

テーブル型ブロックによる消波岸壁について

尾崎 重雄*・井島 武士**・川上 善久***
田中 伸昌****・平原 淳次****

1. ま え が き

最近の港湾計画においては、水際線の人工的加工度が非常に高く、狭小な泊地が岸壁によって囲まれ、それからの反射波が港内水面の静穏を阻害する場合が多くなった。そこで、波反射率が小さく、しかも経済性や安定性などの諸要求に応じうる岸壁を考案することが必要となった。筆者らは、以上の要求により、井島らの理論的研究^{1)~4)}を基礎として、標題の研究開発を行ない、第四港湾建設局はその成果を用いて昭和45年度から鹿児島新港にテーブル型ブロックによる波反射率の小さい-4.5m岸壁を施工中である。この論文は、その消波岸壁の設計、水理模型実験、工事施工についての報告である。

2. 新型消波岸壁の必要性

(1) 鹿児島新港の港内静穏度の維持について

鹿児島新港(図-1)は、進入波高、港口幅にくらべ

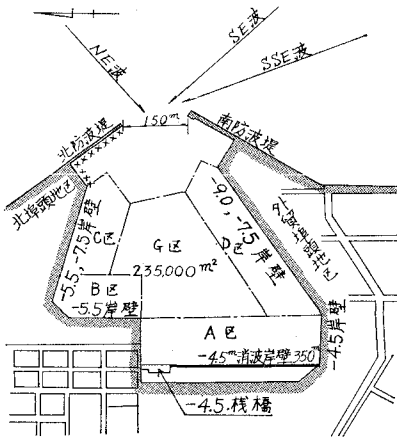


図-1 鹿児島新港平面図

港内水面積が小さく、しかもその水際線は港奥部400mの砂浜(と北防波堤裏側、その根元の取付部)以外はすべて直立壁型の波反射率の高い岸壁が完成している。表-1は沖波発生頻度⁵⁾であるが、これに対して港内の波高減衰率は、水理模型実験⁶⁾によればたとえばSE波に

表-1 沖波高発生日数の推定

沖波高 波向	0.5m 以下	0.5~ 1.0m	1.0~ 2.0m	2.0m 以上	計
NE	86日	72日	1日	0	159日
SE	48	24	1	0	73
SSE	24	12	0	0	36
S	12	6	0	0	18
計	170	114	2	0	286

注：沖波高2.0m以上の来襲する確率は3~4年に1回程度と推定される。1年のうち他の79日は静穏である。

については図-2のとおりであったので、港奥の唯一の波消浜を岸壁(-4.5m)に作り変えることが決まったとき、港内静穏度および荷役可能日数維持のため、波反射率の小さい岸壁を作ることとなった。

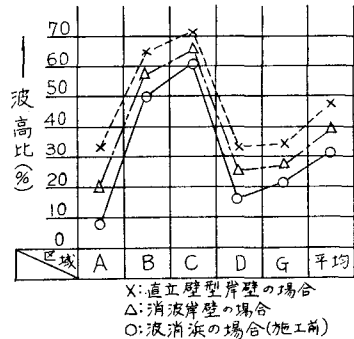


図-2 SE波の沖波に対する港内波高比

(2) 設計、施工上の要求

けい船岸としての一般的な性格上、波圧、土圧、地震力、上載荷重、残留水圧、船舶のけん引力などの設計条件や作業船、工事用地、労働力、竣工期限などの施工条件に適応した安全かつ経済的、能率的な形式でなければならない。特にけい船岸としての機能上、その前のり面は岸壁法線より突出してはならないので、たとえば捨石斜面上に栈橋をかぶせたような構造は栈橋幅が広がって不経済である。そこで直立型の波反射率の小さい岸壁が必要になるが、これについては井島らの理論的研究があるので、これを基本として現地の設計、施工条件に最も適合した新構造を開発することとした。ここで特記すべき諸条件は、消波効果のほか次の3点である。

- ① 能率性および経済性を考慮し、起重機の吊上げ能力(50tを予定)に適合した大型ブロックを用いる。

* 正会員 前運輸省第四港湾建設局長
** 正会員 工博 九州大学教授 工学部水工土木教室
*** 正会員 運輸省第四港建小倉調査設計事務所長
**** 運輸省第四港建小倉調査設計事務所

- ㊤ ブロックの製作, 据付けが容易であること。
- ㊦ 岸壁の上面(エプロン)は必要最小限の高さであり, できれば波が下から吹き上げないこと。

3. 安定性の検討

(1) ブロック個体および岸壁の設計⁵⁾

反射率を小さくするため, 井島らの理論的研究にしたがい, 空げき率の目標を 60% 程度にした。壁体は 40~50 t のブロックを重ね積みする構造とし, このため各層ごとに安定性を検討した。なお壁体の安定計算に用いた揚圧力は

$$P_u = 0.6 w H_{\max}$$
$$(H_{\max} \approx 1.7 H_{1/3}, H_{1/3} = 1.5 \text{ m})$$

である。

2, 3 の案を比較検討した結果, 図-3 の構造(3 段 1 列型)が採用された。この構造はすべり出しに対する安

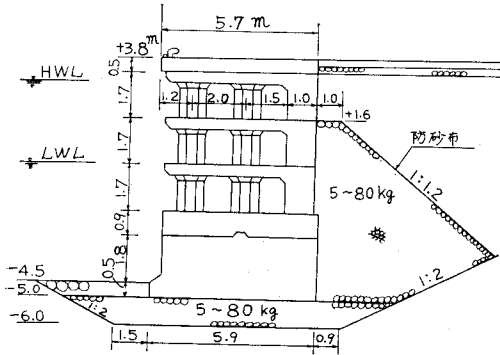


図-3 鹿児島新港 4.5 m 岸壁標準断面図

全率を最小限に確保しようになっているが, 上層部では揚圧力, 下層部では地震力に対するものが最も小さく, ほぼ 1.2 であった。

(2) 揚圧力に対する安定実験⁷⁾

縮尺 1/20 で以下の 3 条件の組合わせについて, 3 段 1 列型岸壁の揚圧力に対する安定性を実験したが, いずれの場合も全く安定であった。

安定性実験の諸元

水位: +2.8 m; +2.2 m

波周期: 8 sec

沖波高: 1.8 m; 2.4 m; 2.6 m (400 波, 約 1 時間の最大波)

4. 消波効果の推定

(1) 理論的推定

井島らは, 防波堤および岸壁について, 2 種類の理論的研究を行なっている。これを岸壁について説明すれば, 第一は不透過壁直前の静水面に水平板がある二, 三の場合であり^{1), 3), 4)}, 第二は不透過壁の直前に一様な空げき率の半透過の物質のみ存在する場合である²⁾。この第二の場合では, 岸壁を構成する物質がほどよく波を透

過し, 入, 反射の途中でエネルギーを消耗するように工夫すれば, 反射率を減少できるとの結論であり, これから空げき率 0.6, $\mu/\sigma=1.0, 2.0$ の場合の反射率はおおよそ図-4 の実線のとおりであろうと推定される。第一

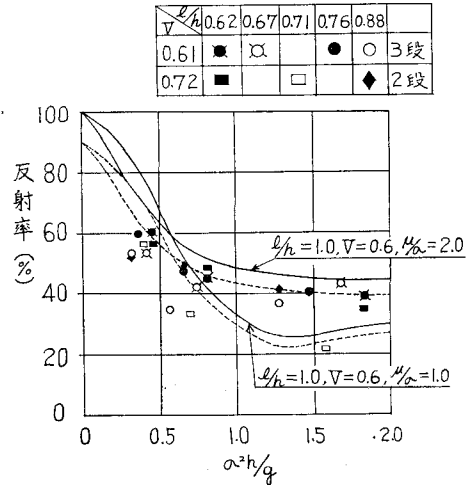


図-4 半透過岸壁の反射率(板穴 40, 60 cm 角)

の場合によれば, 水平板と静水面が一致するときは, 岸壁からの反射波が大きいという理論的結果が出ているが, テーブル型ブロックの反射率は第一ではなく, 第二の理論によるべきものと考えた。

(2) 水理模型による反射率の実験⁷⁾

a) モデル, 縮尺

岸壁の基本型としては, 空げき率が 60% 程度で, 波の揚圧力や土圧, 地震力にも安定な最小限の奥行をもった構造として, 図-5(a) の 3 段 1 列型が選ばれたので, まずこれについて反射率を実験するとともに, 図-5(b) の 2 段 1 列型についても比較研究のための実験を行なうこととした。模型縮尺は 1/20 とし, 岸壁用ブロックはセメントモルタルで製作した。テーブル型ブロック 1 個の岸壁沿いの幅は, 原形で 3.90 m である。

b) 実験ケース

鹿児島新港の潮位, 波浪とテーブル型ブロックの型状

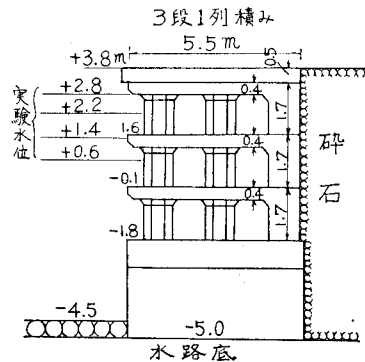


図-5 (a) モデル岸壁の原形 (1)

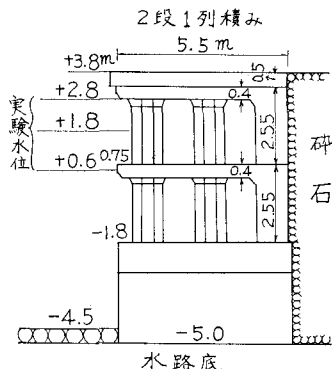


図-5 (b) モデル岸壁の原形 (2)

を考へて、次の実験諸元を選んだ。

水 位：3段積みの場合：+2.8, +2.2, +1.4, +0.6 m

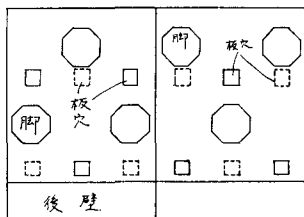
2段積みの場合：+2.8, +1.8, +0.6 m

周 期：4.0, 6.0, 8.0 sec

沖波高：1.0, 1.5 m

目 地：3 cm, 0 cm (粘土詰)

板 穴：なし、直径 20 cm の円穴 3 個、40 cm 角穴 3 個、60 cm 角穴 3 個 (穴の位置は図-6 参照)



□：2段積み 40 及び 60 cm 角の場合
○：その他の場合

図-6 板穴の位置

3 段 1 列の場合は以上の諸元 (水位は 4 個) の全組合せ、計 192 個について、反射率の測定を行なった。2 段 1 列の場合は、以上の諸元 (水位は 3 個) の全組合せ、計 135 個について、反射率の測定を行なった。なお比較のため、直立岸壁 (天端高 +3.8 m) について、上の周期、波高と潮位 4 ケース (3 段積みと同じ) の全組合せの反射率を測定した。

c) 反射率の測定法

模型岸壁の 7.5 m 前方に抵抗線式波高計を設置し、その位置では入射波と反射波が重ならないように発生波数を調節して、入射波と反射波の波高をそれぞれ測定した。入、反射波のそれぞれについて、8 sec では前後各 1 波、6 sec では各 3 波程度、4 sec では各 5 波程度を除いた中央部の波高一様の部分を読み取り、反射率を算出した。周期 8 sec の場合には、入、反射とも各 1 波しか採用できなかった。

d) 実験結果

図-7 は、直立壁とテーブル型 (3 段 1 列) の反射率を比較したものである。直立壁の反射率 90% に対し、

テーブル型では周期 4 sec では 35~40%, 6 sec では 35~45% と半分以下に減り、周期 8 sec では 50~60% に低下している。図-8 は、板穴による反射率の変化を比較したものである。穴をあけることにより、反射率は低下する。40 cm または 60 cm の角穴を 3 個あけた場合には、反射率は、穴のない場合にくらべ、周期 4, 6 sec で 10%, 8 sec で 5% 程度低下することがわかった。

図-9 は、水位による反射率の変化を図示したものである。水位と板高が一致しているか、ほぼ等しいときには反射率は高く、水位と板高がくい違っている場合は、反射率が低い傾向がある。特に 2 段 1 列の場合には、この差は 15~20% におよんでいる。

なお以上の各図の作製に当っては、目地、波高、水位、板穴などの諸要素の異なる場合の平均値を使用しているが、これらは各要素の全組合せについてそれぞれ 1

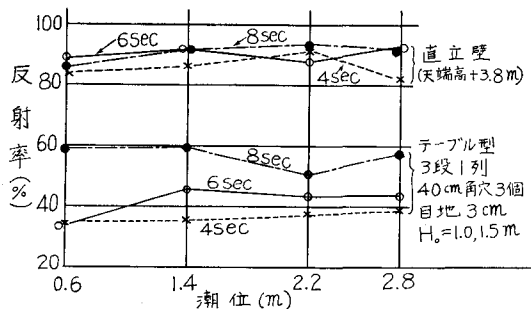


図-7 直立壁とテーブル型消波岸壁の反射率の比較

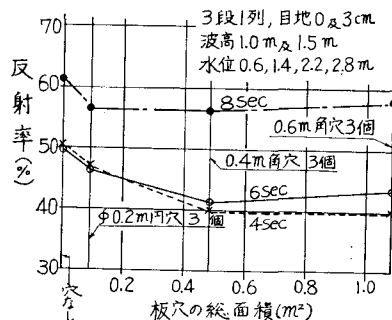


図-8 板穴による反射率の変化

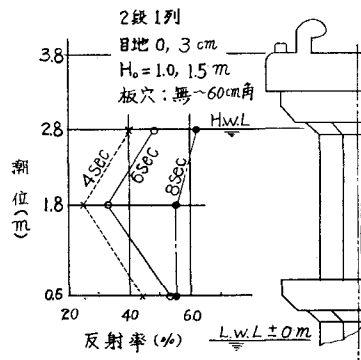


図-9 (a) 水位による反射率の変化 (1)

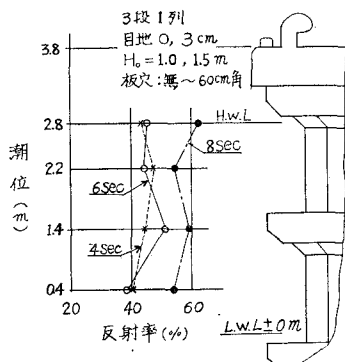


図-9 (b) 水位による反射率の変化 (2)

個の反射率値を抽出し、重量を等しくして平均したものである。以上の資料においては、波高 1.5 m の場合の反射率は 1.0 m の場合にくらべ、平均 3.4% ほど高く、また目地幅 0 cm (粘土詰) の場合の反射率は 3 cm の場合にくらべ平均 2% 高かったが、資料数の不足を補うため平均して図示した。

e) 理論との照合

3段1列(空けき率 61%)および2段1列(空けき率 72%)で、いずれも板穴が 40 cm および 60 cm の場合の反射率の実験値を、 $\sigma^2 h/g$ の関数として図-4 にプロットした。黒点は静水面が水平板の高さにほぼ一致している場合、白点は両者がかなり大きく異なる場合である。両者がほぼ一致している場合の反射率は、両者が大きく異なる場合にくらべて平均 10% 程度大きい。次に、直立壁の反射率は約 90% であったから、井島らの理論値³⁾を 0.9 倍して点線のように書き直してみた。 $l/h < 1.0$ であり、また μ/σ についても大よその見当しかつかないので、はっきりしたことはいえないが、基本的には、半透過の岸壁に類似の反射率であるように思われる。黒点すなわち静水面上に板がある場合でも半透過の岸壁として考えるべきであろう。

5. 施工の要約

45 年度から 図-3 の 3 段 1 列型の岸壁を施工しているが、この実験結果により、46 年度から 40 cm 角穴を 1 ブロック当り 3 個あけるように改良した。このブロックは 3 点と 1 線ではほぼ一様に支持されることを期待して設計してあるので、ブロックの脚および後壁が下のブロックに接するところに厚さ 30 mm のアスファルトマットを敷いた。また脚長はできるだけ均等に、かつ脚端は一平面上にあるように、形状管理を十分にした。脚長の施工精度は良好で、全体の 85% は規定寸法に対し、誤差 2 mm 以内であり、誤差最大値は 10 mm であった。ブロックのすえつけに当たっても、すべての足が一様に支持されるように、十分入念に施工したので、応力不均等による破壊は起こらなかった。しかし、アスファルト

マットがやや固すぎたため、現在までのところ、予定どおり沈下していないと報告されている。

6. 結 論

① 岸壁としての機能、安定性、経済性を併慮しながら、井島らの理論に基づいて波反射率の小さい岸壁を設計し、これを鹿児島新港で実際に施工した。

② 直立壁の反射率は 90% であったが、これに対応するこの岸壁(テーブル型ブロック 3 段 1 列型、40 cm 角穴)の反射率は、周期 4 sec では 35~40%、6 sec では 35~45%、8 sec では 50~60% であった。

③ 水平板に板穴をあけることにより、反射率は低下した。1 ブロック当り 40 cm または 60 cm の角穴を 3 個あけると、穴のない場合にくらべ、周期 4, 6 sec では 10%、8 sec では 5% 程度低下した。

④ 静水位とブロックの水平板がほぼ一致しているときは、両者が大きく異なる場合にくらべ、反射率が 10% 程度高い(図-4 による)。

⑤ テーブル型ブロックを用いた消波岸壁の反射率は、井島らの半透過の岸壁の理論で説明しうる程度の大きさであり、静水面が水平板とほぼ一致している場合でも、反射率はそれほど大きくない。しかし、水平板の存在は再検討の要がある。

7. あとがき

ここに記した模型実験や設計は、第四港湾建設局小倉調査設計事務所において実施したものである。また工事は鹿児島港工事事務所(所長 江田駿朗)が担当した。山下局長をはじめとする四建当局ならびに工事関係者のご後援、ご協力に感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) Takeshi Ijima, Shigeo Ozaki, Yasuhiko Eguchi and Akira Kobayashi: Breakwater and Quay Wall by Horizontal Plates and Permeable Materials, Technical Report No. 2, Coastal Engineering Research Laboratory, Hydraulic-Civil Engineering Department, Kyushu University, April 1971.
- 2) Takeshi Ijima, Yasuhiko Eguchi and Akira Kobayashi: Theory and Experiment on Permeable Breakwater and Quaywall, Technical Report No. 3, Coastal Engineering Research Laboratory, Hydraulic-Civil Engineering Department, Kyushu University, April 1971.
- 3) 井島武士・尾崎重雄・松尾隆彦・小林 彰: 直立消波岸壁に関する研究 (1) - 水平板岸壁について - , 第 16 回海岸工学講演会, 昭和 44 年 12 月.
- 4) 井島武士・尾崎重雄・江口泰彦・小林 彰: 水平板による防波堤と岸壁に関する理論的研究 (2), 第 17 回海岸工学講演会, 昭和 45 年 11 月.
- 5) 運輸省第四港湾建設局小倉調査設計事務所: 鹿児島港設計計算書, 小設資 No. 40, 昭和 46 年 3 月.
- 6) 運輸省第四港湾建設局小倉調査設計事務所: 鹿児島新港模型実験報告書, 昭和 39 年 4 月.
- 7) 運輸省第四港湾建設局小倉調査設計事務所: 消波岸壁模型実験報告書, 小設資 No. 43, 昭和 46 年 3 月.