

緩斜面上の遡上機構に関する実験

東北大学工学部 学生員○前崎 宣行

正会員 小川 由信

正会員 首藤 伸夫

1. はじめに

波の遡上機構に関しては Shen-Meyer (1963), Freeman-Méhauté (1964) の理論的研究, 岩垣らの (1966) 実験的検討が行なわれドライベッドへの波の遡上高については, かなり説明されてきたが水面波形, 流速場などに関しては不明な点が多い。そこで本研究では 単一の段波を入射波として滑面, 粗面2種類の斜面において流速・波速・波形の変化を調べ各種波動理論と比較した。

2. 実験方法

実験は長さ16m, 幅80cmの矩形水路でおこなった。斜面勾配 $1/20$, 静水深24.5cmとした。粗面は中央粒径0.6mmの砂をはりつけた。造波機で段波状の波を起し, 時間波形を容量式波高計で, 流速の鉛直分布・空間分布は3mmプロペラ流速計で測定しレクタグラフに記録させた。先端の移動速度(以下波速と呼ぶ)は容量式波高計を約30cm間隔に2台設置して2点間の移動時間より求めた。また, 波先端の空間波形を写真撮影によって調べた。各測定は最低3回行なってその平均値を測定値とした。

3. 実験結果と考察

(1)遡上波の理論 : Shen-Meyerによれば遡上波の波先端軌跡 $x_f(t)$ 及び先端付近の波形 $H(x, t)$ は次式で示される。ただし x 座標は汀線を原点とし斜面に添って岸向きを正とした。

$$x_f(t) = u_0 t - \frac{1}{2} g m t^2 \quad \dots\dots(1)$$

$$H(x, t) = \{x_f(t) - x\}^2 / 9 g t^2 \quad \dots\dots(2)$$

ここで g は重力加速度, m は斜面勾配を示す。上式では摩擦が考慮されていないが 今水面勾配が

$$\frac{\partial H}{\partial x} = \alpha \frac{\partial H}{\partial x} + (1-\alpha) \frac{\partial H}{\partial x} \quad (0 < \alpha < 1) \quad \dots\dots(3)$$

のように分割でき 右辺第2項が摩擦項と釣り合うと仮定するとい, (2)式で g, m を $g\alpha, m\alpha$ と置き換えた式(以下修正S-M式と呼ぶ)及び

$$\frac{d^2 x_f}{dt^2} = \alpha(1-\alpha) g \frac{\partial H}{\partial x} \quad \dots\dots(4)$$

が成立つ。 α が一定で u_0 が x によらないならば(4)式から先端空間波形は放物線となることが示される。写真から測定した波形(図-1)は一致している。

(2)波高変化(図-2) : 滑面, 粗面とも $x=-2.5m$ 付近から波高の低下が始まり, $x=4.0m$ 付近までほぼ直線的に低下している。汀線以降に関しては, 修正S-M式と実験値を比較したが, 理論値は波高が汀線から放物線的に急に低下しているのに対して実験値は 上述のように $x=4.0m$ 付近まで直線的に減衰しその後減衰率が小さくなっている。滑面と粗面の相異は, $x=2.0m$ 以降に明確に現われている。Méhautéによる段波から稀薄波(理論的には段波は汀線上で消滅するためドライベッド上を遡上する波を区別した)への変化は実際の波の観察では $x=0$ から0.5mの間で起っている。

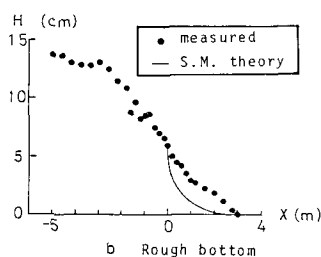
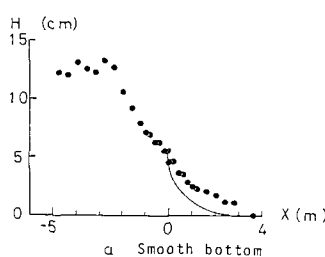


図-2 波高変化

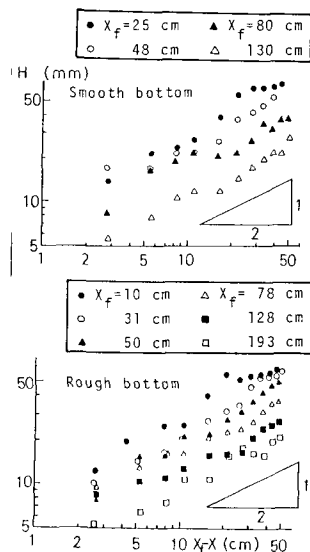


図-1 先端空間波形

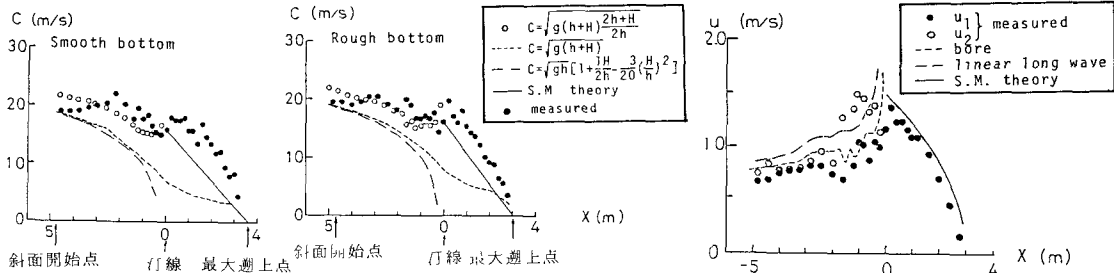


図-3 波速変化

(3)波速変化(図-3) : 汀線以深の領域に関し実験値と各種波動理論とを比較したところ、斜面開始点($X=-4.7\text{m}$)以深では、浅水理論、孤立波による値に近いのに対し $X=3.0\text{m}$ 以浅では段状波速にほぼ一致する。修正 S-M 式によると、汀線以降で波速は直線的に変化するが実験値汀線直後やや増加したのち $X=1.0\text{m}$ までほぼ一定に保ち、その後直線的に変化している。

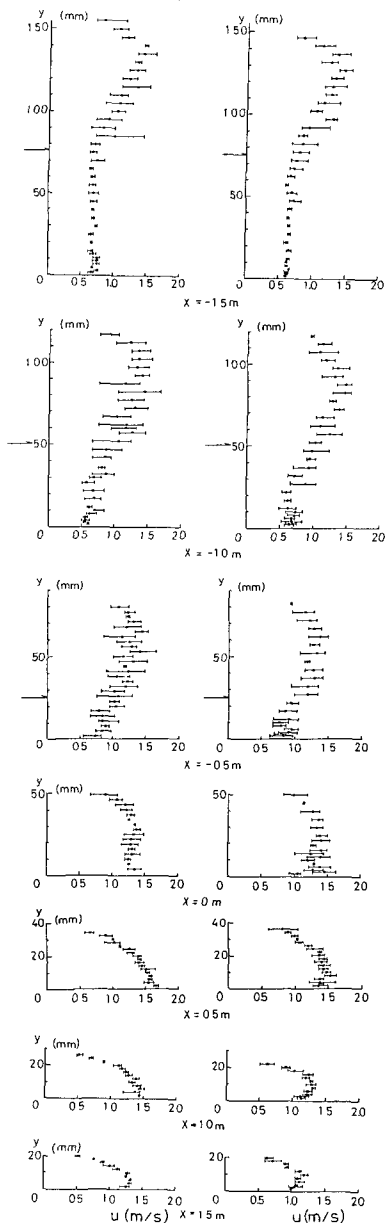
(4)流速の時間最大値の鉛直分布(図-4) : $X=-1.5\text{m}$ 、 -1.0m では静水面の上下で流速の値が大きく異なる2層構造をしている。上側は噴流のように速い流速成分を持ち、下側は鉛直方向に一樣な遅い流速になっている。波が迎上するにつれ上側が下側を引きずるように混合が進み汀線では一樣な流速分布へと変化する。その後 $X=1.0$ 、 1.5m では滑面の場合底面付近に、粗面の場合水面と底面の中間部に一番速い流速が現われる。これは、段状から稀薄波への変化の過程で波先端部の波高の低い所に速い流速成分を持つ水塊が現われるためである。粗面の場合にはさらに粗度の影響が加わり、底面近くで流速の低下が起こる。

(5)時間最大流速の空間分布(図-5) : 図-5 に、水面直下流速 u_1 、及び水面より 5cm 上方の流速 u_2 (汀線より岸側では底面付近のみ)での時間最大流速の空間分布を示す。 $X=-2.0\text{m}$ 付近から u_1 、 u_2 の値が異なった値を示す。 u_1 は $X=-1.5\text{m}$ 付近で極小値を持ちその後汀線に向かって増加する。他方 u_2 は $X=-2.0\text{m}$ 付近で増加を始め、 $X=1.0\text{m}$ 付近で最大となりその後減少して汀線で u_1 と一致する。 u_1 と u_2 が異なり始める地点は、図-2 を見ればわかるように波高の低下開始地点 $X=-2.5\text{m}$ とほぼ一致しているが、この付近で波が段波に似た構造に変化するものと考えられる。各種波動理論により、波高から流速 u を推定する場合いずれの理論も過大評価となる。段波理論は最も近い値を示すが、上述の u_1 、 u_2 の変化を表わすことはできない。なお 汀線より岸側については修正 S-M 式と一致する。

4. 結論

段波の迎上を実験により調べたが、理論によっては実際の現象を説明いきない面が多かった。特に流速分布の変化、粗度の扱いなどに多くの課題を残している。

図-5 流速の空間分布



Smooth bottom Rough bottom

図-4 流速の鉛直分布