

貯水池土砂バイパストンネルの堆砂進行条件について

関西電力㈱ 正 員 大東 秀光*
 関西電力㈱ 正 員 加藤 雅広*
 ㈱ニュージエック 正 員 増田 寛**

1. はじめに

ダム貯水池の堆砂の問題を解消する一方策として、上流からの流送土砂を貯水池内に流入させずに、土砂バイパストンネルによってダム下流へ導くことが挙げられる¹⁾。このシステムが満たすべき水理機能としては、効率の良い排砂が行えるのと同時に、流入土砂によってトンネルが閉塞しないことが重要である。そこで本研究では、河川からバイパストンネルへの取水部（流入部）を簡易モデル化した模型実験を行うとともに、その解析モデルについての考察を行い、トンネル閉塞の限界条件予測に向けての基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いた模型を図-1に示す。また主な実験条件を表-1に示す。模型は河道部に堰を設けて、そこからトンネルへ取水するモデルとした。河道部に相当する部分を幅 50cm、高さ 30cm、長さ 7.0m の矩形断面水路（木製防水塗装）とし、水路内に所定の初期設定河床勾配となるよう、河床材料を敷設した。トンネル部は 5cm × 5cm の幌型断面（透明アクリル製）とし、河道流向に対して 30° の角度で 3 m 設置した。トンネル縦断勾配は 1/50 とした。また河道模型及びトンネル模型下流端には流量検定水槽及び補砂枡をそれぞれ設置し、流量、流砂量の配分を測定した。

表-1 主な実験条件

流 量	2.5 ～ 25.0 l/s
初期河床勾配	1/30 ～ 1/100
給砂量	土研式より算定
河床材料粒径	1.13mm (平均)
堰 高	0cm ～ 10cm
堰位置	5cm ～ 40cm

※堰高、堰位置はそれぞれトンネル敷高、トンネル中心位置を基準とした値。

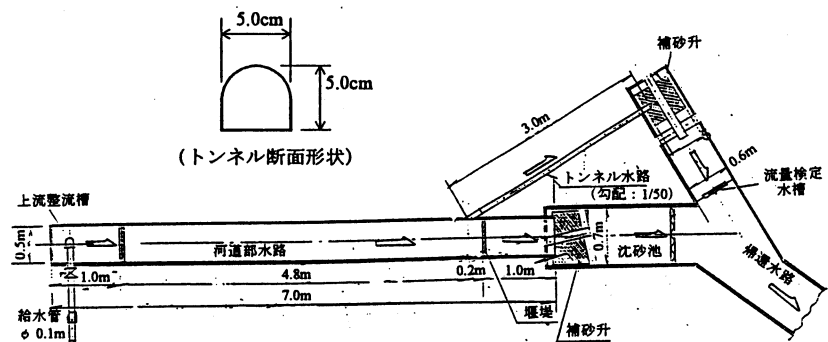


図-1 実験水路模型

河川からトンネル内への流入土砂が、トンネル内に堆砂する（堆砂が進行する）条件は、河川の単位幅流砂量 q_{BR} 、トンネルの流下能力（単位幅流砂量） q_{BPT} を用いて(1)式のように表せる。

$$q_{BPT} / q_{BR} < \kappa_s B / D \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 κ_s はトンネル流砂量の河川流砂量に対する分流砂量比、 B は河道幅、 D はトンネル径を示す。

河川、トンネルにおいて等流を仮定し、流砂量式に芦田・道上の式を用いて $u_{*c} \approx u_*$ として、(1)式を変形・整理すると(2)式ようになる。

$$\frac{I_T}{I_R} < \alpha \beta \gamma \frac{n_R D^{1/6}}{n_T R^{1/6}} \left(\frac{1 - u_{*c}^2 / u_{*R}^2}{1 - u_{*c}^2 / u_{*T}^2} \right) \left(\frac{1 - u_{*c} / u_{*R}}{1 - u_{*c} / u_{*T}} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 I : 動水勾配、 n : Manning の粗度係数、 R : 径深、 u_* : 摩擦速度、 u_{*c} : 限界摩擦速度、添字 T 、 R はそれぞれトンネル、河川の諸元を表す。また、 $\alpha = \kappa_s / \kappa$ (κ はトンネル流量／河川流量の比)、

キーワード：土砂バイパストンネル、排砂、水理模型実験、解析モデル

連絡先 * : 〒 530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22 TEL (06) 6441-8821 FAX (06) 6441-3879

** : 〒 542-0082 大阪市中央区島之内 1-20-19 TEL (06) 6245-4901 FAX (06) 6245-4710

$\beta = A_T / D^2$ (A_T はトンネル断面積)、 $\gamma = (R_T / D)^{1/6}$ である。なお、トンネル内は管路流とし、粗度係数は滑面： $n_p = 0.0085$ 、粗面（河床含む）： $n_s = 0.015$ としてその合成粗度を用いた。(2)式で（左辺）＜（右辺）となるとトンネル内の堆砂が進行することになる。図-2に、(2)式を用いてトンネル内の堆砂厚を0～4.5cmに変化させた場合の試算結果を示す。計算条件は、 $I_T = 1/100 \sim 1/20$ 、 $I_R = 1/150$ とし、 α は実験結果²⁾より6.0としている。図-2より I_T を一定と仮定すると、ある程度まではトンネル内堆砂の進行に伴い(2)式の左辺／右辺の値は増加傾向にあり、堆砂は抑制される傾向となる。ただし堆砂厚が4cmを越えると左辺／右辺の値が急激に減少して1以下となり、トンネル内の堆砂が更に進行して閉塞の危険性があることが伺える。

4. 実験結果への適用性

実験で計測した諸元を用いて、トンネル堆砂進行条件式の適用性を検証する。図-3に(2)式の右辺算定値と左辺算定値の関係を示す。なお、トンネルが最終的に閉塞せず安定するケース（図中○）については、安定後の水理諸元を、トンネルが閉塞したケース（図中▲■◆）については、閉塞直前の水理量を用いた（ただし、直接測定困難な諸元については仮定を含む）。図-3で左辺＝右辺の線よりも左上に来れば、トンネル内で堆砂進行せず安定した状態を示し、逆に左下に来れば堆砂が進行することになる。実験値の大半は(2)式による条件と合致しているが、堆砂進行がないケースの一部については、(2)式の関係を満たさないものも見受けられる。この原因は、これらのケースのトンネル前面（取水部）に洗掘孔が形成されていて、取水部周辺の流況が非常に複雑となり、この部分での水頭算定精度の問題と推察される。よって基本的には(2)式のモデルによって実験結果を説明できるとが得られる。ただし(2)式において α (κ_s / κ)については構造、水理諸元との関係がまだ十分に解明できておらず、今後 α の値を如何に精度良く推定するかが重要な問題である。なお、今回の実験で閉塞に至ったケースは、閉塞しなかったケースに対し、河床勾配が大きい条件、トンネル敷に対して堰高が高い条件、および堰天端高を横断方向に勾配を付けた場合で、これらの条件が複合して、トンネル内への過剰な流入土砂量をもたらす要因になっていると考えられる。

5. おわりに

今後これらの結果を踏まえて、構造条件、水理条件を勘案しながら、効率的に排砂でき、かつトンネル内で閉塞しないシステムを検討していくとともに、土砂バイパストンネルの汎用的な設計手法を確立していく予定である。

なお、研究に際しては（財）河川環境管理財団 大阪研究所 芦田和男所長、同 平山鉄浩主任研究員より御指導頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献：1) 原田 稔，芦田和男，出野 尚，大本雄二：貯水池のバイパストンネルによる掃流砂排出システムに関する実験的研究，水工学論文集第40巻，pp.813～818，1996。2) 小久保鉄也，加藤雅也，増田 寛：貯水池土砂バイパストンネル取水部の流量・流砂量配分比に関する実験的研究，第54回年次学術講演会講演概要集 第2部，pp.304～305，1999。

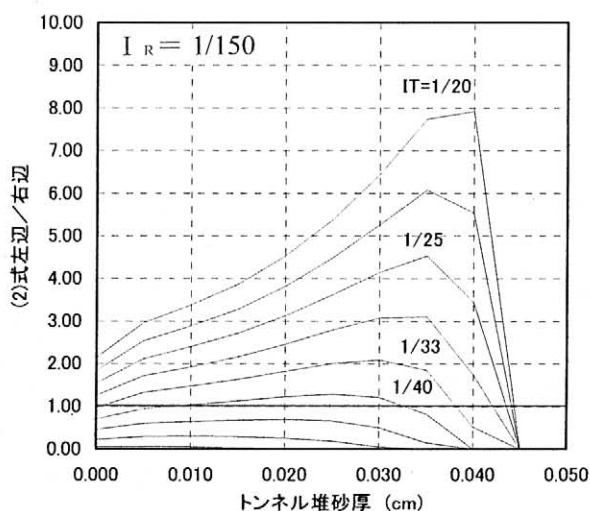


図-2 トンネル内堆砂進行条件式試算結果

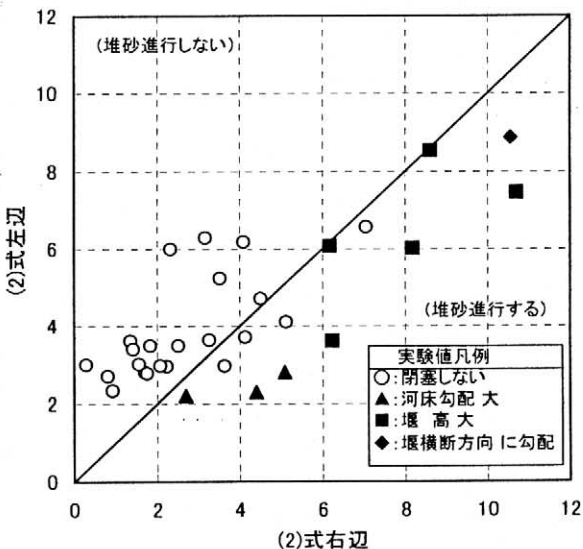


図-3 条件式の実験結果への適用性