

II-134

水路トンネルへの空気供給システムの特性

建設省土木研究所 正員 宮脇千晴

建設省土木研究所 正員 高須修二

1. はじめに

フィルダム等で用いられているトンネル式洪水吐きの流れは、水と空気が混在する複雑な高速流れとなり、これら水路トンネルを設計する上で空気供給システムについてそのメカニズムを知ることは、トンネル内での高速流れを安定した自由流状態とするための給気管の必要規模の設計のためには重要な事項である。本論文は、水路トンネルにおける空気供給のメカニズムを把握するために、連行される空気流の特性に着目した単純モデルを用いて検討したものである。

2. 水路トンネル内での流れ

水路トンネル内では、図1に示すように、水と空気の運動は相互に影響を及ぼしあい、流水中には混入現象により水中に取り込まれた気泡が存在しており、その上部空間には流水から飛散する水滴と流水や水滴からの運動量の拡散に起因する空気の流れとが共存している。この水路トンネル内を流下する水流の上部空間では、流水面のせん断力や飛散する水滴による抗力および空気の渦粘性による運動量輸送により、風速分布は、①断面の点線や②断面の点線で示されるように発達していく。また、トンネル内の

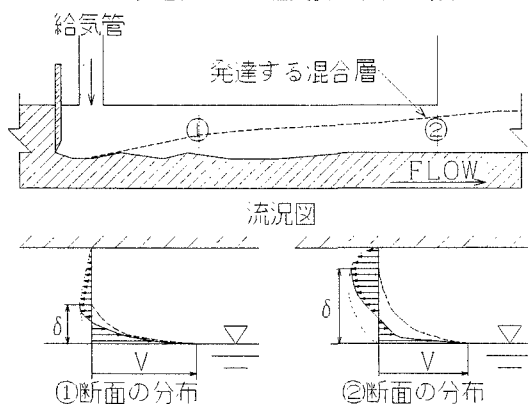


図1 水路トンネル内の流れ

圧力低下により②断面では一点鎖線で示されるような逆流が生じ、点線と重ね合わせた実線のような分布形状が結果として出現する。この現象が開放された大気中で生じている場合には、①断面から②断面の間で上部から空気の流入があり、②断面の風速分布は①断面の風速分布に影響を与えることはない。しかし、本研究で対象としているような水路トンネル内では、発達した断面の風速分布に見合う空気量が①断面を通して供給される必要があり、①断面での一点鎖線で示されるような逆流と点線と重ね合わせた実線のような分布形状による総空気量が②断面での総空気量と一致するように逆流量，すなわち圧力勾配を調節することになる。一方、空気管を通しての給気がある程度確保されれば、それに見合った空気連行機構を維持するように流れが形成される。このようなメカニズムを単純なモデルで理解することは極めて有益である。

3. 空気供給のメカニズム

2. で述べたように、水路トンネル内への空気供給はトンネル下流端とトンネル上流端の供給により特徴づけられ、どちらも、流水より与えられる運動量により空気がトンネル下流端から流出することにより、圧力降下が生じ、空気の流入が起こるものであるが、前者の下流端からの空気の流入は、流水による運動量の拡散と圧力差による運動量の相互作用による風速分布に規定されるものであり、後者は圧力差と給気設備のエネルギー損失により規定されるものである。給気設備による安定した流れが作られれば、空気混入現象は、比較的スムーズに行われ、水滴等の飛散はそれ程多くは観察されず、その影響は比較的小さいと考えられる。このため、単純化したモデルでは、空気混入現象や飛散する水縮性は考えない。今、流速 U m/s でトンネル内を流下する表面が滑らかな水流の上部に誘起される空気の流滴を無視し、平滑な流水面により発達する空

キーワード：水路トンネル、空気供給システム、空気連行

〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地 TEL 0298-64-2211（内線 7020）FAX 0298-64-0164

気の流れを取り扱う。また、この時点では空気の流れを考慮する。空気の圧縮性を無視し、乱流粘性係数を一定と仮定すると、この空気流れは、Cuette の流れであり、その風速分布は（1）式ようになる。これは、トンネルの長さが十分長く、トンネル下流端で乱流境界層が十分発達している状態を考えていることになる。

$$u=U\left\{\frac{y}{h}+P\frac{y}{h}\left(1-\frac{y}{h}\right)\right\} \quad \text{ただし、} P=\left(-\frac{dp}{dx}\right)\frac{h^2}{2\mu U} \quad \text{----- (1)}$$

上式の右辺第1項は流水のせん断力により発達する風速分布を表しており、第2項は圧力勾配による下流から流入する風速分布を表している。上流端での圧力低下のない $P=0$ では直線分布となっているが、 $P<-1$ で上部に逆流が生じることがわかる。（1）式を上部空間で積分し、断面平均量を求めると（2）式となる。

$$\frac{q}{Uh}=\frac{1}{2}+\frac{P}{6} \quad \text{----- (2)}$$

（2）式は、水流およびトンネル水路の条件により定まる給気機構の特性を表すものである。一方、給気管による給気機構の特性は（3）式で表される。

$$Q_s=CA\sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad \text{ただし、} C=\sqrt{\frac{1}{1+f}} \quad \text{----- (3)}$$

（2）、（3）式の関係を示すと図2のようになる。すなわち、（2）（3）式の交点（○印）で圧力降下量と給気量が規定され、全体の給気システムの状態が示されている。図2中、給気設備2は給気設備1に対して、給気設備4は給気設備3に対して、それぞれ給気管の断面積が2倍となっているものを比較して示している。圧力降下量が小さい給気設備3、4の場合、給気管断面を大きくしても、流れの特性の変化は小さく、給気量の変化率も小さいものとなる。一方、圧力降下量が多い給気設備1、2の場合、給気管断面を大きくすると、流れの特性の変化が大きく、給気量も比例して大きくなる。

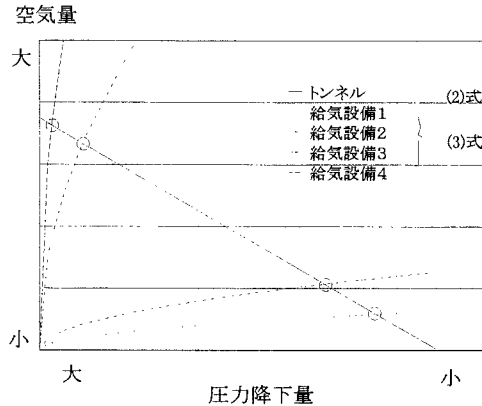


図2 給気システムの特性

これは、給気設備の能力が小さく、流れの安定性が問題となる場合、設備能力を高めることで、流れの安定性を確保することが比較的容易であることを意味している。なお、空気混入やエアレータ等、別なメカニズムで空気が連行されている場合には、トンネルでの風速分布特性を示している直線を、その空気量分だけ上方にシフトさせることでシステムの変化状況を知ることができる。この場合も、圧力が低下し、給気管からの給気量が増えると共に、下流からの流入も増加し、トータルとしてバランスすることになる。

4. まとめ

以上のように、水路トンネル内での空気供給システムは、トンネル内の圧力降下量と給気量がほぼ反比例の関係で表され、給気設備の規模等によるシステムの変化状況を知ることができる。これらの概念は、水流による空気連行現象に共通のものであり、例えば放流管下流の水路底面にオフセットを設置した場合の空気連行現象³⁾にも同様に適用可能である。

参考文献 1) 高須修二、中沢顕司、村岡敬子、金子徹：ダム放流管における空気連行流の発達過程，土木技術資料 29-8, pp45～50, 1987.8

2) 貞弘文佳、高橋陽一、巻幡敏秋、与口正敏：トンネル内放流における高圧ゲートの給気特性に関する研究，ダム工学 No.23, pp5～15, 1996.9

3) 高須修二、中沢顕司、宮脇千晴：水路底面のオフセットによる空気連行現象，第31回水理講演会論文集 pp617～622, 1987.2