

日下川新規放水路の施工技術等の検討について



国土交通省四国地方整備局
高知河川国道事務所

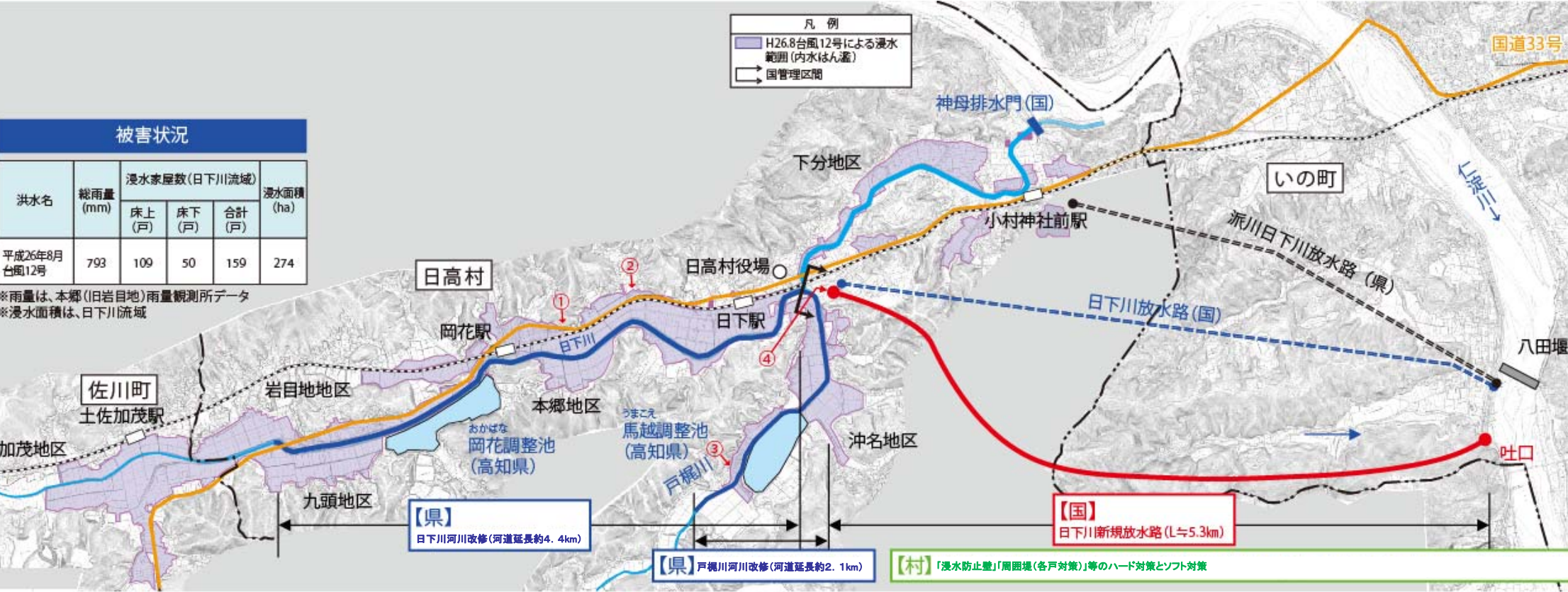
1. 事業概要

仁淀川床上浸水対策特別緊急事業(日下川)の事業概要

- 平成26年8月の台風第12号、第11号と立て続けに甚大な浸水被害が発生。
- 平成27年度より「仁淀川床上浸水対策特別緊急事業(日下川)」を採択。

被害状況					
洪水名	総雨量 (mm)	浸水家屋数(日下川流域)			浸水面積 (ha)
		床上 (戸)	床下 (戸)	合計 (戸)	
平成26年8月 台風12号	793	109	50	159	274

※雨量は、本郷(旧岩目地)雨量観測所データ
 ※浸水面積は、日下川流域



①完成前の「村の駅ひだか」浸水



②国道33号の冠水



③沖名地区浸水状況

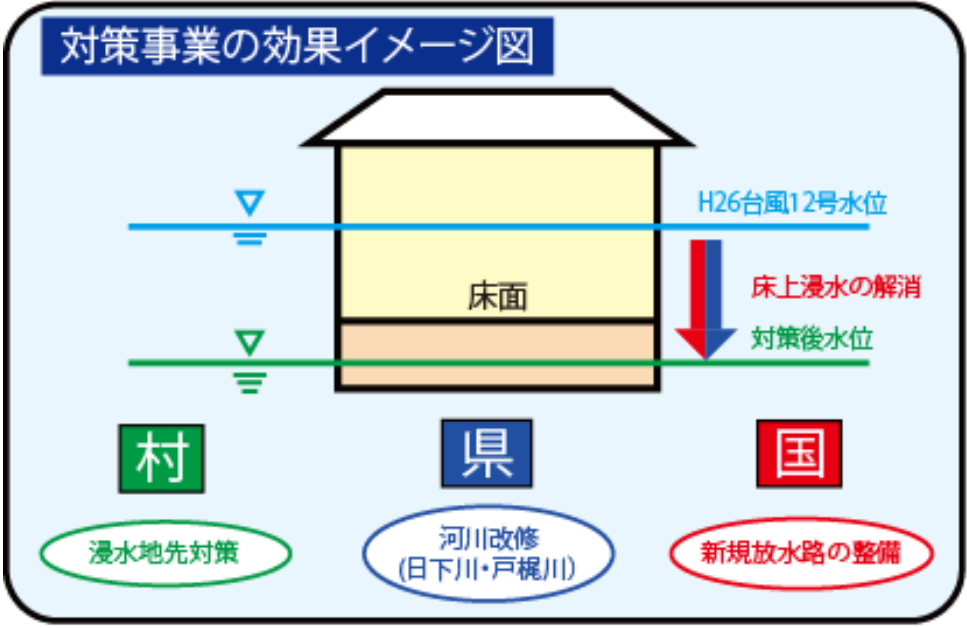


④日下川放水路(既設)の呑口

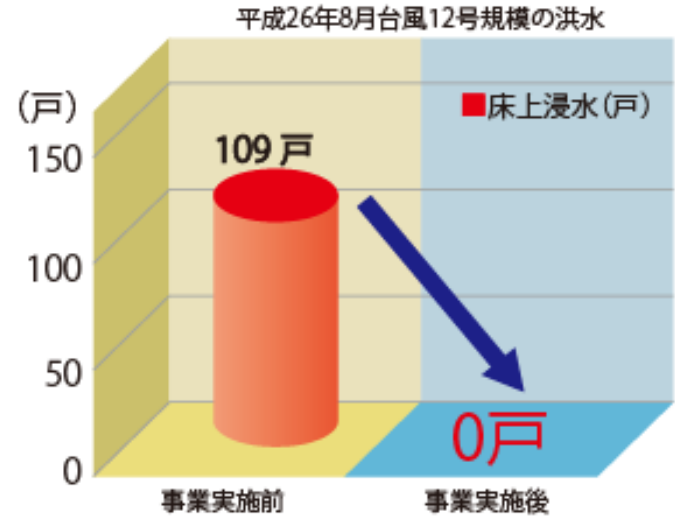


期待される効果

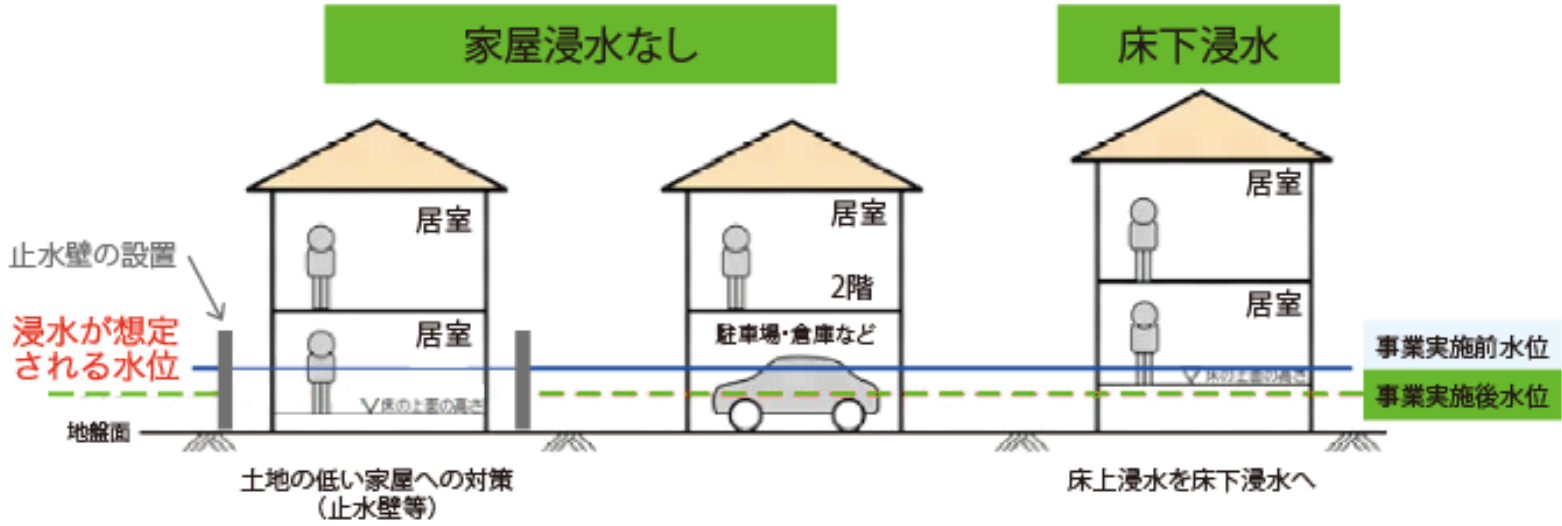
- 平成26年8月台風第12号規模の洪水に対して**床上浸水被害を解消。**
- 日下川流域の排水能力向上のため、**日下川新規放水路を整備。**



全ての事業実施した場合の床上浸水戸数

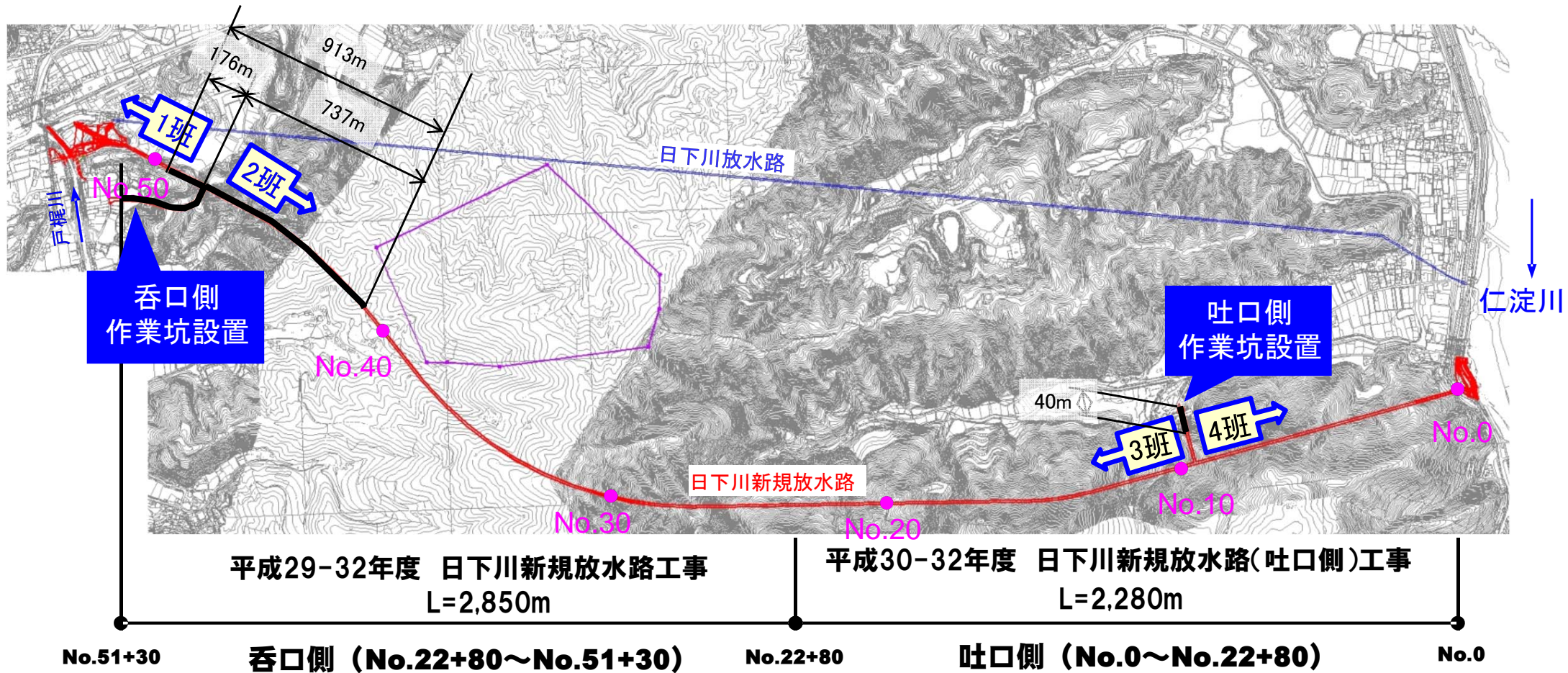


浸水のイメージ図



トンネル掘削の進捗状況

- 放水路トンネル工事は、呑口側(日高村側)と吐口側(いの町側)に作業坑を設け、その作業坑から上下流に分かれて4班体制で施工。
- 呑口側工事は、本坑到達後、上下流に約913m進行(令和元年9月26日時点)。
- 吐口側工事は、作業坑を約40m進行(令和元年9月26日時点)。



2. 地質等を考慮した施工方法の検討

既施工区間の地質の状況①

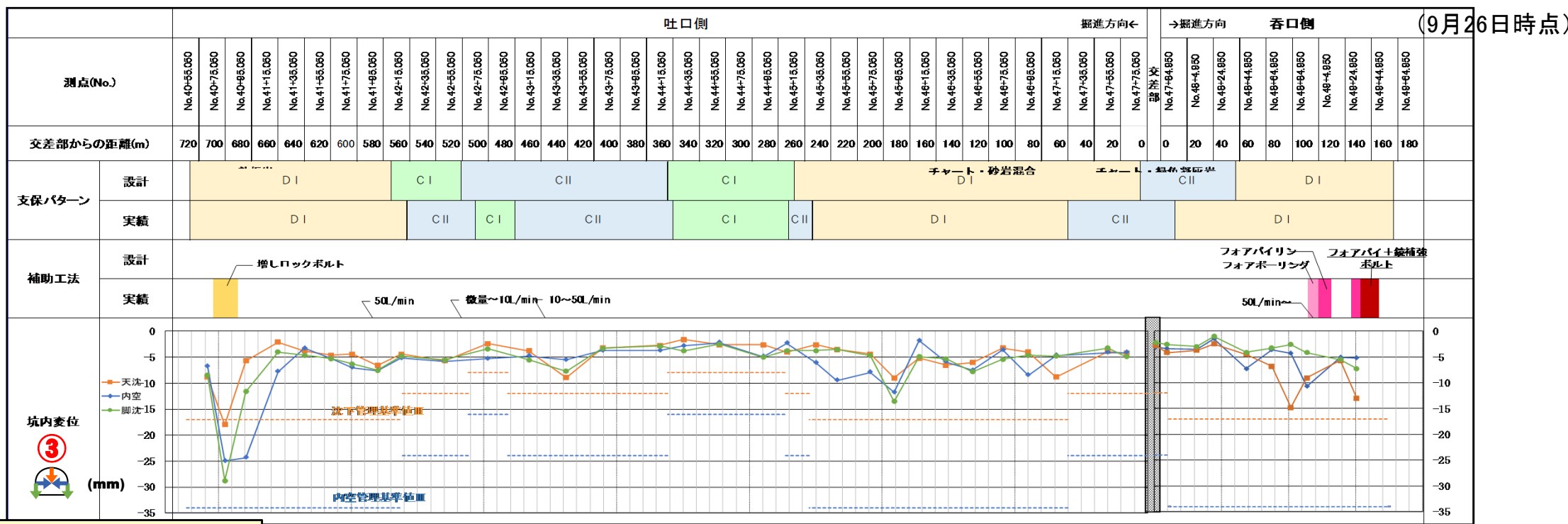
- ①掘削時の地質状況は設計時の想定と比べて、極めて複雑な地質構成となっている。
- ②肌落ち※¹や小崩落※²が複数回発生しており、設計段階では想定していなかった地質の箇所でも補助工法が必要となっている。

※1 「肌落ち」は切羽面から小規模な土塊が剥がれ落ちる現象
 ※2 「小崩落」は10m³～ 50m³程度の土塊が掘削実施外の範囲から抜け落ちるもしくは切羽面から崩れ出す現象を指す。(9月26日時点)

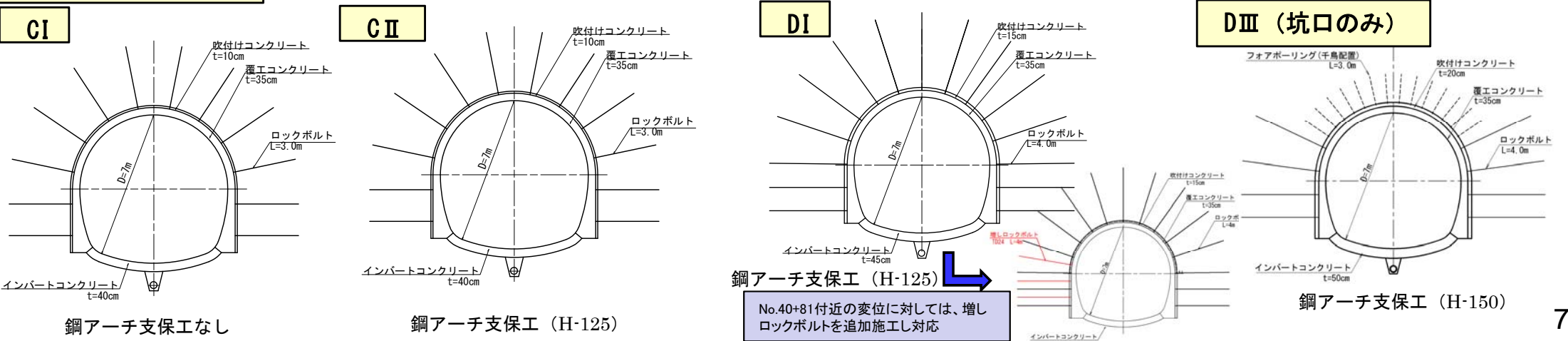
測点(No.)	吐口側																										掘進方向←	交差部	→掘進方向	呑口側																			
	No.40+55.050	No.40+75.050	No.40+95.050	No.41+15.050	No.41+35.050	No.41+55.050	No.41+75.050	No.41+95.050	No.42+15.050	No.42+35.050	No.42+55.050	No.42+75.050	No.42+95.050	No.43+15.050	No.43+35.050	No.43+55.050	No.43+75.050	No.43+95.050	No.44+15.050	No.44+35.050	No.44+55.050	No.44+75.050	No.44+95.050	No.45+15.050	No.45+35.050	No.45+55.050	No.45+75.050	No.45+95.050	No.46+15.050	No.46+35.050	No.46+55.050	No.46+75.050	No.46+95.050	No.47+15.050	No.47+35.050	No.47+55.050	No.47+75.050	No.47+84.950	No.48+4.950	No.48+24.950	No.48+44.950	No.48+64.950	No.48+84.950	No.49+4.950	No.49+24.950	No.49+44.950	No.49+64.950		
交差部からの距離(m)	720	700	680	660	640	620	600	580	560	540	520	500	480	460	440	420	400	380	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180		
地質 ①	設計	粘板岩・砂岩互層				砂岩				粘板岩・砂岩互層				チャート		砂岩				緑色凝灰岩		粘板岩						チャート	粘板岩・砂岩互層																				
	実績	石灰岩	粘板岩・石灰岩混合		砂岩		粘板岩		粘板岩・砂岩互層				粘板岩				砂岩		粘板岩・緑色凝灰岩		粘板岩		チャート混合		チャート・砂岩混合		チャート		粘板岩		粘板岩・緑色凝灰岩		粘板岩		粘板岩・緑色凝灰岩														
支保パターン	設計	D I				C I		C II				C I		D I						C II		D I																											
	実績	D I				C II		C I		C II				C I		C II		D I						C II		D I																							
湧水量	L/min	50L/min				C II		微量		10L/min				10~50L/min		C I		C II		D I						C II		50L/min																					
肌落ち・小崩落	■ : 肌落ち ■ : 小崩落																																																
補助工法 ②	設計	増しロックボルト																																															
	実績																																																

既施工区間の地質の状況②

③坑内変位はほとんどの箇所管理基準値以下となっている。
 (No.40+81付近のみ変位増加がみられ、増しロックボルトを追加施工。)

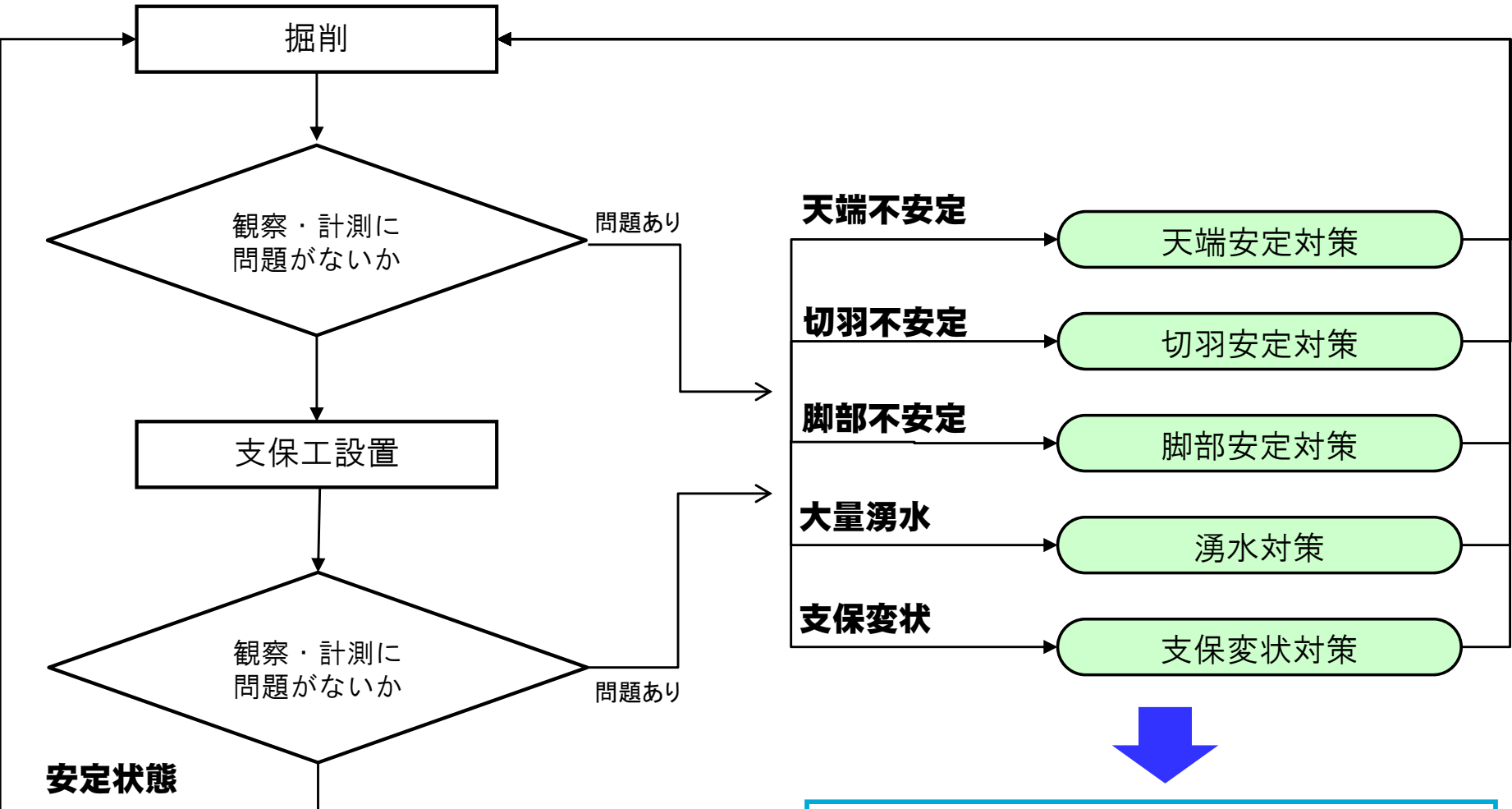


パターン毎の支保構造



施工時の観測・計測方法(結果に基づく支保、補助工法の選定)

○支保工、補助工法の選定については、切羽や湧水の状況の観察、トンネル変位計測結果などの確認により、各種基準類の考え方をもとに適切な対策を実施。



各対策工選定フローにて検討

肌落ち等発生箇所の岩種の分析

- 肌落ち等が発生した岩種は粘板岩を含む地質が多く、付加体地質からなる当該地の粘板岩には微細な亀裂が発達し脆弱部も確認。
- トンネル掘削による応力解放や水・空気に触れることで、粘板岩などに緩みが生じ肌落ち等が発生したと推定。
- 今後、未施工区間の主要な地質である粘板岩や頁岩などで同様の事象の発生を懸念。

岩種別の単位施工延長あたりの肌落ち等土量 (9月26日時点)

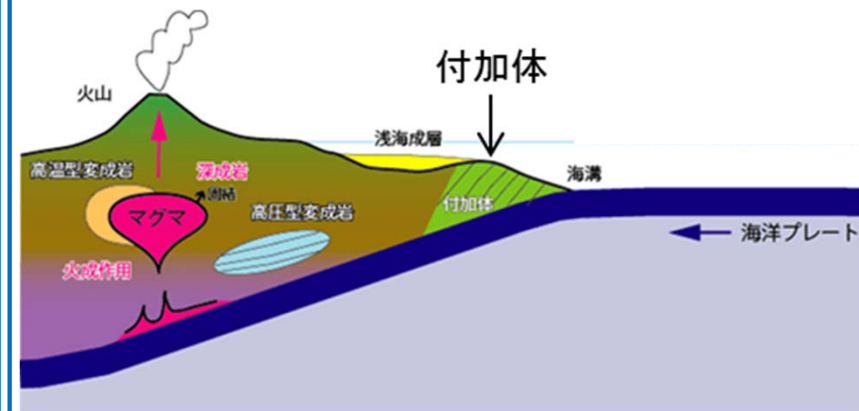
岩種	合計距離 (m)	崩落合計 (m ³)	肌落ち等土量(m ³ /m)			
			0.0	0.2	0.4	0.6
粘板岩	368	207.3	[Bar chart showing 0.563 m ³ /m]			
粘板岩・緑色凝灰岩混合	50	3.0	0.060			0.563
粘板岩・砂岩互層	230	11.0	0.048			
石灰岩	20	0.3	0.015	肌落ちのみ		
緑色凝灰岩	9	0.1	0.011			
砂岩	172	0.1	0.001			
チャート	16	0.0	0.000			
チャート・緑色凝灰岩混合	27	0.0	0.000			
チャート・砂岩混合	5	0.0	0.000			
粘板岩・チャート混合	4	0.0	0.000			
粘板岩・石灰岩混合	9	0.0	0.000			

※肌落ち・小崩落箇所での肌落ち等土量について明確な記録がない箇所については、おおよその目安として肌落ち0.1m³/箇所、小崩落10m³/箇所を想定した単位mあたりの土量を算定。

※頁岩は粘板岩と明確な区別が出来ないため、粘板岩として整理。

付加体について

- 四国は海洋プレートが大陸プレートに沈み込む環境で形成された地域
- 日下川流域は地下浅部で付加体地質となっており破碎帯が多い
- 地質的特徴として、地層の混在が多く、微細な亀裂が密着して発達



粘板岩及び頁岩の特徴

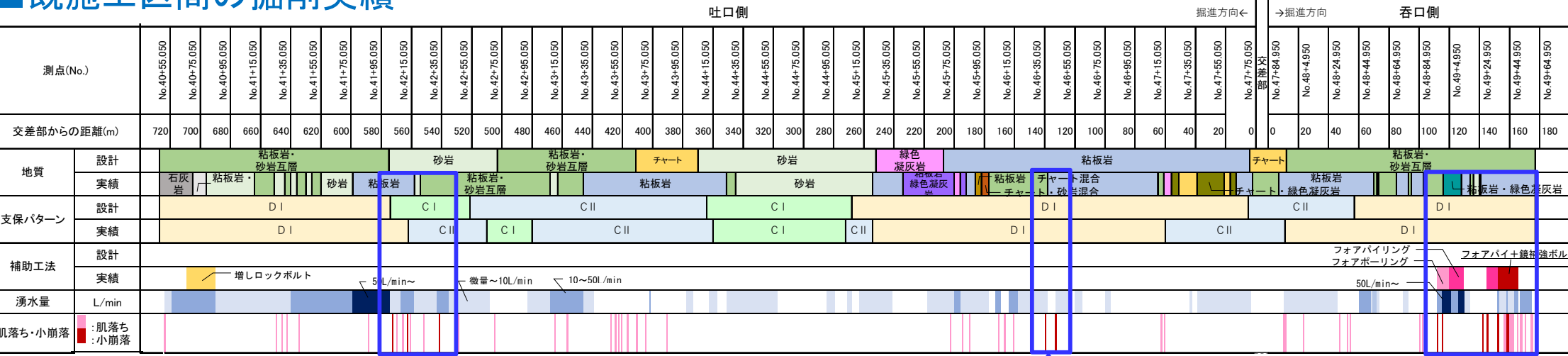
- 粘土が固結したものであり、薄くはがれやすく、また水による劣化を生じやすい。
- 付加体地質の粘板岩では、圧力によって変成を受け潜在的な亀裂が発生しており応力解放や水・空気に触れることで緩みが生じ肌落ちや崩落を生じやすい。
- 微細な亀裂が密着しているため調査時には弾性波速度の値は高めに検出される。

肌落ち等のリスクが高い地質境界部の不確実性

- 既施工区間の肌落ち等発生箇所は、粘板岩を含む地質境界部で発生。
- また、事前の地質評価に基づく地山等級や地質境界とは異なる状況であることが判明。
- 未施工区間も多くの地質境界(蛇行により縦横に介在)が存在すると想定され、地質境界部において肌落ち等のリスクあり。

■既施工区間の掘削実績

(9月26日時点)

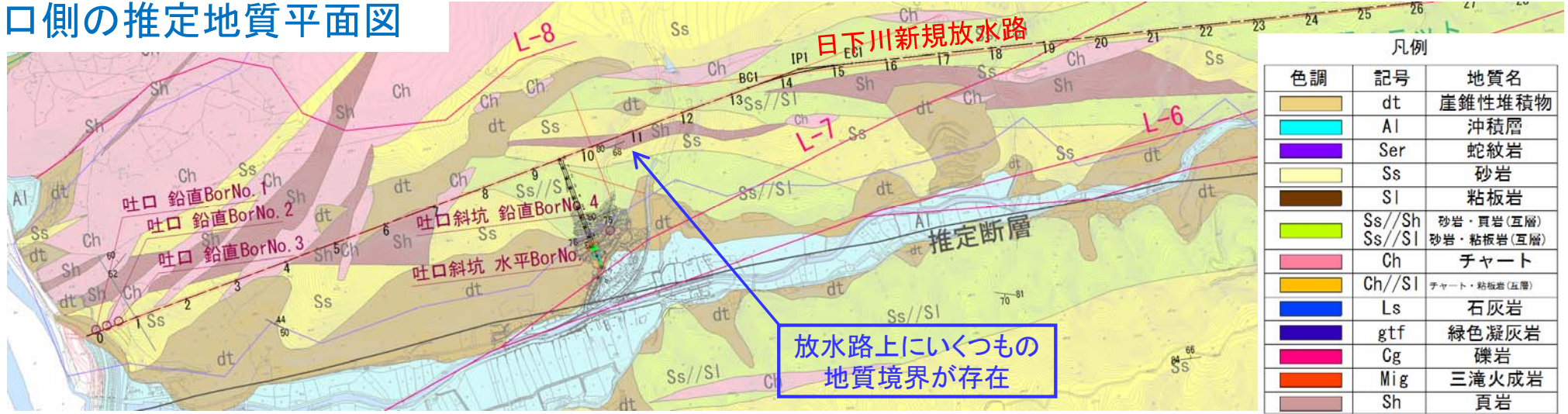


小崩落箇所(3箇所)

小崩落箇所(2箇所)

小崩落箇所(7箇所)

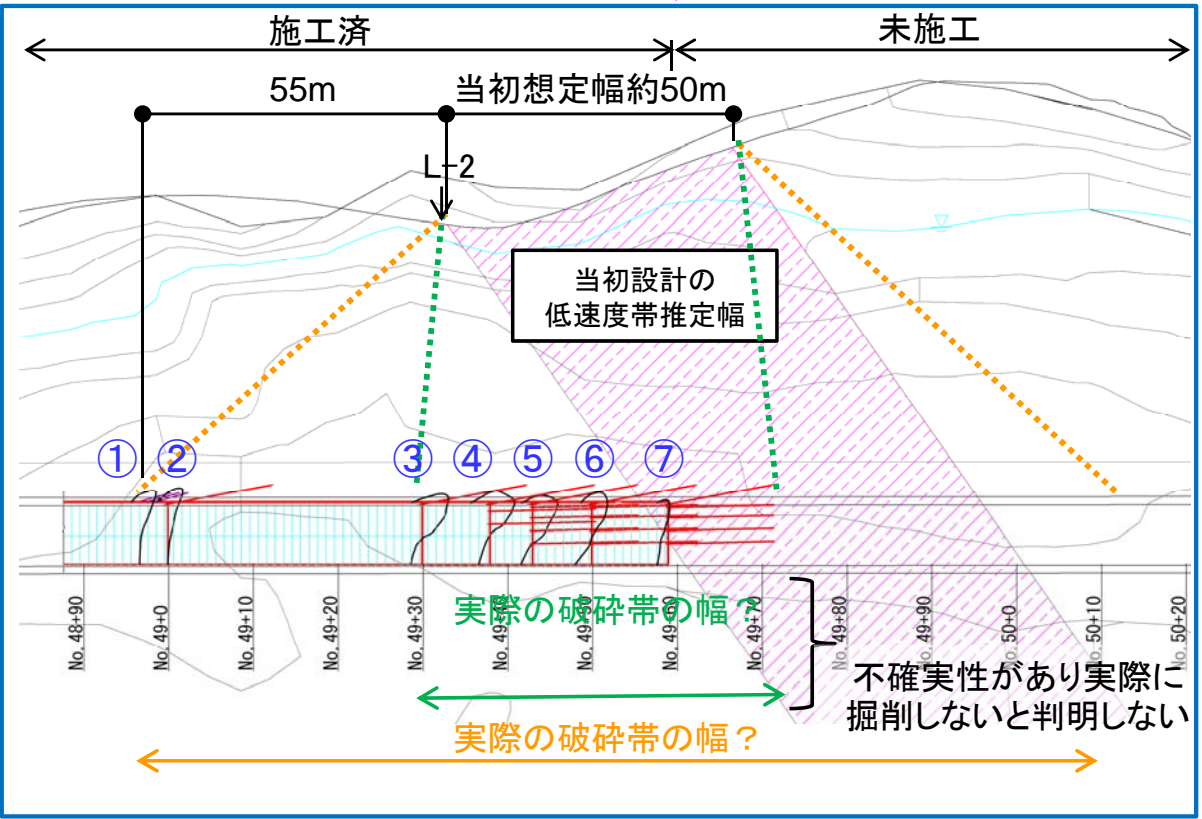
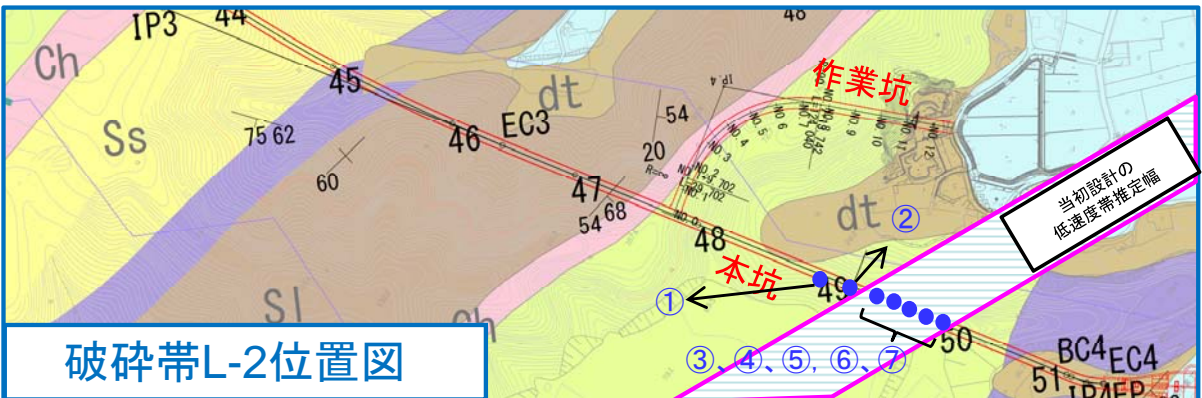
■吐口側の推定地質平面図



凡例		
色調	記号	地質名
[Orange]	dt	崖錐性堆積物
[Cyan]	Al	沖積層
[Purple]	Ser	蛇紋岩
[Yellow]	Ss	砂岩
[Brown]	Sl	粘板岩
[Light Green]	Ss//Sh	砂岩・頁岩(互層)
[Light Blue]	Ss//Sl	砂岩・粘板岩(互層)
[Pink]	Ch	チャート
[Orange]	Ch//Sl	チャート・粘板岩(互層)
[Blue]	Ls	石灰岩
[Dark Blue]	gtf	緑色凝灰岩
[Red]	Cg	礫岩
[Orange]	Mig	三滝火成岩
[Grey]	Sh	頁岩

破砕帯の位置等の不確実性

- 設計で想定していた破砕帯L-2よりも約55m手前より小崩落が発生し、補助工法を実施。
- 設計時の調査結果で得られた破砕帯の推定位置や推定幅との違いがあり、不確実性がある。



破砕帯L-2近傍における施工状況



切羽天端および鏡面崩落状況



小口径長尺先受工法 (AGF工法)



小口径長尺鋼管鏡補強工 (鏡ボルト)

既施工区間の施工実績による整理

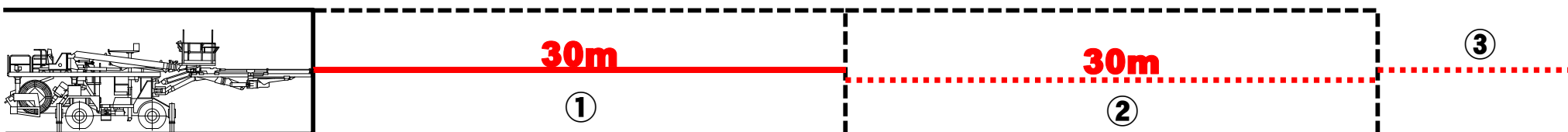
- 極めて複雑な地質構成であり、これらを予め明らかにして設計することは現実的ではない。
- 掘削時の切羽の状況から判定した支保については、概ね管理基準値以下でおさめられており、選定は適切と考えられる。
- 粘板岩、頁岩やこれらと砂岩との互層等や地質境界部においては、当初の想定よりも肌落ち等が多く、中には補助工法が必要となっている。
- 破碎帯の位置や、幅については当初の想定よりも縦断方向に違いがあり、かつ、破碎帯周辺にも小崩落が発生し、補助工法が必要となっている。
- 切羽の評価に基づく補助工法の選定・実施は、現行の考え方で問題なく施工が出来ている。

トンネル掘削時のリスク管理のための検討②

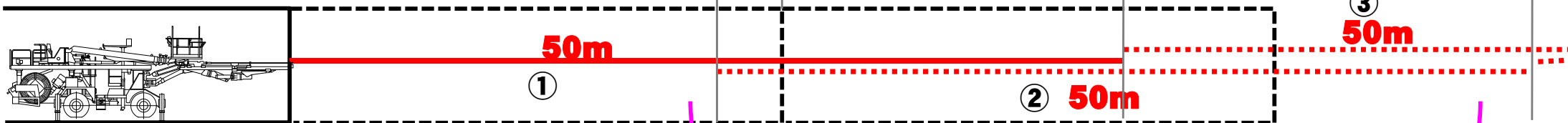
- 切羽観察、湧水状況やトンネル変位計測の結果に問題がないかを確認し、各事象に対応した対策工選定フローに従って補助工法や支保構造のランクアップを検討。
- 現在、実施している削孔検層について、破碎帯等のリスクの高いところを中心に削孔検層の延長を見直し、ラップ区間の延伸などによる不確実性の低減を実施。

削孔検層の拡充

現在の手法



延長等の見直し例



ラップ

現状30mごとの頻度で、長さ30mの削孔検層を実施
→25mごとの頻度で、長さ50mの削孔検層を試験的に効果を確認する。
※ラップ長については、試験結果を確認し今後変更の可能性あり

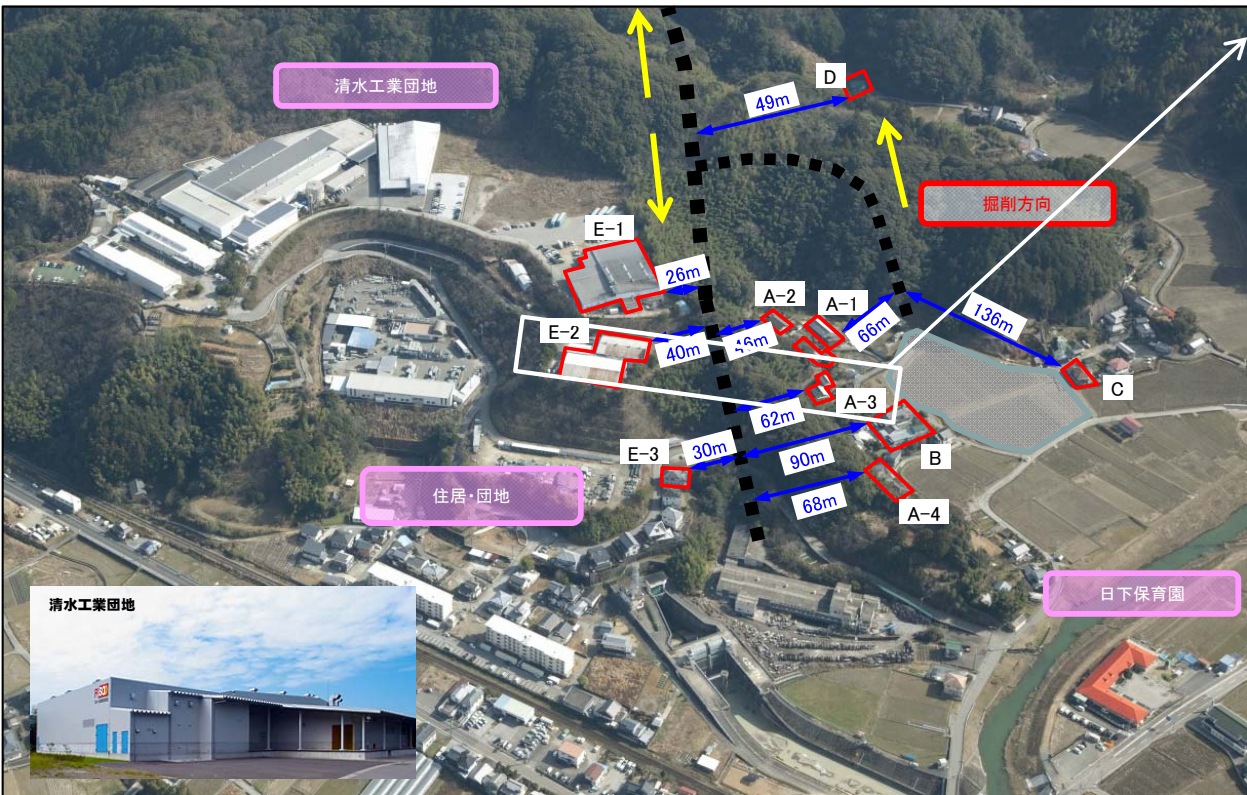
今後の進め方(まとめ)

- 支保及び補助工法については、これまで切羽観察、湧水状況やトンネルの坑内変位の計測結果等を確認しつつ各事象に対応した支保・補助工法を選定しており、適切に掘削を進める事ができている。
- 今後、未施工区間の掘削を進めるにあたっては、未施工区間に潜在する地質・地盤の不確実性を踏まえて作成した「地質・地盤推定図」を参考にしつつ、切羽の評価に基づきランクアップも考慮しながら、支保及び補助工法を適切に実施する。
- 現在、実施している削孔検層について、破碎帯等のリスクの高いところを中心に削孔検層の延長の見直し、ラップ区間の延伸などによる不確実性の低減を実施する。

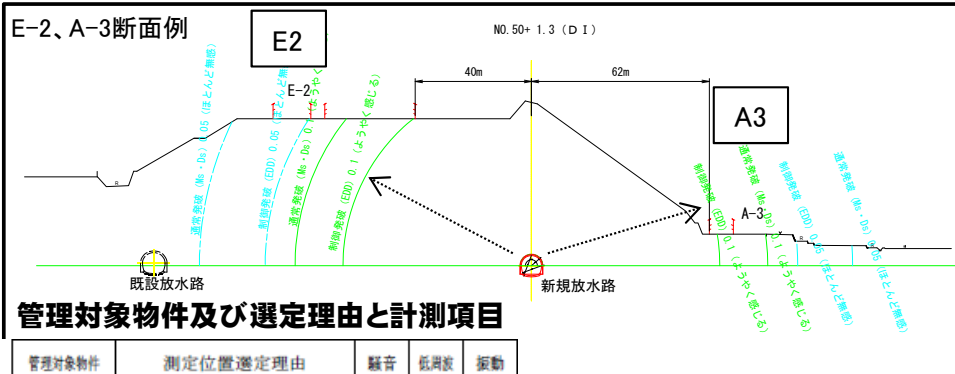
3. 周辺環境への配慮の検討

騒音・振動への配慮の対象

- 周辺には家屋及び精密機械を取り扱う工業団地、保育園などが存在するため、掘削にあたっては、騒音及び振動への配慮が必要。
- 事前に騒音及び振動の影響を与える可能性のある家屋を選定し、騒音等の測定項目を設定した後、各地点に計測器を設置し、オンラインで騒音、低周波音、振動速度を監視。
- 騒音等について管理値をもうけ、計測値が管理値以下となるように努めている。



呑口部状況



管理対象物件及び選定理由と計測項目

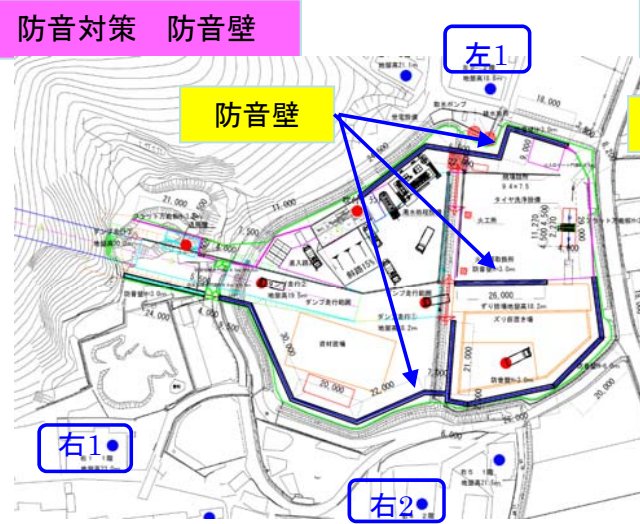
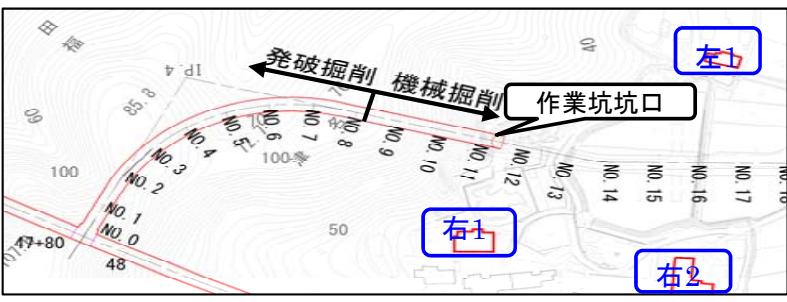
管理対象物件	測定位置選定理由	騒音	低周波	振動
A-1	作業坑坑口最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○
A-2	呑口側掘削時最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○
A-3	呑口側掘削時最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○
A-4	呑口側掘削時最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○
B	計算上騒音レベル最大	○	○	
C	計算上騒音レベル2番目	○	○	
D	作業坑坑口～呑口側掘削時最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○
E-1	呑口側掘削時最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○
E-2	呑口側掘削時最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○
E-3	呑口側掘削時最小離隔 計算上振動速度最大	○	○	○



計測器設置状況

騒音対策 防音壁及び防音扉の設置

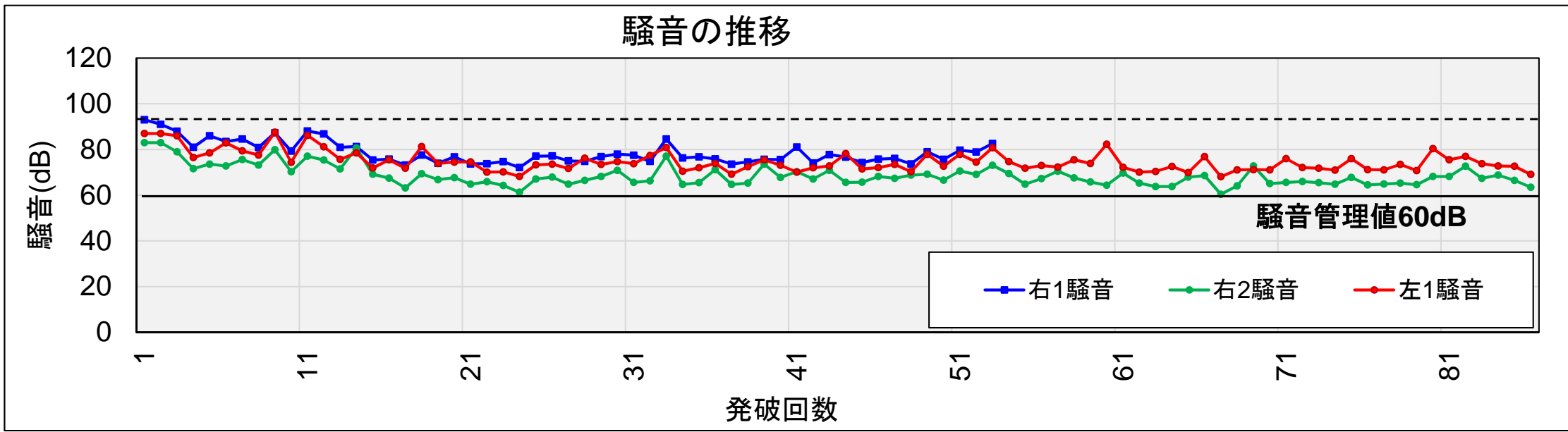
○防音壁及び防音扉の設置後に発破掘削を開始。騒音は発破開始後、管理値を超過。掘削が進むに従い若干減少傾向にはあるが、引き続き管理値を超過した。



防音対策 コンクリートパネル式防音扉

標準的な防音扉(ガラスウール) → 変更した防音扉(コンクリートパネル)

- ・ガラスウール充填(t=100)
減音効果
騒音 : 13dB(カタログ値)
- ・コンクリートパネル(t=200)
減音効果
騒音 : 21dB(実測値)



騒音対策 その他一部区間への対策

- 騒音の管理値を超える一部の区間(作業坑及び本坑の呑口側)においては、夜間で制限発破を採用。
- また、ヒアリングの結果により一部の家屋には二重サッシの設置による個別対応を実施し、その結果、測定値が60dBを下回った。

その他一部区間で実施している対策

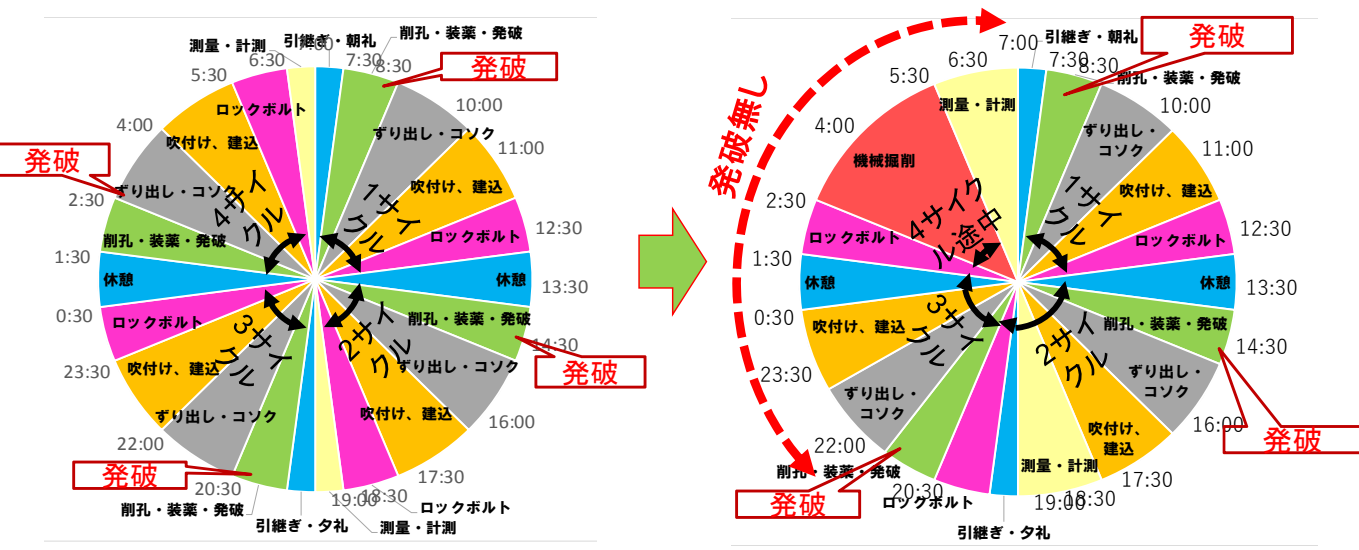
制限発破の実施

発破時間の当初計画

24時間発破施工として
昼勤2サイクル、夜勤2サイクル
を標準で計画

発破時間の見直し

22時~7時までの発破無しとし
昼夜で3.5サイクル
程度で実施

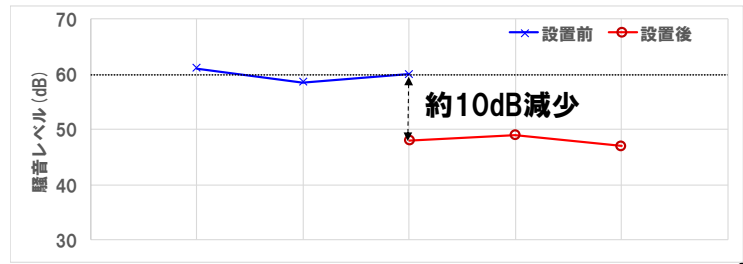
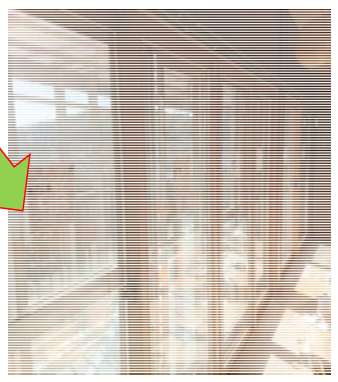


家屋への二重サッシの設置

設置前

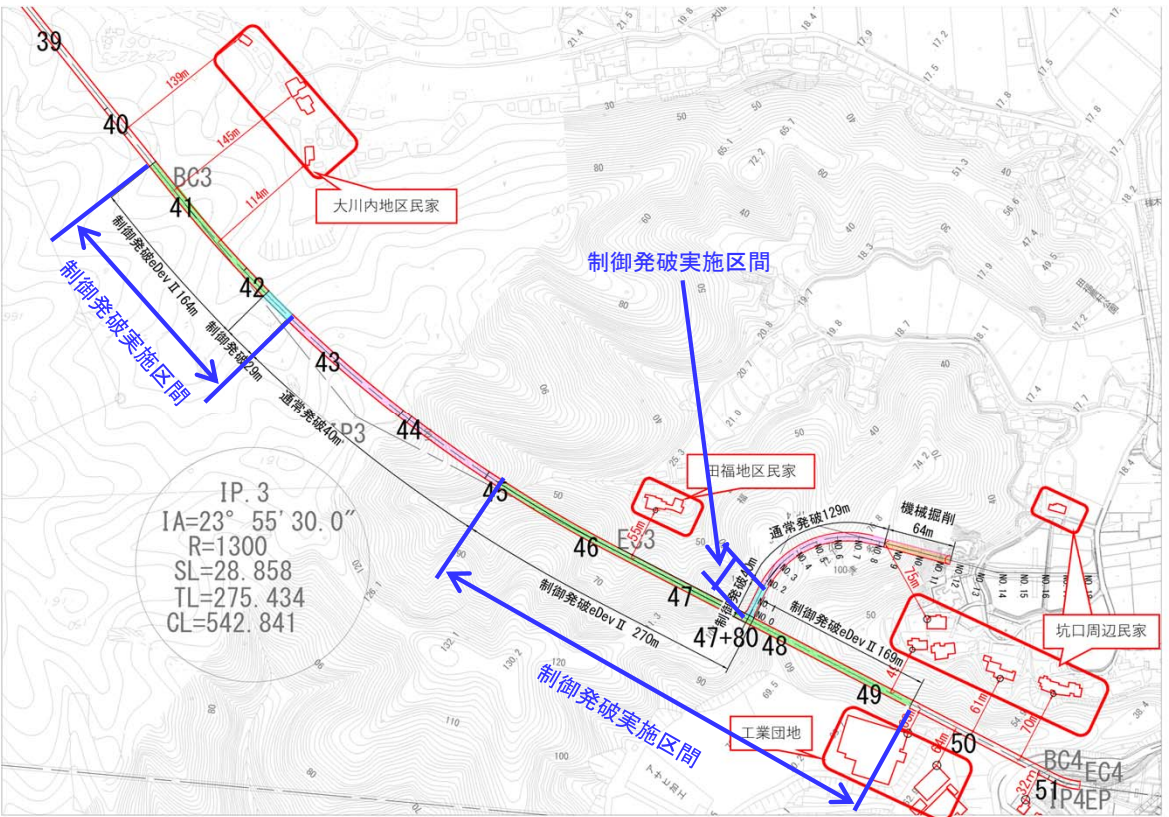


設置後

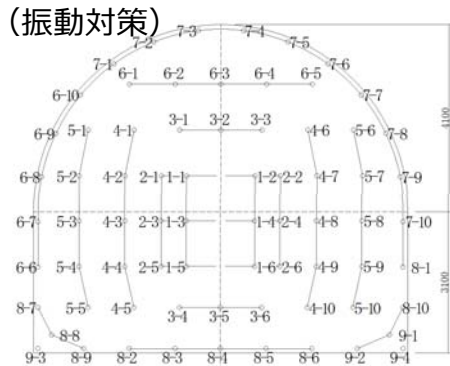
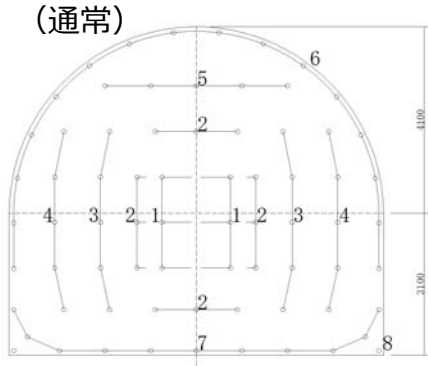


振動対策 一部区間における制御発破の実施

- 通常使用する段発電気雷管による発破では、振動レベルが管理値を超過し、生活や操業に影響を与える恐れがあったため、一部区間において制御発破を実施。
- 制御発破を実施したことにより、**振動速度が管理値を下回る効果**があった。

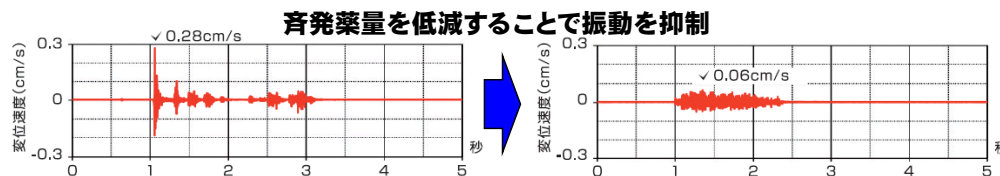


通常、1段～8段(10孔/段程度)で分割するが、高精度電子雷管により1孔/段に分割し、斉発薬量を低減することで振動を減少。



段発電気雷管による発破
1段(10孔/段程度)0.25秒間隔

高精度電子雷管による発破
1段(1孔/段)0.03秒間隔



斉発薬量を低減することで振動を抑制

高精度電子雷管を用いた発破の効果

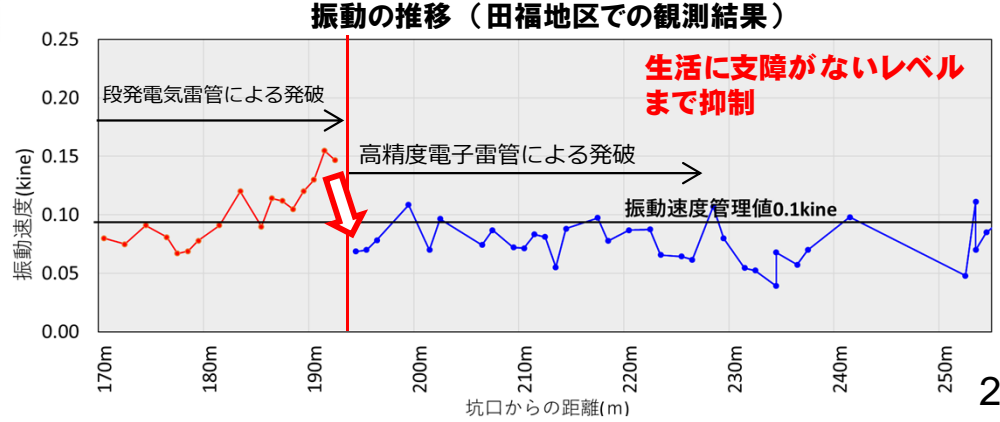


高精度電子雷管の装置と火薬を装填中



高精度電子雷管器具

段発電気雷管 → 高精度電子雷管

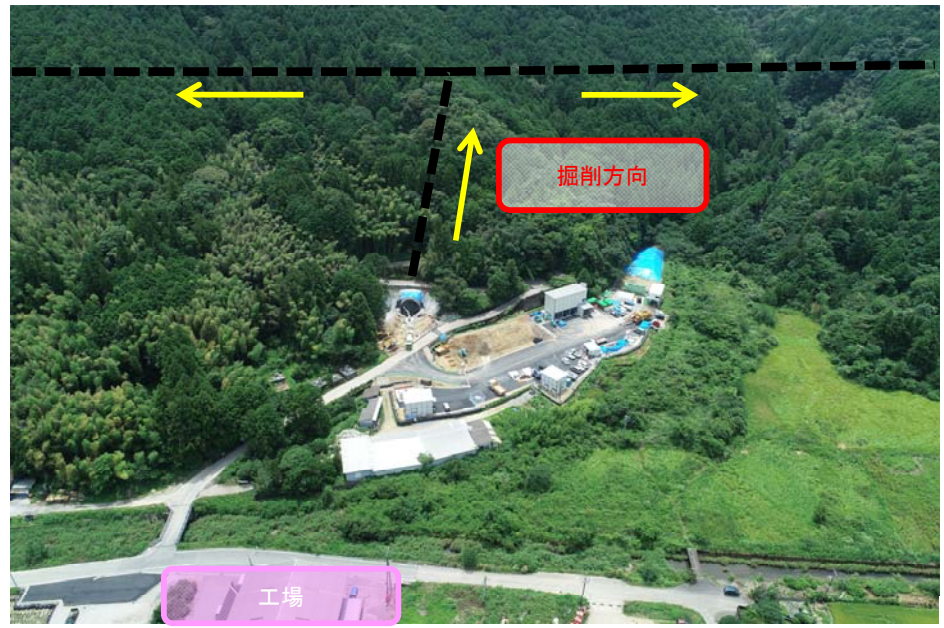


生活に支障がないレベルまで抑制

振動速度管理値0.1kine

騒音・振動対策 吐口側での対応

○吐口側の防音対策についても、防音壁や時間制限等の対策を実施することで減音効果を発揮。



吐口部状況

防音対策 防音壁

防音壁

・防音壁内外で約-20dBの減音効果

防音対策 コンクリートパネル式防音扉

標準的な防音扉(ガラスール)

・ガラスール(t=100)
減音効果
騒音 : 13dB(カタログ値)
低周波音: 8dB(カタログ値)

変更した防音扉(コンクリート充填式タイプ)

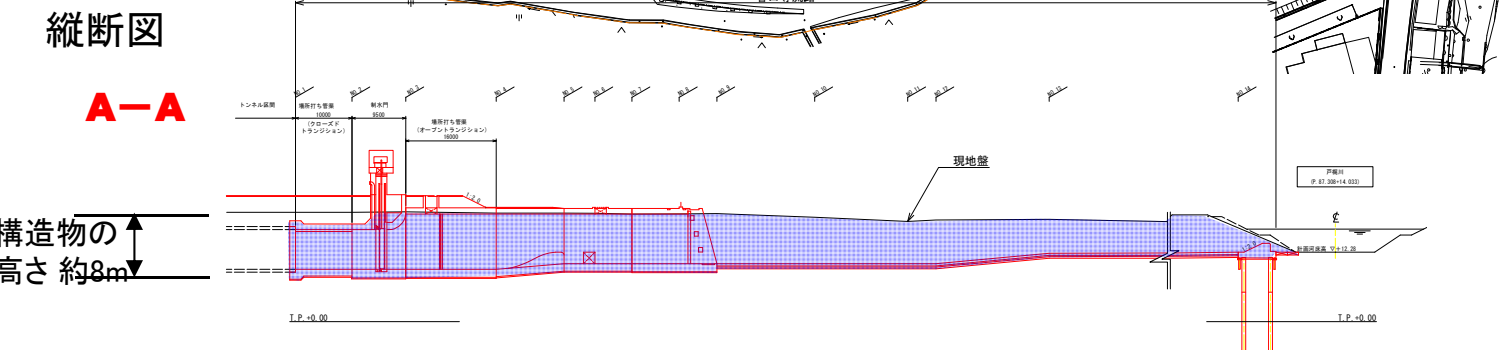
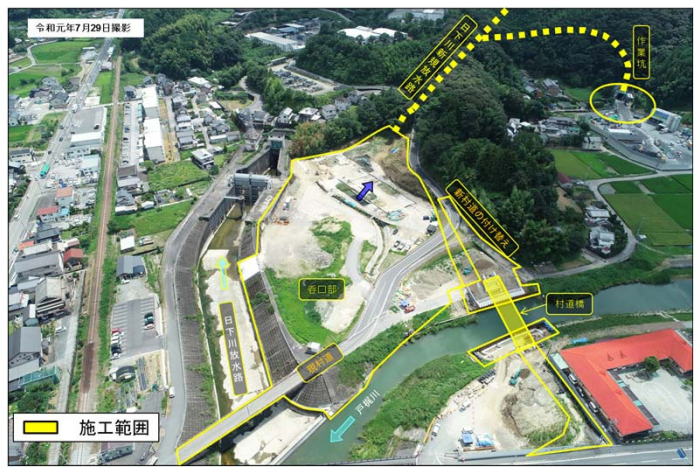
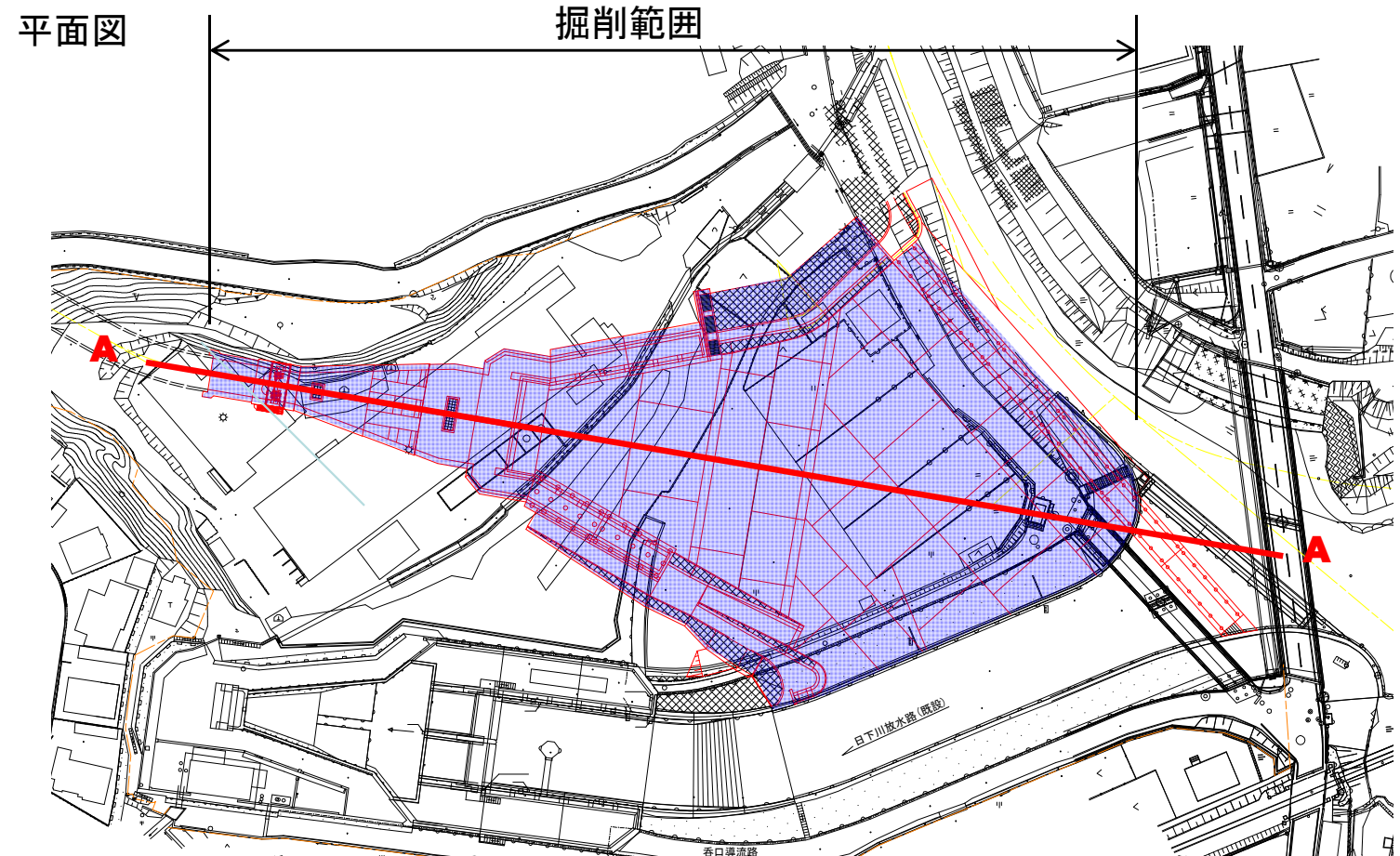
・コンクリートタイプ
総重量約40t
減音効果
騒音 : 26dB(カタログ値)
低周波音: 20dB(カタログ値)

防音対策 時間制限発破

作業坑から交差部までは、夜間の発破については、随時状況を把握しながら発破作業を進め、住民とコミュニケーションを取りながら、必要に応じて、7時～23時に規制するサイクルを実施する。(9月26日時点では発破を用いた掘削は実施していない)

自然由来の重金属を含む土砂の適切な処理の経緯① 新規放水路呑口部の土砂掘削範囲

- 放水路の呑口を形作るため、当該箇所土砂を掘削し、撤去する必要。
- 掘削予定の土砂に自然由来の砒素等が含まれることが判明。



自然由来の重金属を含む土砂の適切な処理の経緯② 土壌調査の結果(概略調査)

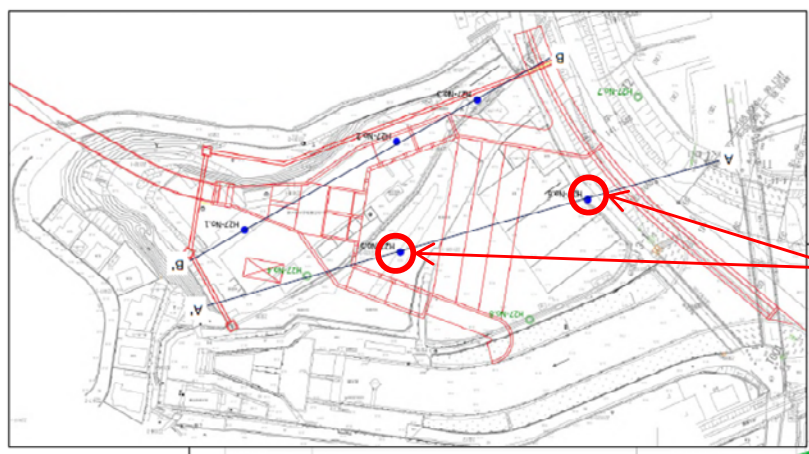
- 国土交通省では、新規放水路呑口部の土砂掘削箇所において自主的に土壌の調査を実施。
- 概略の6箇所の調査結果は以下のとおり。不適合となった砒素、鉛は、いずれも地表面より3m以深の土砂で確認(平成28年3月に結果を公表)。
- 土壌含有量は調査対象となる8種の重金属すべてで基準に適合。
- 土壌溶出量は砒素、鉛が土壌溶出量基準に不適合(第二溶出量基準は適合)。ふっ素は土壌溶出量基準に適合していたものの、基準値の0.5倍を超過。その他の重金属は適合。

土壌含有量調査結果

調査項目	調査結果(最大値)	土壌含有量基準	判定
カドミウム	0.2mg/kg	150mg/kg以下	適合
六価クロム	通常検出されないため対象外		
水銀	0.16mg/kg	15mg/kg以下	適合
セレン	0.9mg/kg	150mg/kg以下	適合
鉛	25mg/kg	150mg/kg以下	適合
砒素	9.1mg/kg	150mg/kg以下	適合
ふっ素	190mg/kg	4000mg/kg以下	適合
ホウ素	72mg/kg	4000mg/kg以下	適合

土壌溶出量調査結果

調査項目	調査結果(最大値)	土壌溶出量基準	判定
カドミウム	0.001mg/L未満	0.01mg/L以下	適合
六価クロム	0.02mg/L未満	0.05mg/L以下	適合
水銀	0.0005mg/L未満	0.0005mg/L以下	適合
セレン	0.002mg/L	0.01mg/L以下	適合
鉛	0.013mg/L	0.01mg/L以下	不適合
砒素	0.032mg/L	0.01mg/L以下	不適合
ふっ素	0.53mg/L	0.8mg/L以下	適合(ただし、基準値の0.5倍を超過)
ホウ素	0.2mg/L	1mg/L以下	適合

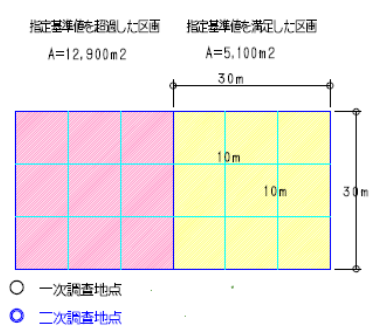


砒素等の基準不適合

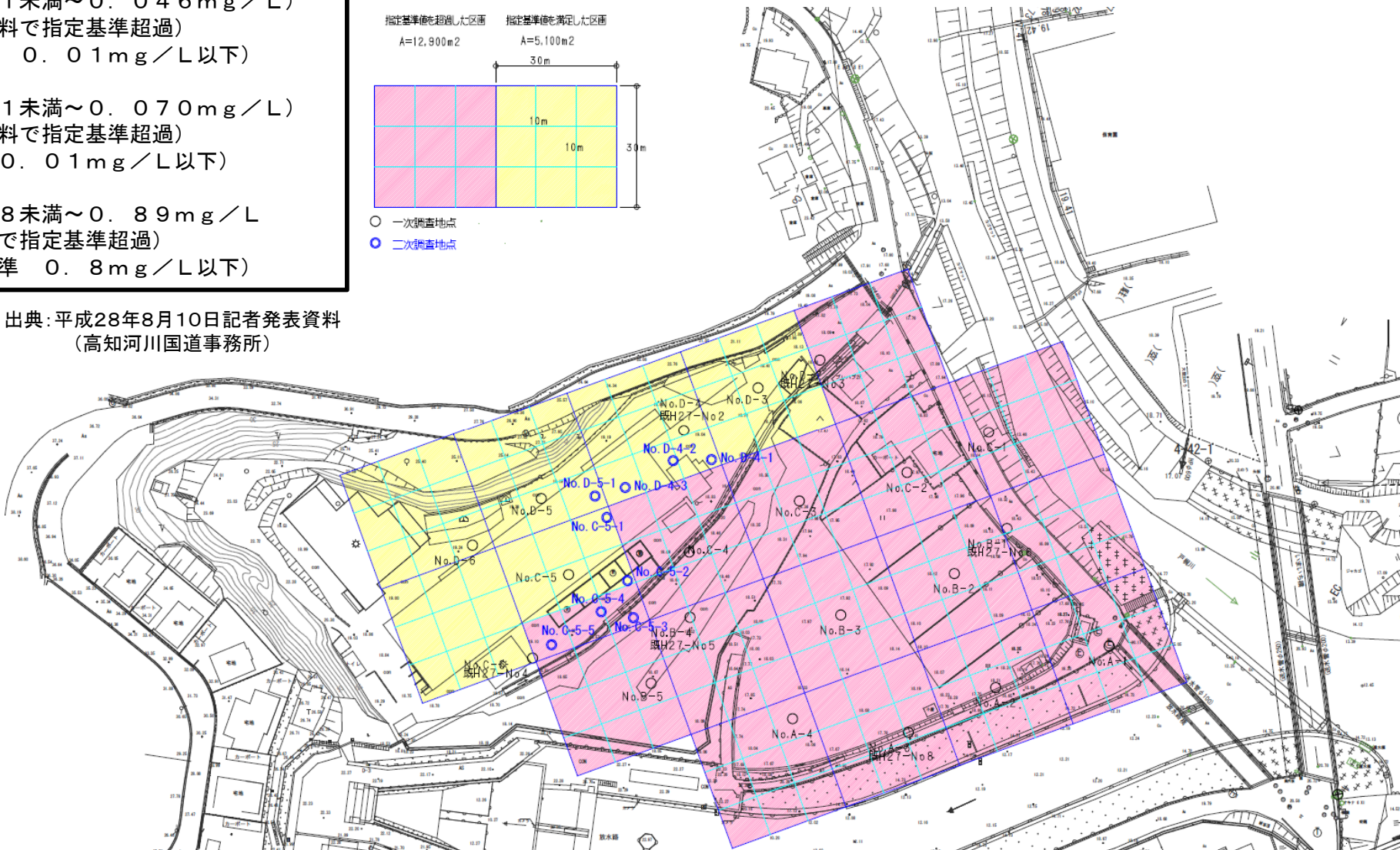
自然由来の重金属を含む土砂の適切な処理の経緯③ 土壌調査の結果(詳細調査)

○調査面積約18,000m²のうち、深度方向も含め土壌汚染対策法の土壌溶出量基準を越すいずれかの重金属(「砒素」、「鉛」、「ふっ素」)が含まれる範囲は、約13,000m²と特定。

- ・砒素測定結果
 土壌溶出量 0.001未満～0.046mg/L
 (222試料中68試料で指定基準超過)
 (砒素土壌溶出量基準 0.01mg/L以下)
- ・鉛測定結果
 土壌溶出量 0.001未満～0.070mg/L
 (222試料中77試料で指定基準超過)
 (鉛土壌溶出量基準 0.01mg/L以下)
- ・ふっ素測定結果
 土壌溶出量 0.08未満～0.89mg/L
 (176試料中1試料で指定基準超過)
 (ふっ素土壌溶出量基準 0.8mg/L以下)



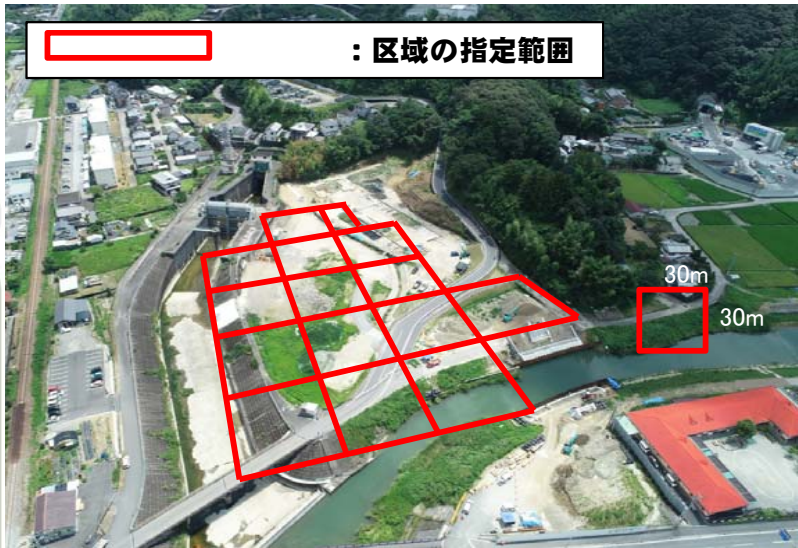
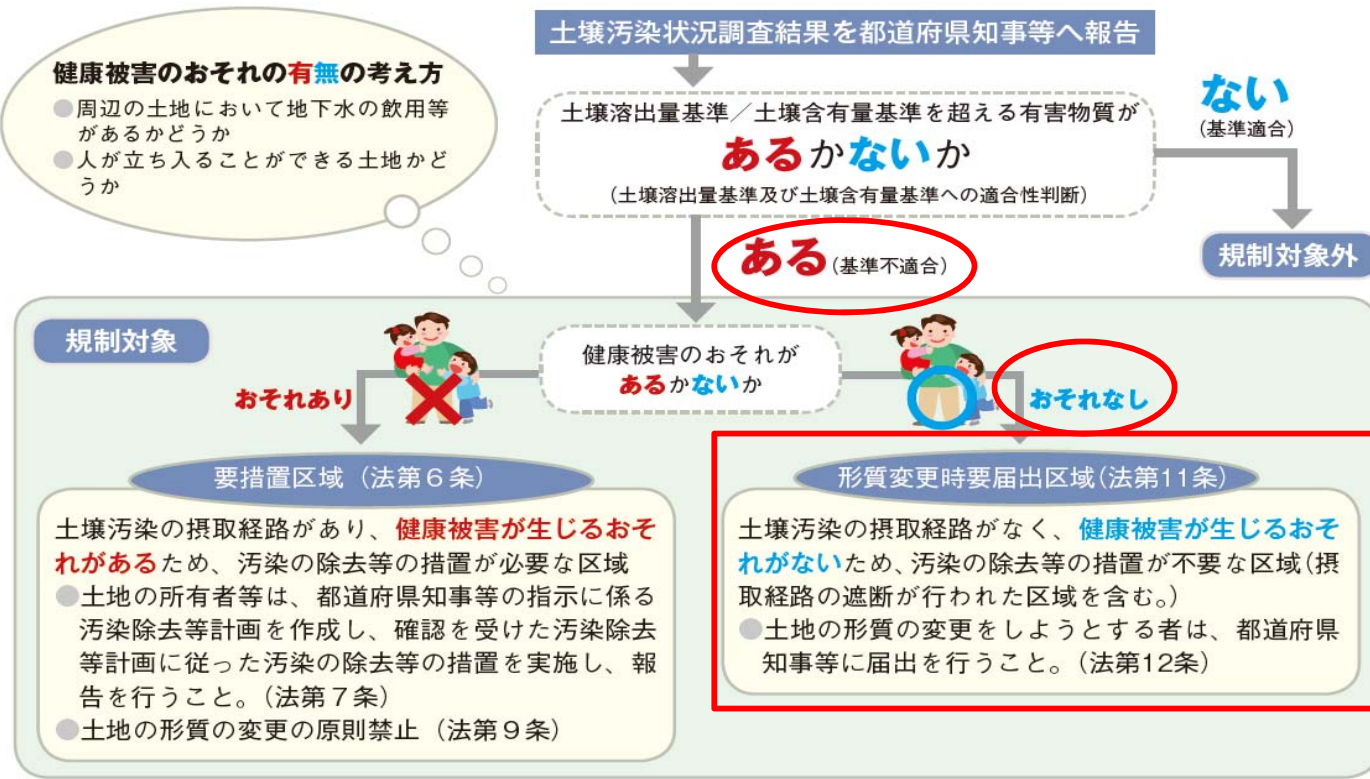
出典:平成28年8月10日記者発表資料
 (高知河川国道事務所)



自然由来の重金属を含む土砂の適切な処理 自然由来特例区域の指定

○今後の搬出等のための第1段階の手続きとして、高知県に対してこれまでの調査結果とともに区域指定の申請。
 ○その結果、形質変更時要届出区域のうち、より規制の緩やかな自然由来特例区域に指定。
 (令和元年7月19日 高知県告示第254号)

「要措置区域」「形質変更時要届出区域」に指定されるまで



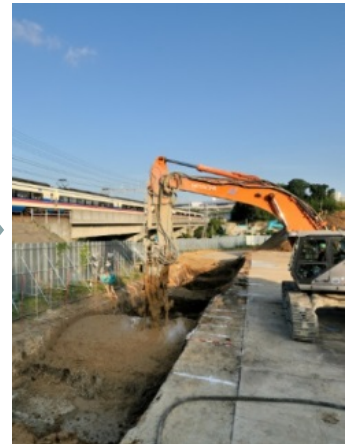
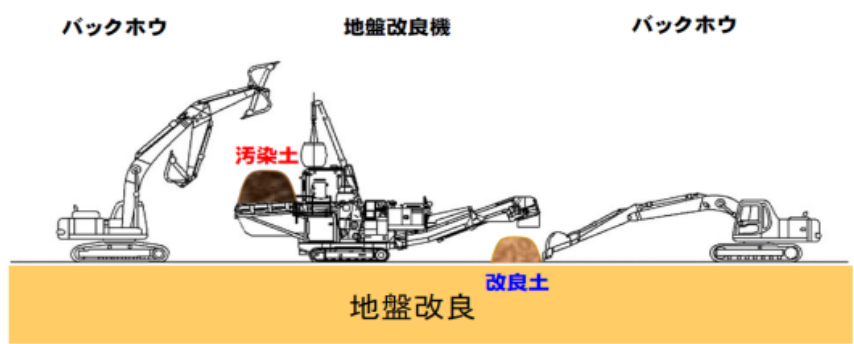
出典：土壌汚染対策法のしくみ (環境省)

自然由来の重金属を含む土砂の適切な処理 不溶化処理

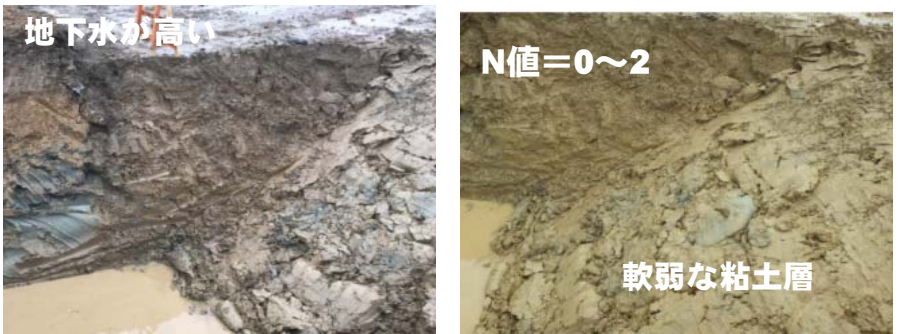
- 自然由来の基準不適合土壌を移動させる必要がある場合は、運搬時の飛散、処理場での飛散・溶出等に配慮する必要有り。
- 今回の土壌(土砂)の措置としては、難透水性の土壌が広く分布していることから地下水への流出の可能性は低く、主に運搬時の飛散防止や処理場での飛散・溶出防止のため、不溶化処理を行うことが適切と判断。
- 不溶化のための攪拌処理は、地下水が高く、地盤が非常に軟弱である事から、中層混合処理工法による地中攪拌処理を実施予定。

当初(自走式改良機)
 ➢ 十分に混ざらない
 ➢ 土砂の含水比が高いと混合できない

適正な処理のため、自走式改良機を改め、中層混合処理工法を適用。



➢ 中層混合処理工法(パワブレンダー等)を用いることで約10mの深さの土壌に対して固化剤を均一に混ぜる事が可能に。



土壌掘削により、地下水を含む軟弱な粘土層を確認



➢ 不溶化させた基準不適合土壌を、処理場へ運搬予定

今後の進め方(まとめ)

騒音・振動対策

○事前に騒音・振動の管理対象家屋等を選定し、適時、騒音・振動について監視しながら、対策が必要な箇所には通常発破から制御発破に変更するなどして掘削工事を進めてきており、今後も同様の考え方で周辺家屋等に配慮しながら掘削工事を実施する。

自然由来の重金属を含む土砂の適切な処理

○自然由来特例区域に指定された範囲の基準不適合土砂については、運搬時の飛散防止や処理場での飛散・溶出防止のため、不溶化処理を実施した後、処理場へ運搬する。