

報告 融雪排水コンクリート舗装版の融雪実験

古川 浩司*1・宮澤 聡*2・松本 公一*3・浅野 文男*4

要旨：ポーラスコンクリート特有の排水性，断熱性に着目し，排水および融雪機能を兼ね備えたコンクリート舗装版の開発に取り組んでいる。電熱線方式の融雪装置を用いた，ポーラスコンクリートと高流動コンクリートで構成される舗装版（以下，融雪排水コンクリート舗装版と称す）を作製し，冬季に屋外で融雪実験を実施した。その結果，融雪排水コンクリート舗装版は，通常のコンクリート舗装版とほぼ同程度の融雪効果が得られ，更に排水機能が良好であることがわかった。

キーワード：ポーラスコンクリート，融雪排水舗装版，電熱線，融雪，路面温度

1. はじめに

積雪量が多い地域では，車道部および歩道部の雪を取り除くために除雪機械の使用や融雪装置の設置など様々な方法が用いられている。しかしながら歩道部に関して言えば，小型除雪車などの除雪機械や人力による場合がほとんどであり，融雪装置を使用して路面の雪を融雪するケースは少ない。しかし前者の場合，除雪によっても舗装面が露出することはほとんどなく，圧雪されたり凍結した路面は歩行弱者にとって障害物となる。また後者の場合，融雪によって発生する水が，排水孔のつまりや舗装面の轍(凹凸)が原因となり舗装面に水がたまり，歩行快適性の妨げとなる。

そこで，これらの問題を解決するために，ポーラスコンクリートの特性のうち排水性および断熱性に着目し，融雪装置の設置を前提として，ポーラスコンクリートを用いた舗装版を作製し，融雪水を速やかに排水させる融雪排水コンクリート舗装版の開発に着手した。既往の研究¹⁾において，ポーラスコンクリートは普通コンクリートに比べて断熱効果が優れていることが報告されている。著者らは，融雪排水コンクリート舗装版の優位性を検証するために，供試体を作

製し冬季に融雪実験を実施した。本報では，平成16年1月より3月まで岩手県北上市にて行った融雪実験の結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

融雪実験用の供試体は 2.0m×1.0m×0.14m の平板3体（タイプ1,2,3）であり，図-1に平面図を，表-1に供試体の種類を示す。

融雪実験用の供試体は，(1)ポーラスコンクリート，(2)高流動コンクリート，(3)発熱体および熱拡散放射板，から構成される。このうち，図-2に排水型供試体の高流動コンクリート部を図示する。排水型には6カ所の排水孔を設け，ポーラスコンクリート部に貯留した水を供試体

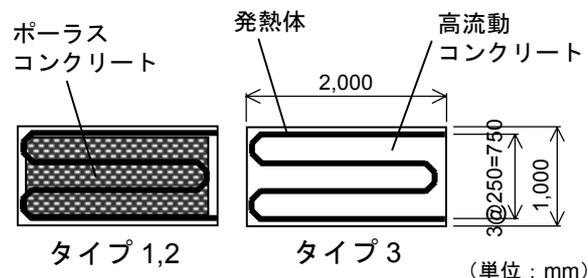


図-1 供試体平面図

*1 昭和コンクリート工業（株） 開発部 開発課 博士(工学) (正会員)

*2 昭和コンクリート工業（株） 製造部 生産管理課 工修 (正会員)

*3 住友大阪セメント（株） セメント・コンクリート研究所 (正会員)

*4 住友大阪セメント（株） 名古屋支店 技術センター 工修 (正会員)

表－1 供試体の種類

供試体呼称	型式	ポーラスコンクリート厚 (mm)	高流動コンクリート厚 (mm)	表面からの発熱体埋込深さ (mm)
タイプ1	排水型	30	110	65
タイプ2		50	90	85
タイプ3	標準型	—	140	65

表－2 ポーラスコンクリートの示方配合

W/C (%)	空隙率 (%)	Vm/Vg (vol.%)	Vs/Vm (vol.%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G ^{*1}	SP ^{*2}
25.0	20.0	50.0	25.0	88	352	173	1413	1.76

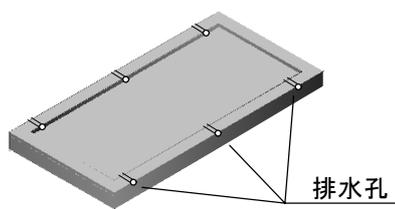
*1 粗骨材：7号砕石（粒径5～2.5mm，表乾密度2.65g/cm³，粗粒率5.09，実積率58.5%）

*2 高性能AE減水剤：C ×0.5%

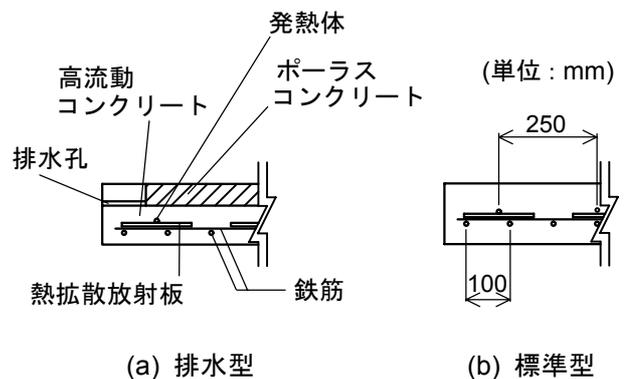
表－3 各コンクリートの強度ならびに物性試験結果

種類	圧縮強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	全空隙率 (%)	透水係数 (cm/sec)
ポーラスコンクリート	21.4	3.28	19.7	0.272
高流動コンクリート	69.0	6.88	—	—

※測定は、試験時の都合上材齢35日で実施した。



図－2 高流動コンクリート部概要 (排水型)



図－3 供試体断面図

側面から排水させる構造とした。

図－3 (a),(b)に供試体断面図を示す。図－3 および表－1 に示すように発熱体を、(a)排水型の場合は表面より65, 85mm（ポーラスコンクリート下面より35mm）の位置に、(b)標準型の場合は表面より65mmの位置にそれぞれ配置した。鉄筋、発熱体、熱拡散放射板が複雑に配置されているので、高流動コンクリートを使用した。

表－2 にポーラスコンクリートの示方配合を、

表－3 に各コンクリートの強度および物性試験結果を示す。融雪実験は、材齢90日で実施した。

2.2 実験方法

融雪実験に際して、図－4のように供試体3体を水平に設置した。今回採用した熱源方式は、電熱方式とした。供試体表面部（表面から5mm）

表－４ 融雪実験の種類と設定温度

	予熱時 (°C)		降雪時 (°C)	
	タイプ 1,2	タイプ 3	タイプ 1,2	タイプ 3
(1) 実験 1 (H16.2/26～3/9)	2	2	5	5
(2) 実験 2 (H16.3/9～3/17)	3	2	6	5
(3) 実験 3 (H16.3/17～3/24)	4	2	7	5
(4) 実験 4 (H16.3/25～3/26)	強制通電			

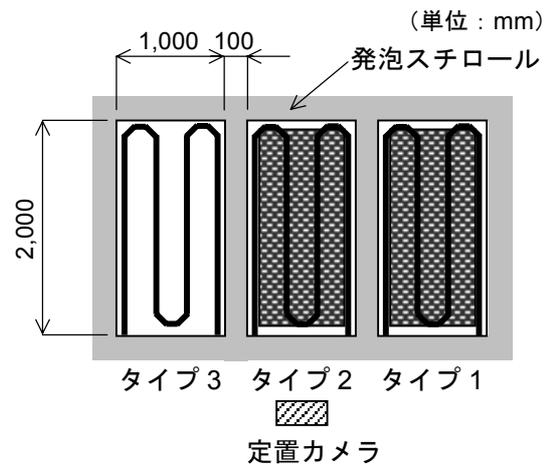
に熱電対を設置することにより路面温度を感知し、ヒーター電源の ON, OFF を自動的に制御した。

供試体への地熱の影響を均等にし、また排水孔から出る水を地盤中に速やかに透水させるために、砕石を 10cm、砂を 5cm 敷き均し、その上に供試体を敷設した。また供試体間の熱の影響を排除するために、厚さ 10cm の発泡スチロールを据え付けた。排水孔から出る水は、発泡スチロールを切り欠いて地盤中に浸透させた。

温度設定は、予熱時と降雪時の二段階でセットし、路面温度で制御する場合、降雪の有無や気温に応じてヒーターの通電を制御できるようにした。降雪がある場合は路面温度を例えば 5°C に設定 (降雪時) し、降雪が無い場合には例えば 2°C に設定 (予熱時) したとする。この場合、降雪が無い場合には路面温度が 2°C を下回ったらヒーターが ON になり、2°C を上回ったら OFF になる。降雪がある場合は、路面温度が 5°C を基準にヒーター電源が作動する。予熱時設定とは、降雪が無い場合の路面が冷えた状態からの加熱に際する時間的なロスを軽減するために、予め路面を暖めておく目的で、ヒーター電源を制御する温度のことをいう。降雪の有無については、降雪センサーを使用して判別した。

表－４に、融雪実験の種類と設定温度を示す。全供試体の発熱体は独立回路とし、個々の回路に対してそれぞれ予熱時、降雪時の温度設定が独立して設定できるようにした。

実験 1～3 においては、供試体表面が高流動コンクリートであるタイプ 3 (標準型) に対して、



図－４ 融雪試験時供試体配置平面図

ポーラスコンクリート部が大部分を占めるタイプ 1,2 の温度設定 (予熱時、降雪時の双方) が同等もしくは高くなるように設定した。本実験以前に行った予備実験に際して、ポーラスコンクリート部が大部分を占めるタイプ 1,2 については、タイプ 3 に比べて融雪した際に路面に雪が残りやすい傾向にあり、また通電時間および積算消費電力が少なかった。以上のことから、実験 2、3 のタイプ 1,2 については設定温度を高く設定し、消費電力量を同等にすることによる融雪状況の変化を検証した。

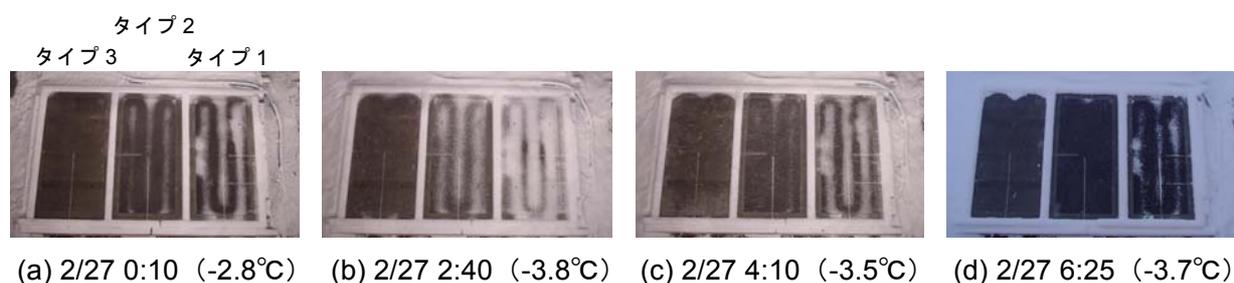
3. 実験結果および考察

表－５に融雪実験における測定項目および計測機器を示す。表－６に融雪実験ごとの供試体タイプ別の通電時間および消費電力量を示す。本報では、静止画、積算消費電力量および供試体表面温度計測値を基に実験結果の考察を行う。

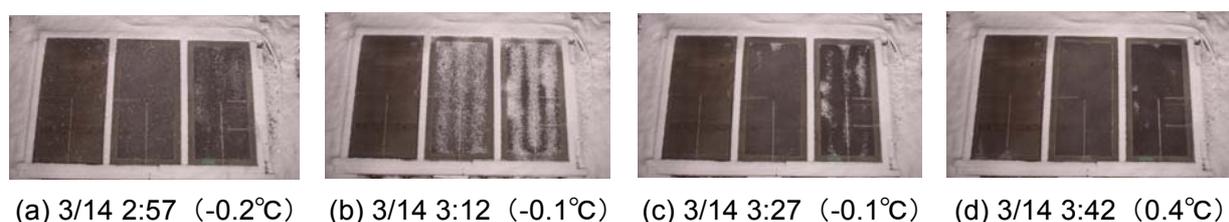
表－5 測定項目と計測機器

測定項目	使用機器
(1) 温度データ	データロガー
(2) 降雪データ	雨雪量計
(3) 日照データ	日射計
(4) 積算消費電力	電力計
(5) 電流値	データロガー
(6) 通電時間	カウンター
(7) 静止画	デジタルカメラ
(8) 動画	ビデオデッキ
(9) 熱画像	サーモトレース

写真－1に示す融雪状況は、表－4に示す温度設定で実施した実験1の一例(約6時間)である。タイプ1,2,3の予熱時と降雪時の設定温度を、それぞれ2℃、5℃と同じとして通電を制御した例である。タイプ3(標準型)、タイプ2(排水型 Po=50mm)、タイプ1(排水型 Po=30mm)の順に融雪が良好であることがわかる。表－6に示す実験1の通電時間および消費電力量は、融雪状況が良好な順に多くなる傾向にある。



写真－1 実験1における融雪状況の例 (() 内数値は外気温)



写真－2 実験2における融雪状況の例 (() 内数値は外気温)

表－6 実験ごとの通電時間と消費電力量

実験名	供試体種類	通電時間(h)	消費電力(kWh)
実験1	タイプ1	62.51	38.0
	タイプ2	71.44	42.0
	タイプ3	93.08	53.7
実験2	タイプ1	12.56	8.1
	タイプ2	13.70	9.2
	タイプ3	23.33	13.8
実験3	タイプ1	5.23	3.4
	タイプ2	5.96	4.2
	タイプ3	7.42	4.4
実験4	タイプ1	10.32	5.5
	タイプ2	10.32	5.4
	タイプ3	10.32	5.5

写真－2に示す融雪状況は、実験2の一例(約1時間)である。実験2では表－4に示すように、タイプ1,2の予熱時と降雪時の設定温度を、タイプ3の場合よりもそれぞれ1℃高く設定した。実験1において、融雪量の差が消費電力量に比例する傾向にあったため、ポーラスコンク

リート部の融雪状況を良好にするため、高流動コンクリートに比べて設定温度を高くした。写真-2から判断すると、実験1と同様にタイプ3、タイプ2、タイプ1の順に融雪が良好であることがわかる。表-6に示す実験2の通電時間および消費電力量に関しても、実験1と同様に融雪状況が良好な順に多くなる傾向にあった。

これらの結果を考慮し、さらにタイプ1,2の通電時間および消費電力量を同程度にした場合の融雪状況を比較するために、実験3を実施した。実験3では表-4に示すように、タイプ1,2の予熱時と降雪時の設定温度を、タイプ3の場合よりもそれぞれ2℃高く設定した。実験3の融雪状況の写真を撮影したが、あいにく降雪が確認できなかった。降雪がなく常時予熱の状態であったが、タイプ3よりも設定温度を高くしたタイプ1,2はそれぞれタイプ3よりも通電時間、消費電力量ともに同等であった。これより、ポーラスコンクリートは熱を保持する機能があり断熱性に優れている可能性が示唆された。

図-5に、実験1で計測したタイプ2およびタイプ3供試体表面の温度変化の一部を示す。計測開始(AM0:00)より、0.5時間後(AM0:30)から1.0時間後(AM1:00)まで降雪がある時間帯は、表面温度が2℃以上になることを示している。グラフから判断すると、タイプ3の温度変化量はタイプ2の場合と比較して大きい傾向にあることがわかる。表-7に時刻A(AM0:55)、時刻B(AM1:15)に計測した各供試体の表面温度を示す。時刻Aにおいてタイプ2,3のヒーター電源がOFFになり、時刻Bにおいてタイプ2,3の電源がONになったことから、同じ経過時間で表面温度の変化量を比較した。その結果、タイプ2(排水型)はタイプ3(標準型)の約0.6倍であることから、表面にポーラスコンクリート層を有する場合は表面温度が下がりにくいことがわかった。さらに時刻B以降はヒーター

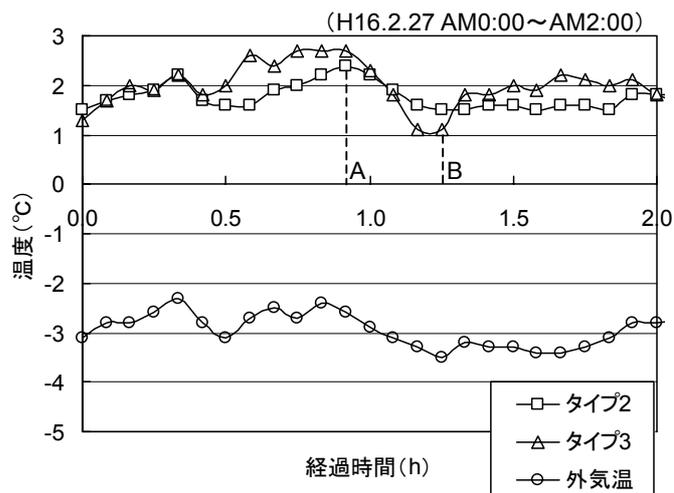


図-5 実験1 供試体表面温度変化

表-7 時刻A,Bの表面温度(単位:℃)

時刻	タイプ2	タイプ3
(A) AM0:55	2.4	2.7
(B) AM1:15	1.5	1.1
温度変化量	0.9	1.6

電源がONの状態になっているが、タイプ2はタイプ3に比べて表面温度が上がりにくいことがわかる。

写真-3に、実験4で実施した強制通電時供試体表面の温度上昇変化(約3時間)について図示する。実験4は降雪および積雪のない時期に、路面温度が0~1℃の状態から通電を開始した。その結果、表面温度上昇は、タイプ1,2(中央、右端)に比べてタイプ3(左端)が若干早いものの分布幅に関して大差はないことがわかる。タイプ2(中央)は他の2ケースに比べて融雪装置が20mm深い位置に配置されているため、路面温度上昇が若干遅い傾向にあり高温部分が少ない、という結果となった。

本実験の範囲内で判断すると、高流動コンクリートで構成した標準型(タイプ3)は、融雪排水コンクリート舗装版(タイプ1,2)より融雪状況は良好であった。通電時間および消費電力

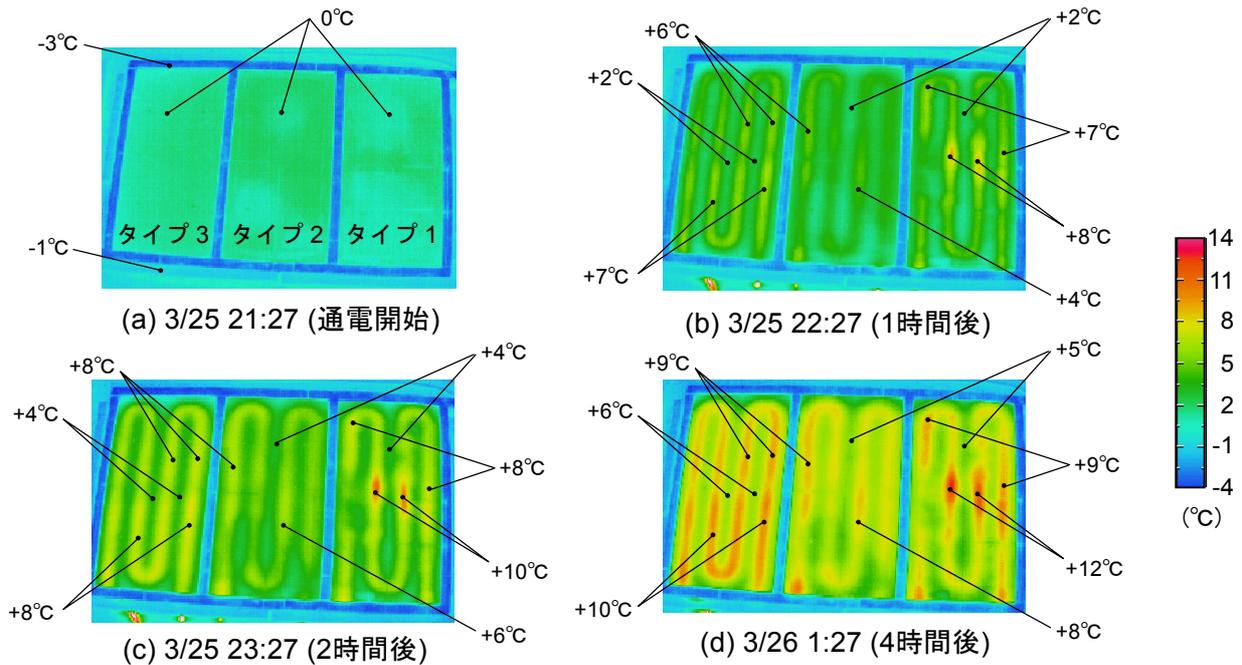


写真-3 実験4における供試体表面温度分布

量が関係していることの他に、標準型（タイプ3）の高流動コンクリート表面部に存在する融雪水が影響していると思われる。ポーラスコンクリート部は排水が良好であるために、融雪水による間接的な融雪現象はほとんど見られない。

排水型であるタイプ1（ $Po=30\text{mm}$ ）とタイプ2（ $Po=50\text{mm}$ ）を比較した場合、ポーラスコンクリート部が厚いタイプ2は融雪状況が良好であるという結果になった。また温度変化状況からは、タイプ2はタイプ3に比べて表面温度が上がりやすく、下がりやすいことがわかった。この結果から判断すると、ポーラスコンクリートが断熱部材として機能している可能性が考えられる。ポーラスコンクリート部材が厚いほどその下面で発生した熱が蓄えられ、ポーラスコンクリート部を含む供試体全体の熱が逃げにくくなったものと考えられる。

4. まとめ

本報では、表面部分にポーラスコンクリートが存在する融雪排水コンクリート舗装版を用いて冬季に融雪実験を実施し、その有効性について検討した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 表面に融雪水が貯留しないことから、歩行快適性の向上につながる事が明らかとなった。
- (2) 内部から供給した熱により表面温度が上がりやすく、また熱供給がない場合は表面温度が下がりやすいことから、ポーラスコンクリート特有の断熱性が寄与していることがわかった。
- (3) 通常のコンクリート舗装版とほぼ同等の電力消費量により、同程度の融雪状況を確認できる可能性を示した。
- (4) 表面に融雪水が貯留しないことから、通常のコンクリート舗装版に見られる融雪水による間接的な融雪現象は見られないが、時間の経過と共に同程度融雪することがわかった。

参考文献

- 1) 角脇三師ほか：ポーラスコンクリートの断熱性能に関する基礎的検討，ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp.107-112，2003.5