

融雪・融氷剤 (NaCl, CaCl₂) によるコンクリートの劣化

金沢大学工学部 学生員 ○山田正弘
 金沢大学工学部 正会員 鳥居和之
 金沢大学工学部 正会員 川村満紀
 デンマーク国立工業試験所 S. Chatterji

1. まえがき

冬期に道路の路面が凍結するのを防ぐ目的で、寒冷地では融雪・融氷剤 (NaCl、CaCl₂) が多量に使用されている。融雪・融氷剤がコンクリート構造物の耐久性に及ぼす影響としては、塩化物の浸透による鉄筋の腐食や、コンクリート表面の凍害によるスケーリングなどが一般に知られているが、これらの現象の他にもアルカリ骨材反応の促進および高濃度の塩化物によるコンクリート自体の化学的劣化の問題がある。とくに、融雪・融氷剤としてCaCl₂を使用した時には、ある種の条件において特殊な劣化現象を生じることが指摘されているが、そのような劣化現象のメカニズムおよび防止対策についてはほとんど明らかにされていない。本研究では、各種濃度のNaClおよびCaCl₂溶液に浸漬したセメントモルタルの塩化物イオンの浸透状況、強度および膨張量を測定することにより、セメントモルタルの化学的劣化に及ぼすNaClおよびCaCl₂の影響およびそのメカニズムについて検討したものである。

2. 実験概要

使用セメントは普通ポルトランドセメント (比重; 3.16、ブレン値; 3300cm²/g) であり、細骨材には川砂 (比重; 2.61、吸水率; 1.3%、最大粒径; 2.5mm) を使用した。塩化ナトリウムおよび塩化カルシウムは、試薬一級NaClおよび試薬一級 CaCl₂・2H₂Oをそれぞれ使用した。セメントモルタルの配合は水:セメント:砂=0.5:1:2 (重量比) とした。セメントモルタルのNaClおよびCaCl₂溶液への浸漬試験は、表-1に示すような養生、温度および濃度の各条件において実施した。測定項目は、圧縮および曲げ強度 (40×40×160mm, JISA5201)、長さ変化率 (JISA5201)、動弾性係数 (JISA1127)、塩化物イオン浸透深さ (供試体破断面への硝酸銀溶液 (N/10) の噴霧)、X線回折および走査型電子顕微鏡による反応生成物の同定である。

3. 実験結果および考察

3.1 塩化物イオンの浸透深さ

画像解析装置により測定された塩化物イオンの浸透深さ (浸漬材令90日) を表-2に示す。表-2に示すように、塩化物イオンの浸透深さは、温度に依存する溶液の浸透性 (粘度) と硬化体のポロシチーとの関係で決まり、溶液の濃度および温度が高くなるほど塩化物イオンの浸透が大きくなるが、NaClとCaCl₂溶液間の相違は比較的小さい。また、水中養生期間が7日から28日に延長されると、塩化物イオンの浸透は多少抑制される傾向にある。

3.2 圧縮強度の変化および劣化状況

NaClおよびCaCl₂30%溶液に浸漬されたセメントモルタルの圧縮強度の変化を図-1および図-2に示す。図-1に示すように、NaCl溶液に浸漬されたセメントモルタルでは、濃度が高くなると強度発現が抑制される傾向がみられるが、溶液の濃度および温度条件に関係なくいずれの場合も劣化現象は全く観察されなかった。一方、CaCl₂溶液に浸漬されたセメントモルタルでは、5%および15%の濃度のものには劣化は生じなかったが30%の濃度にて劣化が発生し、劣化現象は20℃および5℃の温度条件でとくに顕著であった。供試体の劣化は浸漬14日程度で、鋭角部に平行なひび割れがみられ、その後CaCl₂溶液が内部に浸透するにつれて、供試体端部の角欠けおよび表面部のスケーリングが発生した。この結果、図-2に示すように、劣化を生じた供試体では、浸漬28日以後の圧縮強度が急激に低下した。

表-1 養生、濃度および温度条件

前養生期間	水中養生7日および28日
濃度条件	NaClおよびCaCl ₂ (5%, 15%, 30%)
温度条件	5℃, 20℃, 40℃

表-2 塩分の浸透状況 (浸漬材令90日)

温度条件	溶液濃度	塩化ナトリウム		塩化カルシウム	
		水中養生7日	水中養生28日	水中養生7日	水中養生28日
5℃	5%	17.0	12.6	15.8	13.4
	15%	17.6	16.8	17.6	16.4
	30%	20.0	16.4	16.9	17.2
20℃	5%	20.0	9.7	20.0	14.0
	15%	20.0	20.0	20.0	20.0
	30%	20.0	20.0	20.0	20.0
40℃	5%	20.0	20.0	20.0	20.0
	15%	20.0	20.0	20.0	20.0
	30%	20.0	20.0	20.0	20.0

* 塩分浸透深さ20mmは供試体中深部まで塩分が完全に浸透していることを示す

(単位: mm)

3.3 長さ変化率および動弾性係数の変化

NaClおよびCaCl₂30%溶液に浸漬されたセメントモルタルの長さ変化率および動弾性係数の変化を図-3～6に示す。図-3に示すように、NaCl溶液に浸漬されたセメントモルタルでは、水中養生期間7日で浸漬した場合に塩分濃度の大きなものほど浸漬初期から収縮する傾向を示した。一方、図-4に示すように、CaCl₂溶液に浸漬されたセメントモルタルでは、初期に収縮し、その後、長期に膨張する傾向が認められた。しかし、NaClおよびCaCl₂溶液によるセメントモルタルの劣化では、硫酸塩腐食などに見られるような膨張現象はそれほど顕著ではない。図-5および図-6に示す動弾性係数の測定では圧縮強度の測定においてほとんど劣化が生じなかった温度40℃の条件にて急激な動弾性係数の低下がみられるという興味深い結果が示されている。このことには、長さ変化率および動弾性係数の測定では、測定時、温度20℃の恒温室に供試体を移していることが関係しており、40℃⇔20℃の温度条件が繰り返された場合には劣化が促進されることを示している。

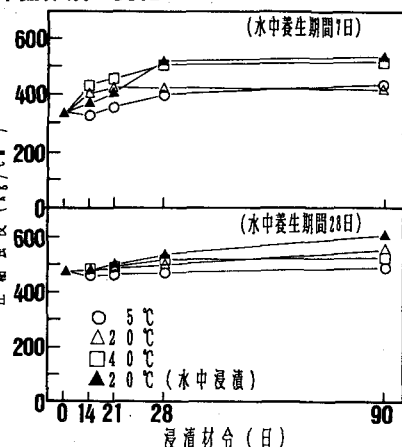


図-1 セメントモルタルの圧縮強度 (NaCl130%溶液浸漬)

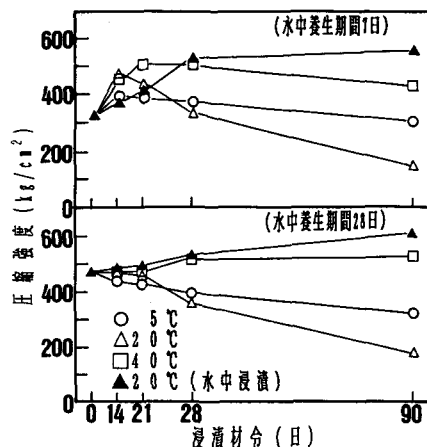


図-2 セメントモルタルの圧縮強度 (CaCl₂30%溶液浸漬)

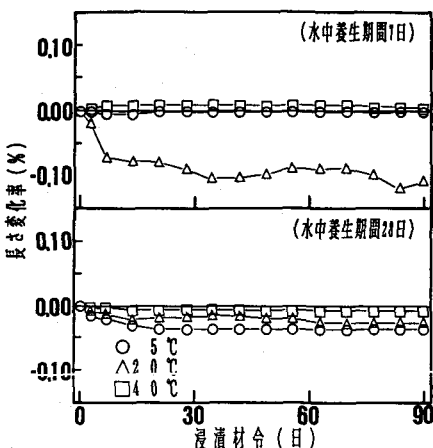


図-3 セメントモルタルの長さ変化率 (NaCl130%溶液浸漬)

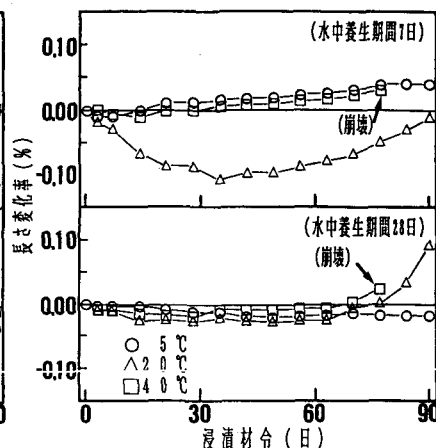


図-4 セメントモルタルの長さ変化率 (CaCl₂30%溶液浸漬)

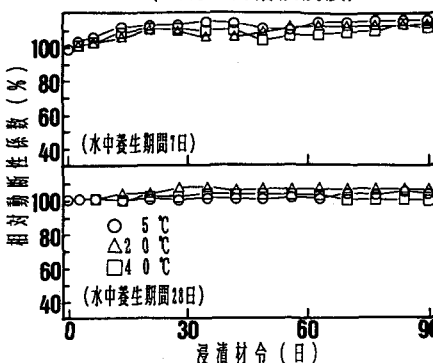


図-5 セメントモルタルの動弾性係数 (NaCl130%溶液浸漬)

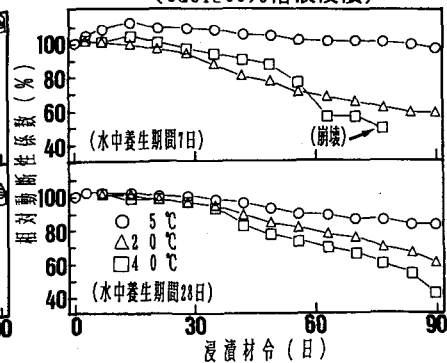


図-6 セメントモルタルの動弾性係数 (CaCl₂30%溶液浸漬)

4. 結論

普通ポルトランドセメントモルタルでは、CaCl₂濃度30%で温度20℃以下の場合に、著しい劣化現象が発生することが確認された。高濃度のCaCl₂溶液に浸漬されたセメントモルタルの劣化は、水酸化カルシウムの溶出と、CaCl₂を含む複塩の生成によるものと考えられるが、これらの結果については当日述べる。