

斜面上を進行する有限振幅波の変形特性に関する研究

熊本大学 工学部 正会員 滝川 清  
正会員 田淵 幹修  
学生員 五ノ谷 清一

はじめに 浅海域での沿岸過程や高波浪下での波力等の問題を取り扱う場合、水面変動だけでなく水粒子速度や加速度等を十分な精度で評価することが必要である。一定水深上での各種波動理論を斜面上に適用する場合、検討対象の現象と波浪条件とによってどの理論を適用するかその選択に際してそれらの適用範囲を明確にしておく必要がある。本研究は、斜面上に入射する波として(1)ハイポボリック波(HY)、(2)ストークス3次近似波(ST3)の2種をとりあげ、これらの潮上変形のF.E.M.による数値実験結果を対象に各種波動理論[(1),(2)に加え(3)微小振幅波(SM)]の適合性を関根、服部らの相対評価指標[参考文献(5)]を用いて行ったものである。すでに斜面勾配  $1/20$  の結果[参考文献(6)]は、峰においては微小振幅波、谷においてはストークス3次近似波が最も良い適合性を示すことができたが、入射波の特性はあまり現れず、適合性の範囲は沖波波形勾配によってのみ支配されることになった。今回は表-1に示すように斜面勾配を  $1/20, 1/40, 1/50$  とさらに緩やかな斜面とし、入射波特性と斜面勾配の変化による潮上波の変形特性について検討を加える。

表-1 計算ケース

|        | I    | H <sub>0</sub> /L <sub>0</sub> | T    | 計算ケース (入射波) |            |
|--------|------|--------------------------------|------|-------------|------------|
|        |      |                                |      | Hyperbolic  | Stokes 3rd |
| CASE 4 | 1/20 | 0. 07352                       | 1. 0 | S4HY2       | S4ST2      |
| CASE 4 | 1/40 | 0. 07352                       | 1. 0 | S4HY4       | S4ST4      |
| CASE 4 | 1/50 | 0. 07352                       | 1. 0 | S4HY5       | S4ST5      |
| CASE 6 | 1/20 | 0. 00831                       | 2. 5 | S6HY2       | S6ST2      |
| CASE 6 | 1/40 | 0. 00831                       | 2. 5 | S6HY4       | S6ST4      |
| CASE 6 | 1/50 | 0. 00831                       | 2. 5 | S6HY5       | S6ST5      |

2.実験と理論の一致度の指標 数値実験結果を対象とした波動理論の適合性に関する評価方法は関根、服部らと同様に、(1)最大値の相対比  $M_R^+$ 、(2)最小値の相対比  $M_R^-$ 、(3)波形間の相互関係係数  $C_0$ 、(4)波形間の相対残差  $E$ 、の指標を用いる。

$$M_R^+ = Y_{max} / X_{max} \dots\dots\dots (1) \quad M_R^- = Y_{min} / X_{min} \dots\dots\dots (2)$$

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i^2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n X_i^2}} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $X_i$ と $Y_i$ は数値実験による波形と理論波形の一周期を  $m$ 等分した  $i$ 番目の位相、 $X_{max}$ と $Y_{max}$ 、 $X_{min}$ と $Y_{min}$ は $X$ と $Y$ の最大、最小の値である。

3.水面変動に対する検討 図-1に水深減少に伴う相対波高  $H/h$  の変化の様子を示した。(ケース4、6を各々  $1/20, 1/40, 1/50$  の斜面勾配の場合で表している) 次項図-2に流速分布と表面波形の例を挙げているが、前述の流速分布に対する評価指標全てを十分な精度で満たしている場合でも表面波形は一致しない。斜面上における潮上波は、水深減少とともに前傾度、尖り度が增大するため、定形波である各種定形理論波による波形の適合性は当然ながら程々でない。これに比べ、内部流速分布に対する各種波動理論の適合性はある程度認めることができ、本報告では以下についてこれを考察する。

4.流速変動に対する検討 F.E.M解析による数値実験のケースは表-1に示す通りである。これらの各ケースの潮上波の変形計算結果を対象に斜面上の各位置でそれぞれSM, ST3, HYの波動理論との比較を行い、その適用性について検討を行うものである。流速分布に関する検討は斜面上の各位置における峰の位相及び谷の位相とし、その鉛直分布形に対する数値計算結果と各波動理論との相対評価指標を求めて適用性を調べた。図2, 3はS4ST4のケースに対するもので、図

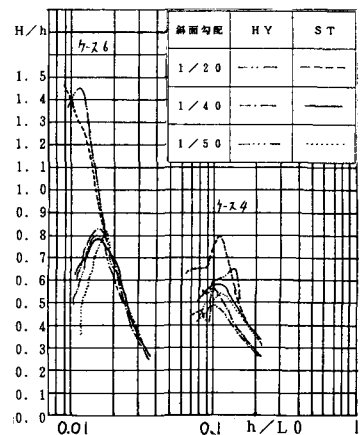


図-1 相対波高

中には峰の位相での相対評価の値を示した。これらによると図2) - b のアーセル数 ( $U_r = 15.84$ ) の位置までは  $MR$  以外は適用範囲とした値を満足し、流速分布の図でその適合度を検証できるが、 $MR$  では図2) - a までの適用限界となる。これは明らかに  $MR$  が指標としての使用性が乏しいことが示される。また、 $MR^+$ 、 $C_0$  も図に示していないが、破砕点 ( $U_r = 38.85$ ) 近傍まで適用性がある結果が表われている。図2) - c ( $U_r = 25.93$ ) の位置での流速分布の図が、一致度の低さを示唆しており、 $MR$  同様に  $E$  と比較し評価指標としての妥当性を欠く。S4ST4 に限らず他のケースでもその傾向が見られたので  $E$  のみを唯一の評価指標として採用しこれを用いて検討を加える。 $E$  を用いて適合性の検討をする際その基準値を  $E_1 \leq 0.10$ 、 $E_2 \leq 0.15$ 、 $E_3 \leq 0.20$  と変化させ、適合する範囲を示したのが図-3 である。基準値の許容精度を落としていくと図のように適用範囲は破砕点近くまで拡大することが知れる。またケース S6HY5 の峰における  $SM$  の理論の適用範囲は  $E_1$ 、 $E_2$  の基準値では斜面上に出現しないが、 $E_3$  まで許すと破砕点近くまで適用範囲可能になる。これは緩勾配斜面上では入射波がその特性を保持しながら進行するため、理論波とはほぼ同一の誤差を破砕点近くまで示すものと考えられる。表-2 は峰におけるアーセル数による適用範囲を計算ケース度に表示したものである。また、図-4 は表-2 の  $HY$  を入射波とした場合のケース 4、6 の適用範囲の図である。表-2 より  $SM$  は斜面勾配が急な場合には、最も適用できるが、斜面勾配がおたやかで、波形勾配  $H_0/L$  が小さくなる程、その範囲は狭くなる。また逆に  $HY$  は緩勾配で  $H_0/L$  が小さくなるで適用範囲は拡大する。このことから緩勾配になる程、入射波の特性が保持され潮上変形することが分る。

今回の実験において  $H_0/L$  は 2 ケースのみとしたが、今後さらに多くの  $H_0/L$  に対する検討を行い、斜面勾配の影響だけでなく波形勾配  $H_0/L$  に対する各波動理論の適用性を明確にする必要がある。紙面の都合上、他の検討項目等については講演時に発表の予定である。

#### ＜参考文献＞

- 1) 滝川清, 岩垣雄一, 中川政博; 有限要素法による斜面上の波の破砕変形と内部機構の解析 (第30回海講) PP22 ~ PP24
- 2) 滝川清, 田淵幹修; 有限要素法による波動解析について (第25回海講) PP28 ~ PP32
- 3) 関根義和, 服部昌太郎; 波動理論の適用範囲に関する実験的研究 (第32回海講) PP11 ~ PP15
- 4) 滝川清, 田淵幹修, 前田慎二; 斜面上の波の変形と波動理論の適用性について (昭和60年度西部支部発表会) PP318 ~ PP319

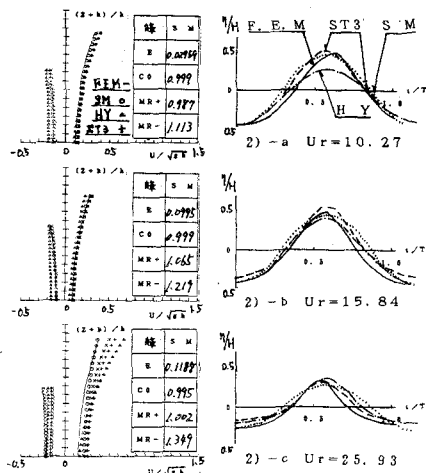


図-2 流速分布及び表面波形 (S4ST4)

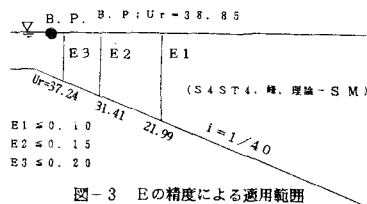


図-3 Eの精度による適用範囲

表-2 数値実験結果 ( $U_r$  値, 峰)

| 入射波 | Case | 理論値 | 1/20        | 1/40        | 1/50        |
|-----|------|-----|-------------|-------------|-------------|
| ST3 | 4    | SM  | 35.79       | 21.99       | 21.47       |
|     |      | HY  | 11.35-13.79 | 11.70-14.99 | 13.30-15.79 |
|     |      | ST3 |             | 10.27       | 14.20       |
|     | 6    | SM  |             |             |             |
|     |      | HY  | 49.28       | 52.52       | 54.03       |
|     |      | ST3 |             | 51.78       | 46.28       |
| HY  | 4    | SM  |             |             |             |
|     |      | HY  |             | 10.34-10.97 | 11.29-12.48 |
|     |      | ST3 |             |             |             |
|     | 6    | SM  | 61.5-106.5  |             |             |
|     |      | HY  | 49.13       | 49.30       | 52.13       |
|     |      | ST3 | 45.26       |             |             |

\*  $E \leq 0.10$

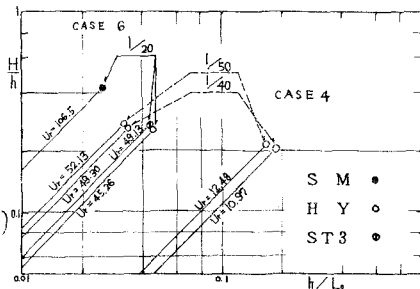


図-4 HYを入射波とする適用範囲 (峰)