

高強度透水コンクリートの開発について (2)

酒井正之・石田 誠*

1. まえがき

本研究は、通常の強度(圧縮強度 $\sigma = 160 \text{ kg/cm}^2$)を持った現場打設可能な透水コンクリートを開発し、その多目的な用途への実用化に向けた調査研究を行うことにある。

これまで、福井県生コンクリート工業組合中央試験場との共同研究により、透水コンクリートの性能や配合法についての研究を進め、平成5年には、打設方法、施工手順を検討するための試験施工として大野市内にある流路工の底張りに透水コンクリートを施工し、現在、摩耗や目詰まりの経過について追跡調査中である。

そこで、今回、透水コンクリートの室内耐久試験を行い、これらの試験結果より使用目的の拡大への可能性を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

供試体の作成にかかる使用材料を表-1に、その配合条件を表-2に、コンクリート配合を表-3に、品質試験結果を表-4に示す。

2.2 試験項目

●摩耗試験

透水コンクリートの耐摩耗性について、同程度の強度を有する普通コンクリートとの比較試験を行った。

●衝撃試験

衝撃抵抗性について、JIS A1421(建築用ボード類の衝撃試験)に準じて行った。

●凍結融解試験

耐凍害性について、水中凍結水中融解、気中凍結気中融解の両方を行った。

表-1 使用材料

種類	透水コンクリート	比較試験用普通コンクリート
セメント	普通ポルトランドセメント 比重: 3.16	普通ポルトランドセメント 比重: 3.16
混和材	垂れ防止剤として添加 比重: 2.58	—
細骨材	—	普通骨材(粗砂:細砂=60:40の混合使用) 合成比重: 2.57
粗骨材	道路用砕石20-13 比重: 2.62	砕石20-05 比重: 2.64
バインダー	バインダーF	—
A E減水剤	—	標準型I種(リグエースUA)
A E助剤	—	I種(AE-5)
水	上水道水	比水道水

表-2 配合条件

条件	透水コンクリート	比較試験用普通コンクリート
設計基準強度	$f'_{ck} = 160 \text{ kgf/cm}^2$	$f'_{ck} = 160 \text{ kgf/cm}^2$
粗骨材最大寸法	$G_{max} = 20 \text{ mm}$	$G_{max} = 20 \text{ mm}$
水セメント比	$W/C = 32.7\%$	$W/C = 64.5\%$
空隙容積	160ℓ	$S/a = 45.7\%$
粗骨材容積	540ℓ	—
透水係数	$0.35 \pm 0.15 \text{ cm/sec}$	—
単位容積質量	1.9t/m ³ 以上	—
フロー値	260±5cm	—

表-3 コンクリートの配合

コンクリートの種類	強度 (kgf/cm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
							セメント	水	透水混和材 普通 細骨材	粗骨材 2013 2005	バインダーF	A E減水剤	A E助剤 (cc)			
透水	160	—	—	20	32.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
普通	160	8	4	20	64.5	45.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
透水	404	132	103	1415	—	6.06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
普通	250	161	840	—	1024	—	2.5	—	—	—	—	—	—	—	—	75

表-4 品質試験結果

試験項目	透水コンクリート
材令	28日
フロー値 (cm)	275×262
単位容積質量 (kg/m ³)	2,079
空隙率 (%)	15.0
圧縮強度 (kgf/cm ²)	215
透水係数 (cm/sec)	0.398

* 福井県生コンクリート工業組合技術部長(前中央試験場次長)

3. 試験結果および考察

3.1 摩耗試験

3.1.1 試験方法

箱型形状の試験装置内において、直径1mmの鋼球を高速で発射するショットブラスト装置を用い、試料送り速度2m/min、ローター回転数を2000および3000rpmに変化させ、ショット掛け回数を10回毎に最終50回まで供試体質量を測定し、それぞれの供試体の単位容積質量を基準に摩耗量(mm)を算出した。試験に用いた供試体寸法は、10×10×約20cmとした。

3.1.2 試験結果および考察

ショットブラスト掛け回数と摩耗量の関係を図-1に、ローター回転数3000rpmにおける掛け回数10回毎の摩耗状況を写真-1に示す。

これより、ローター回転数2000rpmにおける摩耗量は、透水および普通コンクリートともにショットブラスト掛け回数が増えるに従って、直線的に増加する傾向を示し、その程度はいずれのショットブラスト掛け回数においても透水コンクリートの方が小さく、ショットブラスト掛け回数50回で両者を比較すると、透水コンクリートの摩耗量は、普通コンクリートに対し60%と小さい値を示している。

また、ローター回転数を3000rpmに上昇させ、打撃力を強くした場合の摩耗量は、当然のことながら、2000rpmに比べ、約3倍に増えているが、透水コンクリートの摩耗量が少ない傾向は、2000rpmの場合と変わらない結果となった。

これは、透水コンクリートの場合表層部に粗骨材が露出しており、また、普通コンクリートに比べ表面にモルタル量が少なく、ショットブラスト開始後数回で摩耗量の少ない粗骨材が露出したためと考えられる。

3.2 衝撃試験

3.2.1 試験方法

JIS A1421（建築用ボード類の衝撃試験方法）に準じて行った。供試体を10cmの砂上に全面支持し、質量5kgfのなす型おもりを供試体の中央に自然落下させ、衝撃エネルギーと供試体の破壊状況の関係を求めた。

なお、供試体寸法は30×30×6cmとし、衝撃エネルギーは次式によって算出した。

$$E = P \times H$$

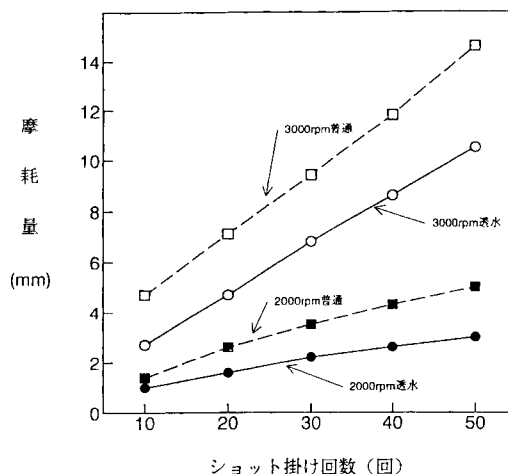
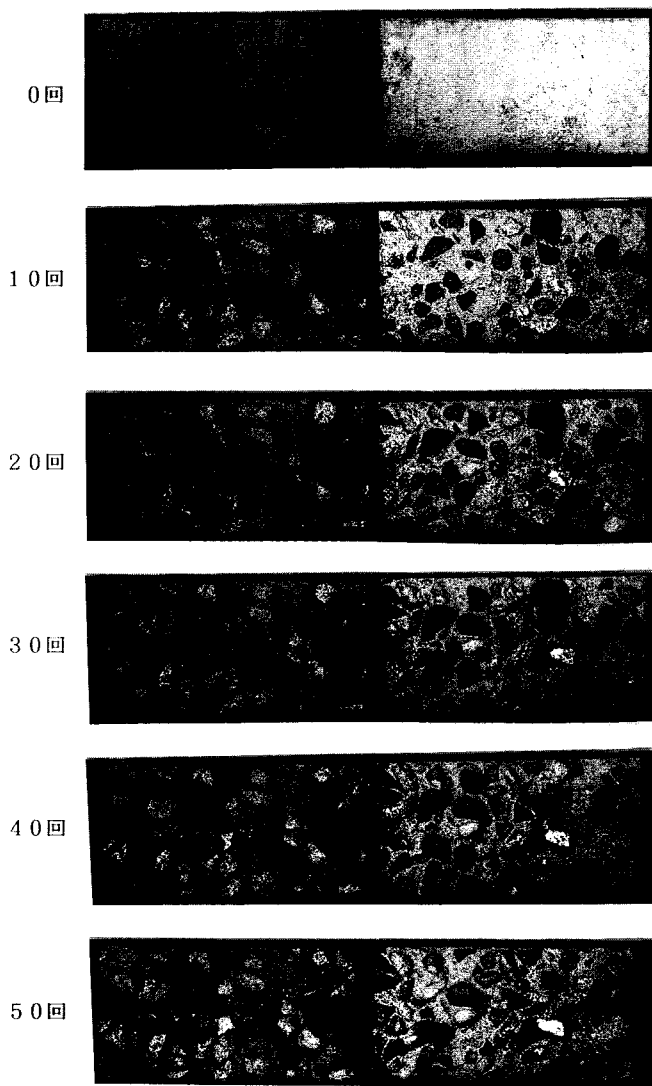


図-1 摩耗試験結果



透水コンクリート 普通コンクリート

写真-1 摩耗状況
(ローター回転数3000rpm)



写真-2 衝撃試験状況

ここに、E：衝撃エネルギー kgf・cm
 P：おもりの質量 kgf
 H：落下高さ cm

3.2.2 試験結果および考察

衝撃試験結果を表-5に示す。

これより、落下高さ100cmまでは、おもりが落下した

表-5 衝撃試験結果

供試体番号	おもりの質量 kgf	落下高さ cm	衝撃エネルギー kgf・cm	外観状況
4	5.0	70	350	異常なし
5		75	375	異常なし
6		80	400	異常なし
7		85	425	異常なし
8		90	450	異常なし
9		95	475	異常なし
10		100	500	異常なし
11		110	550	表・裏面にひび割れ発生



写真-3 供試体の破壊状況

箇所の骨材は破壊したが、供試体にひび割れ等の損傷は認められず、落下高さ110cmにおいて、供試体の表裏にひび割れが発生した。(写真-3)

普通コンクリートの場合、通常落下高さ90~100cmで破壊するといわれていることから、透水コンクリートの耐衝撃性は普通コンクリートと同等またはそれ以上と考えられる。

3.3 凍結融解試験

3.3.1 試験方法(その1)

凍結融解装置により、水中内の供試体に急速な凍結と融解(水中凍結水中融解)の反復を繰り返し、規定サイクル数毎に供試体の一次共鳴振動数を測定して、相対動弾性係数、耐久性指数および質量変化率を求め、凍結融解に対する耐久性を評価するものである。

試験条件は、凍結融解温度域を-4℃~+4℃とし、5サイクル/日にて、300サイクルまたは相対動弾性係数60%に達するまで行うこととした。なお、供試体寸法は、10×10×40cmとし、試験開始直前に24時間程度吸水させた。

3.3.2 試験結果および考察

凍結融解回数と相対動弾性係数との関係を図-2に示す。

これによれば、試験を継続すべき300サイクルまでの試験条件に対して、相対動弾性係数は10サイクルで48%と試験条件60%を下回る結果となった。

このように、水中凍結水中融解試験法では、相対動弾性係数の低下が大きく、透水コンクリートの耐凍害性は弱い結果となった。これは、透水コンクリート内が連続空隙となっていることから空隙が完全に水で満たされた状態で凍結した場合、体積膨張を起こし、コンクリート内にひび割れが発生し、相対動弾性係数の低下につながったものと思われる。

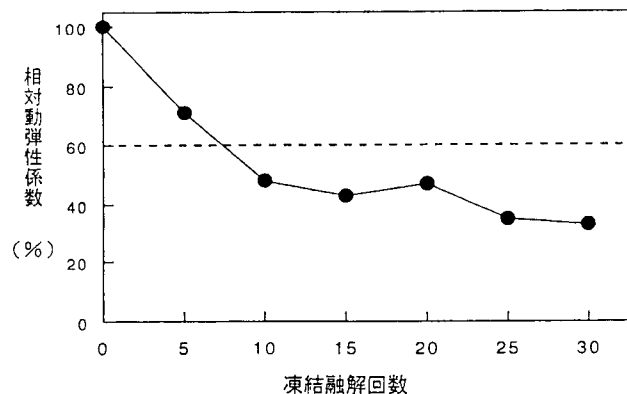


図-2 凍結融解試験結果

3.3.3 試験方法 (その2)

透水コンクリートは、実際に現場で施工された場合、透水性が非常によいため空隙が完全に飽水された状態で凍結を受ける可能性は小さいと考えられる。そこで、試験前に供試体を24時間水中で吸水させた後、気中で湿潤状態を保ちながら供試体に急速な凍結と融解(気中凍結気中融解)の反復の繰り返しを試験方法(その1)と同様な温度域およびサイクルで行うこととした。また、透

水コンクリートの耐凍害性向上について、粗骨材の粒径、配合、空隙率の違い供試体を作成し検討した。

供試体の作成にかかる使用材料を表-6に、その配合条件を表-7に、コンクリート配合を表-8に、品質試験結果を表-9に示す。

3.3.4 試験結果および考察

凍結融解回数と相対動弾性係数との関係を図-3に示す。

表-6 使用材料

種類	配合No.1, No.2	配合No.3, No.4
セメント	普通ポルトランドセメント 比重: 3.16	普通ポルトランドセメント 比重: 3.16
混和剤	垂れ防止材として添加 比重: 2.62	垂れ防止材として添加 比重: 2.62
粗骨材	道路用砕石 20~13: 13~5 7:3合成 絶乾比重: 2.62	道路用砕石: 13~5 絶乾比重: 2.58
バインダー	バインダーF	バインダーF
水	上水道水	上水道水

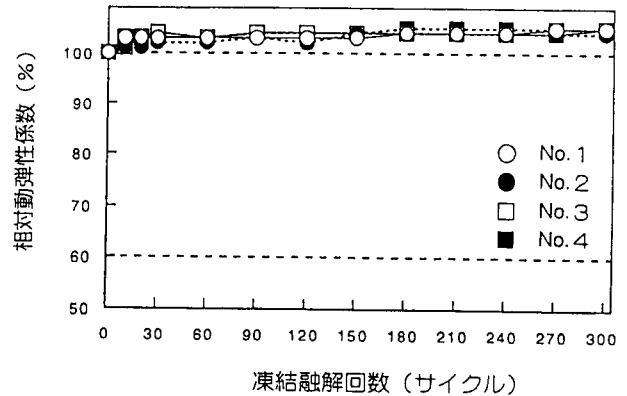


表-7 配合条件

条件	配合No.1	配合No.2	配合No.3	配合No.4
設計基準強度	$f'_{ck} = 160 \text{ kgf/cm}^2$		$f'_{ck} = 160 \text{ kgf/cm}^2$	
粗骨材	20~5 mm		13~5 mm	
空隙容積	100ℓ	50ℓ	100ℓ	50ℓ
透水係数	0.10cm/sec	0.01cm/sec	0.10cm/sec	0.01cm/sec
フロー値	260 ± 5 mm		260 ± 5 mm	

図-3 凍結融解試験結果

これによれば、300サイクルまでいずれの配合についても相対動弾性係数の低下は認められず、耐凍害性は良好であるといえる。

また、試験後の圧縮強度試験を4種類の供試体各1本について行ったところ、ばらつきがあるものの試験方法(その1)に比べ強度低下は小さいと言える。(表-10)

表-8 コンクリート配合

配合No.	粗骨材寸法 (mm)	空隙率 (%)	水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m³)					
				セメント C	水 W	混和剤 S	粗骨材 G (20-13, 13-5)	バインダー F	
No.1	20-5	10	30.8	520	160	-	1054	452	6.24
No.2	20-5	5	32.0	544	174	76	1054	452	6.53
No.3	13-5	10	30.0	540	162	-	-	1463	6.48
No.4	13-5	5	31.3	553	173	105	-	1450	6.64

表-10 圧縮強度試験結果

凍結融解試験法	配合No.	空隙率 (%)	圧縮強度 kgf/cm²		強度比 (%)
			試験前	試験後	
その2	No.1	11.3	281	327	116
	No.2	3.9	455	534	117
	No.3	8.8	282	270	96
	No.4	2.5	415	388	93
その1		15.0	215	140	65

表-9 品質試験結果

試験項目	配合No.1	配合No.2	配合No.3	配合No.4
供試体作成日	平成6年10月24~25日			
養生方法	凍結融解試験: 標準水中養生14日後気中養生14日(温度20℃,湿度65%)。透水及び圧縮強度: 標準水中養生28日。			
透水係数, 圧縮強度試験日	平成6年11月21~22日			
フロー値 (mm)	264×265	254×262	266×266	259×263
単位容積質量 (kg/m³)	2154	2330	2195	2340
空隙率 (%)	11.3	3.9	8.8	2.5
室内温度 (℃)	14.6	17.0	18.6	19.4
コンクリート温度 (℃)	19.7	19.3	20.8	20.6
材齢28日強度 (kgf/cm²)	271	461	294	451
供試体寸法φ10×20 (cm)	266	438	272	418
	平均 281	平均 455	平均 282	平均 415
透水係数 (cm/sec)	0.313	0.027	0.173	0.048
	0.244	0.043	0.238	0.010
	0.288	0.020	0.231	0.028
	平均 0.282	平均 0.030	平均 0.214	平均 0.029

さらに、同様の配合条件の供試体で、温度域を-20℃~+5℃とし、凍結融解の繰り返しを8サイクル/日と試験条件を厳しくした試験においても相対動弾性係数の低下は認められなかった。

また、曲げ強度試験結果についても、試験後の強度低下は小さいと言える。(表-11)

このように、気中凍結気中融解法で良好な耐凍害性を示したのは、空隙中の水の量が空隙容積より少なく、凍

表-11 曲げ強度試験結果

供試体番号	曲げ強度(kgf/cm)		強度比 (%)
	試験前	試験後	
No, 1	44.1	47.4	107.5
No, 2	56.7	55.5	97.9
No, 3	33.0	32.1	97.3
No, 4	60.0	58.5	97.5

結による体積増加が空隙以上の大きさにならなかったことから、水圧が発生せず劣化しなかったと考えられる。

4. まとめ

今回の室内耐久試験の結果により、透水コンクリートの耐摩耗性や耐衝撃性については、普通コンクリートとかわりない耐久性を有していることがわかった。凍結融解に対する耐久性については、水中凍結水中融解試験法では弱いが気中凍結気中融解試験法では大きい結果となった。このことは、透水コンクリートの施工現場条件によっては劣ることが考えられるが、本県の気象条件、透水コンクリートの空隙特性等から考えると特に問題はないと考えられる。

また、透水性を利用した車道舗装への適用についても、今回の試験による耐久性の評価、曲げ強度から可能であると考えられる。

そこで、今後、透水コンクリートの用途拡大に向けた試験施工を行い、その追跡調査から最適な施工方法、施工管理等を確立し、利用の拡大を図りたい。

高強度透水コンクリート試験施工について (2)

酒井正之・杉森正義

A. 流路工底張工 (追跡調査)

1. まえがき

透水コンクリートの施工性、施工機種、施工手順等の確立およびその後の摩耗、目詰まりの追跡調査を目的に平成5年3月、大野土木事務所の協力により流路工底張りコンクリートに透水コンクリートを用いて試験施工を行った。施工概要は、下記のとおりであり、施工後3ヶ月を基準とし追跡調査を行った。

地 係：大野市上荒井地係 深井谷川

施工概要：施工延長=45m

幅=2.5m 厚さ=30cm

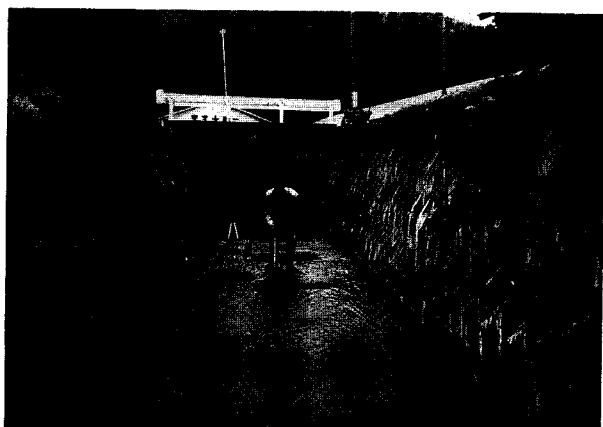


写真-1 計測状況

2. 摩耗量調査

摩耗量調査は、延長5m毎に測点を設置し、横断方向に20cmピッチで底張り工表面の高さを計測した。2年経過後の摩耗量の経時変化を表-1に示す。

表-1 摩耗量調査結果 (単位：mm)

範 囲		経 過			
		3ヵ月後	6ヵ月後	12ヵ月後	24ヵ月後
全測点	最大摩耗量	0.00	10.00	12.00	40.00
	平均摩耗量	0.00	1.55	3.14	5.46
中央部	最大摩耗量	0.00	5.00	7.00	8.00
	平均摩耗量	0.00	1.18	2.58	4.78
端50cm部	最大摩耗量	0.00	10.00	12.00	40.00
	平均摩耗量	0.00	2.04	3.86	8.40

これによれば、2年経過後の平均摩耗量は、5.5mmであり、1年経過後の平均摩耗量よりは少ないものの摩耗が進んでいることがうかがえ、特に端部は中央部に比べ摩耗量が大きいことがわかる。この端部の摩耗が大きい原因については、転圧不足等施工上に問題があると考えられる。

3. 目詰まり調査

施工直後と1年後、2年後に現地コアを採取して透水係数の測定を行ったので、その結果を表-2に示す。

表-2 透水係数の経時変化 (単位：cm/sec)

調査測点	施工直後	1年後	2年後
No.1 +3.0右	0.235	0.234	0.212
No.4 +1.5左	0.198	0.199	0.197
No.7 +4.9右	0.244	0.235	0.224
平 均	0.223	0.221	0.211

この結果、透水係数にはば変化はなく、現段階では施工当初の透水性が確保されている。

B. 組み合わせL型側溝 (エプロン部の試験施工)

1. まえがき

歩道併設道路の路面排水対策として、通常頻繁に組み合わせL型側溝が用いられている。しかし、土砂やゴミ等による側溝の目詰まりや水たまりがよく見受けられ、特に交差点内や歩道端部においては、勾配不良による水たまりがある(写真2)。これらを解消することにより、車両の水はねを防止することができ、歩行者等の保護にも貢献することができる。



そこで、組み合わせL型側溝のエプロン部に透水コンクリートを用いることにより、エプロン内への排水の浸透や透水コンクリート内空隙分の通水断面増加を利用して、排水対策の向上を期待できると考えられる。

このことから、上記の試験施工を行い、施工性や施工機械、施工手順の確立をはじめ、透水コンクリートの適応性や問題点の調査を行った。

2. 試験施工の概要

地 係：福井市布施田地係

主要地方道 丸岡川西線

施工延長：歩車道境界ブロックB種 55m

組み合わせL型側溝の構造は、「建設省制定土木構造物標準設計1」の組み合わせL型側溝(PL5-B500-H200-T150)を適用するが、透水コンクリートの締め固めにコンパクトタンパーを使用するため、締め固めが不均等にならないようエプロン部の厚さを等厚とした。

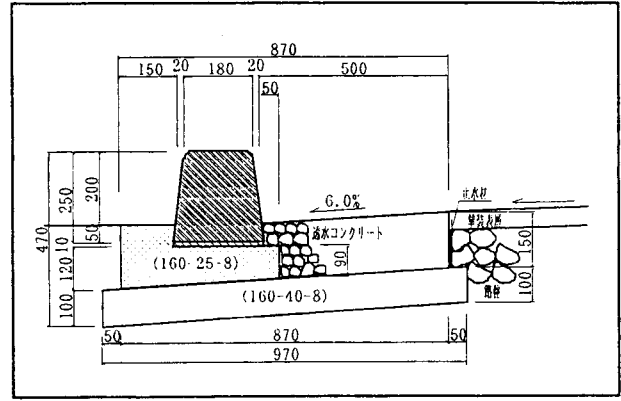


図-1 組み合わせL型側溝構造図

3. 施工手順および施工機械

透水コンクリートは、細骨材分がなく流動性がほとんどないため、通常の路盤の施工と同等に行えばよいが、透水コンクリートの特性から以下の点について注意した。

- 1) 非常に硬化が速いので、速やかに施工する。(練り混ぜから打設完了までの所要時間60分以内)
- 2) 締め固め後は、高さの調整ができないので、レーキによる敷き均しを正確に行う。
- 3) 締め固めの際に、振動や力の与え過ぎによりモルタル分がダレてしまい、目詰まりが起らないように注意する。
- 4) 少量の水により簡単に性能が変化してしまうため、施工箇所は常に絶乾状態に保つ。
- 5) シート掛け養生は3日以上行う。

施工手順については、写真-3~14に示すとおりである。

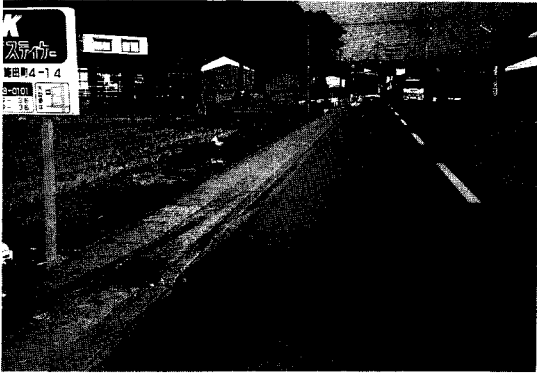


写真-3 現況

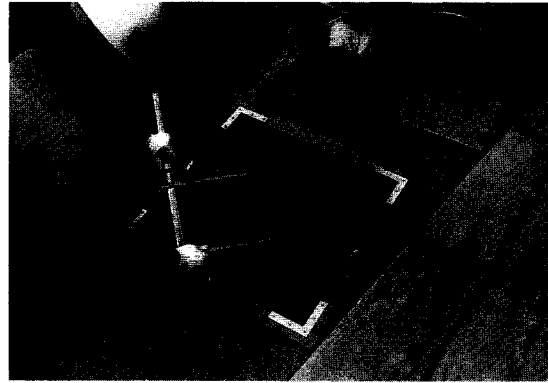


写真-7 現場フロー試験



写真-4 施工前
タンパーを使用するため型枠の補強を図る

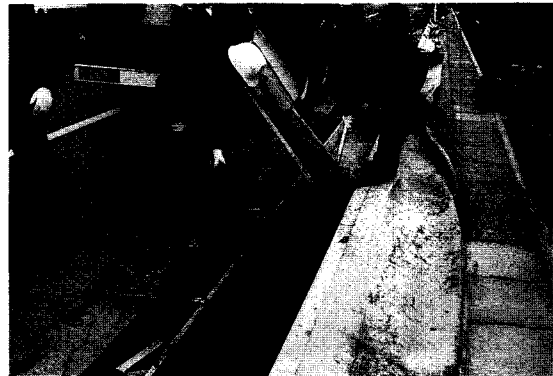


写真-8 敷き均し



写真-5 乾燥



写真-9 タンパー締め固め



写真-6 コンクリート投入
アジテータ車またはダンプトラックより直接投入



写真-10 狭小部締め固め



写真-11 コンクリート打設完了

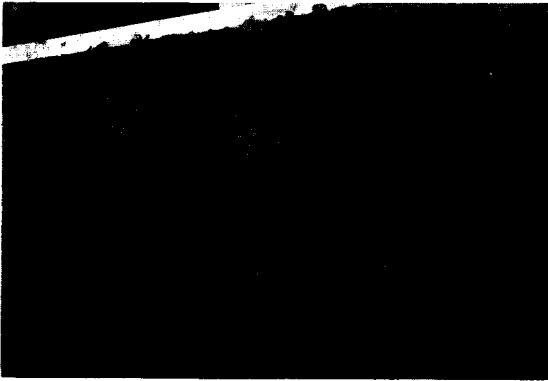


写真-12 仕上がり表面状況



写真-13 養生シート張り



写真-14 完 成

4. まとめ

今回の試験施工で、締め固め余盛りについては、5～6 cm必要であり、その締め固めは、コンパクトタンパーで2～3回程度で十分であることがわかった。

今後、試験施工箇所に隣接する普通コンクリート施工部と比較しながら、観察や目詰まり調査を行う予定である。

最後に、ご協力いただいた福井土木事務所道路維持課、福井県生コンクリート工業組合中央試験場、福井地区生コンクリート協同組合の方々に厚くお礼申し上げます。

緑化ブロック製品の研究・開発について (2)

幅岸勝雄・宮本重信・林田秀典*¹
堀江直樹*²・山口慶治*³・松山繁夫*⁴

1. まえがき

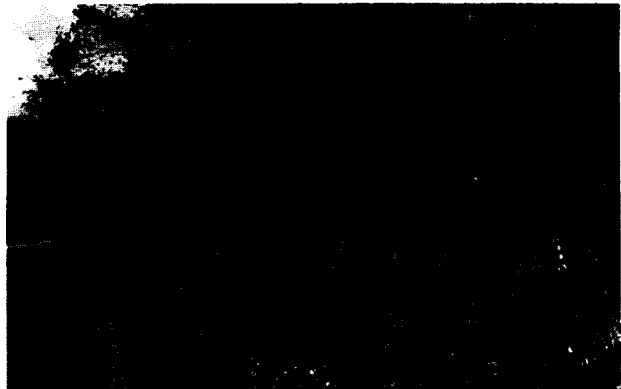
現在、自然環境に配慮した土木工事が望まれる状況において山村や国定公園等で行われる土木工事の切土法面、盛土法面での土留構造物に多用されているコンクリートブロック積みは、表面が灰白色で周辺の自然環境と違和感がある。

このコンクリートブロック積みの緑化方法として、これまで様々な手段が試行されているが、つる性植物をコンクリートブロック積みの上部、または下部に植栽して表面が被覆されるのを長期的に期待する方法と、植栽可能となる十分な量の客土が保持できるポット形式の特殊ブロックが製品化されている他は、有効な手段がない状況である。

写真①の様に、コンクリートブロック積みの表面に草が覆って周りの自然環境となんら変らない状態になるまでには、非常に長い時間が必要である。そこで、短期間にコンクリートブロック積みの表面を緑化させる製品が開発できないかと思い、関連メーカーの技術協力を得るため共同研究・開発依頼をし、県内ブロックメーカーの丸高コンクリート工業(株)と県外植生メーカーの日特建設(株)

との3者による共同研究・開発を行っている。

なお、開発しようとするコンクリートブロック製品は、大型ブロックにプレス成型した種子配合の植物生育基盤材を内臓させブロック表面を緑化しようとするものである。



写真①

2. 試作緑化ブロック小規模試験

2-1 試験概要

平成5年11月26日大野土木事務所敷地内に図-1の様に5分勾配で西向きに配置した。

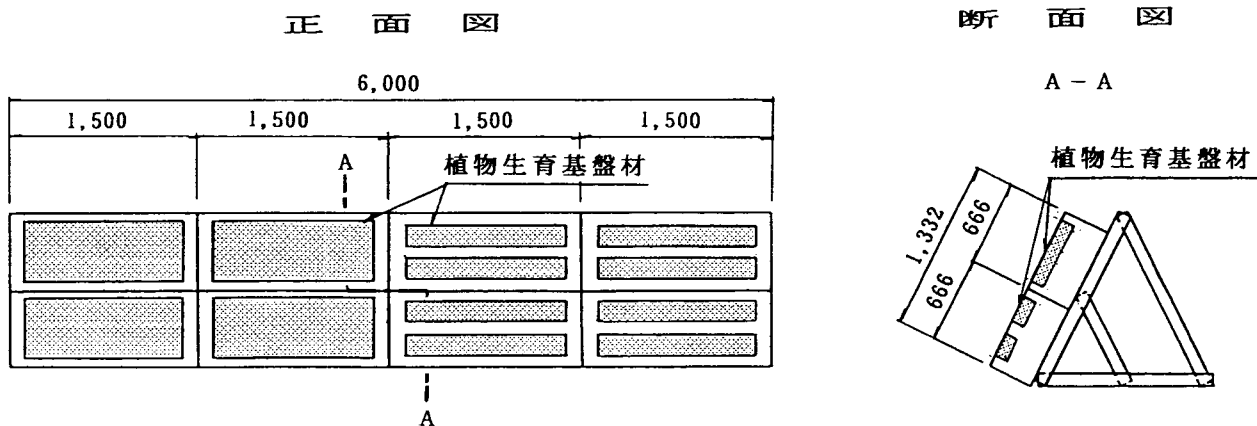


図-1

*1: 日特建設(株)基礎本部法面部次長 *2: 日特建設(株)技術本部緑化工試験所主任
*3: 丸高コンクリート工業(株)営業部長 *4: 丸高コンクリート工業(株)技術課長

植物生育基盤材の種子は、牧草（ケンタッキー31フェスク）とメドハギを使用した。

試験調査項目は、設置した緑化ブロックの植物生育基盤材の表面浸食、崩落に対する抵抗性および緑化状況等の観察を行う。

2-2 試験調査状況

2-2-1 試作緑化ブロック設置直後

試作緑化ブロック設置直後の状況は、写真-②のとおりである。

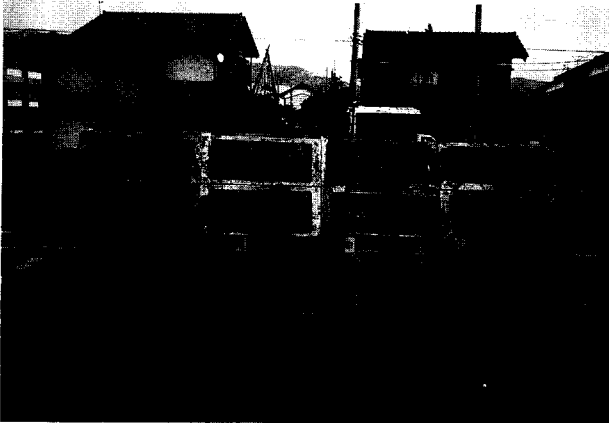


写真-② (H5.11.26 撮影)

2-2-2 試作緑化ブロック設置4ヵ月後

試作緑化ブロック設置4ヵ月経過した時点の状況は、写真-③のとおりである。

雨や雪の影響により植物生育基盤材に若干の表面浸食があった。また、水分補給により3～5mm程度膨張しており、全体的に増えていた。

緑化状況については、試作緑化ブロック設置直後に多少発芽していたが冬季に入り成長が止った状態であったため、ほとんど変化はなかった。

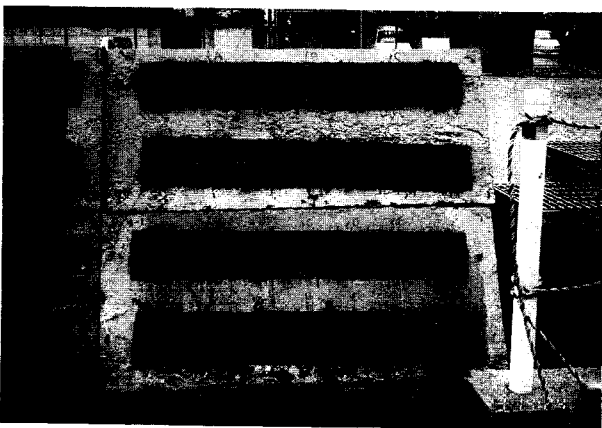


写真-③ (H6.3.23 撮影)

2-2-3 試作緑化ブロック設置5ヵ月後

試作緑化ブロック設置5ヵ月経過した時点の状況は、写真-④のとおりである。

緑化状況については、非常によく植生しており、草丈15～20cm程度生育していた。

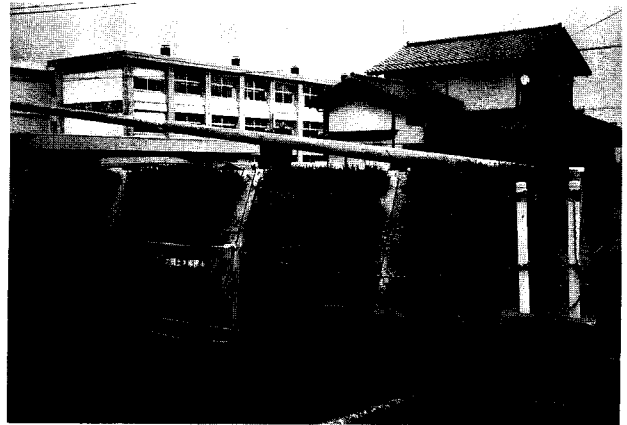


写真-④ (H6.5.12 撮影)

2-2-4 試作緑化ブロック設置6ヵ月後

試作緑化ブロック設置6ヵ月経過した時点の状況は、写真-⑤のとおりである。

草丈15～20cm程度によく植生していたが、5月中旬から6月13日までの梅雨入りまで1ヵ月も雨が降らない異常気象のため、植物生育基盤材が乾燥してしまい緑の部分がほとんどなく茶色に変色し枯れている状態であった。

植物生育基盤材については、乾燥収縮しており上部に1～2cmの隙間ができていた。



写真-⑤ (H6.6.13 撮影)

2-2-5 試作緑化ブロック設置7ヵ月後

試作緑化ブロック設置7ヵ月経過した時点の状況は、写真-⑥のとおりである。

1ヵ月前は、ほとんど枯れている状態だったが、とこ

るところに緑が蘇ってきている。



写真-⑥ (H6.7.3 撮影)

2-2-6 試作緑化ブロック設置1年4ヵ月後

試作緑化ブロック設置1年4ヵ月経過した時点の状況は、写真-⑦のとおりである。

昨年の異常気象の影響もあり、ブロック全面ではないが、ある程度植生している。また、外来種が入り植生していた。

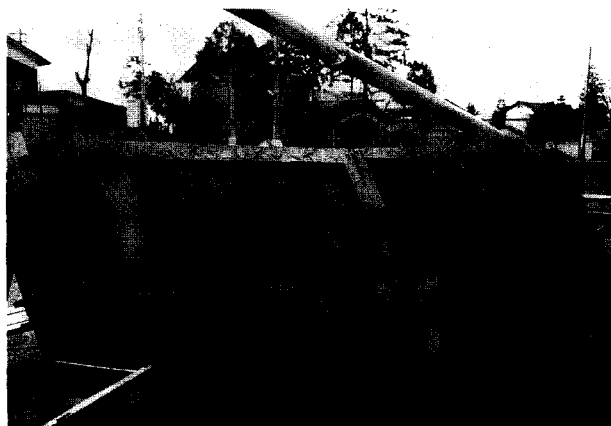


写真-⑦ (H7.3.30 撮影)

3. おわりに

試作緑化ブロック小規模試験を1年以上観察してきたが、昨年の異常気象により緑化していたものが一時枯れてしまった。これは、植物生育基盤材への水分補給がされなかったことが第一に考えられる。また、設置状況から考えるとブロック背後に切土法面、盛土法面がないことからブロック背後からの乾燥も大きな要因と思われる。

このことから、乾燥に強い種子の選定および植物生育基盤材への水分補給方法等の検討が必要である。また、緑化しても縦目地、横目地が灰白色に残るのでブロック形状の検討も必要となる。

以上のことを考慮し、平成7年度はじめに、現場での試験施工を大野市黒当戸地係で行う予定である。今後も緑化ブロック製品の完成を目指し研究・開発を進めていきたい。

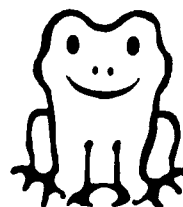
さらに、将来的に次頁の緑化ブロック適用地例にあるように各方面での土木工事に使用されることを願うものである。

最後に、緑化ブロックの研究・開発で協力いただいている大野土木事務所職員の方々に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

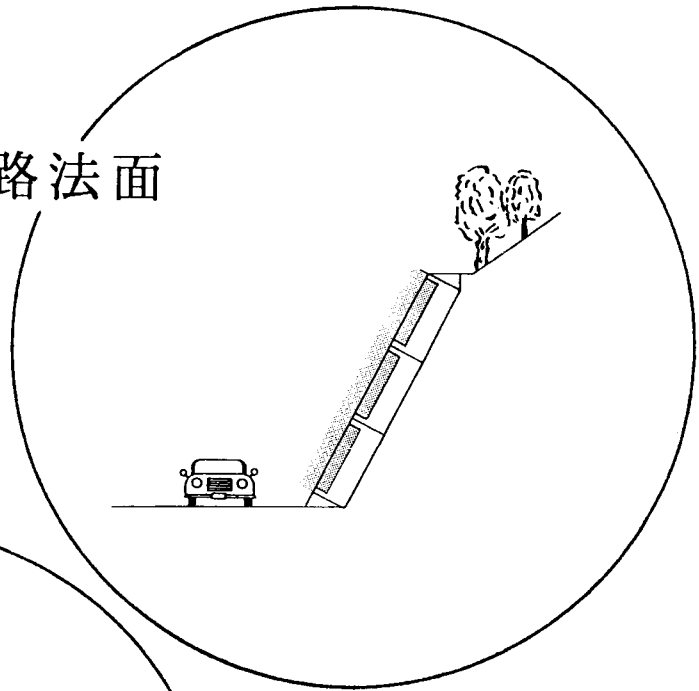
今村英樹・宮本重信・林田秀典・堀江直樹・山口慶治・松山繁夫：緑化ブロック製品の研究・開発について。福井県建設・雪対策技術センター年報第7号(1994.8)。

環境にやさしい
ブロックだよ！

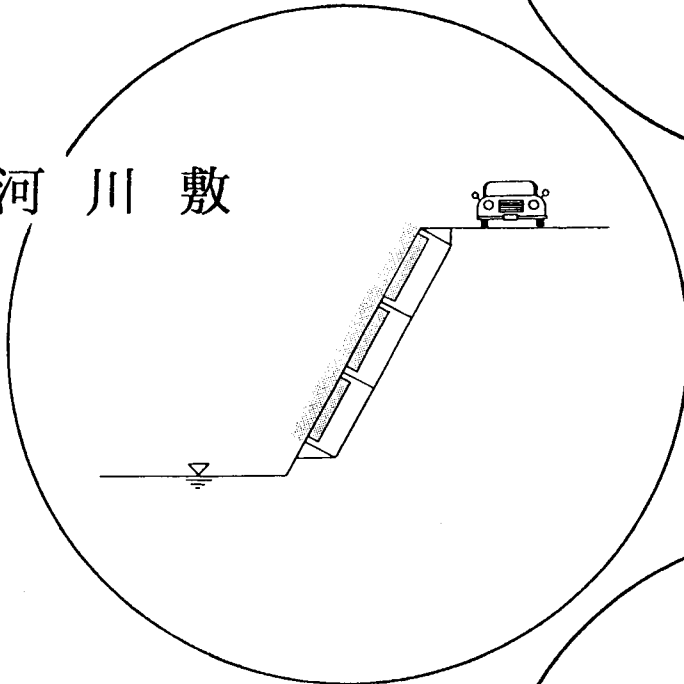


緑化ブロックの適用地例

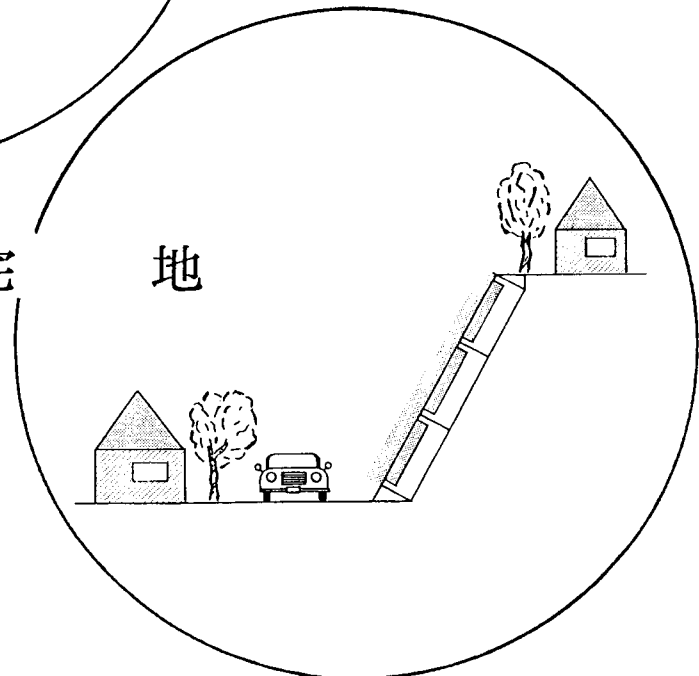
道路法面



河川敷



宅地



排水性舗装の試験施工と追跡調査について (2)

小寺 智照・杉森 正義・深川 俊一

要旨 排水性舗装は冬期の降雪、積雪に対しては圧雪になりやすく、凍結の融解が遅いといわれている。本県のような積雪寒冷地に適合するかどうかを試験施工と追跡調査により明らかにしたい。

1. はじめに

排水性舗装は欧米を中心に1980年頃より普及しはじめているが、我が国においては1987年(昭和62年)東京都の環状7号の施工が初めてであり、その後高速道路を中心に各地で試験施工が実施されている。排水性舗装は車道面の排水による交通安全性と交通騒音の低減効果の両面から注目されている。

排水機能を重視するケースにおいては骨材のトップサイズを大きくし、交通騒音対策を重視するケースでは他の要素によって粒径を選択する機会が多い。

当センターでも、新しい時代のニーズに対応するため、その両機能を生かした排水性舗装の調査研究を始めたところである。

平成5年11月には国道416号で、平成6年10月には県道皿谷大野線でそれぞれ試験舗装を実施した。

今回この試験舗装と追跡調査の結果を中間報告としてまとめたものである。尚、平成5年度の試験施工については年報7号(1994.8)で報告したのでここでは省略したい。

2. 配合・室内試験

平成6年10月の試験施工のための配合・室内試験結果は下記のとおりである。

2-1 使用材料

使用材料の産地、購入先を表-1に示す。

表-1 使用材料

材料区分	材料名	材質又は製品名	生産者名又は産地
骨材	5号砕石	安山岩	福井県大野市
	6号砕石	安山岩	福井県大野市
	粗砂	砂	福井県大野市
	ファイラー	石分・消石灰	清水工業株式会社
バインダー	超高粘度バインダー	セナファルト1R	ブリヂストン

表-2 使用バインダーの性状

試験項目	試験方法	超高粘度バインダー セナファルト1R		
		性状値	規格値	
針入度(25℃)	1/10mm	JISK2207	45	40以上
軟化点	℃	〃	90.0	75.0以上
60℃粘度	poise	〃	335,000	
伸度	(4℃) cm	〃	23	
	(15℃) cm	〃	89	30以上
三塩化エタン可溶分	%	〃		
引火点	℃	〃	315	260以上
薄膜加熱質量変化率	%	〃	0.03	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	%	〃	89.0	65以上
タフネス(25℃)	kg・cm	ベンソン法	294	80以上
テナンティ(25℃)	kg・cm	〃	216	40以上
密度(15℃)	g/cm ³	JISK2207	1.020	1.000以上
動粘度	(180℃) cSt	〃	417	
	(160℃) cSt	〃	900	
	(140℃) cSt	〃	2,310	

2-2 骨材配合率及び合成粒度

予備試験の結果から決定した骨材配合率及び合成粒度を表-3、表-4、及び図-1に示す。

表-3 骨材配合率 (単位：%)

工区	1工区	2工区
	タイプ1 (20mmトップ)	タイプ2 (13mmトップ)
材料		
バインダー	セナファルト1R	セナファルト1R
5号砕石(S-20)	39	—
6号砕石(S-13)	45	84
粗砂	12	12
ファイラー	4	4

表-4 骨材合成粒度 (単位：%)

工区	1工区	2工区
	タイプ1 (20)	タイプ2 (13)
粒度		
アスファルト量	4.9	5.0
ふるい寸法		
骨材寸法	26.5mm	100
	19.0mm	97.2
	13.2mm	72.2
	4.75mm	18.3
	2.36mm	15.8
	600µm	9.7
	300µm	7.5
	150µm	6.2
	75µm	4.4

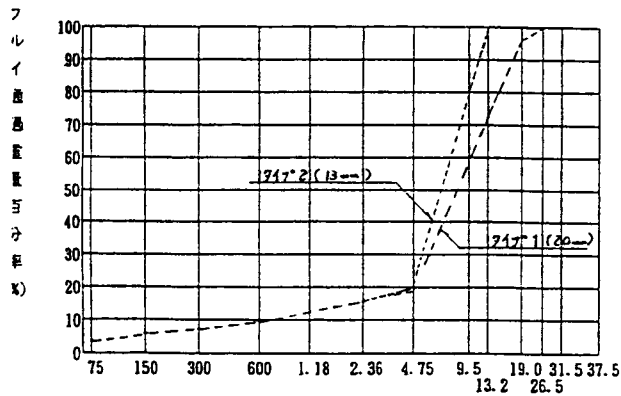


図-1 骨材合成粒度

2-3 マーシャル試験結果

マーシャル試験結果を表-5に示す。

表-5 マーシャル試験結果

配分区分	タイプ1	タイプ2
	(20mm)	(13mm)
マーシャル試験値		
アスファルト量 %	4.9	5.0
実際密度 g/cm ³	1.948	1.936
理論密度 g/cm ³	2.476	2.470
空隙率 %	21.3	21.6
フロー値 1/100cm	31	31
安定度 kg	586	613
残留安定度 %	93.8	91.4

2-4 不着試験結果

日本道路公団規格の不着試験方法により行った結果を表-6に示す。

表-6 不着試験結果 (不着損失量%)

配合区分	タイプ1	タイプ2
アスファルト量(%)	(20mm)	(13mm)
3.5	0.46	0.46
4.0	0.55	0.53
4.5	0.72	0.69
5.0	0.99	0.92
5.5	1.42	1.25
6.0	1.96	1.90
6.5	2.66	2.76

2-5 室内透水試験

室内透水試験結果を表-7に示す。

表-7 室内透水試験結果 (透水試験 cm/sec)

配合区分	タイプ1	タイプ2
アスファルト量(%)	(20mm)	(13mm)
4.4	9.1×10^{-2}	
4.7	8.7×10^{-2}	9.6×10^{-2}
5.0	8.5×10^{-2}	8.9×10^{-2}
5.3		8.8×10^{-2}

2-6 カンタブロ試験結果

日本道路公団の、排水性アスファルト混合物のカンタブロ試験方法により行った結果を表-8に示す。

表-8 カンタプロ試験結果
カンタプロ損失量(%)

配合区分 養生方法	タイプ1 (20mm)		タイプ2 (13mm)	
	乾燥	水侵	乾燥	水侵
アスファルト量(%)				
4.4	12.7	17.6	12.5	
4.7	10.7	16.1	10.6	20.7
5.0	8.6	15.1	9.8	20.3
5.3	6.5		8.5	19.5
5.6	7.0		6.7	

2-7 配合・室内試験結果の考察

マーシャル試験での安定度はタイプ1・2とも500kg/cm²以上で、基準値の350kg/cm²以上をすべて満たしている。

空隙率はどの配合もアスファルト量が増えると空隙率が減る傾向にあるが、タイプ1・2とも21%以上である。

室内透水試験結果からは10⁻²cm/secのオーダーであり透水性は満足している。

ダレ試験における不着損失量はアスファルト量が多くなると増大するが、カンタプロ試験による損失量はアスファルト量が多くなると減少する。アスファルト量の決定には不着損失量とカンタプロ損失量が最少のところ、マーシャル試験結果を満足する条件が必要である。したがって、タイプ1,2のアスファルト量をそれぞれ、4.9%と5.0%に決定した。

耐摩耗性については、カンタプロ試験の結果から20mmトップのほうが13mmトップよりも優れている。

次に現場での試験舗装により効果の確認をした。

3. 試験施工の概要

施工概要は下記のとおりである。

工事名 平成6年度 県単舗装補修工事
地 係 大野市中野 地係

表-9 工事概要

工 区	合 材 種 別	施 工 延 長	施 工 面 積
タイプ1	排水性アスコン(20)	100m	650m ²
タイプ2	排水性アスコン(13)	100m	650m ²

第1工区(タイプ1)は空隙率21.3%、第2工区(タイプ2)は空隙率21.6%の排水性舗装工区とした。排水性舗装工区は既設舗装等を1~2cm切削しゴム入り乳剤を

散布して、その上に排水性混合物を4cm厚さでオーバーレイ施工した。

4. 路面の透水性について

排水性舗装の透水機能の確認をするため、現場透水試験を行った。その結果を表-10に示す。

表-10 現場透水試験
400cc 流下時間(sec)

配合区分 期日	タイプ1 (20mm)	タイプ2 (13mm)
施工直後	5.35	5.12
2ヶ月後	5.41	5.35
4ヶ月後	6.80	5.69

5. 路面の滑り抵抗

スキッドレジスタンステスターによる路面の滑り抵抗値(BPN)の測定結果を表-11に示す。

表-11 路面の滑り抵抗値
(BPN)

配合区分 期日	タイプ1 (20mm)	タイプ2 (13mm)
施工直後	67.0	68.4
2ヶ月後	60.1	60.0
4ヶ月後	66.3	63.9

凍結時の滑り抵抗値(BPN)の測定結果を表-12に示す。

表-12 凍結時の滑り抵抗値
(BPN)

配合区分 期日	タイプ1 (20mm)	タイプ2 (13mm)
4ヶ月後	46.2	49.4

6. 追跡調査結果の考察

各種の試験及び観測結果を検討したい。

- 路面外観(ドライ状態)

写真-1~2からわかるように施工2ヶ月後、4ヶ月後には目詰まりと轍部に摩耗がみられる。

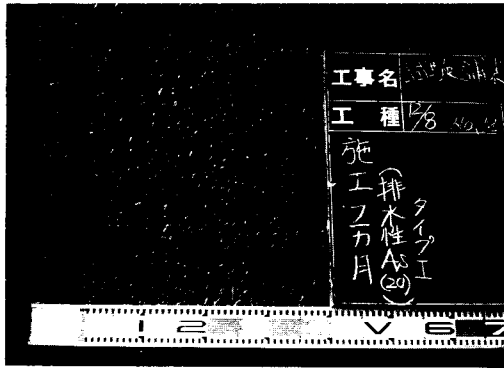


写真-1 タイプ1 (施工2ヶ月後)

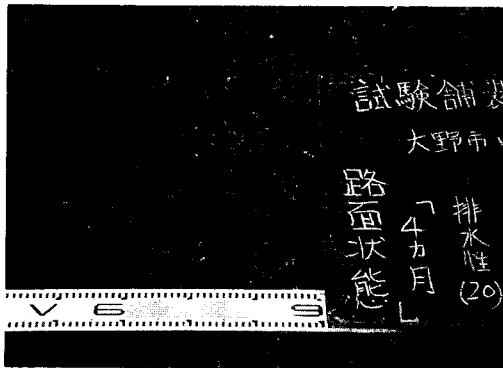


写真-2 タイプ1 (施工4ヶ月後)

●路面外観 (雨天時の状態)

写真-3～4に示すように、水跳ねや、スモーク現象は抑えられている。

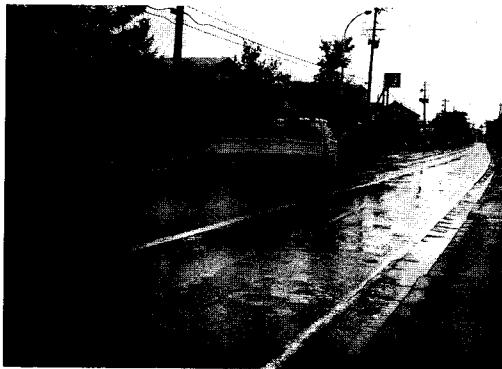


写真-3 排水性舗装施工前



写真-4 排水性舗装施工後

●路面外観 (積雪時の状態)

写真-4～5に積雪状況と凍結状況を示す。



写真-5 積雪状況

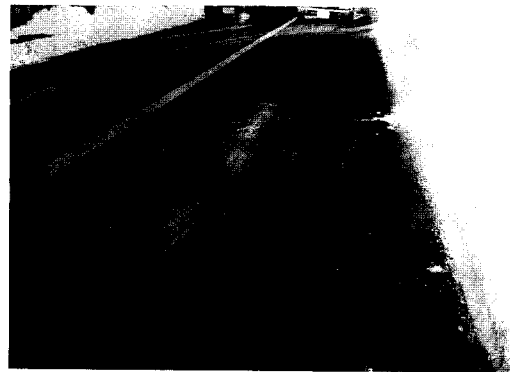


写真-6 凍結状況

【平坦性試験】

施工直後と比較すると、2ヶ月後と4ヶ月後にはそれぞれ1.65、1.35で標準偏差(2.4mm)以下で問題はない。

【横断形状試験】

路面の摩耗状態は、タイプ1,2共轍部に施工直後と比較すると摩耗量は約2倍である。

【現場透水試験】

タイプ1,2共施工4ヶ月後では5、6秒台で10秒以内ならば良好といえる。

【滑り抵抗性試験】

施工4ヶ月後の滑り抵抗値はタイプ1、タイプ2でそれぞれ66.3BPN(20)、63.9(BPN)である。普通舗装の場合60(BPN)程度であるので良好といえる。また、凍結路面での滑り抵抗値は普通舗装に比べて約1.3倍と高くなっている。

【騒音測定試験】

ドライな路面での測定では普通舗装に比較して2～3ホーンの低下がみられた。

7. まとめ

参 考 文 献

初めに述べた排水機能は、目詰り等により徐々に失われて行くため、機能を回復する為の維持管理を適切にすれば長期供用にも耐えられると思われる。高圧洗浄車やバキュームカー等の開発普及が望まれる。

近畿技報84号(1992.11)

積雪寒冷地における排水性舗装の効果は気象条件等の違いにより適用箇所を間違わなければ充分対応できると思われる。近年暖冬傾向でもあり、本県での使用は若干の路面積雪の融解の遅れを許せば間違はないと考えられる。

凍結防止舗装の試験施工について (2)

深川 俊一・杉森 正義

要 旨

近年は暖冬といえども凍結問題が依然残り、それによる走行障害が頻発している。スパイクタイヤ規制にあっては福井県の地域性に適合した凍結防止対策を確立する必要がある。その一つとして塩化物系添加材をアスファルト混合物に混入して、凍結抑制機能を付与した舗装を試験施工した。前年度に引続き供用性と効果持続についての調査結果を報告する。

1. まえがき

冬期路面における圧雪や凍結は走行障害に繋がり、安全確保からその対策が重要になる。圧雪・凍結路面は乾燥期に比べて4～8倍も滑りやすく、路面温度が0～-2℃になる初期段階でスリップ事故が多発している。

表1 凍結防止(抑制)舗装

区分	商品名(添加量%)	主成分・形状	原理および特徴	氷結点	備 考
塩化物系	ベルグリミット (5～6)	塩化カルシウム 粒径が0.1～5mmの顆粒骨材	<ul style="list-style-type: none"> 塩化物の氷点降下機能を利用する。 効果の持続性には限界がある。 耐久性は添加しないものに比べ若干低下する。 融雪にも多少は効果があるが、凍結抑制が基本である。 除雪が路面に氷結しにくくなって除雪作業が容易になる。 	-3℃程度まで	塩化カルシウムの表面を亜麻仁油でコーティングすることにより塩化物の溶出を調整する。
	マフィロン (6～8)	塩化ナトリウム 塩化カルシウム 微粉末			有機塩に粘土、石粉を混ぜて製造する。
	ノンフリーズ(8)	10mm以下の不定形			特殊塩化物をセメントに混入固化後に破碎したもので、骨材として使用する。
	原 塩 (5)	塩化ナトリウム 粒状			コストが安い。
弾性ゴム系	ルビット(3～4)	廃棄タイヤを急冷粉砕したもの 粒状	<ul style="list-style-type: none"> 添加するゴム粒子が撓むのを利用して舗装に弾力性を付与し、車両荷重により舗装が撓み、路面の水結層を破壊する。 	0℃	物理的に凍結を抑制するが、水結層が厚いとか車両が軽いと効果が少ない。
	グルーピングウレタン	ウレタン系樹脂	<ul style="list-style-type: none"> 路面に6mm幅の溝を切り、樹脂を液状で注入し、固化させる。原理はルビットと同じ。 		耐久性が検討課題である。
	マジックサークル	柱状ゴム 直径5cm	<ul style="list-style-type: none"> 舗装表面を削孔し柱状ゴムを挿入する。原理はルビットと同じ。 		ゴム材質にはスタッドレスタイヤや目地材のがあるが、施工費用が高い。
不凍液系	ベック工法	プロピレングリコールゲル剤	<ul style="list-style-type: none"> 開粒度瀝青舗装の空隙に浸透させ、ゲル化した不凍液の作用で氷結を防止する。 	-10℃	高温タイプと常温タイプがある。

ドライバーの目から路面状況が判別しにくい深夜から早朝にかけての薄暗い時間帯に凍結が集中している。

凍結を予知できれば事故が防げるが、路面温度の低下は風にも左右するために困難になっている。

さて、凍結防止舗装の機能は従来からの雪氷管理（凍結防止剤、機械除雪など）には及ばないものの、作業煩雑や定期散布による沿道環境への懸念を鑑みれば、補完支援するものとして用いられれば初期凍結の遅延、除雪作業の効率化に期待できる。

現在、実用化されている凍結防止(抑制)舗装を表1に掲げる。

○圧雪

路面に積もった雪が、車の走行などで繰り返し踏固められたもので、雪粒子が高密度に充填され、かつ相互に網目状に結合した構造をもつ。

なお、踏固められなくても気温が低下することで氷面に近い圧雪状態（比重0.45～0.75gf/cm³）になる。

○路面凍結

路面温度が氷結点(0℃)以下に低下して、路上水分が凍結し氷板や氷膜になることである。

路面温度の激しい日変化で日中に積雪や降雪が融解して夜間に凍結することもある。

また、降雨、散水消雪設備区間での前日からの滞留水やタイヤが引摺った散水でも凍結する。

2. 試験施工の概要

1) 現地概要

工事名：凍結防止試験舗装工事

路線名：国道158号

施工箇所：足羽郡美山町小和清水地先

完成：平成5年11月

工種：切削オーバーレイ工(t=3cm)

施工延長 L=120m(幅員7.4~13.0m)

凍結抑制舗装(マフィロン) 40m×320m²

在来舗装 40m×308m²

凍結抑制舗装(ノンフリーズ) 40m×408m²

塩化剤添加量

マフィロン 骨材重量の7%

ノンフリーズ骨材 混合物重量の8%

これらは浸透圧や毛細管現象により特殊塩化物が路面に滲み出たり、舗装の摩耗により露出することで氷結点を下げたり、あるいは水分に溶解することによる発熱現

象の相乗効果で凍結抑制を図るものである。

なお、微量だが有害物質(六価クロム、シアン)が含まれているとの報道があったが、試料の溶出試験では検出されず、建設省では使用を禁止していない。

2) 調査項目

表2 調査項目

時期	項目		調査方法
夏期	直営	路面性状(流動) 外観調査 温度測定	目視観察 自動記録計 (路面10点 外気1点)
11月 3月	委託	路面性状(摩耗) 外観調査 横断形状試験 [平坦性] 滑り抵抗性試験 [BPN] 塩分溶出試験①	目視観察(スケッチ・写真) 舗装試験法便覧 (横断プロフィールメータ) 道路公団舗装試験法 (振子式滑り抵抗器) 硝酸銀溶液滴下
寒候期	託	凍結抑制効果 外観調査 交通量調査 残留塩分測定②	目視観察(スケッチ・写真) 12Hr観測(全車・大型車) 舗装試験法便覧

塩分溶出試験①



残留塩分測定② [乾式灰化法]

採取コア(t=3cm)を3層に切断後、全部または一部を消却し、残留無機物を原子吸光光度計もしくはその水溶液を塩分濃度(塩素イオン)計で測定する理化学的方法

表3 供用性調査結果

区分	項目	施工直後	4ヶ月後	1ヶ年後	1年 4ヶ月後
マフィロン 添加舗装	最大	平坦性 7.5	6.5	7.7	7.8
	BPN 63.0	59.5	58.5	56.9	
平均	平坦性 5.8	3.8	4.4	4.5	
	BPN 61.9	58.8	57.9	56.8	
在来舗装	最大	平坦性 6.0	6.2	7.8	8.2
	BPN 61.0	58.7	57.5	56.5	
平均	平坦性 3.8	3.8	4.2	4.3	
	BPN 60.6	58.6	57.4	55.9	
ノンフリーズ 添加舗装	最大	平坦性 5.5	5.8	5.7	7.5
	BPN 62.6	58.9	57.9	56.5	
平均	平坦性 3.5	3.5	4.3	4.3	
	BPN 60.8	57.5	57.2	56.0	

3. 調査結果

1) 供用性調査

3種類の舗装について平坦性、わだち掘れ、流動性、摩耗性を見る限り大きな変化はなかった。僅かに線状ひびわれを認めるが、基層・路盤のひびわれによるものと思われる。

次に参考までに夏期6月30日～8月19日における温度測定の結果を表4に掲げる。

2) 凍結抑制効果

硝酸銀滴下による塩分の表出は明確には判らないが、乾式灰化法による残留塩分は上層(0～1.5cm)が下層

表4 温度測定結果

(単位:℃)

区分	抑制①	在来舗装			抑制②	気温
	路肩①	路肩①	中央	路肩②	路肩②	
平均	31.6	34.1	31.6	29.9	33.4	27.2
最大	50.1	55.3	48.2	43.2	53.5	38.3
最小	22.5	22.8	22.4	22.5	22.7	20.9

抑制①=マフィロン添加 抑制②=ノンフリーズ骨材添加
路肩①=上り車線 路肩②=下り車線

(1.5～3.0cm)より少なく、また経年により各層とも低下する傾向となっている。



写真 凍結抑制舗装 (マフィロン)



写真 在来舗装



写真 凍結抑制舗装 (ノンフリーズ骨材)

表5 残留塩分濃度

区 分	抑制①	在 来	抑制②
施 工 直 後	3.3%	—	1.6%
1年4月経過	上層	0.6%	2.0%
	下層	0.9%	2.3%

本路線では凍結防止剤を散布することもあるが、効果

が確認できなかった。

在来舗装に残留塩分が検出しているのは、凍結防止剤が浸透しているものと思われる。

4. おわりに

塩化物系の凍結抑制舗装の供用性は在来舗装と同程度であるが、残念ながら抑制効果については決め手を欠く。

蓄熱剤格納による路面凍結緩和の実験的研究

宮本重信

本研究は、数℃の凝固温度を有する蓄熱剤を珪石使用の高熱伝導舗装に格納することで、舗装表面の熱容量を凍結直前に大きくし、暖地積雪地での路面凍結を緩和しようという試みである。福井県の寒冷地勝山市における県道での試験施工では、この舗装表面の凍結の程度は、ノーマルなアスファルト舗装に比べ1シーズンで約31%になる結果を得た。また、熱容量が小さいため凍結頻度の著しい鋼床版橋については、福井市内での模型実験で、地盤部の舗装とほぼ同じ程度の積雪や凍結にまで改善できることが分った。

1. はじめに

スパイクタイヤ規制以後、雪国を中心に路面凍結が道路管理の大きな課題になっている。例えば、鯖江市内の跨線橋では、1995年4月3日6時鋼床版橋区間のみが圧雪となり、14台の車両が追突する事故となっている。また、片勾配の曲線区間道路では、除雪された路側の残雪が日中溶けて車線に水となって流れ、それが早朝に凍結し事故となっている。凝固点降下剤を混入したアスファルトなど従来の凍結対策舗装は、特殊な舗装を表層に用いるため耐久性・効果の持続性に乏しい。更に、凝固点降下剤の多くは鋼材の腐食を促進するため道路施設などへの悪影響を招く。

筆者は、鋼床版橋が熱容量が小さい故に凍結しやすい現象¹⁾²⁾に着目し、逆に、舗装表面の近くの熱容量を大きくすれば、凍結が緩和されると考えた。具体的には、数℃で凝固する蓄熱剤を舗装表面近くに格納する。この方法なら、凍結が一時的に過ぎない地域では、一旦凝固した蓄熱剤は日中に液体に戻り、次の凍結や積雪に備えられる³⁾。蓄熱剤は舗装表層の下面に格納するので効果が低下することはない。

こうした考えに基づいて、地盤上舗装については実際の道路で、また鋼床版橋については野外の模型実験で、蓄熱剤格納の凍結緩和の効果を確かめた。

2. 蓄熱剤と舗装の熱的特性

数℃で凝固する薬品⁴⁾⁵⁾の中から、安全性・コスト・凝固潜熱量を勘案し、今回はパラフィン系1種類と芒硝系3種類の蓄熱剤を用いた。図1は、蓄熱剤1(パラフィン系)と蓄熱剤4(芒硝系)の加熱過程での断熱比熱試験測定結果を温度と蓄熱量の関係として表したものである。

図中には、今回の試験で施工した各種舗装のそれも記した。冷却過程では、冷却速度が一分に数℃と速いと数℃もの過冷却が生じ、一日サイクルの冷却でも1℃程度の過冷却が見られた。更に、蓄熱剤2,4は、融解温度が凝固温度に比べ約5℃ほど高い。表1は、断熱比熱試験などの結果から得られた蓄熱剤の熱特性を示したものである。

当該研究では、蓄熱剤温度から放熱(蓄熱)量を見積ることを要したが、これは次のように求めた。融解温度と凝固温度が異なる蓄熱剤2,4が融解(凝固)の途中で冷却(加熱)となった際は、次の凝固(融解)プロセスに至るまで、蓄熱剤は液体と個体の混合比に応じた熱容量を有するとした。また、凝固(融解)過程における見積りは、蓄熱剤温度がほぼ一定であるため正確にはできないが、比熱一定で数℃の温度変化を伴って生じると仮定した。更に、凝固過程では過冷却が生じると考えた。図2はこれらの考えを示したものである。図3~4は、図2と表1を元に、後述する橋梁模型実験での約1か月間の実測蓄熱剤温度からその蓄熱量を蓄熱剤1と蓄熱剤4について求めた結果である。この二つの図から蓄熱剤4は蓄熱剤1に比べ蓄熱容量は大きい、融解温度が高く液体に戻りにくいことが分る。

舗装材料では、舗装表面温度と蓄熱剤との間の熱抵抗を小さくするため、粗骨材に熱伝導率が6.05W/mKと大きい珪石を用いた。なお、地盤部舗装での高熱伝導舗装は、表面温度に影響する舗装領域をより下面に広げる点で凍結を緩和する効果もある⁶⁾。表2に今回の試験で用いた舗装の熱特性の計測結果を示した。

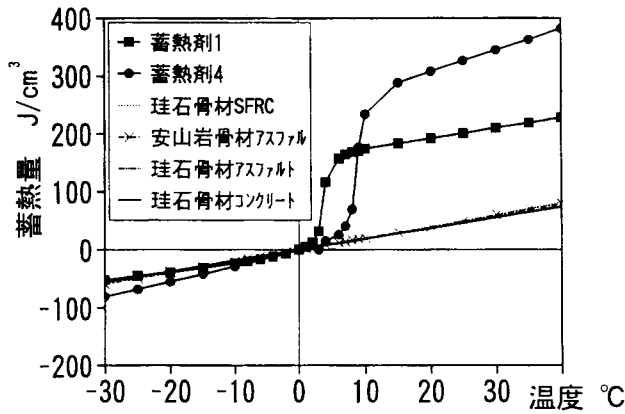


図1 蓄熱剤と舗装の蓄熱量

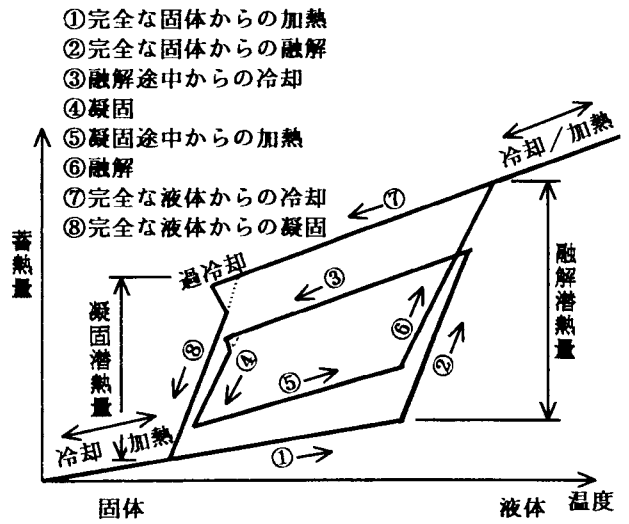


図2 蓄熱剤の凝固・融解モデル

表1 蓄熱剤の特性

蓄熱剤番号	1	2	3	4
主要材料	パラフィン系	芒硝系		
主材の化学式	$C_{16}H_{34}$	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$		
凝固温度 °C	3.1~4.6	6.9	8~9	3.3~5.1
融解温度 °C	3.1~4.6	11~12	8~10	8.2~10
熱伝導率 W/mK	0.163	0.99	1.02	0.99
顕熱容量 J/cmK	1.74	2.98(個体) 4.24(液体)		
融解熱量* J/cm³	131 134	239 254	138	
液体での状態	コンニャク状	ゲル	ゲル	ゲル
メーカー	三菱電線工業㈱	三菱化学㈱	TRANSPHASE	三菱化学㈱

*: 上段はDSC法(JIS K 7123に準じる)による
下段は真空理工製測定装置SH-3000型による

表2 試験した舗装の熱特性

	比熱 J/(g·K)	密度 g/cm³	容積比熱* J/(cm³K)	熱伝導率* W/(m·K)	熱拡散率* m²/hr
珪石骨材 SFRC	0.938	2.15	2.02 2.30	3.45 2.19	0.00369 0.00344
珪石骨材 コンクリート	0.862	2.13	1.84 2.19	2.62 1.92	0.00308 0.00315
珪石骨材 アスファルト	0.816	2.31	1.88 2.65	3.87 3.50	0.00443 0.00475
安山岩骨材 アスファルト	0.829	2.38	1.97 2.00	2.63 1.72	0.00288 0.00310

*: 上段は熱伝導率、容積比熱から熱拡散率を求めた。
下段は逆解析で直接熱拡散率を求め、計測熱伝導率とから容積比熱を求めた。

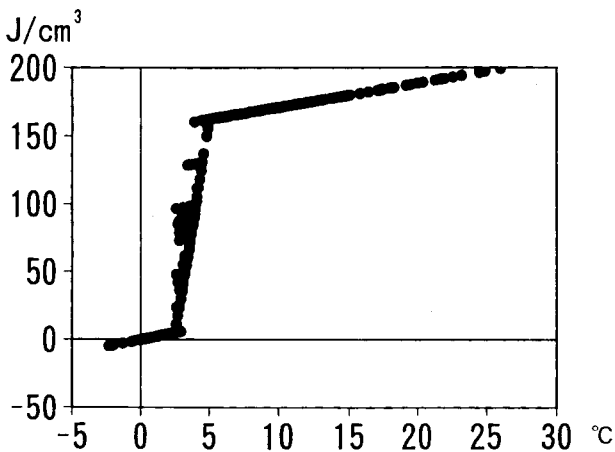


図3 蓄熱剤1の蓄熱量

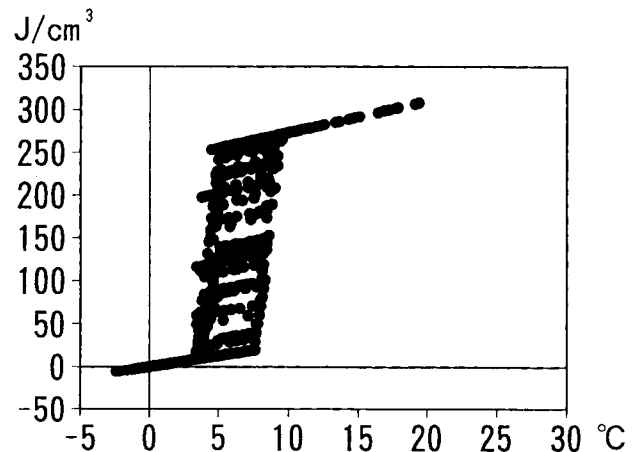


図4 蓄熱剤4の蓄熱量

3. 地盤上での凍結緩和舗装

(1) 試験舗装の構造

図5は、今回試験した蓄熱剤格納の舗装構造で、蓄熱剤を格納した鋼管(内径41.6mm)を浅くに埋設しても、舗装が破壊しないように鋼繊維補強コンクリート(以下SFRCという)を用いた。更に、日射の吸収と摩擦しても切削し復旧できるようにアスファルト表層を設けたコンポジット舗装とした。更に、表層とSFRC舗装の粗骨材には、珪石を用いた。写真1はその施工状況である。比較のため、安山石骨材のノーマルなアスファルト舗装(表層5cm、基層5cm、上層路盤10cm、下層路盤20cm)と蓄熱剤を格納しないコンポジット舗装を施工した。

(2) 室内ヒートサイクルでの実験とその結果

現場での構造(図5)を表面から深さ15cmまで40cm四方で取りだし、断熱材15cmの上に設置した模型を作成した。これらを恒温室に並べ、蓄熱剤を格納しない同じ構造の模型の表面温度を一日サイクルで凍結と日射を繰り返すよう3日間制御した。またスタート時の蓄熱剤は完全に

液化させておいた。図6は各模型舗装での表面温度(管の真上と中間の平均値)の変化を示したものである。最初の凍結では、蓄熱剤なしが -3.6°C となった際にも蓄熱剤1, 2, 3は蓄熱剤なしに比べ各々 2.9°C 、 4.2°C 、 3.2°C 高い結果を得た。しかし、蓄熱剤2, 3については、二回目以後その効果は減っている。これは、蓄熱剤の温度変化を示した図7から、蓄熱剤3と2では融点が高いため、凝固した蓄熱剤の全てが液体に戻らないうちに次の凍結になっていると推測される。蓄熱剤1については、融点が 3.1°C と低いため、蓄熱剤のほぼ全てが液体に戻っている。が、蓄熱剤1では凝固点が低く熱伝導が悪いため凝固以前に表面温度がマイナスになっている。図8・図9は、最初の凍結過程での蓄熱剤なし、蓄熱剤1を格納した舗装断面温度を1時間ごとに示したものである。蓄熱剤1が 3°C ほどで凝固しはじめ、鋼管真上の舗装表面温度の低下を妨げていることが分る。その後の蓄熱(回復)過程を同様に示したのが図10・図11である。図11で蓄熱剤1が13時まで温度が上昇せず、14時まで一気に

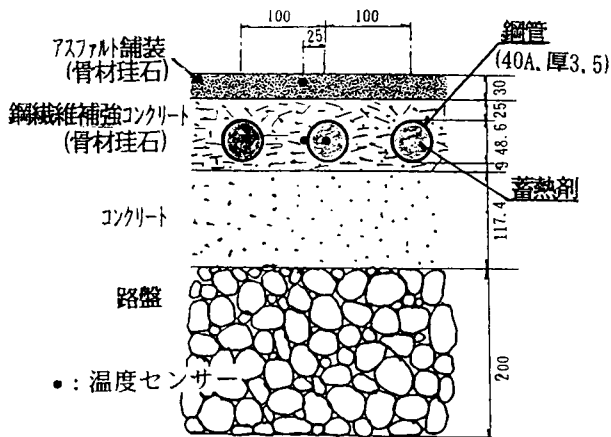


図5 蓄熱剤格納舗装断面図

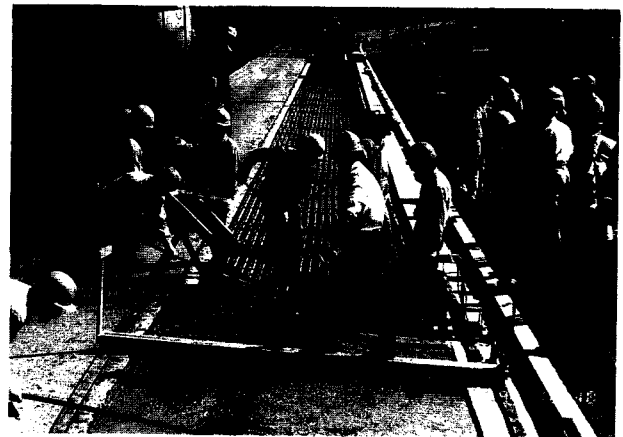


写真1 蓄熱剤格納舗装施工状況

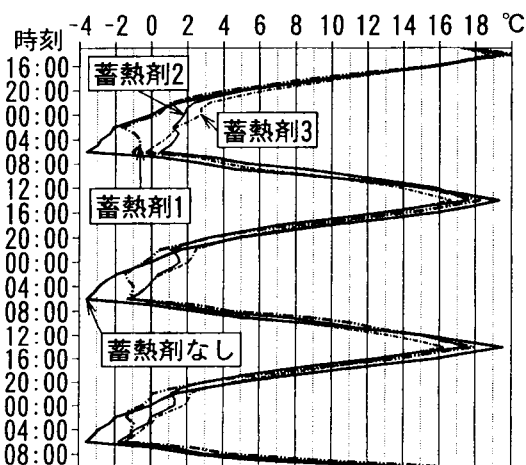


図6 表面温度の変化

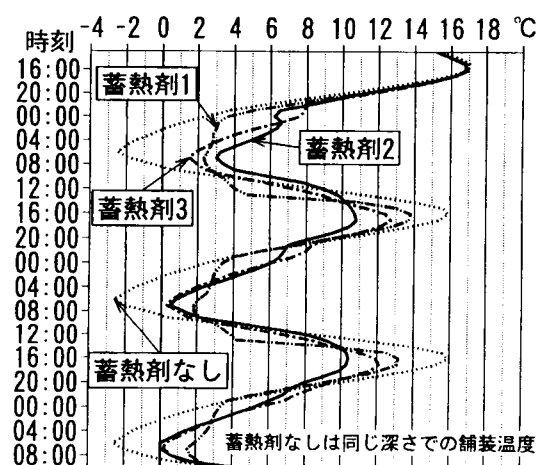


図7 蓄熱剤の温度変化

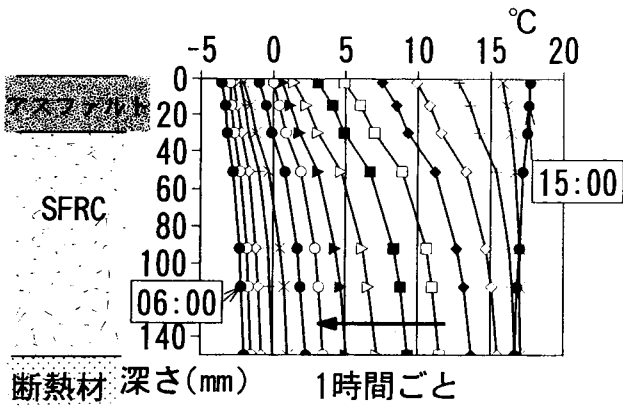


図8 断面での温度変化(凍結過程)

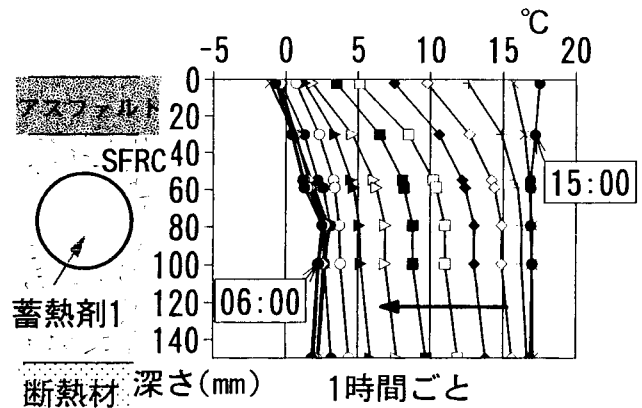


図9 断面での温度変化(凍結過程)

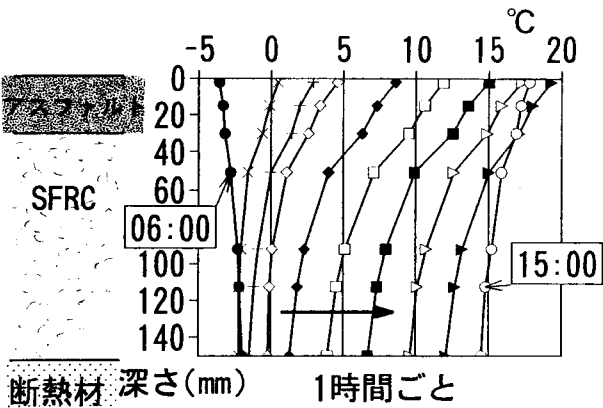


図10 断面での温度変化(蓄熱過程)

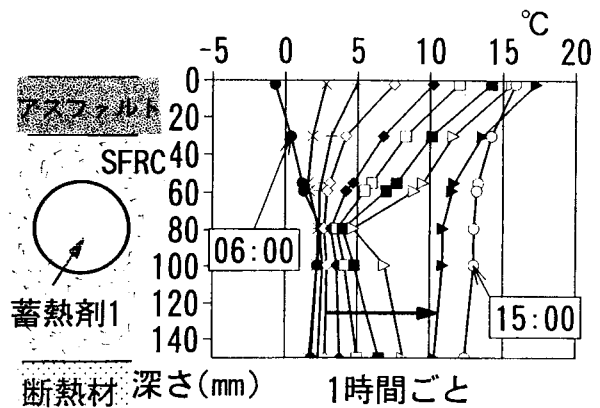


図11 断面での温度変化(蓄熱過程)

に上昇しているのは、この間に融解が完了しているためと思われる。

この実験によって、凍結・日射の反復下では、数℃程度の凍結に対しては効果のあることが分った。

(3) 実際の道路での実験

a) 実験の方法

計測は図5に示す舗装の位置に温度センサーを設置し、30分ごとに自動計測した。試験現場は、福井県内では寒冷な地域である勝山市(実験計測期間の気温・降雪を図12に示す)の県道に設置した。道路は、積雪10cm以上で除雪され、凍結防止剤は散布されなかった。

b) 降雪時の状況

図13は、数cmの降雪のあった1994年12月31日深夜から1月1日16時まで、3タイプの舗装について、深さ10mm(以下表面という)と蓄熱剤中心位置の79.3mmの深さの舗装(蓄熱剤格納タイプでは蓄熱剤の中心と格納鋼管の側面)の温度を示したものである。

蓄熱剤なしのノーマルなコンポジット舗装の表面は、1日7時までアスファルト舗装に比べ0.5℃ほど高い。

これは、熱伝導率の高い舗装であるため熱が舗装体から表面に流れやすいことによる。蓄熱剤1が効果を発揮するのは、31日23時に鋼管中心の蓄熱剤1が2.9℃になってからである。この温度で凝固し始めたようで、蓄熱剤1は1日11時までの12時間3.3~2.9℃を保っている。それに対して同じ深さの蓄熱剤のない舗装は1日10時30分まで次第に低下し、1.3℃に達している。蓄熱剤1の効果により、その舗装表面温度は蓄熱剤のないコンポジット舗装に比べ0.5℃ほど高い。

写真2は1日9時20分の積雪状態を示すもので、ノーマル舗装で約2cmの積雪があったが、蓄熱剤1格納区間では無積雪であった。

このように数cmの降雪では効果は顕著であったが、一晩で20cmの雪が降った時には積雪の差はほとんど見られなかった。

c) 放射冷却など1シーズン通じての効果

図14は、1シーズン通じてのノーマルアスファルト舗装と蓄熱剤1格納コンポジット舗装の表面温度の変化である。0℃~-0.5℃で安定している時間帯は、舗装に雪が積もっている状態である。この積雪時も0.2~0.5℃は

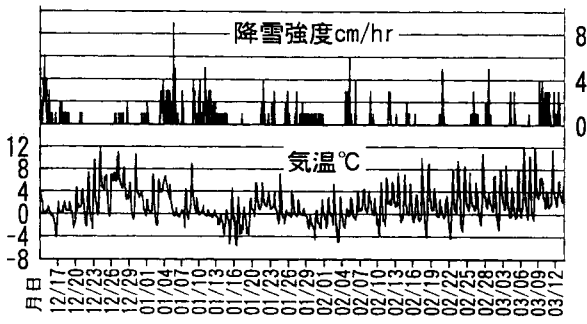


図12 気温・降雪強度(1994.12.14-1995.3.14)

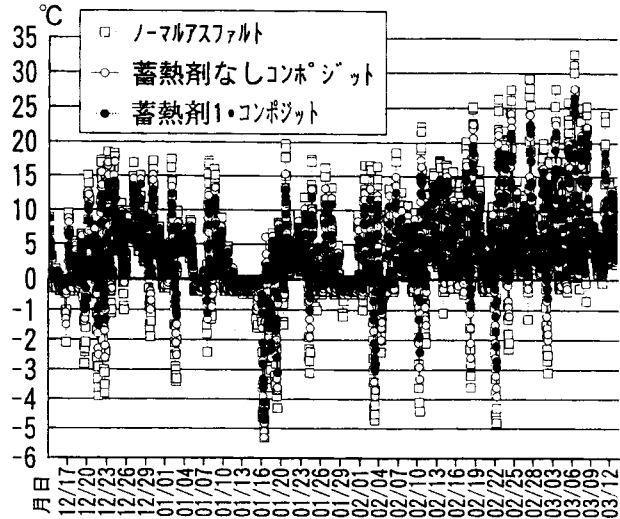


図14 表面温度(1994.12.14-1995.3.14)



写真2

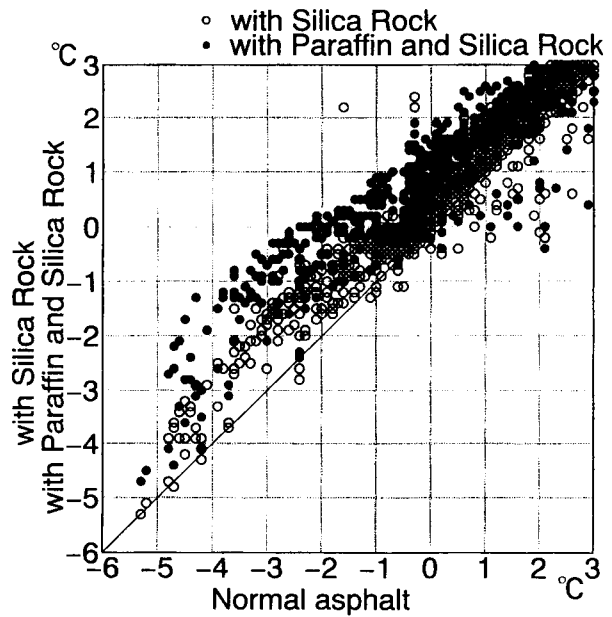


図15 ノーマルアスファルト、コンポジット(珪石使用)、蓄熱剤1格納コンポジット(珪石使用)の表面温度比較

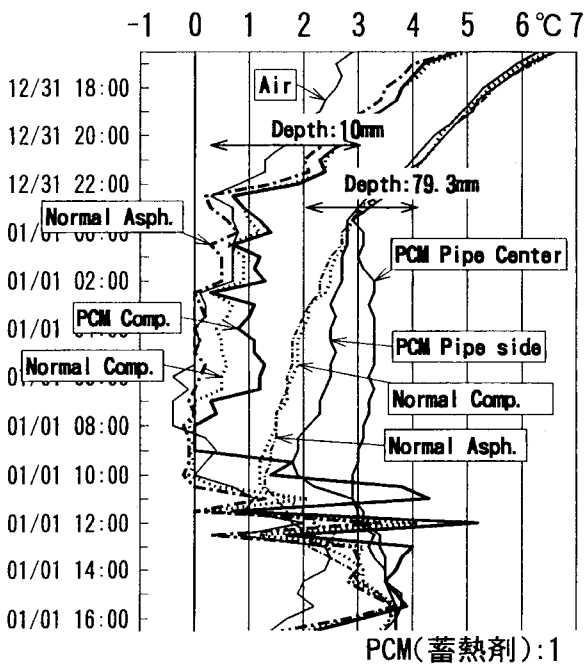


図13 降雪時の深さ10、79.3mmの舗装温度の変化

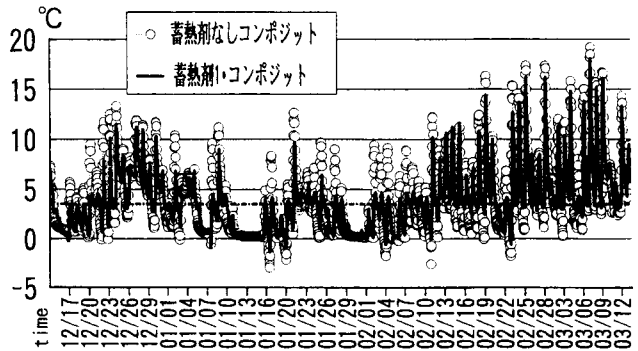


図16 蓄熱剤1の温度 (1994.12.14-1995.3.14)

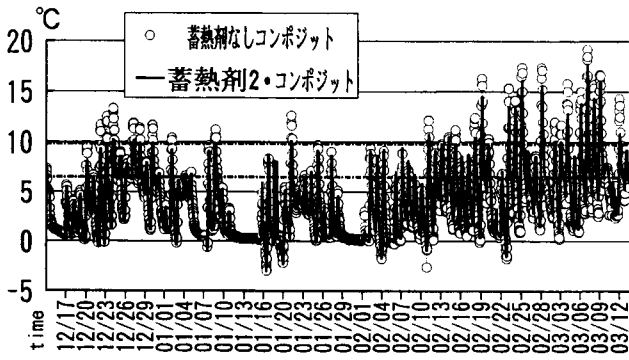


図17 蓄熱剤2の温度 (1994.12.14-1995.3.14)

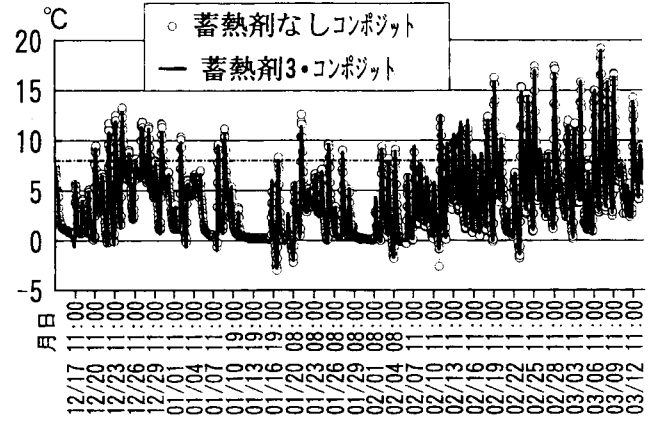


図18 蓄熱剤3の温度 (1994.12.14-1995.3.14)

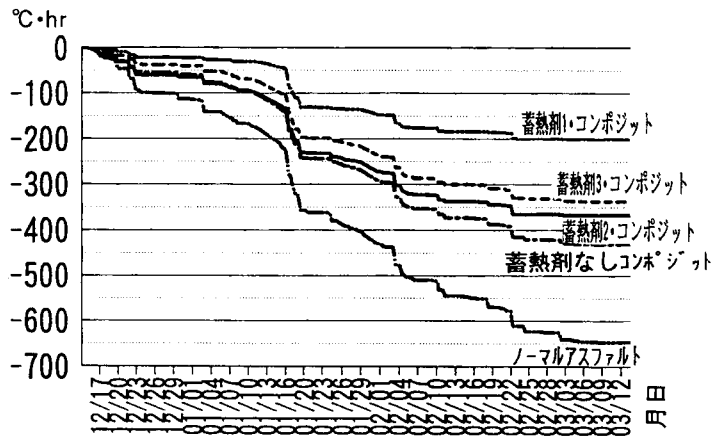


図19 凍結強度比較

ど蓄熱剤1格納舗装温度が高い。

時系列に並べてある図14をノーマルアスファルト舗装と比較しやすくするため、低温時について並び代えたのが図15である。この図からノーマルアスファルト舗装表面温度が0℃以下で珪石使用コンポジット舗装はバラツキがあるが約1℃、蓄熱剤1格納コンポジット舗装で約2℃ほど高いことが分る。ただし、かなりばらつくのは、前日中中の気象など、その時点までの熱的な履歴による。

日中については、特に高温となった時は期間中蓄熱剤1格納の方が逆に約5℃低い。このようなことから蓄熱剤1の潜熱と舗装の高熱伝導化で、舗装が冷めにくく温めにくくなっていることが分る。

蓄熱剤1の中心温度とそれと同じ深さでの蓄熱剤なしのコンポジット舗装の温度変化を比較したのが、図16である。この図から、降雪が続いた日は両方とも0℃になり差が分らないが、それ以外では、蓄熱剤1は同じ深さの蓄熱剤なし舗装に比べ毎日の温度差が少ない。また、蓄熱剤1は凝固融解温度を一定時間保つことが繰り返し

生じている。更に、平均気温が4℃近くまで上がった2月12日以後は蓄熱剤1は、ほとんどの時間凝固融解温度以上で、液体になっている。

蓄熱剤2・3について同様に示したのが図17・図18である。両者は朝の最低温度に図16ほどの効果が見られない。図18では気温が高くなってくる2月下旬以降次第に蓄熱剤なしとの温度差が見られ効果がでるようになってくる。これは蓄熱剤2,3の融解温度が高いことによると思われる。

図19は、舗装表面がマイナスとなった際の表面温度とその時間の積を凍結強度として、その累積を示したものである。そのシーズン累計では、ノーマルアスファルト舗装が-647℃・hr、コンポジット舗装蓄熱剤なしが-431℃・hr、蓄熱剤2で-367℃・hr、蓄熱剤3で-337℃・hr、蓄熱剤1で-200℃・hrと蓄熱剤や高熱伝導舗装の効果が確認できた。蓄熱剤2,3は融点が高く液体に戻らず効果が小さかった。しかし、潜熱量の大きい蓄熱剤2では、温かくなるにつれて効果が見られる。

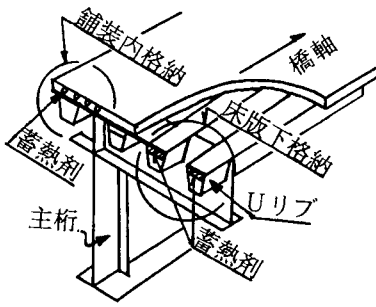


図20 鋼床版橋への蓄熱剤格納

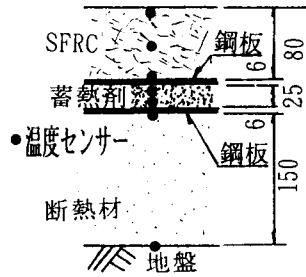


図21 床版下格納タイプ

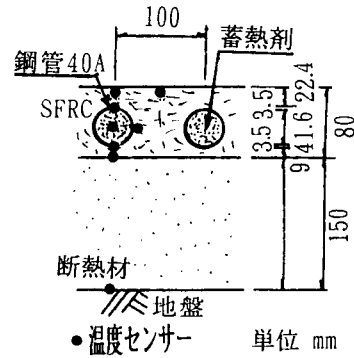


図22 舗装内格納タイプ

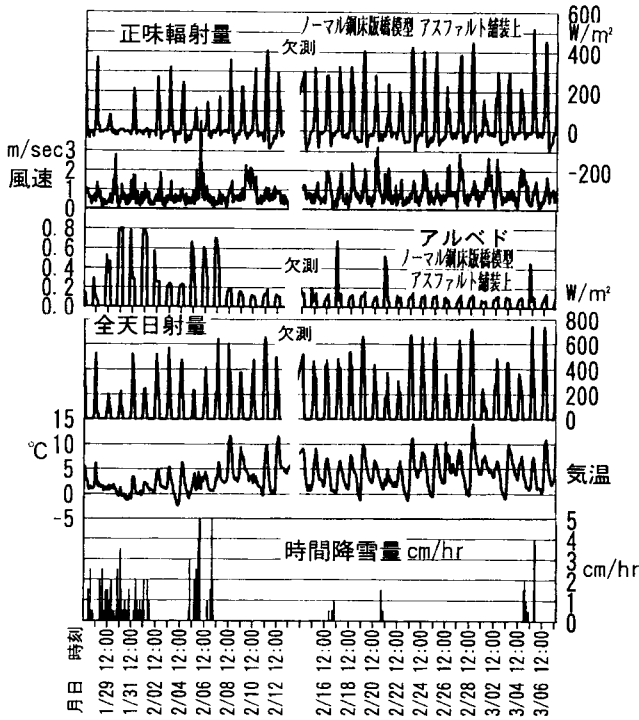


図23 気象条件 (時間降雪量)

4. 鋼床版橋上での凍結緩和

(1) 試験舗装の構造と実験方法

実際の橋梁での格納(図20)を考え、床版下面に蓄熱剤25mm厚を格納するタイプ(図21)と、蓄熱剤を封入した鋼管(内径41.6mm・換算厚13mm)を舗装内部に格納するタイプ(図22)の2タイプで実験した。後者はパイプ上の舗装のひびわれ防止からSFRC舗装としたので、模型では全てSFRC舗装とした⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。また、SFRCは表2の熱特性のものを用いた。蓄熱剤は、表1の蓄熱剤1と蓄熱剤4の2種類を用いた。なお、SFRC舗装の表面は白くアルベドが大きいので、実験途中の2月23日午後表面を黒く着色した。比較には、アスファルト舗装(厚さ80mm)

の鋼床版橋断面に下面を断熱した模型(以下ノーマル橋)と地盤部のアスファルト舗装(厚さ50mm)を用いた。これらの模型は福井市内の野外に設置し、積雪が10cm以上となった朝は、実道路での除雪を想定し雪を除けた。

温度は、図21、図22に示す位置に温度センサーを設置し30分ごとに自動計測した。また、舗装・鋼板・蓄熱剤の熱容量とその時々々の温度の積で模型全体の蓄熱量を見積れるように、橋梁模型は15cm厚の熱伝導率0.03W/mKの断熱材の上に設置した。なお、実際の橋梁では硬質ウレタン現場発泡で対応できる¹¹⁾。

(2) 気象条件

期間中の気象については、全天日射量・気温・風速については実測し、降雪量については、実験地から500m離れた福井地方気象台のデータを用い、図23に整理した。

放射冷却現象に関わる輻射熱量については、全天日射量を含めた正味の輻射熱量をノーマル橋(表面アスファルト舗装)模型上で観測した。その結果も図23に記載した。日中は太陽から熱を得て、日没後に空に放射していることが分る。また、この路面上でアルベドも観測し、その結果も図23に記載した。アルベドは通常0.1程度で、積雪となった日は上昇し0.8にまで達した。

(3) 降雪時の状況

降雪のあった1月28日から2月7日までの朝8時30分の積雪深を比較したのが図24で、その累計比較が図25である。ノーマル橋は最も積雪量が多く、蓄熱剤1・床版下格納タイプの積雪量は地盤部とはほぼ等しい。蓄熱剤1・管格納タイプでは概ね地盤部とノーマル橋の中間程度となることが多い。しかし、いつも同じような状態にはなっていない。それは、降雪時までの温度履歴によって、舗装の温度状態が違うことによる。1月29日8時30分における各タイプの積雪状況を示したのが写真3である。図26・

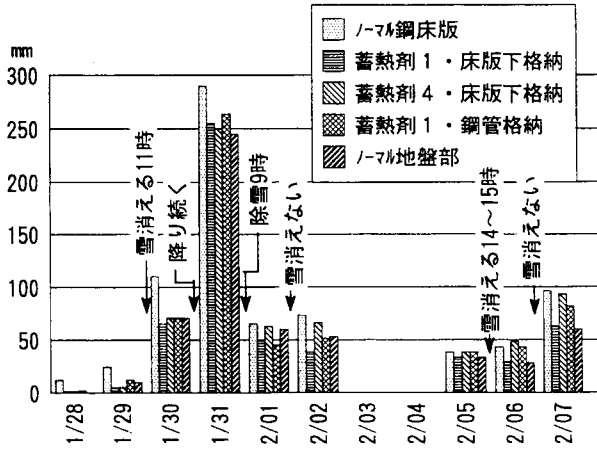


図24 積雪深の比較 観測時刻 8 : 30

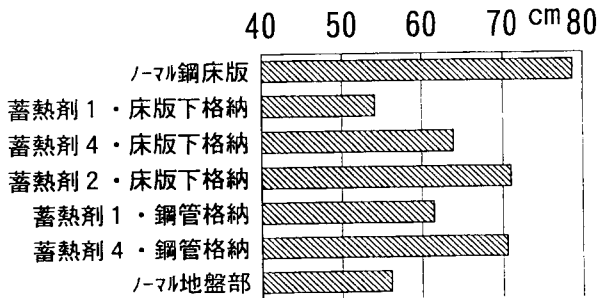


図25 積雪深累計の比較

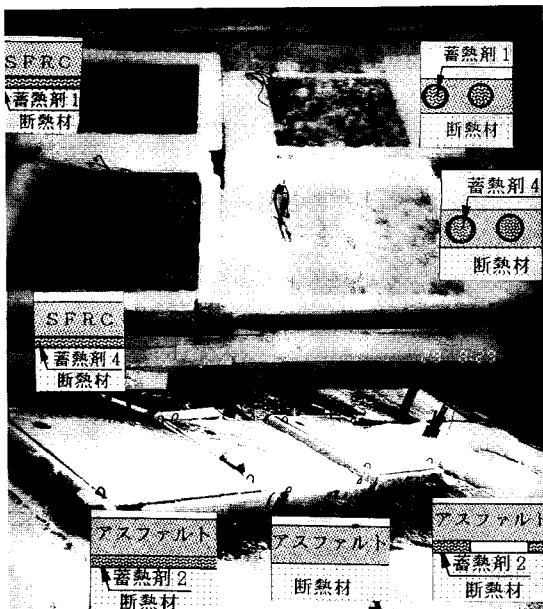


写真3 積雪状況 (1月29日8:30)

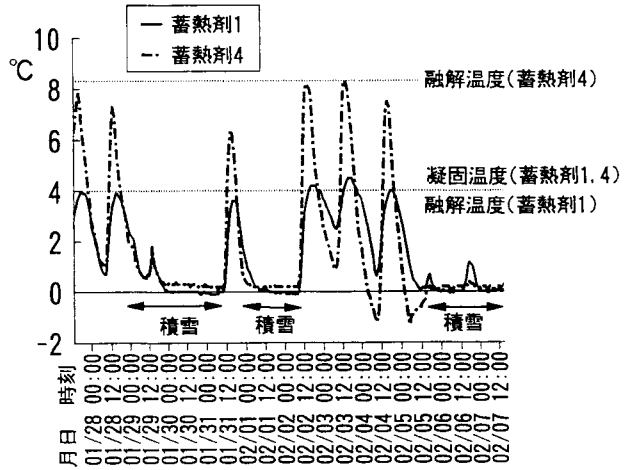


図26 蓄熱層中心の蓄熱剤の温度変化

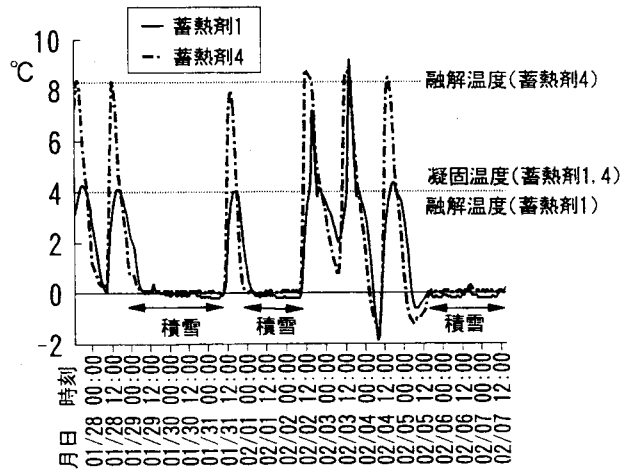


図27 鋼管中心の蓄熱剤の温度変化

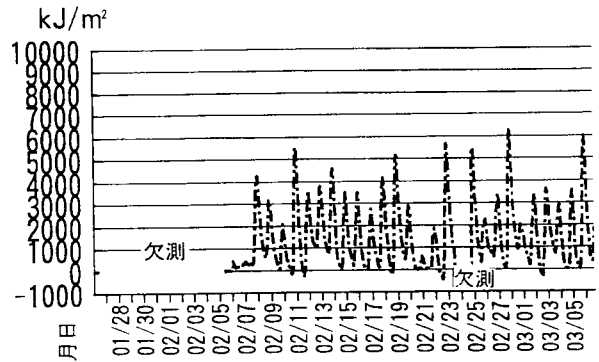


図28 ノーマル鋼床版橋の蓄熱量

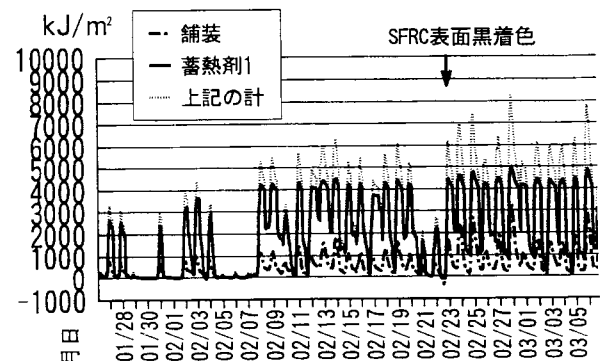


図29 蓄熱剤1 厚25mm格納舗装の蓄熱量

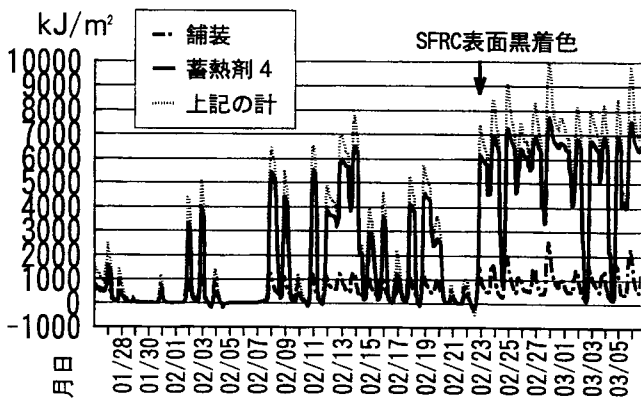


図30 蓄熱剤4 厚25mm格納舗装の蓄熱量

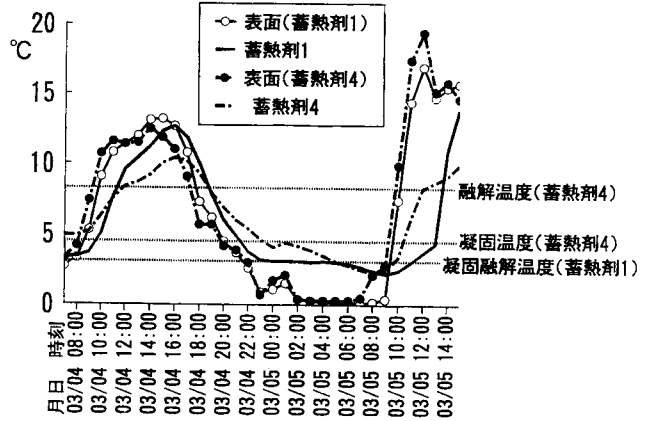


図33 蓄熱剤と舗装表面の温度変化(床版下格納)

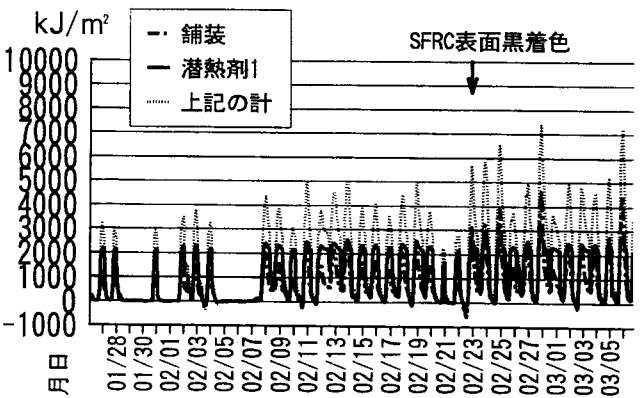


図31 蓄熱剤1 鋼管格納舗装の蓄熱量

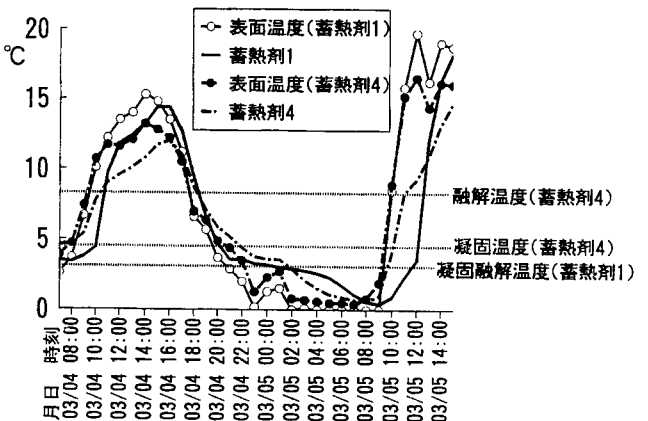


図34 蓄熱剤と舗装表面の温度変化(鋼管タイプ)

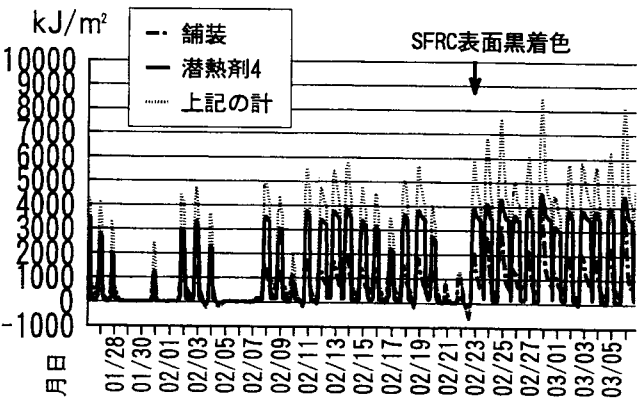


図32 蓄熱剤4 鋼管格納舗装の蓄熱量

図27は、蓄熱剤1、4の各々床版下格納タイプと鋼管格納タイプの温度変化である。これらの図から融点が高い蓄熱剤4では、降雪直前の日中では舗装温度が上昇せずほとんど個体のままとまっていることが分る。蓄熱剤1でも完全に液体となったのは晴天で放射冷却となったのは前日の2月3日のみで、翌朝に降雪のある日は十分に液体にはなっていない。図28・29・30・31・32は、各タイプで舗装体や蓄熱剤が蓄えた単位面積当りの蓄熱量を各

計測温度と表1・図2のモデルから推定したものである。舗装を含めた蓄熱総量を例えば1月29日の降雪開始の1時で比較すると、蓄熱剤1・床版下格納、蓄熱剤4・床版下格納、蓄熱剤1・舗装内格納、蓄熱剤4・舗装内格納で各々301、276、257、151kJ/m²となる。これは図24の1月29日8時30分の積雪深から見積られる融雪順位と対応している。なお、1cmの融雪は335kJ/m²と見積られる。また、28日日中の蓄熱量の3,350~1,430kJ/m²のほとんどが雪の降る29日1時までで奪われてしまうことが分る。特に、舗装表面に近い舗装内格納で蓄熱剤の熱伝導率と凝固温度が高い蓄熱剤4では降雪開始までに奪われる量が多い。融雪だけを考えると、凝固温度を更に幾分か下げた方が良いと考えられる。

次に、SFRC表面を黒く着色した後の降雪について述べる。3月5日は前日21時から雨量換算で8.7mm(融雪熱量換算で2,930kJ/m²)の降雪があった。朝7時11分の状況を示したのが写真4で、舗装表面着色前と違って蓄熱剤4が蓄熱剤1より効果を発揮した。図33・図34は、

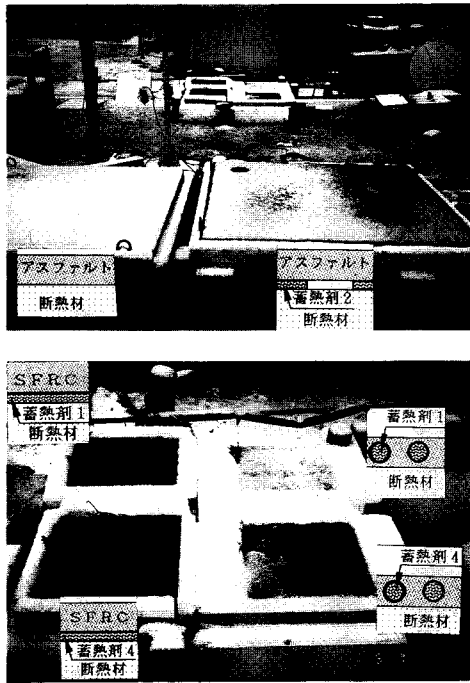


写真4 積雪状況 (3月5日7時11分)

この時間帯の温度変化を示したもので、図26・図27に比べ日中温度が高いことが分る。従って、その蓄熱量は大きく、特に図29～32が示すように潜熱量の大きな蓄熱剤4では大きい。ちなみに、降雪開始の3月4日21時の蓄熱剤1・床版下格納、蓄熱剤4・床版下格納、蓄熱剤1・舗装内格納、蓄熱剤4・舗装内格納、ノーマル床版橋の舗装を含めた蓄熱総量は各々2,370、6,555、850、1,552、723kJ/m²と見積られる。その熱量順位は、写真4の融雪順位と対応している。写真3の前日1月28日と写真4の前日3月4日との気象条件を比較すると、全天日射量は1月28日が大きく気温はほぼ同じである(図23)ことから、表面の黒着色が日射吸収を良くし、融解温度は高いが潜熱量の大きい蓄熱剤4が効果的となったと考えられる。

(4) 放射冷却時とその回復時の状況

降雪が止んだ2月8日以後の1カ月間の各表面温度の変化を示したのが図35,図36,図37である。2月11日朝の表面温度の最低値はノーマル橋で-2.7℃,蓄熱剤1・鋼管格納タイプで-1.9℃~-1.3℃,蓄熱剤1・25mm格納タイプと地盤部は同じで-1.3℃であった。2月12日朝ではそれぞれ-1.9℃, -1.0~-0.4℃, -0.1℃, -0.3℃であった。このようにこの2日間はノーマル橋は地盤部に比べ1.4℃, 1.6℃低くなったが、蓄熱剤1を床版下面に25mm格納することで1.4℃, 2.0℃高くでき、地盤部以上の温度に保てた。蓄熱剤1・鋼管格納タイプで

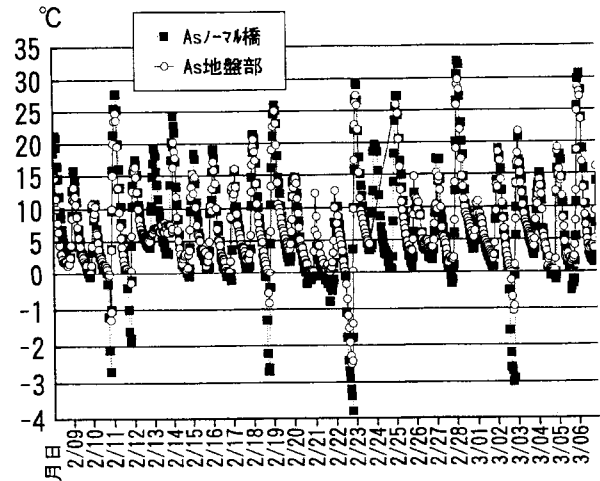


図35 表面温度

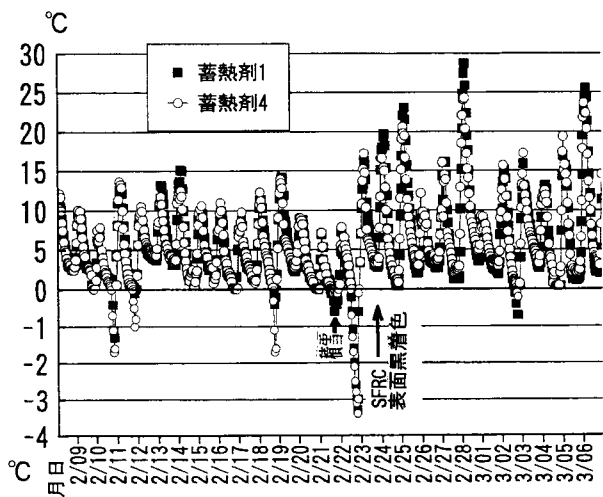


図36 表面温度 (25mm層格納)

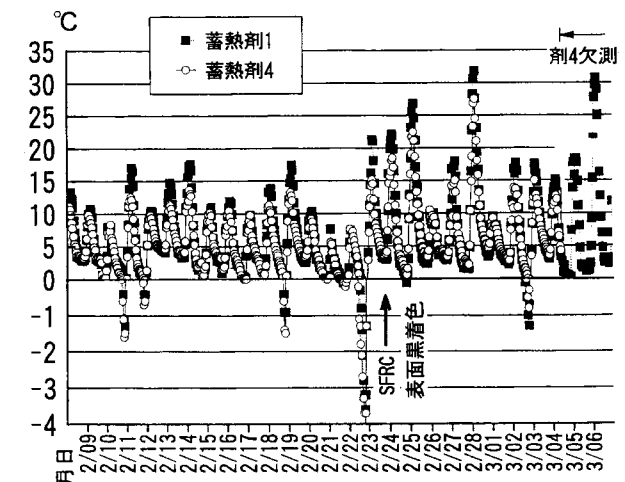


図37 表面温度 (鋼管格納真上)

は、管真上では地盤部と同じに保てたが、管と管の間では真上に比べ0.6℃低かった。11日に比べ12日が蓄熱剤の効果が大きかったのは、凍結前日の天気が12日の方が良くて十分蓄熱されたことによる。この2月11日16時

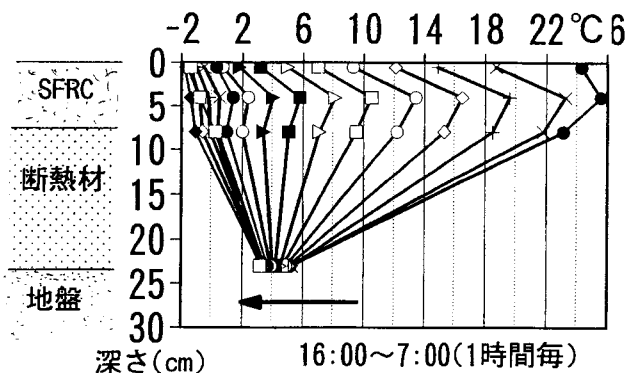


図38 断面温度 (冷却過程) 蓄熱剤なし

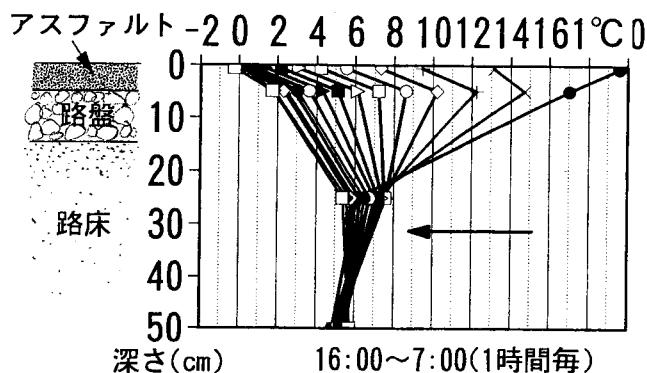


図39 断面温度 (冷却過程) 地盤部

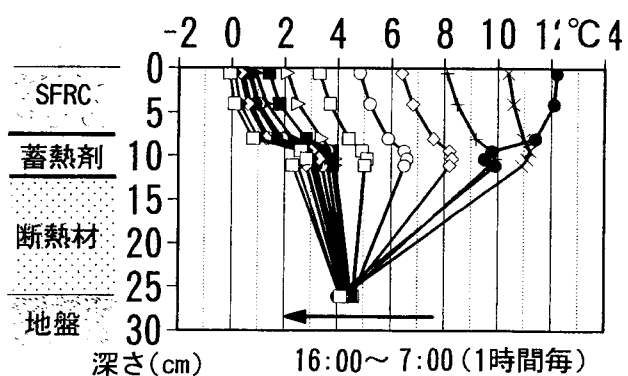


図40 断面温度 (冷却過程) 蓄熱剤1

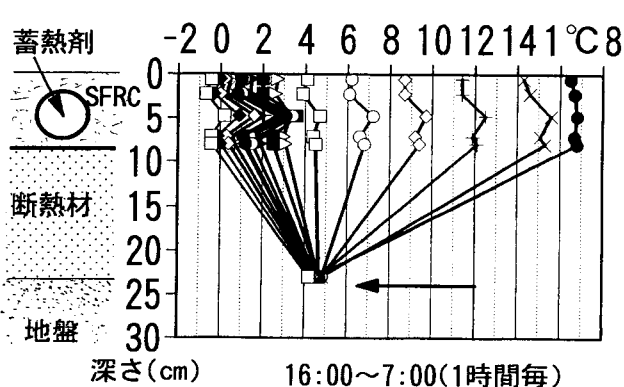


図41 断面温度 (冷却過程) 蓄熱剤1

から翌朝7時までの凍結過程での断面温度を1時間ごとに蓄熱剤なし、地盤部、蓄熱剤1について示したのが図38、39、40、41である。これらの図から蓄熱剤1格納については、蓄熱剤温度が凝固点の約4℃以下となった22時以後その低下が鈍化している。このことが表面温度の低下を抑制につながっている。凍結した2月11日7時以後、日射で温度が上昇した17時までの断面での温度を1時間ごとに示したのが図42である。蓄熱剤1の温度は融点の約4℃までは上昇が遅く、これを越えると一気に上昇している。なお、地盤部舗装が蓄熱剤格納に比べ高いのは、表面舗装の色が違い、日射吸収率が違う影響が含まれている。

次にSFRC表面の黒着色の効果について述べる。図28～32から分るように、もともと表面がアスファルトであったノーマル橋では、2月23日を前後して目立った蓄熱量の増加はないが、蓄熱剤格納方式ではその増加が見られる。特に、融点が高く潜熱量の多い蓄熱剤4を舗装表面から離れた所で25mmと多く格納する図30では顕著である。そして、このタイプの最低表面温度は、2月11日・12日・19日では蓄熱剤1に比べ劣っていたが、SFRC表

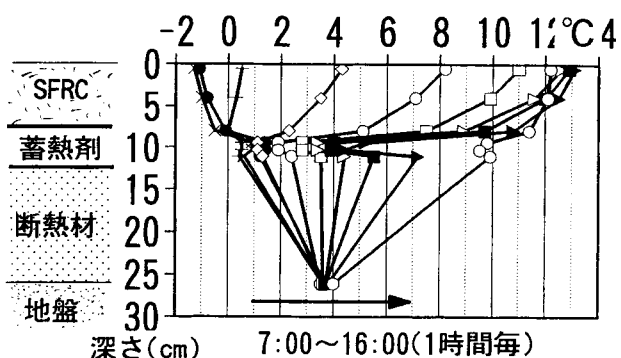


図42 断面温度 (蓄熱過程) 蓄熱剤1

面を黒く着色した後の3月3日朝についてみると、ノーマル舗装、蓄熱剤1、地盤部に比べ、それぞれ2.8℃、0.6℃、0.9℃高くなっている。これは図43の蓄熱剤4の温度が示すように、以前の前日温度と違って3月2日には融点以上になって液化して十分蓄熱されていることによる。

このように舗装表面の黒着色での日射吸収率の上昇は、蓄熱剤1に比べ高融点で潜熱量の大きい蓄熱剤4で効果的であった。従って、当初から表面を黒くしておれば、

蓄熱剤4の方が蓄熱剤1より高い効果が得られたと推測される。蓄熱剤4・鋼管格納タイプに関しては、蓄熱剤1との比較ではほぼ同様なことが言える。が、格納する位置が舗装表面に近く、かつその量も少ないため、白い表面でも液化されやすく、25mm格納ほどの効果にはならないことが図43と図44の比較から分る。

最後に、期間中最も舗装が冷えた2月23日について述べる。これは、前日までの全天日射量が少なく気温も低く(図23)蓄熱剤での蓄熱量が少ない(図28~32)状態になっていたところに、23日深夜から雲がなくなり放射冷却となったケースである。この早朝の舗装表面の最低温度は、ノーマル橋-3.8℃、地盤部-2.6℃に対して、蓄熱剤1・25mm格納は-3.3℃で、蓄熱剤方式では地盤部に比べて同じ凍結にはできなかった(図33・34)。舗装表面の黒着色に期待をつなぐところとなった。

(5) 1か月間での効果

舗装表面の凍結強度を0℃以下になった温度とその時間の積で表し、2月8日から3月7日までの1ヵ月について、その累計値を示したのが図45である。ノーマルな鋼床版橋では累計値が-71.1℃・hrであり、地盤部は-21.3℃・hr、蓄熱剤1・25mmを格納した鋼床版橋は-25.7℃・hrとほぼ地盤部近くまで凍結を少なくできたことが分る。鋼管格納タイプでは、25mm格納に比べその効果は蓄熱剤量が約1/2と少ないことから少ない。またこのタイプでは、管の真上の表面温度と管と管の中間の表面温度で19℃・hrの違いが生じることが分った。そして、蓄熱剤1格納表面の平均は-37.1℃・hrであった。

更に、表面を黒く着色した後の3月3日の凍結では、蓄熱剤格納タイプの凍結強度が地盤部舗装のそれに比べ、25mm格納では蓄熱剤1,4の両方とも少なくなっている。特に蓄熱剤4では表面黒着色での改善が著しい。従って、当初から表面を黒く着色していたなら、路面の積雪・凍結の状態をより改善することができたと推測される。

5. 耐久性・コスト・施工など

ここでは、勝山市の地盤部で施工した蓄熱剤1を格納した施工について述べる。当該現場での施工費用を積算したのが表3である。表3には、凍結緩和舗装の各工法との比較をその耐久性・持続性を仮定して30年間でのトータルコストとして検討したものを記した。それらの仮定が妥当なら、当該工法は初期建設費は高いものの、従来の工法に比べてトータルには優れることとなる。効果、

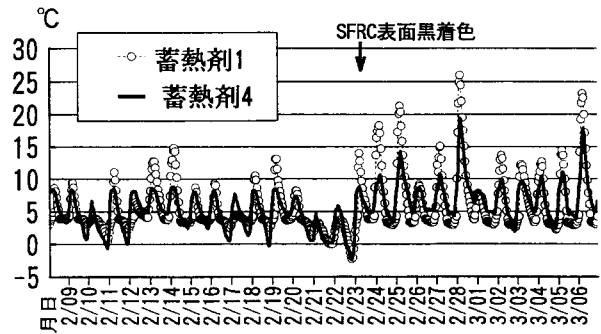


図43 蓄熱剤 (24mm厚格納) の温度

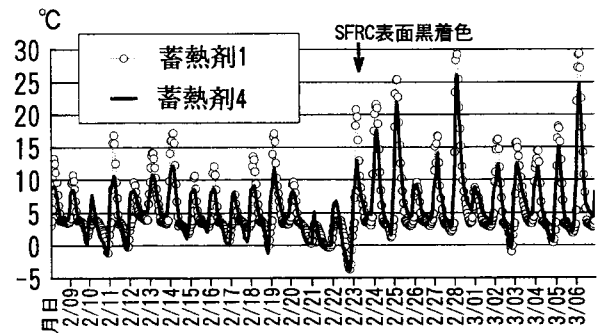


図44 蓄熱剤 (鋼管格納) の温度

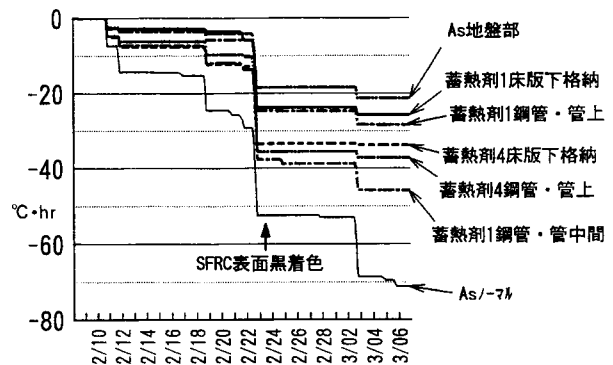


図45 凍結強度累計 Σ(0℃以下の表面温度×時間)

持続性、耐久性を正確に他工法と比較することが課題と思われる。

さて、芒硝系蓄熱剤については、食塩同様に錆の進行を促進させることが一般に問題となる。しかし、密閉した鋼の中では、錆の進行 $Fe + 1/2 \cdot O_2 + H_2O \rightarrow Fe(OH)_2$ に不可欠な酸素と水がなくなり、最初錆が鋼表面にわずかに生じる程度で局部腐食なども生じないことを確認している。

鋼管をSFRCで包む当該工法では、舗装にひび割などが生ないか懸念したが、自動車類566(大型78)台/12hの交通量で現在のところ問題がない。またSFRCを用いることで鋼管の外部からの錆は少なくなること¹⁰⁾、ま

表 3

		当初(円/㎡)		30年(円/㎡)	耐久・持続年、再生工事回 切削込み工事費(円/㎡回)
蓄熱剤格納舗装	珪石骨材AS表層	1,530	厚さ3.0cm	8,280	7年, 30/7-1回 2,000円/㎡回
	蓄熱剤格納鋼管ユニット	12,600	蓄積剤13.2ℓ/㎡ * 250円/ℓ=3,300円/㎡	12,600	コンポジット舗装で耐流動
	珪石骨材SFRC	2,930	厚さ8.26cm	2,930	
	ノーマルコンクリート	2,250	厚さ11.74cm	2,250	
	下層路盤	880	厚さ20.0cm	880	
	直接工事計	20,190		26,940	
	経費	10,730	7590(工場製作除く)*75%	15,800	
工事費合計	30,920	12600(工場製作)*40%	42,700		
ノーマル舗装	アスファルト表層	1,500	厚さ5.0cm	9,500	6年, 30/6-1回 2000円/㎡回
	アスファルト基層	1,500	厚さ5.0cm	1,500	
	上層路盤	540	厚さ10.0cm	540	
	下層路盤	880	厚さ20.0cm	880	
	直接工事計	4,420		12,420	
	経費	3,310	75%	9,320	
	工事費合計	7,730		21,740	
塩入り舗装	塩入りAS摩耗層	2,400	厚さ3.0cm	28,500	3年, 30/3-1回 2900円/㎡回
	アスファルト表層	1,500	厚さ5.0cm	1,500	夏沸いて効果持続期間が暖地積雪地で短い
	アスファルト基層	1,500	厚さ5.0cm	1,500	
	上層路盤	540	厚さ10.0cm	540	
	下層路盤	880	厚さ20.0cm	880	
	直接工事計	6,820		32,920	
	経費	5,110	75%	24,690	
工事費合計	11,930		57,610		

た舗装目地も埋設鋼管の効果と合わせ少なくできると考えられる。当該現場では79mの施工区間を目地を設けずに施工した。

6. まとめ

地盤部舗装では、3.1℃で凝固・融解する蓄熱剤1を内径41.6mmの鋼管に詰め珪石使用の高熱伝導舗装に100mmピッチで格納した舗装は、福井県の寒冷地勝山市の気象条件で、従来の舗装表面の凍結程度を1シーズンで31% (200℃・hr/647℃・hr) にまで削減できることが分かった。蓄熱剤2,3は凝固・融解温度が高くて、勝山市では効果が少なかった。

鋼床版橋については、下面を断熱した厚さ25mmの蓄熱剤1を床版下に格納した珪石骨材の舗装の表面は、福井市内で、凍結と積雪の状況をほぼ地盤部舗装にまで改善できることが分かった。また、このコンクリート舗装の表面を黒くすると、融解温度は9℃と高いが凝固潜熱量の

大きい蓄熱剤4が蓄熱剤1より効果的となった。

蓄熱剤の量が換算厚さで13mmと少ない鋼管格納タイプでは、地盤部舗装の凍結程度-21.3℃・hrまでには改善できないが、ノーマルな鋼床版の凍結程度-71.1℃・hrを蓄熱剤1で-37.1℃・hrにまで改善できた。

以上、凝固潜熱剤を舗装に格納すれば暖地積雪地では路面凍結を大幅に緩和できることが分かった。更に、鋼床版橋のみが凍結する問題は太平洋側でも問題になっており、日射量が多いこうした地域では当該工法はより効果的と思われる。全く新しい試みだけに蓄熱剤やその設置方法など開発の余地が大きい。鋼床版橋については、実橋による試験施工を道路建設課、福井土木事務所の協力を得て現在進めている。

謝辞 当該研究では、蓄熱剤についてはメーカー関係者、三菱電機(株)中央研究所木村寛氏、酒井理化学研究所酒井弥氏に、熱については福井大学竹内正紀教授、舗装については建設省土木研究所中村俊行室長、飛鳥道路(株)、

(株)ガイヤート熊谷、日本道路(株)、蓄熱剤の錆については日本鋼管(株)総合材料研究所の松島巖氏、鋼管計測(株)酒井潤一氏、珪石骨材 SFRC や橋梁模型については福井アスコン(株)、福井鉄工(株)、福井県生コンクリート工業組合、(株)横河ブリッジ寺田博昌氏、名古屋工業大学梅原秀哲助教授、名古屋高速道路公社の前野裕文氏、加藤三樹夫氏、(株)奥村組の東邦和氏に、現場施工では勝山土木事務所、大野土木事務所、職場のみなさんに大変お世話になったことを記し謝意とする。

参 考 文 献

- 1) 洲崎治平, 井上要三, 仙黒邦行, 飯塚敏樹, 矢島篤: 橋梁部における路面凍結調査, 雪と道路, No.21, pp.60~70, 1989年
- 2) 山田忠幸, 福原輝幸, 横江重行, 元木真二: サーマルマッピングに観られる橋梁路面温度特性, 土木学会第49回年次学術講演概要集第4部, pp.650~651, 1994年
- 3) 宮本重信: 凝固潜熱利用による路面凍結緩和の実験, 第11回日本雪工学会論文報告集, pp.81~86, 1994
- 4) 小坂岑雄, 木村寛, 朝比奈正, 埜田博史, 田尻耕治: 低温度用潜熱形蓄熱の研究開発(I), 名古屋工業技術試験所報告第36巻第4・5号, pp.104~119, 1987年
- 5) 財新エネルギー財団, 新エネルギー産業会議技術開発委員会低温熱源利用技術分科会: 低温熱源を利用した技術開発の現状に関する調査, 1989年
- 6) 宮本重信: 舗装の凍結シミュレーション, 第7回日本雪工学会論文報告集, pp.157~162, 1990年
- 7) 宮本重信: 蓄熱剤格納による路面凍結緩和の実験的研究, 土木学会第49回年次学術講演概要集第5部, 1995年予定
- 8) 佐藤章次・前野裕文他: 鋼繊維補強コンクリート舗装を施した鋼床版の合成効果, pp.26~32, 橋梁と基礎86-2
- 9) 中井他: トラス型ジベルを用いた合成床版の設計・製作・施工について, 土木学会論文集 No.486/V-22 pp.65-74 1994. 3
- 10) 小林一輔, 星野富夫, 辻恒平: 海洋環境下における鋼繊維補強コンクリートの鉄筋防食効果, 土木学会論文集第414号/V-12, pp.196~203, 1990.2

舗装の熱拡散率の逆解析

宮本重信

1. はじめに

路面凍結や路面の融雪を扱うと舗装の熱特性を求めることが必要となる。熱特性の中で熱拡散率を直接求める計測機は適当なものがなく、熱伝導率を熱容量で除して求めていた。しかし、市販の熱伝導率測定装置(ヒートプローブ法)で不均一材料のセメント・コンクリートやアスファルト・コンクリートの熱伝導率を求めると、かなりのばらつきが見られ結果に信頼性が得られない。

そこで、舗装の条件としての熱拡散率を舗装のコアに温度センサーを3点以上設置し逆算的に求めることを試みた。

2. 熱拡散率の算出方法

図1のような一次元とみなせる平板の上下面に温度変化を与え、その平板内の3点の温度変化を記録する。最初の温度場と上下2点の温度が時間とともに与えられ、更に熱拡散率が既知なら上下2点の間の温度場は前進差分法で求めることができる。ここで、実測した中間温度と最も近い計算値を与えるような熱拡散率を求めれば、それが舗装の熱拡散率だと推定できる。

ここでは、舗装の熱拡散率は舗装温度の一次関数として与えられるとして、

$$\text{舗装熱拡散率} = \text{舗装温度}(\text{°C}) \times K + A$$

で表し、数分ごとに計測された計測値と実測値の差の平方が最も小さくなるようなK、Aの定数を求めることとした。

計測の対象には試験施工現場での採取されたコアおよびコンクリート圧縮試験用供試体の直径10cmの円柱を用いた。一次元であることは、円中央と中央から2cm離れた点での温度に違いがないことで検証した。

珪石骨材鋼繊維補強コンクリートコアの上面に温度変化を与えた際の深さ0mmと深さ40mmの計測データを与え、熱拡散率 = $.00358 - 0.000007 \times \text{舗装温度}(\text{°C})$ として中間部の温度を計算値し、その6分ごとの結果と実測値に示したのが図2である。図において、実測値は●で、計算値は線で示した。この値では、10、20、30mmの深さでの

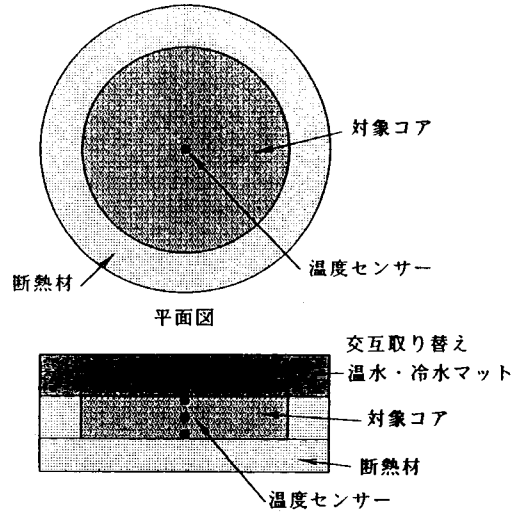


図1 計測の方法

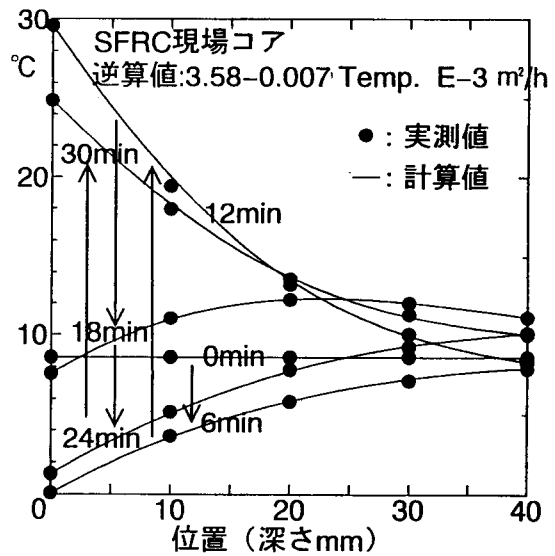


図2 実測値と逆算熱拡散率での計算値

計算値と実測値が不均一なコンクリートであるにもかかわらずよく一致していることが分る。2秒ごとに計測された実測値と計算値の差の平方の累計を求め、次にK、Aの定数を変えて同様に差の平方の累計を求める。こうして得られた結果をK、AをそれぞれX軸Y軸に差の平方累計値の等値線で示したのが図3である。この例では、

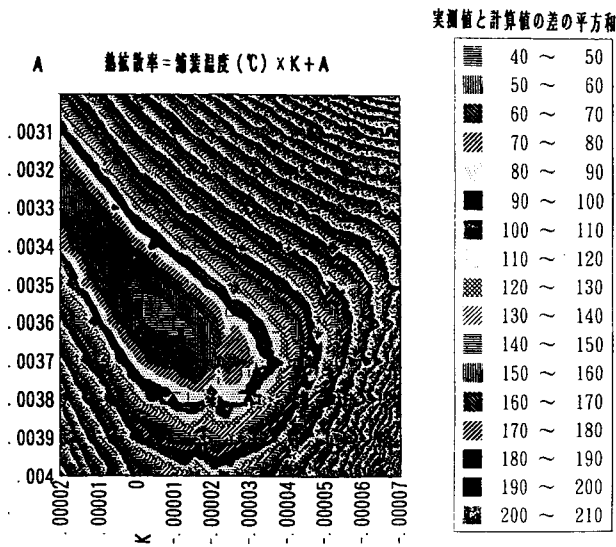


図3 実測値に近いK, Aの算出

平方累計値の極小値を与えるA, Kを読み取ると、各々0.00358, 0.000007で、この値が熱拡散率であると推定される。実はこの結果から得られる計算値と実測値の比較を先に図2で示したのである。

3. 各種舗装の熱拡散率

上記の方法で凍結緩和と関わる舗装のコアの熱拡散率

を求めた。表1は、その結果を一覧にしたものである。なお表には、迅速熱伝導率測定機（京都電子工業㈱）を用いた熱伝導率の計測結果を参考として記載し、その熱伝導率を熱拡散率で除した熱容量をも記載した。

熱拡散率の推定結果は、熱伝導率の高い珪石骨材使用のものが大きく、常温の値として絶対値として概ね妥当な値と思われる。しかし、一般に温度が上昇すると熱拡散率は小さくなるとされているが、そうならないものが多いことが問題で、もっと温度変化の幅を大きくするなどが必要と思われる。なお、迅速熱伝導率測定機での熱伝導率の測定は、設置するコアの骨材の位置関係でかなり大きくばらつき、問題があるように思われ、そのことが、熱容量に影響しているように思われる。

4. おわりに

温度の変化の与え方や温度計測の位置などを変えた時にも同じ様な値を得ることができるのか、また均一材料でかつ熱拡散率の自明なレファレンスでのチェックなどを行い、当該試験方法を信頼性を得たいと考えている。最後に、熱伝導率の計測値は、福井県生コンクリート工業組合の値を一部使わせていただいた。記して感謝の意とする。

表1 推定された熱拡散率一覧（熱容量は20℃の熱拡散率で計算）

	骨材		熱拡散率 $10^{-3} \text{ m}^2/\text{h}$	熱伝導率 W/mK	熱容量 J/($\text{cm}^2 \cdot \text{K}$)
アスファルト	珪石	現場コア	$5.15 - 0.02 \cdot T$	3.50	2.65
アスファルト	安産岩	現場コア	$2.75 + 0.03 \cdot T$		
アスファルト	安産岩	現場コア	$2.7 + 0.02 \cdot T$	1.72	2.00
コンクリート(SFRC)	珪石	現場コア	$3.58 - 0.007 \cdot T$	2.19	2.30
コンクリート(SFRC)	珪石	試験供試体	3.47	2.34	2.43
コンクリート	珪石	試験供試体	3.15	1.92	2.19

路面凍結センサーの設置試験観測（その1）

宮本重信・杉森正義

1. はじめに

スパイクタイヤ規制以降、路面凍結対策が大きな課題となっている。対策方法には、①凍結の原因となる雪または水分の速やかな排除、②路面の温度低下の抑制、③路面凍結の抑制または解除、があげられる。これらについての実際の工法は一長一短があり、いずれも道路の全区間にわたって実施することは費用等の問題で困難である。各種方法の効率的な実施と、一方では道路情報を一般ドライバーに周知し、凍結スリップによる事故を未然に防止することがこれからの技術的課題であると考えられる。

路面凍結状態検知のためのセンサーは各種作られているが、電極間の静電容量値の変化を利用したセンサーの福井における有効性を調べるのが本研究の目的であり、このセンサーを使って路面状況の時間的変化がわかれば、効果的な凍結防止剤の散布方法につなげることが期待できる。また、一般ドライバーに伝達する路面情報として使えることも見込んでいる。今回は第一段階として目視された路面状態とセンサー出力の関係について調べる。

2. 設置方法

設置場所：県道栃神谷鳴鹿森田線勝山市北郷町地係

設置機具：木村電気製作所誘電式路面凍結検知器

円柱型電極 DPF-CG

このセンサーの原理は、同心円状に配置されている電極を、路面の表面に埋設するものである。この電極に低圧で高周波を与えて電極間の電気容量を測定し、電気容量は電極周辺の物質の誘電率によって変わることを利用し、逆に電極の周辺、すなわち、路面に、雪または氷状態の物質があるかどうか、また、外気温および路面温度との関係で、路面がどのような状態であるかを検知しようとするものである。

センサーは路側から50cm入った轍の位置に埋設し、温度測定には、センサー近傍で表面から約2cm深さにTT C温度センサーを埋設した。

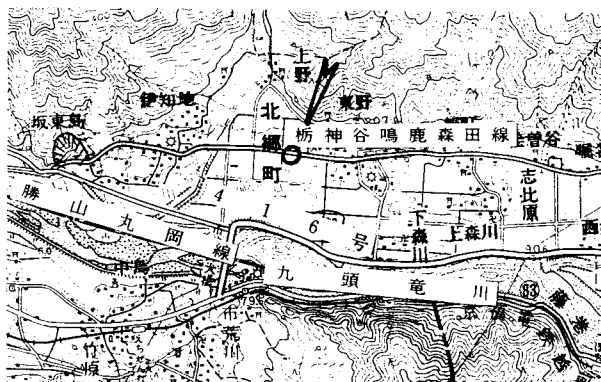


図1 観測位置

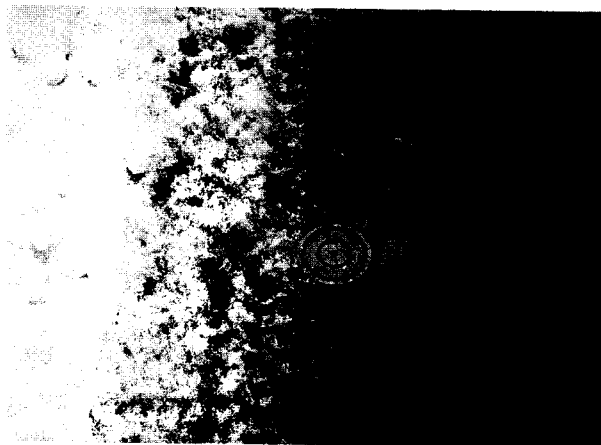


写真1 センサー設置状況

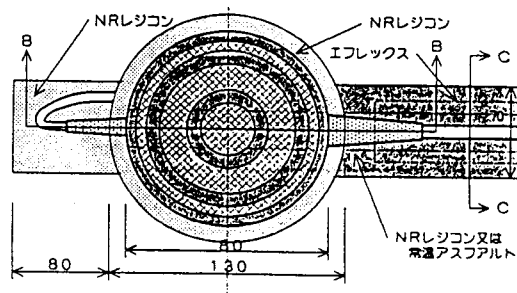


図2 センサー構造図

3. 観測方法

次の項目について時期記録をとった。

気温 路面温度（道路センター、わだち部分）

センサーの静電容量

路面状態は、ビデオテープによる録画の目視により次のカテゴリーに分けて判断した。

乾燥

湿潤

降雪

積雪

圧雪

氷膜

降雨

シャーベット

注) シャーベットは学会誌関係ではスラッシュと表現されている。

4. 観測データ

センサーの記録の入手があり、かつビデオカメラの録画の判別ができた期間は下記の期間であり、この間の1時間毎または30分毎のデータにより解析を行った。

- ① 平成6年12月16日～平成7年1月7日
- ② 平成7年1月10日～ 1月19日
- ③ 2月9日～ 2月19日

データの記録は①②の期間は1時間毎、③の期間は30分毎に収集した。観測期間とデータの収集時間間隔ははじめから意図して選別したものではない。

5. 観測結果

5-1. 路面状況データ数

上の期間で収録したデータについて、かくカテゴリーに入るものとして判断された数は以下の通りである。

乾燥	616
湿潤	176
降雪	82
積雪	145
圧雪	12
氷膜	24
降雨	65
シャーベット	42

路面状態の判断はビデオテープ画像の目視によるものであり、判別が難しく、どこかに強引に決めた場合もある。

5-2. 気温と路面温度の関係

各状態のデータの集計結果を図3～図10に示す。

湿潤および降雨のデータは気温がプラスの領域だけであり、この領域では乾燥、湿潤および降雨の場合の区別は難しい。乾燥、湿潤および降雨の場合について、12月、1月、2月と経過するにつれて、気温に対する路面温度の立ち上がりが大きくなる。理由は、日射の高度が高くなることによるのであろう。

乾燥の場合の気温がマイナスの領域では氷膜の場合との区別ができない。

降雪、積雪、シャーベットの場合は当然ながら路面温度は0℃に近いものである。0℃より離れているデータについて、降雪があったとしても路面に積もるまでにはいたっていないのであろう。積雪、シャーベットの場合は路面状況の判断の誤りかも知れないがここではこのままにしておく。

圧雪の場合については事例が少ないが、路面温度は0℃に近い値をとり、気温が-4℃程度の時は路面温度は-1℃以下に下がっているようである。

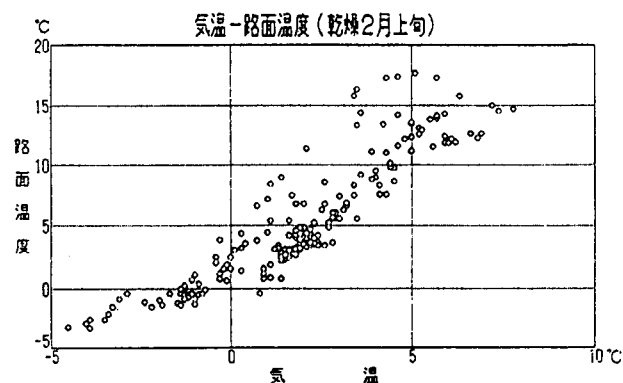


図3 路面温度と気温の関係（乾燥）

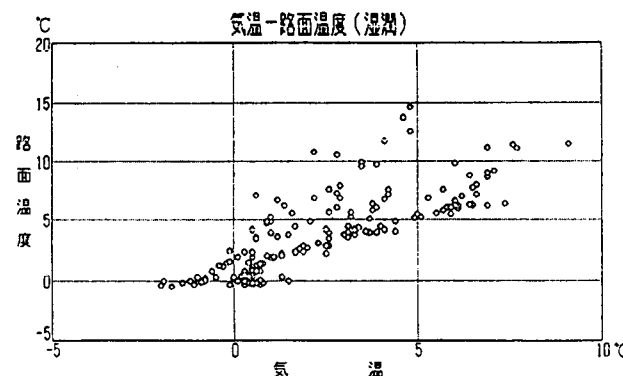


図4 路面温度と気温の関係（湿潤）

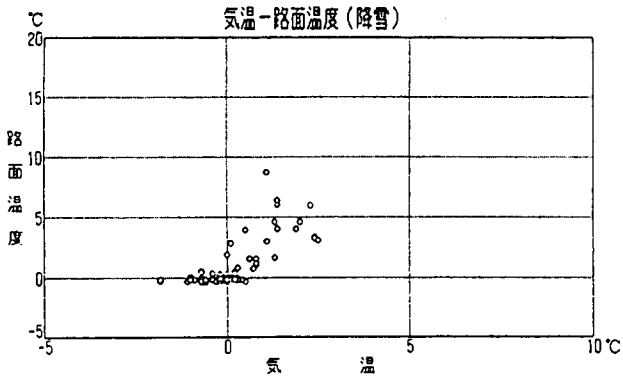


図5 路面温度と気温の関係（降雪）

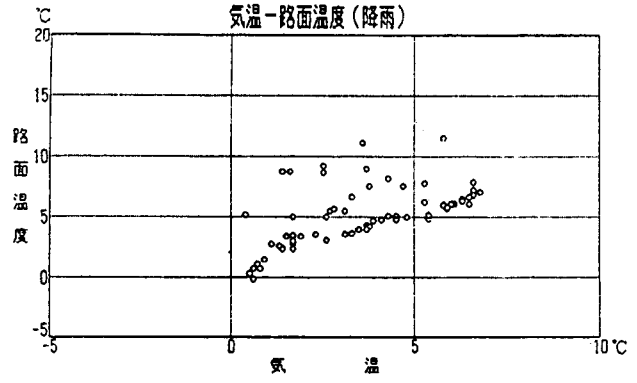


図9 路面温度と気温の関係（降雨）

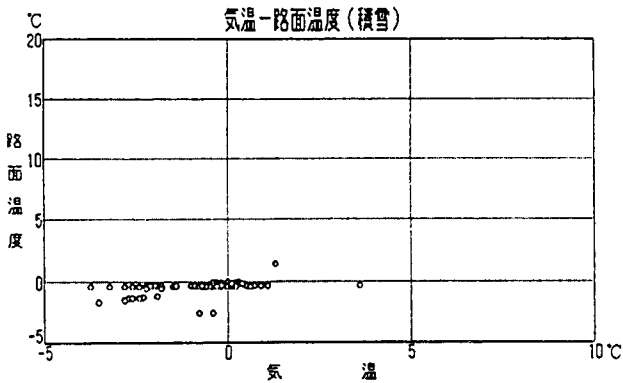


図6 路面温度と気温の関係（積雪）

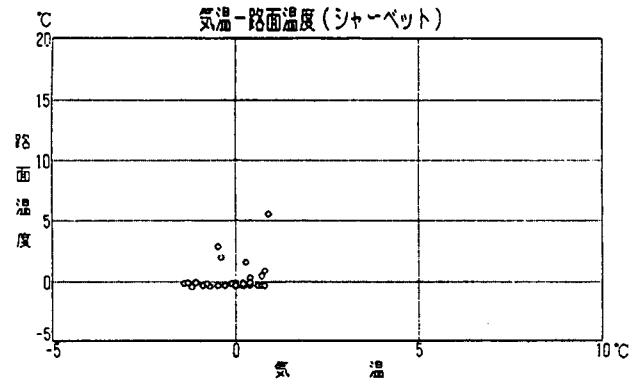


図10 路面温度と気温の関係（シャーベット）

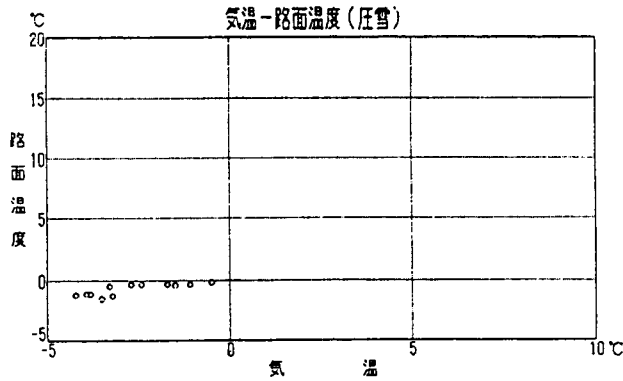


図7 路面温度と気温の関係（圧雪）

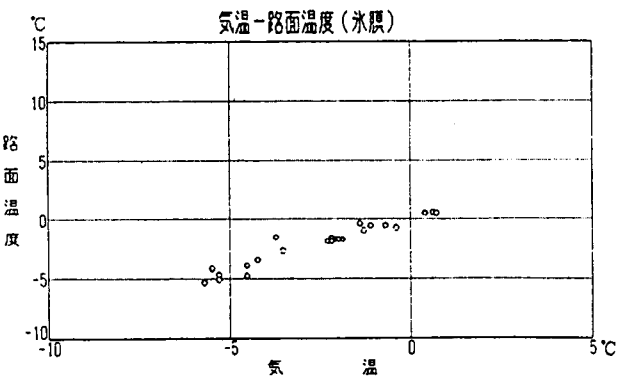


図8 路面温度と気温の関係（氷膜）

われわれが目的とするのは、気温がおおよそ3℃以下になったときの路面状態の識別である。図3～図10の結果から、気温と路面温度の関係のパターンと予想される路面状態の種別は次のようになる。

パターンA

気温 3℃～0℃
 路面温度 気温より高い
 路面状態の種別 乾燥 湿潤等 まれに降雪

パターンB

気温 3℃～0℃
 路面温度 0℃～-0.5℃
 路面状態の種別 積雪等

パターンC

気温 0℃～-1.5℃
 路面温度 0℃～-0.5℃
 路面状態の種別 乾燥 積雪等 氷膜

パターンD

気温 0℃～-1.5℃
 路面温度 -0.5℃以下
 路面状態の種別 乾燥 氷膜

パターンE

気温 -1.5℃以下
 路面温度 0℃～-0.5℃
 路面状態の種別 積雪等

パターンF

気温 -1.5℃以下
 路面温度 -0.5℃以下
 路面状態の種別 乾燥 圧雪 氷膜

注) 湿潤等……湿潤、降雨

積雪等……降雪、積雪、圧雪、シャーベット

以上により、気温と路面温度の関係から路面状態の識別の振り分けができたことになる。

5-3. 静電容量値と路面状態との関係

観測結果の集計を表1に示す。

各カテゴリーとして示される路面状態について、静電容量の範囲毎の出現頻度は表2の通りである。これにより、先に示した気温の路面温度の出現のパターンと路面

表1 静電容量値の結果 (pF)

路面状態のカテゴリー	データ数	平均値	最大値	最小値	標準偏差値
乾燥	616	3.71	38	1	4.47
湿潤	176	7.98	35	1	5.27
降雪	82	18.2	50	5	11.6
積雪	145	32.6	81	6	14.9
圧雪	12	13.1	26	5	7.1
氷膜	24	5.8	7	5	0.68
降雨	65	11.3	38	3	5.7
シャーベット	42	25	54	8	12.7

状態の振り分けと、表2の出現頻度を使って、気温、路面温度および静電容量の3データの組み合わせに対する路面状態の識別を調べることができる。

方法は次のように行う。

カテゴリー S_i のデータの総数を N_i とおく。静電容量が f (pF)の範囲にある N_i のうちのデータ数を n_i とする。また、カテゴリー S_i の出現の確率を a_i とおく。

気温と路面温度の組み合わせパターンXに対して、静電容量が f であったとき、路面状態を S_i と判断する確率(期待値) E_i は次で与えられるものとする、

$$E_i = \frac{a_i \cdot n_i / N_i}{\sum a_i \cdot n_i / N_i} \quad (1)$$

となる。(1)式の計算はパターンXに関係する路面状態を抽出して行うものとする。このことを説明すると、パターンAに対しては、乾燥、湿潤、降雨および降雪のカテゴリーに対して行うことになる。

ここで、 a_i のとりかたが問題になる。各カテゴリーのうちデータ数には差があり、きわめて少ないものもある。それは路面状態が継続する実際の時間(期間)の長さを反映しているのであるが、ある一つのデータがあって、路面状態の判定を求められたと想定した場合は、各状態に対する期待値は等しいと仮定しておく。このようにして計算事例を示す。

パターンA

この場合、さきに示したように、期待される路面状態は、乾燥、湿潤、降雨および降雪である。静電容量がある範囲で与えられたときの各々について出現の期待値を求める。期待値は判定値ともいうことができる。

5 pF 以上10pF 未満

$$\text{乾燥} : 0.122 / (0.122 + 0.436 + 0.28 + 0.354)$$

表2 路面状態と静電容量分布

静電容量値範囲 (以上～未満)	観測値分布 (100分比)							
	乾燥	湿潤	降雪	積雪	圧雪	氷膜	降雨	シャーベット
1pF～5pF	80.0	23.8					3.1	
5～10	12.2	43.6	28.0	5.5	33.3	100	35.4	11.9
10～20	5.8	27.9	35.4	9.6	41.6		55.4	26.2
20～30	1.8	4.0	17.1	31.7	25.0		4.6	26.2
30～40	0.2	0.6	12.2	29.0			1.5	21.4
40～50			6.0	13.1				7.1
50～			1.2	11.0				7.1

*100=10.2%

湿潤：0.436/(0.122+0.436+0.28+0.354)

*100=36.6%

降雨：0.354/(0.122+0.436+0.28+0.354)

*100=29.7%

降雪：0.28/(0.122+0.436+0.28+0.354)

*100=23.5%

このようにして路面状態の出現の判定値を求めると表

3のようになる。この中で、路面状態の出現がいずれも0とあるのは、観測データからは出現値が得られなかったということである。表3の数値は今回の観測に基づいたものである。今後精度の確認が必要である。

5. まとめ

ここで用いたセンサーは福井においても、路面状況判定に使用できることが見込まれる。

表3 路面状態出現の判定表

静電容量 範囲	気温と路面温度のパターン					
	パターンA	パターンB	パターンC	パターンD	パターンE	パターンF
	気温 3℃~0℃ 路面温度 0℃以上	気温 3℃~0℃ 路面温度 0~-0.5℃	気温 0~-1.5℃ 路面温度 0~-0.5℃	気温 0~-1.5℃ 路面温度 -0.5℃以下	気温 -1.5℃以下 路面温度 0~-0.5℃	気温 -1.5℃以下 路面温度 -0.5℃以下
1 pF 以上 } 5 pF 未満	乾燥 75 % 湿潤 22 % 降雪 0 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 % 降雨 3 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 0 % 積雪 0 % 圧雪 0 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 0 %	乾燥 100 % 湿潤 % 降雪 0 % 積雪 0 % 圧雪 0 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット 0 %	乾燥 100 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 0 % 積雪 0 % 圧雪 0 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 0 %	乾燥 100 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 0 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット %
5 pF 以上 } 10 pF 未満	乾燥 10 % 湿潤 37 % 降雪 23 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 % 降雨 30 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 22 % 積雪 43 % 圧雪 26 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 9 %	乾燥 7 % 湿潤 % 降雪 15 % 積雪 3 % 圧雪 17 % 氷膜 52 % 降雨 % シャーベット 6 %	乾燥 11 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 89 % 降雨 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 22 % 積雪 43 % 圧雪 26 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 9 %	乾燥 8 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 23 % 氷膜 69 % 降雨 % シャーベット %
10 pF 以上 } 20 pF 未満	乾燥 5 % 湿潤 23 % 降雪 28 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 % 降雨 44 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 31 % 積雪 9 % 圧雪 37 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 23 %	乾燥 5 % 湿潤 % 降雪 30 % 積雪 8 % 圧雪 35 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット 22 %	乾燥 100 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 31 % 積雪 9 % 圧雪 37 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 23 %	乾燥 12 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 88 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット %
20 pF 以上	乾燥 4 % 湿潤 10 % 降雪 74 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 % 降雨 12 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 18 % 積雪 41 % 圧雪 12 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 29 %	乾燥 1 % 湿潤 % 降雪 17 % 積雪 40 % 圧雪 12 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット 30 %	乾燥 100 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット %	乾燥 % 湿潤 % 降雪 18 % 積雪 41 % 圧雪 12 % 氷膜 % 降雨 % シャーベット 29 %	乾燥 7 % 湿潤 % 降雪 % 積雪 % 圧雪 93 % 氷膜 0 % 降雨 % シャーベット %

凍結抑制剤散布時の状況については今回は取り上げていないので次回以降調査したい。

ビデオカメラによる録画の判定で不明瞭な点があったので、今後は現地との確認と、また観測例を増やして精度をあげたい。

文 献

武市 靖・前野紀一・久保 宏；路面凍結の検知と推定手法に関する研究，北海道学園大学工学部研究報告第19号，p31-51，平成4年2月。

高熱伝導アスファルト試験舗装(3)について

幅岸勝雄・杉森正義

1. まえがき

舗装体の熱伝導率を高めることにより、放熱管からの熱を早く舗装表面に伝え、無散水融雪における融雪効果を上げることを目的に開発したアスファルト合材について、地熱を利用して凍結防止および除雪における圧雪防止効果を調査研究するため、豪雪地帯および特別豪雪地帯で試験舗装を施工し、追跡調査を行った。

2. 試験舗装の概要

2-1 豪雪地帯地区（福井土木事務所管内）

施工場所：福井市和田地係（国道158号線）

施工日：平成4年7月10日

工事内容：切削オーバーレイ工（ $t = 5\text{ cm}$ ）

密粒度アスコン(13)

$L = 100\text{ m}$ $A = 620\text{ m}^2$

密粒度アスコン(珪石13)

$L = 100\text{ m}$ $A = 620\text{ m}^2$

2-2 特別豪雪地帯地区（大野土木事務所管内）

施工場所：大野市坂戸地係（国道158号線）

施工日：平成4年10月5～6日

工事内容：切削オーバーレイ工（ $t = 5\text{ cm}$ ）

密粒度アスコン(13)

$L = 145\text{ m}$ $A = 1560\text{ m}^2$

密粒度アスコン(珪石13)

$L = 85\text{ m}$ $A = 900\text{ m}^2$

交通量は平成2年10月の交通量調査によると次のようになっている。

福井市和田東地点：17,081台/12H

大野市乾側地点：8,553台/12H

（全国道路交通情勢調査一般交通量調査報告書 平成5年5月 県土木道路建設課資料より）

3. 平成6年度調査結果

3-1 目視観測

3-3-1 降雪時の路面状況

特別豪雪地帯の大野市坂戸地係における路面状況は、写真-①のとおりである。（平成7年1月31日午前9時）



写真-①

降雪時の状況を観察した結果、珪石も安山岩も大きな変化があるとは思えない。

3-1-2 凍結時の路面状況

凍結後の融解時および除雪における圧雪後の融解時において観察した結果、珪石の方が安山岩に比べ融けだすのがやや早いように見受けられた。

3-1-3 路面状況の摩耗状態

試験舗装施工から約2年半後の福井市和田地係の路面

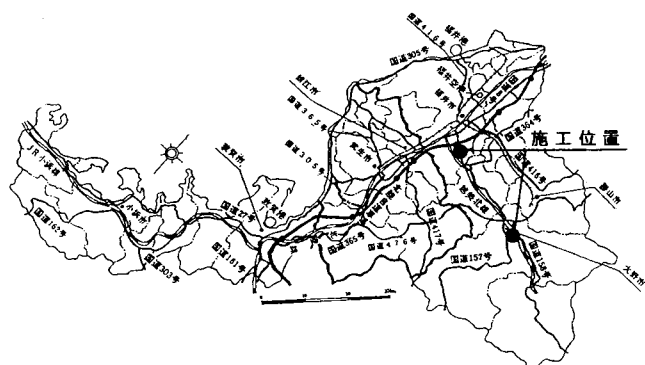
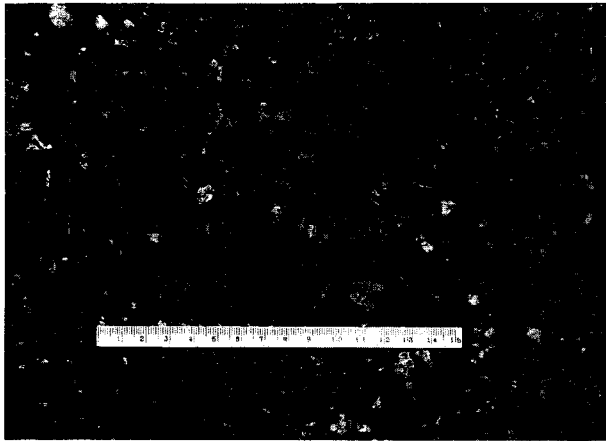
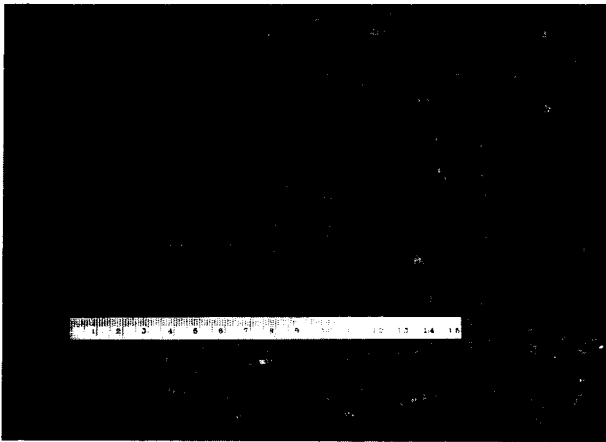


図-1 試験舗装施工位置図

状況は写真②、③のとおりである。



写真② (骨材は珪石)



写真③ (骨材は安山岩)

路面の状態を観察した結果、珪石も安定岩も路面にひびわれ、クラック、輪だち等がなく両舗装に差異は認められない。

3-2 摩耗量調査

3-2-1 観察調査

計測項目を表示すると図-2のとおりである。

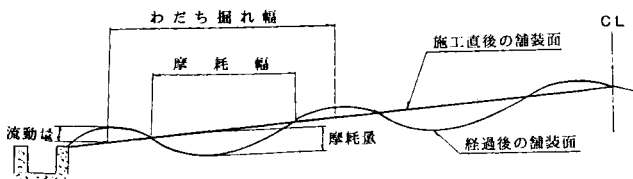


図-2

最大摩耗量：測線ごとの最大摩耗量の最大値

変形量： $(\Sigma \text{摩耗量} - \Sigma \text{流動量}) / \text{測定数}$

流動量：基準高より上昇した量

摩耗量：基準高より低下した量

3-2-2 摩耗量

プロフィールメータにより測定した施工直後から平成7年3月までの摩耗量の変化は表-1のとおりである。

表-1 摩耗量変化表

(単位：mm)

施工箇所	福井市和田		大野市坂戸		
	密粒度(13)	密粒度(珪石13)	密粒度(20)	密粒度(珪石13)	
最大摩耗量	H5.3	4.0	4.0	9.0	8.0
	H5.9	5.0	6.0	14.0	7.0
	H6.3	7.0	7.0	14.0	8.0
	H6.9	6.0	7.0	15.0	8.0
	H7.3	7.0	9.0	16.0	9.0
変形量	H5.3	1.7	1.8	—	—
	H5.9	2.5	2.8	3.4	3.0
	H6.3	2.9	2.8	4.2	3.7
	H6.9	3.0	3.5	4.6	3.5
	H7.3	3.2	3.6	5.0	4.0

測定の結果、多少の摩耗はあるが走行に支障をきたすものではなく総じて良好といえる。また、珪石も安山岩も最大摩耗量、変形量とも差異が認められない。

4. まとめ

珪石の熱伝導率の高さに注目し、無散水での融雪や、凍結の緩和が図れるか注目していたが、安山岩に比べその差が歴然としている結論は得られなかった。舗装自体の耐久性については、安山岩と比較して遜色はなかった。

なお、平成7年度も摩耗量および路面状況の追跡調査を引続き行っていきたい。

最後に、この調査に協力していただいている福井土木事務所道路維持課、大野土木事務所道路維持課の方々に厚く御礼申し上げます。

追記

ここで使用したアスファルト合材は、粗骨材に珪石を使用し、通常のアスファルト合材使用に比べ、熱伝導率がおおよそ1.7倍高くなっている。その結果アスファルト舗装での無散水融雪に適したものである。

防雪型視線誘導標の開発

酒井正之・小林五太夫*

1. はじめに

道路の路側等に設置され、車両の灯光の反射を利用する視線誘導標において、降雪時の雪の付着により反射機能が失われる事態の発生が少なくない。

これに対しては、その都度の除雪措置以外には機器自体で防除する設置がほとんど存在せず広域かつ長時間にわたる交通安全の阻害をもたらすおそれがあった。

以上の問題点から、雪を自動的に排雪できるようにし、降雪時においても視線誘導の機能を保持させるための開発を民間2社との共同研究により当センターが行った。

2. 防雪型視線誘導標の概要

光の反射材を両面に貼付けた複数の羽根片を回転軸に取付け、これを垂直にした軸心に装着して回転自在としたものを、ブラケットにより既設の視線誘導標やガードレール支柱、ポール等に設置出来るようにしたものである。(図-1)

3. 開発のポイント

(1) 在来形式では、視線誘導標本体に風力を利用する羽根片などの別装置を付加し、その回転により塵埃等を除去するものがあるが、反射面との摩擦抵抗のため、回転の始動と回転速度に限界があり、積雪時には対応し難いものであった。

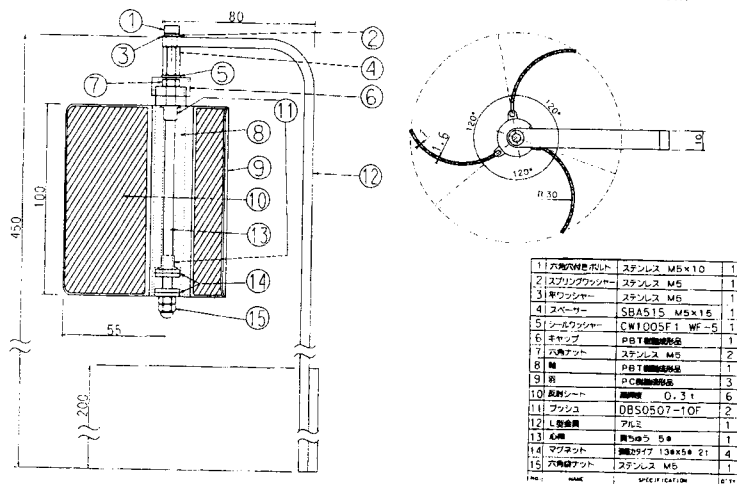
今回、視線誘導標そのものを風力による回転体とし、回転体自体に従来の反射体の役割を兼ねさせる方式に技術手段を転換した。

(2) 微風化においても装置が作動し排雪の頻度を高めるため、回転装置においては、垂直回転軸内の下部に磁石を用い、磁力の反発に基づく浮揚機能を利用して回転摩擦を最少限に押さえ、回転性を最大限に高めた。

(3) 羽根片を回転軸に固定せず、各羽根片を回転軸の周辺上部からスライドして着脱可能とすると共に着脱において羽片の湾曲面を裏返して取り付けられるようにした。これにより、構造が簡易になり、メンテナンス、取替え等が容易にできる。また、風受けを逆方向にできるので、設置箇所に応じて効率のよい選択ができる。

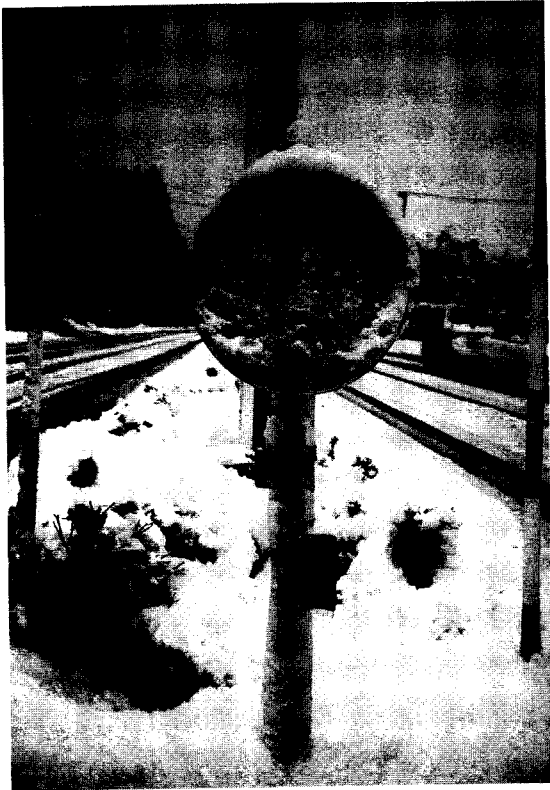
4. 開発結果および経緯

これまでの試験、観察等により、実際の降雪時における着雪はほとんどなく(写真)、人の肌を感じる程度の微風においても回転することが認められ、長期間における試験設置においても回転性能の衰えは無かった。また、羽根片の回転時と静止時の反射体の反射輝度の比較では、回転時には数値的に輝度が低下(13%)するが、肉眼による比較は相違がほとんど無かった。



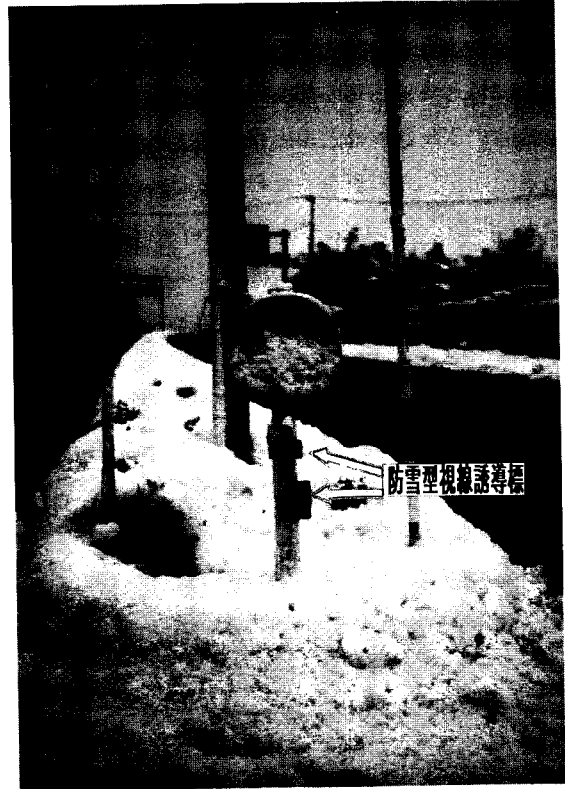
* 現今立土木事務所

(写真)は、既設の大型デリネータ柱に設置した状況である。上が当初に製作したもので、反射体が小さく視認性にかげ、取付け方法がU型ブラケットであるため、ブラケットと羽根片間に雪が積ることがあった。そのため、反射体を大きくし視認性を向上させ、ブラケットを方持ち式にすることにより積雪による回転防止を図ったものが下である。



5. まとめ

本開発は、反射体と風力の効率的な利用が一体化され、防雪機能が優れていることにより、車両交通の円滑化、事故防止等の効果が大きい。また簡易な構成による本装置の設置やメンテナンスの容易性から公的に寄与し得るものであり、更に回転方式による本機器の反射性能が静置の鏡体に比してさして劣らないことから、特に寒冷地では降雪期との兼用として常設し得る利点もある。



あとがき

本製品は(株)キクテックおよび(株)大地と共同開発を行っているものである。