

海岸堤防の根固工について

富永正照*・坂本忠彦**

1. まえがき

波によるのり先洗掘により海岸堤防が破壊する例は全国的にしばしばみられる。このような災害を防止するため、一般に基礎ブロックの下部に矢板をうったり、異形ブロックなどを用いた根固工を設置する。

過去における堤防の設計例をみると、基礎の根入れを深くして根固工を置かない場合もあるし、また、基礎は簡易にして根固工を強固にする場合もある。根固工についても、砂の上に直接異形ブロックを置くこともあり、また、砂の上に捨石、マットなどを敷いてからブロックを置く場合もある。このように、種々の設計が行なわれるのは、局地条件の差、工費による制約などに原因がある場合もあるだろうが、根固工の設計について明確な指針が示されていないことに起因する場合も相当にあると考えられる。実際の根固工の施工例では、異形ブロックを直接砂の上に置き、それが沈下した場合はさらにブロックを上に乗せてゆく例が多い。機能的にはこれで十分な場合もあるだろうが、沈下量が大きいと最終的には相当の経費を要することになる。また、異形ブロックのみでは砂の移動をおさえる力はないので、たまたま基礎の根入れが浅いような場合には災害につながる可能性がある。

以上のような見地から、異形ブロックを用いた根固工については、ブロックの下に捨石、マットなどを敷くのがやはり有効であろうと考えられるので、フィルター材として効果的な捨石の粒径、マットの効果などについて検討を行なった。現段階ではなお問題点が残されているが、一応これまでに得られた結果をまとめて報告する。

なお、ここで根固工を考える場合には海浜が季節的に変動しても、全般的には安定であることを前提としている。侵食傾向の著しい海岸では、根固工のみで堤防を守ることは困難であって、堤防とは別の工法、たとえば、突堤、離岸堤、養浜などによって海浜の安定をはかるべきである。

2. 底質の移動を阻止するフィルター材の粒径比の検討

海浜砂と捨石、あるいは捨石と異形ブロックの粒径比

* 正会員 建設省土木研究所赤羽支所海岸研究室

** 正会員 同上

があまり大きいと、砂は捨石の空げきの間を、捨石は異形ブロックの空げきの間を通過して移動できるため、いわゆる波による吸い出し現象が生ずるものと考えられる。しかし、粒径比を小さくしてゆくと、空げきを通過して移動することはしだいに困難となり、ついに物理的に移動が不可能となる限界の粒径比に達するはずである。

この粒径比を、たとえば図—1 に示すように、粒子の形が球で、しかも、単層におかれていと仮定すれば、単純な配置の場合は簡単に求まり、大きい粒径を R 、小さい粒径を r とすれば、移動阻止限界粒径比 はつぎのようになる。

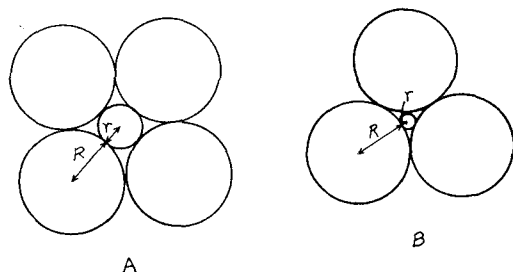
$$\frac{r}{R} = 0.414 \quad (\text{Aの配置の場合}) \cdots \cdots (1)$$

$$\frac{r}{R} = 0.155 \quad (\text{Bの配置の場合}) \cdots \cdots (2)$$

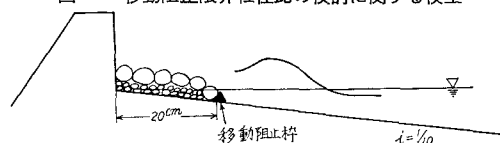
粒径比は粒子の配列の仕方によっても異なるものであることがわかる。実際には、砂、捨石、異形ブロックとも球とはかなり異なった形をしており、しかも何層にも重なっている場合もあるから、単純にこの数値を採用できないが、一つの目安を与えるものであろう。

これらのことを考えながら、簡単な根固工の模型をつくって、波による根固工内の底質の移動および移動阻止限界比を検討した。図—2 のように小砂利を堤防前面に薄く散布し、その上に根固ブロックとして平均粒径 (d_m) 40 mm、重さ 30~35 g の碎石を一層および二層に積み重ねて根固工とした。この根固工に波を当てて小砂利の

図—1 底質の移動阻止限界粒径比



図—2 移動阻止限界粒径比の検討に関する模型



移動状況を観測した。さらに、根固工より飛び出した小砂利の重量を測定した。実験方法はつぎのとおりである。

造波水路 延長 17 m, 幅 60 cm, 高さ 80 cm, 固定床, 海底勾配 1/10

実験波 波高 3~10 cm, 周期 1.0~1.6 sec

堤防 鉛直堤とし、堤脚水深 0 cm の位置においた。

根固工 根固ブロック $d_m=40$ mm, 重さ 30~35 g のほぼ均一な碎石

底質材料 $d_m=2.8, 4.0, 4.8, 5.8$ mm のほぼ均一な小砂利

根固ブロックが一層および二層の場合の小砂利の移動

図-3(a) 根固工下部の底質の移動量(根固工1層)

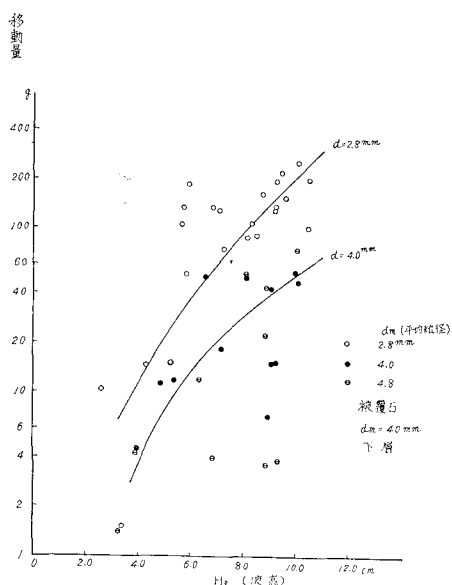
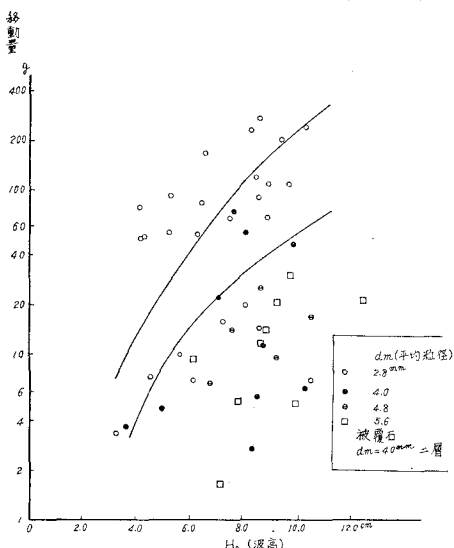


図-3(b) 根固工下部の底質の移動量(根固工2層)



量を図-3(a), (b) に示す。小砂利の移動量は根固ブロックより飛び出し、根固工前面を波の運動につれて移動しているものを実験終了時にあつめて測定した。実験時間はいずれも 15 分間である。

これらの図によるとつぎのことがわかる。

- (i) 沖波波高が大きいほど飛び出し量が多い。
- (ii) 小砂利の粒径が小さいほど飛び出し量が多い。
- (iii) $d_m=4$ mm 以上の粒径の小砂利の飛び出し量のちらばりが大きい。これは根固ブロックと小砂利との粒径比が小さくなるため、空げきの間を通過しての移動が阻止される場合があることを示していると考えられる。

以上の考察と実験結果より、粒径比 $r/R=0.1$ 以上のときは、上層の大粒径のものによる下層の小粒径の砂の移動の阻止効果を期待してよいようであり、根固工を設計するときの一つの参考資料となるであろう。

3. 定常流下の捨石フィルター層内の流速および掃流力

根固ブロックの下には、適当な粒径をもつ捨石フィルター層をおき、ブロックの空げきから砂が吸い出されることを防ぐことが必要である。このためには、前章で述べた粒径比も一つの目安となるが、波による捨石フィルター内の流速を小さくして、掃流力を海浜砂の限界掃流力以下にすることが考えられる。波による捨石層内の流れ(とくに碎波している場合)は複雑であり、したがって、その流れによる掃流力を求めることもむずかしいので、ここでは、定常流で捨石内の流速を調べ、その結果を捨石フィルターの設計に用いることを考える。

捨石層内の流れはいわゆる透過性構造物内の流れで、粒径、粒度分布、空げき率、レイノルズ数など多くの要素に支配されると考えられる。

透水体についてつぎのように仮定する。

- (i) 透水体の構成各粒は均一粒径(d)とする。
- (ii) 構成各粒は球形とみなされる。
- (iii) 各粒は等方的に詰め込まれているものとし、間げき率を p とする。

- (iv) 毛細管現象、吸着水現象などは無視する。

以上の仮定に立ち、透水体の切断面を考え、その間げきの平均の大きさから間げきの平均径深(R_p)を求めてみると次式のようになる。

$$R_p = \frac{pd}{6\sqrt{\frac{2}{3}}(1-p)} \quad (3)$$

これは構成粒が球と仮定して求められたものであるため、碎石などのいびつな形に適用するために補正係数 m を考えると、

$$R_p = \frac{m \cdot p \cdot d}{6\sqrt{\frac{2}{3}}(1-p)} \quad (4)$$

透水体をこのような径深をもった仮想流管の集合体とみなして、管路の抵抗係数の概念を適用すると、

$$\xi_f = \sqrt{\frac{2}{3}} m \cdot \frac{p^3}{1-p} \xi = f(R_e) \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 ξ および ξ_f はつぎのように定義される透水体の抵抗係数および管路の抵抗係数である。

$$\Delta h = \xi \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (6)$$

$$\Delta h = \xi_f \cdot \frac{l}{4R} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots \dots \dots (7)$$

Δh : 損失水頭, l : 管および透水体の長さ

R : 管の径深, d : 粒径, V : 断面平均流速

ξ あるいは ξ_f に関係すると考えられるレイノルズ数は流管内(間げき内)の平均流速と流管の大きさを代表する長さによるレイノルズ数をとることが最も合理的と考えられるので、これらの値をとってレイノルズ数をつくってみると、

$$R_e = \sqrt{\frac{2}{3}} m \cdot \frac{Vd}{(1-p)\nu} \dots \dots \dots (8)$$

開水路内に碎石をつめて行なった透水実験の結果¹⁾から、 ξ_f と R_e との関係を調べてみると、図-4 のように、形状の異なる玉砂利以外はほぼ一本の線にまわり、式(5)の妥当性が検証された。この場合、 m の値は層流域で $\xi_f = 64/R_e$ に一致するように決めると 0.3

となる。この値は碎石についてのもので、玉砂利では若干異なった値をとると考えられる。 m を含む形で実験式をつくると、

$$\sqrt{\frac{2}{3}} m \cdot \frac{p^3}{1-p} \xi = \frac{60}{R_e} + \frac{3.6}{\sqrt{R_e}} + 1.05 \dots \dots (9)$$

ここで、 $m=0.3$

$$R_e = \sqrt{\frac{2}{3}} m \cdot \frac{Vd}{(1-p)\nu}$$

つぎに、捨石フィルターの下においた砂の移動限界について考えてみる。碎石内の仮想流管の径深は式(3)で示されるので、動水勾配 I を受けるフィルター層の間げき部分に働く摩擦応力 τ 、および摩擦速度 u_* は次式で示されるものとする。

$$\tau = \rho g R_p I = \rho u_*'^2 \dots \dots \dots (10)$$

一方、砂自身の移動限界摩擦応力 τ_c および移動限界摩擦速度 u_{*c} は粒径と比重とで定まり、 $\tau = \tau_c$ のとき砂の移動が始まることになる。水路内に図-5 に示すような模型をつくり、水深、動水勾配、砂の粒径などを変化させて、上式の妥当性を検討した。なお、碎石の平均粒径は 3.67 cm、空げき率は $p=0.513$ であった。

実験結果を表-1 に示す。式(10)により計算した移動限界摩擦速度 u_* 、砂の移動限界摩擦速度 u_{*c} (岩垣公式による) および砂の移動状況を併記してある。これに

表-1 捨石フィルター下の砂の移動限界

実験 番号	底質	粒径 $d(\text{mm})$	比重	Δh (cm)	$\frac{h_1+h_2}{2}$ (cm)	I	u_*' (cm/sec)	u_* (cm/sec)	u_{*c} (cm/sec)	底質移動状況
1	砂(A)	0.76	2.700	1.99	15.05	0.0199	17.13	1.64	2.04	中央部より下流でかなり移動
2	"	"	"	2.77	12.30	0.0277	18.27	1.93	"	{下流側 2/3 はかなり移動、巻き上げも発生、拡散もかなり激しい、
3	"	"	"	2.07	15.20	0.0207	17.56	1.67	"	やや移動状態
4	"	"	"	1.56	16.40	0.0156	15.83	1.45	"	ほとんど移動なし
5	"	"	"	3.41	9.55	0.0341	17.86	2.14	"	{上流側より 1/3 の点付近から移動開始かなり移動、下流端巻き上げ状態
6	"	"	"	1.36	7.15	0.0136	9.76	1.35	"	全く移動なし
7	砂(B)	0.86	2.675	2.17	15.45	0.0217	18.13	1.71	2.17	安定 下流端で数粒が微動
8	"	"	"	4.99	18.10	0.0499	29.75	2.58	"	中央部より下流でわずかに移動
9	"	"	"	6.55	12.61	0.0655	28.45	2.97	"	上流側 1/3 付近より下流側にかけかなり移動
10	"	"	"	4.27	11.00	0.0427	28.45	2.39	"	ほぼ安定
11	砂(C)	0.49	2.747	1.77	15.00	0.0177	16.13	1.54	1.73	全く移動なし
12	"	"	"	4.15	17.45	0.0415	26.64	2.36	"	上流端より 1/3 付近から下流側にかけ移動
13	"	"	"	6.34	11.45	0.0634	26.67	3.22	"	上流側より 1/3 付近から下流側で移動
14	"	"	"	4.96	11.45	0.0496	23.59	2.58	"	ほぼ移動なし
15	砂(D)	1.30	2.768	3.85	17.05	0.0385	25.36	2.28	2.76	全く安定状態
16	"	"	"	6.25	19.20	0.0625	34.29	2.39	"	{中央部より下流側において数ヶ所限界状態に達した所あり
17	"	"	"	9.15	21.15	0.0915	43.55	3.51	"	上流端から下流端まで粒径の1倍~2倍の層になって移動
18	"	"	"	9.61	14.97	0.0961	37.52	3.59	"	限界状態す前
19	"	"	"	12.68	14.95	0.1268	43.10	4.13	"	ほぼ全面にわたって限界状態
20	砂(G)	0.413	2.737	4.45	13.55	0.0445	24.31	2.43	1.68	限界状態、粒子1つぐらいの層で移動
21	砂(G)	"	"	3.28	12.55	0.0328	20.09	2.09	"	移動なし
22	アンバー ライト	0.255	1.300	1.08	18.60	0.0108	14.03	1.20	0.79	限界状態す前、1カ所わずかに巻き上げ状態あり
23	"	"	"	1.46	19.30	0.0146	16.62	1.40	"	完全移動状態
24	石炭粉	0.233	1.580	0.81	18.65	0.0081	12.17	1.04	1.01	限界状態す前、中央部に一部浮動あり
25	"	"	"	1.35	19.60	0.0135	16.10	1.34	"	完全移動状態
26	砂(I)	0.210	2.673	1.76	19.65	0.0176	18.41	1.54	1.49	中央部に一部限界状態に達した所あり
27	"	"	"	3.17	21.00	0.0317	25.54	2.06	"	中央部より下流は完全に拡散状態、上流端では移動なし
28	砂(F)	0.30	2.787	2.02	19.90	0.0202	19.85	1.65	1.59	移動なし
29	"	"	"	2.87	17.25	0.0287	22.03	1.96	"	下流側より 1/3 ぐらいの点まで限界状態
30	"	"	"	1.59	16.10	0.0159	15.84	1.46	"	完全に安定状態
31	アンバー ライト	0.255	1.300	0.80	18.40	0.0080	12.01	1.03	0.79	限界状態

図-4 抵抗係数のレイノルズ数による変化

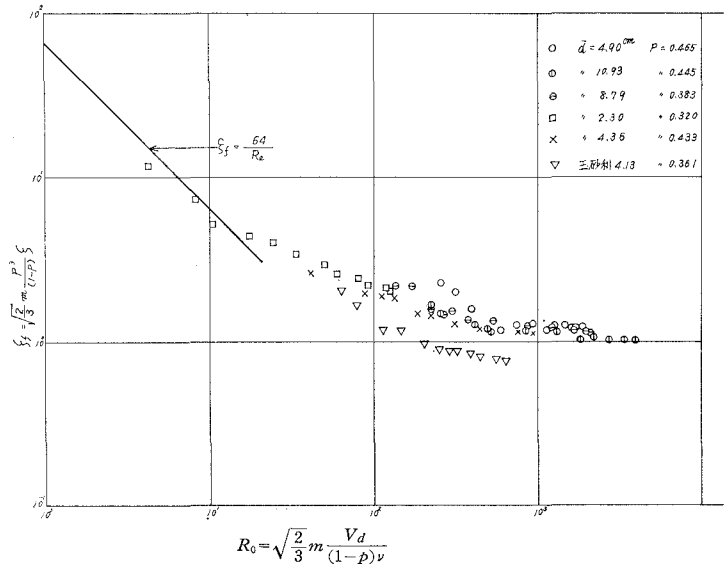
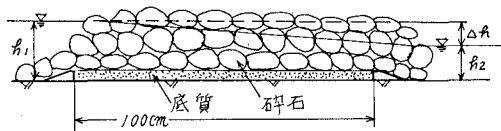


図-5 定常流下のフィルター模型



よれば、ほぼ式 (10) が成立し、この
ような考え方で捨石フィルター下の砂
の移動限界を推定できることがわか
る。なお、表-1 には通常の摩擦速度
算定式 $u_*' = \sqrt{g h I}$ より求めた値を付
記してあるが、 u_{*c} と比較するとオー
ダーが異なり、このような計算は当然
のことながら適用できない。

つぎに、表-2 はマットの効果を調
べたものである。図-5 において、捨
石と砂の間に透過性および不透透性の
マットを敷き、種々の条件で砂の移動
限界を調べた。表-1 と比較すると、
マットを敷いた場合は u_* が u_{*c} より
かなり大きくならないと砂の移動が
起こらないことがうかがえる。とくに
不透透の場合は、この程度の動水勾配
ではまったく砂移動が起こらず、相当
に効果的であることが認められる。

4. 根固工模型実験

以上の検討により捨石フィルター中
の水利現象がかなり明らかとなったの

表-2 マットを敷いた場合の砂の移動限界

実験 番号	マット	底 質	粒 径 $d(\text{cm})$	比 重	dh (cm)	$\frac{h_1+h_2}{2}$ (cm)	I	u_*' (cm/sec)	u_* (cm/sec)	u_{*c} (cm/sec)	底 質 移 動 状 況
1	A	砂(E)	0.26	2.7000	7.10	19.70	0.0710	37.02	4.06	1.55	移動せず
2	"	"	"	"	10.15	22.35	0.1015	47.15	4.85	"	局部的にやや移動
3	"	"	"	"	11.04	23.10	0.1104	49.99	5.06	"	完全移動
4	B	"	"	"	6.56	19.65	0.0656	35.54	3.90	"	移動せず
5	"	"	"	"	11.19	24.20	0.1119	51.52	5.09	"	移動限界, 下流側 1/3 限界状態
6	"	"	"	"	14.64	27.10	0.1464	62.36	5.83	"	かなり移動
7	C	"	"	"	4.26	17.60	0.0426	27.11	3.14	"	全く移動せず
8	"	"	"	"	10.42	23.75	0.1042	49.25	4.92	"	下流側 1/3 付近で若干移動
9	"	"	"	"	12.74	26.45	0.1274	57.47	5.44	"	"
10	"	"	"	"	14.15	61.47	0.1415	61.47	5.73	"	移動限界
11	D	"	"	"	8.54	21.40	0.0854	42.32	4.45	"	全く移動せず
12	"	"	"	"	16.28	28.75	0.1628	67.73	6.14	"	"
13	"	"	"	"	20.15	32.50	0.2015	80.11	6.84	"	移動せず
14	A	砂(B)	0.86	2.6749	9.19	22.00	0.0919	44.51	4.62	2.17	"
15	"	"	"	"	16.25	28.85	0.1625	67.78	6.14	"	"
16	"	"	"	"	21.10	33.25	0.2110	82.92	7.00	"	"
17	B	"	"	"	13.56	26.25	0.1356	59.06	5.61	"	"
18	"	"	"	"	20.56	33.35	0.2056	81.97	6.90	"	若干移動
19	C	"	"	"	20.01	32.15	0.2001	79.40	6.81	"	移動せず
20	"	"	"	"	22.64	35.25	0.2264	88.44	7.25	"	"
21	D	"	"	"	12.81	25.35	0.1281	56.41	5.45	"	"
22	"	"	"	"	23.90	34.25	0.2390	89.57	7.44	"	"
23	A	砂(C)	0.49	2.7469	14.61	26.90	0.1461	62.06	5.82	1.73	"
24	"	"	"	"	18.99	31.50	0.1899	76.57	6.64	"	"
25	"	"	"	"	21.66	33.80	0.2166	84.70	7.09	"	下流端より移動開始, 限界状態になる
26	B	"	"	"	9.93	22.15	0.0993	46.43	4.80	"	移動せず
27	"	"	"	"	14.71	26.40	0.1471	61.69	5.84	"	下流端より若干移動
28	"	"	"	"	18.57	29.30	0.1857	73.02	6.56	"	移動限界
29	C	"	"	"	9.18	21.70	0.0918	44.18	4.61	"	全く移動せず

A: 透過性マット (フェルト状厚さ 7mm) B: 透過性マット (布状重量 120 g/m²) C: 透過性マット (布状重量 166 g/m²)
D: 不透透性マット (厚さ 1mm)

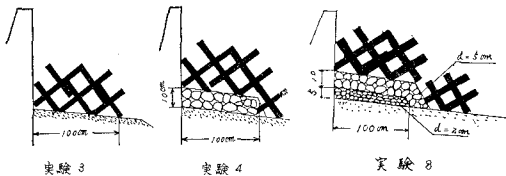
で、これらの知識を活用しながら、有効な根固工法について実験的に検討してみる。

(1) 実験方法

鹿島試験所内の大型造波水路（長さ 80 m, 幅 2 m, 深さ 4 m）中に平均粒径 0.8 mm の砂を約 1/15 勾配に敷き、まず、無堤で波高 60 cm, 周期 5 sec の波を当てて堆積型の平衡海浜をつくった。ついで、その海浜のほぼ汀線付近に鉛直堤を置いて、波高 60 cm, 周期 3.5 sec の波を当ててのり先の洗掘状況を調べ、さらに種々の根固工を設置してその効果を検討した。

根固ブロックとしては、30 kg の 6 脚ブロックを使用し、捨石フィルターとしては適当な大きさの砕石を用いた。根固工の概要図は図-6 のとおりである。実験 7, 9, 11 の場合も実験 8 の形状とほぼ同じである。また、マットとしては不透過なもの（厚さ 1 mm）を使用した。

図-6 根固工模型の概要



主な測定項目は、海浜形状の変化、根固工周辺の変化、うちあげ高、根固工前面の水位などである。また、測定時間は実験開始後、30 分、1 時間、2 時間、4 時間、8 時間、10 時間としたが、例外的に 15 時間継続したものもある。

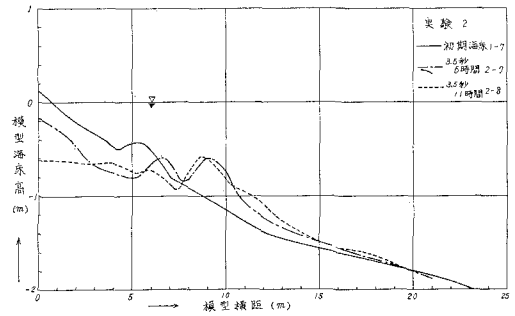
表-3 は実験ケースの一覧表である。

(2) 実験結果

図-7 は実験 2 の結果を示したものである。

実験 1 の 10 時間後の海浜上のほぼ汀線付近に鉛直堤を置いて波を当て、根固工のない場合の洗掘状況を調べた。当初実験 1 と同じ波を当てたが、洗掘が小さく根固

図-7 堤防のみ設置した場合の海浜変化



工の効果の判定に不適当なので、途中から周期を 3.5 sec にした。11 時間後の状況でのり先高は -60 cm となっている。

実験 3 では、実験 1 の 10 時間後の海浜に周期 3.5 sec, 波高 60 cm の波を 4 時間作用させたのちの海浜を初期海浜とした。この場合、鉛直堤ののり先水深は 12 cm である。以後の実験ではすべてこの初期条件を採用した。

堤防の前面に 6 脚ブロックの 3 列 2 層積みの根固工を設置してその効果を調べたが、ブロックの下の砂の移動を阻止できず、砂はブロックの空げきを通して吸い出され、ブロックは沈下し、図-8 に示すように、海浜の

図-8 異形ブロックのみの根固工を設置した場合の海浜変化

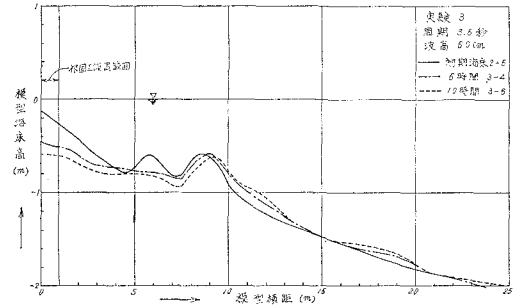


表-3 根固工実験ケース一覧表

実験番号	実験目的	初期海浜の形状等	根固工の形状	波高 (cm)	周期 (sec)
1	堆積型海浜の作製	初期勾配 1/15, 堤防なし	根固工なし	60	5
2	堤防のみの場合の前面洗掘の把握	実験 1 の 10 時間後の海浜, 堤防汀線付近に設置	根固工なし	60	5 3.5
3	ブロックのみを用いた根固工の効果	実験 2 の 8 時間後の海浜, 堤防のり先水深 12 cm	ブロック, 3 列 2 層積み	60	3.5
4	捨石フィルターの効果	上に同じ	ブロックの下に粒径 5 cm の砕石を 10 cm 厚に設置	60	3.5
7	捨石フィルターの効果	上に同じ	粒径 6~8 cm の砕石 10 cm 厚 粒径 3~4 cm の砕石 5 cm 厚	60	3.5
8	捨石フィルターの効果	上に同じ	粒径 6~8 cm の砕石 10 cm 厚 粒径 2 cm の砕石 5 cm 厚	60	3.5
9	捨石フィルターの効果	上に同じ	粒径 6~8 cm の砕石 10 cm 厚 粒径 1 cm の砕石 5 cm 厚	60	3.5
11	マットの効果	上に同じ	粒径 6~8 cm の砕石 10 cm 厚 不透過性のマット 1 mm 厚	60	3.5

変化の様相は実験2の場合とほとんど同じである。

実験4～9は種々の粒径の砕石を用いて捨石フィルターをつくり、その効果を検討したものである。実験4の場合は捨石粒径5cmであるが、10時間後の洗掘状況は実験3に比較すると、堤防のり先でやや小さくなっているようであるが、全般的に実験3の結果に近く、フィルターとしての作用を十分に果たしていない。

実験7, 8, 9は砕石を2層にし、上層は一定の大きさにして、下層の粒径を3～4cm, 2cm, 1cmにしたものである。図9(b)～(d)をみるといずれもフィルターとしての効果が現われ、のり先洗掘が小さくなっている。とくに、下層の粒径が1cmの実験9の場合、根固工付近のみを示しているが、のり先洗掘はほとんど起こっていないことがわかる。

一方、根固工の先端部は著しく洗掘されているが、量的には実験7, 8, 9ともほぼ同じである。図9(d)によれば捨石フィルターは全般的に薄くなり、その分だけ長くなった状態で前傾している。前面の洗掘部にはあらかじめ捨石の前面保護用においたブロックが沈下し、捨石のこれ以上の散乱を防止している。事実、ブロックより沖側への捨石の散乱は認められなかった。フィルター上部のブロックは一般にやや前方にずり落ち、当初堤防に接していたブロックが最終的には堤防を数10cm離れる状況を呈した。このようにのり先洗掘により根固工全体が急勾配で前に傾き、著しく不安定のようにみえるが、実験にはブロックの押え効果がよく効いており、全般的にはかなり安定した状況であった。もちろんこのためには、少なくとも根固工先端部のブロックは重量の十分に大きいものであることが必要である。

表4は実験4～9において測定したうちあげ高、堤防より2mの距離のうちあげ高測定時における水位、および両者から計算した水面勾配を示したものである。これによると、水面勾配は0.03～0.05となっている。この水面勾配で捨石中に流れが生ずるものとして、それによる掃流力を限界掃流力以下におさえるのに必要な粒

表4 実験4～9におけるうちあげ高および堤防前面の水面勾配

実験番号	実験時間(hr)	うちあげ高(cm)	2mの位置における水位	水面勾配
4	2	25		
	6	25		
	10	35		
7	2	23	17	0.03
	6	25	17	0.04
	10	25	17	0.04
8	2	23	16	0.035
	6	24	15	0.045
	10	24	15	0.045
9	2	24	15	0.045
	6	24	17	0.035
	10	25	15	0.05

図9(a) 捨石フィルターをもった根固工を設置した場合の海浜変化 ($d=5$ cm)

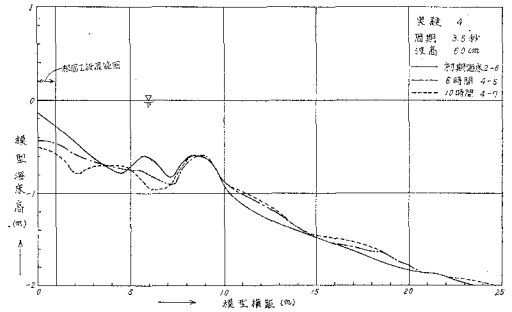


図9(b) 捨石フィルターをもった根固工を設置した場合の海浜変化 ($d=3\sim4$ cm)

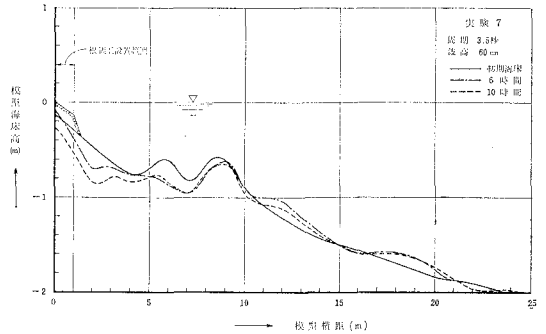


図9(c) 捨石フィルターをもった根固工を設置した場合の海浜変化 ($d=2$ cm)

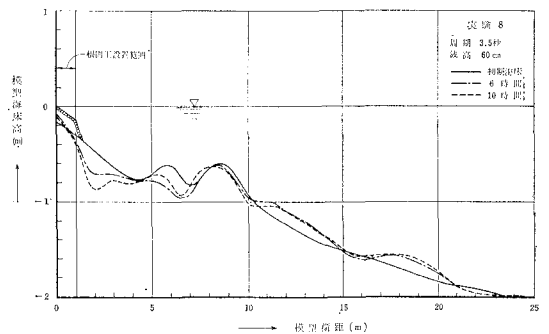
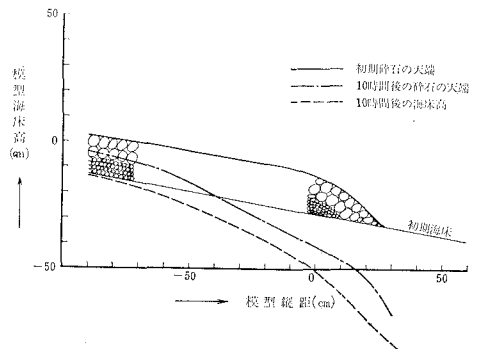


図9(d) 捨石フィルターをもった根固工を設置した場合の海浜変化 (実験9)



表—5 砂の移動をおさえるのに必要な碎石の粒径

I	R_p	d (cm)
0.03	0.164	4.02
0.04	0.123	3.02
0.05	0.0988	2.42

$$p=0.4$$

径を 3. の結果を利用して計算すると 表—5 のようになる。これによると、捨石フィルター材の粒径は 2 cm 程度あればよいことになり、実験 8, 9 の場合に、フィルター効果が大きいことと比較的よく一致している。しかし、図—9(d) の結果からもわかるように、砂の移動は完全には阻止されておらず、わずかではあるが移動しているようなので、上記の計算で現象が十分に説明されているわけではなく、さらに詳細に検討する必要がある。

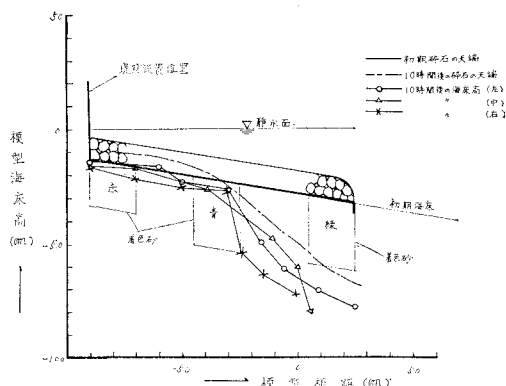
実験 11 は不透透性マットの効果を調べたものである。この場合には砂の流出状況を調べるため、マットの先端部、中央のり先の各部にそれぞれ、緑、青、赤の着色砂を入れた。実験結果を図—10 に示す。これは 15 時間後の根固工付近の変化状況であるが、堤防から 60 cm の地点まではほとんど完全に砂の移動がなく、それから先が根固工先端部の洗掘により沈下している様相がうかがえる。

この場合、碎石の粒径を 7 cm、間びき率を 0.4、動水勾配を 0.05 として u_* を計算すると 3.7 cm/sec となる。表—2 からこの程度の摩擦速度ではマットの下砂の移動はないと推定される。

以上の実験結果から、適切な捨石フィルター、マットの使用により、根固工下部からの砂の吸出しを防止することができるが、根固工先端部が洗掘されるため、斜面崩壊のような形式で先端から沈下が進行する傾向がある。

先に述べたように、先端部の洗掘による根固工全体の破壊は、大きなブロックを先端部に置くことにより防止しうから、根固工の長さを加減して先端部の洗掘の影響がのり先まで達しないようにすればよいと考えられる。図—9(d) および図—10 から、先端部はかなり急勾配に維持される。とくに図—10 の場合、傾斜角は $40^\circ \sim 45^\circ$ 程度となり、砂の安息角よりかなり大きな値となっている。したがって、もし前面の洗掘量が推定されれば、安全性を考えて、砂の水中における安定勾配程度の傾斜角で最深点より直線を引き、それがのり先より沖側で初期海浜と交わるように根固工の長さを決めれば、の

図—10 根固工周辺の変化状況 (実験 11)



り先の洗掘は避けられることになろう。根固工先端部の洗掘量を推定することはなかなか困難であるが、模型実験などによりある程度の見積りは可能であろう。

5. む す び

以上、異形ブロックを用いた根固工の捨石フィルター内の流れの把握、それに基づくフィルター効果の推定、マットの効果などについて述べてきたが、なお問題点が多く、結論的なものを述べる段階でないが、これまでに得られた結果をまとめるとつぎのとおりである。

(1) 上層と下層の各粒子の粒径比が 0.1 以下の場合、上層の大粒径のものによる下層の小粒径のものの移動阻止効果が期待される。

(2) 定常流下の捨石フィルター内の流速は式 (9) で与えられる。

(3) 定常流下の捨石フィルター下部の砂に作用する掃流力は式 (10) で与えられる。

(4) 異形ブロックの下に捨石フィルターまたはマットを置くことにより、堤防のり先の洗掘は防止される。その場合、捨石フィルターに用いる材料の粒径の選定には、上記の (2), (3) の結果が利用しうると考えられる。

(5) 捨石フィルター、マットなどを用いた場合、根固工先端の洗掘が大きいので、とくに重量の大きいブロックを先端に設置し、根固工全体の破壊を防止することが必要である。

参 考 文 献

- 1) 富永正照・坂本忠彦：礫の透水性について，第 23 回土木学会年次学術講演会講演概要，1968。