

B-32 環境調和型沿岸構造物における藻場機能の創出に向けて

(独)北海道開発土木研究所

港湾研究室

○坂井洋平

山本泰司

窪内 篤

1. はじめに

北海道の漁港・港湾では、藻場造成機能を付加した自然環境調和型構造物が施工されている。この藻場機能を有効に維持するために必要な条件は様々であるが、その一つに生物因子としてウニなど藻食動物による食害を抑えることが挙げられる。本研究では、防波堤の一種である傾斜堤背後小段上(図-1)にウニによる食害を受けにくい環境を創出する目的で、構造条件の検討や、この構造物の耐波安定性を詳細に調べている。この時、背後小段上の流速が波浪条件や構造条件によってどのように変化するか見積もる必要がある。この特性が解明され、予測できるようになれば、流速と深い関係にあるウニの摂餌行動¹⁾を議論できる。

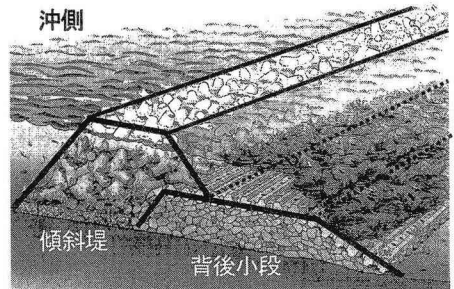


図-1 背後小段付傾斜堤

このような背後小段上流速の予測を行う際には、水理模型実験で系統的な実験ケースを用意して莫大な時間とコストをかけて行う必要がある。これに対して本報では、これまで行われてきた模型実験に代わる水理現象把握のためのツールとして開発され様々なケースでの使用を検討されている「数値波動水路(CADMAS-SURF)」という汎用数値シミュレーションモデルを取り上げる。そして水理模型実験の再現計算を試み、同様の条件で実施した水理模型実験結果と比較することにより、この新しい手法の有用性を検討する。

2. 自然環境調和型沿岸構造物と背後小段付傾斜堤

自然環境調和型構造物における藻場の流速とウニの食害に関する研究は、竹田ら²⁾が既存の構造物における現地観測データの解析と、これを補う水理模型実験によって議論している。これによると、異なる2つの背後小段付傾斜堤の施工例を比較するとウニの食害を受けやすいものと、そうでないものがあり、この要因は構造条件の違いや年間を通した発生波高特性によって背後小段上の流動環境が異なるためである。ある場所で藻場造成機能を備えた背後小段付傾斜堤を設計する際、ウニの食害を受けないという条件を満たす流動環境を創造することが必要条件である。また、防波堤本来の消波性能を満たすように設定した構造条件下での流動環境を見積もり、ウニの食害を受けるか否かの判断ができれば、ウニの侵入できない領域を設ける等の対策工を施す基準の目安になる。

3. 背後小段上の流動予測

以上のように、背後小段付傾斜堤の藻場造成に関する環境要因として、波浪が比較的穏やかな場合での小段上の流動を予測する手法が求められている。一方で、背後小段上では海のシケ時において傾斜堤部を超えた波が打ち込み、激しい流動が発生するため、背後小段の耐波性が重要となる。この視点に立った研究が早川ら³⁾によって進められ、沖波条件・構造条件に対する背後小段上の流速、そして背後小段の材料の必要重量を見積もる手法が提案されている。この手法は、傾斜堤部を越流した水塊が背後小段上の水面へ自由落下し、その後小段直上へ減衰して到達する一連の現象をモデル化したものである。この手法は高波浪時を対

象としている事他、本来は波が透過する傾斜堤部を不透透構造として取り扱っている不正確性が残る。また、この手法に必要なパラメータを水理模型実験によって同定しないと背後小段上流速を正確に予測できない。

本研究で対象としているような比較的穏やかな波浪条件を含めた傾斜堤背後の

流動を取り扱う際、傾斜堤を越流する現象に加えて、波が傾斜堤内部を減衰しながら透過する現象を適切に評価しなければならない。本研究では、この点の解決手法として自由表面の取扱いにはVOF法を、消波ブロック等の透過構造物内の流れに対してはポーラスメディア法を用いた汎用数値計算モデル「数値波動水路 (CADMAS-SURF)⁴⁾」を用いることとした。また、鈴木ら⁵⁾によってCADMAS-SURFが持つ碎石や消波ブロック等の多孔質体内の流速を算定する際に必要となる抵抗係数 C_D 値に関して、①石やブロックの代表長さと C_D 値との関係が不明である、②計算格子間隔が変化すると多孔質体から受ける抵抗力が変化してしまう、という問題点の打開策が提案されている。本研究では、この改良を施したCADMAS-SURFを採用し、より汎用性に長ける予測手法の確立を目指した。計算に必要な諸条件を表-1に示す。背後小段付傾斜堤の構造条件として図-2に示すように、傾斜堤部の静水面上天端高 hc と背後小段部の静水面下水深 dl で代表させ、それぞれ $hc=0.6\cdot4.5m$ 、 $dl=3.5\cdot4.5m$ の組合せを用意した (表-2)。今回は、構造物の設置位置水深を $h=9m$ に設定した。また、構造物より沖側は1:50の一樣勾配を想定し、波浪条件として周期 $T=12$ 秒、換算沖波 $H_0'=0.6\sim4.2m$ (0.6mピッチ) の規則波を与えた。CADMAS-SURFで設定した構造条件・波浪条件と同じケースを幅0.8m×高さ1m×長さ28mのピストン型造波機を備える水路を用いて模型縮尺 $S=1/30$ で実施した。

図-3は、4つの構造条件のうち傾斜堤部天端高 $hc=0.6m$ 、背後小段上水深 $dl=3.0m$ のケースでの、数値シミュレーションによって得られた背後小段上流速の時系列変化と同様の条件下で実施した水理模型実験結果を比較したものである。図-2に示した流速計(b)の例を示すが、流速計(a)(c)でも同じ傾向であった。流速は波高を用いて無次元化し、経過時間は波の周期を用いて無次元化してある。この図から、波の立ち上がりに対応する初期段階では両者は一致しないものの、波が安定した状態での再現性が確認できる。

図-4は、今回用いた全ての構造条件・波浪条件下での水理模型実験結果を、改良型CADMAS-SURFによって得られた無次元流速を比較したものである。ここで用いた流速は波形が安定した時点での振幅流速であ

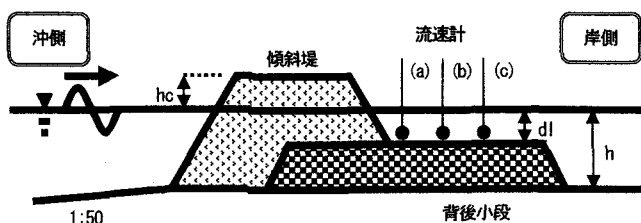


図-2 実験模型概念図

表-1 CADMAS-SURF の計算条件

計算領域	$x=720m \times z=30m$
格子間隔	$\Delta x=\Delta z=0.6m$
空隙率 γ_v	0.5 (ブロック・碎石)
慣性力係数 C_M	1.2 (ブロック・碎石)
抵抗力係数 α_0	2100 (ブロック)
	1500 (碎石)
抵抗力係数 β_0	2.2 (ブロック)
	3.6 (碎石)
代表径	4.5m (ブロック)
	0.45m (碎石)

表-2 背後小段付傾斜堤の構造条件

	$hc=0.6m$	$hc=4.5m$
$dl=3.0m$	case1	case2
$dl=4.5m$	case3	case4

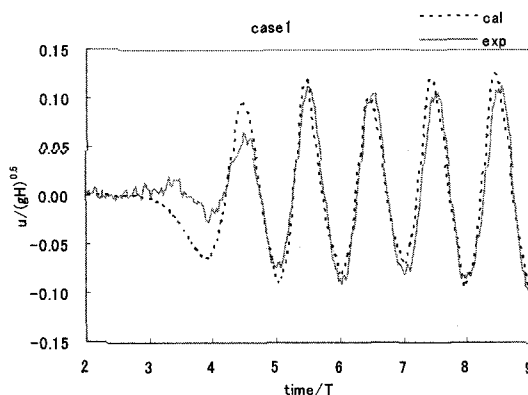


図-3 背後小段上流速の時系列変化 ($H_0'=0.6m$, $T=12sec$)

る。今回の数値モデルでは流速が小さい範囲を含め、全領域でバラつきが小さく、精度良く予測できている。以上より、テストケースとして設定した数種の波浪条件や構造条件下で、これらに依存しない定数を用いて背後小段上の流速を予測できる改良型CADMAS-SURFを適用する手法の有用性が確認できた。

4. おわりに

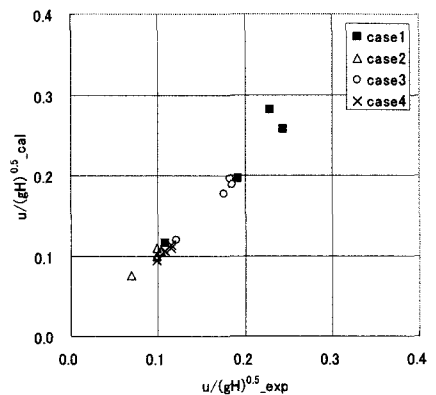
本報では、これまで背後小段付傾斜堤の小段上流速と構造条件・波浪条件との関係を予測する手法が確立されていないため、特に波高が比較的小さい常時波浪状態で様々な構造条件に対する流動環境を見積もる手法を提案した。今回の波浪条件は全て規則波を用いているが、実際の海の波は不規則であるため、波高に対して一種の時間平均をとった有義波高という統計量として表現されている。背後小段上の流動環境がウニやコンブの生息環境とどのような関係があるかを議論するには、有義波高を用いて流動環境を統計的に処理して評価する必要がある。

図一5は、規則波を用いた水理模型実験結果と不規則波を用いた結果を比較したものである。比較的流速が小さい領域では規則波の実験結果を、不規則波を対象とした実験結果と対応させることができる。つまり、比較的小さな波浪条件の下では構造条件の違いによる背後小段上流速の変化を定量的に評価できる改良型CADMAS-SURFを用いれば、実際の海での流動を適切な精度で把握することができる。

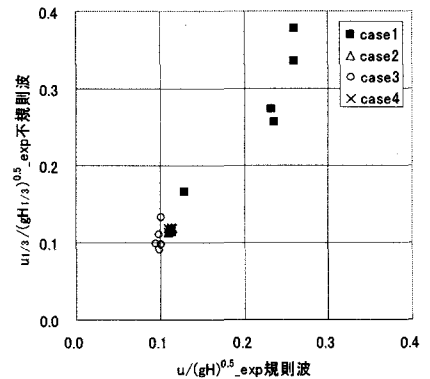
また、ある対象地点に必要な構造条件は、その場所で発生する波高の一年間を通した出現特性を反映して決定しなければならない。今後、この点について研究を進め、設計手法の確立を目指す予定である。

参考文献

- 1) 川俣茂・足立久美子・山本正昭 (1994) : キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響、日本水産工学論文集、pp.85-88
- 2) 竹田義則・坪田幸雄・永田晋一郎・袖野宏樹 (1999) : 自然環境調和型構造物における藻場の流速とウニの食害に関する研究、海岸工学論文集、第46巻、pp.1221-1225
- 3) 早川哲也・森昌也・梅沢信敏・土井善和・遠藤強 (2001) : 環境共生を目的とした傾斜堤背後小段の耐波安定性、海洋開発論文集、第17巻、pp.417-423
- 4) 数値波動水路の耐波設計への適用に関する研究会 (2001) : 数値波動水路の研究・開発、財団法人沿岸開発技術研究センター
- 5) 鈴木高二郎・大寄菜々子・山本泰司 (2003) : 防波堤基礎での洗掘量の推定について、海岸工学論文集、第50巻、pp.886-890



図一4 CADMAS-SURFによる流速と実験値の比較



図一5 水理模型実験の流速
(不規則波と規則波の比較)