

急勾配不透水性斜面による波の反射に関する実験

苫小牧工業高等専門学校 正会員 相馬英敏
 苫小牧工業高等専門学校 正会員 石塚耕一
 室蘭工業大学 正会員 近藤徹郎

1. まえがき

最近わが国の各地で海岸侵食が顕著になっており、深刻な問題になっているケースが少なくない。海岸侵食の原因としてさまざまな要因が考えられるが、その中でも直接的要因である波動エネルギーと自然海浜地形あるいは海岸保全施設との相互作用によって生ずる波の打上げ、越波および反射の特性を追究することは基本的に重要なことと考えられる。この中でも波の反射は、入射波エネルギーの一部が沖へ伝達される現象であり、そのエネルギーの大きさによっても侵食の状況が変化することは周知されている。反射率の実験的推定は、1953年、J. J. Healy が開発した算出法を使ってかなり定量的に把握できる。また理論的には、Hiche (1944) により、反射率はのり面勾配角、補正係数(不透水面の粗滑による) ρ 、入射波波形勾配 $\frac{H}{L}$ の関数であると報告されている。また日本でもこれらの関連性を追究する研究も数多く報告されている。^{1), 2), 3)} しかしながら、反射率や打上げ高に影響する要素は、きわめて多くて複雑でありいまだ不明に残されている現象が少なくない。着者等は急勾配斜面を対称として、簡単な不透水性反射板を使用し波の打上げ、反射に影響を及ぼすと考えられるのり面勾配角、波波形勾配、反射板の粗滑・断面形状などの諸要素について実験的に調べその特性を考察したので、その結果を報告する。

2. 実験方法

実験は長さ19.7m、幅0.9m、高さ1.0mのパネル式造波装置が設置されている両面ガラス張りの二次元規則波造波水槽で水平底にして行なわれた。実験装置の配置はFig. 1 のようであった。模型不透水性反射面はFig. 2 のように次の三種類である。

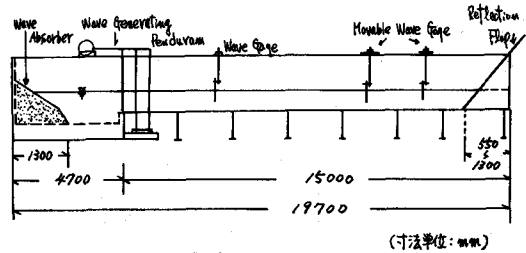


Fig. 1 実験造波水槽側面図

- (i) Type-Aとして、規則的な凹凸のある粗面反射板。
- (ii) Type-Bとして、Type-Aにペンキ塗り仕上げの合板を貼り付けた滑面反射板。
- (iii) Type-Cとして、Type-Bの反射板を使用し、 $d = \frac{1}{2} = 15\text{cm}$ の直立部を有する合成断面の滑面反射板。

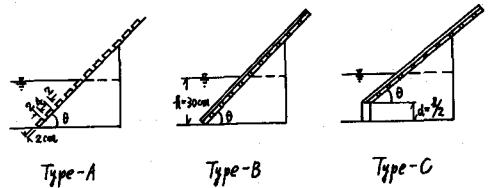


Fig. 2 模型反射板略図

波高の測定には容量式波高計を用い、水位増幅器(計測技研(株製))を通して、6chのリアコーダ(波辺測器(株製))に記録させることを行なった。入射波高と反射波高の決定はHealyの方法によって $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ の間を1~2台の波高計を移動させて行なった。

また波の表形状態は、記録紙上の一周期間の時間水面波形を24等分した時間間隔で読み取ったものを調和解析した。その際、波形は三倍周期波までの二成分の合成波で表現することとし、各周期波ごとの波高 $H_n (N=1, 2, 3)$ と入射波における基本周期波の波高 H_0 で除した無次元波高で表現することにした。⁴⁾ また波の打上げ高は反射板天端を十分高くし、越波

とせぬようにして、波の第4波～第8波の5波の平均値を採用した。打上げ高の測定は波が斜面上を最高に遊い上がった瞬間を目測によって捕え、各波ごとにマークして測定しその点を静水面上からの鉛直高をRで示し、深水波の波高 H_0 に対する相対打上げ高 $\%R_0$ で表わすことにした。実験波は水深 $h=30\text{cm}$ 、入射波高 $H_L=2.5\sim 1.5\text{cm}$ とし、周期 T を1～1.9secまで0.1sec刻みに変化させた。また反射板のり面勾配 θ は $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ と7種類変化させた。

3. 実験結果

3.1 反射率について

1) 粗面 (Type-A)

入射波液形勾配 $\%L_1$ を parameter にして反射率 K_R を整理したのが Fig. 3 である。これによれば $\%L_1=0.025, 0.030$ の時、 K_R は $\theta=25^\circ$ で極小値をとり $\theta=20^\circ$ で急増し $\theta < 20^\circ$ で急減する傾向が認められる。 $\%L_1=0.040$ の場合は $\theta=20^\circ$ で極小値を取るようである。全般的に $\%L_1$ による K_R の値は、り面勾配 θ に対して $20^\circ \sim 25^\circ$ で特徴のある傾向を示し、 $\%L_1=0.025, 0.030$ の時 θ に対して K_R は大きく変化する。また $\theta < 20^\circ$ になると K_R は $\%L_1$ による一定の値になる傾向を示す。

2) 滑面 (Type-B)

$\%L_1$ を parameter にして K_R を整理したのが Fig. 4 である。これによれば $\%L_1$ の値による K_R は、 $\theta=30^\circ$ で極小値、 $\theta=25^\circ$ で極大値を持つことがはっきりと認められ、 $\theta < 25^\circ$ で急減する傾向を示している。この結果は次の理由により説明されると思われる。緩勾配の単一勾配滑面の反射率は、Surf Similarity Parameter $\xi_s = \frac{\tan \theta}{\sqrt{H/L_1}}$ により強く支配されていることが報告されている。^{53, 6)} ξ_s の値により碎波の形状は次の様に分類される。⁵³⁾ ここでリフィックス θ は深水液に対するものである。

$$\left. \begin{aligned} \xi_s > 3.3 & \text{ Surging or Collapsing breaker} \\ 0.5 < \xi_s < 3.3 & \text{ Plunging breaker} \\ \xi_s < 0.5 & \text{ Spilling breaker} \end{aligned} \right\} (2.1)$$

急勾配の本実験結果を $\%L_1$ を parameter にし横軸に ξ_s をとり K_R を整理したのが Fig. 5 である。本図には緩勾配 ($\theta=6^\circ \sim 16^\circ$) に関する Battjes のデータも掲げている。これによれば $0.5 < \xi_s < 2.5$ のとき、 K_R は放物線 $K_R = 0.1 \xi_s^2$ の曲線に沿って小さくなることが認められるが、このとき (2.1) より波は碎波である。また $\xi_s > 3.3$ のとき、 K_R は上に凸の放物線を示すようになりその値も小さくなるようであり、このとき (2.1) より波は非碎波である。以上の傾向は緩勾配とほぼ類似しているが、 ξ_s が $20 \sim 30$ の付近で K_R の急増、急減傾向が顕著である。これから急勾配斜面では、斜面上の碎波型式により反射率がかなり影響されていると考えられる。本図粗面の場合、すでに $\xi_s < 2.5$

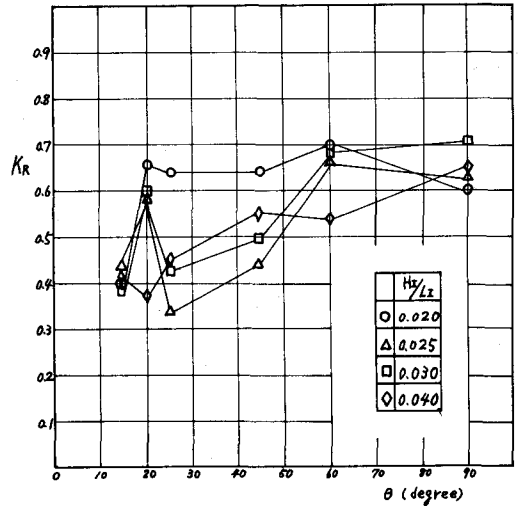


Fig. 3 反射率に及ぶり面勾配の影響 (Type-A)

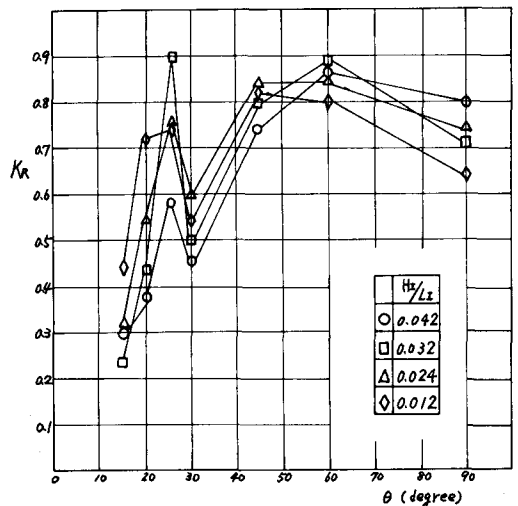


Fig. 4 反射率に及ぶり面勾配の影響 (Type-B)

の領域で変動が大変だが、これは粗度によって碎浪作用が助長されていることによると考えられる。

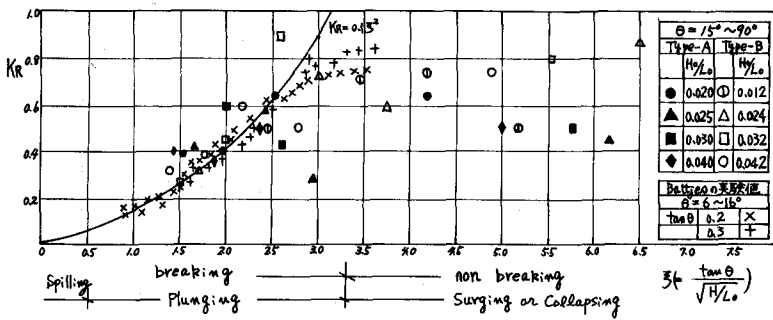


Fig. 5 反射率と Surf Similarity Parameter との関係

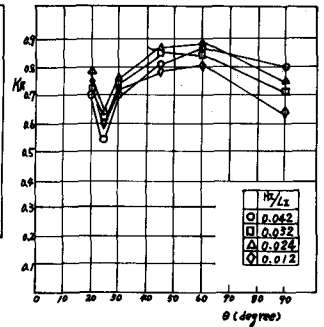


Fig. 6 反射率と斜面向面の影響 (Type-C)

3) 滑面合成断面 (Type-C)

H/L を parameter にして K_r を整理したのが Fig. 6 である。これによれば、 K_r は $\theta = 25^\circ$ で極小値を持つ傾向が見られるが、 H/L , θ の値によらずほとんど一定の値を示すようであり、Type-A, B と比較して一般に大きな値を示している。

3.2 打上げ高について

打上げ高の実験は、反射率が Type-B, C の 2 種類に対して行い、その結果を述べることにする。

1) 滑面 (Type-B)

相対打上げ高 R_x/H_0 とのり面勾配 θ との関係を波形勾配 H/L を parameter にして整理したのが Fig. 7 である。これによれば R_x/H_0 は $\theta = 20^\circ \sim 25^\circ$ で極大値を持つことがわかり、この θ を境に急減する傾向が認められる。また R_x/H_0 が極大値をとる θ の値は、次式の Miche の式により求められる θ_c の値とよく一致する。 $H/L = \sqrt{2g/\pi} \cdot \sin^2 \theta_c / \pi \dots (1.1)$, ここで θ_c は与えられた H/L に対して Surging waves を生ずる最緩傾斜角である。(1.1) 式より $H/L = 0.042, 0.032, 0.024, 0.012$ に対する θ_c を求めると、それぞれ $\theta_c = 29^\circ, 26^\circ, 23^\circ, 19^\circ$ とかなりよく一致していることが図より知られる。また Surf Similarity Parameter を使用して R_x/H_0 を整理したのが Fig. 8 である。これによれば $S = 2.5 \sim 3.0$ 付近で R_x/H_0 は極

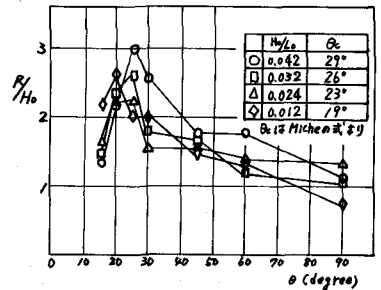


Fig. 7 相対打上げ高とり面勾配の関係 (Type-B)

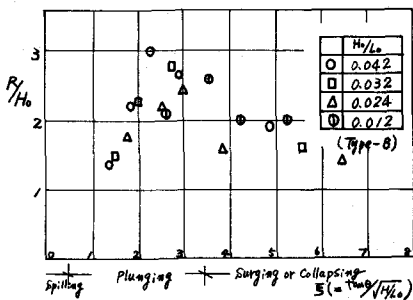


Fig. 8 相対打上げ高と Surf Similarity Parameter との関係

大値を持つ傾向が見られ、 K_r と同様に碎浪による影響と考えられる。

2) 滑面合成断面 (Type-C)

R_x/H_0 と θ との関係を H/L を parameter にして整理したのが、Fig. 9 である。これによれば $\theta = 30^\circ$ を除き、 H/L によらず R_x/H_0 は同一の θ では近似しているようであり、 $\theta = 25^\circ \sim 30^\circ$ で極大値を持つ傾向が多少見られる。

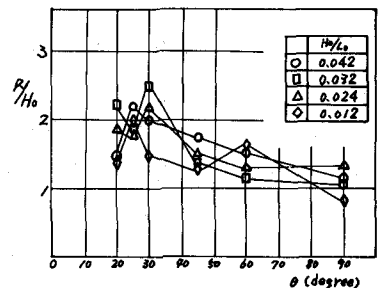


Fig. 9 相対打上げ高とり面勾配の関係 (Type-C)

Type-B と比較して一般に R_x/H_0 は小さく、直立部を有する効果と考えられる。

3.3 液高分布について

液高分布の一例として、Type-B, $\theta = 15^\circ, T = 1.1 \text{ sec}, \bar{H}_1 = 6.61 \text{ cm}$ のときの

結果を Fig. 10 に示す。

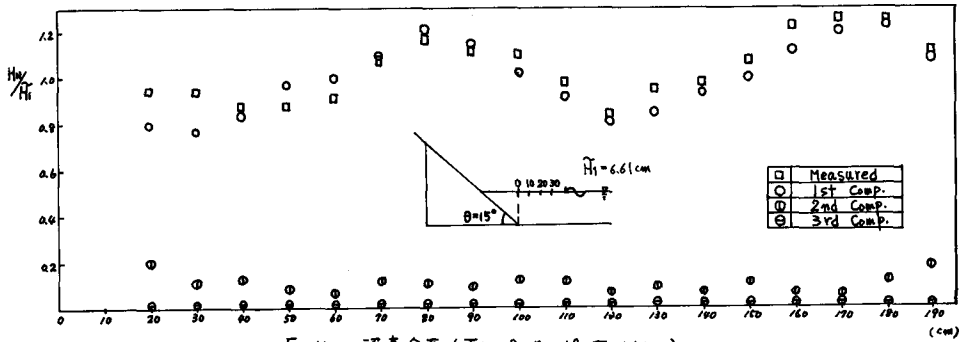


Fig. 10 波高分布 (Type-B, $\theta=15^\circ$, $T=1.1\text{sec}$)

これによればどの地点においても、二次成分波が三次成分波よりも大きく表われていることがわかり、これが実測の波高分布の凹凸に影響していると思われる。この場合の二次成分波、三次成分波の $\%$ の範囲は、 $0.02 < \% < 0.15$ 、 $0.01 < \% < 0.04$ である。またこの時の K_R の実験値は、Healyの方法より $K_R=0.281$ と求められ、高調波の影響を無視して一次成分波により K_R を求めると、 $K_R=0.270$ となり高調波成分を除去しない版はききめに表われている。このことは、その他の実験波に対しても同様なことが認められた。

4. あとがき

急勾配斜面による波の反射について結果をまとめると次のようである。

- (1) 反射板の断面形状：粗滑によらずのり面勾配 $\theta=20^\circ\sim 30^\circ$ で反射率 K_R は極大値を持ち、それ以下のり面勾配では急減する。
- (2) 反射板の断面形状によらず $\theta=20^\circ\sim 30^\circ$ で相対打上げ高 $\%_H$ は極大値を持つ。また合成断面の方が単勾配斜面より $\%_H$ は小さく適宜部を有する効果と考えられる。
- (3) S (Surf Similarity Parameter) によって、反射率 K_R 、相対打上げ高 $\%_H$ の傾向がかなり良く説明でき、一般に $S=25$ を境とし、Plunging breaker から Surging or Collapsing breaker に移行する付近で碎波で碎波する場合に、 K_R 、 $\%_H$ は極大値をとっている。

今回の実験は基礎的なものに限られたが、今後各種断面等に関する研究が必要と思われる。本研究は、苫小牧工業高等専門学校水理実験室で行なわれたもので御計議、御協力いただいた空瀬工業大子河海研究室の皆様、ならびに実験、データ整理に協力して戴いた昭和50、51年度本校卒業生諸君に感謝の意を表します。なお調和解析、データ整理には本校の電子計算機 HITAC 8250 を使用したことを付記する。

参考文献

- 1) 高田彰：波の湧上、越浪および反射の関連性について、土木学会論文報告集第182号、1970。
- 2) 空田明・山田哲二：反射に関する基礎的研究、第13回海岸工学論文集、1966。
- 3) 空田明：粗斜斜面からの反射に関する実験的研究、第14回海岸工学論文集、1967。
- 4) 近藤俊郎・谷野賢二：各種透過性防波構造物における波の变形特性、第23回海岸工学論文集、1976。
- 5) J.A. Battjes: Surf Similarity, Proc. 14th, ASCE, Coastal Eng. Conf., 1974。
- 6) Moraes: Experiments of Wave Reflexion on Impermeable Slopes, Proc. 12th, ASCE, Coastal Eng. Conf., 1974。