

道路トンネル内における結露抑制方法の提案

ケー・エフ・シー 正会員 ○大久保拓真, 岩谷一郎, 森岡弘樹, 田部美月, 山田豪司

1. はじめに

道路トンネルでは、覆工コンクリートのはく落対策や補強を目的として繊維接着系工法が採用されている¹⁾。この工法にはプライマーや繊維シート接着剤を用いるが、これらの材料に水が混入すると材質が変化し、接着性能を低下させる原因となる^{2) 3)}。実際に、道路トンネル工事では、結露の発生しやすい時期を外した工程を組むなどの対応がとられている。その結果、結露が発生しない時期に多くの施工班を投入せざるを得ないという、非効率な状況が続いている。

本研究では、このような現状を改善し、公共工事の品質確保と施工効率向上を両立するための新技術として考案した結露抑制システムの効果についての試験結果を報告する。

2. 結露抑制方法の概要

繊維接着系工法を用いる道路トンネル工事において、結露が発生した際の対応として、従来は、施工箇所付近の空気を循環させることを目的に覆工に送風機を用いて送風し、結露の抑制を行っていた。**写真-1**に送風機を用いた結露抑制装置を示す。しかし、この方法では、送風が当たる局所的な範囲のみの結露抑制効果しか得られなかったため、施工効率が悪かった。そこで、本研究では、露点温度と覆工表面温度（以下、覆工温度）に着目し、熱風発生機と送気ダクトを用いて1日の施工面積に相当する広範囲の覆工の結露を抑制する結露抑制システムを考案した。**図-1**に結露抑制システムを示す。このシステムは、道路トンネルの縦断方向約20mの範囲に送気ダクトを1m間隔で配置し、熱風発生機からの熱風が複数の上向きダクトから同時に送風する。熱風が覆工に沿って天端まで上昇しながら覆工を温めることで、覆工付近で冷やされた道路トンネル内の空気が露点温度以下になることを防ぐ。また、複数の送気ダクトにより広範囲の結露を抑制することができる。ここで、露点温度とは空気の温度と湿度によって算出される値であり、結露は覆工温度がこの温度以下になったときに発生する。

3. 試験概要

山口県美祢市の中国自動車道仏坂トンネルにおいて、6月の全面通行止めの期間中に、本システムによる結露抑制効果の試験を行った。送気ダクトは熱風発生機側を①とし先端側の②まで1m間隔に送気ダクトを配置した。計測は、**図-2**に示す送気口、地上3m、天端の3箇所で気流温度、気流湿度、覆工温度を測定した。気流温度と気流湿度は覆工面から10mm以内で計測した。また、目視により結露発生状況を観測した。



写真-1 送風機を用いた結露抑制装置

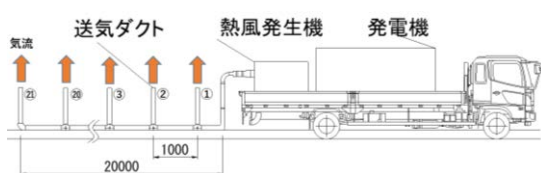


図-1 結露抑制システム

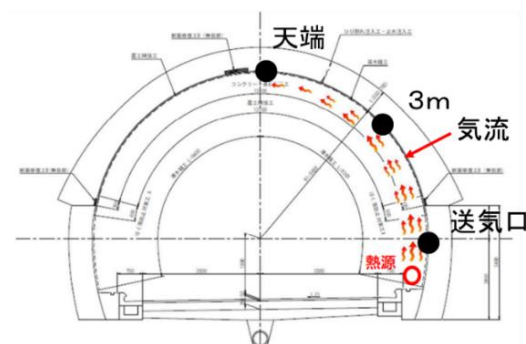


図-2 各計測点

キーワード トンネル, 結露, 繊維接着系工法, 熱風発生機, 施工効率向上

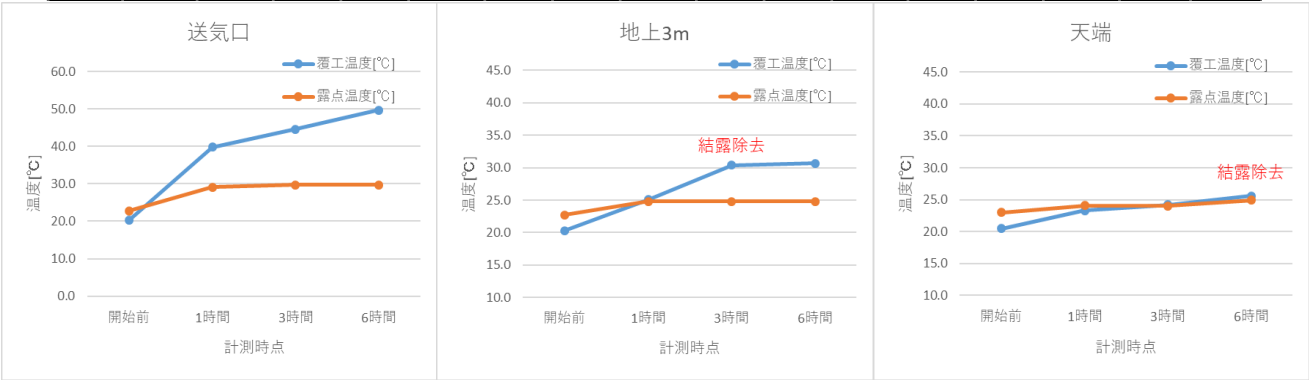
連絡先 〒347-0010 埼玉県加須市大桑 1-19 ケー・エフ・シー 技術部 TEL 0480-76-0095

4. 試験結果

表-1 に送気口②, ⑩, ⑳における熱風発生機の運転開始前, 運転開始3 時間後, 6 時間後の計測結果を示す. また, 図-3 には, 送気ダクト⑩ (熱風発生機から約 10m 地点) の覆工温度と露点温度の関係を示す. 表-1 に示すとおり, 地上 3m では3 時間後に, 天端では6 時間後に結露が除去されたことをそれぞれ確認した. また, 図-3 より, 地上 3m では熱風発生機の運転開始から1 時間後に覆工温度が露点温度を超え, 同じく天端では3 時間後に覆工温度が露点温度を超えている. これより, 熱風発生機によって覆工が温められ, 覆工温度が露点温度以上になったことで結露が除去されたことを確認した. その後も, 覆工を温め続けることで, 覆工温度は露点温度以上を保ち続けたことから, 連続的な結露抑制効果を有することを確認した.

表-1 計測結果

送気口	測点	気流温度[°C]			気流湿度 [%]			露点温度[°C]			覆工温度[°C]			結露発生状況		
		開始前	3時間	6時間	開始前	3時間	6時間	開始前	3時間	6時間	開始前	3時間	6時間	開始前	3時間	6時間
②	送気口	24.0	67.8	67.7	95.9	15.6	15.6	23.3	30.9	30.8	21.2	56.5	59.6	無し	無し	無し
	3m	23.8	38.2	39.5	96.4	45.4	45.5	23.2	30.4	25.6	20.8	31.9	32.7	有り	無し	無し
	天端	23.5	31.3	32.6	96.8	62.9	19.3	23.0	23.4	6.2	20.2	25.4	26.9	有り	有り	無し
⑩	送気口	23.6	60.0	60.3	95.0	20.7	20.5	22.8	29.7	29.7	20.4	44.6	49.7	無し	無し	無し
	3m	23.4	39.3	38.1	95.6	44.0	47.0	22.7	24.8	24.8	20.3	30.4	30.7	有り	無し	無し
	天端	23.4	30.8	32.3	97.4	67.3	65.0	23.0	24.0	24.9	20.5	24.2	25.6	有り	有り	無し
⑳	送気口	23.6	51.0	51.8	95.8	31.5	30.1	22.9	29.4	29.3	20.3	30.1	36.4	無し	無し	無し
	3m	23.4	31.2	36.4	96.8	57.9	48.2	22.9	21.9	23.7	20.2	26.3	28.2	有り	無し	無し
	天端	23.4	34.1	31.4	97.6	56.2	64.4	23.0	24.2	23.9	20.8	29.9	29.8	有り	無し	無し



5. まとめ 図-3 覆工温度と露点温度の比較 (送気ダクト⑩)

道路トンネルにおける結露抑制システムを提案し, その効果について試験を行った. その結果, 熱風発生機による結露抑制方法は広範囲の結露を抑制できることを目視により確認した. また, 覆工温度が露点温度以上になった後に結露が消失したことを計測結果により確認した. さらに, 本システムによって覆工温度を露点温度以上に維持することで結露が抑制できることを計測結果と観測により確認した. これらのことから, 本システムが結露の抑制に有効であることを示すことができた.

本システムは, 1 日の施工面積に相当する覆工の結露は抑制できたが, 作業環境や結露消失までの時間短縮, 機材の設置時間短縮を目的に, 熱風温度の適正化や送気ダクトの機動性向上, 熱風発生機や発電機の小型化などが必要である. 今後は, 実用化を目指し, 更なる改善・改良を進めていく予定である.

参考文献

1) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社: トンネル施工管理要領【本体工編】 , pp. 65-69, 2017.7.

2) 湯浅 昇: 旧 JASS8 における防水施工の目安「Kett の水分計を用いて 8%」物語 2014, 防水ジャーナル, No.507 pp. 70-75, 2014.2.

3) 一般社団法人日本塗料工業会: 重防食塗料ガイドブック第 5 版, p. 218, 2020.3.