

VI-19

圧気工法を併用したNATMの設計と施工

中部電力株式会社 正 近藤寛通 正 土山茂希
清水建設株式会社 正〇岐部哲朗 千葉伸次郎

1. はじめに

名古屋市内の滞水砂礫層において、超高圧(275KV)の地中線洞道を築造した。掘削工法は、圧気工法を併用したNATMである。トンネルは、図-1に示すように延長は746mで、土かぶり厚は5.5~23.0mである。周辺地域は住宅地であるため民家や道路、埋設管が密集している。そのため、地表沈下、騒音、粉じん、エアブローなどから環境を保全する事が重要な問題であった。以下、工法選定における検討、掘削断面の検討、トンネル施工結果について述べる。

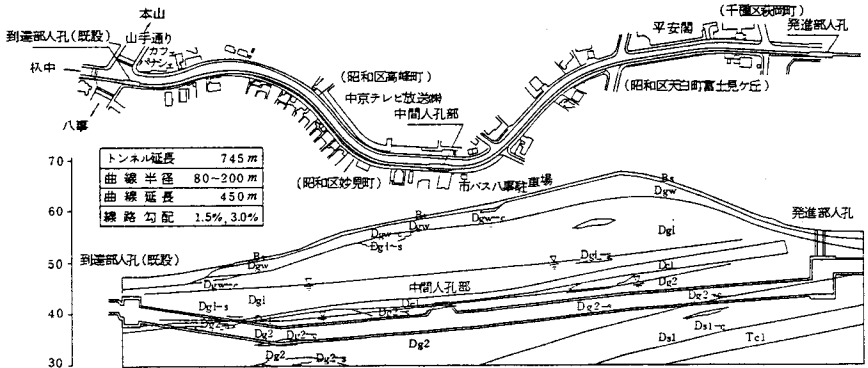


図-1 地質層序とトンネルの平面・縦断線形

2. 地質概要

工事区域の地層は、第四紀洪積世に形成された八事層で、名古屋市東部丘陵に主に分布している。標高(N・P)は、45~70mである。洞道沿いに実施した事前の地質調査による土質性状を表-1に示す。

工事範囲の主な地質は、砂礫層で、層中には粘土層、砂層が介在している。砂礫層のN値は、深くなるに従って大きくなり、中間の粘土層(Dc1層)の下方では50以上の密な締り具合となっている。礫径は、 $\phi 10 \sim 40$ mm程度のチャート円礫が主体で、最大300mm程度である。Dc1層は、層厚が0.8~2.2mで連続性よく分布し、N値は、13~15の過圧密粘土である。

地下水は、Dc1層が不透水層であることから上下に分離されており、下部八事砂礫層(Dg2層)にある地下水位は水頭が低い。

トンネルが掘られるDg2層は、バインダー分が10%前後であり、粘着力は0.5kgf/cm²となっている。また、透水係数が 9×10^{-4} cm/s、透気係数が 1.6×10^{-2} cm/sと比較的小さく、他の層より相対的に地質条件が安定している。

3. NATMの選定

地中線洞道は、市道下に設けることから、平面線形は曲線部が全長の60%を占め、曲率半径は80~200m(6ヶ所)となっている。また、標準部の掘削断面は約10m²であるが、途中断面拡幅部(約25m², 中間入孔)を設ける必要があった。このような計画条件と、周辺環境への影響を抑制するため、掘削工法としてシールド工法、NATM、メッセル工法などを比較検討し、NATMに決定した。その理由は、NATMが補助工法の採用により周辺への影響を最小限に抑えることが可能であるのに比べ、シールド工法は曲線部において135mm以上の余掘りを必要とするため地表沈下が懸念された。また、メッセル工法は、砂礫層へのメッセル矢板の貫入が難しく、かつ、曲線施工が困難である。さらに、薬液注入工法の必要な区間は、NATMが最も少なく経済的に有利であり、途中断面拡幅への対応についてもNATMが最も適しているなどである。

表-1 土質定数

土 層	土層記号	比重Gs	含水比Wa(%)	粒 度 組 成 レキ 砂 シルト 粘土	単位重量γt(9.8kN/m ³)	三 軸 T ₁ (9.8kN/m ²) C _{cu} (kg/cm ²) φ _{cu} (°)	弾性係数E(kN/cm ²)	透水係数cw(cm/s)	透気係数ca(cm/s)
強 風 化 八事砂礫層	Dgw	2.653	16.0	18 48 10 24			120kPa		
上 部 八事砂礫層	Dg1	2.655	12.4	59 27 5 9			200 ~250	7×10^{-4}	$(P=0.5)$ 1.6×10^{-2}
八事粘土層	Dc1	2.603	46.7	0 15 38 47	1.7		120		
下 部 八事砂礫層	Dg2	2.649	11.9	62 28 4 6	2.1	0.5 40	500	9×10^{-4}	$(P=1.0)$ 1.6×10^{-2}
八事砂層	Ds1	2.641	24.8	5 69 12 14			310		

4. トンネルの設計

縦断線形の決定は、①周辺環境への影響、②地質条件、③トンネルの力学的安定性、④施工性、などを考慮して、粘土層(Dc₁) 下2～3mに設定した。この位置は、Dc₁層が圧気によるエアブロー防止のカバーロック層としても期待できる。

断面形状は、力学的安定性、経済性、施工性などから瓜実形とした。図-2に標準断面を示す。

以上の縦断線形と断面形状をもとに数値解析手法による変形予測を行った。用いた手法は、FEMによる弾性、非線形弾性解析などである。この結果、①吹付けコンクリートは、地山の塑性領域の発生を抑え、せん断破壊を抑止する、②地表沈下は、土かぶり5.5mの場合が最も大きく11mmである、③トンネル壁面と地表面の変位は、圧気圧(0.5kgf/cm²)の有無による差異は認められない、などが確認された。

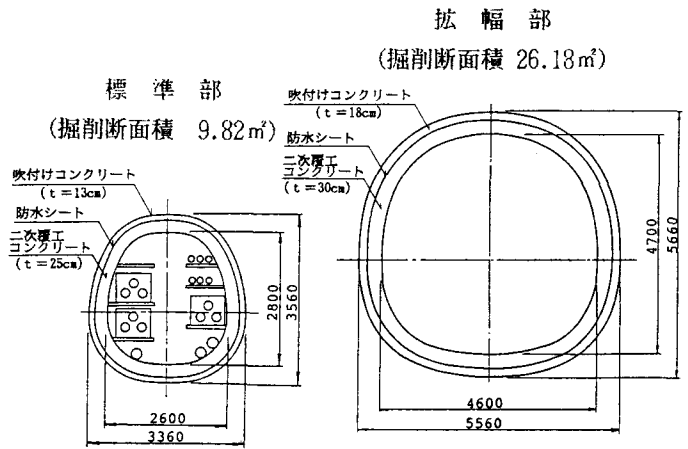


図-2 標準断面図

5. トンネル施工

主な補助工法は、圧気工法と薬液注入工法である。

圧気工法の目的は、地下水の維持とトンネル切羽の自立安定化である。圧気方法は、全体圧気とし、ロック室は発進立坑付近に設け、坑口送気と集じんフィルターを用いた切羽排気により気中粉じんの拡散を防止した。また、理論圧気圧0.33～0.64 kgf/cm²以下で十分な効果が得られた。尚、圧気設備は、ブローア (240kw, 1.1kgf/cm², 100m³/min) を用いた。

薬液注入工法の目的は、地盤強化、止水、埋設管防護などで、発進部、拡幅部、到達部で実施した。注入範囲は、トンネル周辺2～3.5mである。注入工法は、2ショットの2重管ダブルパッカー方式と2重管ロッド複合注入方式で、トンネル掘削に先行して地上より施工した。

トンネル掘削機は、地質条件、断面形状などからカッターローダを用い、レール方式とした。また、吹付け方式は、人力吹付けによる乾式工法とした。

切羽の自立対策としては、鏡吹付け、フォアパイリング、水抜ボーリング、を実施した。しかし、圧気工法の効果により切羽の自立性がよく、トンネルおよび地山の変位量が当初予測値より十分小さいことから、掘進長を変更(90cm→100cm)し、フォアパイリングと水抜ボーリングを途中より中止した。

計測による変位量と設計予測値は表-2のとおりである。これによれば、実測値が予測値に較べてかなり小さい。これは、設計上安全を考慮して、地山の変形係数は孔内載荷試験から得られた値の最小値 500kgf/cm² (施工中の坑内における平板載荷試験では地山の変形係数は、1,000～1,500 kgf/cm²の値が得られた。)を用いたことが理由として考えられる。

6. おわりに

NATMによる洞道施工は、市街地の滞水砂礫層でも綿密な調査、計画、施工管理により良好な結果が得られる。今後は、環境保全を技術的課題とし、さらに、事前評価方法と圧気システムの改善などを押し進めたい。尚、別項にてトンネルの力学的設計モデルの検討と、圧気工法の漏気と内圧効果について述べる。

〔参考文献〕 1) K.Yoshida, et al. : Tunnelling Work in Sandy-gravel Stratum in Urban Area, International Congress on "Large Underground Openings" Firenze Italy, 1986.6

表-2 トンネル天端と地表面の変位量

	標準部		拡幅部	
	天端沈下	地表沈下	天端沈下	地表沈下
設計予測値 (mm)	0～30	0～11	11～48	4～9
計測値 (mm)	0～2	0	2～5	0