

II-306

斜板消波潜堤（SURF）のマウンド被覆石の安定性について

大成建設㈱ 技術研究所 正員 上野 成三・石野 和男
 同 土木設計部 正員 小山 文男
 東急建設㈱ 土木技術部 正員 加藤 雅也
 建設省 土木研究所 正員 宇多 高明・村井 禎美

1. まえがき

斜板消波潜堤（以下SURFとする）は、消波性能に優れ、かつ景観を損なわない海域制御構造物の一つとして提案されたもので、その消波・波力特性、滑動安定性および局所洗掘の概略については既に明らかにされている¹⁾。本研究では残された問題点の一つであるマウンド被覆石の安定性について検討した。従来、被覆石の所要重量 W の算定式が数多く提案されているが、そのほとんどが反射率 R_r の大きな混成堤や、被覆石の設置水深の浅い傾斜堤を対象としたものである。これに対して、SURFは R_r が小さく、かつ被覆石の設置水深が深いため、既存の算定式から見積られる W を軽減することが期待できる。そこで、本研究では、まず、SURFの被覆石の安定性を調べるため、水理実験を実施し、波高と被覆石の被害率の関係を明らかにした。さらに、SURFのような低反射型の構造物に適用できる W の算定式を提案した。

2. 被覆石の安定実験

2. 1 実験装置および実験方法 実験は二次元水槽（ $L47.0\text{m} \times B0.8\text{m} \times H1.6\text{m}$ 、フラップ式造波装置）に一樣斜面と水平床からなる架台を設け、堤体模型を設置して行った（図1）。通常の潜堤に関する二次元実験では堤内側に大きな平均水位上昇（換算沖波波高 H_0 の約20%）が生じる。本実験では縦仕切り板を設けて還流水路を作り、堤内の水を沖側へ自然流下させて、堤内側の水位上昇量を H_0 の約10%とした。堤体模型は縮尺1/25とし、被覆石は既往の設計例をもとに中央粒径 $D_{50}=4.0, 5.0\text{cm}$ の2種類の碎石を用いた。諸元を図2に示す。波高測定には容量式波高計を、流速測定にはレーザ流速計を用いた。また、被覆石の散乱状況は目視によるスケッチと写真・ビデオ撮影により記録した。実験条件を表1に示す。実験ケースは、マウンド上にSURFを設置したもの、堤体を設置しないでマウンドのみとしたもの、マウンド上に直立堤を設置して混成堤としたものの3通りである。

2. 2 実験結果 (i) SURFの被覆石の散乱状況 全ての実験ケースにおいて堤体岸側に設置した被覆石は散乱しなかったため、以下では堤体沖側の被覆石の散乱状況について述べる。観察によると被覆石は波のピーク通過時に移動を開始し、その後堤体前面付近まで岸向きに移動した。被覆石を散乱させる外力となる流体運動について、波浪条件 $H_0=37.5\text{cm}$ 、周期 $T=2.0\text{s}$ のもとでの堤体前面の水位 η と被覆石上の水平流速 u の時間波形を図3に示す。 u には底面から発生した多少の乱れが見られる以外、ほぼ η に従った軌道流速成分が卓越しており、岸向き位相時に最大流速をとる鋭く尖ったパターンを示す。また、被覆石の移動への影響が懸念された開口部からの沖向き流れは明確には現れていない。このことより、被覆石移動の外力は岸向き位相時の軌道流速による流体力が支配的であることが分かった。

(2) SURFの波高 H と被害率の関係 波浪条件 $T=2.0, 2.4\text{s}$ のもとでの H と $D_{50}=4.0\text{cm}$ の被覆石の被害率の関係を図4に示す。ここで用いる被害率の定義は

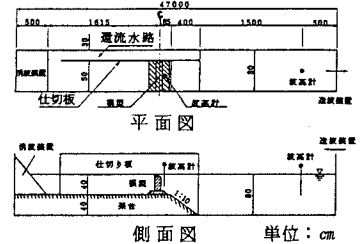


図1 実験装置

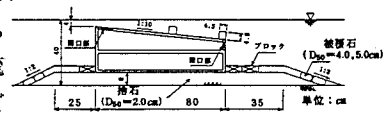
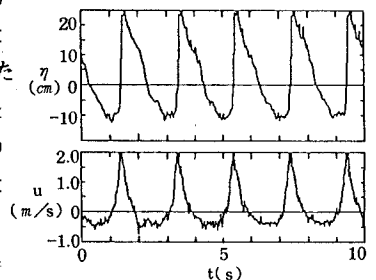


図2 堤体模型

表1 実験条件

構造モデル	水深 h (cm)	換算沖波波高 H_0 (cm)	周期 T (s)
SURF	40.0	12.0~40.0	2.0, 2.4
マウンドのみ	40.0	12.0~38.0	2.0, 2.4
混成堤	40.0	12.0~26.0	2.0, 2.4

図3 η と u の時間波形

堤体前面の被覆石の全個数に対する散乱した個数の割合とする。 H は、堤体およびマウンドを設置しない状態の堤体設置予定位置での波高を用いた。被害が発生する H は、 $T=2.0s$ で $H=26.0cm$ 以上、 $T=2.4s$ で $H=30.0cm$ 以上となった。被害発生後、 H が増大するに従って被害率は増大し、その最大値は $H=34.0cm$ 付近で生じ約3%となった。 $D_{50}=5.0cm$ の被覆石を設置した場合、被害が発生する H は、 $T=2.0s$ で $H=28.0cm$ 以上、 $T=2.4s$ で $H=33.0cm$ 以上となり、被害率の最大値は $H=34.0cm$ 付近で生じ約2%となった（図5）。また、図4には堤体を設置せずにマウンドのみを設置した場合の H と被害率の関係も併せて示した。マウンドのみの場合の被害率はSURFに比較して約1/2倍となった。

(3) 混成堤の H と被害率の関係 波浪条件 $T=2.0, 2.4s$ のもとの混成堤の場合の H と被害率の関係を図5に示す。被覆石は $D_{50}=5.0cm$ を用い、設置水深はSURFの場合と同じとした。図5に併せて示したSURFの被害率は最大2%程度であるのに対し、混成堤の被害率は著しく大きい。これは、SURFに比較して混成堤の K_R が大きく、被覆石を移動させる外力となる軌道流速が増大するためである。以下に示すように被覆石の W は流速 U の6乗に比例するため、わずかな K_R の違いにより被害状況は大きく異なるものと考えられる。

3. K_R を考慮した W の算定式による計算値と実験値との比較

被覆材に流速 U の流れが作用している場合、谷本らのモデルによると、被覆石に働く抗力、揚力、摩擦力の釣合より W は式(1)となる²⁾。

$$W = \frac{W_r U^6}{(N/g)^3 (W_r/W_0 - 1)^3} \quad (1)$$

ここに、 W_0 、 W_r ：水、被覆材の単位体積重量、 N ：被覆石固有の定数。式(1)に微小振幅波理論による部分重複波の底面最大流速を代入し、反射率 K_R を導入して整理すると式(2)となる。

$$W = \frac{W_r H^3}{N_s^3 (W_r/W_0 - 1)^3} \left(\frac{1+K_R}{2} \right)^6 \quad (2)$$

ここに、 N_s ：安定数。式(2)に $K_R=1$ を代入するとBrebnerらの式³⁾と一致する。本実験条件のもとでの、混成堤（ $K_R=1$ ）、SURF（ $K_R=0.4$ ）、マウンドのみ（ $K_R=0$ ）の W の計算値を実験値とともに図6に示す。ここで、 N_s は被覆石の設置位置が考慮された谷本らの実験式²⁾を用いた。実験値が少ないものの、式(2)と実験値はほぼ良好な一致を示す。式(2)より、SURFの W は混成堤の W の約1/10に軽減できることわかる。 $K_R=1$ における N_s は、既往の研究により、各種の被覆材について実験値の蓄積がある。式(2)は、この $K_R=1$ における N_s を用いて、任意の K_R に対する W を算定できるものである。今後、 K_R の広い範囲に対して式(2)の検証を行う予定である。

4. あとがき

SURFの被覆石について波高と被害率の関係を明らかにした結果、波浪条件 $T=2.0, 2.4s$ のもとで、 $D_{50}=4.0cm$ の被覆石設置時で最大約3%、 $D_{50}=5.0cm$ の被覆石設置時で最大約2%の被害率となった。また、混成堤に比較してSURFの被覆石の安定性は高く、SURFの W は混成堤の約1/10に軽減することができる。さらに、SURFのような低反射性の構造物に適用可能な K_R を考慮した W の算定式を提案した。最後に、本研究は、(株)間組との共同研究により実施されたものであることを記し、各共同研究者に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小山ら：斜板を有する新型潜堤（SURF）の開発、第35回海岸工学講演会論文集。
- 2) 谷本ら：不規則波実験による混成堤マウンド被覆材の安定性に関する研究、港湾技研報告、Vol. 21, No. 3。
- 3) Brebner, A. et al. : Laboratory study of rubble foundations for vertical breakwaters, Proc. 8th ICCR.

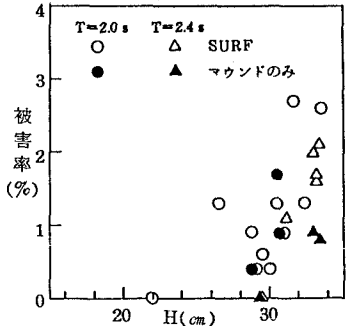


図4 H と被害率の関係

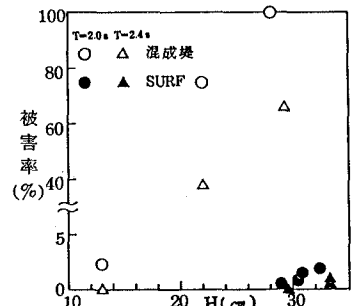


図5 混成堤の H と被害率の関係

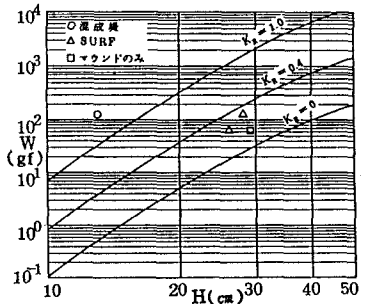


図6 計算値と実験値の比較