

天端幅の広い潜堤の波浪減殺および砂浜安定効果について

田 中 則 男*

1. はじめに

離岸堤によって波高減殺をはかる場合、天端の高さを増すことが最も効果的であり、天端高の効果に比べると天端幅を広げることによる効果の低いことは従来から知られている。また、離岸堤の天端を下げ潜堤形式にすると、堤内の水位上昇が著しく、このため堤体の吸い出し沈下等、堤体の安定上の問題が生ずる場合が多い¹⁾。したがって、潜堤形式の離岸堤は次第にさけられるようになり、かつ離岸堤の天端幅は、堤体の安定上の観点から定められ、異形ブロック堤の場合にはブロック3個並び程度にとられるのが普通である²⁾。しかしながら、近年はリクレーション海浜などの場合において、景観および海面利用の観点から天端の高い離岸堤がきらわれ、潜堤の採用が希望される場合が多くなりつつある。

一般の離岸堤のような透過堤の波高減殺効果については、過去に多くの研究がなされているが³⁾、特に、天端幅の効果について検討例は比較的少なく、中村・白石・佐々木の研究⁴⁾を見るのみである。しかしながら中村らの研究においては、天端幅が極端に広く、実際の構造物として考え得る天端幅が沖波波長程度以下の範囲では、データが希薄なきらいがある。

そこで著者らは、沖波波長以下の数種の天端幅の離岸堤について、その波浪減殺効果、堤内水位の上昇量および砂浜の安定効果について実験的に検討したので、その結果を報告するものである。本報告においては、この種の現象において重要な要素である堤体の設置位置の効果

が検討されていないが、この点に関しては今後機会を見て実験を継続するつもりである。

2. 実験方法および実験施設

実験は図-1に示す二次元水路で行った。幅50cmの水路の片面はモルタル壁、片面は一部鋼板、一部ガラス張りである。波浪伝達率の実験は1/30勾配の固定床において、また砂浜安定実験は、この固定床上に1/10勾配に中央粒径0.2mmの砂床を設けて行った。堤体模型は20gr~30grの碎石を積み、波による碎石の散乱をさけるため、その上部を目の粗い金網でおおった。

波高伝達率の測定においては、堤体設置前に堤体の中央から岸側150cmの地点と沖の水路水平部分で波高を測定し、堤体設置後は前者の地点のみで伝達波を測定するほか、一部のケースにおいては堤体中央から沖150cmおよび岸150cmの地点に15cmの間隔で波高計を設置し、入射波および伝達波について入射波の分離を行い⁵⁾、反射率を測定した。波高計は容量式波高計である。また、伝達波実験においては、堤内の2点（一部3地点）にマノメーターを設けて水位上昇量を計測した。

実験のケースおよび実験条件は表-1および2に示すとおりである。

3. 実験結果と考察

(1) 波高伝達率と伝達波の特性

図-2は実験結果の一例として離岸堤の天端幅と沖波波長の比が $B/L_0=0.128, 0.131$ の場合の天端高、換算

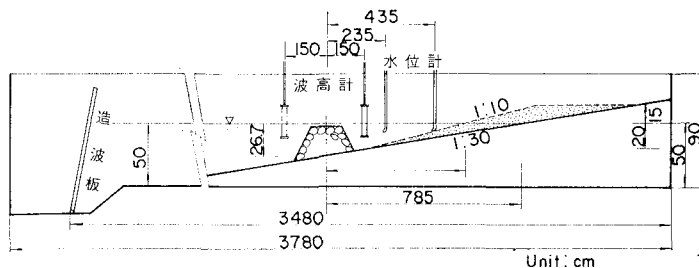


図-1 実験施設

* 正会員 運輸省港湾技術研究所 水工部漂砂研究室室長

表-1 波高減殺効果に関する実験条件

波の条件	周期 T' (sec)	1.095, 1.826, 2.556
	波高 H_0' (cm)	2~25
堤体条件	天端高 R (cm)	+13, +6, ± 0 , -3, -6, -10
	天端幅 B (cm)	16.7, 33.3, 50.0, 66.7, 100, 133
	設置水深 h (cm)	26.2
	のり勾配	表裏共 1:2

表-2 砂浜安定効果に関する実験条件

波の条件	周期 T' (sec)	1.095, 2.556
	波高 H (cm)	10
	波形勾配	0.0535, 0.0098
堤体条件	天端幅 B (cm)	16.7, 50, 100, 133
	天端高 R (cm)	-6.7, -10.0
	設置水深 h (cm)	-26.2
	のり勾配	表, 裏共 1:2
砂浜条件	初期勾配	1:10
	中央粒径 (mm)	0.2

沖波波高比 R/H_0' と堤内への波の伝達率 H_t/H_0' の比を示すものである。図中の表示 NB は堤体上で碎波が生じていない場合, B は碎波している場合を示す。これによると波高伝達率の変化の状況は次の3つの領域に区分することができる。すなわち,

イ) R/H_0' がほぼ -1.0 付近より小さい領域であり, この領域では堤上において碎波は生じておらず, 波高は波が潜堤上を通過することによって減少するが, その減

少量は小さく, かつ R/H_0' の変化に対して徐々に変化するに止まっている。

ロ) R/H_0' がほぼ $-1.0 \sim +0.1$ 程度の領域であり, この領域で波高伝達率は急激に減少する。 R/H_0' が小さい間は, 堤を通過する際, 波峰部分が崩れ, 崩れ波的な碎波をなしているが, R/H_0' の増加と共に巻き波的な激しい碎波状況を提するようになる。

ハ) さらに R/H_0' が増大すると, 当初は堤体の前面斜面上に波が乗り上げるような碎波状況を呈し, 次第に碎波状況が穏やかになって, ついには碎波が起こらず, 波が静かに堤体を透過するようになる。この間, 波高伝達率は徐々に増大し, 堤体サイズと波の特性に応じたある一定値に漸近して行く。

このような傾向は, 実験したすべての B/L_0 のケースについて共通しているが, 波高伝達率が最小となる R/H_0' の値は B/L_0 の減少と共にわずかず大きくなり $B/L_0=1.0$ で $R/H_0'=+0.4$, $B/L_0=0.02$ で $R/H_0'=+1.5$ 程度となる。

図-3 は R/H_0' をパラメーターとして B/L_0 と H_t/H_0' との関係を示すものである。図中には $R/H_0'=-0.25$ および $R/H_0'=0.25$ の直線に相当する $0 > R/H_0' \geq -0.5$ および $0.5 > R/H_0' \geq 0$ のデータがプロットされている。すべての R/H_0' の範囲にわたって B/L_0 の増加に対して H_t/H_0' はほぼ直線的に減少するが, 各直線の勾配は R/H_0' の増加と共に急になり $R/H_0'=0.75$ で最も急になった後, 再びゆるやかになる。すなわち波高減殺に対する堤体の天端幅を広げたことによる効果は, 堤体天端高が沖波波高の $0.5 \sim 0.75$ 倍ある場合に最も大きいことになる。実験結果を H_t/H_0' と B/L_0 および H_t/H_0' と R/H_0' の両面から整理, 調整して得られた波高伝達率の計算図表を図-4 に示した。

図-5 は $B/L_0=0.1923$ ($B=100$ cm, $T=1.826$ sec), 0.0981 ($B=100$ cm, $T=2.556$ sec) および 0.0491 ($B=50$ cm, $T=2.556$ sec) の場合について入射波のエネルギー (E_I) に対する伝達波のエネルギー (E_T), 反射波のエネルギー (E_R) および消散エネルギー ($E_L=E_I-E_T-E_R$) の比を示したものである。入射波, 反射波および伝達波のエネルギーは, 入射波の分離計算結果として得られたおのおののスペクトルの基本周波数から4倍周波数のピークまでの範囲で求めた。これによると, 反射波エネルギーは R/H_0' の増大と共にわずかに増大する傾向を持つが, その増加量は小さい。消散エネルギーは, B/L_0 が大きくなるほど, 低い天端高に対しても高いレベルにあるが R/H_0' の増大に対する増加量は小さい。これに対して B/L_0 が小さい堤体においては, R/H_0' の増大に対する消散エネルギーの増大率が大きくなる傾向がある。

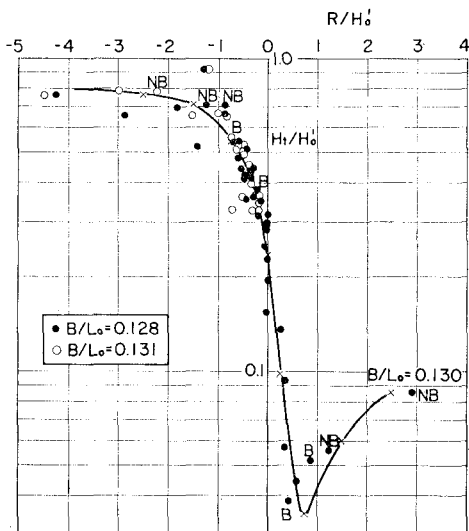


図-2 波高伝達率測定結果の一例 ($B/L_0=0.128$, 0.131 の場合)

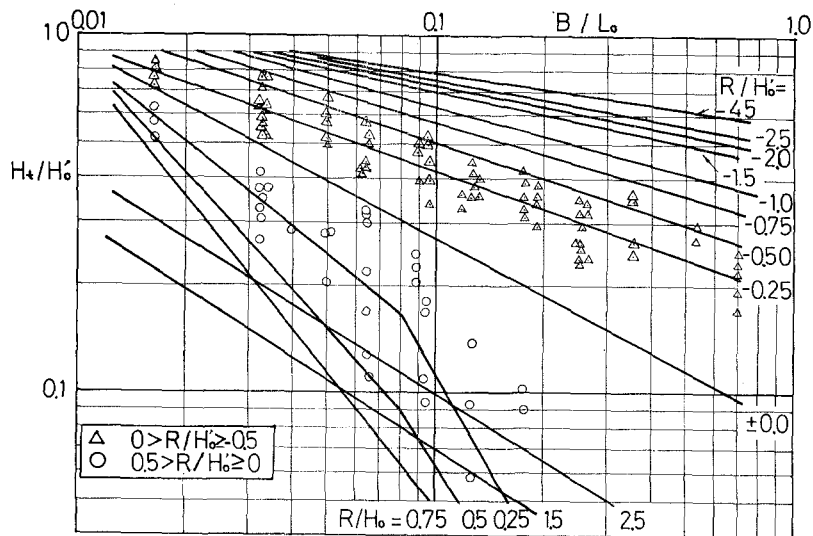


図-3 波高減殺に対する堤体天端高の効果 (R/H_0' をパラメーターとした H_t/H_0' と B/L_0 との関係)

図-4 波高減殺に対する堤体天端高の効果 (B/L_0 をパラメーターとした H_t/H_0' と R/H_0' との関係)

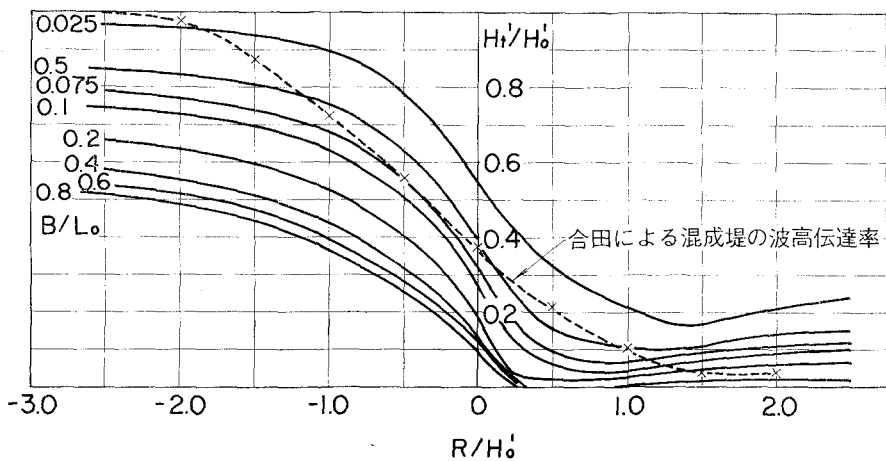


図-5 潜堤によるエネルギー収支の測定例 ($B/L_0 = 0.192, 0.098$ および 0.049 の場合)

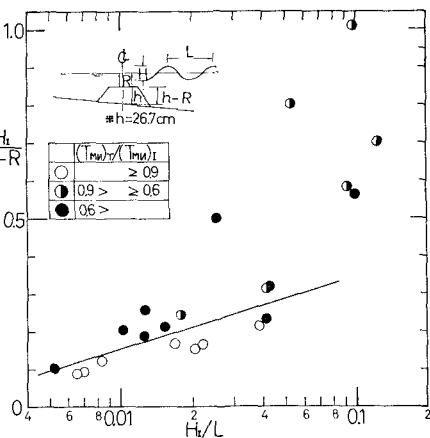
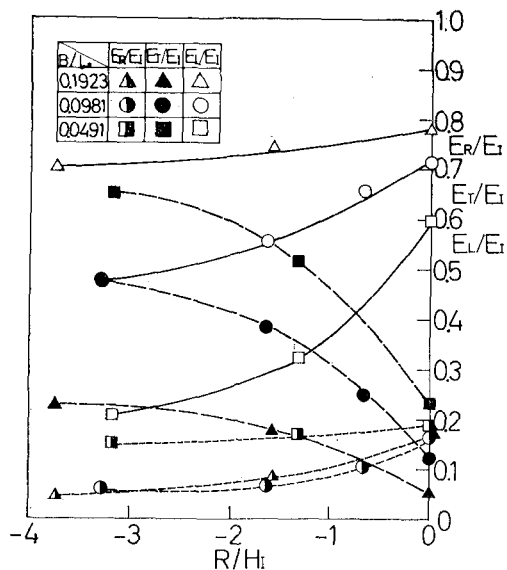


図-6 潜堤による伝達波周期減少の条件

$(T_M)_T/(T_M)_I$ の大きい点 (白丸) は, $H_I/(h-R)$ の小さい部分に集まり, $(T_M)_T/(T_M)_I$ の小さい点の分布の間には, 図中直線で示したように明瞭な区分ができる。

$(T_M)_T/(T_M)_I$ の小さなケースについて入射波と伝達波および反射波のスペクトルの一例として周期 2.556 sec, 沖波波高 9.85 cm, 堤体幅 100 cm, 天端高 -6.7 cm の場合を図-7 に示す。これによると反射波については, 3 倍および 4 倍周波数ピークのレベルが入射波に比べて著しく低下しているのに反して, 伝達波では逆に 3, 4 倍周波数ピークのレベルが入射波より高くなっていることがわかる。

(2) 離岸潜堤の砂浜安定効果について

砂浜安定実験においては 1/10 の均一な初期勾配に対して各ケース共 6 時間波を作用させ, 最初の 3 時間は 30 分ごと, 後半の 3 時間では 60 分ごとに地形変化をサーボモータ式砂面計によって測定した。砂面測定ピッチは 5 cm である。

図-8(a), (b) は周期 2.556 sec の場合の波作用時間 6 時間後における海底断面を示すものである。図-8(a), (b) に示すように無堤時には初期断面の汀線を中心に著しく洗掘され, 前浜勾配が急になり後浜に著しい堆積が生ずるが, 洗掘部分の沖に著しい堆積の生ずることはなく, 洗掘された砂の多くはより沖の固定床上に分散している。このような断面の変化は 図-10 中の欄内に示すように堀川・砂村によって⁶⁾

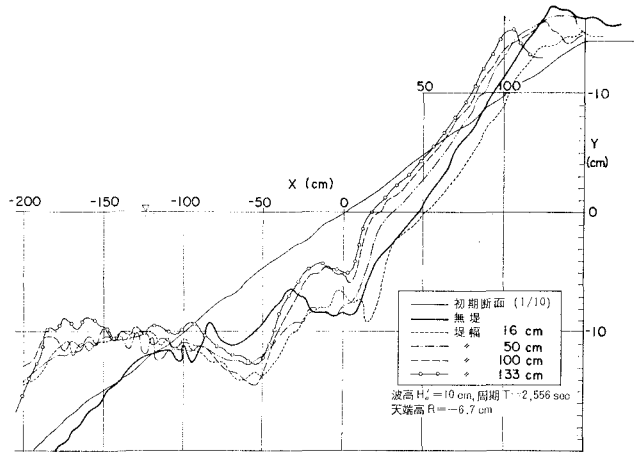


図-8(a) 波作用時間 6 時間の断面 ($T=2.556$ sec, $H_0'=10$ cm, $R=-6.7$ cm)

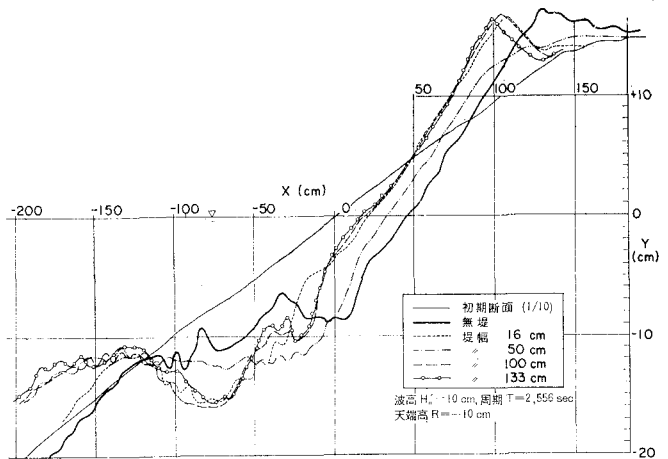


図-8(b) 波作用時間 6 時間の断面 ($T=2.556$ sec, $H_0'=10$ cm, $R=-10$ cm)

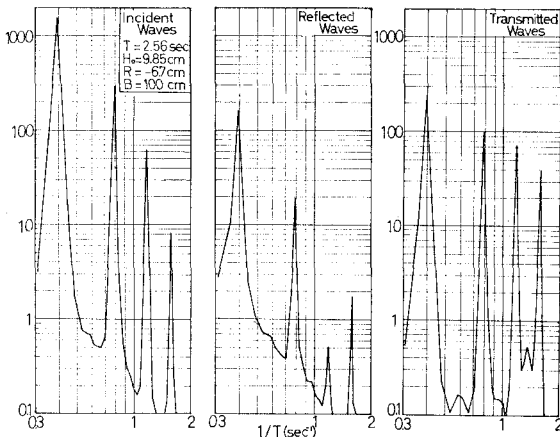


図-7 伝達波の周期が急減する場合の入射波, 反射波および伝達波のスペクトルの例 ($T=2.556$ sec, $H_0'=9.85$ cm, $B=100$ cm, $R=-6.7$ cm の場合)

Type-III 型と分類されるものである。これに対して堤体を設けると洗掘区域の沖側に著しいバー状の堆積が生じ, 堀川・砂村によるいわゆる II 型の断面型を提するようになる。周期 2.556 sec の場合について断面形状の特徴を列挙すると次の通りである。

- イ) 潜堤天端高 (R)-10 cm の場合の前浜勾配は無堤時とはほぼ等しいが -6.7 cm では多少緩やかになる。しかし, 堤体幅 (B) による相違はほとんど認められない。
- ロ) 汀線の後退量は, $R=-10$ cm, $B=16.7$ cm の場合を除けば B が広いほど小さくなり, 同一の B では, R が低いほうがごくわずかに小さい。
- ハ) 前浜の上限点の高さは R が -6.7 cm の場合には B の増加と共に減少するが, R が -10 cm

の場合には傾向がはっきりしない。

- ニ) 洗掘部沖側の堆積部分は $R = -10$ cm の場合には, B の増加と共に発達する傾向があるが, $R = -6.7$ cm では $R = -10$ cm より大きくなるが B の効果は少ない。

- ホ) $R = -10$ cm, $B = 16.7$ cm および $B = 50.0$ の場合を除いて初期断面の汀線付近にバー状の地形が形成される。このバーの頂部の高さは $R = -6.5$ cm の方が $R = -10.0$ cm の場合より大きく, 同一の R に対しては B が大きいほど浅くなる。

図-9(a), (b) は周期 $T = 1.095$ sec の場合の波作用 6 時間後の断面を示す。無堤時の断面は初期断面の汀線付近で洗掘され, この土砂が沖に堆積する。堀川・砂村の分類による Type-I の変化をしている。これに対して堤体を設けると堤体の天端高 R が -6.7 cm の場合には前浜の後端に多少堆積し Type-II に近い傾向を示すが, $R = -10.0$ cm の場合には Type-I 型のままである。周期 $T = 1.095$ sec の場合についてその地形特徴を列挙すると以下の通りである。

- イ) 前浜勾配は $R = -10$ cm の場合に無堤時とほぼ等しいが $R = -6.7$ cm では無堤時より多少急になる。堤幅 B の相違による効果はあまり認められない。
- ロ) 汀線の後退量および前浜後端の上限高の特徴は周期 2.556 の場合と異ならない。
- ハ) 沖側の堆積部分は堤体の天端高のいかに

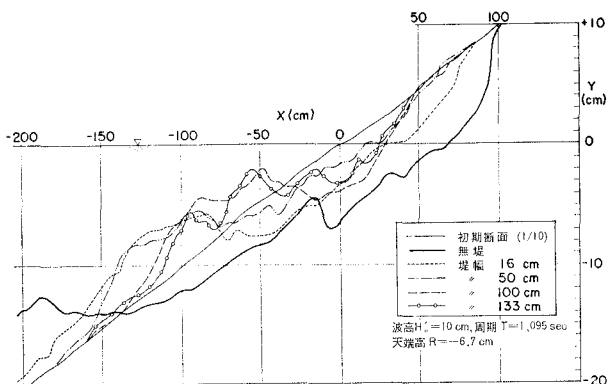


図-9(a) 波作用時間 6 時間の断面 ($T = 1.095$ sec, $H_0' = 10$ cm, $R = -6.7$ cm)

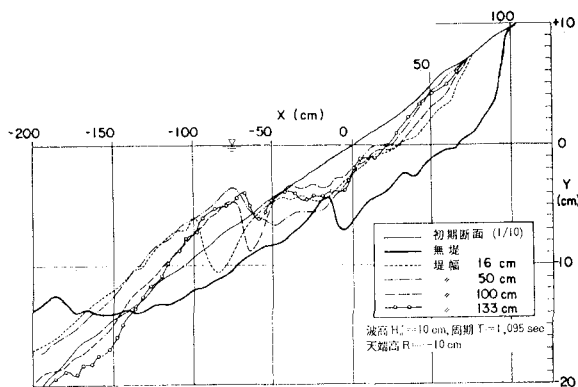


図-9(b) 波作用時間 6 時間の断面 ($T = 1.095$ sec, $H_0' = 10$ cm, $R = -10$ cm)

表-3 砂浜安定実験の結果の一覧

No.	T (sec)	B (cm)	R (cm)	H_t (cm)	$H_{t0'}$ (cm)	Type	Y_C (cm)	Y_B (cm)	Δe
1	2.556	—	—	11.8	9.8	III	17.3	6.5	1,834
2	2.556	16.7	-6.7	9.5	7.8	II	—	6.5	2,334
3	2.556	50.0	-6.7	7.0	5.8	II	16.5	8.1	1,740
4	2.556	100.0	-6.7	5.9	4.8	II	16.1	4.4	986
5	2.556	133.0	-6.7	5.2	4.3	II	15.3	4.3	986
6	2.556	16.7	-10.0	9.8	8.1	II	16.5	—	1,354
7	2.556	50.0	-10.0	7.9	6.6	II	14.9	—	—
8	2.556	100.0	-10.0	6.5	5.4	II	16.9	9.5	1,452
9	2.556	133.0	-10.0	6.1	5.0	II	16.6	8.6	1,340
10	1.095	—	—	9.8	10.7	I	10.8	4.4	1,852
11	1.095	16.7	-6.7	5.8	6.3	I	8.6	5.7	859
12	1.095	50.0	-6.7	4.6	5.0	II	8.4	5.6	452
13	1.095	100.0	-6.7	3.4	3.7	II	7.6	2.1	455
14	1.095	133.0	-6.7	3.1	3.4	II	4.0	2.1	255
15	1.095	16.7	-10.0	6.9	7.5	I	7.4	6.0	776
16	1.095	50.0	-10.0	6.2	6.7	I	7.1	3.6	549
17	1.095	100.0	-10.0	4.3	4.7	I	7.1	4.8	481
18	1.095	133.0	-10.0	3.9	4.2	I	7.0	4.0	379

注: T : 周期, B : 潜堤の天端幅, R : 潜堤の天端高, H_t : 伝達波高, $H_{t0'}$: 伝達波高と同一の波高を持つ波の換算沖波波高, Type: 堀川・砂村の断面型の分類のタイプ, Y_C : 前浜後端の高さ, Y_B : バーの頂高, Δe : 中央部の洗掘量

かかわらず, B の増加と共にその頂部水深が浅くなり, 沖への張り出しが弱くなる。

- ニ) $R = -6.7$ cm, $B = 100$ および 133 cm の場合を除き, 水深 ± 0 付近に小さなテラス状の地形ができる。

これらの実験結果について各種の値を取りまとめ, その結果を表-3 に示した。

図-10 は, 断面型を

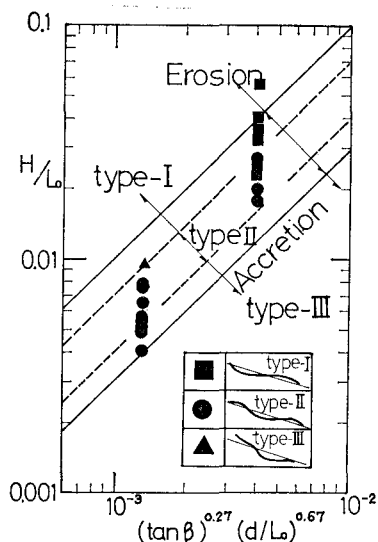


図-10 断面型のタイプ (堀川・砂村の提案との照合)

堀川・砂村の提案に準じて分類し、その発生条件を堀川・砂村の提案に照合したものである。この場合伝達波高が堤体のない状況でそこに存在したとして換算沖波波高を求め、沖波波長は堤外の周期によって求めた。これによると周期 2.556 sec の場合に有堤時 Type-III があられず、すべて Type-II の形状を呈する外は、ほぼ堀川・砂村の提案と矛盾するところがないことがわかる。また、図-6 に従えば堤内に見掛け上周期は堤外のそれより相当短くなっているにもかかわらず、堤外の周期を用いた分類の方が堀川・砂村らの結果と一致することは、堤内波の特性を理解する上で注目すべきであろう。

図-11 は、前浜の後端 Y_C および最も岸に近いバーの頂部 (Y_B) の高さおよび水深と前述した伝達波高から換算した沖波波高 ($H_{0'}$) との比と波形勾配との関係を示すものである。両者共に $H_{0'}/L_0$ の増大と共に漸減して行く傾向を示している。

図-12 は砂浜の安定性の指標として、すべての断面に共通的に見られる初期地形に対する汀線付近の洗掘土量について、無堤時の値と各堤体設置時の値の比を示すものである。これによると、 $T=1.095$ sec の波に対しては、天端のせまい堤体を設置しても砂浜の安定度は急激に増大し、天端幅の増大に伴って次第に安定度を増して行き、堤体の天端高の効果は小さい。しかし、 T の大きい 2.556 sec の波に対しては天端のせまい潜堤の効果は小さく、天端高が -6.7 cm の堤体では堤幅の効果が明瞭に現われるのに反し、天端高 -10 cm の堤体では、ほとんど堤幅の効果が見られない。

4. 結 論

天端幅の広い離岸堤 (潜堤を主体に) による波高減殺および砂浜安定効果を二次水路実験によって検討した結

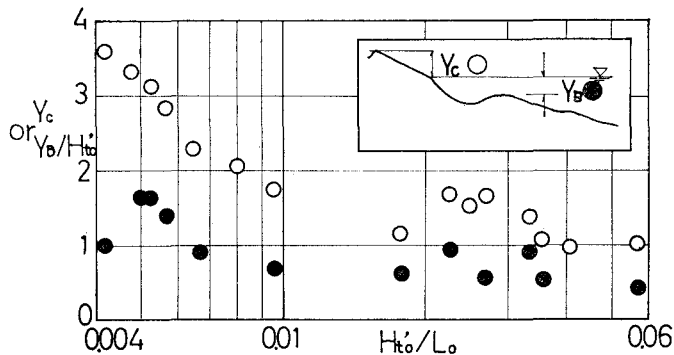


図-11 前浜後端高およびバーの頂高と波形勾配との関係

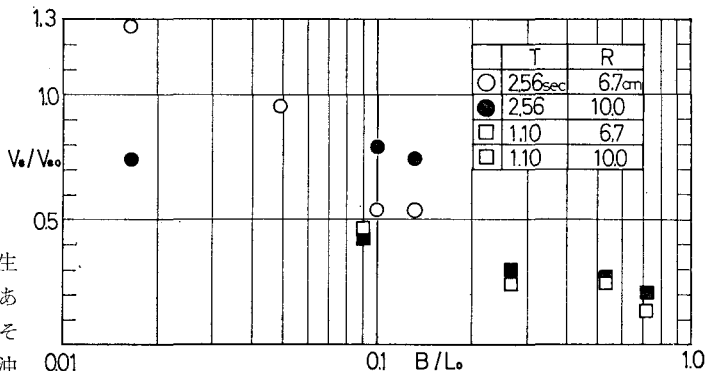


図-12 砂浜の安定性と堤体諸元との関係

果、次のような結果を得た。

- イ) 堤体の天端幅 (B)、および天端高 R と波高伝達率との関係が 図-3 および 図-4 の結果を得た。
- ロ) 堤内周期はある条件下で見掛け上堤外周期より相当短くなることがあり、その条件は 図-6 に示される。しかし、砂浜の安定性の実験では、周期減少の効果はほとんど見られない。
- ハ) 短周期の波に対しては、潜堤の砂浜安定効果が大きく、その天端幅を増加することによる効果も明瞭であるが、長周期の波では相当の天端幅を有しないと潜堤の効果は小さい。

参 考 文 献

- 1) 本間 仁・堀川清司: 潜堤に関する研究 (II) - 沈下機構および維持 - , 第 6 回海岸工学講演会講演集, pp. 114~120, 1959 年
- 2) 日本港湾協会編: 港湾構造物設計基準, pp. 7-4 -13, 1968 年
- 3) 例えば, 岩崎敏夫・沼田 淳: 透過性防波堤の波高伝達率に関する実験的研究, 第 16 回海岸工学講演会講演集, pp. 329~334, 1967 年
- 4) 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄: 潜堤による消波について, 第 13 回海岸工学講演会講演集, pp. 76~79, 1966 年
- 5) 合田良実・鈴木康正: 不規則波に対する反射波の分離法について, 第 21 回土木学会年次学術講演会講演集, pp. 151~154, 1975 年
- 6) 堀川清司・砂村継夫他: 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 第 20 回海岸工学講演会論文集, pp. 193~199, 1974 年, 他