

II-322 波群性に起因する長周期波の海岸への遡上

(株)アイ・エヌ・エー海岸環境部 正員 山本吉道
 埼玉大学工学部建設工学科教授 正員 谷本勝利
 埼玉大学工学部建設工学科助手 正員 中村廣昭

1. 研究目的

海の波は波群性を有しており、これに起因した長周期波(周期が数十秒～数分の波で surf beat と呼ばれる)が砕波帯内で顕著に存在する。通常周期の波が斜面上で砕波後減衰していくのに対して、長周期波は汀線付近で最大となることから、この長周期波が波の遡上や汀線付近の地形変化に及ぼす影響は大きい。山本・谷本¹⁾などによると、砕波帯内の平均海底勾配が1/20程度より緩い場合の遡上波は、長周期波成分の卓越したものとなる。本研究では波群性に起因する長周期波の海岸への遡上の数値計算法を検討した。

2. 長周期波の遡上モデルの開発

浅海長波の理論式を基本式とするが、長周期波を発生させる外力は波群に対応して変化する radiation stress と考えられ、これを浅海長波の運動方程式に組み込む。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q^2}{h + \zeta} \right) + g(h + \zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{f}{(h + \zeta)^2} q |q| &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、 ζ は水位、 q は線流量〔=平均水平流速×($h + \zeta$)〕、 h は水深、 S_{xx} は radiation stress、 f は海底摩擦係数、 g は重力加速度、 t は時間、 x は岸沖方向の座標である。

数値モデルは leap-frog 法によるが、運動方程式は水位 ζ に関しても非線形であり、これによる計算の不安定性を極力弱めるために、C.F.L.条件以外に、格子間隔 Δx =水深1m位置での長周期波長÷30とし、さらに、後藤²⁾の人為数値拡散項を連続の式の右辺に加えた。また、沖境界条件には日野・仲座³⁾の条件式を用い、radiation stress の計算には間瀬ら⁴⁾のモデルを応用した。さらに、海底摩擦係数には、以下に導かれる式(2)、式(6)および式(8)を用いた。

Freeman・LeMehaute⁵⁾による遡上高理論式とエネルギー釣合式〔 $R_L = (1 - K) U_{smax}^2 / 2g$: R_L は長周期波の遡上高、 K は係数、 U_{smax} は汀線位置での最大流速〕から海底摩擦係数は次式で表せる。

$$f = \{ \{ (1 + C_u)(1 + 2C_u) / (1 - K) \} - 1 \} i C_u^2 \quad (2)$$

ここに、 C_u は汀線位置での波速 c_s と U_{smax} との比、 i は砕波位置～遡上先端間の平均海底勾配である。

一方、汀線位置の平均水位上昇量 ζ_{sm} と平均長周期波高 H_{Lsm} を用いて、長波近似による U_{smax} は次の式(3)で表せる。さらに、沖波の平均波高 H_{om} と平均波長 L_{om} を用いて、 ζ_{sm} は山本⁶⁾による式(4)で、 H_{Lsm} は山本・谷本⁷⁾による式(5)で表せる。

$$U_{smax} = (g / \zeta_{sm})^{1/2} H_{Lsm} / 2 = 0.5 H_{Lsm} / \zeta_{sm} \times c_s \quad (3)$$

$$\zeta_{sm} \approx 0.8 i^{4/5} H_{om} / (H_{om} / L_{om})^{1/4} \quad (4), \quad H_{Lsm} \approx 0.066 i^{1/6} H_{om} / (H_{om} / L_{om})^{1/2} \quad (5)$$

したがって、式(3)に式(4)と式(5)を代入することにより、 C_u は次式で表される。

$$C_u \approx 24.2 i^{19/30} (H_{om} / L_{om})^{1/4} \quad (6)$$

次に、山本・谷本⁷⁾の研究から、長周期波遡上高の平均値は次式で表される。

$$R_{Lm} = 1.52 i H_{om} / (H_{om} / L_{om})^{1/2} \quad (7)$$

先のエネルギー釣合式と式(7)から(1 - K)に関する式を求めて、式(3)、式(4)および式(5)を代入すれば、(1 - K)は次式で表される。

$$1 - K \approx 2221 i^{22/15} (H_{om}/L_{om})^{1/4} \quad (8)$$

ただし、式(2)、式(6)および式(8)の適用範囲は $i \leq 1/30$ であり、各経験式の作成に用いたデータが、ベニヤ板模型と細砂海岸におけるものであるから、得られる海底摩擦係数は細砂海岸を対象とした値になる。本経験式による計算値をFig. 1に示す。

3. 長周期波の遡上計算

波高の変動振幅 a_H と長周期波の周期 T_L を用いて、波群性を有する沖波の波高を次式で近似的に表す。

$$H_o = H_{om} - a_H \sin(2\pi t/T_L) \quad (9)$$

Longuet-Higgins・Stewart⁸⁾ の長周期波の理論式に式(9)を代入すれば、 a_H の分布は近似的に長周期波の波高の分布に対応する。そして、加藤ら⁹⁾ の現地観測などから得られる長周期波の統計値の係数を用いると、長周期波の平均波高に対応する a_H は $0.50H_{om}$ となる。

今、 $1/40$ の様な海底勾配海岸に、 $H_{om} = 0.8$ m、 $a_H = 0.4$ m、 $T = 8$ s、 $T_L = 61.6$ s の波群を入射させたときの遡上計算を行うとFig. 2のようになった。図中の矢印は経験式(7)から求めた平均遡上高である。

次に、 $1/30 \sim 1/100$ の様な海底勾配海岸に、 $H_{om} = 2$ m、 $a_H = 1$ m、 $T = 7$ s と 10 s、 $T_L = 100$ s の波群を入射させたときの遡上計算を本数値モデルと経験式(7)の両方で行い比較すると、Fig. 3に示す通りである。本図から、本数値モデルによる遡上高の方がやや大きくなるが、比較的良く一致していると言える。

4. ま と め

以上の検討結果から、波群性に起因する長周期波の遡上は、浅海長波の理論式による本数値モデルで比較的精度良く求めることが出来ると思われる。

5. 参考文献

- 1) 山本・谷本：第48回年次講演会概要集II, pp. 768～769, 1993.
- 2) 後藤：津波による被害の予測に関する水理学的研究, 東北大学博士学位論文, 1983.
- 3) 日野・仲座：第35回海岸工学論文集, pp. 262～266, 1988.
- 4) 間瀬・松本・岩垣：土木学会論文集375, II-6, pp. 221～230, 1986.
- 5) Freeman・LeMehaute: Proc. ASCE, Vol. 90, No. HY2, pp. 187～216, 1964.
- 6) 山本：海洋開発論文集第4巻, pp. 295～299, 1988.
- 7) 山本・谷本：土木学会論文集投稿中.
- 8) Longuet-Higgins・Stewart: Jour. Fluid Mech., Vol. 13, pp. 481～504, 1962.
- 9) 加藤・中村・池田：港湾技術研究所報告, 第30巻第1号, 1991.

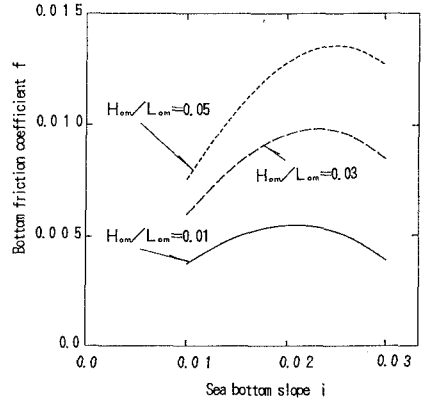


Fig. 1 Bottom friction coefficient calculated by using Eq. (2).

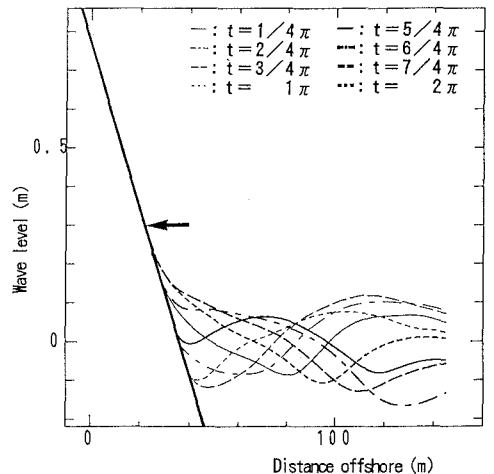


Fig. 2 Long period wave runup profiles.

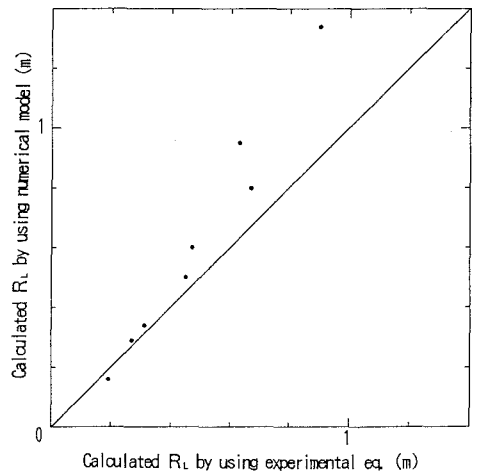


Fig. 3 Relation between wave runup height by the numerical model and that by Eq. (7).