

一様斜面上を斜め入射する孤立波の変形

岐阜高専・環境都市工学科 正会員 ○和田 清
Univ. of Washington, Dept. of Civil Eng. Harry Yeh

1. はじめに： 沖合いから海岸線に津波が近づくと、汀線付近の勾配や入射角によって、edge bore が形成されたり、Mach stem が生じることなどが知られている。これらの諸形態は非線形性の強い現象であり、工学上重要な課題であるにも関わらず、理論的な取り扱いが容易ではなく、定量的に解明されている点が少ないのが現状である。本研究は、一様勾配斜面に孤立波が斜め入射する場合を取り上げて、汀線の反射条件（鉛直壁、一様勾配）による Mach stem の発生の差異、さらには斜面上のrunupによる反射波の位相遅れが Mach stem の形成に及ぼす影響などを、波高分布やトレーサーによる水粒子速度分布などから実験的に明らかにしたものである。

2. 実験の概要： 実験は、米国ワシントン大学土木工学科の一部ガラス張りの鋼製水槽（幅：5.5m、長さ：13.4m、斜面勾配：15°）内で行われた。入射角は鉛直壁を斜面端部に設置した場合（case-I：一定水深）で Mach stem が発生する角度30°（一定）とした。さらに、runupの影響を比較するために、その鉛直壁を斜面上の汀線位置に設置した場合（case-II、runupを拘束した状態）および鉛直壁がない場合（case-III：一様勾配斜面）の3種類の条件を設定した。水深 h は一定（6.3cm）とし、孤立波の水深波高比（ H/h ）は0.05～0.51の範囲で6種類変化させ、time duration は0.75～2.12 sである。波高の測定位置は、造波板前面（60cm）の他、汀線に直角な断面を7測線（ $x = -36, 24 \sim 124\text{cm} : 20\text{cm}$ 間隔）、岸沖方向に5cm間隔で12測線（ $y = 3 \sim 68\text{cm} : 5\text{cm}$ 間隔）の格子状を設定した。さらに、runup領域を5点（ $y = -22 \sim -2\text{cm} : 5\text{cm}$ 間隔）計測し、総計測点数は113である。計測には直径0.5mmのタンタル線（Ta）のセンサー一部をもつ小型容量式波高（水位）計を用いて、サンプリング周波数100Hzでデジタル記録した。また、ガラス張りの斜面を利用してビデオカメラを水槽下部に固定し、トレーサー（polyethylene copolymer：直径0.5 mm、比重1.15）を利用した流れの可視化を行い、runup領域を含めた汀線付近の水粒子速度や軌跡を画像解析した。

3. 結果および考察¹⁾： (1) 一様斜面上における波の変形

鉛直壁のない一様斜面上における波の変形（case-III）を見てみよう。図-1は、 $x = 24\text{cm}$ 、水深波高比 $H/h = 0.51$ の非線形性の影響が強い場合における岸沖方向の波形の時間変化を示したものである。ただし、静水面以上のrunup領域は地盤高を加えて表示されている。汀線より沖側では入射波と反射波が明瞭に分離して、Mach stem は形成されないことがわかる。さらに、斜面上のrunup領域においても、入射波と反射波が分離している様子がうかがえる。汀線付近の同じ計測点（ $y = 8\text{cm}$ ）において、runupを拘束した場合としない場合の波形の時間変化を示したものが図-2である。鉛直壁がない場合には図中破線のように波形は双方型となり、入射波と反射波が分離している。一方、鉛直壁を設置した場合には単一のピークをもつ波形となり、鉛直壁がない場合の入射波（a）に反射波（b）を重ね合わせた波形（a + b）とほぼ類似している。このことは、反射波の位相が鉛直壁の存在によって強制的に早くなり、入射波と反射波がほぼ同位相で合成されるMach stem が形成されやすいことを示している。runup 遡上域における地点ごとの波形の時間変化を重ねて合わせて示せば、図-3のようである。図-2に示した双方型の波形（図-3中実線）はrunup領域では扁平な形状もしくは単一の波形に変化し、さらに、そのピークの時間もシフトしていることがわかる。すなわち、波形の峰に着目すると、静水面以深の汀線付近の入射波の峰（図中A点）はrunup領域の最高点付近のB点を経て、斜面を下りながら反射波が形成されて第2番目の峰（C点）に推移する様子が明瞭に現れている。

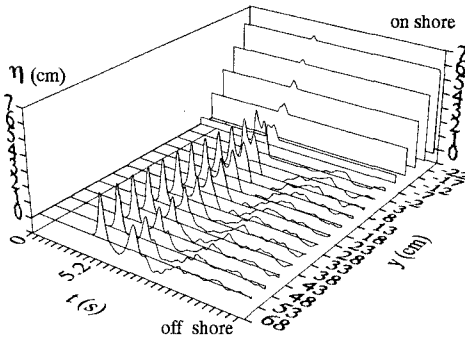


図-1 岸沖方向の波形の時間変化
(Case-III : $H/h=0.51$)

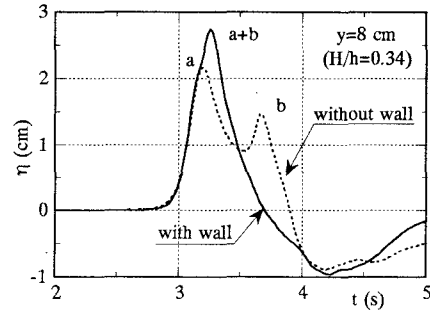


図-2 鉛直壁の有無による波形の時間変化
(Case-II+III, $H/h=0.34$)

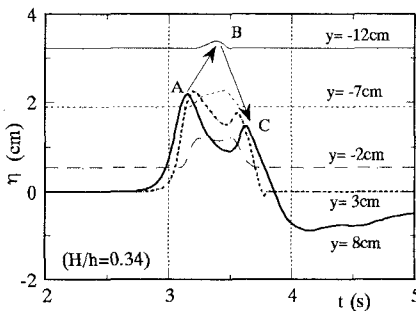


図-3 runup 遡上域の波形の時間変化
(Case-III, $H/h=0.34$)

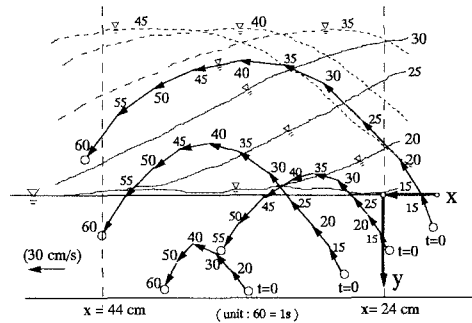


図-4 runup 遡上域の水粒子速度と軌跡
(Case-III, $H/h=0.22$)

る。非線形性が強くなると、runup の最高遡上点付近では水深がきわめて浅く、波速も遅くなるので、沖側に比べて波先線は後退する。観察によれば、ある領域（十数cm）までは汀線にほぼ直角で、それより沖側では前進することになる。フロントの背後は渦を巻き込んだ状態となり、浸水形状の空間波形はもはや軸対称ではないことがわかった。

(2) runup 遡上域における水粒子速度と軌跡： 汀線付近の流況を把握するために、トレーサーを利用した流れの可視化を行った。使用したトレーサーは粒径が小さく底部に沈殿するので、測定された結果は底面境界層の影響を含めた挙動を表しているものと考えられる。 $H/h=0.22$ における結果を示せば、図-4のようである。図中には、汀線形状の時間変化が併記されており、数値はコマ数（60コマ=1s）である。図はガラス面を下から上に見た向きで表現されており、孤立波は右下から斜めに入射する。同図から、孤立波が斜面上に進入すると弧を描くように水粒子は移動する。さらに、初期座標が静水面に近いほどrunupの遡上の影響が大きいので、その軌跡の長さは増大することになる。最大runup 遡上域付近の流速はこの場合約40cm/sに達し、大きな速度で長い距離を移動することがわかる。このようなrunup 遡上域の大きい流速を鉛直壁で拘束した効果は、反射波の位相を早めると同時に、鉛直壁付近の流れ場の特性を大きく変化させているものと考えられる。

4. おわりに： 以上、一様勾配斜面に孤立波が斜め入射する場合を取り上げて、斜面上のrunupによる反射波の位相遅れがMach stemの形成に及ぼす影響などについて述べた。孤立波が一様傾斜面やステップ状の陸棚地形に斜め入射する場合の相互干渉効果については、Carrier²⁾の理論的な成果がある。今後、Carrierの理論解と比較検討するとともに、runupの効果を直接考慮した解析を行う所存である。

【参考文献】 1) 和田 清・Harry Yeh：海岸工学論文集，Vol.44, pp.21-25, 1997.

2) Carrier, G.F. and C.F. Noiseux：J. Fluid Mech., Vol.133, pp.147-160, 1983.