

人工リーフ背後の斜面における波の打ち上げ高の算定

鳥取大学工学部 正会員 ○太田隆夫 寿製菓（株） 畑田亮太
鳥取大学工学部 正会員 木村 晃

1. はじめに

わが国ではこの20年程の間に、波の打ち上げ高・越波量の低減および海浜の侵食防止を目的に、人工リーフ（幅広潜堤）が施工されてきた。また、人工リーフを対象とした研究も多数行われ、その水理特性が解明されてきている。しかし、リーフ背後における波の打ち上げ高や越波量については、算定法が確立されておらず、水理模型実験によって求めているのが現状である。そこで本研究では、リーフ背後の斜面における不規則波の打ち上げ高を対象として、それを予測するモデルの構築を目的とする。予測モデルは、Kobayashiら（2006）によって開発された時間平均型波浪変形計算モデルをベースとしたもので、水理模型実験の結果と比較することで適用性を検討する。

2. 予測モデル

本研究で用いる波浪変形計算モデルは、断面2次元のモデルで、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基づくものである。運動方程式およびエネルギー方程式は式(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。 S_{xx} と F は微小振幅波理論により与える。計算においては、人工リーフ堤体を含む底面の形状（水深）、原点（ $x=0$ ）での $\bar{\eta}$ と波高のrms値 H_{rms} の実験値を入力とする。計算結果として、水位および堤体内外の流速の平均値・標準

偏差などが得られる。de los Santos and Kobayashi（2005）にならない、数値計算で求められる水位の平均値 $\bar{\eta}$ ・標準偏差 σ_η と、底面地形および実験における遡上計の位置（底面からの高さ）より、打ち上げ波の水位の平均値 $\bar{\eta}_r$ ・標準偏差 σ_r を計算する。さらに、式(3)によって有義打ち上げ高 $R_{1/3}$ を推定する。

$$R_{1/3} = \bar{\eta}_r + 2\sigma_r \quad (3)$$

3. 実験の概要および測定方法

不規則波造波水槽（長さ29m、幅0.5m、高さ0.75m）に1/30勾配の斜面を置き、砕石を用いた人工リーフ模型とその背後に1/5勾配の斜面を設置した（図-1）。無作為抽出した200個の標本から求めた砕石の密度は 2.58g/cm^3 、代表粒径（ D_{n50} ）は 2.52cm である。またすべての砕石の質量は35～50gの範囲にある。人工リーフ模型は、天端幅110cm、沖側法勾配1:3、岸側法勾配1:2、堤脚水深22.2cm、天端水深5.5cmとした（図-2）。不規則波の期待スペクトルとしてJONSWAPスペクトル（ $\gamma=3.3$ ）を用い、ピーク周期を $T_p=1.2\text{s}$ 、 1.6s 、 1.8s の3種類とし、サンプリング間隔0.05s、データ数24000で1ケース分（20分間）の造波信号とした。各周期に対して、異なる波形の2ケース分の造波信号を作成した。また、図-1のように波高計（W1～7）、流速計（V1～3）、および遡上計（W8）を設置し、サンプリング間隔0.05s、データ数23000で、造波開始20秒後から水位および流速変動を記録した。遡上計での測定値を鉛直方向の水位（打ち上げ波の水位） η_r に換算してその平均値 $\bar{\eta}_r$ を求め、 $\eta_r'=(\eta_r-\bar{\eta}_r)$ をゼロクロス法で解析することにより1波ごとの打ち上げ高 R' を求めた。

4. 実験結果および計算結果との比較

表-1に、実験データから得られた $\bar{\eta}_r$ 、 σ_r 、有義打ち上げ高 $R'_{1/3}$ および $(\bar{\eta}_r+R'_{1/3})$ の値を示す。図-3は σ_r と $R'_{1/3}$ の関係を示したもので、図中の実線は $R'_{1/3}=2\sigma_r$ の直線である。 η_r を解析して得られる有義打ち上げ高を $R_{1/3}$ とす

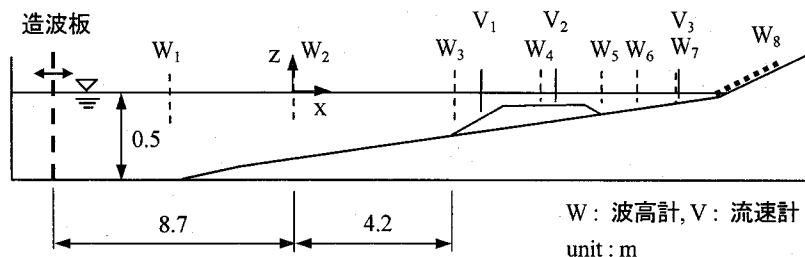


図-1 実験装置

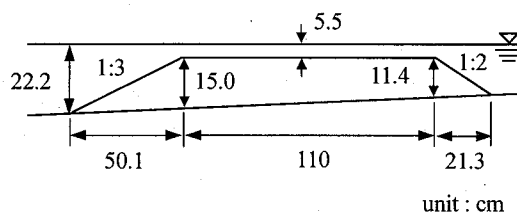


図-2 人工リーフ模型

ると、 $R'_{1/3} \approx (R_{1/3} - \bar{\eta}_r)$ であるから、実験結果でも式(3)の関係がほぼ成り立つことがわかる。図-4は $R'/R'_{1/3}$ の超過確率であり、実験結果は実線で示した Rayleigh 分布で近似できる。図-5には $T_p=1.2s$ のケースでの η_r とそのエネルギースペクトルを示す。この図より 10s 以上 (0.1Hz 以下) の長周期水位変動が打ち上げ高に影響していることがわかる。このような長周期の変動についてはいくつかの発生原因が挙げられているが、本研究では合田 (1975) によるサーフビートの振幅に関する経験式を用いて、長周期変動の影響を予測モデルに取り込むことを試みた。合田はサーフビート波形の標準偏差を次式で与えている。

$$\sigma_\zeta = 0.01 H_0' / \sqrt{H_0' (1 + h/H_0') / L_0} \quad (4)$$

ここに、 H_0' : 沖波有義波高、 h : 水深、 L_0 : 沖波有義波長である。式(4)で $h=0$ としたときの σ_ζ と数値計算で得られ

表-1 打ち上げ波の諸元 (実験値)

$T_p(s)$	$\bar{\eta}_r$ (cm)	σ_r (cm)	$R'_{1/3}$ (cm)	$\bar{\eta}_r + R'_{1/3}$ (cm)
1.2	1.59	1.88	3.21	4.80
	1.67	1.96	3.41	5.08
1.6	2.11	2.59	5.06	7.17
	2.17	2.75	5.33	7.50
1.8	2.31	2.89	5.96	8.27
	2.43	3.07	6.12	8.55

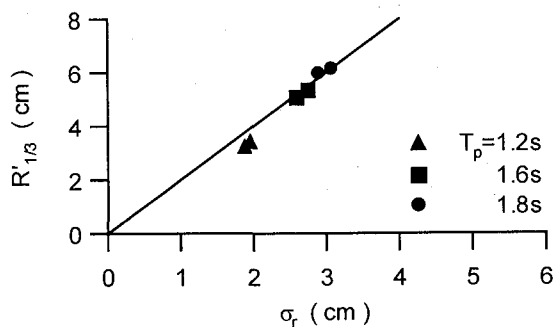


図-3 σ_r と $R'_{1/3}$ の関係

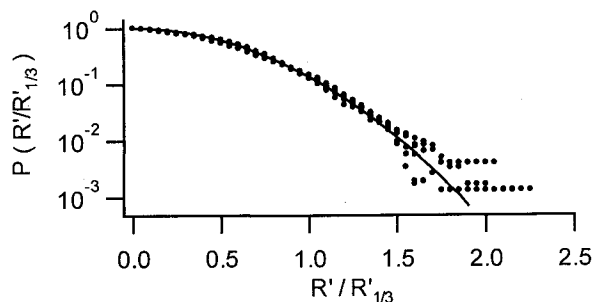


図-4 $R'/R'_{1/3}$ の超過確率

た σ_η から $\sigma_\eta' = \sqrt{\sigma_\eta^2 + \sigma_\zeta^2}$ を求め、 $\bar{\eta}_r$ と σ_r の計算に用いた。

表-2に予測モデルによる $\bar{\eta}_r$ 、 σ_r および $R_{1/3}$ の値を示す。表-1の $\bar{\eta}_r + R'_{1/3}$ ($\approx R_{1/3}$) と表-2の $R_{1/3}$ を比較すると、予測値は実験値の 57~71%程度であり、長周期水位変動の影響に関してさらにモデルを改良する必要がある。

【参考文献】

- 合田良実 (1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港湾技術研究所報告, 第14巻 第3号, pp.59-106.
- Kobayashi, N., L.E. Meigs, T. Ota and J.A. Melby (2006): Irregular breaking wave transmission over submerged porous breakwater, J. Waterw., Port, Coastal, Ocean Eng. (in press).
- de los Santos, F. J. and N. Kobayashi (2005): Irregular wave setup and runup on cobble beaches and revetments, Res. Rep. No. CACR-05-06, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware

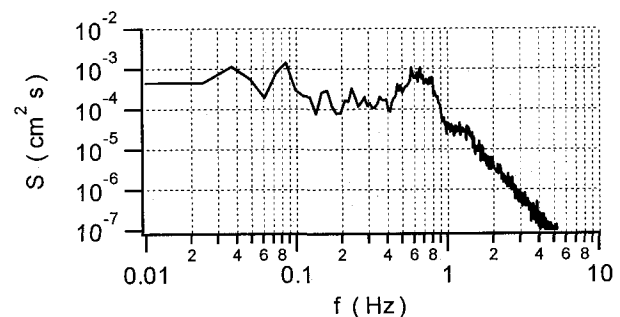
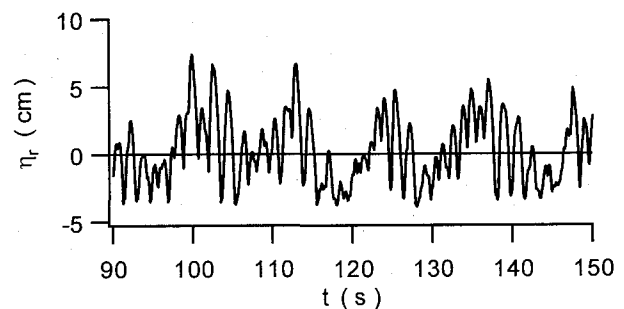


図-5 η_r の波形とスペクトル ($T_p=1.2s$)

表-2 打ち上げ波の諸元 (計算値)

$T_p(s)$	$\bar{\eta}_r$ (cm)	σ_r (cm)	$R_{1/3}$ (cm)
1.2	1.01	1.19	3.39
	0.84	1.17	3.18
1.6	1.42	1.61	4.64
	1.23	1.59	4.41
1.8	1.56	1.76	5.08
	1.40	1.73	4.86