

コンクリート中の温度変化と凍結防止剤の散布に関する実験的検討

日本大学工学部 正会員 ○原 忠勝
日本大学大学院 学生員 石井 崇晴

1. はじめに

スパイクタイヤの使用禁止に伴って、冬期間の積雪・雪氷対策が重要な課題となっている。このうち、凍結防止や、融氷・融雪効果のある薬剤を用いる化学的な凍結対策には、主として塩化ナトリウムや塩化カルシウムで、その他、CMA（カルシウム・マグネシウム・アセート）、尿素、塩化マグネシウム、酢酸カリウムなども用いられる場合がある。本研究は、これら凍結防止剤の散布に関する基礎的な資料を得ることにある。このうち本報告では、水溶時の熱的变化と、コンクリート表面に散布した場合の温度変化に及ぼす影響に関する実験結果を述べたものである。

2. 実験の概要

本実験シリーズでは、凍結防止剤の水溶液の温度変化に関する実験と、塩化カルシウムと塩化ナトリウムを散布した場合のコンクリート中の温度変化に関する実験に分けて行った。まず水溶時の温度変化については、 NaCl 、 CaCl_2 、 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 MgCl_2 、および尿素有の5種類について、濃度を3、6、9、12%とし、水溶液中の温度変化を測定した。そして、これら溶液について、 $+20^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$ の1日1サイクルの凍結融解時における温度変化を測定実験を行った。

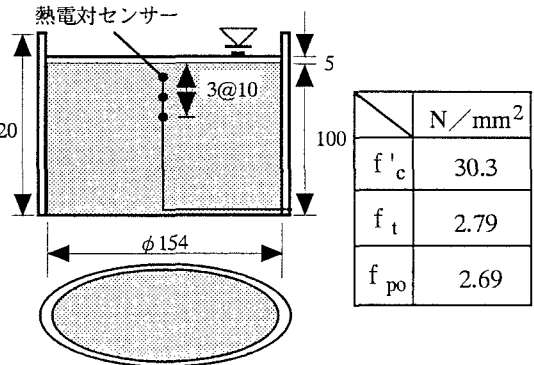


図-1 コンクリート供試体

また、凍結防止剤散布下におけるコンクリート中の温度変化に関する実験は、 NaCl と CaCl_2 の2種類とし、 $+20^\circ\text{C}$ より -5°C までの降温過程における散布と、 -5°C の結氷条件下での散布について行った。なおここでは、溶液と粉末の散布量を9%とし、コンクリート表面の結氷の厚さを5mmとした。温度測定用のコンクリート供試体は、図-1に示すように、硬質塩化ビニール管（内径154mm、厚さ5.1mm、高さ120mm）を用い、上面より10、20、30mmの3ヶ所に熱電対センサを埋設し、高さ100mmのものを作製した。コンクリートには、 $\text{W/C} = 57.5\%$ （ $G_{\text{max}} = 20\text{mm}$ 、 $\text{W} = 177\text{kg/m}^3$ 、 $s/a = 46.2\%$ ）のものをを用いた。

3. 実験結果および考察

図-2は、 20°C のイオン交換水に各凍結防止剤を混合した時の温度変化に関する実験より、水溶液の濃度3%の結果を示したものである。図に示すように、 NaCl と尿素が吸熱反応により温度低下を示したのに対し、他は、発熱反応により温度上昇を生ずることがわかる。このうち、 CaCl_2 と尿素は、他に比べて、濃度による温度上昇や、温度低下が多くなる傾向を示した。

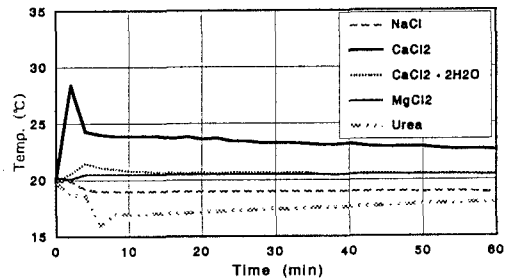


図-2 3%水溶液混合時の温度変化

図-3は、各凍結防止剤を混合した水溶液の濃度9%における凍結融解の繰返し時の温度変化を示したものである。イオン交換水は、図に示すように、 0°C で氷結したのに対し、各水溶液では氷点降下が観察され、 NaCl と CaCl_2 の氷点降下温度は約 -6°C であった。これら氷点降下温度は、濃度に関わらず、 NaCl と CaCl_2 が一番低く、中間が $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ で、 MgCl_2 と尿素有の順で高くなる結果が示された。

次に、 $+20^{\circ}\text{C}$ から -5°C の降温条件下における水溶液（濃度9%）、およびコンクリート中の温度変化を示したのが図-4である。NaClおよび CaCl_2 ともに環境温度の低下に伴って、水溶液、コンクリート表面より10, 20, および30mmの順に温度が低下した。NaClの場合は、3時間30分付近で約 2°C ほど温度上昇を示した後、再び降下し、8時間付近より -5°C の一定温度になった。これに対して CaCl_2 は、NaClより約1時間遅いが、同様な温度上昇から降下に転ずる現象が見られた。これは、恐らく、冷却過程で生じた濃度差によるものと思われるが、観察した訳ではないので、推定の域をでない。

図-5、および図-6は、環境温度が -5°C になり、コンクリート表面のイオン交換水が凍結した時にNaClおよび CaCl_2 の粉末を散布し、その温度変化の測定結果を示した。散布後は、NaClの場合（図-5）、水溶時の吸熱反応によって温度低下を示している。これに対して、 CaCl_2 の場合（図-6）は、発熱反応によって温度上昇を示し、コンクリート表面付近の水溶部の温度は $+1^{\circ}\text{C}$ 付近まで上昇した後、再び低下し、徐々に -5°C の環境温度に近付いていった。また両者とも、散布直後より融解が始まり、液体の状態となった。これは、氷点降下が約 -6°C であるので、 -5°C では結氷しなかったためと思われる。

4. まとめ

これらの結果をまとめれば、以下のようになる。水溶時における熱特性から、NaClと尿素は吸熱反応による温度低下を示し、 CaCl_2 、 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、および MgCl_2 は発熱反応による温度上昇が見られた。しかし、凍結融解環境下におけるこれら水溶液は、程度の差があるものの、氷点降下によって結氷温度が低くなった。

また本実験の場合、凍結時に散布した実験では、水溶時の熱的性質と同様な傾向が示された。しかし、降温過程における散布の実験では、 0°C 以下になった時に濃度差によると思われる若干の温度上昇に転じる変化が見られたが、これら熱的性質の明確な違いを確認できなかった。

終わりに、本実験は、石川修（竹中工務店）、寺島徹（二本松市役所）、矢島充（高脇基礎）の3君による平成10年度の卒業研究の一環として行われたもので、附記して感謝するものである。

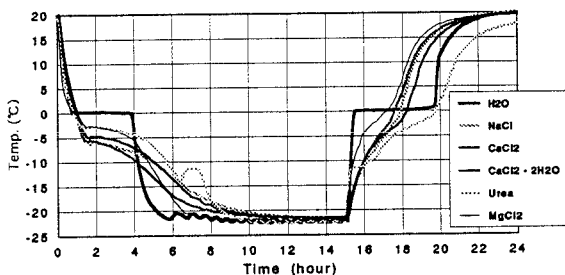


図-3 9%水溶液における凍結融解時の温度変化

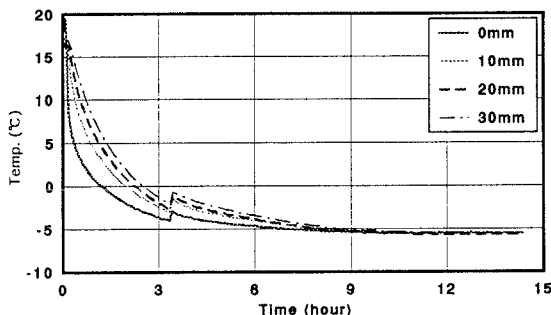


図-4 降温時の水溶液とコンクリート中の温度変化

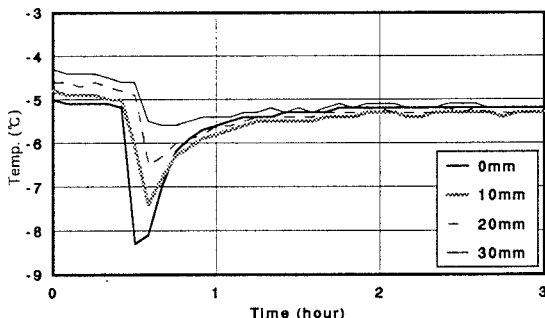


図-5 NaCl粉末散布時のコンクリート中の温度変化

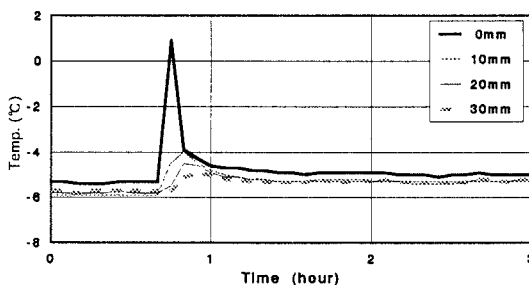


図-6 CaCl_2 粉末散布時のコンクリート中の温度変化