

# 実験水路の水平部水深の影響について

徳島大学工学部 正員 三井 宏

1. 要旨 海岸における波のうちあげ、漂砂、波力などの現象の理論的取り扱いには困難であるので、こゝの研究には模型実験がよく用いられている。このとき、実験精度の向上のため、できるだけ大きい模型も使用したい場合が多いのであるが、通常の実験水路の水深は限られているので、沖の海底に相当する模型部分は一般に水平部とせざるを得ないので現状である。ここに、無限水深まで深くするといくともなせるような実物の海岸地形についての模型実験を行なう場合には、縮尺の影響以外にこのような水平部水深の影響があらわれかねないが、この影響が無視できる程度まで模型を大きくすることができよう。このため、1/10単勾配の模型海岸におけるうちあげ高、碎波高、碎波水深が水平部水深の影響により、どのように変化するかを求めたものである。

2. 実験 実験水槽は幅0.5m、長さ10m、深さ0.75mの鋼鉄製片面ガラス張りで、ピストン運動に近い状態に調節したユニバーサル型建造装置と、合板製ニス仕上げの1/10単勾配斜面の模型海岸とを具えたものである。使用した水平部水深および波の諸元は表1に示す。

表1. 水深と波の諸元

| $h^m$ | $H/L$ | 0.02 | 0.03 | 0.09 | 0.05 | 0.06 |
|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 50    | $H_0$ | 7.8  | 8.2  | 8.9  | 8.7  | 8.6  |
|       | $T$   | 1.60 | 1.31 | 1.13 | 1.01 | 0.92 |
| 40    | $H_0$ | 7.0  | 7.7  | 8.3  | 8.7  | 8.3  |
|       | $T$   | 1.60 | 1.31 | 1.13 | 1.01 | 0.92 |
| 30    | $H_0$ |      | 8.3  | 8.9  | 8.3  | 8.7  |
|       | $T$   |      | 1.31 | 1.13 | 1.01 | 0.92 |
| 20    | $H_0$ |      |      | 7.5  | 7.7  | 7.9  |
|       | $T$   |      |      | 1.13 | 1.01 | 0.92 |

す。なお、波の諸元は微小振幅波理論により深海波に換算したものである。水平部波高 $H$ は鉛直に立てた10mm間隔の目盛、碎波位置および碎波高 $H_b$ はガラス断面に張った5mm間隔の目盛、うちあげ高 $R$ は斜面上にある5mm間隔の目盛により、最初の波から数えて3波目以降10〜11波までそれぞれ連続測定し、シネフィルムに撮した。波の周期 $T$ はストップウォッチにより10波を測定して平均値を求めた。このように各項目は連続測定したので、これらは同時観

測したものであるが、1つの項目を測定した後、建造装置を停止し、波が静まってから再び建造装置を動かして別の項目を測定したものである。このときの水平部水深における波高の相違は5%以内であった。模型実験には縮尺によって水の粘性の影響の強さが異なるのであるが、うちあげ、碎波に対する粘性の影響の程度を知るための目安として、碎波域におけるレイノルズ数が考えられた。したがって、滑面の場合にふつう使われている次の式により、碎波域のレイノルズ数を求めた。

$$Re = \frac{H_b}{\nu} \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda T}} \quad (1)$$

$Re$  : レイノルズ数,  $h_b$  : 碎波水深,  $L_b$  : 碎波長 (微小振幅波理論による),  $\nu$  : 動粘性係数。表2の計算結果によれば、レイノルズ数は小さいので粘性の影響は大きいと思われるが、同じ $H/L$ についてみれば $Re$ 数の変化範囲は小さい、また、斜面上で波が走った距離も小さいので、同じ $H/L$ については粘性の影響はほぼ一定とみなすことができよう。

表2. レイノルズ数

| $H/L$ | $h/H$   | $Re$    |
|-------|---------|---------|
| 0.02  | 6.2~6.9 | 370~430 |
| 0.03  | 5.7~6.7 | 320~330 |
| 0.09  | 3.7~5.3 | 280~390 |
| 0.05  | 2.9~6.0 | 290~300 |
| 0.06  | 2.9~5.1 | 220~260 |
| 0.07  | 2.8~6.0 | 180~220 |

粘性の他に表面張力の影響が考えられるが、表1に示したように、それぞれの $H/L$ ごとにあらかじめ周期を一定としておき(  $H/L$  ごとくも  $T$  はほぼ一定), 同一建造物勾配については表面張力の影

響も一定であると考えられる。

実験結果は図1, 2, 3

に示す。ニからは従来からよく用いられている実験の水平部波高と周期とから、微小振幅波理論により深海波諸元に変換したものである。造波装置の性能の限界を越えるため、小さい  $H_0/L_0$ , 小さい  $h/H_0$  に対する実験値が得られなかったが,  $h/H_0$  が小さくなるほど  $R/H_0$ ,  $H_0/H_0$ ,  $h_0/H_0$  はいずれも小さくなり,  $h/H_0$  が大き

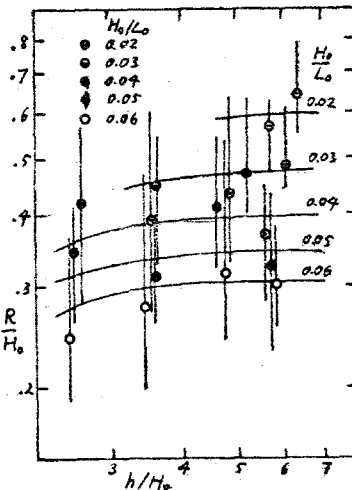


図1 うちあげ高

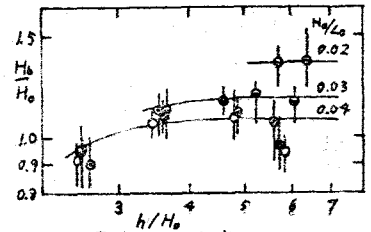


図2 碎波高

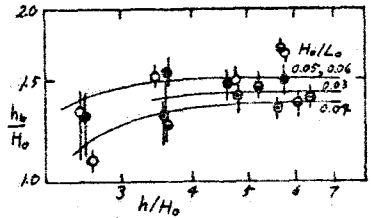


図3 碎波水深

ると, ニからはそれとある一定値になる傾向を示している。ニが一定値になる限界に相当すると思われ  $h/H_0 \geq 2$  Sarille<sup>1)</sup> は使用しているが, 実験結果からみると, ニの限界は小さすぎるようで,  $h/H_0$  は3.5以上になるものと思える。

3. 実験結果に対する一考察 ニニで問題にしているような模型断面における波のうちあげや碎波に関係すると思われるものは, (a) 水平部水深  $h$  の変化による斜面部の反射率変化<sup>2)</sup>, (b) 斜面部では岸側ほど質量輸送が大きいため水位低下を生ずる。<sup>3) 4)</sup> (c) 同じ水深でも波の形状配でもその波のエネルギーは微小振幅波と異なることと有限振幅波と異なることとでは異なる。以上の他に若干の原因が考えられるが, ニニでは一応 (c) の有限振幅波の非線形効果によるものと考えて, Stokes 波理論<sup>5)</sup> を用いてみる。いま, 水深  $h$  において  $H$ ,  $L$  を観測したものとすれば, ニの波の単位面積当りの平均エネルギーは微小振幅波理論により,  $E' = \frac{1}{8} \rho_0 H^2 \dots (2)$  であり, Stokes 波理論によれば,

$$E = \frac{\rho_0}{4} \frac{H^2}{(1 + \alpha \frac{a^2}{L^2})^2} \left[ 1 + \left( \frac{\pi a}{L} \right)^2 \left\{ \frac{\cosh \frac{2\pi h}{L} (\cosh \frac{\pi h}{L} + 2)}{2 \sinh^2 \frac{2\pi h}{L}} \right\}^2 + \left\{ 1 + \left( \frac{2\pi a}{L} \right)^2 \frac{\cosh \frac{\pi h}{L} + 2}{8 \sinh^2 \frac{2\pi h}{L}} \right\} \left\{ 1 + \left( \frac{2\pi a}{L} \right)^2 + \frac{2(2\pi a)^2 \cosh \frac{\pi h}{L} (\cosh \frac{\pi h}{L} + 2)}{8 \sinh^2 \frac{2\pi h}{L}} \right\} \right] \dots (3)$$

ニニに,  $\alpha = \frac{3}{16} \pi^2 \frac{8 (\cosh \frac{2\pi h}{L})^6 + 1}{(\sinh \frac{2\pi h}{L})^6}$  である。  $a/L$  はつぎの關係により  $H/L$ ,  $h/L$  (または  $h/H$ )

$$H/L = 2a/L \cdot (1 + \alpha a^2/L^2) \dots (4)$$

水深  $h$  において  $H$ ,  $L$  を観測したとき, その波のエネルギーは Airy 波によるものと Stokes 波によるものとではどちらが大きいかを調べたため,

(2), (3) 式の比を求め, 便宜上その平方根をとる。図4はニの計算結果を示すものであり,  $H/L$  や  $h/H$  がとくに大きい場合を除けば, ほとんど Stokes 波によるエネルギーの方が小さく, また  $h/H$  が小さいほどニの傾向が大になるのが認められる。ニは両者の波の形状をくらべてみると, Stokes 波の方が山がとがり谷が平たいこと<sup>7)</sup> が原因と思われる。

いま, 海岸地形が相似で,  $h/H$ ,  $H/L$  が等しい場合には  $R$ ,  $H_0$ ,  $h_0$  は波の単位面積当りの平方根に比例するものと仮定する。微小振幅波理論では  $H$  は  $E$  に比例するが Stokes 波では (3) 式に示されるような複雑な關係にある。もし, 実験結果を図1, 2, 3 のように深海波で整理するかわりに,

$h/H$  に対してそれぞれ  $R/H$ ,  $H_0/H$ ,  $h_0/H$  というように水平部における実測波高で整理した場合,  $h/H$  の大きいところでは  $H/L$  が一定であれば  $h/H$  は無関係に  $R/\sqrt{E}$  などによって一定になるものとする。これらの図を両対数紙で整理すれば図々も両対数紙であるから, 結果的にはこれらの曲線は同じ形になるものと思われる。

#### 4. 結言

(1) できる限り大きい模型を使用し, なるべく, 実験水路の水平部の相対水深を小さくすると, したがって, 碎波高, 碎波水深などの実験値は過小

の結果を生ずる傾向があることに注意が必要である。また, 限られた水深に設置された波高計などで, 十分に現地観測を行ない, 深海域を推定する場合にも同様の注意が必要である。

(2) 波の単位面積当りのエネルギーは, 水深がよほど浅い割合とくは大きい場合を除けば, Stokes 波によるもののほうが Airy 波によるものより小さく, また, 水深が小さくなるほどこの相違は大きくなる。このように Stokes 波の非線形項の効果にもとづき (1) のような現象が起るものと考えらるうは, 図々に示すように波の割合が小さいものほど水平部水深の影響が無視できる  $h/H$  の限界値は大きくなる傾向にある。

おわりに, この実験を担当した学生の川村佑一君, 北室泰世君, 沼指御援助を頂き左徳島大学の杉尾教授, さらに学生時代からずっと御指導を賜わっている京都大学の石原教授, 岩垣教授に厚く感謝する。

#### 参考文献

- 1) Saville, T. Jr.: Wave run-up on composite slopes, Proc. 6th Conf. on Coast. Eng., 1958
- 2) 石原蘇次郎, 岩垣雄一, 鈴木雄太: 海岸堤防の設計, とくにその有効高について, 海工講演集, 昭30
- 3) Longuet-Higgins, M. S., Stewart, R. W.: Changes in the form of short gravity waves on long waves and tidal streams, J. of Fluid Mech., 8, 1960
- 4) Lundgren, H.: Wave thrust and wave energy level, I. A. H. R. Cong., 1963
- 5) 土木学会編: 水理公式集, 昭. 38
- 6) 苗藤伸夫: 有限振幅波について, 高次級数解による進行波の碎波限界, 土木研究所報告, 111, 昭37
- 7) 岩垣雄一: 表面波および波の変形, 水理公式集の解説と創題, 1964

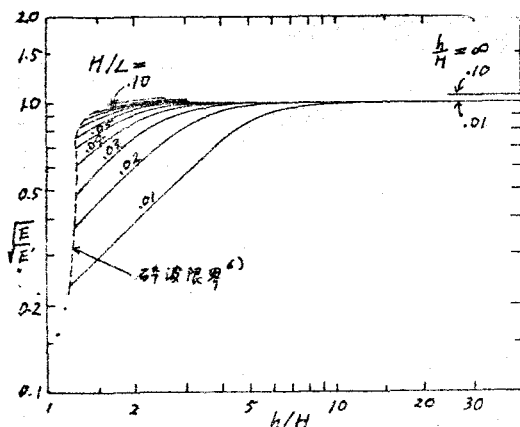


図4. Stokes波とAiry波のエネルギー比