

# トンネルの施工事例

## とくに抗口部の補助工法〔H8施工〕

技術士会応用理学部会

第1回技術サロン

平成19年6月8日

中里 俊行

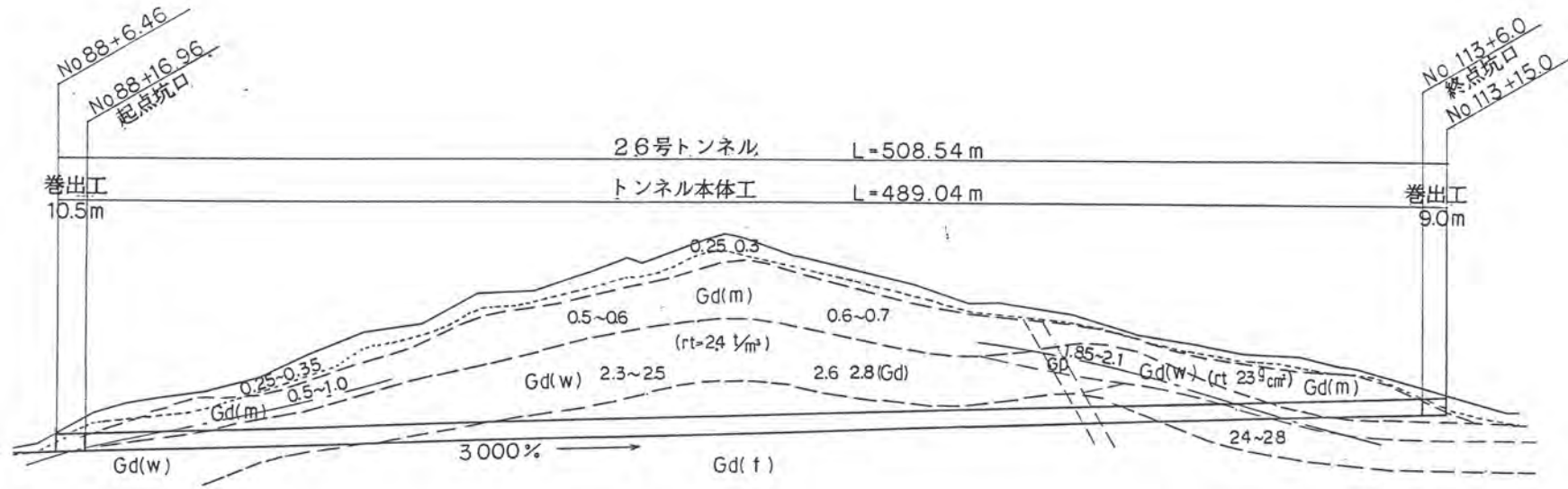
# 1. 地形

- 北上山地西縁部の姫神山(標高1,124m)の南東部丘陵地
- 最大土被り約70m程度。延長508.54m〔本體工〔489m〕〕
- 両坑口部に不安定地形なし。扇状地地形。
- 起点側に縄文期の埋蔵文化財地点→事前に調査
- 両坑口部はマサ化して土被り小さい区間が長い。
- 施工期間:H7年12月(掘削開始)~H8年10月(トンネル貫通)

## 2. 地質・地山条件

- 白亜紀前期の花崗閃緑岩主体の「姫神岩体」→マサ化・核岩あり
- 花崗斑岩, 閃緑ひん岩が複雑に貫入する
- 基盤岩を被覆して扇状地堆積物や火山灰層分布
- 全体として割れ目性の中硬岩～硬岩地山
- 基盤速度値は3.7～5.5km/s
- 最大土被り部に1.8～2.2km/sの低速度帯
- 湧水は低速度帯区間で0.5t/分以上→濁水処理追加
- 施工パターン: DⅢ, DⅡa, DⅡb, DⅠ, CⅡ, CⅠ

# 2.1 地山縦断図



時代	地層名	模式図	記号	構成物	分布
第四紀	現河床堆積物		A l	礫、砂、粘土により構成される。礫は主に花崗岩閃緑岩の円礫。現在の狭長な河床部に限って分布。	
	火山灰層		V d	黄褐色細粒火山灰、軽石等で構成される。層厚は所により変化し0.5~2m程度。分布は、山腹緩斜面に隣在する。 既往B-3~B-7孔で層厚約2.2~7.5mの火山灰質シルト層を確認した。	
	扇状地堆積物		F d	基質を花崗質粗粒砂とする花崗閃緑岩の円~近円礫で構成され、径0.3~2m程度の軽石を含む。谷状の低地部に狭長に分布する。	
白亜紀	花崗閃緑岩		G d	地表部ではマサ化が進んでおり、深層風化の深い花崗閃緑岩である。調査地付近の基盤岩として広く分布する。	
	(花崗斑岩)		(G p) (P o)	B-5、B-8では花崗閃緑岩に貫入する花崗斑岩(G p)とひん岩を確認した。トンネル区間の地山を構成する。	



# 2.2 地質区分別地山の工学的特性および地山 類一覽

時代	区分 (花崗閃緑岩)	記号	岩級	岩質・コア状況		N値	検層速度値 (km/s)	群往弾性 波速度値 (km/s)	岩石物性		岩盤の變形 特性 (kgf/cm <sup>2</sup> )	岩盤の透水性 k (cm/s)	地山の安定性	地山 分類
				岩質・性状	割れ目性状				物理特性	力学特性				
中生代	風化岩 (塊状 ~塊状)	Gd(a)	D <sub>1</sub>	ほとんど土壌化シルト質砂状	不明	10~39	0.32~1.0 (0.63)	0.5~0.7	—	—	—	地層水	<ul style="list-style-type: none"> <li>水がつくとゆるむ</li> <li>切羽は自立するが時間がたつと肌落ち崩壊生じる。</li> <li>地山強度比小さく塑性地圧作用する。</li> <li>膨潤性なし</li> </ul>	E
			D <sub>2</sub>	指圧で容易につぶせる	不明	40~50/10<	0.6~0.8 (0.7)							
			D <sub>3</sub>	指圧で塊状となるがつぶせる	不明	50/19~50/5	0.8~1.6 (1.02)							
			C <sub>1</sub>	指圧で塊状となる コア端面欠ける	やや明瞭	50/9~50/5	0.8~2.1 (1.47)							
新生代	中風化岩	Gd(T)	C <sub>1</sub> ~C <sub>2</sub>	コア端面欠けるものと欠けないものが混在。 コアは手で折れる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>明瞭</li> <li>粘土質狭帯</li> <li>弱口酸化汚染</li> </ul>	50/4~50/0	1.5~2.1 (1.8)	2.3~2.8	密度(ρ <sub>t</sub> ) 2.440~2.628 (2.537)	V <sub>pc</sub> 0.75~2.19 km/s(1.39)	1.300	裂開水 1.26×10 <sup>-4</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軟質部の肌落ち</li> <li>水がつくと弱面から崩壊生じる。</li> <li>一部塑性地圧作用する。</li> </ul>	D II
			C <sub>2</sub>	岩片中硬質で強い指圧で欠ける			1.85~2.4 (2.24)							
白堊	弱風化岩	Gd	C <sub>2</sub>	岩片自体新鮮堅硬 割れ目沿いにわずかに褐色化	<ul style="list-style-type: none"> <li>明瞭</li> <li>間隔5~15cm</li> <li>粘土質狭帯</li> <li>酸化汚染</li> </ul>	—	2.4~3.6 (2.73)	2.726~2.750 (2.728)	V <sub>pc</sub> 5.63~6.11 (5.40)	σ <sub>c</sub> 1400~1600 (1463)	10.000<	1.57×10 <sup>-4</sup> 7.57×10 <sup>-4</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>切羽は全般に安定しているが深掘り面は時間がたつと緩みにより肌落ちを生じる</li> </ul>	C II
				新鮮岩	Gd(F)	B	岩片自体新鮮堅硬 割れ目沿い新鮮							
新第三紀	低硬質岩	—	—	不明	—	—	—	1.8~2.2	不明	不明	不明	(突発湧水)	<ul style="list-style-type: none"> <li>断層破砕帯</li> <li>深層風化層</li> <li>貫入岩化部なのか不明</li> <li>施工時には、先遣打撃が必要</li> </ul>	(D II)

( )内平均値

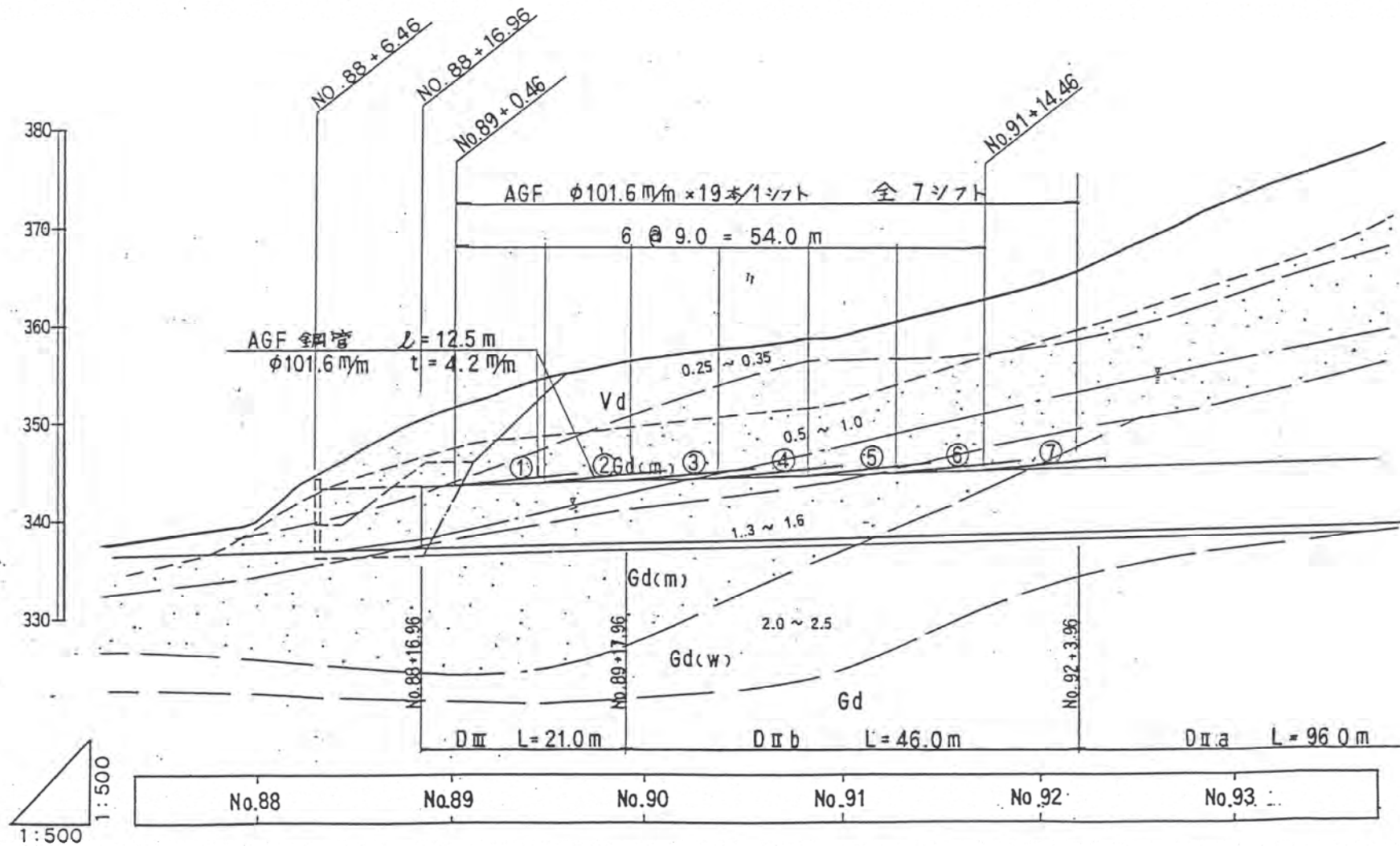
# 2.1 当トンネルの地山分類

No	区 間	岩 級	岩 質・コ ア 状 況		地山弾性 波速度 Vp(Km/sec)	準岩盤圧縮 強度 (Kgf/cm <sup>2</sup> )	変形係数 (Kgf/cm <sup>2</sup> )	地山強度比 $\frac{\sigma_c}{\gamma t \cdot H}$	岩盤の透水性 K(cm/sec)	地山の安定性	地山等級
			岩 質・性 状	割れ目性状							
①	No.88+9	DL	ほとんど土壌化シルト質 指圧で容易につぶせる	不 明	0.5~2.1	6	240~440 (DM)	0.96~2.5	地層水	・水がつくとゆるむ ・切羽は自立するが時間がたつと肌落ち崩壊生じる。 ・地山強度比小さく塑性地圧作用する。 ・膨潤性なし	E
	No.93	CL									
②	No.93	CL	コア端の欠けるものと欠けないものが混在 コアは手で折れる	明瞭 粘土フィルム挟在 開口酸化汚染	2.3~2.5	14.8~33.2	800~1300 (CL,CL~CM)	1.26~2.3	6.48×10 <sup>-4</sup> 8.95×10 <sup>-6</sup>	・軟質部の肌落ち ・水がつくと弱面から崩壊生じる。 ・一部塑性地圧作用する。	D II
	No.97	CH (CM 主体)									
③	No.97	CH	岩片自体新鮮堅硬 割れ目沿いにわずかに褐色化	明瞭 間隔5~15cm	3.6 (CH)	487 (CH)	9900 (CH)	33~62 (CH)	1.57×10 <sup>-4</sup>	・切羽は全般に安定しているが素掘り面は時間がたつと緩みにより肌落ちを (CH)	C II
	No.107+10	B									
			No.107+10	CH主体	岩片自体新鮮堅硬 割れ目沿いにわずかに褐色化	明瞭 間隔5~15cm 粘土フィルム挟在	2.4~4.0	225	2,300 (CM級)	37~62	1.57×10 <sup>-4</sup> 7.57×10 <sup>-6</sup>
④	No.107+10	CH主体	岩片自体新鮮堅硬 割れ目沿いにわずかに褐色化	明瞭 間隔5~15cm 粘土フィルム挟在	2.4~4.0	225	2,300 (CM級)	37~62	1.57×10 <sup>-4</sup> 7.57×10 <sup>-6</sup>	・切羽は全般に安定しているが素掘り面は時間がたつと緩みにより肌落ちを生じる。	C II および D I
	No.109+10										
⑤	No.109+10	DL	ほとんど土壌化シルト質 指圧で容易につぶせる	不 明	0.75~2.0	4	730~770	0.97以上	1.9×10 <sup>-4</sup>	・水がつくとゆるむ ・切羽は自立するが時間がたつと肌落ち崩壊生じる。 ・地山強度比小さく塑性地圧作用する。 ・膨潤性なし	E
	No.113+15	CM									

### 3. 設計・施工条件

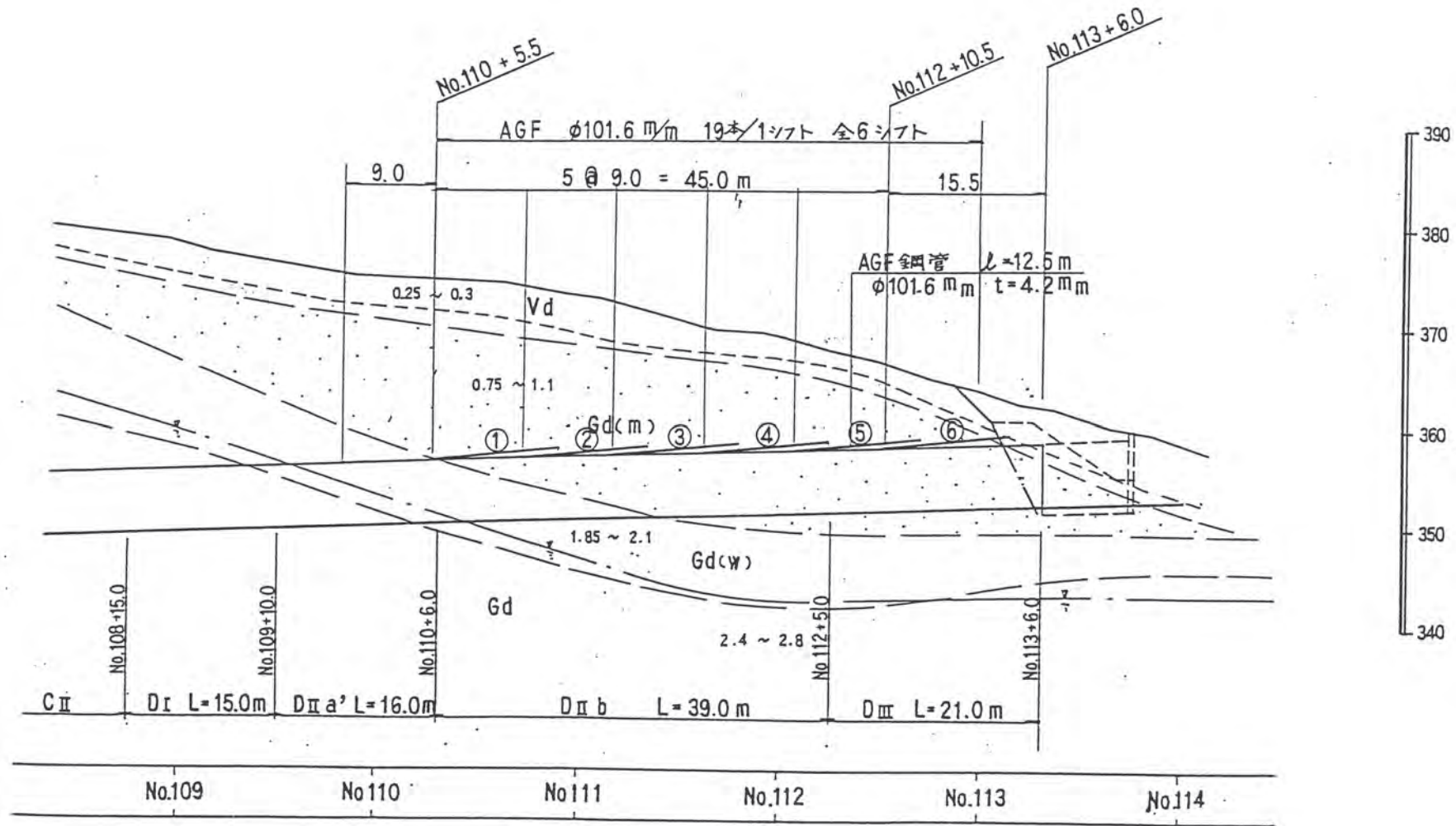
- 構造規格
  - 第3種3級:A交通
  - 設計速度:40km
  - 幅員構成:8.5m
  - 工 法:NATM
  - 縦断勾配:L=+3.000%
- 構造規格
  - ショートベンチカット工法(上・下半併進)
  - インバート:D I , D II a, D II b, D III
  - 補助工法:D II b, D III→注入式長尺先受工法(AGF工法)
- 2-D以下FEM解析実施

# 3. 1(1) 起点側坑口

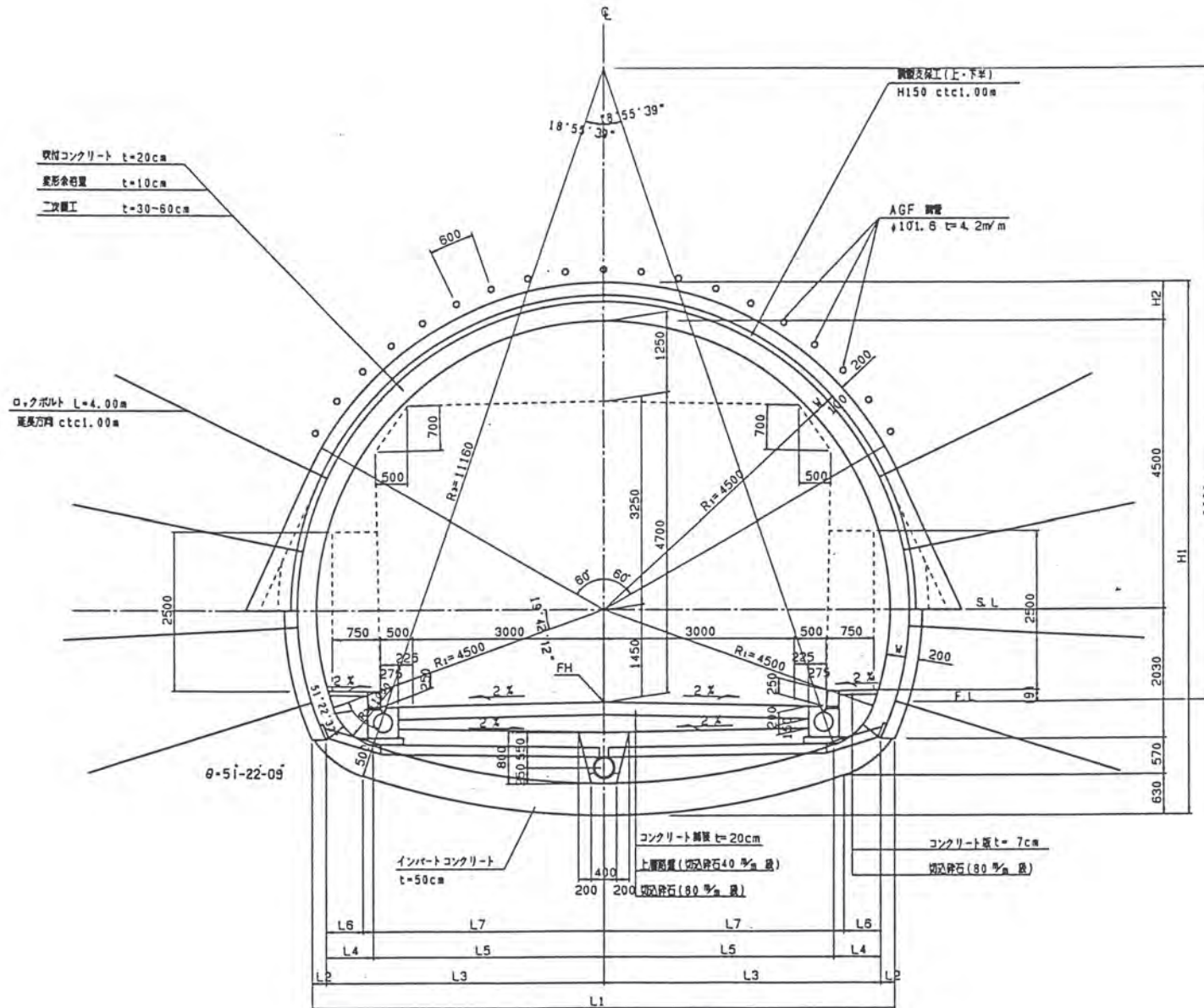




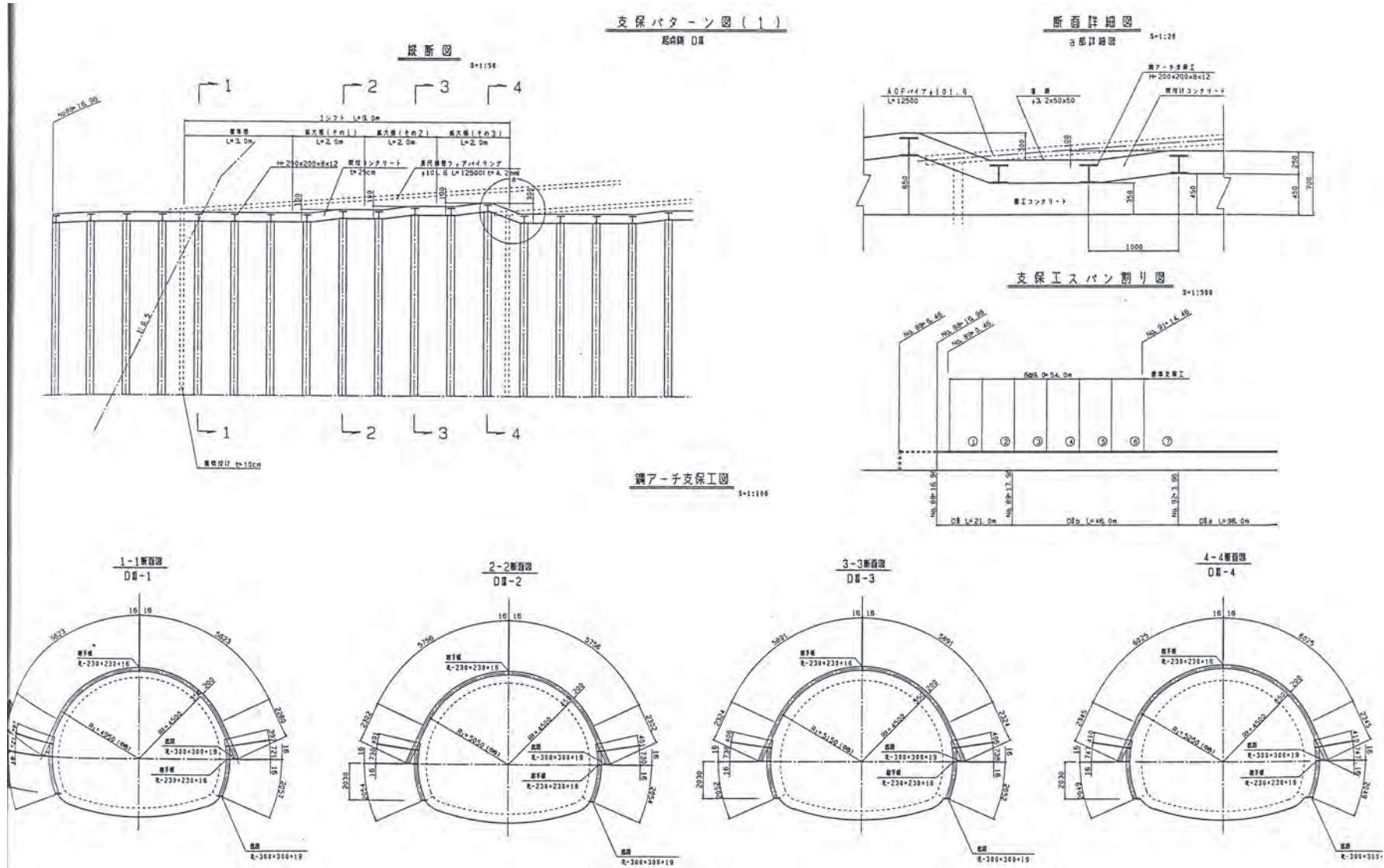
# 3. 1(2) 終点側坑口



# 3. 1(3) AGF工法標準断面図



# 3. 1(4) AGF工法支保パターン図



## 3. 2 注入式長尺先受工法

[AGF工法.ALL Grand Fasten]

- 工法概要と効果
  - ・地山注入と鋼管によるため先行ゆるみの抑制効果に優れる。
  - ・特殊な機械・設備・材料が不要で経済的に優れる。
  - ・掘削作業の油圧ジャンボにより施工性に優れている。
  - ・側壁・脚部補強工にも対応可能で応用性に優れる。



## 4. 1 坑口付け部でのAGF試験施工(1)



Tトンネル坑口部

AGF試験施工全景

地質:花崗閃緑岩(DH級岩盤)マサ化



## 4. 2 AGF試験施工(2)



施工機械配置完了



## 4. 3 AGF試験施工(3)



削孔用ビット



## 4. 4 AGF試験施工(4)



鋼管挿入孔削孔



## 4. 5 AGF試験施工(5)



挿入用鋼管  
 $\Phi 101.6\text{mm}$   
 $t=4.2\text{m}$

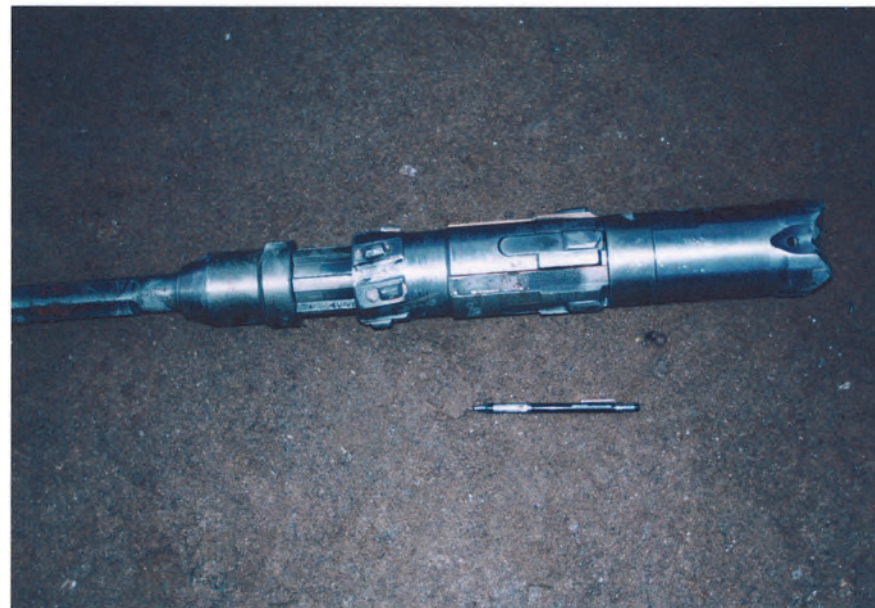


鋼管内  
挿入管  
手前塩ビ管

## 4. 6 AGF試験施工(6)



鋼管挿入  
PCDビットにより拡  
孔打撃による挿入  
を行う。



PCDビット  
(Pipe Casing Drill)  
・先端ビット  
ウイングビット  
・ヘッドスリーブ  
・ロッド



## 4.7 AGF試験施工(7)



先導鋼管挿入中



インサート管挿入  
黒いパイプはエア  
抜きパイプ

## 4. 8 AGF試験施工(8)



注入作業中



注入完了

左:セメントミルク

(d=45cm)

中:セメントミルク

(d=60c)

右:SRFシリカレンジ

(d=60cm)



## 4. 9 AGF試験施工(9)〔効果検証〕



注入・先受効果確認作業

ツインヘッダーによる掘削作業



## 4. 10 AGF試験施工(10)効果検証(セメントミルク)



・セメントミルクの注入状況  
割れ目に充填されているが、密着性が悪い。



・セメントミルク注入  
鋼管周辺にのみ注入材が充填されている。



## 4. 11 AGF試験施工(11)効果検証(SRF)



SRFの注入状況  
発泡性を有するシリ  
カレジンは、周辺に  
割裂注入されて、地  
山の強化の効果が  
認められる。



同上

## 5. 施工前の文化財調査





## 6. 1 AGF施工状況(1)



ツインヘッダー

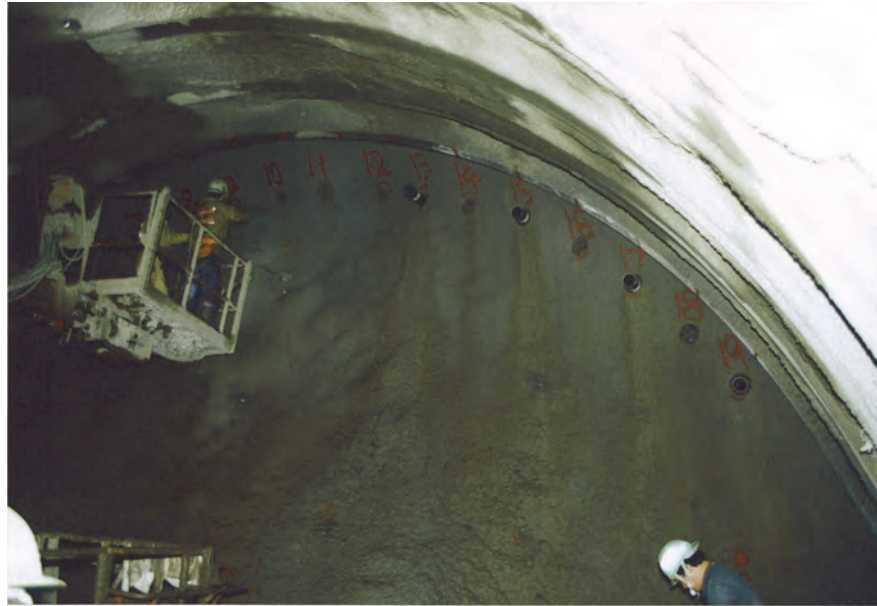


AGF施工吹付前

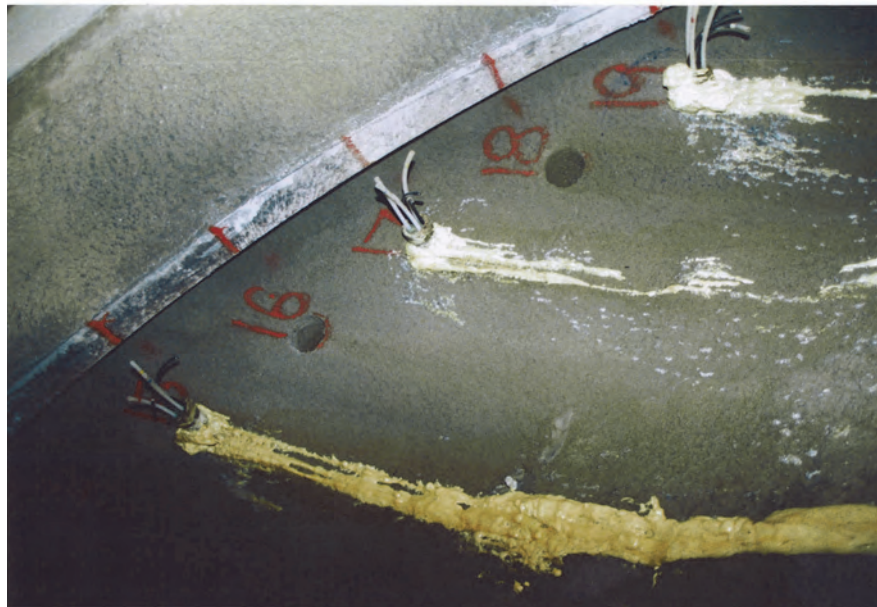


核残しで切り羽鏡に  
ファイバーボルト施工

## 6. 2 AGF施工状況(2)



鋼管挿入後



インサート管挿入後  
ウレタンによる口元  
コーキング処理



## 6. 3 AGF施工状況(3)



ミキシングユニット  
設置完了



注入管コーキング  
注入準備完了

## 6. 4 AGF施工状況(4)



岩盤固結用特殊シリ  
カレンジ系注入材

A: 珪酸ソーダ  
特殊改質材  
触媒

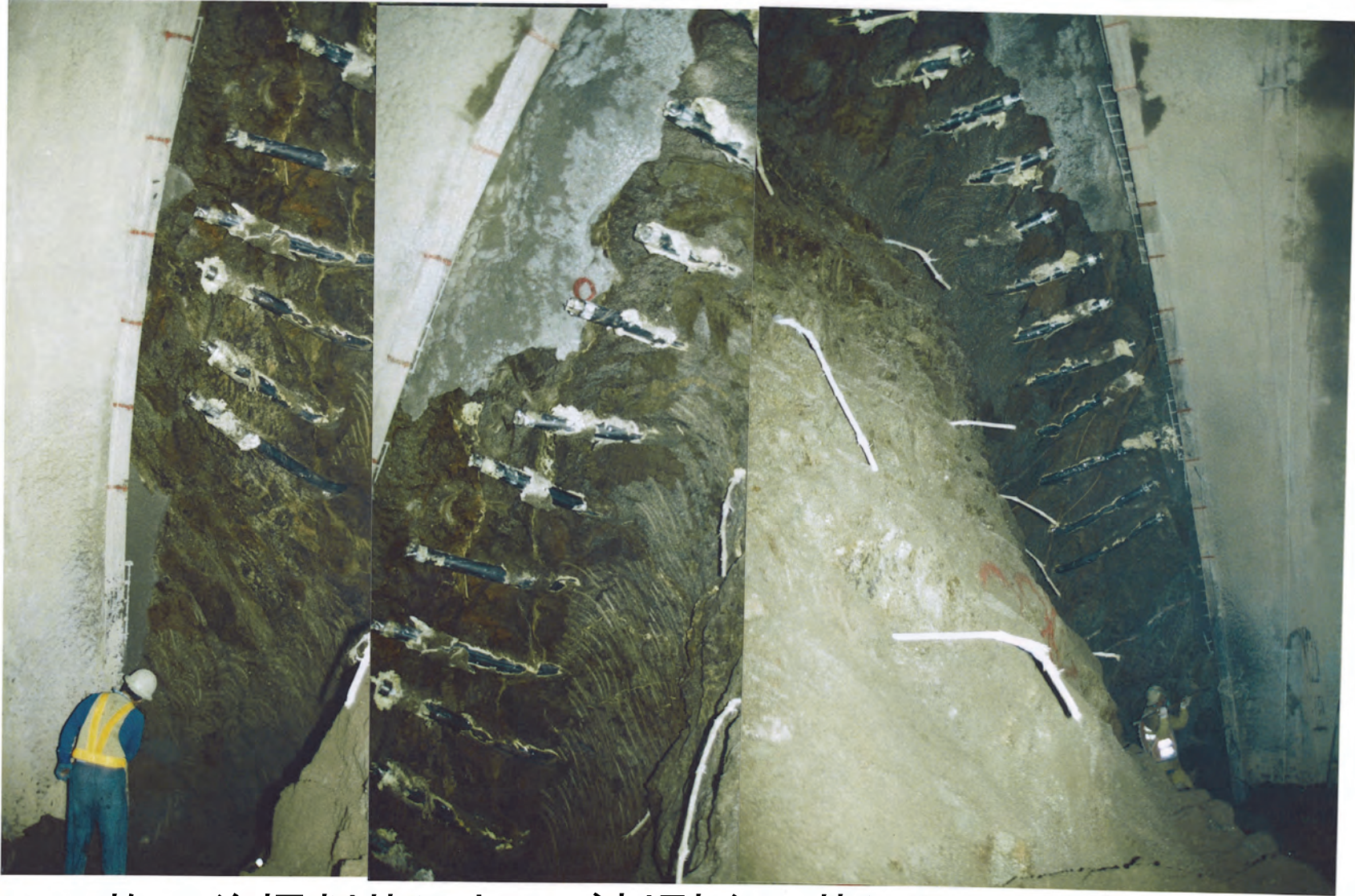
B: 特殊プレポリマー  
粘度低下材



注入作業中



## 6. 5 AGF施工状況(5)



AGF施工後掘削状況および割裂注入状況  
手前の曲がった白い棒状のものは、鏡止めファイバーボルト



## 6. 6 AGF施工状況(6)



トンネー次覆工の状況  
(先行断面の拡幅状況)



終点坑口側の状況

## 7. 1 坑口部明り巻施工状況(1)



マサ土中の球状風  
化帯中の核岩岩塊  
施工性をおとす



## 7. 2 坑口部明り巻施工状況(2)



## 7. 3 坑口部支保工ウイングリブ使用]



明かり巻部のウイングリブ施工



下半部施工状況



## 8. 1 NATM施工(1)



ロックボルト  
耐力12~18t以上  
長さ3~4m  
異型棒鋼  
ネジリ棒鋼と同等以上の全面接着型とした。  
TD24



## 8. 2 NATM施工(2)(Dパターン区間のインバートによる断面閉合)





## 8. 3 NATM施工(3)(発破工法)



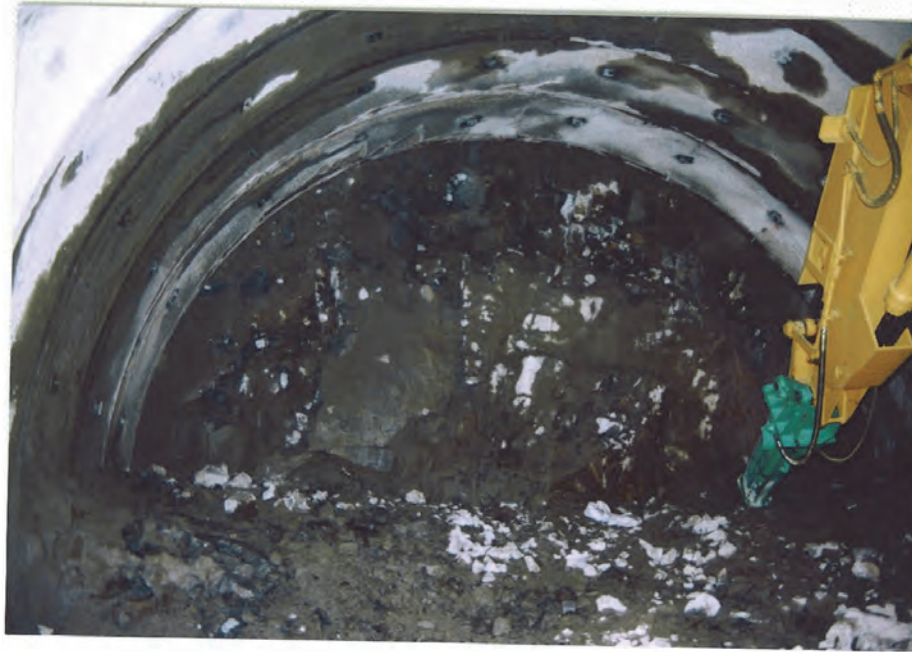
爆薬挿入結線作業



発破孔穿孔作業



## 8. 4 NATM施工(4)



硬岩部の発破後状況  
切羽写真の白い部分  
は発破による破断面  
〔ブレイカーによるこ  
そく作業中〕



天端部の発破後の  
状況〔C II〕  
発破孔と白い破断面  
が明瞭に残る。

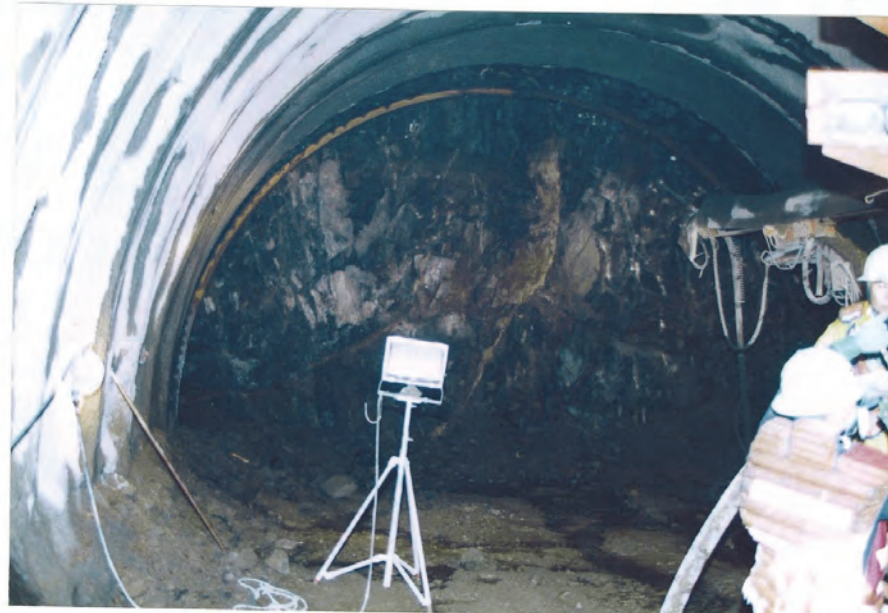
## 8. 5 NATM施工(5)



フォイールローダー  
によるズリ出し



## 8. 6 NATM施工(6)支保工建込み作業





## 8. 7 NATM施工(7)一次吹付作業



左手の人物が操作している



- ・支保工部の吹付工  
ハツリ作業
- ・次にボルト挿入作  
業

## 8. 8 NATM施工(8)(防水シートの施工)



終点側より



起点側より坑口部  
DⅡパターン  
防水シートの上に鉄  
筋組立



## 8. 9 NATM施工(9)(二次覆工の施工)



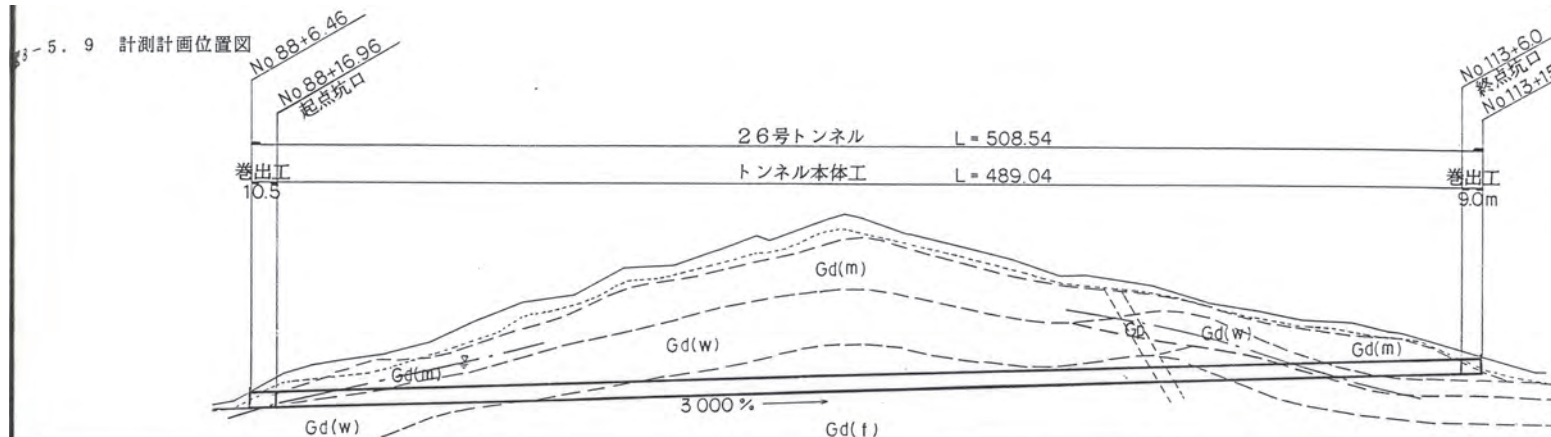
セントル入坑



二次覆工ライニングコンクリート施工中 覆工施工状況



# 8. 10 NATM施工(10)(A計測主体)



地質	花崗閃緑岩 (Gd)										花崗閃緑岩 (Gd)				
	弱風化帯 (アモライト - 層状構造) Gd (m)	風化帯 (モサマ状) Gd (m)	中風化帯 層状構造に風化 Gd (w)	弱風化~新鮮岩盤 Gd (f) (CH-B 塊主体割れ目少ない)	不明 感速度帯	弱風化~新鮮岩盤 Gd (f) (CH-B 塊主体割れ目少ない)	弱風化帯 層状構造 Gd (w)	中風化帯 層状構造 (DL-CL 層) (CM 層 主層)	風化帯 Gd (m) (DL-CL 層 マサ-モサマ状)						
支保パターン	DIII	DIIb	DIIa		CII	CI			CII	DI	DIIa	DIIb	DII		
測点	No. 88 +16.96	No. 90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	No. 113 +6.0	
坑内観察調査	_____														
天端沈下測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
内空変位測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
地表沈下測定	○	○	○	○	○	○						○	○	○	
地山試料試験	○							○							
坑内地中変位測定	○							○							
ロックボルト軸力測定	○							○							
軟付コンクリート応力測定	○							○							



## 8. 10. 1 NATM施工(10-1)(A計測の状況)



レーザー照準器



内空変位計測ターゲット  
〔管理基準値を設定〕



# 8. 11 NATM施工(11)(低速度帯区間の前方予知水平ボーリング)



C I → C II パターンへ

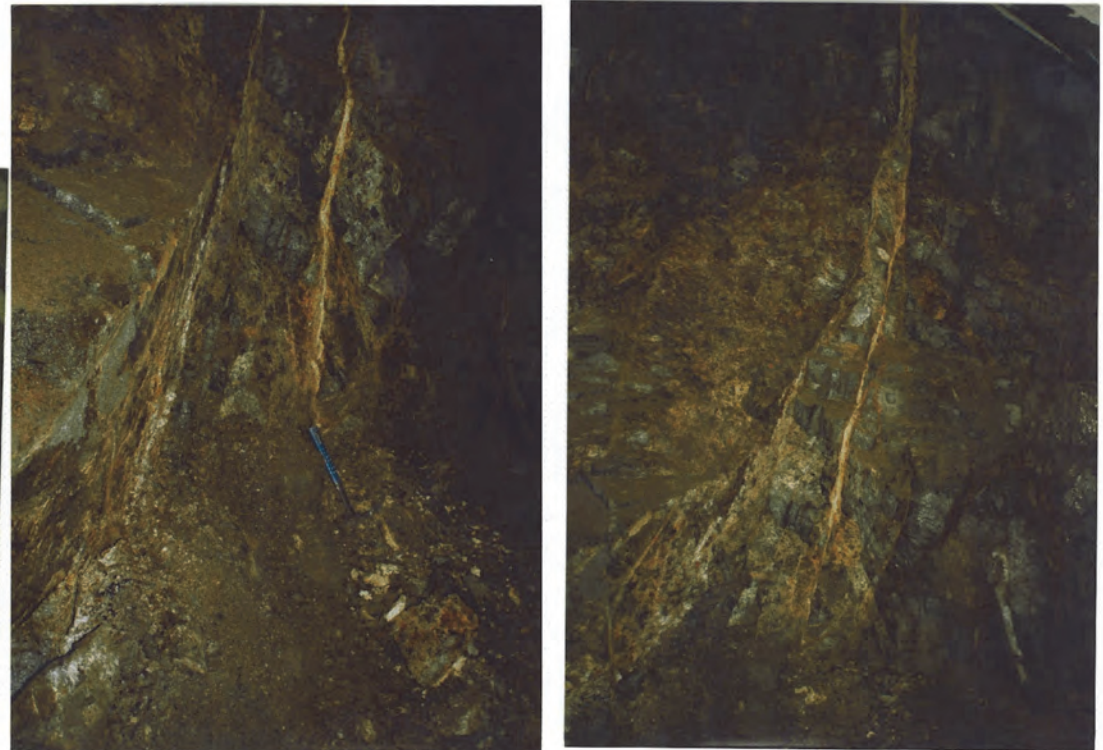


水平ボーリング状況(湧水多くなる)

## 8. 11. 1 NATM施工(11-1)(低速度帯区間の劣化地山状況)



地山劣化区間  
C II パターンに変更



低速度帯の地山状況。貫入面沿いの数本の粘土伴う破砕帯。トンネル軸線と斜交して出現した。



## 8. 11. 2 NATM施工(11-2)(破砕帯区間前 と区間中の湧水状況)



破砕帯区間前の  
湧水

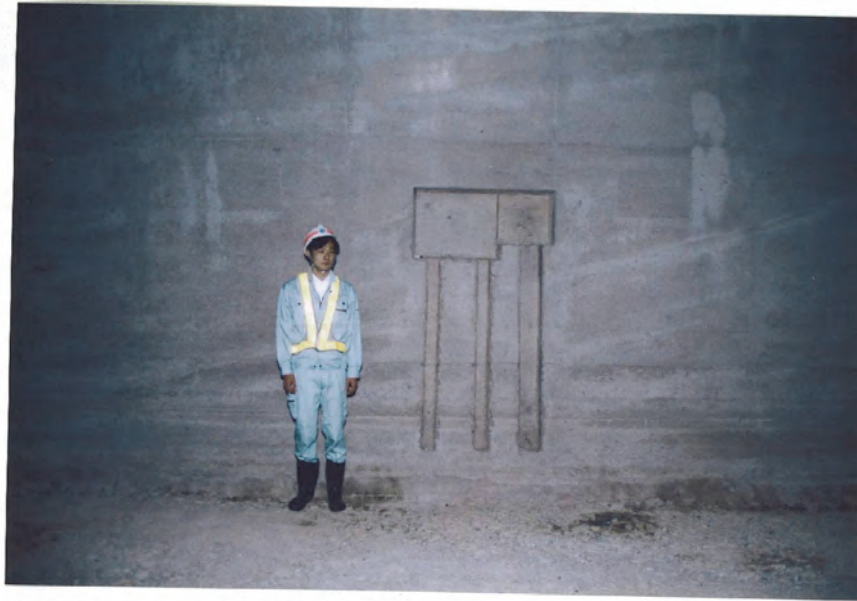


破砕帯区間での湧水  
0.5t/分



坑内排水は3%勾配のため  
2段とした。

## 8. 12. 1 NATM施工(12-1)(貫通前の状況)



ライニングの箱抜き  
状況



片押しのため終点  
坑口への貫通間近  
である



## 8. 12. 2 貫通(風が通り抜ける)



鏡割り後記念写真



## 9. 終点坑口部の状況



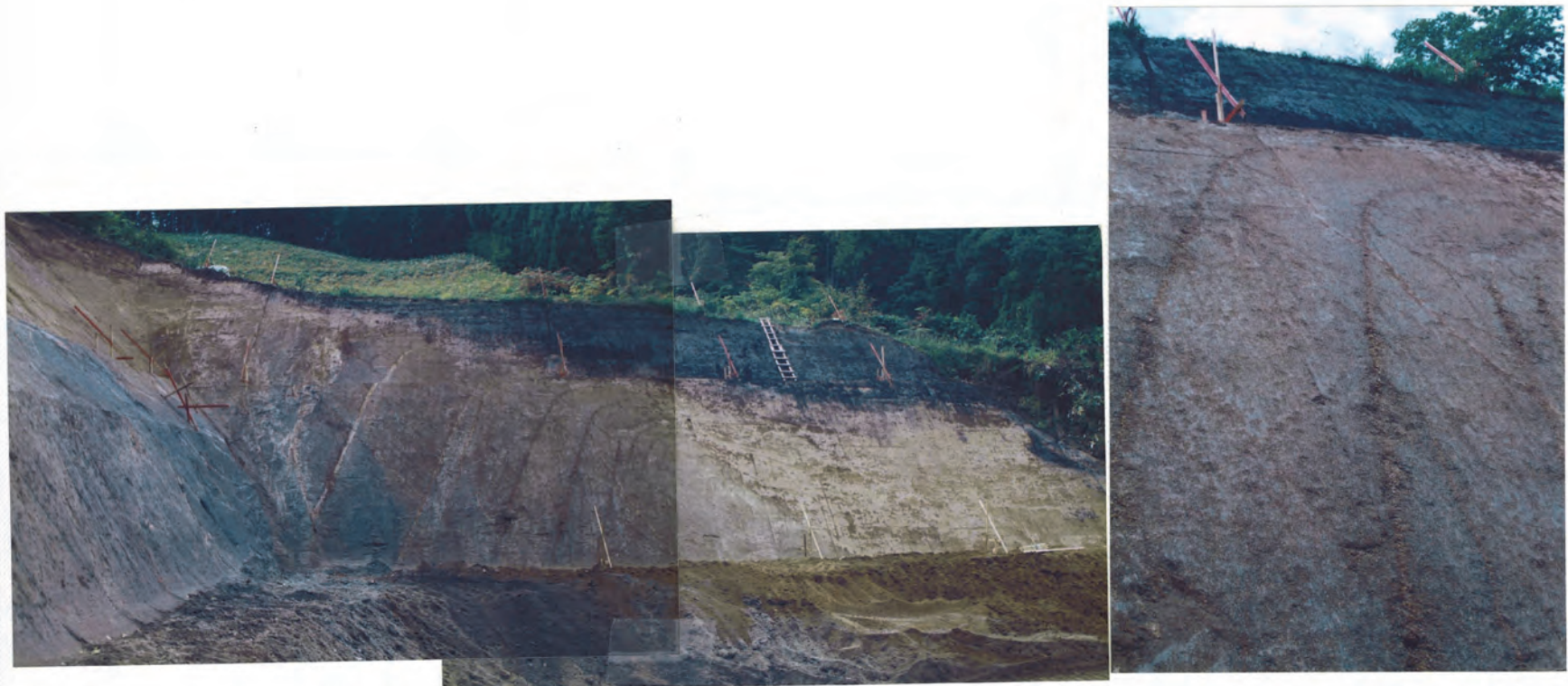
終点側の切土にみられる地質



地表部の変位計測(伸縮計)



## 9. 1 終点側坑口切土斜面のクリープ現象



マサ化した中のシームが斜面下方に向かって礼をしている  
オジギ褶曲？)

## 10. おわりに



終点側  
坑門工

- 坑口区間はマサ中に核岩が残り施工性の悪い所があった。
- 土被り最大区間の低速度帯は破砕帯でありCⅡパターンに変更。
- 破砕帯区間で最大0.5t/分以上の集中湧水→濁水処理限界
- 地山分類は難しい。既往弾性波探査結果≒速度検層結果
- トンネルの岩盤分類→湧水状況でパターン重くなる。
- 設計パターン≒施工パターンであった(設計変更:低速度帯区間のみ)
- 無事故で無事貫通