

徳島大学工学部 正員 三井 宏
 徳島大学大学院 学生員 豊田 裕作

1. 研究目的: 複雑な法線形状を持つ海岸・港湾構造物に作用する波圧、打ち上げ高および越波量がどの程度であるのかは重要な問題である。波圧は波高にほぼ比例し、越波量・打ち上げ高は波頂高の大きさに依存するので、波高、波頂高の極値が問題になる。本研究は、このような複雑な法線形状を持つ構造物前面の波浪の極値の基礎研究として、斜め重複波の碎波限界における波高、波頂高を実験により調べたものである。

2. 実験装置および実験方法: 実験に使用した水槽は、長さ30m、幅15m、深さ0.5mの平面水槽で、一端にフラッター型造波機を設置してある。模型堤体は鉛直壁とし、耐水ベニヤを連結し建築用ブロックと鉄製アングルで安定させたもので、堤に直角な方向からの入射角が20°、30°、40°および50°となるように順次設置した。入射波高の測定には容量式波高計1本を使用し、設置位置は水槽中心線上で造波板から5mの地点とした。斜め重複波の限界碎波高、限界碎波頂高の測定にはメッシュの鉛直金網と16mm撮影機を使用した。すなわち、斜め重複波の碎波が発生する地点に金網を設置し、金網とともに斜め重複波を撮影し、暗室内でフィルム・モーション・アナライザーを用いて読み取った。実験に使用した水深は $h=20\text{cm}$ で一定、入射波は波高 $H=38\sim 70\text{cm}$ 、周期 $T=0.62\sim 1.44\text{sec}$ であった。一つの入射角に対して入射波が碎波せず、斜め重複波が碎波限界である入射波高と周期の組み合わせを7~14ケースほど得、1ケースについて10波程度を測定値として採用した。

3. 理論: 有限振幅波理論には、摂動法を用いたStokes波がよく用いられるが、碎波限界を議論する場合この方法には欠点がある。すなわち、高次解になると碎波限界を満足する数値が存在しなくなり、碎波しないことになるようである。完全重複波理論の場合4次近似解からこの現象がおこり¹⁾、斜め重複波の場合は入射角が 2π 以上では3次近似できても重複波の碎波限界を満足する数値が存在しなくなる²⁾。有限振幅波理論で碎波限界を議論するのは以上のような困難があるので、ここでは有限振幅の量を表すのに、微小振幅波理論による量にある係数をかける方法を用いる。また以下では、全て水深は一樣で、壁面において波は完全反射するものとする。

斜め重複波は、入射角 $\alpha'=0^\circ$ の完全重複波と $\alpha'=90^\circ$ の進行波との間にあり、両者の性質を兼ね備えていると考えられる。したがって、その碎波限界についてもどちらの性質が卓越して限界状態に達したかを考えねばならない。すなわち、進行波的碎波あるいは重複波的碎波のいずれによるかということである。まず、進行波的碎波は波峰における表面水平方向の水粒子速度の最大値が波速に等しい碎波条件 $U_{max}=C$ がよく用いられる。ところがDaniel³⁾の実験によると $2U_{max}=C$ (ここに U_{max} は微小振幅波理論による)がよく適合することからこれを碎波限界条件とする。そして、その条件から微小振幅波理論による碎波限界式(1)が得られる。次に重複波的碎波限界は、水粒子の最大粒子加速度 $(\frac{\partial u}{\partial t})_{max}$ が重力加速度に水深の項を付与した $g \tanh^2 kh$ の負値に等しくなる状態と仮定する。その条件により碎波限界式(2)が得られる。

$$\frac{H_b}{L_0} = \frac{1}{2\pi \sin^2 \alpha'} \cdot \tanh^2 kh \quad \dots (1) \qquad \frac{H_b}{L_0} = \frac{1}{\pi} \cdot \tanh^2 kh \quad \dots (2)$$

(1)式と(2)式において $\tanh^2 kh$ の係数はそれぞれ $1/2\pi \sin^2 \alpha'$ 、 $1/\pi$ であり、両者の条件が等しくなるのは $\alpha'=45^\circ$ のときである。 $\alpha' < 45^\circ$ では、(2)式が小さい限界碎波高比 H_b/L_0 を与えるので重複波的碎波をし、 $\alpha' > 45^\circ$ では(1)式が小さい H_b/L_0 を与えるので進行波的碎波をすることが推論される。

4. 実験結果および考察: まず、撮影したフィルムの観察による各入射角の碎波形状は、 $\alpha'=20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ では堤延長方向の波峰部の長さが順次短くなって四角錐形に近くなり、いずれも重複波的碎波形状である。 $\alpha'=50^\circ$ では、進行波的碎波と重複波的碎波が入り混じった非常に不安定な水面となる。Fig-1は、限界碎波高と入射波

高の比 H_b/H の実験結果を示したものである。実験データは、微小振幅波理論による値 $H_b/H = 2.0$ 前後に分布しており、入射角が大きくなるにつれて H_b/H の値は小さくなる傾向を示している。各入射角の H_b/H の平均値は、 20° : 2.13, 30° : 2.06, 40° : 1.98, 50° : 1.85 であり、全データの平均値は 1.99 である。Fig-2 は、限界碎波頂高の限界碎波高にせめる割合 H_b/H の実験結果と H_{su} の斜め重複波理論による計算値 ($\alpha = 0^\circ$) を示す。理論値は h/L_0 が小さくなるに従い大きい H_b/H となり実験値とも一致するようであるが、実験値は h/L_0 および入射角にほとんど無関係にほぼ 0.68 で一定値である。Fig-3, Fig-4 はそれぞれ波高および波頂高の極値を示すのに都合が良い形に実験結果および有限振幅波理論値を表したものである。Fig-3 では、実線は (1), (2) 式で示される微小振幅波理論によるものである。1 点鎖線は、 H_{su} による 3 次近似の斜め重複波理論によるもので、 $\alpha = 0^\circ, 10^\circ$ は重複波の碎波条件を、 $\alpha = 45^\circ$ では進行波の碎波条件を用いている。2 点鎖線、3 点鎖線および破線は、合田の 3 次近似、岸、Wiegell の 2 次近似による重複波理論である。点線は、山田・塩谷による進行波の碎波限界曲線である。なお、各入射角の実験式は以下のようなになった。

$$\alpha = 20^\circ: H_b/L_0 = 0.184 \tan k^2 h, \quad \alpha = 30^\circ: H_b/L_0 = 0.200 \tan k^2 h$$

$$\alpha = 40^\circ: H_b/L_0 = 0.179 \tan k^2 h, \quad \alpha = 50^\circ: H_b/L_0 = 0.165 \tan k^2 h$$

実験値は、入射角 α が小さい場合に岸、合田、 H_{su} の各重複波理論曲線にほぼ一致しているが、 α が大きくなるにつれて H_{su} の解とは逆の傾向を示し、 H_b/H の実験値は小さくなり、進行波のそれに近づく傾向を示している。Fig-4 の 1 点鎖線および点線は Fig-3 と同様の理論曲線である。 α が小さい場合には H_{su} の重複波理論より大きい H_b/H の実験値が比較的多く、ているが、 α が大きくなると進行波の理論曲線に近づく傾向を示している。Fig-3, Fig-4 のいずれにおいても、 H_{su} の理論解は実験結果と逆の傾向を示し、 $\alpha = 45^\circ$ では過大な値となっている。

最後に本研究は、自然災害特別研究費(代表者 土屋義人京都大学防災研究所教授)による一部であることを付記し謝意を表す。

- <参考文献> 1) 合田良実・柿崎秀作: 有限振幅波ならびにその波圧に関する研究, 港湾技術研究所報 第5巻10号, PP.1~17, 1966年.
 2) John Rong-Chung Hsu: Short-crested water waves, Thesis for degree of Ph. D. at the University of Western Australia, Department of Civil Engineering, 1980.
 3) Wiegell R.L.: Oceanographical Engineering, Prentice-Hall, Inc, PP.21~29, 1964.
 4) Yamada, H. and T. Shiotani: On the highest water waves of permanent type, Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ., Vol. 18, Pt. No. 135, PP.1~22, 1968.

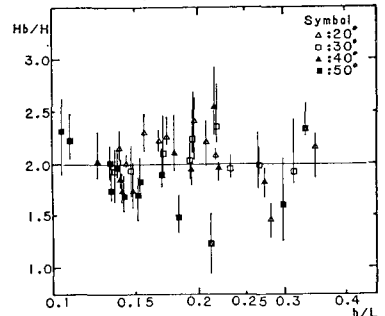


Fig-1 限界碎波高入射角波高比と水深・波長比の関係

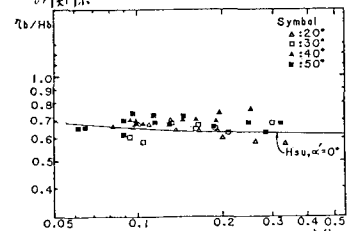


Fig-2 限界碎波頂高限界碎波高比と水深・深海波長比の関係

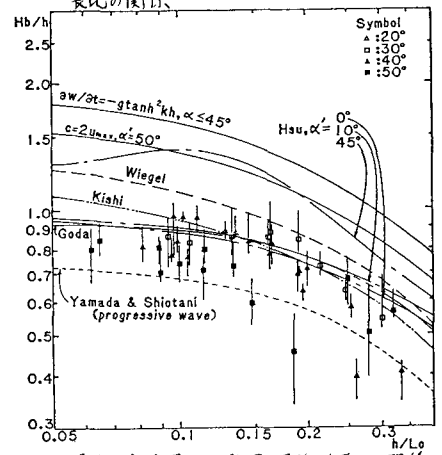


Fig-3 限界碎波高水深比と水深・深海波長比の関係

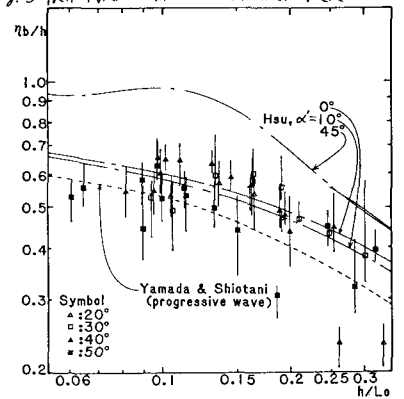


Fig-4 限界碎波頂高水深比と水深・深海波長比の関係