鳥取大学大学院 学生会員 〇倉田雄一

鳥取大学大学院 正会員 太田隆夫·木村 晃

1. はじめに

わが国では、最近の20年程度の間に、波の打ち上げ高・越波量低減および海浜の浸食防止を目的として、多数の 人工リーフが施工されてきた.一方、打ち上げ高や越波量は、海岸構造物の設計で重要な検討項目であり、その算 定法については古くから検討が行われている.打ち上げ高に対しては、水理実験や現地観測をもとにした経験式が、 越波量についても各種の護岸に対する算定式、算定図が提案されている.しかし、複雑な海底地形や海岸構造物が 複合的に配置された場合に適用できる算定法は、確立されていないのが現状である.本研究では、海岸構造物の複 合的配置の例として、人工リーフ背後に緩傾斜護岸が設置された場合を対象に、打ち上げ高および越波流量につい て水理実験を行うとともに、これらを予測するための数値モデルについて検討した.

2. 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,その上に砕石(代表粒径 2.52cm)を用いた人工リーフ模型と,その背後に 1/5 勾配の緩傾斜護岸模型(塩ビ板)を設置した.実験装置の概要を図-1 に示す.水槽底面からの水深 h は 48cm である.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.緩傾斜護岸については,法先水深 h_tが 0, 1.55, 3.01, 6.11cm となるように設置し,さらに各設置場所で天端高 h_cが 6.45, 8.6, 10.75cm となるように護岸斜面の長さを変えた.不規則波の期待スペクトルとして JONSWAP スペクトル (集中度パラメータ_{7c}=3.3)を用い,ピーク周期を T_p =1.2s, 1.8s の 2 種類,サンプリング間隔 0.05s,データ数 12000 で作成した 10 分間の信号により,目標入射波高 H_0 を 8.6cm として造波した.したがって実験は,法先水深・波高比 h_t/H₀=0, 0.18, 0.35, 0.71,相対天端高 h_c/H₀=0.75, 1.0, 1.25 とした計 24 ケースである.また波高計(6本),流速計(3本),および護岸上に遡上計を設置し,水位と流速を計測した.護岸模型の背後には,越波量を計測するための集水枡(幅 37cm)を設置した.遡上計での測定値については,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 $\overline{\eta_r}$ を求め, $\eta_r' = (\eta_r - \overline{\eta_r})$ 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.

3. 数値モデル

本研究で用いた数値モデルは, Kobayashi・de los Santos (2007) による,時間平均型波浪変形モデルと越波流量算 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からなり,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,エネルギー散逸率 などが得られる.運動量方程式およびエネルギー方程式は,式(1)のように表される.

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -\rho g \bar{h} \frac{d\bar{\eta}}{dx} - \tau_b \quad , \qquad \frac{dF}{dx} = -D_B - D_f - D_r \tag{1}$$

ここに、 S_{xx} : ラディエーション応力、ho: 水の密度、g: 重力加速度、 \overline{h} : 平均水深、 $\overline{\eta}$: 平均水位、 au_b : 底面で



W:波高計,V:流速計

図-1 実験装置および数値計算の座標系



のせん断応力, $F: エネルギーフラックス, D_B: 砕波によるエネルギー逸散率, D_f: 底面摩擦によるエネルギー逸$ $散率, <math>D_r: 透水層の抵抗によるエネルギー逸散率である. また, 汀線付近での水位の平均値<math>\overline{\eta}$ ・標準偏差 σ_η より, 打ち上げ波の水位の平均値 $\overline{\eta}_r$ ・標準偏差 σ_r を求め, 式(2)によって有義打ち上げ高 $R'_{1/3}$ を推定する.

$$R'_{1/3} = (2 + \tan\theta)\sigma_r \tag{2}$$

ここに, tan θ: 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. 実験結果および計算結果との比較

図-2,3に、平均越波流量 $q \ge \sqrt{2gH_0^3}$ で無次元化したものを、 h_c/H_0 ごとに示した. 越波流量は、 h_t/H_0 の増大 や h_c/H_0 の減少につれて増加しているが、合田ら(1975)や玉田ら(2001)が提案している算定図に比べ、 h_t の減少に ともなう q の変化(減少)が小さくなる傾向を示している. 図-4 は $\sigma_r \ge R'_{1/3}$ の関係を示したもので、図中の実線は $R'_{1/3} = 2.2\sigma_r$ の直線である. 実験結果でも式(2)の関係がほぼ成り立つことがわかるが、 $h_t/H_0 = 0.35$, 0.71 のケースで は、これを下回る傾向が見られた. 図-5 は $T_p=1.8s$ における $R'/R'_{1/3}$ の超過確率であり、実験結果は実線で示した Rayleigh 分布に近い分布となっているが、越波量が多いケースでは、打ち上げ高が天端高で頭打ちになる割合が増 え、Rayleigh 分布との差異が大きくなる.

3. に示した数値モデルにより R'_{1/3}と q を求めたところ, R'_{1/3}の計算値は実験値を大きく下回り, q は大半のケ ースでゼロとなった. 図-6, 7 は, 人工リーフ背後の波高計 W₆での水位変動とそのエネルギースペクトルを示し たものであるが,特に T_p=1.8s のデータでは周期 10s 以上(周波数 0.1Hz 以下)の長周期変動が見られ,この変動に よる水位上昇と個々波の振幅増大が同時に起きる傾向がある. 遡上計のデータでも同様で,越波に影響を及ぼして いる. このような長周期変動については,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数値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.

$$\sigma_{\zeta} = 0.01 H_0' / \sqrt{H_0' (1 + h/H_0) / L_0}$$
(3)

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(3) で求まる σ_c の値を用いて, サーフビートの 1/3 最大振幅 $a_{\zeta 1/3} \epsilon a_{\zeta 1/3} = 2\sigma_{\zeta} \epsilon 与 \lambda$, 打ち上げ波の平均水位を $\bar{\eta}_r' = \bar{\eta}_r + a_{\zeta 1/3} \epsilon + \epsilon \epsilon$. また打ち上げ波の水位の標準偏差を $\sigma_r' = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_\zeta^2} \epsilon + c$, $R'_{1/3} \epsilon q$ を計算した. σ_c の計算においては H_0' を波高計 W_1 での有義波高とし, L_0 は T_p を用いて $L_0=1.56T_p^2$ で与え, h=0 とした. 図-8, 9 に $R'_{1/3} \epsilon q$ の実験値と計算値の比較を示す. $R'_{1/3}$ の計算値は実験値のおおよそ±30%の範囲にあり, qの計算値についても改善が見られた. しかし,長周期変動の影響に関してはさらに検討を行い,数値モデルを改良する必要があると考えている.

謝辞:本研究は、(財)中国電力技術研究財団の平成19年度試験研究助成金(研究代表者:太田隆夫)を得て実施 した研究の一部である.ここに付記して謝意を表する.

【参考文献】

合田良実(1975): 浅海域における波浪の砕波変形,港湾技術研究所報告,第14巻第3号, pp.59-106.

- 合田良実・岸良安治・神山 豊(1975): 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究,港湾技術研究 所報告,第14巻 第4号, pp. 3-44.
- 玉田 崇・井上裕規・井上雅夫(2001):緩傾斜護岸における越波流量算定図の提案と時間的変動特性に関する考察,海洋開発論文集,第17巻, pp. 311-316.
- Kobayashi, N and F.J. de los Santos (2007) : Irregular wave seepage and overtopping of permeable slopes, J. Waterw., Port, Coastal, Ocean Eng. 133(4), pp. 245-254.