

高比重消波ブロックの波浪安定性に関する研究

Stability of High-Specific-Gravity Artificial Concrete Blocks by Irregular-Wave Tests

竹田 英章* 山本 泰司** 笹島 隆彦** 菊地 聡一** 水野 雄三**
Hideaki. Takeda, Yasuji. Yamamoto, Takahiko. Sasajima, Soichi. Kikuchi and Yuzo. Mizuno

The stability of artificial concrete blocks covered the upright breakwaters have been investigated by irregular-wave model tests. To assess the stability of the blocks, the colored blocks were arranged with stripes on the wave breaking works. The damage ratio was determined by the wave height was gradually increased in 2-cm increments. The stability factor of the artificial concrete blocks (specific gravity: 2.3, 2.6 and 2.9) at 5% damage ratio of slope 1:1.5 can be obtained as in Fig.12.
Keywords: (artificial concrete block, specific gravity, stability factor, irregular-wave test)

1. はじめに

外郭施設の不透過壁前面に配する消波工は、波力軽減、越波防止、反射波減少等の優れた機能を有するので、外海に面する海域では、盛んに採用されている。消波工の構成材である消波ブロックの重量算定にあたっては、式(1)のハドソン式を適用出来ることが実験により確かめられている¹⁾。

$$W = \gamma_r H^3 / \{ K_D (\gamma_r / \gamma_w - 1)^3 \cdot \cot \theta \} = H^3 / \{ K \cdot \cot \theta \} \quad (1)$$

ここに $K = K_D (\gamma_r / \gamma_w - 1)^3 / \gamma_r$

外郭施設の建設にあたり、波浪条件の厳しい海域にあつては、消波ブロックの大型化で対応してきたが、大型になると製作・運搬・据付に大型重機が必要になり、しかも打設時の温度上昇等により材質欠陥が生じ易くなるので、通常のブロックヤードでは、64トン型程度の大きさが限界であるといわれている。

消波ブロックを大型化しないための方策としては、式(1)において、①消波工の法勾配を緩くして、 $\cot \theta$ を大きくする、②噛み合わせの良いブロックすなわち安定係数 K_D の大きいブロックを採用する、③単位体積重量 γ_r の大きな材料を用いる、が考えられる。①の法勾配に関しては、 $\cot \theta > 1.9$ では過小重量になること²⁾、②の噛み合わせの良いブロックに関しては、部材に大きな応力が発生して破壊する可能性があり³⁾、また模型実験で天端3個並びのブロック堤が大きな波により、堤全体が持ち上がりブロック間の噛み合わせ効果が消失するのが観察されるので、ブロックには相応の重量が必要である、③の重量ブロックについては、大中・石崎・堺⁴⁾は単位体積重量が重くなると K_D 値は小さくなるが式(1)の K の値は大きいので、高比重消波ブロックは有利であることを示している。また伊藤・岩垣・山田・根本・山本・半沢⁵⁾は消波ブロックの比重変化が安定性におよぼす影響について、詳細な水理特性の研究を実施して、砕波帯相似パラメータによって現象を説明できること、レイノルズ数がほぼ同じならば比重が変わっても K_D 値はほとんど変わらないことを示している。

一方、形状の大きなブロックは安定性が低下し²⁾、天端2個並び消波工の背後壁に作用する波力は、消波ブロックの大きさの増大に伴う空隙の大きさの増大を、ブロックのある大きさまでは消波工断面の増大で補完されるのに対し、ブロック寸法がある大きさを超えると、空隙の大きさの増大を消波工断面の増大で補完し得なく壁に作用する波力は大きくなる⁶⁾。

北海道においても、消波ブロックの大型化は限界に近づきつつあり、上述の理由から近年重量コンクリート採用の要請がにわかに高まってきた。北海道では、全断面消波ブロックの消波工法勾配は1:1.5が採用²⁾されているので、法勾配1:4/3の研究成果⁴⁾・⁵⁾が適用されるかどうかを検証するために不規則波実験により確認することになった。実験にあたっては、60トン型程度の型枠使用を前提に、形状が同一で比重2.3、2.6、2.9の消波ブロックを対象とした。

* 正会員 北海道東海大学工学部海洋開発工学科 (005 札幌市南区南沢5条1丁目)

** 正会員 北海道開発局開発土木研究所水工部港湾研究室

2. 実験装置および実験方法

2-1 実験装置および模型

実験は、ピストン型の反射波吸収式造波機を備えた、長さ28m、幅0.8m、深さ1.0mの不規則造波水路で実施した。

模型前面の海底勾配は1/50で、モルタル製の固定床である。

模型は、図-1に示すように、直立壁前面を乱積の消波ブロックで被覆したもので、法勾配は1:1.5、天端幅はブロック2個並びの8cmである。消波ブロックは92gf(比重2.3)、104gf(比重2.6)、116gf(比重2.9)の3種で、体積40cm³の同一形状のテトラポッドである。

2-2 実験条件

実験は、堤脚水深25cm、実験波の周期 $T_{1/3}$ は1.4s、1.8s、2.2sで、波高は、 $L/4$ 離れた一対の波高計を、消波工設置点(模型設置前)と模型前方10m沖の2箇所に据付けて計測した。

実験に当たっては、500波を作用させ⁷⁾、一連の実験を3回繰返した。

2-3 ブロック被害率の算定

ブロックの安定度合は観察およびビデオ撮影により求めた。被害率を求めるための検査域は、図-1のように、水面上10cmから水面下15cmとした。観察・撮影を容易にするため検査域は、図-1のように、5バンドに区分して、着色したブロックを2層厚(7cm)に配した。

波高を2cmずつ段階的に高めていき、その間はブロックの再据付はおこなわずに、ブロック半個長以下の揺れを微動、半個長以上の揺れを動揺、元の位置から離れたものを抜出し、当該バンドから移動したものを転落として、動揺以上のブロックを対象に被害率D(%)を求めた。

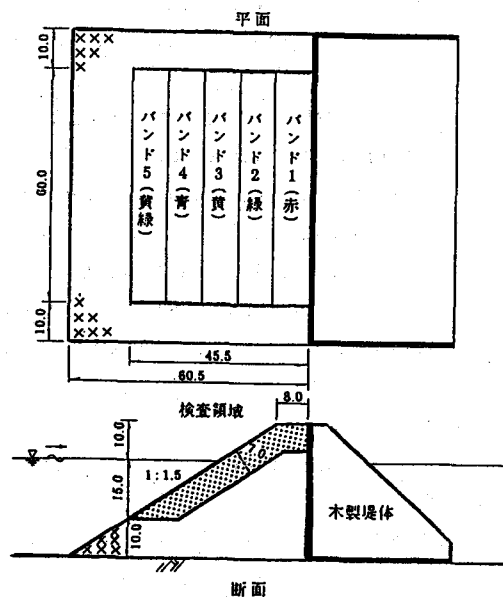


図-1 実験模型

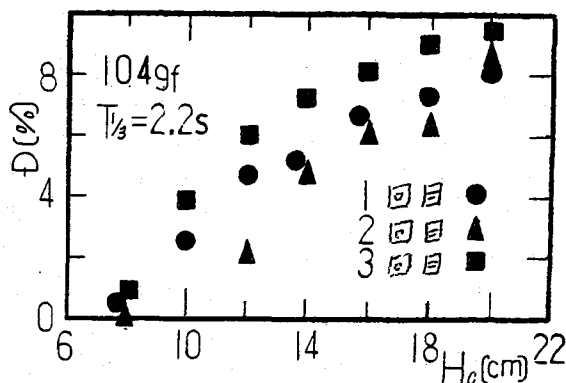


図-2 実験値のパラツキ

3. 実験結果

3-1 実験値のパラツキ

実験を3回繰返したときの被害率の変動例を図-2に示す。横軸は換算沖波高(H_o)_{1/3}である。実験ごとに被害率にバラツキが生じている。被害率の大小は実験順序には関係していない。重量が大きくなると、被害率変動幅は小さくなる。バラツキの原因としては、乱積なので、積直しのさい噛み合わせ状態に微妙な差が生じたためと考えられる。

3-2 重量の違いと被害率

被害率を3回の実験の平均値として、重量の違いによる波高と被害率との関係を求めた例が図-3である。重量が大きいと被害率は小さい。小さい重量の92gfでは、波高増大による被害率の増加が著しい。

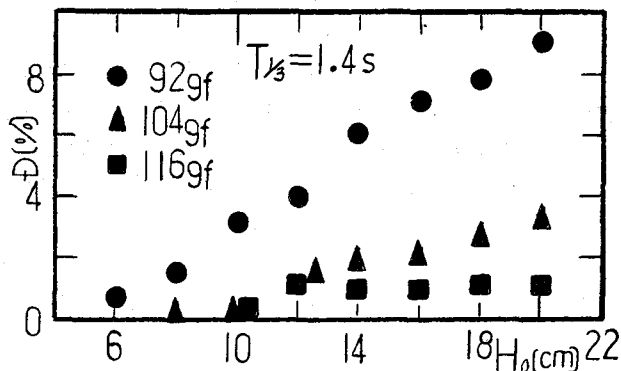


図-3 重量の違いによる被害率の違い

104gfのブロック、116gfのブロックでは、波高が大きくなるにしたがい被害率は漸増している。重量の大きいほうが波高増大による被害率の増加割合は小さい。

3-3 被害率に対する周期の影響

周期が大きいと被害率は大きい。

小さい重量の92gfでは、どの周期でも波高増大による被害率増大が著しい。周期の違いにより被害率に明瞭な差がみられる。

104gfのブロックでは、図-4のように、短い1.4sの周期では、波高増大による被害率増加の割合は、他の周期に比べて、小さくなっている。

116gfのブロックでは、長い2.2sの周期のとき被害率は104gfに比べて相応に小さくなっており、波高増大による被害率増大の割合は類似している。しかし、1.4sおよび1.8sの周期では波高増大による被害率増加の割合はかなり減少しており、特に1.8sの周期で著しい。

3-4 ハドソン式の安定係数 K_D

堤体通過波 $H_{1/3}$ から、式(1)のハドソン式における K_D の値を求めたものが図-5～図-7である。波高に対する被害率を実験で求め、それに相当する K_D 値を計算しているの、被害率が大きくなると K_D 値は大きくなる。いっぽう、ブロックは同一形状なので、比重が大きいと重量が大きくなるので、重いブロックに対する K_D 値は、波が碎波してしまうので、求めることが出来ない。

周期1.4sの図-5および周期1.8sの図-6では、被害率が小さいときには、比重が大きいと K_D 値はほぼ同じかやや大きい。被害率が大きくなると、比重が大きくなれば K_D 値は大きくなっている。周期2.2sの図-7では、比重2.6のブロックの方が比重2.9のブロックよりも K_D 値が大きく、短い周期の場合とは異なった結果を示している。

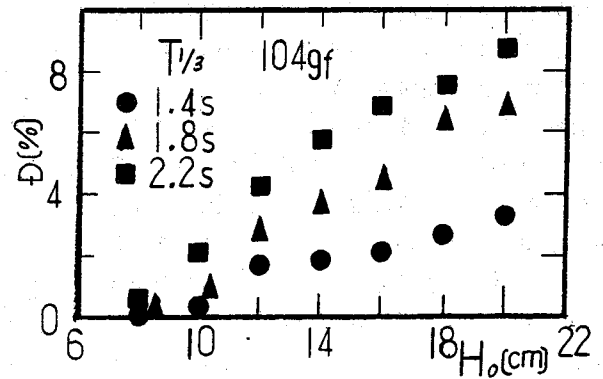


図-4 周期の違いによる被害率の違い

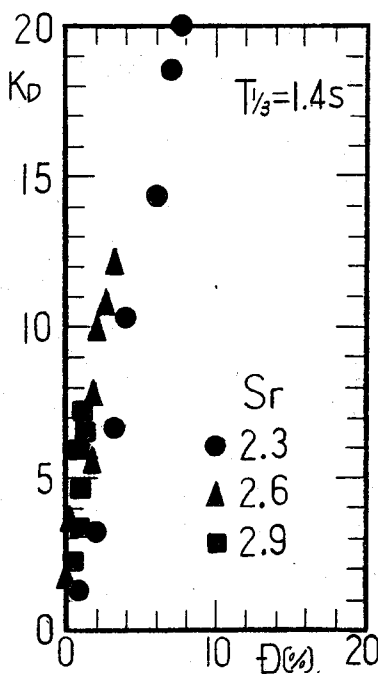


図-5 $T_{1/3}=1.4s$ の K_D 値

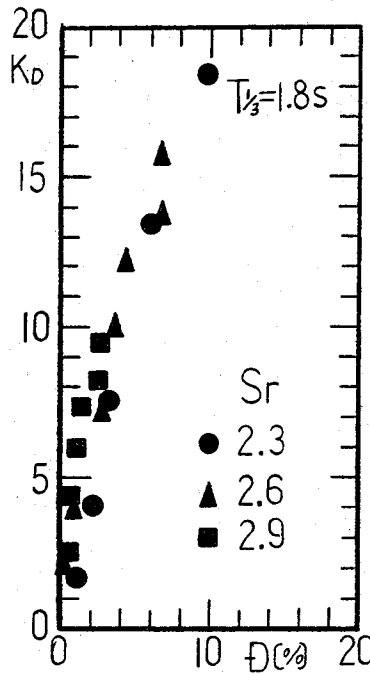


図-6 $T_{1/3}=1.8s$ の K_D 値

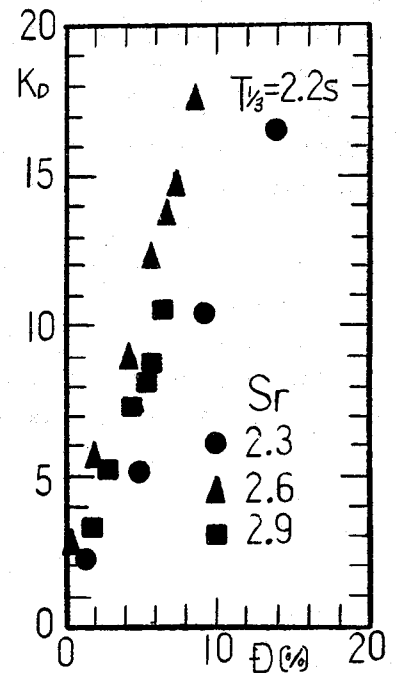


図-7 $T_{1/3}=2.2s$ の K_D 値

3-5 被害率の性質

(1) 波の違い

周期1.4sの波：バンド3の被害率が大い。92gfブロックの被害率が極端に大きい。重量増加により被害率は減少する。

周期1.8sの波：92gfブロックでは、図-8のように、バンド5を除いて、バンド間の差はそれほどみられない。波高増大に対する被害率増大が著しい。104gfブロックではバンド1が、116gfブロックではバンド1とバンド2の被害率が他のバンドよりかなり大きい。

周期2.2sの波：92gfブロックでは、波高増大による被害率の増大が著しい。104gfブロックでは、バンド1の被害率が著しく大きく、被害率の大きさはバンド1、バンド3、バンド2、バンド4、バンド5の順である。

116gfブロックでは、バンド1の被害率が著しく大きく、被害率の大きさはバンド1、バンド2、バンド5、バンド3、バンド4の順である。

(2) バンドの違い

バンド1：短い周期の1.4sの波では被害率は小さい。周期が長くなると被害率は急激に大きくなる。1.8sの波では重量増加により被害率は小さくなり、比重増大効果が明瞭である。長い周期の2.2sの波では92gfブロックの被害率は極めて大きい。104gfブロックと116gfブロックの間には、重い方が被害率は小さいが、比重増大効果はそれほど大きくはない。

バンド2：92gfブロックでは、周期が長くなると被害率は急激に増大する。104gfブロックと116gfブロックでは、周期が長くなっても、被害率の増大はほとんどみられない。

バンド3：92gfブロックの被害率が極端に大きい。比重増大効果が明瞭である。

バンド4：92gfブロックは周期が長くなると被害率はかなり増大する。重量増大により被害率は著しく減少する。長い周期の2.2sの波で比重増大効果が著しい。

バンド5：92gfブロックでは、周期が長くなると被害率は大きくなり、周期2.2sの波での被害率がかなり大きい。104gfブロックでは周期1.8sの波での被害率が最も大きく、116gfブロックでは逆に周期1.8sの波での被害率が最も小さい。

3-6 被害の大きなバンドに対する K_D 値

バンドによって被害率が異なるので、被害率の最も大きなバンドに対して、堤体通過波により K_D 値を求めたのが、図-9～図-11である。

被害率の最も大きなバンドは、周期1.4sの波ではバンド3、

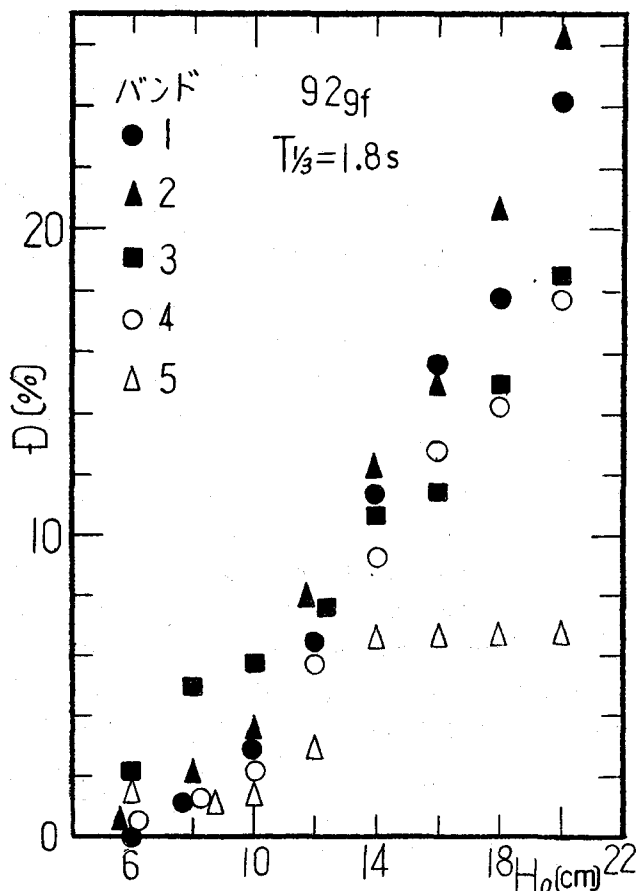


図-8 バンドごとの被害率

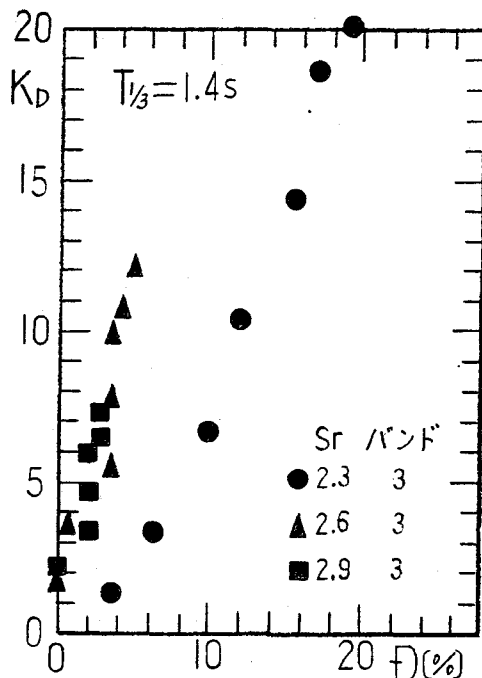


図-9 被害率の最も大きなバンドでの K_D 値($T_{1/3}=1.4s$)

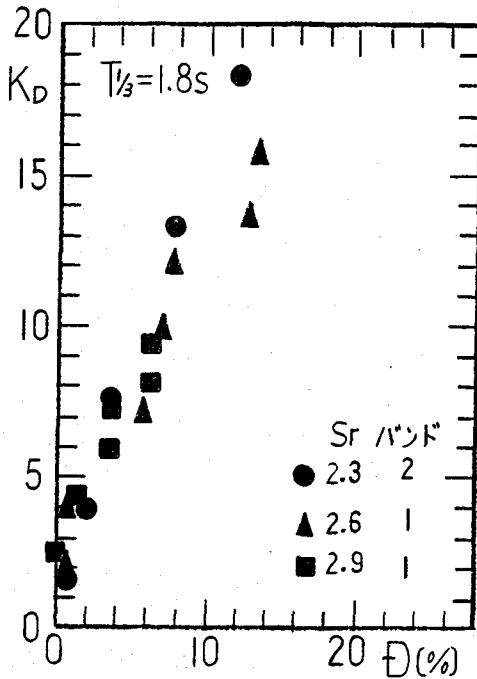


図-10 被害率の最も大きなバンドでの K_D 値 ($T_{1/3} = 1.8 \text{ s}$)

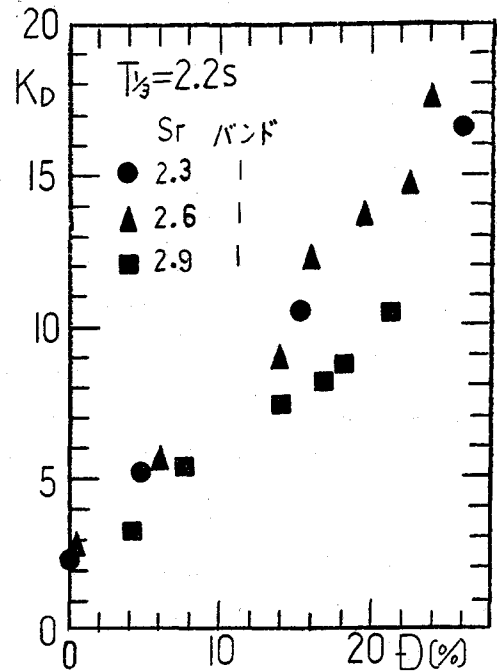


図-11 被害率の最も大きなバンドでの K_D 値 ($T_{1/3} = 2.2 \text{ s}$)

周期 1.8 s の波ではバンド 2 あるいはバンド 1, 周期 2.2 s の波ではバンド 1 であった。

周期 1.4 s の波では, 図-9 によれば, 比重 2.3 のブロックの K_D 値は小さい。比重 2.6 のブロックと比重 2.9 のブロックの K_D 値はほぼ同じである。

周期 1.8 s の波では, 図-10 によれば, 比重の違いによる K_D 値の差はほとんどみられない。

周期 2.2 s の波では, 図-11 によれば, 比重 2.3 のブロックと比重 2.6 のブロックの K_D 値はほぼ同じで, 比重 2.9 のブロックの K_D 値が小さくなっている。

4. 高比重消波ブロックの安定係数

式(1)のハドソン式で, γ_r を含めた K を, 被害率の最も大きなバンドについて, 被害率 5% での値を求めたのが図-12 である。同図によれば, 比重が大きくなると K の値は大きくなっている。短い周期では比重増大の効果が大きく, 周期が長くなると比重増大の効果がやや減少している。

なお, 比重 2.3 では, 周期 1.8 s の波での K の値が最も大きく, 周期がそれより短くても長くても K の値は小さくなっている。比重 2.6 では周期が長くなると K の値は小さくなる。

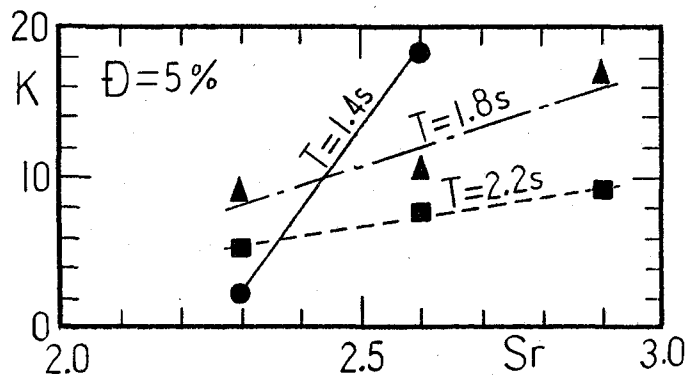


図-12 高比重消波ブロックの安定係数 (法勾配 1 : 1.5)
(被害率 5%, テトラポッド乱積)

5. 結論

不透過壁前面に配する法勾配1:1.5の消波工（全断面消波ブロック）に、高比重ブロックを採用する場合のブロックの安定性について、不規則波模型実験を実施した結果は次のとおりである。

- 1) 波高が大きくなると被害率は大きくなり、周期が長いほどこの傾向は著しい。ブロック重量を増すとこの傾向は著しく減少する。したがって、比重を高めることによる重量増大の効果は大きい。
- 2) 法勾配1:1.5の場合、図-5～図-7に示すように、比重2.6および比重2.9のブロックの K_D 値は比重2.3のブロックの K_D 値よりも大きい。
- 3) 法面上での被害率の大きな部分は、周期が長くなるにしたがい静水面付近から消波工天端のほうへ移る。比重2.3の場合、法面の全ての部分で周期の長い波ほど被害率は大きくなっているが、比重2.6および比重2.9の場合には必ずしもそのような傾向にはなっていない。
- 4) 法面上の被害率の大きな部分を考慮して、法勾配1:1.5における被害率5%での式(1)の K の値を求めたものが図-12である。同図から比重増大により消波ブロックの耐波浪性を向上させることが可能である。

参考文献

- 1) 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，1980，pp. 51-52
- 2) 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，1981，pp. 155-158
- 3) 近藤俊郎・竹田英章：消波構造物，森北出版，1983，pp. 188-190
- 4) 大中晋・石崎郁夫・堺和彦：重量ブロックの安定性に関する実験的研究，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，第2部，1990，pp. 820-821
- 5) 伊藤政博・岩垣雄一・山田卓生・根本建治・山本方人・半沢稔：高比重ブロックの安定性に及ぼす碎波帯相似パラメータの影響，海岸工学論文集，第39巻(2)，1992，pp. 666-670
- 6) 竹田英章：消波ブロックの空隙の大きさと波力，土木学会北海道支部論文報告集，1982，pp. 91-94
- 7) 伊藤政博・岩垣雄一・山内敏治・根本建治・山本方人：高比重ブロックの水理特性に関する実験的研究－波の作用時間と安定係数－，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，1989，pp. 228-229