

断層破碎帯を有する長大山岳トンネルにおける 施工計画の最適化と覆工コンクリートの 品質向上策

吉森 佑介¹・柏木 亮²・湊 敦之³・大供 和男⁴・小山 武志⁵・
近藤 祐二⁶・宮前 貴幸⁷

¹非会員 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 大阪支社 敦賀鉄道建設所

(〒914-0055 福井県敦賀市鉄輪町一丁目 3 番 26 号)

E-mail: yoshimori.yus-eh85@jrtr.go.jp

²正会員 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 大阪支社 敦賀鉄道建設所

(〒914-0055 福井県敦賀市鉄輪町一丁目 3 番 26 号)

E-mail: kashiwagi.ryo-p55b@jrtr.go.jp

³非会員 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 大阪支社 工事第四部 工事第七課

(〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原 3-5-36)

E-mail: minato.ats-t45k@jrtr.go.jp

⁴正会員 大林・東亜・本間・塩浜北陸新幹線、新北陸トンネル（奥野々）特定建設工事共同企業体

(〒919-0215 福井県南条郡南越前町奥野々 87)

E-mail: otomo.kazuo@obayashi.co.jp

⁵正会員 株式会社 大林組 大阪本店 土木事業部 生産マネジメント部

(〒530-8520 大阪府大阪市北区中之島 3-6-32)

E-mail: koyama.takeshi@obayashi.co.jp

⁶非会員 熊谷・不動テトラ・梅林・轟北陸新幹線、新北陸トンネル（大桐）特定建設工事共同企業体

(〒919-0136 福井県南条郡南越前町大桐 76-101)

E-mail: ykondou@ku.kumagaigumi.co.jp

⁷非会員 熊谷・不動テトラ・梅林・轟北陸新幹線、新北陸トンネル（大桐）特定建設工事共同企業体

(〒919-0136 福井県南条郡南越前町大桐 76-101)

E-mail: tmiyamae@ku.kumagaigumi.co.jp

北陸新幹線（金沢・敦賀間）で最長の新北陸トンネルは脆弱な地山状況や高速道路との近接施工を含む難工事が予測される中、厳しい工程、建設コスト削減の社会的要請を背景に安全かつ高品質なトンネル工事が求められている。これらの課題を踏まえ、大桐工区においては中尺コアボーリングとドリルジャンボによるさぐり削孔を用いて断層破碎帯を安全かつ経済的に施工した。また、活断層区間の施工実績に基づき地山不良区間での地震時の剥落防止対策として繊維補強覆工コンクリートを採用した。一方、奥野々工区においては高充填コンクリートを採用し、経済的かつ高品質な覆工コンクリートの施工を行った。

Key Words: fracture zone, forward exploration, high filling concrete, fiber reinforced concrete

1. はじめに

北陸新幹線は東京都を起点とし、長野市付近、富山市付近、小浜市付近を経由して大阪市に至る延長約 690km の路線で、1973（昭和 48）年に整備計画が決定された。1997（平成 9）年 10 月に高崎・長野間の約 117km が長野五輪にあわせて開業し、2015（平成 27）年 3 月に長野・金沢間の約 228km が開業した。現在建設中の北陸新幹

線（金沢・敦賀間）については、2012（平成 24）年 6 月に国土交通大臣より工事実施計画（その 1）認可を受け、2017（平成 29）年 10 月に軌道・建築・電気・機械などの開業設備工事に係る工事実施計画（その 2）認可を受けており、2022（令和 4）年度末の完成に向けて、建設工事が進められているところである。

北陸新幹線（金沢・敦賀間）の工事区間は白山総合車両所（石川県白山市）から敦賀駅（福井県敦賀市）まで

である。工事延長は約 115km であり、内訳は、路盤約 1.6km (約 1%)、橋梁約 15.5km (約 14%)、高架橋約 59.1km (約 52%)、トンネル約 38.4km (約 33%) となっている。新北陸トンネルは福井県南条郡南越前町から敦賀市に位置する延長約 20km の山岳トンネルであり、南条山地及び敦賀湾東縁山地を貫くトンネルである。現在建設中の区間では最長のトンネルであり、北陸新幹線としては、長野県飯山市と新潟県上越市を結ぶ飯山トンネルに次ぐ 2 番目の長さとなっている (図-1)。

新北陸トンネルの地質は、大半の区間において美濃帯に属す古生代～中生代ジュラ紀の堆積岩で構成されており、砂岩、粘板岩 (頁岩)、チャート及び緑色岩類などの岩石、地層が発達している (図-2)。また、最大土被りが 500m を越える箇所や多くの断層を伴うことにより層界面が複雑に変化し、亀裂が卓越する区間の出現が予想され、特に南条山地と敦賀湾東縁山地を分ける活断層である柳ヶ瀬断層帯は、甲楽城断層、山中断層、柳ヶ瀬断層で構成されており¹⁾、これらの断層は新北陸トンネルと近接する JR 北陸本線の北陸トンネルや NEXCO 北陸自動車道の敦賀トンネルでも確認され、脆弱な地山がトンネル工事を困難にしたとの記録が残っている²⁾。こ

のような地質条件をもつトンネルにおいては、急激な地山状況の変化が、切羽の安定化へ与える影響が大きいいため、入念な前方探査により切羽前方の地山状況を十分に把握する必要がある。また、新幹線における山岳トンネルの覆工コンクリートは、①打設時の狭隘な作業環境に起因する締固め不足等による、覆工背面の空隙、クラック等の不具合、②開業後の地震による剥落、の大きく 2 点が見受けられることから品質向上のために様々な検討が行われている。

そこで本稿では、特に脆弱な地山状況が予測された工区において、全線で実施した前方探査結果に基づき掘削を行った結果と覆工コンクリートの品質向上の検討結果について報告する。具体的には、新北陸トンネル (大桐工区では、中尺コアボーリングとドリルジャンボによる 30m のさぐり削孔を用いた断層破碎帯区間の施工実績と、地震時の剥落防止を目的とした繊維補強覆工コンクリートの対策区間の検討について、新北陸トンネル (奥野々工区では、コンクリート流動化に伴うセントルの補強が不要である経済性に優れた高充填コンクリートの施工状況について記載する。

2. 工事概要

(1) 新北陸トンネルの概要

新北陸トンネルは前述の通り延長約 20km の山岳トンネルであり、6 工区 (清水・奥野々・大桐・葉原・田尻・樫曲) に分けて施工している。大桐工区、田尻工区において既往の調査¹⁾より、活断層である柳ヶ瀬断層、ウツロギ峠断層との交差が予想されており、また両工区において、北陸自動車道との交差箇所も所在している。

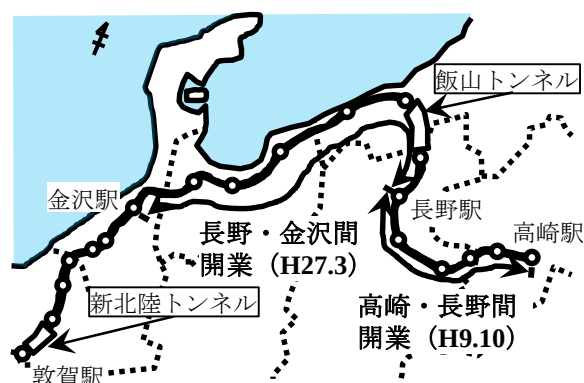


図-1 新北陸トンネル位置図

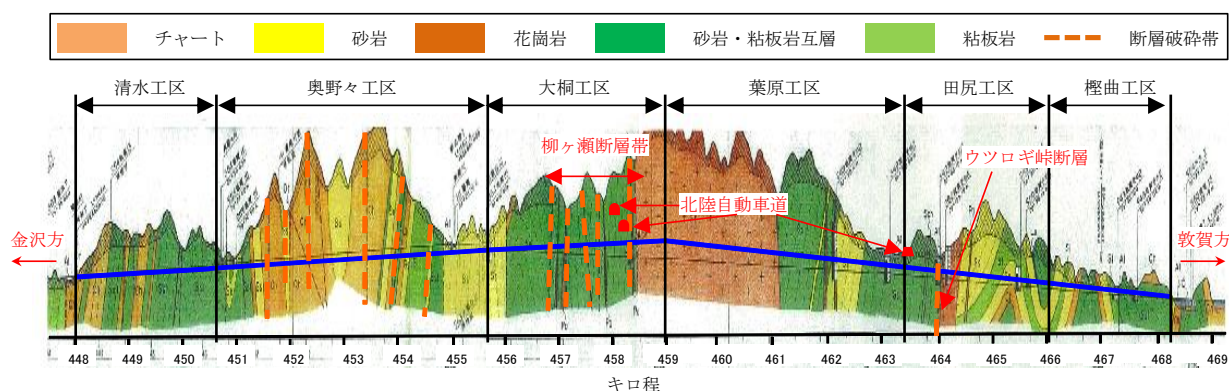


図-2 新北陸トンネル地質縦断面図

(2) 大桐工区の概要

新北陸トンネル（大桐）工区は、新北陸トンネル（L=19,760m）の内、起点側から 3 番目の工区であり、3,605mの施工を行うものである。地質は工事起点から大半の区間において、砂岩、粘板岩、チャート及び緑色岩類の岩石で構成されており、工事終点の一部区間においては、花崗岩や花崗閃緑岩で構成されている。地山状況は、砂岩を主体とした硬岩地山と亀裂が発達した砂岩・粘板岩互層が入れ替り出現すると共に、断層が断続的に現れ、地質性状の著しい変化が予測された。また、中古生層のために亀裂が発達しており、亀裂内に蓄積された帯水や地表面を流れる川や沢から浸食した水により多量湧水の発生が予想された。また、最小離隔約 43m で北陸自動車道敦賀トンネルと交差する³⁾。

(3) 奥野々工区の概要

新北陸トンネル（奥野々）工区は、新北陸トンネルの内、起点側から 2 番目の工区であり、4,880mの施工を行うものである。地質は工事区間全線を通して砂岩、粘板岩、チャートが主体である。地山状況は、岩相の変化が激しく、不透水層である粘板岩から砂岩へ遷移する際の水頭差や、最大土被りが 500m を越えることに起因する高圧地下水、チャート層では亀裂が発達しているため、亀裂内に蓄積した帯水による突発湧水の発生が予測された。

3. 課せられた諸課題

現在建設中の北陸新幹線（金沢・敦賀間）は、2015（平成 27）年 1 月の政府・与党申合せにおいて、沿線地方公共団体の最大限の取組みを前提に、完成・開業時期を 3 年前倒しすることが決定しており、工程が厳しい中、前述の通り脆弱な地山状況の中で高速道路との近接施工を含む工事を完了させる必要がある。つまり長大トンネルという切羽停止に伴う工程遅延リスクが高い中、掘削を迅速に完了させなければならない。更に、建設コスト削減の社会的要請を背景に将来の維持管理、ライフサイクルコストまで考慮した高品質なトンネル覆工の構築が求められている。

以上を踏まえ、新北陸トンネルの施工においては、諸条件の中で最適な施工計画を検討・策定し施工するとともに、覆工コンクリートに高充填コンクリートを採用した。

4. 断層破碎帯

(1) 前方探査併用による補助工法選定フローの策定

新北陸トンネル（大桐）工区においては、従来はトンネル全線においてドリルジャンボを用いたさぐり削孔を、事前調査から予測される脆弱層や層境付近では、トンネル側壁からの発破振動を受信して地山状況を把握する弾性波探査（反射法）を実施し、多量湧水が予測される地点では周波数により地山状況を把握する電磁波探査（FDEM 法）を実施していた。更に必要に応じて主にノンコア水抜きボーリングを実施してきたが 456km720m 付近において突発湧水を伴う切羽の大規模な抜け落ちにより掘削を一時中止せざるを得なかった。これを踏まえ、柳ヶ瀬断層帯の掘削においては掘削時の地山の自立性が悪いことが予測されたため、従来の前方探査に加えコアボーリングの追加施工を計画・実施した。前述の前方探査併用による施工実績に基づく補助工法選定フローを図-3に示す⁴⁾。

まず、ボーリング結果より帯水層が確認された場合、水抜きの実施を検討した。これにより切羽到達までに可能な限り水位を低下させる。破碎帯に起因する孔壁崩壊により安定した水抜きが困難であると判断した場合は鋼管を用いた水抜き（以下「鋼管水抜き」）を実施した（以下「ケース A」とする）。

次にボーリング結果より破碎帯が確認された場合は、さぐり削孔結果を踏まえて補助工法を検討する。補助工法は先受工とし、ボーリング結果・切羽観察結果より短尺・長尺の使い分けを実施した（以下短尺先受工は「ケース B」、長尺先受工は「ケース C」とする）。

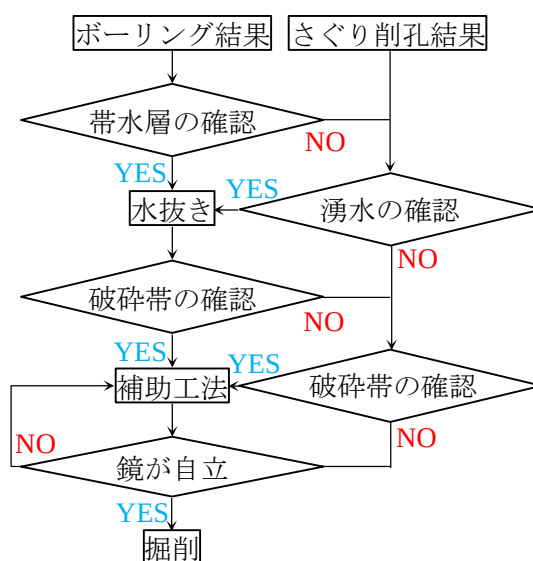


図-3 断層破碎帯における補助工法選定フロー

表-1 補助工法の諸元

ケース	A	B	C	D
補助工法	鋼管水抜工	短尺先受工	長尺先受工	長尺先受工 長尺鏡ボルト
管径	76.3mm	27.2mm	76.3mm	76.3mm
管の長さ	12.5m	3m	12.5m	12.5m
ラップ長	—	1m	3m	3m
注入材	—	シリカレジン		
適用規模	小	大		

これらの対策に関わらず鏡の自立が困難な場合は追加の補助工法を検討した。追加の補助工法は鏡ボルトを実施した（以下「ケース D」とする）。

各ケースでの補助工法の諸元をまとめたものを表-1に示す。

(2) 前方探査併用による断層破碎帯の施工結果

柳ヶ瀬断層帯と推定される区間でのさぐり削孔により得られる打撃圧、回転圧、フィード圧から総合的に算出されるエネルギー（以下、投入エネルギー）とコアボーリングの岩級相関図を図-4に、岩級区分を表-2に、図-5に投入エネルギーと最終内空変位量の相関図を示す。図-4より、投入エネルギーが小さくなるほど岩級も低級になる傾向を示しており、さぐり削孔結果とコアボーリング結果には一定の相関があることが示唆される。補助工法の適用規模も、さぐり削孔結果とコアボーリング結果から地質状況が悪くなるほど大きくなる傾向が見られるが、投入エネルギーが小さく岩級評価も良くない箇所においても補助工法の対策なく掘削できている実績もあることから、さぐり削孔やコアボーリングから得られる地質情報以外の切羽周辺湧水量なども補助工法適用規模に影響を与えていることが推測される。

図-5より、多少のばらつきは見られるものの、投入エネルギーが小さくなるほど最終内空変位量も大きくなる傾向が見られる。また、投入エネルギーが小さいほど補助工法の適用規模が大きい傾向も見られた。これより、さぐり削孔結果と最終内空変位には一定の相関が確認され、さぐり削孔結果より切羽前方にてある程度の変位量を予測することが可能であり、適切な支保パターンの検討に寄与することが期待される。

以上より、コアボーリングで事前に切羽前方の地山状況を把握し、さぐり削孔により直近の地山状況一定の精度をもって再確認することが示された。

切羽の安定は地質状況だけでなく、湧水状況とも関係があることから、図-6に投入エネルギーと切羽周辺湧水量の相関図を示す。切羽周辺湧水量は「切羽及び手前1D程度から発生した湧水量」である。

この図より投入エネルギーが小さく、切羽周辺湧水量が多い区間ほど大規模な補助工法を適用する傾向が見ら

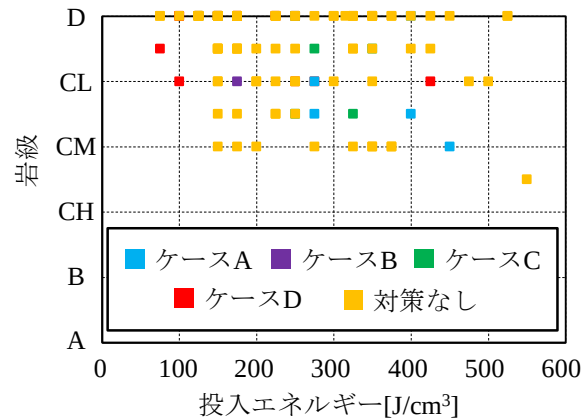


図-4 投入エネルギーと岩級の関係

表-2 岩級区分⁵⁾

岩級	特徴
A	極めて新鮮なもので造岩鉱物及び粒子は風化、変質は受けていない。 亀裂・節理はよく密着しそれらの面に沿って風化の後は見られないもの。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
B	岩質堅硬で開口した（例えば1mmでも）亀裂あるいは節理はなく、よく密着している。ただし、造岩鉱物及び粒子は部分的に多少風化、変質が見られる。 ハンマーによって打診すれば澄んだ音を出す。
CH	造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用は受けているが岩質は比較的堅硬である。 一般に褐鉄鉱などに汚染せられ、節理あるいは亀裂の間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目によって岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。 ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
CM	造岩鉱物および粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。 節理あるいは亀裂の間の粘着力は減少しており、ハンマーの普通程度の打撃によって、割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質が残留することがある。 ハンマーによっては打診すれば少し濁った音を出す。
CL	造岩鉱物および粒子は風化作用を受けて軟質化しており、岩質も軟らかくなっている。 節理あるいは亀裂の間の粘着力は減少しており、ハンマーの打撃によって、割れ目ハンマーによって打診すれば濁った音を出す。
D	岩石鉱物および粒子は風化作用を受けて著しく軟質化しており、岩質も著しく軟らかい。 節理あるいは亀裂の間の粘着力はほとんどなく、ハンマーによってわずかな打撃を与えるだけで崩れ落ちる。剥脱面には粘土質物質が残留する。 ハンマーによって打診すれば著しく濁った音を出す。

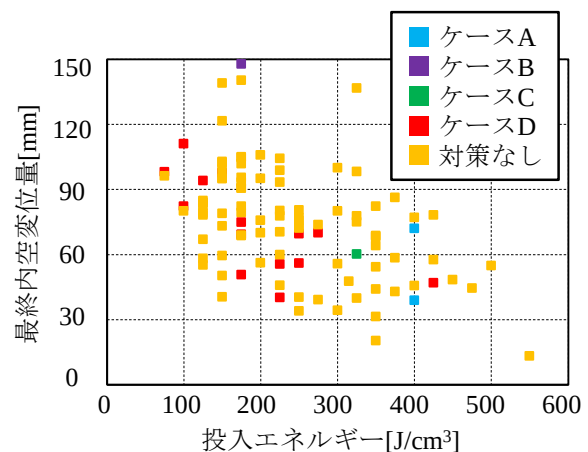


図-5 投入エネルギーと最終内空変位量の関係

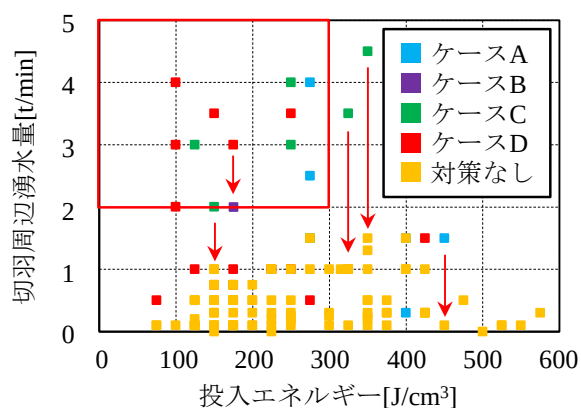


図-6 投入エネルギーと切羽周辺湧水量の関係

れ、切羽周辺湧水量が 2.0t/min を超え、投入エネルギーが 300J/cm³ を下回ると切羽が自立せず、補助工法を用いた対策が必要であることが見られた（図-6 中太枠）。

しかし、同程度の投入エネルギーが観測された場合、切羽周辺湧水量が少ないケースにおいて相対的に補助工法の適用規模を 1 ランク落として施工することができ、切羽周辺湧水量が切羽の安定性に大きな影響を与えていることが見て取れた（図-6 中矢印）。

以上より柳ヶ瀬断層帯と推定される区間において、コアボーリングとさぐり削孔を併用し、かつ、切羽周辺湧水量を含めて総合的に判断することで、妥当な支保パターン及び補助工法を選定し、掘削を完了することが出来た。

5. 繊維補強覆工コンクリート

(1) 繊維補強覆工コンクリートの採用

山岳トンネルは一般に地震に強い構造物と言われているが、既往の研究^{例えは ⑧, ⑨}によると山岳トンネルでも地震の規模や震源からの距離によってはひび割れなどの被害が生じることがわかっている。上記を踏まえ、活断層である柳ヶ瀬断層系と推定される不良地質区間において、地震時の剥落防止を目的とした繊維補強覆工コンクリートを採用した。ここで、混入する繊維は、ポリプロピレンをとり、繊維の体積混入率は 0.3vol%とした。一方、近年地震による被害パターンとして、集中湧水や断層粘土により難工事を強いられた区間で多いことも明らかになってきている^⑩。これを受け、新北陸トンネル（大桐）工区においては、活断層区間以外でも難工事を強いられた区間での繊維補強覆工コンクリートによる地震時の剥落防止対策の検討を行った。

繊維補強覆工コンクリートの検討範囲については、山中断層から派生したと推定される断層破碎帯が出現し、柳ヶ瀬断層系と推定される断層破碎帯区間と同様に、切羽で断層粘土とその背後で高圧多量湧水を確認し難工事

を強いられた範囲とした。

検討手法は、施工実績がある柳ヶ瀬断層系の地山状況、掘削状況を整理し、検討範囲内で同程度の地山状況、掘削状況が確認された区間を抽出する手法とした。

なお、地山状況の評価として切羽周辺湧水量（切羽及び手前 1D 程度から発生した湧水量）、破碎部面積率（切羽写真から判断される破碎帯が占める面積率）（図-7）を評価項目とし、掘削状況の評価として掘削支保パターン、適用した補助工法を評価項目とした。

(2) 繊維補強覆工コンクリート採用区間の検討結果

図-8 に活断層である柳ヶ瀬断層系の区間内で繊維補強覆工コンクリート施工区間前後での地山状況、掘削状況を整理した結果を示す。掘削状況として表-1 に記載した補助工法の諸元に基づく結果をハッチングして示している。また、当該区間の支保パターンの諸元を表-3 に示す。これより、繊維補強覆工コンクリート施工区間においては、切羽周辺湧水量、破碎部面積率が相対的に高いこと、支保パターンを重くすることや補助工法を施工しながら掘削を進めていた実績が整理された。以上より、新北陸トンネル（大桐）工区と交差する活断層の地

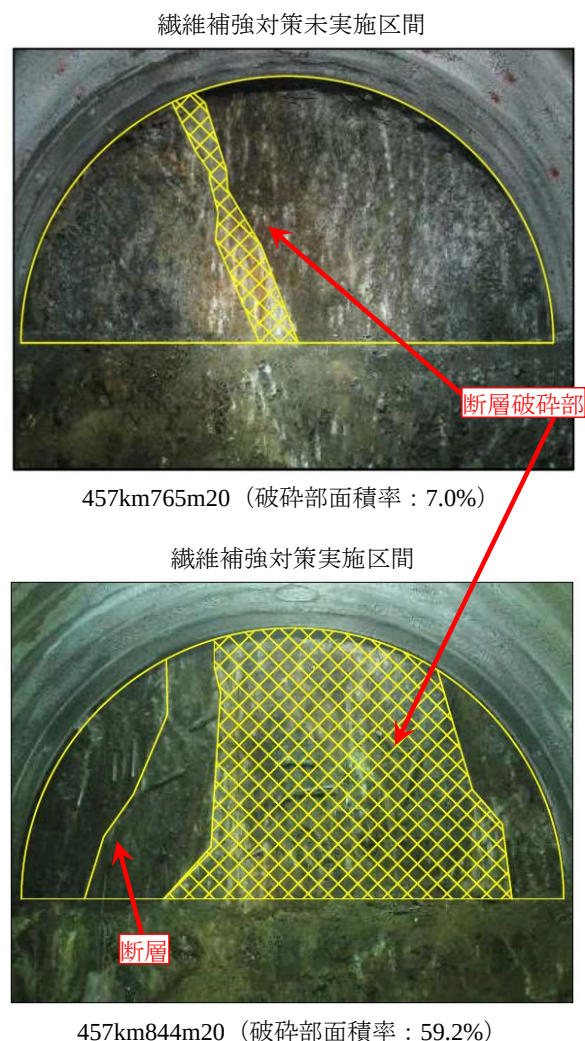


図-7 破碎部面積率算出例

山状況、掘削状況を目安として同程度の地山状況、掘削状況が整理される部分を「地山不良区間」として取り扱うこととした。

図-9 に新北陸トンネル（大桐）工区での地山不良区間における繊維補強覆工コンクリートによる対策区間を示す。なお検討区間には活断層を考慮した設計⁹⁾に基づく地山不良部前後 30m も含む。本対策区間においては砂岩・粘板岩互層とひん岩との層境に粘土層が介在しており、粘土層を境に集中湧水を確認した。また切羽は著しく変質され、複数の断層を確認された。掘削時に大規模な粘土層が確認され補助工法を施工した箇所では、切羽の一定距離進捗後に後荷が原因とされる支保工の変状が確認され、一次インバートによる早期閉合といった柳ヶ瀬断層系の区間では実施しなかった対策も実施した。

以上より本対策区間においては柳ヶ瀬断層系と同様な

地山状況、掘削状況が確認され難工事を強いられた区間であったことから、地震時の剥落防止を目的とした繊維補強覆工コンクリートによる対策を実施した。

表-3 掘削パターン諸元

凡例	1発破進行	鋼製支保工	吹付厚	ロックボルト
	1.2m	H-150	150mm	挿入方式：14本
	1.0m			自穿孔方式：14本
				

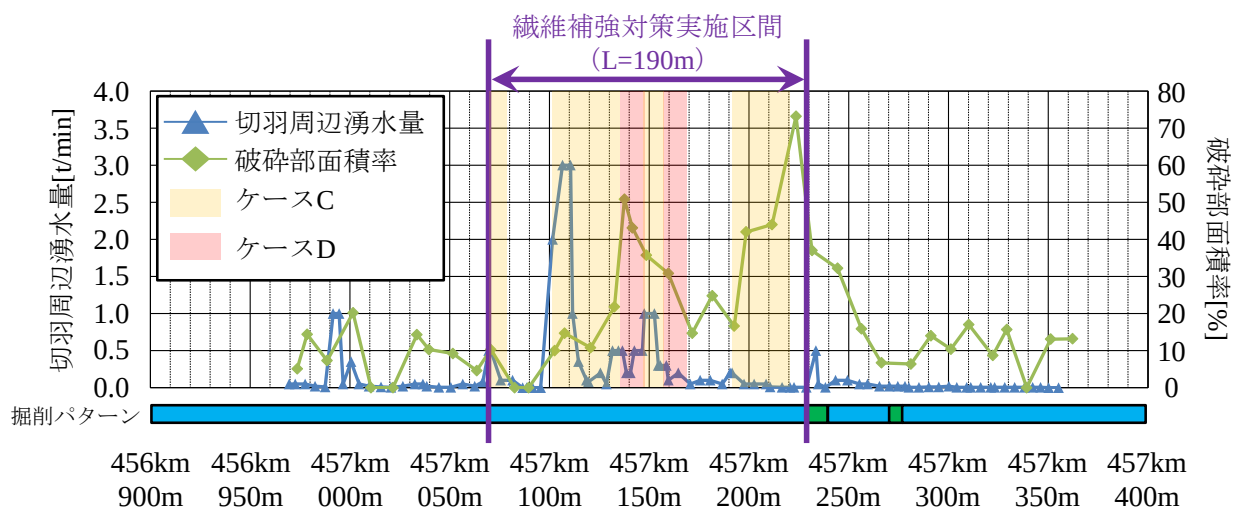


図-8 活断層区間での対策区間

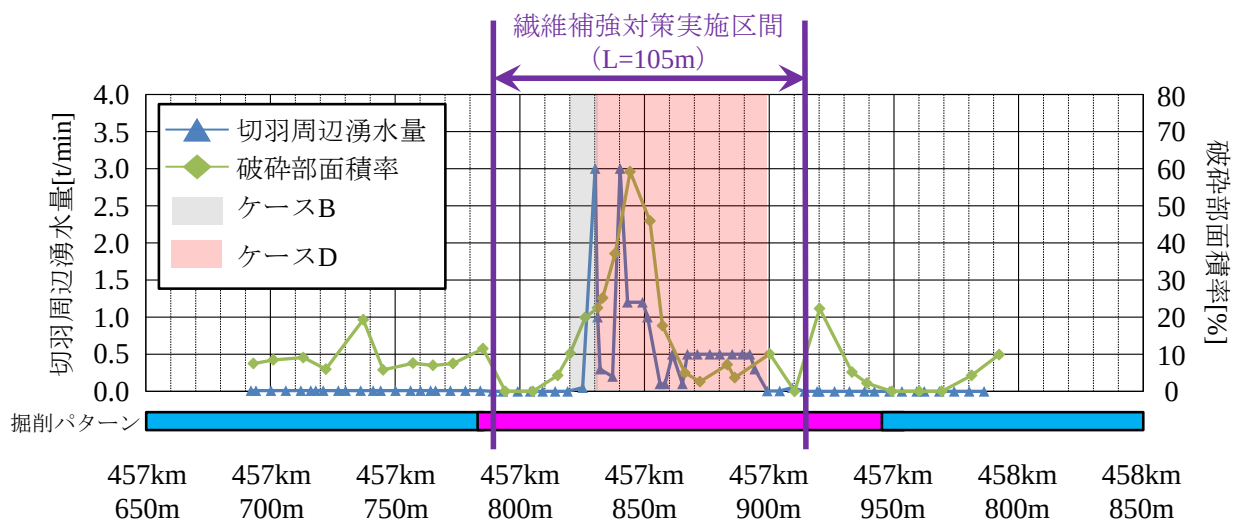


図-9 地山不良区間での対策区間

6. 高充填コンクリート

(1) 高充填コンクリートを用いた経済的かつ高品質な覆工コンクリートの検討

新北陸トンネル（奥野々）工区においては、前述の課題解決のためにトンネル全線において高充填コンクリートの採用を行っている。高充填コンクリートの仕様と目標品質を表-4に示す。

ここで高充填コンクリートは、最大粗骨材寸法を従来の覆工コンクリートと同様の40mmとし、かつ、従来の覆工コンクリートよりも流動性を高めるものの、現行の覆工セントルの補強が不要で、品質と経済性の双方を確保できるコンクリートを目指している^{10)~12)}。

そこで、①数種類の覆工コンクリート打設時のセントル側壁部に作用する圧力を計測し、覆工セントル補強の有無を検討した。また、②高性能 AE 減水剤を用いることによる経済面の抑制策として、コンクリートの充填性を最も重視しているアーチ天端部のみ高充填コンクリートを用いたハイブリット型覆工コンクリートの実用性を検討した。

①については、各覆工コンクリート打設時のセントル側壁部に作用する圧力を計測し、覆工セントル補強の有無を検討した。②については、コンクリートの充填性を最も重視しているアーチ天端部を高充填コンクリート、側壁部を従来配合の覆工コンクリートとした。なお、従来配合から高充填コンクリートへの切替え位置については、コンクリート打設中のセントル内のコンクリート流動勾配を測定した結果より、従来配合でコンクリート打設を進めると肩部付近で高低差約70cmの勾配が生じることが判明していることから、検査窓4から打設している際に切替えることが妥当であると考えられ、実施工により検査窓を変化させながら確認した結果、切替え位置は肩部手前の検査窓4が適切であると確認された。その

表-4 高充填コンクリートの仕様と品質目標

	従来の覆工 コンクリート	高充填 コンクリート
スランプ(SL) スランプフロー(SF)	SL15±2.5cm	SL21±2cm
U型充填高さ	—	28cm以上
粗骨材の最大寸法	40mm	40mm
単位水量の最大値	165kg/m ³	165kg/m ³
単位セメント量の 下限値（目安）	270kg/m ³	270kg/m ³
最大水セメント比	60%以下	60%以下
設計基準強度	18N/mm ²	18N/mm ²

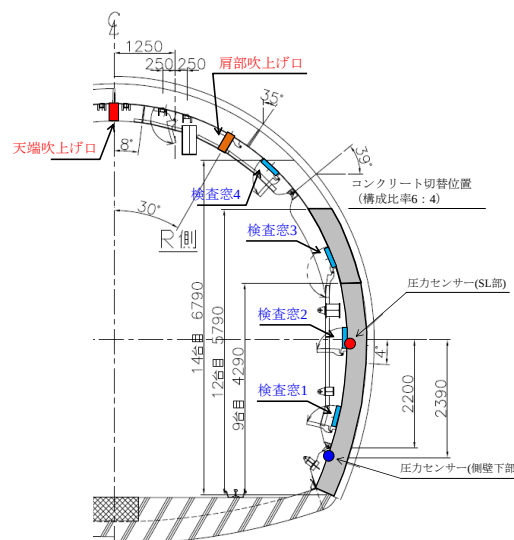


図-10 コンクリート配合の適正な切替え位置

結果、従来配合の覆工コンクリートと高充填コンクリートの構成比率は概ね6:4となる（図-10）。

(2) 高充填コンクリートに関する検討結果

a) 各覆工コンクリート打設時のセントルに作用する圧力の計測結果

各覆工コンクリート打設中のセントルに作用する圧力の計測結果を図-11に示す。この結果から高充填コンクリートの打設時には作用する圧力は標準的なセントルの耐力の設計値以下収まることが確認された。これより高充填コンクリートはセントルの補強が不要であり、経済的な施工が可能であることが示唆された。

b) ハイブリット型覆工コンクリートの検討結果

ハイブリット型覆工コンクリートの採用にあたり、打ち重ね部を模したコンクリート供試体と、従来配合と高充填コンクリートを混合したコンクリート供試体を作成し、室内試験により引張強度を確認した結果を図-12に示す。この結果からハイブリット型コンクリートの圧縮強度は従来配合コンクリートと高充填コンクリートを混合したコンクリートの個々の強度特性の中間に位置する結果となった。また、曲げ強度及び引張強度においても同様の結果が見られ、打ち重ね部の強度は問題ないことが示された。

また、ハイブリット型覆工コンクリートの仕上がり状況を写真-1に示すが、これより外観からは打ち重ね部を判断することが出来ない。

以上より、強度面・仕上がり面から考慮するとハイブリット型覆工コンクリートの実用化は問題ないことが示され、更なる経済的な施工が可能であることが示唆された。

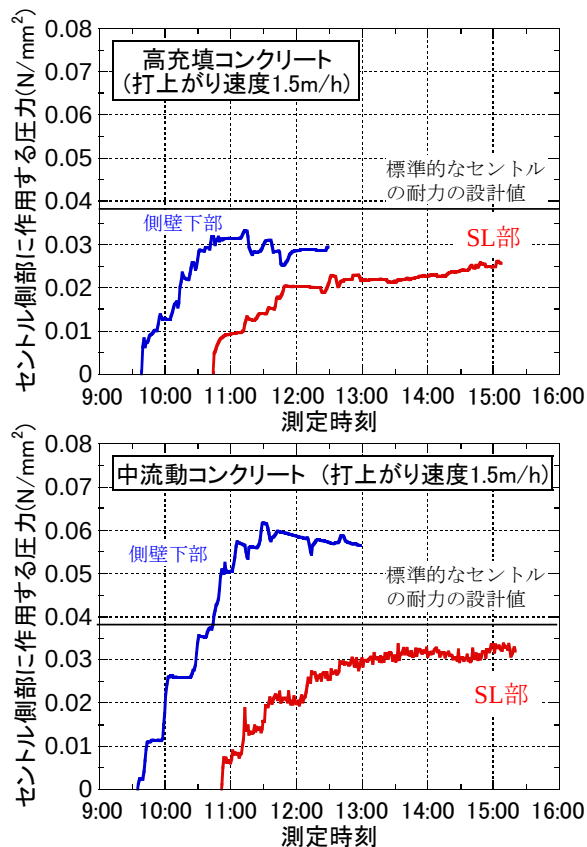


図-11 セントル側壁部に作用するコンクリート圧力の比較

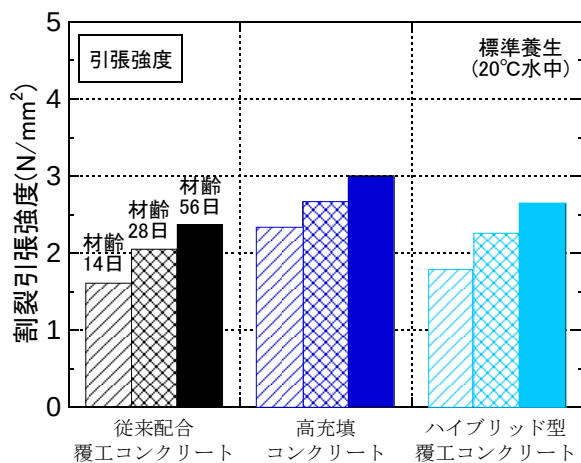


図-12 セントル側壁部に作用するコンクリート圧力の比較

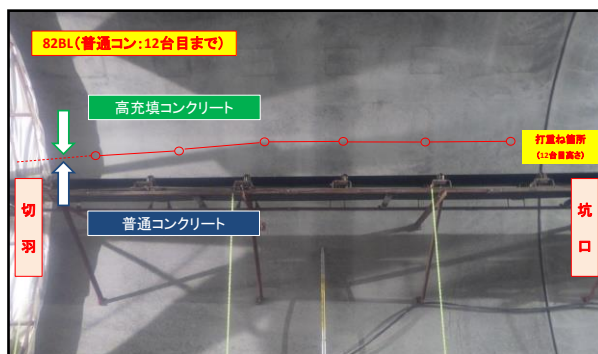


写真-1 ハイブリッド型覆工コンクリートの仕上がり状況

7. 結論

本稿では、長大トンネルである新北陸トンネルにおいて「厳しい工程」，「脆弱な地山状況の出現」，「建設コスト削減の要請」が背景にある中での工事に対して、新北陸トンネル（大桐）工区，（奥野々）工区での対策について述べた。得られた結論を下記に示す。

- 1) 新北陸トンネル（大桐）工区について、中尺コアボーリングとさぐり削孔を併用し、得られる結果を相互に補完することで、切羽前方の地山状況を把握し、適切な施工を行うことが出来た。具体的には、補助工法選定フローにより、段階的な補助工法の判断ができたため、施工効率と経済性を考慮した工法を採用すること、切羽周辺の湧水量を事前に低下させることで補助工法の適用規模を抑え、経済的な施工が出来たことである。
- 2) 新北陸トンネル（大桐）工区について、地山不良区間を選定し繊維補強覆工コンクリートの施工を採用することで、経済的に地震時の剥落防止対策を行うことが可能であることが示唆された。
- 3) 新北陸トンネル（奥野々）工区について、高充填コンクリートが覆工セントルの補強が必要なく経済的に施工できることが示された。また、ハイブリッド型覆工コンクリートを採用することで更に経済的な覆工コンクリートの施工が可能であることが示された。

現在、新北陸トンネルの掘削進捗率は90%を越えており、全貫通の日も遠くない。また、北陸新幹線（金沢・敦賀間）の開業も近づき、工事も終盤に差し掛かってきている。今後は、北陸新幹線（金沢・敦賀間）の開業に向けて安全にトンネル工事を進めていく。

謝辞：本工事に關し、貴重なご意見を頂いた関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯の長期評価について，2004.01
- 2) 磯谷勇輔：敦賀地区のトンネル群，北陸自動車道，トンネルと地下，Vol.6，No.10，pp.43-49，1975.10.
- 3) 吉森佑介，高原英彰，永利将太郎，中本大悟：断層群内における北陸自動車道直下での近接施工，トンネルと地下，Vol.50，No.3，pp.7-18，2019.03.
- 4) 吉森佑介，高原英彰，鎌田和孝，中本大悟：中・短尺ボーリングを併用し得られた地質情報で断層破砕帯を施工，トンネルと地下，Vol.48，No.11，pp.7-13，2017.11.
- 5) 建設省大臣官房技術調査室監修：ボーリング柱状図作成要領（案）解説書（改訂版），日本建設情報総合センター，1999.05.
- 6) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査，鉄道技術研究報告，No.1123，1979.
- 7) 朝倉俊弘，志波由紀夫，松岡茂，大矢敏雄，野城一栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集，No.659/III-52，pp.27-38，2000.
- 8) 小山幸則，朝倉俊弘，佐藤豊：兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害と復旧，トンネルと地下，Vol.27，No.3，pp.51-61，1996.03.
- 9) （独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部 設計技術部：活断層対策調査・設計の手引き（案），1998.03.
- 10) 若林功起，萩原秀樹，三浦貴幸，小山武志：フライアッシュを用いた高充填コンクリートで覆工の品質向上を目指す，トンネルと地下，Vol.48，No.1，pp.45-53，2017.01.
- 11) 鈴木成，末松雄一，黒川尚義，西野俊論，西浦秀明，桜井邦昭：高充填コンクリートの諸地域への展開，トンネル工学報告集，第26巻，I-13，2016.11.
- 12) 三浦貴幸，秋田勝次，萩原秀樹，小林寛明，西浦秀明，桜井邦昭：高充填コンクリートを用いた場合にセントルへ作用する側圧に関する実験的検討：トンネル工学報告集，第26巻，I-14，2016.11.

(2019. 08.09 受付)

OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION PLAN IN LONG MOUNTAIN TUNNEL WITH FAULT FRACTURE ZONE AND QUALITY IMPROVEMENT MEASURES OF LINING CONCRETE

Yusuke YOSHIMORI, Ryo KASHIWAGI, Atsushi MINATO, Kazuo OTOMO,
Takeshi KOYAMA, Yuzi KONDO and Takayuki MIYAMAE

The longest Hokuriku Shinkansen (Kanazawa-Tsuruga) long Shin Hokuriku tunnel is expected to be difficult construction including proximity ground conditions and proximity construction with expressways, against a background of severe process and social cost of construction cost reduction Safe and high quality tunnel construction is required.

Based on these problems, in the Daikoko Construction Zone, a fault fracture zone was constructed safely and economically by using medium-sized core boring and scoop drilling with a drill jumbo. In addition, fiber reinforced lining concrete was adopted as a measure to prevent spallation in the case of an earthquake failure zone based on the construction results of active fault zone.

On the other hand, high filling concrete was adopted in Okunonoko district, and economical and high quality lining concrete was constructed.