

無巻水路トンネルの水理特性に関する一考察

京都大学工学部 正員 岩佐義朗 京都大学工学部 正員 細田 尚
中国電力技術研究所 正員 平岡順次 中国電力技術研究所 岡川一義
京都大学大学院 学生員○北原政宏

1. はじめに

本研究は流れ込み式発電所などの水路トンネルにおいて、建設費削減を目的として吹き付けロックボルト工法などで施工された後のコンクリート巻立てを省略した場合の流れの抵抗則について、水理実験及び数値シミュレーション結果を用いて考察したものである。無巻トンネルの側壁の凹凸を二等辺三角形粗度で模擬した水理実験を行い相当粗度(ks)と水理諸量の関係を得るとともに、その実験結果の特性を表す簡易式を導いた。さらに数値解析によって粗度近傍における流速分布の再現を試みた。

2. 実験結果の概要

実験は、中国電力技術研究所に設置された幅0.6m、長さ40mの長方形断面水路を用いて行われた。路床勾配を1/500に設定し、路床、側壁に図-1に示したように三角形粗度(図-2)を設置し通水した。得られた相当粗度(ks)と粗度模型の幾何形状及び水理諸量の関係の一例を図-3, 4に示した。tanθが0~0.6まではtanθの増加に伴いks/kmも増加するが、tanθが0.6を越えるとks/kmが減少すること、R/km(R:径深)の増加とともにks/kmは、ほぼ一定値に漸近することがわかる。

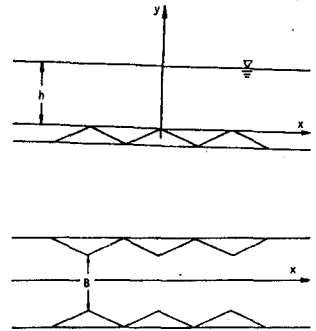


図-1 実験の概要

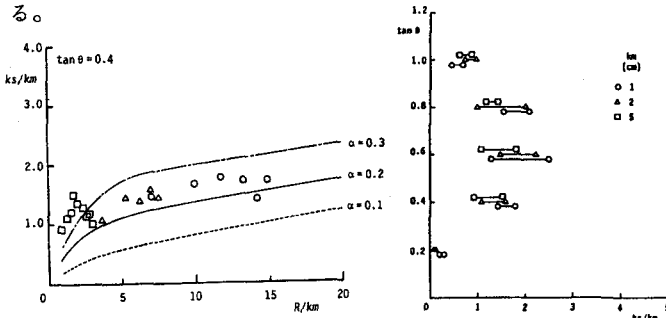


図-3 ks/kmとR/kmの関係

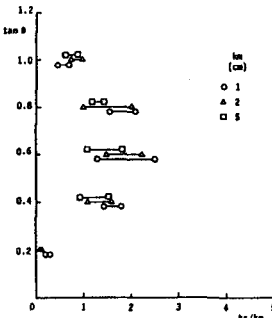


図-4 ks/kmとtanθの関係

図-2 粗度模型の幾何学的諸量

3. 簡易式の誘導

ks/kmとR/kmの関係について簡単な考察を試みる。図-5を参照して、運動方程式のx-成分

$$\frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} = g \sin \phi - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{u^2})}{\partial x} + \frac{\partial(-\overline{uv})}{\partial y} \dots\dots\dots (1)$$

を領域 Aで積分すると次式になる。

$$Ag \sin \phi = \int_0^L -UV_{(y=0)} dx + \int_0^L -\overline{uv}_{(y=0)} dx \dots\dots\dots (2)$$

Yosiaki IWASA, Takasi HOSODA, Junji HIRAOKA, Kazuyosi OKAGAWA, Masahiro KITAHARA

ここに、 (U, V) ; 平均流ベクトルの x, y 成分、 (u, v) ; 乱れ速度の x, y 方向成分、 P ; 平均圧力、 ϕ ; 路床勾配。
 上式の各項を図-5を参照にして近似的に次のように表す。

$$A g \sin \phi = u_*^2 L \quad , \quad \int_0^L -\overline{uv}_{(y=0)} dx = \frac{f_0}{2} U_c^2 L \quad , \quad \int_0^L -U V_{(y=0)} dx = \alpha \frac{L}{2} U_T^2 \frac{k_m}{h} \tan \theta \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 α は粗度近傍での流速の減少を表すパラメータ。これらを(2)式に代入して得られる関係式と対数則より得られる U_c/U_* の関係式を等置して、次式が得られる。

$$\frac{k_s}{k_m} = \frac{h/k_m}{\exp \left[\kappa \left(1/\sqrt{\frac{f_0}{2}} + \alpha \frac{\tan \theta}{2} \frac{k_m/h}{(1+k_m/h)^2} - 6.0 \right) \right]} \dots\dots\dots (4)$$

図-3中に $f_0=0.005$ として計算した(4)式が示してあり、ほぼ実験結果と適合していることがわかる。

4. 数値解析を用いた考察

数値解析は次の目的で行われた。

- ① 実験の困難な条件での粗度係数の把握 (スケール効果, 路床勾配の効果など)
- ② 実験結果の解釈を容易にする。
- ③ 現実的な凹凸形状の上の流れの把握

このために、少なくとも本実験結果を再現できるモデルの作成を試みた。用いられた基礎式は乱れレイノルズ数の低い領域を考慮した $k-\epsilon$ モデルである。(1)解析法は参考文献(2)を参照されたい。底面におみ粗度を設定した場合の流れを鉛直2次元流れとして解析した。得られた流況の一例を図-6に示した。さらに流速分布に関する計算結果と実験結果の比較を図-7に示した。両者はほぼ適合している。

5 おわりに

今後、数値解析結果を用いて流れの詳細な特性を検討するとともに、本研究結果の現場での適用性についての検証を行いたい。

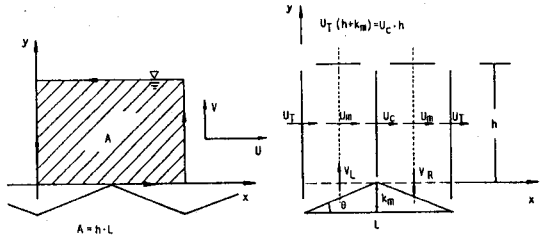


図-5 簡易式の誘導

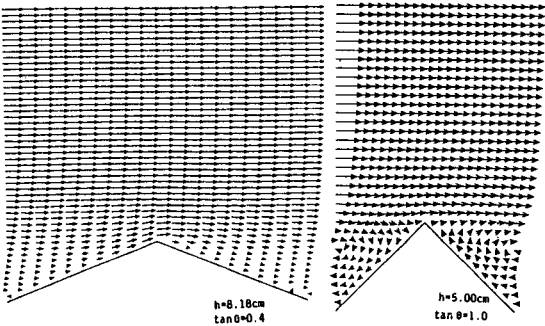


図-6 流速ベクトル図

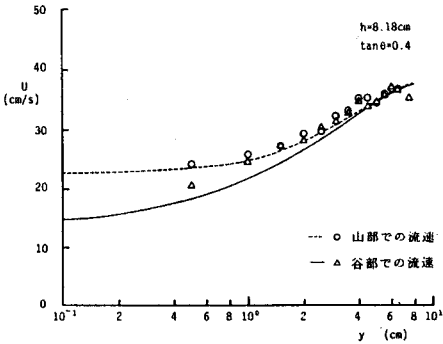


図-7 流速分布図

参考文献:(1) Jones. Launder: Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 15, 1972
 (2) 北原政宏: 京都大学卒業論文, 1991