0.75ではそれぞれ $r_0 = 34\%$ 、8%、4%である。 $h_i/H_0' = 1.0$ ではそれぞれ約100%、35%、25%となっている。1/3勾配に比べて1/5勾配の方が波返し工を設置したケースは、 r_0 減少効果が大きいと思われる。なお、既往の研究^{1~2)}の r_0 と h_i/H_0' の関係においては、今回の結果と同傾向、同程度の値となっている。

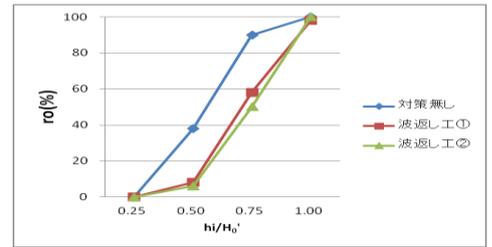


図-4.1 越波率の比較 (1/3 勾配)

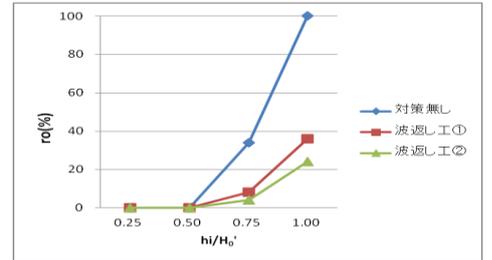


図-4.2 越波率の比較 (1/5 勾配)

3-3 無次元越波流量 $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ の比較

図-5.1, 5.2は、それぞれ1/3 及び1/5 勾配の $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ と h_i/H_0' の関係について対策工無し、波返し工①・②をパラメータとして図示したものである。図5.1の1/3勾配では、2つの波返し工にあまり差は見られないが、波返し工①の方が幾分大きいと値となっている。1/3勾配での $h_i/H_0' = 0.50$ は、越波が計測されたのに対し、1/5勾配では計測されていない。図5.2の $h_i/H_0' = 0.75, 1.00$ のケースでは、波返し工①、②が1/3勾配時に比べ小さい値を示しており波返し工設置の効果が大きい。既往の研究の $q/\sqrt{(2gH_0'^3)}$ との関係においては、1/3勾配の今回の値は、文献1)の値よりも約 $1.0E+01$ 大きい値となっているが、文献2)の結果とは1/3, 1/5共ほぼ同程度の値となっている。無次元越波流量の値は、当然ながら対策工無しが最も大きく、次に波返し工①、②設置の順になっている。

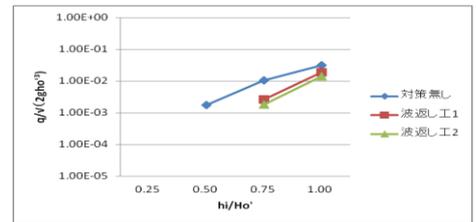


図-5.1 無次元越波流量の比較 (1/3 勾配)

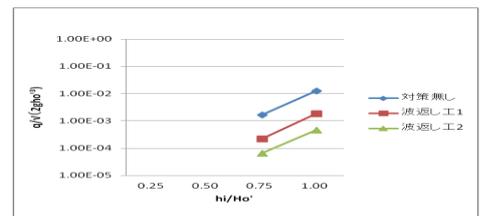


図-5.2 無次元越波流量の比較 (1/5 勾配)

4. おわりに

数値波動水路を用いて、対策工無し、波返し工①・②を設置した場合の越波率や越波量を計算した。その結果、当然ながら、対策工無しに比べ波返し工①、②を設置した場合の方が越波率、越波量とも少なくなる。また、1/3勾配より1/5勾配の方が全ケースにおいて越波率及び無次元越波流量とも小さい値を示している。既往の研究を再計算し、修正報告した。

<参考文献>

- 1) 佐々木ら：親水性護岸における越波に関する検討，平成25年度土木学会東北支部概要，2013
- 2) 小野寺ら：数値波動水路を用いた傾斜護岸への越波防止に関する検討，平成26年度土木学会東北支部概要，2014
- 3) (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.30,364 p, 2008.
- 4) 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.