

II-4 消波ブロック安定重量における消波工法勾配と斜入射波の検討

北海道開発局土木試験所 港湾研究室 正会員 竹田英章

まえがき

消波ブロック被覆堤(図-1)における、消波ブロックの重量算定には、ハドソン式が準用されている¹⁾。

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_0 \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cdot \cot \theta} \quad (\text{式-1})$$

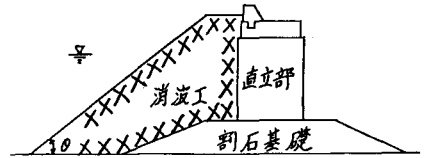


図-1 消波ブロック被覆堤

ここに W : 被覆石またはブロックの空中重量

H : 堤設置点における進行波としての波高

γ_r : 被覆石またはブロックの単位体積重量

γ_w : 海水の単位体積重量

θ : 斜面が水面となす角度

K_0 : 被覆材によって定まる定数

しかし、ハドソン式は傾斜堤の被覆層

としての安定重量を求める式であるから、

直立部前面に消波ブロックを乱積する

図-1にあっては、いまひとつ検証が必要である。すなわち、1) $W \propto H^3$ の検討、2) $\theta \approx 0$ における W の値、3) 周期の影響、4) 斜入射波の影響

などである。

消波ブロック被覆堤においても、ブロックの所要重量は波高の3乗に比例すること、および周期については実設計の点からは考慮しなくてもよいこと、が実験的に確かめられている²⁾。

ここでは、2)に関連した消波工法勾配および4)の斜入射波に関して実験を行なったので、その結果を報告するものである。

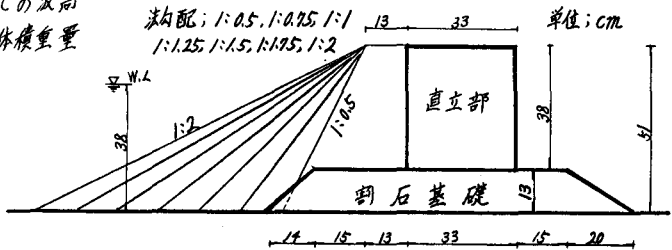


図-2 消波工法勾配の実験

1. 消波工法勾配と安定限界波高

小型造波水路(長さ28m, 幅0.8m, 高さ1m)を用いて、平均重量125g(平均比重2.5)および平均重量237g(平均比重2.37)の消波ブロック(テトラポッド)について、図-2に示す法勾配1:0.5~1:2に対して、消波ブロックの安定限界波高を求めた。実験は、法先水深38cm, 周期1.9secの波、について行なった。

法勾配1:0.5の場合、125gのブロックでは横上げることが出来ず、237gのブロックでは極く小さな波で法面が崩れた。したがって、消波ブロックの乱積にあっては、施工上可能なブロック横上げ限界法勾配が存在する。

実験の結果が、表-1および図-3である。波高が大きくなると、ブロックは押し波で直立部の方へ転倒し、

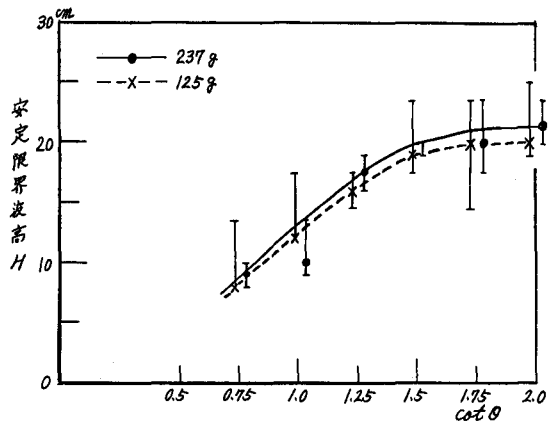


図-3 各法勾配における消波ブロックの安定限界波高

表-1 消波工法勾配の実験結果

法先水深 $h=38\text{cm}$, 周期 $T=1.9\text{sec}$

消波ブロック	法勾配 i	波高 H	消波ブロックの挙動
125g	1:0.75	8.0 ^{cm} ～ 13.5	不安定なブロック動揺, 転倒するものあり, 次第に滑ってくる。 動揺少ない。 転倒多数。数個同時に移動が生じた。
		～ 12.0 17.5	不安定なブロックのみ転倒する。 多数のブロックが同時に転倒する。 転倒多数。移動数個。
	1:1.25	14.5 16.0 17.5	転倒2個, 移動2個, 動揺が激しくなる。 転倒4～5個, 移動多数。 転倒多数。
		17.5 19.0 23.5	転倒2個, 動揺が激しくなる。 転倒1個, 移動数個, 動揺激しい。 転倒多数, 移動も増える。
	1:1.75	14.5 20.0 23.5	転倒4個, 動揺数個, 移動数個, 転倒3～4個, 動揺多数, 移動が増える。 転倒多数
		19.0 20.0 25.0	転倒2個, 動揺が大きくなる。 転倒4～5個, 移動数個, 動揺多数。 転倒2～3個, 動揺数個。
237g	1:0.75	8.0 9.0 10.0	3個移動。 据付の良好と考えられるブロックが転落した。 転落多数。
		9.0 10.0 13.5	数個浮上がる。動揺・移動数個。 水面付近で転倒多数。 数個転落。
	1:1.25	16.0 17.5 19.0	数個が動揺・転倒。 動揺および振動多数。 2～3個転倒, 動揺数個。
		19.0 ～ 20.0	転倒数個, 動揺多数。 動揺多数
	1:1.75	17.5 20.0 23.5	転倒1個, 動揺多数。 転倒1個, 移動数個, 動揺多数。 転倒数個, 移動・動揺多数。
		20.0 21.5 23.5	転倒2個, 移動数個, 動揺多数。 移動が増える。動揺多数。 移動および浮動多数。
	1:2		

引き波で前方へ転落する。法勾配が緩くなるにしたがいブロックが浮動する状態が観察される。

法勾配 1:1.5 ($\cot \theta = 1.5$) においては式-1の成立することが確かめられている²⁾ いる。

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_0 \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 f(\theta)} \quad (\text{式-2})$$

として、図-3より $K_0 f(\theta)$ の値を求めると、図-4のようになる。同図によれば、125g ブロックの方が 237g のブロックよりも、やや安定性が良くなっており、大きなブロックは安定性が低下することを示唆している。また、 $K_0 f(\theta)$ の値は $\cot \theta$ の値が大きくなると一定値をとるようである。

ハドソン式では $f(\theta) = \cot \theta$ であり、 $\cot \theta = 1.33 \sim 2$ の範囲において、実験値にほぼ適合するよう線を引いたものが図中の2点鎖線である。ハドソン式は、 $\cot \theta < 1.4$ あるいは $\cot \theta > 1.9$ では過少重量を、 $1.4 < \cot \theta < 1.9$ ではやや大きな重量を与えている。

なお、各法勾配における $K_0 f(\theta)$ と $\cot \theta = 2$ におけるそれとの比を求めたものが図-5である。

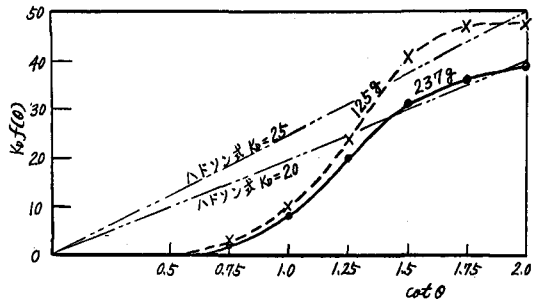


図-4 $K_0 f(\theta)$ の値

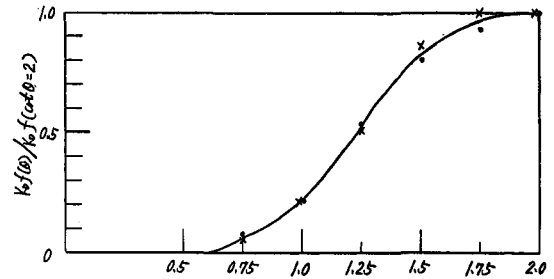


図-5 各法勾配における $K_0 f(\theta)$ の値と
法勾配 1:2 における $K_0 f(\cot \theta = 2)$ の値との比

2. 斜入射波におけるブロックの安定限界波高
平面水槽に、図-6に示すように、長さ5mの模型を、 $\theta = 0^\circ$ (直角に波が入射する場合)、 30° 、 45° 、 60° として、周期 $T = 0.7 \text{ sec}$ 、 1.0 sec 、 1.2 sec 、 1.5 sec 、 1.7 sec の波を作用させて、消波ブロックの安定限界波高を求めた。模型の断面は同図の右側に示すもので、使用した消波ブロックはテトラポッド 33g (比重 2.17) である。

安定限界の判定は、据付の良好でないブロックが、転倒したり転落したものを安定限界波高の下限、据付の良好なブロックが浮動や転落する状態を安定限界波高、おさらにブロックが不安定となる状態を安定限界波高の上限として、実験データ集³⁾ の観察により行なった。

図-7は $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 30^\circ$ の実験結果を比較したものである。 $\theta = 0^\circ$ と $\theta = 30^\circ$ では有意な差は見い出せないようである。なお、周期が大きくなるにしたがい安定限界波高はやや大きくなる傾向を有しており、前報²⁾ の場合とは逆の結果となっている。しかし、周期のちがいによる安定限界波高の差は、ほぼ

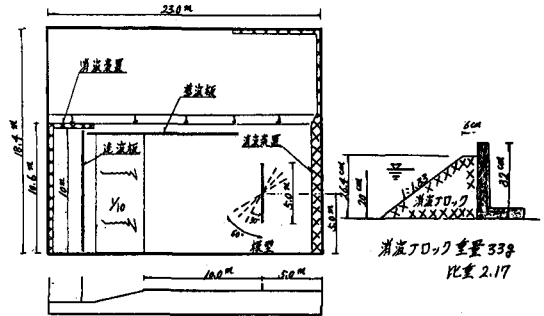


図-6 斜入射波の実験

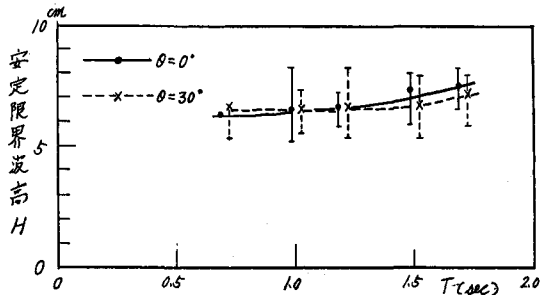
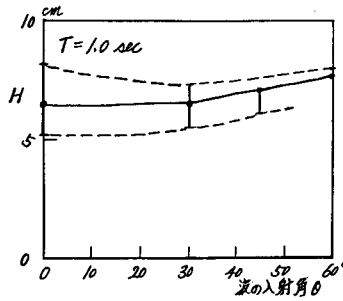


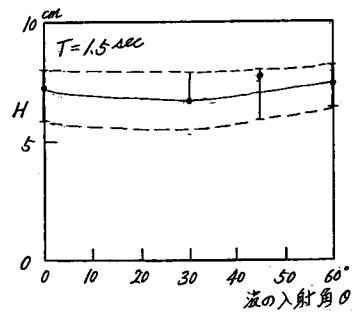
図-7 波の入射角 $\theta = 30^\circ$ の安定限界波高

1 cm で実験としては明瞭な差を有すると判断することはできない。

図-8の(a)および(b)は、
周期1.0 sec, 周期1.5 sec における入射角度と安定限界波高である。 θ が大きくなると安定限界波高はやや大きくなる傾向を有する。しかし、安定限界波高の上限および下限を考慮するならば、斜入射波に対して消波ブロックの重量を減するほどには至らないようである。



(a) $T=1.0 \text{ sec}$ の場合



(b) $T=1.5 \text{ sec}$ の場合

図-8 斜入射波による消波ブロックの安定限界波高

なお、今回は斜入射波の影響を
ブロックの挙動状況から調べたが、ブロックの転落回数より斜入射波の影響を求めた結果については、別途発表の予定である。

3. $K_0 f(\theta)$ の値の検討

今回の法勾配の実験における $K_0 f(\theta)$ の値は、法勾配 1/2 に対して、図-4 より 40~50 である。また、図-7 の実験における、 $\theta=0^\circ$ に対する安定限界波高 $H=6.5 \text{ cm} \sim 7.5 \text{ cm}$ については $K_0 f(\theta)=11.3 \sim 17.3$ であり、この値を図-5 により法勾配 1/2 の場合に換算すると平均値 22 となる。前回の実験²⁾では、据付の良好なブロックが浮動または大きく動揺する動揺限界に対しては $K_0 f(\theta)=17$ 、据付の良好なブロックが 1~2 個抜け出し転倒あるいは脱落する転落限界に対しては 21 であった。図-5 より法勾配 1/2 の場合に換算すると、動揺限界では 20、転落限界では 25 である。

北海道開発局管轄の港湾・漁港の消波工設計に際しては、式-1 のハドソン式を準用してテトラポッドの場合 $K_0=8.3$ 、標準法勾配 1/1.5 としているので、図-5 を用いて法勾配 1/2 の場合に換算すると 1/5 になる。もっとも設計波高としては有義波高 $H/5$ を採用している。もし、表-1 のようなブロックの挙動を許容するならば、今回の法勾配の実験結果は当局の設計に比較して、波高比で 1/4~1/5 の余裕を有している。したがって、今回の実験が規則波によるものであるゆえ H_{max} に相当するものと考えるならば、当局の設計は $H_{max} \lesssim 1/5 H/5$ に適用されるものであろう。

結論

1) ハドソン式は、法勾配が急な場合あるいは緩い場合には過少重量を与える。法勾配の影響は図-5 より求めることができる。

2) 消波ブロック重量における斜入射波の影響は、ブロックの挙動状況からみる限りでは、その影響は認め難い。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局：港湾の施設の技術上の基準・同解説、p2-118、日本港湾協会発行、昭和54年3月
- 2) 竹田英章・竹田義則：消波ブロックの安定重量について、土木学会35回年講、第2部、昭和55年9月
- 3) 土試港湾研究室：ブロック安定性水理実験業務報告書、昭和54.55年度、サンヨーコンサルタント実施
- 4) 福田光男・吉本豊：消波ブロック被覆堤に関する斜入射波の実験；24回北開局技術発表会(昭和56年2月)