

II-374

無巻水路トンネル内の流れの抵抗則について

中国電力技術研究所 正員 平岡順次
京都大学工学部 正員 岩佐義朗

中国電力技術研究所 正員 岡川一義
京都大学工学部 正員 細田 尚

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付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を省略した無巻水路トンネル内の流れの抵抗則について考察したものである。まず、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(k_s)と水理諸量の関係を得るとともに、実験結果の特性を表す簡易式を導いた。さらに、実際の無巻トンネルでの側壁の凹凸の計測結果を用いて、実験結果の現場への適用性についても検討した。

2. 実験の概要とその結果

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に設定し路床および側壁に図-1に示したように三角形粗度(図-2)を設置し通水した。用いられた粗度の諸元を表-1に示した。

慣用に従い、便宜的に対数則を適用して求められた相当粗度(k_s)と粗度模型の幾何形状および水理諸量の関係の例を図-3(a)~(c)および図-4に示した。図-3から、 R/k_m (R :径深)の増加とともに k_s/k_m はほぼ一定値に漸近すること、図-4から $\tan \theta$ が0から0.6までは $\tan \theta$ の増加にともない k_s/k_m も増加するが0.6を越えると k_s/k_m は減少し、0.6を境に流速分布特性に変化が生じることがわかる。

表-1 三角形粗度の諸元

$\tan \theta$	k_m (cm)
0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	1.0, 2.0, 5.0

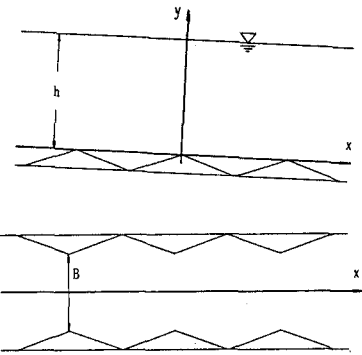


図-1 実験の概要と座標系

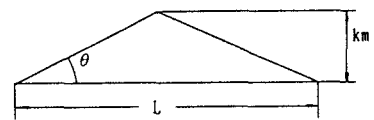
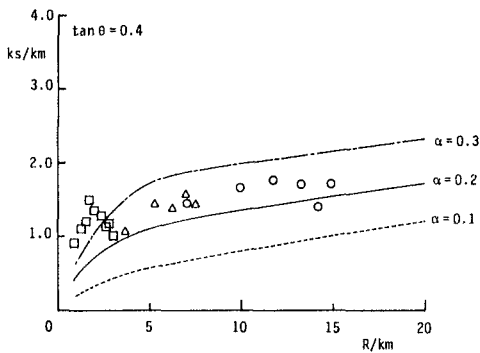
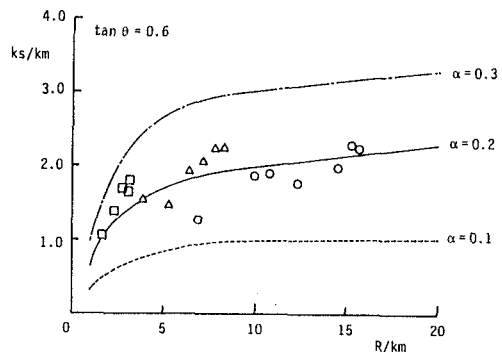


図-2 粗度模型の幾何学的諸量



(a) $\tan \theta = 0.4$



(b) $\tan \theta = 0.6$

図-3 k_s/k_m と R/k_m の関係

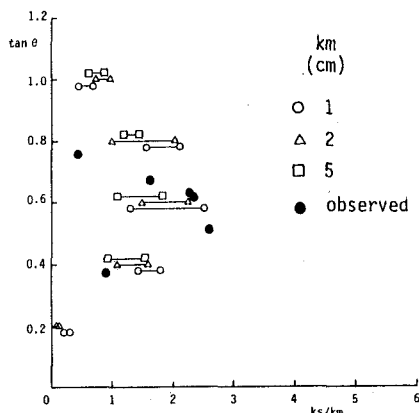
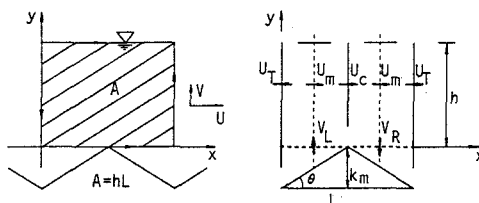

 図-4 ks/km と $\tan \theta$ の関係


図-5 簡易式の誘導

3. 簡易式の誘導

ks/km と $\tan \theta$ 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

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

を領域Aで積分すると次式となる。

$$g \sin \phi A = \int_0^L -UV_{(y=0)} dx + \int_0^L -\bar{uv}_{(y=0)} dx \quad (2)$$

ここに、 (U, V) : 平均流速ベクトルの x, y 方向成分, (u, v) : 乱れ速度の x, y 方向成分, P : 平均圧力, ϕ : 路床勾配。(2)式の各項を図-5を参照して次のように表す。

$$g \sin \phi A = u_*^2 L \quad u_* = \sqrt{gh \sin \phi} \quad \int_0^L -\bar{uv}_{(y=0)} dx = \frac{f_0}{2} U_c^2 L \quad (3)$$

$$\int_0^L -UV_{(y=0)} dx = \int_0^{L/2} -\alpha U_T U_T \tan \theta dx + \int_{L/2}^L +U_C U_T \tan \theta dx = \alpha \frac{L}{2} U_T^2 \frac{k_m}{h} \tan \theta \quad (4)$$

ここに、 α は粗度近傍での流速の減少を表すパラメータ、 f_0 は滑面上の摩擦損失係数。これらを(2)式に代入して得られる関係式と対数則による U_c/u_* を形式的に等置すると次式となる。

$$\frac{k_s}{k_m} = \frac{h/k_m}{\exp \left[\kappa \left(1/\sqrt{\frac{f_0}{2} + \alpha \frac{\tan \theta}{2} \frac{k_m/h}{(1+k_m/h)^2} - 6.0} \right) \right]} \quad (5)$$

図-3中に $f_0=0.005$ として計算した(5)式を示してあり、 $\alpha=0.2$ のとき実験結果とはほぼ適合している。

4. 現場への適用

実際の無巻水路トンネルで計測された側壁の凹凸および所要の水理諸量を用いて ks/km と $\tan \theta$ の関係を検討した。調査対象としたのは、鳥取県天神川水系に既設の下西谷発電所導水路トンネルであり、導水路内の数カ所において側壁の凹凸を計測した。計測例を図-6に示した。図-7のように一つの凹部の km_i と L_i を定義し、次式を用いて断面の平均値を求めた。

$$k_m = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{L} k_{mi}, \quad L = \sum_{i=1}^N L_i, \quad \tan \theta = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{L} \frac{k_{mi}}{L_i/2}$$

さらに、各断面の形状および流量などから ks を求め、 ks/km と $\tan \theta$ の関係を図-4中に示した。観測値は実験結果の範囲にあり、実験結果の現場への適用性が示唆される。

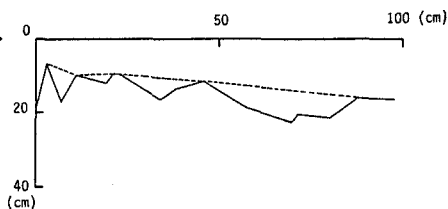
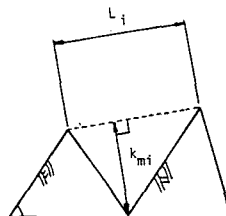


図-6 凹凸の計測例


 図-7 現場断面における km と L の定義