

寒冷地トンネルの断熱材における地球温暖化対策について

○(株)地崎工業 北海道本店土木部 正会員 河村 巧
 (株)地崎工業 技術部 正会員 須藤 敦史
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー会員 三上 隆
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 佐藤 京
 土木研究所寒地土木研究所 正会員 西 弘明

1. はじめに

北海道の道路トンネルでは、冬期間の地山凍上等による覆工コンクリートのひび割れや変形などの凍害を受ける危険性が高く、道内の在来工法で施工された道路トンネルの約半数は何らかの凍害によ

る変状が認められている¹⁾。そこで北海道開発局では、新設・既設のトンネルにおいて坑口部の一定区間に地山凍結防止の目的で断熱材を施工している。このトンネル断熱材は、硬質ウレタンフォームの仕様で吹付けもしくは板材で施工されおり、特に吹付け断熱材の発泡（保温層形成）のために化学的に安定なフロンガスが使用されていた。

しかし、モントリオール議定書（オゾンホール破壊防止）や京都議定書（地球温暖化防止）などにより、フロンガスの製造禁止や代替フロンの排出抑制対策が成されている。本論文はトンネル断熱材の施工時に発泡剤として使用される代替・ノンフロンの対策状況を外観し、同時に海外（ノルウェー）の断熱材の調査結果を報告する。

2. オゾン層の保護と地球温暖化防止について

フロンガスは1928年に開発された自然界には存在しない人工物質であり化学的に安定で液化しやすく不燃性であること、さらに蒸発しやすく人体に毒性がないという性質により、様々な用途に活用されてきた。ところが、フロンガスは大気へ放出されると成層圏まで上りオゾン層を破壊することが判明し、1985年の南極におけるオゾンホールの発見によるオゾン層の破壊は世界中で大きな波紋を起こした。さらに太陽光の紫外線量が増加し、皮膚ガンや白内障など人に悪影響をもたらすばかりでなく、動植物の遺伝子を傷つけ生態系の破壊が危惧されている。

そこで「オゾン層保護に関するウィーン条約(1985年)」に基づき、フロンガス規制のための国際的な枠組みとして「モントリオール議定書」(1987年)が採択され、同時に特定フロン等の生産・輸入は段階的に規制され代替

表 1 特定・代替フロンガスと二酸化炭素の比較

項目 \ 発泡剤	①特定フロン		②代替フロン			③ノンフロン
	CFC-11	HCFC-141b	HFC-245mfc	HFC-365mfc	HFC-134a	二酸化炭素
オゾン破壊係数 (ODP)	1.0	0.11	0	0	0	0
地球温暖化係数 (GWP)	4000	580	820	840	1,300	1
沸点 (°C)	23.8	32.0	15.3	40.2	-26.5	-

*90年代はHCFCが代替フロンと呼ばれていたが、最近ではHFCを代替フロンと呼ばれている。

フロンへの転換が進められている。しかし表 1に示すように代替フロンはオゾン層の破壊は少ないものの二酸化炭素の数百～数万倍の温室効果を有しているため、代替フロンとともにPFC、パーフルオロカーボン、SF₆、六フッ化硫黄が地球温暖化の対象ガスとなっている。そのため温室効果ガスの排出抑制対策として1997年に「京都議定書」が採択され（日本の批准2002年）、代替フロン等3ガス(HFC, PFC, SF₆)の排出抑制対策が講じられている。

3. フロンガスの規制について

(1)特定フロン(CFC, HCFC)

我が国ではフロンガスの規制のための国際枠組み（モントリオール議定書）に基づき、1988年に「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律（オゾン層保護法）」を制定しており、1999年7月からの特定フロンの削減および全廃を行っている。トンネル断熱材用硬質ウレタンフォームの発泡剤として主に用いられている特定フロン(HCFC141b)の生産・輸入は2003年、HCFC142bは2010年で全廃となるため、2004年以降は代替フロン(HFC)の使用が義務付けられている。

(2)代替フロン(HFC)、パーフルオロカーボン、六フッ化硫黄
 代替フロン(HFC)とPFC、SF₆は、オゾン破壊係数の低い物質として幅広く用いられているが、温室効果が高いことから1997年12月に採択された京都議定書で二酸化炭素やメタン、一酸化二窒素と並んで排出削減の対象ガス（表 2）に指定された。しかし、代替フロンなど3ガス(HFC, PFC, SF₆)の削減期間は2010年までとし、総排出量は1995年に対して総排出量比プラス2%程度を目標としているが、2010年以降の削減目標は決まっていないのが現状である。

キーワード: 寒冷地トンネル, 断熱材, 地球環境・温暖化対策, 代替・ノンフロンガス

連絡先 (〒064-8588 札幌市中央区南4条西7丁目6番地 TEL 011-511-8114 FAX 011-511-5972 E-mail 1705@chizaki.co.jp)

表.2 先進国の温室効果ガスの削減目標

国名	日本	米国(否批准)	EU全体	カナダ	ロシア
削減目標(1990年比)	-6%	-7%	-8%	-6%	-0%

表.3 特定・代替・ノンフロン断熱材（フォーム）の性能

項目	発泡剤	特定フロン (HCFC)	代替フロン (HFC)	ノンフロン
			4社平均	
密度 (kg/cm ³)		25以上	32.3	30±3
圧縮強さ (N/cm ²)		15以上	19.6	10以上
熱伝導率 (W/mK)		0.0232以下 (劣化 15%考慮)	0.027 0.031(劣化 15%考慮)	0.034以下 0.039(劣化 15%考慮)
吸水量(g/100cm ²)		3以下	19	3.0以下
防火性能試験 (難燃3級)		合格	合格	合格

表.5 断熱材の性能比較表

試験項目	単位	規格値	日本	PEフォーム*	PSフォーム*
見掛け密度	kg/m ³	33以下	33	35	26
圧縮硬さ	N/m ²	32以上	3.7	6	30以上
熱伝導率	Kcal/mh.°C	0.034以下	0.034	0.041	0.029
吸水率	g/100cm ²	0.7以下	0.4	0.03	0.01
燃焼性	—	UL94HF-1 適合品	○	△	△

*現地にて採取した資料より（試験協力:日立化成）

4. 代替フロン・ノンフロンの開発について

(1) 代替フロン

このような状況下, 2004年をめぐりに代替フロン (HFC245fa) が硬質フォーム発泡 (吹付け) 材として開発され, 加えて, HCFC 使用量の業界削減目標は 2010 年の使用見込み量の 20%削減としている。

(2) ノンフロン

ノンフロン化は一般製品の一部で実用化されているが, トンネル用硬質フォーム発泡 (吹付け) において実用化されていない。表.3 に特定・代替・ノンフロン断熱材 (フォーム) の断熱性能を示す。表.3 より, 代替フロンの熱伝導率は 0.031(劣化 15%考慮)W/mK, ノンフロンは 0.039(劣化 15%考慮)W/mK, 板状断熱材は 0.040W/mK である。

京都議定書に基づいた地球温暖化対策推進大綱では 2010 年の代替フロン (HFC245) 削減目標が定められているのみで以降の削減目標は定められていない。また各諸外国では 2012 年における代替フロン (HFC245) の削減目標の達成で満足しており, その後の削減目標およびノンフロン化の技術開発には積極的でないのが現状である。

5. ノルウェーにおけるトンネル断熱材の性能

ノルウェーなど北欧諸国で山岳トンネルは単層あるいは多層で支保層や覆工層が一体化するシングルシェル・ライニングで施工され, 断熱材は図.1, 写真.1 に示すようにトンネル内装版の裏面に施工されている。

ノルウェーにおける道路トンネルでは断熱材は, ポリエチレンフォーム (板状) が通常施工され, 設計気温 F_{10} は 1

0,000h°C~25,000h°C (10年積算凍結温度) であり, 表.4に示すようにポリエチレンフォーム (板状) 75~100mm が施工され, 熱伝導率は 0.035W/mk を用いている²⁾。ここで, ポリエチレン (PE) フォームとポリスチレン (PS) フォームの試験断熱性能を表.5に示す。

6. ま と め

トンネル用断熱材のノンフロン化は代替フロン化に比較して難しいのが現状であるが, 代替フロンが地球温暖化効果ガスに指定されている以上, より一層の研究開発が必要である。

【参考文献】

- 坂本稔, 川北稔, 五十嵐敏彦: 道路トンネルの変状実態-北海道の場合-, トンネルと地下, 第20巻5号, pp.31~35, 1989.
- Road Tunnels (Norwegian Design Guide): Norway Public Roads

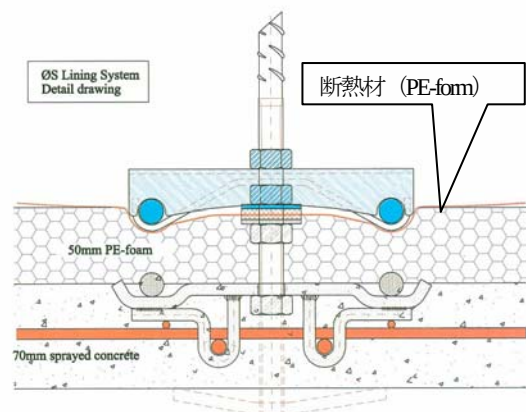
図.1 トンネル内装の詳細²⁾

表.4 ポリエチレンフォームの厚さ

F10T(h°C)	10,000	20,000	30,000
厚さ	45mm	60mm	2×50mm

写真.1 内装板と断熱材 (PEフォーム)

