

II-2

河川流域の構成地質と岩石強度について

北海学園大学 学生員 上野 順也
 北海学園大学 正員 山口 甲
 北海道開発コンサルタント 金 秀俊

1. はじめに

ダムは、利水、治水の面で流出量を調節できるため多大な役割を担っているが、一方で川の流れを遮断することで“土砂の堆砂”という宿命から逃れられない。この宿命は、同時に利水、治水の面でダム下流の河床低下、洪水調節量、利水容量の減少による機能低下などを起しており、また他の面でも骨材の枯渇、海岸浸食等が起きることが考えられるのでこれらの問題の解消のためにも、水系一貫した総合的土砂対策が必要とされている。今までにもダム堆砂量の予測式が提案されていたが、計算堆砂量と実測堆砂量との間には、大きい開きが見られる。そのため、本研究ではより精度良く堆砂量予測（河道調節量を無視した形）が可能かどうかを検討するに当たり北海道地域の地質と土砂生産係数との関係について報告する。

2. 研究目的

本研究の目的は、図-1に示すようにダムの堆砂量の傾き（これから本研究では、式(1)この傾きを土砂生産係数と呼ぶことにする）が昭和56年洪水の前後で大きく変化していることがわかる。同様に図-1と図-2を比較しても流域毎に土砂生産係数が違いがある。これらのことから、この土砂生産係数はダム流域の様々な特性を表していることが判断できる。本研究で土砂生産量を予測するにあたり、掃流砂量を求める佐藤・吉川・芦田の式や種々の水理量の関係から、山口氏¹⁾は次式を掃流砂モデルの基本式としているので、次式を用いて堆砂量の検討を行う。ただし、式(1)は河道調節量は考慮していない場合である。

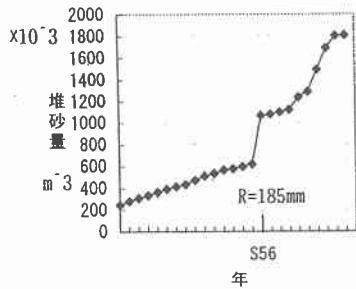


図-1 桂沢ダムのダム堆砂量の経年変化

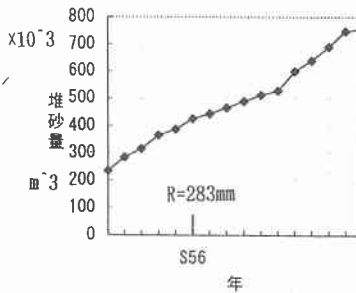


図-2 豊平峡ダムのダム堆砂量の経年変化

$$V = K \left[A \frac{3}{10} (\tan \theta_1)^{\frac{9}{20}} (\tan \theta_2)^{\frac{3}{10}} \text{Re}^{\frac{9}{5}} \right] \quad (1)$$

The physical values of River Basin Rocks
 By Junya UENO, Hajime YAMAGUCHI, Hidetoshi KON

ただし

V : 1洪水で発生する土砂生産量 (m^3) A : 流域面積 (km^2)

θ_1 : 斜面勾配 (度) θ_2 : 河道勾配 (度) Re : 有効雨量 (mm)

K : 土砂生産係数 (本来は様々な水雨量から表現されるが簡便のため K とおく)

$A^{\frac{3}{9}}(\tan\theta_1)^{\frac{9}{20}}(\tan\theta_2)^{\frac{3}{10}}Re^{\frac{9}{5}}$: 土砂生産因子

この式で1洪水で発生する土砂生産量を求めるには K で表現されている様々な水雨量の値を測定すれば計算できるが、もしこれらの値が一定でも流域の状態(崩壊地面積、流域内の岩盤の強度など)が変化すれば土砂生産量も変化することが予想されるため、本研究ではこの土砂生産係数の部分を流域状態の簡便な形で置き換える作業の一環として北海道の岩種性状を調べた。

3. 岩種データの採取について

今回岩種性状調査を行った地点は、北海道内42カ所(図-3)であり、そして採取された試験体を基に岩石試験²⁾を行った結果、得られたデータを岩種毎に区分してみると16種確認でき、その岩種名及び一軸圧縮強度 σ (kg/cm^2)、P波速度 (m/sec)、吸水率 ω (%)に関するデータのばらつきを最大値、平均値、最小値として表-1に示す。岩種性状を表現するため一軸圧縮強度、P波速度、吸水率の3つのパラメータを採用した理由を以下に記す。

○一軸圧縮強度 σ (kg/cm^2) …一方向一様応力状態での終局破壊強度は風化に対する抵抗性や山地崩壊に対する影響が大であると思われる。

○P波速度 (m/sec) …P波速度は弾性波速度の一種である。この弾性波速度の性質として、構成鉱物が異なると速度が異なったり、割れ目が多いほど速度は減少したり、岩石の固結度が大きいほど速度は増加すると言った性質をもっているからである。また弾性波速度にはP波速度とS波速度などがあるが岩盤調査では一般的にP波速度を用いている。

○吸水率 ω (%) …よく似た言葉で含水比というものがあるが含水比はこの間隙に対して原位置で存在する水量を問題にしているのに対して、吸水率はその岩石が吸水できる最大の量に焦点を当てている点に違いがあり間隙(風化)の評価には吸水率が適していると思われる。



図-3 岩石調査地点

表-1 調査対象岩石

岩種	試料の範囲								
	σ (kg/cm^2)			P波速度 (m/sec)			吸水率 w (%)		
	Max	Average	Min	Max	Average	Min	Max	Average	Min
礫岩	1040.85	312.90	4.00	5099.45	3184.44	1066.35	25.08	4.68	0.79
砂岩	1971.00	138.14	0.42	6350.00	2191.92	420.65	80.02	20.94	0.11
泥岩	653.22	161.92	10.60	4245.10	2890.62	1738.00	47.86	13.68	1.86
シルト岩	1202.80	375.64	16.73	3736.00	1632.77	3.76	59.81	23.90	1.87
頁岩	1015.39	164.42	18.00	5589.00	2923.65	1786.10	19.90	11.98	0.45
火山角礫岩	583.43	118.34	5.00	4209.30	2747.22	1235.91	47.23	15.33	4.30
凝灰角礫岩	1444.75	127.66	7.00	6341.94	2604.43	1207.35	64.34	23.28	0.68
火山礫岩	87.00	34.86	3.10	3322.00	2093.19	1207.00	23.18	15.72	9.23
凝灰岩	1544.61	197.88	7.13	4734.60	2350.33	1194.26	85.09	26.31	2.34
溶結凝灰岩	1268.00	212.83	3.00	5219.25	2310.03	466.25	38.60	10.67	1.89
安山岩	2005.15	403.09	4.62	5680.00	3937.06	1168.00	46.86	6.68	0.41
玄武岩	466.00	336.41	254.07	4560.00	4002.31	2909.00	5.13	3.96	2.95
石英斑岩	958.98	408.28	12.00	4893.40	4024.59	1691.91	11.38	2.72	0.82
石英安山岩	2060.00	701.28	38.00	5111.00	4470.51	2144.00	8.00	3.66	1.65
斑れい岩	242.00	107.54	21.00	3820.00	2923.54	1865.00	16.55	9.01	5.41
花崗岩	805.00	200.64	7.00	4655.00	2642.13	848.00	8.58	3.19	0.78

データを用いて P 波速度、一軸圧縮強度、吸水率について測定した値を岩種毎に分けて P 波速度～一軸圧縮強度、P 波速度/吸水率～一軸圧縮強度の関係を作図して、その相関性を求めより精度良く相関性が得られる方を土砂生産係数の検討に用いることにする。

解析結果の一例を図-4、図-5に示す。図-4は根岸氏ら³⁾の方法により P 波速度(m/sec)～一軸圧縮強度(kg/cm²)の相関性を表わし、図-5は P 波速度/吸水率(m/sec/%)～一軸圧縮強度(kg/cm²)の相関性を表わすものである。これらの相関性を比べてみると、一見 P 波速度(m/sec)～一軸圧縮強度(kg/cm²)による方が相関性が良さそうに見受けられるが、この図で P 波速度の値を固定し、その場合の一軸圧縮強度の値のばらつきはおよそ一桁から二桁程度の範囲をもっているためこれによる相関性から一軸圧縮強度の予測を行うのは誤差が大きいと思われる。一方、P 波速度/吸水率(m/sec/%)～一軸圧縮強度(kg/cm²)による相関性を見た場合、先程と同様にして P 波速度/吸水率のばらつきを読みとるとおよそ一桁あるいは一桁以内の範囲に収まっているため前者の相関性と比較してもより精度が上がって一軸圧縮強度の予測が可能になった。この結果は同様に残りのほとんどの岩種についても前述と同じ結果が得られた。そして本研究で得られた P 波速度/吸水率(m/sec/%)～一軸圧縮強度(kg/cm²)の関係式の一覧を表-2に示している。

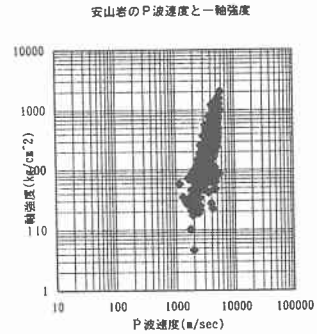


図-4 P 波速度～一軸圧縮強度

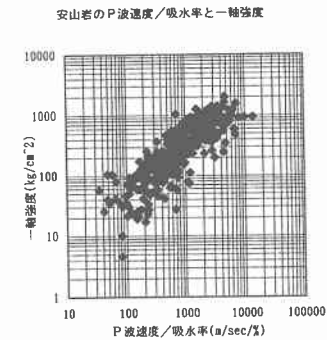


図-5 P 波速度/吸水率～一軸圧縮強度

表-2 岩種毎の P 波速度(P)/吸水率(w)と一軸圧縮強度(σ)の関係

岩種名	関係式
礫岩	$\sigma = 0.91 * (P/w)^{0.654}$
砂岩	$\sigma = 0.166 * (P/w)^{1.14}$
泥岩	$\sigma = (P/w)^{0.662}$
シルト岩	$\sigma = 1.76 * (P/w)^{0.784}$
頁岩	$\sigma = 5.0 * 10^{-4} * (P/w)^{2.812}$
火山角礫岩	$\sigma = 0.048 * (P/w)^{1.41}$
凝灰角礫岩	$\sigma = 0.275 * (P/w)^{1.07}$
火山礫岩	$\sigma = 7.36 * (P/w)^{0.61}$
凝灰岩	$\sigma = 0.17 * (P/w)^{1.25}$
溶結凝灰岩	$\sigma = 154.17 * \ln(P/w) - 603.12$
安山岩	$\sigma = 0.16 * (P/w)^{1.15}$ P/w ≥ 2000 …… σ = 1000
玄武岩	$\sigma = 3.35 * (P/w)^{0.679}$
石英斑岩	$\sigma = 0.243 * (P/w)^{0.979}$
石英安山岩	$\sigma = 5.6 * 10^{-4} * (P/w)^{1.91}$
斑れい岩	$\sigma = 0.09 * (P/w)^{1.17}$
花崗岩	$\sigma = 0.133 * (P/w)$

4. 土砂生産係数と地質・崩壊地面積

本研究ではP波速度/吸水率(m/sec%)～一軸圧縮強度(kg/cm²)の関係式が得られた。堆砂資料があるダム流域において岩種毎の占める割合を求めておいてダム流域の平均一軸圧縮強度、平均吸水率の算出を行い、また空中写真の判読などによりダム流域における崩壊地面積を求めた。これらデータをを用いて土砂生産係数Kと地質(平均一軸圧縮強度、平均吸水率)の関係は図-6に示すとおりであって、土砂生産係数Kを地質だけで評価してみると点がばらついてしまい良い相関性を表すことができない。次に土砂生産係数Kと地質・崩壊地面積の関係を図-7に示しており、一定の関係が見られるものの札内川水系のデータでは傾向に差が見られる流域があり、更に検討を要する。

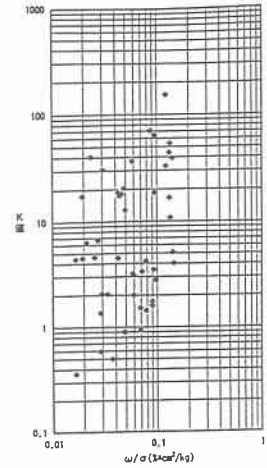


図-6 北海道の河川における $\omega/\sigma \sim K$ 値

5. 堆砂量の再現計算

今回は図-7において得られた石狩川水系の関係から大洪水が起こった昭和56年を境に桂沢ダムの昭和55年前の土砂生産係数 K_1 と昭和56年以降の土砂生産係数 K_2 を図-7から $K_1 = 30.1$ 、 $K_2 = 37.0$ として予測計算に用いた。桂沢ダムの予測堆砂量と実測堆砂量を比較したものが図-8であり良い予測結果を得た。

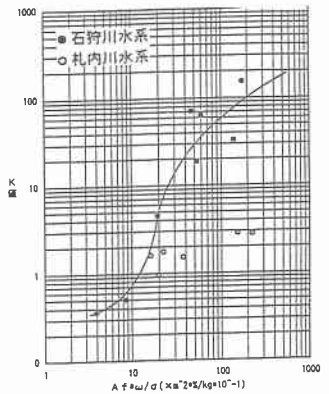


図-7 水系別による $Af*\omega/\sigma \sim K$ 値

6. 考察

一回のダム流域の平均一軸圧縮強度及び平均吸水率は各種岩石の一軸圧縮強度、吸水率の平均値を用いたものであり、今後は現地でも岩種毎の一軸圧縮強度又はP波速度、吸水率を実測することによって精度向上が図られ、任意のダムにおける堆砂状況を把握することが可能になるものとする。

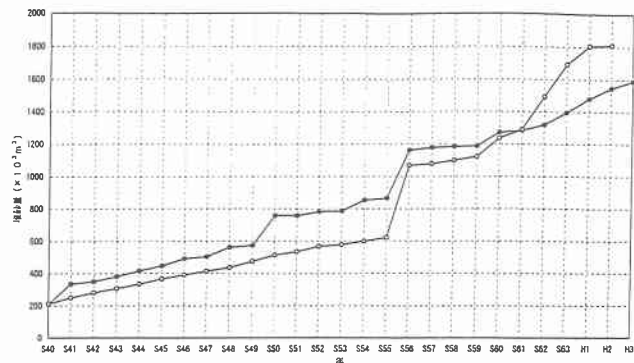


図-8 桂沢ダムの予測堆砂量と実測堆砂量 ●— 予測堆砂量 ○— 実測堆砂量

参考文献

- 1) 山口 甲 山地河川の土砂生産に関する研究
北海学園大学工学部研究報告第23号 平成8年3月
- 2) 土質工学会 岩の調査と試験
- 3) 根岸 正充 星野 寔 岩石の強度に関する研究
第4回 岩の力学国内シンポジウム 昭和49年11月