

洪水時における河床材料（トンネルズリ）の移動特性に関する基礎的研究

高知工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○山岡 摩耶

高知工業高等専門学校 フェロー 多賀谷 宏三

(株)西日本科学技術研究所 野村 史枝 福永 泰久

高知県中村土木事務所 坂本 裕之

1. はじめに

我が国の河川は現在河床変動の問題に直面している。原因としては、①上流からの供給土砂量の減少、②中下流部からの大量の砂利採取等が考えられる。河床変動に対し、河床材料の不足を自然の力で補給するのは困難な状況になっており、このため河床材料を人為的に補給する試みが成されている。本研究では、河床材料としてトンネル工事から発生した最大粒径 300mm 程度のズリを河川に補給するために、第一段階としてズリの初期移動時の移動特性について検討した。

2. ズリの運動解析法

ズリの運動解析方法は、移動確率を算定する簡易モデル¹⁾と移動距離を推定する三球体モデル²⁾、現地における動きやすさを表す判定基準として、動きやすさ係数があげられる。現段階では、初期移動に着目することにより簡易モデルと動きやすさ係数を採用した。

2.1 簡易モデル

簡易モデルは、摩擦のある平板上に球体と仮定したズリを載せ、ズリの運動に関わる摩擦力、流体力及びズリの重量について斜面方向の釣り合いを考えることによって、運動状態を表現する算定式(1)が表される(図1)。ここで摩擦力は、滑り摩擦力とかみ合わせによる抵抗を合わせたものとする。

$$Z = fN_n - \frac{\pi}{6} \rho_s g D^3 \sin \theta - R \quad (1)$$

図2 動きやすさ係数の模式図

ここに、 f :抵抗係数 ρ_s :ズリの密度 g :重力加速度 θ :ズリ法面の勾配 D :代表粒径($= (W / \rho_s g)^{1/3}$) N_n :

斜面への垂直抗力($= \frac{\pi}{6} \rho_s g D^3 \cos \theta$) R :流体力($= \frac{1}{2} C_d \rho_w V^2 \frac{\pi}{4} D^2$) ρ_w :水の密度 C_d :抗力係数 V :流速である。

運動状態は、 $Z < 0$ であれば移動、 $Z > 0$ であれば静止であるとしてズリの移動確率が求められる。移動確率の計算にはモンテカルロ法が用いられる。また、式中の抵抗係数は実験を実施することにより決定される。

2.2 動きやすさ係数

動きやすさ係数は、河床材料の上にズリを載せ、ズリに作用する摩擦力と限界掃流力の比によって、(2)式のように表される(図2)。

$$C_m = \frac{\text{限界掃流力}}{\text{ズリに作用する摩擦力}} = \frac{P_{cr}}{F} = \frac{\frac{1}{2} \rho V_{cr}^2 A C_d}{(f_1 + f_2) W'} = \frac{\frac{1}{2} \rho V_{cr}^2 A C_d}{f W'} \quad (2)$$

ここに、 W' :水中重量(kN)(=空中重量-浮力) f_1 :最大静止摩擦係数 f_2 :かみ合わせの抵抗による抵抗係数 $f = f_1 + f_2$:合成した抵抗係数 ρ :水の密度(kN/m³) V_{cr} :移動限界流速(m/s) A :投影面積(m²) C_d :抗力係数である。

判定は、 $C_m > 1$ のとき移動、 $C_m < 1$ のとき静止、 $C_m = 1$ のとき動き始める。しかし、 C_d や A の精度により判定基準値が1になるとは限らない。

3. 抵抗係数実験

3.1 実験の目的

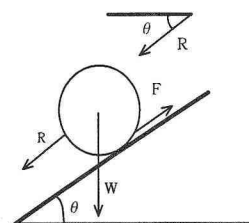


図1 簡易モデル

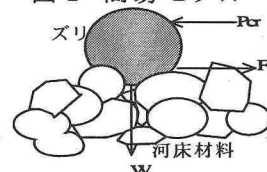


表1 実験材料

	分類名称	粒径範囲(mm)
河床材料	砂利(中礫)	~64
	玉石(大礫)	64~128
ズリ	Sサイズ	30~100
	Mサイズ	100~200

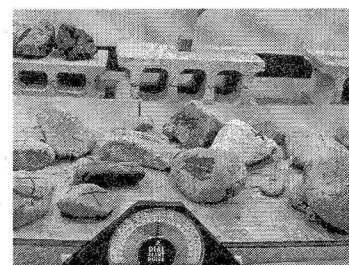


写真1 模擬河床

ズリの初期移動における運動状態の判定に抵抗係数の値が必要となる。本実験は、運動状態の判定に用いる静止時の河床材料とズリ間にはたらく抵抗係数を求める。

3.2 実験材料の特性

河床材料は、高知県中村市久保川地区四万十川のものを使用する。ズリは、同地区国道 441 号道路改築事業において発生した久保川トンネルのものを使用した。使用した粒径範囲は表 1 に示す通りである。

3.3 実験方法及び実験ケース

模擬河床を作成し、その上にズリを載せ傾斜させていく(写真 1)。ズリが移動、転落し始めた角度を測定し、その正接を抵抗係数とする。河床パターンは現地の河床を参考に 5 ケースとした。

3.4 実験結果及び考察

実験結果を図 3, 4 に示す。ズリの運動形態は、回転のみの運動と回転と滑りを伴う運動の 2 通りに分けられる。回転のみの運動は比較的低い角度で見られ、滑りと回転を伴う運動はばらつきが大きかったことより、かみ合わせの抵抗の大きさが支配的であると考えられる。また実験を検証するため、サイズ別に整理し統計処理を行った。現地のズリのサイズより M サイズの抵抗係数 1.31 を代表値とする(図 5)。

4. 現地におけるズリの移動実験と計算値との比較

4.1 動きやすさの検討

現地実験におけるズリの流下移動調査の結果、動き始めの流速は、M サイズで 2.5~2.7m/s であると考えられ、この結果を用いて動きやすさ係数を算出すると、 $C_m=0.79$ となった(図 6)。

4.2 移動限界流速の比較

動きやすさ係数から算出したズリの平均粒径と現地における移動限界流速の関係は(3)式で表される。

$$V_{crm} = 6.62\sqrt{D} \quad (3)$$

簡易モデルによる移動限界流速は、M サイズで 8.2~9.4m/s となり、(3)式より算出した現地計算流速と比べて過大な値となった。両者の関係を図 6 に示す。流速の違いは、両者の粒径の取り方に相違があったためと考えられる。今後、統一した粒径で比較検討を行う必要がある。

5. まとめ

本研究により、次の結論が得られた。①M サイズの抵抗係数の代表値は 1.31 となった。②回転と滑りを伴う運動は、河床材料とズリの大きさ関係により抵抗係数を大きく変化させる。③現地計測による動きやすさ係数は 0.79 となった。④ズリの平均粒径と現地における移動限界流速の関係は $V_{crm} = 6.62\sqrt{D}$ で表される。⑤現地計算流速の簡易モデルにおける流速に対する比は 0.36 となった。今後は、河床材料とズリの粒径の相対的大きさが及ぼす抵抗係数への影響を検討し、現地におけるズリの動きやすさ係数の精度を上げる必要がある。また、三球体モデルを用いてズリの移動距離を推定する。

6. 参考文献

- 1) 荒木進歩・藤原由康・出口一郎 (1999) : 確率論的手法を用いた人工リーフ被覆石の安定性の検討, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 901-905.
- 2) 荒木進歩・伊藤禎和・出口一郎 (1996) : 動的応答を考慮した捨石防波堤の平衡勾配について, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 826-830.

