

消波用異形ブロック

文献調査委員会

1. まえがき

港湾・海岸の防護を目的とする防波堤、防潮堤および護岸は、強大な波力に耐えるべく各種の構造形式が今日まで考えられ、実際に施工されてきた。これらの構造形式の中で、捨石構造物は過去においてかなり数多く施工されてきたと認められるが、技術の進歩によりケーソン等による直立壁堤およびこれと捨石マウンドとを並用する混成堤などの形式が発達した。そして防波堤や海岸堤防の破壊を防ぎ、また構造物の断面をより小さく経済的なものとするための消波工が発達した。

従来、捨石堤の被覆や混成堤の基礎捨石に自然石が用いられてきたが、自然石にかわり波力に対して十分抵抗しうる重量のコンクリート方塊を使用し、施工するようになった。そして建設地点の技術的あるいは経済的条件から自然石を使用することが工法上不利である場合、コンクリート方塊が防波堤の被覆あるいは根固めに使用される。このような傾向は、1950年にそれまでのコンクリート方塊と異なった機能をもつ「テトラポッド」が発表、施工されるまで続いた。

外国においてはわが国にくらべて工事中自然石の入手が容易であるため、異形コンクリートブロックに対する関心はわが国ほど高いものではないが、異形ブロックの使用により工費が節減しうる事から波力の特に強大な地点において消波用異形ブロックが研究開発されている。

一方、わが国では港湾・海岸工事に使用する巨石の入手がきわめて困難なため、被覆工、基礎マウンド、根固めなどにコンクリート方塊が数多く使用されていた。しかしテトラポッドがわが国に紹介されて以来、人工異形ブロックは多大の注目を集め、以後各種の消波用ブロックが開発され現在では日本の海岸を全て異形ブロックで囲んでしまうがごとき勢いで使用されるようになった。

本文は、このように盛んに使用され、多くの関心をもたれている消波用異形ブロックに関する現在までの文献・資料より、その開発経過、特性、機能を取りまとめたものである。なお本文で取上げられる異形ブロックで河川工事にも使用されているものもあるが、河川用の機能については本文では触れないことにする。

本解説記事を取りまとめるに当たって、東京大学助教授

堀川清司氏から貴重なご教示をいただいた。ここに厚く感謝の意を表する。

2. 実用化された消波ブロック

1) テトラポッド (Tetrapod)^{1), 2), 3), 4)}

テトラポッドはフランスのネールピック水理研究所で開発された、最初の消波用異形ブロックで、1949年の第17回国際航路会議 (PIANC) で発表された。

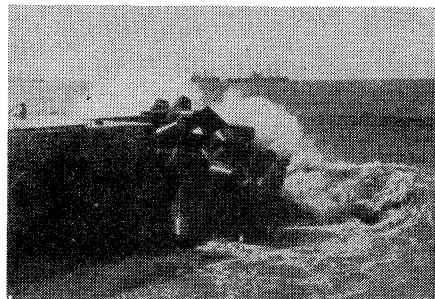
テトラポッドは図-1に示される形状で、つぎのような特性^{5), 6)}を有する。

① 被覆層が粗面となり、透過性があるため波圧、波のうちあげおよび反射を減小させ、波のエネルギーを減殺する。② ブロックは互いにかみ合い、安定した急勾配のり面をえるため、経済的な堤断面をうる。③ ブロックの重心位置が低く、コンクリート方塊にくらべて重量は軽くしうる。④ 施工にあたって特別な注意を払う必要がない。

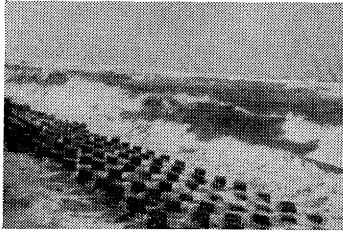
上記の特性はテトラポッドのみに適用しうるものではなく、異形ブロックがもつ一般的な特性ともいえるものである。テトラポッドは2層積で、のり面勾配が4/3の場合が最適な使用状態であるといわれ、わが国でも昭和38年末に工法特許がとられている。

テトラポッドが最初に使用されたのは1950年にカサブランカの北にある Roches Noires の海岸に火力発電所を建設した際、冷却用水の取水口を保護する突堤の堤頭部を16tテトラポッド260個で巻止め工を施工したものである(写真-1)。1952年にはチュニジアの Sousse 港の護岸工事に4tテトラポッドが6200t使用され、越波防止により成績を収めた。防波堤工事には1953年フランスの La Nouvelle 港に16tテトラポッドが1040t、

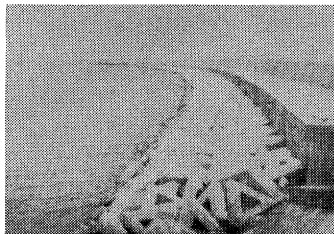
写真-1



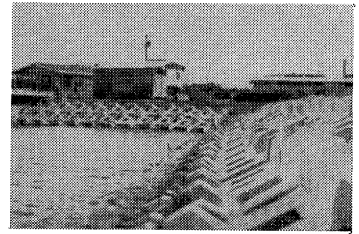
写真—2 秋田県八森海岸根固め



写真—3 三重県津港導流堤



写真—4 消波ブロック傾斜積施工 (岩屋港)



さらに1955年に2240tが追加施工されている。テトラポッドを大量に使用した例としては1954年モロッコ沖ポルトガル領 Maderia 島の Funchal 港の防波堤の被覆に16tテトラポッド670000tが使用された。これは水深-40mの地点に施工されたもので、コンクリート方塊を使用した場合に比較して、42%の工費を節減しえた。また現在まで使用された最大重量のテトラポッドは40tで、アルジェリアの Pointe Pescade 港で施工された。わが国にテトラポッドが紹介されたのが1955年で、岩手県八木港⁷⁾において使用されたが、これは脚が六角形の断面をした鉄筋コンクリート製のもので、現在のテトラポッドとはほど遠い形状である。

現在の型のテトラポッドは宮古港の南にある重茂漁港の港口の災害復旧工事、八丈島神湊港の防波堤、島根県江津港河口部の導流堤、新潟港の地盤沈下対策事業等、昭和29年頃から昭和32年にかけて使用されはじめ、現在では各地において盛んに用いられている。

2) トライバー (Triabar)^{8),9)}

1958年、アメリカ、ハワイ地区工兵隊技師 Robert Q. Palmer が開発した図—2の形状の消波ブロックで、Waterway Experiment Station (W. E. S.) で模型実験を行ないその消波機能およびブロックの安定性を、捨石やテトラポッドと比較している。

トライバーは、鉄筋コンクリートを使用し、特性はテトラポッドと同じである。W.E.S. で行なった実験結果⁹⁾によれば一層積みの場合には2.5倍、乱積みの場合には1.5倍もテトラポッドよりよいという結論を得ている。

トライバーは1958年にハワイの Nawiliwili 防波堤補修工事に19.8tのものが使用された。その後1960年までの経過を観察した結果、トライバーは非常に安定なブロックであることが報告⁸⁾されている。

3) 六脚ブロック¹⁰⁾

六脚ブロックの主なる目的は、波や流れによる洗掘を防ぐもので、根固め工に用いられるよう昭和31年に考案された。六脚ブロックは、ブロック相互を組合せることを原則とし、ブロックの組合せ方とブロックの脚の長さを変えるだけで目的に応じた空げき率と透過度を構造物にもたせる。ブロック一個としては、重心位置が高く波力に対して不安定である。しかしブロックの組合せに

より構造物全体としての安定性を確保し屈撓性にとむものとする。またブロック間を鉄筋で連結補強しうる。

ブロックの消波効果は図—3に見られる直交平面により、構造物の表面粗度が大きくなるためきわめて良好であり、また耐波性もブロック相互のかみ合わせによりよい。写真—2は秋田県八森海岸で、根固め工として施工された六脚ブロックを写したものである。

六脚ブロックは、昭和31年に徳島県今津坂野海岸の防砂堤に使用されて以来、福島県久の浜、鳥取県日吉津海岸、鹿児島県一町海岸、静岡県田子浦海岸など、各地において使用されている。

4) 中空三角ブロック¹¹⁾

中空三角ブロックは在来の異形ブロックのもつ特長点のうち、ブロックの透過性と安定性を増大しうるような形状のブロックとして考案されたもので、その機能は昭和34年の土木学会第6回海岸工学講演会で大阪市立大永井荘七郎博士により発表¹¹⁾された。

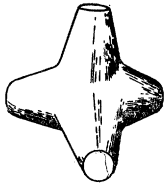
中空三角ブロックは、図—4に示されるブロックの中空部のため消波効果が増大し、またブロック間の空げきがブロックの多少の移動によっても変化しない。重心の位置は中空ブロックの底面より、ブロック高さの1/4程度のところにあるため、転倒モーメントが小さく安定性もよい。またテトラポッドに比較して中空ブロックはその必要個数を約15%減少しうる等の特徴を有している。

中空三角ブロックは、昭和34年度に和歌山県下において最初に施工され、それ以後和歌山県浅茂港、由良港、千葉県姉ヶ崎、和歌山県初島海岸など、わが国の各地で用いられている。写真—3は三重県津港の導流堤に施工された中空三角ブロックである。

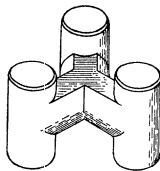
5) ホロースケア¹²⁾

ホロースケアは、昭和36年土木学会第8回海岸工学講演会で、大阪市立大永井荘七郎博士が発表した消波用ブロックである。ホロースケアは、テトラポッドや中空三角ブロックなどが波高4~5m以上の場合に被災した例があり、波高が大きい海岸に使用しうるブロックとして開発したものである。したがってホロースケアは波力による転倒モーメントが小さく、自重による抵抗モーメントが大きく、そして消波能力が優れている。ホロースケアは図—5に示される形状のものと、ブロック縦断形

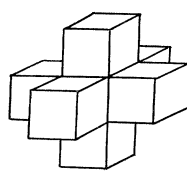
図一 テトラポッド



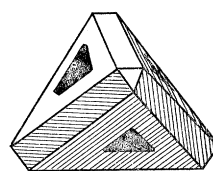
図二 トライバー



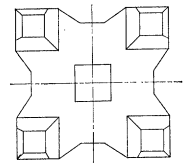
図三 六脚ブロック



図四 中空三角ブロック



図五 ホロースケア



状がN形をしたものが発表されたが、N形ブロックは施工方向が一定化するため現在では使用されていない。

ホロースケアは、写真-4 に示される大阪府岩屋港で昭和36年度に施工されたのが最初であり、その後大阪府樽井海岸、千葉県五井姉ヶ崎、大阪府泉南海岸などにおいて施工され今日においては他の異形ブロックと同様に広く使用されている。

以上がわが国および外国で現在使用されている消波用ブロックの主なるものである。

表一 消波ブロックの施工実績 (t)

年次	テトラポッド		六脚ブロック	中空三角ブロック
	外国	日本		
1956年以前	18 000	0	—	—
1956	64 000	5 000	6 000	—
57	64 000	6 000	—	—
58	170 000	12 000	20 000	—
59	192 000	46 000	120 000	6 000
60	110 000	4 000	330 000	22 000
61	907 000	73 000	530 000	71 000
62	—	—	1 060 000	174 000
63(推定)	—	—	1 590 000	250 000

表一は、各ブロックの施工実績を各年次ごとのブロック使用トン数で表わしたもので、資料は日本テトラポッド KK、技研興業 KK、治水工業 KK の提供によった。六脚ブロックおよび中空三角ブロックは消波用として使用したもののほか、他の目的に使用した数量をふくむものであり、またテトラポッドは資料提供者が把握しえた数量で、実数量ではない。ホロースケアは資料提供者の申し出により除外した。

3. 消波用異形ブロックの研究

自然石あるいはコンクリート方塊にかわるものとして異形ブロックが使用され始めて約20年が経過したが、今日でも数多くの研究がなされ、また各種のブロックが開発されている。異形ブロックの研究は、当初より捨石あるいはコンクリート方塊の構造物の研究との関連のもとに進められてきた。したがって異形ブロックの研究は、捨石構造物の研究にまでさかのぼることになる。

捨石構造物の研究は、個々の捨石が波力に耐えうるような捨石重量の決定に研究の主力が注がれてきた。1933年、スペインの技術者 Eduardo Castro¹³⁾が捨石重量に対する経験公式を発表して以来1938年 Iribarren^{14), 15), 16)}

(スペイン)、1948年 Mathews¹⁷⁾ (アメリカ)、1949年 Epstein と Tyrrel¹⁸⁾ (アメリカ)、1950年 Hickson と Rodolf¹⁹⁾ (アメリカ)、1952年 Larras^{20), 21)} (フランス) などがつづいて経験公式を発表した。これらの捨石重量公式のうちで従来用いられているものは Iribarren の公式である。Iribarren の公式にふくまれている係数は無次元化されたものでないため、小規模な模型実験により検証を行なうことはできない。1952年、Hudson^{22), 23)} (アメリカ) は Iribarren と同様な仮定を使用して Iribarren の公式を修正して、無次元係数を用いてつぎのような捨石重量公式をえた (Iribarren の改良公式)。

$$W = \frac{K' r_r r_w \mu^2 H^3}{(r_r - r_w)^3 (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)^3} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、W: 表面捨石重量 (t)、 r_r : 捨石の単位体積重量 (t/m³)、 r_w : 海水の単位体積重量 (t/m³)、 μ : 摩擦係数、 K' : 斜面勾配による係数、 α : 斜面が水平面となす角、H: 堤前波高 (m) である。

この修正公式も、急斜面に適用する場合摩擦係数 μ のわずかな差によって捨石重量がいちじるしく変化するなどの欠点を有している。

従来の捨石重量公式により、異形ブロックの重量を算出するには、異形ブロックの特性をも含むような補正係数が明らかでなければならぬ。実際の施工にあたっては、ブロック間のかみ合せをよくするために規則正しく配列するかまたは乱積にする。しかし現在の段階では両方の設置法に対し、解析的に被覆層の個々のブロックを移動させる力を決めることは不可能であり、被覆層が波力または引き波のため移動するときの状態も模型実験により研究を行なうしかない。このため捨石構造物の設計公式の研究にあたっては、模型実験と現地観測を並用しながら捨石重量公式の係数を決定する方法がとられている。Hudson は 1958 年、多数の現地観測データおよび 8 年にわたる広範な模型実験により、摩擦係数をふくまない新公式を提案した^{24), 25)}。

$$W = \frac{r_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 S_r : 捨石または異形ブロックの比重、 K_D : 被覆材料に関する常数である。

(2) の Hudson の公式中の常数 K_D は無次元量で移動した捨石または異形ブロックの数が 1% 以下である被覆石の限界重量を与える常数であり、したがって K_D

の値によって捨石や異形ブロックの消波機能および安定性を総合的に示していると考えられる。

異形ブロックを消波の目的で使用する場合には、個々のブロックの安定性以外にその消波効果が問題となる。異形ブロックを防波堤、または海岸堤防および護岸の前面に設置した場合の消波効果としてはブロック後方の構造物への波力の減殺、堤防（護岸）へのうちあげ高さまたは越波量の減少、のり先の洗掘防止などがふくまれる。各異形ブロックのこれらの効果については二、三のブロックについて模型実験などが行なわれているが十分な資料はえられていない。とくに外国においては防波堤の材料として異形ブロックが用いられているためブロック自体の安定性についての研究ほど消波効果は問題にされていない。しかしわが国においては消波の目的で異形ブロックが使用されることが多く、これらの効果について知る必要がある。そのために現在でも種々の場合について模型実験、現地観測などによって消波効果が調べられ

表-2 わが国における異形ブロックの研究

研究者	異形ブロック	研究内容	文献番号
佐藤・細井 他	テトラポッド, 捨石	安定性	26)
細井・三井	テトラポッド	〃	27)
本間・堀川 他	〃	根固め, 潮上, 波力	28), 29), 30), 31)
古谷・鴻上・近藤	〃	潮上, 越波, 波圧, 透過	32), 33)
岩垣・土屋・井上	〃	越波	34)
建設省土木研究所	〃	越波, 根固め	35)
白石・遠藤	〃	潮上, 越波	36)
永井	中空三角, テトラポッド, 四面体ブロック	安定性, 波圧, 潮上, 反射	11), 7)
永井・上田	テトラポッド, 中空三角	越波 (消波)	38)
永井・他	ホロースケア	安定性, 越波	12), 39)
久宝	六脚ブロック	安定性, 消波性, 根固め	10)
細井・富永	土研式ブロック	根固め	40)

ている。表-2 はわが国における異形ブロックの研究を一括表示したもので、テトラポッドに対する研究が圧倒的に多いのは当然のことと思われる。

4. 各異形ブロックの特性

異形ブロックの特性は、経済的特性と工学的特性に分けて考えることができる。経済的特性としては、ブロック個々の価格、設備費からブロック相互のかみ合せによるブロック重量および所要個数の減小などの特性が考えられる。また工学的特性としてはブロックの安定性、消波効果、波力減殺、洗掘防止などが考えられる。

1) ブロック重量と安定性

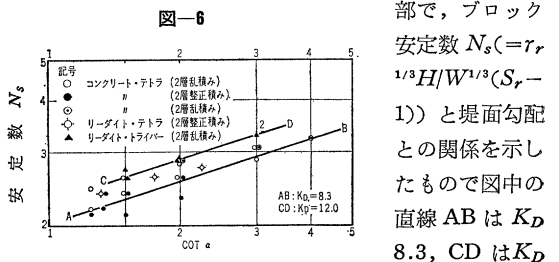
ブロック重量と安定性を定量的に表わすものとして、式(2)の Hudson の公式中の被覆材料に関する常数 K_D が考えられる。式(2)で常数 K_D の値が大きいブロックは、同一条件のもとでは常数 K_D の値が小さいブロッ

クよりブロック重量が小さいものでも安定な状態にあることになる。構造物前面に被覆層として設置された異形ブロックは整正積みの場合にも、たび重なる波浪の来襲により移動し、より安定な状態に互いにかみあう。乱積みにした場合にも同様な事がいえ、また個々のブロックにとって整正積みの場合より不利な状態であると考えられるため、乱積みの場合の K_D の値を比較する。

表-3 各種異形ブロックの K_D の値

	被覆層数	堤 部 体		堤 頭 部		ブロック形状
		砕 波	砕波せず	砕 波	砕波せず	
自然石 (粗)	2	2.1	2.6	2.0	2.4	
〃 (〃)	>3	2.6	3.2	—	—	
〃 (滑)	2	2.8	3.5	2.7	3.2	
〃 (〃)	>3	3.4	4.3	—	—	
Tetrapod	2	6.6	8.3	5.0	6.5	図-1
Triabar	2	8.0	10.0	5.0	7.5	図-2
Hexapod	2	7.2	9.0	5.0	7.0	図-9
Quadripod	2	6.6	8.3	5.0	6.5	図-10
Modified Cube	2	6.0	7.5	—	5.0	図-11
Akmon	2	5.5	6.9	4.2	5.4	図-13
六脚ブロック	2	7.2	8.9	6.9	8.3	図-3
中空三角ブロック	—	7.6	—	—	—	図-4
ホロースケア	—	13.6	—	—	—	図-5

表-3 は異形ブロックと自然石の K_D の値を示したものである。図-6⁽⁴¹⁾は、テトラポッドとトライバーの K_D の値を定めるために Hudson の行なった実験結果の一



部で、ブロック安定数 $N_s (=r_r^{1/3} H/W^{1/3} (S_r - 1))$ と堤面勾配との関係を示したもので図中の直線 AB は $K_D = 8.3$, CD は $K_D = 12.0$ の値に対応するものである。Hexapod, Quadripod および Modified Cube⁽⁴²⁾ も Hudson の実験結果によるものである。Akmon は Paape の実験結果⁽⁴³⁾ であるが、いずれも K_D には安全率は考慮されていない。中空三角ブロックとホロースケアについては永井博士の実験結果、六脚ブロックは久宝博士の実験結果を利用し Hudson の式から逆算して求められた K_D である。なお、ホロースケアと六脚ブロックに対する K_D の値は整正積みの場合のものである。

2) 空げき率

異形ブロックの消波効果には、ブロック表層の粗度より、ブロック層内の空げきがより大きな働きをもつことが認められている⁽⁴⁴⁾。そこで各ブロックの空げき率を二層積みの場合について示したものが表-4である。各ブロックの空げき率は約 50~60% であり、ブロックの消波効果はブロック層内の空げき率の個々の大きさにも影

表-4 各ブロックの空げき率 (%)

	捨石	コンクリート方塊	テトラポッド	トリアー	六脚ブロック	中空三角ブロック	ホロースケア
空げき率	45	47	52	53	40~80	66	49
	Akmon	Bipod*	Tripod*				
空げき率	60	61	53				

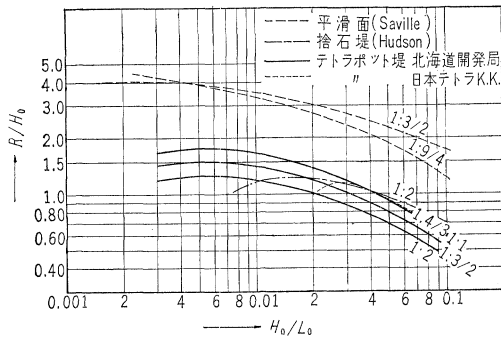
注* これらの形状は後出図-14, 15

響されるものと認められる。

3) 波のうちあげ高さ

波のうちあげ高さについてはブロック積み堤の場合、ブロックを防波堤のマウンドに用いた場合、護岸などの根固めとして使用した場合について実験的研究がなされ

図-7



ている。図-7は、一般的な場合としてテトラポッド堤の波のうちあげ高さの実験結果の一例を示したもので、同図中には比較のため Saville の平滑斜面の実験と Hudson の捨石堤に対する実験結果を記してある。図-7は堤面勾配をパラメーターとしてテトラポッド堤については北海道開発局土工試験所⁴⁵⁾と日本テトラポッド KK⁴⁶⁾が行なった実験結果を示したものである。テトラポッドについては、入射波の波形勾配が 0.01 以上である場合には、はいあがり高さは捨石堤の約 80% まで減少するが、波形勾配が 0.01 以下の場合には捨石堤と大差がない。

4) 越波量

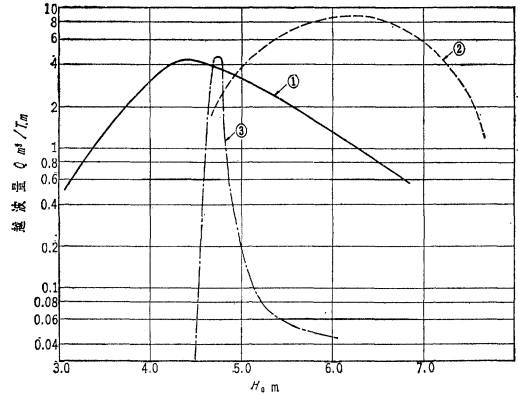
越波量についてもテトラポッド堤の場合の実験結果を図-8に示す。図-8は堤防勾配が 1:4/3、二層積みのほぼ同一断面に対する 3種類の実験結果^{34), 35)}を示したもので、各実験結果はそれぞれ異なった越波量を示している。この越波量に関する模型実験結果に見られるよう

表-5 消波ブロックの諸元

公称重量*	テトラポッド (比重 2.5)				トリアー (比重 2.5)				六脚ブロックA型 (比重 2.3)			中空三角ブロック (比重 2.3)			ホロースケア (比重 2.3)				
	体積	高さ	2層の厚さ	100m ² 当りの数	体積	高さ	2層の厚さ	100m ² 当りの数	体積	高さ		2層の厚さ	体積	高さ	2層の厚さ	体積	高さ	2層の厚さ	100m ² 当りの数
										set 1	set 3								
0.5	(m ³) 0.1	(m) 0.90	(m) 1.20	300	(m ³) 0.202	(m) 0.66	(m) 1.17	227	0.189	0.90	0.85	1.45	0.216	0.914	0.914	0.217	0.54	0.94	235
1.0	0.4	1.13	1.50	190	0.404	0.84	1.48	168	0.448	1.20	1.15	1.95	0.435	1.155	1.155	0.441	0.68	1.19	148
2.0	0.8	1.42	1.90	120	0.809	1.05	1.86	106	0.875	1.50	1.40	2.40	0.875	1.457	1.457	0.871	0.86	1.49	93
4.0	1.6	1.79	2.40	74									1.746	1.835	1.835	1.737	1.08	1.87	59
8.0	3.2	2.26	3.00	47					3.584	2.40	2.30	3.90	3.481	2.309	2.309	3.485	1.36	2.36	37
12.0	5.0	2.62	3.50	35					5.103	2.70	2.55	4.35	5.239	2.646	2.646	5.236	1.56	2.70	29

* 公称重量は比較のためほぼそれに近いもので表わした。

図-8



実験	模型縮尺	テトラポッド	入射波周期	のり面勾配	根固め
① 土研	1/16	16 t	15 s	1:4/3	あり
② 防災研	1/25	16 t	15 s	1:4/3	なし
③ *	1/25	16 t	15 s	1:4/3	なし

実験	消波堤	堤防	潮位	
実験	天端高(T.P.)	天端高(T.P.)	潮位(T.P.)	
①	7.0 m	+7.00 m	+7.50 m	+1.60 m
②	7.0 m	+7.50 m	+7.50 m	+1.60 m
③	7.6 m	+7.00 m	+7.50 m	+1.66 m

に異形ブロックの実験には多くの問題がある。このため各種の実験がなされているが、各ブロック間の特性を直接比較することは困難である。

5) 波力減殺

異形ブロックを消波工として使用した場合の、防波堤本体に作用する波力については、テトラポッド、中空三角ブロックおよびホロースケアについて実験がなされており、これらの実験によると、消波工を設置しない場合の波力の 30~50% が減殺されることが認められている。

消波工としてブロックを使用した場合、衝撃波圧をいちじるしく軽減しうるが、堤前水深が深く直立壁のみのときには重複波圧が作用するような場合には、消波工により碎波を助長し、かえって大きな波圧を生ずることが認められている⁴⁷⁾。

以上、異形ブロックの工学的特性の主なるものについて述べたが、異形ブロックの模型実験にはその積み方、測定方法により実験結果に大きな差を生ずるなど各種の困難およびブロックの使用目的による差などがあり、統一的にブロック間の特性を比較することは現段階におこ

図-9 Hexapod

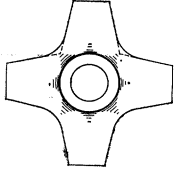


図-10 Quadripod

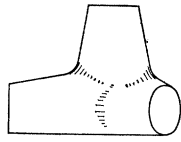


図-11 Modifiedcube

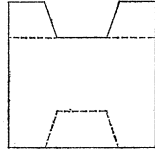


図-12 Stabit

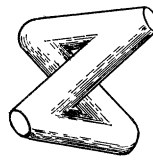


図-13 Akmon

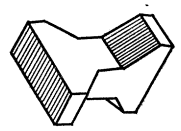


図-14 Bipod

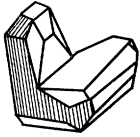


図-15 Tripod

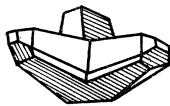


図-16 二又コンクリート塊

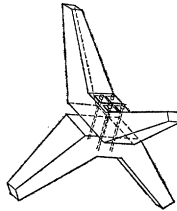


図-17 波浪よけブロック

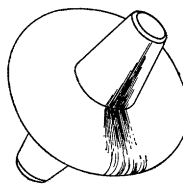


図-18 消波護岸ブロック

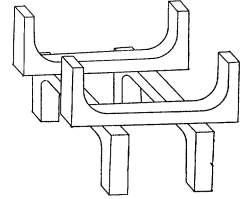


図-19 護岸防波用ブロック

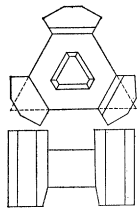


図-20 護岸消波用ブロック

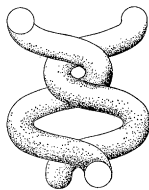


図-21 四脚ブロック

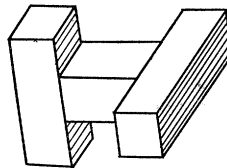


図-22 コンクリートブロック

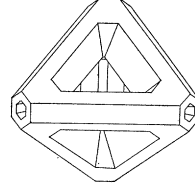
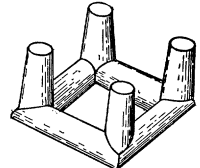


図-23 土研式ブロック



てはきわめて困難である。そして各ブロックに対するより基礎的なデータの収集を行ない、設計資料として使用するようになる必要性を痛感する。

5. 消波ブロックの諸元

消波ブロックの諸元を、わが国で広く使用されているものについて示したものが表-5である(トライバーは参考として記載)。この表-5により各異形ブロックの経済的特性をある程度比較することができる。

6. その他の異形ブロックの形状

本章においては、現在まで開発研究された異形ブロックおよびすでに特許権を取得したブロックのなかで本文で紹介されなかったブロック形状を示す。

1) 外国文献にみられるもの

図-9~11のHexapod, QuadripodおよびModified Cubeは、Beach Erosion Boardによってその諸元および K_D の値が発表されている。図-12のStabitはイギリスにおいて、図-13のAkmonはオランダで開発されたものである。図-14および15のBipod, TripodはAkmonと比較研究されたものである。

2) わが国で特許、実用新案を取得したもの

わが国で特許権をえたテトラポッド(工法特許)、トライバー、中空三角ブロック、六脚ブロックおよびホロース

ケア以外のブロック形状は図-16~22のようなものであり、その他としては土研式ブロックがある(図-23)。

参考文献

- 1) Danel, P.: Tetrapods, Proc. of 4th Conference on Coastal Eng., pp. 390~398 (1954)
- 2) Danel, P., Chapus, E. and Dhaille, R.: Tetrapods and other Precast Blocks for Breakwater, Proc. of A.S.C.E., WW Vol. 86, No. 3, Paper No. 2590, Sept. (1960)
- 3) Danel, P.: The Tetrapod, Proc. of 8th Conference on Coastal Eng., pp. 469~481, November (1962)
- 4) 白石直文: テトラポッドの設計と施工, 山海堂, 昭 37.10
- 5) E.N.R.: Tetrapods—Four Legs against the Sea, pp. 46~51, March 21 (1957)
- 6) Dock and Harbour Authority: The Tetrapod Concrete Block—A New Technique in Breakwater Construction, pp. 50~51, June (1957)
- 7) 川田, 菊地, 佐々木: 八木港の四脚方塊について, 港湾技術要報, 運輸省港湾局, No. 15, pp. 87~91, Dec. (1956)
- 8) Anonymous: Tetrapods Challenged by New Tribar Shape, E.N.R., p. 36, July 3 (1958)
- 9) Palmer, R.Q.: Breakwaters in the Hawaiian Islands, Proc. of A.S.C.E., WW Vol. 88, No. 2, Paper 3114, May (1962)
- 10) 久宝雅史: 六脚ブロック工法, 国民科学社, 昭 35. 7
- 11) 永井荘七郎: 消波用中空ブロックに関する研究, 第6回海岸工学講演集, pp. 130~144, 昭. 34.11
- 12) 永井, 玉井, 上田, 高田: 新しい消波用コンクリートブロックに関する研究, 第8回海岸工学講演集, pp. 71~77, 昭. 36. 9
- 13) Castro, E.: Diques de Escollera, Revista de obras Publicas, April (1933)
- 14) Iribarren Cavanilles, R.: A Formula for the Calculation of Rock Fill Dikes, Revista de obras Publicas, July (1938), Translation in the Bulletin of the Beach Erosion Board, Vol. 3, No. 1, January (1951)
- 15) Iribarren Cavanilles, R. and Nogales y Olano, C.:

- Generalization of the Formula for Calculation of Rock Fill Dikes and Verification of its Coefficients, Revista de Obras Publicas, May (1950), Translation in the Bulletin of the Beach Erosion Board, Vol. 5, No. 1, Jan. (1951)
- 46) Iribarren Cavanilles, R. and Nogales y Olano, C.: Report on Breakwaters, XVIII International Navigation Congress, Ocean Navigation Section, Question 1, Rome (1953)
- 47) Mathews: A Reevaluation of Rock Size Formulas for Rubble Breakwaters, Corps of Eng., Los-Angeles (1948)
- 48) Epstein and Tyrrel: Design of Rubble Mound Breakwaters, XVII International Navigation Congress, S. 2, Com. 4 (1949)
- 49) Hickson, R. and Rodolf, F.: Design and Construction of Jetties, Proc. of 1st Conference on Coastal Eng., pp. 227~245 (1951)
- 50) Larras-Colin: Les Ouvrages de Protection du Port d'Alger a Talus Inclines, Travaux, Vol. 31 (1947), Vol. 32 (1948)
- 51) Larras, J.: L'equilibre Sous-Marin d'un Massif de Matériaux Soumis a la Houle, Le Genie Civil, 15 Sept.(1952)
- 52) Hudson, R.Y.: Wave Forces on Breakwaters, Trans. of A.S.C.E., Vol. 118, pp. 653~674 (1953)
- 53) Hudson, R.Y. and Jackson, R.A.: Stability of Rubble Mound Breakwater, W.E.S. Research Report 2-365, Vicksburg (1953)
- 54) Hudson, R.Y.: Design of Quarry Stone Cover Layers for Rubble Mound Breakwaters, W.E.S. Research Report 2-2, Vicksburg (1958)
- 55) Hudson, R.Y.: Laboratory Investigations of Rubble Mound Breakwaters, Proc. of A.S.C.E., WW Vol. 85, No. 3, Paper No. 2171, Sept (1959)
- 56) 佐藤, 細井, 木村, 三井: 捨石およびテトラポッドの移動限界について, 第5回海岸工学講演集, pp. 183~188, 昭. 33.11
- 57) 細井, 三井: テトラポッドの安定限界, 第6回海岸工学講演集, pp. 124~129, 昭. 34.11
- 58) 本間, 堀川: 潜堤に関する研究(II)~沈下機構ならびに維持, 第6回海岸工学講演集, pp. 114~120, 昭. 34.11
- 59) 本間, 堀川, 安川: 海岸護岸の実験的研究 一根固工について, 第7回海岸工学講演集, pp. 237~244, 昭. 35.11
- 60) 本間, 堀川, 長谷: 護岸に働く波力について, 第9回海岸工学講演集, pp. 133~137, 昭. 37.10
- 61) 東大港湾研究室: 海岸堤防, 海岸護岸設計のための一資料, 昭.36.8
- 62) 鴻上, 近藤: テトラポッドの消波効果, 第16回年次学術講演会概要, 第III部 (1961)
- 63) 古谷, 鴻上, 近藤: テトラポッド防波堤に関する実験的研究, 第8回海岸工学講演集, pp. 91~96, 昭. 36. 9
- 64) 岩垣, 土屋, 井上: 由比海岸堤防の越波に関する研究, 第10回海岸工学講演集, pp. 132~137, 昭. 38.10
- 65) 建設省土木研究所: 由比海岸堤防模型実験報告書, 昭. 38.10
- 66) 白石, 遠藤: 消波工に関する二, 三の問題, 第10回海岸工学講演集, pp. 138~143, 昭.38.10
- 67) S. Nagai: Experimental Studies of Specially Shaped Concrete Blocks for Absorbing Wave Energy, Proc. of 7th Conference on Coastal Eng., pp. 659~673 (1960)
- 68) 永井, 上田: 風と波を考慮した海岸堤防の形状と構造に関する研究, 第7回海岸工学講演集, pp. 245~274, 昭. 35.11
- 69) 永井, 久保, 玉井, 上田: 防波堤および海岸堤防前面におかれた消波ブロック効果について, 第8回海岸工学講演集, pp. 78~85, 昭. 36. 9
- 70) 細井, 富永: 土研式ブロックを用いた海岸堤防の根固め工について, 第8回海岸工学講演集, pp. 86~90, 昭. 36. 9
- 71) Hudson, R.Y. and Jackson, R.A.: Design of Tribar and Tetrapods Cover Layers for Rubble Mound Breakwaters, W.E.S. Miscellaneous Paper 2-296, Vicksburg (1959)
- 72) Beach Erosion Board: Shore Protection Planning and Design, Technical Report No. 4, pp. 131~134, pp. D 41~47 & pp. D 50~D 54 May (1961)
- 73) Paape, A. and Walther, A.W.: Akmon Armour Unit for Cover Layers of Rubble Mound Breakwaters, Proc. of 8th Conference on Coastal Eng., November pp. 430~443, (1962)
- 74) 文献 11) と同じ
- 75) 文献 33) と同じ
- 76) 文献 36) と同じ
- 77) 運輸技研港湾水工部防波堤研究室: 峯ヶ関港西防波堤に関する波圧実験について (1960)
- 78) Brender, A. and Bonnerly, P.: Laboratory Study of Rubble Foundations for Vertical Breakwater, Proc. of 8th Conference on Coastal Eng., Nov. (1962)
- 79) Jose Joaquim Reis de Carvalho e Daniel Vera-Cruz: On the Stability of Rubble-Mound Breakwaters, Proc. of 7th Conference on Coastal Eng., Aug. (1960)
- 80) Schaer, C.: Stabilité des Ouvrages Maritimes. Comparaison Modelerealite, Compte Rendu des Quatriemes Journees des l'Hydraulique, Paris (1956)
- 81) Nota sobre as ensaios de estabilidade des molhes da Figueira da Foz, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (1959)
- 82) Abecasia, Carlos K.: Donnees d'experience sur les cotes du continent et des iles Portugaises de l'AHantique du Nord, XVlll Congres International de Navigation, S.II, Q.I.
- 83) Hiranandani, M.G., Cole, C.V. and Pendes, Y.D.: Strengthening Breakwater at Vizagapatam, Proc. of A.S.C.E., WW, Vol. 88, No. 3, Paper No. 3249, August (1962)
- 84) Johnson, R.J. and Weymouth, O.F.: Alternatives to Stone in Breakwater Construction, Proc. of A.S.C.E., WW Vol. 81, No. 4, Paper No. 1059, Sept. (1956)
- 85) Kaplan, K. and Pape, H.E.: Design of Breakwaters, Proc of 1st Conference on Coastal Eng., Oct. (1950)
- 86) Blume, J.A. and Keith, J.M.: Rincon Offshore Island and Open Causeway, Proc. of A.S.C.E., WW, Vol. 85, No. 3, Sept. (1959)
- 87) U.S. Waterways Experiment Stations: Design of Tetrapod Cover Layer for a Rubble-Mound Breakwater, Crescent City Harbor, Technical Memorandum No. 2-413, June (1955)
- 88) Deignan, J.E.: Breakwater at Crescent City, California, Proc. of A.S.C.E., WW, Vol. 85, No. 3, Paper No. 2174, Sept. (1959)
- 89) Larras, J.: Cours D'Hydrulique Maritime et de Travaux Maritimes, Dundo, Paris, pp. 246~254 (1961)
- 90) Dock and Harbour Authority: Artificial Blocks for Wave Protection, Oct. (1958)
- 91) Roald Svee: Formulas for Design of Rubble-Mound Breakwaters, Proc. of A.S.C.E., Vol. 88, No. 2, Paper No. 3114, May (1962)
- 92) Beaudevin, C.: Stabilité des Diques a Talas a Carapase en Vrac, La Houille Blanche, Mai-Juin (1955)
- 93) Barbe, R and Beaudevin, C.: Recherches Experimentales sur la Stabilité d'une Jettée a Talus incline Soumise a la Houle, La Houille Blanche, Juin-Juillet (1933)
- 94) Hedar, P.A.: Stability of Rock-Fill Breakwaters, Dokor-savhandling nr. 26. Chalmers Tekniska Högskola, Akademifolaget, Gumperts, Gøteborg (1960)
- 95) Yves Mahe: L'Emploi des Tetrapodes pour la Protection du Littoral, Proc. of I.A.H.R. 10th Congress, London, pp. 295~302 (1963)
- 96) Quinn, A.D.: Design and Construction of Ports and Marine Structures, McGraw-Hill, New York, pp. 147~205 (1961)

担当委員	服部昌太郎: 中央大学理工学部土木工学科
	柴田 信重: 運輸省港湾局建設課
	森平 倫生: 運輸省港湾技術研究所
	橋本 宏: 建設省土木研究所赤羽分所