

N A T M による土砂トンネルの設計と施工

中部電力(株) 正会員 近藤寛通
清水建設(株) 正会員 〇岐部哲朗

1. はじめに

中部電力は、超高圧地中送電線(275KV)の市内導入計画を進めている。本工事は、名古屋市昭和区における延長770m区間である。トンネルは、市街地を通る市道の直下に築造された。

工事の特徴は①滞水砂礫地盤である②曲線部が多い($\ell=450m$, $R=80\sim 200m$)③拡幅部を行す—などである。シールド工法では、②③により工事費の増大を招く。そこで、N A T M の適用を検討した結果、補助工法の併用により安全で経済的な洞道建設が可能との結論を得た。

2. 地質概要

地質は、第四紀洪積世の八事層で、地表より10m以深ではN値50以上、礫径10~40%(最大300%)である。この砂礫層中には厚さ0.8~2.2mの粘土層が介在し、地下水を2分している。

3. N A T M の設計

3-1 縦断線形と断面の決定

縦断線形は①施工時の力学的安定性②地盤変状の抑制③圧気のブロー防止—などから粘土層の下方とした。断面形状は、種々の断面のF E M解析より、力学的安定性、経済性、施工性に優れた多心円とした。

3-2 覆工の設計

一次覆工は①弾塑性理論②Rabcewicz法③F E M—などの設計手法により解析・検討を加えた。この結果①吹付コンクリート $t=130\%$ で

応力は $55kg/cm^2$ 以下(許容応力 $70kg/cm^2$)となり、地山のせん断破壊を抑制できる②地表沈下は土被り5.5m無普請の場合が最も大きく11%である③圧気による差異は、圧気圧が $0.5kg/cm^2$ 程度のため認められない—などが理論上確認された。また、切羽

表-1 トンネル諸元

項目	諸元
延長	745 m
巻厚	38 cm
最小曲線半径	80 m
最急線路勾配	30 ‰
竣工年	昭和61年

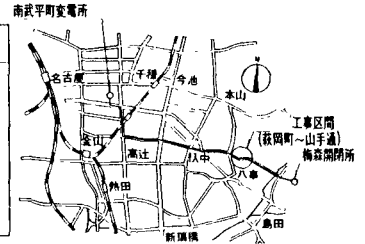


図-1 位置図

表-2 各土層の土質定数

土層	土層記号	比重Gs	含水比Wn(%)	粒度組成 シキ 砂 粘土	単位重量 γ (g/cm ³)	三軸 C Cu	弾性係数 E(kg/cm ²)	透水係数 kw(cm/s)	透気係数 ka(cm/s)
強風化八事砂礫層	Dgw	2.653	16.0	18 48 10 24			120以上		
上部八事砂礫層	Dg1	2.655	12.4	59 27 5 9			200~250	7×10^{-4}	$(P=0.5) 1.3 \times 10^{-7}$
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	9×10^{-4}	$(P=1.0) 1.6 \times 10^{-7}$
八事砂層	Ds1	2.641	24.8	5 69 12 14			310		
備考									

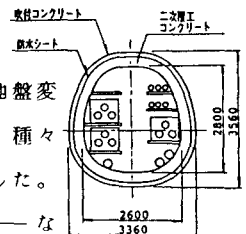


図-2 洞道断面図

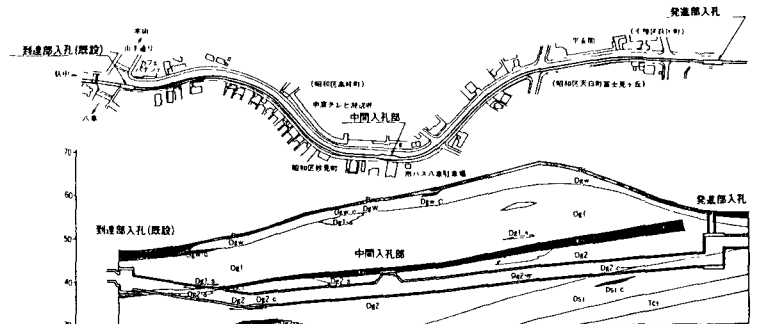


図-3 平面・縦断面図

の安定検討では村山の式により土被りの小さい区間のみ圧気工法と薬液注入工法により切羽の安定を図る必要があると結論づけられた。

4. 圧気工法

地質調査の結果より、透水係数 $4.4 \times 10^{-4} \text{ cm/S}$ 、透気係数 $8.5 \times 10^{-3} \text{ cm/S}$ 、バインダー分 10% 前後であることから圧気の効果が期待できると判断した。また下部砂礫層の限界圧気圧 1.0 kg/cm^2 に対して理論圧気圧は、 $0.33 \sim 0.64 \text{ kg/cm}^2$ となり圧気工法の安全性が確認できた。

施工時の圧気圧は、 $0.18 \sim 0.32 \text{ kg/cm}^2$ と小さな値でトンネル低面まで水位が低下した。これは、トンネル上方の粘土層による圧気領域の増大と、地下水位が計測時より $2 \sim 3 \text{ m}$ 低かったことによる。切羽からの漏気は $12 \text{ m}^3/\text{min}$ 程度。1次覆工からの漏気は $3.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{min}$ 程度で周辺への影響はみられなかった。

5. トンネル掘削

無圧気での施工区間（初期掘進部、到達部）は、薬液注入工法により湧水を抑制した。

作業は、1日2方で実稼動 203日、通常掘削における進行は 4 m/d となった。曲線区間および標準部から中間人孔部への移行区間の施工性は、余掘、施工サイクル、吹付状況などにおいて直線区間との差異は認められなかった。切羽の自立は良好で、砂礫層には粘土層や砂層が介在し、時折、圧気により湧水状態の水道が現われた。

6. 計測

内空変位は、最大 3.8%、天端沈下は同 2.0% で収まった。地上地中変位計の値は、トンネル付近で $2 \sim 4\%$ あるが地表は 0% であった。吹付コンクリート応力は、 23 kg/cm^2 と許容応力を下まわった値となった。これは、閉合時間が約3時間と比較的短時間であったことによる。また、地質条件が良好であったことによる。これらの状況から支保パターンの変更を実施し、経済施工につとめた。

7. おわりに

今回の施工は、都市域の滞水砂礫層を圧気工法併用の NATM により、安全かつ経済的に洞道を完成させることができた。工事費は、シールド工法に比較して 15% 程度削減されている。

設計においては、地山の評価を適正に判断することは難しく、今回も施工をとおしその差異が認められた。そこで、砂礫地盤の評価について現在再度解析を行っており、今後の同種地山への参考資料に供するつもりである。

表-3 支保パターン

種別・工種	標準部	中間人孔部
加 質 剤	全断面掘削工法	ミニベンチカット工法
掘 削 断 面 積	9.82m ²	26.18m ²
1次覆工	吹付コンクリート	1次吹 t=30mm 2次吹 t=100mm
	鋼 骨	1次全鋼 #3 2mm×50mm×50mm 2次全鋼 #3 2mm×100mm×100mm
2次覆工	鋼骨支保工(1サイクル当りの密着長)	H100 (c/c 0.8m)
	防 水 シ ー ト	1次覆工と2次覆工間全周
掘削工法	コンクリート	t=250mm t=300mm
	圧 気 工 法	0.25~0.35 kg/cm ²
補強工法	薬液注入工法	到達部 到達部
	水鉄砲ボーリング工法	φ=65mm t=20m

表-4 F E M 弾性解析結果

計算ケース	項 目	トンネル			地表面			
		天 端	側 壁	インバート				
土被り(m)	圧 気	蓄 積	①	②	③	④		
							無	変 位 (mm)
	無 圧 気	吹 付 コンクリート	変 位 (mm)	2.6	-3.3	15.0	-1.1	
			吹付コン応力 (kg/cm ²)	36	55	36	—	
	23.0	圧 気 工 法 (0.5kg/cm ²)	吹 付 コンクリート	変 位 (mm)	1.8	-3.7	14.2	-1.2
				吹付コン応力 (kg/cm ²)	29	49	30	—

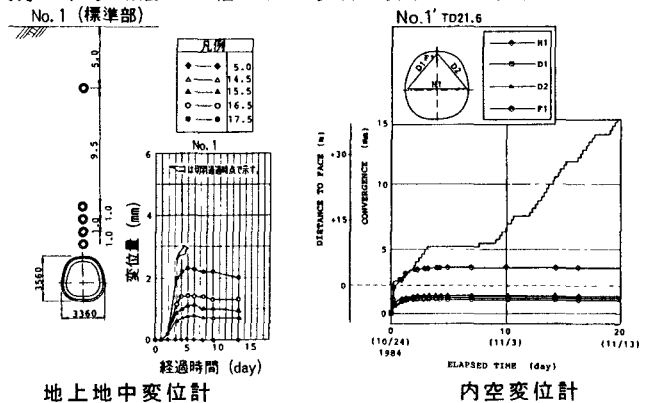


図-4 計測例