

埋設パイプ式床版の融雪効果に関する研究

㈱エイトコンサルタント	正会員	○内藤 司
㈱エイトコンサルタント	正会員	永井 泉治
山口大学	正会員	浜田 純夫
山口大学大学院	学生会員	吉武 勇
山口大学	正会員	中村 秀明

1 はじめに

冬期において発生するスリップ事故の多くは橋梁や高架橋上であり、その原因は地温(地熱)などによって徐々に融雪される一般道路部と、吹きさらし状態の橋梁や高架橋に生じる残雪・凍結状態のギャップによるものである。現在、わが国において機械除雪や薬剤散布など種々の冬期路面管理方法が実施されているが、本研究では、温水パイプ式ロードヒーティングに着目し、その基礎資料を得る目的で研究を行った。また温水パイプ利用の場合には省エネ・環境保全の観点から地下水の利用が考えられるため、恒温域の地中温度分布を計測し、地下水の利用を想定したパイプ配置および温水温度について検討した。

2 融雪実験

2.1 実験概要

本研究では、室温を $-30\sim 10^{\circ}\text{C}$ に温度設定できる冷凍庫内で、銅パイプ($\phi 15\text{mm}$)を埋設したコンクリート供試体について試験を行った。供試体表面には厚さ 5cm の雪を載せ、パイプに温水(通水量 $327\text{cm}^3/\text{s}$)を流すことで熱の供給を図った。なお、供試体内には温度計測のための熱電対が埋め込まれており、10分毎にデータロガーの GPIB インターフェースを介してパソコンに温度データを記録した。また、30分毎に融雪状況の観察を行った。パイプ配置および温水温度のもたらす融雪効果を主な試験項目として、表-1 に示される供試体を作製し、実験を行った。

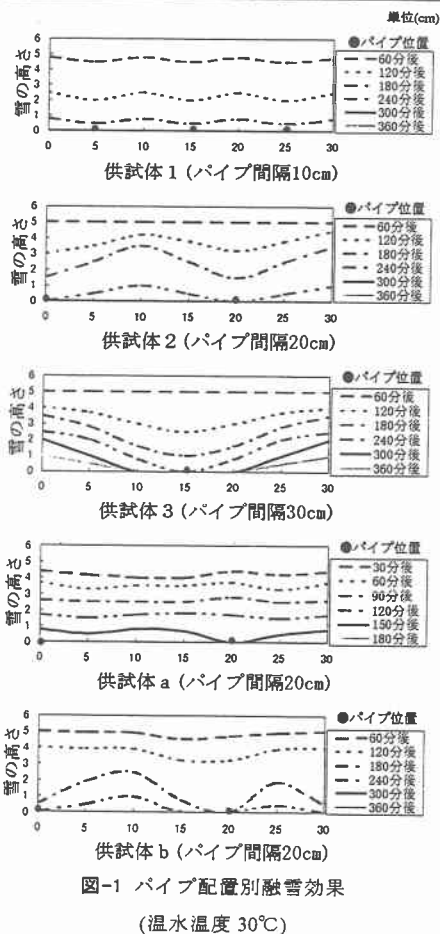
2.2 融雪効果

図-1 に温水温度 30°C におけるパイプ配置の違いによる融雪効果を示す。供試体1～3では、パイプ真上とパイプ中間ではほぼ同程度の熱供給できる供試体1が最も均一に融雪した。また、供試体2および供試体a、bでは、パイプ埋設位置が浅い供試体aが最も融雪速度の早い結果となった。しかし供試体bでは、熱の供給が不均一となり一部谷山が形成された。

温水温度 $20^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ の融雪効果については、パイプ配置がもたらす効果ほど大きな差は生じなかった。従って温水温度の高温化よりもパイプ配置を適切にし、床版全体として熱を供給することが高い融雪効果につながるものと思われる。

表-1 実験項目

供試体名	厚さ	パイプ配置				温水 温度 ℃	
		深さ cm	間隔 cm				
			10	20	30		40
供試体 a	20	3	◎	◎	◎	◎	20 5 40
供試体 b		5	◎	◎	◎	◎	
供試体 1		8	◎				
供試体 2				◎			
供試体 3					◎		



3 融雪比率

3.1 評価方法

床版表面において、フーリエの法則より求められた供給熱量と融雪量は、原点を通る直線関係にあると考えられる。そこで、実験結果から求めた単位供給熱量あたりの融雪量である1次回帰式の勾配と、雪の融解熱から求めた融雪に要する熱量との比率(融雪比率)を求めた。

3.2 結果と考察

パイプ配置および温水温度を変えた場合の融雪比率の結果を表-2に示す。パイプ埋設深さ8cmの供試体1～3では温水温度が高まるにつれ、融雪比率が低下することがわかる。また、供試体aおよび供試体bでは、温水温度およびパイプ間隔の違いによる融雪比率の差は見られなかった。しかし各供試体において、温水温度を変えた融雪比率の平均値は、わずかながら温水温度の高温化に伴い低下していくことが分かる。このことから、温水温度を高くしても、融雪以外に要する熱量の占める割合が大きくなるため、高い融雪効果は期待できないものと思われる。またパイプ埋設深さ3cm, 5cmの供試体a, bでは平均融雪比率が20%, 27%程度であり、パイプ埋設深さ8cmの供試体(融雪比率50%程度)に比べて大きく低下する。これは、パイプ埋設位置を浅くするに伴い、局部的に融解水が生じ、水の高い熱伝導性から外気へ逸散する熱量が大きくなることによるものと考えられる。

4 地下水利用の検討

温水パイプによる融雪方法では、温水に比較的温度の安定した地下水を用いることで省エネ化を図ることが期待できる。図-2に山口大学構内における地中温度分布を示す。この結果から年平均気温は地下7m以下の温度とほぼ一致しているため、地下水温は年平均気温から推定できるものと考えられる。

全国15都市の推定地下水温と各パイプ間隔に要される加熱温度の結果を表-3に示す。この結果より緯度40°以下の平野部ではパイプ間隔10cmを採用するとほとんど地下水温だけで十分であり、地下水温が15℃以上の地域ではパイプ間隔30cmでも加熱に要する温度が20℃程度であるため、経済性に優れるものと期待できる。

5 結論

- 均一に融雪を行うには、床版全体から雪層へ熱供給できる程度のパイプ埋設深さが必要である。
- 温水温度の高温化よりもパイプ埋設位置を適切にしたほうが高い融雪効果につながる。
- 温水温度の高温化およびパイプ埋設位置を浅くするにつれて、融雪比率は低下する。
- 地下水温が15℃以上では、パイプ間隔30cmにおいて20℃程度の加熱量で十分である。

表-2 融雪比率

		深さ	間隔	温水温度			
				20℃	30℃	40℃	平均
パイプ配置	30mm	10cm	21.8%	18.0%	21.0%	20.3%	
		20cm	13.2%	14.0%	24.2%	17.1%	
		30cm	14.3%	15.4%	22.1%	17.3%	
		40cm	16.7%	28.5%	20.8%	22.0%	
	50mm	10cm	23.4%		30.5%	27.0%	
		20cm		26.3%		26.3%	
		30cm	43.0%	21.7%	14.7%	26.5%	
		40cm		28.0%		28.0%	
	80mm	10cm	56.1%	51.2%	43.9%	50.4%	
		20cm	48.8%	51.2%	43.9%	48.0%	
		30cm	51.2%	56.1%	36.6%	48.0%	
		平均	32.1%	31.0%	28.6%		

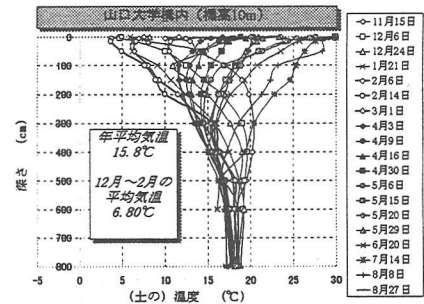


図-2 地中温度分布の変化

表-3 地下水利用時の供給熱量

都市	緯度	標高	推定地下水温度	所要熱量	パイプ間隔			
					10cm	20cm	30cm	40cm
旭川	43.8	111.9	6.5	7053	13.5	27.1	40.6	54.2
札幌	43.0	17.2	7.8	6999	13.4	26.9	40.3	53.8
青森	40.8	2.7	10.1	6896	13.2	26.5	39.7	53.0
盛岡	39.7	155.2	10.2	6918	13.3	26.6	39.8	53.1
仙台	38.3	38.9	12.3	6787	13.0	26.1	39.1	52.1
新潟	37.9	1.9	12.9	6801	13.1	26.1	39.2	52.2
金沢	36.6	26.1	14.1	6782	13.0	26.0	39.1	52.1
長野	36.4	418.2	11.9	6903	13.3	26.5	39.8	53.0
長野	36.2	999.1	8.6	6987	13.4	26.8	40.2	53.7
松江	35.5	16.9	15.2	6689	12.8	25.7	38.5	51.4
東京	35.5	16.9	15.2	6650	12.8	25.5	38.3	51.1
大阪	34.4	23.1	16.1	6636	12.7	25.5	38.2	51.0
福岡	33.6	2.5	16.9	6543	12.6	25.1	37.7	50.3
下関	33.6	3.3	16.9	6543	12.6	25.1	37.7	50.3
松山	33.5	32.2	16.8	6586	12.6	25.3	37.9	50.6