

寒冷地トンネルにおける新素材断熱材に関する研究

北海道土木技術会 トンネル研究委員会 技術小委員会 TMS 分科会
国土交通省 北海道開発局 齋藤 宏樹
荒井建設株式会社 正会員 ○塩見 武
株式会社エーティック 正会員 霜出 睦

1. はじめに

寒冷地トンネルでは、地山の凍結・融解作用による覆工コンクリートの破損、漏水、つららなどを防止する目的から、覆工コンクリート背面に断熱材を設けることとされている。断熱材には、吹付け断熱材が多く使用されているが、オゾン層破壊や地球温暖化などの環境問題によって、使用材料は変化している。現在、環境面からノンフロン材の使用が標準とされているが、性能面、施工性に課題があることから、当委員会において新素材断熱材（新発泡材）の実用化と規格の検証を行ったので報告する。

2. 断熱材の開発経緯

吹付け断熱材は、フロンガスが問題となり、特定フロン材（～1995 年）、代替フロン材（～2003 年）、次世代フロン材（2004～2019 年）と使用材料が変化しており、現在は、ノンフロン材（2012 年～）が標準となっている。

特定フロン材・代替フロン材は、フロンガスによるオゾン層破壊が問題となり、1995 年と 2003 年にそれぞれ製造中止となった。オゾン破壊係数（ODP）は 0.11～1 となっている。次世代フロン材は、2004 年から北海道開発局の道路設計要領に記載された。オゾン破壊係数（ODP）は 0 だが、地球温暖化係数（GWP）が大きいことが課題であり、2019 年に製造中止となった。ノンフロン材は、2012 年から北海道開発局の道路設計要領に記載されており、現在主流の材料である。フロンガスに該当せず、オゾン破壊係数（ODP）は 0、地球温暖化係数（GWP）も小さいが、熱伝導率が大きく吹付厚が厚くなる、設備が大掛かりになるなど、性能面、施工性での課題が挙げられる。今回検証する新発泡材は、環境面でノンフロン材、性能面・施工性で次世代フロン材と同等となっており、実用化が期待される材料である（表-1）。

表-1 吹付け断熱材の比較

項 目		特定フロン (CFC-11) (～1995)	特定フロン (旧代替) (HCFC-141b) (～2003)	次世代フロン (HFC-134a) (2004～2019)	ノンフロン (炭酸ガス) (2012～)	新発泡材 (HFO)
オゾン破壊係 (ODP)		1	0.11	0	0	0
地球温暖化係 (GWP)		4000	820～840	1300	1	1～2
熱伝導率 (W/m・k)	断熱材厚さ算定式	0.027	0.027	0.031	0.041	0.035
	材料規格値 (JIS 規格)	0.023	0.023	0.027 (0.023)	0.036 (0.032)	0.030 (0.026)

※材料規格値は現場の環境を考慮し 0.004 W/m・K の余裕を持たせている。

3. 新発泡材の試験施工

3.1 試験施工の概要

新発泡材は主に建築で使用されているもので、トンネルでの適用性を確認する目的から、2018 年 2 月、当時、北海道北部の留萌市で施工中だったトンネルにて試験施工を実施した。2018 年から 2022 年にかけて、温度測定を行って断熱性能を確認するとともに、試験片の試料採取を行い、物性値試験（密度、圧縮強さ、熱伝導率、吸水率など）を行った（写真-1～3）。

キーワード 寒冷地トンネル、断熱材、新発泡材

連絡先 〒070-0054 北海道旭川市 4 条西 2 丁目 2 番 2 号 TEL 0166-22-0121



写真-1 試験施工 (2018.2)



写真-2 覆工コア抜き (2019.7)



写真-3 試験片採取 (2019.7)

3.2 断熱性能の確認

新発泡材の断熱性能を確認する目的で、覆工表面、覆工背面、吹付け表面、地山表面、地山内 0.5m、地山内 1.5m で温度測定を行った結果、吹付け表面（新発泡材背面）の温度は冬期も 0℃以上であった。温度分布の傾向を見ると、新発泡材を挟み、最大 5.8℃の温度差があり、新発泡材の効果が発揮されていることが確認された。また温度分布では、2019 年 1 月から 2021 年 1 月にかけてほぼ同様の分布傾向を示しており、経年による断熱性能の劣化は認められなかった（図-1～3）。

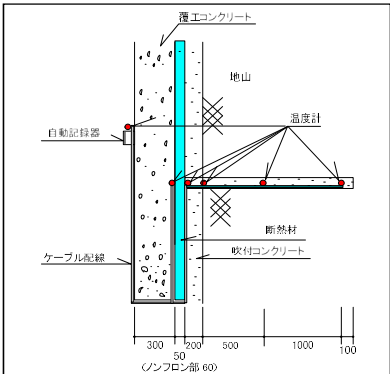


図-1 温度計設置図

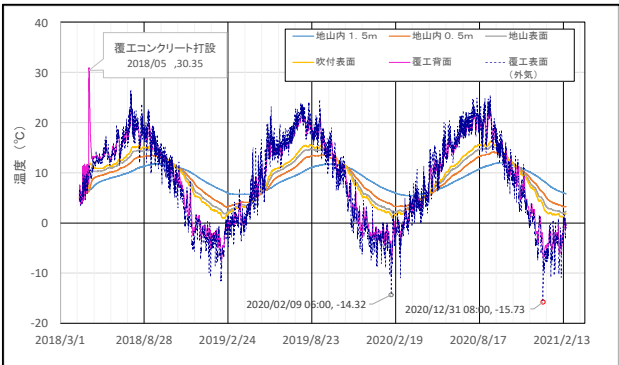


図-2 温度測定データ

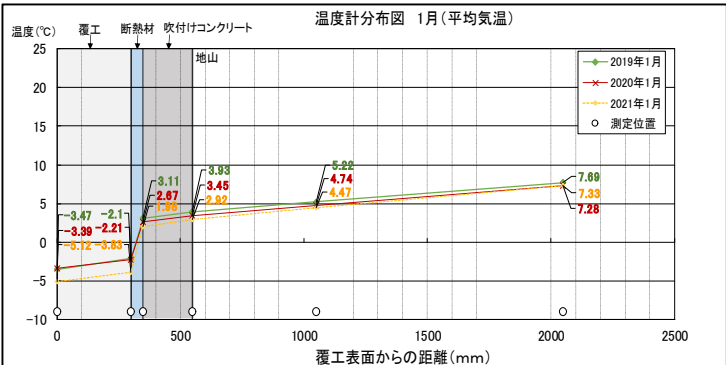


図-3 温度分布図

3.3 物性値試験結果

試験結果は、すべての項目において規格値を満足するものであり、また明らかな経年劣化も見られなかった。熱伝導率は、年々増加傾向を示しているが、規格値に対して余裕があり問題ない数値と考えられる（表-2）。

表-2 物性値試験結果

項目 (規格値)	密度 (25kg/m ³ 以上)	圧縮強さ (8N/cm ² 以上)	熱伝導率 (0.0030W/m・k以下)	吸水率 (3.0g/100cm ² 以下)	現場燃焼 (40秒以内)
初年度 (2018)	44.3	28.5	0.0200	0.75	0.4 秒
1 年目 (2019)	34.3	18.8	0.0207	1.37	—
2 年目 (2020)	39.4	24.3	0.0211	0.37	—
3 年目 (2021)	39.4	24.6	0.0257	0.68	—

4. おわりに

現在、トンネル工事の吹付け断熱材として標準になっているノンフロン材だが、メーカーへのヒアリングでは 2023 年以降に生産終了となる予定であり、新素材断熱材（新発泡材）の早期実用化が求められる。今後は、2024 年度の北海道開発局道路設計要領・改訂版への掲載を目標に検証を進めていく予定である。

参考文献

1) 北海道開発局：道路設計要領 第 4 集トンネル，p.4-7-5，2022。