

Boreのモデルを用いた規則波の碎波後の波高変化

京都大学工学部 正員 岩垣雄一

京都大学工学部 正員 間瀬 肇

兵庫県庁 正員 田中 剛

1. はじめに 深海域の波が浅海域に侵入すると、水深の減少に伴い波高がいったん減少した後増大し、同時にその峰を尖らせ、波形の非対称性が著しくなり、ある限界に達すると碎ける。その後は段波の状態で行進する場合や、あるいは、再び波形を整えることもある。従来、規則波の碎波後の波高変化については実験的および理論的研究が数多く報告されているが、なかには互いに矛盾するような結果も報告されている。本研究は、碎波後の波高変化に対する沖波波形勾配および斜面勾配の影響を考慮できるように、Battjes<sup>1)</sup>の提案による段波モデルより碎波後のエネルギー逸散量を求め、エネルギー平衡式を解くことで碎波後の波高変化を計算し、規則波への適用を試みた。

2. 計算モデル 碎波前の波高変化については、数値計算上の簡便さを考慮して、ここでは首藤の非線型長波の変形理論式を用いた。碎波限界波高については、合田の取りまとめた碎波指標のうち、 $H_0/\lambda_0 \sim 1/2$  の曲線群を数式化した次式を用いた。  $H_0/\lambda_0 = 0.17[1 - \exp\{-1.5 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot (1 + 15 \tan^2 \theta)\}] \dots \textcircled{1}$  碎波後の波高変化については、空間的に連続な現象として扱うために、エネルギー平衡式  $\frac{dP}{dx} + D = 0 \dots \textcircled{2}$  を解くことで求めた。ただし、 $P$  はエネルギーフラックスで、  $P = \frac{1}{8} \rho g H^2 (g \lambda)^{1/2} \dots \textcircled{3}$   $D$  はエネルギー逸散率である。ここでは、 $D$  として Battjes<sup>2)</sup> の段波モデルから碎波によるエネルギー逸散量をモデル化したものを用いた。それによると、  $D = \frac{B}{8\pi} \cdot \frac{\rho g H^2}{T} \left(\frac{H}{\lambda}\right)^4 \dots \textcircled{4}$  で表わされる。ただし、 $B$  は1のオーダーの係数、 $\rho$  は水の密度、 $g$  は重力加速度、 $H$  は波高、 $\lambda$  は水深、 $T$  は周期、 $\delta = 0.7 + 5 \cdot \tan \theta$  ( $0.01 \leq \tan \theta \leq 0.1$ ) である。式③、④を式②に代入し、 $x = -x \cdot \tan \theta$ 、 $\bar{H} = H/H_0$ 、 $\bar{\lambda} = \lambda/\lambda_0$  において無次元化し、 $\bar{H} = 1$  ( $\bar{\lambda} = 1$  のとき) のもとで式②を解くと、  $\bar{H}^4 = (1 - \frac{1}{8} K) \bar{\lambda} + \frac{1}{8} K \bar{\lambda}^{1/2} \dots \textcircled{5}$  となる。ただし、 $K = (\frac{\pi}{2})^2 \cdot B \cdot \delta^2 \cdot \xi_0 \dots \textcircled{6}$  である。ここで、 $\xi_0$  は碎波帯相似パラメーターであり、 $\xi_0 = \tan \theta / H_0/\lambda_0$  を意味する。

式⑥からわかるように、式⑤には斜面勾配  $\tan \theta$ 、および沖波波形勾配  $H_0/\lambda_0$  の影響が入ってくる。しかし、このままでは実験結果をうまく説明できないので、 $B$  の値を一定とし、水深  $\lambda$  の関数として扱う。なお水深  $\lambda$  は平均水位の変化を

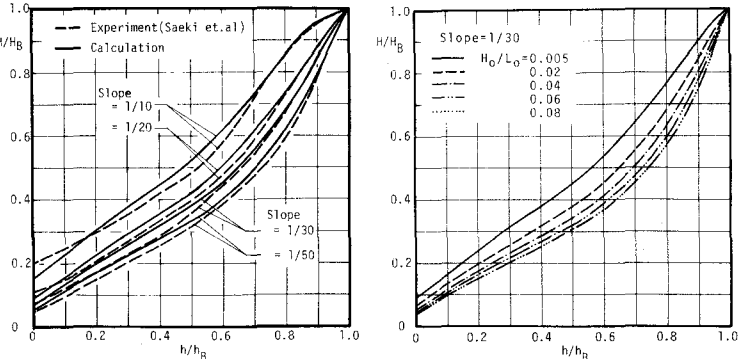


図-1 碎波後の波高変化 (a) (b)

Yūichi IWAGAKI, Hajime MASE, Gou TANAKA

も考慮した。ただし、微小振幅波理論により求めた wave set-up は実測値より大きいことが報告されているので、ここでは 0.6 倍したものを採用することにした。B の関数形の決定にあたっては、佐伯<sup>2)</sup>の実験結果を参考にして、次のようにした。

$$\tan\theta \geq 1/20 \text{ の時, } B=1 \text{ (} 0.9 \leq h/h_0 \leq 1.0 \text{)}, B=13 - \frac{40}{3} \cdot \frac{h}{h_0} \text{ (} 0.6 \leq h/h_0 \leq 0.9 \text{)}, B=5 \text{ (} h/h_0 \leq 0.6 \text{)} \dots \textcircled{7}$$

$$\tan\theta \leq 1/20 \text{ の時, } B=1 \text{ (} h/h_0 = 1.0 \text{)}, B=11 - 10 \cdot \frac{h}{h_0} \text{ (} 0.6 \leq h/h_0 \leq 1.0 \text{)}, B=5 \text{ (} h/h_0 \leq 0.6 \text{)} \dots \textcircled{8}$$

図-1(a)は、佐伯<sup>2)</sup>の実験結果と、本計算結果 ( $1/20 = 0.02$ ) とを比較したものである。これによると、 $h/h_0$  が 0.4 付近で計算値が若干大きい、両者は良く一致している。図-1(b)は斜面勾配を一定とし、沖波波形勾配を変化させた場合の計算結果を示したものであり、沖波波形勾配が大きいほど波高減衰が大きいことを示しており、中村<sup>3)</sup>の実験結果と同様の傾向を示している。

### 3. 規則波の波高変化の実験結果と計算結果との比較

実験は京都大学工学部土木系教室地下実験室に設置されている、長さ 27m、幅 50cm、深さ 70cm の両面ガラス張り水槽を用いて行った。実験に用いた斜面は、 $1/30$ 、 $1/20$  および  $1/10$  であり、水深は一様水深部が 50cm と一定にした。波高計は 4 台使用し、1 台は一様水深部に固定し、残り 3 台を斜面上で移動させて波高を測定した。図-2 は実験により得られた浅海域での波高変化をプロットしたものであり、図中の曲線は計算結果を示したものである。これらの図より、実験値と計算値との対応はほぼ良いことがわかる。ただし、計算値の実験値に対する全体的な傾向として、碎波前は過大評価、碎波直後は過小評価、訂線付近では過大評価となるようである。碎波前の差異の原因としては、底面および水槽側壁との間の摩擦による波高減少が考えられる。段波のモデルは Spilling 型碎波を対象としたものであるがここでは B の値を変えることで他の碎波形式にも適用できるものと思われる。しかし、Plunging 型碎波の場合、波が崩れて斜面にあたってはね返るような状態がみられ、その影響で碎波直後、計算値が過小評価となったのではないと思われる。また実験では沖波波形勾配がほぼ同じで周期の異なる 2 種類の波を用いたが、相互の記録の間には差がないようである。

なお、この研究は文部省科学研究費自然災害特別研究(1)による研究の一部であることを付記する。

#### 参考文献

- 1) Bartjes, J. A.: Energy dissipation in breaking solitary and periodic waves, Manuscript, Delft Univ. of Tech., 1978.
- 2) 佐伯ら：碎波後の波の変形に関する研究(2)，第 21 回海講演文集，1974，pp. 39-44.
- 3) 中村ら：碎波による波の変形に関する研究，第 13 回海講演集，1966，pp. 71-75.

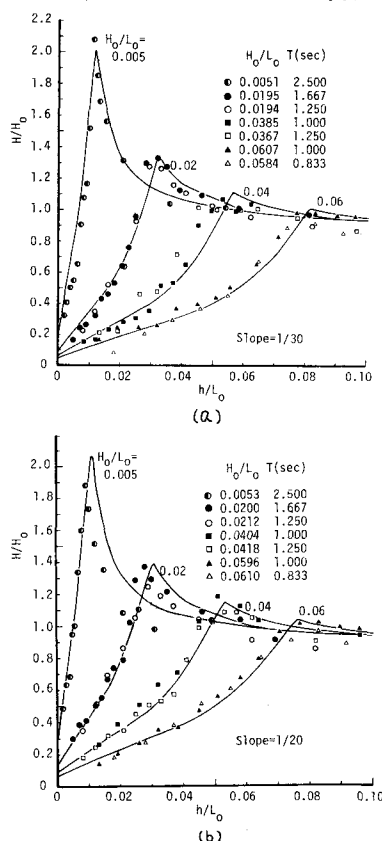


図-2 斜面上の波高変化