

II-327 傾斜堤被覆ブロックの安定性およびブロック移動限界波高の推定について

東北電力（株） 電力技術研究所 正会員 奥野敏彦

1. まえがき：被覆ブロックの安定性の指標には、ハドソン式の K_D 値や安定定数 $N_s=(K_D \cdot \cot \theta)^{1/3}$ ： θ は堤体前面の傾斜角）があるが、これには波の周期性や堤体水深の変化の影響が考慮されていない。

本研究では不規則波による水理実験によりこれらの点について検討するとともに、被覆ブロックの安定性を把握する上で重要となる被覆ブロックの移動限界波高の推定を試みたので、ここに報告する。

2. 実験装置と堤体模型：実験水路は、全長35m、幅0.7m、深さ1.0m である。造波機は電動油圧サーボ式ピストン型である。水路床は、造波板位置から19.6m までを水平床、それ以後を1/30勾配の一樣斜面床とした。図-1の堤体模型をこの斜面上の所定の水深に設置した。被覆斜面の形式は、テトラポッド（平均重量：118.9g/個）による二層乱積み型（空隙率：50%）である。

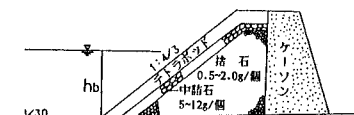


図-1 堤体模型

表-1 実験条件

有義波周期：1.59s, 1.81s, 2.44s			
設置水深 hb(cm)	一樣水深 h(cm)	法勾配 cot θ	使用ブロック数 N(個)
17.5	45.0	4/3	290
20.0	50.0	4/3	318
27.5	50.0	4/3	418
35.0	60.0	4/3	480

3. 実験条件と実験方法：実験条件を表-1に示す。実験波は、Bretschneider・光易型のスペクトルを持つ、3種類の有義波周期の波である。実験では、周期毎に波群性の異なる2種類の不規則波を用いた。実験波の作用時間は40分間で、各実験ケース毎に3～5回の繰り返し実験を行なった。実験中の堤体位置の入射波高 H_n は、予備実験で作成した一樣水深部の波高 H_i と H_n の相関式を用いて推定した。

実験におけるブロックの被害率 n は、堤体を構成するブロックの総数に対する被害累計個数の比（%）で定義した。被害の判定では、実験当初の位置よりブロック1個長以上移動したものを被害とした。

4. 堤体設置水深の変化の影響：図-2は、有義波周期 $T_{1/3}=1.59$ 秒の場合の堤体位置の入射有義波高 H_n と被害率の関係である。各曲線は、波群性の異なる2種類の波による実験結果の平均値である。 H_n は、同一の被害率に対し堤体水深 $hb=27.5$ cmの場合最も高く、 $hb=35$ cmの場合最も低い。すなわち、 $hb=27.5$ cmの時ブロックの安定性が最も良く、 $hb=35$ cmの時最も不安定であると言える。これは、同一のブロックでも堤体設置水深が変化するとその安定性は異なることを示している。

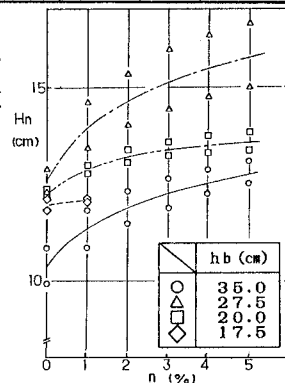


図-2 入射波高と被害率

次に、被害率0、2.5%の安定定数 N_s と水深波高比 hb/H_o (H_o :換算沖波高)の関係を図-3に示す。 N_s の変化の傾向は $hb/H_o=2.0$ 付近を境に異なる。 $hb/H_o<2.0$ では hb/H_o の減少とともに N_s も減少するが、 $hb/H_o>2.0$ では hb/H_o の増加に対し N_s は減少傾向を示す。ただし、被害率0%の場合 $1<hb/H_o<2$ の範囲で N_s はほぼ一定値となっている。この結果を考察すると、 $hb/H_o<2$ の N_s の減少は、堤体位置が砕波帯内となり被覆ブロックに激しい砕波力が作用するためと考えられる。一方、 $hb/H_o>2$ では堤体が砕波帯外に位置し、 hb が大きい程不規則波群が変形せずに直接ブロックに作用し波の不規則性(最大波や高波の連等)等の要因により N_s が低下すると思われる。

従って、被害率0～1%の N_s または K_D 値は、設計波に対し堤体が砕波帯内にある場合は一定値、砕波帯外にある場合は hb/H_o を変数とする関数形で与えるのがより合理的であると考えられる。

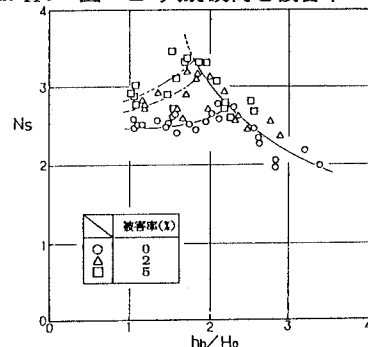


図-3 安定定数と水深波高比の関係

5. 波の周期性の影響：波の周期の影響では、surf similarity parameter $\xi (= \tan \theta / (H_o/L_o)^{1/2} : L_o$ は沖波波長)を用いて検討した。

本実験の ξ は3.5~7であり、Bruunらの研究ではこの範囲で ξ の増加($T_{1/3}$ の増加)に伴いブロックの安定性は高くなるとしている。そこで、図-4に被害率0%の時の安定定数(N_s)_{2D}と ξ の関係を示す。なお、規則波による実験結果もプロットした。規則波・不規則波とも堤体設置水深により ξ の増加に対し(N_s)_{2D}が漸増または漸減する場合があります、必ずしもBruunらの結果と一致しない。そこで、各実験ケースのプロット点の近似直線(図-4)を求め、その傾き($d(N_s)_{2D}/d\xi$)と hb/H_o の関係を図-5に示す。1.5< hb/H_o <2.5で $d(N_s)_{2D}/d\xi$ は正值、その他の領域では負値となる。これは、砕波帯近辺では周期の長い波の方がブロックの安定性が良くなり、それ以外の領域では周期が長くなると逆にブロックは不安定化を招くことを示唆している。

6. ブロックの移動限界波高の推定：ブロックの移動限界波高 H_{2D} は、斜面上の被覆ブロックが1~2個の初期被害を受ける時の波高で、被害率0%の堤体位置の入射波高 H_n とした。 H_{2D} は、沖波の伝播による浅水変形と斜面上の流体力に関係すると考え、次の関数形を仮定した。

$$H_{2D} = f(hb/L_o, U^2/(S_s - 1)g \cdot D, \alpha) \quad (1)$$

ここで、 U ：斜面上の流速(微小振幅波理論の波速の2乗に比例と仮定)、 α ：海底勾配

$S_s (= r_r/W_o)$ ：被覆ブロックと水の比重の比、 $D (= (W/r_r)^{1/3})$ ：被覆ブロックの代表長さ

(1)式の右辺の第二変数はフルード数 Fr である。(1)式には合田の砕波指標式に基づく次式を適用した。

$$\frac{H_{2D}}{L_o} = A(1 - \exp(-1.5\pi \frac{hb}{L_o} (1 + 15 \tan^4 \alpha))) \quad (2)$$

係数 A は規則波の場合0.17となる。一方、ある水深での不規則波の有義波高は沖波の有義波高を徐々に上げていくと、その位置で砕波し始まる場合に最大に達しそれ以上増加しない。この時の波高を最大有義波高とすると、その最大有義波高を与える係数 A は図-6のようになり平均すると $A \approx 0.143$ となった。図-7は波形勾配 H_{2D}/L_o と相対水深 hb/L_o の関係を示す。堤体設置水深が小さい程(2)式($A=0.143$)の曲線に漸近し、各曲線の変化は係数 A の変化に対応する。そこで、 A が斜面上の流体力に関係すると仮定し、 A と Fr の関係を調べると図-8となる。 A と Fr は反比例の関係があり、次式で表わせる。

$$A = -0.024 Fr + 0.217 \quad (Fr > 3.08) \quad (3)$$

(2),(3)式より、被覆ブロックの移動限界波高が求まる。

7. あとがき：今後は、この提案式とハドソン式との関係や波の不規則性の影響をどのように設計に反映させるか検討したい。

【参考文献】1) 奥野・佐藤：消波堤消波ブロックの安定性に及ぼす入射波の波群効果に関する実験的研究, 第34回海講論集, pp.510~514, 1987. 2) Bruun P. 他: Stability of sloping structures in relation to $\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L_o}$ risk criteria in design, Coastal Engineering, 1, pp.287~322, 1977.

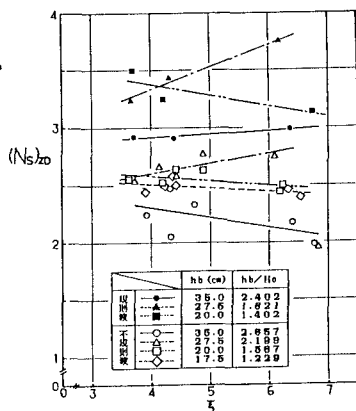


図-4 (N_s)と ξ の関係

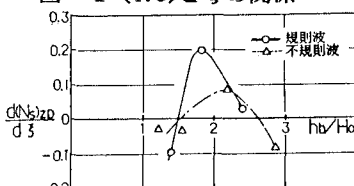


図-5 (N_s)_{2D}の傾きの変化

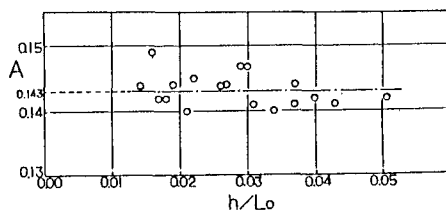


図-6 係数Aの変化

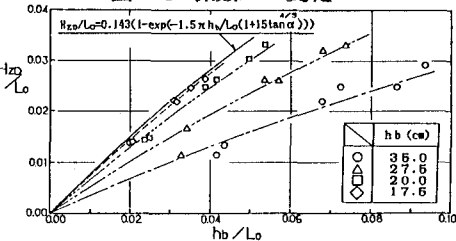


図-7 水深波高比と相対水深の関係

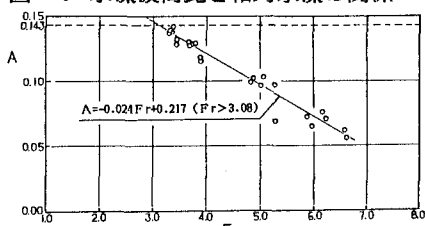


図-8 Aとフルード数の関係