

斜面上の波の変形と波動理論の適用性について

熊本大学 工学部 正会員 滝川 清
正会員 田村 幹修
学生員 前田 慎二

1. はじめに 斜面上を遡上する波の変形特性については、従来より数多くの実験的研究が行われているが、適用すべき十分な波動理論もなく、数値解析法によらざるを得ない現状である。この数値解手法として、著者らはF.E.M.を用い、これが斜面上での碎波直前まで十分な精度で計算出来る事を確かめ、変形の内部特性について検討を加えてきている。一方、一定水深上での各種波動理論を斜面上に適用する場合には、それらの適用範囲を明確にしておく事が必要となる。関根・服部らは実験波を対象として、波動理論との相対評価の指標を設定し、これらによる理論の適用範囲の検討を行なっている。本報告は、斜面に入射する波として(1)微小振幅波(SM)、(2)ストークス3次近似波(ST)、(3)ハイパボリック波(HY)の3種を取り上げ、これらの遡上変形のF.E.M.による数値実験結果を対象に、各波動理論の適合性を関根・服部らと同様の方法により行、たものであり、入射波波形と沖波波形勾配の影響について若干の検討を加えたものである。

表-1 計算ケース

	i	H _i /L _i	T(sec)	計算ケース(入射波)		
				small	hyperbolic	Stokes 3rd
CASE 4	1/20	0.0735	1.0	S4SM	S4HY	S4ST
CASE 6	1/20	0.00831	2.5	S6SM	S6HY	S6ST

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

$$M_R^+ = Y_{max} / X_{max} \dots (1) \quad M_R^- = Y_{min} / X_{min} \dots (2)$$
$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i^2}} \dots (3) \quad E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n X_i^2}} \dots (4)$$

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 番目の位相の値。 X_{max} と Y_{max} 、 X_{min} と Y_{min} は X と Y の最大・最小値である。また水面変動に関しては、波形の非対称性を表わす指標指標として(1)波形の尖り度 α と(2)前傾度 β を定義する。

$$\alpha = \frac{\int_0^T \eta^3(t) dt}{\left[\int_0^T \eta^2(t) dt \right]^{3/2}} \dots (5)$$
$$\beta = \frac{\int_{\eta(0)}^{\eta(T)} [t(\eta) - t(\eta_{max})]^2 d\eta}{\left[\int_{\eta(0)}^{\eta(T)} \{t(\eta) - t(\eta_{max})\}^2 d\eta \right]^{1/2}} \dots (6)$$

ここに、 η は平均水位よりの水面の鉛直変位、 t は時間、波形は波谷間で一定であるとする。

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。 $i = 1/20$ における合田の碎波指標も併記した。

みに関しては図2に示すとおり、斜面上の遡上に伴い計算波形は尖り度が増大する。特に波形勾配が大きいケース4の場合は、ケース6より幾分増加の度合いが大きい。以上より α は適合性が良い事が示される。また他の、 β 、 M_R^+ 、 M_R^- 、 C_0 、 E についても同様の検討を行な、たが、斜面上の水面変動に関してはいずれの場合も当然ながら、理論の適合性は悪い事が判明した。計算のケースは、表1に示すように、斜面勾配 $i = 1/20$ とし入射波波形勾配 H_i/L_i はケース4、ケース6でそれぞれ0.0735、0.00831 である。

— small
— hyperbolic
- - - Stokes 3rd

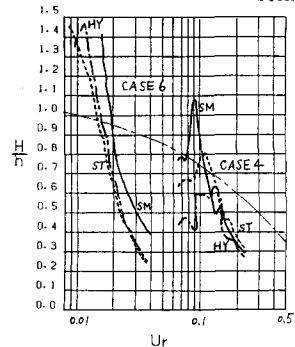


図-1 相対波高 H/h

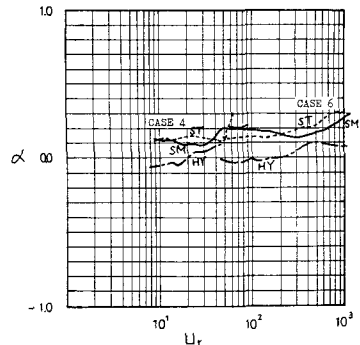


図-2 波形の尖り度 α

4. 流速変動に対する検討

図3、4はそれぞれ、S4SMとS6SMの場合に、破波点近傍と破波する以前地点における鉛直断面方向の流速分布を図式化したものである。それぞれ峰の部分と谷の部分とに分けている。図中の実線はF.E.M.、○印は微小振幅波、△印はハイパボリック波、+印はストークス3次近似波である。4つの図より分かる通り、谷の部分ではいずれの理論も数値実験結果とよく合うが、峰の部分ではずれが大きくなる事が分かる。それらの一致度を以下図5～8で示すが、紙面の都合でS4SMの場合についてのみ報告する。まず、 M_R^+ 、 M_R^- については峰の部分だけであるが、いずれも微小振幅波理論が1.0に近く適用性が良い事が示されている。次に C_0 であるが、アーセル数が小さい範囲では微小振幅波理論がストークス3次近似波と共にほぼ1.0に近く相関が良いがアーセル数40を過ぎる頃からストークス波が微小振幅波よりわずかに優越する。しかし、それでも常に $C_0 \geq 0.99$ であるので十分適用できる。さらに相対残差Eについても、微小振幅波理論が他の理論に比べて値がより0に近く適合性は良い。以上、S4SMについての結果を見て来たが、他のケースでも入射波に対応した理論が必ずしも一番良くあてはまるとは限らない。計算の結果他の入射波の場合でも微小振幅波理論の適合性が最も良いようである。例えば図3、4に示した表面波形は、S6SMの場合のような破波地点で波峰が切り立って前傾度が大きい時でも、内部流速の鉛直分布は微小振幅波理論が最も良く破波点近傍まで適合性が良い事からも分かる。

5. おわりに 紙面の都合上、他の検討項目等についての詳細は講演時に発表の予定である。またさらに傾斜勾配の影響等、多くのケースについて計算を行ない、理論の適合性について調べて行きたい。

(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波変形と内部機構の解析 第30回海講
- 2) 滝川清・田判幹修；有限要素による波動解析について 第25回海講
- 3) 南根義和・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

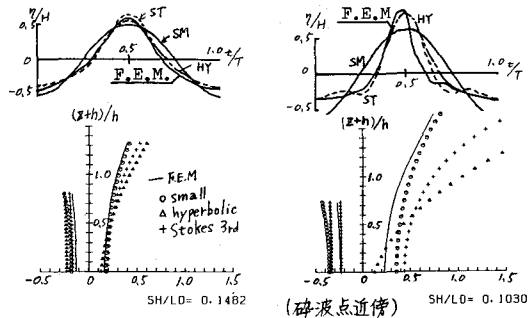


図-3 S4SMの場合の流速分布と表面波形

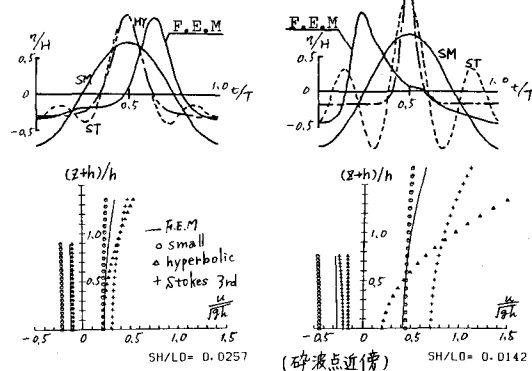


図-4 S6SMの場合の流速分布と表面波形

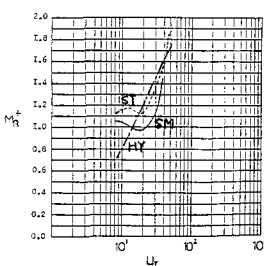


図-5 最大値の相対比 M_R^+ (峰)

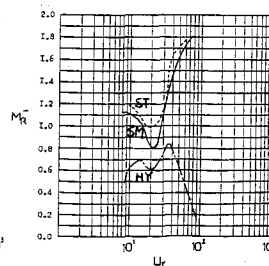


図-6 最小値の相対比 M_R^- (峰)

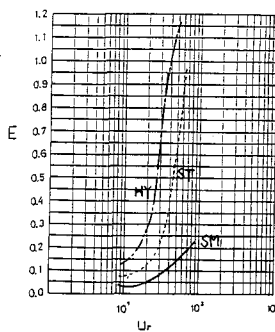


図-7 相対残差E (峰)

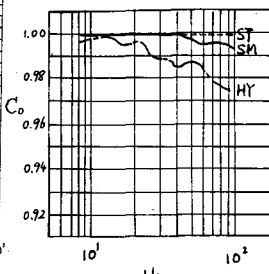


図-8 相互相関係数 C_0 (峰)