

II-3

消波ブロックの安定及び消波特性について

苫小牧工業高等専門学校 正員 浦島三朗
室蘭工業大学 正員 近藤俊郎

1. まえがき

異形ブロックは一般に捨石マウンドの被覆材または根固工として多く用いられている。これはそれ自体の空隙、粗度により波のエネルギーを大量に吸収し、波の反射、波力を減殺し洗掘を防止することで、海岸、港湾の消波構造物として効果を発揮してきた。斜面上のブロックの波力に対する安定性に関する推算式としていろいろな公式が提案されているが、Hudson(1953)公式が現在最も広く使用されている。しかしブロックの安定性は、ブロックの形状は勿論のこと、波の特性、設置水深、法面勾配及び海底勾配等によって大きく異なるものであり、

一定値として一律に論ずることはできない。本研究では、波の特性、法面勾配を変化させ、消波ブロックの安定性に関する実験を行ない、あわせて後述の消波工型式の反射率についても調べたものである。

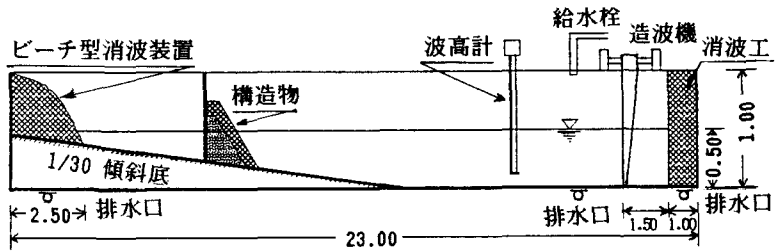


図-1 造波水路概要図 (単位: m)

2. 消波ブロックの安定

(1) 実験装置及び実験方法

実験は図-1に示すような長さ23m、幅0.6m、高さ1.0mのピストン型の吸収式不規則波造波装置が設置されている片面ガラス張りの水平底の二次元造波水路を用いて行なった。造波装置の制御は全ての実験において、造波板による再反射を抑えた吸収式制御として行なった。造波板から7m岸側の地点からモルタルによって1/30の海底勾配の傾斜をつけ、その末端にはビーチ型消波装置を設けている。また造波板背後にはヘチマロンの消波工を用いた。堤体模型は造波板より約14m岸側に設置した。水深は沖の一樣水深部で50cmと一定にして行なった。波高計には、容量式波高計を用いている。

今回実験に模型に使用したブロックは、図-2に示すようなサブレスブロックA-3であり、模型ブロックの長さの縮尺を1/20とし、フルード相似律のひ

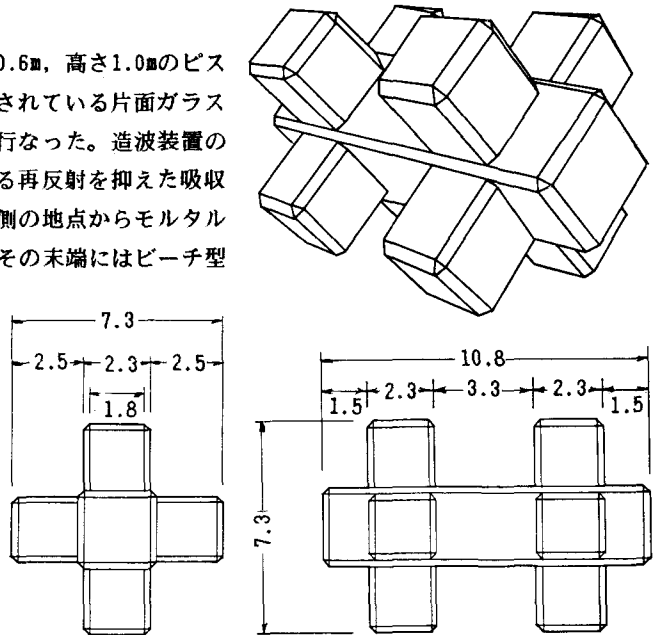


図-2 模型ブロック (単位: cm)

ずみなし模型縮尺を用いた。なお、模型ブロックの比重を2.3に近づけるため、モルタルに鉄粉を混入してある。実際に製作した模型ブロックの所要重量は403.8g、単位体積重量は2.394g/cm³及び所要重量の標準偏差は5.2gである。

今回実験した堤体断面構造は、図-3に示す(a)複層消波工型、(b)単層消波工型、(c)単層傾斜堤型の3種類である。ブロックの積み方は乱積と層積で、さらに法面勾配も1:1, 1:1.3, 1:1.5の3種類に化させて行なった。(a)の場合の内層には、平均重量15.13gの砂利を用いた。

石あるいは消波ブロックの安定に関する実験においては、安定・不安定の限界をどのような状態にとるか定めることが大切である。Hudsonは「表層を構成する個体の総数のうちで脱落する個数の割合が1%以上か、以下か。」をもって被害・無被害の判定基準としている。そして個体の所要重量Wを、次式で算出することを提案し、これが現在まで用いられている。

$$W = \frac{\gamma_c H^3}{K_D (Sc - 1)^3 \cot \alpha} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $Sc = \gamma_c / \gamma_w$ 、 γ_c は消波ブロックの単位体積重量、 γ_w は水の単位体積重量、Hは波高、 K_D は個体および被害率等によって定まる係数である。通常、設計の際に用いられる K_D は、無被害すなわち被害が1%以内の時の値を使用し、本実験においてもこの値を使用した。また α は斜面が水平となす角度である。

本実験では、被害の過程の特性と諸研究を参照して、ブロックの被害状況を、波浪によるブロックの移動が個体の全長よりも短いのか長いのかによって、(a)動揺、(b)転置以上の2段階のいずれかに判定し、各々の個数を数えた。ブロックの個体の全長は短軸の7.3cmとした。そして被害としては(b)の転置以上を対象とすることとし、被害率はHudsonと同様に全体のブロック個数に対する被害個数の%とした。実験波の周期は、安定に影響があると報告されている研究結果もあることから、ここでは1/20の縮尺を考慮して、 $T=1.3, 1.8, 2.3, 2.8, 3.3\text{sec}$ の5種類を採用した。

構造物のある場合の、入射波高の決定は、構造物のない水底地形のみの状態で、構造物設置点で測定した波高(すなわちその状態での入射波高)と、沖合一様水深部の波高との関係を周期をパラメーターとしたグラフにしておいて、構造物があるときの沖合波高から推定する方法でなされた。入射波高は、10cm程度から、堤体前面水深で丁度砕波するような20cm以上にも達することがあった。

また消波ブロックの安定実験においては、弱い波でも長時間作用させるとブロック相互のかみ合わせがよくなり、次に波高を大きくしてもブロックは容易には動かない状態となるので、本実験では各実験ごとにブロックの傾斜部をこわし、再び積み直して実験を行なった。従って本実験の結果は施工の実態と考え合わせると安全側の値を与えるものといえよう。

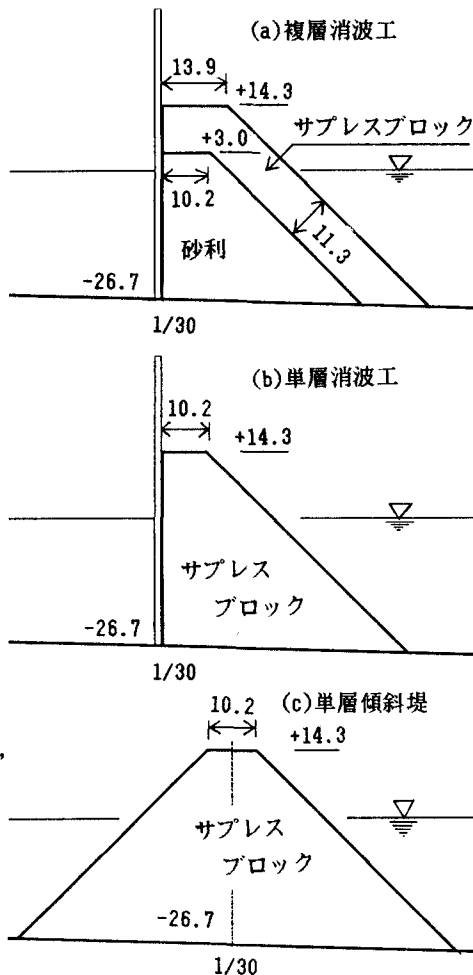


図-3 実験堤体断面図(単位; cm)

(2) 実験結果

単層傾斜堤の法面勾配1:1の状態では、ブロックの安定性がよく、各周期において造波可能な範囲まで波高を大きくし砕波状態まで実験を行なったが、すべての実験において”動揺”の状態のブロックはあったが、”転置”の状態は見られず、すべて無被害であった。堤体を消波工形式にし消波ブロックのみの単層消波工で実験を行なうと、法勾配1:1では被害状況を再現することができた。法面勾配を1:1.3, 1.5と緩くすると砕波状態で被害状況を再現することができた。堤体の層を2層にし、中詰めに砂利を用いた複層消波工については、ほぼ各周期、法勾配1:1, 1.3において被害状況を砕波状態の前の波高で見ることができた。また複層消波工の層積の状態の実験においては、単層傾斜堤と同様に被害状況を見ることができず無被害であった。

Hudson式に使われているKD値を相対水深 h/L_0 で整理したものを図-4に示す。ここで、 h は堤体の法先水深で、 L_0 は沖合い一様水深部における波長である。本実験においては、 h/L_0 がおおきくなるとKD値はほぼ一定の値を示しているが、長周期の波においてはKD値は大きくなり、安定性がよくなる傾向を示す。また単層消波工は複層消波工に比べ相対水深によるKD値の変化が大きく、KD値の値も大きくなり安定性が非常によくなる。

藤本ら¹⁾は2層乱積み消波工で実験を行ない、テトラポットでは相対水深が大きくなるとKD値は小さくなり、六角ブロックでは相対水深によってKD値は変化しないという結果を得ている。また郭ら²⁾はDolosの一層整積みの実験結果より相対水深が大きくなるにともなってKD値は大きくなり、安定性はよくなるという結果を得ている。しかし、同じ相対水深においては、周期の長い波に対してブロックは比較的安定であるとしている。この様に周期による影響は、ブロックの種類はもとより、積み方等によってもその影響は異なってくる。

一般に法面勾配が緩やかなほど安定性はよくなると言われている。本実験結果においてもその傾向を見ることができる。安定度を式(2)で定義される Stability Number NSで表わし、式(3)で定義される Surf Similarity Parameter ξ で整理したものを図-5に示す。

$$NS = \frac{\tau_c^{1/3} H}{W^{1/3} (Sc-1)} \quad \text{..... (2)}$$

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad \text{..... (3)}$$

ここで、 H は堤体部における入射波高を示す。また、NS値とKD値の関係は式(1)より式(4)の関係にある。

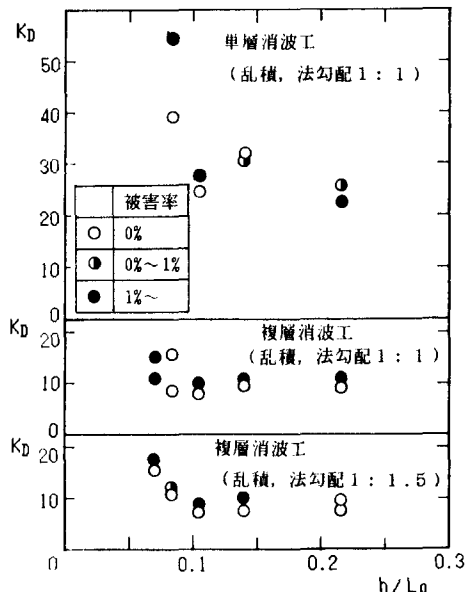


図-4 消波工のKD値と相対水深 h/L_0 の関係

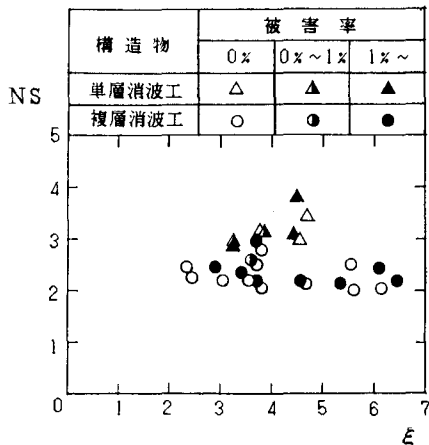


図-5 消波工(乱積)のNS値と ξ の関係

$$N_s = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad \text{----- (4)}$$

石積傾斜堤では $\xi = 3$ でNS値が最も小さくなると言われている。本実験においては、単層消波工では ξ の値が大きくなるとNS値が大きくなる傾向が伺われる。また複層消波工では ξ の値によらずほぼ一定のNSを示している。

3. 消波ブロックの反射率

(1) 実験装置及び実験方法

実験装置は、2. の安定実験と同様の装置を用いている。入・反射波の決定方法には分離推定法を用い、模型側の波高計は模型より8mと一定にし、波高計間隔を波長の約1/4とした。データ数は、波高がほぼ一定となったと思われるところから4096個をとり、FFTによりフーリエ係数を求めた。堤体は、図-2 (a)の2層の複層消波工型を用い、法面勾配を1:1.5と一定にして行った。周期は $T = 0.9, 1.5, 2.1, 2.7, 3.3$ secの5種類で、波高は約3cmから砕波するまでの19cmまでの8から9種類変化させて行った。

(2) 実験結果

反射率KRと波形勾配 HI/L_0 との関係を図-6に示す。短周期の $T = 0.9$ secの波においては HI/L_0 が大きくなるにしたがい、KRが小さくなる傾向を示す。しかし、周期が長い波においては、 HI/L_0 が小さい範囲では HI/L_0 の増加とともにKRは減少するが、ある HI/L_0 からは逆にKRは増加する傾向を示している。

反射率KRを相対水深 h/L_0 で表したものを図-7に示す。 h/L_0 が大きくなるにしたがい、KRは小さくなる傾向を示している。ブロック堤の場合KRは一般に0.2から0.4程度と言われているが、このような消波工の型式で、長周期の波についてはKRは一般に言われているKRよりも大きくなる。

4 あとがき

本実験よりサプレスブロックの複層消波工におけるKD値及び Stability Number NSは、最も最小な値をとると $KD = 8$ 、 $NS = 2$ となる。消波工を単層にするとKD値及び Stability Number NSは大きくなる。また堤体を傾斜堤にすると安定性はさらによくなる。乱積みと整積みでは整積みの方が安定性は非常によい。この種の実験は、実験値のばらつきが大きいのが普通で、何回か同じ実験を繰り返してKD値を決める必要があり、またブロックの比重等が大きく影響することから、充分安全性を見込んでKDの値を使用する必要がある。反射率は、短周期の波については小さく、最大の反射率でも一般言われている0.2から0.4の範囲にあるが、長周期の波においては大きな反射率を示す。

参考文献

- 1) 藤本, 阿部, 長谷川: 消波ブロックの水理特性に関する実験的研究, 電力中央研究所報告, 1982.
- 2) 郭, 蘇: 消波ブロック安定係数について, 海岸工学講演会論文集, 第26回, 1979.

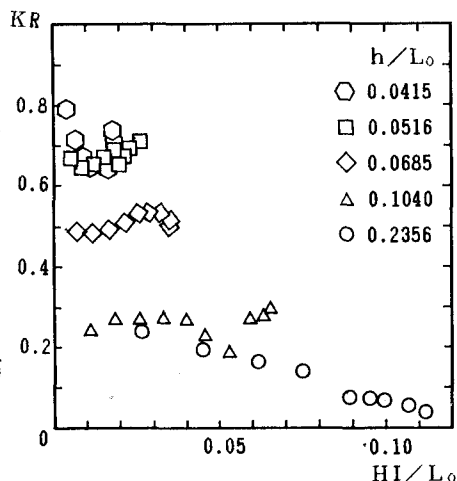


図-6 反射率KRと波形勾配 HI/L_0 の関係

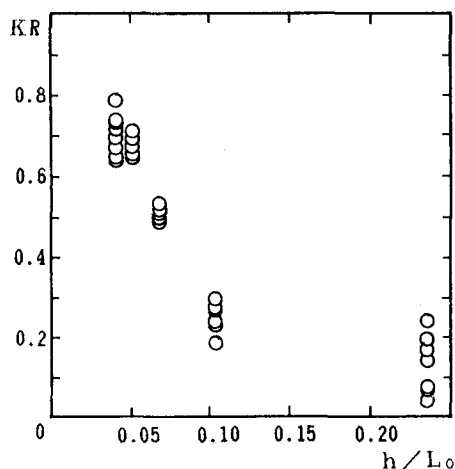


図-7 反射率KRと相対水深 h/L_0 の関係