

トンネル覆工補強工事における交通規制削減の取り組み

西日本高速道路株式会社 棟安 貴治, 正会員 野村 晃平
株式会社大林組 正会員 ○藤原 純平, 正会員 太田 親, 正会員 浅野 文典

1. まえがき

中国自動車道は、開通後約 30 年経過しており、全長の約 4 割が老朽化している。特に中国地方では、山間部の積雪地帯を通過するため、厳しい使用環境にさらされることから変状が顕在化している。そのため、本工事では戸河内 IC～吉和 IC 間の 7 トンネル (L=2029. 6m) の覆工補強工事を行った。覆工補強工で使用する炭素繊維シートは、エポキシ樹脂により接着、硬化させる。エポキシ樹脂は水分を含むと硬化不良となり付着力が低下するため、坑内が乾燥する 10 月～5 月の期間に施工するのが一般的である。そのため、当初計画では 11 月～4 月に片側車線規制を行い覆工補強を施工する計画であった(表-1)。しかし、施工場所は降雪が多い立地条件のため、冬季の車線規制は路面の凍結や積雪により交通事故のリスクが非常に高く、降雪の際は除雪作業のため規制を解除しなければならない。さらに交通規制をかけることで一般車両への負荷がかかり、渋滞や事故発生のリスクが増加するなど、社会的な影響が大きいため、交通規制の削減が求められた。そこで同時期に発注された床版取替工事の上り線対面通行規制(下り線完全通行止め)に相乗りし、対策を実施しながら高温多湿な環境下で覆工補強工を行った。



写真-1 老朽化したトンネル(在来工法)

表-1 当初計画

当初工程																														備考																																												
工種	令和2年					令和3年										令和4年										5年																																																
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1																																															
交通規制工	片側車線規制															片側車線規制															他社対面通行規制へ相乗り															片側車線規制																												
	雷水期間のため															雷水期間のため																																																										
	日々規制のみ可能															上り線対面通行規制（下り線完全通行止め）															日々規制のみ可能															上り線対面通行規制（下り線完全通行止め）															片側車線規制													
覆工補強工																																																																										
背面空洞注入工																																																																										

2. 工事の課題と対策

炭素繊維による覆工補強工は所定の性能を発揮するために複数の作業工程を必要とする(図-3)。炭素繊維シートの接着工程で、硬化前の含浸・接着樹脂に水分が付着すると白化現象(写真-2)が生じて次層との接着性が低下する。含浸・接着樹脂の塗布時は、白化現象を防止するため、湿度 85%以下で施工することが定められており、結露との接触を回避する必要がある。そのため炭素繊維シートを施工する上で坑内をドライな環境に保ち、材料に直接水分が付かないような施工環境を整えることが重要であった。しかし、交通規制工を削減するためには、6 月～9 月の坑内が結露しやすい時期に覆工補強工を施工する必要があり、工程を遵守しつつ、品質を確保するためには

- (1) 結露発生による工程の遅延
- (2) 湿度上昇、結露発生によるエポキシ樹脂硬化不良による品質の低下が課題としてあげられた。

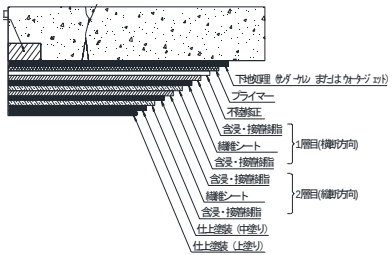


図-1 覆工補強工詳細図

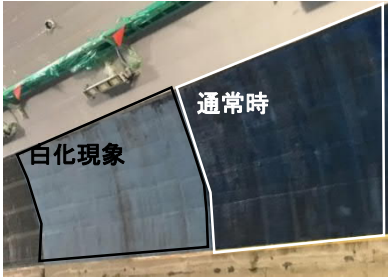


写真-2 含浸・接着樹脂の白化現象

キーワード 結露対策, 炭素繊維シート, 覆工補強, 大規模更新, 交通規制工, トンネルリニューアル
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟

(1) 結露対策

結露発生の要因の一つとして、高い坑内湿度がある。下記の設備を設置して坑内を強制換気し、坑内湿度の低下を図ることで結露の発生を抑制した。当工事で適用した結露対策工を示す（写真-3）。夜間の天候変化や朝方の外気温低下による結露発生を防ぐため、結露対策工①②は24時間稼働させた。施工の進捗と結露発生状況を確認しながら、約300m²/台の頻度で結露対策工①②を配置して坑内の湿度低下を図った。2021年と2022年の6～9月で71%の稼働率を確保することができた。



写真-3 結露対策工①～②と結露対策工効果

(2) 坑内環境モニタリング

トンネル坑内の施工環境の変化をリアルタイムで監視し、品質不良を引き起こす要因である湿度上昇や結露発生時の迅速に対応するため、坑内環境モニタリングを実施した（図-4）。アラート通知機能を活用し、坑内湿度が85%以上となった場合、関係者全員の携帯端末にdirect（ビジネスチャットアプリ）で

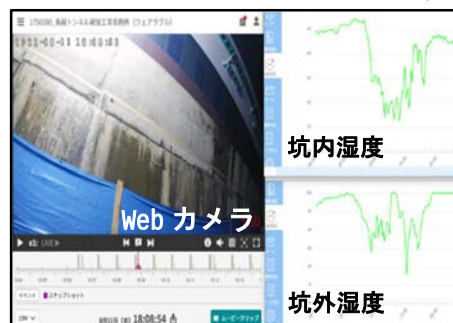
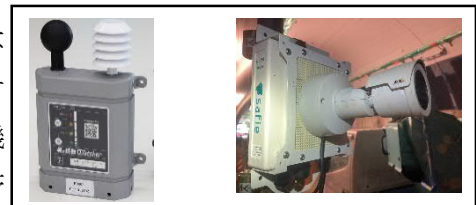
一斉通知する設定とした。これにより結露発生リスクが高まった段階で直ちに施工を中断し、結露対策を実施することで結露発生の抑制を図った。さらに結露発生状況を目視確認するためWebカメラを当日の施工箇所を設置し、天候変化に起因する結露発生の有無を関係者全員が把握することができた。リアルタイムで覆工面の確認ができることに加え、録画機能により夜間や

早朝の結露が発生しやすい時間帯の状況も確認できたため、

図-4 坑内施工状況モニタリング

結露が発生した場合は遅れることなく、結露対策や点検を実施し、適切な対処を実施することができた。結果として湿度上昇・結露発生による白化の発生回数を低減し、品質不良を防止できた。

リアルタイム計測



端末モニタリング画面

端末W通知Bot1
SisMil 湿度【赤】
萩原トンネル坑内_1756500_馬越トンネル橋強
超過Lv3(赤)になりました
湿度：85.1%
拠点名：1756500_馬越トンネル橋強
子機設置場所：萩原トンネル坑内
湿度が設定された閾値超過もしくは極めて大きく下回りました。
詳細情報の確認
<https://www.cumonosu.com/apps/aw/index.html#Q7012053>

坑内湿度が85%を超えると一斉

にアラート通知

3. 今後の展開とまとめ

以上の対策により、11月～4月に車線規制をすることなく対面通行規制期間内に工事を完了することができた。また、完全通行止め区間で施工することで、安全性、施工性も大幅に改善された。炭素繊維シートの施工が乾燥した時期に限らず、年間を通して施工できることは工程上大きなメリットとなる。本工事の結露対策では、71%の稼働率となったが、より稼働率を向上するためには効率的な結露の発生抑制対策が求められる。今後、交通規制による一般車両への影響を低減するため、最小限の交通規制での工事遂行が求められる。本件は、結露というトンネル特有課題を解決して交通規制工を大幅に削減した事例であり、本件が今後増加するトンネルリニューアル工事の参考となれば幸いである。