

中央新幹線伊那山地トンネル新設（坂島工区）に
おける肌落ち災害の発生原因と対策について

令和4年1月18日

東海旅客鉄道株式会社

目次

1. 事象の概要	1
2. 坂島工区の特徴	4
3. 施工状況について	5
4. 肌落ち災害の発生状況について	14
5. 対策について	22
6. 長野県内の山岳トンネル工区における取り組み	27
7. 本事象に関する有識者の意見等について	31
○用語の定義	33

1. 事象の概要

日 時：令和3年11月8日（月）8：20

場 所：長野県豊丘村内 中央新幹線伊那山地トンネル新設（坂島工区）（以下、坂島工区）
坂島斜坑（以下、斜坑）

TD0k197.6m（土被り約110m）（図1-1）

事 象：トンネル切羽面における肌落ち

現地写真：図1-2のとおり

被 害：作業員1名が軽傷

【受傷者】トンネル作業員（1次下請け）

【程 度】軽症（圧迫による右足ふくらはぎ筋肉の炎症）

工事概要：NATMによるトンネル工事

【延 長】 本 線：約5,100m 【断 面】 本 線：約100m²

斜 坑：約1,440m 斜 坑：約 70m²

発 注 者：東海旅客鉄道株式会社

施工業者：中央新幹線伊那山地トンネル新設（坂島工区）工事共同企業体
（構成員 清水建設株式会社・大日本土木株式会社）

経 緯

令和3年 7月16日 作業ヤードより機械による斜坑掘削開始

令和3年 9月22日 発破による斜坑掘削に移行

令和3年11月 6日 3：00 TD0k197.6mまで掘削
鏡吹付コンクリート（厚さ5cm以上）を施工し作業終了

令和3年11月 8日 7：00 朝礼 作業詰所での打合わせ

〃 8：00 作業（削孔）開始

〃 8：15 削孔完了、装薬作業開始

〃 8：20 肌落ち発生、受傷者の救助

〃 8：35 工事用車両にて受傷者を病院に搬送開始（下伊那赤十字）

〃 8：40 請負から発注者に第1報

〃 9：40 請負から飯田労働基準監督署へ報告

〃 10：15 受傷者の診察開始

〃 11：20 診察終了

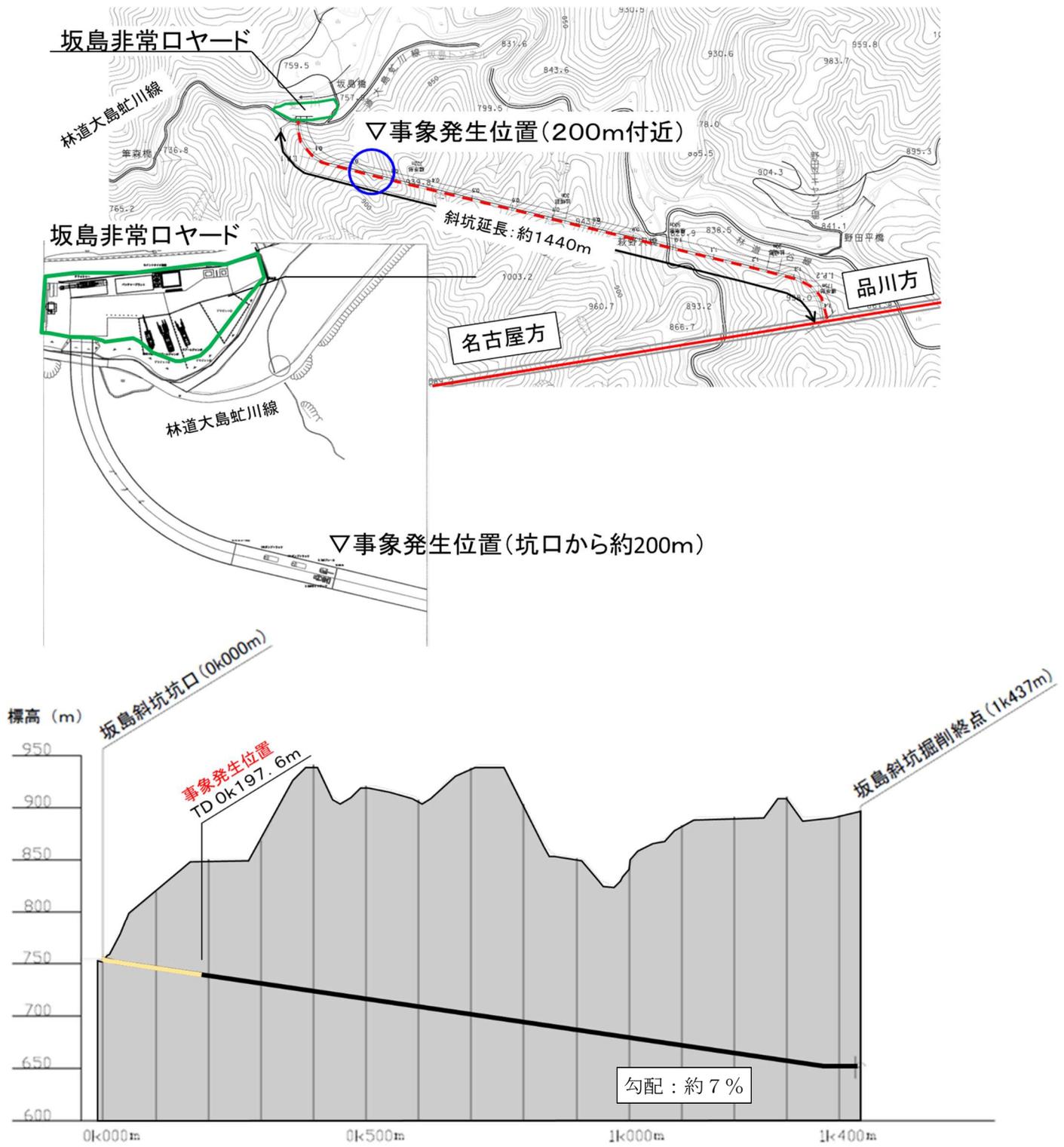


図 1 - 1 発生場所



図1-2 現地写真

2. 坂島工区の特徴

坂島工区は豊丘村から大鹿村に至るまでの工区となっている。既往の調査結果より、坂島工区の地質について、主たるは領家帯古期花崗岩であり、工区の東側で領家帯変成岩類や鹿塩ミロナイトが出現するものと想定している（図2-1）。周辺の主要な活断層は下伊那竜東断層があり、西側隣接工区で本線と交差する（図2-2）。また、特徴として最大土被りが900m以上あり、土被りが500mを超える区間が約6割を占めている工区である。斜坑の地質は全区間で領家帯古期花崗岩であり、斜坑の後半で先述した下伊那竜東断層と交差すると想定している。

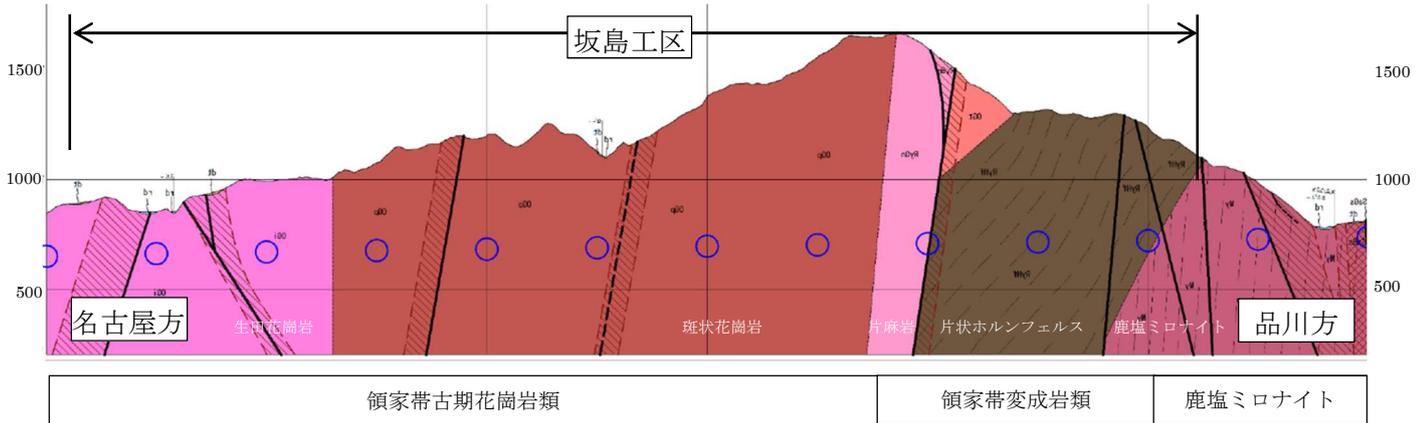


図2-1 伊那山地トンネル地質縦断図

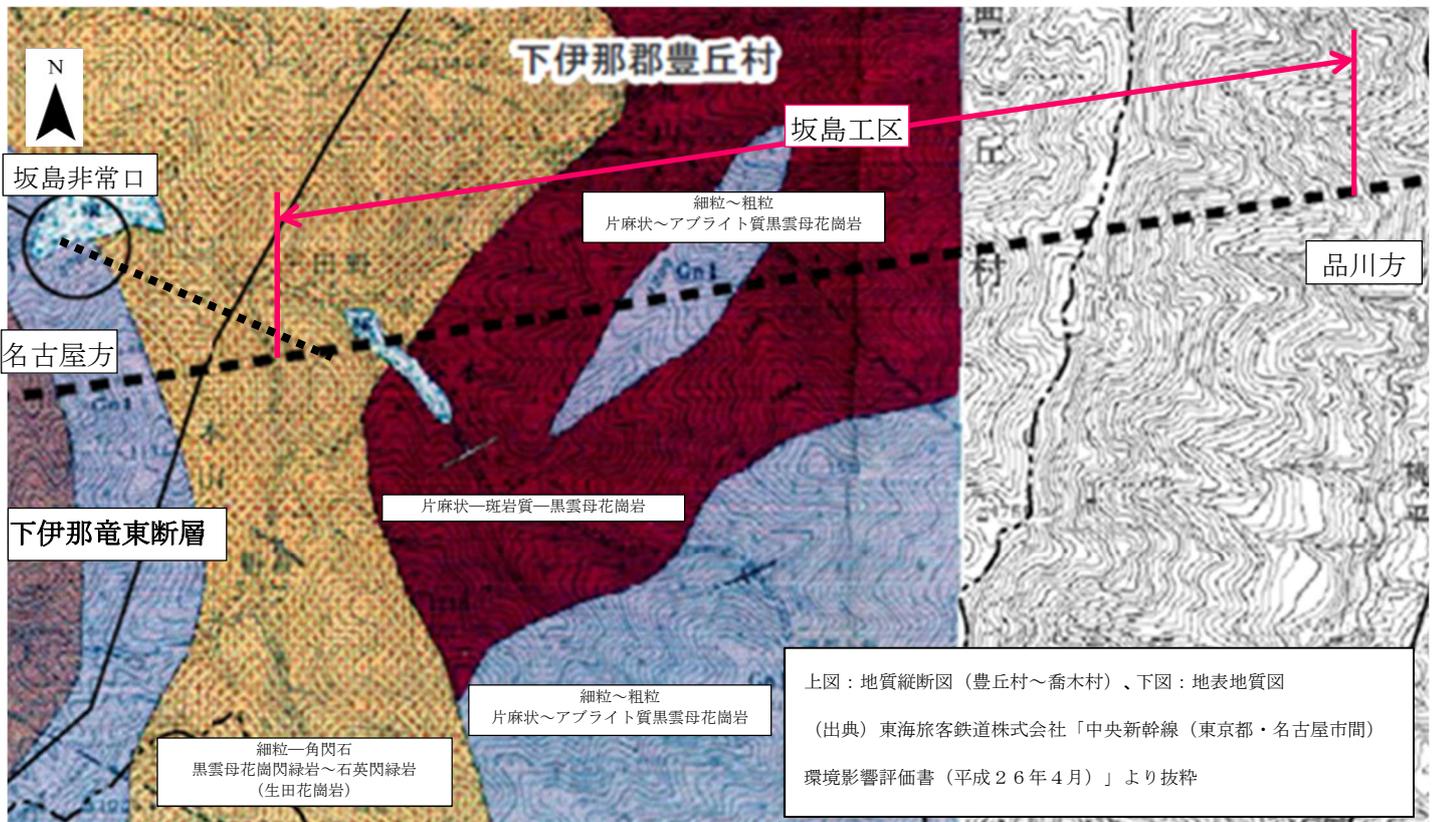


図2-2 地表地質図

3. 施工状況について

3-1 トンネルの施工状況

3-1-1 支保パターンについて

坂島工区では山岳部における標準的な工法であるNATMを採用している。支保パターンについては切羽観察を実施し、地山に応じて変更を実施している。当該箇所を支保パターンについては次の手順で設定した。

①岩種分類

独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構「山岳トンネル設計施工標準・同解説（2008年4月）」（以下、機構標準）の岩種分類表（表3-1）に基づき岩種を判定する。切羽観察より軟岩かつ風化や変質を受けた火成岩類や変成岩類が確認されたことからE岩種と判断した。

表3-1 岩種分類表

岩種	形成時代、形態、岩石名	硬さによる分類
A	①中生代、古生代の堆積岩類（粘板岩、砂岩、礫岩、チャート、石灰岩等） ②深成岩（花崗岩類）③半深成岩（ひん岩、花崗はん岩等） ④火山岩の一部（緻密な玄武岩、安山岩、流紋岩等） ⑤変成岩（片岩類、片麻岩、千枚岩、ホルンフェルス等） 塊状の硬岩（亀裂面の剥離性が小さい）	↑ 一軸圧縮強さは、 以下の数値を目安 とする 硬 岩
	①はく離性の著しい変成岩類（片岩類、千枚岩、片麻岩） ②はく離性の著しいまたは細層理の中生代、古生代の堆積岩類（粘板岩、頁岩等） ③節理等の発達した火成岩 硬岩でありながら、亀裂が発達し、著しいはく離性を示す	
C	①中生代の堆積岩類（頁岩、粘板岩等） ②火山岩類（流紋岩、安山岩、玄武岩等） ③古第三紀の堆積岩類（頁岩、泥岩、砂岩等）	↑ 中 硬 岩 ↓
D	①新第三紀の堆積岩類（頁岩、泥岩、砂岩、礫岩）、凝灰岩等 ②古第三紀の堆積岩類の一部 ③風化した火成岩	
E	①新第三紀の堆積岩類（泥岩、シルト岩、砂岩、礫岩）、凝灰岩等 ②風化や熱水変質および破碎の進行した岩石（火成岩類や変成岩類および新第三紀以前の堆積岩類）	↓ 軟 岩 ↓
F	①第四紀更新世の堆積物（礫、砂、シルト、泥および火山灰等より構成される低固結～未固結な堆積物） ②新第三紀堆積岩の一部（低固結層、未固結層、土丹、砂等） ③マサ化した花崗岩類	↑ 土 砂 ↓
G	表土、崩積土、崖錐等	

注) 主な岩石名を列記したものであって、分類の困難なものは地質技術者が判断するものとする
 q_u ：一軸圧縮強さ

②地山等級

機構標準の地山分類基準（表3-2）に基づき地山等級を判定する。地山強度比 G_n は約3.5と求められ、切羽観察記録においても切羽の自立を確認しており、地山等級を I_{N-2} とした。

地山強度比： $G_n = \sigma_c / \gamma H$

ここに σ_c : 地山の一軸圧縮強度 (kN/m²) 10000 kN/m²
 γ : 地山の単位体積重量 (kN/m³) 26 kN/m³
 H : 土被り高さ (m) 110 m

表3-2 地山分類基準

地山種類 地山等級	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	F、G岩種	
						粘性土	砂質土
V_N	$V_p \geq 5.2$	—	$V_p \geq 5.0$	$V_p \geq 4.2$	—	—	—
IV_N	$5.2 > V_p \geq 4.6$	—	$5.0 > V_p \geq 4.4$	$4.2 > V_p \geq 3.4$	—	—	—
III_N	$4.6 > V_p \geq 3.8$	$V_p \geq 4.4$	$4.4 > V_p \geq 3.6$	$3.4 > V_p \geq 2.6$ かつ $G_n \geq 5$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $G_n \geq 6$	—	—
II_N	$3.8 > V_p \geq 3.2$	$4.4 > V_p \geq 3.8$	$3.6 > V_p \geq 3.0$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $5 > G_n \geq 4$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $6 > G_n \geq 4$	—	—
I_{N-2}	$3.2 > V_p \geq 2.5$	—	$3.0 > V_p \geq 2.5$	$2.6 > V_p \geq 2.0$ かつ $4 > G_n \geq 2$ あるいは $2.0 > V_p \geq 1.5$ かつ $G_n \geq 2$	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $4 > G_n \geq 3$	—	—
I_{N-1}	—	$3.8 > V_p \geq 2.9$	—	—	$2.6 > V_p \geq 1.5$ かつ $3 > G_n \geq 2$	$G_n \geq 2$	$D_r \geq 80$ かつ $F_c \geq 10$
I_S	$2.5 > V_p$	$2.9 > V_p$	$2.5 > V_p$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geq 1.5$	$2 > G_n \geq 1.5$	—
I_L				—	$D_r \geq 80$ かつ $10 > F_c$		
特S				$1.5 > G_n$	—		
特L				—	$80 > D_r$		

V_p : 弾性波速度 (km/sec)、 G_n : 地山強度比、 D_r : 相対密度 (%)、 F_c : 細粒分含有率 (%)

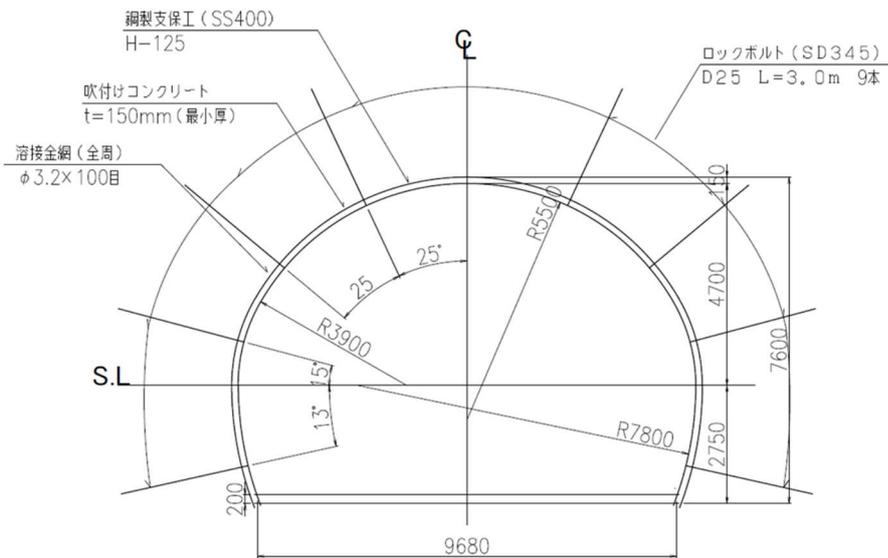
③支保パターン

機構標準における標準パターンの選定表（表3-3）に基づき支保パターンを選定する。E岩種で地山等級がI_{N-2}であることから、支保パターンI_{N-2P}（図3-1）とした。

表3-3 標準支保パターンの選定表

地山等級	岩種					F、G岩種	
	A岩種	B岩種	C岩種	D岩種	E岩種	粘性土	砂質土
V _N	IV _{NP}	—	IV _{NP}	IV _{NP}	—	—	—
IV _N	IV _{NP}	—	IV _{NP}	IV _{NP}	—	—	—
III _N	III _{NP}	—	—				
II _N	II _{NP}	—	—				
I _{N-2}	I _{N-2P}	—	I _{N-2P}	I _{N-2P}	I _{N-2P}	—	—
I _{N-1}	—	I _{N-1P}	—	—	I _{N-1P}	I _{N-1P}	I _{N-1P}
I _S	I _{SP}	—					
I _L	I _{LP}	—	I _{LP}				
特S					*	*	—
特L	*	*	*	*	*	—	*

注) *は特殊設計範囲を示す。



1 発破掘進長 : 1. 2 m

図3-1 支保パターン図 (I_{N-2P})

3-1-2 トンネル掘削工法について

機構標準の地山区分と掘削工法の標準（表3-4）において、各地山等級に応じたトンネル掘削工法が示されており、地山等級 I_{N-2} では全断面工法またはベンチカット工法とされている。また、ガイドラインにおいては迅速に地山の安定を図る場合には補助ベンチ付全断面工法等の採用を検討することとされており、当該箇所では補助ベンチ付全断面工法を採用している。

表3-4 地山区分と掘削工法の標準

地山区分		トンネル掘削工法
地山の種類	地山等級	
一般地山	V_N	全断面工法
	IV_N	全断面工法
	III_N	全断面工法
	II_N	全断面工法またはベンチカット工法
	I_{N-2}	全断面工法またはベンチカット工法
	I_{N-1}	全断面工法またはベンチカット工法
特殊地山	I_S	ショートベンチカット工法
	I_L	ショートベンチカット工法
	特S	別途検討する
	特L	

(1) ベンチカット工法

地山の掘削を行う際は、掘削断面積をなるべく小さくすることが重要である。このため、 60m^2 以上の断面積を有するトンネルの掘削においては、トンネルを上段と下段とに分け、上段を先行して掘削することにより、1回あたりの掘削断面積を小さくするベンチカット工法の採用を検討すること。また、その際にはトンネルの断面積、地山の状態等を踏まえ、適切なベンチカットの方法を検討すること。

なお、迅速に地山の安定を図る必要がある場合には、早期にトンネル内空を閉合するため、全断面工法、補助ベンチ付き全断面工法等の採用についても検討すること。

ガイドライン抜粋

3-1-3 要員配置について

ガイドラインでは「切羽監視責任者を選任し、切羽で作業が行われる間、切羽の状態を常時監視させる」としている。坂島工区ではガイドラインに基づき専任の切羽監視責任者を配置している。

3-2 切羽の状況

3-2-1 切羽観察

本工事におけるトンネル掘削作業では、発破により切羽の地山が露わになる毎に元請社員及びびざい道等の掘削等作業主任者が施工基面から目視により、切羽観察簿にある観察項目（切羽の安定、素掘り面の状態、圧縮強度、風化・変質、割れ目間隔、湧水状態等）を確認している。図3-2に肌落ち発生前における発破後の切羽観察等のタイミングを模式的に表した。図中の数字「1」から「4」については、切羽観察を実施した位置を示している。切羽観察簿は1日1回作成しており、今回の場合、「1」で作成した。また、「測」は「3-2-2 計測管理」で記述する内空変位計測や天端沈下計測を実施した位置を示している。

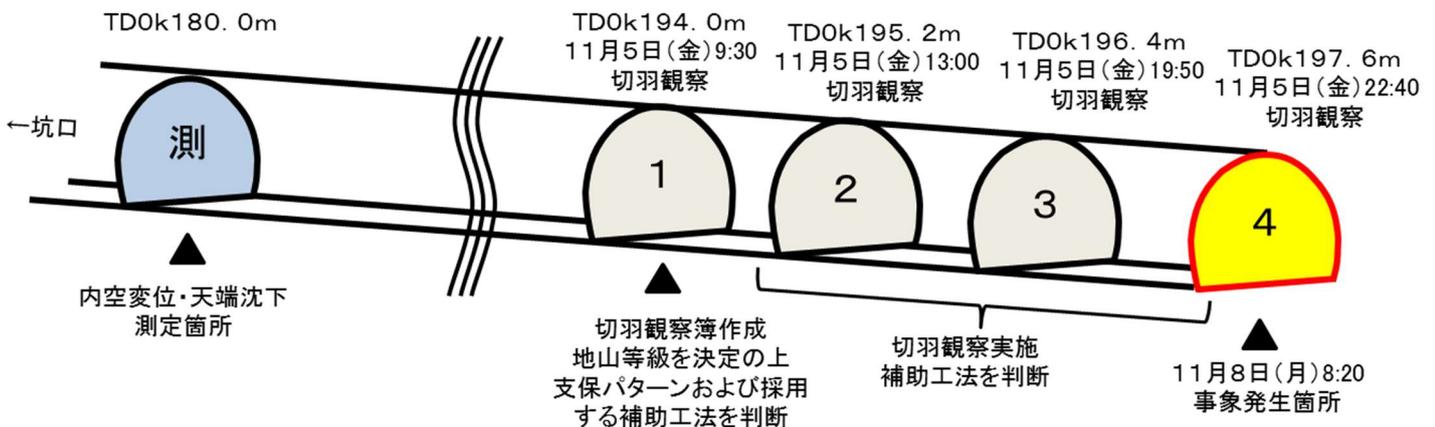


図3-2 事象発生箇所直近の切羽観察状況

2章で記述したとおり、斜坑の地質は花崗岩であると想定しているが、「1」での切羽観察では閃緑岩と泥質片麻岩の互層が現れていることが確認されており、泥質片麻岩が鏡面の大半を占めている。岩石強度は岩片同士を叩き合わせれば割ることができる程度であった。割れ目沿いに風化、粘土の介在を確認しているが、風化による岩芯までの強度低下は見受けられず、また、湧水も滲水程度で地山を緩ませるようなことは無く切羽は自立していた（図3-3）。必要な補助工法は、ガイドラインに基づく鏡吹付コンクリート（厚さ5cm以上）が妥当であると判断した。「2」「3」でも同様の切羽観察結果となっている。「4」での切羽観察でも「1」と同様に、閃緑岩と泥質片麻岩の互層が現れていることが確認され、泥質片麻岩が鏡面の大半を占めていた。岩石強度は岩片を手を持ってハンマーでたたくと割れる程度であった（図3-4）。割れ目沿いに風化、粘土の介在を確認しているが、風化による岩芯までの強度低下は見受けられず、また、湧水も滲水程度で地山を緩ませるようなことは無く切羽は自立していた（図3-5）。「4」においても「1」と同様に必要な補助工法は鏡吹付コンクリート（厚さ5cm以上）が妥当であると判断した。



図3-3 斜坑 TD0k194. 0m 鏡吹付コンクリート施工前



図3-4 採取した岩片



図3-5 斜坑 TD0k197.6m 鏡吹付コンクリート施工前

3-2-2 計測管理

日常管理として内空変位測定、天端沈下測定を実施している。変位の許容値は限界ひずみ法によりパターンごと定めており、現場における管理では管理レベルをⅠ～Ⅲに分類し（図3-6）、それぞれの基準値を設定し管理している。事象発生箇所直近の計測位置であるTD0k180mの計測では、変位は管理レベルⅠに収まっており通常の管理体制となっていた。また、事象発生時点において、変位は収束傾向を示していた。（図3-7、図3-8）



通常体制 : 定時計測

注意体制 : 計測頻度強化、現場点検、作業員への注意強化

要注意体制 : 計測体制の強化、最終変位量の予測と管理基準値の対比
対策工の検討、実施

嚴重注意体制: 施工の停止、変状要因および傾向の解析、支保パターンおよび
対策工の検討ならびに実施

図3-6 観察・計測データの評価と安全管理体制との関係（機構標準資料を基に作成）

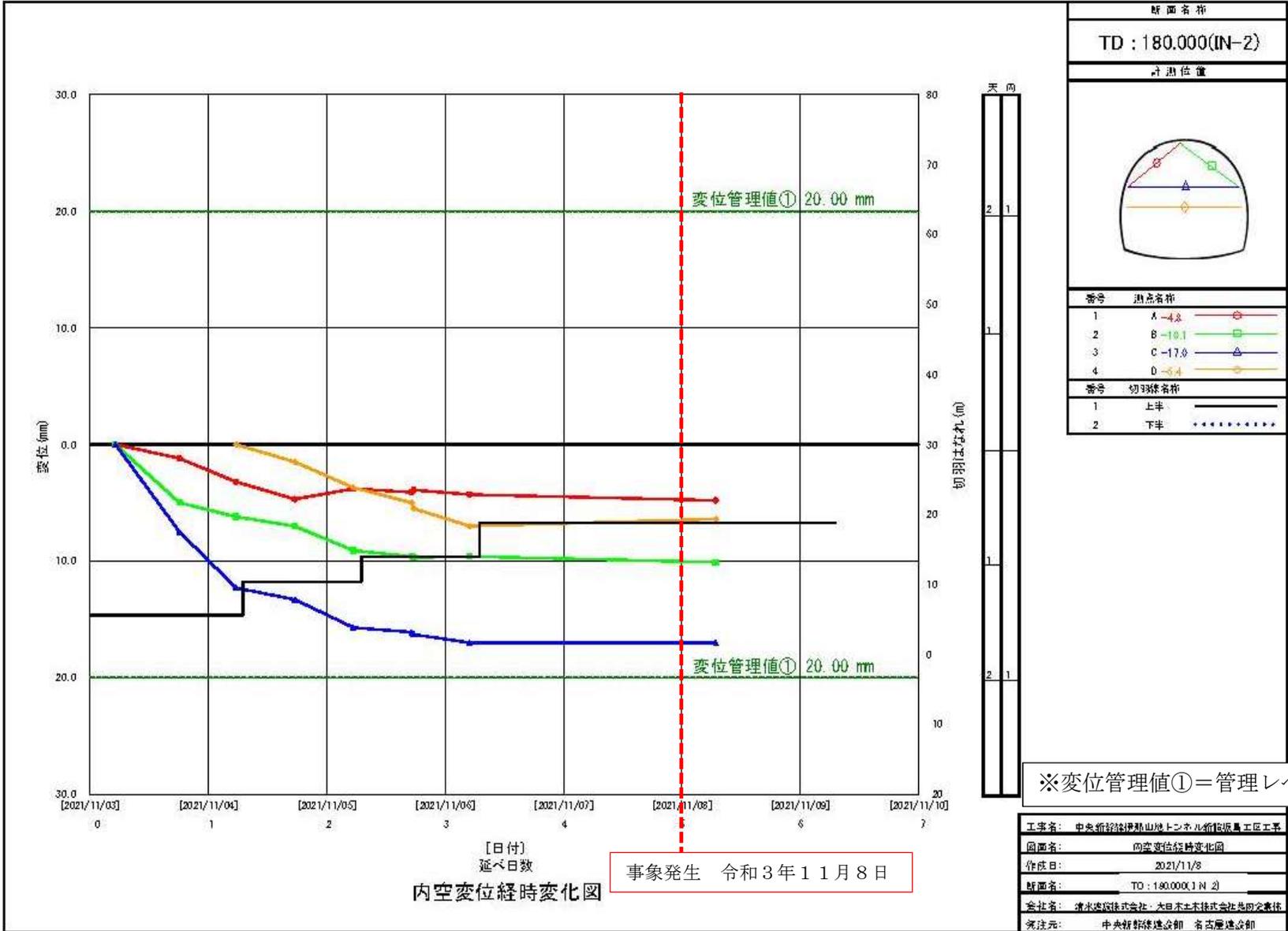


図3-7 斜坑 TD0k180m 内空変位

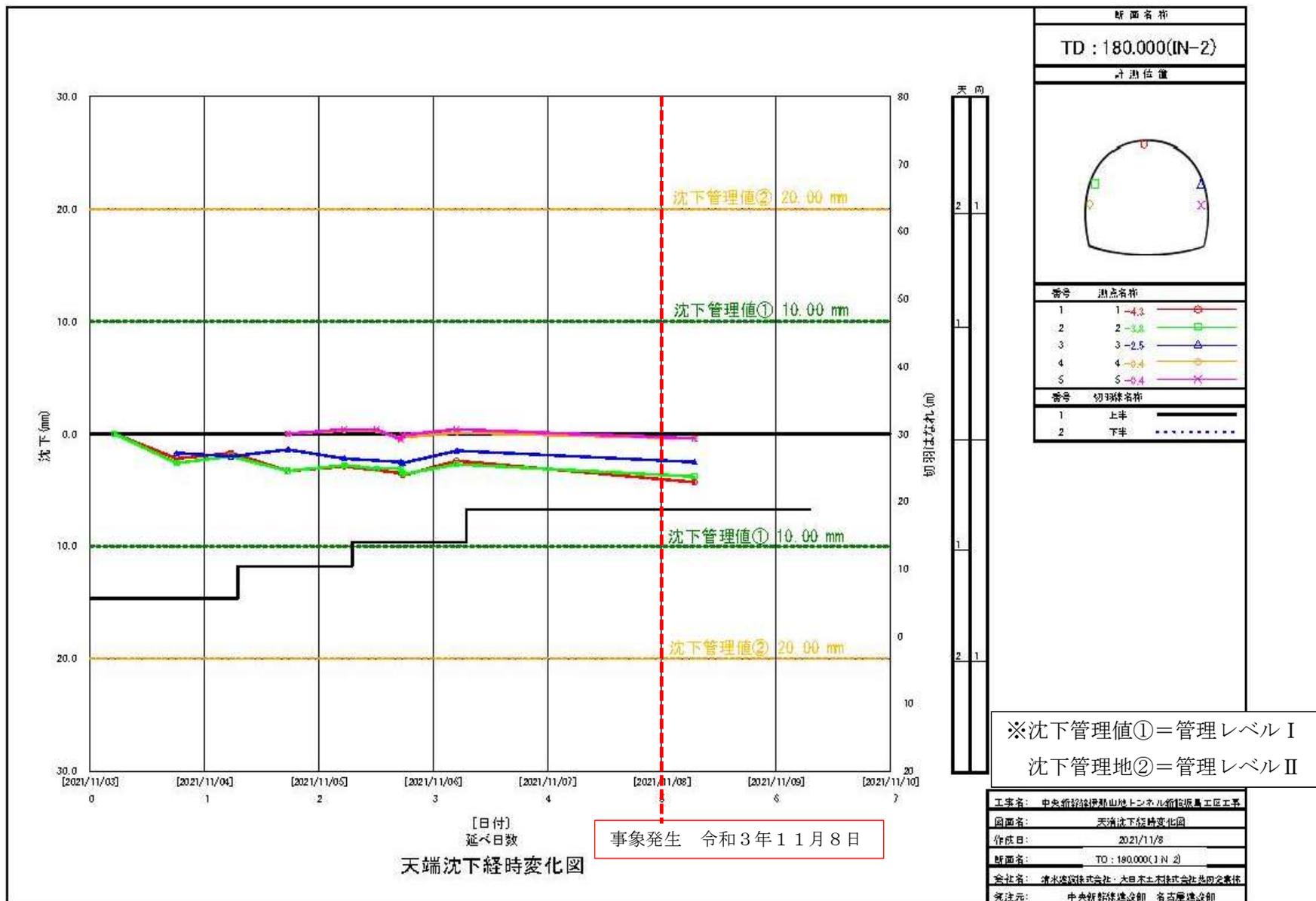


図3-8 斜坑 TD0k180m 天端沈下

4. 肌落ち災害の発生状況について

4-1 肌落ち発生時の作業状況について

肌落ち発生時、掘削は昼夜交代制で、1日当たり昼夜それぞれ2サイクルの計4サイクル実施しており、肌落ち発生時は昼間における1サイクル目の作業であった(図4-1)。



図4-1 掘削サイクル

肌落ちが発生した切羽における作業状況を以下の通りまとめた。

令和3年11月5日(金)

・ 21:00

TD196. 4mにて発破

※坑内換気及びび残留確認完了

・ 21:10~21:55

ずり出し作業

・ 21:55~22:40

浮石落とし

・ 22:40~22:45

切羽観察

※照明施設により、照度を150ルクス以上確保し、切羽監視責任者による切羽監視の下、元請社員及びびざい道等の掘削等作業主任者が施工基面より切羽観察を実施。鏡面から約8m離れた地点で、目視により切羽観察簿にある観察項目を確認。岩種は閃緑岩と泥質片麻岩の互層が現れていることが確認され、泥質片麻岩が鏡面の大半を占めていた。岩石強度は岩片を手にとってハンマーで叩くと割れる程度であった。割れ目沿いに風化、粘土の介在を確認しているが、風化による岩芯までの強度低下は見受けられず、また、湧水も滲水程度で地山を緩ませるようなことは無く切羽は自立していた。切羽観察の結果から必要な補助工法は鏡吹付コンクリート(厚さ5cm以上)が妥当であると判断した。

・ 22:45~ 1:30

吹付コンクリート及びび鋼製支保工の設置

令和3年11月6日(土)

・ 1:30~ 2:30

ロックボルト打設

・ 3:00

作業完了

令和3年11月8日(月)

・ 7:00

点呼・作業打ち合わせ

※作業着手前、非常口ヤードの現場詰所において11月5日夜班が撮影したTD197.6mの切羽写真等を用いて元請社員、職長及びびずい道等の掘削等作業主任者が鏡吹付コンクリート施工前の地山における地質やひび割れ状況、湧水状況等を確認。

・ 7:30

準備作業開始

・ 7:55～ 8:00

切羽観察

※作業開始に先立ち、照明施設により、照度を150ルクス以上確保し、切羽監視責任者による切羽監視の下、元請社員、職長及びびずい道等の掘削等作業主任者が施工基面から切羽観察を実施。鏡面から約8m離れた地点から鏡吹付コンクリートにひび割れや剥離が発生していないかを観察。この時点で吹付コンクリートにひび割れ等の変状は見られなかった。

・ 8:00～ 8:15

削孔作業

・ 8:15～ 8:17

切羽観察

※装薬開始前、照明施設により、照度を150ルクス以上確保し、切羽監視責任者による切羽監視の下、元請社員、職長及びびずい道等の掘削等作業主任者が施工基面から切羽観察を実施。鏡面から約8m離れた地点から鏡吹付コンクリートにひび割れや剥離が発生していないかを観察。この時点でも吹付コンクリートにひび割れ等の変状は見られなかったと証言を得ているが、上半上部の観察が十分に行われていなかった可能性がある。

・ 8:17

装薬作業開始

※作業員5人により装薬作業を実施。マンケージ上の作業員A、Bがベンチ上の切羽側部から頂部に向かって上半上部の装薬を実施。マンケージ上の作業と上下作業とならぬ様、作業員C、D、Eがベンチ上にて上半下部の装薬を実施。

・ 8:20ごろ

変状発見

※作業員Aが頂部へ移動する際、鏡面左上において削孔穴を結ぶ形で直線状に入ったひび割れ(幅:約1cm、長さ:約50cm)を発見し、大声で他の作業員へ危険を知らせた。作業員Aがひび割れを発見するのとほぼ同時に切羽監視責任者が小片の落下を確認。切羽の異常を認め大声で作業員に対し退避

指示を出した。作業員Aがひび割れを確認してから2～3秒で肌落ちが発生した。なお、ひび割れについては削孔穴を結ぶ形で直線状に入っていたので、削孔後に生じたものと考えられる。

退避

※作業員A及び切羽監視責任者の退避合図を受け、ベンチ上にいた作業員C、D、Eは退避行動を開始。鏡面向かって中央及び右側にいた作業員D、Eは退避を完了した。鏡面向かって左側にいた作業員Cについては、退避行動中に肌落ちした岩片が当たった(図4-2、図4-3)。

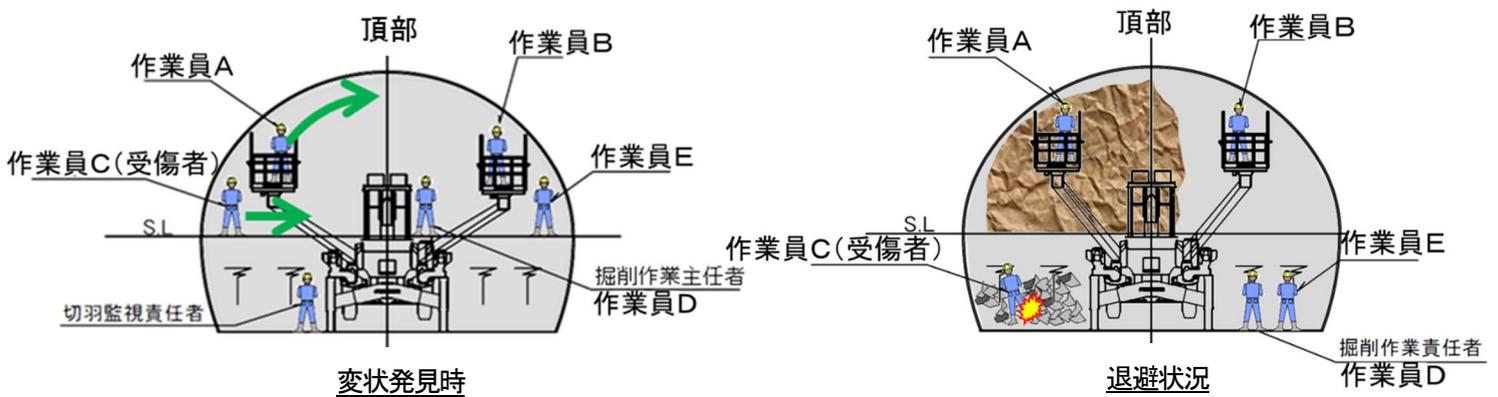


図4-2 肌落ち発生当時の状況(正面)

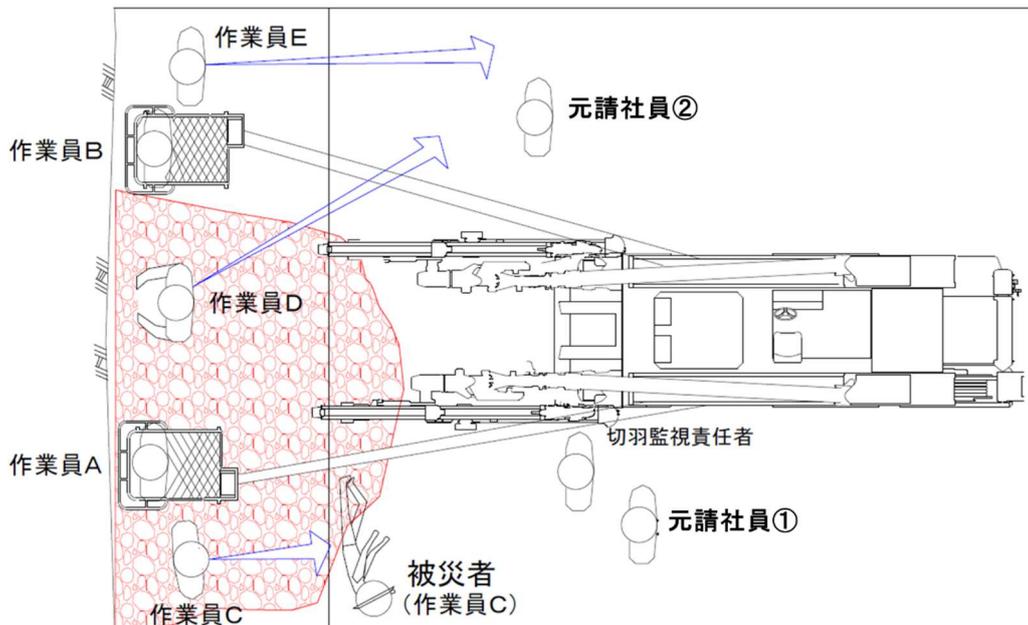


図4-3 肌落ち発生当時の状況(平面)

- 8 : 3 5 元請社員が負傷した作業員を業務用自動車により病院へ搬送開始
- 8 : 4 5 装薬前の火薬回収及び装薬済み火薬の結線作業開始
※装薬前の火薬は回収。装薬済みの火薬については火薬類取扱保安責任者（元請社員）とずい道等の掘削等作業主任者との協議により回収不可能と判断。元請社員、ずい道等の掘削等作業主任者及び切羽監視責任者による切羽監視の下で火薬から延びる脚線を引き出す作業を行い、結線した。
- 10 : 1 5 発破
- 10 : 5 0 切羽の安定を図るため吹付コンクリート（厚さ5 c m以上）開始
- 11 : 3 0 吹付コンクリート完了
- 12 : 0 0 作業完了

4-2 肌落ちの状況について

肌落ちの発生状況であるが、鏡面向かって左側において高さ約5m・幅約6mの範囲で発生しており、厚さは切羽左上が50cm程度、その他は20cm程度であった。また、作業員Aが発見したひび割れは削孔穴を結ぶ形でほぼ直線的に入っていた。比較的肌落ちの規模が大きかった切羽左上においては鏡面が湿っていることが確認できた（図4-4）。

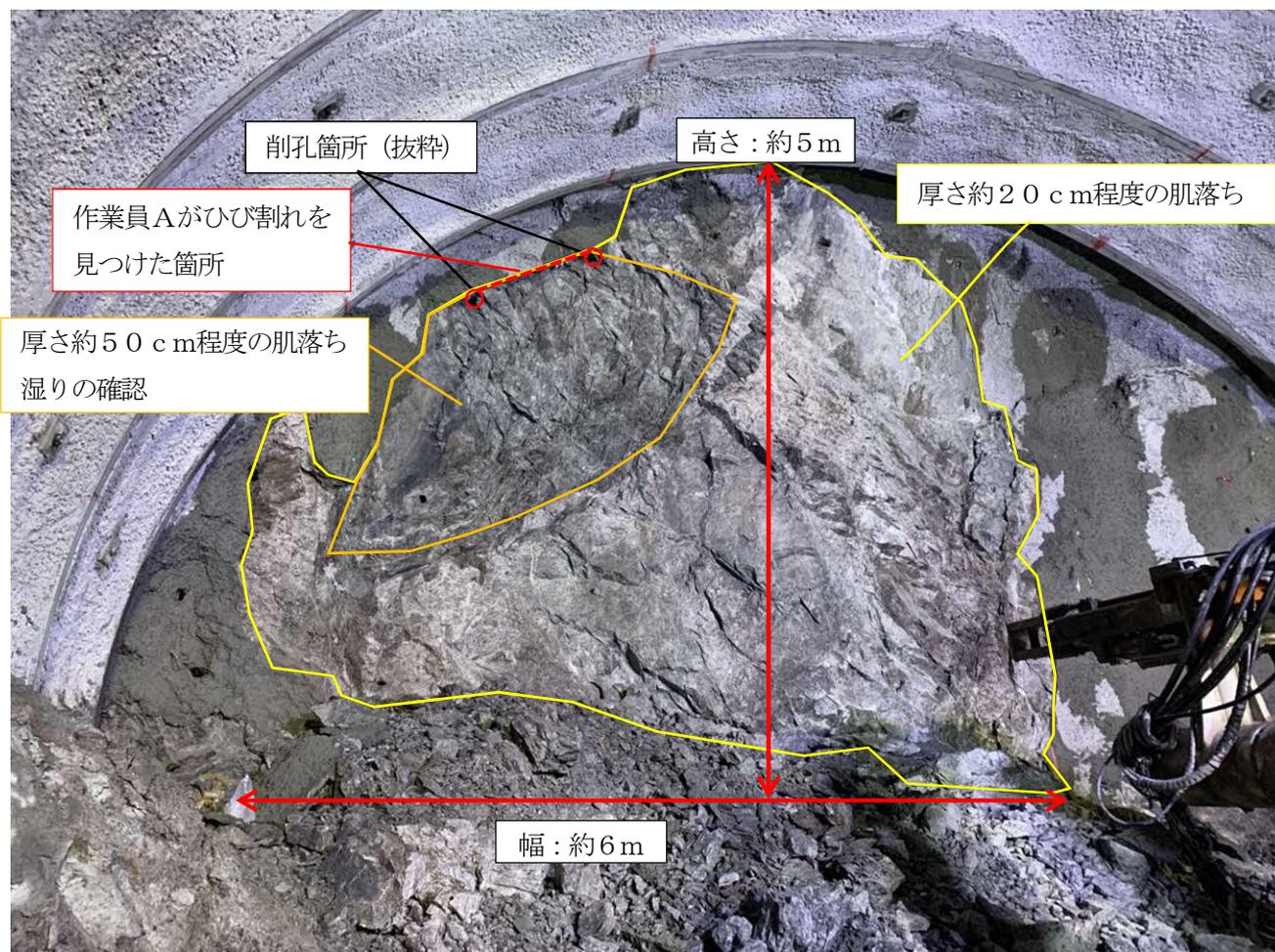


図4-4 肌落ち後の切羽状況

複数作業員へのヒアリングでは、肌落ちは切羽左上から倒れ込むように発生し、その後連続して周辺が崩れたとの証言を得ている（図4-5）。

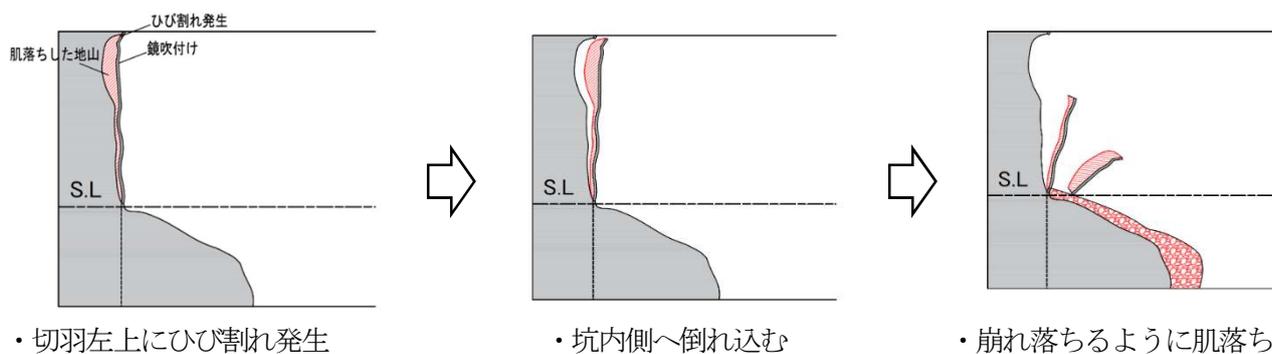


図4-5 肌落ちの発生状況

4-3 肌落ち発生の原因と肌落ちが労災につながった原因について

4-3-1 各作業工程における要因抽出

今回の肌落ちは「4-1 肌落ち発生時の作業状況について」に示す通り、切羽面が露わになる発破を行ってから、いくつかの工程を経て、時間が経過した段階で発生している。そのため、各作業工程において、肌落ち発生の要因とそれが労災につながった要因を抽出した（表4-1）。

表4-1 各作業における肌落ちと労災の要因

作業内容	肌落ち災害を防止するための作業手順等	事象に至った要因（推定含む）
発破・換気	・発破後に換気を十分行い、照明をつけた後に作業を開始する。（作業手順書）	—
ずり搬出	—	—
浮石落とし	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレーカとバックホウにて浮石落としを実施し、切羽が十分自立しているのを確認する。（作業手順書） ・肌落ちに直結するため、十分に浮石落としを行う必要がある。（ガイドライン第7の2（3）） ・肌落ちにつながらないように浮石落としの作業時間に多くの時間をかけないようにする。（ガイドライン第7の2（3）） ・浮石落としは原則ブレーカ等の建設機械を用いる。（ガイドライン第7の2（3）） 	<p>（肌落ち発生の要因）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・浮石を十分に落とし、鏡面を平滑に仕上げようとしたが、浮石落とし不足により鏡面に凸凹が生じたり、浮石が残った可能性がある。（推定）
吹付コンクリート（鏡吹付含む）	<ul style="list-style-type: none"> ・鏡吹付は必要数量以上のコンクリート吹付を実施。元請社員が現地で使用量を確認する。（作業手順書） ・装薬時、吹付時、支保工建込時、交代時に切羽の観察を行う。（ガイドライン第5の3（1）） ・地山等級Ⅱ以下では50mmの鏡吹付厚さを最低限確保する。（ガイドライン第7の2（1）） 	<p>（肌落ち発生の要因）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鏡吹付コンクリートの厚さについてはコンクリート総使用量で必要厚さを管理しているが、吹付機のオペレータの目視のみで鏡吹付コンクリートの仕上がりを確認していたため、施工時に一部ムラが生じ、必要な厚さが確保されなかった。（推定）

作業内容	肌落ち災害を防止するための作業手順等	事象に至った要因（推定含む）
支保工建込 ロックボルト打設	<ul style="list-style-type: none"> ・切羽監視責任者は、切羽の変状、割れ目の発生の有無、湧水の有無、岩盤の劣化の状態を監視する。（ガイドライン第5の2（2）） ・装薬時、吹付け時、支保工建込時、交代時に切羽の観察を行う。 （ガイドライン第5の3（1）） 	—
削孔	<ul style="list-style-type: none"> ・切羽監視責任者は地上から鏡面の状態を監視する。（作業手順書） 	<p>（肌落ち発生の要因）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・削孔水の返り状況について、これまではジャンボオペレータのみが把握していた。今回、施工時に削孔水の返りが明らかに少なかったが、特に問題ないと判断した。結果、削孔水が鏡面裏の弱部に回り込み、肌落ちの起点となるすべりを誘発した。（推定）
装薬前の切羽観察	<ul style="list-style-type: none"> ・装薬時、吹付け時、支保工建込時、交代時に切羽の観察を行う。 （ガイドライン第5の3（1）） 	<p>（肌落ちが労災につながった要因）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れが最初に現われたと推定される上半上部について、装薬前の観察が十分に行われていなかった可能性が高い。
装薬	<ul style="list-style-type: none"> ・切羽監視責任者は地上から鏡面の状態を監視する。（作業手順書） ・切羽監視責任者は、切羽の変状、割れ目の発生の有無、湧水の有無、岩盤の劣化の状態を監視する。（ガイドライン第5の2（2）） 	<p>（肌落ちが労災につながった要因）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・装薬作業中の監視において変状の発生状況が切羽監視責任者の立哨位置から見えづらかった。

※ガイドラインでは切羽における作業では照度150ルクス以上が望まれており、確保されていた。

大半は施工業者へのヒアリングに基づく推定によるものである。

4-3-2 肌落ち発生の原因と肌落ちが労災につながった原因について

○肌落ち発生の原因（推定）

各作業工程から抽出した要因である「浮石落としの不足」「鏡吹付コンクリートの吹付厚のムラによる部分的な必要厚さ不足」「削孔水の鏡面裏弱部への回り込みによるすべりの誘発」により肌落ちが生じたものと推定される。

○今回の肌落ちが労災につながった原因

削孔後の装薬前における切羽観察や装薬中における上半上部の切羽監視は行っていたものの、それらが十分に出来ていなかった可能性があり、変状の予兆を早期に発見することが出来ず、作業員全員が安全に退避することができなかった。

5. 対策について

5-1 肌落ちが労災につながった原因に対する対策

今回の肌落ちが労災につながった原因への対策として、以下を実施する。

(1) 装薬作業前の切羽観察強化

- ・削孔後、装薬前に切羽監視責任者を施工基面に配置した上、マンケージ上の作業員4名が切羽観察を実施（図5-1）。

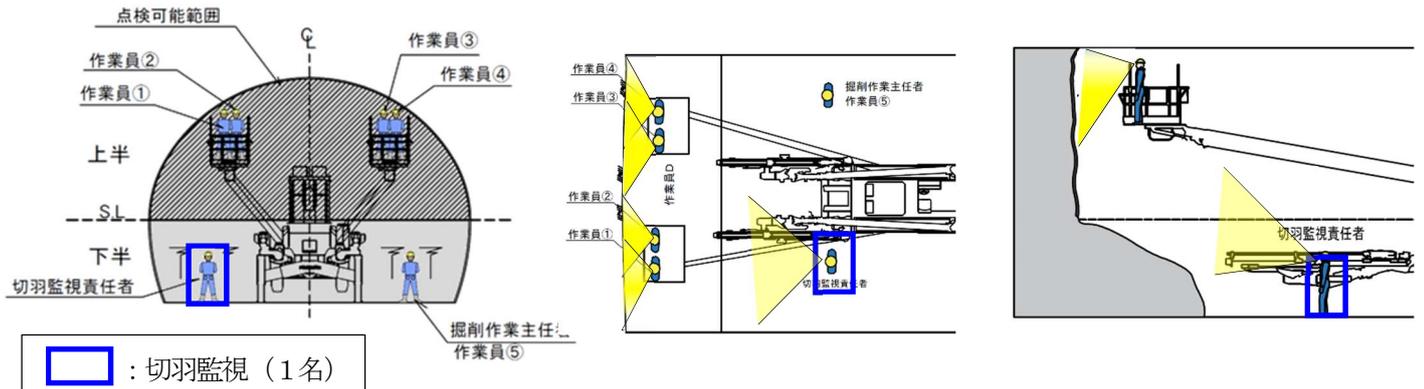


図5-1 装薬前の切羽観察強化

(2) 装薬作業中の切羽監視強化

① 上半上部装薬時

- ・上半上部における装薬作業中は切羽監視責任者に加え、ずい道等の掘削等作業主任者を施工基面で切羽監視にあたらせて監視体制を強化（図5-2）。

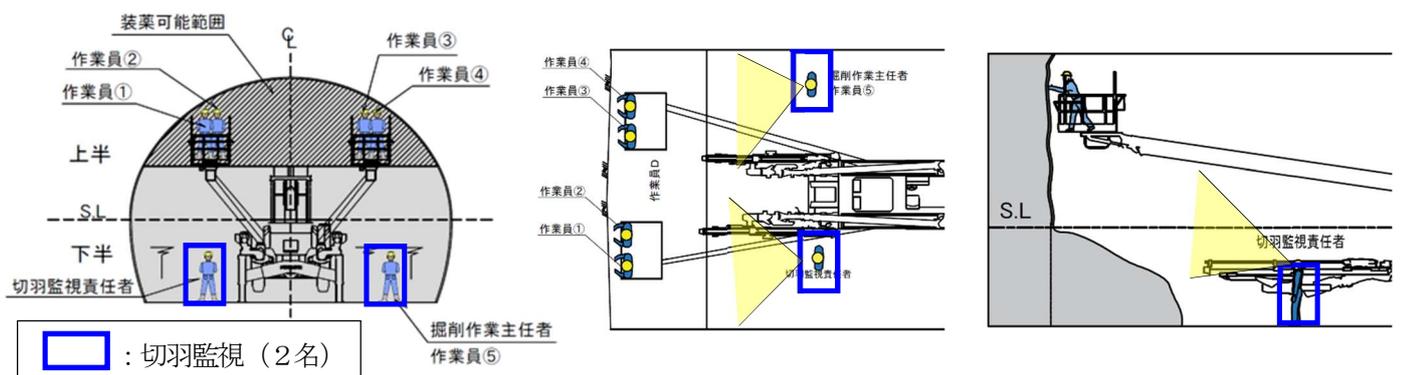


図5-2 上半上部の装薬時における切羽監視強化

②上半下部装薬時

- ・上半下部における装薬作業中は切羽監視責任者に加え、マンケージ上の作業員（2名）を切羽監視にあたらせて監視体制を強化（図5-3）。
- ・更なる対策として上半下部装薬時はベンチ上の作業員頭上に防護ネットを展開。

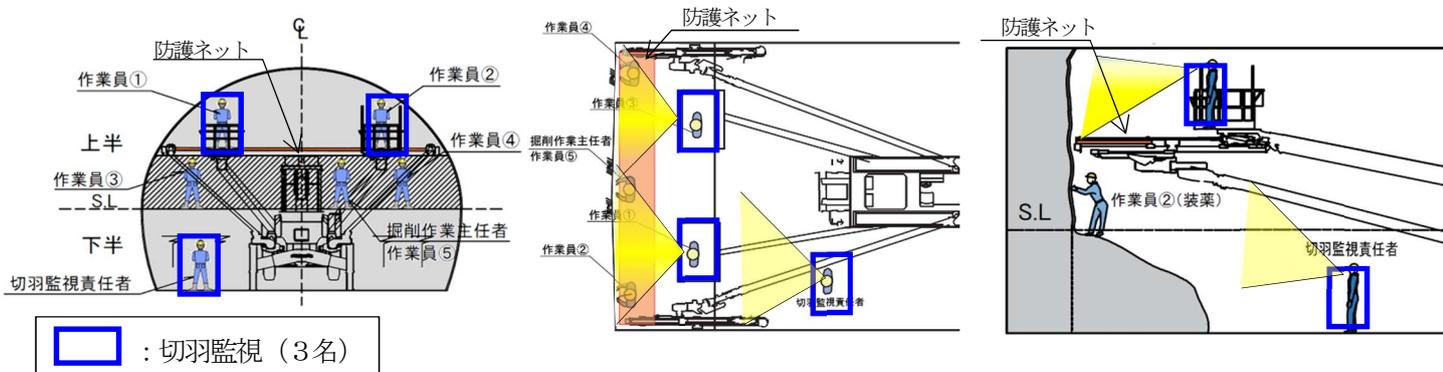


図5-3 上半下部の装薬時における切羽監視強化及びベンチ上作業員頭上に防護ネット展開

(3) 退避手順の周知徹底

- ・退避合図を作業員全員で決めておき、退避手順の訓練を四半期ごと、定期的実施することにより、有事の際に迅速に動けるよう準備する。

5-2 肌落ちの推定要因に対する施工業者への指導

推定要因に対しては、同様の肌落ちが生じぬ様、発注者である当社が施工業者に指導していく。

浮石落とし不足や鏡吹付コンクリートの必要厚さ不足は肌落ち発生の素因となりえるため、次の取り組みを実施する。

・浮石落としの徹底

浮石落としを行う際は、凹凸面や浮石が残らない様、バックホウやブレーカ等の建設機械で鏡面全面を浮石が無く安全な状態となるよう、なるべく平滑に仕上げるように作業を行う。亀裂の多い箇所は特に入念に素掘面を整形し、オーバーハングにならないように注意する。バックホウのバケットやブレーカによる軽打においても浮石が継続的に落下する状態であれば、鏡吹付けコンクリートの厚さを基準値より大きくしたり、鏡ボルトを打設する等の補助工法の採用を検討する。

・鏡吹付コンクリートの施工管理

鏡吹付コンクリートの厚さについてはコンクリート総使用量で必要厚さを管理しており、これまでは吹付機のオペレータの目視のみで鏡吹付コンクリートの仕上がりを確認していた。今後は吹付機のオペレータに加え、ずい道等の掘削等作業主任者等、経験年数の豊富な作業員を指名し、仕上がり状態の確認を行う。また2日以上以上の休工を伴う週末や長期休工の際には、鏡吹付コンクリートの厚さを基準値より厚くする。(坂島工区では吹付厚1.5倍を基本とし、地山状況に合わせた吹付厚とする)

削孔水の浸透は肌落ちの起点となるすべりの誘因となりえるため、次の取り組みを実施する。

・削孔水の返り状況の把握と対応

削孔水の返り状況について、これまではジャンボオペレータの感覚のみで判断していた。今後はジャンボオペレータに加え、元請社員や切羽監視責任者も状況の確認(例えば、同時に削孔している複数の削孔水の返り状況を比較する等)を行う(図5-4)。削孔水の返りが明らかに少ない等の異常が確認された際やジャミング(孔壁崩壊に伴う回転トルクの異常上昇)等を確認した際は削孔水をミスト状にして使用水量を抑える。

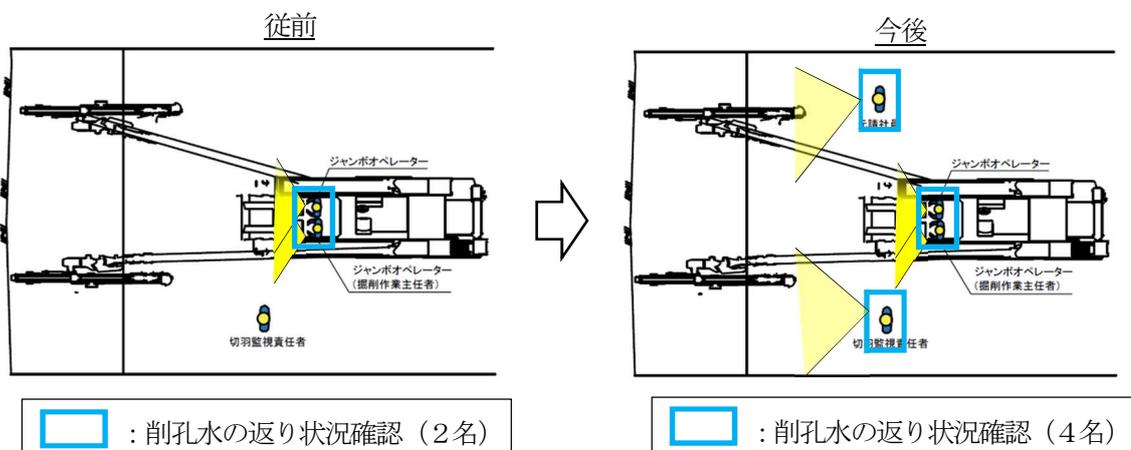


図5-4 削孔水返り状況確認 対照図

先の取組内容について、発注者として以下の手順を踏み、施工業者に指導していく。

- ① 中央新幹線安全推進協議会※（長野県）にて文書で周知
- ② 作業手順書に取組内容が反映されているか監督員等（JR東海社員、以下同）が確認
- ③ 監督員等が作業手順書を確認しながら安全に作業が実施されていることを現場で確認

※中央新幹線安全推進協議会の目的、具体的な取り組み内容について

○目的

中央新幹線の工事を安全に進めることは、当社と施工会社の共通の目的であることから、当社が事務局となって施工頂く各社と協議会を設置し、施工会社が自ら請け負っている以外の中央新幹線の工区で発生した労働災害の原因や対策等の情報を施工会社間で共有することをはじめ、労働災害防止に効果のある技術開発情報や、工事現場での労働災害防止に関する推奨事例を他の工区にも展開することで、中央新幹線に関わる工事の労働災害の防止をより強力に進めていくことを目的にしている。

○具体的な取り組み内容

- ・施工会社が自ら請け負っている以外の中央新幹線の工区で発生した労働災害の原因や対策の情報や得られた教訓等の共有。
- ・事故防止に関する施工会社の技術（計測システム等）について可能な範囲での情報交換。
- ・事故防止に関する施工会社各現場の取組事例（防護工、作業手順、現場での取決め等）の報告と良い取組事例の他施工会社への展開。
- ・施工会社間でお互いの施工現場を広く見聞きする（現場見学会）ことによる優れた取組みの自社施工現場への取り入れ。

5-3 更なる肌落ち災害防止への取り組み

5-3-1 切羽作業における作業員への落石防護設備設置の指導及び確認

今後、坂島工区においては上半下部装薬時に作業員への落石防護設備として頭上に防護ネットを展開する。他工区においても、防護ネットに限らず、マンケージでの防護等、現場条件に合わせた落石防護設備の採用を指導し、対応状況を監督員等が確認する。

5-3-2 坑内における切羽前方の地質変化の把握強化

これまで、坂島工区では坑内における切羽前方の地質変化の予測について、切羽観察により行ってきた。切羽観察により破砕帯や変質を受け、脆くなった地山が連続して確認される場合、支保パターンの検討や採用する補助工法の検討を目的として、早期に切羽前方の地質変化を把握する。把握の方法については、まずはドリルジャンボを活用した削孔検層を実施し、さらに脆弱区間が長く続くと考えられる場合は調査ボーリング等も採用し、切羽前方の地質の変化を捉えていく。

5-3-3 発注者（JR東海）としての監督体制について

①発注者として安全に作業が進められていることを確認

これまでも梅雨期前や夏季長期休工前、年末において監督員等以外の点検者による社内事故防止点検や毎月1回監督員等による現場安全点検を実施してきたが、これに加え週1回以上、監督員等が各工事における作業工程の一部を抽出し、作業手順書を確認しながら安全に作業が実施されていることを現場で確認する。また、ずい道等の掘削等作業主任者や切羽監視責任者が経験年数の豊富な者が指定されていることを経歴書にて確認した上で配置状況を現場で確認する。

②施工業者との協働による安全文化の醸成

中央新幹線安全推進協議会（長野県）や現場安全点検等の場を活用し、発注者と施工業者や作業員との意見交換を重ね、現場の声を吸い上げ作業手順や現場環境の改善に反映（例えば、定期的実施する切羽での退避訓練において作業員と意見交換を行い、適切なベンチの形状や安全にベンチを昇降する方法を策定）させていく風土づくりを施工業者と一致協力して取り組んでいく。また、工程打合せ等の場を活用し、施工業者と施工方法、工期について、労働安全衛生を損なうおそれのある条件を付さないよう配慮するという発注者の責務を引き続き果たしていく。

6. 長野県内の山岳トンネル工区における取り組み

6-1 長野県内の山岳トンネル工区の取り組みについて

坂島工区で肌落ちが発生した11月8日時点で、長野県内において山岳トンネル工事が4工区でされていた。肌落ちに関する情報は当社主催の中央新幹線安全推進協議会（長野県）（準備会：11月15日、初回：11月24日、第2回：12月27日開催）の場で他工区と共有し、意見交換を実施している。先述した原因、対策についても情報共有し、これを受けて各工区で装薬作業前の切羽観察及び作業中の切羽監視強化について取り組んでいる。対策の内容については各現場でトンネル断面の大きさや使用する機械が異なるため、各工区において現場条件に合致したものとしている（表6-1）。また、今回の肌落ち災害における推定要因に対しても各工区で対策に取り組んでいる（表6-2）。

表6-1 肌落ちが労災につながった原因に対する各工区の取り組み

工 区	装薬作業前の切羽観察実施及び作業中の切羽監視強化
中央新幹線南アルプス トンネル新設（長野工区） 鹿島建設、飛島建設、フジタ	<ul style="list-style-type: none"> ・装薬開始前、マンケージ上の作業員が切羽全面の観察を実施。 ・装薬中、切羽監視責任者はジャンボ操作台から切羽監視を実施。 ・装薬作業中は専任の切羽監視責任者に加え、マンケージ上の作業員も含め、鏡吹付けの変状を注視しながら装薬を実施。
中央新幹線伊那山地トンネル 新設（青木川工区） 飛島建設、奥村組土木興業	<ul style="list-style-type: none"> ・装薬開始前、マンケージ上の作業員が切羽全面の観察を実施。 ・装薬中、切羽監視責任者はジャンボ操作台から切羽監視を実施。 ・(補完的) レーザー距離計を使用した多点同時変位計測システムを用いて切羽の押し出しを連続的に計測し、早期に変状把握を把握。
中央新幹線伊那山地トンネル 新設（戸中・壬生沢工区） 飛島建設、市川工務店	<ul style="list-style-type: none"> ・装薬開始前、マンケージ上の作業員が切羽全面の観察を実施。 ・装薬中、切羽監視責任者はジャンボ操作台から切羽監視を実施。 ・(補完的) レーザー距離計を使用した多点同時変位計測システムを用いて切羽の押し出しを連続的に計測し、早期に変状把握を把握。
中央新幹線、中央アルプス トンネル（松川）外 ※機構委託区間 戸田建設、あおみ建設 矢作建設工業	<ul style="list-style-type: none"> ・装薬開始前、マンケージ上の作業員が切羽全面の観察を実施。 ・観察完了後、まずはマンケージにて上半上部から装薬を開始。 ・マンケージでの上半上部の装薬終了後、ずい道等の掘削等作業主任者の指示のもと落石防護マットを設置し上半下部の装薬作業を開始。

表6-2 肌落ちの推定要因に対する各工区の取り組み

工 区	浮石落とし	鏡吹付コンクリートの施工	削孔による地山への水の浸透・滞水
<p>中央新幹線南アルプス トンネル新設（長野工区）</p> <p>鹿島建設、飛島建設、フジタ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・浮石落としはバックホウ及び大型ブレーカを使用している。 ・鏡面全面を極力平滑に仕上げるように作業している。 ・ずい道等の掘削等作業主任者により仕上がり状態の確認を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鏡吹付及び一次吹付厚さの管理は量管理で行っている。 ・朝礼時にJV、協力会社、ずい道等の掘削等作業主任者の3者で最終切羽の状況写真や作業員の意見を確認し、切羽の状況に応じた鏡吹付けコンクリート厚さの判定を行う（断面を4分割してそれぞれの厚さを判定する）。この際に取り決めた鏡吹付け厚さに応じた吹付け算出量に基づき、一次吹付けや鏡吹付けを行う。 ・長期休工前における鏡吹付コンクリートの増し吹き実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔水をミスト状にする設備を配備済み。 ・水の返りが明らかに少ない等の異常が確認された際やジャミングを確認した際には削孔水をミスト状にして使用水量を抑える。
<p>中央新幹線伊那山地トンネル 新設（青木川工区）</p> <p>飛島建設、奥村組土木興業</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・浮石落としはバックホウ及び大型ブレーカを使用している。 ・大型ブレーカのオペから確認出来ない浮石の有無については合図者を定め、安全な場所からレーザーポインター等を使用して浮石落としを指示している。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鏡吹付及び一次吹付厚さの管理は量管理で行っている。 ・吹付け時の切羽の様子などを確認し、切羽の安定性が確保できない場合は追加の吹付けを実施している。 ・発破後の切羽の自立性が低い場合は、吹付コンクリートの配合を高強度配合に変えて鏡吹付けを実施している。 ・長期休工前における鏡吹付コンクリートの増し吹き実施。 	

工 区	浮石落とし	鏡吹付コンクリートの施工	削孔による地山への水の浸透・滞水
<p>中央新幹線伊那山地トンネル 新設（戸中・壬生沢工区）</p> <p>飛鳥建設、市川工務店</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・浮石落としはバックホウ及び大型ブレーカを使用している。 ・鏡面を平滑に仕上げる。 ・ずい道等の掘削等作業主任者により仕上がり状態の確認を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鏡吹付及び一次吹付厚さの管理は量管理で行っている。 ・鏡吹付コンクリート実施後、ずい道等の掘削等作業主任者により鏡面の仕上がり確認を行う。 ・長期休工前における鏡吹付コンクリートの増し吹き実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔水をミスト状にする設備を配備済み。 ・水の返りが明らかに少ない等の異常が確認された際やジャミングを確認した際には削孔水をミスト状にして使用水量を抑える。
<p>中央新幹線、中央アルプス トンネル（松川）外 ※機構委託区間</p> <p>戸田建設、あおみ建設 矢作建設工業</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・浮石落としはバックホウ及び大型ブレーカを使用する。 ・ずい道等の掘削等作業主任者が切羽を点検し、剥離の可能性がある箇所があればオペレータにバックホウの爪またはブレーカノミ先による除去を指示する。除去する時は合図者を定め、合図者は落石の可能性のある部分をレーザーポインターで指摘する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鏡吹付及び一次吹付厚さの管理は量管理で行っている。 ・鏡吹付コンクリート実施後、ずい道等の掘削等作業主任者により鏡面の仕上がり確認を行う。 ・長期休工前における鏡吹付コンクリートの増し吹き実施。 	

他工区における取り組み実施状況の一例

取り組み内容	実施状況
<p>装薬開始前におけるマンケージ上からの切羽観察</p>	
<p>削孔水をミスト状にする設備の配備</p>	
<p>落石防護ネットの展開による作業員防護</p>	
<p>レーザー距離計を使用した多点同時変位計測システムによる計測 (写真のレーザー距離計を複数設置し、鏡面に対してレーザーを照射して変位を常時計測)</p>	

7. 本事象に関する有識者の意見等について

○本事象について、以下の有識者に説明し、意見を伺った（敬称略）。

- ・朝倉 俊弘（京都大学名誉教授）
- ・大島 洋志（（一社）日本応用地質学会名誉会員）
- ・岸田 潔（京都大学教授）
- ・小山 幸則（立命館大学 総合科学技術研究機構 上席研究員）
- ・今田 徹（東京都立大学 名誉教授）
- ・山田 隆昭（（株）高速道路総合技術研究所 フェロー）
- ・依田 淳一（（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構 技術企画部長）

各有識者に報告書の内容をご確認いただき、原因と対策の方向性について問題ないという評価をいただいている。

○各有識者からの主な意見

（事象発生前、事象発生時の対応について）

- ・事象発生時の肌落ち防止対策や実施した行動については、ガイドラインに基づきやるべきことを実施しているため正しかったと考える。同様の災害を起こさないよう更なる取組みをしていくことが大事である。
- ・地山の状態が良いと想定していたのならば、斜坑で前方探査を実施しないことの方が一般的であり、手落ちだったというわけではない。
- ・肌落ち防止対策として、今回の坂島工区の地山状況では鏡ボルトを行うとの判断をすべき状況ではなかったといえる。

（肌落ちの原因について）

- ・肌落ちの原因は、削孔水がすべりを誘発してしまったことと削孔による振動が一因だと考える。
- ・削孔後、装薬前に切羽上部を早く観察しておくことが必要だった。
- ・浮石落としが不十分であった可能性がある。切羽上部の浮石落とし（コソク）は見落としやすいので、浮石落としは徹底するべきである。

（対策について）

- ・鏡吹付けコンクリートはトータル的に安全性を高める対策である。
- ・浮石落としで重要なのは無理に平滑にすることではなく、しっかり浮石を落として鏡面全体を安定した状態にすることである。より徹底した浮石落としが望まれる。
- ・切羽観察をしっかり行い、その状況に応じて臨機応変に対応することが大事なので、採用する補助工法等のメニューをしっかり決めておくことが有効である。
- ・曲面切羽に仕上げるのがもし出来るのであれば、肌落ち防止対策としては効果がある。

(その他の見解)

- ・切羽前方の地山の層が切羽と平行（縦目）かつ密に詰まっていたら、前方探査をしても縦目の層か判断ができない場合がある。
- ・そういう分からない部分が山岳トンネルでは多くあるため、施工会社と協働で安全文化を醸成していく対応が必要である。現場の声をボトムアップして作業手順や現場環境の改善に反映していく風土づくりを、終わりのない努力として実施していくことが大事である。

○用語の定義

本報告書で使用する主要な用語の定義は「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン（基発0118第1号、平成30年1月18日、厚生労働省労働基準局長）」（以下、ガイドライン）及び「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドラインに関する問答について（平成29年3月6日事務連絡、厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課建設安全対策室長）」（以下、ガイドラインの問答）ほかに基づき、次による。

- ・切羽

山岳トンネル工事現場におけるトンネルの掘削の最先端をいい、地山が露出している領域全体をいう。（ガイドライン 第3の1）

- ・肌落ち

トンネルを掘削した面から岩石等が落下することをいう。（ガイドライン 第3の2）

なお、肌落ちには拳以下の岩塊が落下するようなものから1トン以上の岩塊が連続して落下するものまで幅が広い。（ガイドラインの問答 問5-18）

- ・鏡

切羽において、掘削の進行に対して垂直である面をいう。（ガイドライン 第3の6）

- ・浮石

切羽において、地山から剥離した岩石をいう。（ガイドライン 第3の7）

- ・切羽監視責任者

事業者（施工業者）の選任を受け、切羽の状態を監視し、退避の要否について判断し、労働災害の急迫した危険があるときは直ちに作業を中止させ、労働者を安全な場所に退避させる者。

（ガイドライン 第3の13）

- ・ずい道等の掘削等作業主任者

事業者（施工業者）がずい道等の掘削の作業を行うときに選任した、作業の指揮者をいう。

（労働安全衛生規則第383条の2※2）

※2：（ずい道等の掘削等作業主任者の選任）

第383条の2 事業者は、令第6条第10号の2の作業については、ずい道等の掘削等作業主任者技能講習を修了した者のうちから、ずい道等の掘削等作業主任者を選任しなければならない。

作業の体制

本報告書で記載する肌落ちによる災害の際に行っていた作業は発破前の装薬であり、その作業体制は以下の通りである。

- ・作業員 : 5名 (内、1名が「ずい道等の掘削等作業主任者」を兼ねる)
※本報告書では作業員A～作業員Eとする。

- ・切羽監視責任者 : 1名

合計 : 6名

なお、現場確認のため施工業者の元請社員が2名立ち会っていた。

トンネル断面における各名称

本報告書におけるトンネル断面における各名称は下図のとおり。

