

トンネル内放流設備の水力機能

独立行政法人土木研究所 正会員 柏井 条介
独立行政法人土木研究所 正会員 ○宮脇 千晴

1. はじめに

既設ダムに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、ダム幅が小さいなどの理由により既設ダム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ことになる。トンネル式放流設備は閉空間であるトンネル内に大量に空気を連行する高速流を放流するものであるため、流れに適切な給気が行われない場合には、大きな圧力降下が生じ、キャビテーションの発生等の問題を生じる。また、満管流が生じるような場合には流れの脈動の原因ともなる。従って、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。上記に鑑み、トンネル内放流設備の水力特性及び空気連行特性を解明し、トンネル断面及び空気管システムの設計方法を提案することが必要になってきている。本論文では、このトンネル内放流設備の中から円形一様断面トンネル内に円形ゲートから放流する場合を対象に、空気管がない場合のトンネル内流況及び圧力降下量とトンネル断面規模、トンネル長の影響を水力実験により調査した。

2. 実験方法・結果

図-1に実験模型を示す。実験は、直径 $\phi=130\text{mm}$ 、勾配 $1/100$ の透明合成樹脂性トンネル模型を、出口径 ϕ_0 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実施した。ここで、トンネル軸及び放流管軸は両者の接続部で一致させて接続している。実験では放流管径 $\phi_0(=80,90,100,110,120\text{mm})$ 及びトンネル長 $L(2.5,4.5,8.5,16.5\text{m})$ を変化させてそれぞれの影響を調査した。

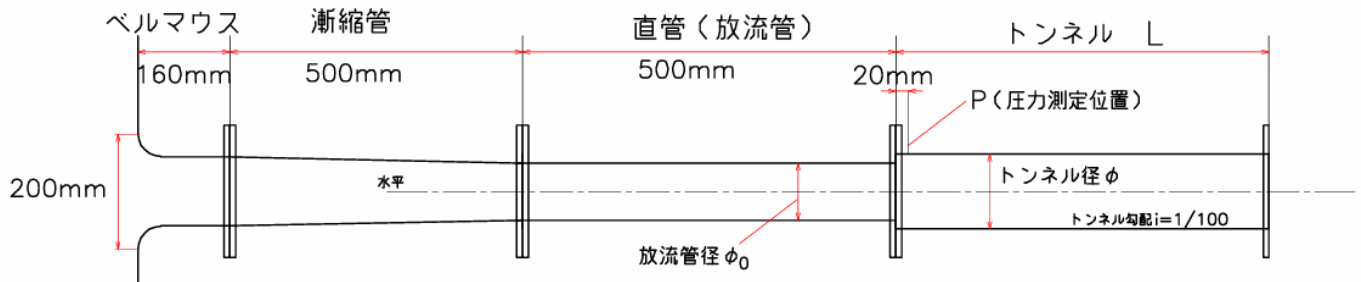


図-1 実験模型の概要

流量を徐々に増加させていった場合、次のような流況の変化（流況1から5）が観測された。

流況1：放流水脈に空気混入はほとんど見られず、放流水は着水位置下流でトンネル壁面沿いに若干這い上がるが、滑らかに流下する。流況2：放流水脈に白濁がみられ、空気混入が生じている。着水後の水脈はトンネル壁沿いに這い上がるがトンネル天端に達することはない。流況3：空気混入が生じており、着水位置下流のトンネル壁沿いの這い上がり水脈がトンネル天端に達する。着水位置周辺はトンネル壁面全体が水流で覆われており、放流管出口への給気は放流位置への這い上がり水脈と放流水脈の間の空間からなされる。流況4：着水位置下流のトンネル壁沿いの這い上がり水脈が下流向きとなり、天端に達しない。水脈の白濁が顕著。流況5：満管流。流量増加に伴う上記の流況変化は、何れのケースでも同様であったが、例えば放流管径に対し、トンネル径が十分大きい場合には流況3が生じない可能性がある。この場合、流況2～4の違いが明確で無

キーワード トンネル放流設備，空気連行，水力模型実験

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

くなるが空気混入開始から満管に向けて順次激しくなる空気混入状況を3段階に分けたものと解釈することができる。なお、当然のことながら流況5の満管流は、放流管出口部で大きな圧力降下を生じ避けるべき流況である。

空気連行現象についての運動方程式等に基づく試みは幾つかあるが¹⁾、現象の複雑さから十分なモデリングがなされていないのが現状である。ここでは、実験結果の整理に当り、まず次元解析により検討を行う無次元パラメータを設定する。例えば、点Pの作用圧力など、トンネル内放流に係わる現象を表わす諸量を f とすると f は次式で表わされる。

$$f = f(\phi_0, \phi, L, Q_w, \rho_w, \nu_w, g, T) \quad (1)$$

ここに、 Q_w ：放流量、 ρ_w ：水の密度、 ν_w ：空気の動粘性係数、 g ：重力加速度、 T ：表面張力

この他、壁面粗度等も関連パラメータとして考えられるが、ここでは、主たる因子を考えることとして省略した。

式(1)において、括弧内のパラメータは8個である。 π 定理より無次元パラメータは5つ抽出され、次式を得ることができる。

$$f' = f'(\phi/\phi_0, L/\phi_0, Fr_0, Re_0, We_0) \quad (2)$$

ここに、 f' ： f に関する無次元量、 Fr_0 ：フルード数 $=v_0/\sqrt{g\phi_0}$ 、 Re_0 ：レイノルズ数 $=v_0\phi_0/\nu_w$ 、 We_0 ：ウェーバー数 $=\sqrt{v_0^2\phi_0/(T/\rho_w)}$

このうち、 Re_0 については十分大きければ現象への影響は小さい。上記の Re_0 を除く無次元パラメータと流況の関係について整理したのが図-2である。図-2より、 ϕ/ϕ_0 が小さいほど、また、 L/ϕ_0 が大きいほど Fr_0 及び We_0 の小さい領域で流況遷移が生じている。また、 $\phi/\phi_0 = 1.18$ で L/ϕ_0 が50程度以上では、 Fr_{0c} 、 We_{0c} (添え字cは等流状態で満管となる場合を示す)と同程度か小さい領域で満管流への遷移が生じており、安定した開水路流として流下できる領域はきわめて小さい。 $\phi/\phi_0 = 1.3$ で $L/\phi_0 = 150 \sim 200$ 程度の流況領域は余り変化がなく、満管流遷移する Fr_0 及び We_0 は Fr_{0c} 、 We_{0c} に近づく。また、 Fr_{0c} 、 We_{0c} での流況は流況3となっている。

放流管出直下流の壁面作用圧力 p と無次元パラメータの関係は、放流水脈の速度水頭に対する圧力低下量の比 $-(p/\rho_w)/(v_0^2/2)$ として無次元化すると、流況1～4に遷移するに従って大きくなっている。 Fr_0 及び We_0 に対する増大割合は流況4で大きく ϕ/ϕ_0 が小さいほど大きい。

参考文献

1)例えば高須修二、中澤顕治、村岡敬子、井熊均：ダム放流管における空気連行流の特性、土木技術資料、No.28-10、1986年10月号、pp527-532。

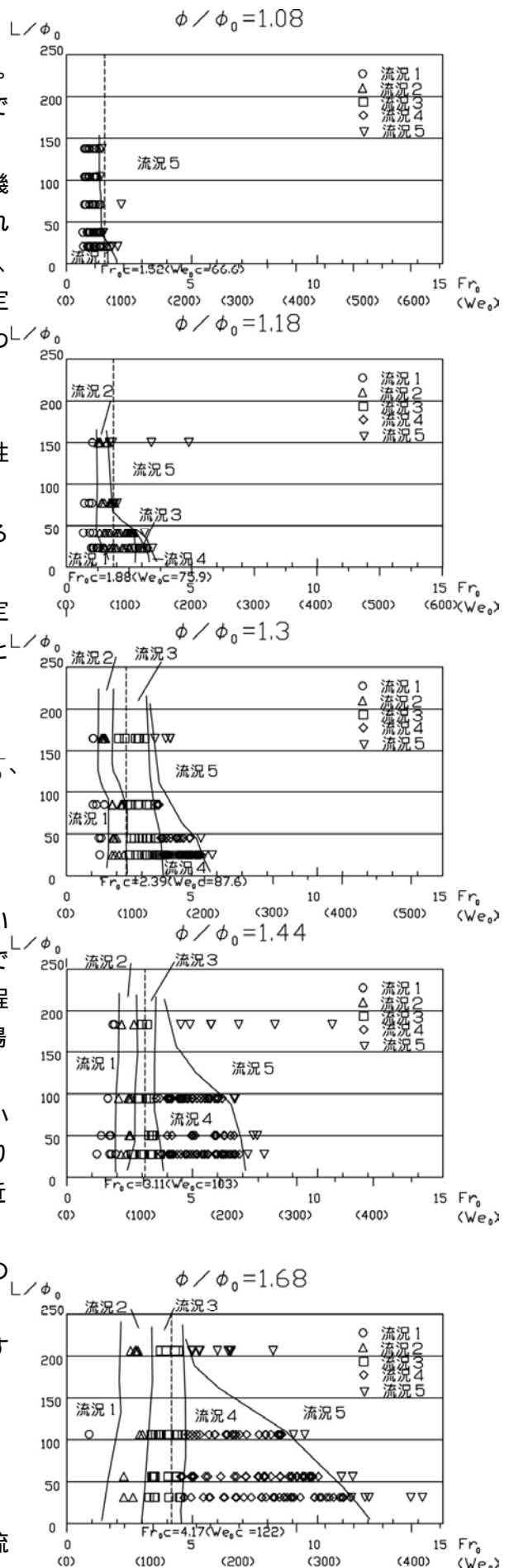


図-2 流況と無次元パラメータの関係