

## II-329 斜面上の有限振幅重複波に関する基礎的研究

- Carrier・Greenspanの解の実用性について -

中央大学大学院 学生員 仲山高志  
中央大学理工学部 正員 水口 優

## 1. はじめに

近年、汀線付近での長周期波の果たす役割について注目が集まっている。その挙動を把握するための一つの方向として、斜面上の有限振幅波理論であるCarrier・Greenspan(1958)の解(以下、C-G解)の実用性について検討する。C-G解は理論的には有名なもののその実用性について検討した研究は見あたらないようである。

## 2. 基礎方程式

Mei(1983, pp521-530)によれば、C-G解における水面形 $\zeta$ 、沖方向を正にとった流速 $u$ 、および距離 $x$ は、以下のようになる。

$$\zeta = AJ_0\left(\frac{\omega\sigma}{2m}\right)\sin\left(\frac{\omega\lambda}{2m}\right) - \frac{8g}{\sigma}A^2J_1^2\left(\frac{\omega\sigma}{2m}\right)\cos^2\left(\frac{\omega\lambda}{2m}\right) \quad (1)$$

$$u = \frac{4g}{\sigma}AJ_1\left(\frac{\omega\sigma}{2m}\right)\cos\left(\frac{\omega\lambda}{2m}\right) \quad (2)$$

$$x = \frac{\sigma^2}{16m} - \frac{g}{m}AJ_0\left(\frac{\omega\sigma}{2m}\right)\sin\left(\frac{\omega\lambda}{2m}\right) + \frac{8g^2}{m\sigma}A^2J_1^2\left(\frac{\omega\sigma}{2m}\right)\cos^2\left(\frac{\omega\lambda}{2m}\right) \quad (3)$$

ただし、 $\lambda = 2(u - mt)$ ,  $\sigma = 4c$  (4), (5)

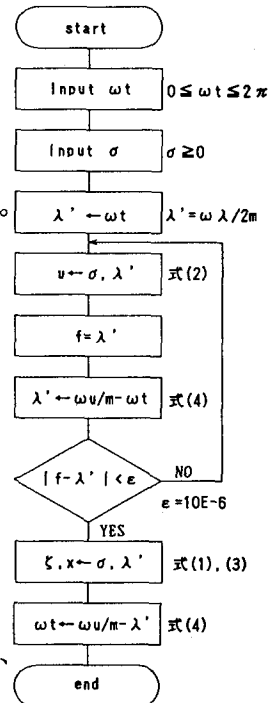
ここで、 $A$ : 遡上波振幅、 $m=sg$  ( $s$ : 斜面勾配)、 $g$ : 重力加速度、 $\omega$ : 角周波数とし、 $J_0$ 、 $J_1$ は0次、1次のベッセル関数である。 $c$ は波速で $c^2=g(\zeta+h)$ とし、水深 $h(=sx)$ は直線的に変化するものとする。この $\zeta$ と $u$ は $\sigma$ と $\lambda$ の関数になっているので、このままでは実際の現象と比較することが出来ない。そこで、実座標における $\zeta$ と $u$ を求めることで実際の現象と比較することができるよう工夫した。ある時刻における水面形、流速および距離を求めるプログラムの流れ図を図-1に示す。こうして得られる $(x, t, \zeta, u)$ の組を多数計算することによって実座標における任意の $\zeta$ と $u$ を求めることができる。すなわち、距離を固定すれば時間波形が、時間を固定すれば空間波形がそれぞれ得られる。

## 3. 実験装置および実験条件

実験は、吸収式造波機を有する、幅 0.3m、高さ 0.5m、長さ20mの二次元波動水槽に急勾配(1/3)の斜面を設置して行った。一様水深部においては、斜面のり先から50cm間隔で3本の新容量式水位計を設置し、水深は $h=35\text{cm}$ とした。斜面上には、遡上計として、斜面表面と同じレベルに容量線を設置した。同じく斜面上には、水位計と小型電磁流速計を一組としたものを同一地点に設置し、その組が斜面上を自由に移動できるようにした。なお、電気的なデータの取得はサンプリング間隔 0.02sでデータレコーダにより磁気テープにデジタル記録した。また、水面形を観察するために高速度ビデオを使用した。実験条件は、規則波を造波させ、周期は 1.25sとした。入射波高は、一様水深部に設置した水位計群のデータから特定の周期に着目して最小自乗法を適用する水口(1991)の方法で入・反射波の分離を行って決めた。

## 4. 結果と考察

まず、入射波高を変えて、遡上域の打ち上げ高、打ち下げ高、遡上の平均位置について理論と実験を比較したものが図-2である。ただし、実験範囲は入射波高のもっとも大きいもので、Micheの碎波限界(入射波



高にして、C-G解の適用限界のものの2倍）内であり、ビデオ画像によると砕け寄せ波砕波が観察された。図中、C-G解の適用範囲外への拡張は、遡上波形において谷の部分で多価関数になるところを素直に無視する形で行った。打ち上げ高、打ち下げ高はどうしても表面張力の影響を受けることを考えると、解の適用範囲内では実験と理論解の一致はよい。また、高速度ビデオの画像より、C-G解の適用限界は、物理的現象としての砕波の開始と対応していることも明らかになった。

ついで、非砕波、砕波（Micheの限界付近）、およびその間にくるC-G解の適用限界状態前・後の計4ケースを選んで、詳細な実験を行った。理論解と比較検討したのものは、遡上波形、岸沖方向の固定点での水面および流速の時間波形である。図-3は、非砕波（入射波高 0.93cm）の場合について遡上波形と、静水汀線における水位変動の時系列について、理論解と実験の結果を比較したものである。また静水汀線における流速変動の時間波形の理論値も示した。図中の実線は実験値を、点線は、遡上波形、水位変動、流速変動の理論値を、破線は、線形解の遡上波形、水位変動を示す。遡上波形は、C-G解、線形解、実験値の3者は良く一致している。水位変動の方は、線形解は合わなくなるがC-G解と実験値は良く一致している。図-4は、理論解の適用限界直前のケース（入射波高 1.74cm）において、波峰高、波谷高について理論解と実験の結果を比較したものである。C-G解、線形解、実験値の3者は、ごく汀線付近（最初の節まで）をのぞき非常によく一致していること、汀線付近では線形解は非現実的となり、実験値はC-G解によく一致することが読みとれる。また、その他のケースについても実験の結果とC-G解（およびその拡張されたもの）との一致はよかった。

## 5. 結論

有限振幅重複波理論解であるCarrier・Greenspanの解の実用性について検討した。まず、計算において解を実座標上で計算できるようなプログラムを工夫した。ついで、実験と比較、検討した。解の理論的な適用範囲内では実験との一致は非常によく、非砕波の場合の汀線付近での流れの場の定量的な評価が解析的に可能である。今後はC-G解を部分重複波や不規則波に拡張することを試みる予定である。

## 参考文献

Carrier, G. F. and H. P. Greenspan (1958): Water waves of finite amplitude on a sloping beach, J. Fluid Mech., Vol. 4 pp. 97-109,

Mei, C. C. (1983): The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, John Wiley & Sons, New York, 740p.

水口 優(1991): 浅海域における入・反射波の分離手法について、海工論、34巻、pp. 31-35

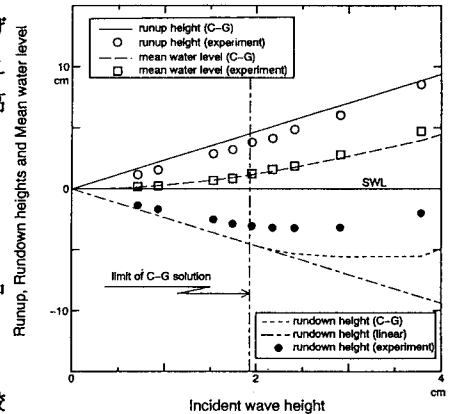


図-2 入射波高と打ち上げ高、打ち下げ高、遡上の平均位置

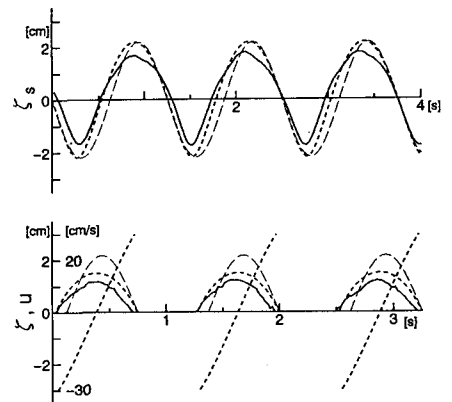


図-3 遡上波形と、(上)と静水汀線における水位変動と、流速変動u(下)

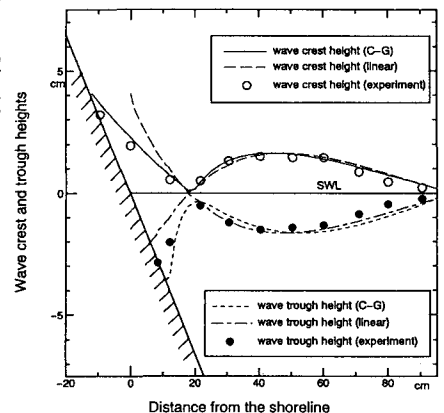


図-4 波峰、波谷の岸沖分布