

# 第8回 小渋ダム土砂バイパストンネル モニタリング委員会 説明資料



平成27年7月撮影

令和2年9月25日

国土交通省 天竜川ダム統合管理事務所

# 第8回 小渋ダム土砂バイパストンネル モニタリング委員会 説明資料 ＜目次＞

---

1. モニタリング委員会の概要	1
1.1 第8回モニタリング委員会開催の目的	1
1.2 現地視察会での主なご意見とその対応	3
1.3 第8回モニタリング委員会における主な議題	5
2. 令和2年7月出水バイパス運用の概要	6
2.1 バイパス運用の概要	6
2.2 流入土砂量の状況(桶谷地点)	7
2.3 バイパス土砂量の状況	8
2.4 試験運用期間のバイパス運用状況	9
2.5 計画・設計時の年間土砂収支計画との比較	10
3. 構造モニタリング調査結果の報告	11
3.1 施設摩耗・損傷状況の整理	11
3.2 損傷が顕著に確認された箇所の要因分析	18
4. 復旧計画(案)	22
4.1 計画・設計当時の施工条件の整理	22
4.2 今回の復旧方針(案)	32
4.3 補修計画(案)	35
4.4 施工方法(工程)の比較検討	52
5. 今後の方針	58

# 1.モニタリング委員会の概要

## 1.1 第8回モニタリング委員会開催の目的

- 「小渋ダム土砂バイパストンネルモニタリング委員会」では、平成28年からの試験運用期間のモニタリング調査結果と検討状況について各部会から報告を行うとともに、土砂収支、施設構造、環境への影響を踏まえ、今後の最適な運用方法の確立に向けて、議論することを目的としている。
- 今回、第8回モニタリング委員会では、令和2年7月出水バイパス運用において、バイパストンネルが損傷したことを踏まえ、トンネル内の調査結果の報告とともに、損傷に対する原因究明と早期復旧に向けた補修方法に絞った形で、議論いただくことを目的とし、臨時開催する。

### モニタリング委員会で議論する主な事項

1. 操作ルール
  - ①試験運用期間
  - ②操作規則改正
2. 土砂収支計画
  - ①バイパス量
  - ②貯水池内掘削量(試験運用開始前後)
  - ③分派堰内掘削量(同)
  - ④第3貯砂堰内砂利採取量・掘削量(同)
3. モニタリング計画
  - ①ゲート等操作性
  - ②バイパス機能<流量、土砂>
  - ③環境影響<猛禽類、下流河道生態系、貯水池内水質>
  - ④土砂挙動<構造物損傷・摩耗状況、土砂堆積状況>
4. 観測機器等整備計画
5. メンテナンス計画

R2.7洪水運用による損傷  
を踏まえた復旧方針

# 1.モニタリング委員会の概要

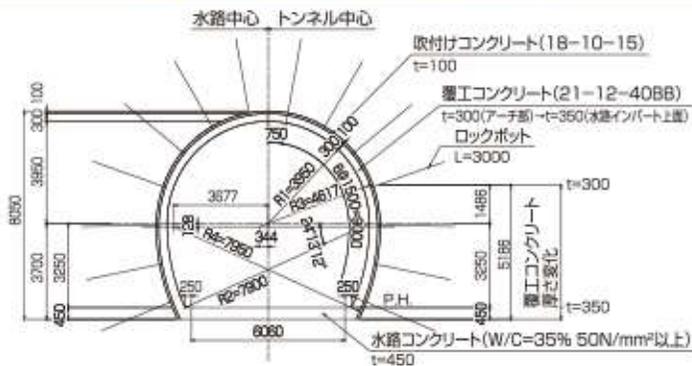
土砂バイパストンネル概要図



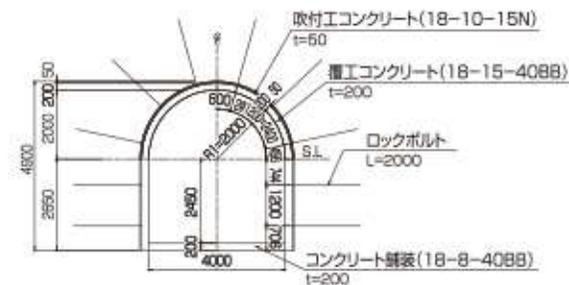
## ●トンネル概要

土砂バイパストンネル				管理用トンネル	
計画放流量	370m <sup>3</sup> /s	縦断勾配	1/50	断面形状	梟型
断面形状	一般部 馬蹄型	対象土砂	礫・砂・シルト	延長	172m
	呑口部に一部梟型	最大流速	14.4m/s		
延長	3,999m	コンクリート強度	覆工: 21N/mm <sup>2</sup> 水路部: 50N/mm <sup>2</sup>	コンクリート強度	18N/mm <sup>2</sup>

土砂バイパストンネル標準断面図(一般部)



管理用トンネル断面図



# 1.モニタリング委員会の概要

## 1.2 現地視察会での主なご意見とその対応

本年度運用後における主な指摘事項と今後の対応  
(2020年8月18日 20日 27日 実施)

今回報告

今後対応

項目	主な意見・指摘事項	対応方針
運用に関して	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流入土砂量の期待値(確率年評価)を整理しておくこと。</li> <li>・洪水初期の方が土砂濃度が高い傾向にある可能性が高い。</li> <li>・今回の放流は当初想定していた条件を超えるものと考えられる上に、その結果について予測しづらい点もある。</li> <li>・運用方法でバイパス内にいれてよい流入土砂総量を明確化するなどして、施設構造の損傷の観点から停止させる運用方法・時間を設定しても良いと考える。</li> </ul>	<p>精査したシミュレーション結果、インバートの摩耗予測式等を考慮し、運用方法を決定していく。</p>
施設内での現象に関して	<ul style="list-style-type: none"> <li>・波状(周期的)に洗堀が発生しているが、河川においては一般的な現象である。</li> <li>・今回は長時間の放流であったため、摩耗部に巨石が入った影響で、損傷を加速させた可能性も考えられる。</li> <li>・放流の後期で、摩耗部に砂利がたまっている。実際の侵食深さはもっと深いと考えられる。</li> <li>・損耗・損傷については、設計時点の想定内・想定外に区分し整理する必要がある。</li> <li>・平衡状態となるような、インバート全面が土砂で覆われるほどの土砂が流入し、平衡状態が維持されていれば、インバートの摩耗は抑えられたと考えられる。</li> <li>・可能であれば、水位の周期をトンネル内の映像等から確認し、インバートの穴の位置の縦断方向の周期と比較してはどうか考える。(水位の周期は、水位が低い状態が確認しやすい)河川領域と同じと考えると、反砂堆と同じ原理で、水位の周期と逆位相の周期がインバートの穴の周期と考えられる可能性がある。</li> <li>・インバートの穴の周期は、トンネル幅に対してどのくらいかというも分析しておいた方が良い。</li> </ul>	<p>現象に関しては、映像、追加調査結果を整理し、今後の部会・委員会で報告させていただく。 第8回モニタリング委員会(2020年9月)は現状想定された現象を整理している。</p>
施設の改良案に関して(呑口部)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・呑口のラバースチールは、損傷がほとんどなかったため、可能性を確認できた。鋼製ライニング部まで伸ばしても良いかもしれない。</li> <li>・鋼製ライニングは、浮き上がらない構造にしなければならない。勾配変化点は現状よりスムーズなカーブで擦り付けるなど工夫が必要である。</li> <li>・勾配の変局点が弱点となり、そこから水や土砂が入り込み、鋼製ライニングの下から揚圧力のような外力で鉄板が剥がれた可能性が考えられる。岩盤から定着させるなど、戦略を変える必要がある。</li> <li>・変化点を緩勾配のスムーズな擦り付けとしたり、変化点に鉄板の継手部分を設けないといった方法が考えられる。</li> <li>・ラバースチールの損傷が少ないことから、どこまで使用できるか可能性がある。</li> <li>・ラバースチール区間は流速が小さく、今回損傷した鋼製ライニング区間は流速が大きい。補修方法については、ラバースチールを鋼製ライニング部まで適用できるかについては、懸念があるため比較検討は実施した方が良い</li> </ul>	<p>施設の復旧方法に関して、今回の第8回モニタリング委員会(2020年9月25日開催)で報告</p>

# 1.モニタリング委員会の概要

## 1.2 現地視察会での主なご意見とその対応

本年度運用後における主な指摘事項と今後の対応  
(2020年8月18日 20日 27日 実施)

今回報告

今後対応

項目	主な意見・指摘事項	対応方針
施設の改良案に関して(トンネル内コンクリート部)	<ul style="list-style-type: none"> <li>改良案としては、堆積土砂を全て除去し、岩盤からコンクリートを埋めて空隙をなくして一体化し、その上にインバートを施工するなどの対策を講じる必要がある。コンクリート強度を上げて良いと考えられる。</li> <li>摩耗に関しては、材料の強度を上げる対策と併せて、指標づくりや試験などを基礎的なことも平行して取り組むことが必要である。</li> <li>規模の大きい損傷の発生位置や範囲については、周期性を有している可能性が考えられる。損傷の位置・範囲について図面化することで、対策検討に向けた基礎資料とすることが望ましい。</li> </ul>	施設の復旧方法に関して、今回の第8回モニタリング委員会(2020年9月25日開催)で報告
構造上の問題に関して	<ul style="list-style-type: none"> <li>目地については、大きな問題は発生していない。インバート内に埋設したとされている砂礫や中央排水が構造的に弱点となったと考えられる。</li> <li>大規模な土砂流下時には、インバート下部まで洗堀を受ける可能性を有していることを前提として、中央排水など弱点となる構造の回避が望ましい。</li> <li>勾配変化点は、弯曲で擦り付けた方が、衝撃力をおさえる可能性は高いと考える。</li> </ul>	施設の復旧方法に関して、今回の第8回モニタリング委員会(2020年9月25日開催)で報告
今後の方針に関して	<ul style="list-style-type: none"> <li>予算を確保して、改良を含めた形で、復旧を実施していくことで良い。</li> <li>3年間通しての全面復旧は、3年間バイパスを使用しない場合の貯水池流入土砂量の掘削費用に対して、経済性の比較をして判断すること。また、確率年の観点での整理も必要である。</li> <li>現状トンネルが使用できないわけではないので、最低限の補修(呑口と吐口の復旧)やブロック分けの補修により、来年度の洪水期で運用することも考慮して検討してほしい。通常の維持管理で原形まで復旧させる考え方も必要である。</li> <li>復旧は、現状の性能を向上させることに加え、気候変動の影響、設計時に想定していなかった外力の発生など、想定以上の土砂が流入したときへの対策も必要である。</li> <li>摩耗・損傷の程度の差は、インバート下部の基礎岩盤に分布が影響している可能性が考えられる。比較的被害が小さくインバートが残存している箇所について、インバートを撤去して岩盤の状況を確認することが望ましい。</li> <li>復旧は現状回復が基本であるが、再度同様の条件で被災しないような工夫が必要であると考えられる</li> </ul>	施設の復旧方法に関して、今回の第8回モニタリング委員会(2020年9月25日開催)で報告
今後のモニタリング方法に関して	<ul style="list-style-type: none"> <li>摩耗計測は、トンネル内のドローン飛行によるグリーンレーザでの計測技術の開発を早急に進めてほしい。</li> <li>ハイドロフォンの再設置をお願いしたい。</li> </ul>	

# 1.モニタリング委員会の概要

## 1.3 第8回モニタリング委員会における主な議題

### ●主な議題

- ①令和2年7月出水バイパス運用の概要
  - ・バイパス運用の概要
  - ・流入土砂量、バイパス土砂量の状況
  - ・試験運用期間のバイパス運用との比較
  - ・計画・設計時の年間土砂収支計画との比較
- ②構造モニタリング調査結果の報告
  - ・摩耗・損傷状況の整理
  - ・損傷が顕著に確認された箇所の変因分析
- ③復旧計画(案)
  - ・計画・設計当時の施工条件の整理
  - ・今回の復旧方針(案)
  - ・補修計画(案)
  - ・施工方法(工程)の比較検討
- ④今後の方針



呑口部 鋼製ライニング直下の状況



吐口部の状況

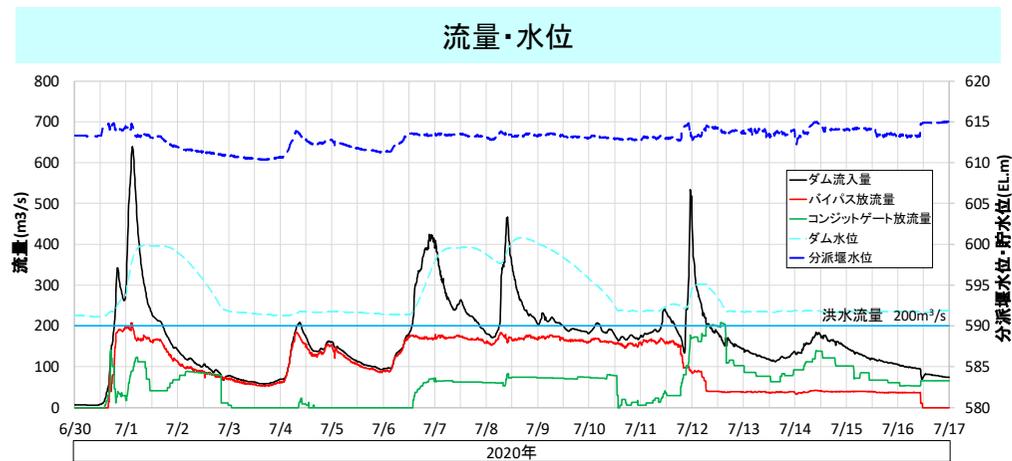
## 2.令和2年7月出水バイパス運用の概要

### 2.1 バイパス運用の概要

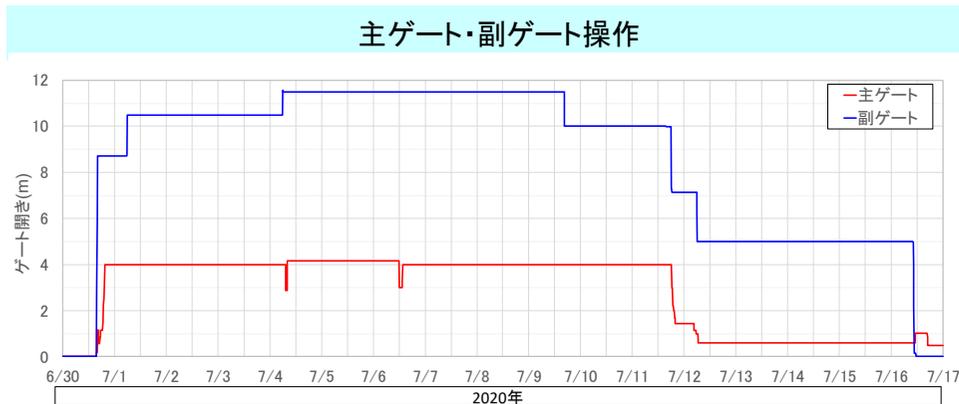
#### ■バイパス運用概要

- 6/30 15:40から7/16 11:30までの約2週間(15日19時間50分)にわたり運用した。(平成28年からの試験運用開始後最も長い運用であり、昨年度までの最長運用期間は、平成30年度9月30日～10月3日の4日間)。
- 最大流入量は約640m<sup>3</sup>/s (7/1小渋ダム管理開始以降既往第2位)、バイパス最大放流量は約202m<sup>3</sup>/s (7/1 3:00)でバイパス運用を実施した。
- 6/30から7/17における総流入土砂量は、約290万m<sup>3</sup> バイパス土砂量:210万m<sup>3</sup> ※速報値
- 6/30 18時よりバイパスゲートをフリーフローとし、7/11までゲート全開の状態に運用した。その後、7/11 18時からゲートを絞り、半開操作とした。
- トンネル内では、約500mm程度の巨石が確認されている。

※流入土砂量、バイパス土砂量の値については速報値であり今後変わる可能性がある



呑口部バイパス運用直後の状況  
(6/30 16時頃 流入量約100m<sup>3</sup>/s 約EL614m)

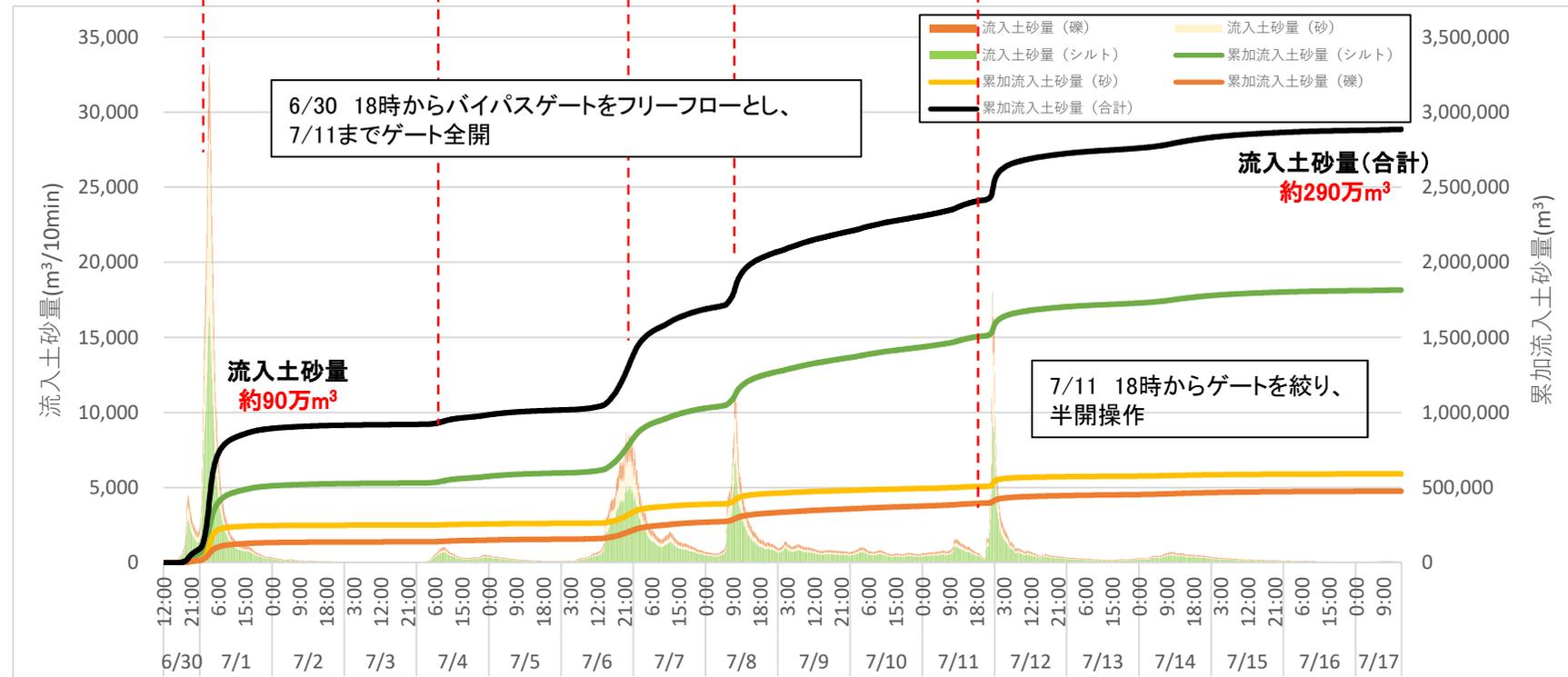
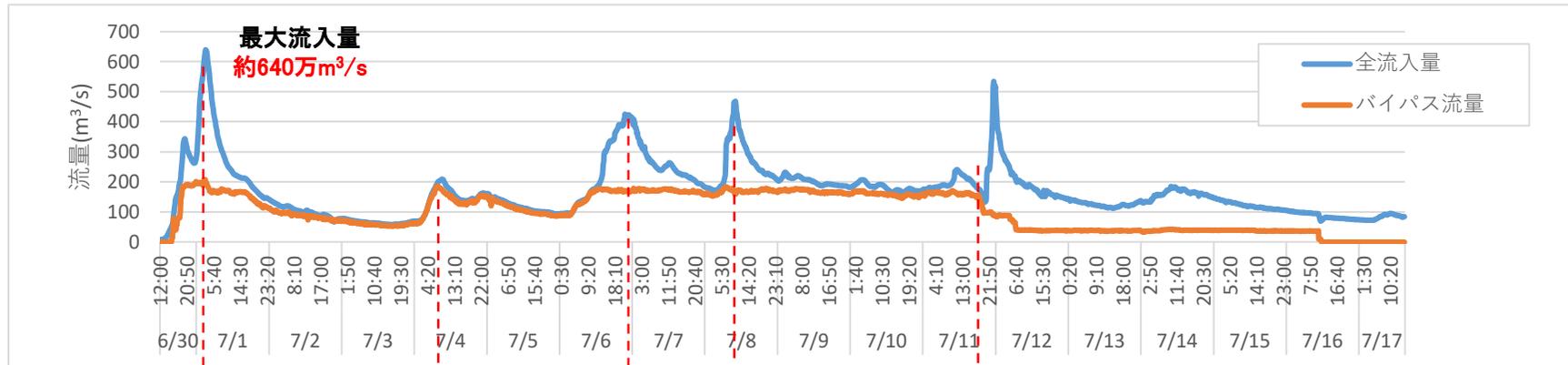


吐口部の状況(7/1 11時頃 放流量約170m<sup>3</sup>/s)

## 2.令和2年7月出水バイパス運用の概要

### 2.2 流入土砂量の状況(桶谷地点)

- 桶谷地点の流入土砂量を試算した結果、7/1の1山目(約640m<sup>3</sup>/s)で約90万m<sup>3</sup>、その後2週間かけて約200万m<sup>3</sup>の土砂が流入した。
- 今回の出水で、合計約290万m<sup>3</sup>の土砂が流入した。  
※流入土砂量、バイパス土砂量の値については速報値であり今後変わる可能性がある

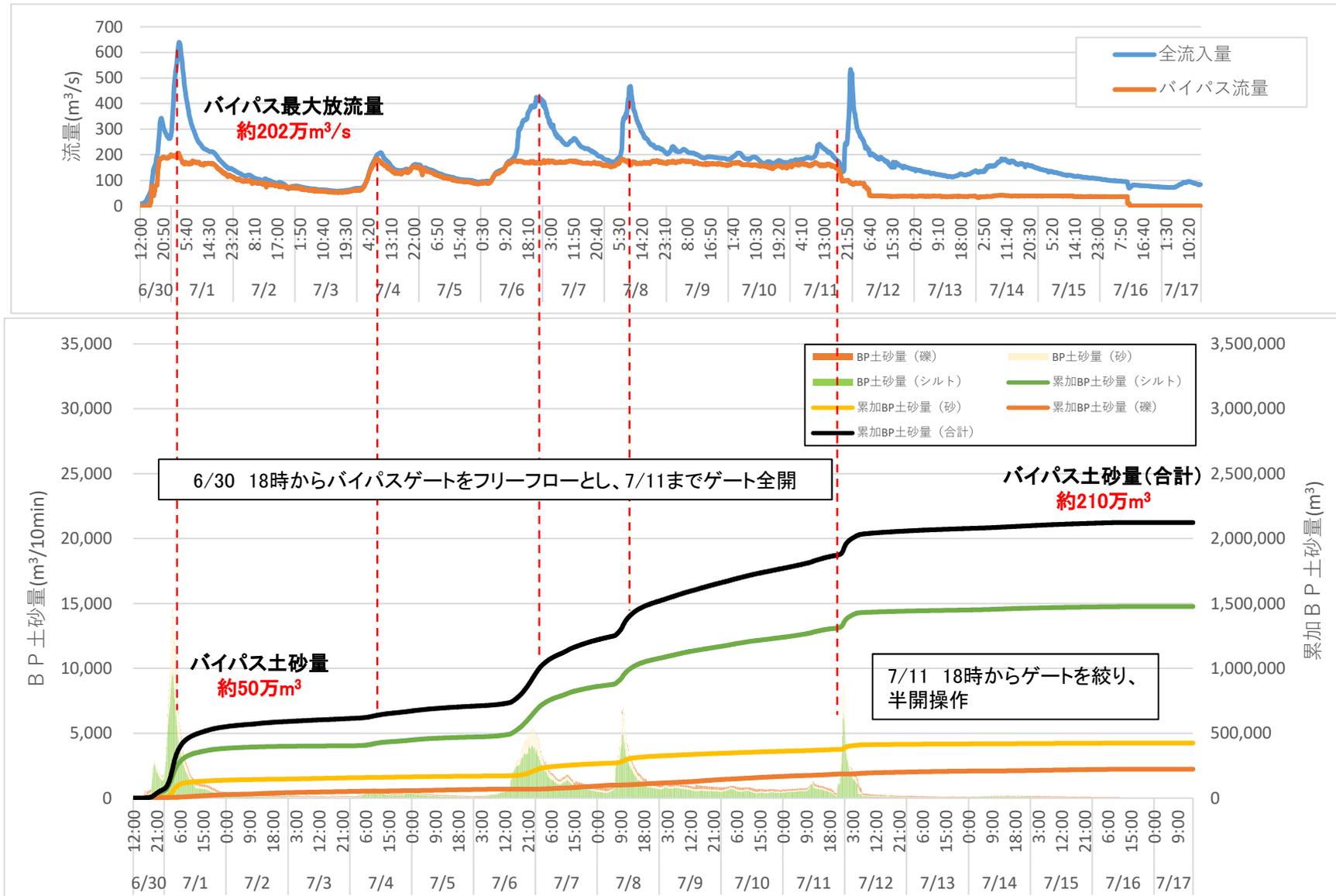


## 2.令和2年7月出水バイパス運用の概要

### 2.3 バイパス土砂量の状況

- バイパス土砂量を試算した結果、7/1の1山目で約50万 $m^3$ 、その後2週間かけて約160万 $m^3$ の土砂をバイパスし、合計約210万 $m^3$ の土砂をバイパスした。

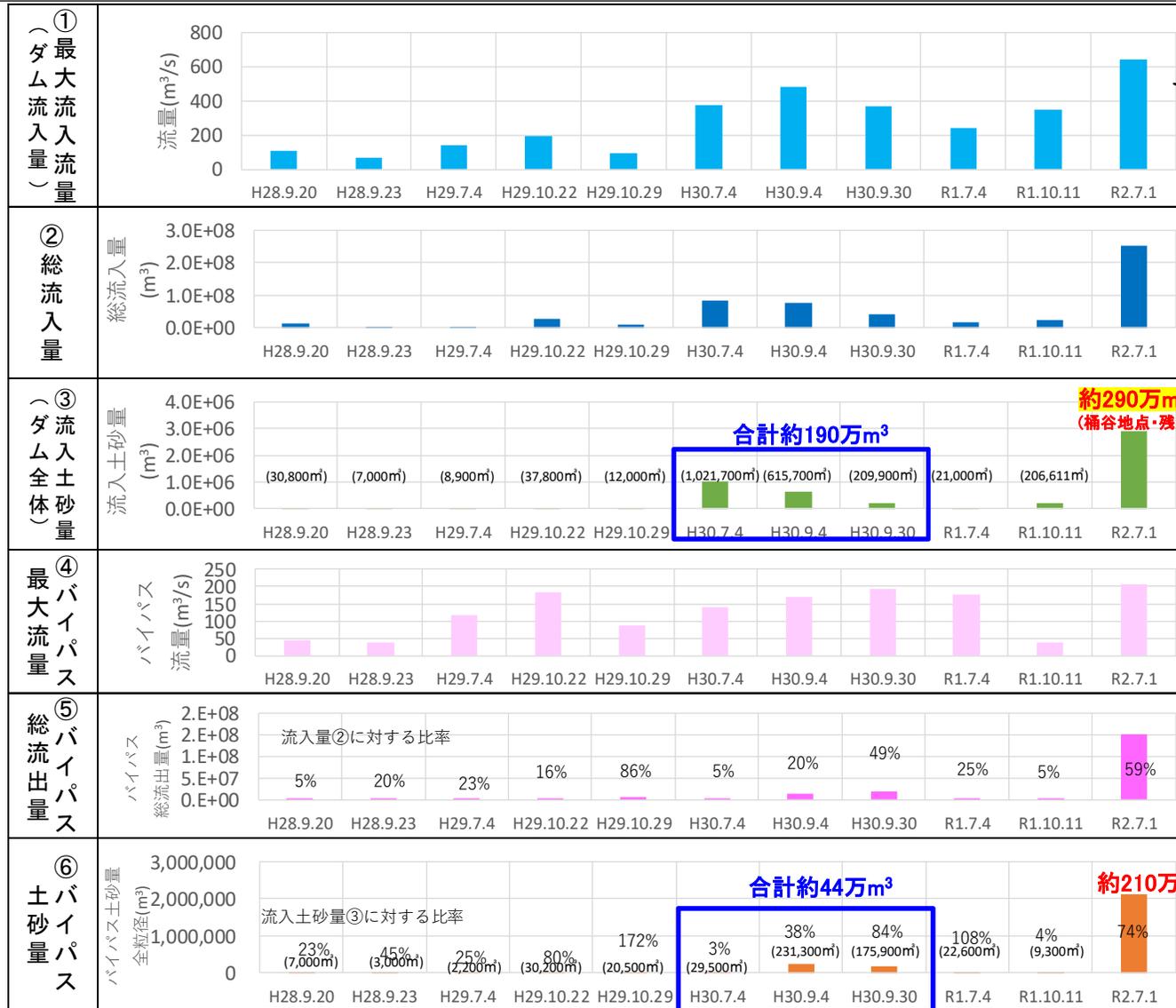
※流入土砂量、バイパス土砂量の値については速報値であり今後変わる可能性がある



## 2.令和2年7月出水バイパス運用の概要

### 2.4 試験運用期間のバイパス運用状況

- 令和2年7月出水は、試験運用期間中で、①最大流入流量、②総流入量ともに最大の出水規模であった。
- ③流入土砂量約290万 $m^3$ は、平成30年度のバイパスを運用した3出水の合計約190万 $m^3$ 、平成30年度の年間流入土砂量約210万 $m^3$ を上回った。
- ④バイパス最大流量、⑤バイパス総流出量、⑥バイパス土砂量も最大となり、H30出水の3洪水の合計と比較しても、大きく上回った。



最大流入量  
H30洪水:482m³/s  
R2.7洪水:640m³/s

約290万 $m^3$   
(桶谷地点・残流減未考慮)

合計約190万 $m^3$

合計約44万 $m^3$

約210万 $m^3$

※流入土砂量、バイパス土砂量の値については速報値であり今後変わる可能性がある

## 2.令和2年7月出水バイパス運用の概要

### 2.5 計画・設計時の年間土砂収支計画との比較

#### ■バイパストンネル計画・設計時の土砂収支計画

- 年間の土砂収支の期待値として、流入土砂量約73万 $m^3$ /年に対し、第3貯砂堰で約17万 $m^3$ /年の土砂を補足させ、土砂バイパストンネルにより、約39万 $m^3$ /年を下流河道に排砂する計画である。

#### ■R2.7洪水時にける土砂収支の推定

- 今回、流入土砂量約289万 $m^3$ は、計画時の期待値(約73万 $m^3$ /年)の**4倍以上の規模の土砂量が1出水で流入した**。
- 土砂バイパストンネルにより、約213万 $m^3$ を排砂し、計画時の期待値(約39万 $m^3$ /年)の**5倍以上の土砂量を放流した**。

第3貯砂堰で  
17万 $m^3$ の土砂量を捕捉

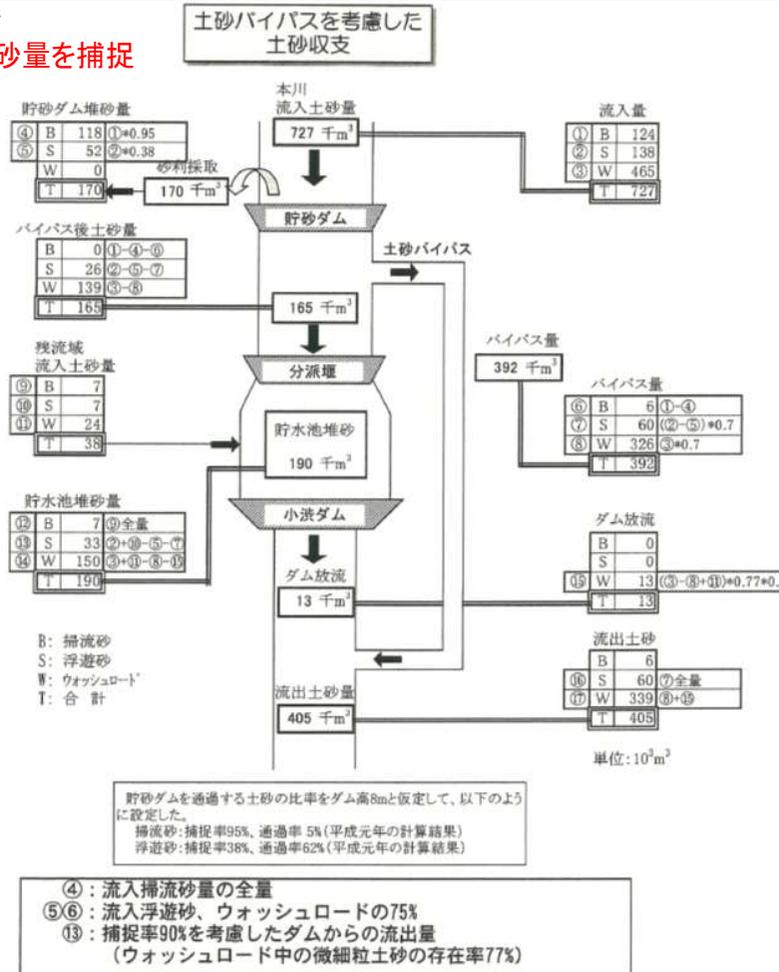


図 計画年間土砂収支(第11回小洪ダム堆砂対策検討委員会)

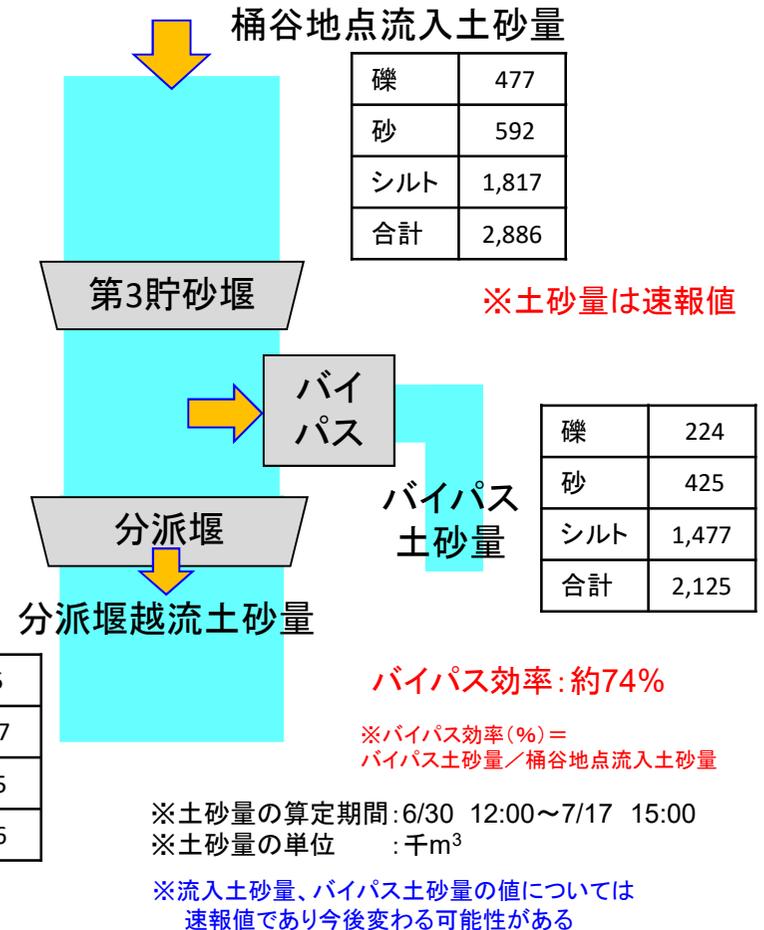


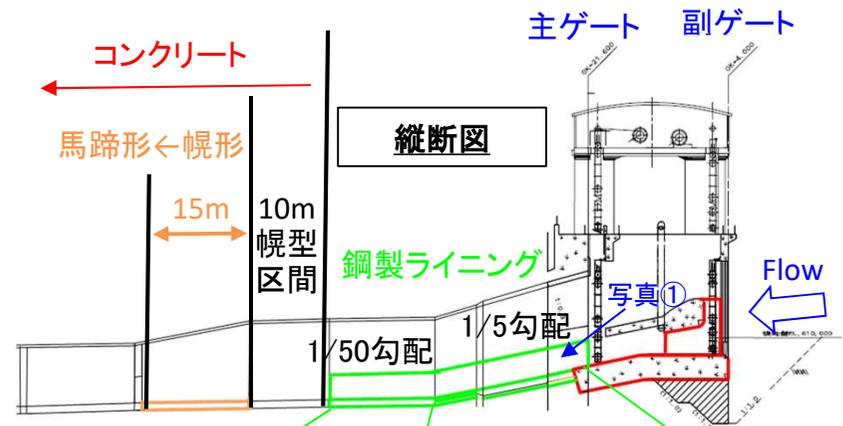
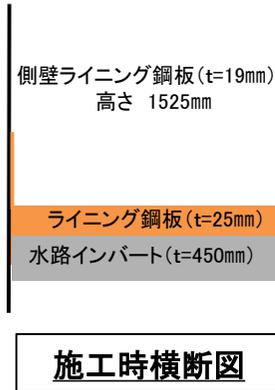
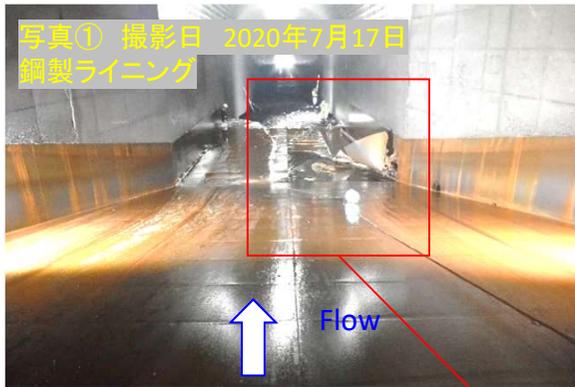
図 土砂収支図(R2.7洪水)

### 3.構造モニタリング調査結果の報告

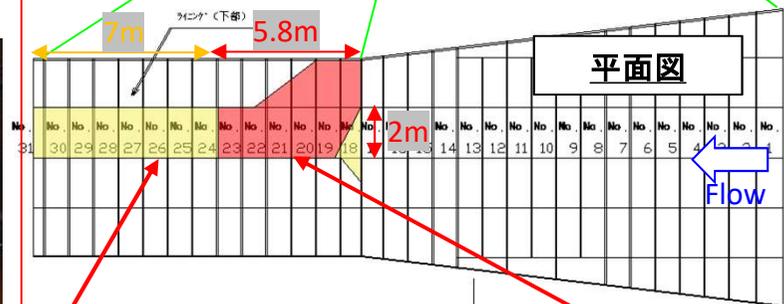
#### 3.1 施設摩耗・損傷状況の整理

##### ■ 呑口鋼製ライニング部の状況

- 鋼製ライニング部の勾配変化点(1/5勾配⇒1/50勾配)から下流コンクリート部にかけて、鋼板が剥がれた(右岸側から2ブロック目のライニング鋼板が流失し、右岸側1ブロック目の上流側にめくれが生じた。約30m<sup>2</sup>)。
- 上流側のライニング鋼板では、下部の水路インバート(コンクリート厚45cm)までも流失し、深さ約1.2m程度まで洗堀していた。



鋼製ライニング剥がれ  
上流側の状況



ライニングが剥離、水路インバートは残っている。

ライニングが剥離、水路インバートが流失している 最深深さは1.2m程度

### 3.構造モニタリング調査結果の報告

#### 3.1 施設摩耗・損傷状況の整理

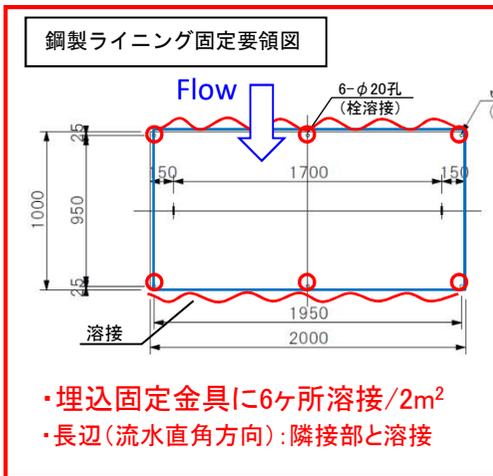
##### ■ 呑口鋼製ライニング部の状況(詳細)

- 上流側のラバーsteel部は、一部摩耗等が見られるものの概ね健全であり、継続使用が可能である。
- 水路漸縮部(勾配1:5.0)の鋼製ライニングは、偏摩耗(板厚減少量は最大12mm程度)が見られるが、剥離もなく概ね健全な状況である。
- 斜路部の鋼製ライニングは、一部剥離・流失しており、特に勾配変化点の板厚減少が著しく、摩耗した結果破断したものと考えられる。
- 剥離箇所の基礎コンクリートは1m以上の深さで洗堀している。
- 右岸側戸当り下部膜板、右岸側の上流部底面鋼製ライニングの一部に局所的な破損・損傷がある。
- ラバーsteelと鋼製ライニングの材質変化部分に板厚減少が見られ、鋼製ライニングを本来の板厚に復旧すれば段差が生じる。

【ライニングの現状】



超音波板厚計とノギス



下流戸当り膜板が局所的に変形し板厚減少及び貫通孔形成

ラバーsteelの摩耗・損傷に応じて鋼板も摩耗している

水流

摩耗の大きいトランジション部であるが、構造的には健全である鋼板固定の栓溶接及びライニング間の開先溶接にも問題はない

水流

勾配変化点での鋼板の板厚減少が激しい

水流

勾配変化点で減肉が著しく、土石流の衝撃等で破断したと想定される破断箇所の板厚は4mm程度である

水流

斜路中央部の鋼板が流失している大粒径の石が残存している

水流

埋設の鋼板固定金具も変形し、基礎コンが洗堀している

水流

下流戸当り膜板が局所的に変形し板厚減少が局所的に激しい

水流

ラバーsteelの摩耗・損傷に応じて鋼板も摩耗している

水流

鋼板剥離部への土石流により、鋼板が破断している

水流

鋼板剥離部への土砂流下により、鋼板が巻れ上がっている

水流

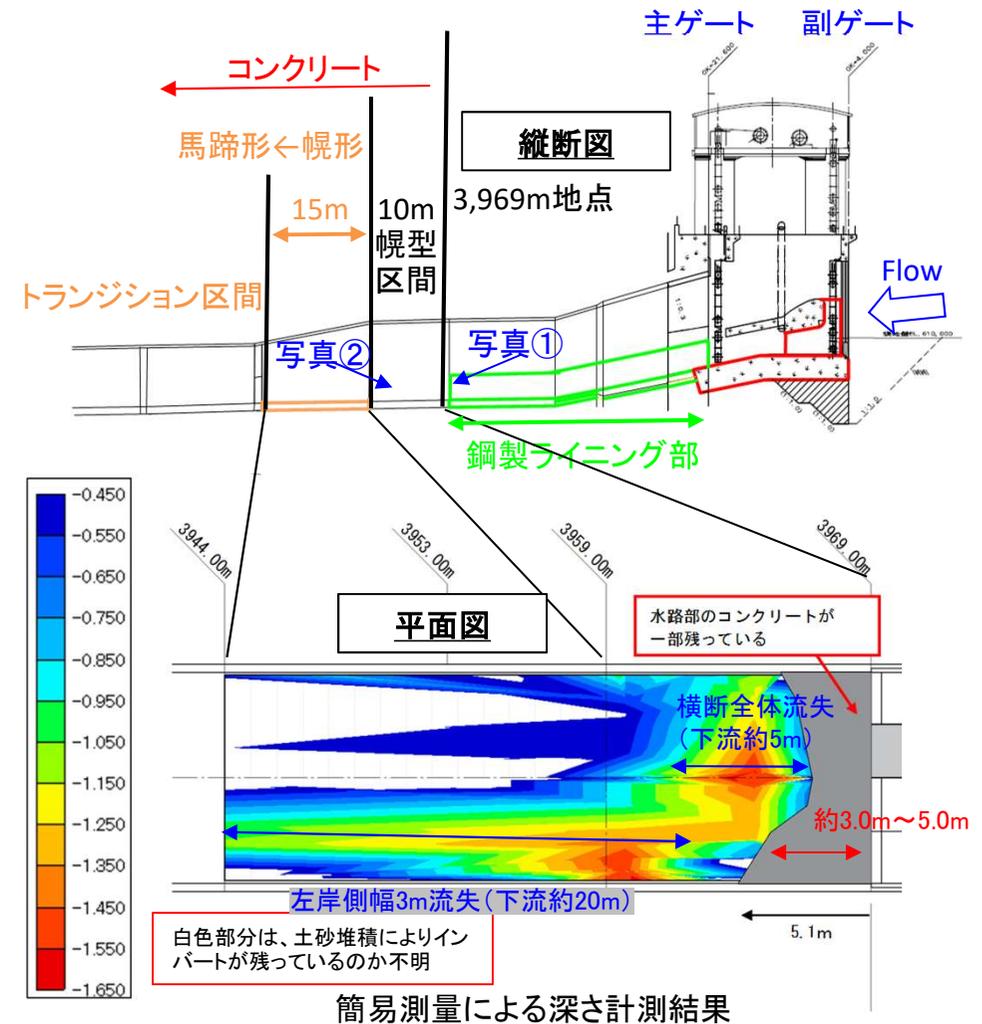
図 被災状況のまとめ

### 3.構造モニタリング調査結果の報告

#### 3.1 施設摩耗・損傷状況の整理

##### ■鋼製ライニング部直下の状況

- 鋼製ライニング部直下の水路インバート部は、上流側の一部のコンクリートが約3.0m～5.0m程度が残ったが、その下流は横断全体にわたり下流5m以上流失し、最大深1.7m程度であった。
- 土砂堆積により右岸側の計測が一部実施できなかったが、左岸側では幅3m程度で下流約20m区間の規模でインバートが流失した。



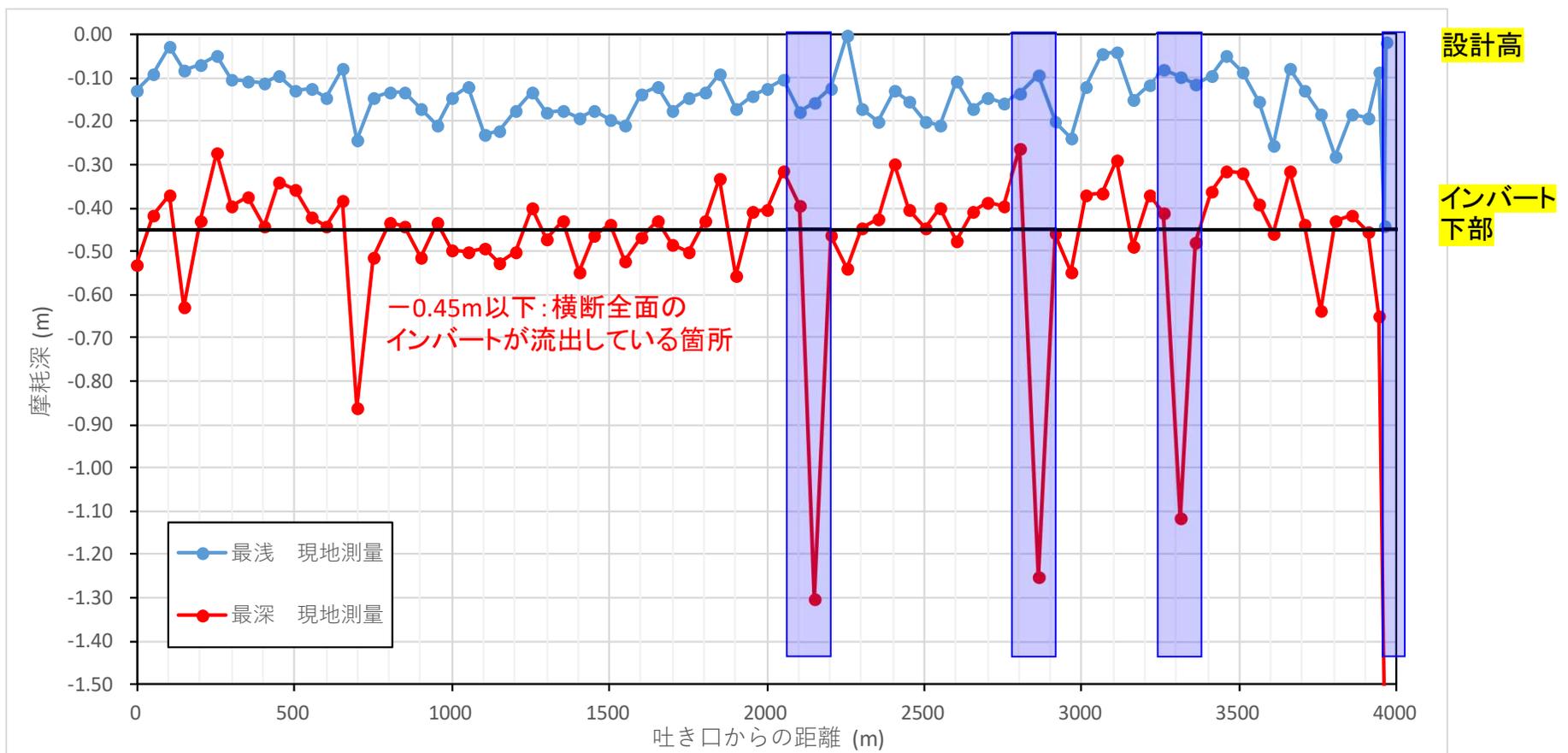


### 3.構造モニタリング調査結果の報告

#### 3.1 施設摩耗・損傷状況の整理

##### ■トンネル内の縦断的な摩耗進行状況

- トンネル全延長4,000m区間に対し、50m間隔(上流部は、3.96km、3.97kmの2地点を追加し82箇所)で横断測量を実施し、横断ごとの最深高、最浅高を整理した結果、34箇所においてインバート下部(-0.45m)以下となった。
- 最深高が-0.45m以下となる箇所は、全測量箇所に対し約40%(34箇所/82箇所)であり、大部分のインバートが損傷した。

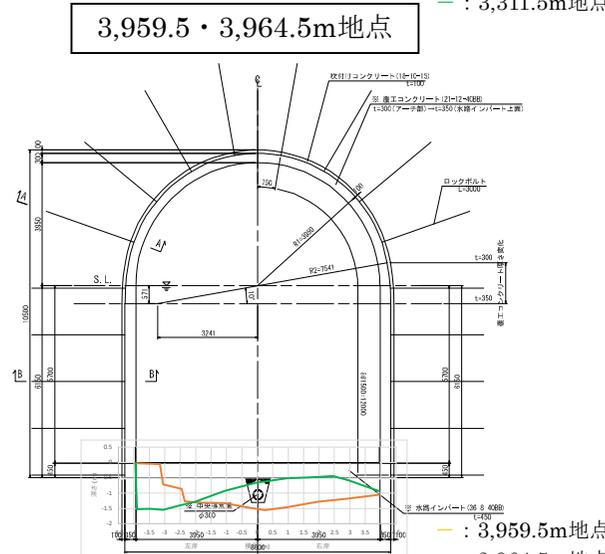
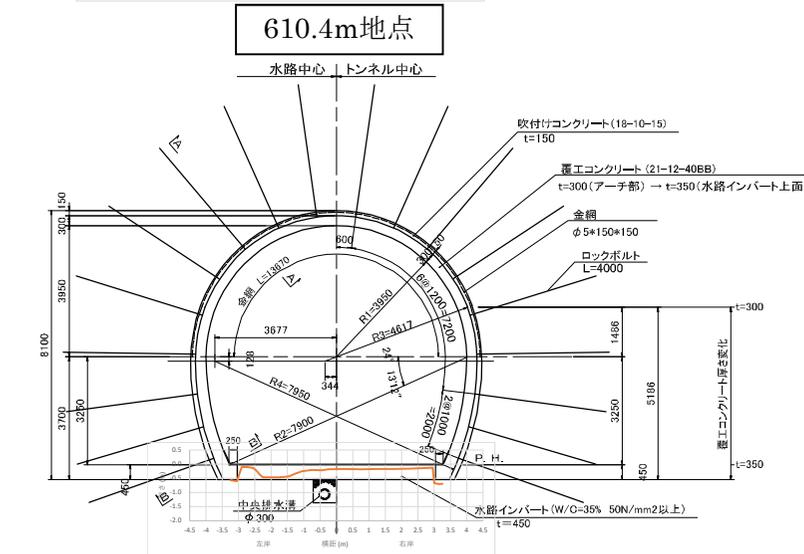
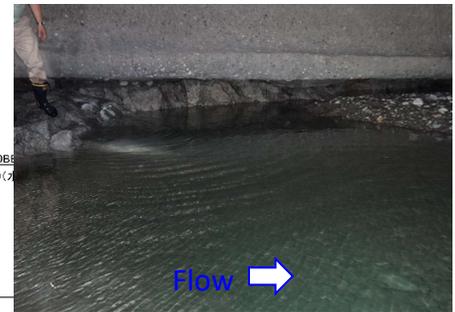
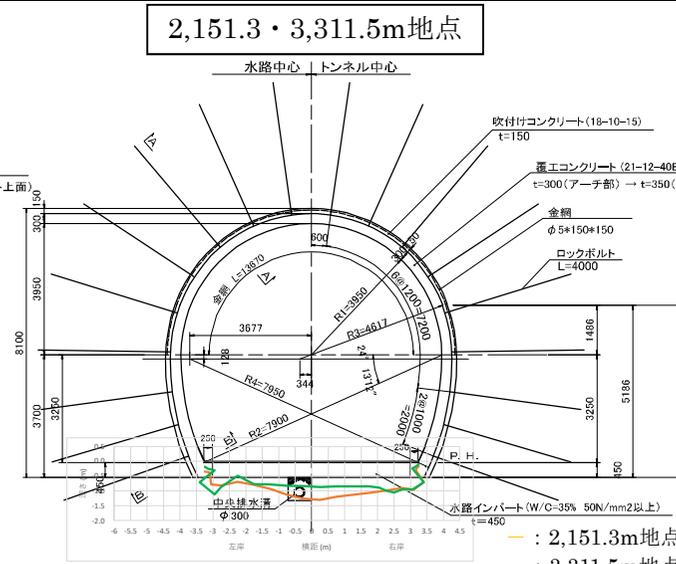
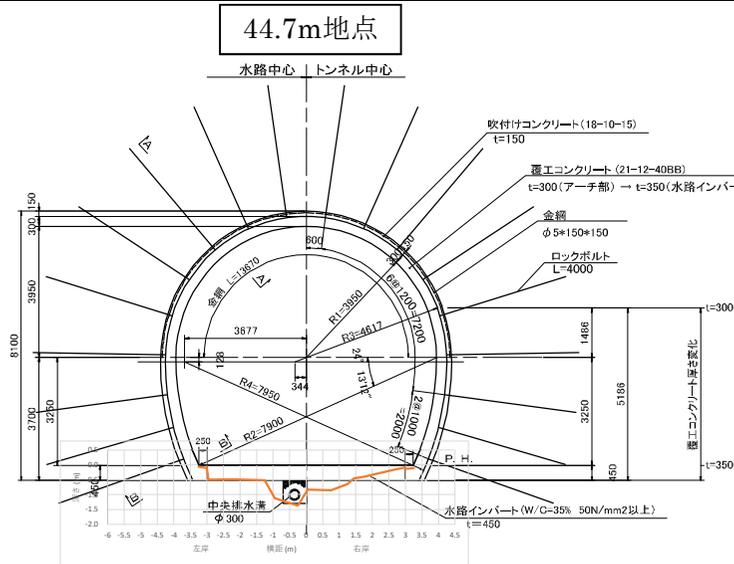


# 3.構造モニタリング調査結果の報告

## 3.1 施設摩耗・損傷状況の整理

### ■トンネル内の横断的な摩耗進行状況

- 横断方向で見ると、インバートコンクリートが全て流失している区間やその下部の基礎や排水孔も流失している箇所も発生している。
- インバートが流失したことにより、一部の側壁部の基礎が欠損した状況も確認できた。



側壁基礎部の欠損

インバート下部の損傷

### 3.構造モニタリング調査結果の報告

#### 3.1 施設摩耗・損傷状況の整理

##### ■吐口部(水叩き部の状況)

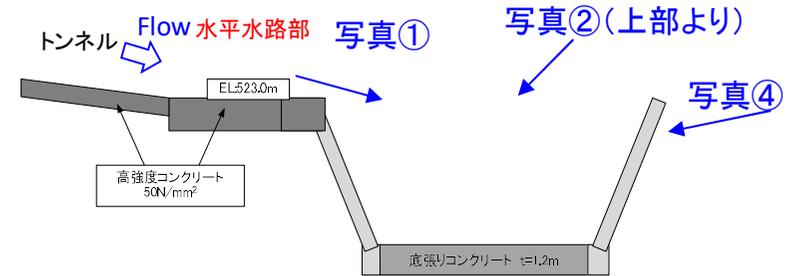
- 吐口0m地点から下流の水叩き部の大部分が流失し、上流側の水路インバートの一部が吐口下流方向に約2.5m~5m程度残った。
- 水平水路部はインバート全体にかけて流失した(面積推定約150m<sup>2</sup>、最大深約3.6m程度)【写真①~④】。
- 基礎部の土質材料も洗堀を受けて深ぼれし、先端もたれ擁壁の水抜きが閉塞して、トンネル湧水により湛水状態となっている。



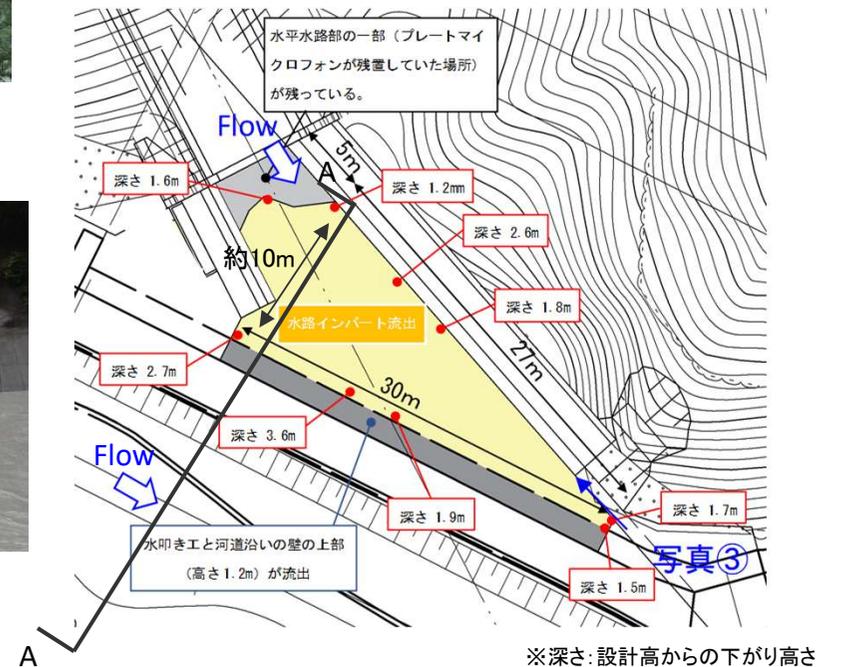
吐き口部 トンネル側、上部側からの状況



吐き口部 トンネル対岸からの状況



A-A 断面



インバート流失状況 平面図

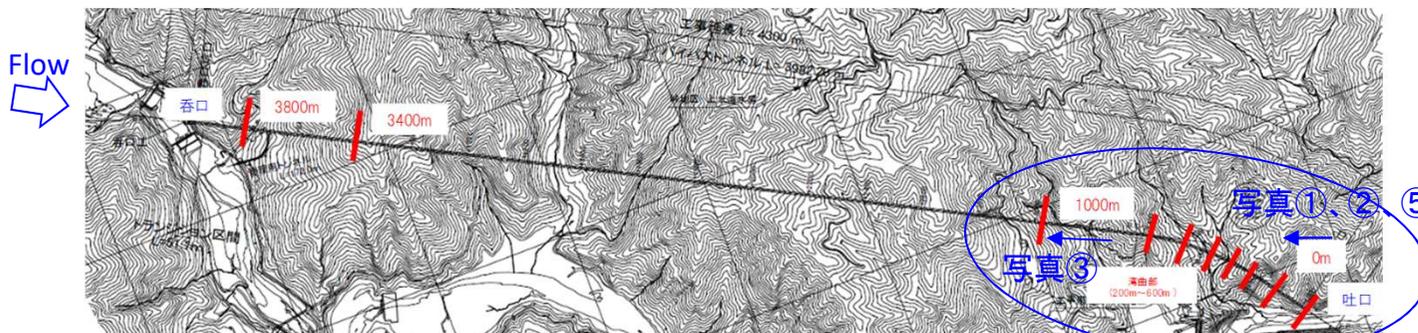
### 3.構造モニタリング調査結果の報告

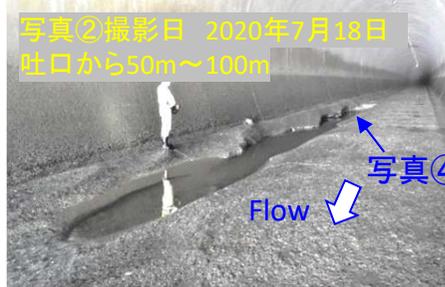
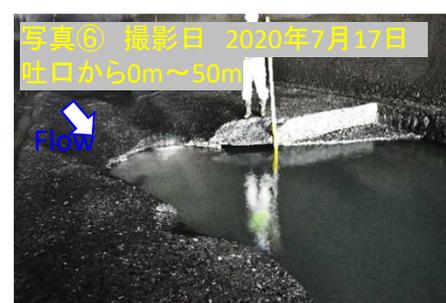
#### 3.2 損傷が顕著に確認された箇所の要因分析

■トンネルインバート及び吐口部の被災要因

- 今回の出水により、トンネル全線にわたり、水路インバートが全体的に摩耗・損傷した。また、局所的損傷個所にしずく状の穴が発生した。
- 水路インバートが摩耗後、流水が穴より下部に入り込み、水路インバートが流失したと推定される。

トンネル平面図



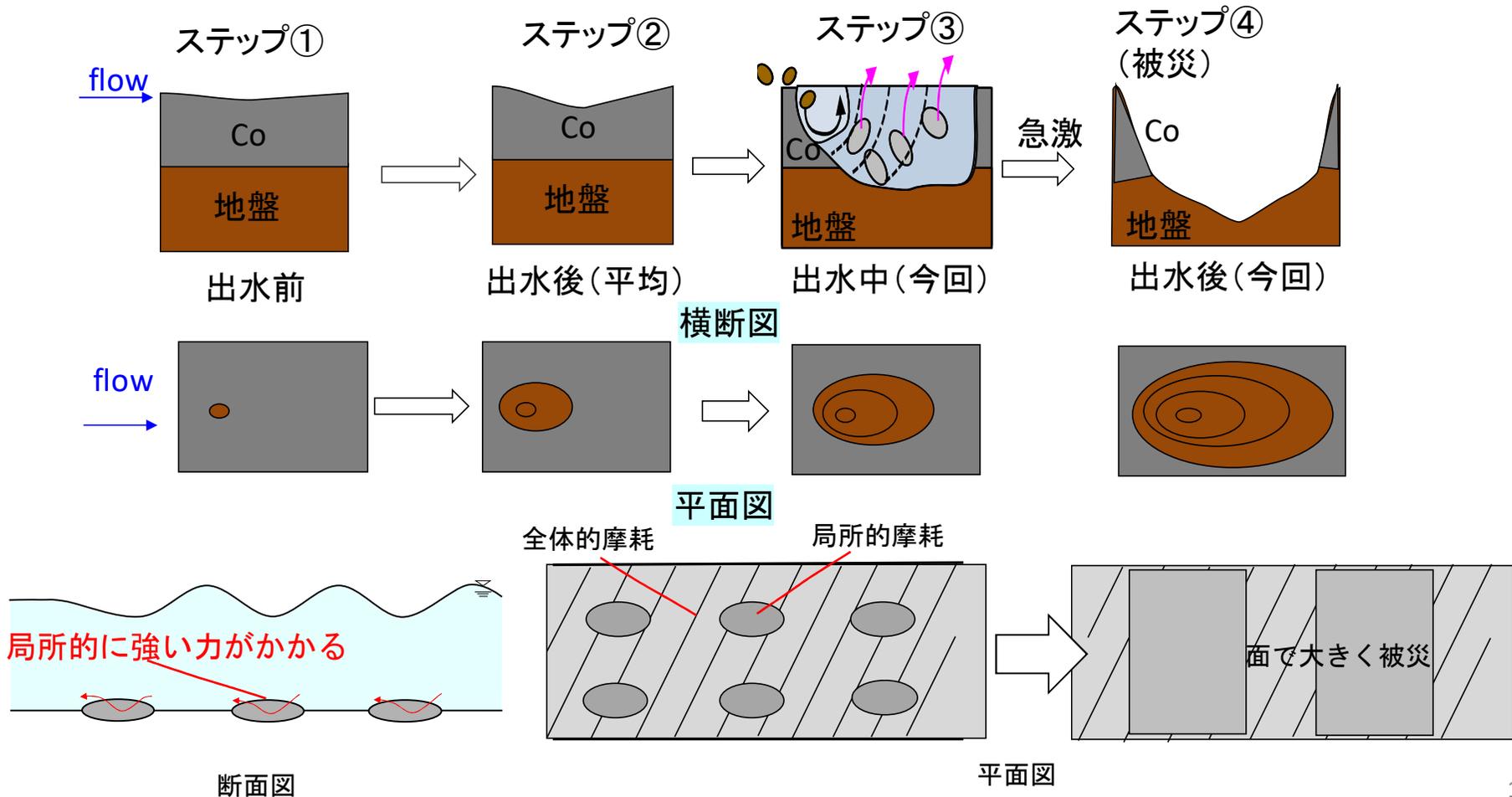
全体的に摩耗が進行	局所的な損傷	インバートの流失
<p>写真① 撮影日 2020年7月17日 吐口から約100m</p> 	<p>写真② 撮影日 2020年7月18日 吐口から50m~100m</p> 	<p>写真⑤ 撮影日 2020年7月17日 吐口から0m~50m</p> 
<p>写真③ 撮影日 2020年7月17日 吐口から約1000m</p> 	<p>写真④ 撮影日 2020年7月18日 岩露出箇所</p> 	<p>写真⑥ 撮影日 2020年7月17日 吐口から0m~50m</p> 

### 3.構造モニタリング調査結果の報告

#### 3.2 損傷が顕著に確認された箇所の変因分析

##### ■トンネルインバート及び吐口部の被災変因

- 摩耗・損傷の進行メカニズムについては、土砂の継続的な流下に伴い、全体的に進行する摩耗量として、これまで、流下土砂量の関数として推定式で表現し、現象を推定してきた。
- 今回の出水では、局所的な損傷・摩耗の発生に伴い、その周囲に比べて相対的に損傷・摩耗が顕著に進行し、くぼみ・しずく状になった場合は、その箇所で砂礫が留まり回転することで、局所的な損傷・摩耗が一気に進行したと考えられる。
- また、局所的な損傷・摩耗が発生した箇所は、トンネル内に複雑な水と土砂の流れの発生により、水深が浅く流速が速い地点であったことも推定される。



### 3.構造モニタリング調査結果の報告

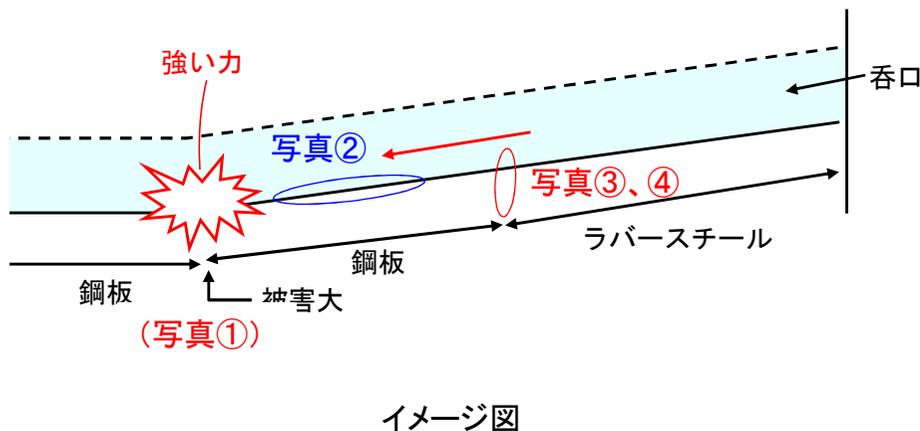
#### 3.2 損傷が顕著に確認された箇所の変因分析

##### ■鋼製ライニング部被災変因の推定

現地確認及び板厚測定結果等より、今回の被災メカニズムと被災原因は下記のとおりと想定される。

- 土石流が勾配変化点で流向を変化させられ、勾配変化点下流側鋼板に土石等が衝撃的に衝突する状況が長時間継続した結果、摩耗により、著しい板厚減少が生じた。
- その板厚減少部が、勾配変化点にさらなる土石の衝撃力・洗堀力を増加させる変因として作用し、鋼板の破断に至った。
- 鋼板が破断してめくれ上がり、土石流が鋼板の下の裏込めコンクリートを洗掘した結果、下流側鋼板の剥離・変形を助長した。
- 鋼製ライニングの敷設方法及び固定方法(各鋼板の水流直角方向を溶接接合する共に埋設鋼製架台に栓溶接で固定等)は、概ね妥当であったと考えられるが、今回の出水では、長時間の土砂バイパスの運用により、多量の通過土砂量が、勾配変化点(折れ線部)に衝撃集中したためであると考えられる。

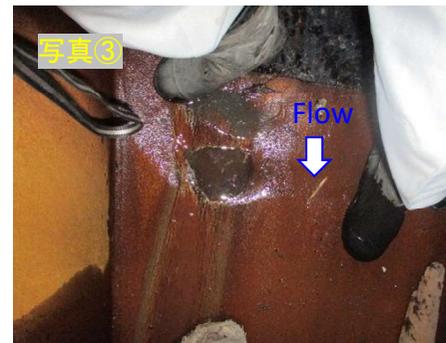
##### 鋼製ライニング被災変因



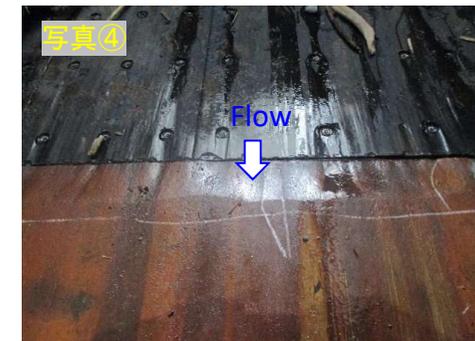
鋼板の剥離



残鋼板の状況



局所的な深ぼれ



鋼板の摩耗状況

### 3.構造モニタリング調査結果の報告

#### 3.2 損傷が顕著に確認された箇所の変因分析

##### ①構造変化点及び目地の脆弱性

- ライニング部の断面・勾配変化点で、摩耗が集中的に進行したため、鋼板が欠損し基盤コンクリートに到達したことで、下流側ライニング鋼板のめくれや剥がれにつながった。
- 長時間、土砂が流下したため、流下阻害等が原因となり損傷が拡大した。

##### ②インバートの下部や複雑な流れの発生による局所的な摩耗の面的拡大

- インバートの摩耗深は、大部分の箇所インバート厚の45cmを超過し、インバート基礎まで達した。特にインバート下部が砂礫で構成された箇所では、面的に大規模に損傷した。
- トンネル内に複雑な流れが長時間発生したことで、河床となるインバートにも複雑に局所的に強い力がかかったことで、侵食されやすい箇所が顕著となった。
- その結果、トンネル全線において、インバート厚を超える想定以上のコンクリート摩耗が発生した。

##### ③吐口水平水路部の流出

- バイパスを長時間運用したことで、基礎置き換え部、吐口水平水路部が流失した。

以上より、今回の損傷は、試験運用期間に経験のない継続時間の長い洪水が発生したことで、局所的な弱点から損傷が発生し、複雑な土砂の流れが長時間であったため、損傷が全線にわたり大規模に拡大した。

## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■上流ライニング部

##### ■ライニング設計根拠(第1回モニタリング委員会後の決定事項)

##### 【ライニング範囲】

- ライニング範囲は、摩耗・損傷により放流能力に影響する範囲と三次元的な流れによりトンネル内への流況に影響する範囲とした。
- オリフィス出口部より下流水路部は、底面及び側面(高さ1.5m)とした。
- 維持・管理が容易となるトータルコストとして安価になるよう、水理模型実験流況より必要と思われる範囲(最小規模)で設定した。  
※実験は、矩形トンネルから馬蹄形で再現。

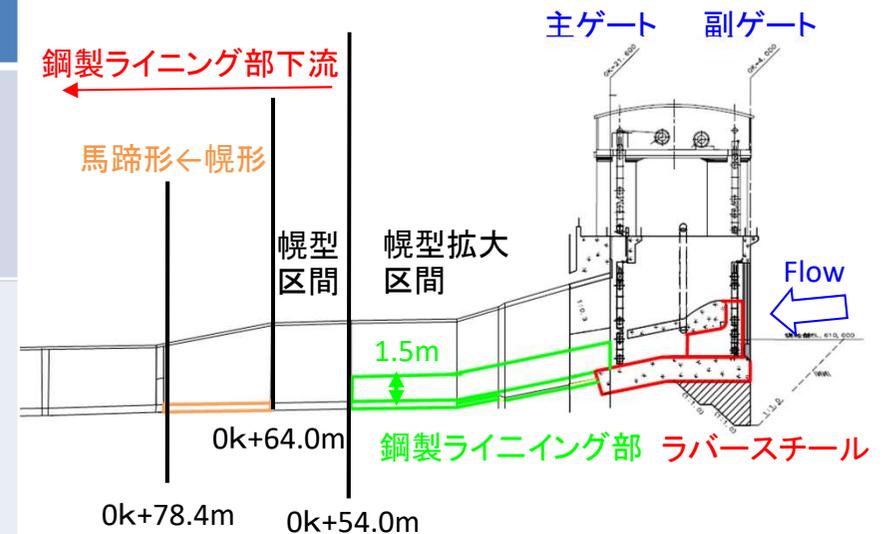
##### 【ライニング形式】

- 放流設備内: 構造が複雑であることから交換頻度を低くするため、鋼材に比べ衝撃吸収性がよく耐久性に優れたラバーsteelとした。
- 下流水路 : 開水路区間は構造が単純で交換等も比較的容易にできることから、普通鋼ライニングとした。

##### 【ライニング厚】

- 放流設備のラバーsteelは50mm、下流水路の普通鋼材は25mmとした。

設定要件	設定条件	実験での評価方法	結論
水理的な要件	磨耗・損傷により分派機能に影響しないこと	栈粗度を設置して、水理的に必要な最小規模を確認する。	粗度係数が大きくなって、分派機能への影響がない最小規模とした。
維持管理面での要件	維持・管理が容易となりトータルコストとして安価なこと	トンネル水路内の流況から、必要と思われる範囲を求め	等流にむけて減速している区間で、流れもほぼ水路底面に沿った流れとなっていると考えられる範囲呑口部から50m地点より上流側をライニングすることとした。



## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■上流ライニング部

##### 【固定方法】

- 鋼製ライニングを固定するための鋼製架台を基礎コンクリート部に設置し、基礎を平滑化したうえで、鉄板を並べ、1枚当たり周辺6箇所  
で栓溶接により架台と固定した。また、隣り合う鉄板間は、横断方向接続面を溶接した。



呑口部ラバースチール現地搬入



側壁ラバースチール設置



鋼製ライニング用架台布設



インバートコンクリート打設



インバートコンクリート平滑化処理



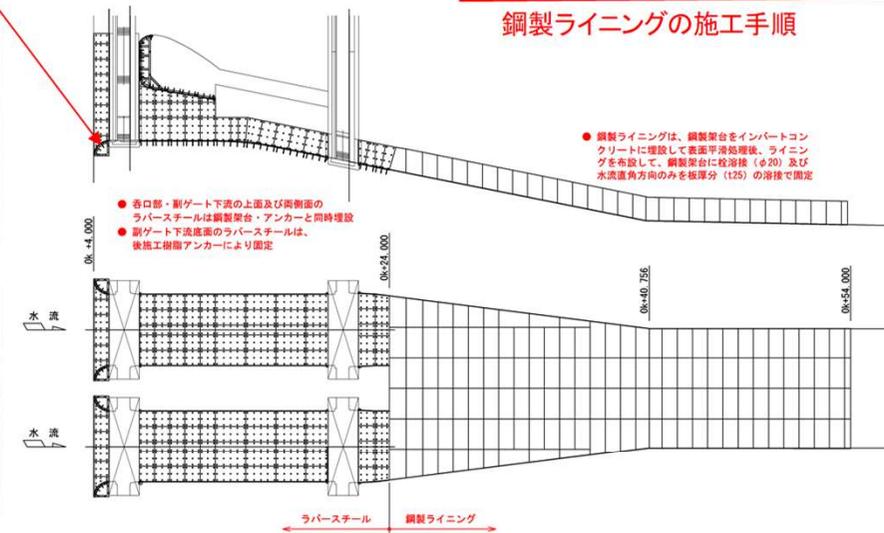
底面ラバースチール布設



底面ラバースチール布設



後施工アンカー用削孔



後施工樹脂アンカー



鋼製ライニング布設完了



鋼製ライニング溶接固定



鋼製ライニング布設



溶接開先と栓溶接用孔

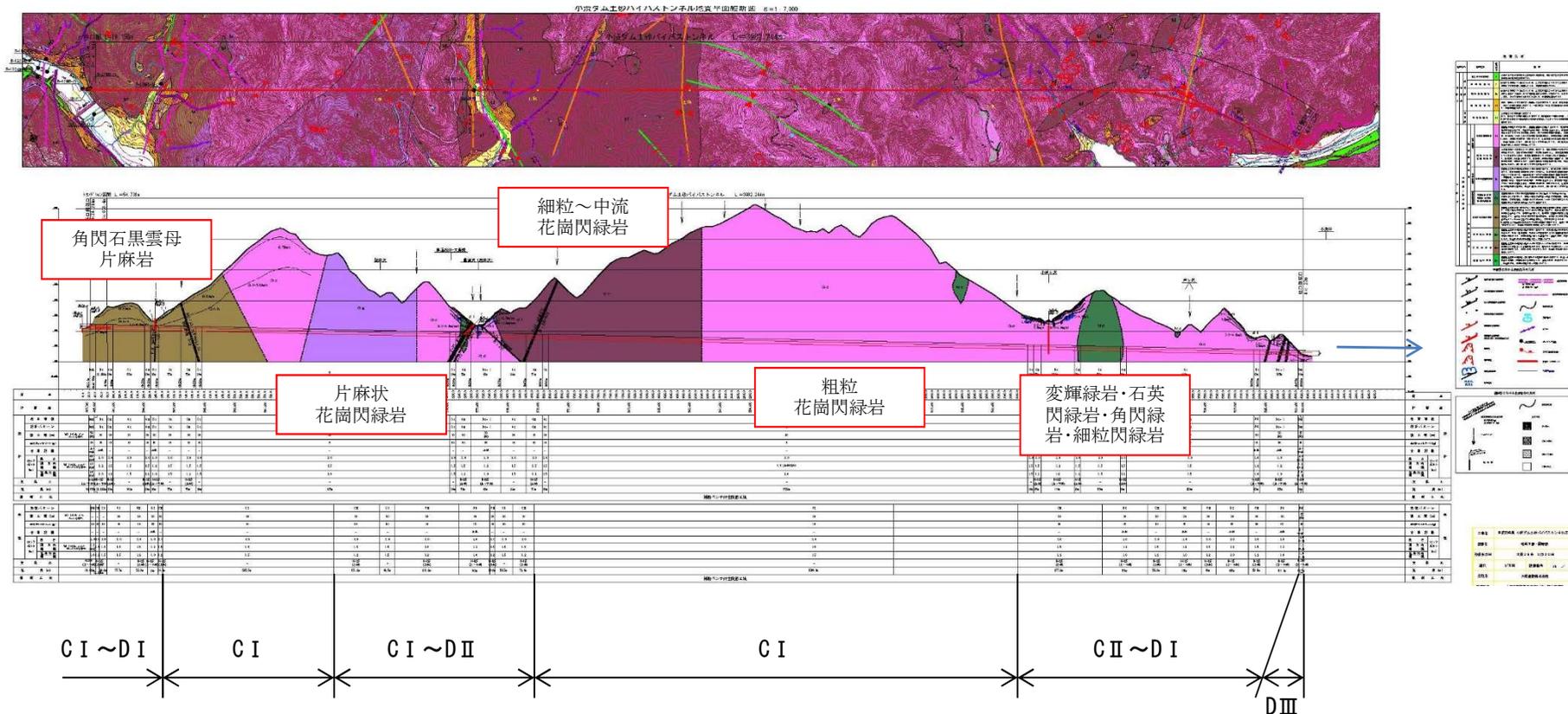
## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■トンネル本体部

##### 1)地質

- 本トンネルは、花崗閃緑岩をはじめとする岩盤内に設置する山岳トンネルである。
- 地山は全体的に堅硬で、C I区分が主体となっており、構造インバートを伴うD III区分は、吐口端部の12.5m区間のみとなっている。



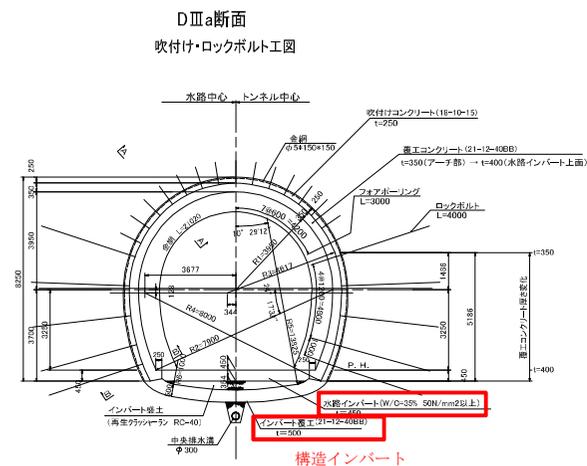
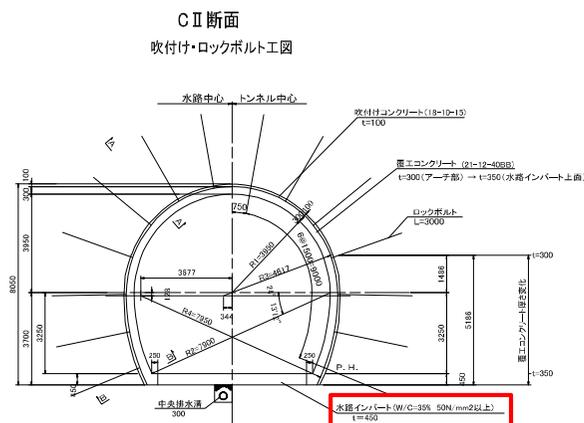
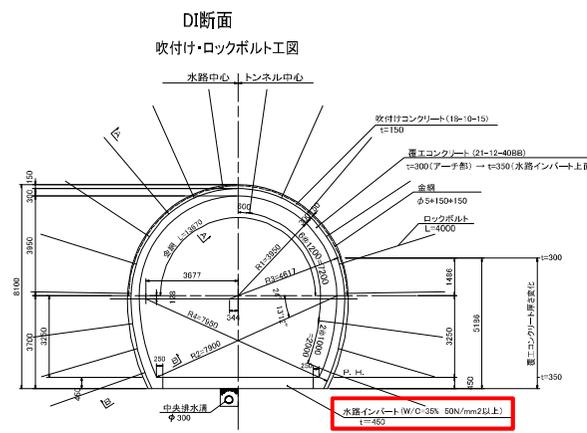
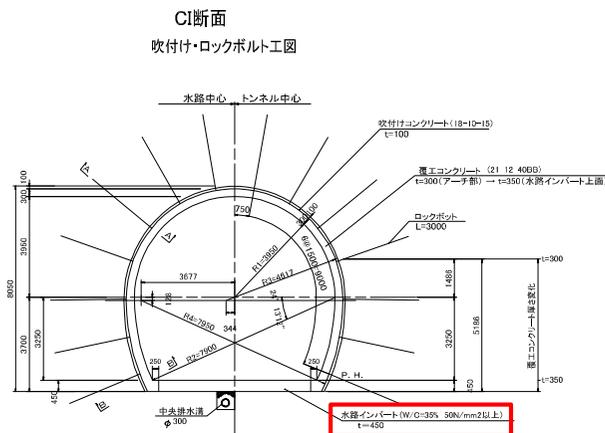
## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■トンネル本体部

##### 2)トンネル標準断面

- トンネル断面は標準馬蹄形を基本としており、断面種別としてC I・C II・D I・D III aの4種類がある。
- NATM工法により、ロックボルト+吹付けコンクリートで形成するアーチ・側壁によりトンネル構造を形成し、その内面に覆工コンクリートが配置されている。
- インバート部は、水路インバートとして50N/mm<sup>2</sup>のコンクリートを平面形状・厚さ45mmで配置している。さらに、D III a断面については、水路インバートの下部に、曲面形状・厚さ500mmの構造インバートを配置し、両インバートの間はクラッシュランで填充している。



D IIIの【構造インバート】

## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■トンネル本体部

##### 3) インバート厚

- インバート厚は、維持管理厚(160mm)+最大摩耗厚(190mm)+余裕厚(100mm)となり、450mmが採用されている。  
※10cm摩耗している状況で年最大土砂量をバイパスしても、岩盤まで達しない摩耗厚(インバート厚)を想定  
※摩耗による局所的な洗掘深は推定できていない

##### ■維持管理厚

- ①160mm (最大骨材40mm の4倍)

##### ■年間最大摩耗厚

- ②190mm (18.4cm: 計画洪水時のシミュレーション結果)

##### ■余裕厚

- ③100mm (インバート打設時の最大粗骨材寸法80mmより大きくとるという考え)

##### ■インバート厚

- ①+②+③=450mm

インバート厚設計根拠(小渋ダム土砂バイパストンネル設計業務報告書)より

#### トンネル内空断面の覆工厚の設定 (平成15年度業務)

##### ◆設計基準

トンネル内空断面の覆工厚は、「道路設計要領」及び「河川砂防技術基準(設計編I)」を参考に表-6.4.4のとおり決定した。

##### ◆維持管理方針

維持管理厚は、それが損傷されれば改修を行うというものである。したがって、余り薄いと補修頻度が高くなりコストがかかる。また、補修最小厚(160mm)より薄いと、補修の際に切削を基本と考えることになる。

ここでは平均損傷厚で考えるため、改修の際に実際は両端部等損傷深さの小さい箇所は切削することになるということから、維持管理厚は160mmとする。

施工可能厚は、コンクリート示方書で最大骨材の4倍となっているので、平均的に削れれば、40mm骨材で160mmの打設となる。なお、ここで補修を開始する基準を、最深損傷深さが160mmに達した時か、各断面の平均損傷深さが、最大断面となる場所で160mmに達した時なのかは、今後の課題とするものとする。

##### ◆摩耗代

年間最大磨耗厚は、190mm (18.4cm 計画洪水時の電中研シミュより)とする。余裕厚は、損傷時の凹凸を考慮して、トンネルインバート打設時最大粗骨材寸法の80mmより大きく取るということで、100mmとする。

##### ◆結論

維持管理厚+年間最大磨耗厚+余裕厚  
= 160mm+190mm+100mm  
= 450mm

なお、摩耗による損傷のメンテナンスは、10cm以上摩耗しないと補修できないことから、10cm摩耗している状況で年最大土砂量をバイパスし、岩盤まで達しない摩耗厚(インバート厚)が必要である。この摩耗厚について、(財)電力中央研究所において発表されている計算式により平均摩耗厚を推定し、覆工厚に上乗せすることによってライニング厚を決定したが、摩耗による局所洗掘深は、上記の方法では推定できないため、年最大土砂量による摩耗量を模型実験により確認する必要がある。

## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■トンネル本体部

##### 3)インバート厚

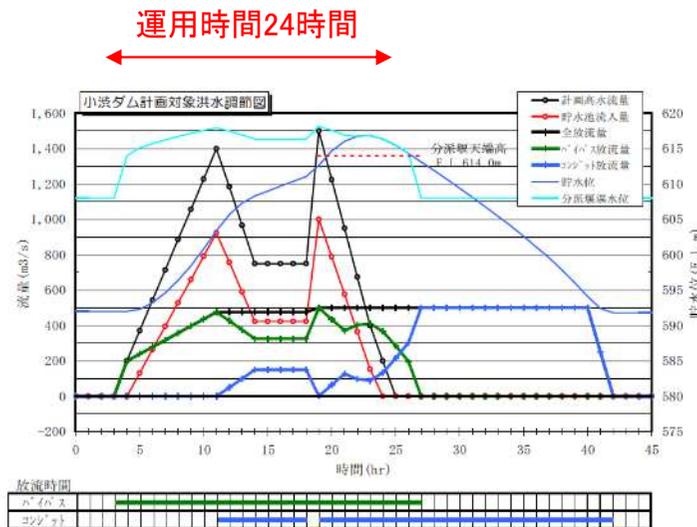
- 計画洪水時のシミュレーション結果による最大摩耗厚(190mm)を設定した際の外力と、今回の出水規模を比較した。
- 今回の出水は、15日以上の高時間の運用となったが、計画・設計時の施工条件と比較しても、洪水の最大流量、最大放流量、流入土砂量及びバイパス土砂量については、計画・設計時の想定外の洪水規模ではなかったことを確認した。

##### ○計画・設計時の想定外力

- 小渋ダム計画洪水波形(S36.6洪水、1/80)
  - 最大流入量:  $1,500\text{m}^3/\text{s}$
  - 最大放流量:  $500\text{m}^3/\text{s}$
- 土砂量
  - 貯水池への流入土砂量: 約336万 $\text{m}^3$
  - バイパス土砂量: 約295万 $\text{m}^3$

##### ○今回出水実績

- R2.7洪水
    - 最大流入量: 約 $640\text{m}^3/\text{s}$ (<想定)
    - 最大放流量: 約 $202\text{m}^3/\text{s}$ (<想定)
  - 土砂量
    - 貯水池への流入土砂量: 約289万 $\text{m}^3$ (<想定)
    - バイパス土砂量: 約213万 $\text{m}^3$ (<想定)
- ⇒想定外の流入は発生していない



計画・設計時の流量・水位ハイドロ



R2.7洪水の流量・水位ハイドロ

# 4.復旧計画(案)

## 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

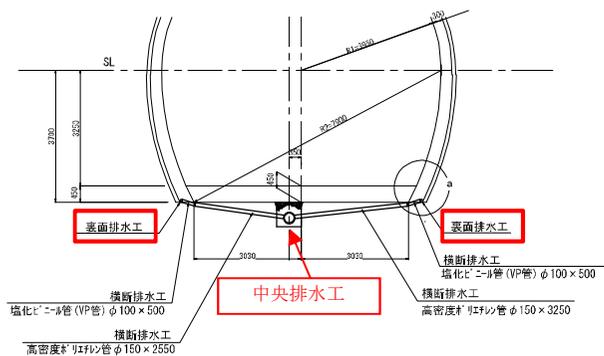
### ■トンネル本体部

#### 4) 排水工・止水板

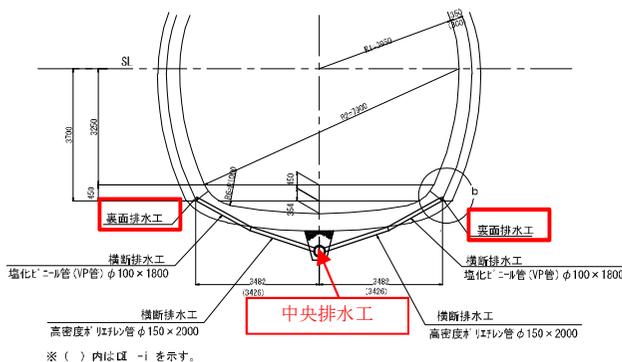
- 覆工に外水圧を作用させないため、トンネル背面地山の湧水を排水する排水工を設置している。
- 排水工は、中央排水工方式を採用し、インバート中央・下部に縦断方向の排水管を配置している。さらに、集水用として、インバート下部の横断排水工および、側壁下部縦断方向の裏面排水工を併設し、裏面排水工⇒横断排水工⇒中央排水工と接続した排水系統を形成。
- 排水管は、有孔管とし、周囲をフィルター材(碎石)で覆い、排水性を確保している。
- バイパス通水時において、トンネル内から排水系統に通水し、中央排水管の排水能力を超えないように、施工継ぎ目には止水板(水膨張ゴム)を配置している。

断面図 S=1/120  
断面：CI, CII, D1

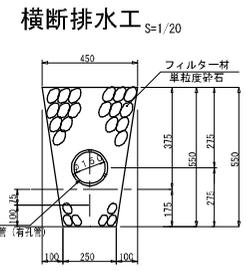
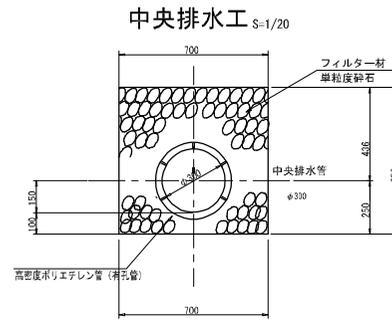
排水工詳細図



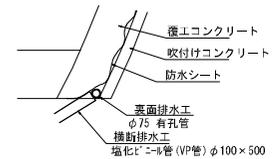
DIIIa 断面



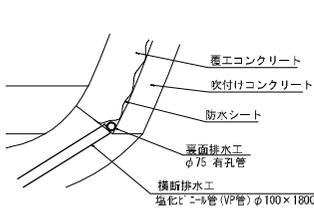
※ ( ) 内は び - i を示す。



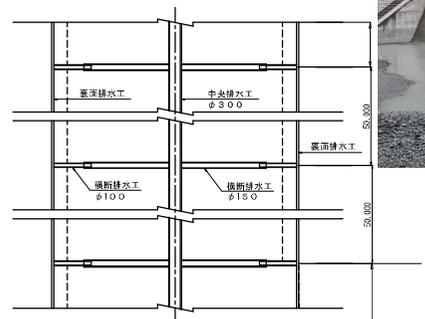
a 部詳細 S=1/40



b 部詳細 S=1/40



平面図 S=1/120



中央排水工の下流端  
(常時の排水状況)

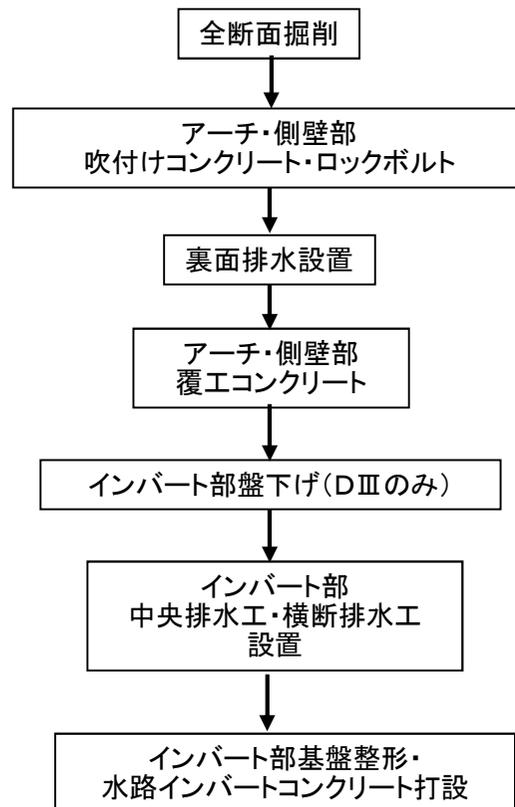
## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■トンネル部設計の考え方

##### 1) 施工手順

- NATM方式であり、掘削直後にアーチ・側壁部に吹付けコンクリート・ロックボルトを施工する。
- 全線施工完了後、変位が収束した段階で、アーチ・側壁部の覆工コンクリートをスライドフォームを使用し施工する。
- 構造インバート断面(DⅢ)は、その後、インバート部を掘り下げ、排水工を設置した後に、インバートコンクリートを施工する。  
(構造インバートと呼称し、水路インバートとは区別する)
- インバート基盤を整形(コンクリート置き換え)し、スリップフォームを用いて、水路インバートを施工する。
- インバート基盤、特に排水管周辺は、施工記録からは固結度の低い箇所も発生しているようである。



【中央排水工】



【裏面排水工】



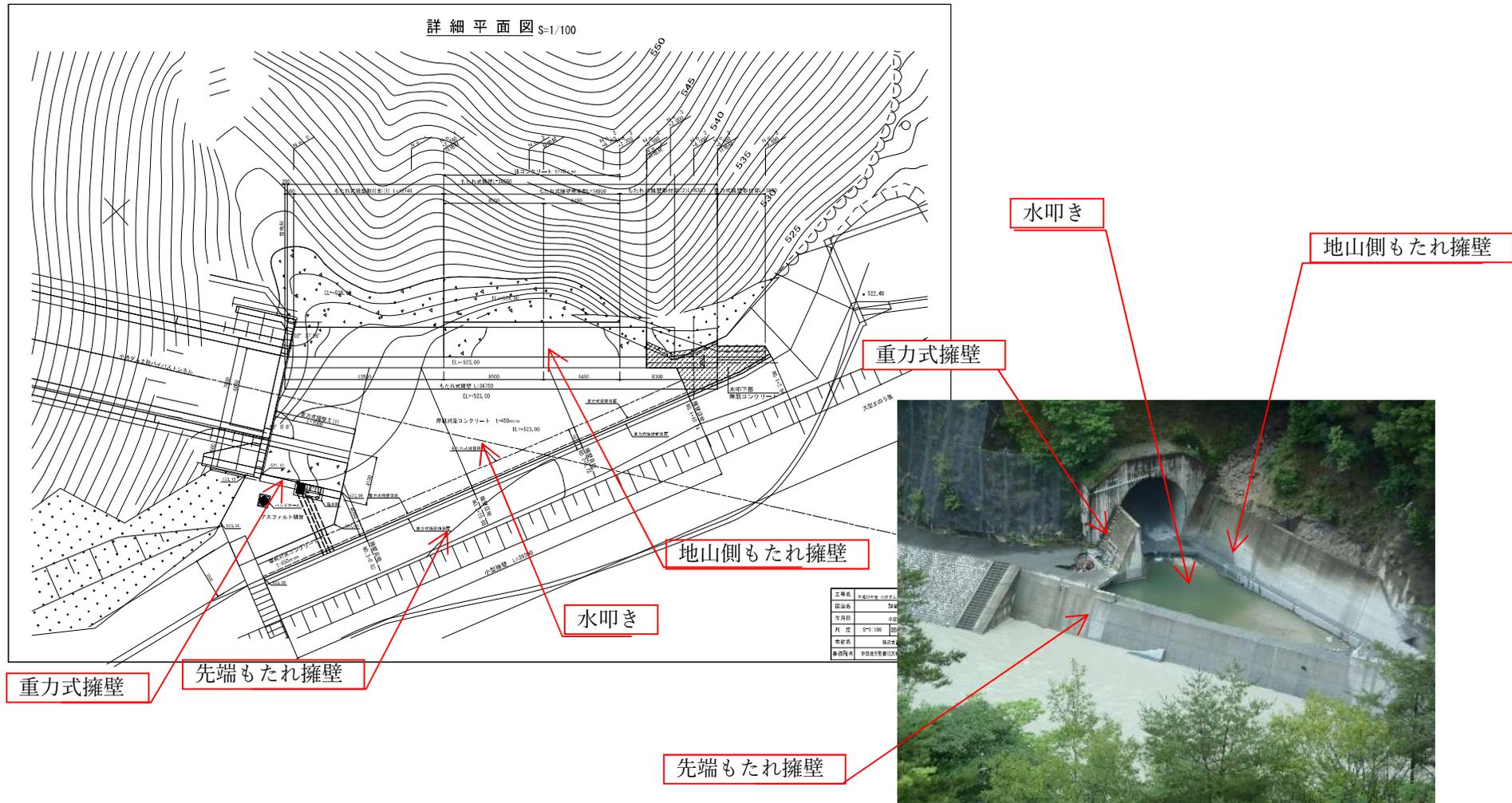
【横断排水工】

## 4.復旧計画(案)

### 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

#### ■吐口部 施設概要

- 吐口部は、水叩きをはじめとして右岸側の重力式擁壁・左岸側のもたれ擁壁・吐口終端のもたれ擁壁から構成される。



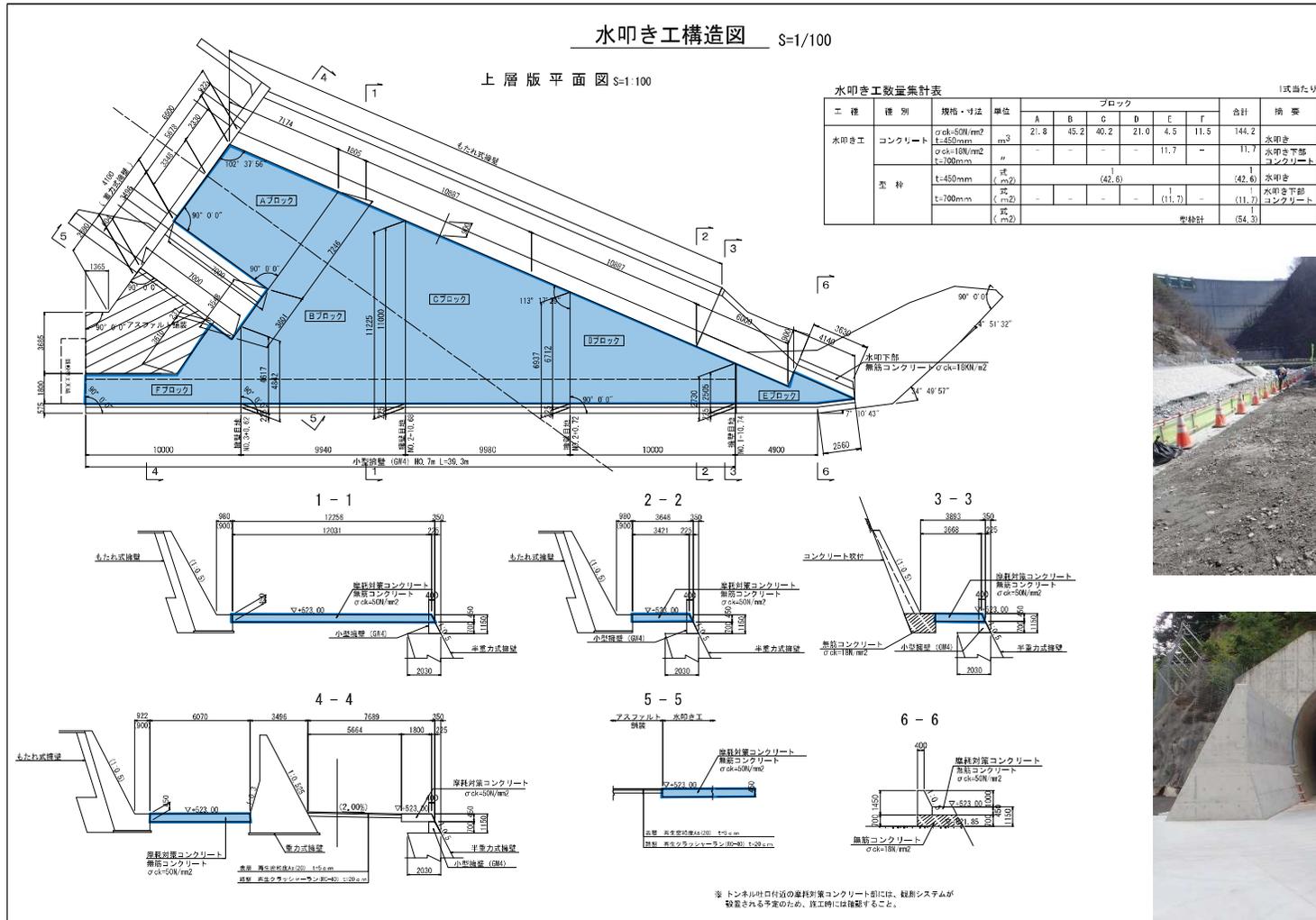
# 4.復旧計画(案)

## 4.1 計画・設計当時の施工条件の整理

### ■吐口部 水叩き

#### ■構造

- ・ 締め固めた土質材料の基礎の上に、強度 $50\text{N}/\text{mm}^2$ ・厚さ $45\text{cm}$ の無筋コンクリートで施工されている。
- ・ 約 $10\text{m}$ 間隔で継目が設置されている。



## 4.復旧計画(案)

### 4.2 今回の復旧方針(案)

#### ■補修方針(まとめ)

- 今回の洪水による摩耗・損傷状況や要因分析を踏まえ、復旧方針(案)は以下のとおりとする。

項目	現状	復旧方針
呑口ライニング部	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製ライニング(勾配変化点下流左岸側)の一部めくれと流出</li> <li>上記以外の鋼板継目には特異な板厚減少は見られない(全体的に摩耗は進行)</li> <li>鋼製ライニング直下区間の深掘れ(インバート含め、最大1.5m程度)</li> </ul>	<p><b>【変化点のめくれ対策】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ライニング部の勾配変化点は、めくれ対策として、摩耗集中緩和のため曲率部を挿入するとともに、増厚する。</li> <li>勾配変化点には、水流直角方向継手を設けない。</li> <li>固定方法は、従前は栓溶接(2m<sup>2</sup>当り6点固定)であったものを、ジベル埋設による多点固定に変更する。また、裏込めコンクリートは高強度化を図る。</li> </ul> <p><b>【ライニング範囲の見直し】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水理特性、摩耗傾向を踏まえ、トラジション区間直下の1スパンまでをライニング対象とする。(30m→67m)</li> <li>偏摩耗や局部的に顕著な板厚減少が見られ、その部分を起点とした同様な被災が懸念されるため、全面更新とする。</li> </ul> <p><b>【材質の強化】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材質を普通鋼から、耐摩耗性で優れるとともに経済的な省合金二相ステンレス鋼に変更する。(側壁部は普通鋼)</li> </ul> <p>(単純復旧:従前と同範囲、同形状、固定方法 → 機能向上:変化点の抑制、範囲拡大、耐久性の高い材料の採用、固定方法の強化)</p>
トンネル接続部 管理用	<ul style="list-style-type: none"> <li>接続部下流側側壁:角部の摩耗進行・一部配筋切断(トンネルとしての安定は支保で確保)</li> </ul>	<p><b>【損傷集中(鉄筋露出)対策】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋コンクリートとして配筋を復旧する。</li> <li>角部には、鋼製ライニングを設置する。</li> </ul>

## 4.復旧計画(案)

### 4.2 今回の復旧方針(案)

#### ■補修方針(まとめ)

	項目	現 状	復旧方針
トンネル本体	坑口 (構造インバート)	・坑口部(DⅢ)の構造インバートは保持されていると判断(水位低下後、要確認)	・構造インバートは保持されていると判断され、トンネル安定上、影響ないと判断される(水位低下後、要確認)
	一般部	・全線にわたり摩耗進行、局所的に大きく洗掘し基盤露出、インバート流出部もあり。 ・吐口から45m地点:最大1.5m程度(設計高から)、側壁つま先部は、吐口から610m地点で70cm(同)程度が欠損	【耐摩耗性向上、長寿命化】 ・水路インバートコンクリートを従前よりも高強度化(50→70N/mm <sup>2</sup> )するとともに、増厚(45→60cm)により耐久性向上を図る。 水路インバートが洗掘された場合を想定し、基盤部に砂礫層が残置されている範囲コンクリートで置き換える。 ・(単純復旧:同形状・材質のインバート、砂礫基礎部は砂礫での埋め戻し → 機能向上:インバート増強、基盤の強化)
	排水孔 (地下水排水工)	・トンネル内は深ぼれ部配管流出による分断・土砂流入 ・坑口から河道間は配管流出、埋没 ・インバート上あるいは下部層を流下して排水	・インバート下の中央排水方式(下流端排水)から、トンネル内側方排水方式に変更する。 ・中央排水工・横断排水工は撤去し、裏面排水工付近に接続する排水管を新設する
	止水板	・インバートとともに、摩耗範囲となり損耗、あるいは流出していると考えられる。(詳細不明)	・排水をトンネル内に誘導することから、止水板は不要となる。
	誘発目地	・目地を起点とした損傷はみられない。(弱点とはなっていない)	・インバートコンクリート打設後のランダムなクラック制御の点から、誘発目地は設置することとする。

## 4.復旧計画(案)

### 4.2 今回の復旧方針(案)

#### ■補修方針(まとめ)

	項目	現 状	復旧方針
吐 口 部	水叩き	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水叩き、上部擁壁の流出(下流端部除く)</li> <li>・基盤の流出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水叩きコンクリートは、トンネル水路インバートコンクリートと同様に高強度コンクリート(70N/mm<sup>2</sup>)とする。</li> <li>・基盤は、土質材料による埋め戻しから貧配合コンクリートに変更する。</li> <li>・(単純復旧:同材質・基盤は砂礫埋め戻し → 機能向上:コンクリート高強度化、基盤の強化)</li> </ul>
	先端もたれ擁壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>・背面の湛水(天端まで)</li> <li>・裏込め土砂の流出(上流側)</li> <li>・上部擁壁・水叩き(上載荷重)の流出</li> <li>・中央排水工の閉塞</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・埋戻し部分は、土質材料から貧配合コンクリートに変更する。</li> <li>・天端付近は水叩きと一体化した構造として、高強度コンクリート(70N/mm<sup>2</sup>)とする。</li> </ul>
	地山側もたれ擁壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>・全体にわたるま先部の基礎の流出</li> <li>・土砂堆積(マスコン部)</li> <li>・天端張コンクリート、埋め戻し土流出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・裏込め土部分を貧配合コンクリートに変更する。</li> <li>・擁壁基礎部の空洞は、水叩きのコンクリート打設の際に填充する。</li> <li>・沢筋から流出した土砂は撤去する。</li> </ul>
	重力式擁壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>・先端部分の基礎の流出(排水後、要確認)</li> <li>・トンネル本体との接続面にずれ、開きはない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・擁壁基礎部の空洞は、水叩きのコンクリート打設の際に填充する。</li> </ul>

## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■上流ライニング部

##### ■上流ライニング部の補修計画(案)

- ライニング部の勾配変化点は、めくれ対策として、摩耗集中緩和のため曲率部を挿入するとともに、水流直角方向継手の回避を行う。
- 固定方法は、従前は栓溶接(2m<sup>2</sup>当り6点固定)であったものを、ジベル埋設による多点固定に変更する。
- 流況不安定範囲をカバーする範囲＝トラジション下流の1スパンまでライニングを延伸。
- 材質を普通鋼から、耐摩耗性で優れるて経済的な省合金二相ステンレス鋼に変更。(側壁部は普通鋼)

##### 【①変化点のめくれ対策】

- 勾配変化点は折れ点ではなく曲率を設ける。曲率は上流ラバースチール部と同じくR20mとする。
- 上記曲率部には水流直角方向の継手は設けない。
- 取付方法はジベル方式とし、ライニングの固定点を増やして剥離抵抗性を向上させる(ジベル方式であるため、裏込めコンクリートは後施工とする)

##### 【②ライニング範囲(更新範囲)の見直し】

- 水理特性、摩耗傾向を踏まえ、トラジション区間直下の1スパンまでをライニング対象とする。(30m→67m)
- 偏摩耗や局部的に顕著な板厚減少が見られ、その部分を起点とした早期の同様な被災が懸念されるため、部分的な交換ではなく、底面部の鋼製ライニングは全て更新する。

##### 【③材質の強化】

- 耐摩耗性と材質(硬度・強度・表面平滑度)には相関があり、ステンレス鋼は普通鋼材の2倍程度の耐摩耗性があるとの報告もあるため、新技術の省合金二相ステンレス鋼を使用する。
- 側壁部鋼製ライニングは殆ど板厚減少が見られないため、継続使用する。
- 追加施工する側壁鋼製ライニングは、コスト及びトラジション部の曲げ加工性を考慮して普通鋼製とする。

##### 【補修後の更新計画】

- 今後は排砂操作後のモニタリングを行い、所定の板厚になれば予防保全として更新する
- 予防保全として更新する場合は、部分補修ではなく全面補修を原則とする

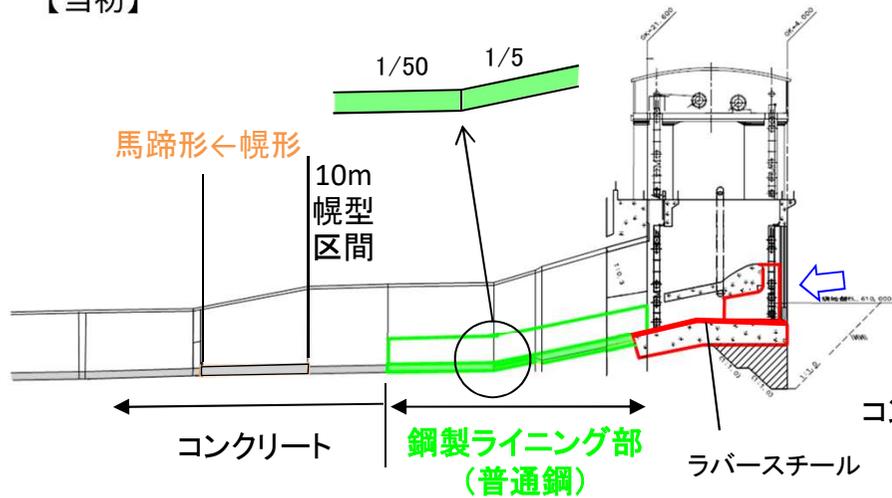
## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

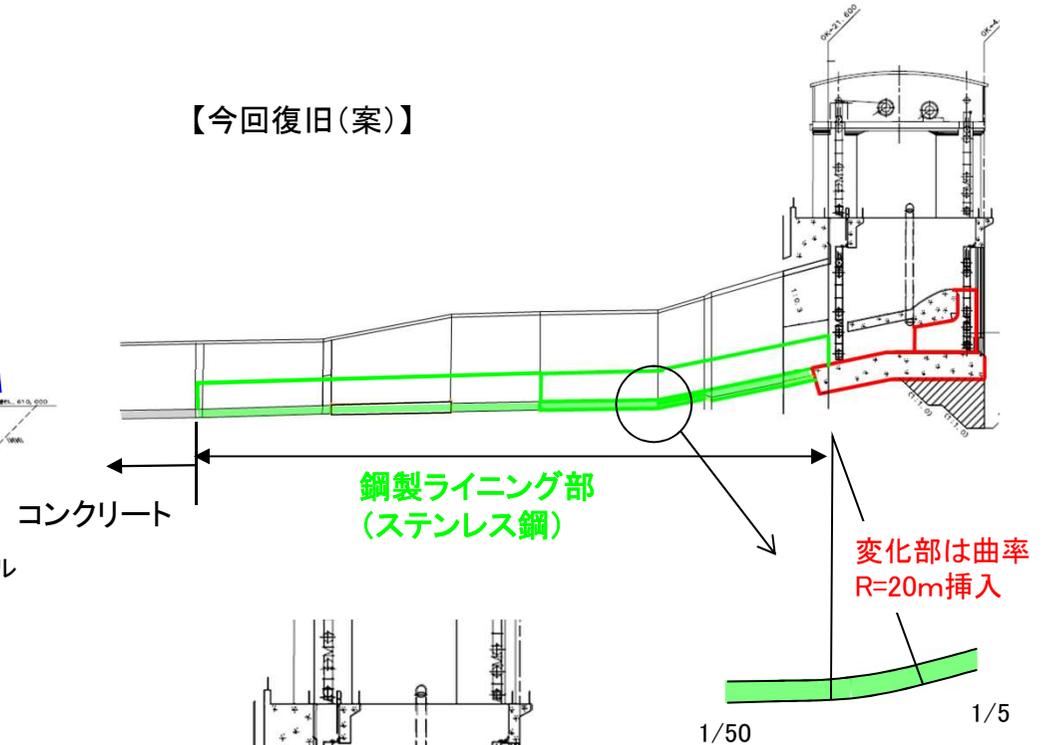
#### ■上流ライニング部

##### ■呑口部鋼製ライニングの改良まとめ

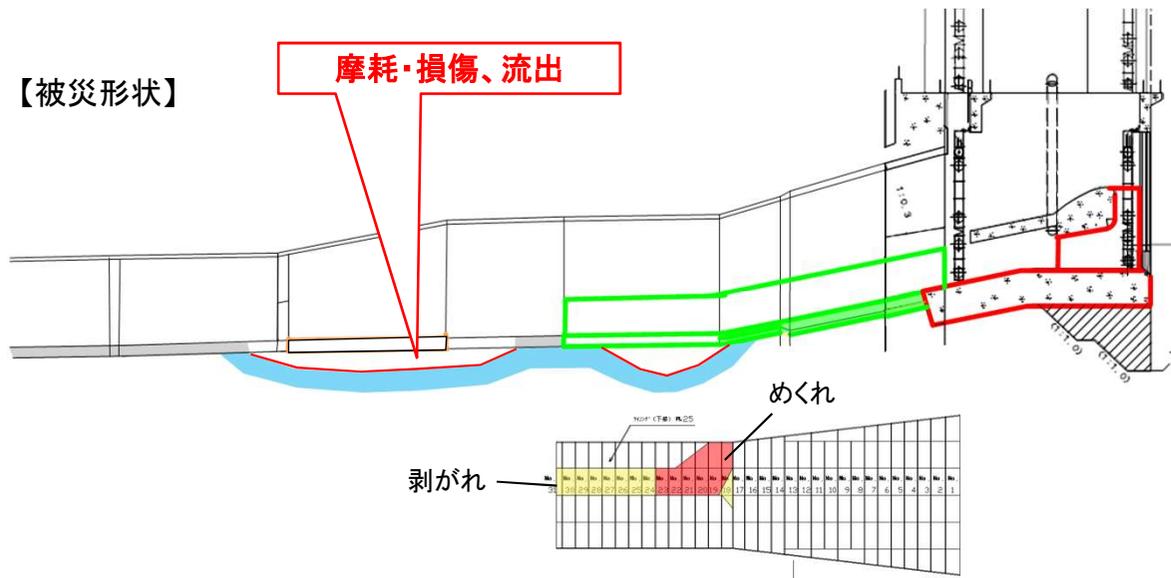
【当初】



【今回復旧(案)】



【被災形状】



## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■上流ライニング部

##### (1)変化点のめくれ対策

- ・勾配変化点は折れ点ではなく曲率(上流ラバースチール部と同じくR20m)を設け、曲率部には水流直角方向の継手は設けない(1枚板)
- ・曲率部の上下流には直線部を設ける(直線部を含めて1枚板)
- ・曲率部の板厚は上下流の直線部と寿命の均等化を図るために厚板とする(25mm→32mm)
- ・取付方法はジベル方式とし、ラインニングの固定点を増やして剥離抵抗性を向上させる

比較案	現状(屈折1回)	屈折分散(屈折2回)	曲率挿入	曲率挿入及び増厚
概要図				
概要	・勾配の変化を1回の屈折(10°)で処理する	・勾配の変化を2回の屈折(約5°)で処理する	・勾配の変化点に曲率(R=20m)を挿入する ・曲率の始末端の250mmの直線部を設ける ・曲率部に水流直角方向の継手なし	・勾配の変化点に曲率(R=20m)を挿入する ・曲率の始末端の250mmの直線部を設ける ・曲率部分の板厚を厚くする ・曲率部に水流直角方向の継手なし
底面板板厚	25mm	25mm	25mm	25mm(曲率部32mm)
変化点板自重	360kg	680kg	800kg	1035kg
使用重機等	8T ラフテレーンクレーン 吊り能力2.2t	同 左	同 左	同 左
対策の効果	・屈折点の土石流の衝撃力による板厚減少の結果、下流側が破断及び捲れ上がって剥離	・屈折角が半分になるため、衝撃力は1/4になり長寿命化が期待できる ・衝撃力を皆無には出来ない	・曲率により衝撃力は回避され長寿命化が期待できる ・直線部に比べて遠心力による圧力上昇は避けられない	・曲率により衝撃力は回避され長寿命化が期待できる ・遠心力による圧力上昇に対応するため、曲率部の板厚を厚くする ・直線部と寿命の均等化が図れる
固定方法	・水流直角方向の板厚相当の溶接の他、埋設固定金物に2m <sup>2</sup> 当り6ヶ所の栓溶接で固定	・水流直角方向の板厚相当の溶接の他、2m <sup>2</sup> 当り20ヶ所程度のジベルで固定し、ジベルはコンクリート埋設	同 左	同 左
評価	— (機能向上を図る)	対策の効果が小さい △	対策の効果は期待できる。 ○	対策効果が最も期待でき、耐久性も向上 ◎

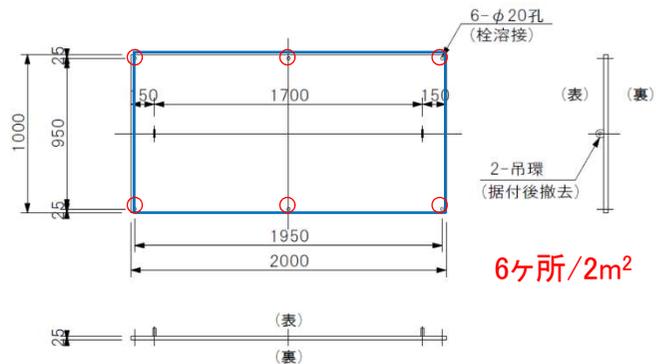
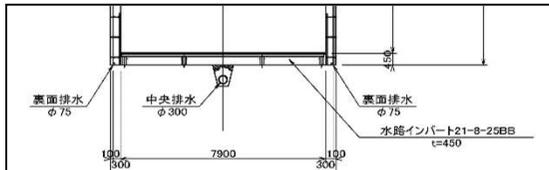
# 4.復旧計画(案)

## 4.3 補修計画(案)

### ■上流ライニング部

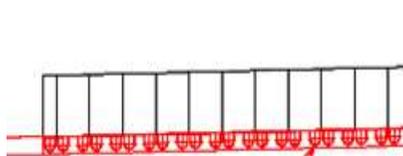
・固定方法

【当初】

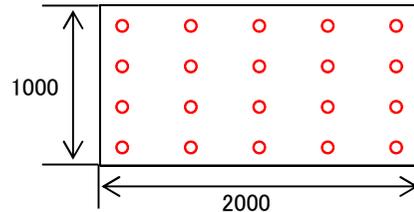


6ヶ所/2m<sup>2</sup>

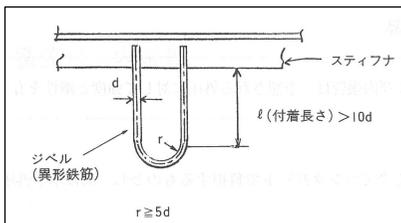
【今回復旧(案)】



ジベル



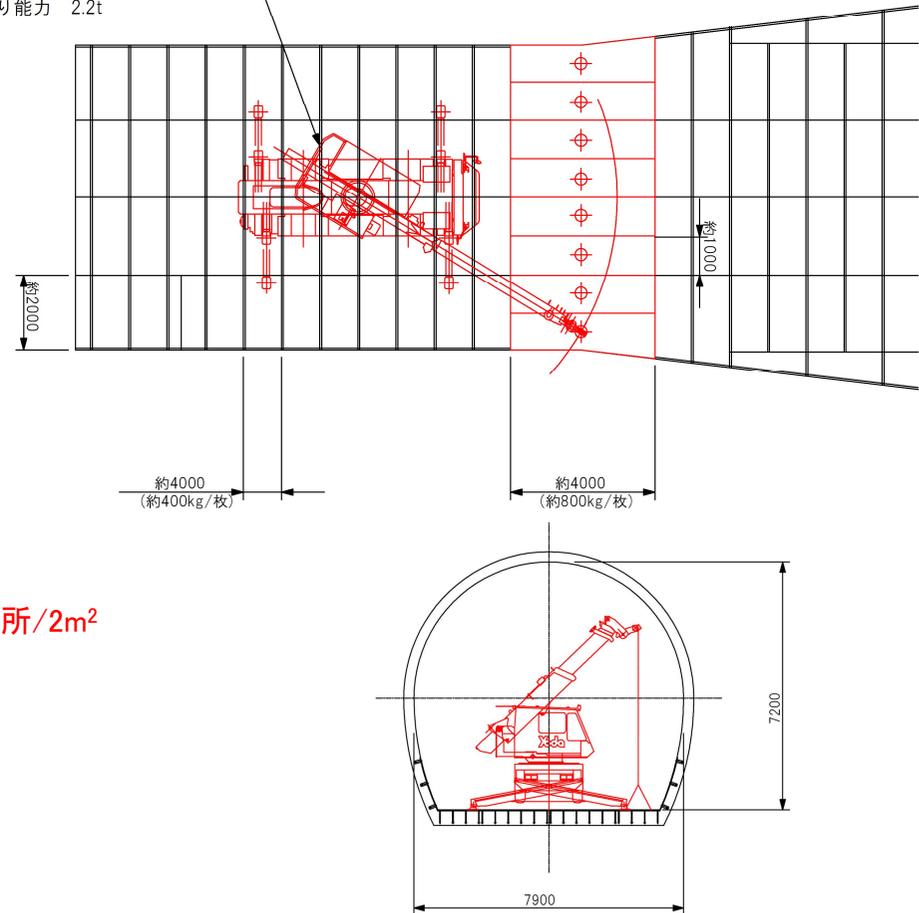
20ヶ所/2m<sup>2</sup>



ジベル設置例

・設置状況

8Tラフテレーンクレーン  
 作業半径 7m  
 アウトリガー最大張出し 4.4m  
 ブーム長さ 9.0m  
 ブーム先端地上高さ 6.0m  
 吊り能力 2.2t



## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■上流ライニング部

##### (2)ライニング範囲の見直し

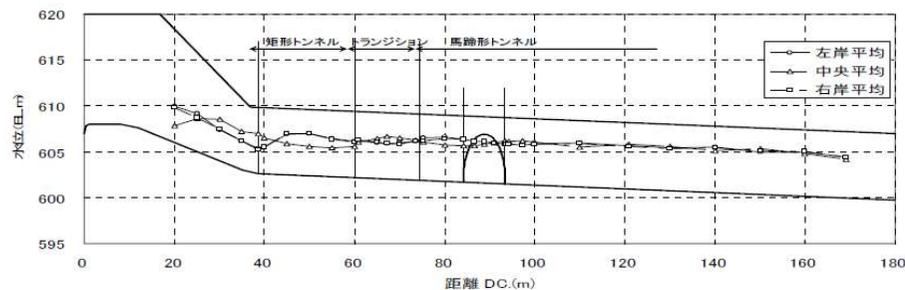
- 鋼製ライニング範囲は、断面幅変化点終端以降(終端から1スパン程度)までとする。

##### ■施設状況

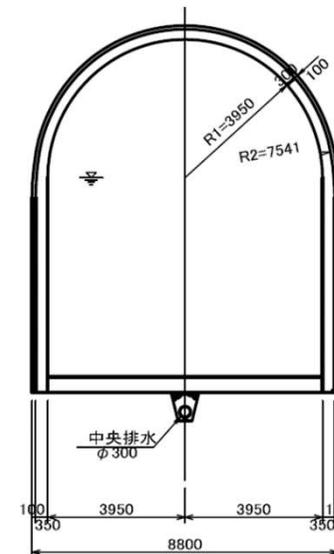
- トランジション部は流れが急変する部分であるため、馬蹄形状区間よりも摩耗・損傷が発生し易く、床版の変形が水面形を変化させる。
- 下流に及ぼす影響が大きいと考えられる0k+54m区間までをライニングで保護するとしていた。断面遷移区間底面幅は、下流にかけて狭くなっている。

##### ■改良形状(水理的観点・実際の摩耗傾向)

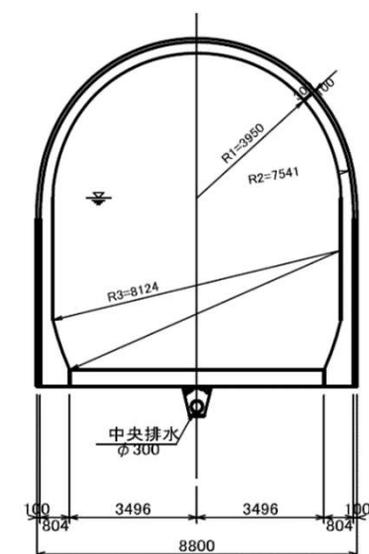
- 既往の実験結果では、断面は矩形から馬蹄管に遷移する形状とし再現していた。衝撃波の影響は小さく、馬蹄管の一様断面水路区間で、流れは概ね等流となっていた。
- 実施工の断面遷移区間(0k+54.0m~0k+78.4m)は鋼製ライニングでは施工されていない。断面幅の変化点は、水面形の変化、流速が大きくなることを確認できる。(既往の実験結果及び断面平均流速公式(流速=流量/面積)より)
- また、被災前(R01)までの摩耗傾向を確認すると、トランジション区間下流まで、摩耗の顕在化が確認される。



既往の水理模型実験結果  
(矩形断面から馬蹄形への断面遷移区間)



幌型区間  
(0k+54.0)

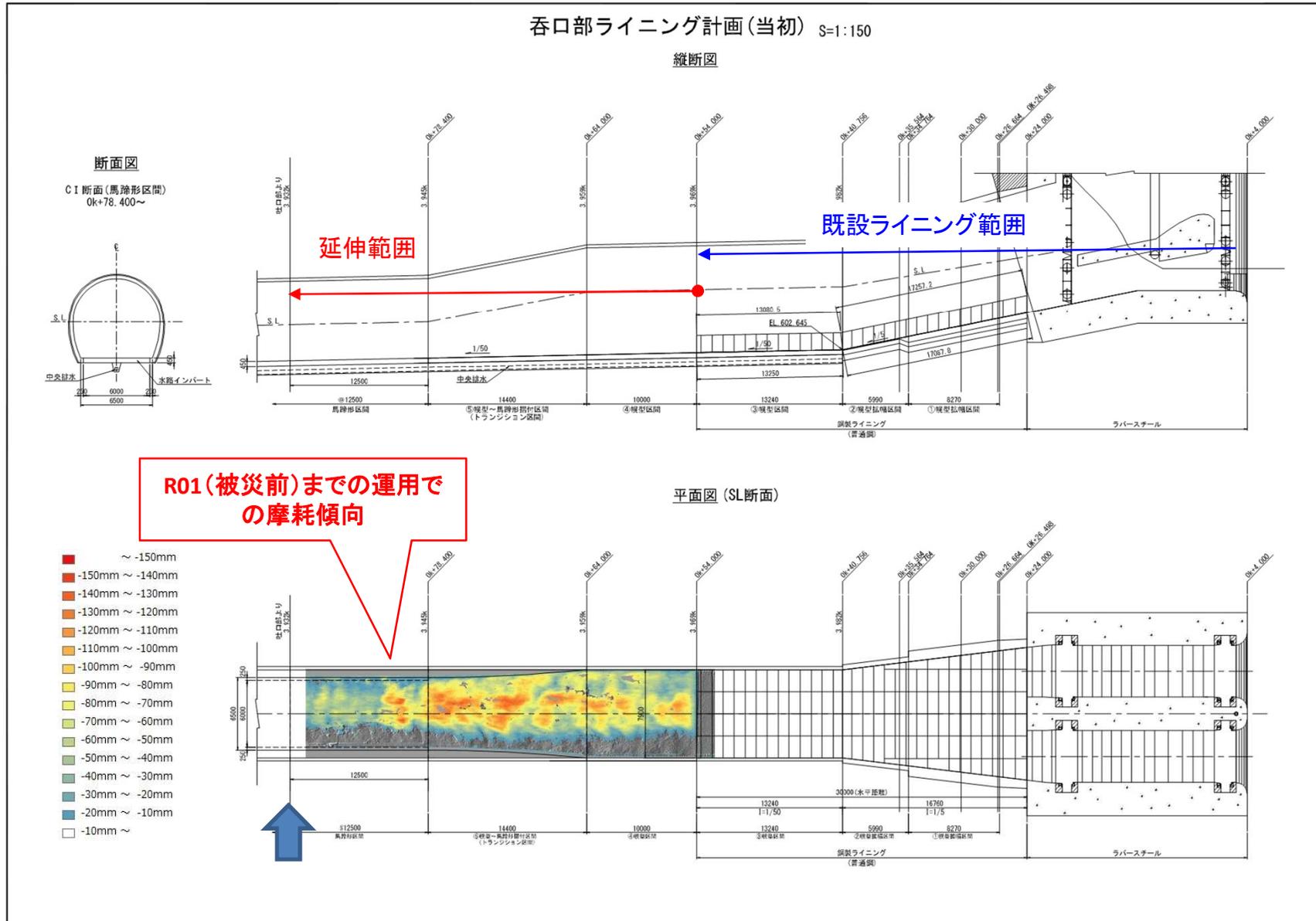


断面遷移区間下流  
(0k+64.0~0k+78.4m)

# 4.復旧計画(案)

## 4.3 補修計画(案)

### ■上流ライニング部



## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■上流ライニング部

#### (3)ライニングの材質について

- 鋼製ライニングの材質は、耐摩耗性に優れ、コスト面でも有利なステンレス(SUS821L1)を採用する。

比較案	普通鋼(SS400) (現状)	ステンレス鋼(SUS304)	構造用高強度二相ステンレス鋼 (SUS821L1)	ゴム製耐摩耗保護材 (ラバースチール)	備考
事例写真					
概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐摩耗性、耐キャビテーション性が良好である</li> <li>全面が平滑であるので、局所的な弱点はない</li> <li>屈折点は局部集中的な摩耗、破断であるため、構造的な改善を行う</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> <li>2015年9月にJIS登録された比較的新しい材料(NETIS:QS-120023-A)</li> <li>304より降伏強度が2倍で硬度も高く、より長寿命化が期待できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>取付ボルト部が弱点となる</li> <li>摩耗には耐久性はあるが、大きな衝撃に対しては破断が懸念される</li> </ul>	
施工性 (加工性)	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接が可能</li> <li>現地での切断加工が容易である(原則的に現地加工はない)</li> <li>トランジション形状に成形可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接が可能</li> <li>現地での切断加工がやや困難である(原則的に現地加工はない)</li> <li>トランジション形状に成形可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>溶接が可能</li> <li>現地での切断加工が困難である(原則的に現地加工はない)</li> <li>トランジション形状に成形可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ゴムと鋼板の一体成型</li> <li>現地での切断加工は不可能である</li> <li>トランジション形状に成形できないため、鋼材との組合せが必要となる</li> </ul>	トランジション:矩形→馬蹄形
摩耗比	0.003	0.015	(0.001 SUSとの硬度比より推定)	0.008	高強度コン1.0
工事単価比	1.0	1.8	1.4	1.8	普通鋼1.0
補修時の施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>特に問題ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特に問題ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特に問題ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特に問題ない</li> </ul>	全面補修
部分交換	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分的な交換は困難である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分的な交換は困難である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分的な交換は困難である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分的な交換は容易である</li> </ul>	部分補修
施工事例	<ul style="list-style-type: none"> <li>旭ダム土砂BPTンネル呑口部(当初からの補強、呑口補修)</li> <li>小渋ダム土砂BP呑口部ライニング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>宇奈月ダムの排砂路流入部、導流部及び放流管</li> <li>その他流水型ダム常用洪水吐き</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鹿野川ダム選択取水設備</li> <li>遠賀川河口堰多自然魚道ゲート設備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小渋ダム土砂BP呑口部ライニング</li> <li>発電ダム減勢工</li> <li>砂防堰堤</li> </ul>	
評価	(耐摩耗性向上を目指す →)		他案と比較し耐摩耗性、コストに優れる ○		

## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■上流ライニング部

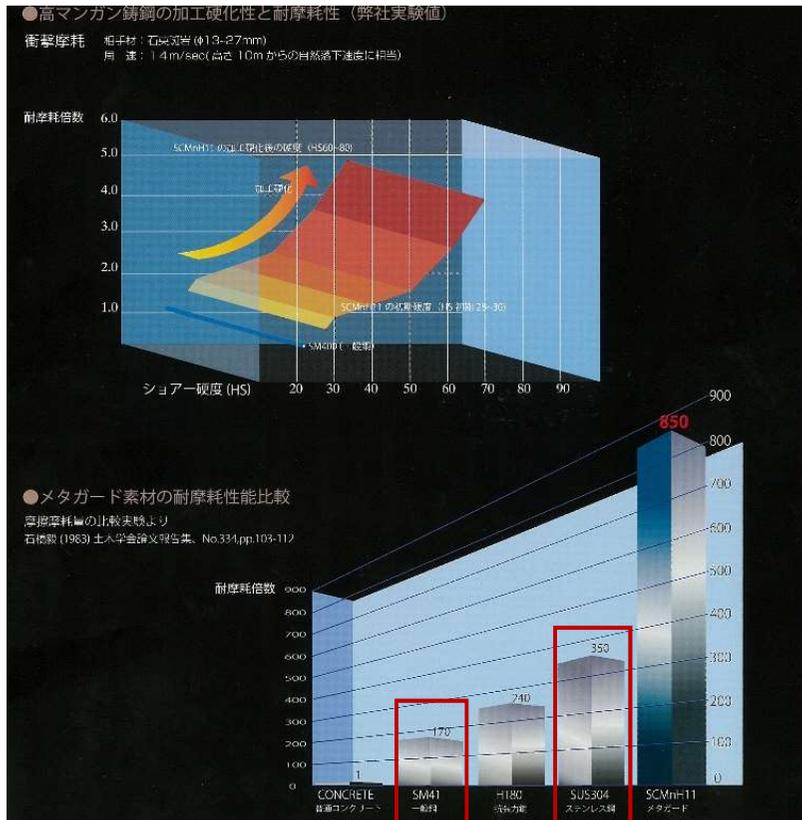
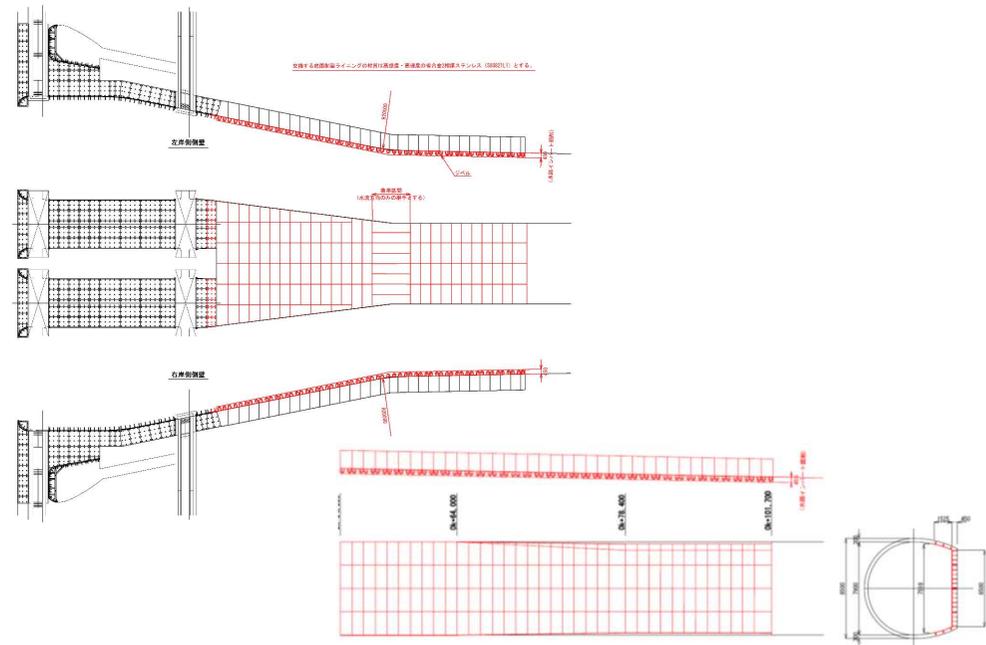


図 ステンレスと普通鋼の耐摩耗性  
(株)栗本鐵工所メタガードのカタログより抜粋



#### 参考

##### ●各材質の引張強さ等と単価

SS400: 450N/mm<sup>2</sup>, 硬度HB114, 12万円/t  
 SUS304: 645N/mm<sup>2</sup>, 硬度HB187以下, 57万円/t  
**SUS821L1: 450N/mm<sup>2</sup>, 硬度HB290以下, 51万円/t**  
 ラバースチール

##### ●ライニング工事費 (撤去・土木費含まず)

約 9,700万円  
 約 17,000万円  
**約 13,900万円**  
 約 17,800万円



ステンレス化により、4,200万円のコスト増で2倍の長寿命化が期待できる

#### 図 復旧案のイメージ



## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■トンネルインバート部

##### ■トンネルインバート部の補修計画(案)

- ・インバートの復旧に際しては、耐摩耗性の向上のため、コンクリートの高強度化(50→70N/mm<sup>2</sup>)とともに、現行の厚さ45cmからの増厚を行う。
- ・局所洗掘・流出範囲拡大の要因となったインバート基礎脆弱部(土砂部、中央排水溝設置部)については、コンクリートによる置き換えを行う。これに伴い排水方式は、側方排水方式に変更する。
- ・覆工側壁基礎部のコンクリート欠損により、覆工コンクリートが不安定化していることから、コンクリート充填により応急対策を講じる。

##### 【①摩耗に対する耐久性向上】

- ・現在の水路インバートコンクリート強度は、50N/mm<sup>2</sup>を使用している。摩耗に対する耐久性を向上するために、現地調達が可能範囲で最も強度の高い、70N/mm<sup>2</sup>のコンクリートを採用する。
- ・インバート厚さは、今回の被災状況を踏まえた耐久性向上の観点から、現行45cmに対し、60cmへ増厚する。

##### 【②局所洗掘の防止】

- ・摩耗対象となる水路インバートが過剰な摩耗を生じた場合、その下位部分についても摩耗が発生することとなり、構造的弱部となる箇所において局所洗掘により、急速に摩耗が進行する。これを防止するために、インバート下部については、砕石等による充填は行わず、コンクリートにより充填することとする。
- ・中央排水工や横断排水工は構造的な弱点となり、この箇所に洗掘が及んだ場合急速に破損が進行することから、中央排水方式とはせずに、側方排水方式に変更する。

##### 【③応急対策:覆工コンクリートの安定化対策】

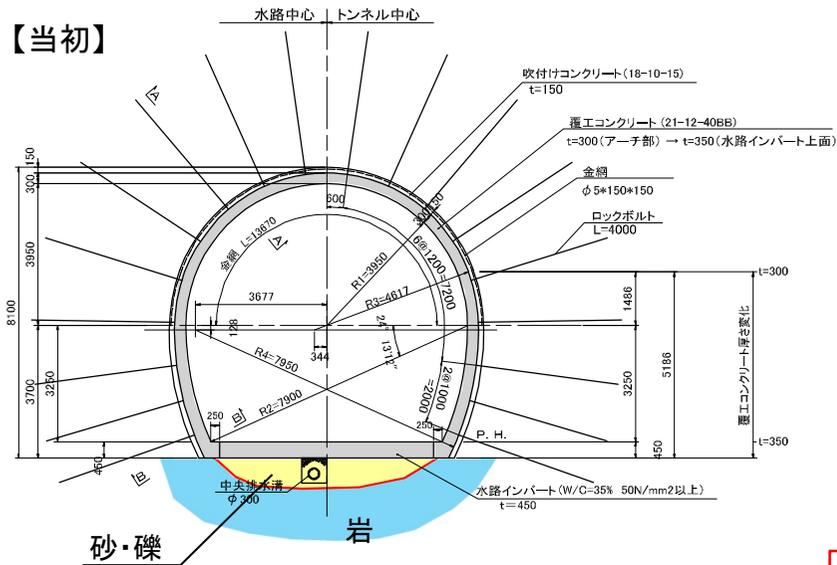
- ・覆工の側壁基礎部のコンクリートが欠損している箇所については、覆工コンクリート(側部)が不安定化(引張領域)している。本格的な復旧には時間を要することを考慮し、応急処置(先行工事)として、コンクリートにより基礎部を充填して固定化を図る。

## 4.復旧計画(案)

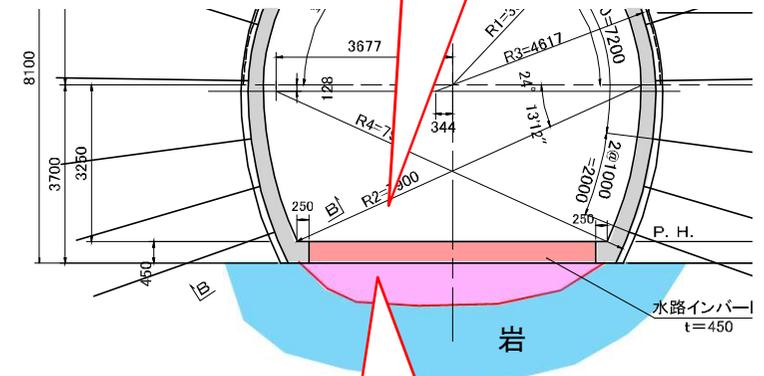
### 4.3 補修計画(案)

#### ■トンネルインバート部

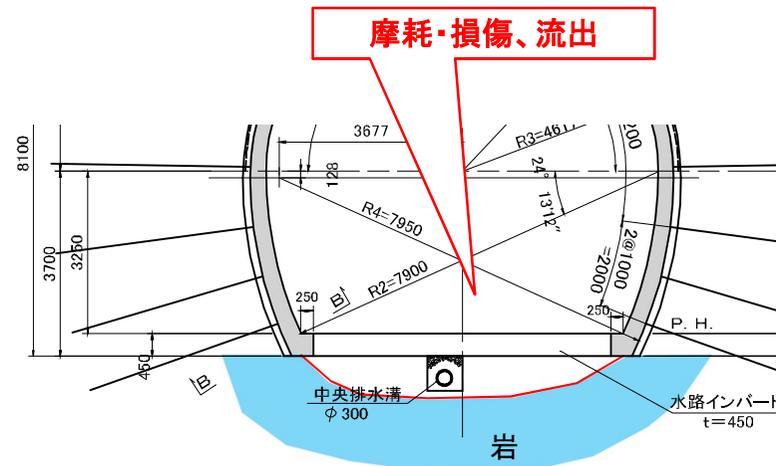
##### ■インバート基礎・覆工基礎の改良のまとめ



##### 【今回復旧(案)】



##### 【被災形状】



## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■トンネルインバート部

##### (1)耐摩耗性の向上

- インバート材料は、現地調達可能な材料のうち最も強度を有する、高強度コンクリート(設計基準強度70N/mm<sup>2</sup>)とする。

材料	高強度コンクリート (現状)	高強度コンクリート (強度アップ)	シリカヒューム コンクリート	超高強度繊維補強 コンクリート	備考
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	50 (水セメント比35%)	70	70~120	180	設計基準 強度
概要	・作業性(ワーカビリティ)が落ちるものの、水セメント比を低下させて強度発現	・作業性(ワーカビリティ)が落ちるものの、水セメント比を低下させて強度発現	・左記に対し、シリカヒュームを結合材の一部として使用することで、流動性を高め、強度も増強	・超高強度モルタルと高強度鋼繊維で構成されており、150N/mm <sup>2</sup> 以上の圧縮強度と5N/mm <sup>2</sup> 以上の引張強度を持つ材料と定義	
施工性	・当初施工時には、スリップフォームによる連続機械施工を前提。 ・上記の施工条件から、適用可能な最高強度	・補修工事では、連続機械施工は採用できないため、通常の水路インバート施工。	・同左(施工性が改善される)	・熱養生が必要で工場生産品が主流であるが、近年、常温硬化型(現場打設可能)が開発されている。	
土砂BPインバート実績	・小渋ダム(現行)	・松川ダム(ただし、60N/mm <sup>2</sup> )	・旭ダム(70N/mm <sup>2</sup> )	— (ダム越流頂はあり)	
経済性 (万円/m <sup>3</sup> )	2.1	2.5	3~4	35	材料費
小渋での現地調達	可能	可能 (地元生コン組合で調達可能な最大強度)	不可 (調達のためには、設備投資が必要→高価)	不可 (施工プラント現地設置は可能→さらに高価)	
評価	(高強度化を目指す→)	○	(現地調達不可)	(現地調達不可)	

## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■トンネルインバート部

##### (1)耐摩耗性の向上

- インバート厚さは、今回の被災状況を踏まえた当初計画の見直し、耐久性向上の観点から、現行45cmから60cmへ増厚する。  
(当初設計段階のインバート厚根拠の1つ：計画洪水規模波形における摩耗量 19cm → 今回概算 60cm)  
(内空断面積の余裕分を活用するものであり、バイパストンネルとしての安全性を損なうものではない。)
- これにより、同じバイパス量に対して、補修間隔を、約1.3倍に延ばせるとともに、想定外の摩耗進行リスクに対する余裕とできる。

#### ■設計資料

内空断面の諸元は、流量 $Q=370\text{m}^3/\text{s}$ 、縦断勾配 $I=1/50$ 、粗度係数 $n=0.023$ 、設計流量の流下に必要な断面積が全断面積の3/4(空隙率25%※)となる条件を満たすよう $2r=7.9\text{m}$ (0.5m単位)とした。

計画流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$	粗度係数 $n$	勾配 $I$	空隙率: 25%以上					断面平均流速 $v(\text{m}/\text{s})$
			流積 $A(\text{m}^2)$	潤辺 $S(\text{m})$	径深 $R(\text{m})$	水深 $h(\text{m})$	底板幅 $2 \times x(\text{m})$	
370	断面検討 $n=0.023$ (壁面摩耗後)	1/50	35.64	16.25	2.19	4.74	6.50	10.38
	流速検討 $n=0.015$ (施工直後)		25.67	13.58	1.89	3.44	6.50	14.42

#### ■設計時空隙率(25%以上)の確認

空隙率 =  $1 - \text{流水断面} / \text{内空断面}$

$$= 1 - 35.641\text{m}^2 / 48.698\text{m}^2 = 26.8\% > 25\% (\text{トンネル洪水吐きに準拠※})$$

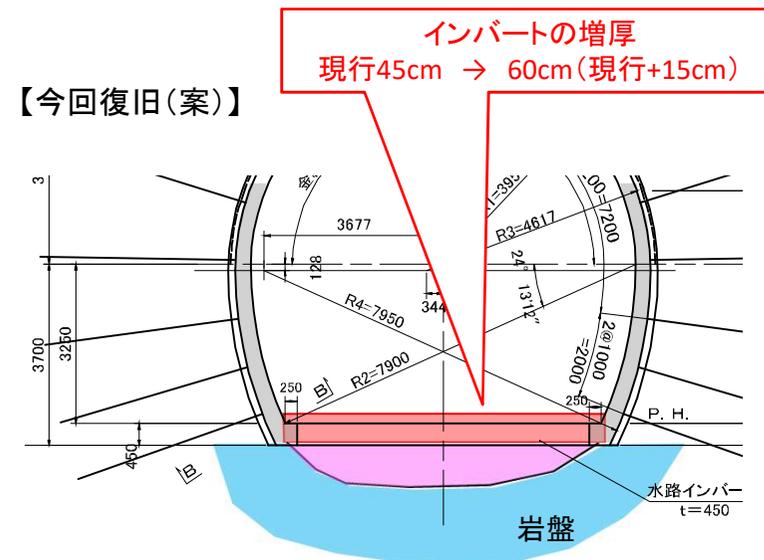
となり、25%以上に対しては、1.8%の余裕がある。

25%の場合の流水断面 $36.523\text{m}^2$ に対し、 $0.88\text{m}^2$ の余裕となる。

#### ■増厚への利用

上記断面の余裕は、インバート幅6.5mに対し高さで15cmとなる。

これを現インバート厚45cmに加え、60cmとしても、空隙率25%は満足できる。(また、計画規模の波形では、ピークまでにある程度の摩耗も見込まれ、内空断面は増加する)



※設計流速が $14\text{m}^3/\text{s}$ と高速となることから、トンネル吐きに準拠「多目的ダムの建設Ⅱ第26章 水理構造物の設計 p187」に基づき、流水断面積を全断面積の3/4以下に設定

## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

#### ■トンネルインバート部

##### ■設計時の考え方に基づく必要インバート厚の確認(試算)

- 設計時インバート厚は、維持管理厚(16cm)+最大摩耗厚(19cm)+余裕厚(10cm)となり、45cmが採用されている。
- ここで、最大摩耗厚は、小渋ダム計画洪水波形(1/80規模、バイパス土砂量約295万 $m^3$ )を対象に、電中研モデル(石橋の式)により算出されている。
- 今回、R2年度の土砂量(速報値:約213万 $m^3$ )、インバート概算平均摩耗量(約29cm)を考慮すると、設計時に想定した土砂バイパス量とインバート摩耗量の関係は、摩耗量が過小となっている。
- 今回の条件にて同定した摩耗量推定式より、計画洪水波形による摩耗量を推定した結果、約60cm※となった。

※本年度の土砂量の精査、他の摩耗式の比較は今後必要であるが、一つの指標として提示する。

##### 【設計・初期施工】

###### ■維持管理厚

①16cm (最大骨材40mm の4倍)

###### ■年間最大摩耗厚

②19cm(計画規模洪水1回の摩耗推定量)

###### ■余裕厚

③10cm(インバート打設時の最大粗骨材寸法80mmより大きくとるという考え)

###### ■インバート厚

①+②+③= 45cm

##### 【今回の確認結果】

###### ■維持管理厚

①16cm (最大骨材40mm の4倍)

###### ■年間最大摩耗厚

②60cm(計画規模洪水1回の摩耗推定量)

###### ■余裕厚

③ 5cm (最大骨材40mmより大きくとる)

###### ■インバート厚

①+②+③= 81cm > 45cm

※②は概算値に基づくものであるが、設計時の想定よりも大きいと推定される。設計時の考え方に基づけば、80cmに近づけるように、可能な範囲での増厚が望まれる。

## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

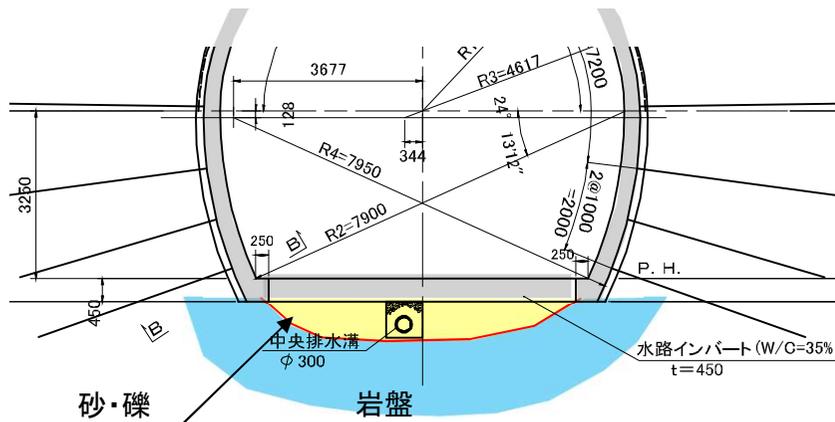
#### ■トンネルインバート部

##### (2)局所洗掘の防止

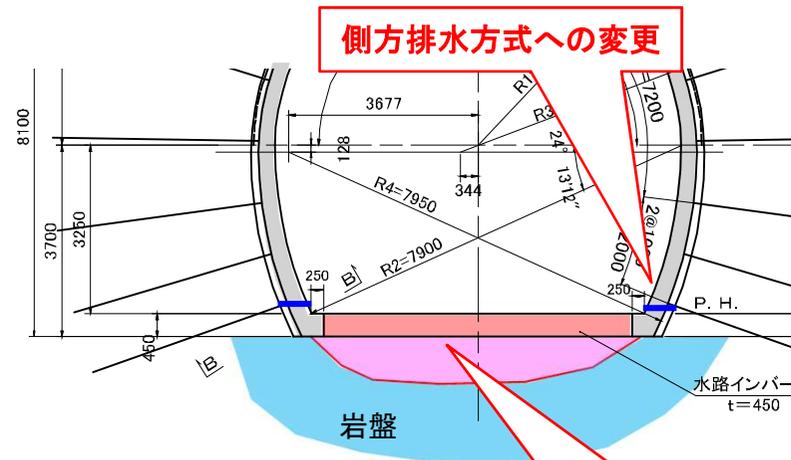
- インバートの基盤は、岩盤相当を基本とし、従来の中央排水溝部や土砂埋め戻し部などの脆弱部は、コンクリートに置き換える。
- 排水工は、側方排水に変更する。

#### ■インバート基盤(砂礫部)の改良

【当初】

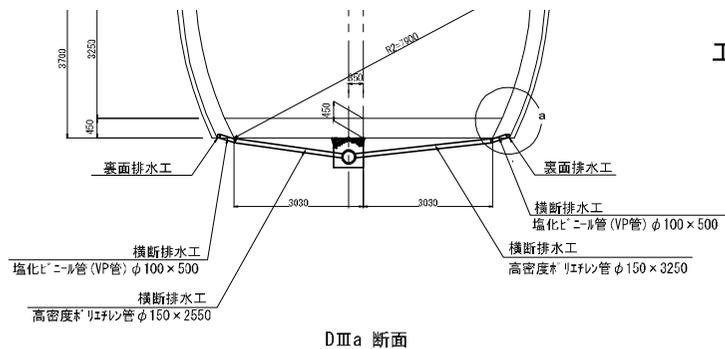


【今回復旧(案)】

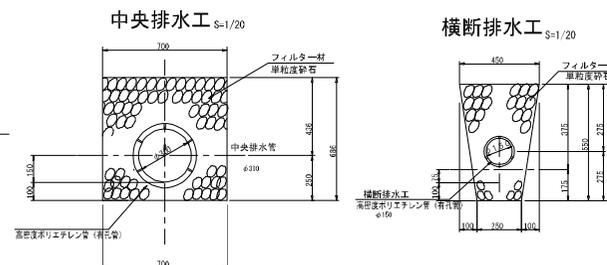


基盤砂礫部の  
普通コンクリートによる  
置き換え

・横断排水接続断面



工 詳細 図



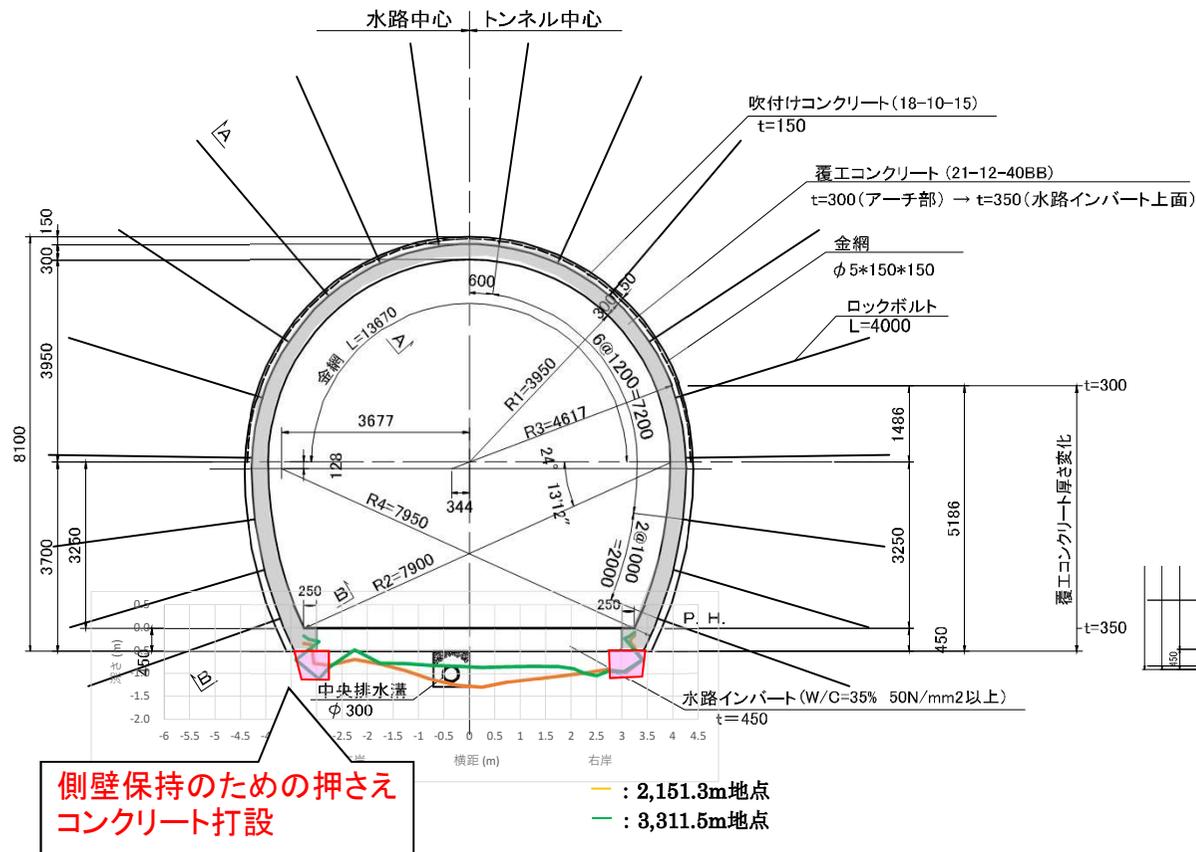
## 4.復旧計画(案)

### 4.3 補修計画(案)

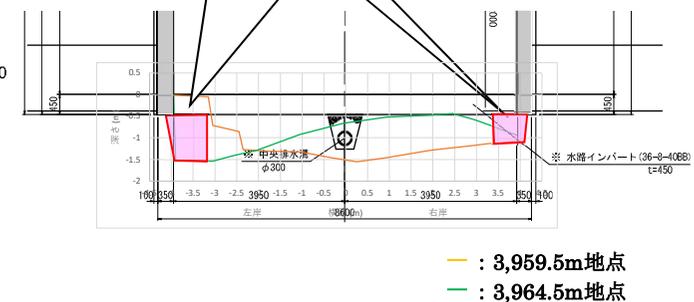
#### ■トンネルインバート部

#### (3) 応急対策:覆工コンクリートの安定化対策

- 覆工の側壁部の基礎が欠損している箇所については、覆工コンクリートが、ぶら下がっている形となっている。無筋コンクリートに引張が作用する形となっており、構造的に不安定化している。
- 当該部の補修工事までに時間を要することを考慮し、応急処置(先行工事)として、コンクリートにより基礎部を填充して固定化を図る。
- なお、トンネル自体(周辺岩盤)は、NATMで施工されており、支保により安定は保たれていると判断している。



側壁保持のための押さえ  
コンクリート打設



応急対策概念図



## 4.復旧計画(案)

### 4.4 施工方法(工程)の比較検討

- 補修方法は、耐久性等品質確保や将来を見据えた機能向上を優先する【①品質確保+機能向上案】と、バイパスの早期運用再開を図る【②早期復旧案】が考えられる。
- ②早期復旧案は、施工対象を最小化することで工期短縮を図ったが、来期の洪水期の運用は困難である。
- ①品質確保案では洪水期2回を運用休止とする必要があるのに対して、早期復旧案では1回の休止で使用再開が可能となる。
- ①品質確保案では、水路インバートの強度向上(50N/mm<sup>2</sup>⇒70N/mm<sup>2</sup>)を図れるが、②早期復旧案では、局所洗堀部と併せて50N/mm<sup>2</sup>での施工で、現状強度・最低限の厚さの維持に留まり、近々、全体補修が必要となる。
- 今回の運用に対する摩耗状況から、水路インバートの機能向上が必要と考えており、【①品質確保+機能向上案】としたい。

案	①品質確保+機能向上案 (機能性向上を含め、品質重視で一括補修する案)	②早期復旧案 (早期の運用再開を目指し、最小限の部分補修を行う案)
補修目標	・施設計画復旧+機能向上(インバート高強度化、増厚、基盤強化等)	・インバート(現行強度、厚さ30cm)確保、鋼製ライニングの部分補修
工事期間	・約20ヶ月: 令和3年1月～令和4年8月	・約14ヶ月: 令和3年1月～令和4年2月
施工手順 (後述工程表参照)	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体を4工区に分割し、1→2工区・3→4工区の順に施工</li> <li>各工区ごとに、①既設インバート全撤去・ずり充填による運搬路確保②ずり除去・局所洗堀部コンクリート充填③水路インバート打設</li> <li>インバート撤去は工期短縮のため、2パーティでの施工</li> <li>コンクリート充填・水路インバート打設は、12.5m単位で行い、2日/サイクル(打設・養生)で施工</li> <li>水路インバートコンクリートの強度は、70N/mm<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全体を4工区に分割し、1→2工区・3→4工区の順に施工</li> <li>各工区ごとに、①既設インバート損傷部清掃・整形②局所洗堀部・水路インバートの同時打設、養生を繰り返し実施</li> <li>コンクリート充填・水路インバート打設は、12.5m単位で行い、3日/サイクル(損傷部清掃・整形、打設、養生)で施工</li> <li>※現行スパンの施工・硬化が終わらないと、先のスパンへ進めない</li> <li>水路インバートコンクリートの強度は、局所洗堀部と同時打設となること、残置部と合わせるため、50N/mm<sup>2</sup></li> </ul>
バイパストンネル運用	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水期1.5回休止</li> <li>バイパス運用の代替として土砂搬出が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水期1回休止</li> <li>バイパス運用の代替として土砂搬出が必要</li> </ul>
経済性 (相対的に差異が生じる費目)	<ul style="list-style-type: none"> <li>BP運用停止期間中に想定される堆砂量と土砂搬出費用: 約11.8億円(392千m<sup>3</sup>/年×1.5年×2,000円/m<sup>3</sup>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同左 : 約7.8億円(392千m<sup>3</sup>/年×1年×2,000円/m<sup>3</sup>)</li> </ul>
次回補修	<ul style="list-style-type: none"> <li>現状の年平均摩耗実績(約5cm)と強度アップ効果より、約4cm/年と推定、最低確保厚を20cmとすると、復旧後10年後((60cm-20cm)/4=10年)</li> <li>バイパス運用中止期間が1年(洪水期1回分)長くなる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>年平均摩耗実績(約5cm/年)からは、復旧後2年後から補修が必要、最低確保厚を20cmとすると、(30cm-20cm)/5=2年</li> <li>残置部の凹凸が大きく、進入側から順次の施工で、通行路を確保しつつ進んでいく必要があり、工期を要する。(初年度の運用休止は回避不可)</li> <li>復旧後のスペックが低く、短期間のうちにその後の補修が必要となる。</li> <li>構造上の弱点(基盤土砂部)を除去しきれず、想定外の被災に弱い。</li> </ul>
課題		
評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>集中して復旧が可能であり、確実な復旧工事が可能である。</li> <li>機能強化を併せて行うことにより、補修頻度の低減(長寿命化)、被災後の継続運用が期待できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①案に対して、1年(洪水期1回)分の工期短縮となるが、復旧後の強度、厚さとも大きく劣るため、復旧後の寿命が短い。</li> </ul>

○

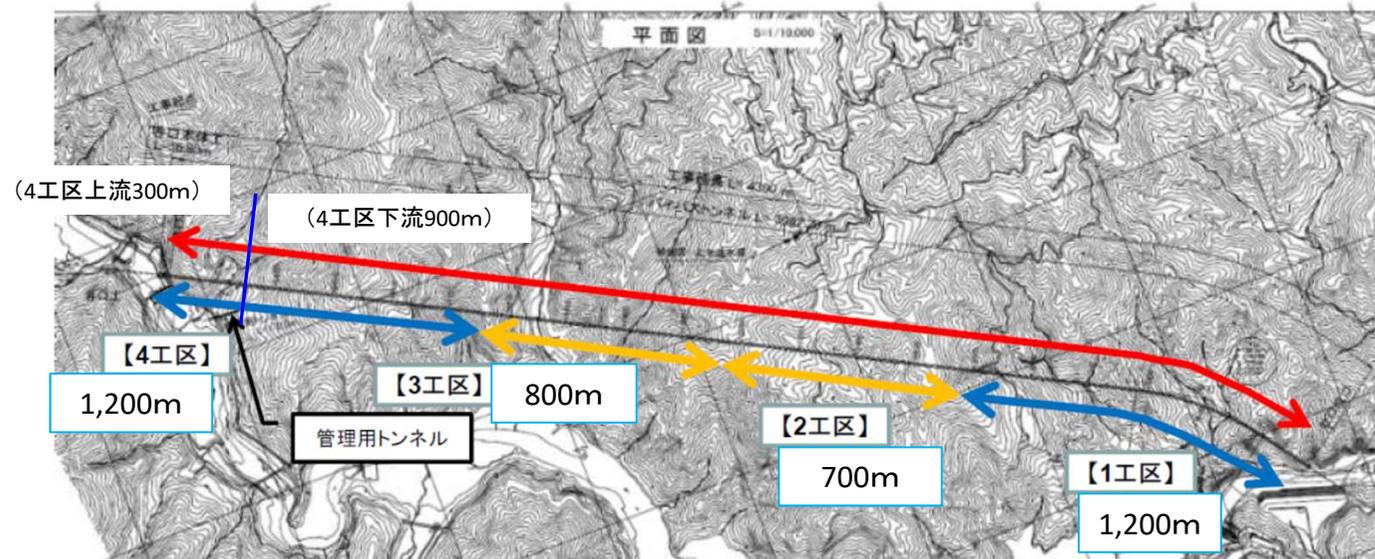
△

## 4.復旧計画(案)

### 4.4 施工方法(工程)の比較検討

案	①品質確保+機能向上案 (機能性向上を含め、品質重視で一括補修する案)	②早期復旧案 (早期の運用再開を目指し、最小限の部分補修を行う案)
<p>概要図 (縦断面図)</p>	<p>【2回打設】</p> <p>▽ 計画高</p> <p>インバート増強: <math>t=60\text{cm}</math>, <math>\sigma=70\text{N/mm}^2</math></p> <p>インバート残部</p> <p>基礎補強: 普通コン</p> <p>土砂</p> <p>基礎岩盤</p> <p>補修範囲イメージ</p> <p>インバート残部、基礎土砂部を全撤去 → 基礎補強 → 計画高(+60cm)までコンクリート打設</p>	<p>【同時打設】</p> <p>▽ 計画高</p> <p>15cm</p> <p>補修厚 30cm</p> <p>補修厚 強度<math>50\text{N/mm}^2</math></p> <p>インバート残部</p> <p>土砂</p> <p>基礎岩盤</p> <p>補修範囲イメージ</p> <p>インバート残部を活用(陥没部土砂は撤去、最低限の整形) →インバート厚(30cm)まで基礎と一体でコンクリート打設</p>

#### ■工区割り概念図



# 4.復旧計画(案)

## 4.4 施工方法(工程)の比較検討

### ■工事工程(①品質確保・機能向上案)

- インバート残部、基盤土砂部を全撤去→基盤部をコンクリート補強(連絡路確保)→計画高(+60cm)までコンクリート打設

工区	工種	仕様	工期	令和2年度												令和3年度												令和4年度																							
				令和3年(2021年)												令和4年(2022年)																																			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																								
準備・後片付			1.0ヶ月	[Gantt bar from month 1 to 12]																																															
吐口部	既設撤去	水叩き	0.5ヶ月	[Gantt bar from month 1 to 1]																																															
	運搬路整理	局所洗堀部填充	貧配合コンクリート	[Gantt bar from month 1 to 2]																																															
	コンクリート打設	水叩き	1.0ヶ月	[Gantt bar from month 1 to 1]																																															
1工区 (1,200m)			養生1ヶ月	[Gantt bar from month 1 to 1]																																															
	既設撤去	インバート	残存部全撤去 2パーティ施工	[Gantt bar from month 3 to 4]																																															
	運搬路整理	局所洗堀部填充	貧配合コンクリート 2日サイクル打設(打設・養生)	[Gantt bar from month 5 to 7]																																															
	コンクリート打設	インバート	高強度コンクリート(70N/mm2) 2日サイクル打設(打設・養生)	[Gantt bar from month 8 to 10]																																															
	排水工	側方排水		[Gantt bar from month 11 to 12]																																															
2工区 (700m)	既設撤去	インバート	残存部全撤去・2パーティ施工	[Gantt bar from month 8 to 9]																																															
	運搬路整理	局所洗堀部填充	貧配合コンクリート	[Gantt bar from month 10 to 12]																																															
	コンクリート打設	インバート	高強度コンクリート(70N/mm2) 2日サイクル打設(打設・養生)	[Gantt bar from month 1 to 2]																																															
	排水工	側方排水		[Gantt bar from month 3 to 4]																																															
3工区 (800m)	既設撤去	インバート	残存部全撤去・2パーティ施工	[Gantt bar from month 8 to 9]																																															
	運搬路整理	局所洗堀部填充	貧配合コンクリート	[Gantt bar from month 10 to 12]																																															
	コンクリート打設	インバート	高強度コンクリート(70N/mm2) 2日サイクル打設(打設・養生)	[Gantt bar from month 1 to 2]																																															
	排水工	側方排水		[Gantt bar from month 3 to 4]																																															
4工区 (1,200m)	既設撤去	インバート	残存部全撤去・2パーティ施工	[Gantt bar from month 1 to 2]																																															
	運搬路整理	局所洗堀部填充	貧配合コンクリート	[Gantt bar from month 3 to 4]																																															
	コンクリート打設	インバート	高強度コンクリート(70N/mm2) 2日サイクル打設(打設・養生)	[Gantt bar from month 5 to 7]																																															
	排水工	側方排水		[Gantt bar from month 8 to 10]																																															
	ライニング工	鋼製ライニング		[Gantt bar from month 11 to 12]																																															
備考				←洪水期→																								←洪水期→												竣工											

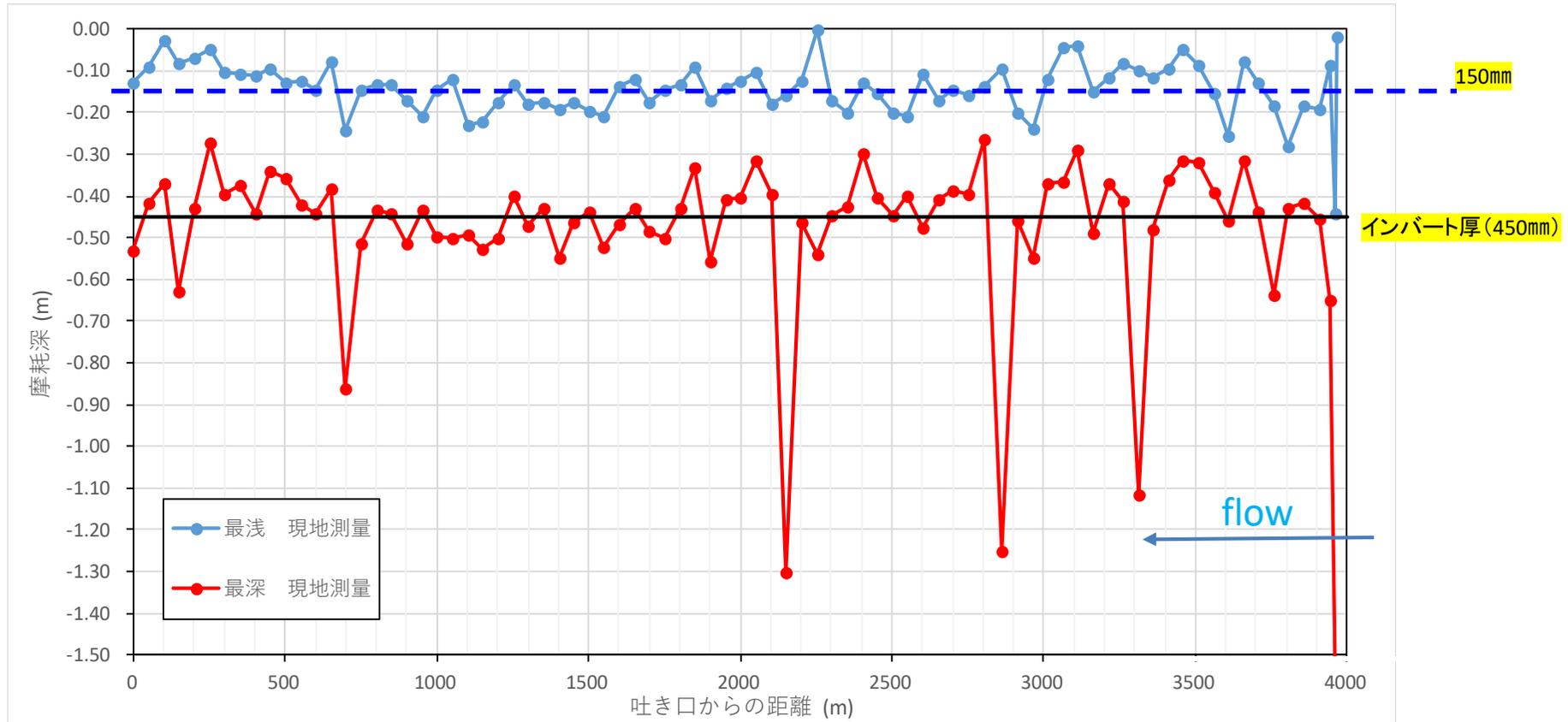


## 4.復旧計画(案)

### 4.4 施工方法(工程)の比較検討

#### ■工事工程(②早期復旧案)

インバート残存部の最も浅い厚さは、平均で15cm程度  
なお、インバートの残存厚は、平均16cm (計画厚の36%)



これまでのバイパス土砂量250万m<sup>3</sup>で平均29cm摩耗  
年平均バイパス土砂量の期待値は40万m<sup>3</sup>/年 → 6.3年分で29cm摩耗 → 約5cm/年

## 4.復旧計画(案)

### 4.4 施工方法(工程)の比較検討

#### ■インバート残置部の取り扱いについて

- インバートの残置部分については、下記の理由により、工事初期に全体を撤去する方針とする。

比較案	インバート残部を活用する案	インバート残部を撤去する案
残置部の状況	・平均厚 16cm(概査結果) 当初の約36%と推定	
概要図(縦断図)		
概要	・残されたインバートのうち、健全部を残置して補修に活用する。	・残されたインバートをすべて撤去し、インバート全体を再構築する。
利点	・補修のための新材料の施工数量、コンクリート殻の発生量を節約できる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・補修後のインバートの品質が確保できる(弱点を排除)</li> <li>・旧インバート撤去、新インバート打設ともに作業効率に優れる。</li> <li>・トンネル覆工の基礎も一体で改良でき、安定性が確保できる。</li> </ul>
欠点(課題)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・健全部(残置部)を評価するための調査に時間を要する。</li> <li>・トンネル覆工の基礎部の改良が困難で、安定性に懸念が残る。</li> <li>・陥没部、オーバーハング部の土砂排除、湧水排除に手間がかかる。</li> <li>・コンクリート薄層打設部や、下位の土砂部などの弱点を残さないための施工に手間がかかる。</li> <li>・上記の対策を行っても、弱点を排除しきれない可能性がある。</li> <li>・水路面の凹凸が残ることとなり、流水の乱れを誘発する。</li> </ul>	・新材料の施工数量、コンクリート殻の発生量が活用案に比べ、増加する。
評価	早期の復旧を目論む案であるが、施工性、弱点排除の手間を考えると工期短縮につながらず、品質も万全とは言えない。 △	補修後のインバートの品質が確保できる(優先事項)。 ○

## 5. 今後の方針

### 【品質確保と機能向上を目指した一括補修による復旧】

- 呑口から吐口のトンネル部全線を原型まで復旧させることを基本とし、かつ、想定以上の損傷となった被災に対応するため、機能向上を含めた復旧計画を検討
- 品質確保と機能向上を目的とした復旧計画は、令和4年8月までの完成を目標とし、令和4年台風期でのバイパス運用を目指して実施する予定
- 復旧工事実施に向け、仮設備等の詳細設計に早期に着手予定