

# 消波ブロック構造の安定

竹 田 英 章

まえがき<sup>1)</sup>

欧米諸国では石材が豊富なので、防波堤は石材を主体とした傾斜堤が主流となっている。外洋に面した大波浪の来襲する地域では、傾斜堤の表面は、巨大な自然石あるいはコンクリート方塊が用いられてきた。しかし、被覆材の大きさには経済的な限界があり、安定性の大きなコンクリートブロックの開発研究が進められた。フランス・グルノーブルのネールピック水理研究所のダネル（Danel）は、実験的研究によって、これまでの被覆材とは異なった機能をもつテトラポッドを 1949 年に開発し、消波ブロックとして我国に紹介した。以来六脚ブロック、中空三角ブロックが実用化され、ひきつづき各種の異型ブロックが開発された。

船舶の接岸する岸壁の前面は一般に直立壁である。防波堤で囲まれた静穏な空間と水際線の有効利用の点から、岸壁や護岸の築造がすすみ、自然海浜の消滅した港や、人工的に陸地に掘込んだ港では、水際線の大部分が直立壁で囲まれ、港内波が反射を繰返して、海面が擾乱しやすく、副振動の発生も懸念される。このような欠点をなくして、静穏で使いやすい港にするには、消波工により港内波のエネルギーを吸収するのが効果的である。しかし、従来の消波工では、岸壁としての機能が失なわれ、港内における操船の安全性にも影響する。タインブロックをはじめとするブロック式直立消波構造は、このような要請をうけて開発されたもので、10～40トンの比較的小型のプレキャストコンクリートブロックを割石基礎上に積上げるものである。

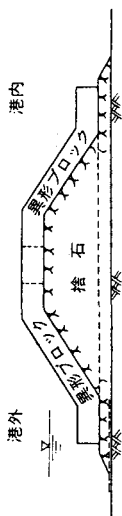
## 1. 消波ブロックの使用例と必要な条件

消波ブロックの使用例を構造断面から分類してみたものが図-1.1～図-1.9である。消波ブロックは、防波堤、防砂堤、導流堤、護岸、堤防、岸壁等、広範囲に使用されている。

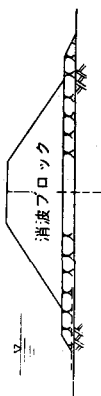
異型ブロックは、状況により消波ブロック、被覆ブロックのどちらにも使用される。したがって、その具備すべき条件は類似しており、有効な空隙と粗度、かみ合せによる安定性、施工の容易性、および経済性等があげられる<sup>2)</sup>。もっとも、消波ブロックは消波効果を、被覆ブロックは安定性を重視して開発されている。たとえば、図-1.1と図-1.4では消波と被覆の、図-1.2と図-1.5では消波の、図-1.7では洗掘防止と消波の機能を期待している。

石狩川および天塩川の導流堤に採用された構造が図-1.3である。簡易構造物としての域を出なかった石枠堤に、鋼管、鉄筋コンクリートおよび消波ブロックを使用することにより、洗掘に強くて大波浪に耐え得る永久構造物としての石枠堤が可能となった。

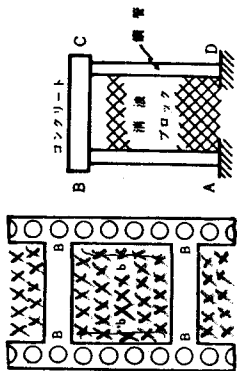
我国の防波堤にあっては、消波ブロックの波力軽減、越波減少、反射波減少の効果を最大限に発揮する図-1.5の型式が盛んに採用されている。しかし、この型式は建設水深が大きくなると、著しく工費のかさむのが欠点である。多孔ケーソン、スリットケーソン等の消波機能を有する滑動安定性の高い防波堤が開発されているが、ケーソンの据付にあたってはいずれも大型起重機船を使用しなければならない。図-1.6の型式は、在来ケーソン外側隔室の上半分のみをスリットにして隔室内に消波ブロックを



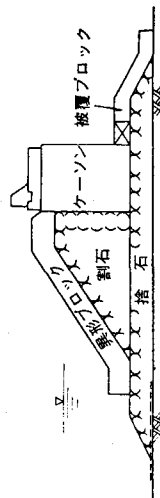
図一1.1 捨石堤



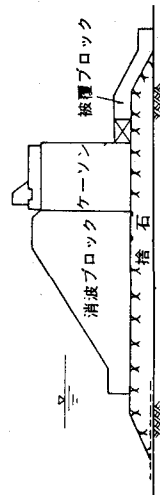
図一1.2 消波ブロック堤



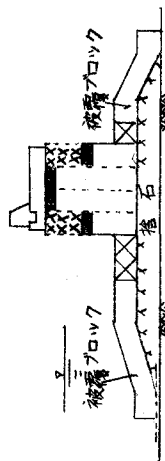
図一1.3 石杭堤



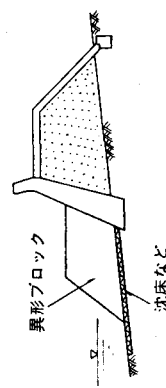
図一1.4 消波工-1



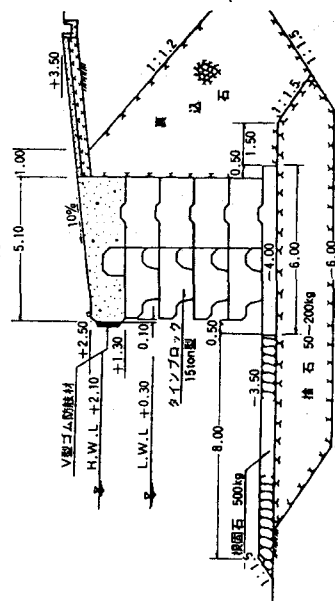
図一1.5 消波工-2



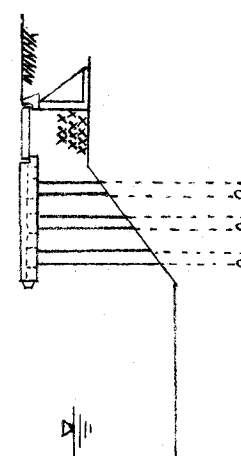
図一1.6 消波混成堤



図一1.7 堤防



図一1.8 ブロック式直立消波構造



図一1.9 浅橋

填充したもので、進水・曳航のさいにはスリットの部分を簡単な蓋で覆うことにより浮力を持たせることができる。なお、図－1.9は浅橋の奥部に消波工を配して、床版に作用する揚圧力を軽減すると共に、港内静穏度を確保しようとするものである。

## 2. 消波ブロック構造の安定

ここで扱う消波ブロック構造は図－1.1～図1.8とし、外力としては波浪を対象とする。また、地盤安定の検討は岸壁の設計に準ずるので割愛する。

### 2.1 捨石堤（図－1.1）

表層ブロック重量、割石の表層ブロックからの吸出し、法先洗掘が検討事項となる。この型式は、ほとんど陸上よりの巻出し工法で施工される。したがって、天端幅は施工に必要な幅より定まることが多く、一般に十分な天端幅を有している。なお、越波および表層ブロック部からの透過波防止のために、しばしば頂部コンクリートが施工される。この際には頂部コンクリートに作用する波力、付随して港内被覆ブロック重量が検討事項に加わる。

表層ブロックの所要重量は、一般にハドソン式（2.1）により求められる<sup>3)</sup>。式中の文字については、たとえば文献2）p. 51を参照されたい。

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (\gamma_r / \omega_0 - 1)^3 \cot \alpha} \quad (2.1)$$

式中の $K_D$ の値としては、たとえば、表－2.1があげられる。この場合の波高 $H$ としては有義波高 $H_{1/3}$ の採用が妥当と考えられる<sup>4), 5)</sup>。

表－2.1 被覆層としての $K_D$ 値（2層）<sup>6)</sup>

| 被 覆 層   | 堤 幹 部    |      | 堤 頭 部    |     |               |
|---------|----------|------|----------|-----|---------------|
|         | $K_D$ の値 |      | $K_D$ の値 |     | 斜面勾配          |
|         | 砕 波      | 非砕波  | 砕 波      | 非砕波 | $\cot \theta$ |
| 丸味を帯びた石 | 2.1      | 2.4  | 1.7      | 1.9 | 1.5～3.0       |
|         |          |      | 2.5      | 2.8 |               |
| 角ばった石   | 3.5      | 4.0  | 2.9      | 3.2 | 1.5           |
|         |          |      | 2.0      | 2.3 | 3.0           |
| テトラポッド  | 7.2      | 8.3  | 5.9      | 6.6 | 1.5           |
|         |          |      | 5.5      | 6.1 | 2.0           |
| トリバー    | 9.0      | 10.4 | 4.0      | 4.4 | 3.0           |
|         |          |      | 8.3      | 9.0 | 1.5           |
|         |          |      | 7.8      | 8.5 | 2.0           |
|         |          |      | 7.0      | 7.7 | 3.0           |

割石が表層ブロックから吸出されないためには、表層ブロック直下の割石重量は表層ブロック重量の1/10以上、その下の割石重量は、上層割石重量の1/20以上が推奨されている<sup>7)</sup>。

法先洗掘は表層ブロックのずれ落ちを招き、堤体破壊の要因となる。砂地盤で砕波が作用する場合

には、法先に洗掘防止シートを敷いてから捨石を施工するのが望ましい。なお、表層ブロックを整積する場合には法止めブロックは欠かすことができない。

透過波および越波防止のために設けられる頂部コンクリートには  $p = 1.5 w H^{1/3}$  の波圧が作用するものと考えられる<sup>8)</sup>。この際、一般に頂部コンクリートは表層ブロック部に埋込まれた形となるので、その場合には港内側ブロックの抵抗力を考慮することができよう<sup>9)</sup>。

港内側被覆ブロックの重量については、港外側被覆ブロック重量の  $1/2$  あるいは港内側に作用する波より求められる重量のうち、大きい方の値を採用している事例が多い。

## 2.2 消波ブロック堤 (図-1.2)

消波ブロック重量、消波ブロックの沈下、および堤体透過波が検討事項となる。消波ブロックは乱積で施工される例が多く所要重量算定にあたっては、式(2.1)のハドソン式が準用される。その際の  $K_D$  値の一例が表 2.2 である。

表-2.2 消波ブロック堤としての  $K_D$  値 (乱積)

| 名 称     | テトラポッド   | 中空三角     | 六 脚      | 三 柱       | アクモン      |
|---------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| $K_D$ 値 | 8.3      | 7.6, 8.1 | 7.2, 8.1 | 8.1, 10.0 | 8.3       |
| 名 称     | シェーク     | コーケン     | 三 連      | 四方錐       | 合 掌       |
| $K_D$ 値 | 8.6      | 8.1, 8.3 | 10.3     | 9.3       | 8.1, 10.0 |
| 名 称     | クリンガー    | ジュゴン     | W・V      | ホロースケヤ    | ガンマエル     |
| $K_D$ 値 | 8.1, 8.3 | 8.1, 9.0 | 13.0     | 13.6      | 8.5       |

また、碎波域における潜堤のブロック重量については、中村、上北の提案する式(2.2)により求められる<sup>10)</sup>。

$$F = 0.31 C_D \cdot A \cdot \omega_0 \cdot H_b \quad H_b = 0.78 hb \quad (2.2)$$

天端幅は、3～4個並びが採用されるが、かみ合せのよい消波ブロックでは個々のブロックは安定でも全体としては不安定になる場合がみられる。したがって、設計潮位以上の堤体部分について捨石堤に準じた検討<sup>11)</sup>を行なうことが望ましい。

波浪は消波ブロックにより碎波されて流れとなり、海底面の砂を激しく移動させる。また、港内の水位上昇により港内から港外への流れが発生して、消波ブロック沈下の原因となる。このため、割石層さらには洗掘防止シートが施工される。もっとも、割石層は海底の起伏を覆って施工面を均一レベルとするので施工が容易となる。

消波ブロック堤では、透過波高が4～5割にも達するので<sup>12)</sup>、波浪と砂の透過を阻止するため、堤体内部に不透過壁が設けられることもあるが<sup>13)</sup>、その壁の設計にあたってはとりたてて波力は考慮されていない。

## 2.3 消波工設置防波堤 (図-1.4 および図-1.5)

図-1.4は図-1.1に、図-1.5は図-1.2に準じて設計される。図-1.5において基礎割石重量が消波ブロック重量の  $1/20$  より小さい場合には、割石の吸出防止のため中間層が配される。

直立部に作用する波力については次のとおりである。

1) 図-1.4 の場合

表層ブロック部については  $p = 1.0 w H_1/3$  , 割石部については割石の主働土圧力を, なお被覆されない部分については,  $p = 1.5 w H_1/3$  。

2) 図-1.5 の場合

$p = 1.0 w H_1/3$  <sup>14)</sup> , あるいは合田による消波ブロック被覆堤の直立壁に作用する波力 <sup>15)</sup> 。

2.4 石枠堤 (図-1.3)

鋼管に作用する波力および填充ブロックの重量算出が検討事項となろう。天塩港の導流堤における設計は次のとおりである <sup>16)</sup> 。

堤体幅は直立堤に準じ転倒の条件より定めた。鋼管に作用する波力は, 単独杭に作用する波力より求め <sup>17)</sup> , 填充ブロックの圧力は堤幅に等しい高さまでは増加し, それより下では増加しない <sup>18)</sup> ものとして鋼管の断面を定めた。

填充ブロックは波によって浮き上がらないことを条件にした。すなわち, 静水面における水粒子の最大上昇速度は  $v = \pi H/T$  <sup>19)</sup> であるから, 填充ブロック下面に作用する圧力強度は  $p = \alpha w v^2/2g$  となる。ここで  $\alpha$  としては衝撃的な圧力を想定して  $\alpha = 2$  <sup>20)</sup> とした。

天塩港の場合, 海底面付近より約 1 m 深さにわたり鋼管がサンドブラストされた。また, 消波ブロックの沈下防止として使用した洗掘防止シートがズタズタに引き裂かれた。もし, シートの上に割石層を配していれば, このような現象は生じなかったものと考えられる。

2.5 消波混成堤 (図-1.6)

堤体に作用する波圧は波高  $H$  に比例するものとして  $p = \alpha w H$  とおけば, 堤体に作用する波力は,  $p = \alpha w H A$  となる。いっぽう, 堤体の有効重量を  $W'$  とすれば滑動抵抗力は,  $\mu W'$  であるから, 堤体が滑動するときの滑動波圧係数  $\alpha'$  は式 (2.3) で表わすことができる。

$$\alpha' = \frac{\mu W'}{w H A} \quad (2.3)$$

ここに,  $w$  ; 海水の単位体積重量 ( $= 1.03 \text{ t/m}^3$ )

$H$  ; 防波堤の滑動限界波高 (設計波高  $H_{\max}$ )

$A$  ; 波圧の作用面積

$\mu$  ; 堤体と割石基礎との静止摩擦係数

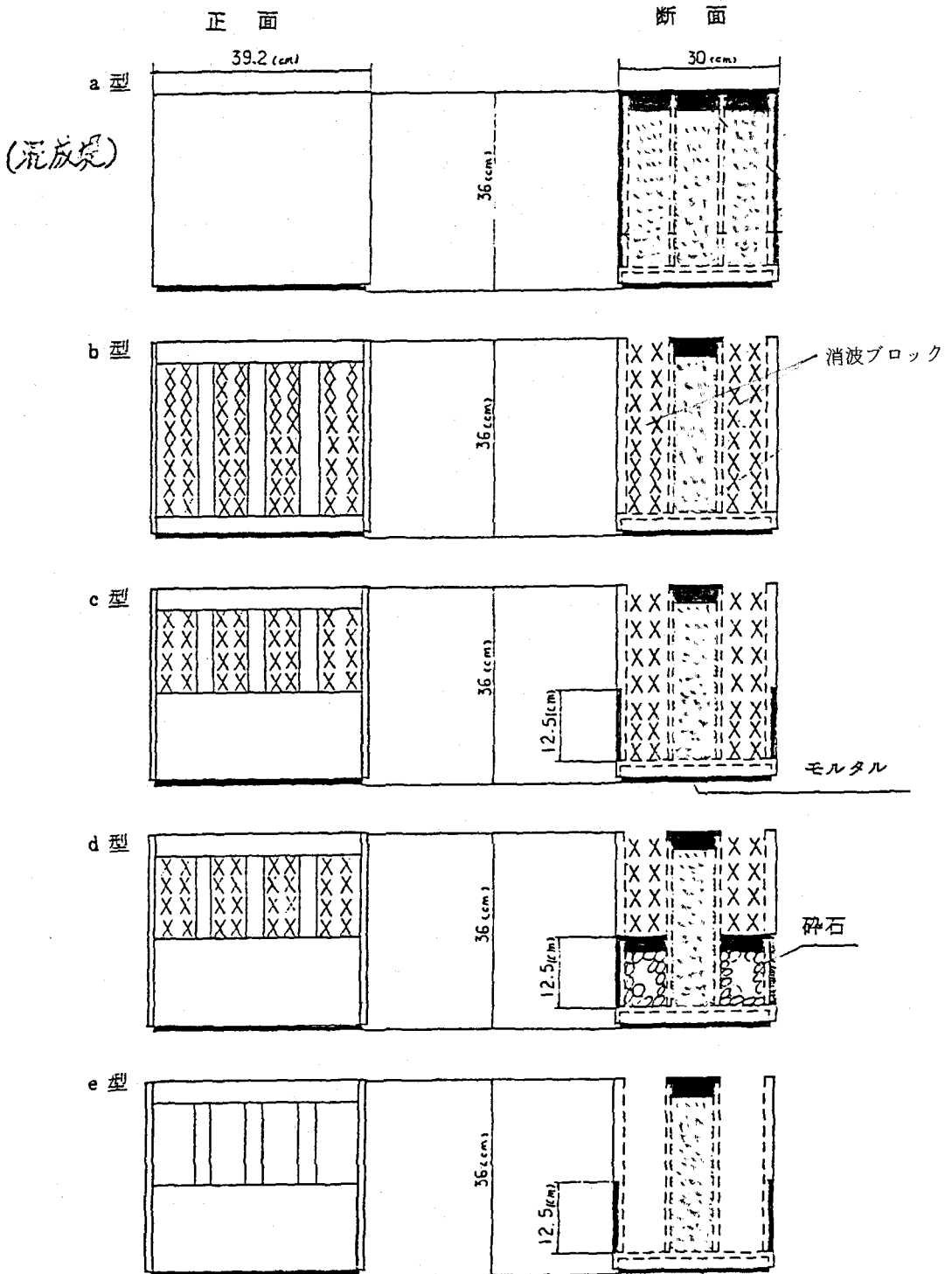
$W'$  ; 堤体の有効重量, すなわち堤体の空中重量から HWL 時の浮力を差引いた値

なお, 揚圧力はここでは  $\alpha'$  の中に含めて考える。各種の消波混成堤における滑動波圧係数  $\alpha'$  は図-2.1 より求められる。図-1.5 の消波工設置防波堤における重複波領域での滑動波圧係数は, 森平等によれば  $p = 0.8 w H_{\max}$  <sup>21)</sup> , 赤塚等によれば  $p = (0.6 \sim 0.8) w H_{\max}$  <sup>22)</sup> である。

スリット部材に作用する波圧は, 当室の実験では, 港外から遊水室へ波が入るとき  $p = 0.8 w H_{\max}$  , 遊水室から港外へ波が出るとき  $p = 1.1 w H_{\max}$  であった。谷本等の曲面スリット部材に働く波圧は, 港外から遊水室  $p = 0.75 w H_{\max}$  , 遊水室から港外  $p = 1.0 w H_{\max}$  または  $p = 1.5 w H_{\max}$  である <sup>23)</sup> 。したがって, スリットは  $p = 0.8 w H_{\max}$  および  $p = 1.5 w H_{\max}$  で設計すれば安全と考えられる。

2.6 堤防 (図-1.7)

堤防にあつては, 洗掘防止を主に消波を従として, あるいは消波を主として, 異型コンクリートブ



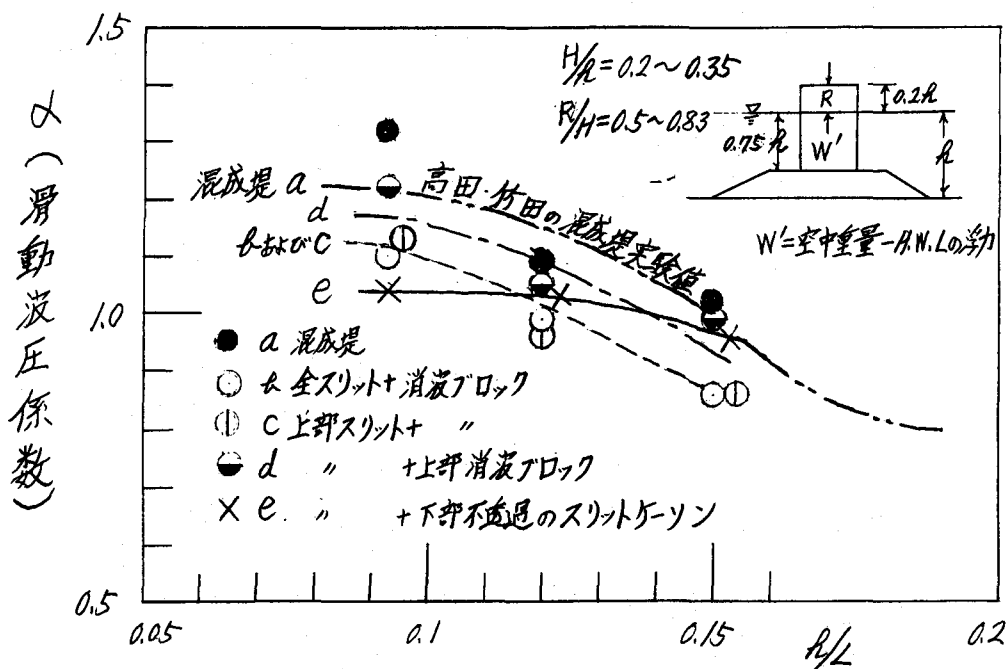


図-2.1 滑動波圧係数

ロックが使用されている。堤防自体に消波機能を持たせたものとしては、トライアンブロックがあげられる。

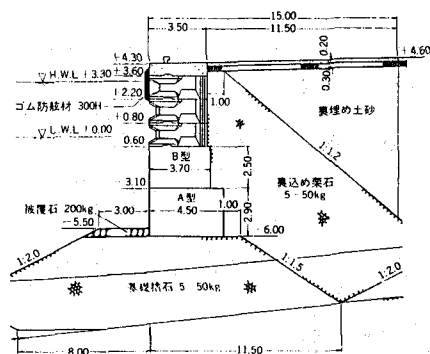
異型ブロックは空隙率が多いので、ブロック下側の戻り流れによって、ブロックが沈下する場合が多い。異型ブロックのみを投入してかなりの効果を発揮している例も少なくはないけれども、一度設置したものが沈下し、その上にさらに1~2回ブロックを追加補給した事例がかなり多い。一般にブロックは、2回も追加すれば、前面海底が著しい侵食を受けないかぎり、ほぼ安定してブロックの沈下が止まる例が多い。異型ブロックの下に敷石を用いる場合には、上の方に大きいものを下の方に小さなものを敷込むのが望ましい。洗掘の激しい場合には、さらに敷石層の下にシートを施工する<sup>24)</sup>。

消波ブロック重量に関しては、水深が換算沖波波高の0.5倍以下の地点では、換算沖波波高の0.5倍の水深における有義波高を用いて算出する<sup>25)</sup>。

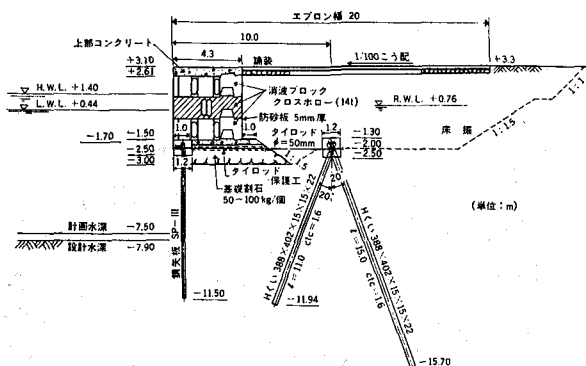
## 2.7 ブロック式直立消波構造<sup>26)</sup> (図-1.8)

直立消波構造はほぼ50%の空隙を有し軽量なので、耐震上は方塊積に比べて有利である。消波岸壁としての施工例は数多く、設計にあたっては例えば図-2.2や図-2.3のようにさまざまな工夫がなされている。最近では、護岸や岸壁に限らず、その波力減殺効果や経済性と相まって波除堤にも採用されている。

波除堤の場合の破壊状況としては次の2種類である。その一つは、波力の作用時にブロック端のマウンドが沈下し傾斜転倒するか、あるいはこれに付随してブロックのかみ合いがゆるみ分離するものである。他の一つは、上部工がホゾからはずれ、ついで上段からつぎつぎと下段のブロックがはずれる場合である。したがって、設計にあたっては割石基礎上にブロック幅以上の十分な強度を有する床版ブロックを設け、かつ十分な重量を有する上部工を配することが必要である。



図一 2.2 長崎港皇后地区  
— 5.5M岸壁



図一 2.3 直立消波ブロックと鋼矢板を  
組合せた岸壁（仙台新港）

表一 2.3 ブロック式直立消波構造の転倒波圧係数

|             | 転倒波圧係数 $\alpha'' = p/w H_{\max}$ |      |      |
|-------------|----------------------------------|------|------|
|             | I                                | II   | III  |
| 方塊積防波堤      |                                  | 1.24 | 1.42 |
| 消波工設置方塊積堤   |                                  | 0.79 |      |
| ブロック式直立消波構造 | (Aブロック)                          | 0.97 | 1.18 |
|             | (Cブロック)                          | 1.02 |      |

注) Iは大きい方の波高から求めた値

IIは転倒限界波高から求めた値

IIIは小さい方の波高から求めた値

2.5に準じて転倒波圧係数を求めた結果が表一 2.3である。同表によれば、ブロック式直立消波構造に作用する波力は直立堤の場合の85%程度と考えられる。また上部工の空中重量について、上部工がホゾからはずれるときの波高から等分布荷重としての揚圧力係数を求めた例が表一 2.4である。同表によると  $p_u = 0.5 w H_{\max}$  程度と考えられる。この値は上部工が浮上がつてホゾから外れる場合のものであるから、設計としてはこの値の2倍をとる必要があろう<sup>27)</sup>。

表一 2.4 上部工がホゾからはずれる  
ときの揚圧力係数

|       | 揚圧力係数 $\beta = p_u/w H_{\max}$ |      |      |
|-------|--------------------------------|------|------|
|       | I                              | II   | III  |
| Bブロック | 0.34                           | 0.42 | 0.52 |
| Dブロック | 0.33                           | 0.41 | 0.50 |

注) Iは大きい方の波高から求めた値

IIは限界波高から求めた値

IIIは小さい方の波高から求めた値

### 3. 消波工の堤体に及ぼす力

消波工設置防波堤の直立部に作用する力  $F$  は、消波ブロックの間隙より直立部に作用する波力  $F_1$ 、消波ブロックが波力を受けてブロックが直立部にかかる力  $F_2$ 、およびブロック圧  $F_3$  にわけることができる。電力中央研究所の実験によれば<sup>28)</sup>、 $F_1$ は図一 3.1、 $F_2$ は  $F_2 = 0.06 w H D$  で表わすことができ



る。ここに  $D$  は消波工に被覆された直立部の堤高である。 $F_3$  については、ブロックの水中重量についてブロック空隙率を 50% として相当圧力係数を求めたところ 0.58 となった。この値は砂の静止土圧係数  $K_C = 0.6$  に相当するものである。いっぽう消波工の限界法勾配は  $\cot \theta = 0.7$  程度<sup>29)</sup>、これは内部摩擦角  $55^\circ$  に相当し、このときの主働圧力係数は 0.1 となる。

したがって、静水時には静止圧係数  $K_C = 0.6$  に相当するブロック圧力が直立部に作用し、波浪時には、図-3.1 に相当する  $F_1$ 、 $F_2 = 0.06 w H \max D$ 、 $F_3$  としては主働圧係数  $K_A = 0.1$  に相当するブロック圧力が作用するものとして、 $F = F_1 + F_2 + F_3$  の力が直立部に及ぼすものと考えて、堤幅を検討しておくのが望ましい。

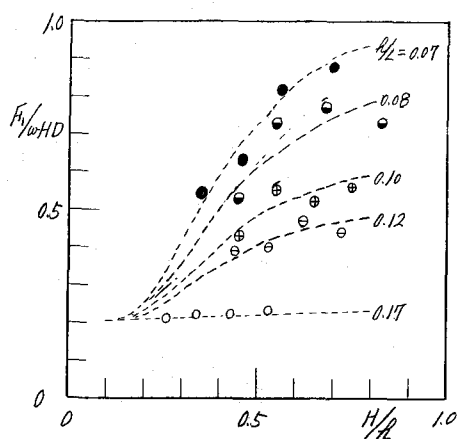


図-3.1 消波ブロックの空隙より直立部に作用する波力  $F_1$

#### 4. ハドソン式の検討<sup>29), 30)</sup>

ハドソン式を図-1.5 に適用する場合の疑問点は次のとおりである。

- 1) ハドソンは、ブロックに作用する力  $F \propto C \rho A v^2$  において  $v \propto \sqrt{H_b}$  として、消波ブロック重量は波高の 3 乗に比例するとしている。この条件は、欧米の潮位差の大きい場所に建設され、砕波が作用する捨石堤にあっては適用されるが、波が砕波しない場合には、水粒子の軌道運動速度は  $\pi H / T$  に比例するので、消波ブロック重量が波高の 3 乗に比例するかどうかを確かめておく必要がある。
- 2) 式 (2.1) は、法勾配が非常に緩くなると、消波ブロック重量は非常に小さくなる。
- 3) 周期の影響が不明である。
- 4) 斜入射波の影響が不明である。

いま、図-4.1 の直方体に波力が作用する場合の安定について考える。面  $a b$  に作用する平均波圧強度を  $p$  とし、 $p$  は波高  $H$  に比例するものとして、 $p = \alpha \gamma_w H$  と表示することとする。したがって波力  $P = \alpha \gamma_w H a b$ 。一方、直方体の水中重量は、空中での単重を  $\gamma_r$  とすれば  $(\gamma_r - \gamma_w) a b c$  で表わされる。 $S_r = \gamma_r / \gamma_w$ 、直方体の形状比は変らないものとして  $W = \gamma_r \cdot a b c = \gamma_r \cdot \beta C^3$  とする。転倒に対する安定は、波力モーメントと抵抗モーメントが釣合うものとして  $\delta = b / c$  とすれば式 (4.1) となり、したがってブロックの空中重量としては式 (4.2) が得られる。

$$C = \alpha \delta \frac{H}{(S_r - 1)} \quad (4.1)$$

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K^2 (S_r - 1)^3} \quad (4.2)$$

$$K^2 = 1 / \alpha^3 \beta \delta^3$$

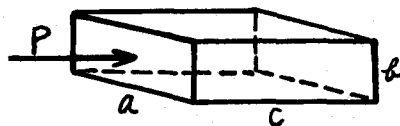


図-4.1 ブロックに作用する力

式 (4.1) における  $C$  と  $H$  とが一次の関係にあるかどうかを実験により検討した結果の一例が、図-

4.2である。ここで $C$ の値としては $\sqrt[3]{W/\gamma}$ を準用した。なお、図中の白丸および星印は、明らかに碎波が作用した場合の値である。碎波が作用する場合はさておき、 $C$ と $H$ とは比例関係にあり式(4.1)が成立する。したがって、非碎波の場合にも消波ブロック重量は波高の3乗に比例する。

消波工の法勾配と消波ブロック重量との関係について実験を行なった結果が、図-4.3である。式(2.1)の $\cot \alpha$ を $f(\theta)$ として、縦軸に $K_D f(\theta)$ を、横軸に法勾配をとってその関係を調べた。テトラポッドの場合、法勾配1:0.5での積上げは容易でなく、たとえ積上げたとしてもごく小さな波で消波ブロックが前方へ転落する。したがって、乱積にあつては積上げ可能な限界法勾配が存在する。ブロックは、波高が大きくなると押し波で直立部の方へ転倒し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の浮動する状態が観察される。図-4.3によれば、法勾配が緩くなると、 $K_D f(\theta)$ の値は一定値をとるようである。

周期の影響についての一例が図-4.4である。実験状況により、周期

の影響はさまざまであり一定の傾向は見い出されない。周期の違いによる安定限界波高の違いはそれほど大きくはないので、実用設計の面からは考慮しなくてよさそうである。

斜入射波の影響をブロックの挙動状態から調べたものが図-4.5である。波が斜に入射するほど安定限界波高はやや大きくなる傾向を有する。しかし、安定限界値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重量を減じて設計するほどには至らないようである。

## 5. $K_D$ 値の検討

図-4.3の法勾配1:2に対する $K_D f(\theta)$ の値は40~50である。図-4.4 aは法勾配1:1.33

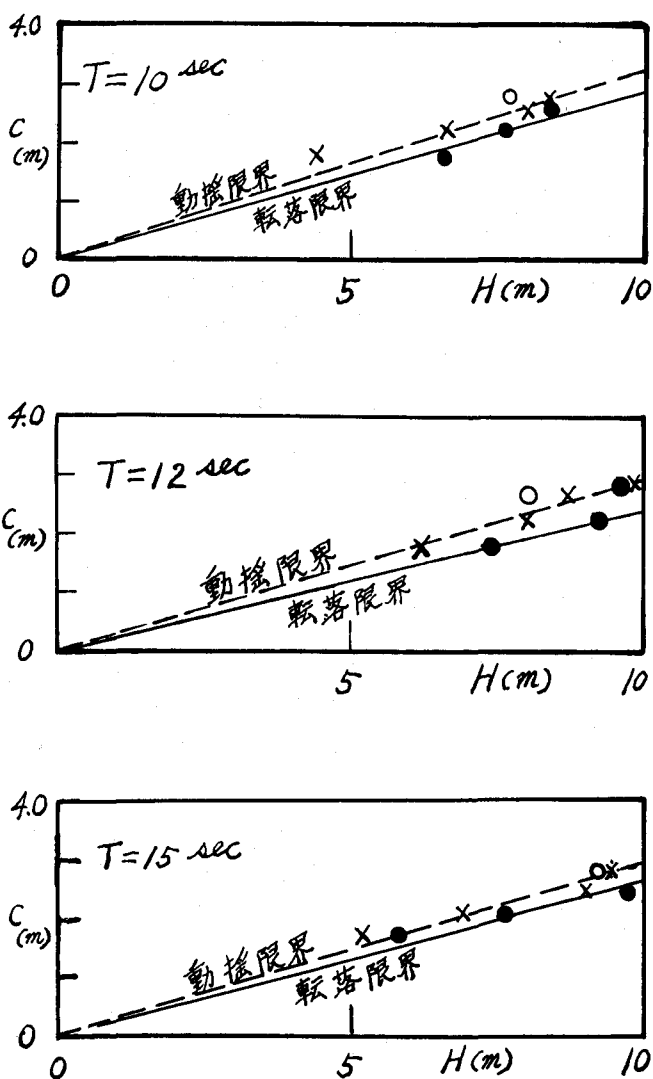
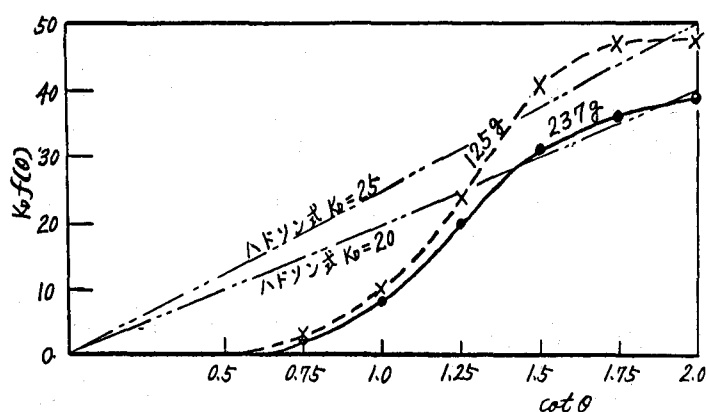
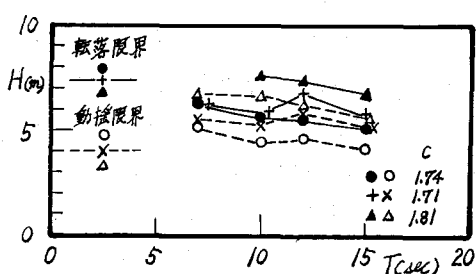


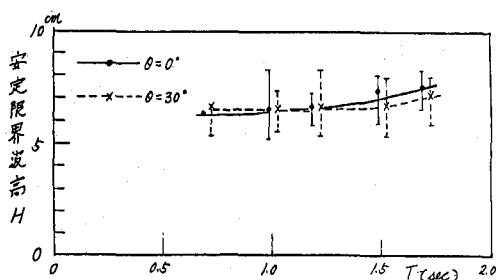
図-4.2 消波ブロック安定実験結果  
(法勾配1:1.5)



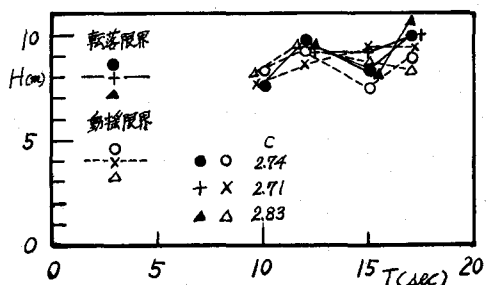
図一 4.3 消波工法勾配とブロック重量との関係



a) 消波ブロック重量33g  
法勾配 1 : 1.33



b) 小さい重量の消波ブロック  
法勾配 1 : 1.5

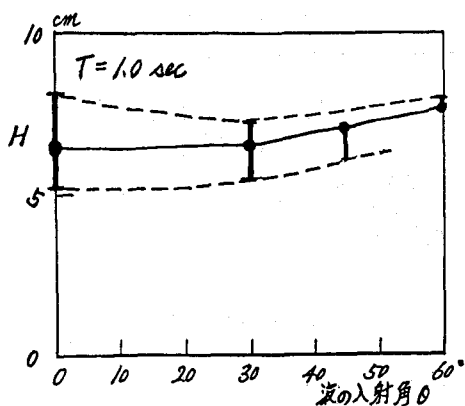


c) 大きい重量の消波ブロック  
法勾配 1 : 1.5

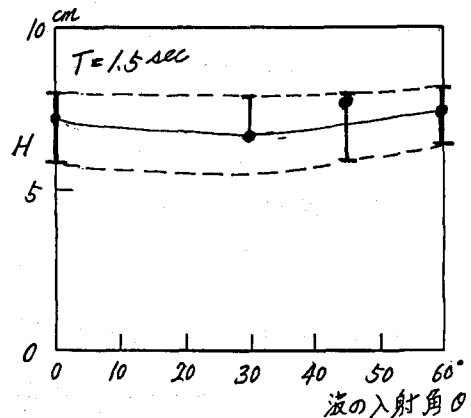
図一 4.4 消波ブロックの安定に対する周期の影響

の実験で、 $\theta = 0^\circ$ 、安定限界波高  $H = 6.5 \sim 7.5$  cm については  $K_{Df}(\theta) = 1.3 \sim 1.7.3$  で、これを法勾配 1 : 2 の場合に換算すると平均値 2.2 となる。図一 4.2 および図一 4.4 の b) と c) に一例としてあげた法勾配 1 : 1.5 の一連の実験において、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  $K_{Df}(\theta) = 1.7$ 、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 2.1 であった。これらを、法勾配 1 : 2 の場合に換算すると、動揺限界では 2.0、転落限界では 2.5 である。

北海道開発局管轄の港湾・漁港の消波工設計に関しては、式 (2.1) のハドソン式を準用してテトラ



a)  $T = 1.0 \text{ sec}$  の場合



b)  $T = 1.5 \text{ sec}$  の場合

図—4.5 斜入射波による消波ブロックの安定限界波高  
(法勾配 1 : 1.33)

ポッドの場合  $K_D = 8.3$ 、標準法勾配 1 : 1.5 としているので、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  $H_{1/3}$  を採用している。この値は規則波実験での転落限界 2.5 に対して、波高比にして 84% となるので、不規則波での実験結果<sup>32), 33)</sup> すなわち被害限界有義波高は規則波の被害限界波高の 0.8 倍、に相当している。また、現地でのブロック挙動が問題となる場合に相当する  $K_D f(\theta)$  40 ~ 50 に対しては、波高比にして 1.4 ~ 1.5 倍であり、規則波実験での波高  $H$  が不規則波群中の  $H_{\max}$  に相当するものと考えらるならば、現行の設計は  $H_{\max} \lesssim 1.5 H_{1/3}$  に適用されるものであろう。

## あとがき

実務設計者にとって、しばしば問題になっている事項について筆者の見解をとりまとめた。設計は現地条件を考慮して為されるものであるから、設計法は画一的に定められるべきものではなく、この点かなりの独断を含んでいること、お許し願いたい。なお、防波堤安定の取扱いについては、従来の方法とは異なっている点に留意されたい。この機会に、消波ブロック構造の設計に関する皆様の御経験を頂戴できること期待する次第である。

## 文 献

- 1) 竹田英章；消波コンクリートブロックの有効な使い方，セメントコンクリート，No. 365，1977年
- 2) 土木学会；海岸保全施設設計便覧，p. 176，1969年
- 3) Hudson, R. Y.；Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters, Proc. ASCE, Vol. 85, No. WWS, 1959
- 4) 伊藤喜行ほか；防波堤の安定性に関する研究，港湾技術研究所報告，5巻14号，p. 86，1966年
- 5) U. S. Army Coastal Engineering Research Center；Shore protection manual, Vol. II, p. 7-179，1977
- 6) 前出5)，p. 7-181
- 7) 前出5)，p. 7-204

- 8) 森平倫生ほか；異型ブロックの波力減殺効果に関する研究，港湾技術研究所報告，6巻4号；p.30，1967年
- 9) 竹田英章ほか；コンクリート方塊あるいは割石によるケーソン式混成堤の補強効果，土木学会第31回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp.110-111，1976年
- 10) 坂井溢郎；漁港と沿岸漁場，全建技術シリーズ，29巻，全日本建設技術協会，p.402，1977年
- 11) 土木学会；土木工学ハンドブック（下巻），p.1796，1964年
- 12) 前出4)，p.78
- 13) 竹田英章；消波ブロック傾斜堤内不透過壁の防波効果，土木学会北海道支部論文報告集，36号，1980年
- 14) 前出8)
- 15) 運輸省港湾局監修；港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会発行，p.2-116，1979年
- 16) 木村盛雄・竹田英章；天塩港南導流堤の設計と施工について一鋼管を用いた石枠工法一，北海道開発局技術研究発表会論文集，14回，pp.694-701，1970年
- 17) 合田良実；海中構造物の設計波力について，土木学会誌，50-2，pp.57-61，1965年
- 18) 運輸省港湾局；港湾構造物設計基準，日本港湾協会発行，p-4.1.9，1968年
- 19) 土木学会；水理公式集，昭和38年増補改訂版，p.451，1963年
- 20) 石原藤次郎；応用水理学Ⅱ，丸善発行，p.572，1958年
- 21) 前出8)
- 22) 赤塚・竹田・蓮見；重複波堤前面に消波工を設置した場合の波力，第22回海岸工学講演会論文集，pp.427-431，1975年
- 23) 谷本・原中・富田；曲面スリットケーソンに働く波力について，第27回海岸工学講演会論文集，1980年
- 24) 前出2)，pp.218-220
- 25) 前出15)，p.2-119
- 26) 竹田・赤塚・河口；ブロック式直立消波構造の水理特性，第23回海岸工学講演会論文集，pp.117-122
- 27) 伊藤喜行・竹田英章；浅橋に作用する波の揚圧力，港湾技術研究所報告，6巻4号，pp.49-50，1967年
- 28) 島田真行・長谷川寛；消波ブロック被覆堤への水平波力に関する一考察，土木学会第35回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp.39-40，1980年
- 29) 竹田英章；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，土木学会北海道支部論文報告集37号，p.157，1981年
- 30) 竹田英章・竹田義則；消波ブロックの安定重量について，土木学会第35回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp.51-52，1980年
- 31) 前出3) p.99
- 32) Aysen Ergin, Serif Pora ; Irregular wave action on rubble-mound breakwater, Proc. ASCE, W. W. 2, pp.279-293, 1971
- 33) Michael Brorsen, H. F. Burcharth, Toben Larsen ; Stability of Dolos slopes ,

Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., Vol. III, pp. 1691~1701, 1974