

淀川水系ダム事業費等監理委員会資料

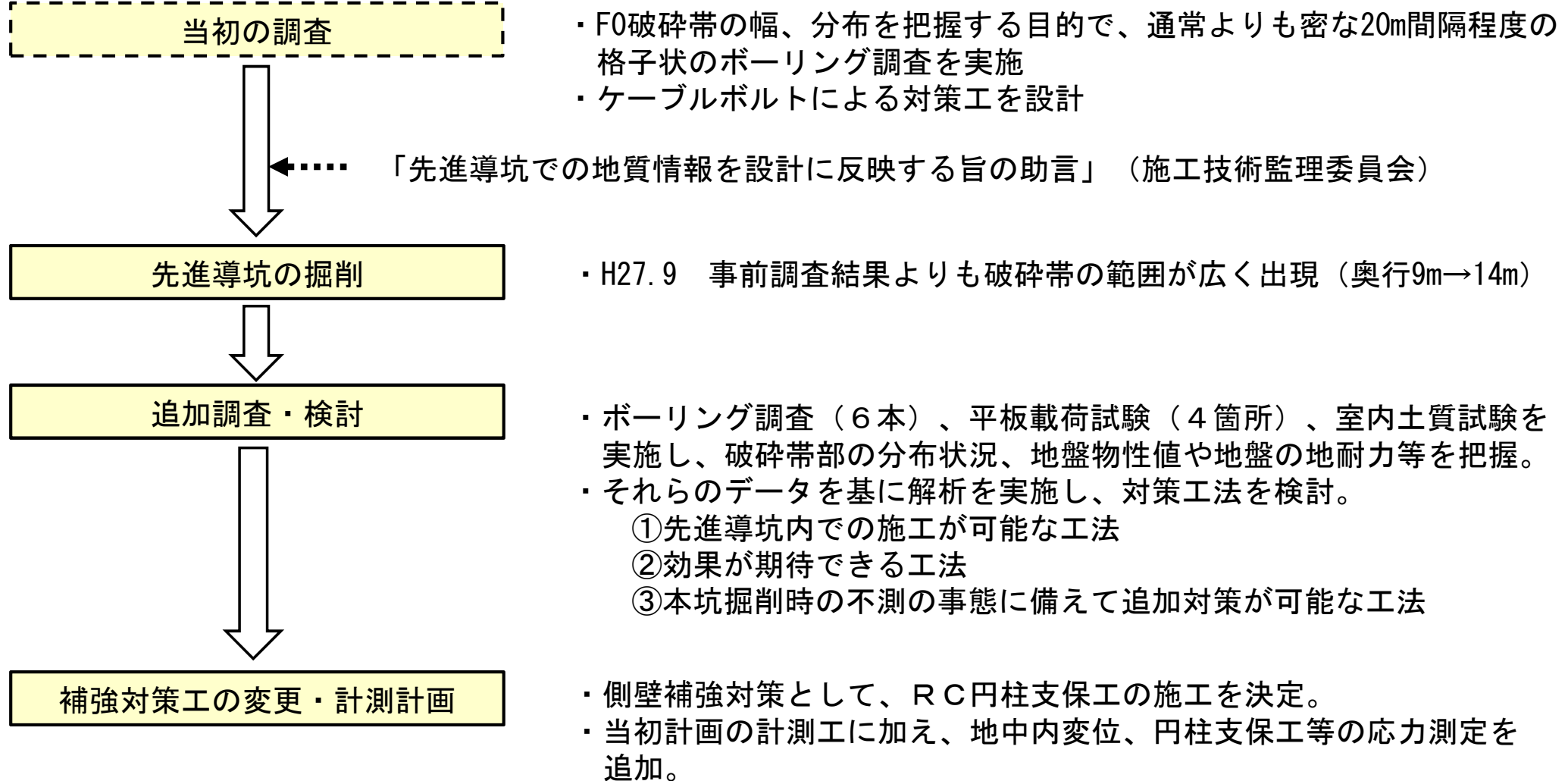
－ 天ヶ瀬ダム再開発事業 －

近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所

【減勢池部の特殊性】

- I 超大断面空洞（仕上がり内空の高さ26m、幅23m、断面積約500 m²）である。
- II グラウンドアーチが形成されにくい小土被り（掘削高さD=26m に対して土被り厚40m \div 1.5D より）である。
- III 対象地山は付加体の丹波帯（砂岩と泥岩）であり、トンネル掘削により大きく緩みやすい。
- IV F0破碎帯は脆弱な粘土、砂礫、コアが互層状に存在する複雑な地層構造である。
- V 供用中水圧が覆工に作用する。

【検討経緯】



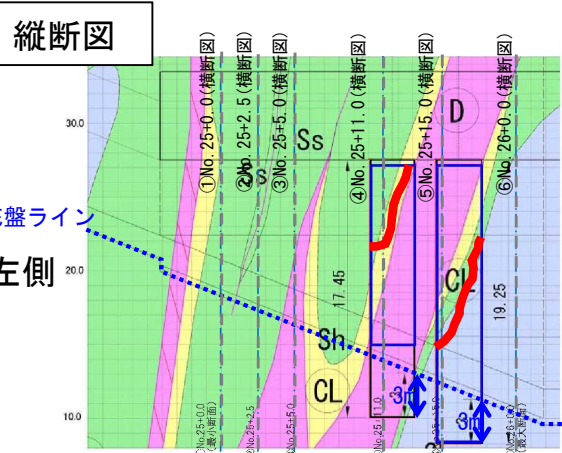
■F0破砕帯対策工の選定

F0破砕帯の側壁補強対策工として、当該部の地質性状や施工性といった観点から、「RC円柱支保工」を選定し、施工技術監理委員会にて確認した。

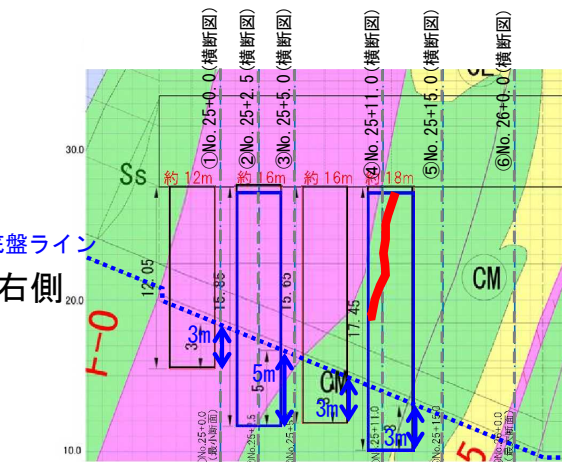
工法名	当初「長尺ケーブルボルト工」	案1「地山注工」	案2「連続地中壁工」	案3「RC円柱支保工」
概要図				
施工概要	・地山に削孔した孔内にケーブルボルトを挿入後、ボルトと孔壁の空隙をグラウト材で充填し、トンネル掘削による内空変位をボルトが拘束する効果により地山を補強する工法である。	・地山に注入管を打設し、注入材（セメント系、ウレタン系）を圧入して地山の空隙充填や固結・強度増加を図ることにより、補強ゾーンを形成する工法である。	・安定液を用いて掘削壁面の崩壊を防ぎながら地下に壁状の溝壁を掘削し、この中に鉄筋かごを挿入してコンクリートを打設して、連続した壁体を地中に構築する工法である。	・円形立坑を本坑側壁部の脇に施工後、その中に鉄筋を組立て、コンクリートを打設して、円柱状の先行支保工を構築する工法である。
特徴	・補強範囲を任意に設定できる。 ・必要な拘束度に対応できる。	・補強範囲を任意に設定できる。	・壁体の剛性が高い。	・円柱の剛性が高い。
施工性	・既設の側壁導坑内から上向きにケーブルボルトを施工できる。 ・狭隘な側壁導坑内での削孔となるため削孔機の改造が必要である。 ・上向きケーブル挿入用に専用機械の製作が必要である。 ・側壁部のケーブルボルトは2段目以降の各ベンチ掘削時に施工する必要がある。	・F0破砕帯では一箇所からの広範囲の改良が困難である。 ・狭隘な側壁導坑内での削孔となるため削孔機の改造が必要である。	・低空頭掘削機（空頭5.3m）と鉄筋かご建込みの作業スペースを確保するために、既設の側壁導坑を大きく拡幅する必要がある。 ・鉄筋かごを高さ3m程度に多数分割して建込む必要がある。 ・F0破砕帯内の角礫部は透水性が高いため安定液が地中に浸透し、溝内泥水位の低下による溝壁の崩壊、安定液の損失による経済的ロス、安定液成分による地下水の汚濁、といったトラブルが発生する。	・直径3mの円形立坑の施工スペースを確保するために、既設の側壁導坑を拡幅する必要がある。 ・立坑掘削時の坑壁自立性を確保するために、導坑底版の地下水位を本坑底盤下方まで低下させるディープウェルを事前に施工する必要がある。
効果	・見直しより拡大したF0破砕帯ではベンチ掘削時の側壁水平変位が過大となり、 鋼製支保工が許容値を大幅に超過するため支保設計が成立しない。 ・打設長（通常10～25m）、打設間隔（1m以上）、設計荷重（実績上1,200kNまで）の 制約より増強できない。	・一般に用いられる注入材（セメント系、ウレタン系）では粘土部、角礫部、岩片部、短柱状部が薄層で混在したF0破砕帯では 効果が期待できない。	・ベンチ掘削時に不足する側壁支保工の力学的機能を補うことにより、側壁部の過大な水平変位を抑制できる。	・ベンチ掘削時に不足する側壁支保工の力学的機能を補うことにより、側壁部の過大な水平変位を抑制できる。 ・立坑掘削中に周辺地山を注入改良することで、円柱隙間にグラウンドアーチを形成できる。
追加対策工の実現性	・既にケーブルボルトが1m間隔で密に施工済なので 対策工を追加できない。	・ベンチ掘削時に側壁から長尺ケーブルボルトを地山内へ追加できる。	・連続壁が障害となり、ベンチ掘削時に坑内からの 対策工を追加できない。	・ベンチ掘削時に側壁から円柱隙間に長尺ケーブルボルトやPSアンカーを地山内へ追加できる。
経済性	・比較的安価である。 ・削岩機の改造費、ケーブル挿入専用機械費が必要である。	・改良ゾーン、注入量にもよるが当初の長尺ケーブルボルト工よりかなり高価である。 ・削岩機の改造費が必要である。	・当初の長尺ケーブルボルト工より非常に高価である。	・当初の長尺ケーブルボルト工よりかなり高価である。
評価	× 許容値を大幅に超過し支保設計が成立しない	× 注入材では対策工としての効果が期待できない	△ ベンチ掘削時に坑内からの対策工を追加できない。	○（採用） 他案に比べ、最も課題が少ない

RC円柱支保工の設計

- 構造の考え方 : 本坑ベンチ掘削時の側壁部の水平変位を抑制する支保工の役割を持つ。杭形状であるが、鉛直荷重を支持するための杭ではない。(必要最小限の支持力は確保)
- 長さの考え方 : 本坑側壁部をカバーできるように、側壁導坑底面から本坑掘削底盤下3mまでの範囲に設置。(ただし、R2のみ支持力が不足したため本坑掘削底盤下5mまで延長)
- 間隔の考え方 : 中心間隔を1.5D確保し、円柱支保工の施工性及び追加対策の施工可能な間隔を確保、円柱隙間地山に高強度ウレタン注入工をグラウンドアーチ効果を確保。
- 長期健全性 : 脆弱なF0破砕帯掘削時に本坑に作用する土圧に抵抗する構造物であると同時に、本体構造物と同様の機能を有するようにひび割れ発生時の鉄筋防錆対策を行い、円柱の構造耐力を確保する。



左側のRC円柱支保工(円柱中心での縦断面図)



右側のRC円柱支保工(円柱中心での縦断面図)

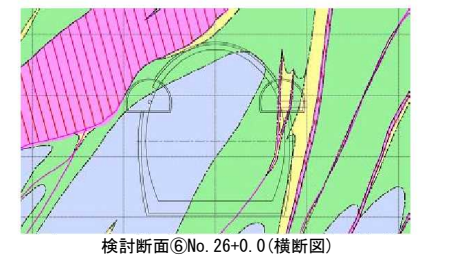
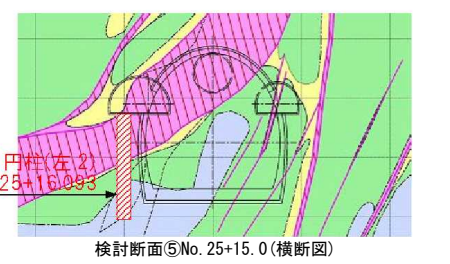
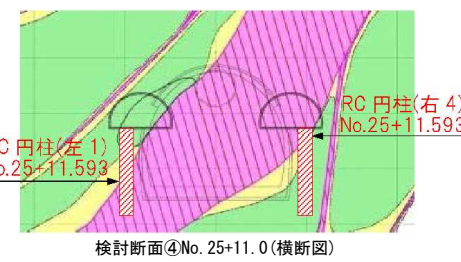
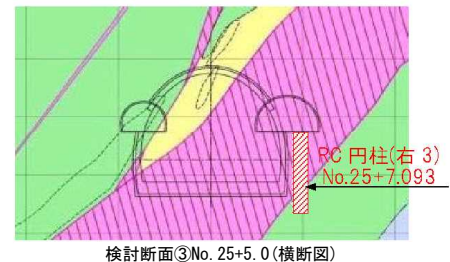
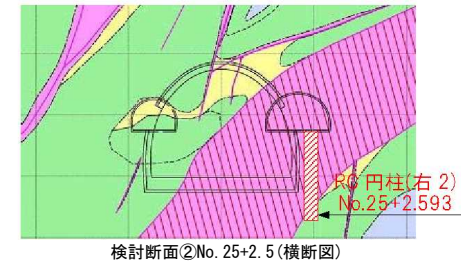
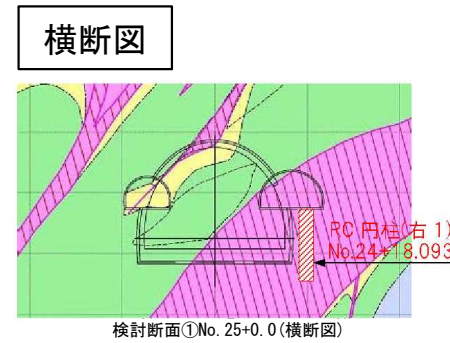
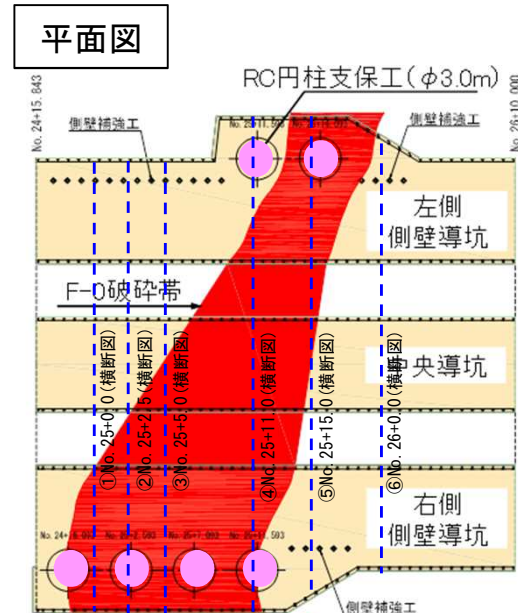


図 RC円柱支保工検討断面とF0破砕帯位置関係図

■先行ウレタン注入工

RC円柱隙間の地山に作用する土圧は、円柱に分担させて変位を抑制するため、施工段階において円柱隙間地山に高強度ウレタン注入工を実施しており、これにより円柱間のグラウンドアーチ効果を確保する。

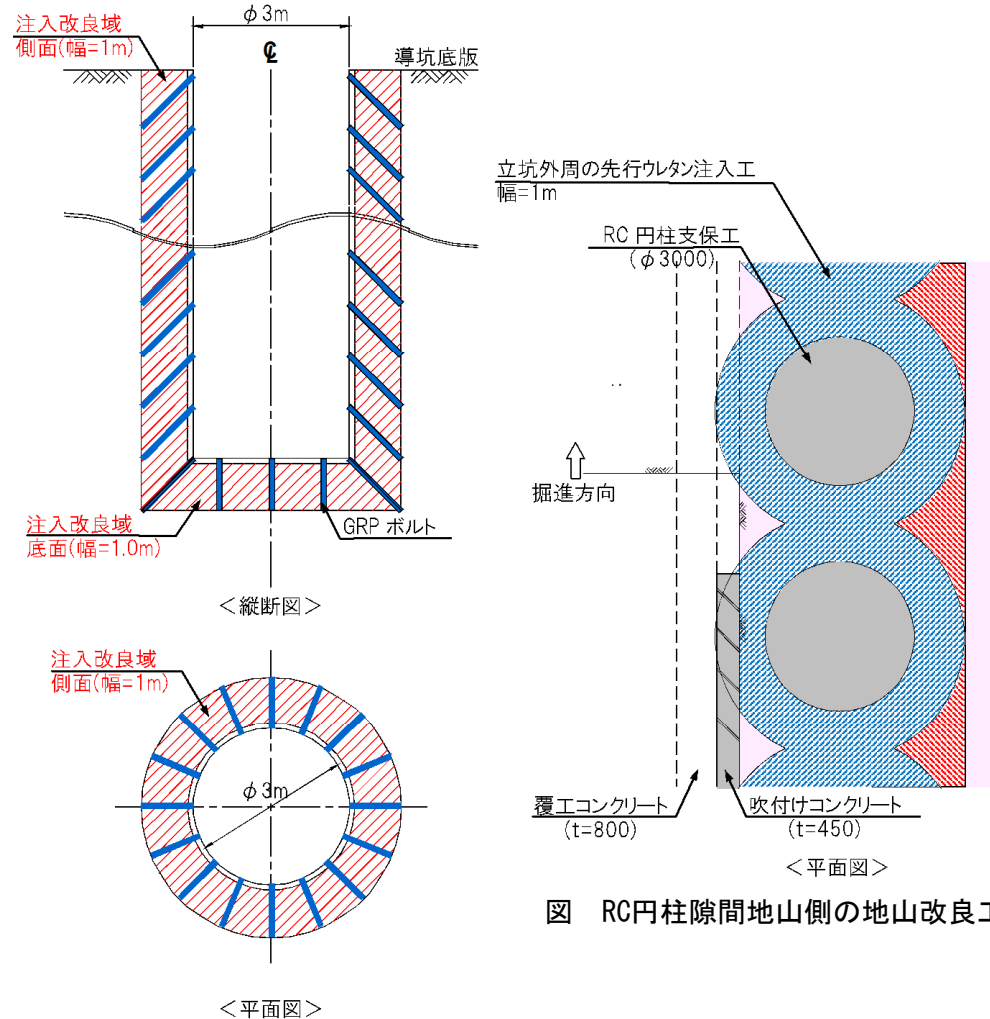


図 RC円柱隙間地山側の地山改良工

図 RC円柱支保工の先行ウレタン注入工

■対策工の効果 施工ステップ毎 解析結果 (ゆるみ安全率図)

先進導坑から得られた地質情報を踏まえ解析した結果、対策工をRC円柱支保工にすることにより、ベンチ掘削時における側壁部のゆるみ域が当初の長尺ケーブルボルトに対して概ね解消された。

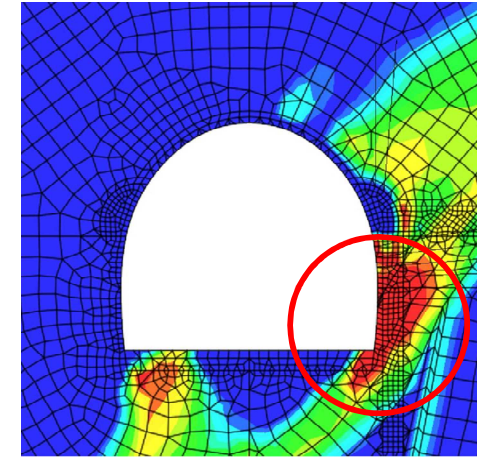
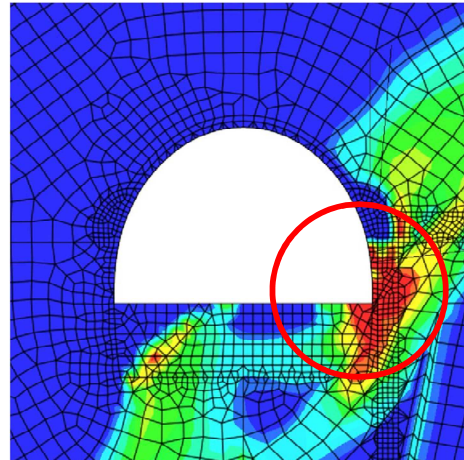
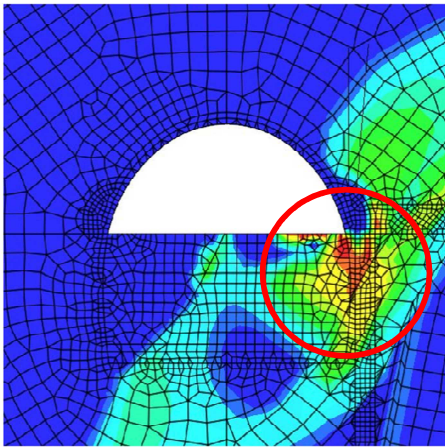
ベンチ掘削時におけるゆるみ域の解析結果比較 (No. 25+2.5付近)

当初

1 段目ベンチ掘削時

3 段目ベンチ掘削時

掘削完了時



対策工

長尺ケーブルボルト

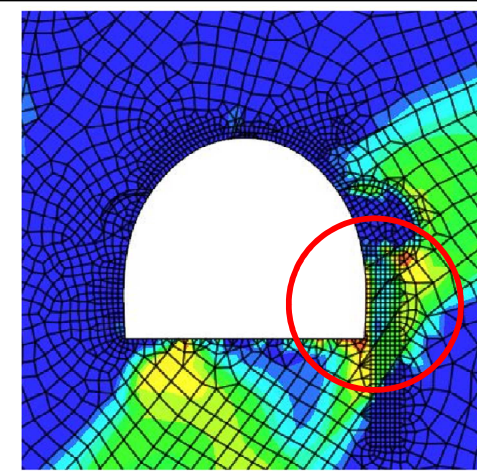
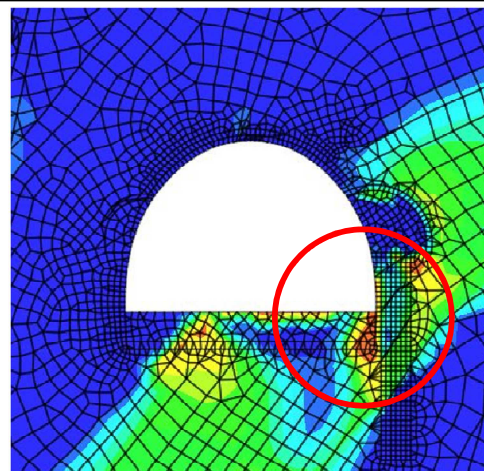
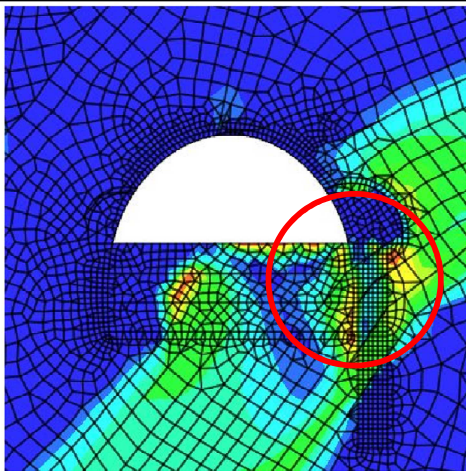
⇩ ゆるみ域(赤丸囲み)が概ね解消

採用

1 段目ベンチ掘削時

3 段目ベンチ掘削時

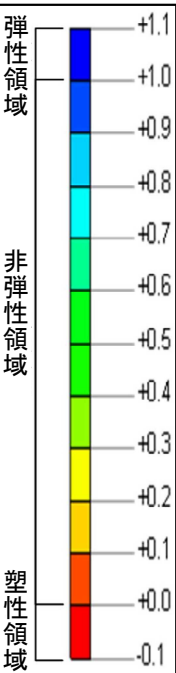
掘削完了時



対策工

RC円柱支保工

凡例

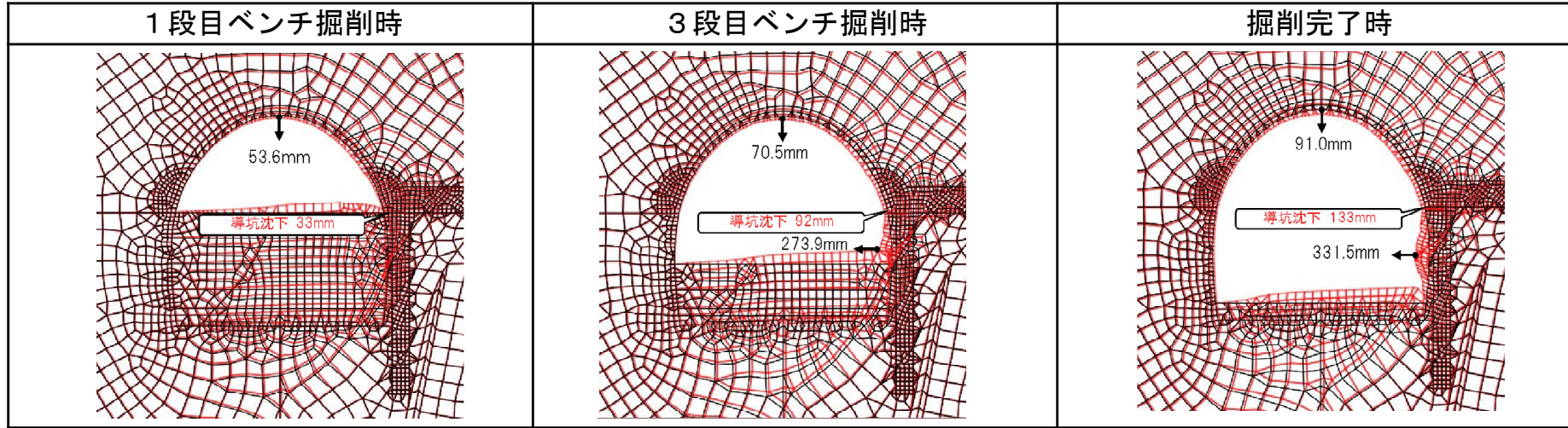


■対策工の効果 施工ステップ毎 解析結果 (変形図)

先進導坑から得られた地質情報を踏まえ解析した結果、対策工をRC円柱支保工にすることにより、長尺ケーブルボルトに対し、掘削完了時では、天端沈下量が約40%、側壁水平変位量が約90%、導坑沈下量が約85%低減され、トンネル変形量が許容値(天端沈下量：77.6mm、側壁水平変位量：86.9mm)内に収まり、施工が可能となる。

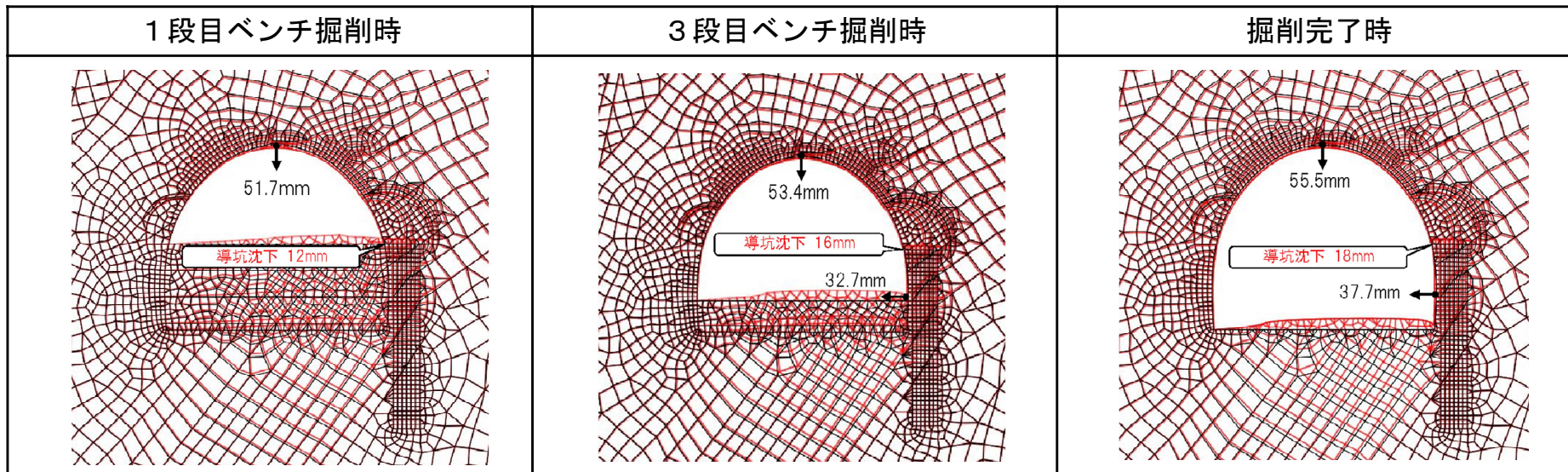
※天端沈下量と側壁水平変位は全変位量を示す。

ベンチ掘削時における変形量の解析結果比較 (No. 25+2.5付近)



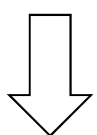
変位量スケール
1,000mm

↓ トンネル変形量が許容値内に収まる



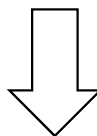
■ 岩盤強度の確認

調査設計段階 (標準的な試験)



- ・ 施工箇所周辺のボーリングコアより、土研式の岩盤分類に従い、硬さ、割れ目の間隔、状態などから総合的に判断し、岩級区分を想定。

施工 (掘削速度の低下)



- ・ 全周回転掘削機による施工日数
(計画) 約1.7日/本 ⇒ (実績) 約4.5日/本
※置換杭 1 本当たりの施工日数

強度見直し (岩塊に対する現位置試験)

- ・ 施工技術監理委員会の提言を踏まえ、施工箇所の岩塊に対して、現場で大量かつ迅速に試験実施が可能となる「点載荷試験」を行い、既存ボーリングコアによる一軸圧縮強度試験との相関により、強度を見直し。



点載荷試験装置



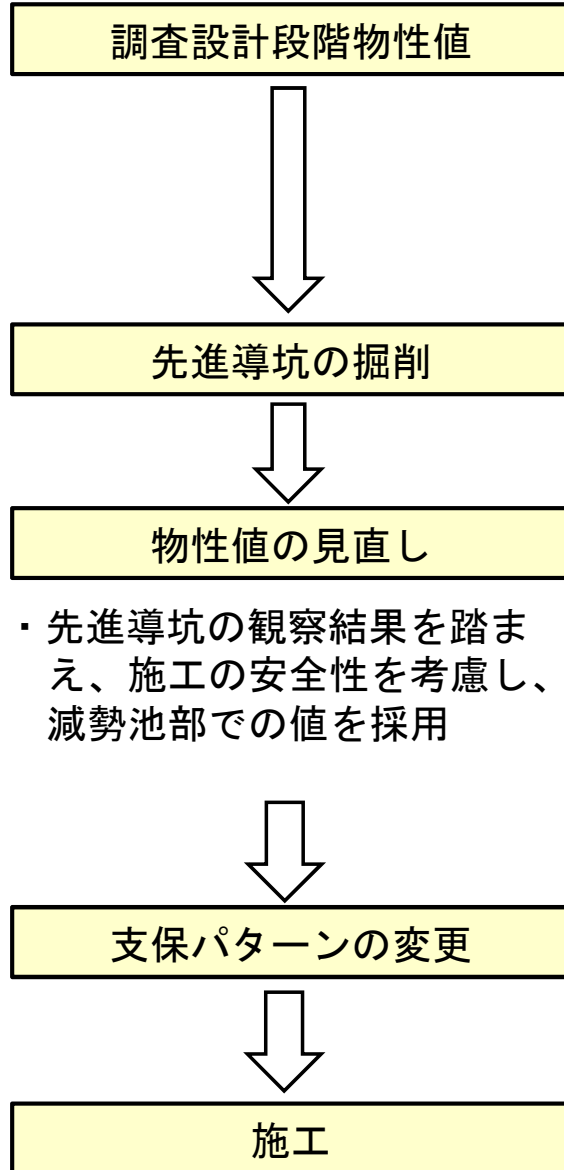
先端のビット摩耗・欠損



掘削状況

■地盤物性値の見直し

【検討経緯】



- ・「先進導坑での地質情報を設計に反映する旨の助言」(施工技術監理委員会)
- ・変形係数はトンネル放流設備全体を平均して算定

○実施設計(トンネル放流設備全体の平均値を採用)

種別		実施設計			
岩級区分	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	変形係数 E (kN/m ²)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
崖錐堆積物	19.0	0.40	22,000	0	35
F級	24.0	0.40	92,000	260	19
F級(脆弱)	24.0	0.40	18,000	0	23
D級	24.0	0.40	430,000	60	27.9
CL級	27.0	0.30	950,000	1,000	45
CM級	27.0	0.20	3,870,000	1,500	45
CH級	27.0	0.20	9,790,000	2,000	45

↓ 厳しくなる

○修正設計(先進導坑の観察結果を踏まえ、減勢池部の平均値を採用)

種別		修正設計				
岩級区分	岩質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	変形係数 E (kN/m ²)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
崖錐堆積物		19.0	0.40	22,000	0	35
F級		24.0	0.40	92,000	260	19
F級(脆弱)		24.0	0.40	18,000	0	23
D級	砂岩	24.0	0.35	144,000	60	27.9
	泥岩			100,000		
CL級	砂岩	27.0	0.35	255,000	500	33
	泥岩			177,000		
CM級	砂岩	27.0	0.30	981,000	1,000	38
	泥岩			681,000		
CH級	砂岩	27.0	0.25	3,809,000	1,200	43
	泥岩			2,645,000		

[凡例] 赤字は実施設計よりも厳しい物性値、青字は実施設計よりも緩い物性値

※丹波帯を考慮し、砂岩、泥岩それぞれに低減係数をかけている。

■天ヶ瀬ダム再開発事業の進捗・計画

工期の変更：平成30年度まで → 平成33年度まで

H30工期

分類	種別	全体数量	H21年度まで	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30
トンネル式放流設備	流入部	1式										
	導流部	1式										
	ゲート室部	1式										
	減勢池部・吐口部	1式										
	ゲート及びバルブ工	1式										
補償工事	左岸工事用道路	989m	395m H13~H15		594m							
	右岸工事用道路	731m	577m H10~H13					154m				
	新白虹橋	1式				栈橋			下部工			
本体設計	機械・電気設備含む											

H33工期

分類		H27迄	H28	H29	H30	H31	H32	H33
トンネル式放流設備	流入部	鋼管矢板工	掘削支保工	本体構築工	本体構築工			鋼管矢板切断
	導流部	掘削・覆工	グラウト	クラウト・覆工	掘削・覆工・グラウト(接続部)			
	ゲート室部	立坑掘削	本体構築工					
	減勢池部・吐口部	先進導坑掘削	F0対策工、上半掘削・アーチ覆工	下半掘削・覆工・吐口部本体内工				
	ゲート及び上屋	工場製作	ゲート設備据付	ゲート設備据付	上屋建築			
補償工事	新白虹橋	下部工・上部工	上部工					
設計	機械・電気設備含む	詳細設計						

■ 施工済み
■ 施工中
■ 手続き中
■ 詳細設計済み

↑ F O 破碎帯確認 (H27.9)

■全体事業費の内訳

建設に要する費用の変更：約430億円 → 約590億円(約160億円増)

