

VI-20

圧気工法を併用したNATMにおける漏気と内圧効果について

中部電力株式会社 正 家田 良一, 正 土山 茂希
清水建設株式会社 正○高崎 英邦, 正 岐部 哲郎

1. はじめに

NATMに圧気工法を併用した事例は比較的少ないが、近年急速に増えつつある。国外ではミュンヘン、ウィーン、香港、シンガポール、また国内では東京近辺で10例近くに達しているようである。しかし国内における例の大部分は、試験的にまたは特殊区間で適用されており、したがって施工延長は短い。これに比して、ここで述べる名古屋昭和区天白町から山手通りまでの770mの地中送電線隧道での適用事例は、国内で本格的に採用された初めての例であり、施工延長も最長である。このため、設計および施工技術上の興味深いデータが得られた。この報文では、シールド工法のセグメントに比して密閉度的に劣ると予想される吹付けコンクリート面からの漏気の問題を主体に、トンネル支保系におよぼす圧気圧による内圧効果を検討する。なお、当工事の地形・地質や設計・施工法の概要は、当講演会講義集第VI部門に“圧気工法を併用したNATMの設計と施工”として報告されているため、ここでは略す。

2. 切羽面と吹付けコンクリート面からの漏気量

漏気量の推定は圧気設備計画において重要な事項であり、圧気シールド工法では従来から多くの研究が成されてきている。その中で最も多く使用されているのは、次のHewett-Jahanessenの経験公式であろう。

$$Q = K D^2 \quad \cdots (1) \quad \text{ここで、} Q: \text{漏気量}(\text{m}^3/\text{min.}), K: \text{係数}, D: \text{トンネル径}(\text{m})$$

NATMにおいては吹付けコンクリート面からの漏気量が多いと予想されるが、図-1は掘削につれて連続的に測定した漏気量の推移である。これによれば、最大漏気量は人孔拡幅部で約40 $\text{m}^3/\text{min.}$ で、その際の漏気率は40%であった。なお圧気圧は、0.18~0.32 kgf/cm^2 であった。また400m地点までの標準断面区間では、近似的に(2)式で表すことができる。

$$Q = 13.0 + 0.057L \quad \cdots (2) \quad \text{ここで、} L: \text{圧気下の掘削延長}(\text{m})$$

この線型式は、Jahanessenの $Q = K D^2$ 、あるいは我国で実施された多くのシールド工事のデータを統計処理して得られた $Q = K(D^2 + K)$ と異なっており、掘削延長の効果が高いことを示している。

次に、切羽面と吹付けコンクリート面からの単位面積当りの漏気量の比を検討してみる。ここで、それぞれの面からの漏気量はJahanessenの経験公式が成り立つと仮定する。図-1によれば、400m地点までの標準断面区間ではほぼ直線的に増加していることから、初期値13 $\text{m}^3/\text{min.}$ は切羽面からの漏気量、それ以後の増分は吹付けコンクリート面からの漏気量と考えて良い。したがって、まず切羽面では、 $K_1 = Q_1/D_1^2 = 13.0/3.53^2 \div 1.04$ 、また吹付けコンクリート面を等価な円形断面に置換すると、周長11mで300m掘進では漏洩面積3,300 m^2 、これより等価直径 $D_2 = 64.84\text{m}$ を用いて、 $K_2 = (30-13)/64.84^2 \div 0.04$ と得られる。これより単位面積当りの漏気量の比は、 K_1/K_2 より260となり、吹付けコンクリートによる密閉効果はかなり高いと言える。なお、 $K_1 = 1.04$ は、シールド工法の経験に照らして、粘性分がかなり含まれているとはい

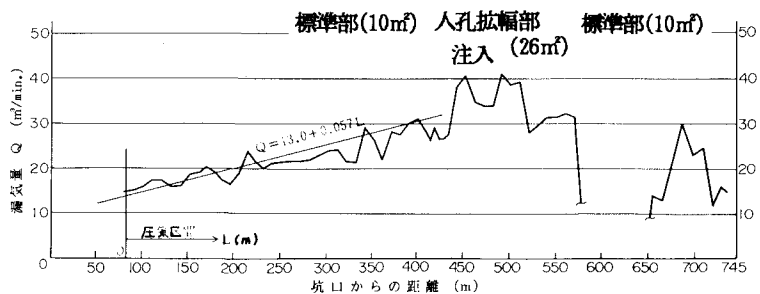


図-1 掘削延長と漏気量

え（10%）、砂礫層としてはかなり小さい値である。これは、透気係数はその粘性の違いから透水係数の70倍になると言われているが、当該地質条件（下部八事砂礫層-D_{g2}）で得られた試験値の透気係数と透水係数の比が、 $1.6 \times 10^{-2} (\text{cm/s}) / 9 \times 10^{-4} (\text{cm/s}) = 18$ とかなり小さかったことから理解できる。

また、薬液注入を施した拡幅部（26m²-等価直径D₃=5.76m）に入ると約10m³/min.漏気量が急増しているが、この区間の切羽からはほぼ23m³/min.（13.0+10.0）漏気していると推測できる。したがって、 $K_3 = 23 / 5.76^2 = 0.69$ と求まるが、薬液注入部の単位面積当りの漏気量は標準部に比して、 $K_3 / K_1 = 0.69 / 1.04 = 0.66$ 、すなわち70%以下に減少すると言える。

3. 圧気圧の内圧効果

前節における検討では、吹付けコンクリートの漏気遮蔽効果は非常に高いことが認められたが、圧気圧が吹付けコンクリート面に内圧として作用している可能性がある。この場合、内圧効果が高いと、断気した際に地山-トンネル系の安定化機構が変化することが考えられる。

パルクヘッド内の吹付けコンクリート応力及び支保工軸力の経時変化図を、図-2に示す。吹付けコンクリート応力の変化図をみると、大きな変化点が12/1、1/28、6/7の3点ある。12/1は圧気開始日であり、6/7は圧気終了日であるが、ともに0.25kgf/cm²の加圧に対して2~3kgf/cm²の応力減少が生じている。また、1/28は0.25kgf/cm²減圧に対して2~3kgf/cm²の応力増加が生じている。4/26の測定点は圧気圧が0.18kgf/cm²の時の値で、その前後の圧気圧は0.25kgf/cm²と0.22kgf/cm²である。わずかに圧気による内圧効果を認めることができる。次に支保工軸力についてみると、わずかではあるが軸力の変化が認められる。値としては、0.25kgf/cm²の圧力変化に対して0.2~0.5ton軸力が変化している。応力にすると約9~22kgf/cm²である。なお、圧気によるトンネル内空の変位は認められなかった。

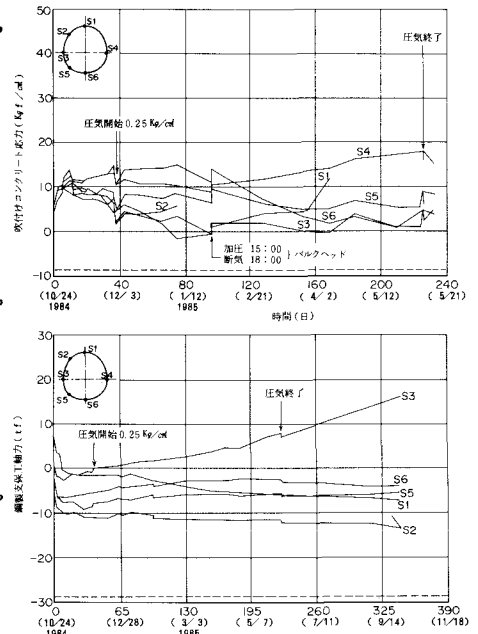


図-2 支保材応力変化図

4. おわりに

以上、滞水した砂礫層において、圧気工法を併用したNATMの漏気について検討を加えた。今回の工事から得られた主な結論は、①漏気量は、掘削延長が増すにつれて増加する線形式で表わされる、②吹付けコンクリートによる密閉効果はかなり高く、単位面積当りの漏気量は地山が露出する切羽面に比して1/260である、③薬液注入することによって、切羽面からの単位面積当りの漏気量は70%以下に低減する、④圧気圧が小さかったこともあり、圧気圧による内圧効果は内空変位にはほとんど影響がなく、吹付けコンクリート、支保材応力に変化が認められる、などである。

おわりに、終始懇切な御指導をいただいた名古屋大学工学部・川本眺万教授をはじめとする同研究室の方々に感謝の意を表します。

（参考文献）1）K.Yoshida, H.Kondoh, T.Kibe, H.Takasaki : Tunnelling Work in Sandy-gravel Stratum in Urban Area, International Congress on "Large Underground Openings" Firenze Italy, 1986.6

2）家田、土山、国見、岐部、矢口：圧気工法を併用したNATMの漏気について、第21回土質工学研究発表会、昭和61年度発表講演集、1986.6