

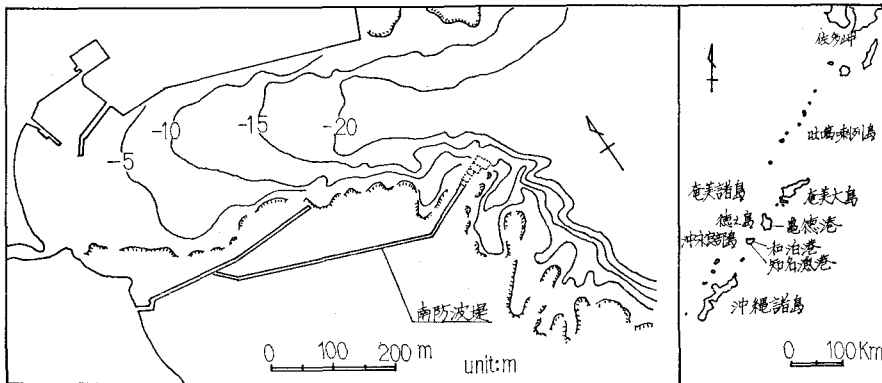
亀徳港南防波堤の安定性について

喜田健一郎* 里島正一** 遠藤泰司***
加藤久徳****. 岡崎克美****

1. まえがき

徳之島は(図一1), 鹿児島県佐多岬から南南西約 400 km に位置し, 奄美諸島に属する。亀徳港は島を取り巻くリーフによって形成された小湾を利用した港である。湾口が南東に面するため, 太平洋からの波浪が直接侵入し, 港内の良好な静穏性は期待できず, 現在南防波堤を延長中である。防波堤はリーフ上に設置され, 堤頭部はリーフ先端部に位置する。堤体周辺の水底はリーフが入

りくんでおり、入射波の複雑な変形が予想された。リーフ上の堤体の安定性に関しては、いくつかの研究例^{1),2),3)}があるが、本防波堤についてはその適用が困難であり、平面実験によりその安定性を検討し⁴⁾堤体断面を決定した。しかし、その施工途中において2度にわたる台風により被災した。本研究は、現地の被災状況を当時の波浪条件および実験結果から検討し、リーフ先端付近に建設される防波堤の安定性について考察を加えたものである。



圖—1 龜德港位置圖

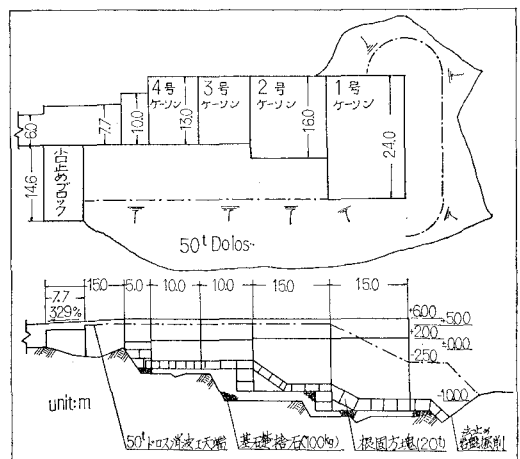
2. リーフ上の波の変形と防波堤の安定実験

(1) 実験条件および実験方法

実験施設は、日本テトラポッド(株)所有の大型平面水槽(40 m×26 m×0.8 m)を用い、模型縮尺は水平・鉛直とも 1/73 とし、海底はモルタル固定床である。

実験潮位は H.W.L.+2.0 m, 波浪は和泊港波浪推算報告書⁵⁾において推算された 30 年確率波浪, 沖波波高 ($H_{1/3}$)₀ 11.8 m, 周期 16.0 sec, 波向は防波堤の安定性に対して危険な SE を用いた.

波高の測定は容量式波高計を用い、ケーソンの滑動量



图一-2 防波堤計画構造図

*	鹿児島県土木部港湾課長
**	鹿児島県大島支庁徳之島土木出張所長
***	正会員 理博 日本テトラポッド(株) 応用水理研究所
****	正会員 日本テトラポッド(株) 応用水理研究所

表-1 実験ケースおよび実験結果

条件 ケース	沖波波高 m	ケーソンの大きさ 幅×長 m				根 固 工・消 波 工			小口止 ブロック	法 止 め
		1 号	2 号	3 号	4 号	堤幹部	堤頭部	港内側		
1	11.8	23×15 0	13×10 0.4	10×13 2.5	10×13 3.2	なし	25 t D. 根 0.6	なし	なし	なし
2	11.8	23×15	13×10	10×13	10×13	25 t D. 消	25 t D. 根	なし	なし	なし
3	11.8	23×15	13×10	13×10	13×10	50 t D. 消 10.4	25 t D. 根 0.9		なし	なし
4	11.8	23×15	13×10	13×10	13×10	50 t D. 消 2.1	25 t D. 根 0.9		あり	なし
5	11.8	16×15 0.4	13×10 3.1	13×10 0	13×10 0	50 t D. 消 0	25 t D. 根 1.7	なし	あり	あり
6	11.8	18×15 0.2	13×10 1.2	13×10 0.1	13×10 0	50 t D. 消 0	25 t D. 根 1.7	なし	あり	あり
7	11.8	20×15 0.1	13×10 1.0	13×10 0.1	13×10 0.1	50 t D. 消 0	25 t D. 根 3.3	なし	あり	あり
8	11.8	23×15 0	13×10 0.3	13×10 0	13×10 0.1	50 t D. 消 0	25 t D. 根 4.2	なし	あり	あり
9	11.8	22×15 0	16×15 0	13×10 0	13×10 0	50 t D. 消 0	25 t D. 根 5.6		あり	あり
10	15.0	22×15 3.1	16×15 0.4	13×10 0.1	13×10 0	50 t D. 消 5.6	25 t D. 根 57.8		あり	あり
11	16.3	22×15 1.8	16×15 0	13×10 0.1	13×10 0	50 t D. 消 2.1	25 t D. 根 60.6		あり	あり
12	15.0	24×15 0	16×15 0	13×10 0	13×10 0	50 t D. 消 0	50 t D. 根 13.3		あり	あり

ケーソン { 上段: 大きさ (m)
下段: 滑動量 (m)

根固工・消波工 { 上段: 種類, D.: ドロス
下段: 被害率・% ((転落個数/総個数)×100)

はケーソン上方に設置した格子網を用いて測定し、消波ブロック・根固めブロックの安定性は目視により観察した。防波堤の計画構造を図-2に示す。なお安定実験の対象となるケーソンは堤頭部より4箇目までで、ここでは1~4号ケーソンと呼ぶ。

実験波は規則波を用い、有効波数を繰り返して合計150波(現地換算40分)作用させた。

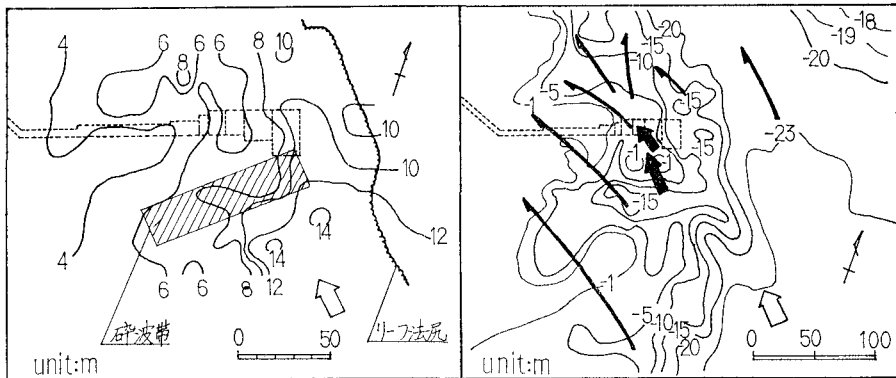
(2) 実験内容

本実験は、a) 堤体周辺の入射波の波高分布、b) ケーソンおよび堤体各部の安定性の検討を行なった。実験ケースは表-1の通りである。

(3) 実験結果

a) 堤体周辺の波高分布 ($(H_{1/3})_0=11.8\text{ m}$, $T=16.0\text{ sec}$, SE)

リーフ沖側の波高(図-3.a)は10m前後であるが、リーフ法面の影響を受けて波は徐々に収れんし、堤頭部前面の2ヶ所の浅瀬(D.L.±0.0m)で14mに増大し碎波する。その後、噴流状の段波(波高5~7m)となり3・4号ケーソン付近を通過する。図-3.bはリーフ上の波の進行状況および碎波後の流れの方向を示したものである。碎波後の最大流速は3・4号ケーソン付近で8.7m/secに達する。



a. 波高分布
b. 波の進行状況 (← 波 → 流れ)
図-3 堤体周辺の波浪状況 (波向 SE, $H_0=11.8\text{ m}$, $T=16.0\text{ sec}$)

b) 安定実験

ケース 1・2

ケース 1 の場合, 2~4 号ケーソン 前面の基礎捨石 (100 kg/個) は衝撃的な波が作用して既設防波堤側や沖側深部へ移動した. 3・4 号ケーソン 港内側の捨石は越流した水塊により飛散した. 2~4 号ケーソンは港内側へそれぞれ 0.4 m, 2.5 m, 3.2 m 移動した. ケース 2 の場合, 3・4 号ケーソン 前面の 25 t ドロス消波工はほとんど既設防波堤方向に移動した.

ケース 3・4

50 t ドロスの既設防波堤側の巻止め部および法尻付近から被害が始まり (被害率 10.4%), その後ケーソンの滑動が始まる. しかし, 小口止めブロックを設置したケース 4 では, ブロックの被害は法尻付近のみ (被害率 2.1%) となった.

ケース 5~8

消波工法尻部分の岩盤を切り込み, 法止めを設け, ケーソンの安定性を検討した. 1 号ケーソンに 25 t ドロス根固工, 2~4 号ケーソンに 50 t ドロス消波工を設置して, 堤幅を 1 号ケーソンは 16~23 m の 4 種類, 2~4 号ケーソンは 13 m で比較検討した. その結果, 消波工を設置すれば 1 号ケーソンは 23 m, その他のケーソンは 13 m で安定であった.

ケース 9~12

ケース 9 は沖波波高 11.8 m に対して安定であった. 同じ断面を用い沖波波高を 1/10 最大波に相当する 15.0 m としたケース 10 では, 1 号ケーソンが 3.1 m 移動し, 堤頭部および堤背後の 25 t ドロス根固工が散乱した. ケース 11 では波高を 16.3 m に上げたが顕著な被害の増大はみられなかった. 以上の結果より, 1 号ケーソンの堤幅を 24 m, 根固工の 25 t ドロスを 50 t ドロスとしたケース 12 では (写真-1), 沖波波高 15.0 m でもケーソン, ブロックともほぼ良好な安定性が得られた.

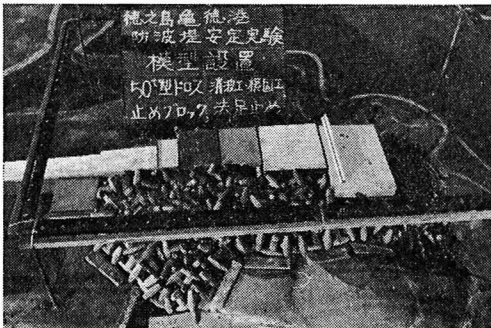


写真-1 実験状況 (ケース 12)

3. 現地被災状況について

水理模型実験の結果 (ケース 12) に基づいて防波堤断

面を決定し工事を開始した. 台風来襲時には, ケーソン 4 函および根固方塊 (20 t) の据付を完了し, さらに法止めの岩盤掘削を行ない, 堤頭部根固工および 2~4 号ケーソン 前面の消波工の 50 t ドロス 2 層積のうち 1 層を据付完了していた.

(1) 台風 8 号・11 号の状況

台風 8 号 (暴風半径 240 km の中型台風)・11 号は, ほぼ同じ径路をとり徳之島から南西約 150 km 付近を北西方向に進んだ. 名瀬測候所徳之島出張所で観測された気象状況は 表-2 の通りである.

表-2 気象および波浪の実測値

a. 気象実測値

	10 m/s 以上の風	最大風速 m/s	最低気圧 mb
8 号台風	7/27~30	28日 14:10 23.5	28日 16:30 967.5
11号台風	8/14~15	15日 10:00 17.5	15日 7:30 999.7

b. 波浪実測値 (8 号台風)

	H_{max} (m)	$H_{1/10}$ (m)	$H_{1/3}$ (m)	T (sec)
28日 4:00	8.99	8.53	6.18	11.1
28日 13:00	10.3	6.77	5.23	11.9

台風 8 号の場合には, 徳之島から南約 60 km の沖永良部島南岸に位置する知名漁港の沖合, 水深 -33.5 m での波浪観測記録が得られている. 表-2 に示すように, 28日 4 時に有義波高 6.18 m を記録した.

(2) 台風による被災状況

台風による被災状況を 図-4 および 写真-2・3 に示

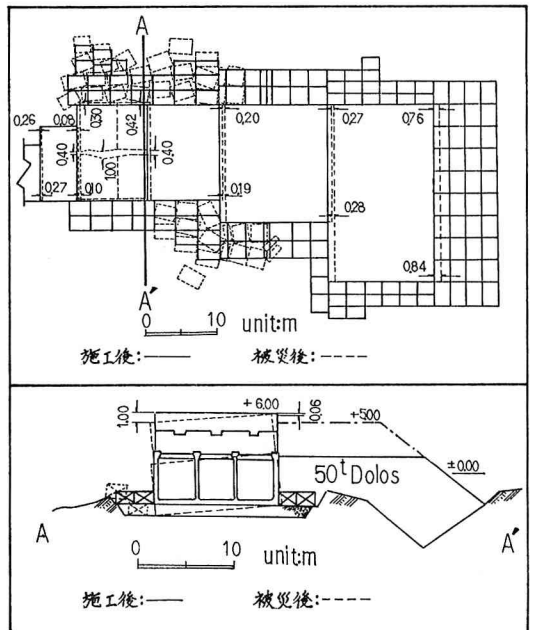


図-4 被災状況図

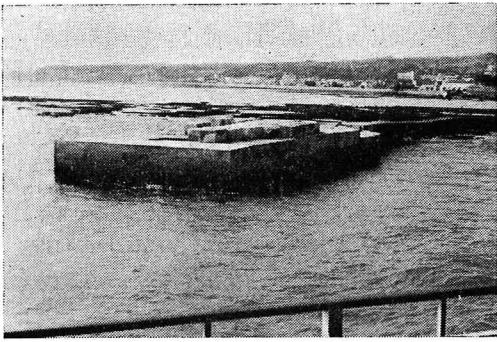


写真-2 被災状況

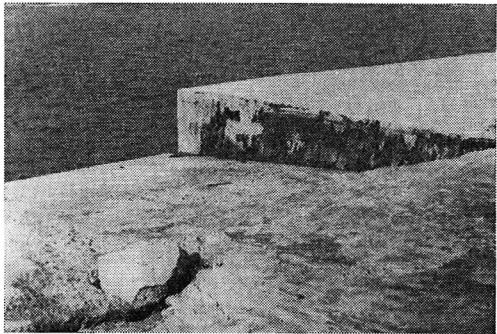


写真-3 被災状況(4号ケーソン)

す。被災の概要を以下に述べる。

a) ケーソン上部工間隔が 10~30 cm 開き、1号ケーソンは 84 cm、2~3号ケーソンは 40~60 cm 航路側に移動した。4号ケーソンは被害が大きく約 40 cm 港内側へ移動し、上部工は堤幅中央で割れ、ケーソン全体が港内側に傾き、かつ 10~100 cm 沈下した。

b) 2~4号ケーソン前面の根固め 50 t ドロスは既設防波堤方向や沖側深部へ移動した。堤頭部根固め 50 t ドロスには被害はなかった。

c) 根固方塊 (20 t) は、2・3号ケーソン前面および 2~4号ケーソン港内側で被害を受けた。

d) 4号ケーソン下部の基礎捨石は港内側におし流されケーソン沈下の原因となった。

4. 被災原因についての考察

(1) 入射波高の推定

亀徳港の沖波波高は、沖永良部島の沖波波高とほぼ同程度であったと考えられるので、沖永良部島での実測値 (6.18 m) から屈折係数、浅水度係数を考慮すると沖波波高 8.0 m が得られる。亀徳港でのリーフ前面の波高は同様に係数を考慮して求めると 5.0 m となる。実験によるとリーフの法肩付近での波高増大は4割程度であったので、現地では波高 7.0 m 程度の波が作用したと考えられる。

(2) ケーソン重量について

今回被害の大きかった4号ケーソンは堤幅 13 m である。台風来襲時の波浪を $H_b=7.0$ m とした場合、広井公式⁶⁾ ($p=1.5w_0H$) によると、滑動限界は堤幅 15.3 m となる。逆に、堤幅 13 m の滑動限界波高は 5.9 m となる。

(3) ドロス所要重量について

50 t ドロスは静水面下に根固工の状態では施工されており、かつ一層積であった。模型実験では 8.7 m/sec 程度の強い流れが観測されており、現地では碎波後の噴流状態の流れによってブロックが移動したと考えられる。

50 t ドロスを転石に近い状態と考え、次式⁷⁾により、

$$W = \frac{\pi \gamma_r v^6}{48 g^3 \gamma^6 (S_r - 1)^3 (\cos \alpha - \sin \alpha)^3}$$

50 t 捨石として移動限界流速を求めれば、 $v=7.9$ m/sec となり、実験値に近い強い流れが作用したものと推測される。

5. 水理模型実験と現地被災状況の比較

実験結果と現地の被災状況を比較すると次のような類似点があげられる。

a) 小口止めブロックなしの場合 (ケース 3)、50 t ドロスは、衝撃的な波と噴流状態の流れにより既設防波堤側に移動した。現地においてもドロスは既設防波堤側に移動しており強い流れがあったものと考えられる。

b) ケーソン前面に消波工がない場合 (ケース 1)、3号ケーソンよりも4号ケーソンの方が滑動量が大きかった。今回の被災状況をみると4号ケーソンの方が被災が大きく、実験結果と同様の傾向を示した。

c) 実験では、1・2号ケーソン下部の基礎捨石の天端高が異なり、取付け部分の基礎捨石が流れにより散乱した。現地ではこれを避けるために2号ケーソンの下端を下げたが、2・3号ケーソン間の取付け部に同様の被害を受けた。

d) ケース 9 では3・4号ケーソン付近の港内側の根固工 25 t ドロスが移動した。これは堤体を越流した水塊によるものであった。現地でも、3・4号ケーソン港内側根固方塊が被災を受け、実験と同様の越流があったものと思われる。

e) 実験では、2・3号ケーソン前面と3・4号ケーソン背後を結ぶ方向に噴流状態の強い流れが観測された。現地においても2・3号ケーソン前面と3・4号ケーソン背後の根固方塊の被害が大きいため実験と同様の強い流れが生じたものと思われる。

6. あとがき

防波堤がリーフ先端部に位置するような場合には、局部的な波高の増大が予測される。また、複雑な地形のた

めに強い流れが生ずる恐れもある。このような波高増大や流れが堤体の安定性に大きな影響を与える。従って、このような現象は従来の設計手法では解決できないので、海底地形を考慮した平面水槽実験において検討をする必要があろう。

参考文献

- 1) 伊藤喜行・谷本勝利・小舟浩治・北谷高雄・轟 正彦：リーフ上の堤体に作用する波力実験，港湾技術研究所資料，No. 189, p. 18, 1974.
- 2) 高山知司・神山 豊・菊池 治：リーフ上の波の変形に関する研究，港湾技術研究所資料，No. 278, p. 32, 1977.
- 3) 河野二夫・永松一甫・喜屋武忠：リーフ上の波の変形に関する現地調査，第25回海岸工学講演会論文集，p. 146～150, 1978.
- 4) 日本テトラポッド(株)：徳之島亀徳港防波堤安定実験報告書，p. 114, 1977.
- 5) 鹿児島県：和泊港波浪推算報告書.
- 6) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，p. 2-105～2-133, 1979.
- 7) 日本港湾協会：港湾構造物設計基準，p. 2-4-19～2-4-49.