寒冷地トンネルにおける覆工の冬期温度分布と断熱材の効果

○㈱地崎工業　正会員　渋谷　卓
㈱地崎工業　正会員　須藤　敦史
北海道大学大学院　ﾌｪﾛｰ会員　三上　隆
㈱ドーコン　正会員　岡田　正之
㈱エーテック　正会員　角谷　俊次

1．はじめに

寒冷地トンネルの坑口部は凍害を受ける可能性が高く新設トンネルでは断熱材が施工されており，旭川紋別自動車道上北トンネル(**Fig.1**) 上川側坑口では約315mの区間で施工している．しかし断熱材の厚さや施工延長の設定は坑内・外の気温や一次･二次覆工コンクリート，断熱材，周辺地山等の熱伝導率･熱容量により大きく異なるため[1)]，これらを正確に把握する研究[2)]は少ないのが現状である．そこで上川側坑口ではトンネル延長方向温度と覆工断面内温度の連続観測を実施しており，本研究は覆工断面内の温度分布と断熱材の効果を整理・検証したものである．

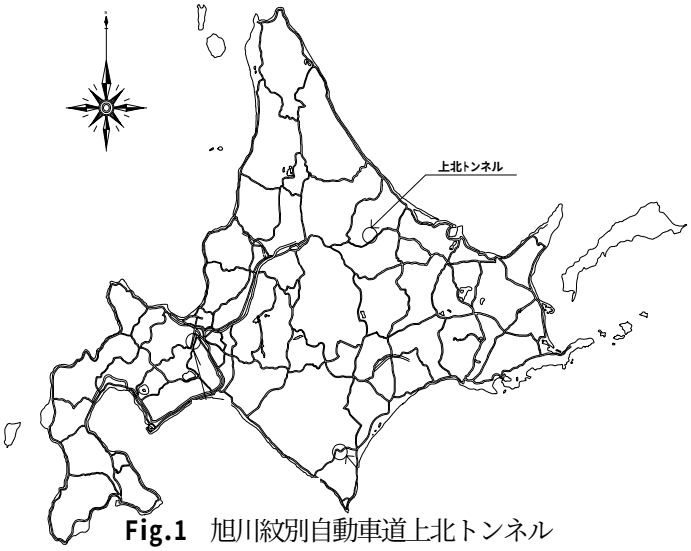

Fig.1　旭川紋別自動車道上北トンネル

Table.1　月平均最低気温（1994 年～2001 年）

	1994 年	1995 年		
	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温（°C）	-8.4	-10.4	-10.3	-4.7
	1996 年	1997 年		
	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温（°C）	-7.7	-10.1	-9.0	-6.9
	1997 年	1998 年		
	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温（°C）	-6.2	-12.7	-10.8	-4.7
	1998 年	1999 年		
	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温（°C）	-8.54	-10.25	-10.49	-7.66
	1999 年	2000 年		
	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温（°C）	-7.68	-10.50	-10.67	-6.36
	2000 年	2001 年		
	12 月	1 月	2 月	3 月
平均気温（°C）	-8.82	-12.00	-11.84	-4.30

2．坑口の気温

温度観測期間1994年～2001年において上川側で観測された冬期の平均気温を**Table.1**に示す．

ここで冬期の平均最低気温は各年とも-26 °C程度を記録しており，加えて冬期に90日程度が日平均最低気温-10.0 °C以下になり，そのうち約50日程度が日平均最低気温-15.0 °C以下となっている．さらに連続して日平均最低気温が-15.0 °C以下になる日数が各年とも最大2週間程度観測されている．

3．坑内の気温変動

上川側において冬期の最低気温-25.8 °C (1995年1月2日 3:00)を記録した時のトンネル延長方向の各観測点（坑口,51.5m,81.5m,141.5m,444.0m）で得られた温度変化を**Fig.3**に示す．**Fig**より，坑内延長方向の気温変動は坑口の気温に連動しており，加えて延長距離が長くなるにしたがって変動幅も小さくなり，気温も上昇している．

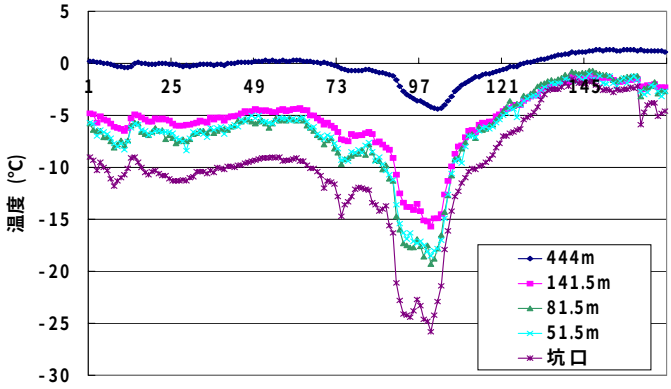

Fig.2　冬期の坑内延長方向の気温変動（坑口最低気温-25.8℃）

キーワード:　寒冷地トンネル，覆工温度分布，坑内環境，気温観測，断熱材効果
連絡先（〒105-8488　東京都港区西新橋 2-23-1　TEL 03-3592-6955　FAX 03-3502-2646　E-mail 1714@chizaki.co.jp）

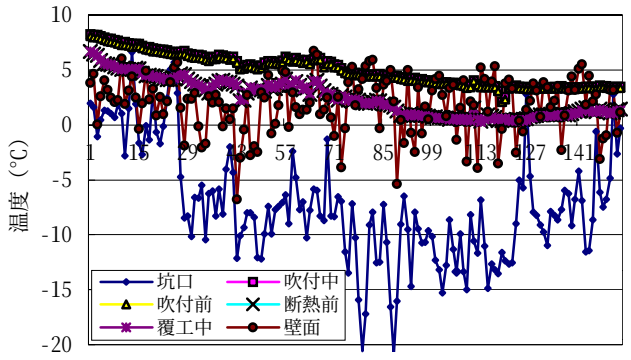

Fig.3 49k768.5m 覆工内の冬期温度（11 月～3 月）

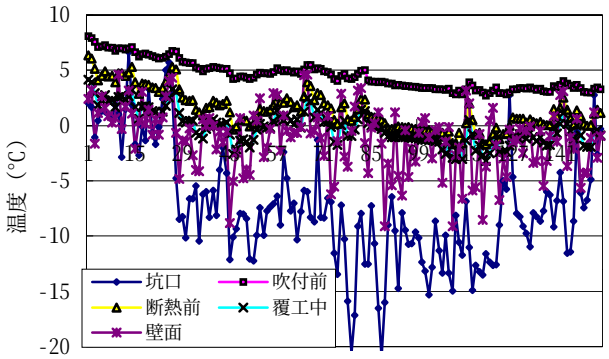

Table.2 各覆工断面の平均温度(1 月～2 月)

	1997 年度				
	覆工表面	覆工中央	覆工背面	断熱材背面	吹付け中央
49k768.5m	-6.01	-3.03	-2.55	0.86	
49k828.5m	-4.39	-2.09	-1.71	1.84	2.18
	1998 年度				
	覆工表面	覆工中央	覆工背面	断熱材背面	吹付け中央
49k768.5m	-5.13	-3.25	-2.77	0.92	
49k828.5m	-3.92	-1.63	-1.21	2.72	3.00
	1999 年度				
	覆工表面	覆工中央	覆工背面	断熱材背面	吹付け中央
49k768.5m	-2.04	-0.73	0.45	3.92	
49k828.5m	-1.63	1.48	1.51	4.18	4.37
	2000 年度				
	覆工表面	覆工中央	覆工背面	断熱材背面	吹付け中央
49k828.5m	-4.94	-2.15	-2.02	2.34	2.53

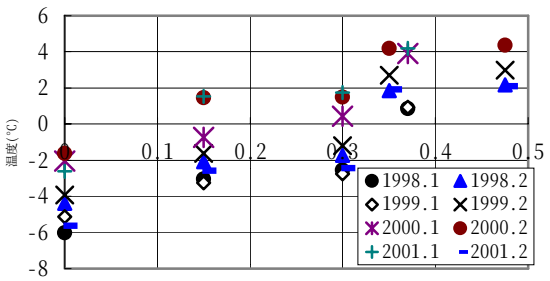

Fig.5 覆工断面内の温度分布

4．覆工断面内の温度分布

上川側では断熱材を坑内の最低気温に応じた厚さ（t=7.0cm:L=126m,t=5.0cm:L=189m）で施工しており,その断熱効果を確認する目的で各支保部材における温度の連続観測を行っている.ここで49k768.5mおよび49k828.5mにおける各覆工部材の温度分布により,断熱材の効果を検証する.

（1）49k768.5m（延長距離81.5m，断熱材厚7.0cm）

坑口気温と覆工の各支保部材（壁面・二次覆工コンクリート中間部・断熱材前面・吹付けコンクリート前面）における冬期(11月～3月)の日平均温度を**Fig.3**に示す.

（2）49k828.5m（延長距離141.5m，断熱材厚5.0cm）

同様に坑口気温と覆工の各支保部材（壁面・二次覆工コンクリート中間部・断熱材前面・吹付けコンクリート前面・吹付けコンクリート中間部）における冬期（11月～3月）の日平均温度を**Fig.4**に示す．**Fig.3,4**より,覆工断面内の温度は坑内（壁面）温度の影響を受け下降･上昇をしているが吹付けコンクリート前面の温度は断熱材の効果により影響をあまり受けていない.しかし断熱材背面では2月～3月上旬が最低温度となる傾向を示しており,坑内温度より約半月～1月程度の遅れを示している[3].

ここで49k768.5mおよび49k828.5m における各観測点の冬期平均温度を**Table.2,**覆工断面内の温度分布を**Fig.5**に示す．**Table.2,Fig.5**より,二次覆工コンクリートの断熱効果は2.0～3.0 ° C程度,断熱材は4.0～6.0 ° C程度,また吹付けコンクリートは1.0～2.0 ° Cであり,断熱材を施工した場合は地山が0.0 ° C以下となる壁面気温は-10.0～-12.0 ° C程度,また断熱材が施工されていない場合では-3.0～-5.0 ° C程度と考えられる.

5．まとめ

本研究では寒冷地トンネルにおける覆工断面内の温度を整理し,断熱材の効果を確認した.また二次覆工・吹付けコンクリートも断熱効果を有しており,これらを考慮した断熱材設計が望ましいと考える．本研究は北海道土木技術会トンネル研究委員会（凍結防止分科会）における研究事業の一部であり,ここで関係各位に感謝の意を表します.

参考文献

1) 芳村仁,三上隆,小山田欣裕:寒冷地道路トンネルの地山温解析(非定常熱伝導解析),土木学会北海道支部論文報告集,昭和 63 年度,pp.109-112,1988.

2) 須藤敦史,三上 隆,韮澤憲吉,斉藤知秀:寒冷地道路トンネルの断熱材設計のための地山熱定数の推定,土木学会論文集,No.553/VI-33,pp.201~208,1996.

3) 北川修二,川上義輝:地山凍結によるトンネルの変状,応用地質25巻2号,pp.13-19,1984.