

神戸大学工学部 学生員 西尾 彰宣
 神戸大学工学部 正会員 芥川 真一
 建設工学研究所 正会員 櫻井 春輔

1. はじめに

日本における地下空間利用は社会基盤施設に関するものが中心である。近年、大深度地下法が制定された事により、地下利用に対して様々な計画が提案されるようになった。こうした現状でトンネルの跡地利用の一環として高所環境トレーニング施設を建設する場合を想定して、高所環境を再現した時のトンネル内の漏気特性を考察し、その影響や対処方法を検討した。

2. 高所環境トレーニングの概要

スポーツ施設として重要になるのは、肺の中に入ってくる空気中の酸素量であり、平地で酸素量の少ない高所環境を創り出す方法として現在、減圧 - 低酸素方式と大気圧 - 低酸素方式の2つの方法が考えられている。それぞれの方法の環境条件の違い及び施設の特徴を表 1 に示した。

表-1 高所環境トレーニング施設の比較

	減圧 - 低酸素方式	大気圧 - 低酸素方式
圧力	高所と同じ	大気圧 (平地と同じ)
酸素比率	平地と同じ	平地より少ない
酸素量	平地より少ない	平地より少ない
施設の特徴	気圧差に耐えられる施設が必要	通常の建物で行える

3. 空気流入量の算出

本研究では幅 5600mm、高さ 3800mmの半円形断面を持ち、延長 3000mのトンネル (図 1) を仮定し、奥行 1mについて図 2 に示すような一次元化を行い計算した。

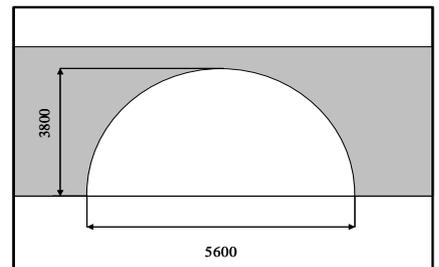


図 1 トンネル断面

山田ら¹⁾、中山ら²⁾は圧力差が生じている時の岩盤空隙内の空気流について一次元問題とした時、空気流はDarcy則に従うと考え、その流れの形態はチャネリングの様相を呈すると考えた。

その時の圧力 p の分布は大気圧を p_e 、測定位置での圧力を p_i 、外気から流量の測定区間までの距離を L 、外気からの距離を x とした場合は次式を提案している。

$$p = \sqrt{p_e^2 - (p_e^2 - p_i^2) \frac{x}{L}} \quad (1)$$

また、減圧後の定常状態における測定位置での単位面積あたりの流量 q は岩盤の透気係数 k 、空気の粘性係数 μ 、標準状態での圧力 p_0 を用いて次式のようにあらわされる。

$$q = -\frac{k}{2\mu L p_0} (p_e^2 - p_i^2) \quad (2)$$

また、透気係数の異なる複数の層を通過する時の流量については、流れが Darcy 則に従い、また圧力分布は式 (1) に従い、境界部分での流量が連続であると仮定することで式 (2) を用いて計算した。

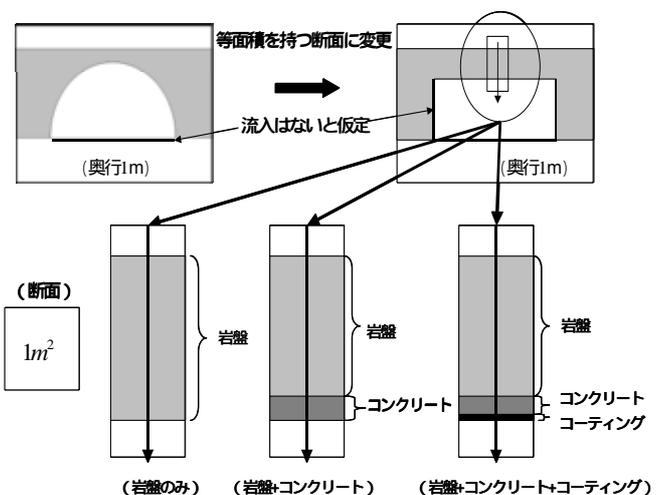


図 2 一次元モデルの概要

また、トンネルライニングのひび割れがコンクリートの打ち継ぎ目付近にあると仮定した場合に、これらが岩盤の透気特性に与える影響については、吉田ら³⁾によると、概略的に透気係数は測定区間における亀裂の最大開口幅の3乗に比例することがわかっている。ここでは、トンネル延長方向で1mあたりの局所的な断面で考えているので、亀裂がある場合は透気係数を亀裂最大開口幅の3乗に比例して定めても問題がないと仮定して計算を行った。今回、外気圧 p_e については1(pa)、 L は40mを、コンクリートライニングの厚さは0.5m、コーティング(漏気を防ぐためにライニング表面に塗布するもの)の厚さは0.05m、ライニングの開口幅は3mm、空気の粘性係数 μ については18での値 $1.8 \times 10^{-5} \text{ pa} \cdot \text{s/m}^2$ を用いて計算をおこなった。

4. 結果の考察

流入量は透気係数が最も重要な要因としていることの確認が行えた。また、コンクリートにひび割れがない状態であればある程度流入を抑えられる結果となったが、ひび割れが存在すると流入量が大幅に増加する問題が発生するようになった。今回は亀裂幅を3mmとしたが、さらに大きな亀裂が存在すると大量の空気の流入が考えられる。また、コーティングを施すことで、同じ条件でコーティングがない場合との結果の差が 1.0×10^{10} 程度のオーダーで出てくることより、その効果ははっきりとわかった。

表 4-1 岩盤のみの場合

トンネル内 気圧(Pa)	透気係数 (m^2)	流入量 (m^3/min)
0.90	1.7×10^{-17}	1.4×10^{-6}
0.85	1.7×10^{-17}	2.0×10^{-6}
0.80	1.7×10^{-17}	2.6×10^{-6}
0.75	1.7×10^{-17}	3.1×10^{-6}
0.70	1.7×10^{-17}	3.6×10^{-6}

表 4-2 コンクリートと岩盤の2層の場合

トンネル内 気圧(Pa)	透気係数 (m^2)	コンクリート 透気係数(m^2)	流入量 (m^3/min)
0.90	1.7×10^{-17}	1.8×10^{-16}	1.4×10^{-6}
0.85	1.7×10^{-17}	1.8×10^{-16}	2.4×10^{-6}
0.80	1.7×10^{-17}	1.8×10^{-16}	2.6×10^{-6}
0.75	1.7×10^{-17}	1.8×10^{-16}	2.6×10^{-6}
0.70	1.7×10^{-17}	1.8×10^{-16}	3.6×10^{-6}

表 4-3 コンクリートと岩盤の2層の場合

(開口幅3mmひび割れがある場合)

トンネル内 気圧(Pa)	透気係数 (m^2)	コンクリート 透気係数(m^2)	流入量 (m^3/min)
0.90	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	2.5×10^{-3}
0.85	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	2.8×10^{-3}
0.80	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	3.3×10^{-3}
0.75	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	3.9×10^{-3}
0.70	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	4.7×10^{-3}

表 4-4 コーティングを施した場合

(開口幅3mmひび割れあり)

トンネル内 気圧(Pa)	透気係数 (m^2)	コンクリート 透気係数(m^2)	コーティング 透気係数(m^2)	流入量 (m^3/min)
0.90	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	1.0×10^{-25}	4.4×10^{-14}
0.85	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	1.0×10^{-25}	6.4×10^{-14}
0.80	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	1.0×10^{-25}	8.4×10^{-14}
0.75	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	1.0×10^{-25}	1.0×10^{-13}
0.70	1.7×10^{-17}	4.9×10^{-14}	1.0×10^{-25}	1.2×10^{-13}

5. おわりに

今回の計算に用いた値はすべて仮定であり、全長3km程の区間では様々な地層があることが想定され、大きな透気係数を持つ岩盤があれば軽く10~1000倍は流入量に影響を与えることになると考えられる。やはり、コーティングを施すことが最良の選択であると考えられる。また、次元化を行ったことで実際の値より少なく算出されていると考えられるので、今後は次元化モデルによる精度の高い解析を行う必要がある。

【参考文献】

- 1) 山田文孝, 中山昭彦, 櫻井春輔: 空気吸引による岩盤空隙容積評価, 土木学会論文集, No.617, pp.225 - 234, 1999.
- 2) 中山昭彦, 山田文孝, 打田靖夫, 川谷健, 櫻井春輔: 岩盤ゆるみ領域評価のための真空透気試験, 土木学会論文集, No, 575, pp.9 - 24, 1997.
- 3) 吉田次男, 打田靖夫, 安原敏夫, 吸引式透気試験法による岩盤の亀裂特性評価, 岩の力学 94, pp.643 - 644, 1995.