

応用地質株式会社 正会員 ○大塚 康範
日本鉄道建設公団 正会員 村田 一夫
応用地質株式会社 正会員 近藤 達敏

1. まえがき

津軽海峡線は、本州と北海道を結ぶ87.8kmの路線である。このうち、青函トンネル部53.9km、本州方取付部19.2km、北海道方取付部14.7kmより成っている。本報告では、本州方取付部建設工事のうちNATMで施工を行った大川平トンネル、第1・第2今別トンネル、第1・第2浜名トンネルの5トンネルで実施した計測結果より土被りの浅い未固結層のNATM施工における計測の考え方について述べるものである。

2. NATMトンネルの施工と計測

ここで述べるトンネルの地質は、第四紀洪積土の浜名層に属する未固結の砂・砂礫・粘性土からなる。図-1に一例として大川平(南)トンネルの地質縦断面図を示す。地質構造は、水平ないし北～北北東にやや緩傾斜する単斜構造となっており、層相変化が著しいのが特徴である。地下水は、土被りのやや大きい大川平(北)トンネルを除いて比較的低い。施工は、地質が未固結の砂層であり肌落ちが多いことから補助工法として鉄矢木を使用した。さらに、地山の安定上問題となる箇所ではロックボルトの増打、吹付の増吹きに加えて斜めロックボルトやミニパイプルーフなどの補助工法を採用した。ここでは、土被りが浅く地山強度比の小さい大川平(南)トンネルにおける計測(表-1)の結果について述べる。

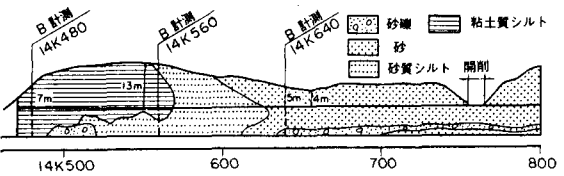


図-1 大川平(南)トンネル地質縦断面図

表-1 計測項目

計測項目	間隔	計測方法	頻 度		
			0日～15日	16日～30日	30日以降
坑内観察調査	全延長	各切羽等を観察、記録	1回/日	1回/日	1回/日
内空変位測定	20 m	コンパージュスメジャーによる	1回/日	1回/2日	1回/週
天端の沈下測定	20 m	レベルによる	内空変位測定と同じ		
地表面の沈下測定	5 m	レベルによる	20m毎に地表面横断沈下を測定		
地表からの地中変位測定	図-1の3断面	ダイヤルゲージによる	1回/日	1回/2日	1回/週
坑内からの地中変位測定		ダイヤルゲージによる			
ロックボルトの軸力測定		ロックボルト軸力計、ストレインメータによる			
吹付コンクリート応力測定		吹付コンクリート応力計、ストレインメータによる			
背面土圧の測定		土圧計、ストレインメータによる			
鋼製支保工の応力測定		ひずみゲージ、ストレインメータによる			

3. 計測結果

大川平(南)トンネルで最も内空変位の大きい箇所は、14k560付近で得られている。この断面での計測結果を図-2(a)～(d)に示した。ロックボルト軸力は、最大でも1.5tf程度と小さいが、鋼製支保工には、最大1500kgf/cm²、吹付コンクリートには最大40kgf/cm²程度の圧縮応力が作用しており、全体的に山側から谷側へ傾く偏圧の作用が考えられる。この傾向は、図-2(a)によるロックボルト軸力の分布傾向とも一致している。トンネル掘削により生じたトンネル周辺の地中

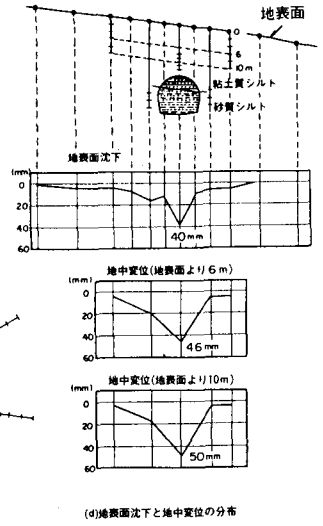


図-2 計測結果(14K560)

ひずみの分布を見るために逆解析プログラムDBAP/Mにより最終掘削状態におけるひずみ分布を求めた。ここでは、地山を弾性地山と見做しモール・クロンの破壊基準を適用することにより塑性域の広がりや地山物性値も併せて求めた。その際に、塑性域における E_1 は、図-3より $0.4 \times E_0$ の値を採用した。また、表-2には解析結果を一覧にして示した。図-4に示す塑性域およびひずみの分布からも山側より谷側への偏圧の傾向が推定され、ロックボルト軸力および支保工応力の分布とはほぼ一致している。このうち、塑性域はロックボルト打設範囲にあり、それ程広い範囲に広がっていない。一方、地表面沈下及び地中変位の結果では図-2(d)に示すように地表面と天端の共下り現象が顕著である。以上の結果より、トンネル周辺の地山挙動としてグラウンドアーチが形成されないためトンネル方向にずれ落ちるような挙動をしていたものと推定される。本トンネルでは、この後、さらに、土被りが浅くなるにつれ次第に地表面沈下が大きく、変位速度も速くなる傾向が認められたため、ミニベンチ工法に切り換え、早期に断面を閉合することにより変位を管理基準内に収束させることができた。

4. 施工管理上の計測の考え方

図-5にNATM施工を行った5トンネルにおける切羽到達時からの地表面沈下 δ_s 、天端沈下 δ_t の値と土被り高さとの相関を示した。トンネルの土被りと直径の比 H/D が概ね2以下の区間では、グラウンドアーチが形成されず、 δ_s 、 δ_t ともに大きく共下り傾向を示す。しかし、 H/D が3~4以上になると天端沈下が減少し一定値に収束している。このことは、未固結層のNATM施工において、土被りが直径以下の浅い区間では、地表面沈下に着目した管理が必要であり、 H/D が1~2程度では、地表面沈下と内空変位に着目した管理を行うことが必要なことを示している。また、斜めロックボルトやミニパイプブルー等の補助工法が、 $H/D = 0.5 \sim 1.0$ の範囲で変位の抑制効果に大きく寄与することがわかる。

5. まとめ

本論では、土被りの浅い未固結層におけるNATMの施工管理の基本的な考え方について、実際の計測結果に基づいて述べた。この結果が合理的なNATM施工における計測の一助になれば幸いである。

参考文献 1) Sakurai and Shinji(1984): A monitoring system for the excavation of underground openings based on micro-computers, Proc. ISRM for Design and Performance of Underground Excavations, Cambridge, pp. 471 ~ 476

2) 村田・谷・石垣 (1985): 土被りの浅い未固結層におけるNATM施工の合理的な補助工法の選択について、第40回年次学術講演会講演要集

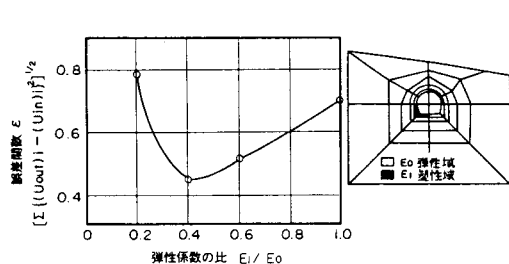


図-3 塑性域を考慮した弾性係数の最適化

表-2 逆解析結果

入 力		出 力	
計測変位 坑内地中変位 地表地中変位		側圧係数 K_0	0.54
		等価弾性係数 E^*	570 kgf/cm ²
		弾性域 塑性域	600 kgf/cm ² 240 kgf/cm ²
限界ひずみ ϵ_c	1%	弾性域	600 kgf/cm ²
E_1/E_0	0.4	塑性域	240 kgf/cm ²
内部摩擦角 θ	35°	粘着力 C	1.6 kgf/cm ²

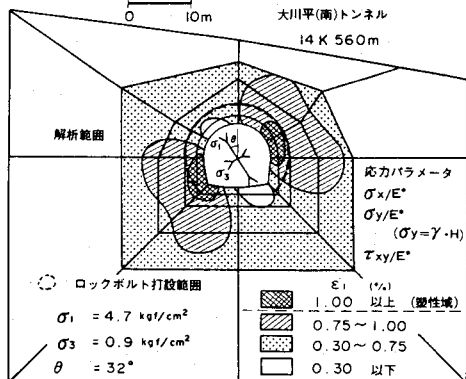


図-4 最大主ひずみ ϵ_1 分布図 (初期ひずみを考慮)

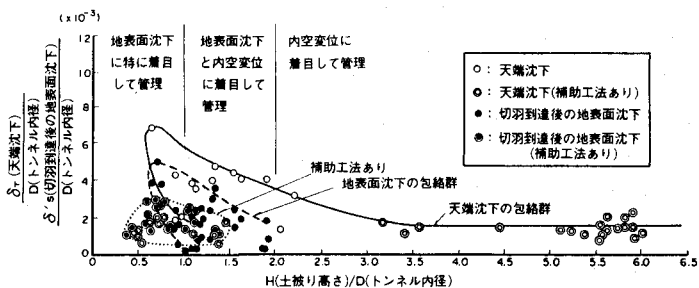


図-5 天端沈下及び切羽到達後の地表面沈下と土被りの関係