トンネル内放流設備のトンネル内圧力に及ぼす模型縮尺の影響

独立行政法人土木研究所	正会員	○宮脇	千晴
国土技術政策総合研究所	正会員	柏井	条介
独立行政法人土木研究所	正会員	箱石	憲昭

1. 目的

既設ダムのより効率的な利用を促進するため、放流設備の増設が今後多く必要になることが予想されるが、 堤体内に設置スペースがない場合、この増設放流設備はトンネル式放流設備として地山内に設置される。トン ネル放流設備の設計では、流れへの給気が重要な検討項目となるが、空気連行現象に対する十分な知見が得ら れていないことなどから、その設計方法は十分には確立していない現状にある。本論文は、ゲートとトンネル 断面の比が小さく、トンネル内圧力の降下が放流に伴う顕著なケースを対象¹に、トンネル内放流の安定化に 重要な圧力降下量に及ぼす模型縮尺の影響について調査したものである。

2. 実験方法

図・1 に実験に用いた1 倍模型を示す。1 倍模型の実験では、勾配 1/100 の透明合成樹脂性トンネル模型(ト ンネル径 φ=130mm, トンネル長 L=2.5m)を、出口径 φ ω=100mm で水平方向に放流する透明合成樹脂性円 形放流管模型に接続して、流況及びトンネル上流端(P点)の圧力を調査した。また、1/4,1/2,3倍模型はそれ ぞれ φ 0 φ 及び L を縮尺倍して製作し、1 倍模型と同様に放流特性を調査した。



3. 実験結果

図-1 1倍模型概要図

3.1 現象に係る無次元パラメータ

トンネル内放流設備は、安定した開水路流で放流させるために満管流状態にならないよう設計する必要があ る。実験結果を整理する上で、これらトンネル内放流設備の現象に関わりのある無次元パラメータとして式(1) **2**0

 $f' = f'(\phi / \phi_0, L / \phi_0, F_{r0}, R_{e0}, W_{e0})$ が得られるコレ。 (1)ここに、f':トンネル内放流に係わる現象を表わす諸量に関する無次元量、

> F_{r_0} :フルード数= $v_0 / \sqrt{g\phi_0}$ 、 R_{e_0} :レイノルズ数= $v_0 \phi_0 / v_w$ 、 W_{e0} :ウェーバー数_{= $\sqrt{v_0^2\phi_0/(T/\rho_w)}$ 、 Q_w :放流量、 ρ_w :水の密度、} v_w :空気の動粘性係数、g:重力加速度、T:表面張力である。

3.2 満管流となる条件

本模型ではある流量で満管流が生じることが確認されており、図-2に満管流 に遷移する $F_{r_0} \ge W_{e_0}$ の関係を示す。式(1)から分かるようにT等の物理定 数が一定であるとすると、 $W_{e0} = k_1 \phi_0 F_{r0}(k_1: 定数)$ となり、同じ F_{r0} に対し、 図-2 満管流での $We_0 \sim F_{r0}$ の関係 Weoは模型規模に比例して変化する。図より、満管流に遷移する Fro は、Weo

に対しピークをもっており、比較的大きな模型規模ではF_nが減少、つまり、満管流に遷移しやすい結果とな っている。1/4 模型で F_{ro}が小さくなっている理由は明確ではないが、1/4 模型では他の模型に比べてかなり

キーワード トンネル内放流設備,空気連行,水理模型実験,フルード数,ウェーバー数、模型縮尺 ·連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所水工研究グループ TEL029-879-0867 miyawaki@pwri.go.jp







0.07

0.06

0.05

0.04

0.03

0.02

0.01

0

小さい R_{e0} である。

3.3 トンネル上流端の圧力降下 トンネル上流端の圧力降下は、 放流管出口部の空気と流水間に作 用するせん断抵抗力により、空気 が連行されて、生じる。そこで、 圧力降下に関する無次元量として 速度水頭に対する圧力降下量の比 $-(p_P/\rho_w)/(v_0^2/2)$ を用い、図-3,4に それぞれ無次元圧力降下量と F_{r0} 、 Waの関係を示す。何れのパラメー

ターに対するプロットでも、無次元圧力降下量は模型規模により異なる 傾向を示しており、同じF_nに対しては模型規模が大きいほど降下量が大 きく、同じWeoに対しては小さくなっている。以上のように、模型規模が 異なる場合の無次元圧力降下量は、流れに関する単独の無次元パラメータ ーで表すことはできない。そこで、両者が同程度に影響していると考え、 $-(p_{P}/\rho_{w})/(v_{0}^{2}/2) = KW_{e_{0}}^{a}F_{r_{0}}^{b}$ の式形にて重回帰分析を行い、a、bによ り W_{e0} 、 F_{r0} それぞれの影響度をチェックした(K:定数)。分析の結果、 a=0.62、b=1.37(相関係数0.8)の結果を得、図-5にその関係か ら求まる計算値と実験値を示す。無次元圧力降下量に対し、Weo、Fro が同程度に影響することを示したが、図-5をみると、模型が大きい 場合のデータにおいてやや近似が悪い結果となっている。そこで、 図-6 では、a=b=1とし、 $-(p_P/\rho_w)/(v_0^2/2) = K'W_{e0}F_{r_0}$ にて算出される 計算値と実験値の関係を示す。ただし、図-6の作成に当たっては、全 てのデータから算出した K'を求め、その平均値を用いて無次元圧力降 下量を計算した。図より、本ケースでも、模型規模の影響が十分反映さ れている。図-7には給気を行っている他の形状の模型での結果20も併 せて示しているが、本実験と同様に縮尺の影響をWeo、Froであらわす ことができている。

4. まとめ

本実験ケースの範囲では、模型規模が大きくなると満管流に遷 移しやすくなることがわかった。

フルード則を用いて得られた無次元圧力降下量の実験結果を原型 換算する場合には、模型と原型のW_aの比を乗じることで求めること のできる可能性があり、今後更に他の形状でのデータの蓄積を計り たいと考えている。

参考文献

- 1) 柏井条介、宮脇千晴:トンネル放流設備の水理機能、第33回 土木学会関東支部技術発表会講演概要集 Ⅱ-106
- 2) 柏井条介、大澤信哉:整流管付きジェットフローゲートの 給気量、土木技術資料 45-4(2003)





 $\mathbb{Z} - 5 - (p_P / \rho_w) / (v_0^2 / 2) = K W_{a0}^{\ a} F_{r0}^{\ b}$ の場合の実験値と計算値の関係



の場合の実験値と計算値の関係

