

浅海域における不規則波の波高変化に関する研究

岩垣 雄一・間瀬 肇・田中 剛

WAVE HEIGHT CHANGE OF RANDOM WAVES IN SHALLOW WATER

By Yuichi IWAGAKI, Hajime MASE, Gou TANAKA

Synopsis

This paper deals with a prediction model for shoaling of random waves in shallow water including the surf zone. In this model, the wave height change of random waves is calculated by superposing that of regular waves under the assumption that the wave height change of individual random wave defined by the zero-up-cross method is equal to that of regular wave having the same height and period, and the applicability of the model is examined by the comparison with experimental data. The formula of nonlinear long wave shoaling by Shuto is used for the prediction of the wave height change before wave breaking, and the bore-model adopted by Battjes is used in a modified form for the prediction of the wave height change in the surf zone.

1. ま え が き

海岸付近に構造物を構築するためには、それに作用する種々の外力を十分把握しておく必要がある。中でも波浪は多くの場合海岸構造物に作用する外力として大きな役割を果たす。従来より浅海域における波の特性の変化を明らかにしようとする試みが数多くなされてきているが、そのうちのほとんどが波高の変化を実験的あるいは理論的に調べた研究である。

近年、実際の海の波にみられるような不規則性を考慮して構造物の設計外力を算定する必要性が強調され、そのため不規則波の波高変化を取扱った研究がいくつか報告されている^{1)~6)}。

Collins¹⁾および Battjes²⁾は深海域での波高分布として Rayleigh 分布を仮定し、浅海域では波高の大きな波が砕波限界波高を越えると碎けて、各水深に対応する砕波限界波高を保持するというモデルを考え、合田³⁾および樫木⁴⁾は砕波後は小さい波高の波に再生されるというモデルを与えた。一方、菅原⁵⁾や水口⁶⁾は、規則波の浅水変形と砕波後の波高変化が不規則波群の個々の波あるいは主要な波に対して適用できるとし、その結果を加え合わせることによって波群全体の波高変化を推定するというモデルを与えた。前者は計算結果のみを示し、後者は計算結果を若干の現地観測結果と比較している。

ここで、不規則波の波高変化モデルにおける問題点を挙げてみると、次のことがいえよう。

- (i) 合田のモデルでは、波高変化を空間的に連続な現象として取扱えない。
- (ii) 規則波を対象に計算した結果を加え合わせる、いわゆる波別解析法の妥当性については、まだ十分確証が得られていない。
- (iii) 不規則波の砕波現象自体、必ずしも十分に明らかにされていない。

本研究は、不規則波群の個々の波が規則波としての非線型の浅水変形を行い、砕波点に達したあとは bore 状の波となって進行するというモデルを考える。砕波後の波高変化については surf similarity parameter が含まれる Battjes⁷⁾ の bore モデルを修正して用いることにより、沖波波形勾配および斜面勾配の影響を導入できるようになる。次に、不規則波を用いた実験を行い、砕波現象を含めた浅海域の波高変化を調べる

とともに、上記のモデルを用いて得られる計算結果と実験結果とを比較することにより、そのモデルの妥当性を検討しようとするものである。

2. 規則波の浅海域での波高変化

2.1 碎波前の波高変化および碎波限界波高

深海域から浅海域に侵入した波浪は、水深の減少に伴い波高がいったん減少したのち増大するが、同時に波の峰が急峻となり波形の非対称性が著しくなって、ある限界に達すると急に砕けるに至る。規則波の浅水変形については、特に碎波点付近においては微小振幅波理論では表現できず、有限振幅波理論による必要がある。ここでは計算上の簡便さを考慮して、首藤⁹⁾の非線型長波理論による次式を用いることにした。

$$\left. \begin{aligned} \frac{gHT^2}{h^2} \leq 30 \text{ のとき, 微小振幅波理論} \\ 30 \leq \frac{gHT^2}{h^2} \leq 50 \text{ のとき, } Hh^{2/3} = \text{const.} \\ 50 \leq \frac{gHT^2}{h^2} \text{ のとき, } Hh^{5/2} \left(\sqrt{\frac{gHT^2}{h^2}} - 2\sqrt{3} \right) = \text{const.} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

上式を用いた理由としては、計算上の簡便さの他に、第3式がハイパボリック波の第1近似式を用いてエネルギーフラックスの保存式より求められる浅水変形式に一致することも理由の1つである⁹⁾。なお、式(2.1)の実際の計算は合田⁹⁾による方法を用いた。

碎波限界式については、合田¹⁰⁾が整理した碎波指標のうち、 $H_b/h_b \sim h_b/L_0$ の曲線群を数式化した次式を用いることにする。

$$\frac{H_b}{L_0} = A \left[1 - \exp \left\{ -1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \tan^{4/3} \theta) \right\} \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

ただし、 $A=0.17$, $\tan \theta$ は海底勾配、 L_0 は深海波の波長である。

2.2 碎波後の波高変化

碎波後の surf zone における波高変化を求めるために、エネルギー平衡式を導入し、bore 状態の波となって進行していく Battjes⁹⁾ のモデルを採用する。これは碎波後の波高変化に対して、沖波波形勾配および斜面勾配の影響が surf similarity parameter として導入できる利点があるからである。

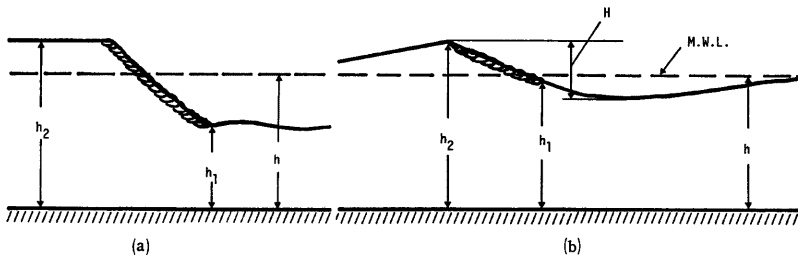


Fig. 1 Sketch of bore model after breaking

Fig.1(a)のように水深が h_2 と h_1 である一様流の2領域を結ぶ bore の単位幅当りのエネルギー逸散率 D' は次式で与えられる。

$$D' = \frac{1}{4} \rho g (h_2 - h_1)^3 \left\{ \frac{g(h_1 + h_2)}{2h_1 h_2} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (2.3)$$

ここで、 $h_1 \cdot h_2 = O(h^2)$ であるため、 D' は次のように書き換えられる。

$$D' = B' \frac{1}{4} \rho g \frac{(h_2 - h_1)^3}{h} (gh)^{1/2} \dots\dots\dots (2.4)$$

なお、 h は平均水深で、 B' は $O(1)$ の係数である。いま、上式を Fig.1(b) に示すような surf zone における砕波にこれを適用する。spilling 型砕波の場合、泡の領域の高さ ($h_2 - h_1$) は波高より小さく、これを $\beta'H$ ($\beta' \leq 1$) とおく。なお、 β' は次式で近似される¹⁾。

$$\beta' \simeq \frac{H}{\gamma h} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\gamma \simeq 0.7 + 5 \tan \theta \quad (0.01 \leq \tan \theta \leq 0.1) \dots\dots\dots (2.6)$$

その結果、泡の領域の高さは $(h_2 - h_1) = H^2 / (\gamma h)$ となり、これを式 (2.4) に代入すると次式のようになる。

$$D' = \frac{B'}{4\gamma^3} \rho g H^2 (gh)^{1/2} \left(\frac{H}{h}\right)^4 \dots\dots\dots (2.7)$$

式 (2.7) を単位面積当りの平均逸散率 D に書き換えると、波速を $c \simeq \sqrt{gh}$ として、

$$D = \frac{D'}{L} = \frac{D'}{cT} \simeq \frac{D'}{\sqrt{gh}T} = \frac{B}{4\gamma^3} \frac{\rho g H^2}{T} \left(\frac{H}{h}\right)^4 \dots\dots\dots (2.8)$$

となる。また単位幅当りのエネルギーフラックス P も同様に $c_e \simeq c \simeq \sqrt{gh}$ と与え、

$$P \simeq \frac{1}{8} \rho g H^2 (gh)^{1/2} \dots\dots\dots (2.9)$$

と近似される。

これらをエネルギー平衡式

$$\frac{dP}{dx} + D = 0 \dots\dots\dots (2.10)$$

に代入し、 $h = -x \tan \theta$, $\tilde{H} = H/H_0$, $\tilde{h} = h/h_0$ とおくと次のようになる。

$$\frac{d}{d\tilde{h}} (\tilde{H}^2 \tilde{h}^{1/2}) - K \tilde{H}^6 \tilde{h}^{-4} = 0 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$K = 2B\gamma \frac{(h_0/g)^{1/2}}{T \tan \theta} \dots\dots\dots (2.12)$$

式 (2.11) を境界条件 $\tilde{h} = 1$ において $\tilde{H} = 1$ として解くと、

$$\tilde{H}^{-4} = (1 - \frac{4}{9}K) \tilde{h} + \frac{4}{9}K \tilde{h}^{-1/2} \dots\dots\dots (2.13)$$

が得られる。なお、 K は $H_0 = \gamma h_0$, $L_0 = gT^2 / 2\pi$ とすると、

$$K = \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} B\gamma^{1/2} \xi_0^{-1} \simeq \left(\frac{2}{\pi}\right)^{1/2} B\gamma^{1/2} \xi_0^{-1} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\xi_0: \text{surf similarity parameter } (= \tan \theta / \sqrt{H_0/L_0})$$

となり、砕波後の波高は式 (2.13) で与えられる。

Singamsetti¹¹⁾は式 (2.13) と実験結果を比較し、一般的には実験結果をうまく表わせないとしているが、本研究ではこの式を用い、規則波の砕波後の波高変化を表現することを考える。そこで、まず汀線で波高が

0となる欠点を、静水深に wave set-up を考慮することで解決する。さらに、係数 B の値を一定とせず、水深の関数として与え、従来の実験の結果と一致するような波高変化を求められるようにする。

(a) 平均水位の変化 波が海岸に直角に入射し、沿岸方向に変化がないとすると、運動量保存の条件から平均水位の上昇量 $\bar{\eta}$ に関する次の方程式が得られる。

$$\frac{d\bar{\eta}}{dx} = -\frac{1}{\bar{\eta}+h} \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{8} H^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \right\} \dots\dots\dots (2.15)$$

式(2.15)より、波高の増大 ($dH/dx > 0$) に伴い平均水位は下降し (wave set-down)、波高の減少 ($dH/dx < 0$) に伴って平均水位は上昇する (wave set-up) ことがわかり、波高の変化が与えられれば平均水位の変化量が計算される。しかし、このようにして微小振幅波理論により求められる平均水位の変化量は、実測値よりも過大評価される傾向があることが報告されているので、ここでは式(2.15)より得られる平均水位の変化量を0.6倍したものをを用いる。

(b) 係数 B の決定 係数 B の値の決定には、Singamsettiら¹¹⁾の実験結果および佐伯ら¹²⁾の報告による(i)砕波後の surf zone は運動機構の異なる3領域に分けられる、(ii)斜面勾配 1/20 の場合を境にして波高減衰の様子が異なると思われる、の2点を考慮した上で、従来より数多く報告されている実験結果のうち、ここでは種々のデータを総括的にまとめたと思われる佐伯ら¹²⁾による結果と比較して、surf zone 内の波高減衰を最も近似し得るよう、 B の値を次のように決定した。

斜面勾配が1/20よりも急な場合

$$\left. \begin{array}{l} B=1 \quad \left(0.9 \leq \frac{h}{h_s} \leq 1.0 \right) \\ B=13 - \frac{40}{3} \frac{h}{h_s} \quad \left(0.6 \leq \frac{h}{h_s} \leq 0.9 \right) \\ B=5 \quad \left(\frac{h}{h_s} \leq 0.6 \right) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.16)$$

斜面勾配が1/20に等しいか、それよりも緩やかな場合

$$\left. \begin{array}{l} B=11 - 10 \frac{h}{h_s} \quad \left(0.6 \leq \frac{h}{h_s} \leq 1.0 \right) \\ B=5 \quad \left(\frac{h}{h_s} \leq 0.6 \right) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.17)$$

2.3 計算結果および考察

まず平均水位の変化量 $\bar{\eta}$ が0の状態各地点の波高変化を深海域より汀線まで計算し、次に(2.15)式を用いて平均水位の変化量の第1近似 $\bar{\eta}_1$ を求める。そして、初期水深 h に得られた平均水位の変化量を加え、新たな水深 $h + \bar{\eta}_1$ のもとで波高変化を計算しなおし、また(2.15)式を用いて平均水位の第2近似の変化量 $\bar{\eta}_2$ を求める。この繰り返しを、平均水位の変化量が1回前の計算結果と比べて1%以内に収束したのち、もう1回計算を行い最終結果とする。

Fig.2(a)は佐伯らの実験結果とこのようにして求めた計算結果 ($H_0/L_0=0.02$) とを比較したものである。この図から、 h/h_s が0.5付近では計算値の方が若干大きく、逆に汀線では若干小さくなるが、平均的には両者は良く一致していることがわかる。Fig.2(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であって、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、この傾向は中村ら¹³⁾の実験結果と同じである。ただし、 $h/h_s \geq 0.6$ では本計算結果の方が若干小さい値を示すようである。

2.4 規則波の波高変化に関する実験

(a) 実験装置および実験方法 実験は京都大学工学部土木系地下実験室に設置されている、長さ27m、幅50cm、高さ70cmの両面ガラス張り水槽を用いて行った。この水槽の一端には電気油圧式不規則波発生機が設置してある。なお、この装置は低周波発振器を内蔵しており、これにより規則波発生機として用いることが

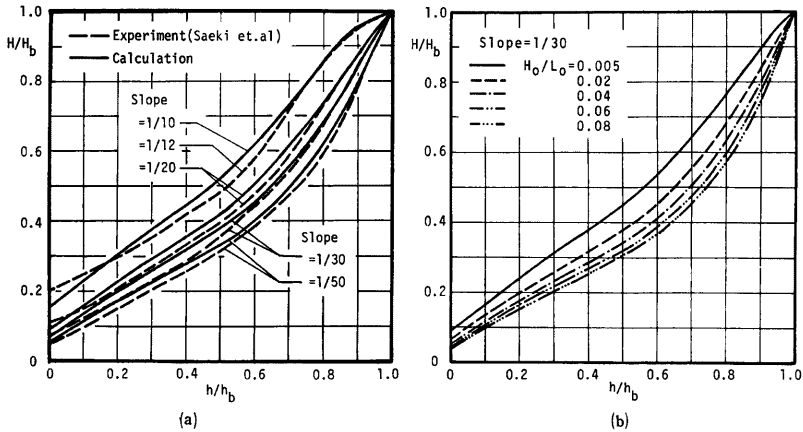


Fig. 2 Change of wave height after breaking

できるようになっている。斜面はアルミ製の板を用いた。また造波中、波による斜面の上下動揺を防止するため、斜面の下にコンクリートの角柱を置き、上からは直径1cmの鋼棒で押えつけ、さらに斜面と水槽側壁は布テープで密着した。

水位変動は容量式波高計を用いて測定し、ペン書きオシログラフに記録した。波高計は4台使用し、そのうち1台は一樣水深部分に固定し、残り3台を斜面上で移動させて測定した。

水深は一樣水深部で50cmと一定にした。斜面勾配は1/30, 1/20および1/10の一樣勾配とした。実験に用いた規則波は、沖波波形勾配が斜面勾配1/30, 1/20の時は0.005, 0.02, 0.04, 0.06, また1/10の時は0.02, 0.04, 0.06となるように、あらかじめ造波板の変位振幅を調整して起こした。また、それぞれの波形勾配に対して周期の異なる2種類の波を起こした。

波高の測定は、砕波後は水深変化を1cmごと（ただし斜面勾配1/10の時は2cmごと）に、また砕波前は特に砕波点付近が密になるようにした。解析には造波開始後、約100波通過したのち、おおよそ定常に達したと思われる部分の記録を用いた。

(b) **実験結果および考察** Fig. 3はこの実験で得られた波高変化を斜面勾配別に計算の結果とともにプロットしたもので、図中の曲線は計算結果である。ここでは横軸は静水深を沖波波長で、縦軸は波高を沖波波高で除して無次元化したものを用いた。これによると、斜面勾配1/10を除いて、実験値と計算値との対応はほぼ良好である。斜面勾配1/10の時は他の勾配の場合に比べて砕波後のデータが少ないが、これは飛沫の影響が大きく波形が安定せず、沖側の波高よりも大きくなることもあって、解析から除外したデータがあるためである。この傾向は沖波波形勾配が小さいほど顕著であった。また、周期は異なるが沖波波形勾配がほぼ同じであるケースの間には、あまりデータに差がないことが読み取れる。

実験結果と比較して計算結果の傾向を詳細にみると、砕波前は過大評価に、砕波直後は過小評価となり、そして汀線付近は過大評価となっている。砕波前の両者の差異については、底面および水槽側壁との摩擦による波高減少などが原因として挙げられる。

3. 不規則波の浅海域での波高変化

3.1 不規則波の波高変化の計算方法

前述の計算結果を不規則波に対して以下のように適用する。

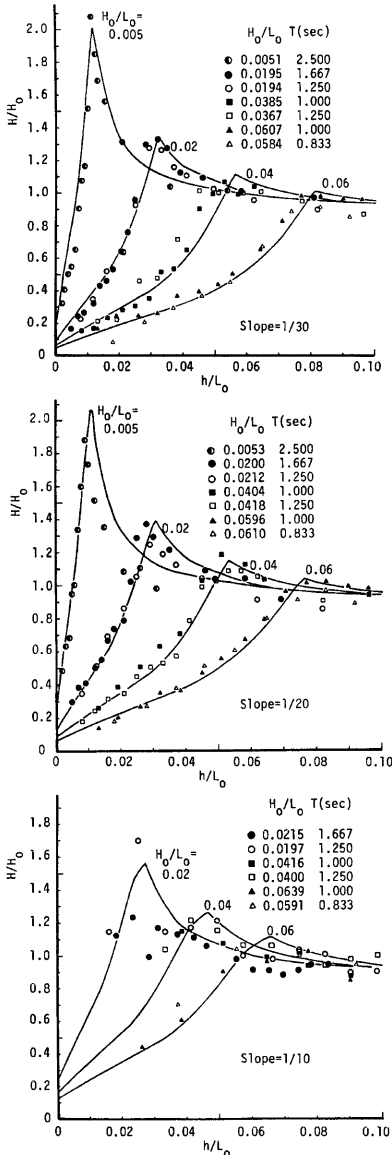
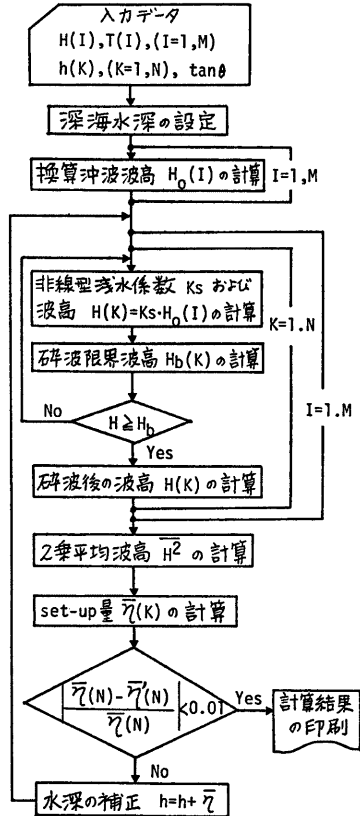


Fig. 3 Comparison between experimental data and theoretical result of wave height change



記号の説明
 H : 波高, T : 周期
 h : 水深, $\tan \theta$: 斜面勾配
 M : ゼロマップクロス波の数
 N : 地点数
 η : 平均水位の変化量

Fig. 4 Flow chart for calculation of wave height change of random waves

(a) **入力データ** 斜面勾配、一様水深部の水位記録よりゼロアップクロス法で得られる波高と周期ならびに波高を求めたい地点の水深を入力する。そして微小振幅波理論を用い、各波の換算沖波波高を求め計算を開始する。

(b) **深海水深の設定** 入力データのうち最大波長 $L_{max}=1.56T_{max}^2$ の1/2の水深が、入力データの最大水深のどちらか大きい方を深海水深とする。

(c) **碎波限界波高** 合田の碎波指標の近似式(2.2)を用いるが、係数Aの値については実験を行い検討する。

(d) **平均水位の変化** 各地点の波高の2乗平均値を用い、式(2.15)より求める。

(e) **全体的な計算の流れ** 平均水位の変化量が収束するまで行う。

Fig.4 にその場合の計算のフローを示す。

3.2 不規則波の波高変化に関する実験

(a) **実験装置および実験方法** 実験に用いた水槽および不規則波発生機は 2.1(a) で述べたものと同じである。

まず、不規則波の碎波限界波高の検討のため、一様斜面上の碎波の様子を 16mm シネカメラで撮影した。使用したシネカメラは、BOLEX H16 SB である。レンズは Cine-NIKKOR 1 : 1.8 f=10mm および SW-ITAR 1 : 1.8 f=16mm である。フィルムはコダック ASA400 で、コマ送り速度は毎秒18コマ、しぼりは F4 を用いた。なお、今回の実験では静水面と斜面上端部を一致するようにした。その理由は、従来不規則波は碎波しやすくと報告されており、その原因として非定常なもどり流れが考えられるため、斜面上端部と静水面を一致させることによって、もどり流れの影響が少なくなるのではないかと考えたからである。

不規則波の浅海域における波高変化の測定には容量式波高計11台用い、14チャンネルレコーダーに記録した。

実験に用いた不規則波は、岩垣・木村¹⁴⁾による Pierson-Moskowitz 型スペクトルをシミュレートしたもので、そのスペクトルのピーク周波数は、 $f_p=0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2\text{Hz}$ の5種類、斜面勾配は1/30, 1/20, 1/10の3種類を用いた。

Table 1 は各実験ケースの不規則波の諸元を示したものである。 $H_{max}, H_{1/3}, \bar{H}, T_{max}, T_{1/3}, \bar{T}$ はそれぞれ

Table 1 Characteristics of random wave data at uniform depth of 50cm

Slope	Case No.	H'_0 (cm)	H'_0/L'_0	H_{max} (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	\bar{H} (cm)	T_{max} (sec)	$T_{1/3}$ (sec)	\bar{T} (sec)
1/30	1	5.71	0.0073	9.48	5.62	3.52	2.040	2.245	1.875
	2	8.92	0.0248	15.34	8.16	5.26	1.360	1.519	1.293
	3	11.42	0.0497	19.15	10.53	6.64	1.240	1.214	1.092
	4	10.64	0.0641	17.36	10.10	6.35	1.160	1.031	0.967
	5	9.70	0.0766	14.89	9.46	6.11	1.000	0.901	0.870
1/20	6	5.62	0.0069	9.68	5.56	3.53	2.040	2.281	1.893
	7	8.53	0.0234	15.02	7.81	5.06	1.640	1.528	1.314
	8	10.78	0.0473	18.30	9.95	6.33	1.160	1.209	1.111
	9	10.14	0.0601	16.29	9.61	6.09	1.000	1.040	0.997
	10	9.42	0.0700	15.11	9.14	5.87	1.040	0.929	0.913
1/10	11	7.81	0.0214	13.16	7.15	4.63	1.640	1.531	1.313
	12	10.12	0.0416	16.38	9.30	5.99	1.200	1.248	1.126
	13	9.28	0.0556	17.20	8.81	5.60	1.040	1.035	0.975
	14	8.49	0.0643	14.06	8.24	5.27	0.920	0.920	0.896

一様水深部50cmでの水位記録を解析して得られた、最大波、有義波、平均波の波高および周期である。また、 H_0 、 H_0/L_0 はそれぞれ微小振幅波理論を用いて求めた、換算沖波波高および換算沖波波形勾配である。

碎波限界波高の検討のための写真撮影は Case No. 3, 5, 8, 10 (以後、例えば Case No. 3 は C-3 と略す) に対して、水深15cm付近で行った。撮影したフィルムは現象の後、フィルムモーション・アナライザーによって碎波波高、碎波波長および碎波水深を読み取った。

14チャンネルデータレコーダーに記録した水位記録は、0.04sec ごとに A-D 変換を行った後解析に用いた。

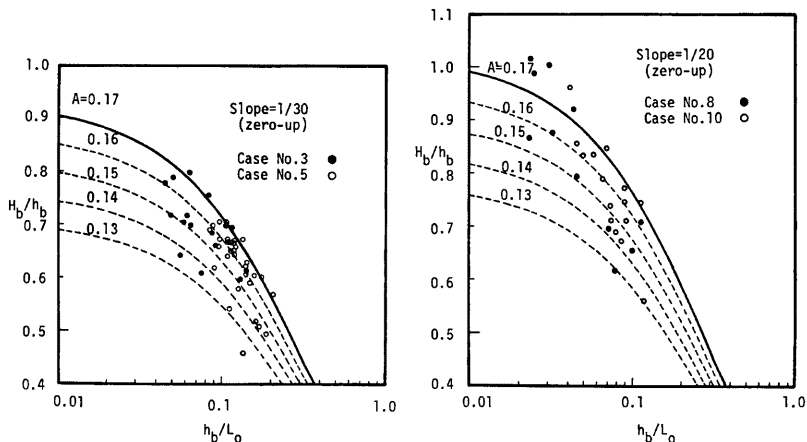


Fig. 5 Relationships between H_b/h_b and h_b/L_0 for random waves (zero-up-cross method)

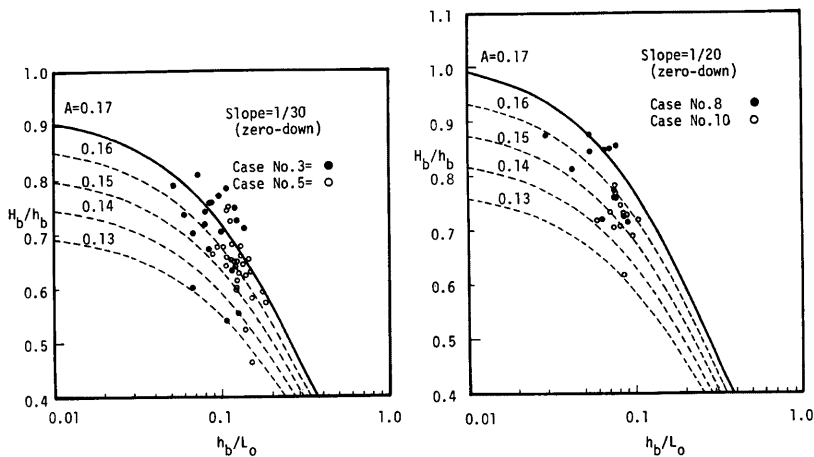


Fig. 6 Relationships between H_b/h_b and h_b/L_0 for random waves (zero-down-cross method)

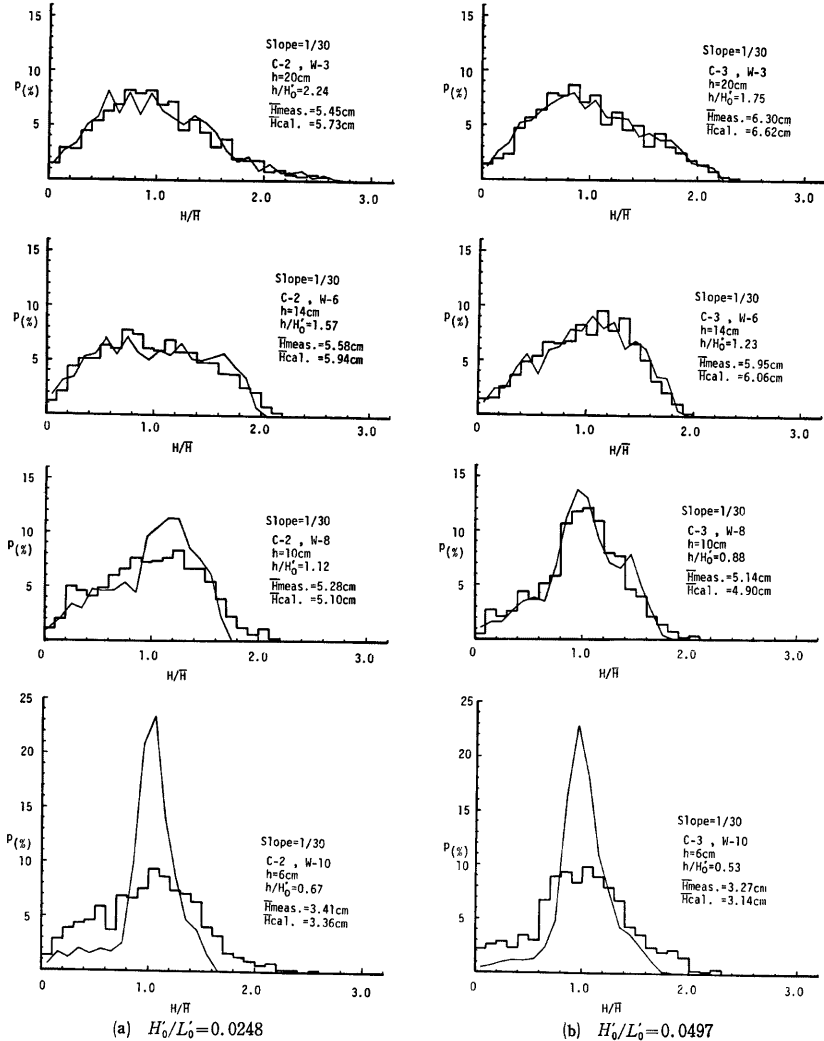
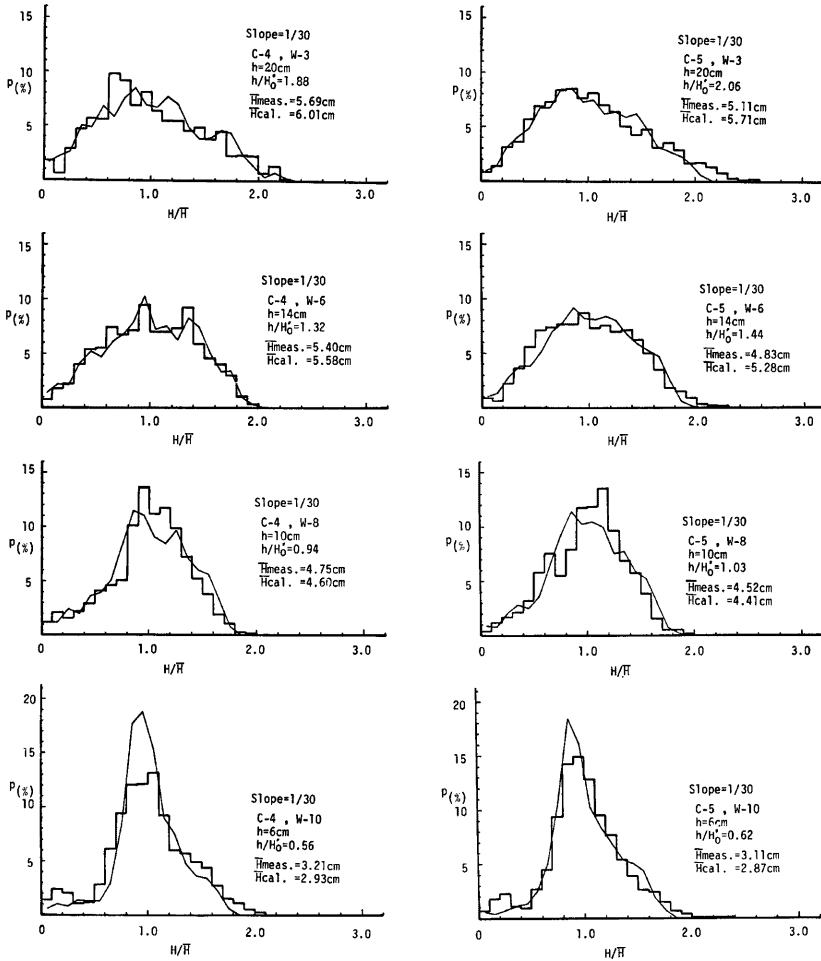


Fig. 7 Change of frequency distribution of wave height with decrease in water depth on uniform slope (1)



(c) $H_0/L_0=0.0641$

(d) $H_0/L_0=0.0766$

Fig. 7 Change of frequency distribution of wave height with decrease in water depth on uniform slope (2)

(b) 実験結果および考察 Fig. 5 は一様斜面上での砕波限界を H_b/h_s と h_s/L_0 の関係でまとめたものである。沖波波長 L_0 は砕波時の波長より微小振幅波理論を用いて求めた。また、この図は空間的なゼロアップクロス法で読み取ったものである。図中の実線は式 (2.2) を示したもので、破線は式中の係数 A の値を 0.13~0.16 まで変化させたものである。この図から、両斜面勾配の場合とも h_s/L_0 が増加するにつれ H_b/h_s が減少する傾向がみられる。実験値のばらつきは大きい、式 (2.2) の値より若干小さめであると思われる。また、もどり流れの影響は多少少なくなっていると思われ、岩垣・木村¹⁵⁾の実験結果に比べ、 H_b/h_s が若干大きい。

Fig. 6 は Fig. 5 と同一の波をゼロダウンクロス法で定義した結果をまとめたものである。Fig. 5 に比べ h_s/L_0 の変域が狭くなるのがわかるが、どちらもあまり差がないようである。

不規則波の砕波限界を決定するために、ここでは式 (2.2) よりも若干小さく $A=0.16$ とするが、Figs. 5, 6

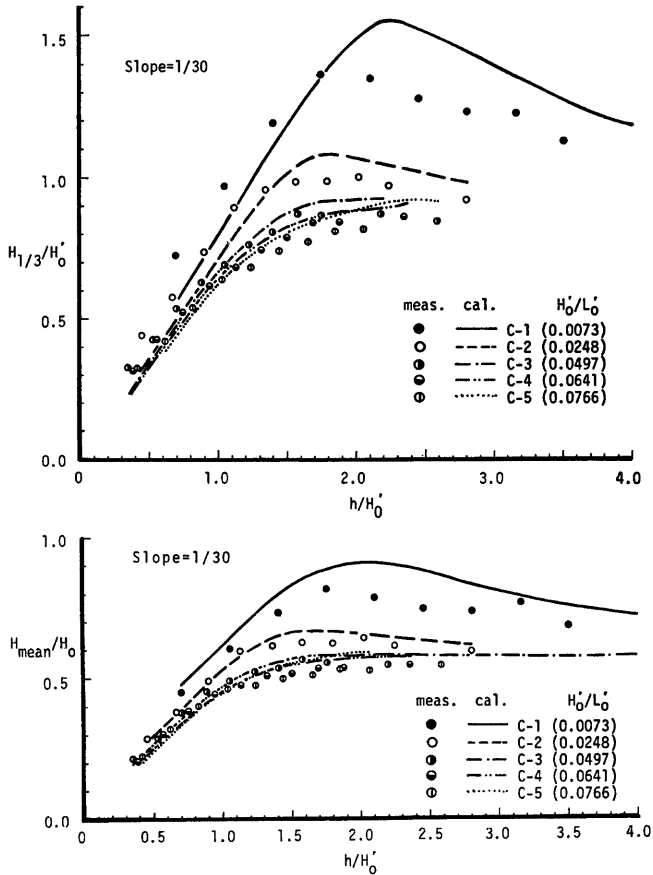


Fig. 8 Change of significant and mean wave heights of random waves in shallow water for 1/30 beach slope

のようなばらつきがあることに注意しなければならない。

Fig. 7 は斜面勾配 1/30 のときの水深減少にともなう波高の頻度分布の変化を示したもので、図中の折線は計算結果である。実験結果はゼロアップクロス法でまとめた。また、図中に Case No. と各地点の水深、水深換算沖波波高比および実験値と計算値の平均波高を示してある。これらの図から、実験値と計算値を比較すると、(i)水深の深い所 (14cm以深) では両者の対応はよいこと、(ii)沖波波形勾配が小さい場合、水深の浅い地点で両者の対応が悪くなること、がわかる。沖波波形勾配が小さく水深の浅い地点の波高分布の実験結果をみると計算結果に比べて平坦な形をしており、合田³⁾ が示したものと異なっている。この点については岩垣・木村⁶⁾ のデータを利用し、解析して今後検討するつもりである。

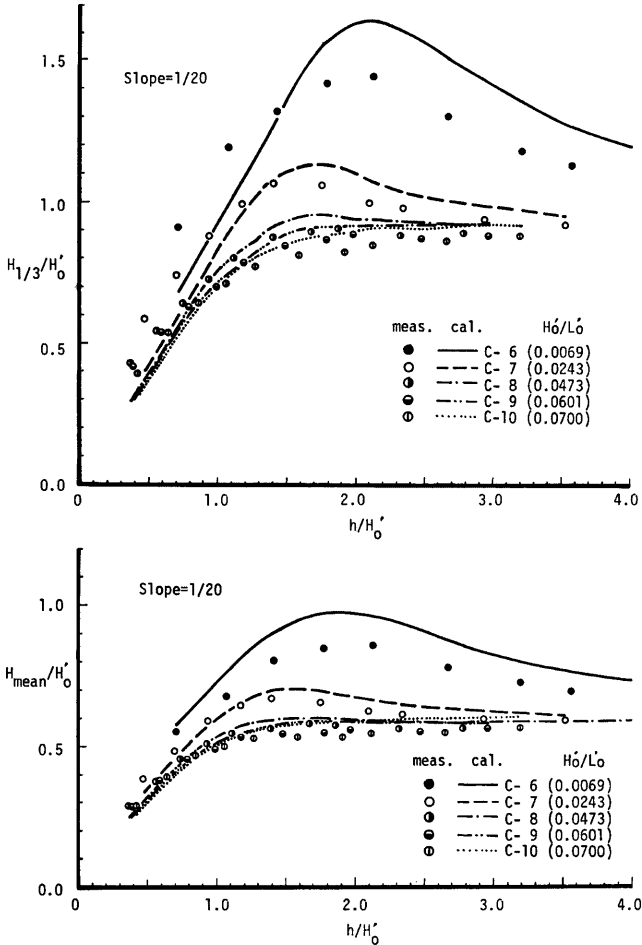


Fig. 9 Change of significant and mean wave heights of random waves in shallow water for 1/20 beach slope

Fig. 8~10 は斜面勾配別に水深減少にともなう有義波高の変化(図の上段)と平均波高の変化(図の下段)をプロットしたものである。実験結果をみると、規則波のような碎波後の急激な減少はみられず、また沖波波形勾配が小さくなるにつれて $H_{1/3}/H'_0$ あるいは H_{mean}/H'_0 が大きくなっているのがわかる。計算結果の方も実験結果とはほぼ同様の傾向を示しているが、碎波帯以深では過大評価、汀線に近づくると過小評価となっており、特に有義波高の変化に顕著に現われている。水深の浅い地点での過小評価については、規則波の碎波後の波高減衰に比べ不規則波のそれが小さいためではないかと思われるが、この点についても今後検討しなければならない。

Fig. 11 は合田³⁾のモデルによる波高算定図に今回の実験結果をプロットしたものである。両者を比較すると、本計算結果と同様に、一般に碎波前は計算値の方が大きく、碎波後では逆に実験値が大きい。合田は実験値と計算値を比較する場合、実験においてはサーフビートによる影響が大きいととして、水深にその効果

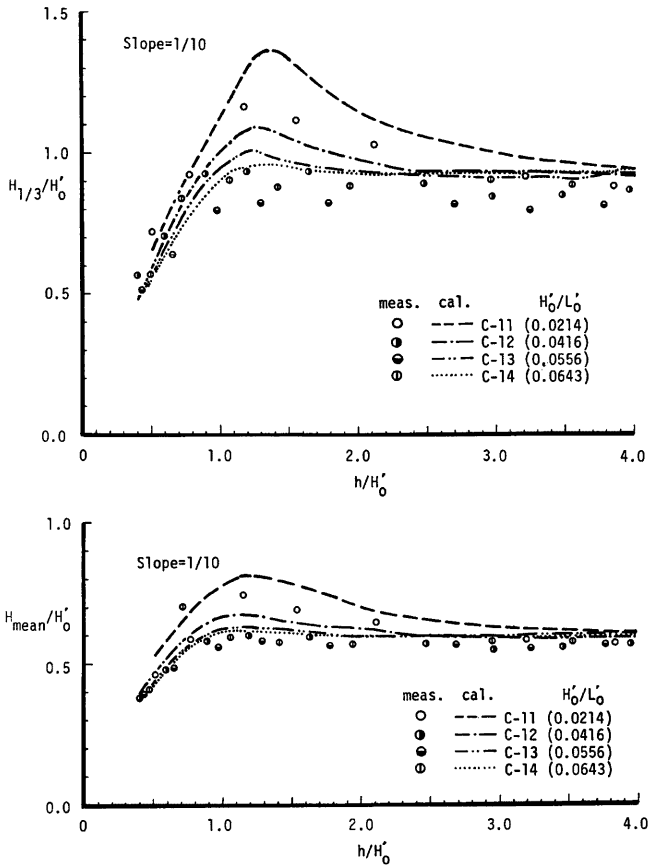


Fig. 10 Change of significant and mean wave heights of random waves in shallow water for 1/10 beach slope

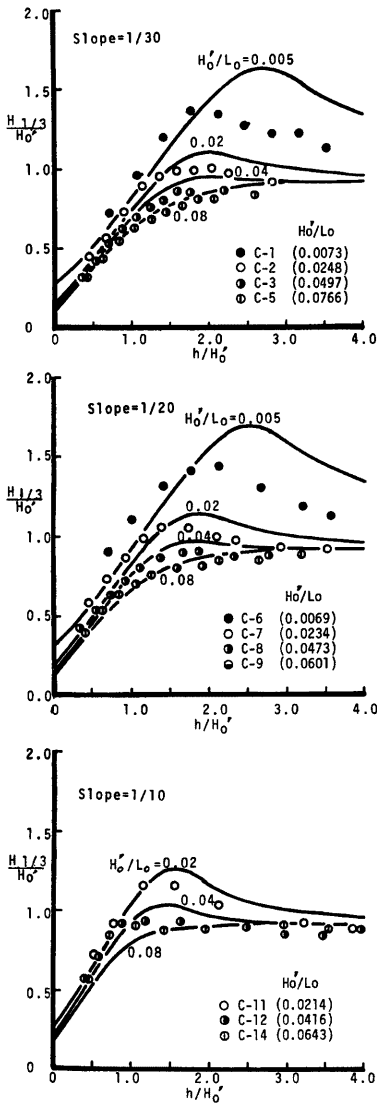


Fig. 11 Comparison between prediction of significant wave height change by Goda's model and experimental results

を加えて砕波限界波高を大きくすることによって補正を行っている。しかし、実験結果をみると、水深の浅い地点の波高の大きな波は砕波後の波のようであり、砕波限界を大きくする方法は必ずしも妥当ではない。

4. 結 語

本研究は、まず規則波の波高変化の計算モデルを作り、実験を行ってその妥当性を調べた。次に不規則波の実験を行い、不規則波の砕波限界および浅海域の波高変化について調べ、規則波の計算結果を不規則波の個々の波について適用した結果と比較した。その主な結果は次のようである。

- (1) 規則波の波高変化に対しては、計算モデルはほぼ良好な結果を得た。ただし、わずかに砕波前と汀線付近で過大評価となる。
- (2) 不規則波の砕波限界については、合田の砕波指標は一応の上限を示す。また、ゼロアップクロス法とゼロダウンクロス法の定義による差はあまりなかった。
- (3) 規則波の波高変化の計算モデルを不規則波の個々の波に適用した結果は、特に沖波波形勾配が小さい時十分な精度で実験結果を表わし得なかった。

最後に、実験に協力して頂いた、当時学部学生駒口友章君(日本テトラポッド株式会社)に感謝の意を表わすとともに、この研究は文部省科学研究費自然災害特別研究(1)による一部であることを付記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) Collins, J. I. : Probabilities of breaking wave characteristics, Proc. 12th Coastal Eng. Conf., 1970, pp. 399~414.
- 2) Battjes, J. A. and J. P. F. M. Janssen : Energy loss and set-up due to breaking of random waves, Proc. 16th Coastal Eng. Conf., 1978, pp. 569~587.
- 3) 合田良実 : 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, 1975, pp. 59~106.
- 4) 樺木 亨・岩田好一郎・東 俊夫 : 不規則波による平均水位変動に関する研究, 第25回海岸工学講演会論文集, 1978, pp. 184~188.
- 5) 菅原輝男・山本正昭 : 波の浅水変形計算モデル, 第25回海岸工学講演会論文集, 1978, pp. 80~84.
- 6) 水口 優・松田仲次 : 現地不規則波浪の浅水変形について, 第27回海岸工学講演会論文集, 1980,

- pp. 134~138.
- 7) Battjes, J. A. : Energy dissipation in breaking solitary and periodic waves, Manuscript, Delft University of Technology, 1978.
 - 8) 首藤伸夫：非線型長波の変形—水路幅、水深の変化する場合—, 第21回海岸工学講演会論文集, 1974, pp. 57~63.
 - 9) 岩垣雄一・塩田啓介・土居宏行：有限振幅波の浅水変形と屈折係数, 第28回海岸工学講演会論文集, 1980, pp. 101~105.
 - 10) 合田良実：碎波指標の整理について, 土木学会論文報告集, 第180号, 1970, pp. 39~49.
 - 11) Singamsetti, S. R. and H. G. Wind : Breaking waves characteristics of shoaling and breaking periodic waves normally incident to plane beaches of constant slope, Delft Hydraulics Laboratory, Report on Investigation, M1371, 1980.
 - 12) 佐伯 浩・佐々木幹夫：碎波後の波の変形に関する研究(2), 第21回海岸工学講演会論文集, 1974, pp. 39~44.
 - 13) 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄：碎波による波の変形に関する研究, 第13回海岸工学講演会講演集, 1966, pp. 71~75.
 - 14) 岩垣雄一・木村 晃：不規則波発生機による現地波浪のシミュレーションシステム, 第21回海岸工学講演会論文集, 1974, pp. 231~235.
 - 15) 岩垣雄一・木村 晃・岸田典史：斜面上における不規則波の碎波に関する研究, 第24回海岸工学講演会論文集, 1977, pp. 102~106.
 - 16) 岩垣雄一・木村 晃：浅海域における不規則波の分散特性について, 京都大学防災研究所年報, 第20号B-2, 1977, pp. 493~512.