

氷点下の環境における炭素繊維混入モルタルの発熱特性

02A3717 栗原 淳
02A3721 貞兼 信二
指導教員 牧角 龍憲

1. まえがき

昨年の研究より、炭素繊維混入モルタルに通電した場合発熱効果が十分に得られると確認されている。

本研究では、炭素繊維混入モルタルを、氷点下で通電した際の発熱特性について検討した。また、炭素繊維混入モルタルの強度特性、融雪設備への経済性能についても報告する。

2. 氷点下の環境の再現

本実験では、氷点下であることが絶対条件である。自然環境下では、外気温度・風速などが不定期で変わっていく。そのため、毎回同じ環境で実験をすることが困難であるため、冷凍庫を使用して氷点下を再現する。

本研究で使用する冷凍庫は、縦 44cm、横 44cm、高さ 48cm とした。融雪が視認できるように、クリアシートを使用してフタを作製する(写真-1)。また、高さ 44cm だと視認しにくいいため高さ 28cm に供試体を設置できるようにする。このとき、そのまま木板を設置すると冷凍庫内に冷気がまわらないので、冷凍庫内の冷気が全体にまわるように、板の前後は 7cm ほど隙間をつくっておく(写真-2)。温度センサー配線を冷凍庫のフタで傷ませないために、フタの部分にはゴム、スポンジを貼って使用する。

冷凍庫内温度は常時氷点下に設定、実験を一回行なうと、冷凍庫内温度が上昇するため連続で実験はできない。最低 3 時間はおいておく。実験時、氷が水にかわるので水が冷凍庫下にたまらないよう供試体下に受け皿をおいておく。



写真-1 クリアシートフタ



写真-2 冷凍庫内部

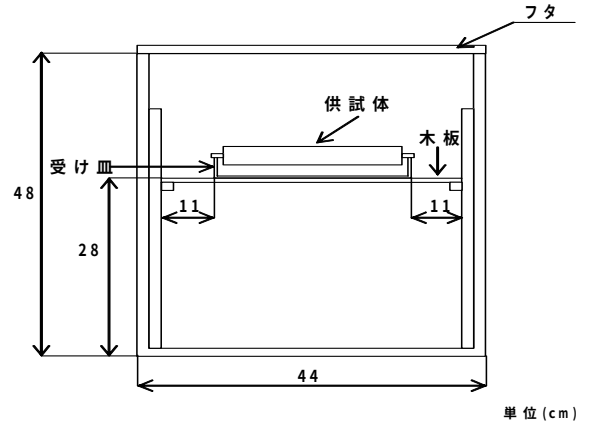


図-1 供試体断面図

3. 氷点下環境での炭素繊維混入モルタルの発熱試験

供試体を氷点下で通電した場合の温度上昇を測定し、発熱効果があるかどうかを検討した。また、実測値と計算値との比較をした。

供試体は、縦 20cm 横 10cm 高さ 2cm 重量 1.32kg、端子が左右に 2 本計 4 本、炭素繊維 F=3%、全抵抗 60Ω とした。

コンクリートの温度上昇は式(1)より求められる。

$$Q_a = \frac{K \cdot s}{C_c \cdot g} \dots \dots (1)$$
$$K = \frac{\frac{W}{J}}{1000}$$

ただし、
Qa: コンクリートの温度上昇量(°C)
K: 一秒間に発生する熱量(kcal/s)
s: 通電時間(s)
Cc: コンクリートの比熱 0.25 (kcal/kg・°C)
g: コンクリート重量(kg)
W: 電力量(W)
J: ジュール熱 4.2 (J)

実験方法は以下のとおりとする。供試体を氷点下に置き、電力量 60W で通電した。その場合の式(1)で計算した温度上昇量と実測値を比較した(図-2)。

図-2 の示すように、氷点下の環境でも十分に発熱効果が発揮されることが分かった。実験値と計算値については、温度が上昇するに従って差が大きくなっている。これは、低温の外気に熱を奪われているためである。供試体の温度が上昇するにしたがい外気との温度の差が大きくなるため、外気に熱を奪われる温度(輻射

熱)も大きくなっている。この輻射熱を計算できれば、供試体に通電した際の正確な温度上昇量を知ることが出来る。

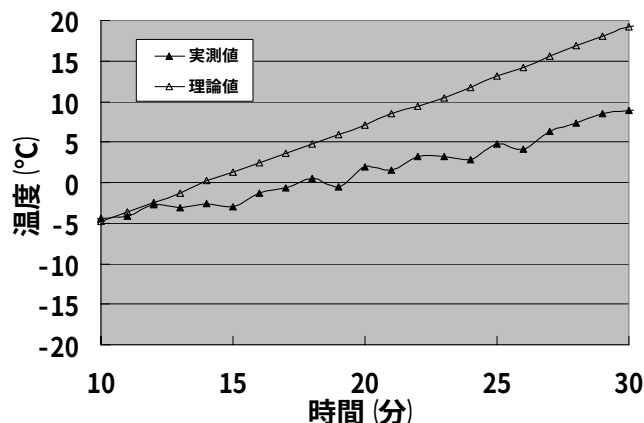
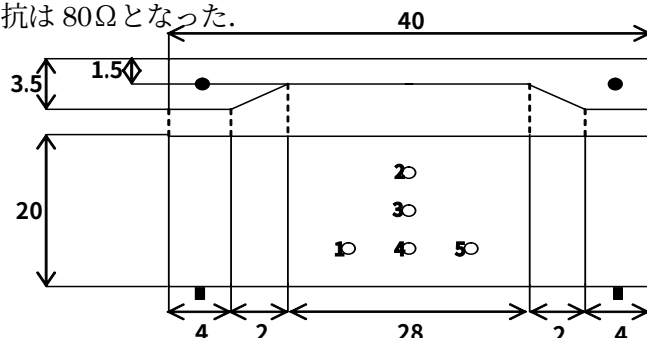


図-2 実測値と理論値の比較

4. 供試体作製方法

3の実験で使用した供試体では表面の温度しか測定できなかった。また、供試体の中央しか温度が上がらないため、正確に計算値との比較ができない。従って、昨年の供試体形状を使用して測定部分の温度上昇のむらをできる限りなくした供試体を作製する。供試体は、冷蔵庫の中に入る寸法とした(図-3)。

形状寸法、端子位置、温度測定位置は、図-3のとおりで行なう。端子数は2本、通電時に電気が通やすくするために、炭素繊維(2g)を巻きつけておく。配合は、ピッチ系炭素繊維混入率2%(径12μm、糸長10mm)、s/c=1, w/c=50%, 混ぜ時間を10分とし、全抵抗は80Ωとなった。



○: 温度センサー配置位置
●: ボルト配置位置

図-3 供試体寸法

単位 (cm)

5. 輻射熱による温度損失量の計算方法

供試体の熱が外気温度の差により奪われている熱(輻射熱)を計算するために輻射熱伝達係数(α_r)を使用し計算した。

計算方法は以下のとおりである。輻射熱伝達係数は現在ロードヒーティングを施工する際は、 $\alpha_r=7.95(\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$ を使用している。この値は融雪装置塗装の下に断熱材を敷いているので、下側には熱

は奪われないと考えたときの値である。この実験では、供試体は全面外気に触れているため全面から熱が奪われていると考えられる。従って、輻射熱係数を2倍の $\alpha_r=16(\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$ とした。また、この値が正しい値なのか実際に測定したデータから確かめた(図-2)。輻射損失温度量は式(2)により求められる。

$$Q_r = \frac{\alpha_r (T_g - T_a) \cdot A}{C_c \cdot g} \cdot S \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 Q_r : 輻射損失温度量($^\circ\text{C}$)
 α_r : 輻射熱伝達係数 $16 (\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$
 T_g : 表面温度($^\circ\text{C}$)
 T_a : 外気温度($^\circ\text{C}$)
 A : 外気に触れている面積(m^2)

実験方法および結果は以下のとおりである。常温(22°C)で供試体に電力量40Wを通電した。その場合の輻射熱係数 $\alpha_r=16(\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$ で計算した輻射温度量と実測値を比較した(図-4)。

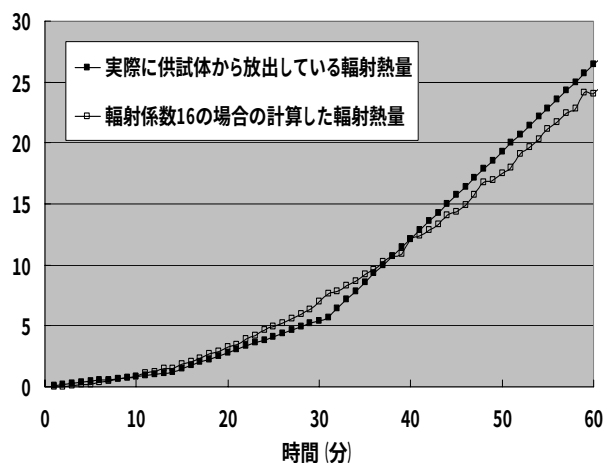


図-4 輻射熱による実測値と理論値の比較

図-4に示すように、実測値と理論値がほぼ同じ値になっている。これにより、供試体の輻射損失温度量を知ることができる。

6. 氷を融かすための計算方法

氷を融かした場合の温度上昇量の計算方法は式(3)のようになる。

$$Q = Q_a - Q_c - Q_1 \quad \dots \dots (3)$$

$$Q_1 = Q_s + Q_l$$

$$Q_s = \frac{g_i \cdot C_i (0 - T_i)}{C_c \cdot g_c}, \quad Q_l = \frac{g_i \cdot j_i}{C_c \cdot g_c}$$

ただし Q : 凍結したコンクリートの温度上昇量($^\circ\text{C}$)

Q_1 : 氷を融かすために必要な損失温度($^\circ\text{C}$)

Q_s : 供試体表面の氷を融点まで上昇させる損失温度($^\circ\text{C}$)

Q_l : 氷を融かすための損失温度($^\circ\text{C}$)

g_i : 氷の重量(kg)

C_i : 氷の比熱 $0.47 (\text{kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$

Ti：氷の温度(°C)

ji：氷の融解潜熱 80(kcal/kg)

7.路面を凍結させた場合の発熱試験

この実験では、供試体を凍結させ通电した場合の温度上昇を測定し発熱効果があるかどうかを検討した。

また、実測値と理論値を比較した。

実験方法および結果は以下のとおりである。供試体に2mmの水をはり凍結させ、氷点下(−16°C)で電力量125Wを通电し各箇所の温度上昇を測定した(図-5)。その場合の式(3)で計算した温度上昇量と実測値を比較した(図-5)。

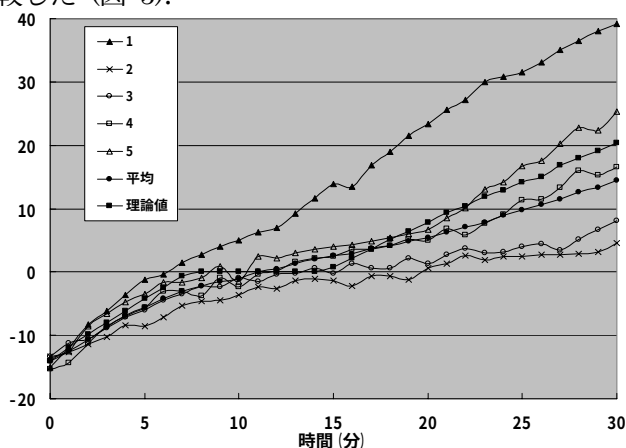


図-5 凍結させた場合の各測点の比較

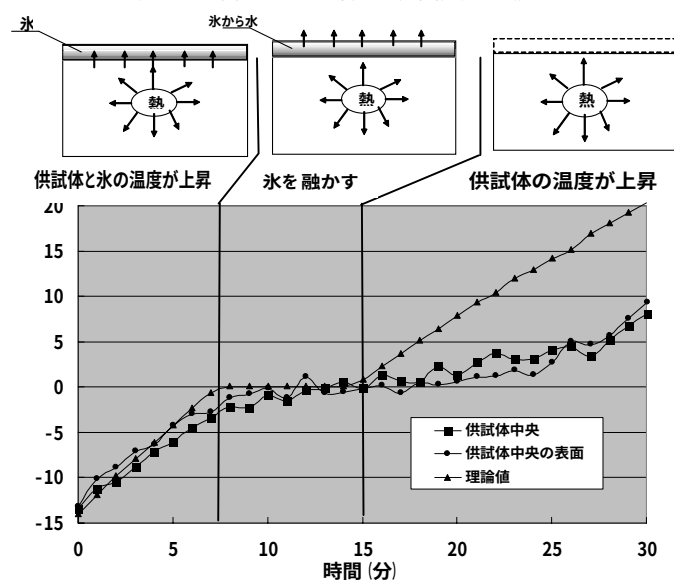


図-6 水が融けるときの熱の動き

考察は、以下のとおりである。図-5が示すように凍結させた路面であっても十分発熱効果が発揮されることがわかった。供試体の平均上昇温度と理論値を比較すると、ほぼ同じ値になっている。しかし、各箇所の温度上昇では大きくばらつきがある。電力量を小さくすることによってばらつきも小さくすることができる。電力量を1560W/m²と現在のロードヒーティングで使用されている基準電力量(250W/m²)の約6倍で通

電しているため大きくばらつきができています。

また、図-6に示すように氷の温度から上昇し始め、0°Cになると氷が融けるまで一定の温度になる。供試体自体も氷を融かすために、熱を奪われている。そのため、氷の温度とほぼ同一になっている。この氷を融かす効果をよくするには、熱をできるだけ早く氷につたえることが必要である。しかし、供試体自体が発熱体であるためこれ以上早くすることは難しい。従って、竹炭を入れ遠赤外線の効果で氷を融かす時間を早くできないかと考えた。

8.竹炭を混入した場合の発熱試験

この実験では、炭素繊維混入モルタルに竹炭を0%、10%、20%と配合を変え混入し、通电した場合の供試体・氷の温度を比較した。

供試体作製方法は以下のとおりである。7の実験と同じ形状とし、配合はピッチ系炭素繊維混入率2%、s/c=1, w/c=40%、二種類の竹炭(径5mm, 径1mm)を0%、10%、20%と変え混入し、混ぜ時間を10分とした。このときの全抵抗値は、0%の場合76Ω、10%の場合180Ω、20%の場合88Ωとなった。



写真-3 竹炭

実験方法および結果は以下のとおりである。竹炭(写真-3)を混入した炭素繊維混入モルタルに電力量50Wの電流を通电し、供試体・氷の温度を測定した(図-7)。

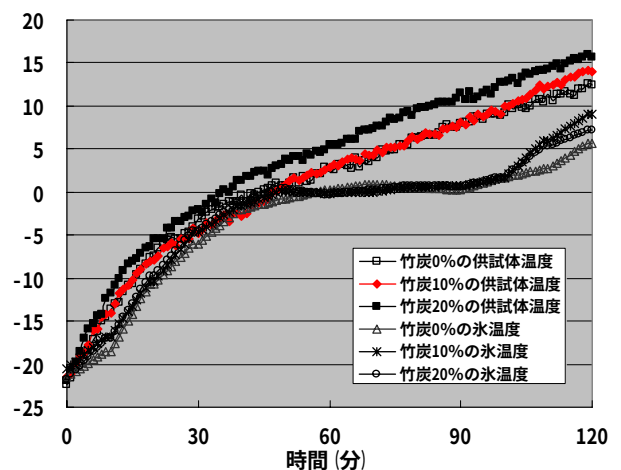


図-7 各竹炭混入率による温度の比較

図-7に示すように各竹炭率の供試体・氷とともにほぼ上昇温度が同一になっている。だが竹炭0%の場合、ほかの2つの氷の温度上昇より少しではあるが小さくなっている。この実験による遠赤外線による効果が明らかではない。

また竹炭を混入した場合、混ぜ方により抵抗値が大きく変わった。これは、竹炭を混ぜ込むときに炭素繊維が細かく切れて、抵抗値が大きくなっている。このことから、竹炭を混入した場合抵抗値を安定させることは難しい。

9. 圧縮試験・曲げ試験

実験方法および結果は以下のとおりである。炭素繊維なし、炭素繊維あり、炭素繊維・竹炭入りモルタルの4cm×4cm×16cmの供試体を、配合を変えて作製し、圧縮・曲げ試験を行なった(表-1、図-8)。

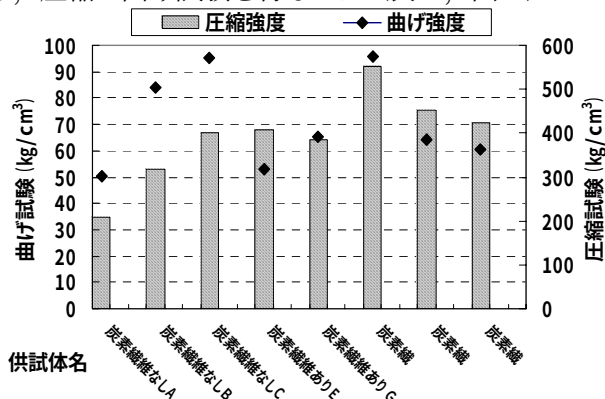


図-8 圧縮・曲げ試験

表-1 圧縮・曲げ試験用配合

供試体No.	炭素繊維 (%)	竹炭混入率 (%)	w/c (%)	s/c
A	0	0	50	1
B	0	0	40	1
C	0	0	35	1
D	2	0	50	1
E	2	0	40	1
F	2	0	35	1
G	2	10	35	1
H	2	20	35	1

図-8に示すように炭素繊維を混入していないときより炭素繊維を混入したモルタルの方が圧縮強度は強くなっている。しかし炭素繊維を混入した場合、強度にばらつきがある。これはw/c率を大きくするにつれてモルタル全体が水っぽくなり炭素繊維のダマが出来やすくなる。このためw/c率を大きくするとダマの出来かたにより強度も変わってくるのでばらつきが出来る。w/c=35%の場合、炭素繊維のダマが出来ていないため強度が安定してくる。また、竹炭の混入率を増やすほど強度は低下する。

10. 電力量の検討

実際に使用されている、ロードヒーティングと今回使用した炭素繊維混入モルタル供試体との電力量の違いについて検討した。

実際のロードヒーティングでは熱効率 80~70%であるが、今回使用した供試体では、図-9に示すように、実測値と理論値がほぼ同じになっているため熱効率が100%になっているといえる。このことをもとに実際に使用されているロードヒーティングと今回の供試体との電力量について比較をした。

風速：5m/s

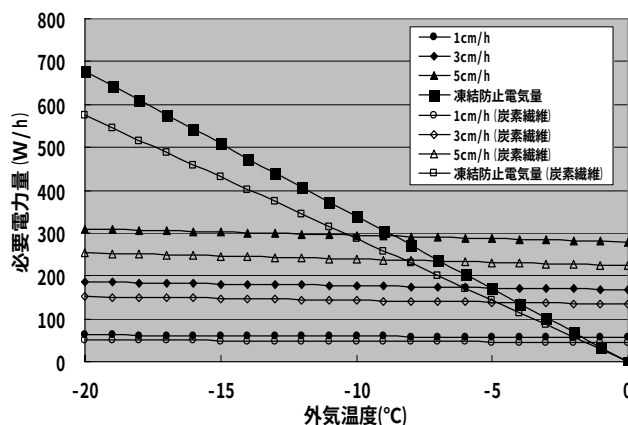


図-9 積雪量を変えたときの電力量

札幌の平均気温である-5°Cで積雪量3cm/hの場合電力量を33W/h・m²少なくできると思われる。

11. まとめ

本研究では氷点下での炭素繊維混入モルタルを通電した場合の発熱特性について検討し、以下のことが明らかになった。

- 炭素繊維混入モルタルを氷点下において通電した場合、凍結した路面を十分に融かすことのできる発熱効果がある。
- 炭素繊維混入モルタルを通電した場合の温度上昇を理論値で求めることができる。
- 竹炭を混入した場合に遠赤外線効果を付与させることは、困難である。
- 炭素繊維を混入する場合、w/c=35%にすることにより炭素繊維のばらつきが無くなり、強度が強くなる。

参考文献

- 社団法人に本道路協会：道路防雪便覧，182p，369p，1995
- 寺谷圭介，福地輝高：炭素繊維混入セメントペーストを融雪舗装に用いる可能性，2005