

# 大沢田トンネルにおける NATM の施工

## Construction of Osawada Tunnel by NATM

内海 繁\*  
Shigeru Utsumi

鈴木 修\*\*  
Osamu Suzuki

### 要 約

国鉄盛岡工務局発注による東北本有一間大沢田T北工事における単線トンネルの NATM の施工法と実績, 並びに一部区間で行った試験施工について報告する。

小断面ではあるが NATM による本格的な施工として, 掘削における上・下半併進ショートベンチ工法の使用機械及び設備, その実績と問題点, 吹付コンクリートにおける急結剤の適合性, NATM の大きな特徴である施工の一部としての計測の方法と結果について述べる。

さらには将来の問題として施工量の軽減を目的とした「鋼繊維補強吹付コンクリート」の施工法と費用及び当区間の防水膜工, また現在坑内作業の環境衛生面で問題視されている吹付作業時に発生する粉塵量の低減を目的とした「粉塵抑制剤」の効果等, 坑内48m 区間で実施した試験施工の結果について述べる。

### 目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 施工法と実績
- §4. 計測
- §5. 鋼繊維補強吹付コンクリートの実証試験
- §6. おわりに

### §1. はじめに

大沢田トンネルは東北本線下り線のトンネルで, 宮城県の有壁町と岩手県の一関市の県境に位置している。現在営業線のトンネルの老朽化に伴い, 約35km 山側に新設されるトンネルである。トンネルのかぶりは最高で約40m の丘陵地である。トンネルの真上にはこの丘陵地を整地した特別養護老人ホームがあり, 当報告では触れていないが, 掘削発破振動及び列車振動等の測定も行っている。

### §2. 工事概要

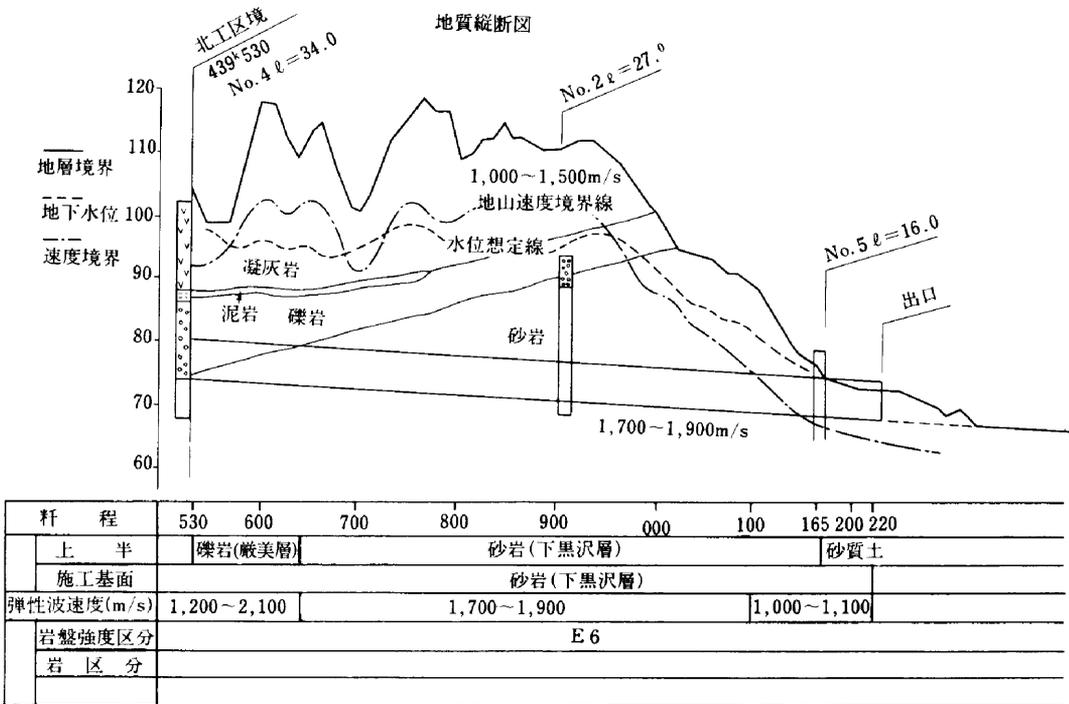
#### 2-1 工事概要

大沢田トンネルは全延長1,416mであるが, 当社施工分は明り巻区間55mを含む690mである。昭和57年11月12日に発注され, 12月1日をもって坑口付, 58年6月20日には貫通という非常に忙しい工事であった。施工量については国鉄単線断面ということで省略する。



Photo1 坑口付近全景

\* 東北支店一関出張所所長  
\*\* 東北支店一関出張所  
(現在本社土木設計部設計課)



岩 石 試 験										孔 内 水 平 載 荷 試 験			
試すい名	岩石名	深度(m)	風化度	比 重	含水率%	一軸圧縮強度 kgf/cm <sup>2</sup>	圧裂強度 kgf/cm <sup>2</sup>	P 波 m/s	S 波 m/s	試すい名	岩石名	変形係数 kgf/cm <sup>2</sup>	最大2次荷重 kgf/cm <sup>2</sup>
Na 2	砂 岩	30.10 ~30.20	新 鮮		30.12					No 2 No 4 No 5	砂 岩	756 ~3,834	40~78
4	砂 岩	30.80 ~31.80	新 鮮	2.704	34.30	17.45	1.866	1,843	700				
5	砂 岩	14.00 ~15.00	弱風化	2.684	33.37	24.08	1.635	1,928	698				

相対的に難透水性の砂岩層の掘削となることから、湧水量は全般に少量の見込み、但し塊状とはいえ無キレツではないのでキレツのある所では多少湧水量が増えそう。

Fig.1 地質縦断面

2-2 地質

基岩としては新第3紀中新世の下黒沢層の細粒砂岩を下層に、蔽美層の礫岩及び砂質泥岩などがその上部に分布している。当トンネル(北工区)はほとんど細粒砂岩の層を通過しており、貫通点付近約100m区間において一部に礫岩が見られた程度である。この細粒砂岩は塊状ではあるが未固結のため軟質であり、切削後はほとんど砂状となる。坑口付近を除いては湧水がない割に適度の湿気があるため、泥化も粉塵の発生もなく、ロードヘッダーなどの機械掘削には最適の地質であった。

§ 3 . 施工法と実績

3-1 掘削

掘削は上・下半併進のショートベンチ工法である。上部半断面は切削及び積込機としてロードヘッダー(MRH-S45)を使用した。また下部半断面はスペースなどの問題もあり、発破により破碎し、積込機として底

開きバケットの電動ショベル(YS-300E)を使用した。

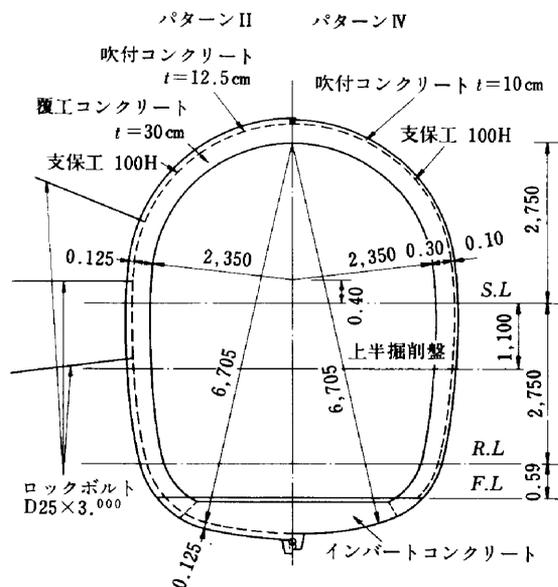


Fig.2 トンネル断面図

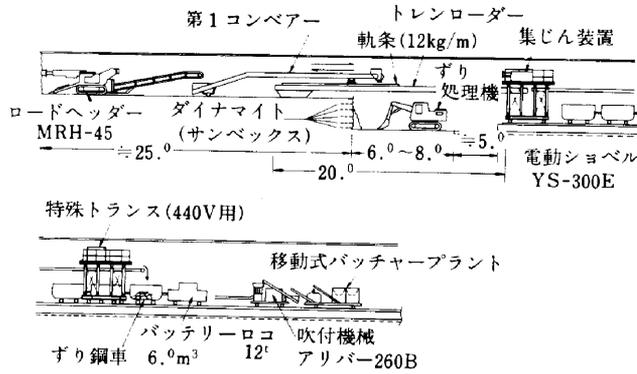


Fig.3 施工縦断面図

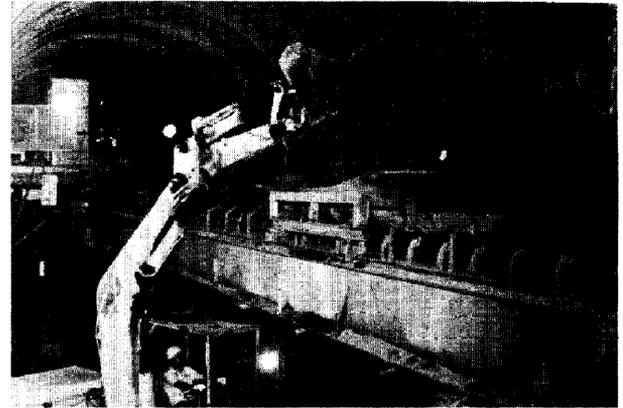


Photo3 電動ショベルによる下半掘削状況

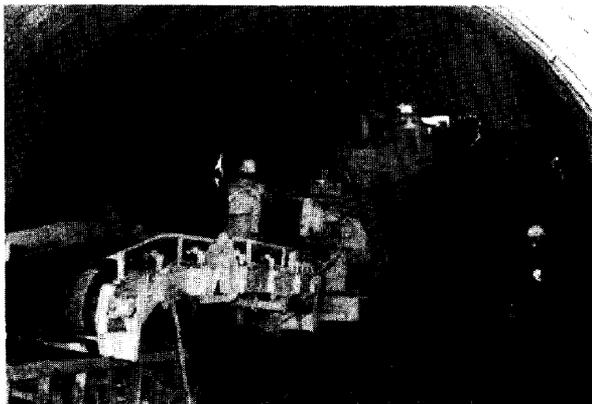


Photo2 ロードヘッダーによる上半掘削状況

礫搬出はトレンローダー (l ≒ 40m) と、6 m<sup>3</sup>鋼車により行った。ロードヘッダーは当初もう一段大型のMRH-S90を考えたが、隣工区においてフリッカー現象によってコンピューター機器に影響を与え、補償問題が発生したため検討の結果前記機種とした。実績についてはTable 1の通りであるが、トレンローダーを使用した関係上、上半の掘進、下半の掘進、インバートコンクリート打設の3つの作業の日進がほぼ同じでないとうまくか

み合わず、ひとつの作業工程でのトラブルが翌日他作業の工程に影響を及ぼすため、当工事においては、コンクリート打設いかににより工程が左右された。特に鉄道トンネルにおいては待避所が20mに1箇所ずつ設けられているため、下半掘削に影響し全体の日進長を阻害した。

### 3-2 吹付コンクリート

吹付コンクリートは吹付材料(セメント・細骨材・粗骨材)をドライミックスして圧搾空気によってパイプ内を圧送し、ノズルにおいて別のノズルよりの圧力水を添加して掘削地山面に付着させる乾式工法により施工した。吹付厚さは15cm・12.5cm・10cmと地山状況に応じて変えたが、いずれも二層吹付とし中間には溶接金網を取付けている。吹付コンクリートの仕上り具合は、ノズルマンの技量と急結剤の効果によるが、特に急結剤については水質・水温及び骨材の材質などにより微妙な作用を受けるので複数の製品を試験し、各々の現場に最も適した製品を選定することが望ましい。

当所ではコニックス(ハマノ工業)、デンカナトミック(電気化学工業)、シグニットL(シーカ)の3種類をテス

Table1 ロードヘッダー掘削に伴う稼働実績

名称	稼働日	稼働時間	月進	日当り進行	m当り稼働時間	掘削土量	時間当り掘削土量	m <sup>3</sup> 当りビット数	計測設置に伴う損失日数	
57. 12	16日	76h	38.0m	2.38m	2.00h	1,356m <sup>3</sup>	17.8m <sup>3</sup>			
58. 1	15	86	43.8	2.92	1.96	1,533	17.8			
2	24	138	110.4	4.60	1.25	3,860	27.9		1	
3	26	165	132.0	5.08	1.25	4,620	28.0			
4	26	150	120.0	4.62	1.25	4,200	28.0			
5	24	137	109.2	4.55	1.25	3,820	27.9		1	
6	17	100	78.8	4.64	1.27	2,760	27.6			
計	148日	852h						0.014ヶ/m <sup>3</sup>		
岩質 : 軟質細粒砂岩					その他休日					
弾性波速度 : 1.7~1.9km/s					※段取替え日数		9日			
一軸圧縮強度 : 20~24 kgf/cm <sup>2</sup>					ゴールデンウィーク		3日			
				正月休		6日				
				休息日		27日				

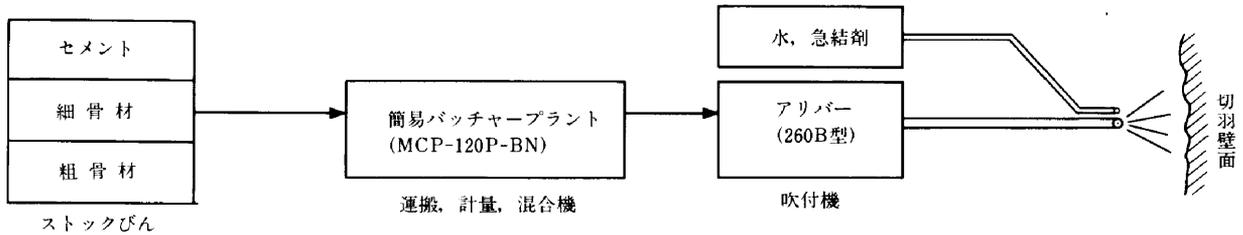


Fig.4 吹付コンクリートフローチャート

トした結果、それぞれの長を有するものの諸条件においてたまたまシグニット L が適合したためこれを採用した。吹付コンクリートの配合及び損失については Table 2, 3 の通りである。

Table2 吹付コンクリート配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	水:セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			水	セメント	細骨材	粗骨材	急結剤
15	45	70	157.5	350	1,311	562	17.5

Table3 吹付コンクリート損失率

種 別	上部半断面	下部半断面	全 体
はねかえり率	35.0%	35.0%	35.0%
余 巻 率	25.9	13.2	20.3
そ の 他	6.1	6.1	6.1
計	67.0%	54.3%	61.4%

はねかえり率は試験施工での数値、その他とは、計量機と入荷との差で積替え時のloss, ミスバッチ, ミス計量等諸々を含む。

### 3-3 覆工コンクリート

#### (1) インバートコンクリート

下半掘削後、所定の作業が終わり次第インバートコン

クリートを打設する。1 スパンの打設長は前日の掘削進行に合わせて4~6 mの範囲で施工のため、アジテーターカーからの流し込みで行った。下半掘削と競合作業であるためショートベンチ工法での唯一のネックであった。

#### (2) 全断面コンクリート

巻厚は30cm、防水及びアイソレーション用として0.4 mm厚の防水シートを使用する。打設方法は吹上げ方式とし、1 スパン打設長は10mとした。実績については Table 4 の通りである。

Table4 コンクリートの余巻率

種 別	余巻率	備 考
インバートコンクリート	16.9%	 斜線部の路盤も含む
全断面コンクリート	28.3%	最小巻厚30cm (30cmは絶対必要)
全 体	25.1%	

## § 4 . 計測

### 4-1 計測計画

計測の目的は、トンネルの掘削に伴う周辺地山の挙動と各支保部材の効果を把握し、工事の安全性及び経済性

Table5 計測項目

種別	項 目	使用器具	計 測 位 置	類 度			
				0-15日	16-30日	31日~収束日	
計測 A	坑内観察調査	目視	全延長	毎 日			
	内空変位測定	ユニテンションメジャー	坑口より200m以内は20mごと それ以後は30mごと	1回/日	1回/2日	1回/週	
	天端沈下測定	レベル, 箱尺	坑口より200m以内は20mごと それ以後は30mごと	1回/日	1回/2日	1回/週	
	※ロックボルト引抜試験	油圧式センターホールジャッキ	50-100mごとに1断面				
計測 B	地山試料試験	コアボーリングマシン-軸圧縮試験機	440k080m 439k840m				
	地中変位測定	小型エクステンソメーター	440k080m 439k705m 439k840m	1回/日	1回/2日	1回/週	
	ロックボルトの軸力測定	メカニカルアンカー	440k080m	1回/日	1回/2回	1回/週	
	覆工応力測定	一次覆工の応力測定	コンタクトセル-切替ユニット-油圧計	440k080m 439k705m 439k840m	1回/日	1回/2日	1回/週
		二次覆工の応力等測定	ひずみ計, 静ひずみ測定器	439k840m 439k705m	1回/日	1回/2日	1回/週
	地表・地中の沈下測定	小型エクステンソメーター, レベル	440k080m	切羽手前21mから測定を開始 通過後は坑内測定に準ずる			

\*新指針では計測Bに含まれる。

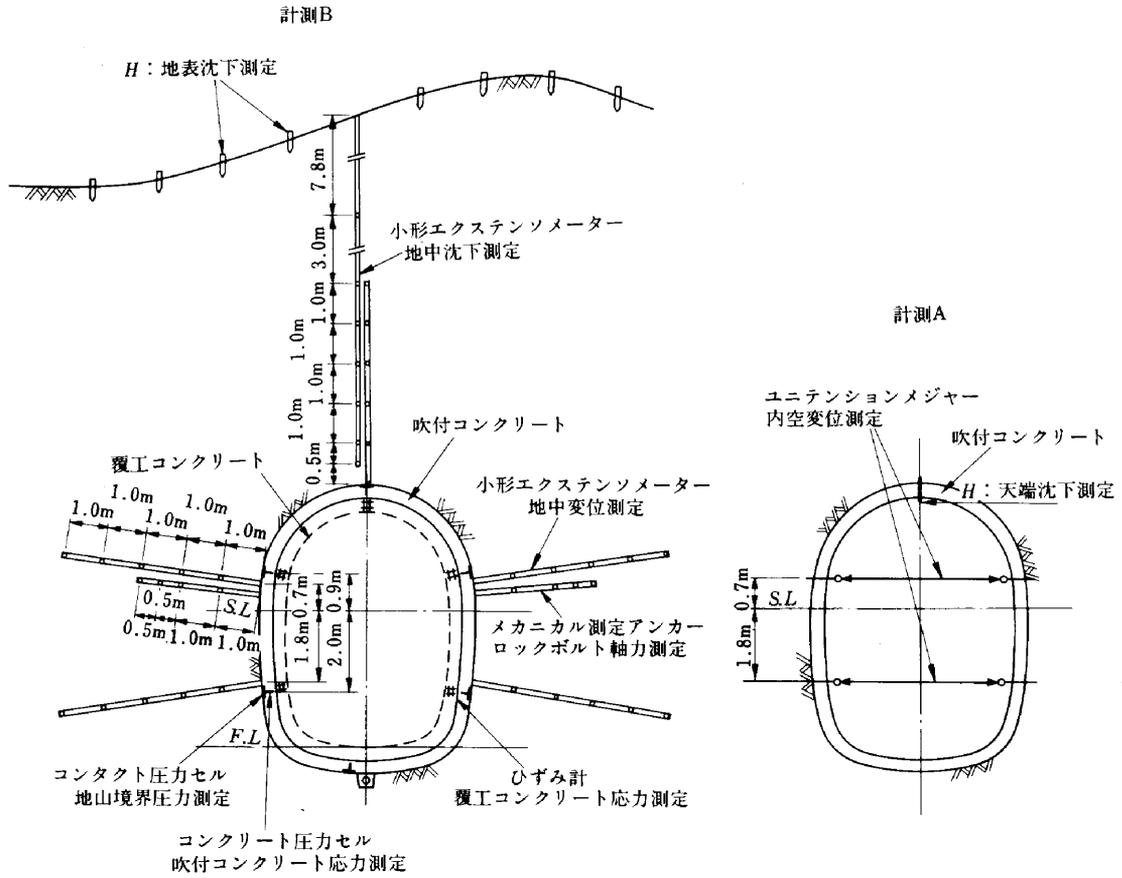


Fig.5 計器配置図

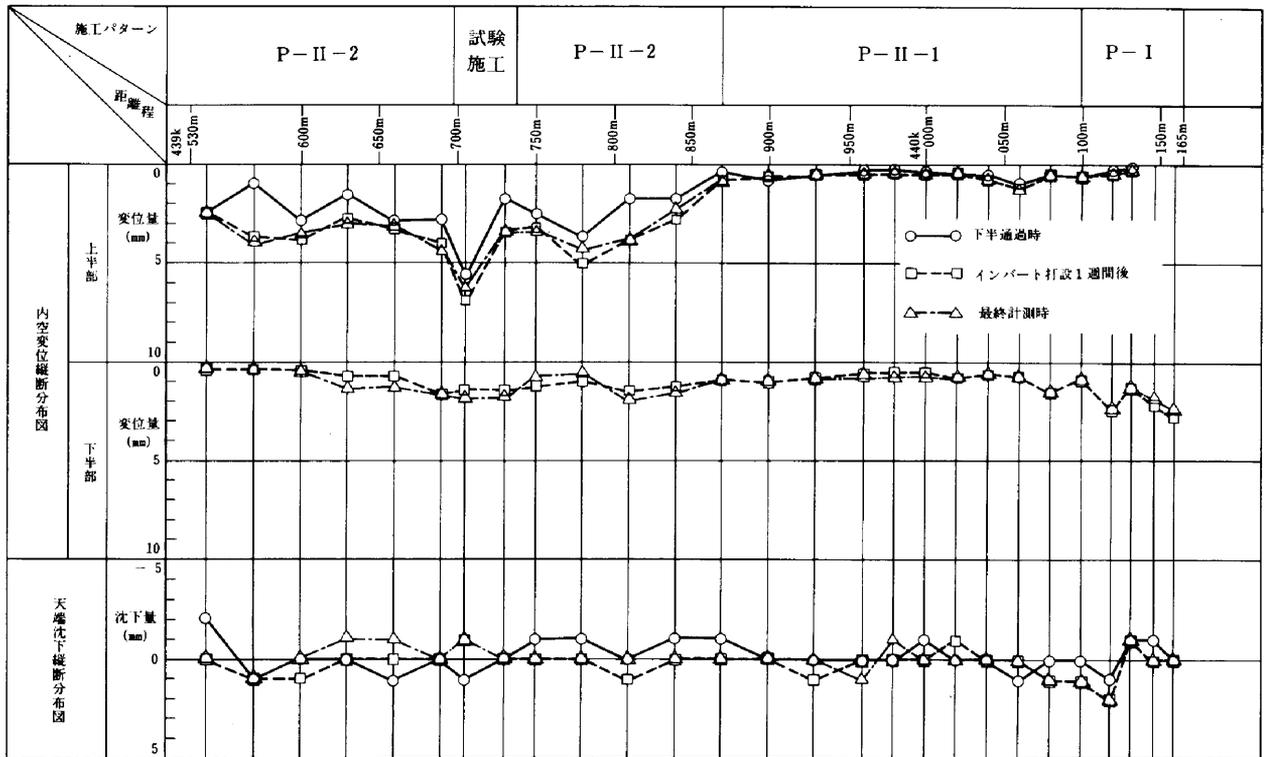


Fig.6 内空変位及び天端沈下縦断分布図



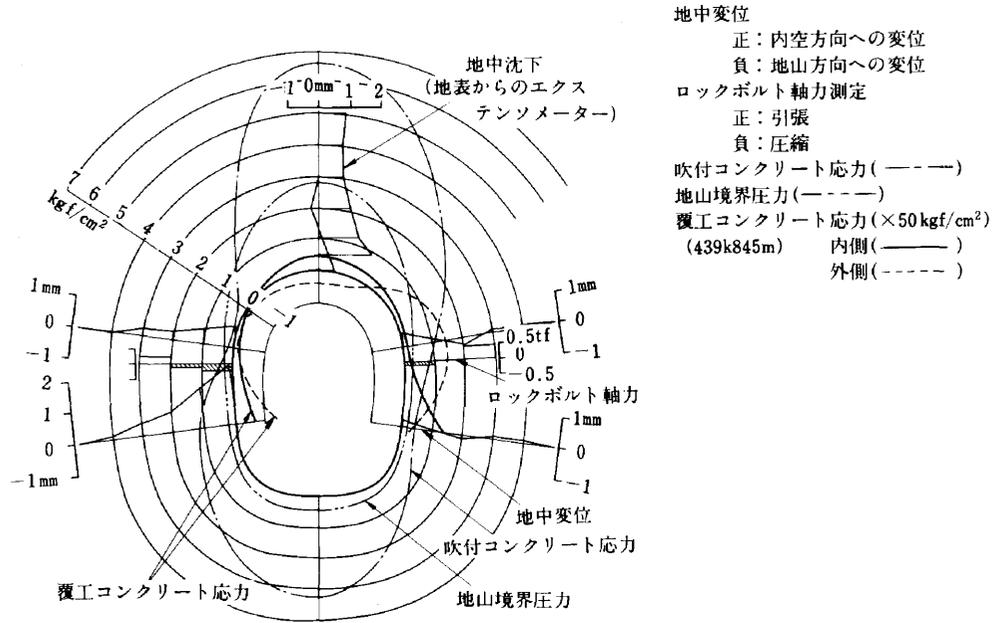


Fig.8 計測B測定結果(最終値) 440k080m

ロックボルト軸力測定は、ボルトの深度別の軸力の大きさとその分布を知り、ボルトの長さや径、本数などの妥当性及び増しボルトが必要か否かを検討するために行う。

測定結果は、地中変位がほとんど生じていないことから、ロックボルトにも軸力はあまり発生せず、最大で0.43tfと非常に小さい値であった。内空変位測定結果で述べたように変位は切羽到達時に短時間で大部分が生じてしまうので、ロックボルトの効果が現われる頃は、変位が収束していたことが考えられる。

(5) 一次覆工の応力測定

覆工応力測定は、吹付コンクリートに作用する地山圧力(境界圧力)と吹付内接線方向応力(吹付コンクリート応力)に分けられ、吹付コンクリートの安全性や追加支保の必要性及びインバートの効果を検討するために行う。

測定結果は、天端では吹付コンクリート応力4~7kgf/cm<sup>2</sup>、地山圧力0.5~2.5kgf/cm<sup>2</sup>、側壁では両方とも1kgf/cm<sup>2</sup>以下、またインバートコンクリート応力が3.6kgf/cm<sup>2</sup>、他の断面の底部ではほとんど応力は生じなかった。

測定値の動向の特色として、上半の3測点に下半切羽到達までは応力が上昇し、到達と同時に天端を除くSL付近の測点の応力が大きく減少する傾向がみられる。下半通過後は全測点ともインバート掘削まで若干の増加を示すが、閉合後は変化していない。これは、上半掘削段階では、一次ライニングが足元を地山に剛接して荷重に

抵抗するので応力は上昇するが、下半到達により足元は、一旦自由になるので応力が解放されるものと考えられる。下半通過後は、下半の吹付コンクリートが十分な剛性を有する時期には、他の測定項目の結果から変位はほとんど収束してしまっているので、測定値の上昇はみられなかったと考える。天端の応力が下半到達時に減少しなかったことから、吹付コンクリートは地山に密着していたと判断する。

また、吹付コンクリート応力は、圧縮強度(180kgf/cm<sup>2</sup>)と比較して十分に小さく問題とはならない。

(6) 二次覆工の応力測定

覆工コンクリート応力測定は、二次覆工の打設段階でトンネルが安定状態に達していない恐れがあると判断される時に、二次覆工コンクリートの安全性を確認するために行う。

測定結果は、±60kgf/cm<sup>2</sup>であった。測定値の変化は、測定開始後3~7日で終了しており、安定状態にある地山が、打設されたコンクリートに対して外力として作用することはありえないので、この変化は、打設・硬化熱・グロスなどによるものと考えられる。また、他の測定結果より、変位は一次覆工の時に収束しているので覆工コンクリートは安定した地山に打設されて、外力などは作用していないと判断する。

(7) 地表・地中の沈下測定

地表・地中の沈下測定は、切羽の接近、通過に伴う上方地山及び地表面への影響を把握するために行う。

当工事においては、真上(土被り約24m)に老人ホー

ムの構造物があることから、あらかじめトンネル上部の挙動を知ることが重要であり、老人ホームに影響を与えないことを確認する必要があった。

地表沈下測定は440k080m地点を中心に、進行方向と横断方向に木杭を打ち込み、レベルにより測定を行った。結果は±2mm以内で、地形の複雑さを考慮すると測量誤差の範囲と思われる。

地中沈下測定は、小型エクステンソメータを地上から埋設し、ダイヤルゲージにより測定した。結果は最大で1.7mmであったので構造物への影響はなかったものと思われる。

(8) NATMの計測について

- ① 計測結果より、当工事区間の地山は安定性がよく、地山自体の強度を有効に利用できた工事であったといえる。
- ② 計測は作業に支障をきたさないように行ったが、計器設置に関しては、坑内作業への支障は大きいものであった。
- ③ 計測間隔、頻度に関して、ある程度施工が進み地質が良好で変化が小さい場合には、計測計画の変更がなされてもよいと思われた。
- ④ 施工パターンは当初設計区分のままで施工され、計測は将来の技術蓄積に重点がおかれた。

§ 5. 鋼繊維補強吹付コンクリートの実証試験

吹付コンクリートをより合理的かつ経済的なものとする改良点の問題と、吹付コンクリート時に発注する粉塵が坑内作業の環境衛生面で問題視されている点の2点について企業先の御指示のもとに、試験施工区間(l=48m)を設定して実作業工程内に組み入れて、その試験を行った。

5-1 目的

- (1) 鋼繊維補強吹付コンクリートの施工性に関する試験並びに関連力学試験
- (2) 粉塵抑制剤の効果確認

5-2 試験項目

- (1) 鋼繊維混入率別ミキサー能力の低下度
- (2) 吹付はねかえり率の測定
- (3) 鋼繊維付着率の測定
- (4) 鋼繊維飛来測定
- (5) 粉塵抑制剤投入による粉塵量の測定
- (6) 鋼繊維補強吹付コンクリートの圧縮強度、曲げ強度、曲げタフネス試験
- (7) 鋼繊維分散度試験

5-3 吹付試験

吹付厚さは通常施工区間の最小厚10cmより薄く、7.5cm厚とし、アーチ支保工もはずした。試験は、前記の項目について2種類の配合により行い、1種類について6m区間の試験を行った。結果については一覧表としてまとめたが、実作業工程に組み入れた関係上、データの不備、不足はまぬがれないという一面もあった。しかしながら、本試験がNATMにおける課題の一端に踏み込んだという意義は大きい。また一方、安全面において当初心配していた「鋼繊維の飛来による人体、特に顔面へのつきささり」あるいは「施工後壁面より突き出している鋼繊維による擦過傷」などは一件の発生もみなかった。

(1) 使用材料

- i) 鋼繊維の種類  
シリボン SPR-6, ナトムクリーン
  - ii) 粉塵抑制剤
- (2) 鋼繊維補強吹付コンクリートの配合

Table6 鋼繊維表

種類	形状	長さ(mm)	厚さ(mm)	メーカー
せん断ファイバー	角形断面	25	0.5×0.5	日本鋼管
カットワイヤー	円形断面	25	d=0.5	神戸製鋼所

Table7 S.F吹付コンクリート配合表

配合	粗骨材 最大寸法 (mm)	S/A (%)	W/C (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
				セメント	水	細骨材	粗骨材	急結剤	鋼繊維
1	15	60	45	350	157.5	1,132	755	17.5	(Vol.1%)
									80
									(Vol.1.5%) 120
2	15	75	45	350	157.5	1,399	467	17.5	(Vol.1%)
									80
									(Vol.1.5%) 120

(3) 鋼繊維補強吹付コンクリートの力学試験

圧縮強度については、プレーンコンクリートの1.2倍と、鋼繊維混入による強度増加はあまり大きくないが、曲げ強度・曲げタフネス試験については鋼繊維を混入することにより著しく向上している。

(4) 鋼繊維分散度測定

現場採取のテストピースをX線で撮影した。この写真によると、鋼繊維は吹付方向に直角な平面内にはば二次元的にランダムな分布をしている。これは鋼繊維補強吹付コンクリートが、トンネル覆工として有効に働くことを示している。

5-4 鋼繊維補強吹付コンクリート区間の防水膜工について



が問題であるが、施工性については広範囲の施工が可能である(1ノズル200m<sup>3</sup>/日)。ただし吹付厚さの管理に難点があるし、湧水箇所では付着性が著しく劣る欠点がある。さらに、強い揮発性から、火災の原因や、人体への刺激性も有るため、火気の取扱及び換気に配慮する必要がある。

当区間の二次覆工も終了した現在において、コンクリート表面に何の異常も見当らず、防水及びアイソレーション効果はあったものと確信でき、所定の目的は達せられた。

## § 6 . おわりに

本格的な NATM の施工は所員一同、特別下請ともども初めての経験であり、上下半作業の連携と吹付コンクリートの問題点の解決に労を費やし、やっと予定のペースに乗せたという状況であった。NATM は在来工法に比べて、作業員に高度な技術が要求されるので、トンネル延長が短いという条件の下では、その技術者の養成が急務であった。

幸いにして当トンネルは、小断面トンネルであり、良質な地質に恵まれ、施工中においても仕上り面においても他に比して遜色のない出来映えとなった。また工事も無災害で完成に向っており、ひとえに本社・支店・諸先輩の御指導の賜物と感謝しております。