大阪公立大学
Osaka Metropolitan University
学術情報リポジトリ

離岸堤の先端部周辺における局所洗掘に関する実験的研究 (2)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 平山, 秀夫 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00008006

離岸堤の先端部周辺における局所洗掘に関する実験的研究(II)*

Experimental Study on Scouring of Sand Bed around the Tip of an Offshore Dike (II)

平 山 秀 夫**

Hideo HIRAYAMA**

(昭和58年4月13日受理)

ABSTRACT

For the further investigation on the characteristics of scouring of sand bed around the tip of an offshore dike, this paper deals with the change of beach profile around the offshore dike, which is made of precast concrete armor units such as a tetrapod and porous triangle block and also a wooden porous plane model.

Especially, parts of erosition and deposition of sediments around the offshore dike are elucidated experimentally. Their results are related to differences of dimension of an offshore dike and the porous rates of it and so on.

It is found that the amount of deposition of sediments around it and the degree of sinking of the dike depend on not only the wave period and height but also the porous rate of an offshore dike model.

1. 緒 論

近年，河川改修工事などの進展に伴って，土砂の海岸への流出が減少し，そのため海岸線の侵食が激化の傾向にある。その防止対策として主として堆砂を目的とした離岸堤工法が，究堤工や護岸工などとともに各地で実施されてきているが，特に近年，栽培漁業などが盛んになるにつれて，沿岸・海岸スペースの多角的利用や砂浜海浜の保全の立場から，離岸堤工法が多くの海岸で広く用いられてきている。しかしながら，この工法は，これまであくまで経験的工法あって，その堆砂機構はもとより，堤脚部周辺の洗掘の実態やあるいは堤の沈下の実態などについても十分把握されないままに，試行錯誤的に実施されているにすぎない。

著者は，前報[1]で，堤先端部形状が堤脚部周辺の洗掘に及ぼす影響を明らかにするため，先端部形状が異なる種々のモデル堤を用いて実験的に検討し，その洗掘特性について得られた若干の知見を報告した。

本研究では，これに引き続いて，堤の設置に伴う海浜変形の実態を実験的に調べ，堤の維持と堆砂の促進を最も有効にする堤の諸元や堤の構造様式などの最適条件を系統的に明らかにしようとするもので，ここでは特に，提の構造様式が透過性の場合について，堤幅，透過率および異形ブロックの積み方（整積・乱積）などの相違によって，堤周辺の局所洗掘・堆積特性や，

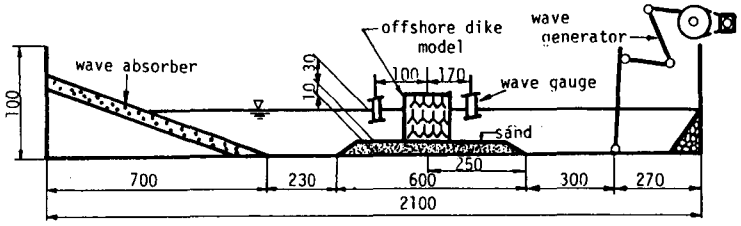
---

* 本論文の1部は，土木学会第37回年次学術講演会（昭和57年度）で講演したものである。

**土木工学科 (Department of Civil Engineering)

あるいは堤の沈下量がどのように異なるかを実験的に詳細に調べようとするものである。

2．実験装置および方法



図—1　実験装置（単位：cm）

実験装置は，**図—1**にその概略を示してあるように，モデル堤として2種類の異形ブロック（テトラポットと中空三角ブロック）と空隙孔を有する平板モデルを用いたことを除けば，前報[1]と全く同様である。すなわち，長さ21m，幅70cm，高さ1mの片面ガラス張り水槽（水槽端は消波工設置）を用い，その中央部に可動床として標準砂（中央粒径d_{50}≒0.20mm，ふるい分係数S_0=1.13）を約6mにわたって厚さ10cmに敷きつめ，そのほぼ中央部に前述のような種々のモデル堤を設置した。なお，**表—1**に用いたモデル堤の諸元を示す。

表—1　各種モデル堤の諸元

ブロック名称	積み方	ブロック重量 (kg / 1個)	ブロック体積 (cm³ / 1個)	堤体幅 B(cm)	堤体高 L(cm)	堤体長 D(cm)	使用個数 (個)	空隙率 (%)
テトラポッド	正積	1.20	700	30	43	40	32	57
				40			48	51
				50			68	45
	乱積			40			40	60
中空三角ブロック	正積	0.62	360	30	45		65	57
				50			115	54
	乱積			30			63	58

名称	先端形状	堤体幅 B(cm)	堤体高 L(cm)	堤体長 D(cm)	空隙率 (%)
平板モデル	矩形	3.2	55	35	0
					10
					20
					30

実験の方法は，種々の波浪条件下に各モデル堤を設置した場合の，堤先端部周辺の洗掘・堆積特性や水理特性あるいは堤の沈下量などを，経過時間 t＝¼，½，1，2，3時間ごとに調べた。各時間ごとの洗掘深及び堆積高は，等高線法で表示できるように，堤先端を原点として波の進行方向にx軸，それに直角方向にy軸をとり，この両軸方向を約5～10cmの間隔で砂面測定装置を用いて測定し，同時に抵抗線式波高計で波高分布も調べた。

実験条件は，**表—2**に示すように，砂面上水深(h_0)を常に一定の30cmとし，波浪特性は周期T＝1.3, 1.5, 1.7secの各場合について，沖波浪高H_0＝5.1～11.0cmの範囲内で適当に変化させた。なお，本文図中の丸印(○, ●)，三角印(△, ▲)および四角印(□, ■)は，それぞれテトラポッド，三角ブロックおよび平板モデル堤を用いた整積の場合を，⊖印は乱積の場合の結果を示す。

3．解析方法

解析は，すでに作成された洗掘・堆積状況の実態に基づいて作成された等高線図から，洗掘・堆積領域の各諸元や総洗掘・堆積量を求めた。それらの結果に基づいて，最大洗掘深および堆

表—2　実験条件

種類	積み方	堤体幅 B (cm)	周期 T (sec)	入射波高 H_i (cm)	H_0/L_i	H_i/L_i	透過波高 H_t (cm)	透過率 (%)
テトラポッド	正積	30	1.3	5.1	0.021	0.019	3.4	67
			1.7	8.9	0.020	0.020	6.2	70
		40	1.3	5.2	0.022	0.020	3.2	62
				7.0	0.029	0.027	3.7	53
				10.1	0.042	0.038	4.8	48
			1.5	7.3	0.022	0.020	4.7	64
			1.7	4.8	0.011	0.011	3.9	81
				7.1	0.017	0.016	4.5	64
				8.9	0.020	0.020	5.3	60
		50	1.3	5.2	0.022	0.020	2.8	54
			1.7	9.0	0.020	0.020	5.3	59
	乱積	30	1.5	7.3	0.022	0.021	4.3	59
中空三角ブロック	正積	30	1.3	5.0	0.021	0.019	3.2	64
				7.1	0.029	0.027	4.0	53
				10.0	0.042	0.038	4.8	45
			1.5	9.0	0.027	0.026	5.0	56
			1.7	5.0	0.011	0.011	3.9	77
				7.0	0.016	0.016	4.8	68
				8.8	0.020	0.020	5.6	64
		50	1.3	5.1	0.021	0.019	2.3	46
			1.7	8.8	0.020	0.020	4.4	50
	乱積	30	1.5	7.2	0.021	0.021	4.2	58

(1)　異形ブロック堤の場合

種類	先端形状	空隙率 (%)	周期 T (sec)	入射波高 H_i (cm)	H_0/L_0	H_i/L_i	透過波高 H_t (cm)	透過率 K_t (%)
平板モデル	矩形	0	1.5	7.1	0.021	0.020	2.3	32
		10	1.5	7.0	0.021	0.020	3.8	54
		20	1.5	7.3	0.022	0.021	4.4	63
		30	1.5	7.2	0.022	0.021	5.1	71

(2)　平板モデル堤の場合

積高をそれぞれ Z_{min}, Z_{max}, 全領域における総洗掘量および堆積量を V_{max}, W_{max}, 平均堆積速度を$\triangle Z_{max}/\triangle t$($\triangle t$：堆積高の測定時間間隔, $\triangle Z_{max}$：$\triangle t$ 時間における最大堆積高の変化量)で表わし，さらに堤の平均沈下量（堤の四隅角地点での沈下量の平均値）をh_dで表わした。

4．実験結果および考察

(1)　モデル堤周辺の波高分布

波が透過式離岸堤を通過するとき，堤の空隙率，ブロック形状および積み方などによって，発生する渦および乱れなどの状況が異なり，その結果，エネルギー損失に伴う波高減衰効果（伝達率）も変化する。したがって，ここではまず最初に，従来の離岸堤（潜堤も含む）による波高減衰に関する研究の概略を述べたあと，次に，本実験結果を従来示されている実験結果や実験公式と比較し，その適合性を検討する。

不透過堤による波高伝達に関する研究としては，古くは矩形潜堤に関する Johnson らの先駆的研究[2]をはじめ，離岸堤についての細井・富永の研究[3]，直立壁による近藤・佐藤の実験的研

究[4]あるいは合田・竹田の混成堤に関する実験的研究[5]などを挙げることができる。これらはいずれも，堤天端高と波高伝達率の関係について主として実験的に調べたものであって，波高伝達率は相対天端高 h_c/H_i (h_c：静水面上の天端高，H_i：入射波高)によってほぼ一義的に定まり，波の諸元にはあまり関係がないという結果を示した。

一方，透過式離岸堤の場合における研究としては，まず，岩崎・沼田の実験的研究[6]が挙げられる。彼らは$h_c/H_i>1$の場合には，波高減衰は沖波形勾配H_o/L_oによって一義的に関係づけられるが，$h_c/H_i<1$の場合には，沖波波形勾配H_o/L_oのみならず，Reynolds 数も重要な要素であることを示している。また，近藤・藤間[7]は，単純な形の空隙形状をもった透過性構造物についての実験を行い，空隙形状が比較的単純かつスムーズでしかも空隙率が大きい場合には，波高伝達率および反射率とも，入射波の諸元の影響が大きく，特に波高減衰率は，周期が小さい程大きくなるという結果を示した。さらに，服部・堺[8]は，異形ブロックを用いた場合の実験を行い，空隙率の減少に伴って，波高伝達率も若干減少することを示した。また，沼田[9]は，合田[10]らの金網型 Wave Filter を対象として導いた波高伝達率に関する理論式を参考にして，次式のように鉛直ブロック堤における波高伝達率(K_t)を仮定して実験値の整理を行った。

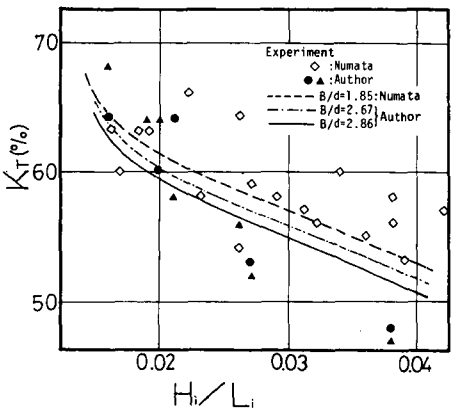
$$K_t=1/\{1+k(H/L)^{0.5}\}^2 \quad \cdots\cdots (1)$$

(ここで，k はブロック等の形や空隙率によって決まる定数.)

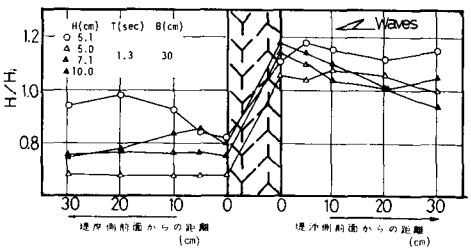
その結果，kはB/d (B：堤体幅，d：1個のブロックの高さ)の関数で近似でき，次式を導いた。

$$K_t=1/\{1+(B/d)^{0.67}\cdot(H/L)^{0.5}\}^2 \quad \cdots\cdots (2)$$

図—2は，本実験結果における堤の透過率K_tと波形勾配H_i/L_iの関係を示したもので，図中には，参考のために，沼田の実験結果及び実験公式（式(2)）も示した。すなわち，テトラポッドによる沼田の結果を破線で，一点鎖線および実線で，沼田の式に基づく著者の実験結果を，それぞれ三角ブロック(B/d=2.67)およびテトラポッド(B/d=2.86)の場合に分けて示した。この図から，本実験結果は，沼田の式とは若干異なった分布傾向を示すことがわかる。これは，本実験結果は堤先端からの回折波の影響がかなりはいってくるためであると考えられる。なお，**図—3**は，x 軸に沿う堤の岸・沖側における波高分布の1例を示したもので，一般に最大波高は堤の沖側5cm前後で，最小波高は堤の岸側5cm前後で発生しているようである。また，従来の研究成果と同様に，全般的に，波形勾配が大きいほど，波高減衰率は大きいようである。



図—2 波の伝達率と波形勾配の関係



図—3 堤周辺の波高分布

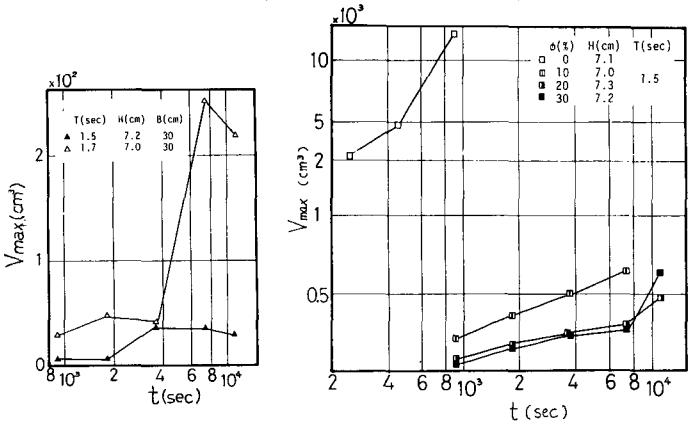
(2) 洗掘・堆積過程

(a) 異形ブロック堤の場合： この場合には，本実験結果によれば，堤周辺の局所洗掘・堆積状況は次の5種類に分類できるようである。すなわち，Ⅰ）堤先端部隅角部に砂連のみが発生する場合，Ⅱ）最初，堤背後の岸側のみに発生した堆積領域が，徐々に堤先端部付近に広がる場合（侵食領域なし），Ⅲ）堤先端部が洗掘され，それが堤の岸・沖側に堆積する場合，Ⅳ）Ⅲ型の特殊型で岸側のみに堆積領域が発生する場合，Ⅴ）Ⅱ型の特殊型で堆積領域が堤の岸・沖側に発生する場合，である。一般に，Ⅰ型は波高が小さい場合に，Ⅱ型は短周期波の場合に発生する。Ⅲ型は周期・波高とも大きく，堤先端部に発生する渦が洗掘の主因を成す場合，Ⅳ型はテトラポッド堤で，T＝1.5，1.7secでH≒9.0cmの場合，Ⅴ型は中空三角ブロック堤で，T＝1.5sec，H≒9.0cmの場合のみに見られた。

(b) 平板モデル堤の場合： これは，前報[1]の不透過堤の場合と同様に，一般に堤先端部付近が渦によって円形状に洗掘され，それが堤の両側に堆積するが，その程度は空隙率によって若干変化する。

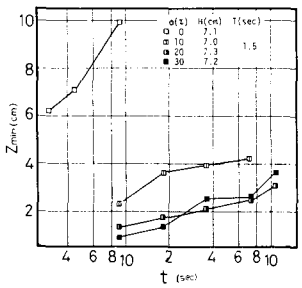
(3) 洗掘特性

図―4(1)，(2)は，それぞれ総洗掘量に及ぼす周期の影響および平板モデル堤の場合における空隙率の違いによる洗掘量の経時変化特性の差異を示したものである。これらの図から，一般的に使用したブロックの種類にかかわらず，周期および波高が大きくかつ空隙率も小さいほど，洗掘量はより大きくなることが明らかである。なお，**図―5**は平板モデル堤の場合における最大洗掘深に及ぼす空隙率の影響を調べたもので，前述の総洗掘量の場合と同様に，空隙率が小さい場合は，それによって最大洗掘深も変化するが，空隙率が約30%程度になれば，最大洗掘深の空隙率による変化特性の差異はほとんどなくなるようである。



(1)周期による影響　(2)空隙率による影響（平板モデル）

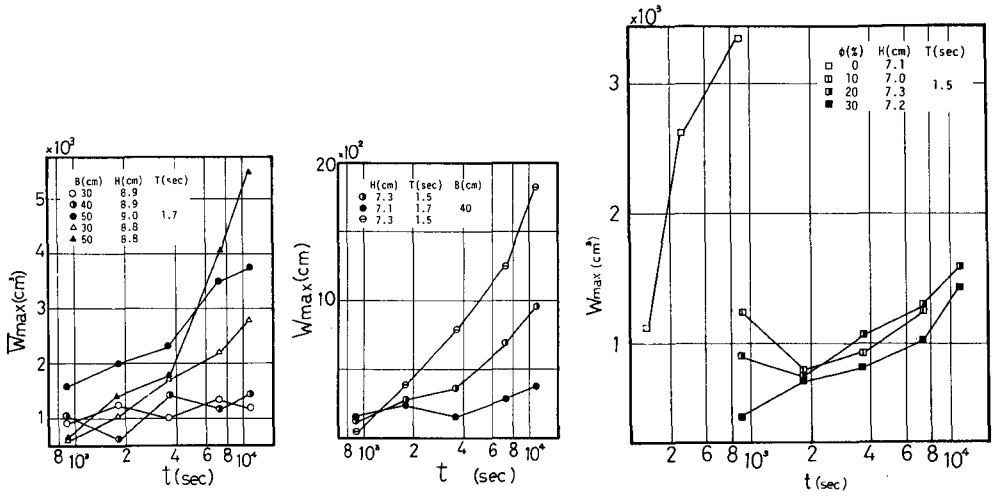
図―4　総洗掘量の経時変化特性



図―5 最大先掘深の空隙率による変化(平板モデル)

(4) 堆積特性

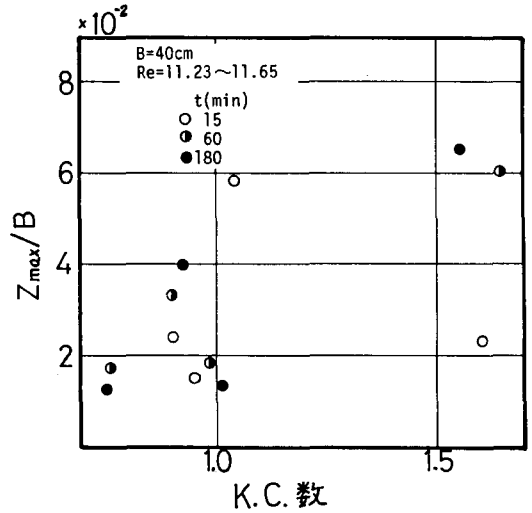
図―6　(1)～(3)は，それぞれ総堆積量に及ぼす堤幅，周期および平板モデル堤の場合における空隙率の影響を調べた結果である。これらの図から明らかなように，一般に総堆積量は堤幅が広くかつ周期が短いほど，また空隙率が小さいほど大きくなることが明らかである。また，図の（2）から明らかなように，一般に堆積量は乱積の場合が正積に比して若干大きいことから，堆積効果の観点からは，乱積の方がより有利なように思われる。



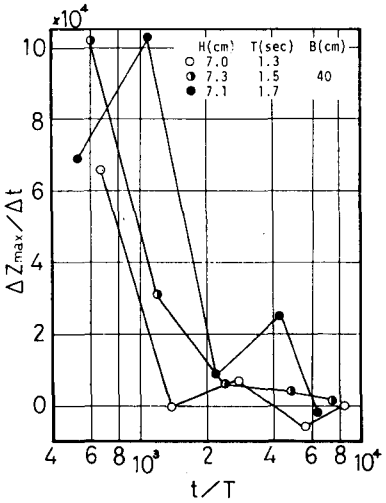
(1)堤幅による変化　(2)周期による変化　(3)空隙率による変化(平板モデル)

図—6　総堆積量の経時変化特性

一方，**図—7**は，最大堆積高に及ぼすK.C.数の影響を調べたもので，この図から明らかなように，一般にK.C.数の増加につれて最大堆積高も増大するようである。また，**図—8**は，平均堆積速度 $\Delta Z_{max}/\Delta t$の経時変化を示したもので，平均堆積速度は波の周期によって若干変化するが，$t/T \approx 2\times10^3$程度でほぼ0になることから，堤周辺の局所洗掘による地形変化は初期に急激に行なわれたあと，徐々に平衡地形になるようである。



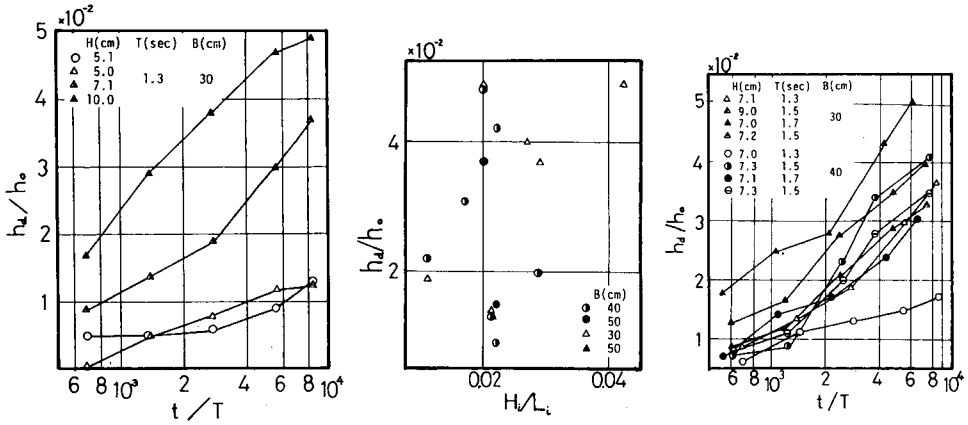
図—7　最大堆積高とK.C.数の関係



図—8　平均堆積速度の経時変化

(5)　堤の沈下量

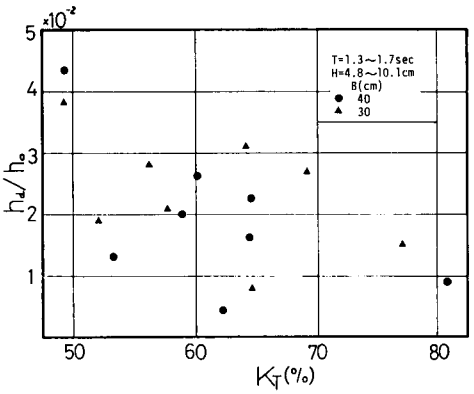
図—9(1)～(3)は平均沈下量と波浪特性との関係を，それぞれ入射波高，入射波波形勾配および周期に分けて調べた結果である。これらの図から明らかなように，一般に沈下量は入射波高およびその波形勾配が大きいほど，また一部の場合を除いて，周期が長いほど大きいようである。**図—10**は，平均沈下量に及ぼす透過率の影響を調べたものである。この図から，一般的に，沈下量は空隙率が小さいほど大きいことが明らかである。また，**図—11**は，沈下量の堤幅やブロックの種類による差異を調べた結果で，この図から明らかなように，一般的に沈下量は，堤幅



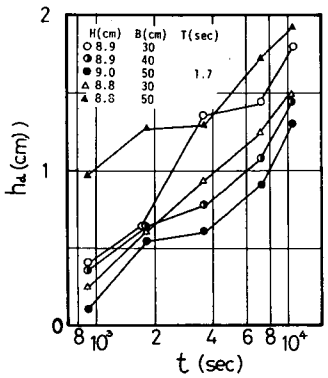
(1)入射波高による変化　(2)波形勾配による変化　(3)周期による変化

図—9　沈下量と波浪特性との関係

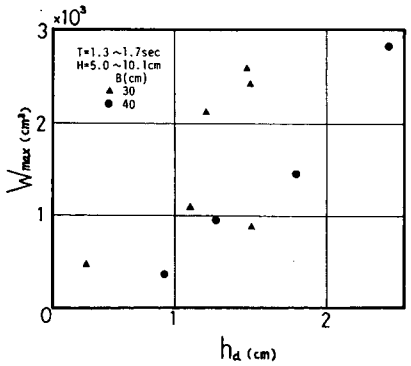
および堤の種類によって明確な差異は見い出せないようである。一方，**図—12**は堆積量と沈下量の関係を示したもので，この図から堆積量の増大とともに沈下量は大きくなることが明らかである。これは堤の沈下に伴って排出する砂量が，堤周辺の総堆積量の変化に大いに関係していることによるものと思われる。



図—10　沈下量と透過率の関係（t＝60min）



図—11　沈下量の堤幅・ブロックの種類による変化



図—12　総堆積量と沈下量の関係

5．結　論

以上，本研究においては，昨年度に引き続いて，異形ブロックおよび空隙率を変化させた平板モデル堤を用いて，離岸堤が海浜地形変化に及ぼす影響を実験的に調べてきた。特に今年度は，透過式離岸堤の場合における洗掘・堆積過程の実態の把握に主眼をおき，主として，堤周辺の局所洗掘・堆積の規模や水理特性が，使用ブロックの種類あるいは堤の空隙率などの変化によってどのような相違があるかを，詳細に検討してきた。その結果を要約すれば，次のとおりである。

1）本実験のように，異形ブロックによる透過式離岸堤モデルの場合には，透過率は波形勾配によってかなり変化し，波形勾配が大きいほど透過率は小さくなる傾向にある。また，平板モデル堤によれば，従来の研究と同様に，透過率は空隙率の大小によって変化し，空隙率の減少とともに透過率も減少する傾向にある。

2）堆積領域は，多くの場合，岸側の堤前面に舌状に発生し，一方，洗掘領域は，沖側の堤先端部に発生する。この洗掘や堆積領域の範囲を支配する要因は渦であり，この渦の発生領域が洗掘され，渦の非発生領域が堆積されるという傾向が一般的に認められた。

3）本実験のように，初期洗掘の範囲内では，波の作用時間の増大とともに，全般的に洗掘深，堆積高，洗掘量および堆積量は増大するが，平均洗掘速度は長周期でかつ空隙率が小さいほど，初期洗掘速度は大きいようである。また，異形ブロック堤の場合，一部のデータの洗堀速度が負の値を示す場合もあり，不透過堤の場合にはほとんど見られなかった埋め戻しの現象が認められた。

4）トンボロの発生領域や洗掘領域の規模から判断すれば，堤による堆砂効果という本来の機能向上の面では，どちらかと言えば，中空三角ブロック堤の場合がテトラポッドの場合に比して，より有効であるように思われる。

5）離岸堤の堤体幅を大きくした場合には，透過率は減少するものの，海浜地形変化には明確な特性の差異はないが，堤体幅の増大とともに堤沈下量は増大し，特に中空三角ブロック堤の場合にその傾向が著しいようである。これは堤の占有接地面に及ぼす接地圧が関係していると思われるが，このように堤の沈下の観点からは，逆にテトラポッド堤の方が有利であるように思われる。

6）堆砂効果や波高減衰効果の観点からは，ブロックの積み方により差異はあまり明確ではないが，安定性の面からは，どちらかと言えば整積の場合が乱積の場合に比してより有利であるように思われる。

7）透過式と不透過式離岸堤を比較すると，波高減衰効果の観点からは，不透過堤の場合がより有利であるが，洗掘量は透過率の増大とともに逆に減少し，不透過堤の場合が最も洗掘量は大きいようである。また，空隙率の変化が海浜変形に及ぼす影響の限度は，空隙率がせいぜい30％程度までであることが明らかになった。

8）モデル堤先端部近傍の水面に発生する渦の発生領域は，底面の地形変形領域とほぼ類似していることから，水面に発生する渦とそれに伴う2次流の挙動が底面の局所洗掘を支配する要因の一つであることが推察できる。

以上のように，離岸堤が透過性と不透過性の両方の場合における洗掘・堆積特性の差異を実験的に調べ，若干の知見を得ることができた。しかしながら，離岸堤近傍の水理特性や洗掘機

構は非常に複雑であって，相似則の問題も含めて，その全貌を定量的に把握することはなかなか容易なことではない。今後さらに，実際の傾斜海浜上に堤を設置した場合の実験結果を現地における実測資料と照合するなど，豊富な実験的な裏付けに基づいて，離岸堤の海岸侵食防止工法への適用に関する種々の問題点を丹念に調べ，ひいてはそれを，堤の機能向上や地形変化の予測に役立てるよう，なお一層努力することが必要である。

最後に，本研究を実施するにあたって，終始，温かい御指導を賜った岩垣雄一京都大学教授，実験や解析に御協力を惜しまなかった稲田　満・橋田龍二（当時本校学生）・内田典彦（本校技師）の三君に心から感謝の意を表わします。

参 考 文 献

1）平山秀夫：離岸堤の先端部周辺における局所洗掘に関する実験的研究(Ⅰ)，大阪府立高専研究紀要，第16巻，pp. 59～68，1982.

2）Johnson, J.W., R.A. Fuchs, and J.R. Morison : The damping action of submerged breakwater, Trans. A.G.U., Vol.32, pp.704～718, 1951.

3）細井正延・富永正照：離岸堤による波高減衰について，第6回海岸工学講演会講演集, pp. 121～123，1959.

4）近藤俶郎・佐藤　功：防波堤天端高に関する研究，北海道開発局土木試験所月報, 第117号, pp.63～66，1965.

5）合田良美・竹田英章：越波による防波堤背後への波高伝達率，第13回海岸工学講演会講演集，pp. 87～92，1966.

6）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. 329～333，1969.

7）近藤俶郎・藤間　聡：透過性防波構造物の水理特性，第17回海岸工学講演会論文集，pp. 155～162，1970.

8）服部昌太郎・堺　和幸：ブロック積み防波堤の波高伝達率に関する実験的研究，第20回海岸工学講演会論文集，pp. 55～61，1973.

9）沼田　淳：ブロック堤の消波効果に果する実験的研究，第22回海岸工学講演会論文集, pp. 501～505，1975.

10) Goda, Y. and Ippen, A.T. : Theoretical and experimental investigation of energy dissipators composed of wire mesh screen, M.I.T. Hydraulic Laboratory Report, No. 59, pp. 1～66, 1963.