

炭素繊維を混入発熱コンクリートの道路施設への活用に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平成 22 年

担当チーム：寒地道路保全チーム、耐寒材料チーム

研究担当者：熊谷 政行、布施 浩司、
田口 史雄、中村 拓郎

【要旨】

炭素繊維を混入したコンクリートに通電を行うと熱が生じることから発熱機能を付加したコンクリートの作成が可能になる。この性能を利用することにより、構造体が発熱する効率的なロードヒーティングなどの道路施設への活用が期待できる。そこで、寒冷地における炭素繊維混入発熱コンクリートの道路施設への活用実現可能性を明らかにするため、融雪効果及び発熱コスト、耐凍害性に関する調査、周辺環境への影響などの基本性能について調査したので結果を報告する。

キーワード：ロードヒーティング、省エネルギー、性能評価、コンクリート、炭素繊維

1. はじめに

ピッチ系の炭素繊維は導電性に優れることから、炭素繊維を混入したコンクリートに通電すると発熱するという性質があり¹⁾、これを利用することで、構造体であるコンクリート自体が発熱体となる効率的なヒーティング材料への展開が期待できる。

積雪寒冷地の融雪対策としてロードヒーティングによる対策がある。ロードヒーティングは常時無雪状態であるため冬季路面对策として非常に高性能な融雪施設であるが、エネルギーの消費量が多いため適用箇所は限られるという課題がある。

そのため、効率的な発熱体を有するロードヒーティングの活用方法が求められており、その方策の一つとして、炭素繊維を混入した発熱コンクリートの活用が考えられる。

本研究は、発熱コンクリート材料に関する豊富な研究実績がある九州共立大学との共同研究を行い、発熱コンクリートの道路施設への活用についての実現可能性を把握することを目的として、温度上昇特性試験、道路構造物への適用性調査試験、耐凍害性の調査試験を行ったので報告する。

2. 研究方法

性能評価試験は、寒地土木研究所内の低温室および凍結融解試験機を用いて行った。

2. 1 温度上昇特性試験

低温室内で、写真-1のように炭素繊維コンクリートで作成した発熱体単体の供試体、発熱体上に御影石板を載せた供試体、発熱体上に溶岩板を載せた供試体の計3種類の供試体を用いて行った。供試体寸法は発熱体単体で20cm×20cm×0.5cm、石板は40cm×40cm×1cmであり、発熱体4枚で供試体1つ分として試験した。また、電源は100V電源を使用しており、電力量は200W/m²になるように配線した。また、今回の発熱体の炭素繊維量は3%混入した供試体を用いている。

試験条件は、試験室の温度を-10℃および0℃の室温にしたそれぞれの環境で、供試体表面を「乾燥、湿潤、氷膜(氷厚約0.2mm)、氷板(氷厚1mm)、圧雪(雪厚約1cm)」の状態を作成して行った。

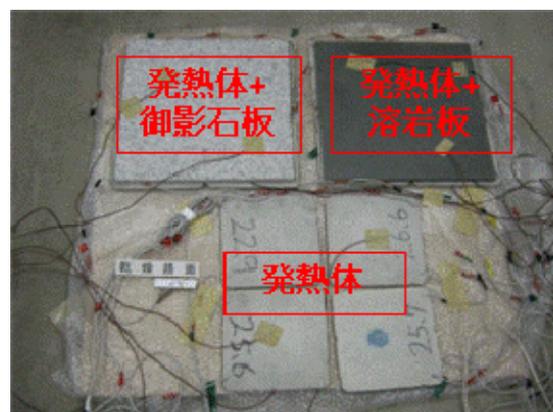


写真-1 低温室内における試験の供試体

試験方法は、通電時における各供試体の温度上昇特性と融雪状況の把握するため、低温室内において一定温度(-10℃、0℃)の状態に通電を行い、路面温度の上昇状況、一定の温度に達したときに電源を落として路面温度の低下状況を調査し、その際の路面状態を観察した。路面温度は温度測定ロガーによる測定と、サーモグラフィによる画像により測定した。また、路面状況の確認は、静止画撮影と目視により行った。

2. 2 道路構造物への適用調査試験

2.1の試験と同様の供試体および試験条件により以下の調査を行った。

通電時の周辺への影響調査としては、各供試体の表面を電気テスタで測定し、漏電状況を調査した。さらに各供試体の表面をポータブルスキッドテスタにて歩行時の歩きやすさの指標となるすべり抵抗値を調査した。

2. 3 耐凍害性の調査試験

炭素繊維混入セメントペーストの耐凍害性を検証するためにJIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」³⁾の水中凍結融解試験(A法)に準拠して凍結融解試験を行った。凍結融解1サイクルの温度範囲は供試体中心温度で+5±2℃から-18±2℃に制御し、かつ発熱による凍結融解を受けることから通常の300サイクルより多い凍結融解600サイクルまで試験を継続して行った。

今回作成した供試体は、セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、配合は水セメント比30%と35%の2水準とした。炭素繊維は、混入時のセメントペーストの発熱機能を考慮して²⁾、ピッチ径炭素繊維(繊維径13μm、繊維長10mm)を使用し、混入率はセメント質量の2%とした。表-1に使用材料を、表-2に供試体の配合を示す。

表-1 使用材料

材料名	種類・適用	物性	品名・メーカー
セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.17 g/cm ³	宇部三菱セメント㈱
AE減水剤	標準型1種・C×0.2~0.4%wt	密度: 1.3 g/cm ³	チューボール EX20-N 竹本油脂㈱
空気量調整剤	C×0.1%wt (Air 1%増)		AE-200, 竹本油脂㈱
炭素繊維	ピッチ系炭素繊維	密度: 1.6 g/cm ³ 繊維径: 13 μm 繊維長: 10 mm	ドナカーボ・チョップ S-234 大阪ガスケミカル㈱

表-2 配合

配合名	W/C (%)	単位容積質量(g)				
		W	C	炭素繊維	AE減水剤	Air調整剤
C-30	30	444	1481	29.4	4.6	6.0
C-35	35	480	1372	27.2	4.3	5.5

3. 研究結果

3. 1 温度上昇特性試験結果

温度上昇の特性に関しては次のようなことが確認できた。

-10℃および0℃の状態における圧雪路面における融雪効果としては、発熱体単体のモデルが他の板を載せたモデルよりも速い速度で温度が上昇することが確認され、通電を止めた状態での温度低下も最も早いという結果が見られた。(図-1、図-2)サーモグラフィによる観測でも同様の傾向が見られた。

(写真-2、写真-3)

路面の融雪効果については-10℃でおおむね40分、0℃の状態でおおむね30分程度で融雪する状況が見受けられた。

つぎに、「発熱体+御影石」と「発熱体+溶岩板」との比較では-10℃、0℃のどちらの環境でも「発熱体+御影石」の温度上昇が早い傾向にあり、通電を止めた後の温度低下についても緩やかに低下する傾向がみられた。

また、標準のロードヒーティングシステム(250w/m²)との温度上昇変化を比較では、10分間当たりの温度上昇が0.09℃/10分に対し、発熱体(200w/m²)の温度上昇は2.42℃/10分と発熱効率が高い結果となった。

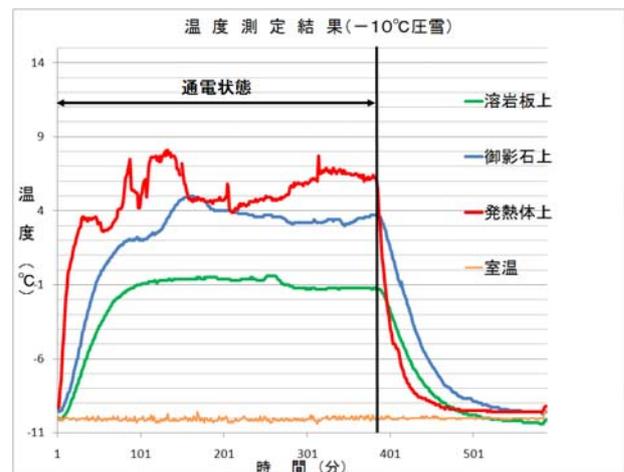


図-1 試験体温度の時間経過状況(-10℃)

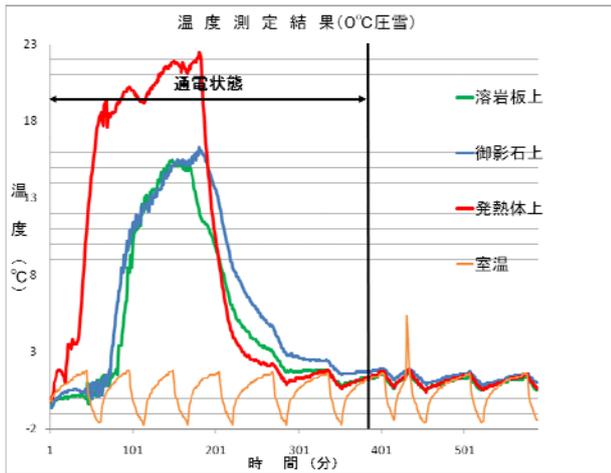
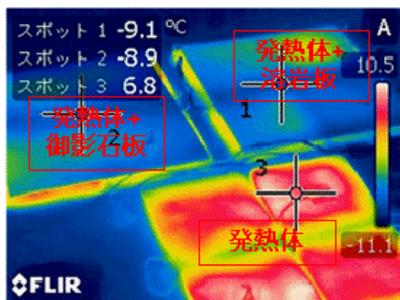
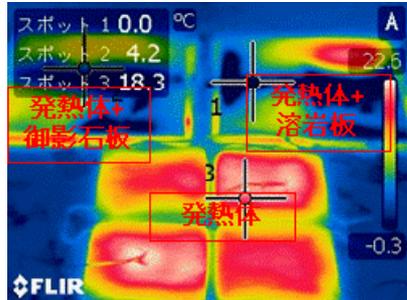


図-2 試験体温度の時間経過状況(0°C)



写-2 サーマによる温度変化観察(-10°C)



写-3 サーマによる温度変化観察(0°C)

表-3 温度上昇速度の比較(状態: 乾燥、室温 0°C)

	発熱量(W/m ²)	温度上昇速度(°C/10分)
標準RH	250	0.09
溶岩板+発熱体	200	0.91
御影石+発熱体	200	1.26
発熱体	200	2.42

3. 2 道路構造物への適用調査試験結果

道路構造物への適用調査では、次のようなことが確認できた。

通電時に各供試体両端の表面部に電気テストを当てた反応を調査したところ、発熱体単体の状態で、路面が乾燥および湿潤のときに、電気テストの針が反応し供試体表面に電流が流れていることを確認した。一方、その他の状況については、通電状態にお

いても電気テストの針が反応しなかった。(表-4)

表-4 電気テストによる反応調査

	発熱体	御影石	溶岩板
乾燥	反応有	反応無	反応無
湿潤	反応有	反応無	反応無
氷膜	反応無	反応無	反応無
氷板	反応無	反応無	反応無
圧雪	反応無	反応無	反応無

次に、ポータブルスキッドテストによる測定した結果(表-5)、御影石の表面がすべり抵抗値 75 と高く、発熱体単体でもすべり抵抗値 70 の値を示した。

表-5 すべり抵抗値の測定

	すべり抵抗値
溶岩板	59
御影石	75
発熱体	70

3. 3 耐凍害性の調査試験結果

凍結融解 600 サイクル後の供試体外観を写真-4 に示す。また、図-3 に質量減少率、相対動弾性係数と凍結融解サイクル数の関係を示す。供試体表層では軽微な剥離が認められつつも、凍結融解サイクルにともなって質量は増加しており、表層部の欠損質量よりも供試体内部の炭素繊維の吸水質量が多くなったためと推察される。また、相対動弾性係数の低下は認められなかったことから、凍結融解 600 サイクル時でも、供試体内部組織は健全な状態を保持していたと考えられる。

なお、土木学会 コンクリート標準示方書[設計編]⁴⁾には、凍害に関するコンクリート構造物の性能を満足させるための凍結融解試験における相対動弾性係数(凍結融解 300 サイクル時)の最小限界値として、「凍結融解がしばしば繰り返される気象条件のうち、最も厳しい条件(部材厚が 20cm 程度以下であり、連続してあるいはしばしば水に飽和される場合)で、相対動弾性係数 85%以上」とされている。このため、本研究で作製した炭素繊維混入セメントペーストは、構造物の凍結融解作用に関する性能を満足すると評価できる。

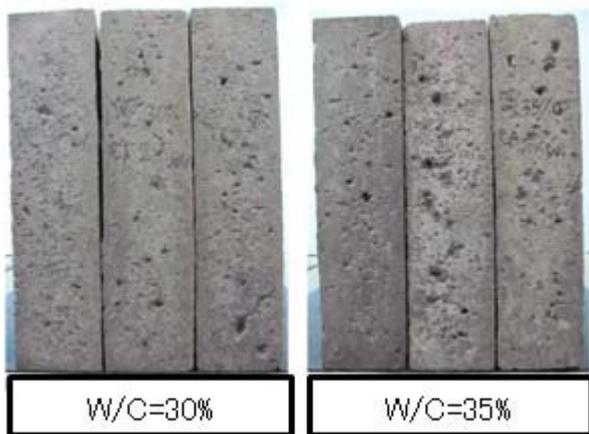


写真-4 600 サイクル時の供試体外観

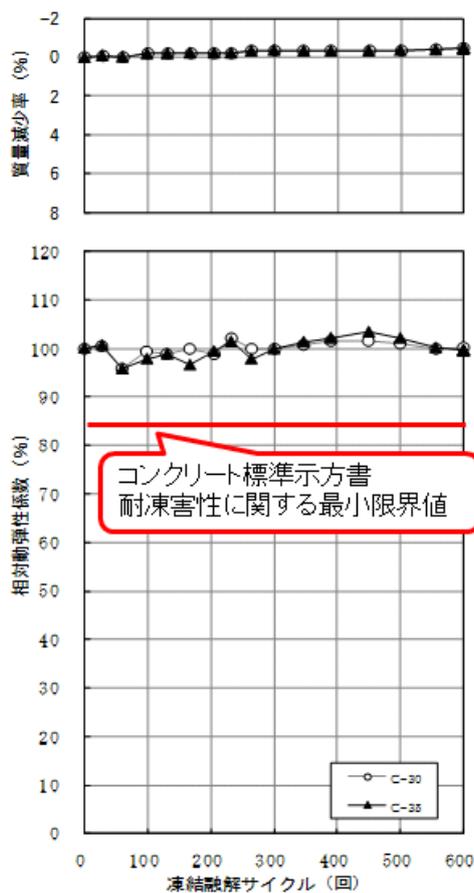


図-3 凍結融解試験結果

4. まとめ

本研究による発熱コンクリートの性能試験の結果以下のことがわかった。

1) 発熱コンクリートは 100V の電源でも使用可能で、今回使用した供試体は、 -10°C の低温化で 1cm の圧雪状態でも通電後約 40 分で融解できる性能がある。

発熱コンクリートは従来のロードヒーティングより熱源を近くにすることが期待できることからエネルギー当たりの発熱効率は良くなることを期待できる。また、温度変化の特性として、発熱体は単体の方が温度上昇は早いですが石板を用いたほうが温度低下が緩やかで保温効果が期待できる。

2) 発熱体を露出した状態で使用すると表面に電流が流れていることから供用に当たっては対策が必要である。

3) 歩きやすさの指標である、すべり抵抗値は発熱体単体で用いても影響はない。

4) 炭素繊維を混入したセメントペーストは十分な耐凍害性を有している。

5) 共同研究を行った九州共立大学の研究では効率的な通電のためには接続端子の形状やコンクリート表面の工夫が必要で、発熱体は形状が薄いほうが発熱は効率的だが、その際に荷重の影響に対抗する補強対策が必要である。

今後の取り組みとしては、発熱性能を活かした土木施設の材料としての使用方法や適用可能性について検討していきたい。また、コンクリートの配合についても、さまざまな組み合わせにより、さらに凍結融解抵抗性等の耐久性を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 牧角龍憲:「ピッチ系炭素繊維混入によるコンクリートの発熱機能」、土木学会第 60 回年次学術講演会論文集、P667-668
- 2) 山崎洋一, 横田明典, 牧角龍憲:「炭素繊維混入モルタルの発熱機能に関する基礎的実験」
- 3) JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験方法, 日本工業規格, 2001
- 4) 土木学会:土木学会 コンクリート標準示方書 [設計編], pp. 123-124, 2007