

石礫の流下に伴う磨耗と粒径分布

国土防災技術株式会社 ○小菅尉多
立命館大学理工学部 里深好文
京都大学大学院農学研究科 水山高久

里深

1 はじめに

筆者らは、山地河川では、石礫の流下に伴う磨耗現象が流砂に与える影響は無視できないのではないかと考え、実際に山地河川の河道に分布する様々な岩種の石礫の磨耗特性を、ロサンゼルス試験機を用いて検討した²⁾。その結果を実際の河川での流下現象に近づけるために水路を用いた石礫の磨耗試験を行い検討してきた³⁾。試験結果からは興味深い知見を得た^{2,3)}ものの、まだ、実際の石礫の流下現象そのものではないと考えている。

そこで、石礫の磨耗試験より得られた石礫の磨耗係数と、実際の粒径変化から石礫の磨耗が卓越した結果と仮定して算定した石礫の磨耗係数を比較検討し、山地河川での石礫の流下に伴う磨耗現象について若干の考察を加えた。

2 粒径分布の実態

2.1 縦断形状と粒径分布

実際の河川の粒径変化の一例として、石礫の磨耗試験を実施した安倍川の粒径変化と縦断形状を図1に示す。

安倍川は流域面積A=567.0km²、流路長53.3kmで、源頭部に大谷崩れを抱える荒廃河川である。主な地質は、第三紀の砂岩・泥岩の互層である。

同図より以下のことがわかる。

- ① 粒径は下流に向かうにしたがい小径化している。
- ② 最大粒径について、縦断方向の粒径変化を指数関数で近似し、曲線を当てはめると、(1)式ようになる。

$$y = 179.4e^{0.0402x} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、yは粒径(mm)、xは流下距離(km)。

2.2 流下に伴う粒径・重量減少率

河床石礫の流下に伴う粒径減少は指数関数で近似できるとすると、流下初期の粒径をd(mm)とし、x(km)流下後の粒径d(mm)は、粒径減少係数(km⁻¹)をβ₁として(2)式で表せる。

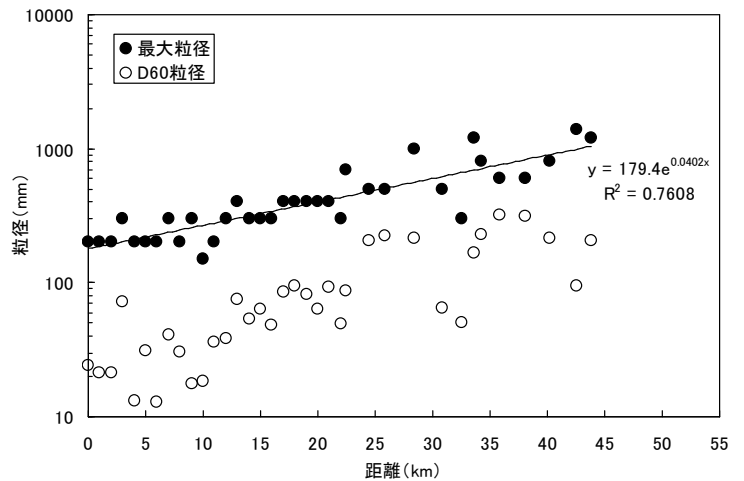
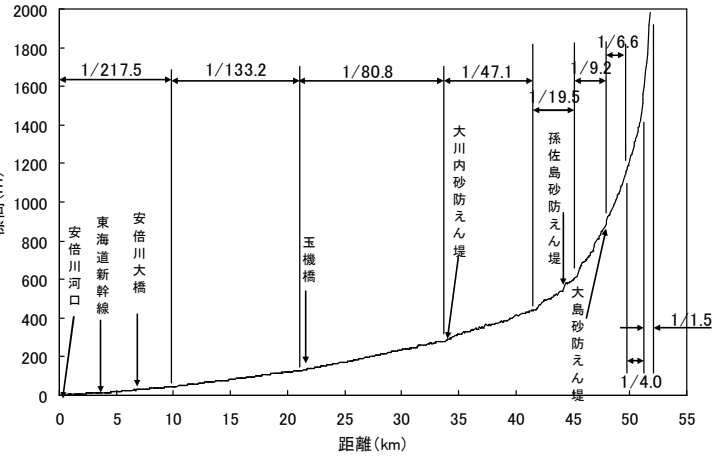


図1 安倍川の縦断形状と粒径分布

$$\frac{d}{d_0} = e^{-\beta_1 \cdot x} \dots\dots\dots (2)$$

一方、石礫の形状を球形とし、石礫の流下に伴う粒径減少率の(2)式を重量減少率で書き直すと、流下初期の重量w₀(kgf)、流下後の重量w(kgf)として(3)式で表せる。

$$\frac{w}{w_0} = e^{-3\beta_1 \cdot x} \dots\dots\dots (3)$$

河床石礫の流下に伴う重量減少係数(km⁻¹)をβ₂とすると、粒径減少係数β₁を用いて、(4)式で表せる。

$$\beta_2 = 3 \cdot \beta_1 \dots\dots\dots (4)$$

以上のことより、安倍川の河床石礫の粒径減少係数、重量減少係数を整理すると表1のとおりである。なお、同表には石礫の磨耗試験を行った神流川の場合も示す。

表 1 粒径分布から見た粒径減少係数、重量減少係数

流域名	粒径減少係数 $\beta_1(\text{km}^{-1})$	重量減少係数 $\beta_2(\text{km}^{-1})$	最大礫径 (mm)
安倍川	0.0420	0.1260	150~1400
神流川	0.0176	0.0528	80~700

3 石礫の磨耗試験と磨耗特性

3.1 ロサンゼルス試験機を用いた石礫の磨耗試験²⁾

ロサンゼルス試験機を用いた石礫の磨耗試験結果では、回転数の増加に伴う石礫の重量減少率は、各岩種で特徴的な減少を示し、それは、各岩種の力学的な性質に基づくことが想定された(図 2)。

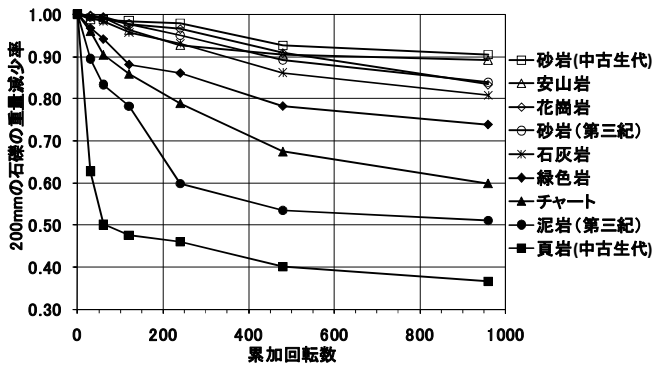


図 2 ロサンゼルス試験機による石礫の重量減少率

3.2 水路を用いた石礫の磨耗試験³⁾

上記の石礫の磨耗試験で特徴的な 4 岩種(安山岩,花崗岩,チャート,泥岩)の石礫(200mm)を用いて水路(長さ 5.0m, 勾配 30°)による磨耗試験を行った結果では、ロサンゼルス試験機を用いた石礫の磨耗試験結果と同様の傾向で、同程度かより磨耗し難い結果を得た(図 3)。

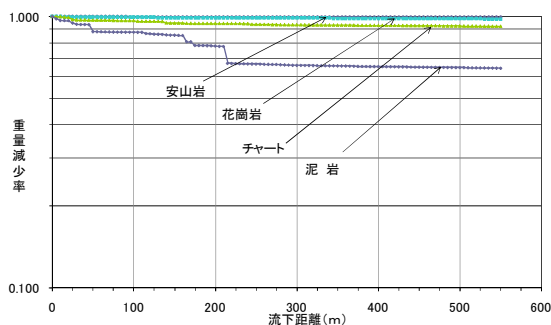


図 3 水路を用いた磨耗試験による石礫の重量減少率

4 石礫の磨耗係数と粒径分布

4.1 石礫の磨耗係数

H.Sternberg は、石礫は流下するにしたがい破碎、磨耗し小径化するが、石礫の重量減少は磨耗抵抗に比例するものと考え(5)式を導いた¹⁾。

$$\frac{W}{W_0} = e^{-\alpha L} \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 W_0 : $L=0$ の時の石礫の重量(gf)、 W : $L(\text{m})$ 流下後の石礫の重量(gf)、 L : 流下距離(km)、 α : 磨耗係数 (km^{-1}) である。

図 3 の各岩種に(5)式を当てはめて α を算定することができる。また、粒径分布より検討した重量減少係数を磨耗係数と見することもできる。

4.2 石礫の磨耗係数と粒径分布

石礫の磨耗係数について、既往文献、石礫の磨耗試験及び粒径分布より整理すると表 2 のようになる。

表 2 石礫の磨耗係数

河川名	地質	粒径 (mm)	磨耗係数(km^{-1})			備考
			計測	水路試験	粒径分布	
?	花崗岩	?	0.0030 ~0.0050	—	—	安藝(1951)より引用
ライン川	中生層	40~150	0.0200 ~0.0070	—	—	H.Sternberg 安藝(1951)より引用
安倍川	泥岩(第三紀)	200	—	1.0530	—	小菅他(2010b)
神流川	チャート	200	—	0.1978	—	小菅他(2010b)
小武川	花崗岩	200	—	0.0401	—	小菅他(2010b)
烏川	安山岩	200	—	0.0127	—	小菅他(2010b)
神流川	中生層	80~700	—	—	0.0528	粒径分布より推定
安倍川	第三紀層	150~1400	—	—	0.1260	粒径分布より推定

注)?: 文献に記載されていない

同表より以下のことが考えられる。

- ① H.Sternberg が測定した値及び安藝が想定した値よりも、水路を用いた石礫の磨耗試験および粒径分布から想定した磨耗係数のほうが1オーダー大きいですが、本研究の場合が山地河川であることを踏まえると妥当な値であると考えます。
- ② 安倍川及び神流川の粒径分布より想定した磨耗係数は、各流域に分布する石礫の水路を用いた磨耗試験から想定される磨耗係数の範囲内にある。
- ③ 水路を用いた石礫の磨耗試験より得られた磨耗係数は多少大きめの値を呈していると考えますがオーダー的には妥当であると考えます。

5 おわりに

現時点では、石礫の磨耗試験で得られた結果を用いて、流砂計算に反映させ、流下に伴う濁度の増加、貯水ダムへの細粒土砂の堆砂実態等をシミュレートし、逆に、石礫の磨耗係数を検討することも必要であると考えます。

なお、本研究は、(財)河川環境管理財団の河川整備基金助成事業によって実施した。

《参考文献》1)安藝(1951):河相論,岩波書店、2)小菅他(2010a):砂防学会誌 62-5、3)小菅他(2010b):砂防学会誌投稿中