

消波のりおいブロックに関する実験的考察

久 宝 雅 史*・多 賀 一 允**
遠 藤 茂 勝***・大 橋 一 彦***

1. 概 要

本考察は、技研興業株式会社総合技術研究所において、造波水槽を新設し、また、新しく消波のりおいブロックを案出したので、その造波水槽の特性およびブロックの波のうちあげ高さの低下効果に関する模型実験などを行なった結果を、図面そのほかによりなしたものである。

2. 消波のりおいブロック

海岸護岸および堤防護岸のりおい部に、消波性をもたせた無筋コンクリートブロックで、図-1および写真-1に示したような形のものを、消波のりおいブロックと称して、その消波性をしらべる目的で、若干の水利模型実験を行なうことになった。このブロックは、表-1に示すような寸法を有し、1トン形、2トン形およ

図-1 消波のりおいブロックの基本形

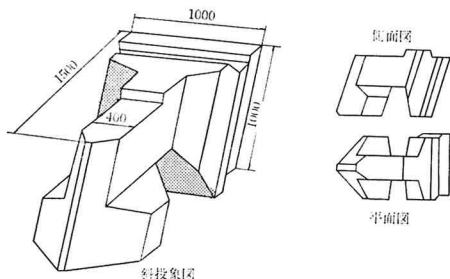


写真-1 消波のりおいブロックの基本形

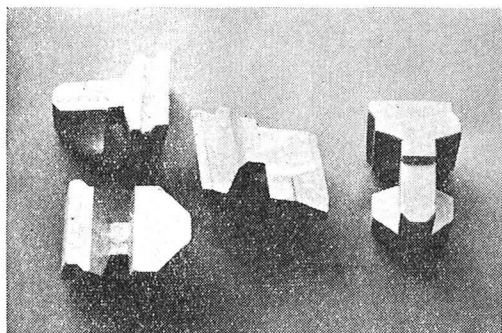


写真-2 ブロック（2トン）を積みあげた場合の正面

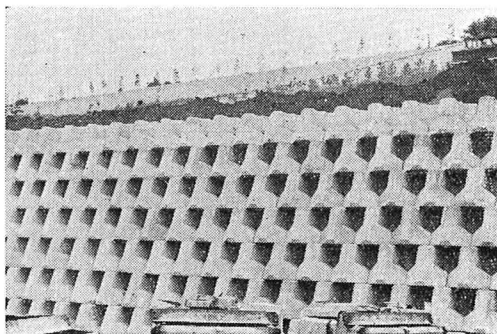
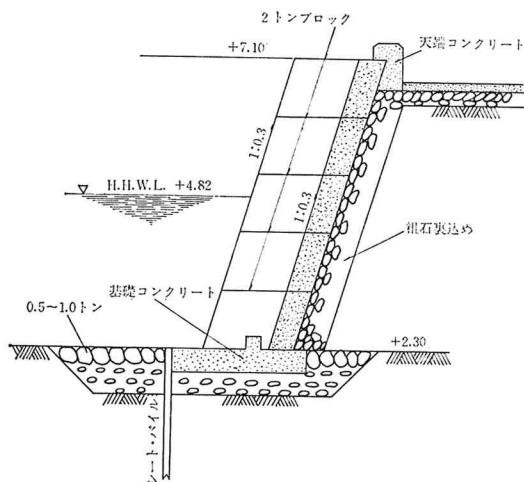


図-2 ブロック使用例、横断面図



び4トン形の3種が考えられている。このブロックは、その底面を水平にすると、写真-2に示すように、のり面こう配1:0.3に積み上げることができる。もちろん、その底面の傾斜によっては、1:0.3より緩やかな斜面のりおいができるが、本実験では、1:0.3の場合のみにして行なうことにした。なお図-2はこのブロックの使用例として、その横断面図を示したものである。波のうちあげはその根固め部の構造によってかなり支配されるが、このブロックの特性を見出すために、根固め工を施さない場合について実験をした。また、これらの図などが示すように、ブロックの前面には53%の間げきがあり、積み上げると、それが上下左右に連絡している。それに対しこのブロックの後面は土圧に抵抗す

* 正会員 工博 日本大学教授

** 正会員 技研興業(株)総合技術研究所社員

*** 学生会員 日本大学大学院学生

るように、全く不透過になり、ブロック1個当りでは、42%の間げきを示す。なお、その表面起伏が、消波に効果があるように、下層2個のブロックにまたがって上のブロックが積み上げられ、またブロックは前面がややとがり、平面でほぼ45°の角度で、波がその間げきに入りやすく、反射波を減ずるように考案されている。

表-1 ブロックの寸法に関する諸元

		1トン形	2トン形	4トン形
体積	(m ³)	0.45	0.87	1.70
重量	(t)	1.00	2.00	4.00
かみ合わせ (cm)	上下方向	8	10	13
	左右方向	6	8	10
高さ (有効)	(m)	0.77	0.96	1.20
幅 (有効)	(m)	0.80	1.00	1.25
長さ (水平)	(m)	1.20	1.50	1.88
型枠所要面積	(m ²)	4.58	7.17	11.20
重心位置 (m)	底面より	0.738	0.922	1.153
	高さ	0.411	0.514	0.643

(形はいずれも相似形)

これらの1トン形、2トン形および4トン形のブロックはいずれも相似形であるが、本実験では、その2トン形のブロックの寸法の約1/20、比重2.3の合金製のものの約300個をつくり使用した。その積み上げた状態は写真-3および4に示したとおりである。ただし、模型ではその形に関する誤差の割合がかなり大きい、実際

写真-3 ブロックを積みあげた状態

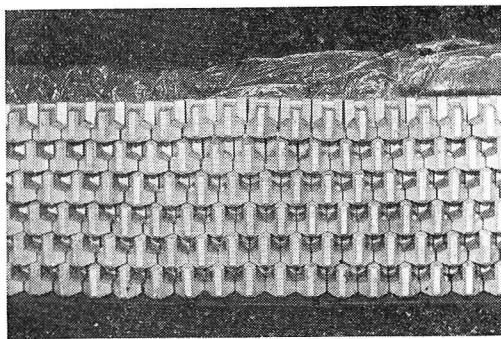
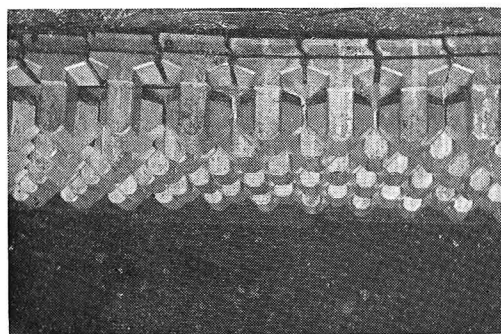


写真-4 ブロックを積みあげた場合の平面状態



の2トン形ブロックを7段積みにして、高さの方向の伸び率はなく、左右方向の伸び率がほぼ1.0%であった。

3. 造波水槽とその特性

この造波水槽は、深さ1.50m、内幅1.40m、長さ約154.85m、鉄筋コンクリートモルタル内面仕上げで、一端に造波機を有し、他端は一部ガラス張りである。これに平行して、内幅0.70mの水槽および片側廊下があり、すべて屋内に設置されている。図-3は水槽の概略図を示したものである。底はほぼ水平で、造波機の部分は深さ2mと深くなり、ガラス張りの終端付近では壁の高さが3.25mと高くなっている。写真-5はその水槽内部を示したものである。

図-3 水槽の概略図

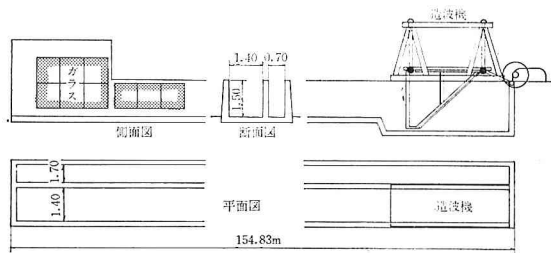
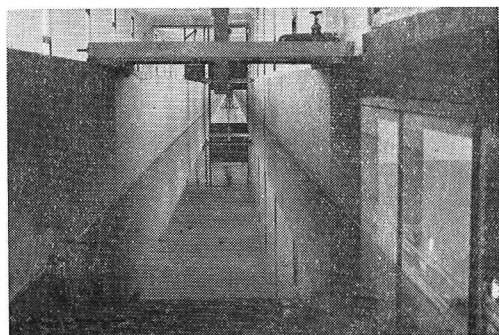


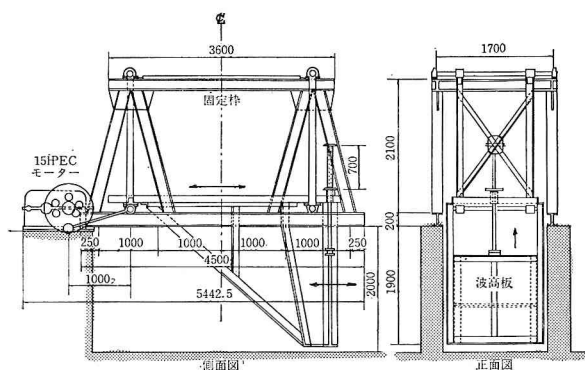
写真-5 水槽内の状況



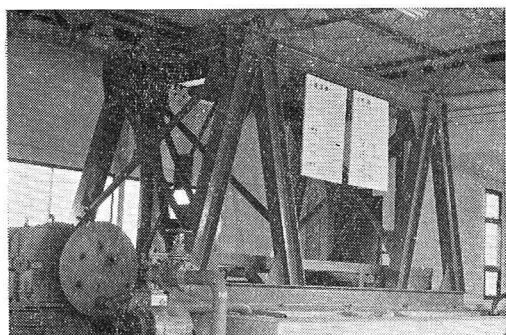
またガラス張りの側から約25mのところに、幅1.40mの水槽と幅0.70mの水槽とに水門を有し、これを閉じると、25m区間の水が、15馬力のモーターポンプで、両水槽に入れかえられるようになっている。ゆえに、最初の水を水槽に入れておけば、この25m区間の水の入れかえだけで、ガラス部分の構造物などを種々に変化させることができるようになっている。そのほか、この水槽は冬期結氷の恐れがあるので、別に3inの小さいモーターポンプにより、実験をしない場合には、大きい水槽と小さい水槽との水が、連続して流れるようにしてある。そのほか、小水槽の約25m区間で、水流の実験ができるように、24inのパイプで、大小水槽が連結され、そのための水門やチェックバルブを有している。

造波機は、つり板(波高板)にヒンジが2組ついた、遊動円木式のフラッタータイプ¹⁾で、20馬力の無段変

圖—4 造波機



写真—6 造波機



速機を有する E.C. モーターより、3 段のギヤーを経て、円板を回転せしめ、円板の中心より 12.5, 16, 18.5, 23, 26.5, 30 cm にピン孔を有し、これによりストロークが 6 種類に変えられるようになっている。これより、丸鋼を通じて、ヒンジで、前記フラッターを前後に移動させるようにしたものである。図—4 および写真—6 はその造波機を示したものである。なお、つり板（波高板）は、それがギヤーにより全体的に上下させて、水をかく範囲を変えることにより、波高のみを若干変えることができるようにしてある。しかし、本実験では、主として、そのつり板が最高の位置においてなされた。

水槽の底には、小砂利をしきならし、一部にモルタルを敷き、さらに浜側にはその上に砂を敷いた。底こう配は浜より 5.30 m 区間は 1/16.55、さらに沖合 23 m はほぼ水平、さらに 30 m 区間は 1/67.57、合計区間平均こう配は 1/63.71 となった。これに水槽の底から 98.5、93、89 cm の 3 種の深さに水を入れて実験をした。

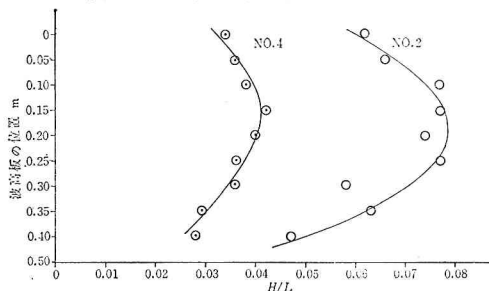
オッシロの水位計は、浜から 2.3 m (No. 6), 22.0 m (No. 5), 44.3 m (No. 4), 59.3 m (No. 3), 82.5 m (No. 2) および 94.2 m (No. 1) の距離の 6 カ所にとりつけた。オッシロはそのうち、No. 1, No. 2, No. 4, No. 5, No. 6 の 5 カ所のものを用いたが、オッシロは 6 チャンネル式のものである。

波高板に関する実験では、ストローク 39 cm, 水深は底より 91.4 cm, 周期は 1.60~1.95 s (平均 1.81 s) で

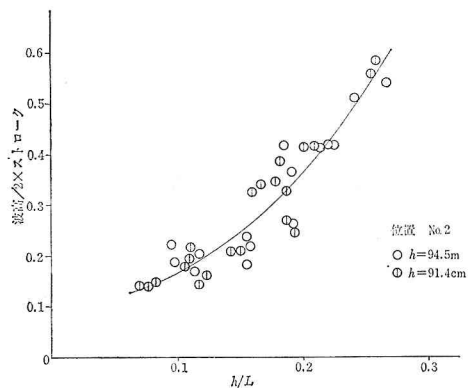
一定とし、つり板を上より 5 cm ずつおろして、No. 5 と No. 2 との波高と波速とを目視により測定した。その結果を示すと、図—5 に示すとおりである。こうしてつり板を上下させると、波高すなわち波形こう配を変えることができるが、本実験では、前述のように、これは動かさないことにした。

つぎに、全水深（水槽の底よりの水深）91.4 cm と 95.4 cm とにおける No. 2 の位置の、波高/(2 × ストローク) とその位置の比水深 (h/L) との関係を図示すると、図-6 のとおりになり、この範囲の水深の変化では、No. 2 の位置では、両者の深さの

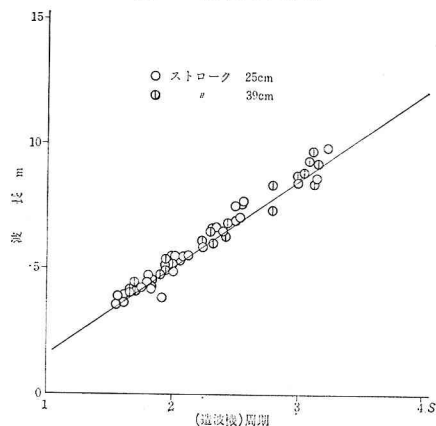
図一5 つり板の位置に関する実験結果



図一6 波高（2×ストローク）と比水深



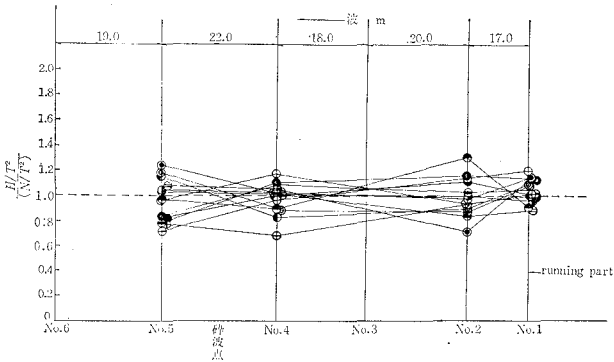
図—7 波長と周期



間の差は認められにくいことがわかった。また、全水深を 89, 93, 98.5 cm の 3 種に変えて、ストロークを 25 と 39 cm の 2 種に変え、No. 2 と No. 5 の波長と周期との関係を示すと、図-7 のとおりとなり、その図の直線はストークスの式によるもので、かなり十分にストークスの式が成立つことが明白である。

参考までに、造波機の消費電流（アンペヤー）は、スタート時にやや大きく、造波機の 1 サイクル中で変化し、また周期によっても相違が生じ、周期 1.60 s のときにもっとも電力を要し、それより小さい周期ではほぼ一定になる。これらを示したのが、表-2 である。

図-8 波形の変化



つぎに、水槽方向の波形の変化について、オッシロを解析すると、図-8 のとおりである。ただし、全水深は 0.98 m で一定とし、周期およびストロークを変えた場合である。これより明らかに、No. 4 と No. 5 との間で、実験中に明らかに認められたような砕波点が存在し、造波機より No. 2 の間は、波が形をととのえる running part (約 50~60 m) がある。しかし、 H/T^2 の小さい波では、砕波も目立たず、running part がかなり短いものもあることを示している。また No. 5 の位置でクノイド波とし取り扱わねばならないと思われる波がかなり多かった。ストローク 25 cm, 周期 2.55 s に関する波の変化に関する実験値の例は、表-3 に示すとおりである。なお周期は、造波機における発生周期と

表-2 周期と最大消費電力（アンペヤー）

周期 (s)	1 サイクル中の最大消費電力 (A)	モーターの回転数 (r.p.m.)		摘 要
9.5		120~190	減速	水面波形乱れる
5.7		150~220	"	"
4.2		250~340	"	"
3.2		360~410	"	"
2.6	5	430~530	"	"
1.8	15	520~670	"	水面波形よし
1.6	19	590~750	"	"
1.4	9	690~890	加速	"
1.25	8	790~940	"	"
1.15	8	910~1 000	"	"
1.05	8	1 020~1 100	"	"

No. 1, No. 2, No. 4, (No. 5) とは全く同じで、(No. 5 と) No. 6 とではやや半減し、双峯性の波を生ずる場合もあるが、きわめて不定常な波を生じた。ただし、No. 5 では波の周期その他により、定常波を生ずること

表-3 波形の変化の例

測点番号	No. 1	No. 2	No. 4	No. 5	No. 6
累加距離 (m)	90	75	40	17.5	-2.0
水深 (m)	0.98	0.99	0.71	0.42	0.23
波高 (cm)	9.2	9.2	8.3	5.6	5.2
周期 (s)	2.6	2.65	2.5	2.5	1.2~1.5
H/T^2	1.36	1.31	1.33	0.896	3.61~2.31
摘 要	ほとんど減衰せず 砕波点 反射波あり				

もある。ゆえに、本実験では、No. 2 の観測記録を、沖波と考慮して、これにもとづいて、実験をまとめることにした。しかし、このような長い水槽でもなおかなり長周期の固有振動波を生ずるので、必しも厳格な意味の定常波とはいいいにくいものがあつた。しかし、ここでは No. 2 の測定値を定常波と考慮して取り扱うことにした (図-9 参照)。

3. 滑面のうちあげ実験

このブロックの消波性を調べるために、まず、

図-9 ストロークと波高と周期

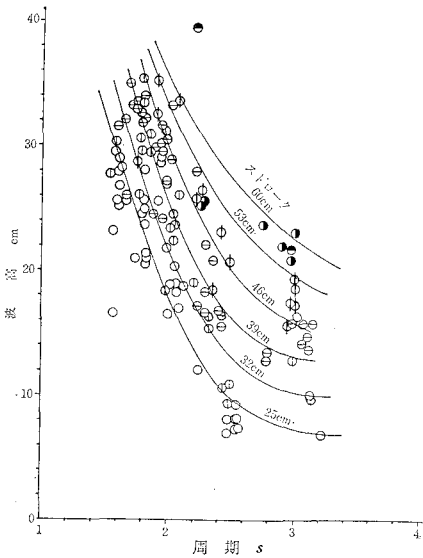
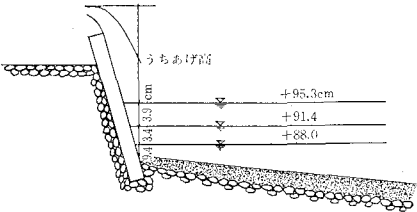


図-10 滑面の波のうちあげ実験



木わくにベニヤ板および薄銅板をはり、水槽の横断方向に1:0.3のこう配に固定した斜面をつくり、図-10に示したような前面水深 $h=9.4, 12.8, 16.7$ cm の3種に関して、波のうちあげに関する実験を行なった。その周期は、ほぼ1.7, 2, 2.5, 3, 4sの5種、ストロークの長さは25, 32, 39, 46 cmの4種とし、測点 No. 2における波高と波速、No. 6における波高およびうちあげ高さを目視により測定した。その実験状況は、写真-7および8に示すとおりである。これら実験は、なるべく波の実質部のうちあげに関する実験をしたつもりであるが、その実質部と飛沫との限界が不明であり、波は部分重複波となり不定常で、そのうちあげ高さも一定せず、しかも、滑面をのり越える波もかなり多かった。ゆえ

写真-7 滑面うちあげ(1)

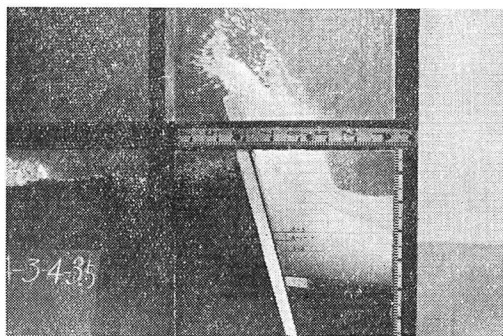


写真-8 滑面うちあげ(2)

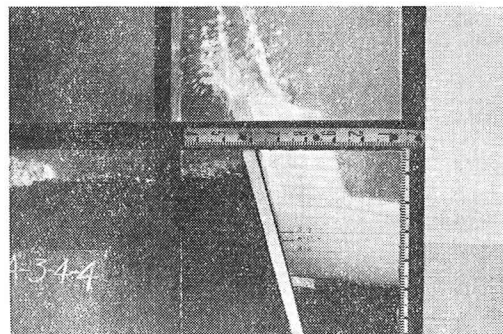
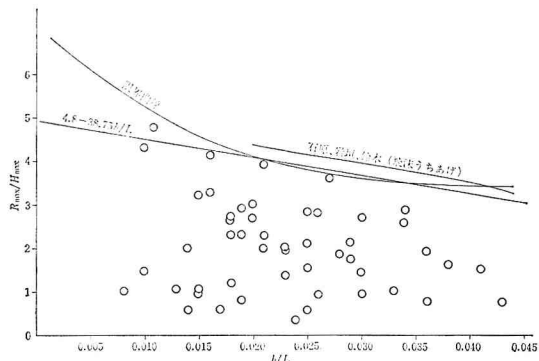


図-11 滑面のうちあげ実験結果



に、うちあげ高さの最大 $R_{\max}$ を用いることにし、さらに、観測点 No. 2 においても $H_{\max}$ を用いることにした。ただし、 $H_{\max}$ は有義波 $H_{1/10}$ に応ずるつもりで、No. 2 における10回連続観測中の波峰位の最大と、波底位の平均値との差によることにした。比水深 h/L はもちろん構造物前の水深と、No. 2 における波長との比である。これらより、図-11に示すような結果が得られた。この点は、波形こう配 $H_{\max}/L$ によって当然変化すると思われるが、かなりバラツキを生じたが、その最大の限界線として、図中の曲線を推定してみた。ここに、参考までに、石原・岩垣・鈴木による³⁾、直立壁の飛沫のうちあげ高さに関する最大限界曲線を挿入してみた。それらは、本実験よりやや上位にあるが、かなり相似な曲線を示している。さらに、これよりかりに、

$$R_{\max}/H_{\max} = 4.8 - 38.75(h/L) \dots \dots \dots (1)$$

を推定してみよう。

なお水槽幅1.40 m 内で波の横振動を生じ、うちあげ高さが同時に同じ高さには達しなかった。ここに求めた $R_{\max}$ はそのガラス壁面にそう高さである。また図-11に示すように³⁾、うちあげ高さに関しては、直立壁も1:0.3の斜面も大差はないが、反射波により、不定常な部分重複波を生じ、沖波の1周期が2つにわかれて、いわゆる双峯性の波形を生ずることが多かった。また、測点 No. 6 の波形はかなり不規則で、波種によってはNo. 5の波も反射波の影響を受けた。こうして、沖波の1周期に対して、2回のうちあげを生ずるような場合が、かなりしばしば生じた。また小さい飛沫は、2m以上に達する場合も多かったので、照明のためのランプをビニールで被覆することにした。

4. ブロック斜面の波のうちあげ実験

前と同様に、滑面の斜面1:0.3にそって、この消波のりおいブロックを積み上げ、全水深、周期、ストローク等を前と同様な条件にして、実験を行なった。実験中の状況は、写真-9と10に示したとおりである。うちあげ高さに関する実験結果は、図-12に示したよ

写真-9 ブロック面のうちあげ(1)(写真-7に対応する)

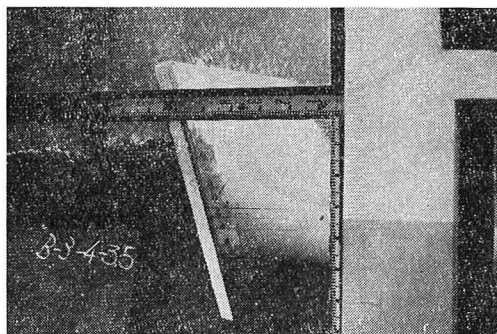


写真-10 ブロック面のうちあげ(2)
(写真-6 に対応する)

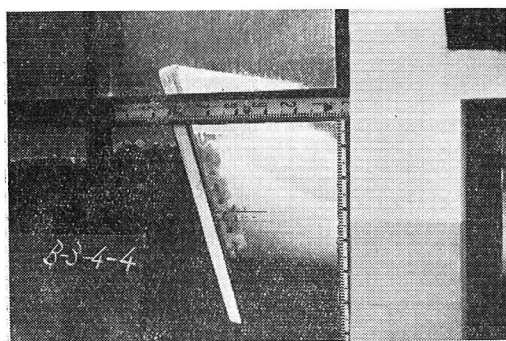
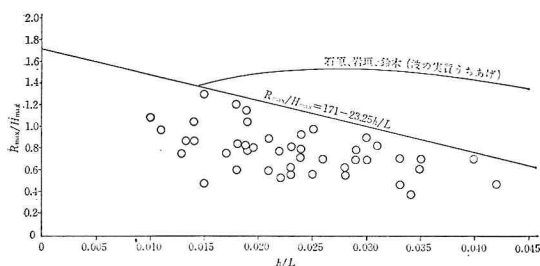


図-12 ブロック面のうちあげ実験結果

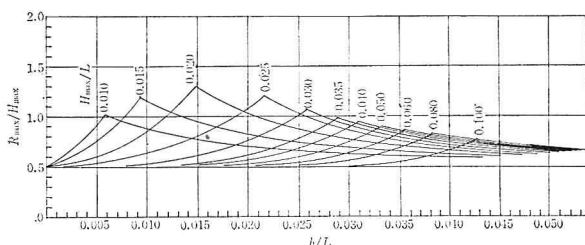


うになり、その最大限界として、かりに、

$$R_{\max}/H_{\max} = 1.71 - 23.25(h/L) \dots\dots\dots (2)$$

を推定した。また同じ図に、石原・岩垣・鈴木の直立壁面における波の実質部のうちあげ高さの最大限界線を図示しておいた²⁾。この実験による最大限界線と石原らによる実験結果を比較すると、比水深 $h/L < 0.015$ ではこのブロックの効果があらわれていないで、 $h/L > 0.015$ で、かなりの差を生じ、比水深が大きいほど、うちあげ高さがブロックにより低下することがわかる。いいかえると、 $h/L < 0.015$ というような浅いところでの波のうちあげは、ブロック自体よりは、むしろその前面水深の形状に支配されるものといえる。かりに、この前面水深に、六脚ブロックまたはテトラポッドのようなものが、 $h/L < 0.015$ のところに設置されていたとすれば、この実験に示すような波のうちあげとは全然違った様子を出すものと思われる。いいかえると、斜面に達した波が、これからうちあがろうとする時の初期現象が、 h/L がき

図-13 ブロック面(1:0.3)の波のうちあげ



わめて小さい場合には、 h/L が大きい場合と相違し、その限界が、本実験では、 $h/L = 0.015$ ということになった。しかし、概して、滑らかな斜面に比して、明らかにうちあげ高さが減じ、式(1)と式(2)とから、 $R_{\max}/H_{\max}$ の最大の比を求めると、

$$\frac{1.71}{4.8} \approx \frac{1}{2.8}$$

となり、また $R_{\max}/H_{\max}$ の h/L に対するこう配の比は、

$$\frac{23.25}{38.75} \approx \frac{1}{1.65}$$

となり、ブロックのあるほうが、 h/L に対してやや緩な値を得た。また、前掲の石原らの実験による直立壁面のうちあげ高よりは、 $h/L > 0.015$ の範囲で、 h/L が大きいほど、ブロック面のうちあげ高が減ることが明白である。

実験結果より、うちあげ高さに関する曲線を、各波形こう配ごとにまとめると、図-13のようにすることができる。この曲線は、消波のりおいブロックを使用する場合に、その天端高の設計に役立つと思われる。

なお、このうちあげ実験中に観測されたことは、水路の横断方向の横ぶれ的な運動がなく、うちあげは一様に斜面をはい上った。この点は、滑面の場合と相違しており、ブロックが横振動をそ止するのに役立ったと見てよいであろう。

もしも、このブロックを波のうちあげの高さまで使用すれば、その天端高を滑面の場合より減ずることができ、さらに波返しを有する胸壁を必要としないはずである。

6. 反射波などに関する考察

これらの滑面およびブロック積み斜面の前面における波は不定常であり、沖波の性質によっても相違するので、反射波の影響を観測する定点観測ができない。しかし定性的に、ブロックを用いた場合と用いない場合とでは、反射波および重複波の状況が相違することは、明らかに認められた。すなわち、ブロックを用いた場合のほうが、かなり定常的になりやすいように思われた。

しかし、測点 No. 6 の構造物前面の定点観測によると、ブロックのある場合とない場合とでは、反射波がやや小さいようであったが、おそらく大差はないと思われた。すなわち、このブロックの背面が全く不透過であるから、当然反射波を生ずるものと見るべきであろう。いまグレスローとマーエの実験結果⁹⁾より、滑面で 1:0.3 の反射率(反射波/入射波の%)を推定すると、波形こう配 0.005~0.05 で、それぞれ 97.1~82.5% である。また、のり面こう配 28° の滑らかな面と粗石堤との反射率は、同

じく、グレスローとマーエとによる²⁾、波形こう配 0.005~0.05 で滑面の場合 96~45%, 粗石堤でその約半分 46~22% である。これらより、推定すると、ブロックを用いた場合と滑面との反射率は前者が後者に比して大きいはずはないが、粗石堤のようには期待されることが明白である。

反射波の影響を受けて、滑らかな斜面およびブロック斜面の前面が、いずれも洗掘された。滑らかな斜面に比しブロック面の場合には、洗掘される深さもやや浅く、その範囲がかなり小さいことが見受けられた。このことからでも、ブロック斜面のほうが、反射波がやや小さくなり、重複波が定常的な傾向にやや近くなることを示している。しかし、それとともに、このブロック斜面においても、普通の護岸工と同様ののり留め工、根固め工を必要とすることが明白である。

そのほか、ブロックの積み数を変えた実験、ブロックをくずす実験などを行なったが、その結果、波のはい上り高さより1列上までブロックを積んでおけば十分であること、上下左右のブロックのかみ合わせがかなり十分であること、単体に波をあてるとくずれ落ちること、根固め、裏ごめの必要なことなどが、明らかになった。

7. 結 び

この消波のりおいブロックに関する模型実験は、な

お続行する予定であるが、以上に得られた結果を総括すると、つぎのとおりである。すなわち、

- 1) この種ブロックでは、波のうちあげ高さを低減させるのには、かなり有効である。
- 2) この種ブロックでは、波の反射率を減ずることには、さほど有効でない。ゆえに、なお根固め工を必要とする。
- 3) 比水深が小さい場合には、ブロックの効果よりも、海底地形あるいは根固め工などによって、うちあげ高さが支配される。
- 4) この種ブロックをそのうちあげ高さまで用いると、その天端高を低くすることができ、波返し胸壁がなくてもよい。

なお設計に、もしも図-13のうちあげ高に関するものを使用する場合の $H_{\max}$ は沖波の $H_{1/10}$, L は L_0 を用いればよいと考えている。

引 用 文 献

- 1) 岩垣雄一：海岸および港湾の模型実験について，土木学会，海岸工学の最近の進歩，昭 36.3，p. 35.
- 2) 石原藤次郎・岩垣雄一・鈴木雄太：海岸堤防の設計，特にその有効高について，第2回海岸工学講演会講演集，昭 30.11，p. 57.
- 3) Roland Berkeley Thorn, "The design of sea defence works", 1960, p. 13.
- 4) 土木学会：水理公式集 昭 31，p. 478.