

特殊消波機構を有するブロックの実験的研究

田 中 茂*・杉 本 修 一**

要 旨 この研究は従来の消波ブロックの消波機構とは異なった新しい考え方に立脚した消波機構を有するブロックに関するものである。著者らはさきに「多列杭壁式消波堤の研究」において「波をもって波を制する」式の考え方にもとづく研究の一部を発表したが、今回はやはり、かけ上ってくる水流を互いに衝突させ回転させながらエネルギーを消耗させるという消波機構を根幹としたブロックに関した研究結果の一部を発表する。ここでは、第一に、消波機構とその効果について吟味し、第二に新しいブロックの波に対する安定性に関して調査研究し、第三に総合的な判断を新ブロックに対して下したものである。

1. 緒 言

従来の消波ブロックにはきわめて種類が多いが、これらは捨石部の表面に規則正しく単層あるいは多層積みにし、または乱積にして、かけ上る波のエネルギーに対しブロックの有する突起や障害となる邪魔物によって流水抵抗を大きく与え、かつ適当な大きさおよび分布を有する空げきに流れを吸収すると同時に小回転を与えることなどにより、これを減殺するものである。このような消波機構を有するブロックはテトラポッドを始めとして、六脚ブロック、中空三角ブロック、中空三脚ブロック、ホロースケヤー、トライバー、アクモン、四方錐、ペンタブロック、シェイクブロック、ヘキサポッド、その他と多くの種類があるが、多くのものは形状が簡単でなく、型わくなども複雑なものを必要とするほかに脱型などの際の破損もかなりあるように聞いている。これらのブロックは特に碎波した後の流れに対して障害となる突起や邪魔物が適当に存在し、同時に適当にしゃへいせられた空げきが存在していて、その内部へ水が収容されたり、放出されたりすることにより、流れのエネルギーを減殺または消耗させ、また水面に近いブロックの角張った部分から多数の小気泡が連行されることなどによっても、消波の効果を上げ、したがって碎波のかけ上りをおさえることをもって消波の根本機構としている。ブロックの有する突起や邪魔物が大き過ぎて、ブロック相互間のかみ合せがあまりよくないと、波のかけ上りに対する抵抗性は強大であっても、かけ上る波の力をそれだけ大

きく受けることになるがために、安定度はいちじるしく小さくなって動きやすく、いったん動くと消波効果は急速に減少する。したがって、このような在来ブロックでは消波性と安定性の両者のかね合いが大切で、このような見地からみると、上記のような消波機構に立脚している限り安定性を損わぬ限度内で消波効果を高めるにはみずから一定限度がある、テトラポッドに比して安定上および消波上からみてそれ以上すぐれたブロックの出現はあまり期待し得ないものと考えられる。

ブロックの安定はまたブロックの乗っている捨石部の安定と密接不可分の関係がある。打ちこんでくる波の幾千回ものくり返しの動水圧を受けて捨石部およびブロックは局部的ならびに全体的に小移動を生じてしまし、安定した姿に近づくものと考えられるが、この小移動がやがて減少して消失し、安定した姿になることが好ましいが、石の吸い出しや移動が永く継続してますますその傾向が大きくなることは好ましくないのである。このような点からみると、従来のブロックは層積みとした場合の相互のかみ合いが良好なことで、ブロックの寸法や形状が適当で、よく捨石にかかりむずかしくすること、捨石部の石の大きさや重量も適当で、表面近くであり小さいものを大きい空げきを有する大石の上におかず、捨石部の石が安定して移動しないようにすること、などが大切である。

つぎに潮位、海底の地盤高、潮高などの関係で、特に潮位に対して海底が浅いところに捨石部ののり先が存在している時にかなりの大波の襲来する場合は、捨石部をおおうブロックののり先部とこれに接する海底部の砂の移動と洗掘がいちじるしいために、強固な根固めが大切である。この部分の不安定はブロック全体と捨石部の不安定を招来するから厳にさけるべきである。

2. 新しい消波機構

図-1、図-2 は逆 Y-型、および中空三脚両種のブロックを捨石部に設置する場合のおき方を示したものであり、図-3、写真-1 は同じく捨石部表面に配列した両種ブロックを斜めからみた図である。

この型のブロックの配列の特徴は碎波がブロックに設けた開口部を自由にかけぬけうることで、また、ブロックの頂部が形成する壁頂線をこえてかけ上る流れの一部がその列と平行してその列よりも捨石部の高い斜面に設置

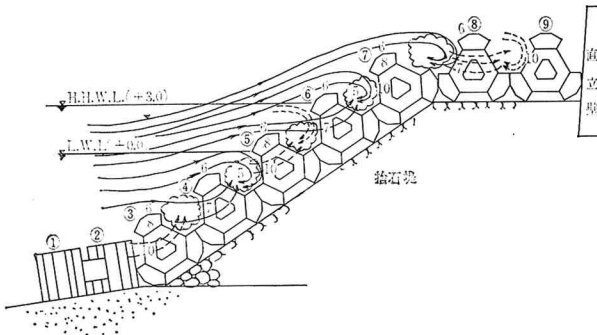
* 正会員 工博 神戸大学教授 工学部

** 正会員 神戸大学 工学部

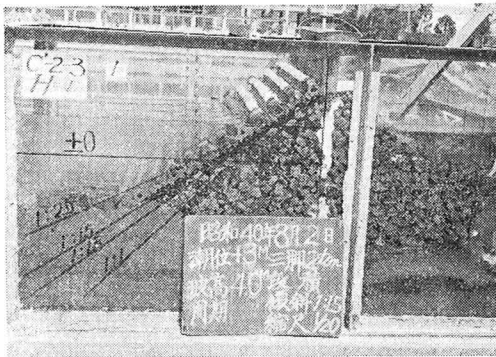
してあるブロックの列の頂部にひっかかって、開口部以外のブロックの版面がこのひっかかった流れのかけ上りを阻止すると同時に流れのむきを変えて鉛直下向きから下流向きへと時計の針の回る方向の回転運動を相隣り合った二列のブロックの間で行なわせることの二つである。ブロックに設けた開口部は引き波の時には下り流れの排水用の孔口としての働きをする。

図一1～3 から明らかなように、前記二種ブロックの並べ方は直立壁の頂部をつらねた線を捨石部ののり肩線に平行になるように捨石部の表面をすき間なくおおうよ

図一2 碎波がかけ上るときの多列式防波壁の横断面内における流れの説明図



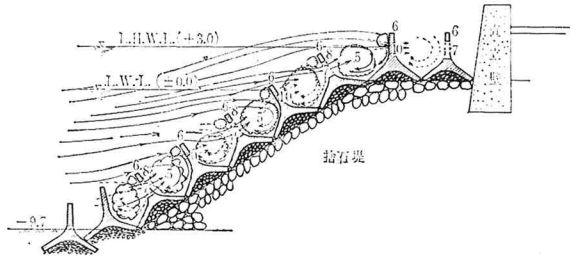
写真一1 ブロックの配列状況



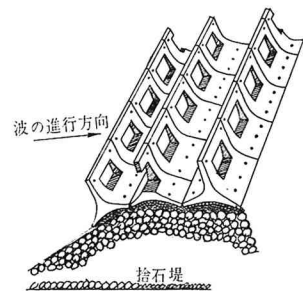
うにならべ、さらに捨石部ののり先からこれに接した海底面上にも根固めとして適当な幅に前記新ブロックまたは在来ブロックを帯状にならべる。捨石表面をおおうブロックの各列の頂部が形成する頂線は平行となり、各ブロックの開口部の位置は相隣れる列ごとに平面的に千鳥になるように、配列をする。すなわち、波がかけ上ったりかけ下ったりする方向に開口部が連続して開いておらず、開口部と壁部とが各列ごとに互い違いになるように置くのである。

各ブロックの両脚版は捨石部表面上に極力大きな面積で接するようにおき安定がよいように工夫する上に、各ブロックの両脚版は前後左右ともに相隣れるブロックのそれらと密に接触していることが望ましい。このようにして配列を終えた消波壁列はブロックの形状や寸法、捨

図一1 碎波がかけ上るときの多列式防波壁の横断面内における流れの説明図



図一3 ブロックで多列防波壁をつくる説明図



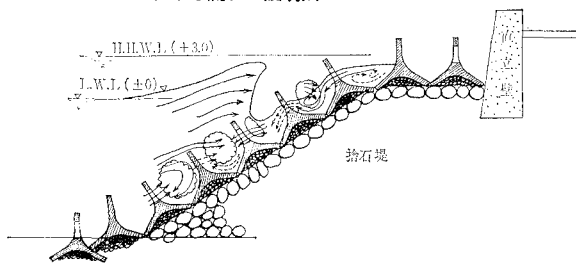
石部ののり勾配や形状などで必然的に定まる列間隔や列間の空間形状寸法を有することになる。

つぎに、このように配列築造した7,8列ないし十数列の消波壁列が波のかけ上りやかけ下りの時に、どのような機構で流れのエネルギーを減殺して、消波効果を發揮するかについて説明を加える。この場合の消波の基本的な考え方は従来の消波ブロック群の設置による消波のそれとは根本的に異なり、碎波が流れとなりかけ上ってくるものを巧みに各防波壁列間で開口部を通りぬけるものと壁頂部を越えるものとに分けて、前者と後者の一部を方向を変えさせて衝突させることにより、エネルギーを減殺させて消波の実を上げることである。図一1、図一2には波がかけ上ってくる時の水流の流線を示す。流線が各消波ブロック列間の横に細長い空間において、下からかみ上ってくる流れの流線のうち、ある列の開口部⑦をぬけてその列のすぐ上手の隣りの列の阻壁部⑩に向うものは、それより少し時間的にはやく流線中のあるものと衝突する。すなわち、前記頂部⑥をこえてきた流線のうちですぐ上手の列の阻壁部⑩にひっかかるものは、ひっかかる時にエネルギーを消耗するほかに、この阻壁部の表面に沿って図に示すように時計の針の回る方向に回転し、その下の前脚版に沿って下方に降り、さらにその前脚版に接している一段下の列のブロックの後脚版からさらに開口部を有する版表面に沿って上昇しようとして、これがその開口部を通りぬけてくる流線とはげしくぶつかって大きくエネルギーを消耗する。図に⑤

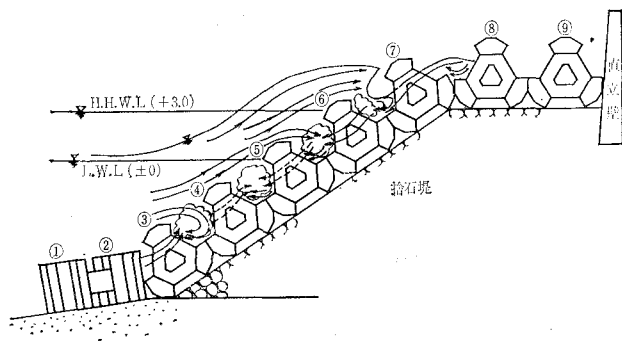
という番号をつけた線はこのような機構によるエネルギーの消耗域を示す。ひとつの列で開口部と非開口阻壁部とが交互に存在し、しかも相隣っている列でもこれらが交互に千鳥に配列してあるがゆえに、非開口阻壁部⑩の頂部⑥を越える流れはその一部はつぎの上手の列の開口を有する阻壁の開口部の上に接続する細長い頂部版⑧に衝突してエネルギーを消耗するほか、他の一部はつぎの列の開口部を通りぬけ、さらに他の一部はつぎの列の開口部の下の前脚部にあたって回転運動をし、さらにつぎの列の頂部⑥を越える流れはつぎつぎと上手の列に向う。この時、捨石部の前のり面はある勾配で登りになっているがゆえに、図—1、図—2のように⑤→⑥→⑦と列がのり面上手になるにつれて、壁の高さが高くなり、したがって壁頂を越える水流の厚さが次第にうすくなる。したがって、各壁列間に收容されて、エネルギー消耗をひき起こす量はほとんど各列間で、それがのり面の上手と下手などの位置に関せずほぼ一定であるのに対し、かけ上る流れの流管の有するエネルギーはのり面上手に行くほど小さくなるので、結局上手のエネルギー消耗量のかけ上る流れのもつエネルギーに対する比率は捨石部上手に行くにつれて大きくなる。

波がかけ上る際に、流れの水面と捨石部ののり面をおおうブロックの壁頂との水深がある小さい値に達すると、多くの気泡がブロックの壁頂部からかけ上る流れに連行され始める。連行された多くの気泡は、上記の一定水深以下の各列の壁頂からも同様であるが、水流とともに種々の運動をするのがみられる。

図—4 ひき波のときの多列式防波壁の横断面内における流れの説明図



図—5 ひき波のときの多列式防波壁の横断面内における流れの説明図



つぎにまた、引き波の際に、従来のブロックの層積みものまたは乱積みものでは、流れのかけ降り速度がかなりはやいためにブロックが引き波で転落することが多いが、これでは比較的流れのかけ下り速度がおそく、そのためにつぎのかけ上ってくる流れに対して流れの下部のもののかげ上りをおる程度おさえる作用も、水じょく作用もともにある。図—4、図—5に引き波の時の戻り流れの流線を示し、はやく戻り流れが降りにくいことを示している。

3. 実験目的と実験内容の概略

新しい消波効果を有するブロックが果たして2.で述べたような消波機構を有するか、捨石部の形状寸法、潮位、波高、ブロックの大きさなどがどのように消波効果に影響を与えるかを水理模型実験により第1に明らかにする。第2には、上記のブロックの波に対する安定性に関してもあわせて実験的に明らかにする。第3には、消波と安定の両面から総合的に新ブロックの有する特性を明らかにするのが目的である。

一般に消波ブロックの波に対する安定性と消波性に関する実験的研究は普通二次元と三次元の二通りの模型実験の方法が考えられる。三次元模型実験はある特定な海岸の与えられる時に行ない、特定海岸を対象としない場合は二次元模型による実験を行なうのが通例である。ここで問題となるのは起波機によって起こした波が捨石部および鉛直壁に衝突して反射し、入射波と反射波とが互いに干渉し合って不規則な波となることである。したがって、二次元実験用水槽で沖波の何分の一かの縮尺の模型波を起こす時に、反射波がまだ生じない間の入射波と反射波の影響を受けた後の波がどのように異なるかを明らかにするためには、二次元水槽であらかじめこの関係を16mm movie camera その他を用いて明らかにする方法をとるか、または側壁の影響を受けない広い水域を有する三次元実験プールを用いて捨石部および鉛直壁をおかない時の波形をとらえ、さらにこれらを設置した後の波形をとらえて比較するかの方法をとる。このように

して、各種の条件の下に進行波と重複波との波高拡大率を求めた後に、二次元水槽である大きさの沖波波高拡大率を乗じた波高の重複波を生ずるように起波機を調節する。ここでは三次元水槽を使用せず、上述の二次元水槽を用いる方法をとった。

つぎに、この場合は、捨石部の天端高と、天端幅を定め、捨石部の前のり勾配を普通よく用いられる数種のものにかえ、二種の潮位と各種の波に関して実験を行ない、また直立壁の前面の捨石部天端をなくして捨石をそのまま上に延長したのものに関して実験を行なった。実験では、ブロック

の移動度、消波や越波状況、根固め部のブロックの運動状況などの諸項目に関して実験的に吟味を行なうのである。

6. 模型と実験設備

(1) 模型堤

捨石部、直立壁、消波ブロックなどの模型は、二次元実験水槽の大きさや波の特性などの諸関係を考慮して、水平および鉛直とも 1/20 の縮尺とした。防波堤は混成堤とし、その鉛直壁に相当するところは、模型では厚さ 5mm の鉄板を鉛直に立てた。捨石部に相当するものは礫および砕石を使用して造った。図-6 には実験に用いた基本断面を示す。捨石部ののり勾配は 1:1, 1:1.3, 1:1.5, 1:2.0 の 4 通りを採用し、海底勾配その他は同図に示すとおりである。潮位は L.W.L.(±0.0m) と H.H.W.L.(+3.0m) とをえらんだ。海底材料は粗砂を使用した。

図-6 防波堤基本断面図

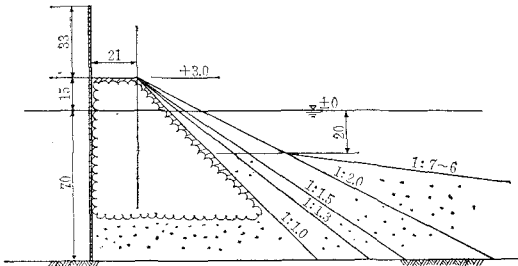
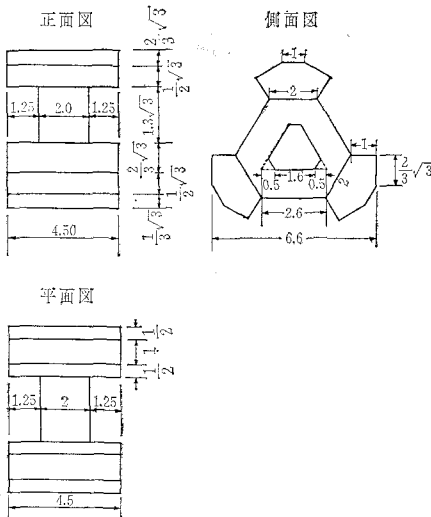


図-7 三脚ブロック形状寸法



(2) 模型消波ブロック

今回は中空三脚ブロックの 1t, 2t, 4t の 3 通りのものを採用することにし、これらの各種ブロックを縮尺 1/20 に縮小して製作した。なお、図-7 には中空三脚ブロックの形状とその寸法を各部の長さの比率で示したものである。表-1 には上記各重量のブロックの寸法表を示す。

つぎに模型ブロックはセメントモルタルを主材料として作製した。一般に模型ブロックでは軽量となり、かつ 1 個 1 個について重量および寸法を全く同一にしたいが、この場合も例外ではなかった。このブロックの実物の公称平均比重は 2.3 であるが、この実験に使用した多数の模型ブロックから任意に抽出した 10 個のものにつき、重量、体積、比重などを求めたものを表-2 に示す。

(3) 実験設備

実験水槽は幅 1.0m, 高さ 1.2m, 長さ 23.0m の両

表-2 模型ブロックの重量、体積、比重表

試料番号	三脚ブロック (1t)			試料番号	三脚ブロック (1t)		
	重量 (gr)	体積 (cm³)	比重		重量 (gr)	体積 (cm³)	比重
1	127.50	60.75	2.10	8	127.25	61.50	2.07
2	127.75	59.25	2.16	9	129.00	62.00	2.08
3	126.75	59.50	2.13	10	126.50	60.50	2.09
4	112.50	59.00	1.91				
5	129.00	60.00	2.15				
6	130.00	62.00	2.15	平均	127.01	60.575	2.104
7	134.75	61.25	2.20	標準偏差	—	—	0.0755

試料番号	三脚ブロック (2t)			試料番号	三脚ブロック (2t)		
	重量 (gr)	体積 (cm³)	比重		重量 (gr)	体積 (cm³)	比重
1	278.00	128.00	2.17	8	262.25	123.25	2.13
2	267.00	126.50	2.11	9	271.00	125.50	2.16
3	269.50	128.00	2.10	10	258.50	121.00	2.14
4	260.00	123.50	2.10				
5	277.50	125.00	2.22				
6	266.50	125.25	2.13	平均	267.875	124.85	2.145
7	268.50	122.50	2.19	標準偏差	—	—	0.0381

試料番号	三脚ブロック (4t)			試料番号	三脚ブロック (4t)		
	重量 (gr)	体積 (cm³)	比重		重量 (gr)	体積 (cm³)	比重
1	487.50	239.80	2.03	8	494.50	238.00	2.08
2	489.00	239.75	2.02	9	470.25	227.75	2.06
3	486.00	263.00	1.85	10	459.00	236.50	1.94
4	487.50	238.25	2.05				
5	486.00	237.50	2.05	平均	484.275	239.755	2.02
6	498.00	241.00	2.07				
7	485.00	236.00	2.05	標準偏差	—	—	0.0682

表-1 三脚ブロック形状寸法表

(単位・m)

t 数	体積 (m³)	重量 (t)	1	0.5	$\frac{2}{3}\sqrt{3}$	1.25	1.6	2	2.6	4.5	$\frac{10.9}{3}\sqrt{3}$	6.6
1	0.449	1.033	0.190	0.095	0.219	0.238	0.304	0.380	0.494	0.855	1.195	1.254
2	0.906	2.084	0.240	0.120	0.277	0.300	0.384	0.480	0.624	1.080	1.510	1.584
4	1.807	4.157	0.300	0.150	0.346	0.375	0.480	0.600	0.780	1.350	1.888	1.980

面ガラス張りの鋼わく製で、その一端に防波堤模型、他端にフラッター式起波機を設けた。この起波機は幅 0.96 m の造波機を馬力の変速機つきモーターで動かすもので、実験に使用する波は起波機の角速度とフラッターを動かすアームの長さを加減することにより、その高さ、波長、周期などを種々に変えうる。

(4) 測定計器

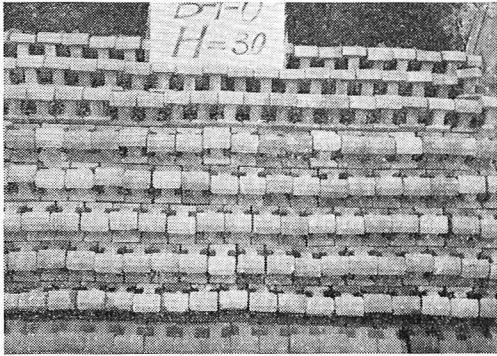
波形の正確な把握、波のかけ上りやかけ下りの状態、ブロックの消波性と安定性などの吟味を行なうために、Bell & Howell 製 16 mm movie camera, Magnifax 製 High Speed Motion Camera を使用した。

5. 実験方法

(1) ブロックの積み方

図—2, 写真—1, 2 に示すように一層積として模型捨石部をおった。この場合に、各ブロックは前後左右ともよく隣り合ったブロックと密接してすき間がなくつまっていること、壁頂が形成する各列の高さは同一で、捨石部ののり肩線もしくは直立壁の海側の肩線に平行していること、同一列ごとにブロックの開口部と非開口阻壁部とが交互に存在し、波のかけ上る方向よりみて開口部と非開口阻壁部とが各列で千鳥になるようにおかれること、などの注意が配列上大切である。

写真—2 中空三脚ブロックの配列状況



さらに根固部には模型ブロックを在来のように三脚で立っているように置き、三列一層積みとして捨石部のり先に接続している海底をおった。実験では捨石部をおおって 1t, 2t, 4t の模型ブロックを置いたが、根固め用のものはいずれの場合でも 4t の模型ブロックを使用した。

(2) 実験の対象とした潮位と波

a) 潮位 L.W.L.(±0.0 m) と H.H.W.L.(±3.0 m) の 2 つを採用した。

b) 沖波波高 これは表—3 に示すようなものをえらんだ。

模型と実物の波との間の相似関係は Froude の相似律を採用した。

c) 沖波と重複波および波高拡大率 沖波が捨石部を

表—3 実験に用いた沖波波高

三脚ブロック重量 (t)	1:1.0		1:1.3		1:1.5		1:2.0	
	±0	+3	±0	+3	±0	+3	±0	+3
1	3.5	—	3.5	2.5	4.0	3.0	4.0	3.5
2	4.0	—	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5	4.0
4	4.5	5.0	*5.0	5.0	*5.0	5.0	*5.0	4.5

最下欄の値はブロック破壊の限界波高
* 印は破壊に至らなかったもの

消波ブロックでおおいその上に直立壁を設置したものに衝突すると、その時の衝突する部分の特性、潮位、沖波特性などによって、反射率いく % かの反射波を生ずるから、これが、沖波と干渉し合って一種の重複波を生ずる。したがって、実験水槽で起波機で起こした波はそれが他端の防波堤またはこれに類するものに衝突するまでは美しい形状の進行波を生ずるので、まずこの時の波形を movie camera で撮影し、つぎにこの波が衝突後重複波を生じ始めてこの波が落着いた時に再び同様に波形の撮影を行なう。この後者の波形は形があまり美しいもので、重複する位置も自ら一定している。このようにして求めた二種類の波形から各種の波の平均波高を求める。しかる後に重複波の波高を進行波の波高で割ったものを「波高拡大率」と呼ぶ。これを各種の条件に応じて実験によって求めるのであるが、表—4 には得られた結果の一部を示す。

表—4 波高拡大率

ブロック重量 (t)	1:1		1:1.2		1:1.5		1:2.0	
	1.32~1.42	1.25~1.39	1.22~1.35	1.19~1.26	1.21~1.33	1.21~1.33	1.21~1.33	1.25~1.40
1	1.32~1.42	1.25~1.39	1.22~1.35	1.19~1.26	1.21~1.33	1.21~1.33	1.21~1.33	1.25~1.40
2	1.30~1.45	1.23~1.35	1.21~1.33	1.19~1.30	1.21~1.33	1.21~1.33	1.21~1.33	1.25~1.40
4	1.31~1.40	1.18~1.32	1.19~1.30	1.19~1.30	1.21~1.33	1.21~1.33	1.21~1.33	1.25~1.40

波が捨石天端をこえて直立壁に衝突するときには大きい方の値をとる

実験で起波機により対象沖波の模型波を造ることは操作上困難であるから、ここでは各種の進行波に対応する重複波の「波高拡大率」をあらかじめ前記の方法で求めておいて、模型沖波波高に適当な前記拡大率を乗じた模型重複波波高を計算して、この値が得られるように起波機を調整した。しかる後各実験ごとに進行波波形と重複波波形とを撮影してそれぞれの波高を求めたので、実際各実験で起こした沖波は表—2 に示したものと多少異なったものとなっていることが多い。

実験での波の継続時間は 30 分とし、つぎの諸項目を測定した。

① ブロックの安定度：水槽のガラス越し、および上面から写真を撮り、波をあてる前と後とについてブロックの移動状況を比較検討したり、波をあてている最中にガラス越しにブロックの動きを撮影することにより安定度を判定する方法をとった。根固め部や海底の砂の動きをも同様に判断する方法をとった。

② 消波状況：水槽の側面ガラス越し、および水槽の

上から、16 mm movie camera を主として使用して、波のかけ上りとかけ下り時に流れがどのように新しいブロックの配列によって消波されるかを撮影し、high speed motion camera を用いて側面 ガラス越しに水流が各ブロックの列間の空間でどのような運動をするか、気泡の混入とその動きがどうであるか、かけ上り高さや跳波があればその状況、かけ下り時の水流の運動とそれがどのようにつぎのかけ上ってくる波や流れに対して影響を与え、そのエネルギーを減殺するかなどについて明らかにしたのである。また、これらの写真は捨石部の断面やブロックの大きさ、および来襲する波の特性との組合せいかんにより、消波効果がどのように異なるかを判定するためにも役立たせたのである。

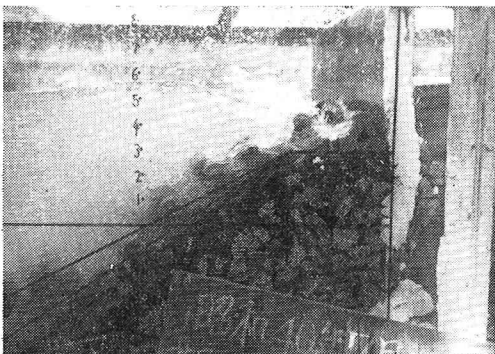
6. 実験結果とその考察

本実験において取上げた三脚ブロックの段積みというのは従来の積み方のように平均した粗さを斜面に人工的に作りこの粗さで消波しようとする方法とは異なっていて二次元的性質を帯びている。そこでまず初めに、三脚ブロックが段積みされている斜面に対して波が押寄せてきたとき、その波はどのようにして消波されるのかを述べて、しかる後にこのブロックの安定性について述べたいと思う。既述の部分と重複するような部分があるかも知れないが必要と思われる部分については繁を厭わず述べることにする。

(1) ブロックに作用する波の運動と消波機構

ブロックが積まれた斜面に波が押寄せてくるとき、波の押寄せ方によって消波の機構に多少の差異を生ずる。波の押寄せ方には代表的な場合としてつぎの4種類の場合が考えられる。a) 全然砕波しない場合 (すなわち斜面に対しては、単に潮位が上下するのみであるような場合)、b) 最初は単に潮位が上昇してきてある程度潮位が上昇したとき波の前面がほとんど垂直になって斜面に対して激突するような場合、c) 潮位が最下位になったとき波の前面がほとんど垂直になって衝撃的に斜面に対して激突するような場合、d) 写真—3 にみるように波の前面が垂直になり波の最高部が巻き始め、巻き波になっ

写真—3 消 波

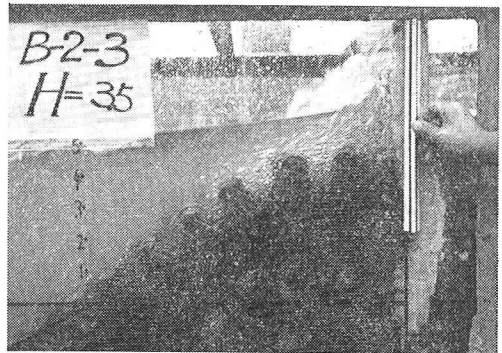


た状態で斜面に覆いかぶさるようにして激突する場合である。しかしいずれの場合においても斜面に激突後は斜面に沿って奔流のようになってはい上ってゆく。これら4種類の場合のうち b) の場合についてつぎに詳しく述べる。他の場合はこの場合から容易に推察することができるからである。

三脚ブロックが段積みされた斜面に波が押寄せてきて徐々に潮位が上昇してくるにしたがいブロックの空げきを通りながら潮位は徐々に上昇してゆくが、ある程度潮位が上昇し波の前面がほとんど垂直になって斜面に激突すると、図—2のごとくブロックの下方から斜面に沿って上昇してきた流れとブロック頂部を越えてきた流れが次段のブロックとの間の空げきで干渉し合って空気を巻き込みエネルギーはここで減殺される。減殺された流れはつぎの段で同じような機構によってさらに減殺される。一方流れがブロックの頂部を越えるとき、流れの大部分は頂部を越えて、次段のブロックとの空げきに流れ込むが、一部分は頂部のところで飛沫となって飛び散る。このようにして1段ごとにエネルギーは減殺されてゆく (写真—4, 5 参照)。

斜面に激突した波の奔流がブロックによってエネルギーを減殺されながら斜面に沿ってはい上り、はい上り得る最高点までははい上って、やがて波が引いてゆくときは、このブロックの構造上他の形式のブロックのように

写真—4 消 波
1:1.3, 2t 潮位 $H=3.5$ m



写真—5 消 波
1:1, 4t 潮位 3m $H=3.5$ m

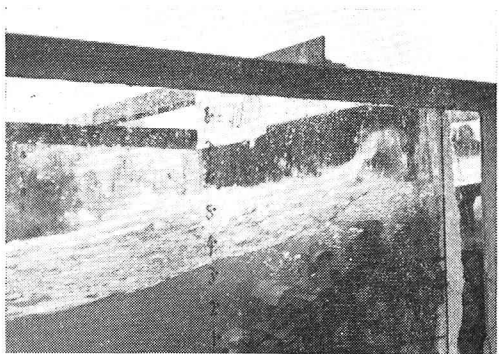


写真-6 引波状況
1:1.4t 潮位 3m $H=3.5$ m

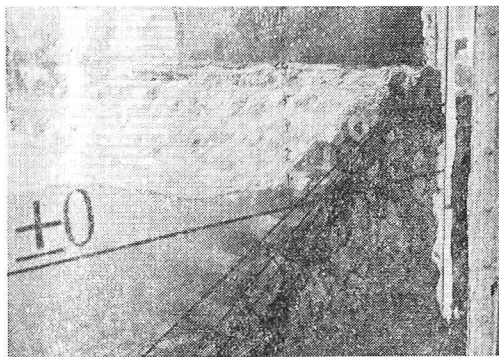
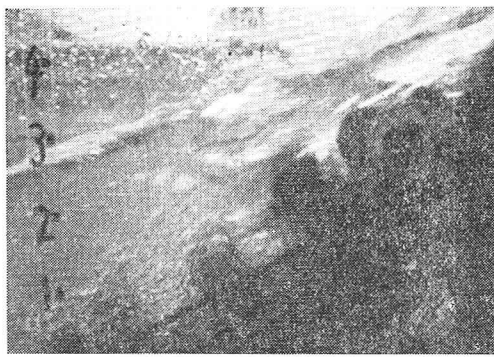


写真-9 消波機構の拡大
勾配 1:1.3, 2t 潮位 ± 0 波高 4.5



ブロック下部からただちに流れ去るようなことはない。はい上ってくる流れの水深がブロックの高さより高いような時には、写真-6 にみられるように溪谷の流れかあるいは滝のようになって流れて、その時の流れの抵抗力は他の形式のブロックよりも大きいと考えられる。流れの水深がブロックの高さよりも少し低いときには、同列上のブロックとブロックの間にできる四角形の空けきのみより流れ落ちるが、この流れに対する抵抗力も他の形式のブロックよりも大きいと考えられる。流れの水深がブロック上部の棒状部分よりも低くなると、この棒状部分のために他の形式のブロックのように下部の

写真-10 ブロック重量の差異による消波の相違
2t 潮位 ± 0 m $H:4.0$ 1:1.5



写真-7 勾配による効果消波の相違
1:1

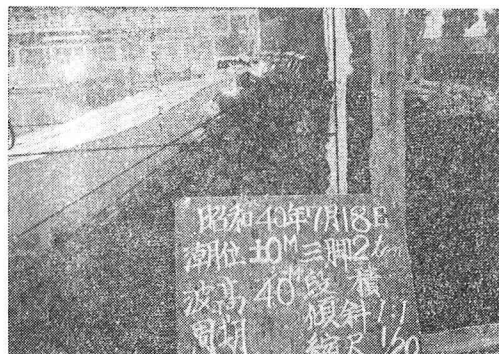


写真-8 勾配による効果消波の相違
1:2

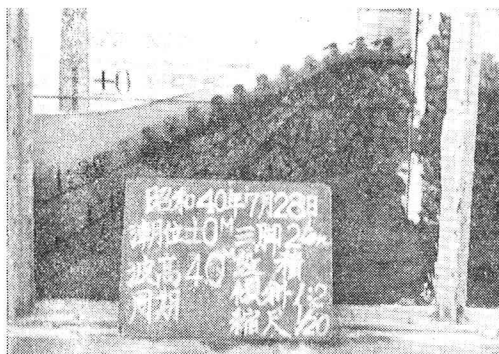


写真-11



空げきよりただちに流れ去るようなことはできない。いずれにしてもこのブロックは他の形式のものに比して引き波に対していくらか引きにくいと思われる。

また、ブロックの重量および波高は同じで、斜面の傾斜のみがゆるやかな場合と急な場合を考えてみる。写真-7 および 8 をみればわかるごとく、ゆるやかであればはい上る距離は急な斜面の場合に比して長い、したがって減殺されるエネルギーも多くなり、はい上ってゆく流れの厚さも薄くなり、それだけ空気混入量も多く、消波効果は増大する。波が奔流のようになって斜面をはい上ってゆく時に空気を混入してゆく状況を捉えたのが写真-9 である。

つぎに、波高と斜面の傾斜は同じで、ブロックの重量

が軽い場合と重い場合を考えてみる。たとえば、ブロック重量が 2t の場合と 10t の場合を比較してみると、2t の方が 10t に比較して前面より見た時同列上で互いに隣り合っているブロックとブロックの間のすき間一つ一つの大きさは小さくかつその数が多いため、2t の場合の方が波によっては消波効果が良好である場合が考えられる。通常は写真-10 および 11 に示すように同じ捨石部断面でかつ同じ波浪条件のもとでブロック重量が 2t のものと 4t のものを比較すると明らかに 4t の方が消波効果は良好である。このように考えてみると、与えられた波浪条件に対して最も適したブロックの重量が存在するはずである。われわれはこの最適条件について現在研究中である。

(2) 安定性

三脚ブロックを斜面に段積みにした場合他の形式のブロックの場合と比較して最も異なる点は、他の形式のブロックの場合には何らかの形でブロック相互が「かみ合っている」ということであるが、この場合は斜面に対して水平方向に平行な列に設置するためブロック相互が「全くかみ合っていない」ということである。したがって三脚ブロック段積みの場合にはブロック 1 列 1 列が押合っている時の安定性が問題になるわけである。

それにもかかわらず三脚ブロック段積みの場合には後述のごとく安定性はかなり良好であって、1t のブロックが 45° の斜面上で波高 3.5m の波ではじめて崩壊しているのである。

ここで実験結果に対して全般的にいい得られることについて述べる。

まず、波を受けてブロックが崩壊するとき、どのようにして崩壊するかというと、波力が強いとそのためにブロック自身がまず傾斜する、それと同時にブロックとブロックの間からブロック下部へ侵入した激流のためブロック底面の礫あるいは石が移動したり洗掘されたりして底面は傾斜する、そのためブロックは不安定になったり

図-8 ブロック崩壊順序図

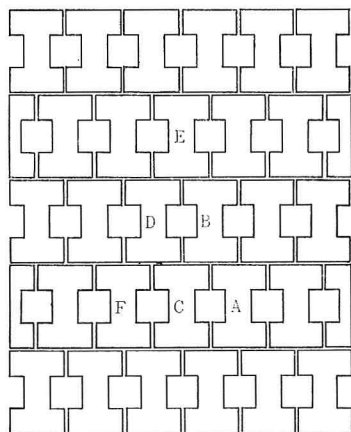
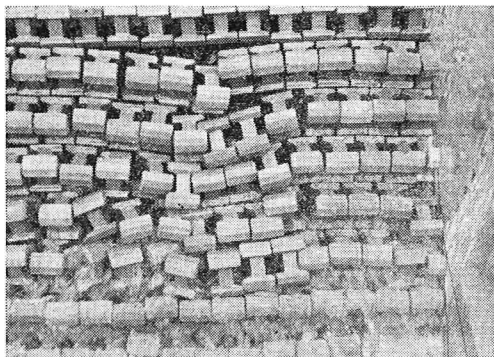


写真-12 ブロック崩壊状況

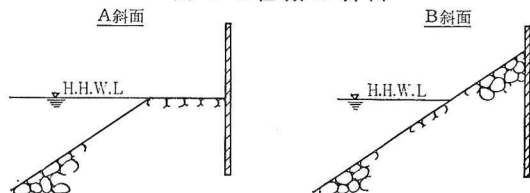


あるいは傾斜したりする。引き波の時は他の形式のブロックに比較して抵抗力は強いようであるので、この引き波によって不安定あるいは傾斜したブロック 1 個がまず流れによって運び去られ、崩壊するキッカケを作る。

このようにしてまず最初に 1 個が波によって運び去られるが、これを A と名づける。すると、そのすぐ上段のブロックがゆるみ、つぎにこのブロックが波によって運び去られるようになる。これを B と名づける。すると、つぎには最初に落ちたブロック A の左右どちらか（ここでは仮りに左）C が落ちる。するとつぎには B の隣りの D、つぎに B および D の上段の E、つぎに C の隣りの F が落ちる。このようにしてピラミッド型に崩壊部分は拡大してゆく（図-8 および 写真-12 参照）。

それでは、どのような箇所からまず最初の 1 個が落ちてゆくかということ、それは波が斜面に激突する付近のようである。

図-9 2 種類の斜面



斜面が同じ傾斜であっても、水平部分の天端を有する斜面と、水平部分の天端より斜面を真すぐに延ばした斜面と 2 種類の場合が考えられる。初めの場合を A 斜面、後の場合を B 斜面と名づける（図-9 参照）。

水位が A 斜面の水平部分の天端より 1 波高以上低いぐらいの水位の時は A 斜面も B 斜面もどちらもほとんど大差はないであろう。しかし、水位が A 斜面の水平部分の天端付近であるときは非常に違ってくる。

まず A 斜面の方から述べる。a) A 斜面のマウンドの折れ曲りの点が位置として波力の最も強く作用するような位置にあること。b) 折れ曲りの角にあるブロックは置き方が位置の関係上不安定になりやすい。c) B 斜面であると水面付近のブロックも、その上段にあるブロックによって斜面に沿って下方へ背後から押え付けられ

ているが、A 斜面においては水面付近は水平であるため背後より押しているものがないため、それだけ不安定である。d) 折れ曲りの箇所では斜面部と水平部とのブロックとの間にどうしてもすき間ができてそれが崩壊のキッカケを作りやすい。e) A 斜面のように水平部分があると、背後の垂直壁に激突した波は反射して返ってくる。その時水平部分の天端に置かれてあるブロックを前方へ押し流して崩壊のキッカケを作る危険がある。B 斜面においてはそのような危険性はない。しかし、B 斜面は安定性が良好である代りにブロックは A 斜面の場合に比較して約 1 列ほど余分のブロックが要るようである。

斜面にブロックが 1 個だけ載っているときの安定性に関する目安として広く用いられているものにハドソンの公式がある。

$$W = \frac{w_r H^3}{K_d \left(\frac{w_r}{w_0} - 1 \right)^3 \cot \alpha}$$

三脚ブロックの安定性に関する目安としてこの公式の係数 K_d について 表-3 にもとづいて計算してみると 表-5 のような値を得た。

表-5 K_d の 値

比 重 (w_r)	$\cot \alpha$		1		1.3		1.5		2.0	
	潮 位		±0		±0		±0		±0	
	ブロック重量 (W)		±0		±0		±0		±0	
127 gr (=1 t)	2.10	66.6	—	51.2	18.7	66.3	28.0	49.7	33.3	
268 gr (=2 t)	2.15	42.2	—	46.2	32.5	40.1	40.1	30.0	21.1	
484 gr (=4 t)	2.05	41.7	57.2	44.0	44.0	38.1	38.1	28.6	28.6	

テトラポッドに対する K_d の値は $K_d=8.3$ とされているのでこれらの値は非常に大きい。これは段積みという積み方によるもので、斜面に載っているブロックは上方のブロックによって下方へ押し付けられているので高い波高の波に対しても耐え、 K_d は大きい値になったのではないかと考えられる。実際に施工する時には実験時のように底面が平面ではなく、段積みにするといってもブロックは隣りと離れていたり、背後上方のブロックによって背後から押し付けられるということもなく、ブロック 1 個 1 個が独立した状態で斜面上に載せられる可能性が多い。したがって実際には $K_d=50$ というような値にはならないのではないかと考えられる。 K_d の値はいくぶん大きい値が出たが、それでも実際の場合には従来のブロックよりもかなり大きい値になるのではないかと考えられる。

今までは斜面上に積まれたブロックが波を受けたときに対する安定性についてのみ述べてきたが、このような原因とは全く別な原因によってブロックの崩壊が起こる場合がある。それはブロックの積まれている斜面のり先の根固部における海底の砂の移動あるいは洗掘による場合である。根固部における海底の砂が移動あるいは洗掘

写真-13 根固部のゆるみに起因する崩壊
1:1.3, 2 t 潮位 0 $H=4.5$ m

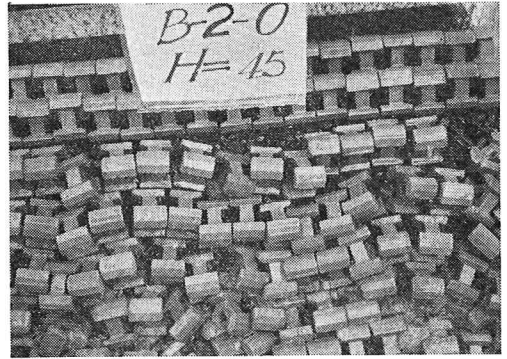
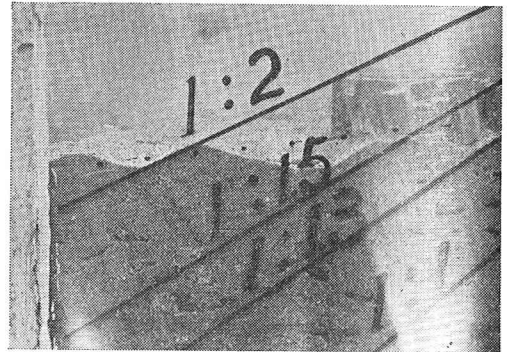


写真-14 のり先根固部の洗掘
1:1, 4 t 潮位 0 $H=2.5$



されると斜面のり先部におけるブロックが移動する。とところがのり先部におけるブロックは斜面上に積まれた背後のブロックによって下方へ押し付けられているのが普通であるので、この力によってのり先部におけるブロックは移動する。このブロックが移動すればその背後の斜面上のブロックは下方でささえているブロックがなくなったことになり、したがって斜面に沿って下方へ滑る(写真-13 参照)。このようにしてブロックの滑りが斜面上方におよびやがて崩壊に至る。斜面のり先根固部における砂の移動状況を示したものが 写真-14 である。この事実は施工をする際に注意すべきことである。

7. 結 論

今回行った実験的研究は中空三脚ブロックを特別な並らべ方と配列をして、平行な多くの列を形成させ、それらの列間の空げき部において、かけ上ってくる水の運動を互いに干渉衝突させることにより消波を行なわせるという新しい消波機構にもとづいたものである。元来、このブロックは当初からこのような消波機構を念頭において造られたものでは必ずしもないようであるが、案外、消波効果もよく決して従来の消波ブロックのそれに比して劣ることはないどころか、適当なものを与えられた波浪条件と捨石部条件に対して使用すれば、かえってその効果が後者のブロックよりもすぐれているようであ

る。さらに安定度に至っては、慎重入念な施工を行なってこのブロックの相互の接触を良好にし、かつ下の捨石の移動や動揺がないように工夫すれば、従来のもののその数倍から5,6倍も大きいことが判明した。また使用ブロックの個数が少なくすみ、従来のものの半数以下ですむことは経済上からみてきわめて有利な点であろう。

このブロックの天端の笠部の表面で、かけ上る流れの流線が衝突して、その反射によって生じた飛まつがかなり高く放物線を描いて上り、護岸天端をこえる傾向がみられることと、捨石部の表面とブロックの下面との間のすき間で水の動揺が捨石部表面に伝わりやすい点が多少みられることを改良すればさらによい効果をあげうるものと確信する。さらに当研究室においては図—1、図—2

に示したような新型ブロックの模型実験をも目下準備中である。この種の新しい機構にもとづく消波ブロックが従来のブロックと比較して、各点からみてかなり優れたものであるが、さらに欠点の改良を行なってますます優秀なものを造り上げるべく研究中である。

8. 結 言

この研究は新しい消波機構すなわち「水をもって水を制する」という考え方に立脚した消波ブロックの研究の第一歩として中空三脚ブロックを用いて実験的に行なったものであり、予想以上の良結果を得たのでここに報告した次第である。これが今後のこの方面の研究の刺激剤となれば幸甚である。