

II-19 人工リーフ被覆石の移動確率と堤体の崩壊について

大阪大学大学院工学研究科 学生員 荒木進歩

大阪大学大学院工学研究科 学生員 藤原由康

大阪大学大学院工学研究科 正会員 出口一郎

1. はじめに

現行の設計法においては、人工リーフをはじめとする捨石構造物の破壊に関しては、断面の変形に伴う機能喪失の程度は考慮されておらず、表層のごくわずかの捨石が移動することを許容しているのみである。しかし、経済的な面を考慮すると、断面の変形を許容し、機能喪失の程度により破壊を考えるほうが合理的だと考えられる。断面変形を許容した設計を行うには、入射波による堤体の断面変形と、断面変形に伴う機能変化の把握が重要であるが、個々の捨石の移動には多くの不確定要素が関連するので、定量的な評価のためには確率論の導入が必要である。そこで本研究では、人工リーフを対象として、水理実験により断面変形に伴う機能変化の把握と、および捨石の移動確率をレベル2の信頼性設計を用いて算定することを試みた。

2. 水理実験

水理実験は図-1に示す屋外2次元造波水槽を用いて行った。1/20の勾配を持つ水路床上に、法面の勾配が1:3、法先水深 h が25cm、天端幅 B が50cm、150cmおよび350cmの人工リーフを碎石により作製した。coreを被覆石で覆った人工リーフは、表層の被覆石が移動すると内部のcoreが流出して消波機能が急激に低下するおそれがあるので、全段面を一般的な捨石で作製した。碎石の代表粒径 D_{50} は1.60cmである。

実験は図-2に示すように、まず周期1.6s、波高約15cmの規則波を400波、人工リーフに作用させ、初期の断面形状における反射率 K_r と波高伝達率 K_t を測定した。この段階では、表層の捨石が移動するのみで、大きな断面変形は見られない。その後、周期2.0sまたは2.5s、波高約20cmの規則波を1000波作用させて堤体を変形させた。最後に再び、初期に作用させた規則波を入射させた。 K_r と K_t 、および断面形状はいずれの段階においても200波ごとに測定し、断面形状は光学式砂面計により岸沖方向に2cm間隔で測定した。また、堤体の沖側斜面と天端上の表層に碎石のトレーサーを配置し、その移動を測定した。

3. 実験結果

図-3に測定された断面形状の一例を示す。水平方向は法先の波長 L で、鉛直方向は法先の水深で無次元化し、原点は水平方向が人工リーフの法肩、鉛直方向は静水面としている。図は $B=150$ cmの人工リーフが波高20.2cm、周期2.0sの波により変形したケースである($B/L=0.504$)。このケースでは、向岸方向に移動した捨石が天端上に堆積し、天端が静水面上にまで現れた。 $B=350$ cm($B/L=1.178$)のケースも同様で、向岸方向に移動した捨石の堆積により天端が静水面上まで現れた。一方、 $B=50$ cm($B/L=0.168$)のケースでは、波の作用により捨石が向岸方向に移動するが、天端が狭く、岸側斜面や堤体背後に堆積するので、天端高さは若

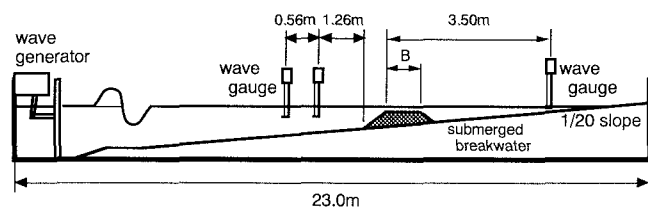


図-1 実験装置

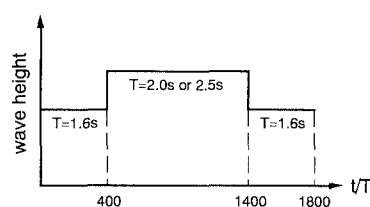


図-2 実験波の変化

キーワード：人工リーフ，断面変形，信頼性設計

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 Tel 06-6879-7615 Fax 06-6879-7616

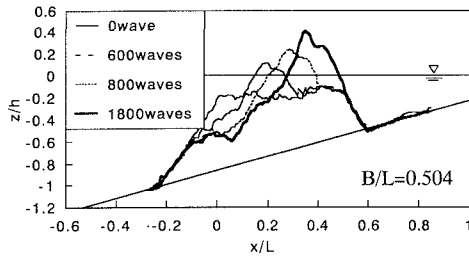


図-3 断面形状

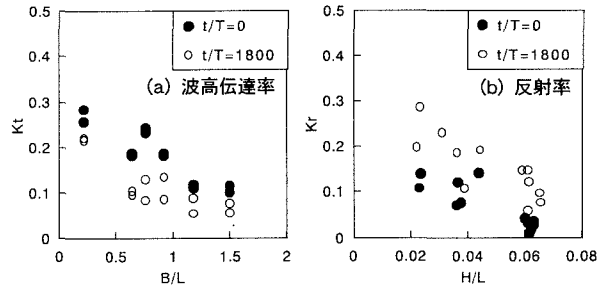


図-4 断面変形に伴う機能変化

干増加するものの静水面上までは現れなかった。図-4に、初期断面時と断面変形後間での機能変化を示す。(a)は波高伝達率 K_t で横軸は相対天端幅、(b)は反射率 K_r で横軸は波形勾配である。断面変形により天端高さが増加して静水面上に現れるので、波高伝達率は向上し、反射率は悪化している。

4. 捨石の移動確率の算定

捨石の移動には多くの不確定変数が関わっているが、ここでは捨石の粒径と摩擦係数を不確定変数として取り上げ、作用波力は規則的とした。まず捨石の移動に対する摩擦係数を測定した。ここで、摩擦係数は捨石どうしのかみ合わせの効果も含めた移動（主に回転）に対する抵抗係数として定義した。すなわち、最大静止摩擦力 R_1 と同様に、かみ合わせの抵抗 R_2 も垂直抗力 N に比例するものとして、総抵抗 R を次式で表す。

$$R = R_1 + R_2 = (f_1 + f_2)N \quad (1)$$

ここに、 f_1 , f_2 はそれぞれ滑動に対する静止摩擦係数、かみ合わせの抵抗に対する係数である。この摩擦係数 $f = f_1 + f_2$ を図-5に示すように、捨石を敷き詰めた平板を徐々に傾け、捨石が移動・転落し始める角度 θ を測定し、その正接をとることで求めた。 f の頻度分布と、使用した碎石の粒径 D ($= (W/\gamma_s)^{1/3}$, W : 捨石重量, γ_s : 捨石単体重量) の頻度分布を図-6に示す。図中の実線はデータの μ , σ から計算した正規分布曲線である。 μ , σ は平均値、標準偏差で、添字 D , f が粒径、摩擦係数を表す。

捨石の移動は、作用波力と抵抗力の釣り合いから判定した。作用波力は抗力が卓越するとし、天端上では次式を用いた。

$$Z = f(\gamma_s D^3 - F_z) - (1/2)C_D \rho |U_{\max}| U_{\max} D^2 \quad (2)$$

ここに、 C_D は抗力係数で 0.7 とした。また、鉛直方向波力 F_z は水平方向波力（第3項）に等しく、同位相であるとした。星谷・石井（1986）を参考に、式（2）を性能関数としてレベル2の信頼性設計により安全性指標 β を計算した。実験結果との比較を図-7に示す。実験値は、水槽横断方向に配置したトレーサのうち移動した割合を β に換算したものである。横軸は水平方向流速の無次元量であり、実験での流速未測定点では出口・森脇（1996）の計算により求めた。実験値はばらつきが大きい、計算値は実験値の平均的な値を与えており、妥当な安全性指標が計算できた。

＜参考文献＞ 出口一郎・森脇 清（1996）：透水斜面上への遡上波の解析，海岸工学論文集，第43巻，pp.136-140
星谷 勝・石井 清（1986）：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，65-66p.

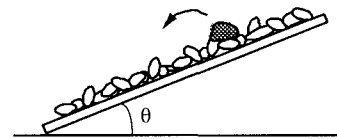


図-5 摩擦係数 f の測定

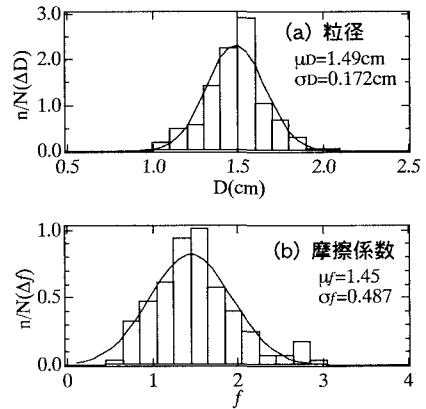


図-6 粒径および摩擦係数の頻度分布

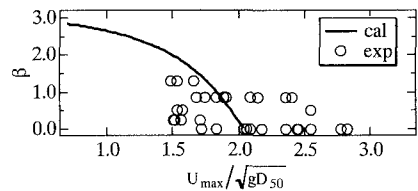


図-7 安全性指標 β の比較