

斜面上の不規則波の碎波条件について

水 口 優*・渡 部 武 士**・竹 村 要一***・伊 藤 満****

1. はじめに

斜面上での不規則波浪の碎波条件については既にかんりの数の研究がある。例えば、合田 (1973)¹⁾, Battjes and Janssen (1978)²⁾, Guza and Thornton (1983)³⁾ などは、不規則波の碎波変形 (モデル) を扱う中で碎波現象を確率的に扱う手法を論じている。一方、菅原・山本 (1978)⁴⁾, 水口・松田 (1980)⁵⁾, 間瀬ら (1986)⁶⁾ などは不規則波中の個々の波を規則波に置き換えるという形で、浅水碎波変形 (モデル) に取り組み、その中で個々の波の碎波条件としても規則波のものを援用している。これ以外にも不規則波の碎波後の変形を扱ったものとしては、磯部ら (1980)⁷⁾, 樫木ら (1980)⁸⁾ などの実験的研究がある。特に、不規則波列中の個々の波の碎波条件について扱っているのは、岩垣ら (1977)⁹⁾, 堀田ら (1984)¹⁰⁾, 木村・瀬山 (1986)¹¹⁾, 水口ら (1987)¹²⁾ などである。このうち堀田ら (1984)¹⁰⁾ および水口ら (1987)¹²⁾ は現地観測データに基づく議論ではあるが碎波点付近では波浪はほぼ二次元的と見なせ、まずは単一方向の不規則波と同様に扱って良いであろう。

以上のような研究の結果、これまでに得られている結論は、要約すると、1) 波別解析法によって定義される個々の波の碎波条件は規則波と同様に整理すると、非常にばらつくこと、2) ただし平均的には規則波に比べて碎波しやすい (小さな波高で碎ける) ということであろう。本論文ではまず、そのばらつき (および碎波し易さ) の原因を二成分合成波を用いた室内実験によって明らかにする。それをもとに、規則波の碎波指標を修正する形で、前後の波の影響に着目した不規則波の碎波指標の実験式を提案する。さらにその式を現地観測結果に適用してその妥当性と問題点を示す。

2. 二成分合成波を用いた室内実験

実験は、長さ 20 m 幅 30 cm 高さ 45 cm の造波水路の

一端に 1/20 の一様勾配斜面を設置し、一様水深部の水深を 30 cm として行った。造波機はいわゆる吸収型 (または無反射型) でフラップ型のものである。実験に用いた波は碎波点付近で波別解析法的に見ても種々の組合せの二成分合成波となるように次のようにして発生させた。すなわち、造波板駆動モーターへの入力信号として、基本の波は周波数 1 Hz で沖波波高約 3 cm のものを取り、二次成分波としてその半分の周波数 (倍周期) のものを振幅比 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 位相のずれを 0 から $(21/20)\pi$ まで $\pi/20$ づつずらして重ね合わせて、合計 88 ケースをマイコン (SORD M343 SXII) 内で作成した。ついでそれを DA 変換してアナログデータレコーダーに収録し造波機に入力、波を発生させた。さらに振幅比 0 の規則波のケースについては基本の波の波高を変えて 13 ケースの実験を行った。

実験においてはビデオカメラを用いて碎波点付近の状況を撮影し、コマ送り再生状態で碎波点 (一般に二カ所) を確認して、そこに容量式波高計を設置して再度同じ波を作用させ、碎波点での水位変動を測定した。碎波点の定義は波形が本格的に崩れ始める地点とした。波高計の出力はサンプリング周波数 50 Hz で (TEAC DR-2000) にデジタル収録し、マイコンを用いて処理した。

3. 実験データの処理と解析

得られた水位変動データには合成波であるため長周期 (約 30 s) の変動がみられた。そこで以下の波別解析法で取り出した量はすべて基本波の 30 波分の平均量である。データ処理としては、ゼロダウクロス法により個々の波を定義すると共に、前後の波の影響も調べられるように図-1 に示すような種々の量も取り出した。その結果として合計 101 ケースからなるデータベースを得た。

個々の波の局所的な碎波条件として波高水深比 $(H/d)_B$ を換算沖波波長に対する相対水深 $(d/L_0)_B$ に対してプロットしてみたところ、図-2 に示すように不規則波の場合 (例えば、木村・瀬山 (1986)¹¹⁾ 参照) と同様なばらつきぐあいを示した。

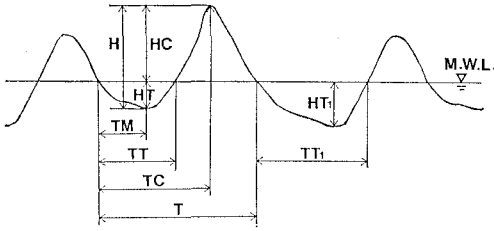
図-3 は、横軸に合田 (1973)¹⁾ 型の規則波の碎波条

* 正会員 工博 中央大学助教授 理工学部土木工学科

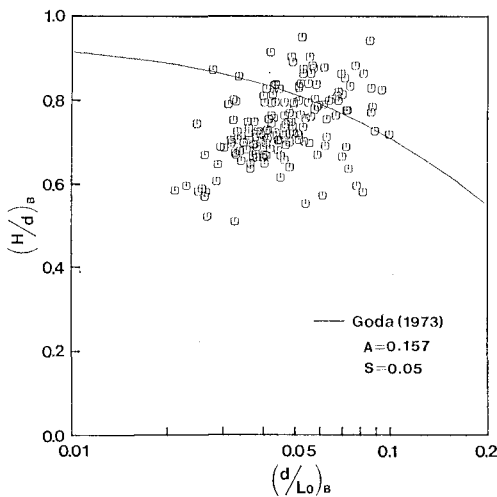
** 正会員 中央大学技術員 理工学部土木工学科

*** 中央大学学生 (現大旺建設)

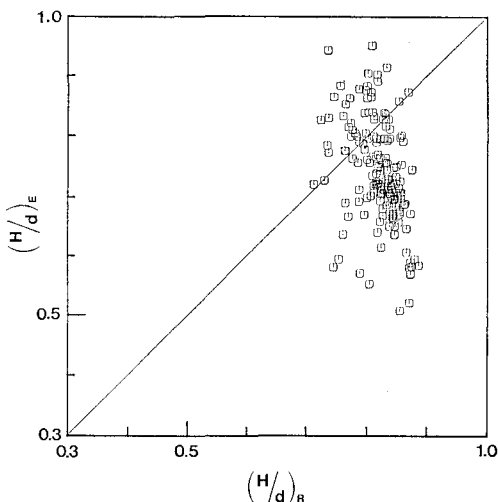
**** 中央大学学生 (現積水化学工業)



図—1 二成分合成波において波別解析法によって定義される波の諸元



図—2 二成分合成波の局所的な碎波条件



図—3 二成分合成波における個々の波と規則波の碎波時波高水深比の比較

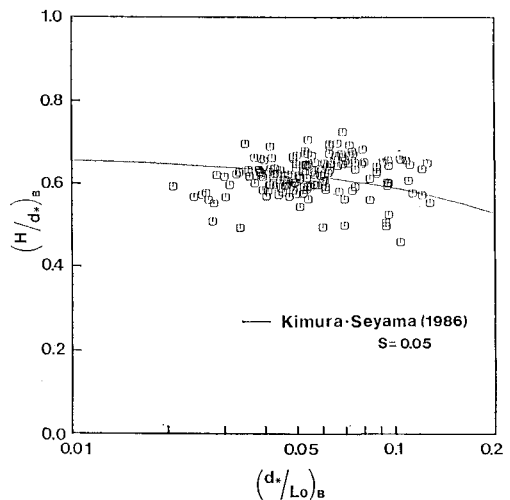
件の実験式 (1) による波高水深比 $(H/d)_R$ を、縦軸に実測値 $(H/d)_E$ をとってプロットしたものである。

$$(H/d)_R = A[1 - \exp\{-B\pi d/L_0(1 + K \tan^s \theta)\}]$$

$$\times L_0/d + C \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $B=1.5$ 、 $C=0$ 、 $k=15$ 、 $s=4/3$ であり、 $L_0=gT^2/2\pi$ である。 A の値は合田 (1973)¹⁾ によれば、0.17 である。しかしながら、菅原・山本 (1978)⁴⁾ も指摘するように、式 (1) の値は合田 (1970)¹³⁾ における原図に比べて大きめの値を与える。ちなみに式 (1) における、斜面勾配 0 での浅海域の極限值は $(H/d)_R=0.80$ である。本論文では今回の実験のなかの規則波の結果に式 (1) をあてはめたときに平均値として得られた $A=0.157$ を用いるものとする。図—3 より規則波的にはほぼ一定の波高水深比で碎けることが期待されているにもかかわらず、実験では波高水深比の広い範囲にばらついているのがわかる。参考までに図—4 に木村・瀬山 (1986)¹¹⁾ による修正水深 d_* を用いた場合の結果も示す。確かに縦軸方向のばらつきは小さくなるがその主たる原因は $H/d_* \equiv (H/d)/(1 + (H/d)/2)$ なる変数変換によるものであり、そこに不規則波の碎波条件としての物理的な意味を見つけるのは難しいと思われる。

ここでは、前後の波の影響こそが、ほぼ非分散と見なせる浅海域での不規則波の碎波にばらつきをもたらしているものとする。その影響を表す指標と考えられるいろいろなパラメータを横軸 (図—1 参照) にとり、縦軸には実測の碎波時の波高水深比 $(H/d)_E$ と規則波の実験式 (1) (ただし、 $A=0.157$) から求まる波高水深比 $(H/d)_R$ の比を取って図を作成し検討した。その結果、予想され


 図—4 二成分合成波の局所的な碎波条件 (木村・瀬山 (1986) の修正水深 d_* を用いた場合)

図中の実線は木村・瀬山の実験式で、式 (1) の d を d_* に変えてさらに $A=0.16$ 、 $B=0.8$ 、 $C=-0.96 \tan \theta + 0.2$ と取るものである。

るように、碎波している波の峰を含む形でゼロアップクロス法で定義される波の波高 HU ($=H-HT+HT_1$, すなわち後ろの谷の深さ) と周期 TU ($=T-TT+TT_1$, 後ろの谷の広さ) の影響がきれいにでた. 図-5(a), (b) は, 横軸に HU/H , パラメータとして TU/T を取った場合のものである. 後続の谷が前の谷に比して相対的に深い (HU/H が大きい) ほど碎けやすく, 相対的に広い (TU/T が大きい) ほど碎けにくいことがわかる. この事は, 後ろの谷が深くてもそれが峰に近いほど, 波峰に対する実質的水深が小さくなり, 波峰の変形が著しくなり碎波しやすくなると解釈される. なお, TU/T の影響を無視すると全体としては右上がり, すなわち磯部ら(1980)⁷⁾が見たように HU/H が大きいほど碎けにくい様に見えるのに注意されたい. 図-5(a), (b) の結果

に最小自乗法を用いて最適曲線を求めたものが図中の実線であり, 次式(2)である.

$$\begin{aligned} (H/d)_{IR}/(H/d)_R \\ = 0.57(HU/H)^{-TU/T} \exp\{0.46(TU/T)\} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(2)は, $TU/T=1$, $HU/H=1$ の時, $(H/d)_{IR}=0.90$ ($(H/d)_R$ となる. 0.90 という数字が 1.0 より小さいということの不規則波(合成波)の方が規則波より碎波し易いともいえるが, 今回のような二成分合成波では $HU/H=TU/T=1$ は規則波と同じ事であり納得し難いことである. ここでは, 規則波の碎波指標式(1)が実は $A=0.157$ と取っても過大評価で $A=0.14$ 程度が妥当な数字なのではないかと指摘するにとどめたい. なお, その場合は(2)式も若干の修正を要する.

図-6 は念のために式(2)による計算値 $(H/d)_{IR}$ と実測値 $(H/d)_E$ を比較したものである. 当然の事ながら図-2と比較して相関が高い. ちなみに相関係数の値は図-2で, 0.40, 図-6で0.72である.

4. 現地観測結果への適用

16 mm カメラで撮影された現地の波形データのなかから碎波しているものを取り出して同じように処理して比較したものが図-7および図-8である. データは観測名 Ex 800902-1 (B) のものである. 現地観測については詳しくは水口ら(1987)¹²⁾を参照されたい. 図-7よりわかるように, 規則波的に見ればほぼ単一の波高水深比で碎けることになるのに対して, (前)後の波の影響を考慮した場合は傾きが, 図-8に見られるように1の直線のまわりにばらつき, 相関係数の値も高くなる. なお, 不規則性を考慮してもまだばらつきが大きいのは現地における波浪の三次元性, 斜面勾配の非一様性の影響が大きいとも考えられる. 今後,

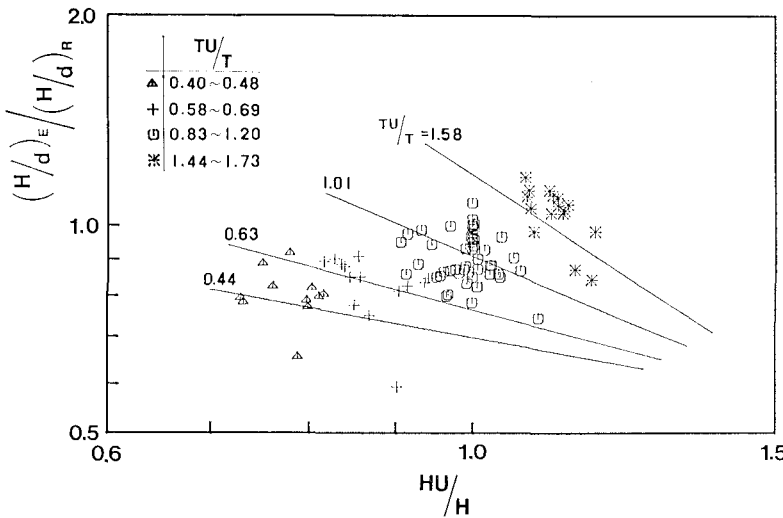


図-5(a) 二成分合成波の碎波における(前)後の波の影響

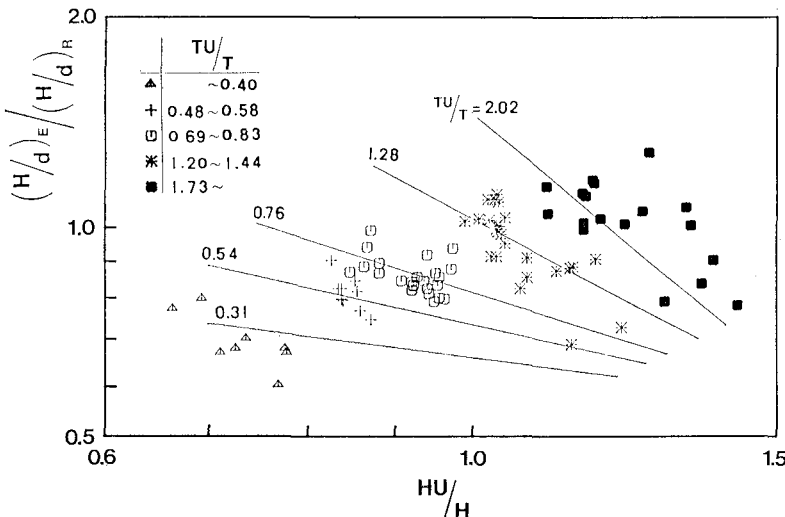


図-5(b) 二成分合成波の碎波における(前)後の波の影響

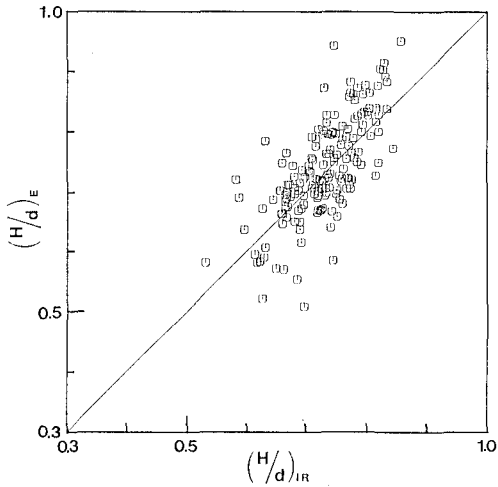


図-6 二成分合成波の碎波時波高水深比からみた実験式と実験値の比較

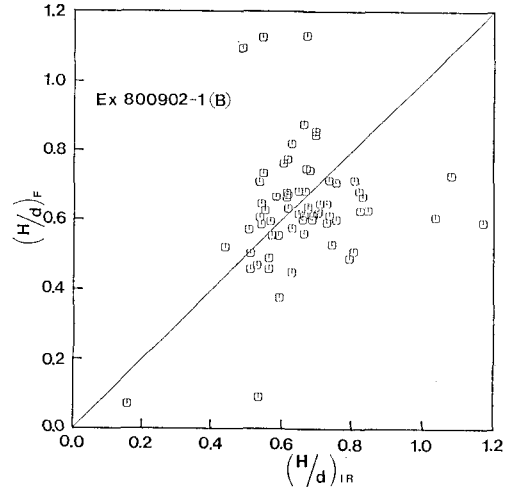


図-8 現地波浪の個々の波の碎波条件 — 不規則波の実験式との比較 (相関係数は 0.41 である.)

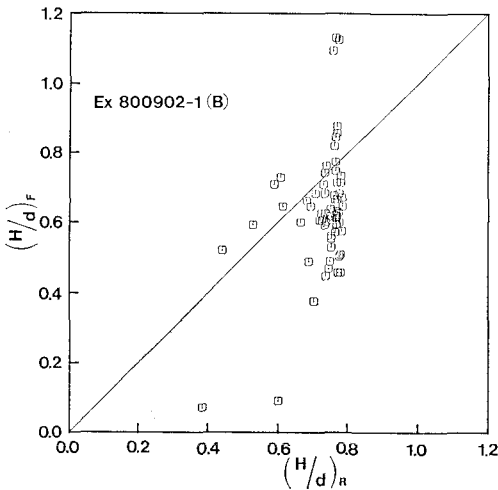


図-7 現地波浪の個々の波の碎波条件 — 規則波の実験式との比較 (相関係数は 0.22 である.)

室内での単一方向不規則波の一樣勾配面上でのデータと比較してみたい。

5. おわりに

不規則波においてゼロダウンクロス法で定義される個々の波の碎波条件が規則波の場合と比べてばらつく (異なる?) ことの原因は、まず後続の谷の影響にあることを二成分合成波の碎波に関する実験を行うことにより明

らかにした。ついで、それを定量的に表す実験式 (2) を得た。その実験式を現地波浪の碎波条件に適用したところ現地データの傾向をある程度説明し得ることがわかった。

参 考 文 献

- 1) 合田良実(1973), 第 20 回海岸工学講演会論文集, pp. 571-577.
- 2) Battjes, J. A. and J. P. F. M. Janssen (1978), Proc. 16th ICCE, Sydney, pp. 569-587.
- 3) Thornton, E. B. and G. T. Guza (1983), 88 (c1), 5925-5938.
- 4) 菅原輝男・山本正昭 (1978), 第 25 回海岸工学講演会論文集, pp. 80-84.
- 5) 水口 優・松田仲次 (1980), 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
- 6) 間瀬 肇・松本明夫・岩垣雄一(1986), 土木学会論文集, pp. 221-230.
- 7) 磯部雅彦・西村仁嗣・柄登志彦 (1980), 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 139-142.
- 8) 榎木 亨・岩田好一朗・石井敏之 (1980), 第 27 回海岸工学講演会論文集, pp. 143-147.
- 9) 岩垣雄一・木村 晃・岸田典史 (1977), 第 24 回海岸工学講演会論文集, pp. 102-106.
- 10) 堀田新太郎・磯部雅彦・泉宮尊司・遠藤真人 (1984), 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 44-48.
- 11) 木村 晃・瀬山 明 (1986), 第 33 回海岸工学講演会論文集, pp. 174-178.
- 12) 水口 優・堀田新太郎・中村孝志・川崎隆之 (1987), 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 152-156.
- 13) 合田良実(1970), 土木学会論文報告集, 180 号, pp. 39-49.