



潜堤の堆砂効果に関する実験的研究 (2)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-12-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 平山, 秀夫, 富沢, 雄一 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007794

潜堤の堆砂効果に関する実験的研究 (II)

平山秀夫・冨沢雄一

Experimental Study on Effects of Submerged Break
water on Beach Profile (II)

Hideo HIRAYAMA · Yuichi TOMIZAWA

ABSTRACT

Although some measures have been taken to prevent the serious disasters caused by sand removal from coasts, the conclusive means for them have not been established yet. Recently particular attention, therefore, has been paid to a submerged breakwater instead of an offshore dike in order to deposit the coastal sediments.

The previous paper showed the mechanics of deposition of sediments inside the submerged breakwater relating to the effects of the relative ratio of the depth on the top of the submerged breakwater to the still water on the changes of the total amount of deposition of the sediments inside the submerged breakwater.

In this paper the characteristics of the changes of the shoreline and the amount of the sediment deposition inside the submerged breakwater are dealt with relating to the effects of the width of the submerged breakwater on that of the sediment deposition.

It is found that the amount of deposition of the sediments decreases with the increase of the width of submerged breakwater.

Key Word: Sedimentation, Submerged Breakwater, Beach Process.

1. 緒 論

わが国は、人間の生活に適した平野部が少なく、そのため工業立地の条件が整った都会の沿岸地域は、人や物の集散場所としてわが国の工業・産業・貿易等の重要拠点として我々と直接・間接的に係わっていることは、周知のことである。

一方、最近は、世界的異常気象に伴う各種災害が多発しており、特に海岸線に集中する高波・高潮・津波等の被害は甚大であって、自然災害の猛威を改めて認識せざるを得ない。

本研究は、このような海象災害のうち、特に海岸侵食などの漂砂災害の防護・軽減対策の一工法として、最近、離岸堤に代わって脚光を浴びている潜堤の堆砂機能の実態を、前報¹⁾に引き続いて実験的に調べたものである。前報では、モデルとして空隙率等の諸条件

を変化させることが容易なパイプ式潜堤を用い、その堤の相対天端高および空隙率を変化させた場合の堤内外の堆砂効果の変化特性や漂砂の移動特性を着色砂を用いて詳細に調べたが、今回はさらに、堤幅と堤空隙を変化させた場合、それが堤内の堆砂効果や汀線変動にどのような影響を及ぼすかを実験的に究明することによって、潜堤の堆砂促進工法としての有効性の有無を検証しようとするものである。

2. 実験装置および実験方法

実験は、前報¹⁾と同様に、片面ガラス張り鋼製大型水槽(長さ21m, 幅70cm)を用い、その造波装置と反対側の端部に、初期勾配1/20の移動床模型海浜($d_{50}=0.2\text{mm}$, 厚さ15cm, 長さ10m)を設置し、水平床部での水深を常時40cmと一定に設定して、入射波高 $H=10\text{cm}$, 周期 $T=1.0\text{sec}$ (侵食型の波)の実験波浪のもとに実施した。

パイプ式潜堤モデルは、塩化ビニール製パイプ(外

1994年4月11日受理

* 建設工学科 (Department of Civil Engineering)

表-1 実験条件

実験 番号	周期 T(sec)	波源条件						堤条件					
		入射波高 Hl(cm)	入射波長 Li(cm)	波形勾配 Hl/Li	換算沖波々高 Ho(cm)	換算沖波々長 Lo(cm)	換算波形勾配 Ho/Lo	設置位置 X/Xb	堤幅 b(cm)	設置位置水深 h(cm)	相水深 R/h	空隙率 φ	
I	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	156.0	0.0686	0.5	15.0	13.4	0.328	32.0	
II	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	156.0	0.0686	0.5	30.0	12.1	0.256	32.0	
III	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	158.0	0.0688	0.5	45.0	13.8	0.348	32.0	
IV	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	158.0	0.0686	0.5	15.0	12.8	0.297	23.5	
V	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	156.0	0.0686	0.5	30.0	12.4	0.274	23.5	
VI	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	158.0	0.0686	0.5	45.0	12.2	0.262	23.5	
VII	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	158.0	0.0686	0.5	15.0	12.7	0.291	16.0	
VIII	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	156.0	0.0686	0.5	30.0	13.1	0.313	16.0	
IX	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	156.0	0.0686	0.5	45.0	12.0	0.250	16.0	
X	1.0	10.0	146.3	0.0684	10.7	158.0	0.0686						

径18mm, 内径13mm)を格子状に4段積み上げ, 潜堤長70cmで, 潜堤の高さは昨年度の実験結果¹⁾を参考にし, 最も堆砂を促進させた9.0cmとした。また, 潜堤幅bと空隙率φは表-1の実験条件に示すように, それぞれ3種類変化させ, パイプ式潜堤の設置位置は, 堤の長さ方向の中心線が汀線と平行になるような位置でかつその中心は1/20一様勾配時における静水時の汀線を基準として, 汀線から碎波点までの距離(Xb)と汀線からパイプ式潜堤の中心までの距離(x)との比, すなわちX/Xb=0.5となる地点を選んで実験を行った。

測定は, t=0, 0.5, 1, 2, 3, 5hrに達する毎に, 堤内外の地形および波高を測定し, さらに汀線形状や沈下量の測定も行った。これらの諸量から, パイプ式潜堤の透過率(堤岸側波高と堤沖側波高との比の値), 汀線の変動量及び堤内外の堆砂量等を算出した。また, 堤設置効果の有無を明らかにするために, 潜堤を設置しない場合(実験 No.X)の実験を行い, 汀線変動量が潜堤を設置した場合とどのように異なるかを比較検討を行った。なお, 図-1に実験の条件のフローを示す。

3. 解析方法

実験結果の解析法は, 前報¹⁾とほとんど同じ手法を用いた。

まず, パイプ式潜堤の透過率Ktは $Kt = Hn/Hf$ (Hn: パイプ式潜堤の後面での波高, Hf: パイプ式潜堤の前面での波高)から求めた。また, 汀線の変動量Xsは, 水槽横断方向に10cm間隔(但し, 水槽側壁部

は5cm間隔)の各位置での汀線の変動量Xi (i=1~8)を推定し, それらを単に相加平均することによって算出した。次に, 堤内外の土砂量の算出の方法は, ①従来と全く同様な方法²⁾で, 等堆積・侵食高線から両端面公式を適用して土量変化を求める方法, ②地形変化の各測定点での実測値からいわゆる断面法及び点高法(メッシュの区分の仕方によって長方形法と三角形法がある。)によって, コンピューターを用いて土量変化の増減を求める方法, の2方法を用いて算出した。なお, 一般的には, 断面法は細長い形状の土積の計算に適し, 一方, 点高法は比較的広い面積の土量計算に適するが, 特に点高法は, さらに, 対象となっている面積を長方形に小区分して, その小区分された長方形を底面積とする四角柱から全体の体積(V)を求める長方形法と, 三角形に小区分してそれを底面積とする三角柱から全体の体積を求める三角形法があり, それぞれ次式の(1), (2)から算出される。

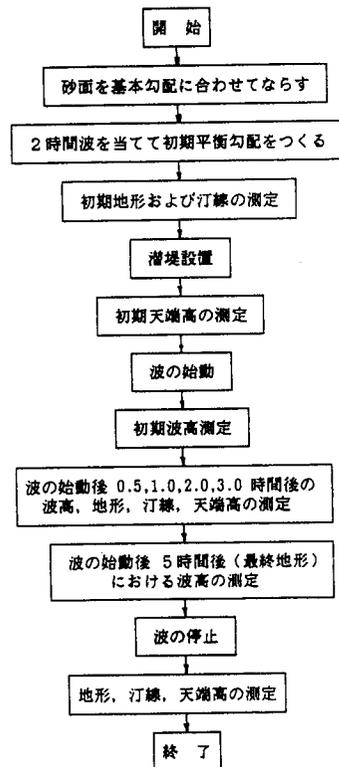


図-1 実験手順のフロー

$$V = \frac{a \cdot b}{4} (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4) \dots\dots(1)$$

$$V = \frac{a \cdot b}{6} (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4 + 5\Sigma h_5)$$

$$+6 \sum h_6 + 7 \sum h_7 + 8 \sum h_8) \dots \dots (2)$$

ここで, h_i : $i = 1 \sim 8$ 個の角柱に共有される高さ,
 a, b : 平面小区分の水平およびそれに直角方向の分
 割間隔, である.

4. 実験結果及び考察

(1) 消波効果

本研究で用いたパイプ式潜堤モデルは, 空隙形状が
 スムーズであり, 波を流れに変換することで, 波のエ
 ネルギーを損失させ消波効果を期待できると同時に,
 従来の潜堤同様, 潜堤上で強制碎波させることによ
 って消波効果を期待できるものである. 従って, 従来の
 異形ブロックなどを用いた透過性構造物とは若干異な
 った消波特性を示すこと, さらには消波特性が堤内堆
 砂量とも密接に関係することが考えられる. ここでは,
 まず最初に, その透過特性と潜堤の幅・空隙率・沈下
 速度との関係を明確にする.

図-2は, 透過率 (K_t) と堤幅 (b) との関係を示
 したものである. この図から明らかなように実験値に
 多少の変動はあるものの全般的には, 従来の実験デ
 ータの分布傾向と同様に, 空隙率の大小に関わらず, 堤
 幅の増大に伴って透過率は減少しているようである.
 しかしながら, 図から明らかなように, 空隙率 $\phi = 16$
 .0(%) の場合のように, 堤幅が増大すると逆に透過率が
 増大する傾向が見られることから, 空隙率がある程度
 以上減少すれば, 堤幅の増大と透過率とはあまり関係
 がなくなるのではないと思われる.

図-3は, 透過率 (K_t) と堤空隙率 (ϕ) との関係
 を堤幅 (b) をパラメーターとして図示したもので,

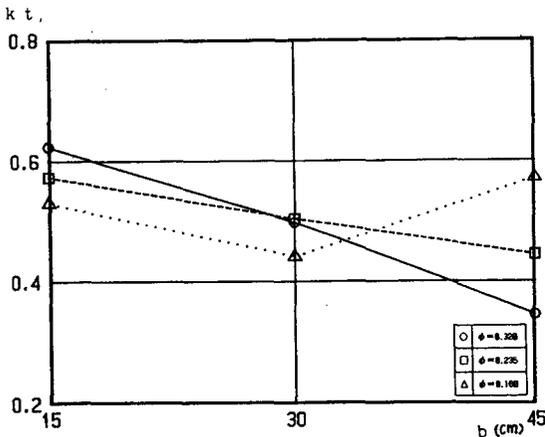


図-2 堤幅による透過率の変化

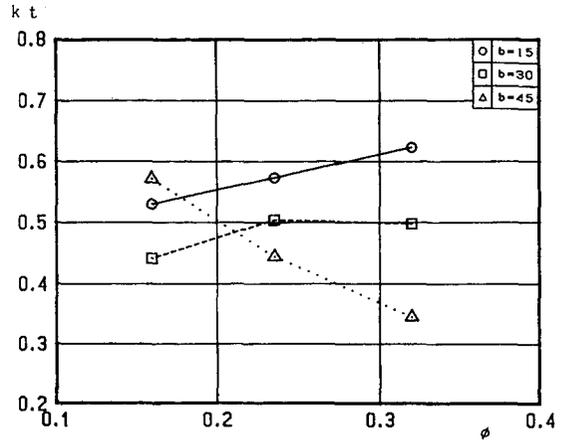


図-3 堤空隙率による透過率の変化

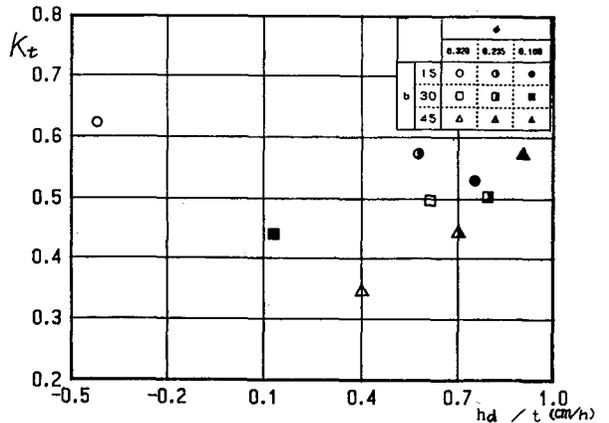


図-4 堤平均沈下速度と透過率の関係

全般的に見れば, 堤幅 $b = 45$ cm の場合を除いて, 空隙
 率の増加とともに透過率は増大して常識的であると思
 われるが, $b = 45$ cm と幅が広くなると空隙の影響より
 も堤幅の効果が顕著にきいてくるのではないと思われ
 る.

一方, 図-4は, 堤の透過率と潜堤の平均沈下速度
 (hd/t , hd : 堤沈下量, t : 経過時間) の関係を
 示したものである. この図から, 堤幅の大小によって
 若干の相違は見られるが, 全般的には, 沈下速度の増
 大とともに透過率は大きくなるようである. これは短
 時間に堤が沈下するほど堤天端上での透過量が増大す
 ることが考えられることから当然の結果であると思わ
 れる.

(2) 潜堤内外の地形変化

(a) 堤設置に伴う汀線の変動: 海浜を積極的に利
 用する場合, 構造物を設置した後の汀線の変動状態を

把握することは、海岸環境保全という立場から不可欠なことである。ここでは、汀線の変動に及ぼす、堤幅・透過率・堤沈下量あるいは堤の不等沈下に伴う傾斜角の影響を明らかにする。

図-5は、堤幅と汀線変動量(Xs5:5時間後の汀線変動量)の関係を空隙率(ϕ)をパラメーターとして示したものである。この図から、全般的に堤幅の増大に伴い汀線は前進しているように思われるが、それぞれの空隙率ごとに堤幅と汀線変動の関係について検討してみると、相互の関連はあまり明確ではない。しかし、堤不設置時における汀線の変動量(図中の●印)と比較した場合、堤設置時には、汀線の後退を明らかに防止していることがわかる。

図-6は、汀線変動量(Xs5)と堤の透過率(K_t)との関係を示したものである。一般的には、堤の透過率の増大に伴い汀線は、後退することが予想されるが、この図では、実験値にかなりのばらつきが見られ、両

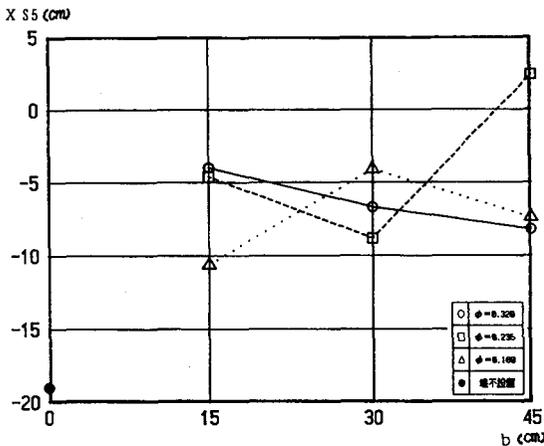


図-5 堤幅と汀線変動量の関係

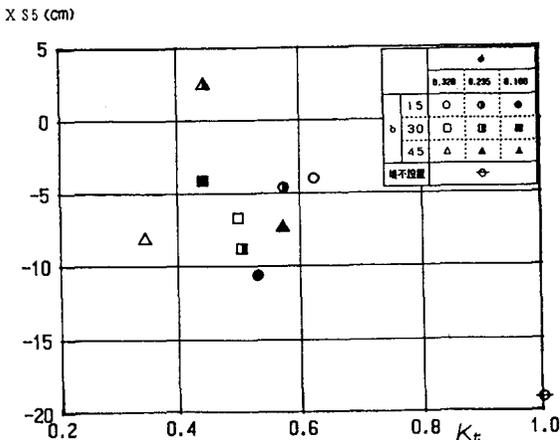


図-6 透過率による汀線変動量の変化

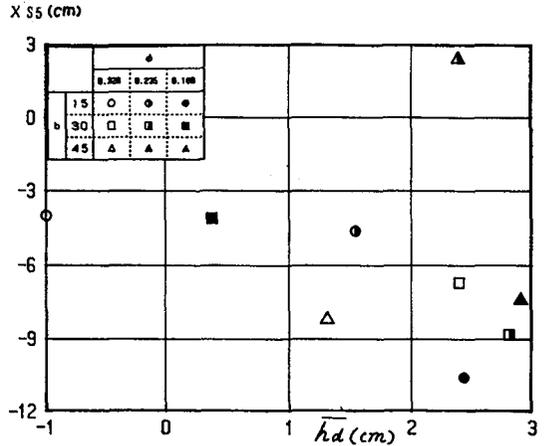


図-7 堤沈下量と汀線変動量の関係

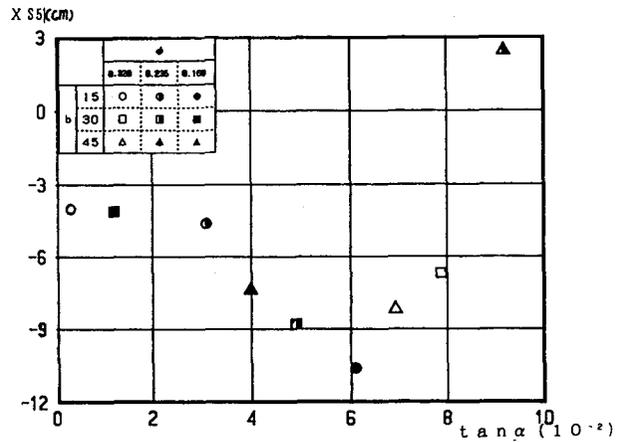


図-8 堤の傾斜角と汀線変動量の関係

者には、明確な相関はないように思われる。しかしながら、堤不設置時(図中の●印)の汀線の変動量と比較した場合、確実に汀線の後退を防止していることは明らかである。

図-7は、堤沈下量(hd)と汀線変動量との関係を図示したもので、図から明らかのように1点($\phi=0.235$ で**b**=45cmの場合)を除いて、堤の沈下量の増大に伴い汀線は後退していると言える。

図-8は、沖側沈下量が岸側沈下量より大であるときを正とする。堤の不等沈下に伴う傾斜角($\tan\alpha$)が大きくなるほど、汀線は後退する傾向にあると思われる。

(3) 潜堤による堆砂特性

(a) 堤内堆砂効果

表-2及び3は、前述のような相異なる方法に基づく堤内外土砂量の推定結果の比較を示したもので、そ

表-2 堤内堆砂量の推定結果

実験番号 No	堤内堆砂量 (cm ³)				Q/Xl (cm)
	三角形公式	長方形公式	断面法	平均堆砂量	
I	8415.0	8739.7	4221.8	7125.5	0.318
II	-784.3	-384.4	-868.7	-3285.5	-0.151
III	-3475.8	-3374.1	-3362.5	-3404.1	-0.162
IV	-4606.3	-4667.5	-4682.9	-4645.6	-0.207
V	-16335.8	-16477.3	-12268.1	-15027.1	-0.892
VI	-24380.2	-24541.2	-8468.4	-19130.0	-0.911
VII	-5551.6	-5591.9	-5408.3	-5516.6	-0.246
VIII	-12511.1	-12582.4	-7088.0	-10720.5	-0.494
IX	-16152.3	-16360.5	-4048.3	-12187.1	-0.580
X	-20652.4	-20872.3	-20279.6	-20534.8	-0.946

※表中の負の符号は侵食量を意味する

表-3 堤外堆砂量の推定結果

実験番号 No	堤外堆砂量 (cm ³)				Q/Xl (cm)
	三角形公式	長方形公式	断面法	平均堆砂量	
I	13239.6	13305.9	6758.2	11101.3	0.566
II	19280.5	19768.1	7598.9	15541.8	0.793
III	5550.8	5590.2	5988.8	5709.2	0.302
IV	-2237.2	-2037.7	-2000.5	-2091.8	-0.107
V	-2024.2	-1949.2	484.6	-1162.9	-0.059
VI	3073.8	3266.7	5310.6	3883.7	0.205
VII	-285.6	-285.3	-261.9	-270.9	-0.014
VIII	-8242.7	-8268.0	-5947.8	-8152.8	-0.314
IX	-759.2	-1044.5	5273.0	1158.4	0.061
X	12423.4	12487.5	12542.9	12484.6	0.595

※表中の負の符号は侵食量を意味する

それぞれ表-2が堤内、表-3が堤外における推算結果である。この表から明らかなように、前報¹⁾と同様に計算手法の相違による若干の差異は見られるものの、どの計算方法で計算してもオーダ的には同じである。従って、いずれが最適方法であるということは判断しがたいが、本実験のように測定点を多くし、かつメッシュ区分を細かくすれば、点高法(三角形法)が合理的であるように思われる。

図-9は、堤幅と堤内単位面積当たり堆砂量(Q/Xl, l:水槽幅, X:汀線と堤設置位置間の距離, Q:堤内堆砂量)の関係を、空隙率をパラメーターとして示したものである(Qは堆砂した場合は正, 侵食された場合を負とする)。全般的に見て空隙率の大小に関わらず、堤幅の増大に伴って堤内侵食量も増大する傾向が見られる。これは、堤幅が大きいなど、堤の不等沈下に伴う堤脚部への土砂の溜り込む量が増大することによって堤内の土砂が減少することもその一因であると考えられる。

図-10は、透過率(Kt)と堤内堆砂量(Q/Xl)

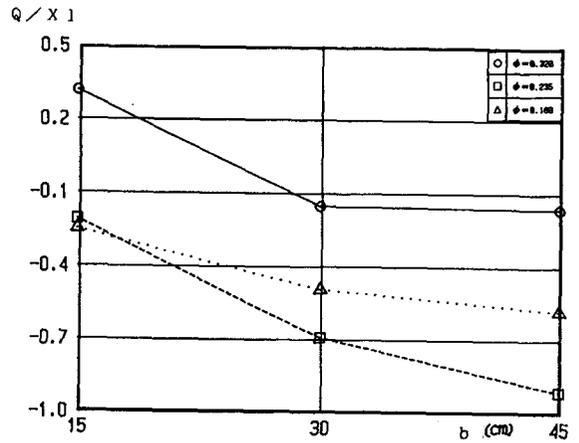


図-9 堤幅による堤内堆砂量の変化

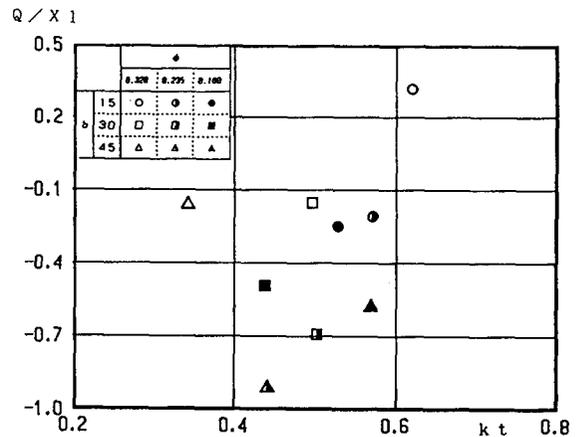


図-10 透過率による堤内堆砂量の変化

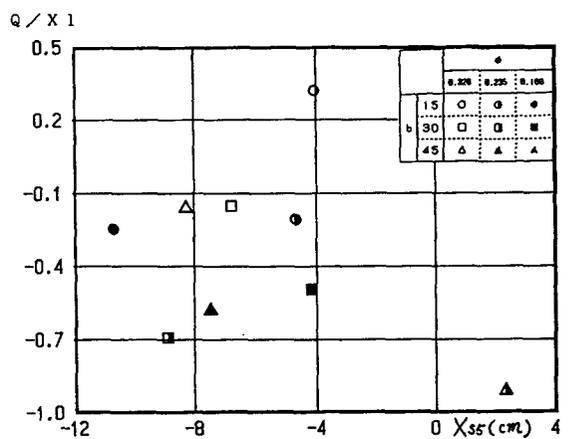


図-11 汀線変動量と堤内堆砂量の関係

の関係を示したもので、この図から明らかなように、全般的に見て、あまり明確ではないが、透過率の増大に伴って、堤内侵食量は減少する傾向にあると言える。

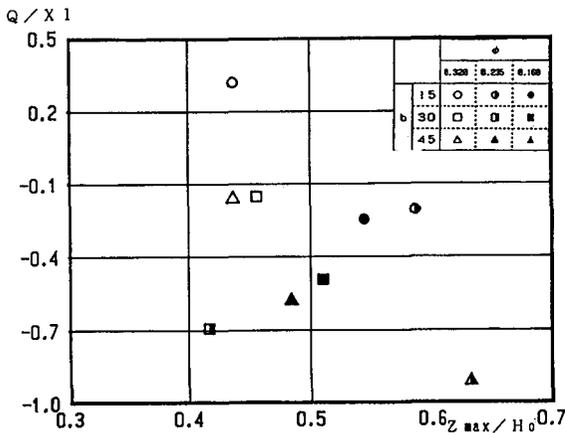


図-12 堤内最大洗掘深と堤内堆砂量の関係

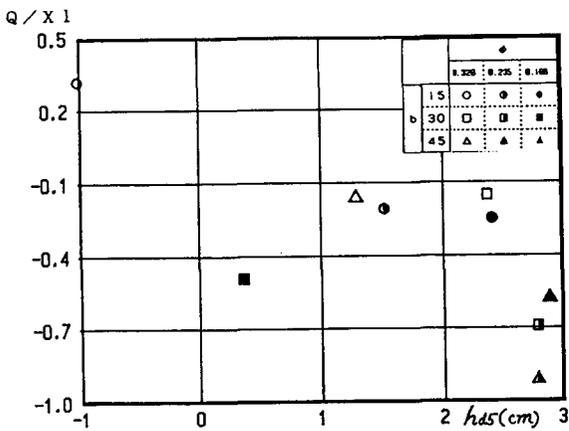


図-13 堤沈下量による堤内堆砂量の変化

これは、透過率の増大によって堤外の土砂が堤内に運ばれ易くなることが推測され、後述の堤外の土砂量の変化特性からも裏付けされている。

図-11は、汀線変動量(Xs5)と堤内堆砂量(Q/X)の関係を示した結果である。この図から明らかのように、大雑把に見れば、堤内侵食量は汀線の前進に伴って徐々に減少していく傾向が見られるが、b=45cmでφ=0.235の場合のような特異点もあり、必ずしも堤内の堆砂量の増大と汀線の前進は1対1には、対応しているとは言えないように思われる。

図-12は、堤内堆砂量に及ぼす堤内最大洗掘深の影響を調べたもので、横軸に堤内最大洗掘深の無次元量(Z_max/H_0、Z_max:最大洗掘深、H_0:沖波波高)、縦軸に堤内単位面積当たりの堆砂量(Q/X)をとって示したものである。この図から明らかのように、若干のばらつきはあるものの、全般的には、堤内最大洗掘深の増加に伴って、堤内堆砂量も減少しており、

これは堤内で洗掘された土砂が、戻り流れによって堤外に運搬されることに起因するものと考えられる。

図-13は、堤の沈下量(h_d5:造波開始から5時間経過後における堤の平均沈下量)と堤内堆砂量の関係を示したもので、この図から明らかに堤の沈下量の増大とともに堆砂量が減少している。これは、後述する堤外堆砂量との関係からも理解できるように、堤の沈下に伴って排出された土砂は、戻り流れによって堤外に運搬されるものと考えられる。

(b) 堤外堆砂効果

図-14は、図-9に示した堤内における結果と同様に、堤外に土砂の堆砂量Q'/X'1(Q':堤外堆砂量、X':堤前面から1/20勾配時における、静水時汀線より530cmまでの間の距離)と堤幅との関係を図示したものである。この図から明らかのように、前述の図-9の堤内の場合の結果と異なって堤外堆砂量と堤幅

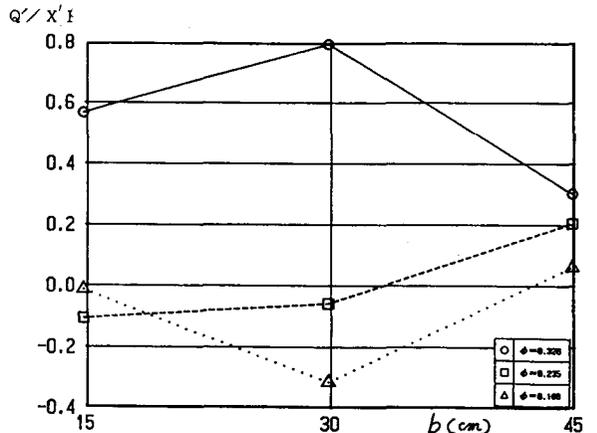


図-14 堤幅による堤外堆砂量の変化

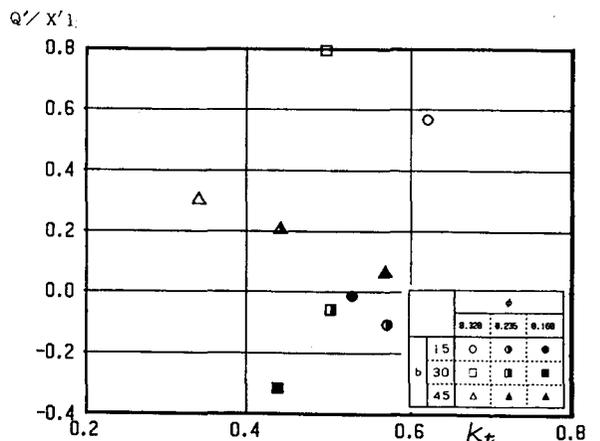


図-15 透過率による堤外堆砂量の変化

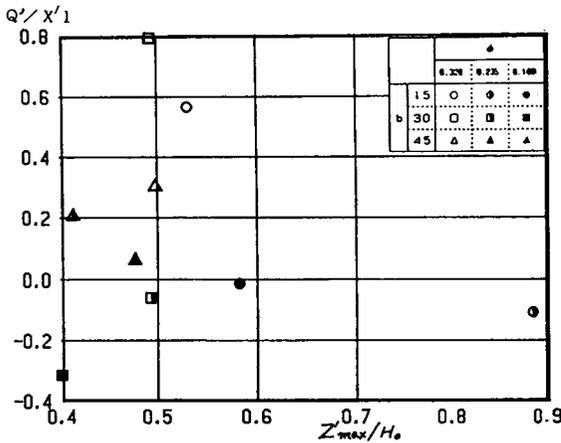


図-16 堤外最大洗掘深と堤外堆砂量の関係

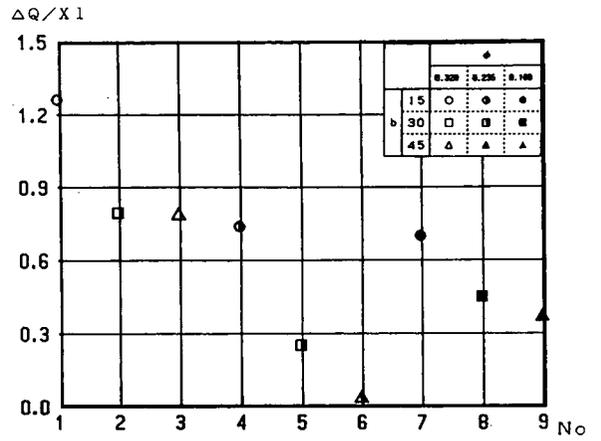


図-18 堤の有無による各実験ケース毎の堤内堆砂効果の変化

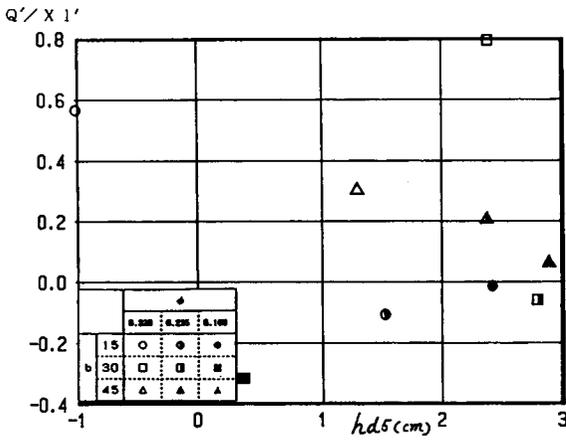


図-17 堤沈下量による堤外堆砂量の変化

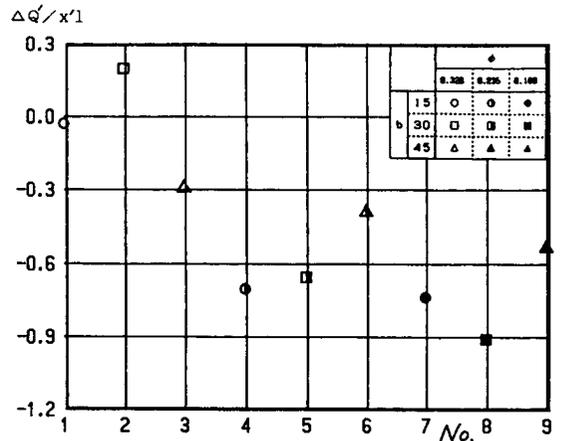


図-19 堤の有無による各実験ケース毎の堤外堆砂効果の変化

との間には、明確な相関関係があるとは認められない。これは、算出された堤外堆砂量より更に沖側の砂の流入が関係して、堤内の場合に比して土砂の移動が複雑になるものと考えられる。

図-15は、堤の透過率(Kt)と堤内堆砂量の関係を示したもので、この図から、若干のばらつきがあつて明確な特性は見い出せないが、図-10の堤内の場合の結果とは逆に、堤の透過率が大きくなるほど、堤外堆砂量は減少している傾向が見られる。このことは、堤の透過率が大きくなれば、堤外の砂が堤内により運ばれることを意味し、堤内堆砂効果の促進のためには、堤の透過率をある程度高める必要があると考えられる。

図-16は、堤外最大洗掘深(Z'_{max}/H_0)と堤外堆砂量($Q'/X'l$)との関係を示したものである。一般的には、最大洗掘深の増大に伴い、堆砂量は減少することが予想されるが、この図からは、そのような傾向はあまり見られず、実験結果に若干ばらつきはあ

るものの逆に増加しているように思われる。これは、図-12との関連で、堤内の砂が堤外に運搬されると同時に、堤外で洗掘された砂は堤付近で再配置されるだけで、あまり堤外の沖側まで運ばれないように思われる。このことは、前報¹⁾での着色砂による移動結果からも裏付けられている。

図-17は堤沈下量(hd_5 : 造波開始から5時間経過後における堤の平均沈下量)と堤外堆砂量の関係を示したものである。この図から1点($\phi=0.32, b=15\text{cm}$ の場合で図中○印)の場合を除いて、全体的には、沈下量の増大に伴って堤外堆砂量も増加する傾向が見られる。このことから、堤の沈下に伴う排出土砂は、堤外側に運搬されていると推測される。

(c) 堤設置時と不設置時における堆砂効果の比較

図-18, 図-19は堤設置時と堤不設置時における堆砂量の差異を示したもので, 図-18は, 縦軸に堤設置時の堤内堆砂量($Q1/X1$)から, 堤不設置時の堤内堆砂量($Q2/X1$)を引いた値($\Delta Q/X1$)を, 横軸に実験 NO.をそれぞれとり実験値を整理したものである。一方, 図-19は, 堤外における堆砂量の, 堤設置時と堤不設置時の差異を図-18と同様に示したものである。これらの図から明らかなように, $\Delta Q/X1$ は堤内では常に正の値で, 一方, 堤外では負の値をとっていることから, 堤を設置すれば, 堤の不設置時に比して, 常に堤内は堆砂し, 一方, 堤外では, 逆に堆砂量は堤不設置時に比べて減少していることが明らかである。従って, 侵食性の海岸では, 堤を設置することによって, 堤外の砂が堤内に輸送されていることが明らかである。

5. 結 論

以上, 本研究では, 底面勾配1/20の移動床傾斜海浜上にパイプ式潜堤モデルを設置した場合の, 堤幅及び堤空隙率の変化による堤内外の地形変化及び堆砂量等の変化特性を, 前報¹⁾に引き続いて調べてきたが, その結果を要約すれば, 次のとおりである。

- 1) 消波効果は, パイプ式潜堤の幅の増大及び空隙率の減少に伴って大きくなる。
- 2) 透過率が大きいほど堤の平均沈下速度は大きくなる。
- 3) 汀線は潜堤幅の増大及び, 堤の不等沈下による傾斜角($\tan\alpha$)が小さいほど汀線の前進量は大きくなる。

4) 潜堤内の堆砂量は, 潜堤幅の増大及び透過率の減少に伴って, 減少する傾向が見られた。これは, 堤の不等沈下に伴う堤脚部への土砂の侵入によって説明できる。

5) 堤の沈下量の増大に伴って, 堤内堆砂量は減少しかつ堤外堆砂量は増大することから, 堤の沈下に伴う排出土砂は, 戻り流れによって堤外へ運搬されるようである。

6) パイプ式潜堤の設置は, 明らかに不設置時に比べて堤内堆砂量は増大するが, 一方, 堤外においては, 逆に堤外堆砂量が減少している。このことは, 堤の設置によって, 堤外の砂は堤内に運ばれることが推測され, 潜堤の設置は砂浜の回復には有効な工法の1つであると言える。

7) 堤内堆砂量が増大すれば, 汀線は一般的には前進するが, 実験条件によっては, 逆の場合もあり, 堤内の土砂の再配置によっても汀線の前進は影響を受けることもあるので, 一概に汀線の前進と堤内堆砂量との関係は1対1には結びつかないようである。

参 考 文 献

- 1) 平山秀夫: 潜堤の堆砂効果に関する実験的研究, 大阪府立工業高等専門学校研究紀要第25巻, pp.37~46, 1991.
- 2) 平山秀夫: 離岸堤の効果に関する実験的研究(I), 大阪府立工業高等専門学校研究紀要第18巻, pp.83~92, 1984.