

捨石護岸の断面変形に伴う性能変化

鳥取大学工学部 正員○太田隆夫 NOK(株) 梶田哲朗
鳥取大学工学部 正員 松見吉晴・木村 晃

1. はじめに

最近、海岸構造物に必要とされる機能に対して、消波性能等を統合的に照査する性能設計法の導入が注目されている。この性能設計では、構造物の被災に伴う形状変化がもたらす性能劣化の度合いと、構造物の社会的重要度で性能レベルが評価されることになる。したがって、性能設計法の確立に当たっては、構造物の被災進行に伴う性能の変化特性を明らかにしておく必要がある。本研究では捨石護岸を対象に、その消波性能の評価指標として反射率、打ち上げ高および越波量を取り上げて、まず断面変形の進行に伴うそれらの変動特性を水理模型実験により検討した。また、数値モデルにより護岸周辺の水位・流速変動およびエネルギー逸散を求め、これらにもとづいて上述の評価指標を算定するとともに、透過斜面上のエネルギー逸散特性より護岸の消波性能に及ぼす断面変形の影響について検討した。

2. 水理模型実験

図-1に示すように、不規則波造波水槽内に1/30のスロープを置き、その上に、コア部と被覆層からなる護岸模型(法面勾配1:1.5)を設置した。被覆層は、砕石(代表粒径 $D_{n50}=2.5\text{cm}$)の2層積とした。水槽底面からの水深は42cm、護岸法先水深は17cm、天端高は13cmである。作用させた不規則波は、期待スペクトルとしてJONSWAPスペクトルを用い、ピーク周期 $T_p=1.6\text{s}$ として作成した信号により造波した。1回の造波時間は20分間である。入射有義波高は、最初の20分間は約6cm、その後100分間は約7.3cm、波の累積作用時間が120分以降は約7.8cmとした。波高計(6本)と流速計(2本)を配置して水位と流速を、護岸法面上の遡上計により打ち上げ波の水位を計測した。また、波を20分間作用させるごとに、護岸断面をレーザー変位センサにより3測線で計測し、それらの平均をとって断面形とした。実験においては、被覆層2層目の砕石が移動してコア部が露出する部分が生じるまで、同じ造波信号による

波を繰り返し作用させた。実験は合計4ケース行った。

3. 数値モデル

本研究で用いた数値モデルは、Kobayashi and Santos (2006)による、時間平均型波浪変形モデルと、打ち上げ高および越波量算定のための確率モデルを組み合わせたものである。波浪変形モデルは、時間平均された連続式、運動量方程式およびエネルギー方程式にもとづくもので、護岸周辺の水位および護岸内外の流速の平均値と標準偏差、エネルギー逸散を計算することができる。運動量方程式およびエネルギー方程式は、それぞれ式(1)、(2)のように表される。

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -\rho g \bar{h} \frac{d\bar{\eta}}{dx} - \tau_b \quad (1)$$

$$\frac{dF}{dx} = -D_B - D_f - D_r \quad (2)$$

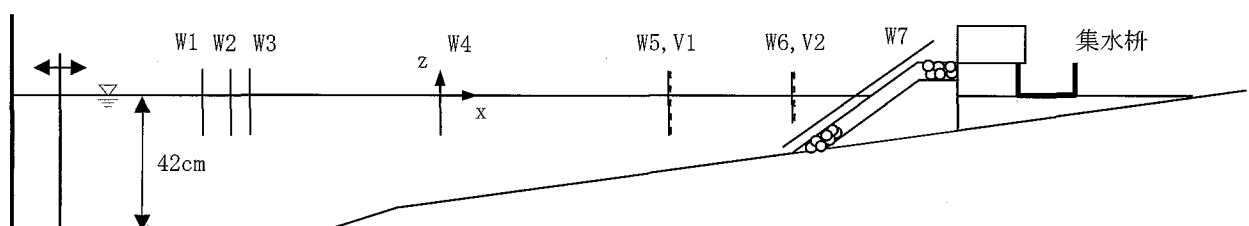
ここに、 S_{xx} : ラディエーション応力、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 $\bar{h}$: 平均水深、 $\bar{\eta}$: 平均水位、 τ_b : 底面でのせん断応力、 F : エネルギーフラックス、 D_B : 砕波によるエネルギー逸散率、 D_f : 底面摩擦によるエネルギー逸散率、 D_r : 透水層の抵抗によるエネルギー逸散率である。また、堤体法面上の水位変動の平均値 $\bar{\eta}$ 、標準偏差 σ_η から、打ち上げ波の水位の平均値 $\bar{\eta}_r$ と標準偏差 σ_r を求め、有義打ち上げ高さ $R_{1/3}$ を次式により与える。

$$R_{1/3} = (2 + 0.5 \tan \theta) \sigma_r \quad (3)$$

ここに、 $\tan \theta$: 護岸法面勾配である。さらに、打ち上げ高 R の確率分布がWeibull分布で表せると仮定して越波を生じる確率を与え、これにより平均越波流量を算定する。

4. 実験結果と計算値との比較

図-2に護岸断面の変形を示す。時間の経過とともに、静水面 $z_b=0$ 付近から上の部分が浸食され、法面下部に堆積していくことがわかる。図-3は作用させた波の累



W1~6: 波高計, W7: 遡上計, V1, 2: 流速計

図-1 実験装置

積数 N とダメージパラメータ $S=A_e/D_{n50}$ (A_e : 浸食面積), 反射率 K_R との関係を表している. N が増すにつれ, S は増加し, K_R は減少している. 図-4 には, N と無次元越波流量, 相対打ち上げ高との関係を示した. q は単位幅, 単位時間当たりの越波量, H_{m0I} は入射波のスペクトルから求めた有義波高である. N の増加とともに相対打ち上げ高は減少しており, 無次元越波流量も 2 回目から 6 回目 (同一の波高) では, わずかに減少傾向にある. ただし, 2. で述べたように 7 回目以降は入射波高を大きくしたため, 越波流量は増加している. 図-5 は, 水位 η と水平流速 u の平均値・標準偏差の計算結果の一例を示したもので, 波の累積作用時間が 80 分のときの護岸断面形を用いて計算したものである. 計算結果は, 図中の●で示す実験結果をよく再現し, 本研究で用いた波浪変形計算モデルの適合性が確認できる. 表-1 に K_R , $R_{1/3}$ および q の実験値と計算値を示す. K_R の計算値は, 静水時の汀線位置でのエネルギーフラックスが反射されると仮定して求めたものである. K_R では実験値と計算値はよく合っているが, $R_{1/3}$ では実験値の 72~87%, q では 1 オーダー小さい計算結果となった. また, 計算結果より, 断面変化にかかわらず, 汀線位置までに約 83% のエネルギーが主に碎波によって逸散することがわかった.

【参考文献】

Kobayashi, N. and F.J. de los Santos (2006): Irregular wave seepage and overtopping of permeable slopes, J. Waterw., Port, Coastal, Ocean Eng. (accepted).

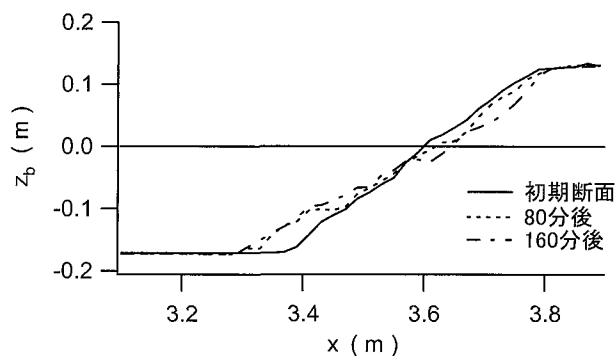


図-2 護岸断面の変化 (case4)

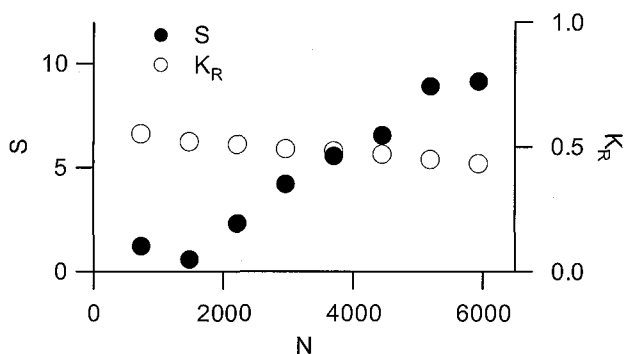


図-3 ダメージパラメータ, 反射率の変化 (case4)

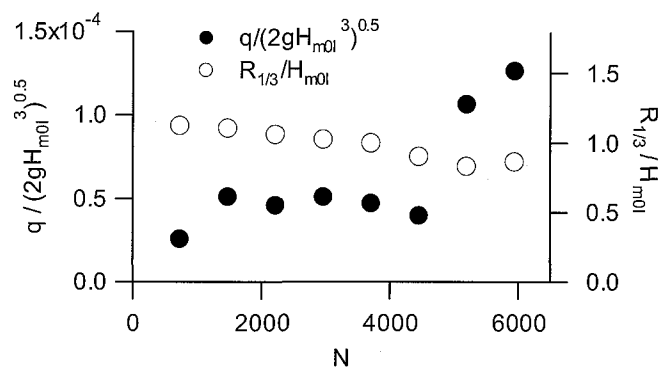


図-4 越波量と打ち上げ高の変化 (case4)

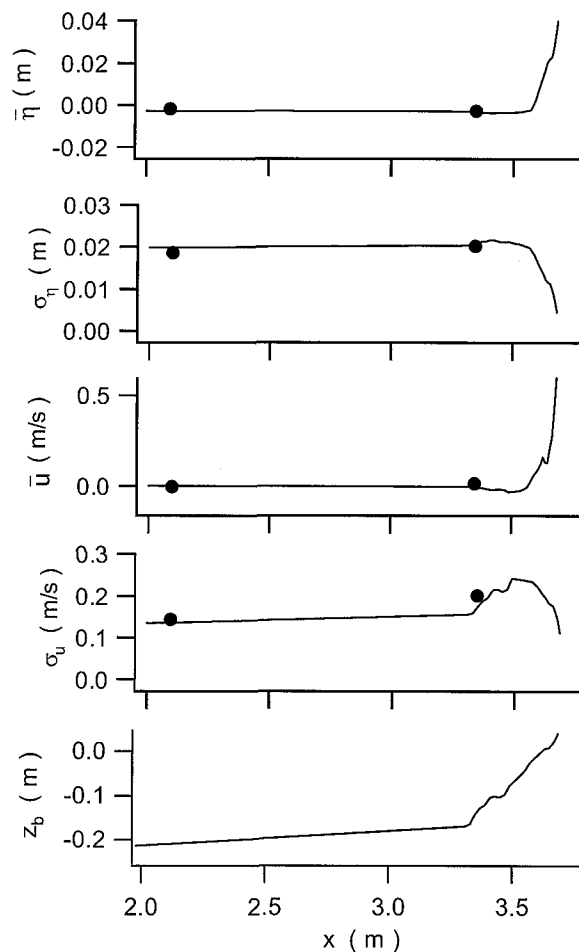


図-5 水位と流速の平均値・標準偏差の比較 (case4, 80 分後)

表-1 反射率, 打ち上げ高, 越波流量の比較 (case4)

t (min)	K_R		$R_{1/3}$ (cm)		q (cm ² /s)	
	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	計算値
0-20	0.548	0.476	6.65	5.06	0.01635	0.00039
20-40	0.517	0.454	8.16	6.33	0.04541	0.00953
40-60	0.506	0.457	7.79	6.42	0.04047	0.00789
60-80	0.488	0.450	7.46	6.19	0.04432	0.00073
80-100	0.480	0.434	7.23	5.21	0.04081	0.00306
100-120	0.467	0.439	6.50	5.04	0.03390	0.00641
120-140	0.446	0.437	6.56	5.69	0.10489	0.01894
140-160	0.429	0.441	6.72	5.15	0.12133	0.00952