

フィルダムの上流斜面保護用の捨石について

木村 勝行 ・ 大根 義 男

Wave Action on the Upstream Slope of Fill Dams Protected with Dumped Rock Riprap

Katuyuki KIMURA, Yoshio OHNE

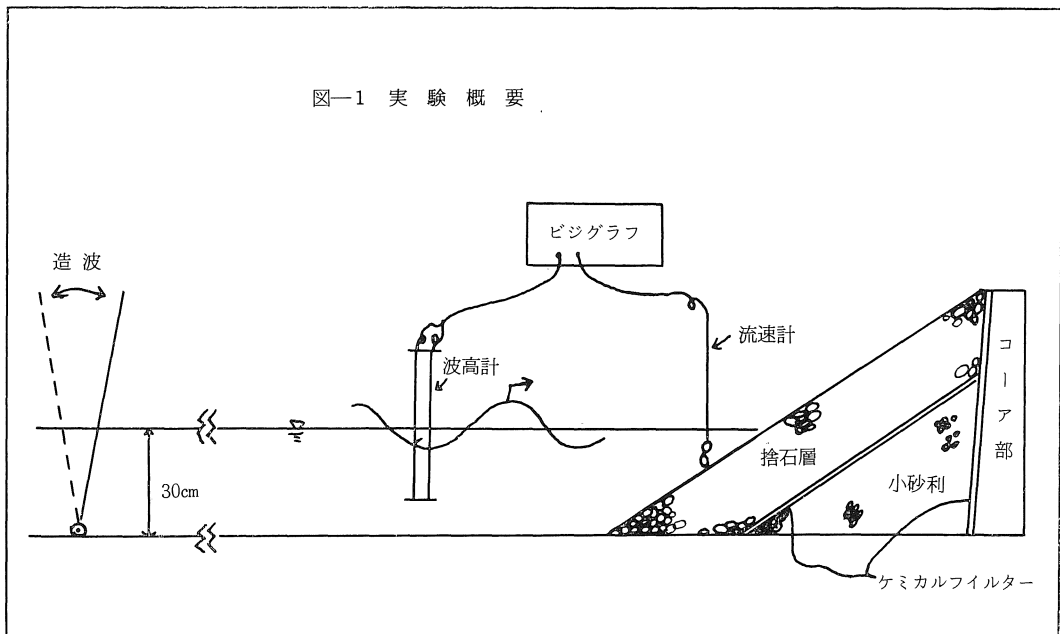
フィルダムの上流斜面の保護工法としては、現在捨石工法が最良であるといわれている。しかし、捨石工法に使用される捨石の粒径および粒径分布等について、その基準が確立されていない。そこで筆者らは種々の捨石材料を用い、斜面こう配および波高と周期等の関係を実験により求め、波のはいり高さや斜面上の流速分布等から、その抵抗性を検討した。この結果、効果的な捨石材料の粒径や粒径分布は斜面こう配および（波高）／（周期）² によって異なることが判明した。

1. まえがき

フィルダムは我国で年間約 100 位も築造されている。フィルダムの最も大きな特性は「ダムサイトの地質、地形および築堤材料の条件を選ばない」点である。コンクリートダムに適したダムサイトがほとんど開発されつくされてしまった今日、フィルダムのこの特性は、ますます大きな意味をもってきている。また最近における土質工学の目ざましい進歩、施工機械の大規模化などがこの傾向にいつその拍車をかけ、従来なら当然コンクリートダムが建設されたであろう場所にまでも、フィルダムが進出するほどになってきている。ところで、フィルダムの上流斜面は、波浪によって堤体が侵食されたり、貯水水位低下時に堤体材料が流出したりするので、これら

に対して何等かの保護を施さなければならない。保護工法としては捨石、張石、ブロック、鉄筋コンクリートライニング、アスファルトライニングなどが挙げられる。このうち経済性、耐久性、施工性などを総合すると捨石工法が最良であるといわれている。しかし捨石工法に限らず、これらの工法について現在のところ、その厚さ、粒径などに関する基準が確立されていない。したがって従来は単に個々の材料が波浪によって動かないことなどが条件となっているに過ぎなかった。このためその設計、施工に際しては絶えず、これらの事が討議され、そのつど、種々の見解が述べられている。そこで筆者らは先ず捨石工法を取り挙げ、捨石材料として最も効果的

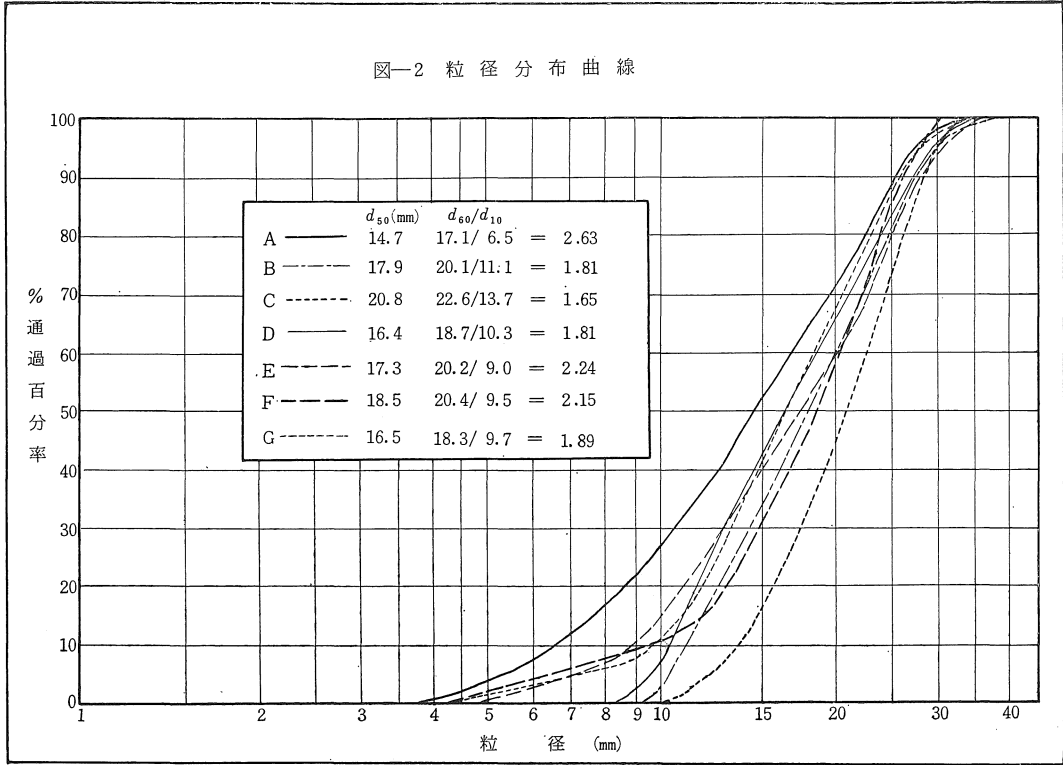
図一1 実験概要



な捨石の粒径および粒径分布を、波の高さおよび周期と波の斜面直前の流速およびはい上り高さの関係から見出すべく実験を行ってきた。その実験結果を報告する。

2. 実験方法

実験は図-1に示してあるように、造波水槽内に高さ70cm、幅90cmのダムを作り、捨石層の材料と波高、周期および斜面こう配をいろいろに変えて行った。捨石



層に使用した材料は、ふつうの砂利をフルイにかけ、各粒径の配合比を変えて作ったものである。図-2に各材料のフルイ分析曲線を示す。7種類の材料とも、比重2.62~2.63、単位体積重量1.63t/m³~1.66/m³、空ゲキ率36.5%~38.0%である。前面水深は各実験とも30cmである。なお、流速はプロベラ式の正逆流速計で、波高は抵抗式波高計で測定した。表-1は実験一覧表である。表-1中の波高およびはい上り高さは実験中の平均的な値をとってある。

実験番号①~⑤の実験は周期 T=0.8秒と一定に保って、波高Hを変化(4.5cm~11.0cmの範囲)させた時の、試料(A, B, C, D, E), 斜面こう配(1:1.5, 1:

2.0, 1:2.5) および H/T² (0.070~0.172) と流速およびはい上り高さとの関係を調べたものである。

実験番号⑥~⑧の実験は T=1.2秒と一定に保ち、Hを変化させた時の試料(E, F, G), 斜面こう配(1:15, 1:2.0, 1:2.5) および H/T² (0.030~0.075) と流速およびはい上り高さとの関係を調べたものである。

実験番号⑨~⑯の実験はHをほぼ一定(9.2cm~10.0cm)に保ち、Tを変化(0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2秒)させた時のG試料斜面こう配および H/T² (0.065~0.156) とはい上り高さとの関係を調べたものである。

表-1 実験一覧表

試料名	実験番号	斜面こう配	d ₅₀ (mm)	d ₆₀ /d ₁₀	波高H (cm)	周期T (sec)	はい上り高さ R (cm)	H/T ² (m/sec ²)	R/H
	①	1:1.5	14.7	2.63	6.2	0.8	5.0	0.097	0.81
	②	〃	〃	〃	8.9	〃	6.4	0.139	0.72
	③	〃	〃	〃	9.6	〃	6.7	0.150	0.70

	40	1 : 2.5	〃	〃	6.2	〃	3.0	0.097	0.48	
	41	〃	〃	〃	7.2	〃	4.4	0.112	0.61	
	42	〃	〃	〃	8.1	〃	5.6	0.127	0.69	
	43	〃	〃	〃	11.0	〃	6.7	0.172	0.61	
E	44	1 : 1.5	17.3	2.24	5.5	〃	4.4	0.086	0.80	
	45	〃	〃	〃	7.5	〃	6.1	0.117	0.81	
	46	〃	〃	〃	8.5	〃	7.8	0.133	0.92	
	47	〃	〃	〃	9.5	〃	8.9	0.148	0.94	
	48	1 : 2.0	〃	〃	5.0	〃	3.1	0.078	0.62	
	49	〃	〃	〃	7.5	〃	4.9	0.117	0.65	
	50	〃	〃	〃	8.5	〃	6.2	0.133	0.73	
	51	〃	〃	〃	9.5	〃	6.7	0.148	0.71	
	52	1 : 2.5	〃	〃	5.4	〃	3.3	0.084	0.61	
	53	〃	〃	〃	6.5	〃	3.7	0.102	0.57	
	54	〃	〃	〃	7.8	〃	4.8	0.122	0.62	
	55	〃	〃	〃	10.0	〃	5.9	0.156	0.59	
	E	56	1 : 1.5	〃	〃	6.8	1.2	6.7	0.047	0.99
		57	〃	〃	〃	8.0	〃	8.3	0.056	1.04
58		〃	〃	〃	9.3	〃	10.0	0.065	1.07	
59		1 : 2.0	〃	〃	6.0	〃	4.5	0.042	0.75	
60		〃	〃	〃	7.3	〃	5.8	0.051	0.79	
61		〃	〃	〃	9.5	〃	7.1	0.066	0.75	
62		1 : 2.5	〃	〃	5.8	〃	3.3	0.040	0.57	
63		〃	〃	〃	7.5	〃	4.8	0.052	0.64	
64		〃	〃	〃	9.3	〃	5.9	0.065	0.63	
F	65	1 : 1.5	18.5	2.15	6.0	〃	5.0	0.042	0.83	
	66	〃	〃	〃	8.0	〃	6.9	0.056	0.86	
	67	〃	〃	〃	9.4	〃	8.9	0.065	0.95	
	68	1 : 2.0	〃	〃	5.4	〃	4.0	0.038	0.74	
	69	〃	〃	〃	7.8	〃	5.8	0.054	0.74	
	70	〃	〃	〃	9.7	〃	7.1	0.067	0.73	
	71	1 : 2.5	〃	〃	5.8	〃	3.0	0.040	0.52	
	72	〃	〃	〃	7.5	〃	4.5	0.052	0.60	
	73	〃	〃	〃	9.8	〃	5.6	0.068	0.57	
	74	1 : 1.5	16.5	1.89	5.9	〃	3.9	0.041	0.66	
	75	〃	〃	〃	7.8	〃	6.1	0.054	0.78	

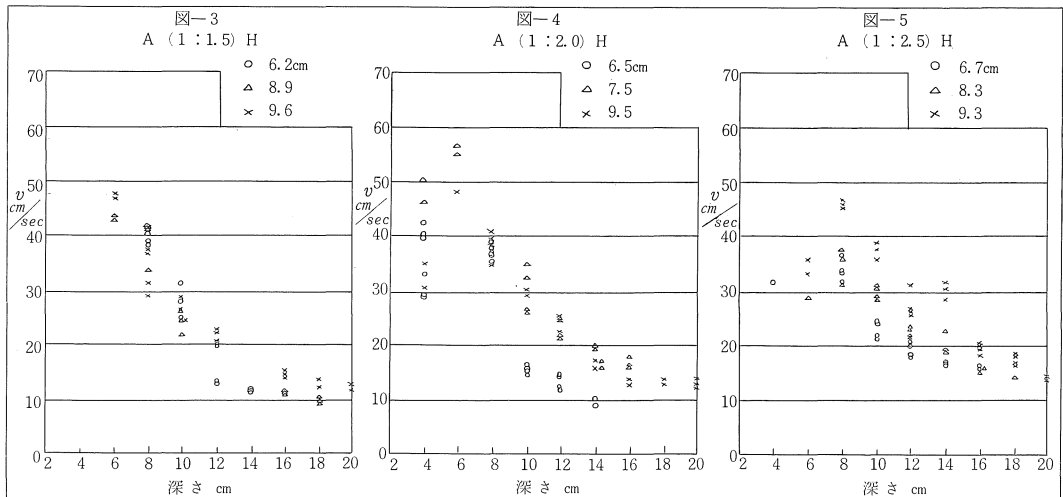
A	④	1 : 2.0	〃	〃	6.5	〃	3.6	0.102	0.55
	⑤	〃	〃	〃	7.5	〃	4.9	0.117	0.65
	⑥	〃	〃	〃	9.5	〃	6.3	0.148	0.66
	⑦	〃	〃	〃	10.5	〃	7.2	0.164	0.69
	⑧	1 : 2.5	〃	〃	5.2	〃	2.2	0.081	0.42
	⑨	〃	〃	〃	6.7	〃	3.0	0.105	0.45
	⑩	〃	〃	〃	8.3	〃	4.1	0.130	0.49
	⑪	〃	〃	〃	9.3	〃	5.6	0.145	0.60
B	⑫	1 : 1.5	17.9	1.81	4.8	〃	3.3	0.075	0.69
	⑬	〃	〃	〃	6.7	〃	3.9	0.105	0.58
	⑭	〃	〃	〃	10.0	〃	5.6	0.156	0.56
	⑮	1 : 2.0	〃	〃	5.1	〃	3.6	0.080	0.71
	⑯	〃	〃	〃	7.1	〃	5.0	0.111	0.70
	⑰	〃	〃	〃	7.9	〃	5.4	0.123	0.68
	⑱	〃	〃	〃	10.0	〃	5.8	0.156	0.58
	⑲	1 : 2.5	〃	〃	7.5	〃	2.6	0.117	0.35
⑳	〃	〃	〃	9.2	〃	5.2	0.144	0.57	
C	㉑	1 : 1.5	20.8	1.65	6.7	〃	3.9	0.105	0.58
	㉒	〃	〃	〃	9.3	〃	5.0	0.145	0.54
	㉓	〃	〃	〃	10.0	〃	6.7	0.156	0.67
	㉔	〃	〃	〃	10.8	〃	7.2	0.169	0.67
	㉕	1 : 2.0	〃	〃	6.0	〃	2.7	0.094	0.45
	㉖	〃	〃	〃	6.8	〃	3.6	0.106	0.53
	㉗	〃	〃	〃	8.2	〃	4.9	0.128	0.60
	㉘	〃	〃	〃	10.2	〃	5.4	0.159	0.53
	㉙	1 : 2.5	〃	〃	6.2	〃	2.2	0.097	0.35
	㉚	〃	〃	〃	7.9	〃	2.8	0.123	0.35
	㉛	〃	〃	〃	8.7	〃	3.9	0.136	0.45
	㉜	〃	〃	〃	9.7	〃	4.8	0.152	0.49
D	㉝	1 : 1.5	16.4	1.81	4.7	〃	3.1	0.073	0.66
	㉞	〃	〃	〃	7.1	〃	4.4	0.111	0.62
	㉟	〃	〃	〃	8.3	〃	6.4	0.130	0.77
	㊱	〃	〃	〃	9.2	〃	7.8	0.143	0.85
	㊲	1 : 2.0	〃	〃	6.0	〃	3.8	0.094	0.63
	㊳	〃	〃	〃	7.2	〃	4.7	0.112	0.65
	㊴	〃	〃	〃	9.5	〃	6.5	0.148	0.68

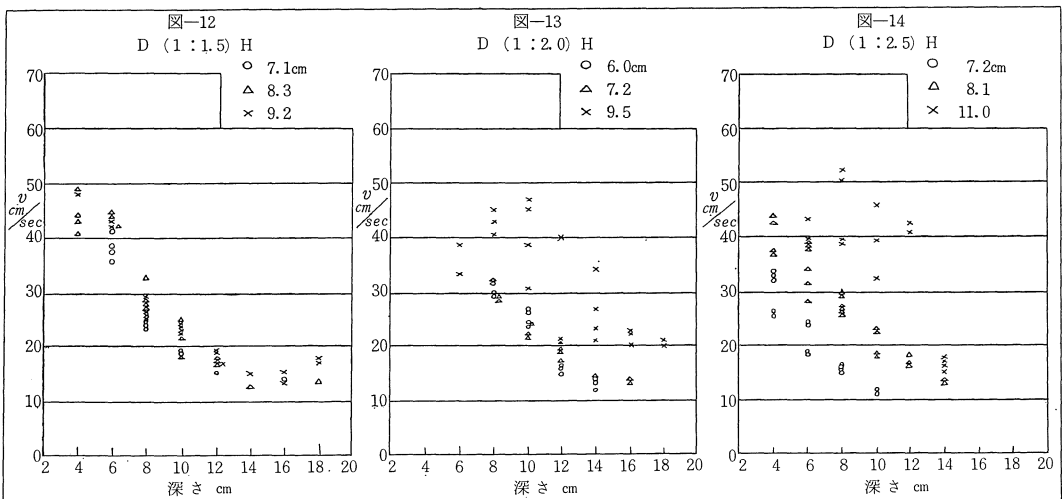
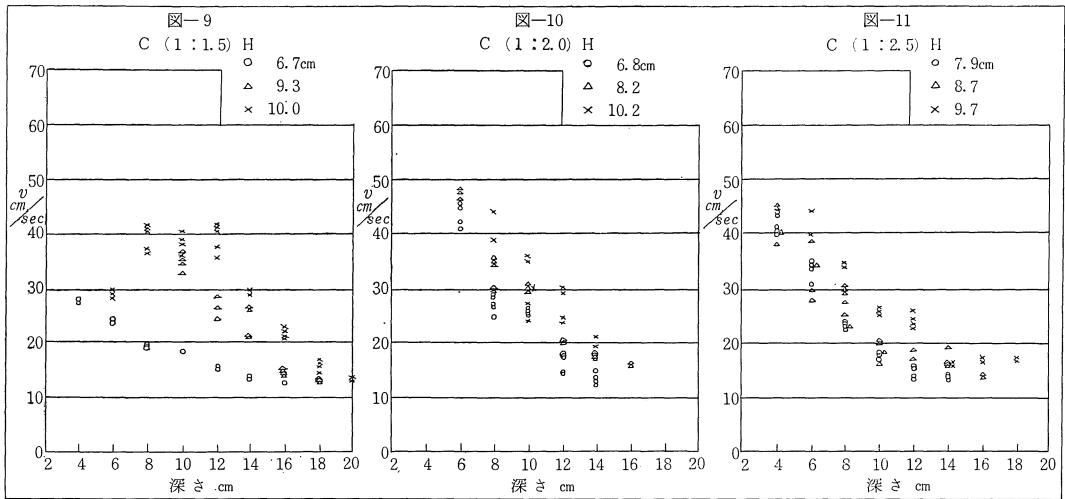
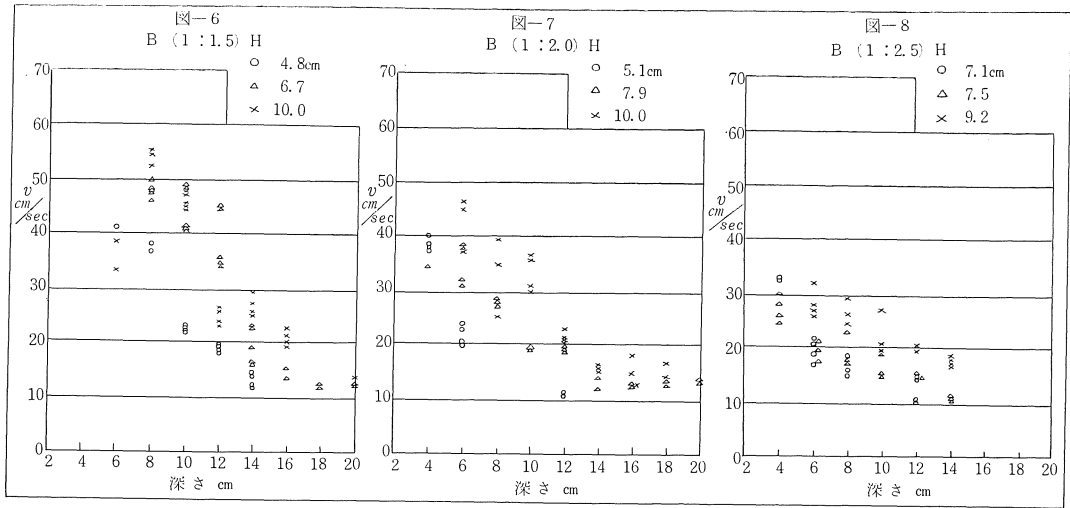
G	76	〃	〃	〃	9.2	〃	7.8	0.064	0.85
	77	1 : 2.0	〃	〃	5.6	〃	4.5	0.039	0.80
	78	〃	〃	〃	7.3	〃	6.3	0.051	0.86
	79	〃	〃	〃	9.2	〃	7.4	0.064	0.80
	80	1 : 2.5	〃	〃	5.2	〃	2.8	0.036	0.54
	81	〃	〃	〃	7.1	〃	5.2	0.049	0.73
	82	〃	〃	〃	9.7	〃	6.1	0.067	0.63
G	83	1 : 1.5	〃	〃	9.6	0.8	7.8	0.150	0.81
	84	〃	〃	〃	9.4	0.9	7.2	0.116	0.77
	85	〃	〃	〃	9.8	1.0	7.2	0.098	0.74
	86	〃	〃	〃	9.2	1.1	6.1	0.076	0.66
	87	〃	〃	〃	9.3	1.2	5.5	0.065	0.59
	88	1 : 2.0	〃	〃	9.6	0.8	5.4	0.150	0.56
	89	〃	〃	〃	9.5	0.9	6.7	0.117	0.71
	90	〃	〃	〃	9.8	1.0	6.7	0.098	0.68
	91	〃	〃	〃	10.0	1.1	6.7	0.083	0.67
	92	〃	〃	〃	9.5	1.2	6.7	0.066	0.71
	93	1 : 2.5	〃	〃	10.0	0.8	5.2	0.156	0.52
	94	〃	〃	〃	9.5	0.9	5.6	0.117	0.59
	95	〃	〃	〃	9.5	1.0	5.9	0.095	0.62
	96	〃	〃	〃	9.5	1.1	5.9	0.079	0.62
	97	〃	〃	〃	9.5	1.2	6.3	0.066	0.66

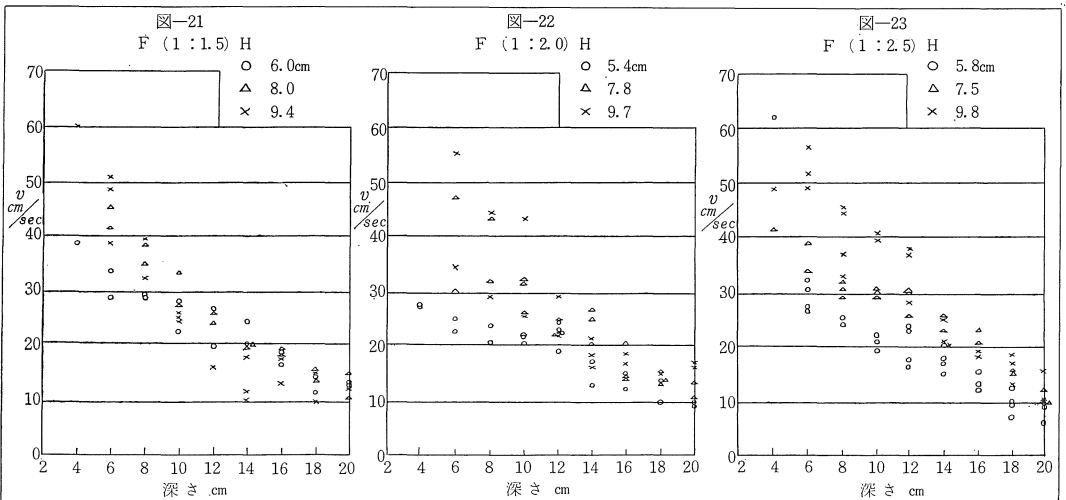
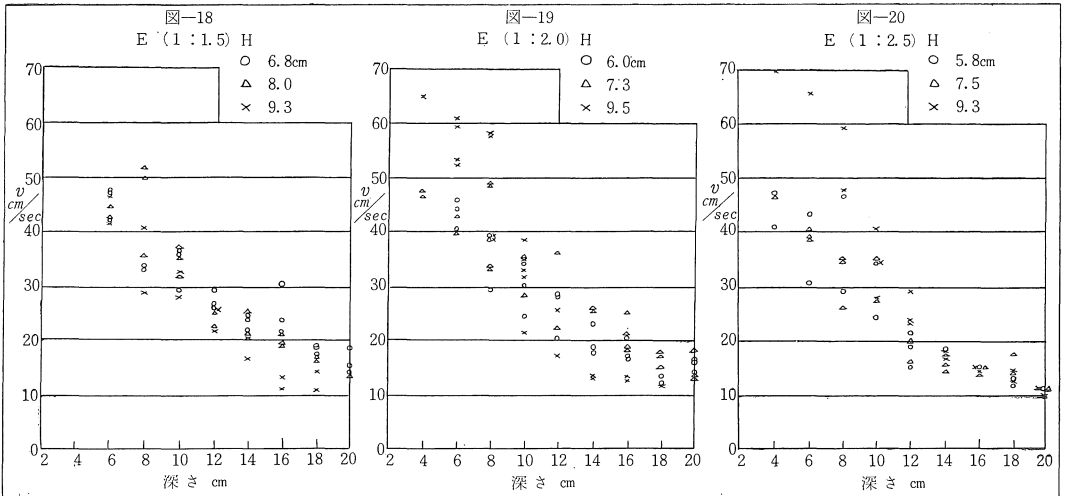
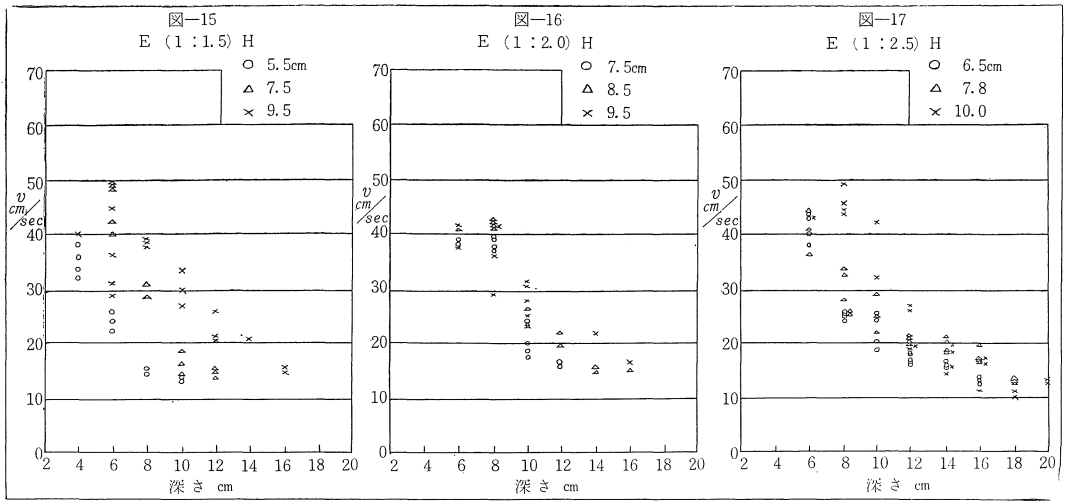
3. 実験結果および考察

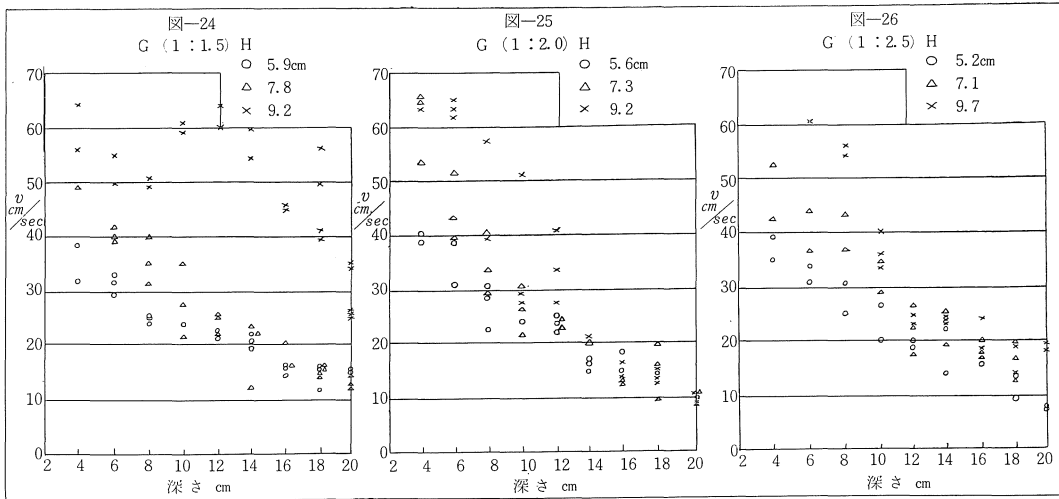
捨石材料として最適なもの、同一条件下において、流速をおそく与えるもの、かつまたはい上り高さと波高

との比 (R/H) の値の小さいものであると考えて実験結果に考察を加えてみる。







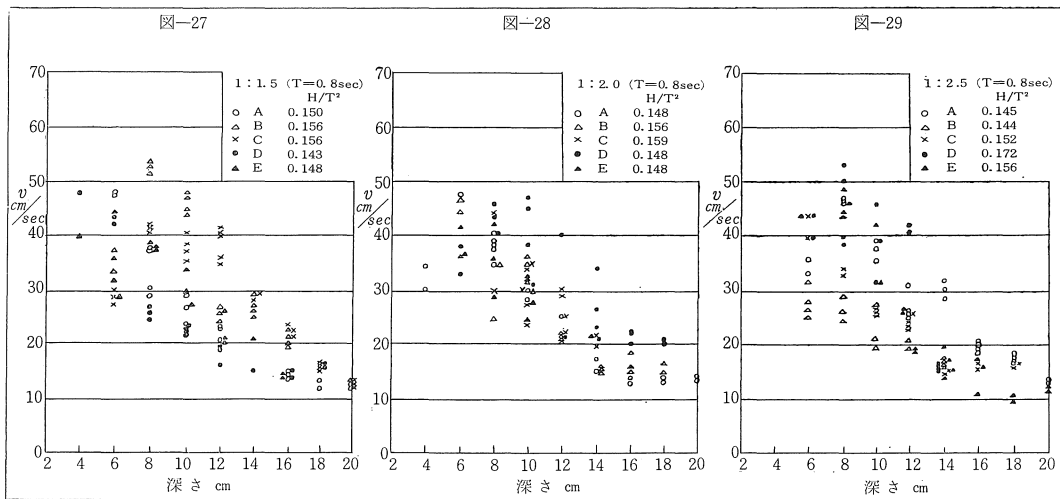


(1) 流速について

実験番号①～⑤の実験を示す図一2～図一16において全般的にいえることは、 H/T^2 の値が大きくなるにしたがって、対応する流速の値も大きくなる傾向にあるということである。そこで H/T^2 の値の大きい（流速のはい）実験（図中の×印のもの）に注目してみる。

図-27～図-29は図一3～図一17の×印の実験を斜面こ

う配別にまとめたものである。 H/T^2 の値が全部同じではないので上述のような判定で最適な捨石試料は決め難いが、不適当な試料ならば挙げる事ができる。すなわち1割5分の斜面こう配にはB, C試料, 2割にはD試料そして2割5分にはA試料が不適当である。

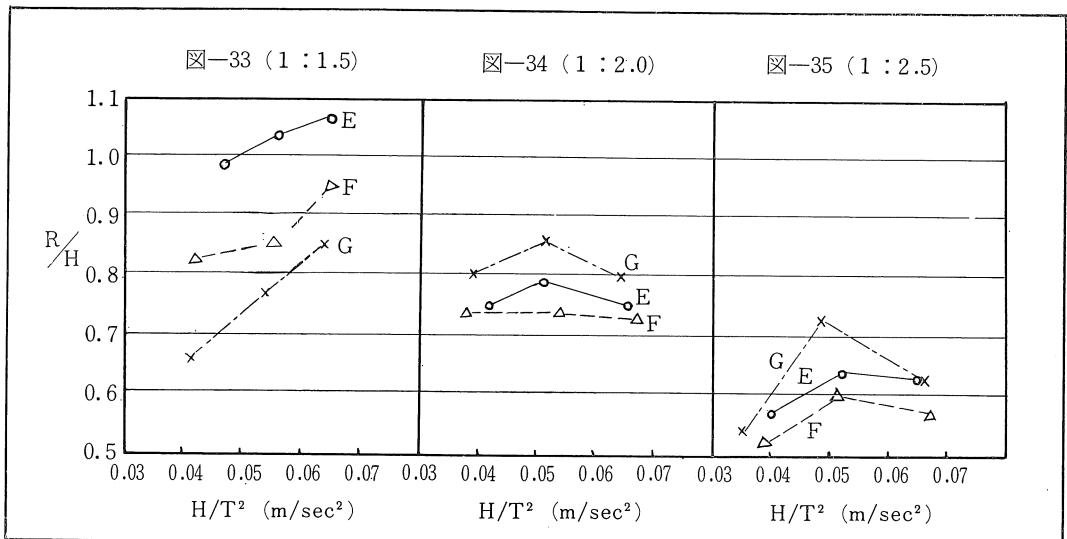
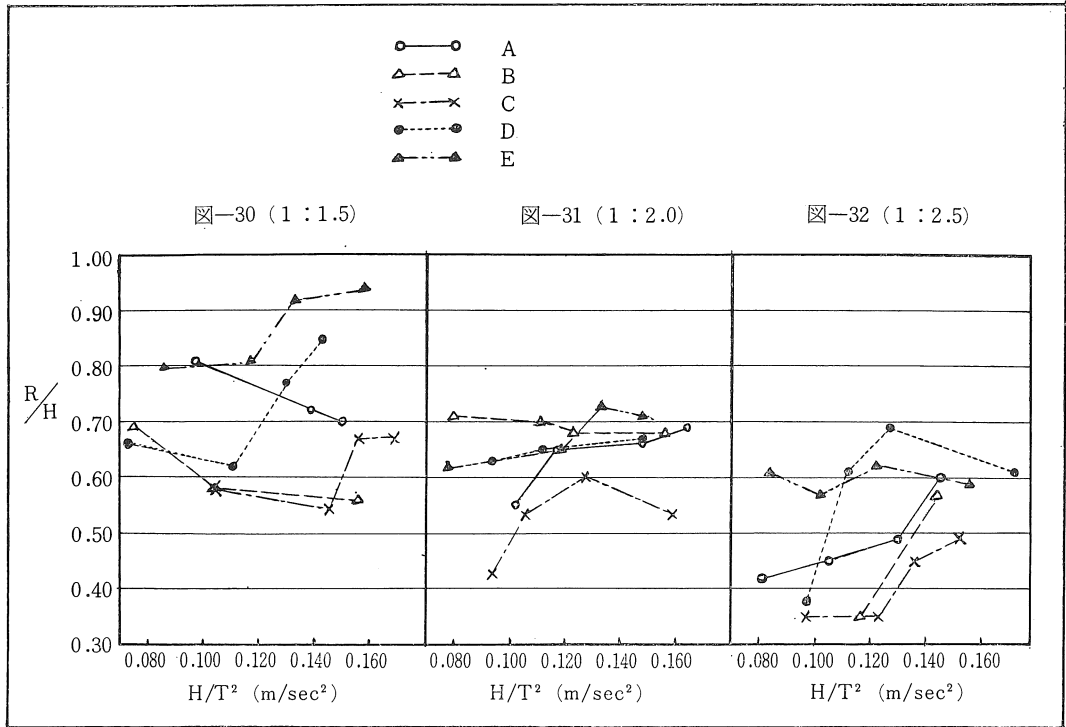


同様にして実験番号⑥～⑨の実験を示す図一18～図一26を検討してみる。試料別にみると、E試料では2割5分の斜面こう配における×印の実験 (H/T^2 の値の大きいもの) に対応する流速の値が大きいくらいで、その他のものには斜面こう配および H/T^2 の値による流速の差がほとんどみられない。F試料についてはE試料に述べたことがそのままあてはまる。G試料については H/T^2 の大きい値 (×印) に対応する流速の値を問題とすれば

よい。これらのことから1割5分および2割の斜面こう配にはG試料, 2割5分にはE試料が不適当であるといえる。

(2) はいり高さについて

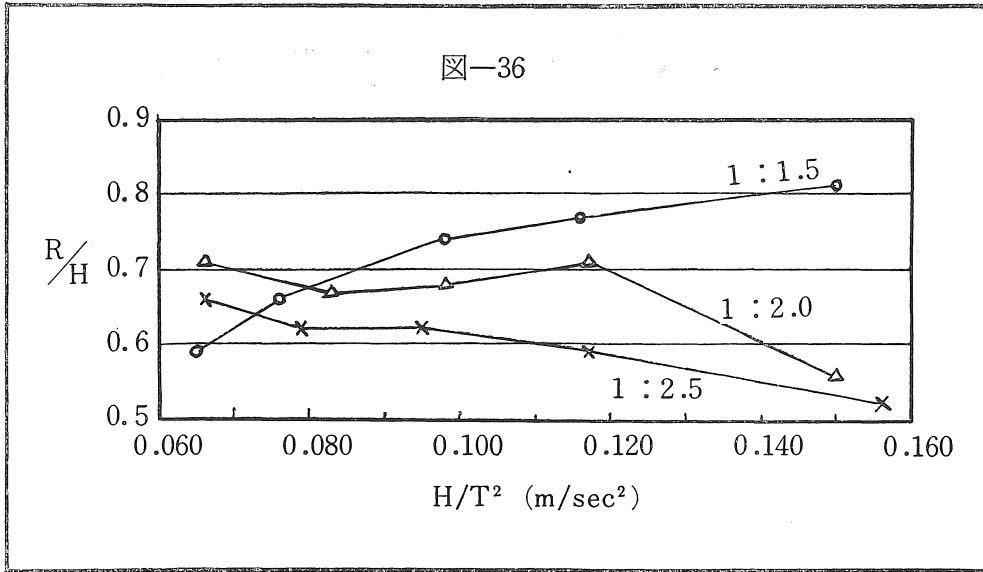
実験番号①～⑤の実験による H/T^2 と R/H の関係が図一30～図一32に示されている。これらの図からは H/T^2 と R/H との定性的な関係はつかみ難い。しかし前述のように同一条件下で R/H の値を小さく与える試料



が捨石材料として最適なものであるとするならば、 $T = 0.8$ 秒と一定であるからやはり H/T^2 の値に対応する R/H を問題にすべきであろう。そうすると 1割5分の斜面こう配にはE試料、2割5分にはD試料が不適当である。2割の斜面こう配にはとりわけ不適当であるという試料はないが、C試料が他の試料よりは適当であるといえる。

同様にして実験番号⑥～⑩の実験による H/T^2 と R/H

の関係を図図-33～図-35に示す。斜面こう配別にみると、3試料とも傾向がまったく同じであることがわかる。すなわち1割5分の斜面こう配に対しては、 H/T^2 の値が大きくなるにしたがって対応する R/H の値も大きくなっていき、2割および2割5分の斜面こう配に対しては、 H/T^2 の値が0.05近傍までは対応する R/H の値も大きくなっているが0.05以上の H/T^2 の値については R/H の値は小さくなっていっている。試料の捨石材料



の適否をのべるならば、1割5分の斜面こう配に対してはG試料、2割および2割5分の斜面こう配に対してはF試料が適するといえる。

図—36はは実験番号㉓～㉗の実験による H/T^2 を R/H との関係である。これまで述べてきた H/T^2 と R/H との関係は T を一定に保って H を変化させた場合のものであったが、図—36に示されているのは H をほぼ一定に保って T を変化させた場合の R/H と H/T^2 の関係である。図からG試料は1割5分の斜面こう配に適していることがわかる。この図で興味深いことは、従来、いかなる斜面こう配に対しても H/T^2 の値が大きくなるにしたがって R/H の値は逆に小さくなっていくとしていたのであるが、本実験でその逆の結果も得られたことである。

4. あとがき

フィルダム上流斜面保護に使用される捨石材料についての種々の実験と考察を加えてきたが、結論できることは最適な捨石材料は対象とする斜面こう配によって異なる。さらに H/T^2 によっても異なるということである。特

に H/T^2 の値については、例えば $H/T^2=0.10$ であってもそれが通常の風波による場合と暴風雨による場合とでは、意味するところが全く異なるということである。したがって、今後は暴風雨時の波浪を対象とするなどの限定した実験の結果の積重ねが必要と思われる。

参 考 文 献

1. 農林省農地局 土地改良事業計画設計基準
第3部設計 第1編フィルダム
2. SHRARD, J. L., WOODWARD, R. L.,
GIZINSKI, S.F. and CLEVENGER,
W.A. Earth and Earth-Rock Dams
John Wiley and Sons, Inc.
3. 大根, 西堀, 木村 フィルダムの斜面侵食について
土木学会第26回年次学術講演会講演集