

2020年度は、梅雨前線に伴う降雨に対し、2020年6

月30日から7月16日までの17日間にわたり土砂バイパストンネルを運用した。図-3に示す通りこの間5回にわたり洪水調節を行い最大流入量は約640m³/s、最大バイパス流量は202m³/sであった。この洪水によるバイパス土砂量は、図-4に示すように約188万m³（計算値）であった。

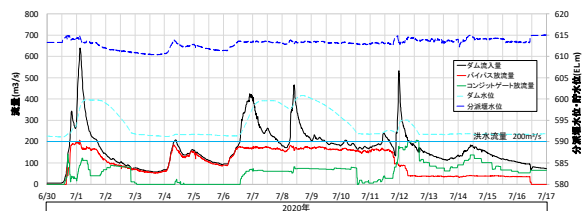


図-3 2020年6月30日～7月16日のダム運用状況

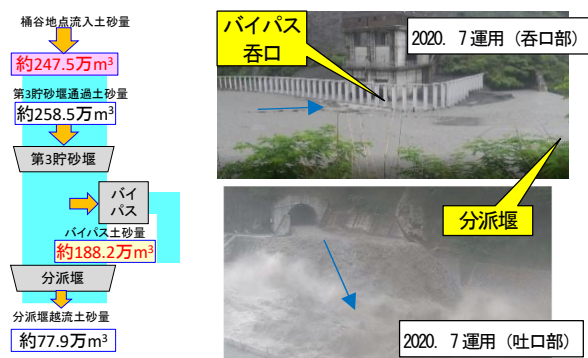


図-4 2020年7月洪水時の土砂収支及び流況

過去最長の連続運用の結果、図-5に示すとおり、トンネルインバートの摩耗が進行し、図-6に示すように450mm厚のインバートがすべて流出した箇所は5箇所確認された。

特に、呑ロゲート直下の勾配変化点周辺では、図-7に示すとおり、流況が乱れインバート上の鋼製ライニングが剥がれる現象も起きている。

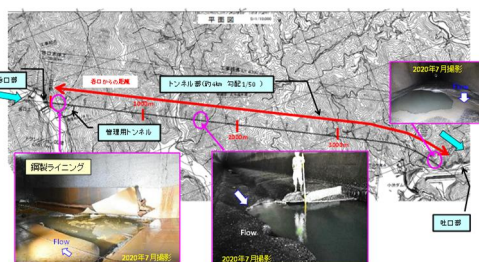


図-5 2020年7月洪水時のインバート摩耗状況

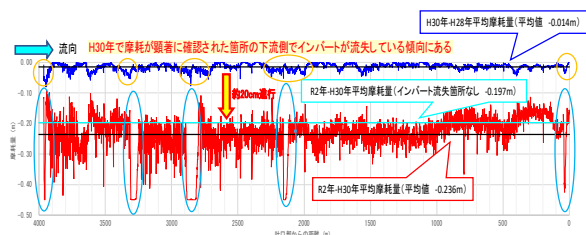


図-6 摩耗量縦断面図（断面平均値）



図-7 呑口直下の勾配変化点周辺摩耗状況

3. インバートの復旧工事の概要

2020年7月洪水では計画を上回る粒径500mm程度の巨石もトンネル内で確認されたことを踏まえ、インバート損傷の要因は、細粒分による摩耗に加え、巨石の衝突現象による破壊の影響であることも推察された。また、インバート下部の中央部に排水用のパイプが埋設してあり、摩耗が進行した場合の損傷拡大の一因となっていた可能性もあった。

それらの被災状況を踏まえ、以下に示す復旧方針に基づき、2020年7月の被災後から2023年5月までの期間、土砂バイパストンネルの復旧工事を実施した。

【復旧工事の方針】

- ・インバートコンクリートの高強度化
- ・インバート厚の見直し
- ・排水方法等のインバート構造の見直し
- ・ライニング区間、構造の見直し

(1) 復旧工事の概要

耐久性向上の観点より図-8に示す通り、インバートコンクリート強度を、実際に現地で調達可能な強度70N/mm²の高強度コンクリートを採用した。

インバート厚は、最大限の増厚を行うこととし、断面の余裕を活用し600mmとした。

バイパストンネルの排水方法も中央排水方式から側面排水に変更した。

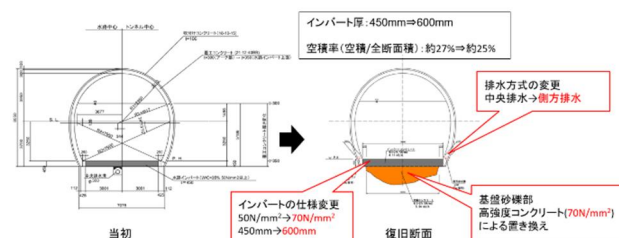


図-8 従来と復旧後のトンネル断面図

(2) 復旧工事後の摩耗状況

復旧工事を2023年5月に完了し、2023年6月から8月にかけて3回（約97時間）運用し、2024年度には5月から10月に6回（約735時間）運用し、バイパス土砂量と

しては約61万 m^3 と試算された。

2024年運用後、インバート面の3次元測量を実施し、昨年度からの摩耗状況を確認した結果、吐口から2.8km程度～3.7km程度区間までの区間（区間②③）の摩耗が著しく、最大摩耗量が450mm以上（インバート残り厚150mm以下）の局所洗掘箇所が確認され、早急な補修が必要な状況であることがわかった。（図-9、図-10）

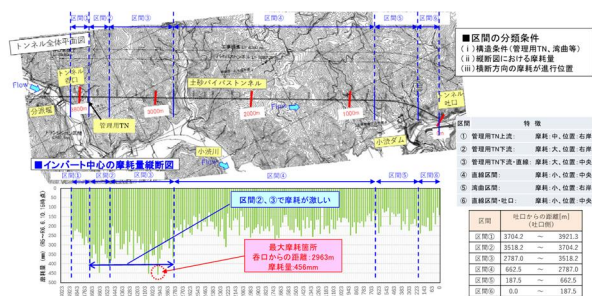


図-9 復旧工事後の運用による摩耗状況

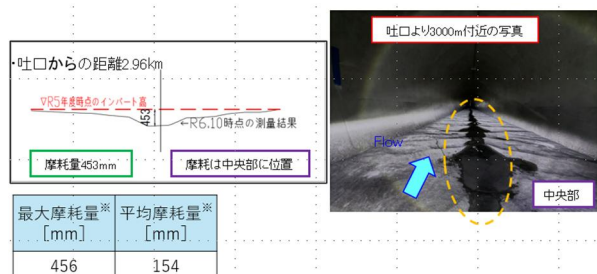


図-10 局所洗掘（摩耗）の状況

4. 補修試験施工

局所洗掘に対する部分補修となるため、施工品質確保の観点から補修基準を残厚が350mm以下に達した箇所とし、運用・補修を繰り返しながら効果的な手法を確立していく必要があることから、現地の摩耗状況、施工性、材料の確保状況、コスト等を踏まえて、3手法にて試験施工を実施することとした。

(1) 試験施工の概要

- ・超高強度コンクリート（ $\sigma_{ck}=100\text{N/mm}^2$ ）で補修

2020年損傷復旧時にも採用された耐久性と相関性を有するコンクリート強度に着目し、隣接プラントで対応可能な超高強度コンクリート（ $\sigma_{ck}=100\text{N/mm}^2$ ）での補修案。（Aタイプ、図-11）

- ・インバート表面を巨礫（小渋川から採取）で保護

2020年損傷復旧時に玉石を使用した補修を部分的に行ったところ、耐摩耗性に優れている可能性があったため、小渋川で採取した直径450mm程度の玉石を表面保護として配置する補修案。（Bタイプ、図-12）

- ・玉石＋モルタルで充填

Bタイプの考えに施工性等を考慮し、小渋川で採取した直径100mm程度の玉石を敷き均しモルタルを充填する補修案。（Cタイプ、図-13）

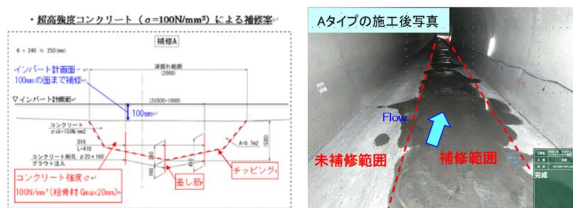


図-11 補修Aタイプの仕様と補修状況



図-12 補修Bタイプの仕様と補修状況

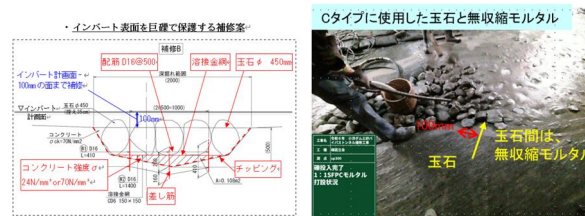


図-13 補修Cタイプの仕様と補修状況

(2) 摩耗状況の調査

部分補修後、2025年6月から9月において3回（約55時間）運用し、バイパス土砂量約11.7万 m^3 と試算された。各運用後に3次元測量を実施し補修案毎に摩耗量の調査を実施した。

Aタイプについては、断面方向に平均的に摩耗している傾向が確認できる。（図-14）

Bタイプでは補修未実施範囲（補修範囲との境界付近）での摩耗が顕著である。（図-15）

Cタイプについては、補修範囲と補修範囲外の差は他の補修タイプより少ないが、玉石のはがれが発生すると摩耗量が大きくなる。（図-16）

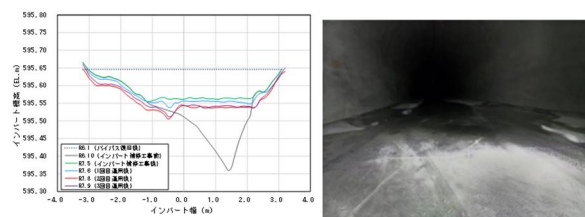


図-14 吐口からの距離3.6km（Aタイプ）

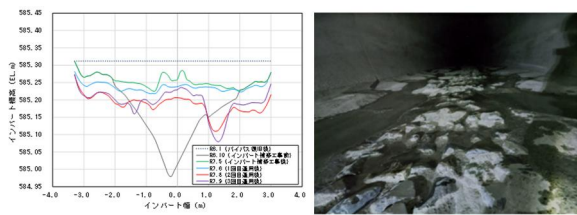


図-15 吐口からの距離3.0km(Bタイプ)

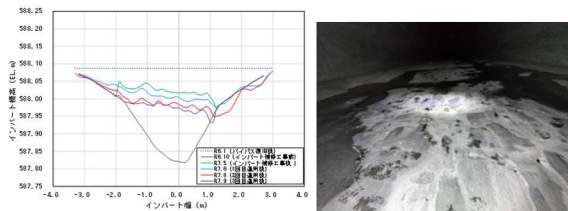


図-16 吐口からの距離3.2km(Cタイプ)

(3) 部分補修の課題

補修タイプごとの摩耗状況から、Aタイプによる補修が効率的と評価できるが、供給可能なプラントに限られることから、施工日程および必要数量を事前にプラントと調整することが必要になり、施工の柔軟性に課題がある。また、混和材の関係で特殊な性質を持つコンクリートであるため、施工時に工夫が必要となり、性質に作業員がなれないと苦慮する面もある。

バイパストンネルの排水方法も側面排水に変更したため、常に湧水があり、施工時の排水処理に苦慮しているとともに、トンネル内に電源が無いため、作業時の電源・照明確保について検討する必要がある。(図-17)



図-17 部分補修施工の状況

5. まとめ

(1) 今後の検討事項

摩耗状況の調査はバイパス運用約55時間のみでの状況であり、長時間運用での摩耗状況を確認した上で再度検証が必要と考えている。

摩耗状況については、継続的に観測・記録し、変化を把握する必要があるため、UAV、AI解析の活用を検討し、効率的なモニタリング方法について整理していく必要がある。

また、運用による摩耗は避けられないため継続的に補修を行う必要があるが、今後、部分補修では対応できない状況も想定されるため、新技術および新工法の適用可能性についても併せて検討し、補修工法の選択肢を広げることが必要である。そのためにはトンネル内電源設備を整える必要もある。

(2) 摩耗要因の流入対策

土砂バイパストンネルの損傷要因である巨石の流入対策にも着手しており、バイパス呑口上流にある貯砂堰の水通し部に鋼製スリットを設置し、物理的に巨石を捕捉する改良工事を2026年度中に完了する予定である。今後も流入土砂のモニタリングを進め、土砂と摩耗の関係を整理し、土砂バイパス効率的な運用の実現に向けて検討を進めることとしている。

謝辞：本対策の検討にあたっては美和ダム小渋ダム堆砂対策検討委員会（委員長：辻本哲郎名古屋大学名誉教授）委員の皆様にご指導賜りましたこと深く感謝を申し上げます。