

凍・塩害の進行に及ぼす最低温度および水の塩分濃度の影響

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○遠藤 裕丈
 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 安中新太郎

1. はじめに

寒冷地では車両の走行安全性を確保するため、冬期間、路面に凍結防止剤が散布される。このような地域に建設されたコンクリート構造物は凍結防止剤と凍結融解の影響を受けやすいことから、凍・塩害が懸念される。なお、寒冷環境の厳しさは地域によって異なる。このため、限られた予算で各地のコンクリート構造物を合理的に維持管理するため、ライフサイクルコストが最小となる補修計画を立案するには、地域特性を適切に考慮した劣化予測が求められる。

そこで、本研究では凍・塩害の進行と地域特性の関係の整理の一環として温度と塩分に着目し、最低温度と水の塩分濃度が凍・塩害の進行に及ぼす影響を室内実験により調べた。

2. 実験概要

表-1 にコンクリートの配合を示す。セメントは普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種、水セメント比は 45, 55, 65% とした。細骨材は苫小牧市錦岡産の海砂(表乾密度 2.69g/cm^3 , 吸水率 1.19%, 除塩処理済)、粗骨材は小樽市見晴産の砕石(表乾密度 2.67g/cm^3 , 吸水率 1.80%)を使用した。粗骨材の最大寸法は 25mm とした。スランプは $8\pm 2.5\text{cm}$ 、空気量は $4.5\pm 1.5\%$ とし、AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体)と AE 助剤(変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤)で調整した。供試体の寸法は $100\text{mm}\times 100\text{mm}\times 400\text{mm}$ とした。供試体は材齢 7 日まで常温下で湿布養生した後、材齢 28 日まで温度 20°C 、湿度 60% の恒温恒湿室に静置した。途中、材齢 21 日に、エポキシ樹脂接着剤とシリコーン充填材を使用して、発泡スチロール板で作製した高さ 10mm、幅 5mm の枠を打設面に据え付けた(写真-1)。

材齢 28 日から ASTM C 672 に準じた一面凍結融解試験を行った。打設面に試験水を 6mm 張り、凍結 16 時間、融解 8 時間の 1 日 1 サイクルの凍結融解試験を 300 サイクル行った。試験水は淡水または塩水とした。表-2 に最低温度と試験水の塩分濃度を示す。地域によって異なる最低温度は -10°C 、 -18°C 、 -40°C 、凍結防止剤の散布回数によって異なる融雪水の塩分濃度¹⁾は、試験水の塩分濃度を 0.0% (淡水)、0.2%、0.5%、0.8%、1.5%、3.0% に設定して模した。融解時の最高温度は 23°C に統一した。測定項目はスケーリング量、相対動弾性係数、塩化物イオン量とした。スケーリング量は、写真-2 に示すように剥離片を採取し、 110°C で乾燥させた後の質量から求めた。相対動弾性係数は周波数 28kHz の超音波測定器を使用して求めた。写真-3 に示すように打設面から深さ 20, 50mm の超音波伝播速度を測定し、式(1)²⁾、(2)から深さ 20, 50mm の相対動弾性係数を求めた。

表-1 コンクリートの配合

使用 セメント	水セメン ト比(%)	単位量(kg/m^3)			
		水	セメント	細骨材	粗骨材
普通 ポルト	45	150	333	810	1066
	55	145	264	879	1067
	65	150	231	925	1037
高炉 B 種	45	148	329	809	1065
	55	145	264	875	1062
	65	147	226	928	1040

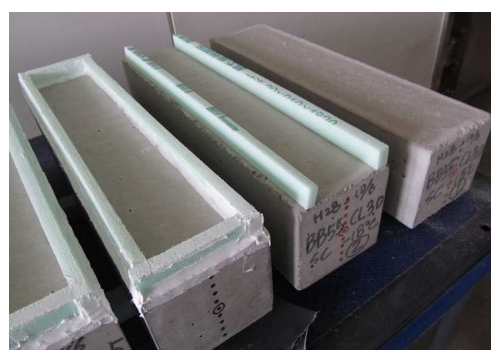


写真-1 供試体の打設面への枠の据え付け状況

表-2 最低温度および試験水の塩分濃度の条件

使用 セメント	水セメン ト比(%)	最低温度 ($^\circ\text{C}$)	試験水の塩分濃度(%)
普通 ポルト	45	-18	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
	55	-10	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
		-18	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
		-40	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
		-40	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
	65	-18	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
高炉 B 種	45	-18	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
	55	-10	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
		-18	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
		-40	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
		-40	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0
	65	-18	0.0, 0.2, 0.5, 0.8, 1.5, 3.0



写真-2 スケーリング片の採取状況



写真-3 超音波伝播速度の測定状況

キーワード コンクリート、最低温度、塩分濃度、凍害、塩化物イオン量

〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 TEL 011-841-1719 FAX 011-837-8165

$$E_{dn} = 4.0387V_n^2 - 14.438V_n + 20.708 \quad (1)$$

$$RE_d = \frac{E_{dn}}{E_{d0}} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 E_{dn} は n サイクルの動弾性係数(GPa)、 V_n は n サイクルの超音波伝播速度(km/s)、 RE_d は n サイクルの相対動弾性係数(%), E_{d0} は凍結融解を受けていないときの動弾性係数(GPa)である。

塩化物イオン量は JIS A 1154 に準じて測定した。

3. 実験結果・考察

図-1, 2 に試験水の塩分濃度とスケーリング量の関係を示す。最低温度を-18℃に設定した図-1をみると、普通ポルトランドセメントを使用した水セメント比65%の供試体と高炉セメントB種を使用した供試体において、濃度0.5%前後でスケーリング量の増加割合が異なる傾向がみられ、0.0%から0.5%にかけて濃度の影響が強く表れることが確認された。次に、図-2の最低温度-10℃をみると、濃度1.5%から3.0%にかけてスケーリング量が減少していることがわかる。一般に液体の氷点は濃度が高いほど低い。凍結工程時に試験水を観察したところ-10℃の濃度3.0%のみシャーベット状態で、それ以外は固い氷であった。スケーリング量が減少した理由は表面に十分な氷が固着せず、表面に大きな応力が作用しなかったためと言える。

一方、最低温度の影響に着目すると、いずれの濃度でも最低気温が低いほどスケーリング量が多い傾向が示された。その傾向は濃度0.0~3.0%では0℃から-18℃にかけて顕著であった。よってスケーリングに及ぼす環境の評価項目は、凍結防止剤の散布回数と関連するコンクリートに供給される水の単純な塩分濃度の高さよりも、0.5%以上の濃度の持続性と最低気温の低さが特に重要と言える。

図-3に300サイクル時のスケーリング量と相対動弾性係数の関係を示す。深さ20mmの相対動弾性係数はスケーリングに伴って減少する傾向は呈したが、90%以上が保持された。深さ50mmの相対動弾性係数はほぼ100%であった。空気量4.5%であれば、最低温度や水の塩分濃度が相対動弾性係数に及ぼす影響は小さいと言える。

図-4は試験水の塩分濃度と塩化物イオン量の関係である。ここでは水セメント比55%、最低温度-18℃の結果を示した。また比較のため同じ期間、常温下で塩水浸漬を行った値も載せた。普通ポルトランドセメントを使用した供試体は、高炉セメントB種を使用した場合に比べるとスケーリングは小さいが(図-1)塩化物イオン量は多く、試験水の塩分濃度と対応した。よって塩害はスケーリングとは対照的にコンクリートに供給される水の塩分濃度の高さが重要な評価項目と言える。特に、凍結防止剤を含む融雪水の飛沫を受けやすい道路橋地覆は最小かぶりが30~35mm³⁾とされており、図-4から凍結防止剤散布回数が多く、厳しい凍結融解作用を受ける環境では塩化物イオン浸透抑制対策が必須と言える。

- 【参考文献】1) 高木典彦, 遠藤裕丈, 成田徳昌: 凍結防止剤散布路線でのコンクリート暴露実験1 冬目の評価(1)―表面塩化物イオン量の設定方法に関する検討―, 第61回(平成29年度)北海道開発技術研究発表会発表要集, 2018.2
2) 緒方英彦, 服部九二雄, 高田龍一, 野中資博: 超音波法によるコンクリートの耐凍結融解特性の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1563-1568, 2002.6
3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, III コンクリート橋・コンクリート部材編, p.71, 2017.11

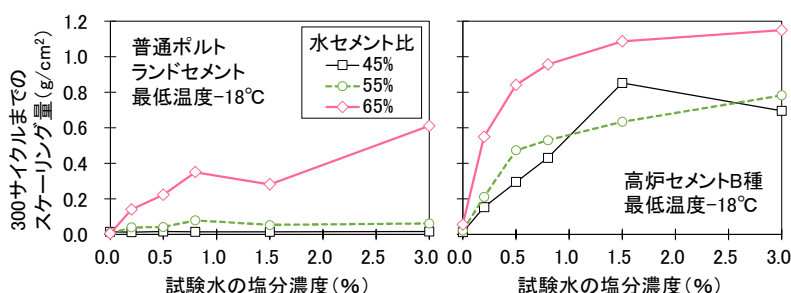


図-1 試験水の塩分濃度とスケーリング量の関係に及ぼす配合の影響

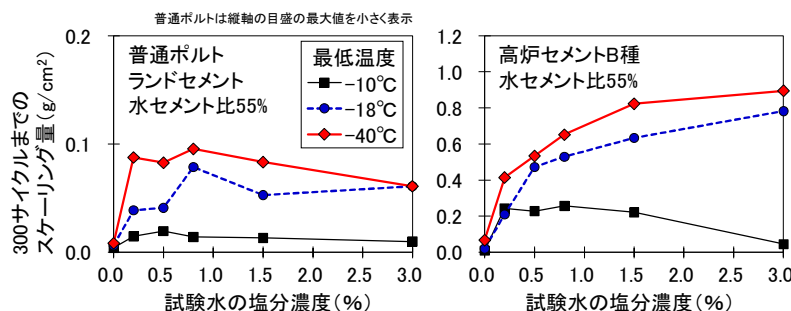


図-2 試験水の塩分濃度とスケーリング量の関係に及ぼす最低温度の影響

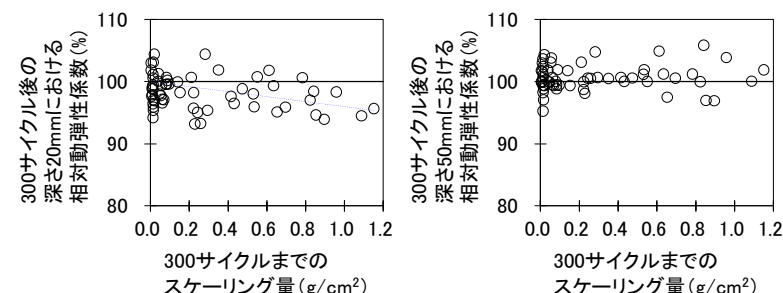


図-3 スケーリング量と相対動弾性係数の関係 (300 サイクル, 全ての供試体)

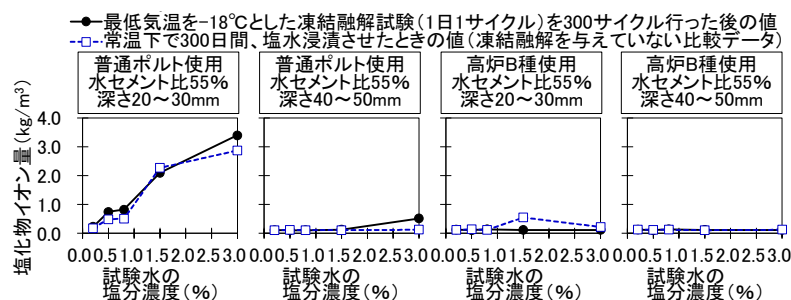


図-4 試験水の塩分濃度と塩化物イオン量の関係