

不規則波による潜堤被覆材の安定に関する研究

Stability of Armor Units for Submerged Breakwaters by Irregular-Wave Tests

竹田 英章*・菊地 聡一**・木村 克俊**・笹島 隆彦**・水野 雄三**

Hideaki. Takeda, Soichi. Kikuchi, Katsutoshi. Kimura, Takahiko. Sasajima and Yuzo. Mizuno

Irregular-wave model tests of the stability of armor units for submerged breakwaters were conducted. To assess the stability of the armor units, armor units segmented with colored stripes for reference were arranged on the surface of submerged breakwaters, and the wave height was gradually increased in 2-cm increments to determine the damage ratio. The required weight for an armor unit can be obtained by Hudson's formula. The stability factor of the armor stone (specific gravity: 2.6) at a 5% damage ratio can be obtained as in fig. 8.

Keywords: (submerged breakwater, irregular-wave test, stability factor, and high-specific-gravity armor units)

1. まえがき

近年、水産協調型や親水型の港湾・漁港・海岸保全施設等において、潜堤の需要が高まっている。

潜堤の設計には、被覆材の波浪に対する安定性の検討が必要である。人工リーフについては、建設省土木研究所において被覆材の安定実験が実施され、被覆材の所要重量の算定式¹⁾が提案されているが、それは規則波実験に基づいたものである。

本報告は、不規則波による潜堤被覆材の安定実験を行い、被覆材の被害率と安定係数の関係を調べ、潜堤被覆材の安定特性について検討したものである。

2. 実験方法

2. 1. 実験装置および模型

実験は長さ28.0m×幅0.8m×高さ1.0mの不規則波造波水路で実施した(図-1)。水底勾配は1:50、潜堤の設置場所は水平である。潜堤の天端幅を50cm、法勾配を1:3とし、中詰石として粒径5~10mmの碎石、被覆材も碎石で二層積みとした(図-2)。

2. 2. 実験条件

実験は不規則波で実施し、波のスペクトルはブレットシュナイダー・光易型を目標とした。実験波の周期 $T_{1/3}$ は、0.95、1.26、1.94、2.21sの4種類で、被覆材は比重 S_r は2.60と3.22(高比重)の2種類で、共に平均重量15、30、60gfの碎石を用いた。また、堤体設置水深 h は20、30cmの2種類で、天端水深 d は0、5、10cmの3種類について実験を実施した。実験ケースを表-1に示す。

2. 3. 実験方法

被覆材に色を塗って前出の図-2に示すように、

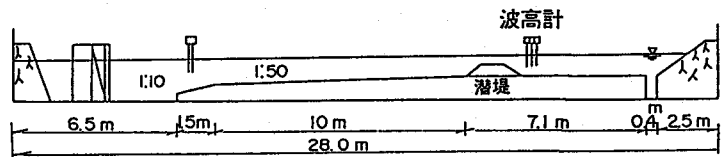


図-1 堤体設置位置

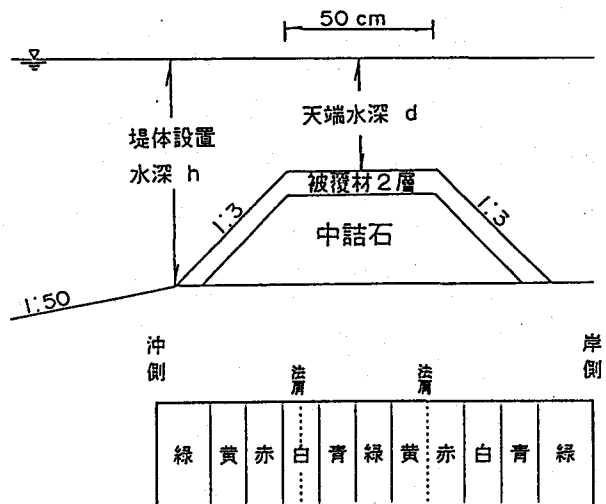


図-2 実験断面および被覆材

* 正会員 北海道東海大学工学部海洋開発工学科 (005 札幌市南区南沢5条1丁目)

** 正会員 北海道開発局開発土木研究所水工部港湾研究室

帯状（以下バンドという）に並べ、被覆材の移動状況を調べた。なお、各バンドにおける被覆材の個数は表－２に示すとおり、重量によって異なる。波高 $H_{1/3}$ は4～20 cmまで2 cmずつ段階的に高めていき、その間の被覆材の均しは行わずに、移動状況を目視観察により調べた。各波高ごとの作用数は100～200波である。被覆材の被害率は、あるバンド内の被覆材の個数 N 個、そのバンドから別のバンドに移動した被覆材の個数を N' 個としたとき、そのバンドの被害率 D （％）を

$$D = (N' / N) \times 100$$

として求めた。

表－１ 実験ケース

水深 h (cm)	周期 T1/3(s)	天端水深 R (cm)	被覆材の重量 W (gf)			
30	0.95	0	15	30	60	
		5	15	30	60	
		10	15	30	60	
	1.26	10	15	—	—	
		1.94	0	15	30	60
			5	15	30	60
	10		15	30	60	
	高比重15 高比重30 高比重60					
	2.21	10	15	—	—	
20	1.94	0	15	30	60	
		5	15	30	60	
		10	15	30	—	

表－２ 各バンドの個数

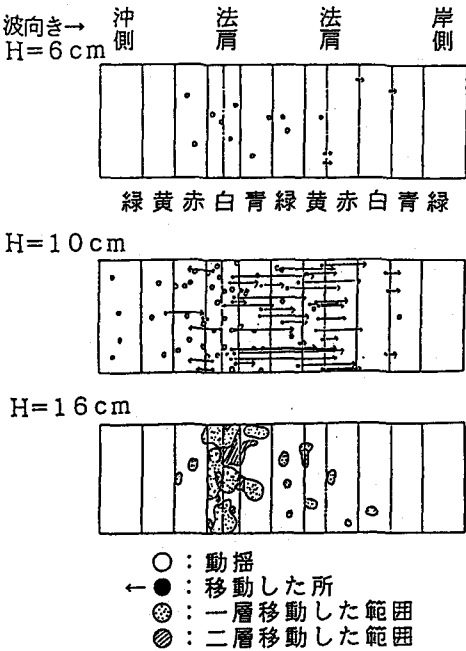
被覆材の重量	個数
15 gf	400 (450)
30 gf	235 (250)
60 gf	140 (150)

* () 内の数字は高比重

3. 潜堤被覆材の安定性

3. 1. 被覆材の移動状況

図－３は堤体設置水深 $h = 30$ cm、天端水深 $d = 10$ cm、周期 $T_{1/3} = 1.94$ s、 $W = 15$ gf の場合の移動状況の例である。被害の進行状況は、波高の小さい $H = 6$ cmでは岸側の法肩（黄色）から被覆材の移動が始まり、波高が大きくなるにしたがって被覆材の移動は、沖側のバンドに移る（ $H = 10$ cm）。沖側の法肩やその隣接の被覆材は、前方に転落するもの、天端上に移動するもの、さらには天端を乗り越え岸側の法面に落ちるものもあった。最終的には沖側の法肩（白色）の被害が最も大きい（ $H = 16$ cm）。これは波高が大きくなるにしたがい、砕波位置が岸側から沖側に移動するためである。また、これは他のケースでもほぼ同様の傾向にあり、以下周期 1.94 sの結果について述べる。



図－３ 被覆材の移動状況の例

3. 2. 安定実験の再現性

図-4は、堤体設置水深 $h=30\text{ cm}$ 、天端水深 $d=5\text{ cm}$ 、周期 $T_{1/3}=1.94\text{ s}$ 、被覆材の重量 $W=60\text{ gf}$ について、同一条件で二回実験した結果を比較したものである。同図によれば、波高と被害率の関係は良好な再現性を示している。

4. 潜堤被覆材の安定係数

堤体設置水深 $h=30\text{ cm}$ 、天端水深 $d=5\text{ cm}$ 、比重 $S_r=2.6$ の場合について、被覆材の安定係数と沖側の法肩の被害率 D （以下被害率 D は沖側の法肩の場合を示す）との関係を、人工リーフの土木研究所の式¹⁾と傾斜堤のハドソン式²⁾から求めた。その結果を図-5および図-6に示す。両図を比較すると、被害率と安定係数の関係は、図-6の方が相関が高い。

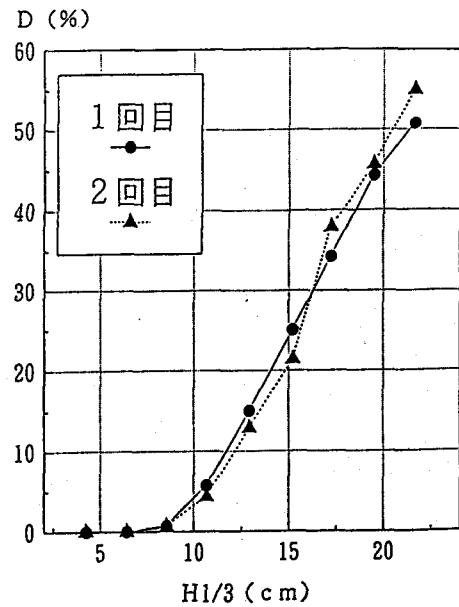


図-4 安定実験の再現性

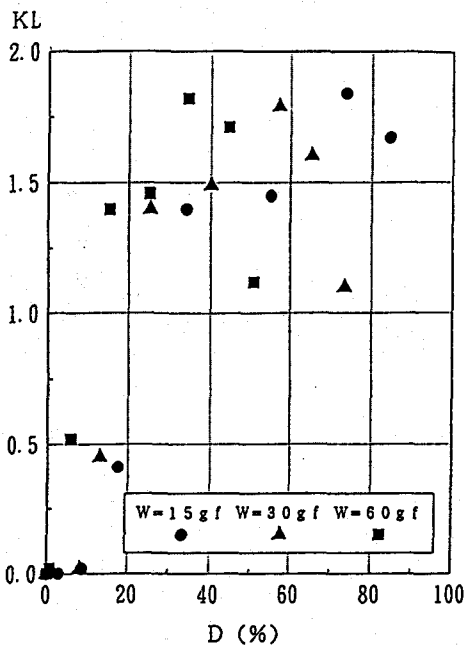


図-5 沖側の法肩の被害率と K_L 値との関係

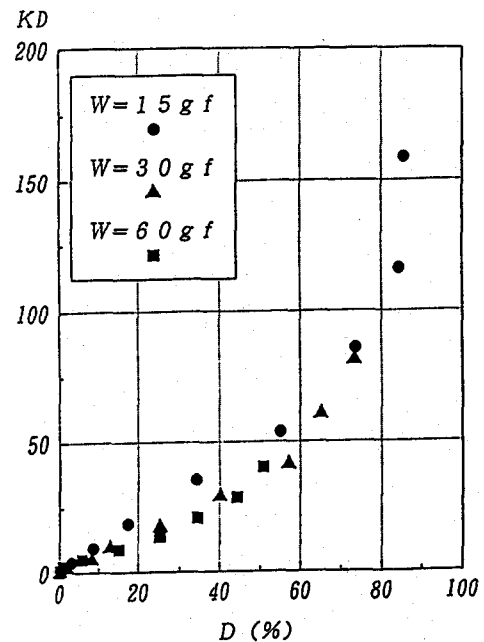


図-6 沖側の法肩の被害率と K_D 値との関係

また、次のハドソン式を、

$$W = \frac{1}{K_D (S_r - 1)^3} \cdot \frac{H^3}{\cot \theta}$$

で、

$$K = \frac{K_D (S_r - 1)^3}{\gamma_r}$$

とおくと、

$$W = \frac{1}{K} \cdot \frac{H^3}{\cot \theta}$$

となり、Kは、被覆材の比重効果も含めた安定係数となる。

堤体設置水深 $h = 30 \text{ cm}$ 、 $T_{1/3} = 1.94 \text{ s}$ 、天端水深 $d = 10 \text{ cm}$ の場合についての K の値を図-7に示す。同図によれば、高比重の方が耐波性が高いことを示している。

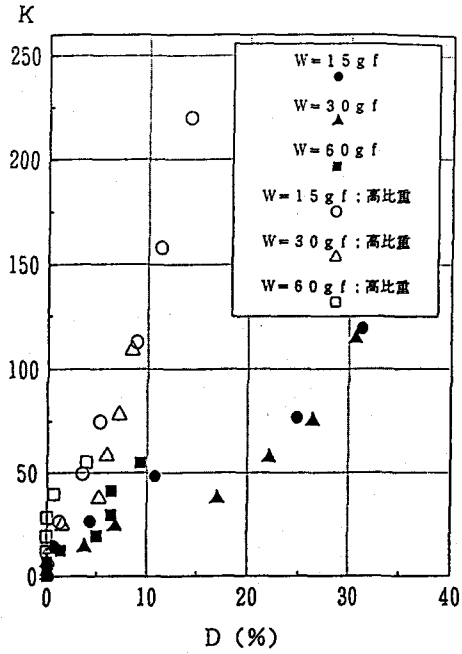


図-7 沖側の法肩の被害率とK値との関係

5. 天端水深、波長とハドソン式の K_D 値について

比重 2.6 での被害率 5% におけるマウンド水深比 d/h と K_D 値との関係を、水深波長比 h/L をパラメータとして求めたものが図-8である。同図によれば、 d/h が大きいほど K_D 値は大きくなる。また、 h/L が小さいほど K_D 値は小さくなる。したがって、天端水深が大きくなると、被覆材の所要重量は大きくなる。

$d/h \geq 0.2$ では、 h/L が大きくなるにしたがい、 K_D 値の増加がいちじるしい。また、 h/L の違いによる K_D 値は、 d/h が大きくなるほど差が大きくなる。

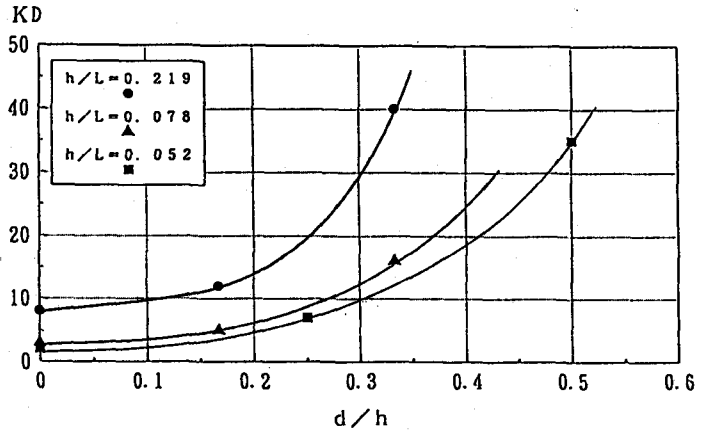


図-8 天端水深、波長と被害率 5% の K_D 値との関係

6. 被害率と波高伝達率、反射率との関係

図-9は、被害率 D (%) と波高伝達率 K_t 、反射率 K_r との関係を求めた一例である。被害率が小さいときには波高が小さいので、波高伝達率が大きくなっているが、被害率が大きくなっても、波高伝達率、反射率ともそれほど変化がみられないので、潜堤としての機能が保持されていることを示している。なお、反射率は沖の波高計 2 本により入反射波分離推定法³⁾により求めた。

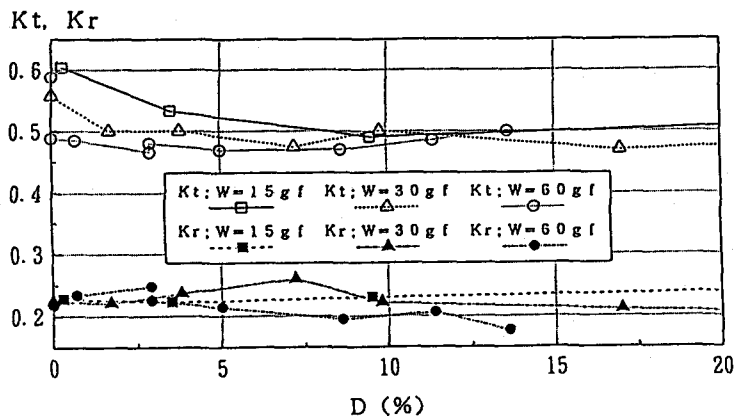


図-9 沖側の法肩の被害率と波高伝達率、反射率との関係

7. 結論

潜堤被覆材の不規則波による安定実験で得られた結果は以下の通りである。

- ①被覆材の移動状況は、波高が小さいときは岸側の法肩が移動し、波高が大きくなるにしたがい移動箇所は徐々に天端、沖側の法肩、法面へと移動してくる。また、最も被害の大きいのは、沖側の法肩である。
- ②潜堤被覆材の所要重量は、ハドソン式により求めることができる。
- ③高比重 3.2 の被覆材は、一般の比重 2.6 の被覆材より耐波性が高い。
- ④ハドソン式で潜堤被覆材の所要重量を求める場合、比重 2.6 の被覆材の被害率 5 % での安定係数は、図-8 より求めることができる。
- ⑤潜堤被覆材の被害率が大きくなっても、潜堤としての機能は保持されている。

参考文献

- 1) 建設省河川局海岸課 監修：人工リーフの設計の手引き，社団法人 全国海岸協会，1992年，pp. 60～75
- 2) R.Y. Hudson: Laboratory investigation of rubble-mound breakwater, Proc. ASCE., W.W.3, 1959年，pp. 93～121
- 3) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊地治：不規則波実験における入・反射波の分離推定法，港湾技研資料 No. 248，運輸省港湾技術研究所，1976年