資料２

中央新幹線瀬戸トンネル新設工事における
肌落ちによる災害に関する報告書

令和３年１２月

東海旅客鉄道株式会社

【目次】

１．災害発生状況

２．施工管理体制及び安全管理体制

３．掘削計画及び掘削実績

４．当日の作業の流れ

５．原因の分析

６．再発防止対策

７．その他（中央新幹線中央アルプストンネル山口工区との比較ほか）

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」という。）および「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」という。）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

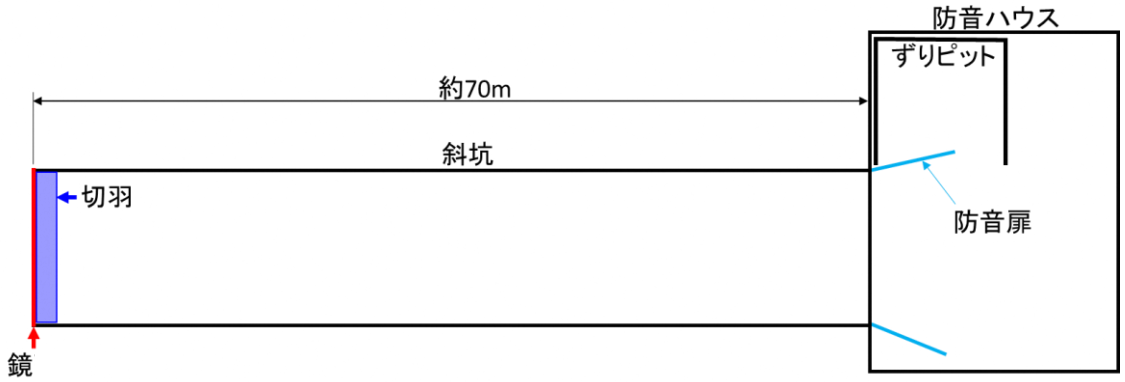
切羽において、掘削の進行方向に対して垂直である面をいう。（ガイドライン　第 3 の 6）

・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）



斜坑内平面図（略図）

・発破作業指揮者

事業者が電気発破の作業を行うときに定めた、作業の指揮者をいう。（労働安全衛生規則（以下、「安衛則」という。）　第 320 条　※1）

※1：（電気発破作業の指揮者）

第 320 条　事業者は、電気発破の作業を行なうときは、発破の業務につくことができる者のうちから作業の指揮者を定め、その者に前条第一項第五号及び第七号並びに次の事項を行なわせなければならない。

・ずい道等の掘削等作業主任者

事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。（安衛則第 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、発破作業後の残薬有無の点検であり、その際の作業体制は以下の通りである。

・発破作業指揮者　1 名（ずい道等の掘削等作業主任者が兼務）
・作業員　5 名　※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　7 名

１．災害発生状況

中央新幹線瀬戸トンネル（以下、「瀬戸トンネル」という。）の斜坑内で、令和 3 年 10 月 27 日に発生した肌落ちに伴う災害発生状況は、以下の通りである。

（１）記者会見までに明らかになった災害発生状況

瀬戸トンネルの斜坑内で、令和 3 年 10 月 27 日 19 時 20 分頃、斜坑口から約 70m 地点で、斜坑掘削に伴う発破作業後の残薬有無の点検のため、切羽に近づいた際、切羽左肩付近より肌落ちが発生した。肌落ちした付近にいた作業員Ａの足が岩塊に埋まったため、作業員Ｂが救出に向かったところ、最初の肌落ち箇所近傍で地山の一部が落下した。作業員Ａが岩塊の下敷きになり、作業員Ｂの足が岩塊に埋まった。（図 1-1）

図 1-1　災害現場の状況（令和 3 年 10 月 27 日　現在）

災害翌日までに明らかになった災害発生状況について、令和 3 年 10 月 28 日 16 時に本工事の発注者である当社と受注者である中央新幹線瀬戸トンネル新設工事共同企業体（構成員　株式会社奥村組、株式会社淺沼組、ＴＳＵＣＨＩＹＡ株式会社）（以下、「奥村組ＪＶ」という。）の代表者の株式会社奥村組とで記者会見を行った。

（２）記者会見以降に明らかになった災害発生状況

災害現場で作業をしていた作業員および当該作業を監理監督していた奥村組ＪＶからの証言をもとに、明らかになった災害発生時の状況は図 1-2 および図 1-3 の通りである。

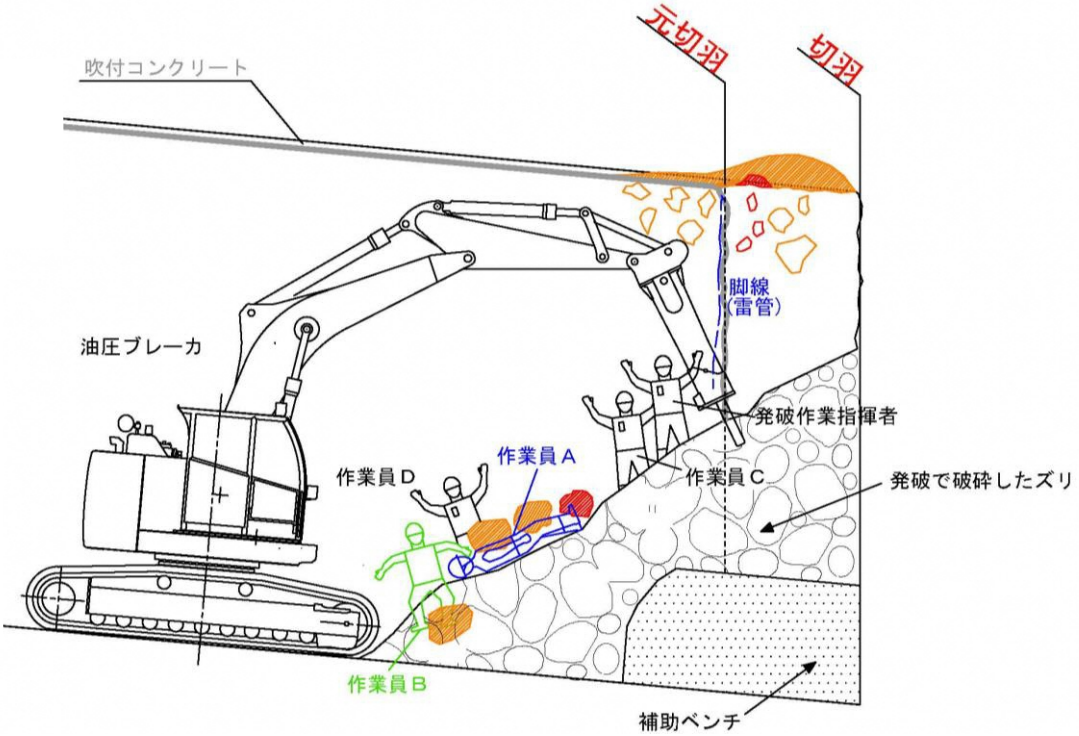


図 1-2　災害発生時の状況（側面図）

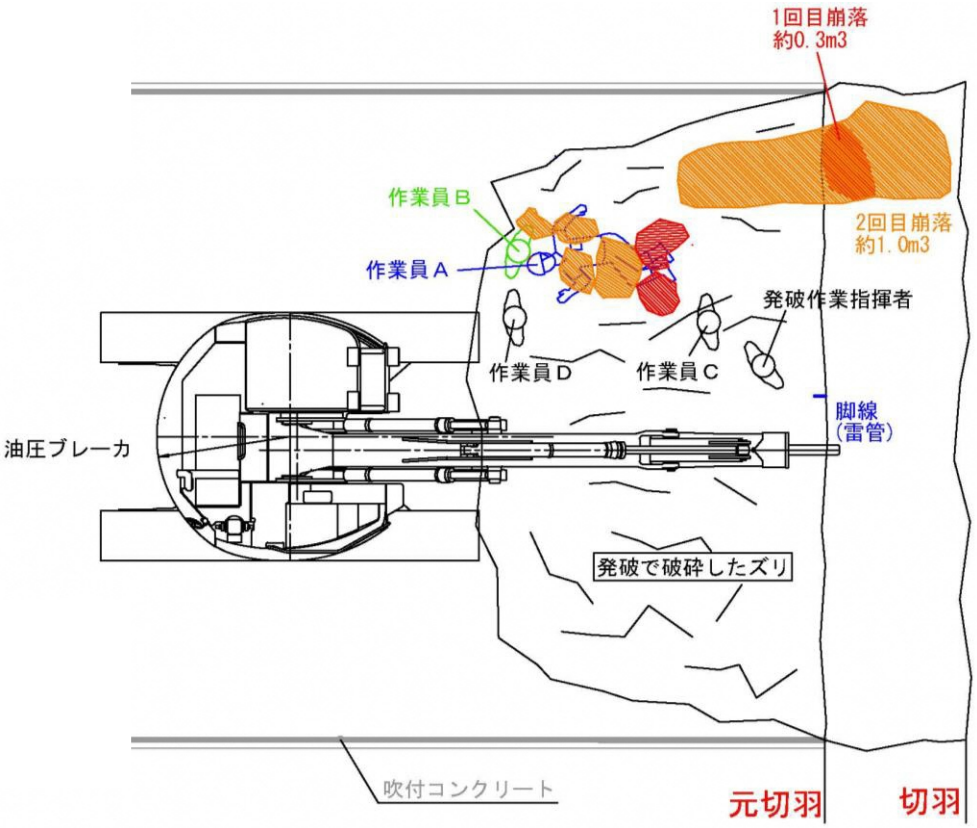


図 1-3　災害発生時の状況（平面図）

19:14

・発破完了後、発破作業指揮者ほか6名で斜坑内に入坑した。

19:16

・発破で破砕したズリの法尻で発破作業指揮者による切羽点検を実施中、発破作業指揮者は天端で脚線（雷管）を発見した。発破作業指揮者は不発を疑い、発破で破砕したズリの山を徒歩で登り、中央やや左より元切羽先端から 0.5m 後方で、導通試験を実施した。

・当該装填孔を担当した作業員Ａも、発破作業指揮者の左側より近づき元切羽先端から 1.5m 後方にいた。その他、作業員Ｂは作業員Ａの左後方 1m に、作業員Ｄは作業員Ｂの右側 1m にいた。

19:17

・導通試験の結果、導通があったことから、発破作業指揮者は不発と判断し、回収治具（キュウレン棒）で回収するため回収治具を用意するよう油圧ブレーカの後方にいた作業員Ｅへ指示した。その直後、発破作業指揮者の左側にいた作業員Ａの前方 1.5～2.0m（元切羽先端のやや前方）付近で肌落ちが発生し、肌落ちした岩塊（推定約 0.3m^3）が、発破で破砕したズリの山を転がり落ち、作業員Ａに衝撃した。作業員Ａは、岩塊に足が挟まり転倒し、作業員Ａの後ろにいた作業員Ｂに寄り掛かる状態となり、作業員Ｂも転倒した。

・作業員Ｂが作業員Ａを介抱しようとした直後、１回目の肌落ち箇所の周辺で、１回目より規模の大きい２回目の肌落ちが発生し（推定約 1m^3）、作業員Ａは発破で破砕したズリの山を転がり落ちてきた岩塊の下敷きになった。作業員Ｂも２回目の肌落ちに巻き込まれ、左足が挟まれる状態となった。

19:18

・発破作業指揮者は、被災した作業員Ａの上部をバックホウのバケットで防護するよう作業員Ｃに指示するとともに、次作業で使用するため現場に配置されていた油圧ブレーカを自身で後方へ移動させた。作業員Ｄは斜坑口で計測の準備をしていた奥村組ＪＶ職員に通報するため、走って出坑した。その他の作業員は切羽付近で被災した作業員Ａと作業員Ｂの救出作業を行った。

なお、被災した作業員Ａに被さっていたと推定される岩塊で、大きなものは約 0.9m×約 0.5m×約 0.4m（推定約 0.5t）と約 1.1m×約 0.6m×約 0.4m（推定約 0.6t）の２個であった。

（３）災害発生以降の切羽等の状況

・10/27　19:20 頃の肌落ち災害の発生以降は、切羽に肌落ちの兆候はなく、地山とともに安定した状況であることを、奥村組ＪＶらが継続して確認している。

・10/28　10:50 頃に地表面にも変状がないことを、奥村組ＪＶらが確認している。

・労働基準監督署、警察署等の調査が終了し、応急復旧実施の承諾が得られた後、10/28　17:00 より、応急復旧工事を開始した。発破で破砕したズリの法尻付近に溜まった排水の処理、路盤の整正、切羽への吹付けコンクリートを施工した。

・災害発生以降の状況を、図 1-4 に示す。

肌落ち箇所付近の地表面確認状況

排水処理状況

路盤整正状況

吹付けコンクリート施工完了状況

図 1-4　災害発生以降の状況

２．施工管理体制及び安全管理体制

（１）契約段階

当社は奥村組ＪＶに対し、労働安全衛生法、火薬類取締法ほか関係法令等を遵守し、工事の安全、環境の保全、品質の確保を図った上で本工事を行うことを、契約図書で示方している。また、本工事が山岳トンネル工事にあたることから、作業にあたっては厚生労働省労働基準局が定めたガイドラインを適用するよう示方している。奥村組ＪＶが契約図書で示方した事項を踏まえた施工計画書を作成し、当社あてに提出するよう示方している。

また、当社は社内規程に基づき、契約責任者が本工事の施工を監理監督する監督員を指定の上、奥村組ＪＶへ通知し、本工事の施工管理を行っている。

（２）施工計画段階

当社は、奥村組ＪＶが作成したトンネル掘削工施工計画書（以下、「トンネル施工計画書」という。）を、令和 3 年 3 月 22 日に受理した。なお、トンネル施工計画書の一部の内容は、奥村組ＪＶが労働安全衛生法第 88 条及び安衛則第 89 条第 1 項第 4 号に基づき「長さが 3,000m 以上のずい道等の建設の仕事」の計画として、厚生労働大臣へ届出しているものである。（令和 3 年 3 月 10 日届出）

当社は、トンネル施工計画書において、本トンネル掘削作業が法令等に基づき安全に施工される計画であることを確認している。

・トンネル施工計画書は、基本計画編・工事計画編・安全衛生計画編から構成されている。奥村組ＪＶは、トンネル施工計画書の基本計画編において、本トンネル工事の全体に係る施工管理組織を図 2-1 の通り定め、現場の施工管理及び安全管理を行っている。

・今回災害の発生した斜坑掘削作業については、工事計画編の 2 章施工計画－1）トンネル工－（1）斜坑掘削の項及び安全衛生計画編（特に 7 章トンネル工事安全重点管理事項の項）において、具体的な施工方法及び安全管理方法を計画している。

・斜坑掘削作業における主要な以下の作業に関して、法令上等で必要な責任者を配置し作業する計画としている。

◇発破作業

「保安責任者」を選任し（火薬類取締法第 30 条）、発破技士等の必要な資格を有する者から「発破作業指揮者」を定めている（安衛則第 320 条）。また、発破作業を含めた「火薬類保安管理組織表」（火薬類管理の自主基準（2019 年 11 月　一般社団法人日本建設業連合会ほか制定）p.4）を図 2-2 の通り定めるとともに、現場に掲示している。

◇トンネル掘削

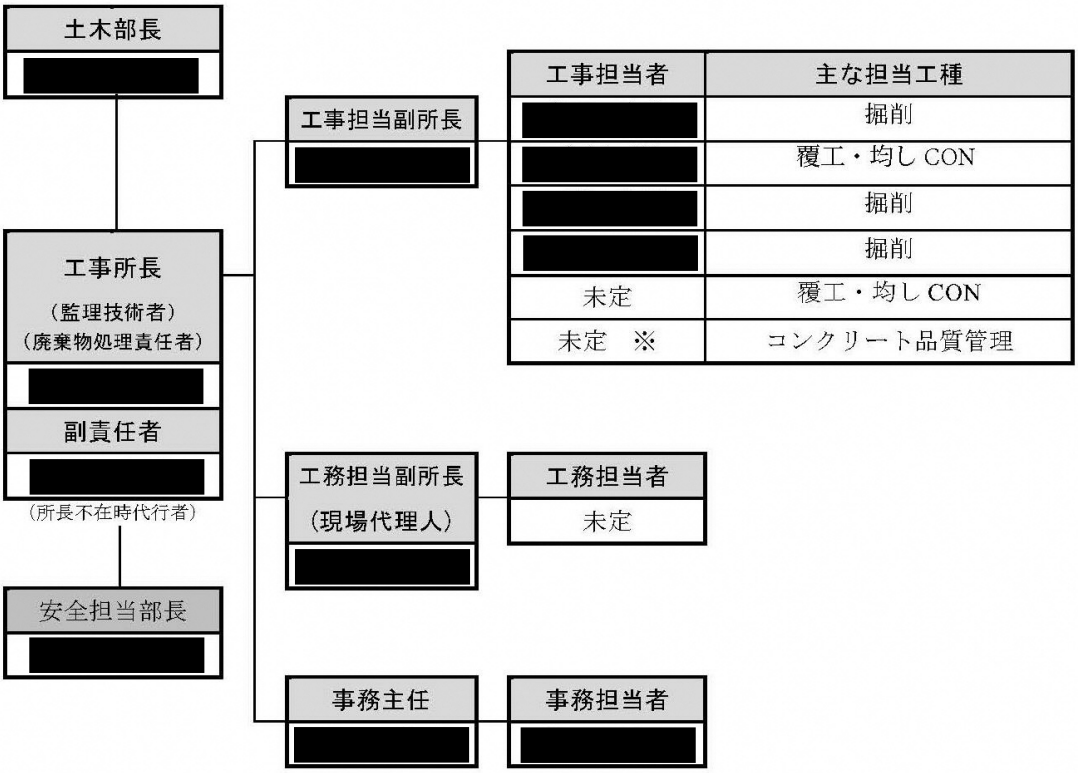
技能講習を修了した者の中から「ずい道等の掘削等作業主任者」（安衛則第 383 条 2）を選任し、現場に掲示している（図 2-3）。なお、ガイドラインにおける「切羽監視責任者」も、切羽に立入作業を行う場合は選任し、配置する計画としている（図 2-4）。

（３）施工段階

当社は、施工段階においては契約図書の「事故防止現場（内容）説明書」に基づき、当社の監督員等が奥村組ＪＶと週間の施工打合せ及び日々の施工打合せを行い、作業の進捗状況及び安全管理状況等の確認と指導を行っている。

§６．管理体制

（1）施 工 管 理 組 織 図



注１：（ ）は非常駐者

注 2:工事担当者は担当工種の検査担当者・公衆災害防止責任者を兼ねる。但し、＊印の工事担当者は検査資格を有しない。

（2）各種担当者

担　当	担当者名
文書管理担当者	[redacted]
記録管理担当者	[redacted]
計測機器管理担当者	[redacted]
図面管理担当者	[redacted]
廃棄物処理担当者	[redacted]

（3）業者検査担当者

業者名	業者検査担当者名	担当工種
国土開発工業	[redacted]	残土運搬
村崎建設	[redacted]	トンネル工
未定		
未定		
未定		
未定		

図 2-1　施工管理組織図

工事名　中央新幹線瀬戸トンネル新設

変更履歴
作成　2021年9月24日
改定　2021年10月18日

火 薬 類 保 安 管 理 組 織 表

所長 [redacted]

貯　蔵	
保安責任者	[redacted]（甲種）
同上代理者	[redacted]（甲種）
出納責任者（運転者）	[redacted]（甲種）
出納責任者（運転者）	[redacted]（甲種）
出納責任者（運搬員）	[redacted]（甲種）
出納責任者（運搬員）	[redacted]（甲種）

消　費	
保安責任者	[redacted]（甲種）
同上代理者	[redacted]（甲種）
副保安責任者	[redacted]（甲種）
副保安責任者	[redacted]（甲種）

火　薬　類　取　扱　所	1 の 方	2 の 方
責任者・取扱者・運搬員	[redacted]（甲種）	[redacted]（甲種）

火　工　所	1 の 方	2 の 方
責任者・取扱者・見張員	[redacted]（甲種）	[redacted]（甲種）

発　破　場　所	1 の 方	2 の 方
発破作業指揮者(正) 発破記録責任者(正)	[redacted]（発破技士）	[redacted]（発破技士）
発破作業指揮者(副) 発破記録責任者(副)	[redacted]（発破技士）	[redacted]（発破技士）
発破作業員	[redacted]（発破技士）	[redacted]（発破技士）
発破作業員	[redacted]（発破技士）	[redacted]（発破技士）
発破作業員	[redacted]（発破技士）	[redacted]（発破技士）
発破作業員	[redacted]（発破技士）	[redacted]（甲種）
発破作業員	[redacted]（甲種）	[redacted]（甲種）
運転者・運搬員	[redacted]（発破技士）	[redacted]（発破技士）
運転者・運搬員	[redacted]（発破技士）	[redacted]（発破技士）

図 2-2　火薬類保安管理組織表

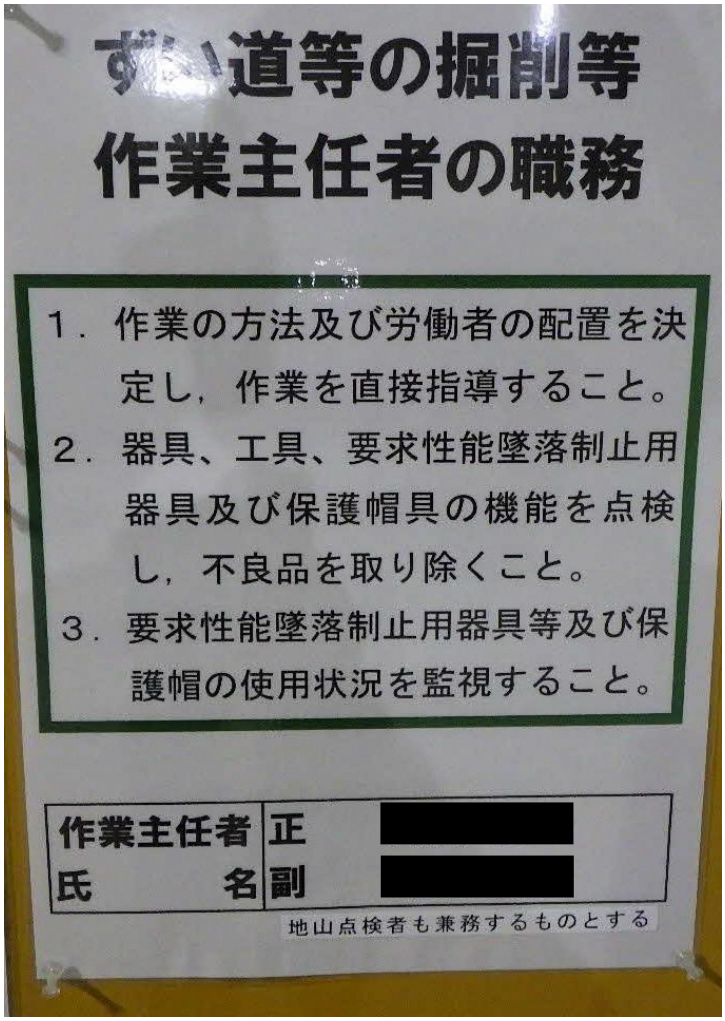


図 2-3　ずい道等の掘削等作業主任者

10．崩壊・肌落・落石災害の防止

（1）　切羽作業時は必ずバックプロテクターを着用する。（自主基準）
（2）　切羽に立入作業を行うときは、監視員をつける。（安衛則 383 条の 3）
（3）　切羽作業時の安全確保のため、発破装薬作業時に爆薬遠隔装填システムを採用し、爆薬および込め物の装填作業時は切羽からの離隔 2m以上確保する。（自主基準）
（4）　掘削完了後、油圧ブレーカーによりこそくを入念に行う。（自主基準）
（5）　肌落・落石の危険がある場合は鏡吹付けコンクリートの施工を協議する。（自主基準）
（6）　選任されたトンネル等の掘削等作業主任者は、作業開始前に切羽の地山状態を点検し、昼夜交替時に地山状態等の引継ぎを行う。（自主基準）
（7）　指名された点検者は、毎日および震度 4 以上の地震後に浮石、亀裂の有無及び状態、含水・湧水の状態等を点検し安全を確認して記録する。（安衛則 382 条）

図 2-4　切羽監視責任者の配置

３．掘削計画及び掘削実績

（１） 適切な構造及び工法について

本工事では、山岳トンネルにおける標準的な工法であるＮＡＴＭを採用している。ＮＡＴＭでは、掘削した部分を素早く吹付けコンクリートで固め、地山状況に応じてロックボルトを地山に打ち込むことにより、地山自体の保持力を利用してトンネルを保持する。

計画段階において、平成 27 年度に実施した地質調査に基づき、地質縦断図（図 3-1）を作成した。また、岩種等の地山状況に応じて、災害発生箇所におけるロックボルトの本数や長さ、吹付けコンクリートの厚さ等のトンネル支保構造を、次の手順で適切に設定した。

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（以下「鉄道・運輸機構」）の「山岳トンネル設計施工標準・同解説（2008 年 4 月）」の岩種分類表（表 3-1）に基づき岩種を判定する。地質調査の結果、花崗岩であり一軸圧縮強さ q_u が 94.8N/mm^2 であったことからＡ岩種と判断した。

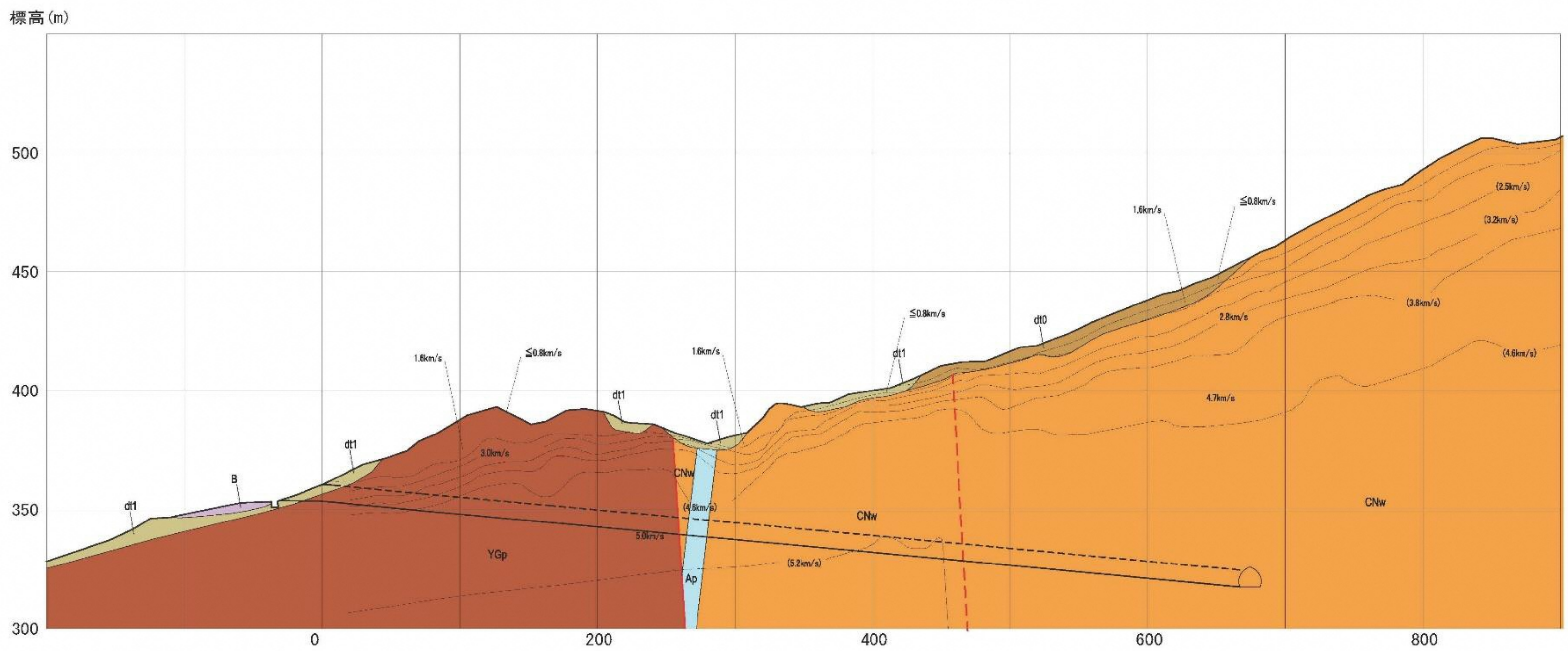
表 3-1　岩種分類表

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）	一軸圧縮強さは、以下の数値を目安とする 硬岩　50N/mm^2≦q_u
	塊状の硬岩（亀裂面の剥離性が小さい）	
B	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）	
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	中硬岩　15N/mm^2≦q_u＜50N/mm^2
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砕の進行した岩石（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　2N/mm^2≦q_u＜15N/mm^2
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　q_u＜2N/mm^2
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

鉄道・運輸機構の「山岳トンネル設計施工標準・同解説（2008年4月）」の計画段階における地山分類基準（表3-2）に基づき地山等級を判定する。地質調査の結果、弾性波速度V_pが3.5km/sec であったことから地山等級をⅡ$_N$とした。



項目	記号					
地質時代		第四世紀完新世	中世期白亜紀	濃飛流紋岩類		中世期白亜紀
地質名		新期崖錐堆積物	領家新期花崗岩類	貫入岩類		濃飛流紋岩類
土質・岩石名		礫混じり粘性土	花崗岩緑斑岩（A岩種）	アプライト（A岩種）		溶結凝灰岩（A岩種）
地山弾性波速度	V_p (km/s)	≦2.5 2.8 3.5 4.2	4.9	溶結凝灰岩（A岩種） 4.9		4.9
土質物性 単位体積重量	γ_t (MN/m^3)					
土質物性 一軸圧縮強度	q_u (MN/m^2)					
土質物性 細粒分含有率	F_c (%)					
土質物性 相対密度	D_r (%)					
岩石物性 単位体積重量	γ_t (MN/m^3)	–	0.0261	0.0262		0.0262
岩石物性 一軸圧縮強度	q_u (MN/m^2)	–	94.8	202.7		202.7
岩石物性 P波速度	V_p (km/s)	– ≦19.5	5.51	5.53		5.53
岩石物性 準岩盤強度	q_u' (MN/m^2)	– 24.5 38.2 55.0	75.0	159.1		159.1
土被り	H (m)	≦8.5 8.5〜10 10〜19 19〜24 24〜31	31〜42	34〜42 32〜35 35〜39 39〜52	51〜76	76〜106
地山強度比	$Gn = \frac{q_u'}{\gamma_t \times H}$	274 93〜49 77〜60 87〜67	92〜68	179〜145 190〜174 174〜156 156〜117	119〜80	80〜57
地山等級		Is I$_N$-2 II$_N$ III$_N$	IV$_N$	I$_N$-2 II$_N$ I$_N$-2 II$_N$	IV$_N$	II$_N$ IV$_N$
地下水水理特性				(225〜340m) 野久保断層の破砕帯で亀裂性地山と推定される。主断層は、255m付近にあり、断層突破後、突発湧水の発生する可能性あり。		(470m付近) 弾性波速度の急変部にあたる。断層あるいは亀裂性地山の可能性があり、切羽湧水は多いと思われる。
地質工学的課題				(225〜340m) 255m付近に野久保断層が分布。活断層とされている。地表露頭では、せん断割の目が密集し変質した地山が確認される。断層には粘土化した地山が分布する可能性あり。340m付近まで破砕していると思われる。弾性波探査では低速度帯確認できないが、不良地山と判断し I$_N$-2〜II$_N$と評価した。		(470m付近) 弾性波速度の急変部にあたる。断層あるいは亀裂性地山の可能性があり、切羽崩壊等の発生が懸念される。弾性波探査では低速度帯は確認できないが、不良地山と判断し II$_N$ とした。

図 3-1　地質縦断図

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	$V_p \geqq 5.2$	—	$V_p \geqq 5.0$	$V_p \geqq 4.2$	—	—	—
IV_N	$5.2 > V_p \geqq 4.6$	—	$5.0 > V_p \geqq 4.4$	$4.2 > V_p \geqq 3.4$	—	—	—
III_N	$4.6 > V_p \geqq 3.8$	$V_p \geqq 4.4$	$4.4 > V_p \geqq 3.6$	$3.4 > V_p \geqq 2.6$ かつ $G_n \geqq 5$	$2.6 > V_p \geqq 1.5$ かつ $G_n \geqq 6$	—	—
II_N	$3.8 > V_p \geqq 3.2$	$4.4 > V_p \geqq 3.8$	$3.6 > V_p \geqq 3.0$	$2.6 > V_p \geqq 2.0$ かつ $5 > G_n \geqq 4$	$2.6 > V_p \geqq 1.5$ かつ $6 > G_n \geqq 4$	—	—
I_{N-2}	$3.2 > V_p \geqq 2.5$	—	$3.0 > V_p \geqq 2.5$	$2.6 > V_p \geqq 2.0$ かつ $4 > G_n \geqq 2$ あるいは $2.0 > V_p \geqq 1.5$ かつ $G_n \geqq 2$	$2.6 > V_p \geqq 1.5$ かつ $4 > G_n \geqq 3$	—	—
I_{N-1}	—	$3.8 > V_p \geqq 2.9$	—	—	$2.6 > V_p \geqq 1.5$ かつ $3 > G_n \geqq 2$	$G_n \geqq 2$	$D_r \geqq 80$ かつ $F_c \geqq 10$
I_S	$2.5 > V_p$	$2.9 > V_p$	$2.5 > V_p$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geqq 1.5$	$1.5 > V_p$ あるいは $2 > G_n \geqq 1.5$	$2 > G_n \geqq 1.5$	—
I_L						—	$D_r \geqq 80$ かつ $10 > F_c$
特S				$1.5 > G_n$	$1.5 > G_n$	$1.5 > G_n$	—
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

鉄道・運輸機構の「山岳トンネル設計施工標準・同解説（2008年4月）」の標準支保パターンの選定表（表3-3）に基づき、支保パターンを選定する。A岩種で地山等級がII_Nであることから、支保パターンをII_{NP}とした。

表3-3　標準支保パターンの選定表

岩種 / 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	IV_{NP}	—	IV_{NP}	IV_{NP}	—	—	—
IV_N	IV_{NP}	—	IV_{NP}	IV_{NP}	—	—	—
III_N	III_{NP}	III_{NP}	III_{NP}	III_{NP}	III_{NP}	—	—
II_N	II_{NP}	II_{NP}	II_{NP}	II_{NP}	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_{SP}	I_{SP}	I_{SP}	I_{SP}	I_{SP}	—
I_L	I_{LP}	I_{LP}	I_{LP}	I_{LP}	I_{LP}	—	I_{LP}
特S	*	*	*	*	*	*	—
特L						—	*

注）*は特殊設計範囲を示す。

④ トンネル支保構造

支保パターンⅡ$_{NP}$におけるトンネル支保構造は当社の技術基準により次の通り定めた。

・縦断間隔 ： 1.5m

・ロックボルト ： 配置 アーチ
長さ3m×本数6本

・吹付けコンクリート： 厚さ10ｃｍ（平均）

⑤ 補助工法

補助工法は、トンネル掘削の施工の安全確保及び周辺環境の保全を目的とし、通常の支保工や加背割等の工夫では対処できないか、対処することが得策でない場合に用いられる対策手段の総称であり、鏡吹付けコンクリートを採用した。

（２） 当初の施工計画について

施工方法はＩ$_N$、Ｉ$_s$パターン区間は補助ベンチ付全断面掘削工法、その他の区間は全断面掘削工法とした。坑口部のＩ$_s$パターン区間は大型油圧ブレーカによる機械掘削、その他は発破掘削方式とした。

トンネル掘削時に切羽前方の地山性状を事前に把握するため、全線にわたりドリルジャンボを用いた削孔検層を行う計画とした。削孔検層は施工時の機械データ（削孔速度、打撃回数、打撃圧、フィード圧）に基づき、削孔エネルギーを算出し、その数値から地山の硬軟を把握できる。1回あたりの穿孔長は30mとし、25m進行する毎に5mのラップ長を残して次の穿孔を行う。1断面につき3箇所（天端、左、右）の実施とした。

また、補助工法については、全切羽を対象に鏡吹付けコンクリートを、Ｉ$_S$パターン区間でフォアポーリングを計画し、それ以外は、現場状況に応じて施工する計画とした。

切羽作業時の肌落ち事故や切羽崩壊事故を防止するため、専任の切羽監視責任者を1名配置する計画とした。

（３） 災害発生箇所の施工計画について

前述により定めた支保パターンに対して、切羽観察の結果や坑内計測の結果を踏まえるとともに、近隣住民への騒音・振動の影響への配慮から、災害発生時の掘削箇所（0K070.2M～0K071.9M）より手前の0K057Mの時点で、当初計画の支保パターンⅡ$_{NP}$に準じた以下の支保パターンに変更した。

・縦断間隔 ： 1.2m（当初計画の1.5mから変更）

・ロックボルト ： 配置 アーチ
長さ3m×本数6本

・吹付けコンクリート： 厚さ10ｃｍ（平均）

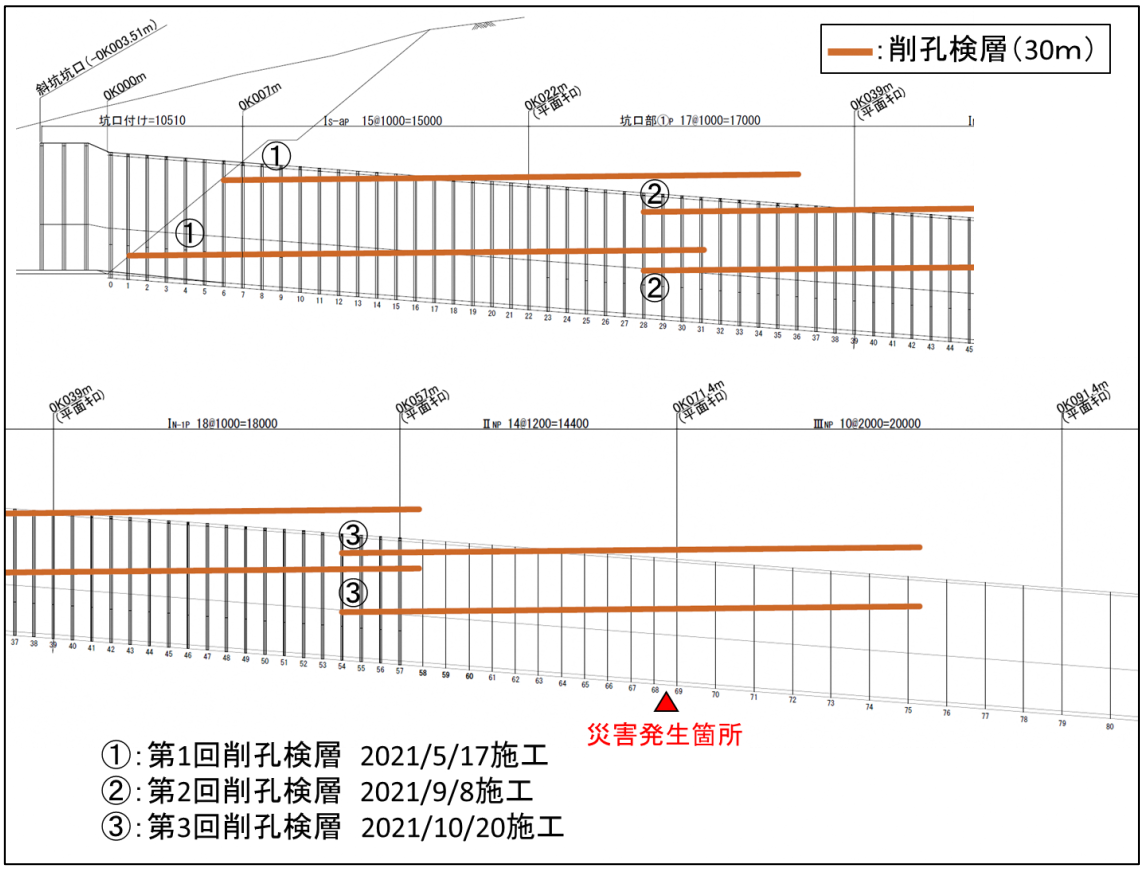
上記変更については、奥村組ＪＶから当社に協議があり、双方で現地立会のうえ、当社から奥村組ＪＶに施工指示書を発行し、奥村組ＪＶが承諾している。

補助工法は当初計画通り、鏡吹付けコンクリートのみ施工する計画とした。

なお、奥村組ＪＶは切羽鏡面の安定、装薬時の作業エリア上下分離と岩片落下距離の縮小の観点から、補助ベンチ付き全断面工法とし、肌落ち時の退避スペース確保のためベンチ長3mとしていた。

（４） 削孔検層

削孔検層は、これまで 3 回実施した（図 3-2）。そのうち、災害発生時の掘削箇所（0K070.2M～0K071.9M）を含む 3 回目の削孔検層において、左の調査地点の付近は延長 2m 程度の低エネルギー帯を示していたが、天端及び右の調査地点は高エネルギー状態を示しており、全面的ではなく局所的な風化帯のため、支保パターン変更までには至らない地山性状と判断した（図 3-3）。



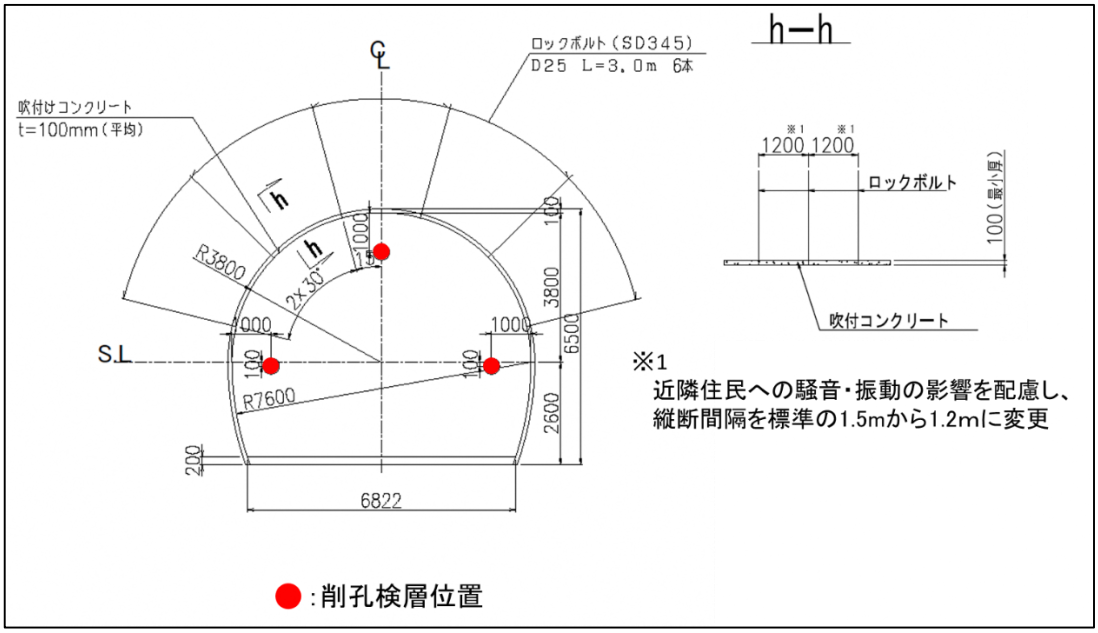


図 3-2 削孔検層の実施箇所

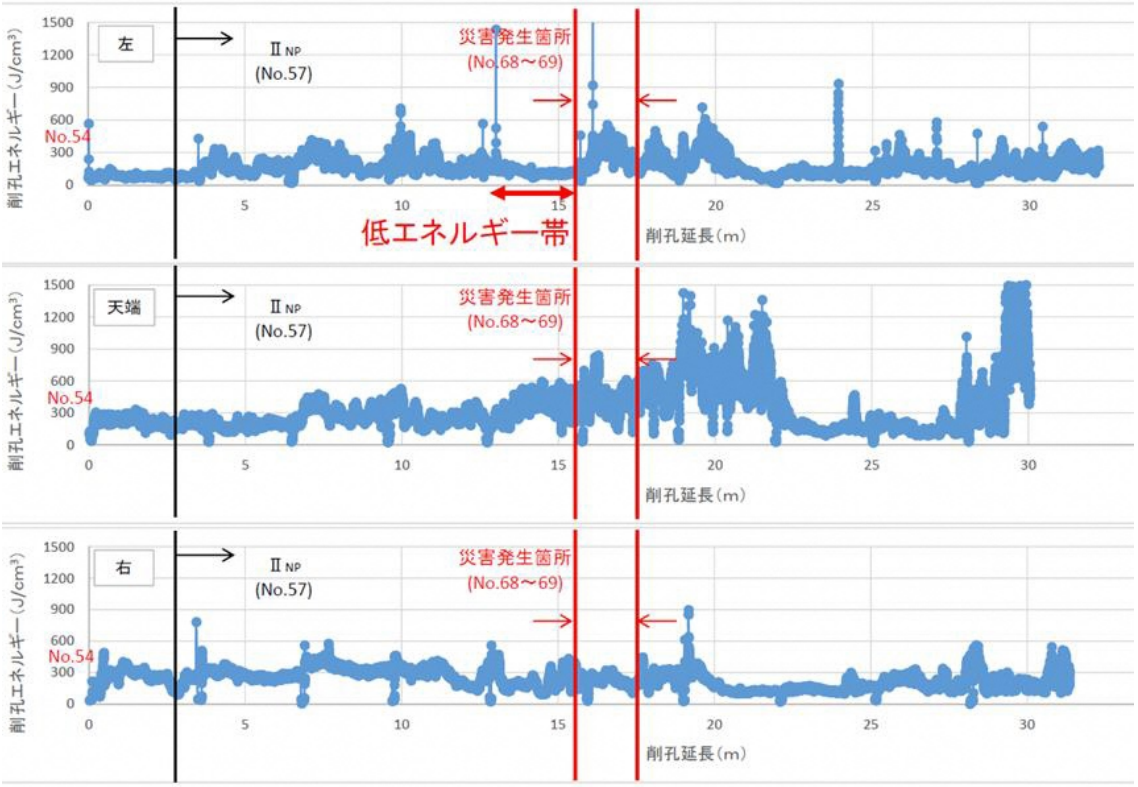


図 3-3　削孔検層結果

（５） 切羽観察

トンネルの施工管理として切羽観察簿を 1 日に 1 枚作成し、切羽の状態を記録している。切羽観察簿の記録は奥村組ＪＶが行い、当社へ報告している。

0K057M 以降は切羽全域が堅固な花崗岩の地山であり、切羽及び吹付け面からの肌落ちもなく、安定した状態であった。10 月 25 日から 27 日までの切羽の状況を図 3-4～図 3-6 に示す。災害が発生した 10 月 27 日の切羽では、中心線から左側は風化の進行が強く強度低下の可能性はあったものの、全体としては切羽及び吹付け面からの肌落ちもなく安定した状態であった。

図 3-4　10 月 25 日の切羽の状況

図 3-5　10 月 26 日の切羽の状況

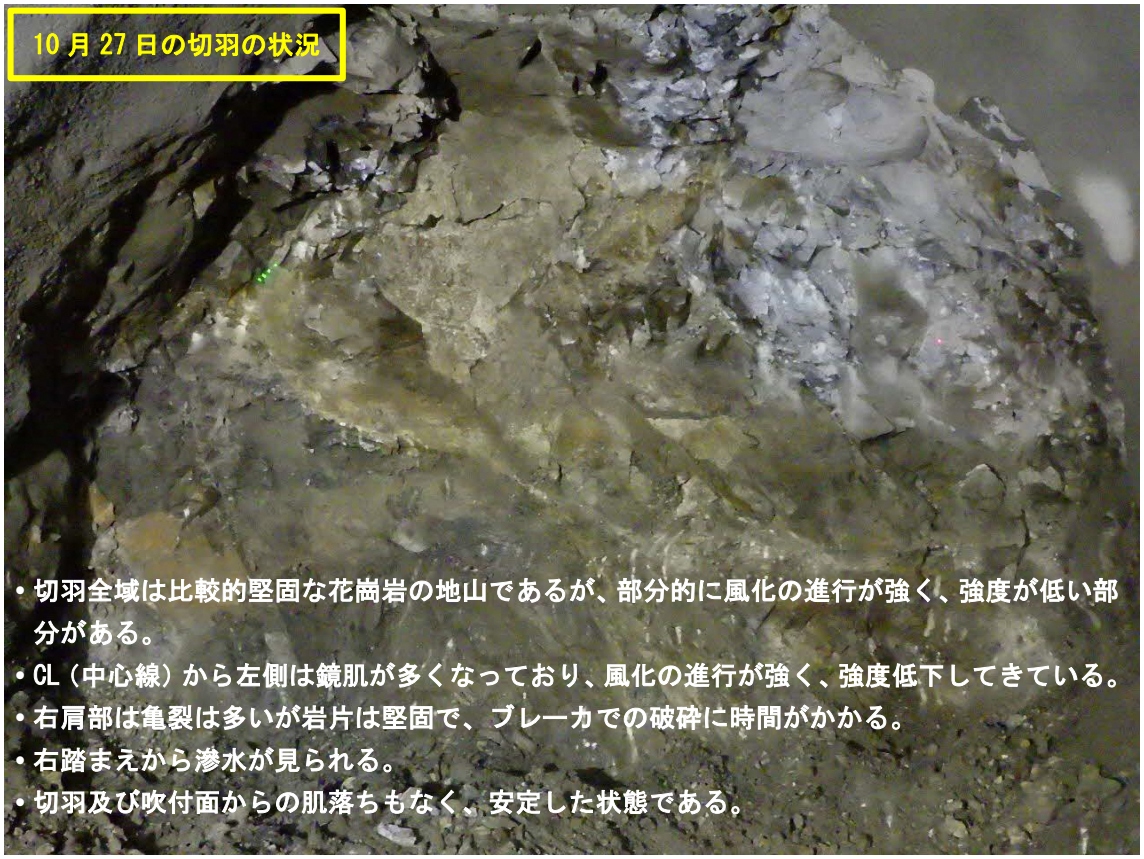


図 3-6　10 月 27 日の切羽の状況（災害発生前）

（６） 坑内計測

トンネルの計測管理として 10m毎に天端沈下及び内空変位の測定を行っている。管理基準値を 3 段階で設定しており、管理基準値を超過した際は計測頻度を上げること、または対策を検討することとしていた。

災害発生箇所に最も近い 0K060M 地点及びその手前の 0K050M 地点では内空変位・天端沈下ともに最大でも 5mm 程度であり、大きな変位はなかった（図 3-7～図 3-10）。

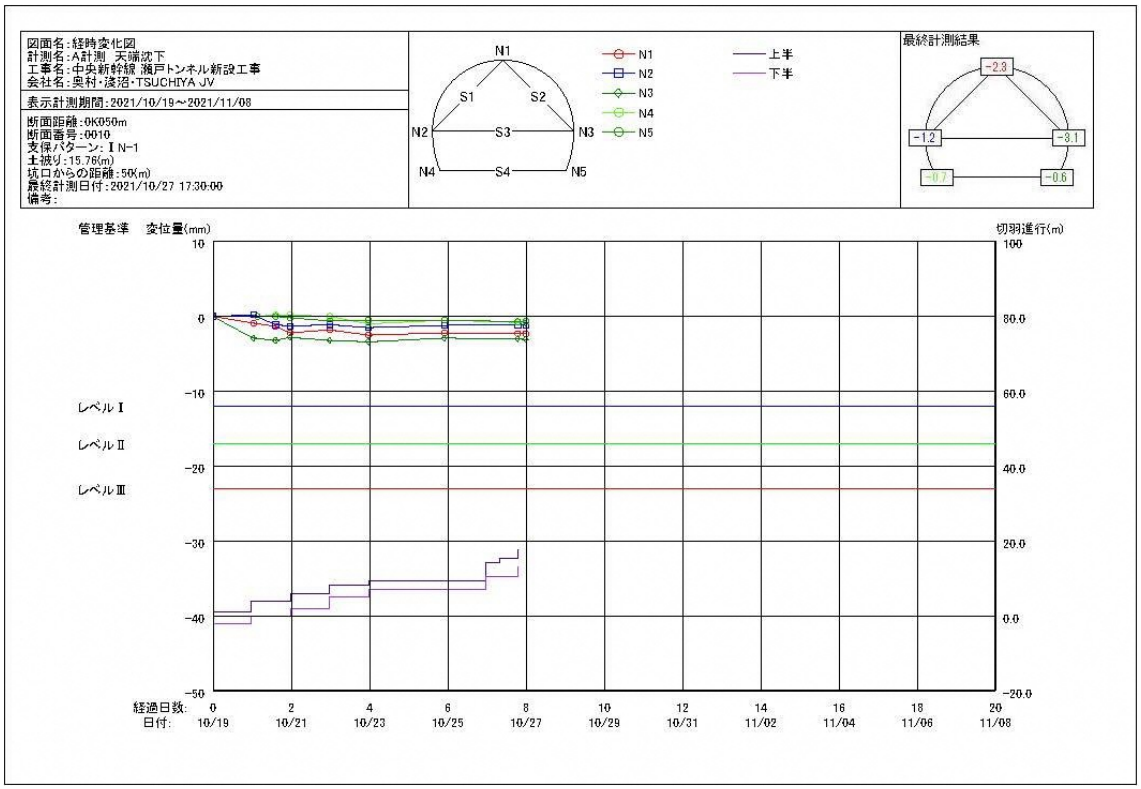


図 3-7　天端沈下計測の結果（0ｋ050m）

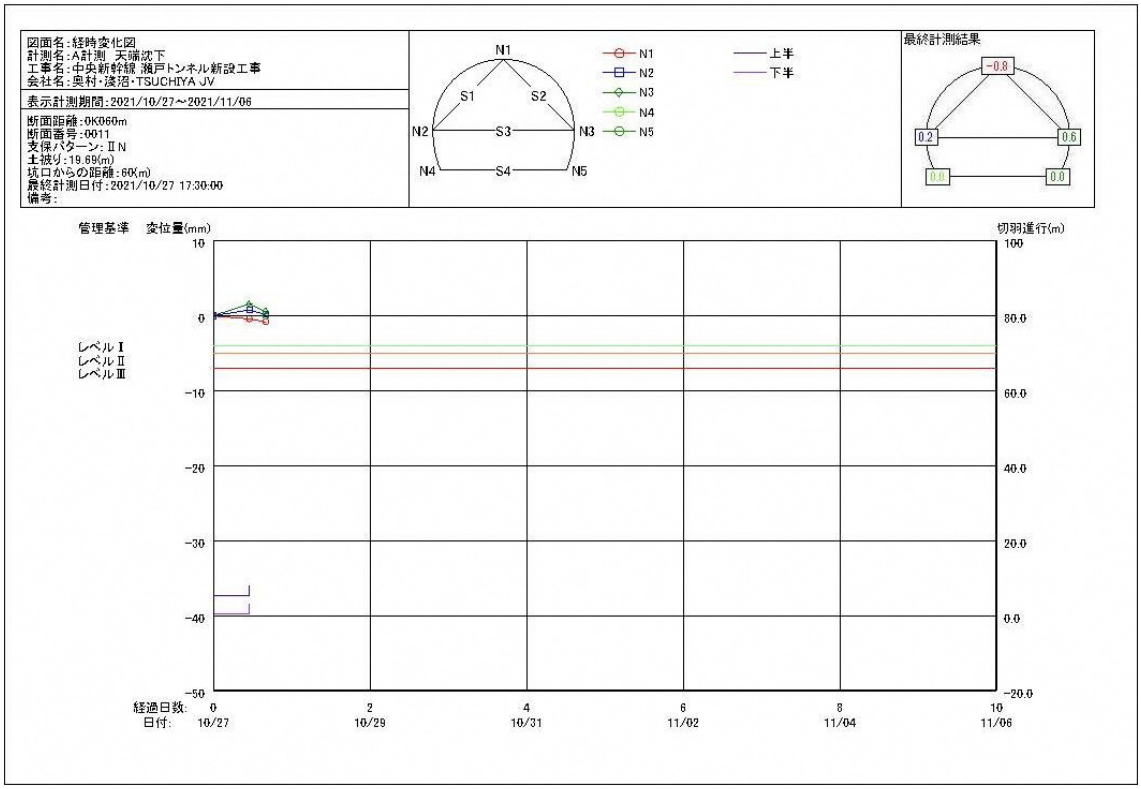


図 3-8　天端沈下計測の結果（0ｋ060m）

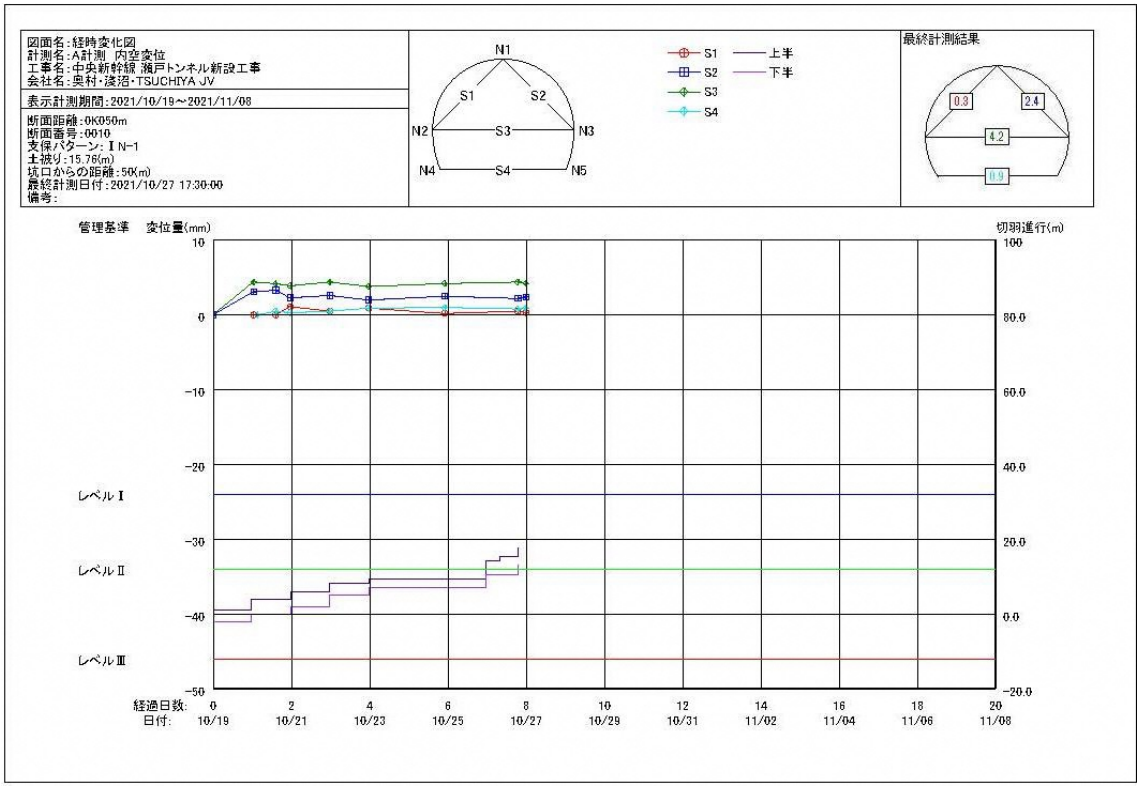


図 3-9　内空変位計測の結果（0ｋ050m）

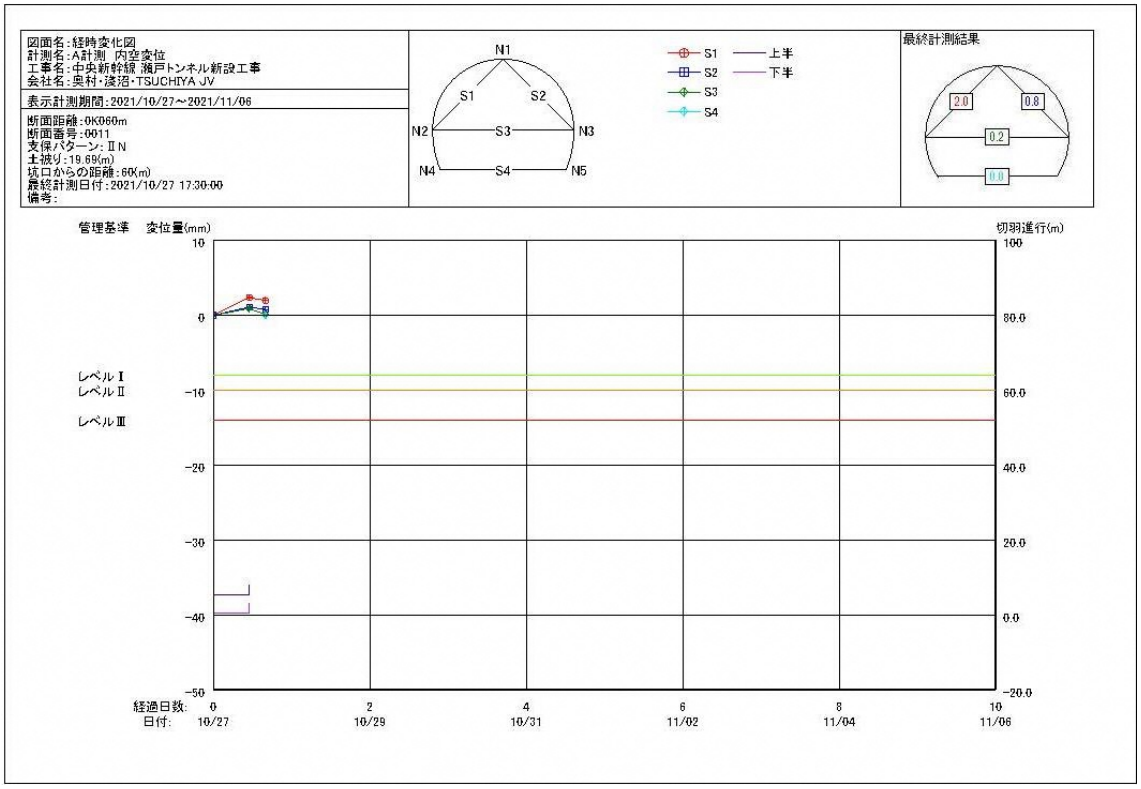


図 3-10　内空変位計測の結果（0ｋ060m）

（７） 発破前の掘削状況

災害発生時のロックボルト打設位置及び補助ベンチの設置状況を図 3-11 に示す。

災害発生時は、ドリルジャンボのガイドシェルが補助ベンチに支障する状況であり、ロックボルトを法線方向に打設できないことから、未施工区間（3 間分）があった。ただし、ロックボルト未施工区間についても、コソク後の地山点検時に浮石等がなく、所定巻厚を確保しながら吹付けコンクリートを施工し、災害直前の発破前の段階でも坑内点検時に吹付け坑壁面に変状等はなかった、との報告を受けている。

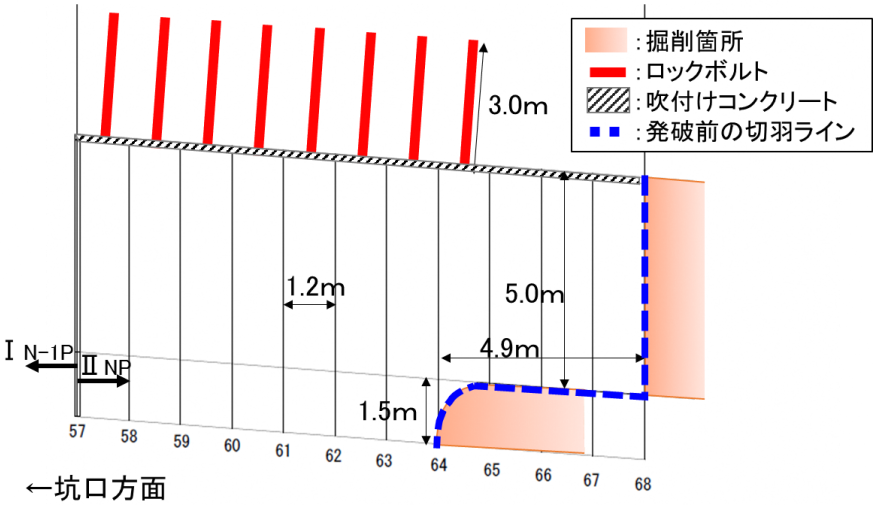


図 3-11　災害発生時のロックボルト打設位置及び補助ベンチ設置状況

災害発生時のロックボルト打設位置と肌落ち範囲との関係を図 3-12 に示す。

肌落ち範囲は、0K069.6M（②）に打設予定のロックボルト（緑色）のうちの 2 本の間に位置している。今回の肌落ちは、ロックボルトの有無に係らず、主に発破後の岩盤が露出した切羽区間（元切羽から切羽の間）で発生したものと考えられる。

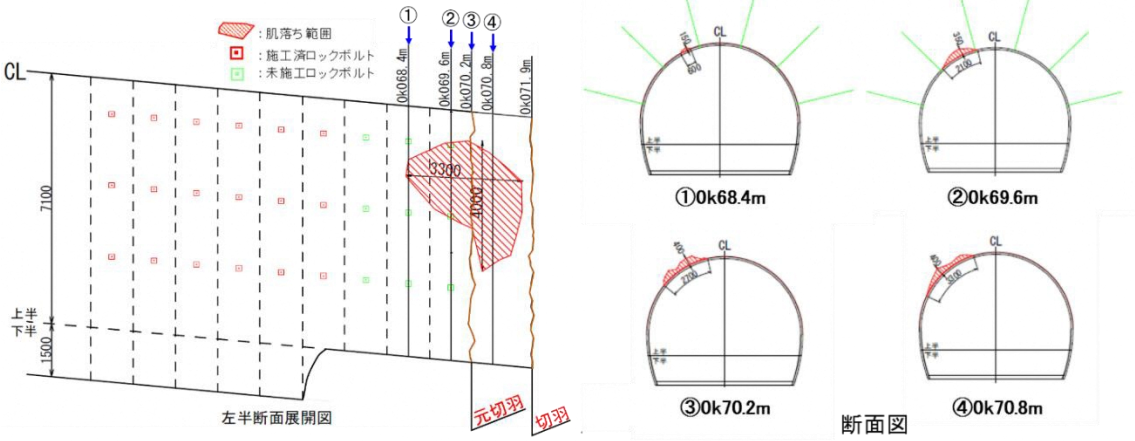


図 3-12　災害発生時のロックボルト打設位置と肌落ち範囲との関係

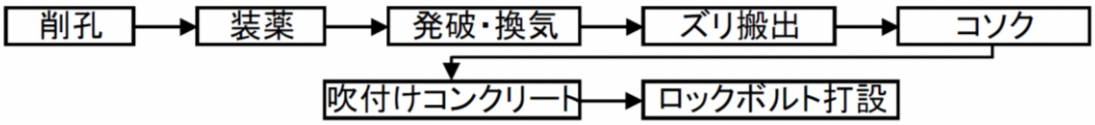
（８） 災害発生後の応急対策について

災害が発生した箇所は、１．（３）に記載の通り、吹付けコンクリートを施工し、応急対策済みである。現在のところ変位が進行している様子は見られない。

４．当日の作業の流れ

（１）掘削サイクル

掘削サイクルは次の通りである。



災害発生当日は７時から作業を開始し、３サイクル目の発破後の残薬有無の点検中に災害が発生した。

（２）施工体制

掘削は昼夜交代制で行われており、災害発生時の施工体制は以下の通りである。

作業者の属性				法令等に基づく選任等の状況			
役割	年齢	経験年数	主な資格等	発破作業指揮者（安衛則第320条）	ずい道等の掘削等作業主任者（安衛則第383条2）	点検者（安衛則第382条）	切羽監視責任者（ガイドライン）
発破作業指揮者	49	26年9か月	・ずい道等の掘削等作業主任者 ・ずい道等の覆工作業主任者 ・発破技士 ・ずい道等の掘削、覆工作業員	選任	選任	指名	－
作業員Ａ	44	25年6か月	・ずい道等の掘削等作業主任者 ・発破技士 ・ずい道等の掘削、覆工作業員	－	－	－	－
作業員Ｂ	52	25年9か月	・ずい道等の覆工作業主任者 ・火薬取扱保安責任者（甲種） ※発破技士の上位資格 ・ずい道等の掘削、覆工作業員	－	－	－	－
作業員Ｃ	39	1年11か月	・ずい道等の掘削等作業主任者 ・発破技士 ・ずい道等の掘削、覆工作業員	－	－	－	－
作業員Ｄ	42	23年4か月	・ずい道等の掘削等作業主任者 ・ずい道等の覆工作業主任者 ・発破技士 ・ずい道等の掘削、覆工作業員	－	－	－	－
作業員Ｅ	51	25年9か月	・ずい道等の掘削等作業主任者 ・発破技士 ・ずい道等の掘削、覆工作業員	－	－	－	－
切羽監視責任者	45	16年9か月	・ずい道等の覆工作業主任者 ・ずい道等の掘削、覆工作業員	－	－	－	選任

（３）時系列

15:40　朝礼・打合せ・ＫＹ

16:00　吹付け

17:20　ロックボルト

17:55　削孔

18:30　装薬

19:12　発破点火

19:17　肌落ち発生

19:20　現場より 119 番通報

19:36　消防先遣車、ドクターカー到着

19:42　レスキュー到着
19:45　恵那労働基準監督署へ事象発生の旨をＦＡＸ
19:51　警察到着
20:00　作業員Ａ，Ｂを救急車に搬出
20:25　作業員Ａを乗せた救急車が出発
20:35　作業員Ｂを乗せた救急車が出発
20:49　作業員Ａの死亡確認

（４）発破から被災までの詳細

発破から被災までの詳細は次の通りである。（図 1-2 及び図 1-3 参照）

・発破後、防音扉を開放し、換気ファンを稼働
・発破作業指揮者、作業員、切羽監視責任者が入坑
・発破で破砕したズリの法尻で発破作業指揮者が目視により残薬有無の点検
・天端で脚線を発見したため、発破作業指揮者は脚線を発見した箇所近傍の吹付け坑壁面の変状有無、切羽での開口亀裂有無の確認を行い、安全と判断して導通試験を実施この時、作業員Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄが発破作業指揮者の近くに行き、作業員Ｅと切羽監視責任者は油圧ブレーカよりも後方にいた
・発破作業指揮者は導通試験の結果、導通があったことから不発と判断し、作業員Ｅに回収治具を用意するよう指示（のちに再確認の結果、完爆と判明）
・直後に１回目の肌落ちが発生
・肌落ちした岩塊が発破で破砕したズリの山を転がり落ち、作業員Ａに衝撃した。作業員Ａは、岩塊に足が挟まり転倒し、作業員Ａの後ろにいた作業員Ｂに寄り掛かる状態となり、作業員Ｂも転倒
・作業員Ｂが作業員Ａを介抱しようとした直後、１回目より規模の大きい２回目の肌落ちが発生
・作業員Ａは全身が発破で破砕したズリの山を転がり落ちてきた岩塊の下敷きになり、作業員Ｂも２回目の肌落ちに巻き込まれ、左足が岩塊に埋まった

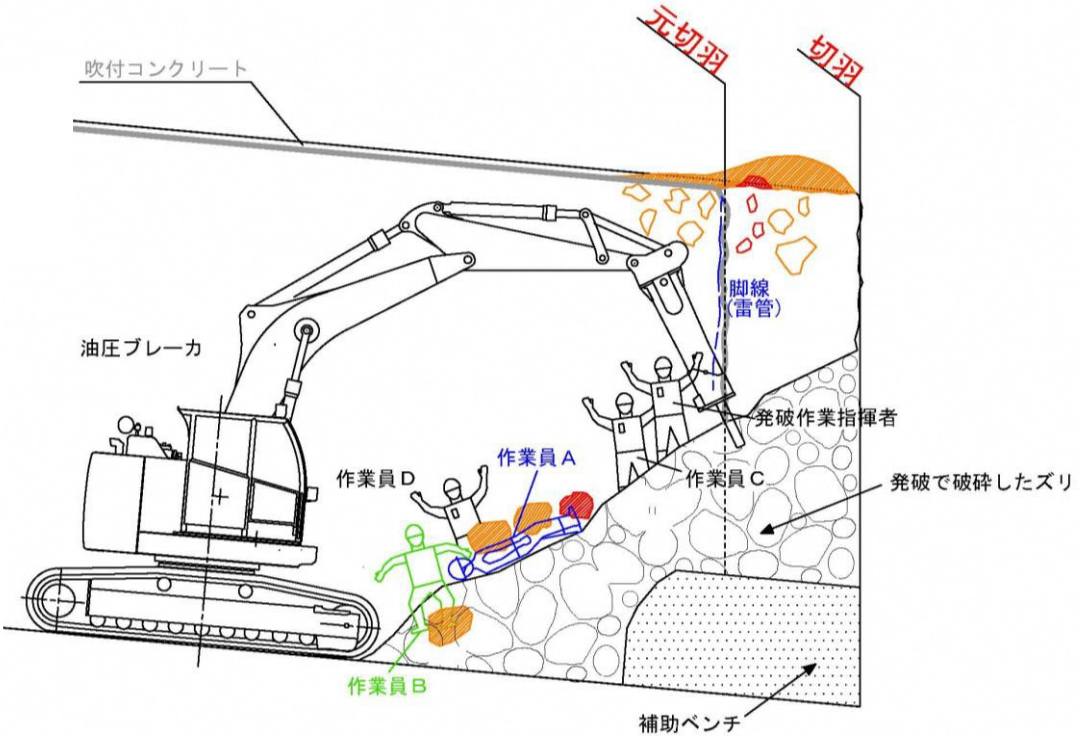


図 1-2　災害発生時の状況（側面図）（再掲）

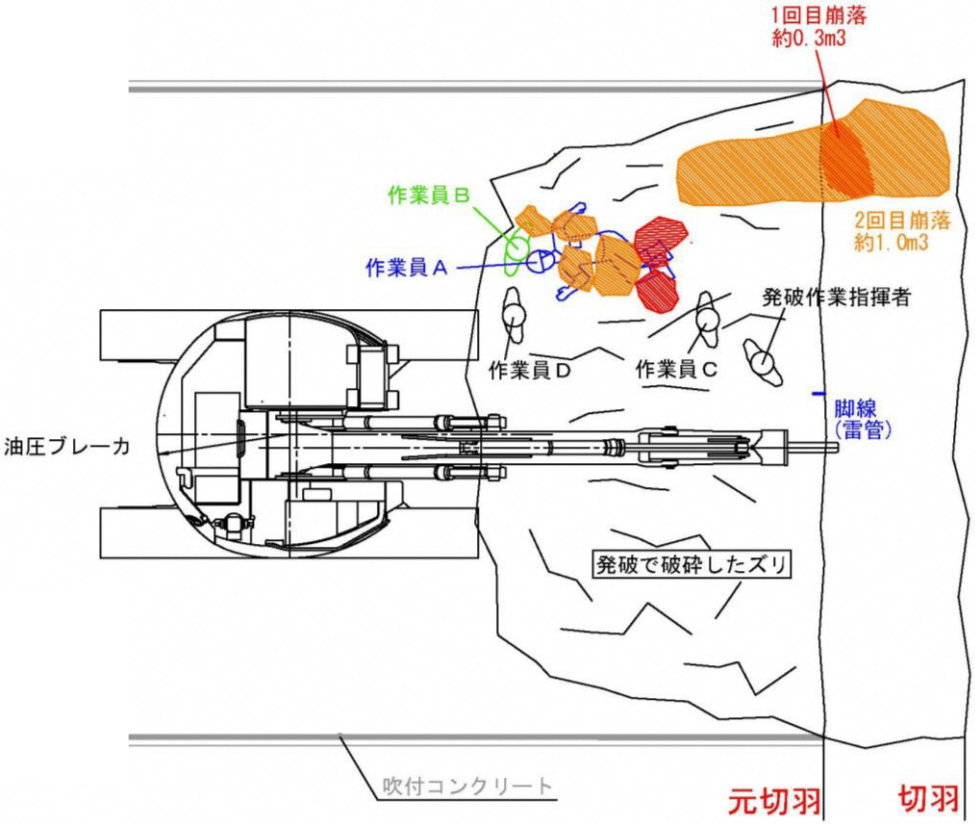


図 1-3　災害発生時の状況（平面図）（再掲）

５．原因の分析

３．（４）～（６）に記載した削孔検層・切羽観察・坑内計測の結果から、災害発生箇所において支保パターンの変更や補助工法の追加が必要な状況ではなかった。

今回の災害は、露出した地山から浮石が肌落ちしやすい発破直後の残薬有無点検中に起きたものである。そのような状況のもと、発破作業指揮者が残薬有無点検のために徒歩でズリ山を登り、他の作業員も追随したところに、肌落ちが発生し被災したものであることから、奥村組ＪＶの残薬有無点検の作業実態について、ガイドラインに照らし合わせて検証を行い、原因を分析した。

切羽への立入禁止措置については、作業手順書で発破直後の切羽直下に立入らないよう定められている一方、作業員には口頭で発破作業指揮者の指示があるまで発破で破砕したズリ山の法尻で待機するよう指導されていた。

今回の災害については、作業員がずい道等の掘削等作業主任者（発破作業指揮者を兼務）からの指示がない中で、立入禁止範囲に入ってズリ山を登ったことが原因である。

さらに、立入禁止範囲に作業員が入ったにもかかわらず、切羽監視責任者による切羽の常時監視がなされていなかったこと。また、残薬有無点検の際の切羽監視責任者の配置や常時監視について、奥村組ＪＶによる具体的な指示や作業手順書への明確な記載がなされていなかったことが原因である。

以上から、奥村組ＪＶにおいては、ガイドラインが施工会社に求める「作業手順書の作成」、「切羽監視責任者の職務」への対応が不十分であったと考えられる。

６．再発防止対策

原因の分析を踏まえ、奥村組ＪＶにおいて、以下の再発防止対策を講じることとする。

① 今回災害が発生した発破直後の切羽近傍での作業である残薬有無点検について、以下のことを徹底する。

・奥村組ＪＶは切羽の立入禁止範囲を明確に定め、作業手順を詳細に作成して作業員に周知し、ずい道等の掘削等作業主任者の指示があるまで作業員を立入禁止範囲内に立入らせないこと。

・やむを得ず作業員が立入禁止範囲に立入って切羽に近づく必要がある場合は、切羽の浮石を十分に落とし、残薬付近を除き、吹付けコンクリートを施工すること。立入禁止範囲への立入りにあたってずい道等の掘削等作業主任者は、切羽監視責任者による切羽の常時監視がなされていることを確認したうえで、高所にはドリルジャンボのマンケージなどに作業員を搭乗させて、低所にはネットやマット、マンケージなどで作業員の上部を防護した後に、立入らせること（図 6-1）。

図 6-1　設備的防護対策の例

② 残薬有無点検以外の作業についても、やむを得ず立入禁止範囲に立入って切羽に近づく必要がある場合は、ガイドラインにおいて肌落ち防止に対し有効性が認められるとされる地山等級Ⅲまでは鏡吹付けを行ったうえで、以下のことを徹底する。なお、地山等級Ⅳでも、局部的に脆弱部がある場合には鏡吹付けの要否を検討し、必要な場合には実施したうえで、以下のことを徹底する。

・再発防止対策①と同様に、立入禁止範囲への立入りにあたってずい道等の掘削等作業主任者は、切羽監視責任者による切羽の常時監視がなされていることを確認したうえで、高所にはドリルジャンボのマンケージなどに作業員を搭乗させて、低所にはネットやマット、マンケージなどで作業員の上部を防護した後に、立入らせること。

・鋼製支保工の建込時などネット等の設備的防護対策を施すことが困難な場合は、ずい道等の掘削等作業主任者は、切羽監視責任者に加えて、作業員を切羽監視にあたらせて監視体制を強化したうえで、作業を行わせること。

７．その他（中央新幹線中央アルプストンネル山口工区との比較ほか）

平成 31 年 4 月に発生した中央新幹線中央アルプストンネル山口工区（以下、「中央アルプストンネル山口工区」という。）との比較は表 7-1 の通りである。

中央アルプストンネル山口工区は、切羽後方で不安定な地山に適さない掘削断面形状としたため、支保工が崩壊して、地上部の土砂崩落が発生したものである。一方、瀬戸トンネルは、切羽近傍での作業中に肌落ちが発生したものであり、地盤沈下はなく、環境に与える影響はない。

また、「中央新幹線、中央アルプストンネル工事（山口）における地盤沈下に係る環境保全措置に対する知事意見書への回答」（令和元年 10 月、ＪＲ東海）に記載の、「山口工区以外に対する知事意見への事業者の見解」への対応状況は、表 7-2 の通りであり、事業者の見解に沿った内容を実施していた。

表7-1

瀬戸トンネルでの災害と中央アルプストンネル山口工区で発生した地上部土砂崩落との比較

	瀬戸トンネル	中央アルプストンネル山口工区
災害発生箇所	・切羽近傍	・切羽後方約5m
災害発生箇所の地質・支保パターン	・花崗岩・II_{NP}	・風化花崗岩・I_{N-1P}
災害発生状況	・発破直後に行う残薬有無点検中に切羽で肌落ちが2度発生した ・作業員が岩塊の下敷きになり被災した	・鋼製支保工の左側脚部の地山が沈下し、鋼製支保工が崩壊した ・そのためトンネル左上部の土砂がトンネル内に崩落し、地上部が地盤沈下した
災害発生要因	・作業員がずい道等の掘削等作業主任者（発破作業指揮者を兼務）からの指示がない中で、立入禁止範囲に入ってズリ山を登ったこと ・立入禁止範囲に作業員が入ったにもかかわらず、切羽監視責任者による切羽の常時監視がなされていなかったこと。また、残薬有無点検の際の切羽監視責任者の配置や常時監視について、奥村組JVによる具体的な指示や作業手順書への明確な記載がなされてなかったこと	・トンネル左下部に地耐力の小さい不安定な地山が存在した ・掘削機械のスペース確保のため不安定地山に適さない掘削断面形状であった
対策	・奥村組JVは切羽の立入禁止範囲を明確に定め、作業手順を詳細に作成して作業員に周知し、ずい道等の掘削等作業主任者の指示があるまで作業員を立入禁止範囲内に立入らせないこと ・やむを得ず作業員が立入禁止範囲に立入って切羽に近づく必要がある場合は、切羽の浮石を十分に落とし、残薬付近を除き、吹付けコンクリートを施工すること。立入禁止範囲への立入りにあたってずい道等の掘削等作業主任者は、切羽監視責任者による切羽の常時監視がなされていることを確認したうえで、高所にはドリルジャンボのマンケージなどに作業員を搭乗させて、低所にはネットやマット、マンケージなどで作業員の上部を防護した後に、立入らせること	・掘削断面形状を見直す ・坑内計測の頻度を上げる ・地山弱部を補強するなど最適な補助工法を実施する

中央アルプストンネル山口工区は、切羽後方で不安定な地山に適さない掘削断面形状としたため、鋼製支保工が崩壊して、

地上部の土砂崩落が発生したものである。

瀬戸トンネルは、切羽近傍での作業中に肌落ちが発生したものであり、地盤沈下はなく、環境に与える影響はない。

「山口工区以外に対する知事意見への事業者の見解」の対応状況

（１）今後のトンネル工事について

	意見①	意見②	意見③
知事意見	地盤沈下の環境保全措置として、切羽観察や坑内計測を行い、その結果を踏まえ、不安定な地山の判断を慎重かつ適切に行うこと。	断層及びその周辺等注意を要する地域における工事に当っては標準的な方法ではなく、審査会意見Ⅱ１に記載された取組みを踏まえ、判断することが不可欠である。	なお、不安定な地山と判断した場合には、掘削断面形状の見直しや坑内計測の頻度を上げる等、より慎重な施工管理を行うとともに、トンネル上部や脚部の補強等適切な補助工法を採用すること。
事業者の見解	環境影響評価書(2014.8)に記載のとおり、地盤沈下に関する環境保全措置は、「適切な構造及び工法の採用」であり、「土被りが小さく、地山の地質条件が良くない場合には、先行支保工(ﾌｫｱﾊﾟｲﾘﾝｸﾞ等)などの補助工法を採用する」としている。 地盤沈下に関する環境保全の実施にあたっては、切羽観察や坑内計測を行い、その結果を踏まえた地山の地質状況の確認により、坑内計測頻度を上げるなどして、不安定な地山の判断を慎重に行う。	地盤沈下に関する環境保全措置の実施にあたり、審査会意見Ⅱ１に記載された取組みを踏まえ、注意を要する地域における工事に当っては、前方探査を実施するなど、地山の性状等を十分に把握することにより、不安定な地山の判断を慎重かつ適切に行う。	地盤沈下に関する環境保全措置の実施にあたり、切羽観察や坑内計測の結果等から不安定な地山と判断した場合には、掘削断面形状の見直しや坑内計測の頻度を上げる等、より慎重な施工管理を行うとともに、必要により、トンネル上部や脚部の補強等、現場の状況に応じた適切な補助工法を採用する。
※瀬戸トンネルでの対応	切羽観察や坑内計測を行い、 ・斜坑口から48mまでは、切羽観察簿にて真砂及び風化した花崗岩からなる不安定な地山であると判断し、注入式鏡ﾎﾞﾙﾄ・注入式ﾌｫｱﾎﾟｰﾘﾝｸﾞ・鏡吹付け(5cm厚)を補助工法として掘進した。 ・48m以降は、前方探査、切羽観察簿及び坑内計測結果にて、花崗岩からなる安定的な地山であると判断した。特に発破後の肌落ち等の防止に有効な鏡吹付け(5cm厚)は引続き補助工法として採用し、掘進した。	肌落ちが発生した箇所は、前方探査、切羽観察簿及び坑内計測結果にて、花崗岩からなる比較的安定的な地山であった。断層及びその周辺等注意を要する地域ではないものの、局所的に若干風化した箇所が出現することから、前方探査（穿孔ｴﾈﾙｷﾞｰ把握による)を実施し、地山の判断を慎重に行った。	肌落ちが発生した箇所は、前方探査、切羽観察簿及び坑内計測結果にて、花崗岩からなる比較的安定的な地山であり、不安定な地山ではないと判断した。