

浮 防 波 堤 の 模 型 実 験

久 宝 雅 史*・大 橋 一 彦**・牧 野 勝 典**

1. 概 説

波のエネルギーを減衰させて、泊地の静穏をはかるために、きわめて古くから浮防波堤と称する浮体がある。その考案されたものの種類はかなり多く 100 種以上に達するものと思われる¹⁾。しかしそれらの防波堤が考えただけにとどまったもの、模型実験あるいは実験で終わったもの、あるいは流失してしまったものがきわめて多い。これに対して普通の防波堤は、波のエネルギーを減衰させる効果、すなわち防波効果もきわめて大きく、大波などにより破損しても、その大部分が存在している。しかし普通防波堤も若干の欠点があり、その港口よりの浸入波が泊地内に集積して、泊地の静穏を阻み、台風時には港内の船腹が港外へ避難するようなことが多い。また泊地を上げる必要を生じた港湾で、水深が 20~30 m 以上に達すると、普通の海底地盤上に、普通防波堤を築設することが、不経済で施工が不可能になることが多い。このような普通防波堤の欠点をなくそうとするものが、特殊防波堤で、そのなかに浮防波堤がふくまれる。すなわち、浮防波堤は、

- 1) 仮設防波堤として、ある期間のみの使用を目的とするもの。いわゆる可動式防波堤として使用するもの
 - 2) 波のあまり大きくない地区の簡単な防波堤
 - 3) 水産物などのために、水底の付近の波および流れを阻止しない防波堤。
 - 4) 浮栈橋などとして、静穏時に天端が通路として使用され係船ができる防波堤
 - 5) 水深がきわめて大きい場合の防波堤
 - 6) その他
- に用いることができる。

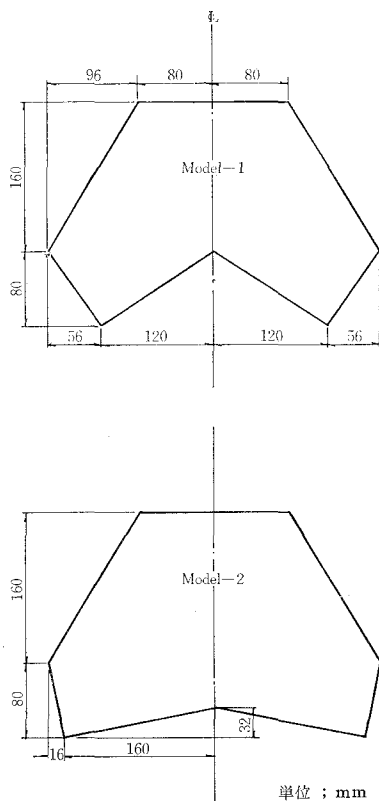
浮防波堤でもっとも問題となる点は、いわゆる防波効果とその防波堤の安定であって、防波効果を大きくしようとするれば、それに作用する波力がきわめて大きくなり荒天時に破損流失しやすくなり、反対に荒天時に安定な浮防波堤は防波効果が小さくなる。浮防波堤における浮体の係留用のアンカー チェーンあるいはワイヤなどの大きさにも限度があり、その数量もまた施工可能な限度がある。すなわち、その限度が防波効果の限度になる。

この研究は、すでに筆者らが発表した横断面を有する浮防波堤²⁾より、なるべく防波効果のあるものを案出して、その模型実験を行ない、若干の考察をしたものである。なお、その断面を決定した理由は、多くの人々の研究結果^{3)~6)}より、防波に効果あるものとして、

- 1) 鉛直壁面による反射式
- 2) 水平面で波の上面を圧さえようとする圧式
- 3) 浮防波堤の上面斜面を波がうち上げる斜面式¹⁾
- 4) 浮体の回転を利用する農林省式のローリング式⁴⁾
- 5) 浮体の上下動を利用する heaving 式⁷⁾

を総合したものである。また、構造を簡単にし、天端を通路に利用されるように考えて、図-1 のような形の模型をつくることにした。このような模型を用いて、本間・堀川・望月による研究結果³⁾から、その係留索の長さを水深の 4 倍とし、浮体をなるべく水面以下におこむ

図-1 模型断面図



単位 ; mm

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部

** 学生会員 日本大学大学院理工学研究科

ように強制的に水底に引っ張りこんで実験し、この模型による透過率と、水平力などを求めた。こうして、この種の浮防波堤が安定で防波効果があり、実用に供しうるかどうかを調べようとしたものである。

2. 実 験

この浮防波堤の模型は、ほぼ 1/25 の縮尺によることを考慮して作った。浮体は図-1 に示す断面形のものをブリキで作り、エナメルを塗って仕上げた。係留索としてナイロン ワイヤ (直径 4 mm) を用いた。その上流側のワイヤを底の滑車を通じ、40 kg (最小 0.1 kg 読み) のスプリング バランスに取り付け、最大と最小の力を、各 10 回ずつ読み取り平均した。なおこのワイヤは浮体の左右に 2 本を用いた。ここに、

実験-1. 図-2, 模型-1 (図-1), 浮体重量 3.60 kg, 長さ 134.0 cm, 引っ張りこみ吃水 4.0 cm, 初期ワイヤ張力 2.10 kg と 1.30 kg, (1.80 kg と 1.20 kg), 水深 60.0 cm.

実験-2. 図-2, 模型-2 (図-1 と同様), 浮体重量 4.40 kg の中に 10 kg の重りを入れ、長さ 129.65 cm, 初期張力 9.6 kg と 9.8 kg, 吃

図-2 実 験 状 況 1

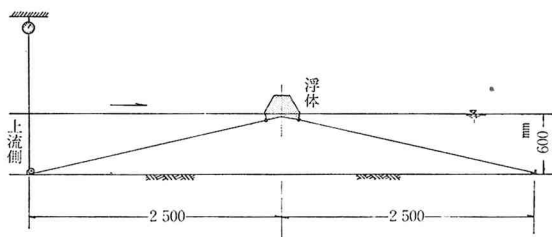


図-3 実 験 状 況 2
(ワイヤに浮きをつけた場合)

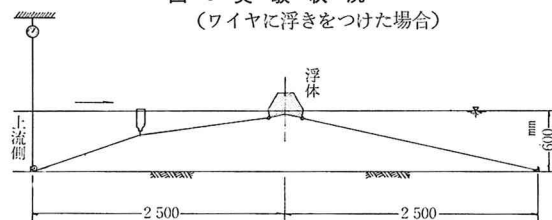
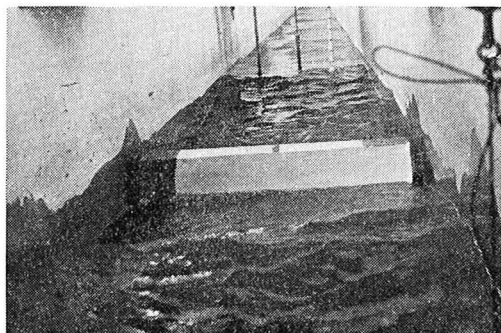


写真-1 実 験 状 況 (上流より下流を見る)



水 6.43 cm, 水深 60.4 cm.

実験-3. 図-2, 模型-2 (図-1 と同様), 浮体重量 および長さは前と同じ, 初期張力 6.6 kg と 6.6 kg, その吃水 6.50 cm, 水深 60.4 cm, 写真は実験状況。

実験-4. 前と同様, ただし上流側ワイヤ中央に約 500 gr のピンを浮きにして取り付け (図-3), 初期張力 6.0 kg と 6.0 kg, 吃水 6.50 cm.

とした。

実験用水槽として技研興業 K K のものを用い⁹⁾, その水槽の長さ約 160 m の中央 80 m に浮体を浮かべ、水深約 60 cm で一定とし、浮体より上流 61 m と下流 3.90 m における波高 (波峯 10 回, 波底 10 回) を目視し、さらにその地点においてオッシロで波高を自記させた。なおその水槽の内側の幅は 140 cm である。波高はこの実験で約 10~20 cm で入射した。周期は約 2.8~1.6 s であったが、周期が短いと入射波がかなり乱れた。ゆえに、もしも縮尺を前に示した 1/25 とすると、実物で 2.5~5.0 m, 周期 14~8 s, 水深 15.0 m で実験したことになる。また模型を原型に換算すると、高さ 6 m, 幅 17.6 m となる。波形こう配は 0.0151~0.0841 となった。水平力は模型で 0.00775 kg/cm~0.0607 kg/cm であったから、(25)³/100 として m に換算すると、0.484~3.794 t/m となる。すなわち、波高 5 m に対して 3.794 t/m は実用的にはやや大き過ぎる水平力と思われるので実際には波高 4 m ぐらいが限度であると考えられる。

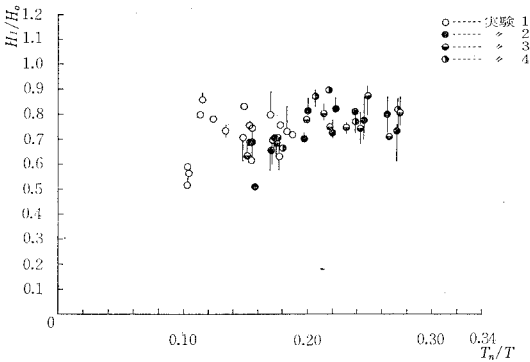
3. 透 過 率

目測波高にはかなりの誤差が入り、波がスケールをはいり、やや大きく出す傾向がある。また周期および波長の小さい、波高の大きい波は、幅 1.40 m の水槽内でかなり横振動を生じ、水槽の中央で入射波高が小さく測られる。それに対し透過波はいずれもいわば整流されて、かなり整然とした波になる。本実験では透過波の波長を測定しなかったが、かなり入射波より短かいことが明白であった。これら目視による波峯位と波底位の 10 回観測の平均の差を平均波高とし、オッシロによる波高の 30 波平均波高とし、その係数よりオッシロの最大波高および最小波高を求めた。また入射波高に関しては、ストークス波と見なして、深水波に換算し、相当深水波高 H_0 によるものとした。これより、最大入射波高と最大透過波高の比、最小入射波高と最小透過波高の比、および平均入射波高と平均透過波高の比を透過率とした。

なおこの模型の固有振動周期を計算より求めると⁹⁾, 横 揺 れ (rolling):

$$T_R = \frac{2\pi\kappa}{\sqrt{g \cdot GM}} = \begin{matrix} \text{(模型-1)} & 0.437 \text{ s.} \\ \text{(模型-2)} & 0.290 \text{ s.} \end{matrix}$$

図-4 透過率の実験結果



上下揺れ (heaving) :

$$T_H = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{V'}{g \cdot A}} = (\text{模型-1}) 0.367 \text{ s.}$$

$$(\text{模型-2}) 0.265 \text{ s.}$$

κ : 重心を通る軸のまわりの回転半径

$\overline{GM}$: メタセンターの高さ

V' : 見かけの排水容積

A : 吃水線における浮体の面積

である。この模型では rolling と heaving の固有振動周期の値が等しいが、かなり強制したので、一応計算基準として、rolling による固有振動周期 T_R を使い、実験周期 T' との比と透過率との関係を図示すると 図-4 のようになった。同図の丸印がその平均入射波高と平均透過波高との比による透過率を示したものである。ここでもっとも簡略に透過率を推算すると、水深約 60 cm に対し、吃水約 6 cm であるから、もしも 6 cm の吃水で反射波による防波効果を生じたものとする、 $6/60=0.1$ は防波効果があり、透過率は

$$1 - \frac{6}{60} = 0.9$$

ぐらい以下になるであろう。しかし、実験結果はかなりこのばらつきを生じ、しかも周期 T の小さくなるほどそのばらつきも大きくなり、実験-1~4 のいずれが透過率が小さいかについての判定が困難であった。しかし、透過率は 0.5~0.9 の間にあり、実際の周期の小さい波高のあまり大きくない波は透過率 0.5 になる場合が生ずるはずである。この実験では、周期を小さくすると波高が大きくなり、乱れやすいので、実際の場合とはかなりの違いがある。そのような定性的な結果として、乱れた入射波が整然たる透過波になるものと思われる。なおこの実験結果は筆者らが前に実験した傾向²⁾とは必ずしも一致しない。これは横軸の値として T_R/T を用いたことによるものと思われる。すなわち浮体を強制的に保留した時の固有振動周期として T_R が基準になるかどうかによるであろう。すなわち、保留の方法によってはこのような浮体による防波効果にかなりの差を生ずるものと考えてよいであろう。

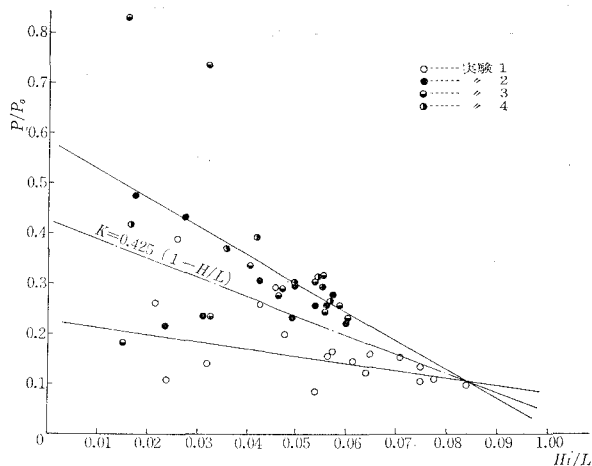
4. 波 力

前述のように、ワイヤの最大張力および最低張力を 10 回ずつ観測し、その差を波による張力とし、その水平方向の成分を波力に抵抗した力と見なした。これを浮体の全長の比で、 $P(\text{kg/cm})$ とした。浮防波堤の波力の減衰に関する種々の理論があるが¹⁰⁾、ここでは実用向きに、Sainflou の重複波の波力の近似式に関して、波高および軌道上昇高を平均入射波およびそれによる値により計算し、浮体の鉛直投象面に作用する単位幅の力 $P_0(\text{kg/cm})$ を算出した。もちろん P_0 は固定鉛直壁面であるから、

表-1 波に抵抗した力

No.	P (kg/cm)	P_0 (kg/cm)	P/P_0	H_1/L
1	0.0163	0.0625	0.261	0.0217
	0.0274	0.0707	0.388	0.0261
	0.0316	0.1597	0.198	0.0479
	0.0290	0.1773	0.164	0.0575
	0.0298	0.1960	0.152	0.0711
	0.0225	0.2094	0.107	0.0777
	0.0177	0.1708	0.104	0.0751
	0.00775	0.0724	0.107	0.0238
	0.0492	0.1686	0.292	0.0459
	0.0330	0.2108	0.157	0.0650
	0.0244	0.2508	0.097	0.0841
	0.0242	0.1822	0.133	0.0749
	0.0168	0.1249	0.135	0.0318
	0.0453	0.1763	0.257	0.0424
	0.0168	0.1998	0.084	0.0540
	0.0266	0.1723	0.154	0.0565
2	0.0220	0.1809	0.122	0.0642
	0.0210	0.1464	0.143	0.0615
	0.0193	0.0897	0.215	0.0234
	0.0438	0.1014	0.432	0.0275
	0.0401	0.1734	0.231	0.0494
	0.0607	0.2074	0.293	0.0555
	0.0415	0.1899	0.219	0.0602
	0.0411	0.1491	0.276	0.0575
	0.0212	0.0591	0.475	0.0174
	0.0281	0.1201	0.234	0.0311
3	0.0476	0.1567	0.304	0.0426
	0.0491	0.1676	0.293	0.0501
	0.0426	0.1678	0.254	0.0542
	0.0340	0.1334	0.255	0.0563
	0.0216	0.02605	0.829	0.0162
	0.0296	0.1270	0.233	0.0325
	0.0486	0.1449	0.335	0.0405
	0.0467	0.1624	0.288	0.0474
	0.0484	0.1601	0.302	0.0541
	0.0388	0.1530	0.254	0.0588
4	0.00932	0.0511	0.182	0.0151
	0.00924	0.1260	0.0733	0.0324
	0.0447	0.1624	0.275	0.0467
	0.0471	0.1949	0.242	0.0561
	0.0508	0.1611	0.315	0.0555
	0.0346	0.1513	0.230	0.0606
	0.0238	0.0569	0.418	0.0166
	0.0521	0.1412	0.369	0.0357
	0.0556	0.1419	0.392	0.0419
	0.0513	0.1767	0.290	0.0501

図-5 水 平 力



当然 P よりかなり大きいはずである。ここに、 P/P_0 を算出すると、表-1 のとおりになる。

表-1 の結果、 P/P_0 と H_I/L との関係を図示すると図-5 のようになる。ここに、 P/P_0 は計算波力の何割の力が水平に作用するかについて求めたものである。この結果もかなりのばらつきを生じたが、 H_I/L の波形こう配が大きくなると、 P/P_0 は小さくなり、計算波力に対して抵抗した力の割合が小さくなることを示している。いまかりにその直線的傾向があるとする、平均的に、

$$\frac{P}{P_0} \approx k \left(1 - \frac{H_I}{L} \right)$$

ただし $k \approx 0.425$ が得られる。また、図-5 にはかなりのばらつきはあるが、実験-1 の重量 3.60 kg の浮体と、実験-2~4 の重量 4.40 kg の中に 10 kg の重りを入れたものでは、後者が P/P_0 が大きいようである。すなわち浮体の重いものが軽いものより波力を大きく受けて抵抗することが明らかである。

こうして水平力の大きい浮体ほど防波効果があったも

のと思われるが、その反面係留索などの張力が増大することになる。

5. 結 び

以上の結論として、なお浮体の大きさ、重量などの設計法、アンカーリングなどの具体的方法¹¹⁾について残された問題が多い。しかし、かりにこの模型が縮尺 1/25 とすると、十分に実用的に安定で、施工可能で、防波効果が期せられるものと思われる。

しかし係留索に浮体をつけたものとそうでないもの、浮体の底面のくぼみの程度についての効果の差が判然としなかったのに対してについて考察し、つぎにその係留方法まで考慮した鋼製の模型をつくり、浮防波堤の施工可能な範囲において有効な防波効果の実験を試みる予定である。

引 用 文 献

- 1) N.N. Djourkovski, P.K. Bojitch: "La houle et son actions sur les côtes et les ouvrages cotiers".
- 2) 久宝・大橋・牧野: "浮防波堤の模型実験について", 土木学会第 23 回年次学術講演会.
- 3) 本間・堀川・望月: "浮防波堤に関する研究", 第 10 回海岸工学講演会講演集 (1963), p. 144.
- 4) Juichi Kato, etc: "Damping effect of floating breakwater to which anti-rolling system is applied", 10th Conference of International Coastal Eng.
- 5) 永井莊七郎・久保弘一: "浮防波堤に関する研究", 第 17 回土木学会年次学術講演会概要 (1962), p. 139~
- 6) P.S. Bulson: "Transportable breakwaters", Dock and Harbour Authority, vol. XL VIII, No. 560, June 1967, p. 41~
- 7) 村尾修治: "位相差を利用する一円筒浮防波堤", 日本ブディア株式会社 プリント.
- 8) 久宝・多賀・遠藤・大橋: "消波のりおおいブロックに関する実験的研究", 第 14 回海岸工学講演会講演集 (1967), p. 193~
- 9) 土木学会編: "土木技術者のための振動便覧", p. 260.
- 10) R.L. Wiegel: "Oceanographical Engineering", p. 137.
- 11) 相良正次: "本四架橋の基礎施工", 施工技術, 8月号, 1968, p. 79~