

東北電力(株) 電力技術研究所 正員 奥野敏彦
(株)東北開発コンサルタント 佐藤啓二

1. まえがき: 入射波が比較的急斜面を有する消波ブロック被覆堤に衝突すると、斜面上に遡上する現象が発生する。この時の消波ブロックの安定性は、遡上波の流体力と密接な関係を持つことから、ブロックの安定性を論ずる上でも入射波の遡上特性を把握することが重要となると考えられる。

そこで、本研究は規則波を用いて不透過斜面堤(滑面、消波ブロック被覆粗面)に対する遡上特性の基本的な知見を得ることを目的として遡上実験を実施したので、ここにその結果を報告する。

2. 実験装置と実験条件: 実験水路は、幅0.7m、高さ1m、長さ35.2mの片面ガラス張り鋼製水槽で、造波機は油圧サーボ式ピストン型である。斜面堤は、図-1に示す白ペンキ塗装合板(滑面)と滑面上にテトラポッド模型(118.9g/個)を2層乱積みした粗面であり、海底勾配1:30の上に水深h=35cmに設置した。斜面堤の法勾配は1:4/3、1:2の2種類とし、斜面長は越波しない長さとした。

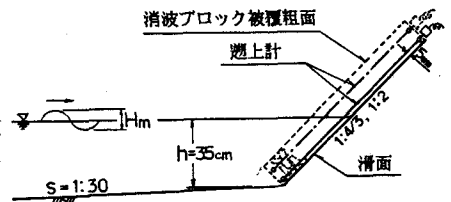


図-1 実験装置

遡上計は容量式波高計(1.5m)で、滑面では斜面より5mmの高さに、粗面ではブロック層の2層目の中心に斜面と平行に設置した。実験では、水路を長さ方向に2分割し斜面堤をガラス側面に設置し、背面側を入射波の通過波高Hの測定用とした。実験波の周期は、 $T=1.20\sim 2.45$ secの6種類とした。

3. 実験結果: 検討する遡上波の水理量は、図-2に示す遡上高Ru、流下高Rd、これらを合算した遡上変動高R'、遡上流速Vuおよび流下流速Vdである。流速Vは、遡上波形 $\eta_R(t)$ ($\Delta t=40$ msec)の隣合う2データの変動差 $\Delta\eta_R$ より $V=\Delta\eta_R/\Delta t$ とし、遡上時・流下時の最大値 $(Vu)_{max}$ 、 $(Vd)_{max}$ を遡上流速、流下流速の代表値とした。

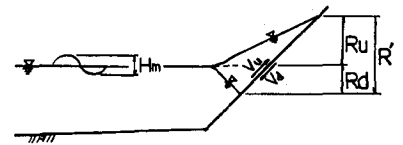


図-2 遡上波の水理量

(1) 遡上変動高: 遡上変動高は、斜面被覆材が受ける流体力の鉛直方向の作用範囲を示す水理量に相当する。図-3は、滑面と粗面の無次元遡上変動高の変化である。横軸は、斜面上での碎波形式を与えるSurf Similarity Parameter: ξ であり、次式で表わされる。

$$\xi = \tan \theta / \sqrt{H/L_0} \quad (1)$$

ここに、 θ : 斜面堤の傾斜角、 H/L_0 : 波形勾配

無次元遡上変動高 R'/H は滑面より粗面の方が小さいが、 $\xi \leq 4$ まではほぼ直線的に増加し、それより大きいとほぼ一定となる傾向にある(滑面で約3、粗面で約2)。 $\xi > 4$ では、遡上変動高は波形勾配や相対水深の影響をほとんど受けないと考えられる。また、滑面の場合 $\xi = 3$ 付近で鋭いピークを持ち相対水深が大きい程大きい。

これは、Bruun・Johannesson¹⁾が指摘した斜面上での共振現象によるものと考えられる。一方、粗面の場合では斜面の粗度により滑面時に比べ遡上高、流下高とも低下し、斜面上でのPlunging碎波の発生が抑制されるため、滑面時の傾向が現われないと考える。

そこで、粗面と滑面との遡上高Ruおよび流下高Rdの比を調べると図-4、5のようになった。suffix rとsは粗面、滑面を表わす。図-4より、 $h/L=0.186$ の場合を除くと、粗面上の遡上高 $(Ru)_r$ は

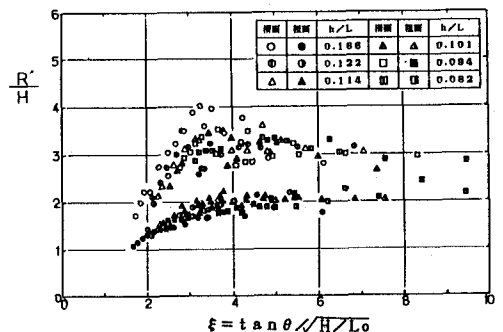


図-3 無次元遡上変動高の変化

滑面の遡上高(Ru)に対し $\tan \theta = 3/4$ で約0.6、 $\tan \theta = 1/2$ で約0.8でほぼ一定であることがわかる。図-5より、流下高Rdの比は相対水深に関係なく、 $\xi \approx 3$ で最小値

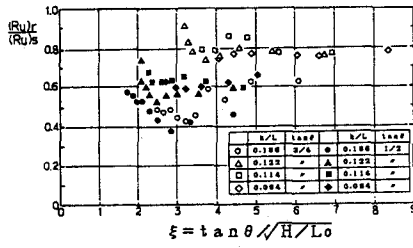


図-4 粗面、滑面上の遡上高比

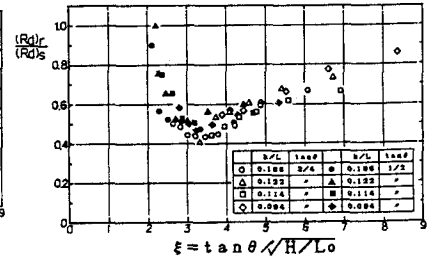


図-5 粗面、滑面上の流下高比

(0.4~0.5)を持つ。この時粗面の場合には滑面時に比べ流下高が急激に低下しており、共振現象の発生が妨げられると考えられる。

(2) 遡上流速と流下流速：消波ブロック被覆層上の遡上波の流速はブロックの安定性の解明には不可欠な物理量である。図-6は無次元遡上流速・無次元流下流速の変化を示している。これより、滑面の場合には共振現象が発生すると考えられる $\xi \approx 3$ で遡上流速は顕著なピークを示し、流下流速も非常に大きい。遡上流速のピークは相対水深が大きい程、すなわち波の周期が短い程高くなることわかる。しかし、粗面の場合この傾向は見られず ξ の増加とともに遡上流速・流下流速とも漸減している。波高が一定の時には周期が長い程、斜面上の流速は減少することになる。これは、微小振幅波理論における水平水粒子速度が $\pi H/T$ に比例することによるものと考えられる。

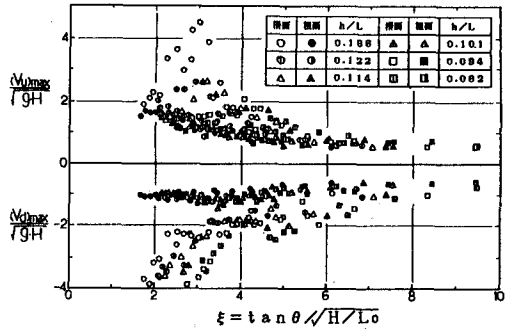


図-6 無次元遡上・流下流速の変化

微小振幅波理論による斜面法先における静水位での水平水粒子速度は次式で表わされる。

$$U_0 = \pi (H/T) \coth kh \quad \text{-----} \quad (2)$$

ここに、k：波数 (= $2\pi/L$)

式(2)に、 $T = ((2\pi L/g) \coth kh)^{1/2}$ を代入する。

$$U_0 = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{gH} \cdot \left(\frac{H}{L} \coth kh \right)^{1/2} \quad \text{---} \quad (3)$$

斜面上の消波ブロックは、波の遡上時と流下時の流れの相互作用によりロッキングから滑落への被害に至ると考えられる。そこで、粗面時の遡上・流下流速の平均値 \bar{V}_{max} について $\alpha = (H/L) \coth kh$ との関係を図-7に示す。これより、 $\alpha < 0.08$ では \bar{V}_{max}/\sqrt{gH} は対数紙上ほぼ直線的に増加しており、波形勾配が大きい程、相対水深が小さい程 \bar{V}_{max} が大きくなることわかる。ここで、相対水深が小さくなる程 \bar{V}_{max} が大きくなる原因として、このような波は浅水変形を受けやすく、波形が前傾することにより遡上流速が増大するためと考えられる。よって、斜面上の遡上波の流速を求める上で、パラメーター α が重要なファクターであるとする。

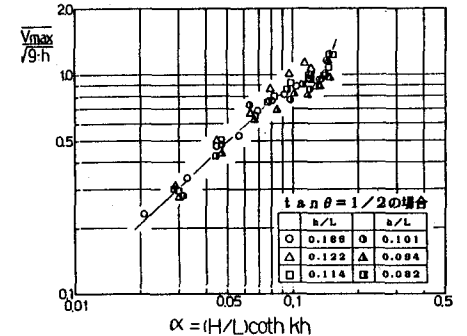
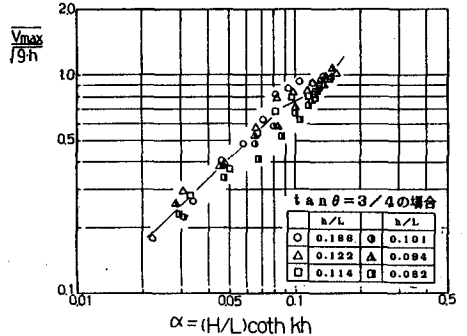


図-7 平均最大流速 \bar{V}_{max} の変化

4. あとがき：消波ブロック被覆堤の安定性問題を取り扱う上で重要な、斜面上での遡上波特性について検討したが、今後は、不規則波に対する遡上波特性、波を受ける消波ブロックの力学的特性について研究を進めたい。

<参考文献>(1) Bruun・Johannesson: Jour. of Waterway, Port and Coastal Ocean Div., WW4, 1977.