

II-68

階段式緩傾斜護岸のブロック形状を考慮した遡上高さの算出

八戸工業高等専門学校 学生員 能登谷 望

1. 目的

階段式緩傾斜護岸は、海岸侵食作用からの汀線維持あるいは波の打上げ高低減を目的とした海岸保全施設の一つである。法面上の歩行が可能であることから、汀線へのアクセス確保に役立つ。このため、レクリエーション機能や親水機能の維持促進を図る消波構造物として建設されている。階段式緩傾斜護岸について能登谷¹⁾は、実験的研究により遡上高さを求め、階段式緩傾斜護岸の遡上高さ算出に用いられている改良仮想勾配法と比較した。その結果、改良仮想勾配法では、護岸ブロックの鉛直壁による遡上低減効果を考慮していないため、実際の値より大きく評価する事が分かった。このため、遡上低減効果を考慮した、正確な遡上高さを求める事を本研究の目的とする。しかし、実験での経済、労力を考慮し、条件を任意に変更し易い数値計算で研究を行う。その為に、遡上高さの数値計算に必要な各種パラメータについて試算し、先に行った実験結果と比較して再現性を検討し、現地に適用できるように表面粗度についても検討を行った。さらに、階段式緩傾斜護岸の鉛直壁の高さが及ぼす遡上低減効果についても研究を行った。

2. 数値計算による模型実験の再現

2.1 数値波動水路 (CADMAS-SURF)

階段式緩傾斜護岸の遡上高さ算出には、海底地形や碎波等の複雑な形状を取り扱えることが必須となる事より、本研究では、(財)沿岸開発研究センター²⁾による数値波動水路 (CADMAS-SURF) を用いた。数値波動水路は、2次元非圧縮粘性流体を対象とする Navier-Stokes 方程式と連続の式を、ボラスモデルに基づいて拡張した式を基礎方程式とし、自由表面解析モデルとして VOF 法を採用したモデルである。

2.2 計算条件

数値波動水路を用いて実験による波の遡上の再現を行い、計算に必要な各種パラメータを試算した。模型実験の結果を計算結果の検証材料とした。図-1 に実験装置を示す。

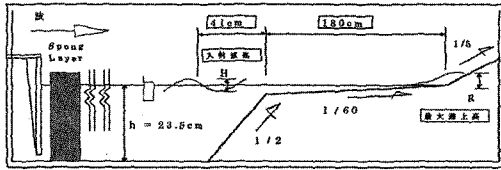


図-1. 実験装置

入射波は、最大遡上時の入射波高と周期を用いて規則波を生成した。以下に、数値計算の各諸元を示す。

計算格子間隔: $\Delta x, \Delta z = 0.4 \text{ cm}$ 入射波高: $H = 3 \text{ cm} \sim 7 \text{ cm}$, 周期: $T = 0.8 \text{ s} \sim 1.3 \text{ s}$, 水深: $h = 23.5 \text{ cm}$

2.3 表面粗度の取扱い

CADMAS-SURF では、表面粗度のパラメータが組み込まれていないので、代わりに多孔質体からの抵抗力 R_x, R_z を表面粗度として用いる。 R_x, R_z は C_D を抵抗係数として、流速の2乗に比例する形でモデル化し、運動方程式に組み込まれている。それによると以下の式で表される。

$$R_x = \frac{1}{2} \frac{C_D}{\Delta x} (1 - \gamma_x) u \sqrt{u^2 + w^2} \quad \text{式 (1)}$$

$$R_z = \frac{1}{2} \frac{C_D}{\Delta z} (1 - \gamma_z) w \sqrt{u^2 + w^2}$$

ここで、 C_D : 抵抗係数

R_x, R_z : 多孔質体からの水平、鉛直方向抵抗力
 $\Delta x, \Delta z, C_D, \gamma_x, \gamma_z$ は、任意に設定する事ができ、 $\Delta x = \Delta z$ より、次式で表面粗度のパラメータ f を定義する。

$$f = \frac{C_D (1 - \gamma_x)}{\Delta x} = \frac{C_D (1 - \gamma_z)}{\Delta z} \quad \text{式 (2)}$$

u, w について、波が階段斜面を遡上する際に、ブロック上を水平方向に流れてきた波がブロック鉛直壁で鉛直方向に変化し、また水平方向に流れていく動作を繰り返すため、 $u = w$ と仮定する。さらに、流速項にマンニングの平均流速式を組み合わせて、表面粗度 n との関係を検討した。

$$R_x, R_z = \frac{\sqrt{2} f}{2} u^2 = \frac{\sqrt{2} f}{2} \left(\frac{1}{n} R^{1/2} I^{1/2} \right)^2 \quad \text{式 (3)}$$

ここで、 R : 径深、 I : 勾配、 A : 流積、 S : 潤辺

図-2 に、改良仮想勾配法に基づき、マンニングの平均流速式を構成する潤辺 S と流積 A の範囲を示す。 h_b は合田による碎波水深を求める為の図表を用いて算出し、実験時に碎波位置を確認した。

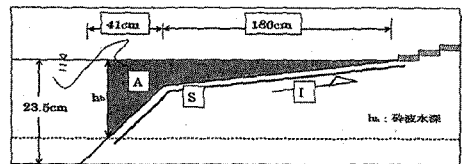


図-2. 計算方法の説明

流積 A (単位 m^2) は、碎波位置を沖側境界として斜線で示した多角形であり、潤辺 S (単位 m) は護岸法先から碎波位置までの海底距離、勾配 I は海底勾配を示す。

$$A = (2h_b^2 - 0.06h_b + 0.027) \quad \text{式 (4)}$$

$$S = \sqrt{5h_b^2 - 0.3h_b + 0.0045} + 1.8$$

以上より、多孔質体からの抵抗力 R_x, R_z と f 、及び粗度係数 n の関係は、式 (4) を式 (3) に代入した次式で表される。
 $R_x n^2, R_z n^2$

$$= 0.012 f \left(\frac{2h_b^2 - 0.06h_b + 0.027}{\sqrt{5h_b^2 - 0.3h_b + 0.0045} + 1.8} \right)^4 \quad \text{式 (5)}$$

実験値 h_b より、

$$R_x n^2, R_z n^2 = (0.821 \times 10^{-4} \sim 1.487 \times 10^{-4}) f \quad \text{式 (6)}$$

よって、表面の粗度 n の効果を f により取り込む事が可能であり、以後この f の最適値について検討した。

2.4 再現性の検討

数値計算に必要な表面粗度のパラメータ f について試算し、CADMAS-SURF の再現性について検討を行った。 f の試算は、任意に設定した f について、実験の入射波 15 ケースを行った。まず、 $f=0 \sim 1.35$ の範囲で 0.36 単位ずつ変化させて計算し、遡上高さを求めた。その結果、 $f=0.72 \sim 0.99$ の範囲で、計算値と実験値の比が、1 に近い数値を示しており、さらに 0.72~0.99 の範囲を 0.09 単位ずつ変化させて計算した。表-1 に、 $f=0.72 \sim 0.99$ の範囲で、計算値と実験値の比について示す。表より、 $f=0.9$ の計算結果は、実験値に最も近い数値を示していた。このことから、 f の値を変化させる事により、表面粗度の効果を取込む事が可能であり、 $f=0.9$ で遡上高さを再現する事ができた。

表-1. 計算結果 (遡上高さ)

f	0.72	0.81	0.90	0.99
(計算値)/(実験値)	0.67	0.87	1.04	0.93

2.5 現地適用時の注意

実験時の模型は、ベニヤ板である。しかし、階段式緩傾斜護岸は、表面をモルタルで仕上げたコンクリートブロック式の護岸である。このため、現地に計算結果を適用する場合は、モルタルとベニヤ板の表面粗度の関係について検討する必要がある。図-3 に粗度係数 n の概略値³⁾を示す。

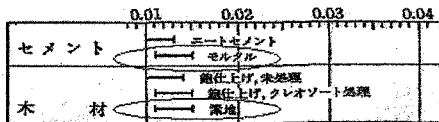


図-3. マニングの粗度係数 n 概略値³⁾

同図より、ベニヤ板と同じ木材の素地とモルタルの粗度係数 n の概略値は、以下に示すように同じ値である。

モルタル: $n=0.011 \sim 0.015$ ($s/m^{1/3}$)

ベニヤ板: $n=0.011 \sim 0.015$ ($s/m^{1/3}$)

以上より、計算結果を現地の階段式緩傾斜護岸に適用する場合、粗度のパラメータ f について、試算より求めた $f=0.9$ を用いる事が可能である。

3. ブロック形状が及ぼす遡上低減効果

3.1 計算条件

階段斜面の遡上高低減効果は、鉛直壁の影響である事は前述したが、その遡上高低減効果は鉛直壁の高さによって変化すると考えられる。この事より、数値波動水路でブロック高さを変化させた時の遡上高さを求め、ブロック高さと遡上高さの関係を検討した。計算は、実験に用いた階段式緩傾斜護岸の階段斜面を変化させて行った。護岸勾配は 1/5 とし、護岸ブロックの高さ a を 0.15m、0.20m、0.25m、0.30m の 4 ケースとした。これは、施工事例より現地適用性を考慮した寸法である。以下に数値計算の各諸元を示す。沖波波高: $H_o=2.2m \sim 3.8m$ 、周期: $T=5.0 \sim 8.5s$

3.2 計算結果

図-4 に $H_o=2.2m$ 及び $3.8m$ の計算結果を示す。縦軸は遡上高さ R (m)、横軸は周期 T (s) である。同図より、周期と波高が増大する程遡上高さが大きくなっている。また、計算結果は改良仮想勾配法で算出した遡上高さよりも小さく、改良仮想勾配法と比較してブロック高さが 0.15m の時の遡上高さは 0.69 倍、0.20m の時は 0.65 倍、0.25m の時は 0.62 倍、0.30m の時は 0.58 倍であった。これらの計算結果をふまえて、階段式緩傾斜護岸を設計する際に、ブロック高

さを考慮した遡上高さの算定ができるように、整理し直した図を図-5 に示す。同図より、階段式緩傾斜護岸を設置する現地の設計沖波周期とブロック高さから横軸の値を求め、そこから鉛直方向に引いた線と、使用するブロック高さの計算値との交点の R/H_o を読み取り、設計沖波波高 H_o より遡上高さ R を求める。以上より、図-5 を用いる事により階段式緩傾斜護岸のブロック高さを考慮した正確な遡上高さを求める事が可能となる。改良仮想勾配法で算出した遡上高さより階段式緩傾斜護岸の遡上高さが小さいことから、天端高を低く抑える事が可能であり、護岸前面により広い前浜を確保する事が可能となる。

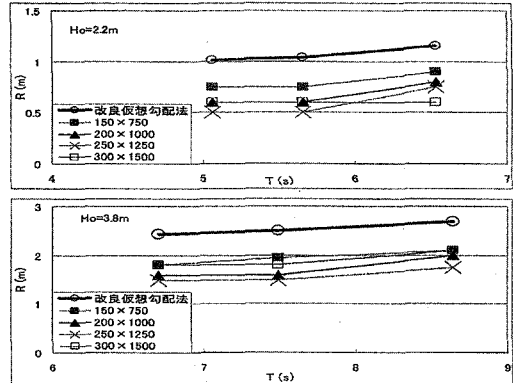


図-4. 計算結果 ($H_o=2.2m, 3.8m$)

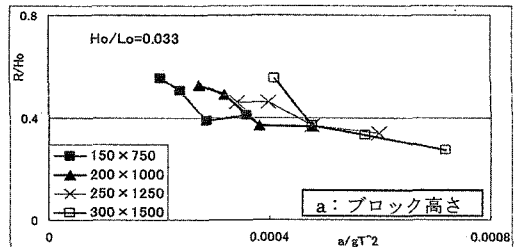


図-5. 各ブロック高さにおける遡上高さの比較

4. 結論

本研究の結論を列記する。①表面粗度の取り扱いについて、多孔質体からの抵抗力 R_1, R_2 と f 、及び粗度係数 n の関係式を求めた。②表面粗度のパラメータ f の値を変化させる事により、表面粗度の効果を取り込む事が可能である。③ $f=0.9$ とした数値計算の結果が実験値に最も近い値を示しており、実験の遡上高さを CADMAS-SURF で再現できる事を示した。④ベニヤ板とモルタルの粗度係数は同じ数値であり、表面粗度のパラメータ f について、計算より求めた値 $f=0.9$ を現地に適用する事が可能である。⑤護岸ブロック高さを考慮した遡上高さの算定図(図-5)を示した。

参考文献

- 1) 能登谷望: 階段式緩傾斜護岸における遡上高さの実験的研究, 平成十五年 東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 314-315, 2004
- 2) 財団法人 沿岸開発研究センター (2001): 数値波動水路の研究・開発
- 3) 土木学会水理公式集改訂委員会: 水理公式集 (2000), pp. 157