

サンド マスチック注入捨石の安定に関する実験的研究

加 川 道 男*・久 保 直**

1. 緒 言

サンド マスチック（アスファルト、石粉、砂の合材）を注入して、防波堤や護岸の基礎捨石を水中固結する工法は、合材の配合、温度等の施工管理を十分行なうならば、施工は比較的容易であり、その効果も大きいことが各地の試験工事や台風等の試験を経て認識されつつある。また他の補強工法に比して工費の点でも有利であることから広く用いられるようになった。さらに、サンド マスチック注入捨石は耐波性のみならず、水密性やその他の特性を有することから、積極的に捨石傾斜堤全体の補強工法として採用が行なわれ、したがって水中基礎部のみならず堤体陸上部の割石への注入がなされている。このようにサンド マスチック注入捨石の施工性の研究はすすみ問題は少なくなったが、耐波性についての把握がむずかしく、破壊機構についても不明であった。

サンド マスチック注入捨石の安定に関する考え方は、従来つぎのようであった。

（１）捨石の空げきにサンド マスチックを注入して、捨石相互間を結びつけ一体化し、耐波性を向上させるが、一体化する範囲はサンド マスチック投入の１バケット容量分のみで、それぞれが単独のブロックとして耐波し、その安定は捨石と同様に考えて Hudson 式で検討する。この考えはサンド マスチックの注入捨石の構造がたとえ不連続に注入されたとしても隣接面には空げきが生じないし、連続または重ね施工をするときは、ほとんど相互が一体として耐波するようになるからきわめて安全側の値すなわち不経済断面となりやすい欠陥があった。またシュート施工、その他の連続注入施工に対しては適用できない不便さがある。

（２）サンド マスチックを注入した捨石は一体として波力に抵抗するが、捨石個々は、揚圧力、その他の力で引き抜かれるものとする。そのため現地に標準のコンクリートブロックを捨石と同じ条件で埋め込み、マスチック注入後引抜試験を行ない、捨石の引抜抵抗を推定する。これはマスチック注入割石の強度を高く評価し、経済価値も大となる。しかし引抜試験と実際の捨石の引抜抵抗値との適合性の問題、マスチック堤破壊の機構の仮定について安全率をいかに採るかについて長年の

現場の観測に待たねばならない欠点がある。

この研究においては、サンド マスチック注入の捨石の安定について、従来の考え方に対しての適合性を検討し、より適正な設計法の指針となるべき破壊機構の把握と安定性の定量的な計算式の導入を目途として実験を行なったものである。

2. 実験方法

サンド マスチックのもつたわみ性、強度、摩擦力、形状からくる堤体の勾配の影響等、実験に際して水理上の相似性についてはかなり問題があったが、現段階においては、超大型の実験水槽で勾配を一定とし模型縮尺を 1/15 の大きなものを用いることによって、定性的にはもちろん適合性のある結果が得られるし、この程度の大規模のものでは上記誤差はきわめて小さく定量的にも信頼度の高いものが得られるという判断のもとに実験を行なった。

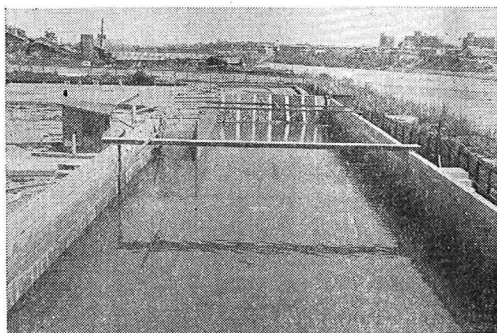
（１）実験設備

実験設備は大阪市立大学の大型実験水槽を使用し、海底勾配は水平、のり面勾配は 1/2、模型を 1/15 の縮尺で製作した。水槽の構造は水深 -2.0 m、幅 10 m、長さ 50 m である。実験波は 50 cm の波高、現地波に換算して 7.5 m 程度の波まで起こすことができる。造波機は無段変速器によって、0.8～3.5 sec の範囲で自由に変えることができる。波高については、電気抵抗線式波高計を 2 か所設置し、電磁オシロに記録させたが、目測波高も同時に観測した。写真-1 は実験設備の全景である。

（２）サンド マスチック注入捨石の模型

実験堤へのマスチックの流し込みに当り現地と縮尺の量的関係を検討するためつぎのようにした。まず現地の

写真-1 実験設備全景



* 正会員 運輸省第三港湾建設局 神戸調査設計事務所長

** 正会員 大阪市立大学助手 工学部

バケツ 0.8 m³ の 1/15 の縮尺で 475 g のマスチックを各種の碎石一層張りに対して流し込み、その流動性、流し込み面積を検討し、その結果より実験堤へのマスチック流し込みの大体の目安を得た。つぎに 1 バケツ相当のマスチックで単位面積当り最少何 kg まで施工できるかを検討し 150 kg/m² の見通しを得た。またおのおのの碎石について一層張石時の空げきを測定し、空げきを 100% 満たすサンド マスチック の量を計算した。以上の検討にもとづき碎石に サンド マスチック を流し込んで模型を製作した。実験堤の流し込みの実際量と空げき充填率は 表-1 のとおりである。

また、400 kg 石のマスチック量 200 kg/m² および 400

表-1 サンド マスチック実験堤の構造

順次	記号	碎石重量 W _p (kg)	サンドマスチック流し込み量 (kg/m ²)		空げき 充填率 (%)	備 考
			計 画 量	実 際 量		
第 1 回	A	200	150	169	41	写真-3
	B	200	300	316	86	
	C	400	200	183	40	
	D	400	400	393	85	
	E	900	590	590	97	
	F	六角マスチックブロック		585 kg	—	
第 2 回	A	600	250	275	52	
	B	600	500	521	98	
	C	900	300	324	53	
	D	900	600	598	98	
	E	1 200	350	369	55	
	F	1 200	750	703	109	
	G	六角マスチックブロック		2.3 t	—	

写真-2 (a) 模 型
(400 kg 割石, 200 kg/m² マスチック)

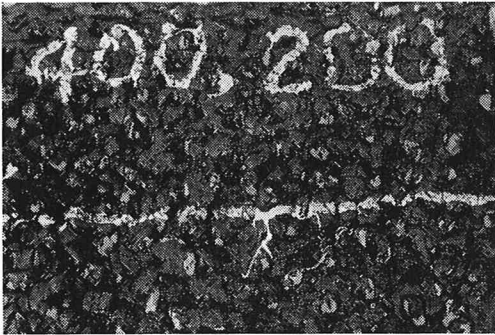


写真-2 (b) 模 型
(400 kg 割石, 400 kg/m² マスチック)

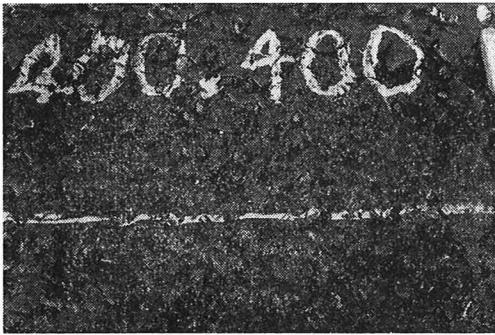


写真-3 (a) 模 型
200 kg 割石, 169 kg/m² マスチック表面

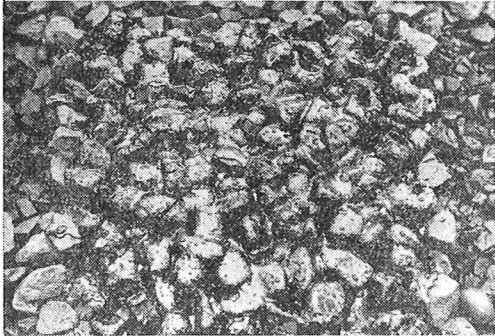
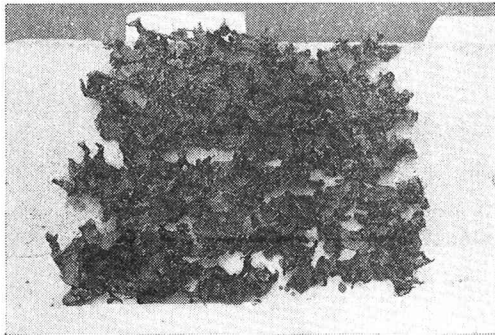


写真-3 (b) 模 型
(200 kg 割石, 169 kg/m² マスチック裏面)



kg/m² の模型を写真-2 に示す。

また 200 kg/石 に 200 kg/m² マスチック 注入模型の表面状況を裏返して碎石を取除いた状態すなわち碎石の空げきにマスチックを注入した状況を 写真-3 に示す。

これらのことから実物の施工状況にきわめて近似した模型であることが確認された。

(3) 予 備 実 験

実験を始めるに当って、マスチック堤がどのような状況を示すかについて予備知識を得るためと、実験設備の適合性と当初定量化の基準と 考えた Hudson 式をチェックするために予備実験を行なった。

実験規模は 1/15 の縮尺で、のり面勾配 1/2、玉石、碎石の重量は 130~160 g/個、水槽の水深は 60 cm、波

写真-4 実験堤の製作 (碎石一層張石)

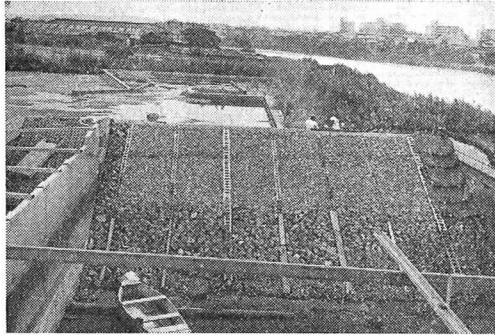


写真-5 実験堤の製作 (サンドマスチック流し込み)

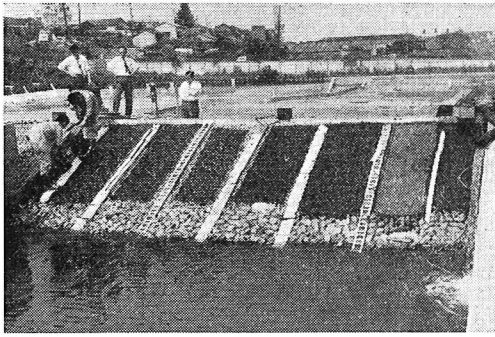


写真-6 砕石 (1.4 kg)

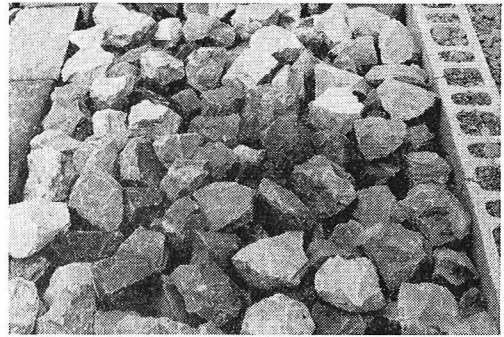
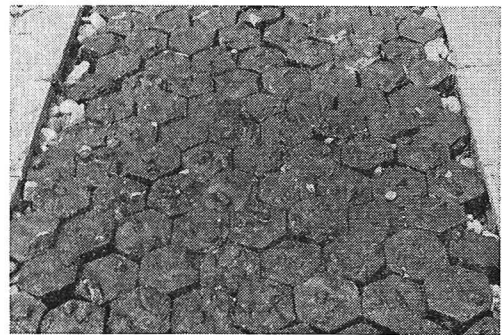


写真-7 マスチックブロック (1.4 kg)



高は 4.9~13.3 cm, 周期 1.2~1.83 sec (4.6~7.1 sec)
各石は 2 層積み (乱積み) とした。

実験の結果, K_d の値は, 玉石で 1~2, 砕石で 4~4.8 であった。

さらに 1.4 kg (4.7 t) 砕石を 2 層積みとし, 水深を 1.16~2.00 m に変化させ波形勾配を 0.0125~0.82, 波高 13.3~43.8 cm (1.99~6.57 m), 周期 1.30~3.32 sec (5.04~12.9 sec) に変化させて実験を行ない, $K_d=2.6$ ~3.8 を得ている。

同時に六角マスチック ブロック 1.4 kg (4.4 t) の安定を測定した結果 $K_d=15.5$ であった。

この実験の観察で波圧の強大な箇所は, 静水面付近であり, 周期の長い波, すなわち波形勾配のゆるいものは静水面より若干下部に最強波圧が起こりやすいことがわかった。

3. 実験結果と考察

実験は サンド マスチック 注入捨石堤を現地換算で, 200 kg, 400 kg, 600 kg, 900 kg, 1 200 kg の 5 種で空げきを全部マスチックで填充するものと, その半分を充填

表-2 実験結果 (第1回)

実験 番号	周 期		波 高		波長 波形 勾配		A 200 kg 石～150 kg/m ²	B 200～300	C 400～200	D 400～400	E 900～600	F 六角マスチック ブロック 173 g×15 ≒ 600 kg
	T _m (sec)	T _p (sec)	H _m (cm)	H _p (m)	L _m (m)	H/L						
1	1.55	6.0	0.9	0.9	—	—	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
2	1.55 1.54	6.0 5.97	8.5 9.3	1.23 1.40	3.40	0.027	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上
3	1.55 1.52	6.0 5.90	11.5 13.0	1.73 1.95	3.32	0.036	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上
4	1.55 1.52	6.0 5.90	19.9 19.5	2.75 2.93	3.46	0.056	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	転倒(中)
5	2.07 2.13	8.0 8.35	22.0 23.5	3.30 3.35	5.99	0.039	(-30 cm) 浮き上る	同 上	同 上	同 上	同 上	転倒(大) 以後補修
6	1.55 1.49	6.0 5.78	27.0 28.5	4.05 4.38	3.94	0.072	沈 下 3 cm 盛上り 3 cm	同 上	同 上	同 上	同 上	—
7	2.07	8.0	28.0	4.20	—	—	砕石抜け落ち 4	同 上	(-30 cm) 浮き上る	同 上	同 上	—
8-1	3.22 3.00	12.0 11.6	38.0 39.0	5.70 5.80	10.10	0.039	(-30 cm) 浮き上る	(-30 cm) 浮き上る	(-30 cm) 浮き上る	(-30 cm) 浮き上る	(-30 cm) 浮き上る	—
8-2	3.22	12.0	38.0	5.70	—	—	同 上	同 上	砕石抜け落ち(3個) 沈上盛上り初まる	同 上	同 上	—
9	3.22 3.05	12.0 11.8	42.0 45.0	6.30 6.75	10.5	0.043	砕石抜け落ち	沈下始まる	一部破壊 (-20～ -30 cm の位置)	同 上	同 上	—
10	3.22	12.0	34.0	5.10	—	—	砕石抜け落ち多いク ラック入る (5 cm)	沈下進行	破壊拡大せず	同 上	同 上	—
11	2.07	8.0	42.0	6.30	—	—	破壊 15×10 cm 沈 下抜け落ち (多)	同 上	クラック (10 cm) 破壊拡大	前回は比べ浮 き上り少ない	前回は比べ浮 き上り少ない	—

表-3 実験結果 (第2回)

実験 番号	実験 回数	周 期		波 高		波長 L_m (m)	波形 勾配 H/L	A	B	C	D	E	F	G
		T_m (sec)	T_p (sec)	H_m (cm)	H_p (m)			600 kg 石 ~250 kg/m ²	600~500	900~300	900~600	1200~350	1200~700	六角マス チックブ ロック
1	1	1.54	5.97	16~20 18.7	2.70 2.80	3.68	0.051	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし	変化なし
2	1	2.03	7.87	21~23 19.8	3.30 2.98	6.24	0.032	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上
3	1	1.55	6.01	27~28 28.3	4.13 4.34	4.05	0.071	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	転倒(小)
4	1	2.01	7.79	30~32 28.3	4.65 4.25	5.93	0.048	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	同 上	転倒(大) 以後補修
5	3	3.05	11.8	36~38 30.8	5.55 4.62	10.4	0.028	浮上り始まる (0.3 cm)	浮上り始まる (0.5 cm)	浮上り始まる (0.2 cm)	浮上り始まる (0.9 cm)	浮上り始まる (0.6 cm)	浮上り始まる (0.6 cm)	—
6	10	3.06	11.9	40 28.8	6.00 4.32	9.50	0.030	浮 (0.2 cm) 盛 (0)	浮上り 1.1 cm 盛上り 0.2 cm	浮上り 0.9 cm 盛上り 2.3 cm	浮上り 2.5 cm 盛上り 0.5 cm	浮上り 0.8 cm 盛上り 0.5 cm	浮上り (0.8 cm) 盛上り (0)	—
7	2	3.16	12.2	44 39.2	6.60 5.86	9.55	0.041	浮 (0.3) 盛 (0)	浮 (1.3) 盛 (0.2)	浮 (3.0) 盛 (2.3)	浮 (2.5) 盛 (0.5)	浮 (1.5) 盛 (0.5)	浮 (1.0) 盛 (0)	—
8	4	2.63	10.2	43 29.4	6.45 4.41	10.7	0.036	浮 (0.2) 盛 (0)	浮 (2.0) 盛 (0.2)	浮 (3.0) 盛 (2.3)	浮 (3.0) 盛 (0.8)	浮 (2.5) 盛 (1.0)	浮 (1.0) 盛 (10)	—
9	5	—	(10.0)	43	6.45	—	—	浮 (0.2) 盛 (2.0)	砕石抜け落ち 浮 (2.0) 盛 (0.2)	きれつ, 砕石 抜落ち 浮 (40) 盛 (2.3)	きれつ (5~10 cm) 浮 (3.5) 盛 (1.0)	きれつ (50 cm) 浮 (3.5) 盛 (1.0)	浮 (1.5) 盛 (0)	—
10	8	—	(12.0)	45	6.75	—	—	浮 (2.0) 盛 (4.0)	砕石抜け落ち 浮 (1.0) 盛 (0.5)	きれつ拡大 浮 (5.0) 盛 (1.3)	きれつ, 砕石 抜落 浮 (3.0) 盛 (2.8)	きれつ拡大 (1 m) 浮 (3.0) 盛 (1.0)	浮 (1.5) 盛 (0)	—

ただし、浮：静水面下 31.3 cm のマスチック層の浮上り量 (cm)

盛： * (30~40 cm) * 盛上り量 (cm)

するものの模型を実験した。実験装置の都合で2回に分けて行ない、同一のケース(900 kg 石)を1回のみ再現させるため2回行なった。このほかに、六角マスチックブロックを0.6 t/個と2.3 t/個について行なった。実験の結果は表-2,3,4のとおりである。

第1回の実験においては、当初気がつかなくて浮上り現象の始まる限界をとらえられなかったので表-2と表-3の実験結果は完全に対比していないし、また全く同一の波を造ることもできなかった。

第2回の実験においては、浮上り現象を測定する方法を考案し、また背後の水位上昇についても、どの程度のオーダーになるか、その時期はいつかを観測する装置を取りつけた。

実験の状況を写真-8に示す。

破壊現象については、つぎのようであった。

(1) 浮上り現象

これはマスチック層が水中部分で引き波の際に浮上る現象で、マスチック堤特有の現象といえる。マスチック堤の初期の破壊といえる。

(2) 割石の抜け落ち

マスチック層が浮上り現象が始まると同時に中詰(基層)との間に間隙を生じ、つぎの衝撃波によって局部的に打撃を受けるために曲げ状態を起こし、マスチック

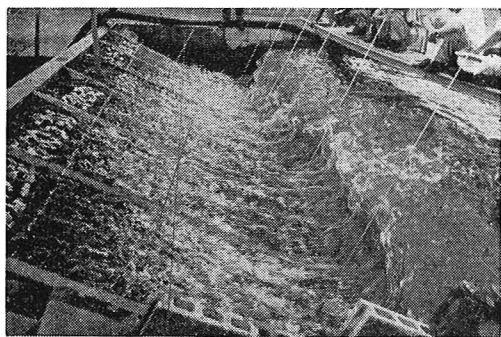
表-4 実験結果

実験 番号	砕石重量 W_p (kg)	サンドマス チック量 (kg/m ²)	空けき 充填率	マスチック 層の 重量 (t/m ²)	眼 界 波 高 H_p (m)		
					砕石のみ ($K_d=2.8$) (m)	浮上り 始め (m)	マスチック堤 (m)
1-A	200	169	41	0.75	1.24	3.30	4.2 で石抜落ち始まる 6.3 で破壊
1-B	200	316	86	0.90	1.24	5.10	5.7 で浮上り始まる 6.3 で破壊せず
1-C	400	183	40	0.95	1.56	4.20	5.7 で石抜落ち始まる 6.3 で破壊で
1-D	400	393	85	1.15	1.56	5.10	5.7 で浮上り 6.3 で破壊せず
2-A	600	275	52	1.11	1.78	5.55	6.8 で破壊せず
2-B	600	521	98	1.36	1.75	5.55	6.5 で石抜け落ち 6.8 で石抜け落ち (多)
2-C	900	324	53	1.29	2.02	5.55	6.5 で石抜け落ち 6.8 できれつ拡大
2-D	900	598	98	1.59	2.02	5.55	6.5 できれつ発生 6.8 で砕石抜け落ち
1-E	900	590	97	1.51	2.02	5.1	6.3 で破壊せず
2-E	1200	369	55	1.44	2.22	5.55	6.5 できれつ発生 6.8 できれつ拡大
2-F	1200	703	109	1.79	2.22	5.55	6.8 で破壊せず
1-F	六角マスチックブ ロック 584 kg	—	—	—	$K_d=15.6$	—	2.75 で転落
2-G	六角マスチックブ ロック 2.3 t	—	—	—	$K_d=13.4$	—	4.13 で転落

の固結力をゆるめて割石が抜け落ち、マスチック層から脱落する。今回の実験では層下に落ちるものはあったが、層上へ引出されて転落するケースはなかった。これはマスチックのかぶり良好であったためである。

(3) きれつと破断

写真-8 実験の状況



(2) の破壊が進むとマスチックだけの層となるために衝撃圧あるいは引き波によってきれつ破断が起こる。

(4) 沈下と盛り上り

くり返しの波による衝撃圧のかかる部分は、沈下を生じ、そののり下一帯は盛り上がりが起こる。これが顕著に現われたのは模型の製作に当って、細かい砂利を基層上に敷いたためである。沈下の最大箇所は静水面付近である。

盛り上の最大箇所は静水面下 40~50 cm のところである。この現象は浮上り現象と同時に背後に流れができて、基層の石が転落あるいは層の中へ入り込んでゆくものであろう。

破壊現象の断面図を 図-1,2 に示す。

図-1 破壊現象断面図 (沈下と盛り上り) 2-P (900~600)

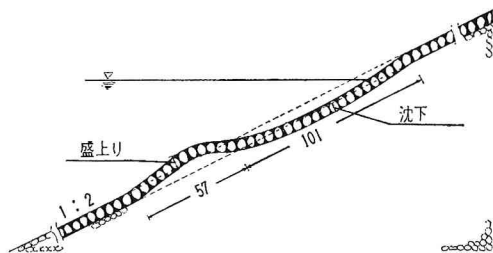
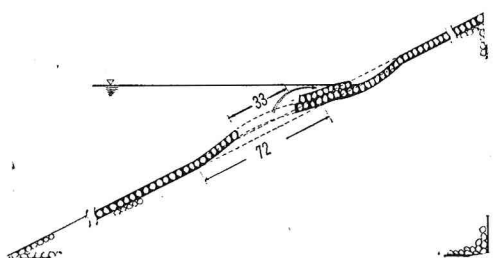


図-2 破壊現象断面図 (きれつ破壊) 1-C (400~200)



破壊現象を写真-9~11 に示す。

実験結果の考察

(1) 破壊に対する考え方

マスチック層の破壊は、コンクリート斜面の破壊あるいは捨石の転落破壊のような壊滅的な現象は急には起こらないで、浮上り現象がまず起こって沈下と盛り上りの現

写真-9 破壊現象



写真-10 破壊現象

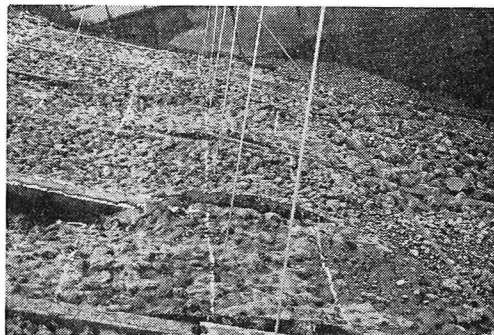
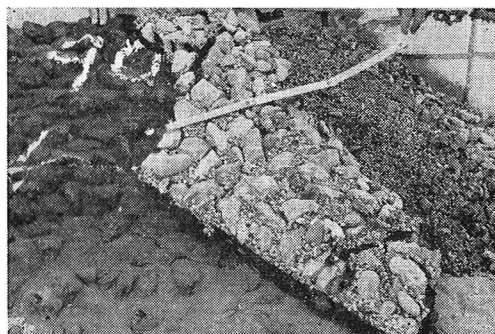


写真-11 破壊現象



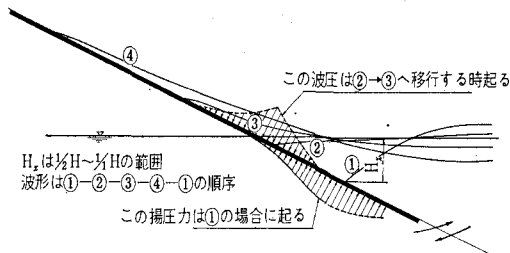
象が起こり、マスチック層が変形すると割石が抜け落ち、そのためマスチック自身も弱くなってきれつ破断という破壊に進行する。このことはマスチックのもつ強靱性 (引張、せん断、たわみ) によるもので合理的な現象といえる。

(2) 破壊過程と波圧の関係

マスチックの破壊現象のうち、浮上り、沈下と盛り上り現象は全般について起こっている。各断面の構造によってその程度の差はあるが、衝撃圧の当る範囲は沈下し、

それより下部一帯が盛上る。衝撃圧の当る部分は静水面からその下部一帯の範囲である。しかし盛上り現象の最大の原因は衝撃圧によるものではなく、層全体の浮上りによるものと思われる。すなわち層の浮上りが起こると同時に基層の石が転落し上部が沈下、下部が盛上るものである。層の浮上りについてはつぎのような事由によるものと考察される。

図-3 破壊現象図



図において波形は ①-②-③-④-① の順序でマスチック堤に働きくり返す。この時のマスチック層に働く力は衝撃圧と揚圧力である。波圧計を入れていないから定量的には把握できないが、定性的にはつぎのように考えられる。

① 半波高分の水位差ができる。② 水位差による静水圧が上向きに層の背後からかかる。③ $+a$ 分の引き波による負圧がそれを促進する。

実験で浮上り現象の生じた時の半波高分の水位差により静水圧は $20 \sim 25 \text{ g/cm}^2$ であり、層の重量は $8.1 \sim 16.4 \text{ g/cm}^2$ であるから、他を考慮しなくても浮上り現象が生じる状態にある。

(3) マスチック量と層の厚さ

同一重量の割石にマスチック量を十分注入したものと半分にしたものと2種を行なったが、マスチック量の少ないものが衝撃圧に対して弱いことがわかった。浮上り現象については、層の空げきが十分詰っていないために堤内の水が抜けて浮上り量は大きくならなかった。しかし波高を上げ、回数を増すにつれ割石の抜け落ち、きれつ破断へと進行した。マスチックの多い方はこの実験の範囲でも浮上り、沈下と盛上り現象以外に進行はしなかった。この実験では、割石の大きさの差による浮上り量の差は判然としなない。これは割石の大きさが $200 \sim 1200 \text{ kg}$ と6倍の差があるが、マスチック注入石の耐波性は割石の大きさに比例するのではなく単位面積当りの重量すなわち層の厚さに比例するわけで $\sqrt[3]{1} : \sqrt[3]{6} = 1 : 1.83$ となるに過ぎない。

(4) その他

この実験においては、模型の幅は 1 m に限定されているが実物は連続した長い幅を有するものと考え仕切り部分はマスチック量を多くして丈夫にした。また頂部および下部も同様に補強した。しかしながら実験では衝撃圧の加わる側面の仕切りブロックよりマスチック層が離

れ、弱点となっている。このことは実際のマスチック注入層でも縁端は強い波力を受けることになるから耐波性も実験値より相当低下するものと考えなければならない。

4. 結 論

以上の実験によりつぎのように考えられる。

(1) 従来の設計法に対して

a) パケット分の重量のサンド マスチック 注入塊として安定を考える場合：従来の捨石の $K_d (=2.8)$ を用いて Hudson 式を適用したが、完全に独立したブロックと考えても K_d の値は $13.4 \sim 15.6$ をとり得る。実際は連続して施工するから相互に密着するので K_d の値はもっと大きくとてよい。

b) ブロック化しない模型の割石の脱落以上の破壊については実験が不可能(空げき完全充填の場合)なくらい強いが、浮上り現象を破壊と考えて割石の重量に対する K_d を仮りに算出してみると、 $42(1.2 \text{ t}) \sim 84(0.6 \text{ t})$ となる。この値は砕石での $K_d = 2.8$ と比較すると $15 \sim 30$ 倍で従来の引抜試験の範囲(引抜ブロックの $20 \sim 40$ 倍)に対し、かぶり厚強度を差引くと考え方は異なるがほぼ近い値となる。

このことから従来の設計法は a) においては非常に安全側で不経済なものであり、これを用いる時は K_d の値を大きくとる必要がある。b) についてはやや不安であるといえる。

(2) 新しい設計法について

サンド マスチック 注入捨石の破壊機構は、従来の材料とは全く異なったマスチック堤特有のものである。すなわち浮上り、沈下と盛上り、割石の脱落、マスチックのきれつ破壊である。マスチックの注入量の多いものは、浮上り、沈下と盛上りの現象を生じ、その他の現象を生じるには現実装置では不可能なくらい強いものであることがわかった。マスチック注入量の少ないものは、浮上り、沈下盛上りはもちろんのこと割石の脱落、きれつ破壊をおこす。

浮上りについてはマスチック層の重量が関係するし、沈下と盛上りは基層の石の大きさに関連する。割石の脱落、マスチックのきれつ破壊はマスチックの量と強度によって定まるものである。したがって従来の設計法では合理的な設計ができない。

解明できた破壊現象から従来の設計法を改良してより適合する設計法はいかにあるべきかを考えるとつぎのとおりである。

① 破壊現象はマスチック量が割石の空げきを 50% 以上満たすよう十分注意して施工すれば、まず浮上り現象から始まる。したがって浮上り現象を防止するよう設計することが適当である。

② 浮上り現象を起こす波力の定量的な把握はむずかしいが、浮上現象を起こす力はマスチック層を波形が進行して生ずる上向きの圧力と考え、その力は波高に比例すると考える。

③ 浮上りに対抗するマスチック層は、中に包まれる割石の大きさには無関係で、単位面積当りのマスチック層の重量である。

④ 以上のことから波高 H の波力に対抗するマスチック層の所要量は次式で表わされる。

$$W = K \gamma_w H \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 γ_w : 水の比重 (t/m^3)

H : 波高 (m)

W : マスチック層の単位面積当り重量 (t/m^2)

$$W = \gamma_m t$$

γ_m : 割石とサンド マスチックの単位面積当りに占める平均比重

t : 平均層厚 (割石一層のみならず各層の接着が十分ならば 2~3 層にも適用できる)

K : 定数

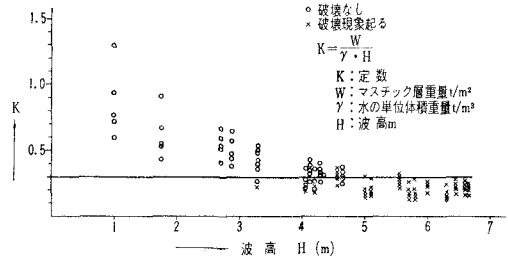
K の値はこの実験では 図-4 のごとく 0.2~1.2 t 石の範囲で波高 6 m 程度までの K の値の限界は浮上り始めに対して 0.26~0.32 であり、きれつや石の脱落等の破壊では 0.18~0.25 である。また実験堤の勾配は 1/2 であるが、実用勾配として代表させて差し支えないと思われる。したがって設計算式としては K の値を 0.3 にとるのが適当であろう。したがって式 (1) は、

$$W = 0.3 \gamma_w H \dots\dots\dots (2)$$

となる。

実際の設計に当っては、多少の浮上りを許す時は基礎に小さい石を敷きつめてはならない。これは沈下盛上りを促進するからである。マスチック量を少なくするために入れる目潰しの小石は大割石のすき間に入っているから移動は少ないだろう。また端部は安全率を大きくして

図-4 K 値 の 表



層厚を決めるか、他の方法で補強する必要がある。設計波高のとり方と安全率の決め方については、多くの実験と実物の経験値を必要とするが、現在までの結果を参考として適当に決める。

ここに参考として従来の港湾構造物の設計の考え方からして、マスチック層は捨石のように単体でなく一体として働くから設計波高は 1/3 有意義波高をとり、安全率を 1.2 とする。また、端部の安全率は 1.5 とする。

式 (3) は、

$$W = 0.36 \gamma_w H_{1/3} \dots\dots\dots (3)$$

$$(W = 0.41 \gamma_w H_{1/3}) \dots\dots\dots (4)$$

端部となる。上式を用いて算出したマスチック層の安定は従来の施工の実績と適合し妥当性を示している。

(3) 今後の問題

この研究によって、従来全く不明であったマスチック注入捨石の破壊現象を解明し、新たな設計法を提唱したわけであるが、実験回数が少なく、勾配、層厚の範囲も狭く、また破壊機構についても定量的な把握がなされていないので初期の変形をとらえて設計することにしたが、今後の問題としては実験の範囲を拡げ、定量的な把握と極限破壊現象を究明し、より合理的な設計法に発展させることである。

終りに臨み、本実験についてご指導を賜った大阪市立大学 永井教授に対し感謝を致します。