

株式会社 間組技術研究所 正会員 五味道義
 " " " " 〇肥後清朗

1. まえがき

最近、山岳トンネルのNATMにおける日常の施工管理として、内空変位測定が重要視されている。この内空変位の経時変化状況を把握することにより、加背の大きさ、支保の増減、施工順序及び覆工の施工時期などを選定する判断資料としている。この計測は比較的簡単にでき、その場で評価できるので、今後とも重要な計測項目である。この計測結果とその地山の特性及びその他の計測と関連づけ集積することが今後の設計・施工の開発に継がれるものと考えられる。

本文は、土被り10～45m、掘削断面積70m²で、変形係数 $E=300\text{ kg/cm}^2$ 程度の未固結な火山灰層においてNATMを採用したトンネル工事での計測例で、ここでは、特に内空変位に関して報告する。

2. 地質

トンネル部の地質は、第四紀洪積世旧期の俱多楽火山噴出物と呼ばれる軽石流堆積物が主体で、N値10～40程度である。このトンネル内で採取した地山の土質名は軽石混り火山灰で、この物性値を表-1に示す。

3. 施工概要

掘削は、ショートベンチカット上半リングカット工法を採用し、掘削方式は上半リングカットをピックハンマーで、その他はドーザショベル及びバックホウを用いて行った。設計標準断面を図-1に示す。

表-1 物性試験結果

項目	測定値	平均値
湿潤単位体積重量 γ_s (kg/m ³)	1.14 ~ 1.19	1.57
三軸試験	C (kg/cm ²)	0.38 ~ 0.55
	ϕ (度)	37.5 ~ 41.5
透水係数 k (cm/s)	$5.6 \times 10^{-4} \sim 1.3 \times 10^{-5}$	2.5×10^{-4}
動的弾性波速度 V_p (km/s)	0.6 ~ 1.5	1.05
平板載荷試験 K_{30} (kg/cm ²)	11.3 ~ 15.3	13.6

4. 計測結果及び考察

(1) 地表面沈下とトンネル内空変位

地表面沈下とアーチクラウン沈下の平均値を示すと、図-2及び表-2のようになり、次のような傾向がある。

(イ) 地表面沈下、アーチクラウン沈下とも各施工段階(例えば、上半掘削時、下半掘削時)に応じた変化を示しており、13～15mm程度の比較的小さい変位量で収束している。

(ロ) 地表面沈下量 ΔA (mm)と土被り高さ A (m)との関係は、次式の通りである。

$$\Delta A = 0.26 A + 6.4 \quad (10 < A < 45)$$

(ハ) 地表面沈下は、切羽直達前に最終変位量の約30%が既に発生している。

(ニ) アーチクラウン沈下は、支保工(吹付けコンクリート、ロックボルト)の施工にともなって2～4mm程度浮き上がる傾向が見られる。

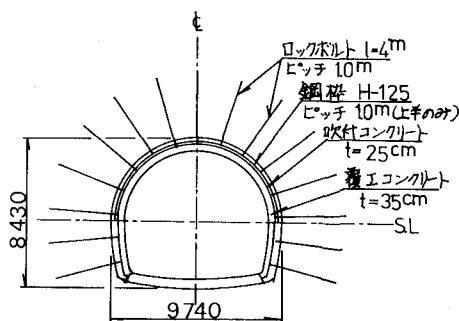


図-1 標準断面図

(6)内空変位の収束時期は、掘削後の経過時間より、むしろ切羽との距離に左右されることになり、その距離はトンネル掘削幅の2倍程度である。

(7)トンネル断面において、最も変位量が多いのは、アーチクラウソンの沉下で、図-3に示すような関係になる。

以上のように、変位の測定結果は傾向がかなり明白であるために、この傾向を施工の初期段階で把握することによって、地山の安定状況を検討することが可能となり、施工管理に有効に利用できる。

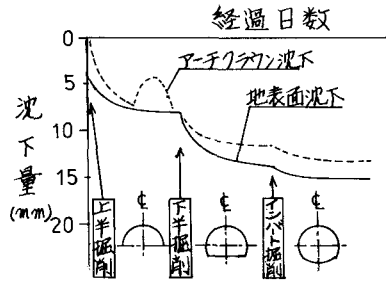


図-2 地表面およびアーチクラウンの沉下状況

(2)下半掘削に伴う挙動

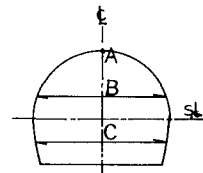
本工事では片押しで土圧を掘削したため、下半掘削にともなう、顕著な変化が観察された。

例えば、アーチクラウソンの沉下は下半掘削に伴って、平均4.6mm程度進行し、その値は最終沉下量の35%程度に相当する。また、ロックボルトの軸力は下半掘削に伴って増加し、吹付けコンクリートの応力度は、遂に開放されるような傾向が見られた。(表-3 参照) これは、上半は半円形のシェル構造物としての形状を保ったまま変位するため、内部応力の変化が小さいものと思われる。

下半掘削に伴って、このような変位の増長はあったが、下半の掘削方法として、アーチ基部をトンネル縦断方向に3m程度も掘削した後に吹付けを行なう方法は、在来工法の場合考えられない方法であり、NATMであるがゆえに可能な方法かと考えられる。このような施工が可能な理由としては、トンネル周辺地山がアーチゾーンを形成し支持するため、鋼材や吹付けコンクリートなどにあまり荷重が作用しないことになり、相対的に作用土圧が小さくなっているものと思われる。

表-2 地表面およびアーチクラウンの沉下状況

計測項目	上半切羽		下半掘削前		下半掘削後		収束時	
	沈下量	%	沈下量	%	沈下量	%	沈下量	%
地表面沉下	44	29	82	54	140	92	152	100
アーチクラウン沉下	—	—	71	52	117	88	135	100



測定位置	mm	(%)
A. アーチクラウン沉下	135	100
B. 上半掘削相対変位	78	58
C. 下半掘削相対変位	50	37

図-3 トンネル内空変位の状況

表-3 下半掘削に伴う変化

	下半掘削前(計器設置後4日)	下半掘削後(計器設置後21日)
ロックボルト軸力		
吹付けコンクリート応力		

(5)あとがき

NATMを施工した結果、いかに地山をゆるめずに掘削できるかを再認識した。なお、本報告は計測結果の一部であるが、今後のトンネルの設計施工の資料となれば幸いである。