

コンクリート中への塩化物イオンの浸透に及ぼす凍結融解作用の影響

八戸工業大学 正会員 ○迫井 裕樹
正会員 阿波 稔
正会員 庄谷 征美
古川 賢一

1. はじめに

近年、寒冷地におけるコンクリート構造物の凍結融解と塩化物イオンの浸透に伴う鉄筋の腐食の複合劣化が顕在化し、大きな社会問題となっている。特に寒冷地においては、厳しい凍結融解作用を受けるとともに、融雪剤・融氷剤の散布に伴う塩化物イオンの浸透およびそれに伴う鉄筋腐食が生じ、構造物の耐久性を著しく損なわせることが問題となっている。

これまでも凍結融解作用と塩化物イオンの浸透性について検討を行った研究はみられるが、両者が同時に作用する研究例は少なく、知見が乏しいのが現状である。凍結融解作用と塩化物イオンの浸透の複合作用について検討を行うことは、寒冷地におけるコンクリート構造物の耐久性予測等において非常に有用なものとなりうると考えられる。著者らの研究グループは、これまでも塩化物イオン浸透性に及ぼす温度の影響について検討を進めている¹⁾。本研究では、さらに温度条件を追加し、最低温度を変化させた凍結融解作用を含む、種々の温度条件下における塩化物イオン浸透性を検討した。

2. 実験概要

本研究での使用材料として、セメントは早強セメント（密度：3.13g/cm³）、石灰岩砕砂（密度：2.69g/cm³，吸水率：0.89%，F.M.：2.59）、石灰岩碎石（密度：2.69g/cm³，吸水率：0.41%，F.M.：7.59）を用いた。また練混ぜ水は一般水道水とし、混和材としてアニオン系界面活性剤を主成分とする AE 剤を用いた。

本研究で使用したコンクリートの配合を表－1に示す。本研究では、水セメント比を 45，55 および 65% の 3 水準とした。いずれの配合においても目標スランプ、目標空気量は各々 8±1cm，5±1%とした。

表－1に示す配合にて作製した 100×100×400mm の角柱供試体から 100×100×100mm の試験体を作製し、本実験に用いた。また作製した 100×100×100mm の試験体一面から塩化物イオンを浸透させるため、底面側に堤を設置し、試験溶液として 3%NaCl 水溶液を用いた。また温度条件として、表－2に示す 4 水準の温度条件を採用し、試験開始から 10，20 および 30 日（凍結融解を受けるものは 10，20 および 30 サイクル）において、全塩化物イオン濃度の測定を行った。

3. 実験結果

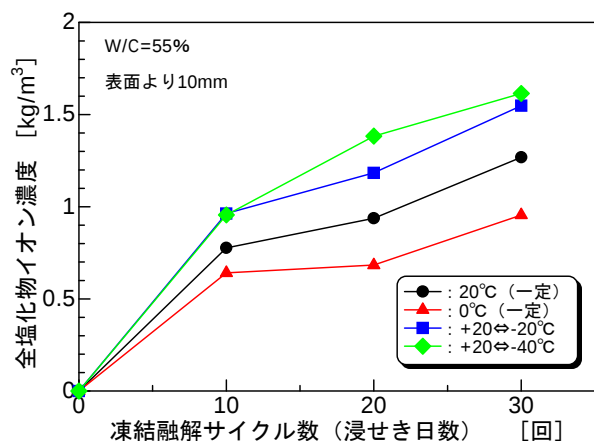
図－2に凍結融解作用を受ける水セメント比 55%のコンクリートの全塩化物イオン濃度の変化と凍結融解サイクル数の関係を示す。図はいずれも縦軸に表面から深さ 10mm までの位置における全塩化物イオン濃度を、また横軸に凍結融解サイクル数を示している。これより、いずれの温度条件においても凍結融解サイ

表－1 配合

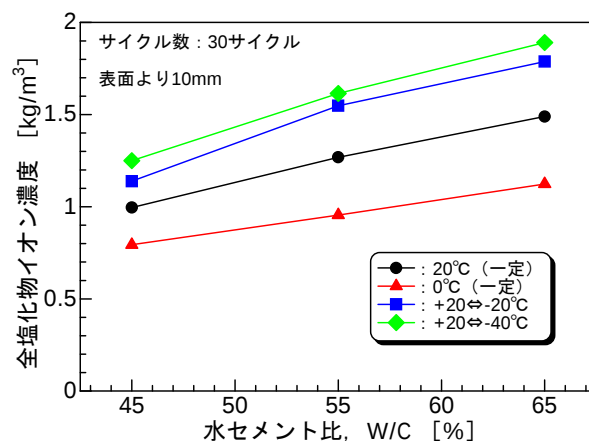
Gmax [mm]	s/a [%]	W/C [%]	単位量 [kg/m ³]				AE剤
			W	C	S	G	
20	35.0	45	165	367	629	1168	C×0.060
	38.0	55		300	705	1149	C×0.042
	40.0	65		254	757	1136	C×0.040

表－2 温度条件

温度条件	温度保持時間 [hr]	冷却速度 [°C/h]
0°C(一定)	24	－
20°C(一定)	24	－
－20～20°C	16	－20
－40～20°C	15	－20



図－１ 全塩化物イオン濃度と凍結融解サイクル数



図－２ 全塩化物イオン濃度と水セメント比

クル数の増加とともに全塩化物イオン濃度が増加していることが把握された。また同一の温度条件において、温度一定の条件下（20℃および 0℃）では、温度の低いものほど塩化物イオン濃度が低く、また凍結融解作用を受けたもの（+20℃⇄-20℃および、+20℃⇄-40℃）は、凍結融解作用を受けていないもの（温度一定条件）と比較して、全塩化物イオン濃度が高い値を示す傾向にあり、さらに最低温度が低いものほど、全塩化物イオン濃度が高い値を示すことが把握された。これらの傾向は、すべての水セメント比で同様に認められた。凍結融解作用を受ける場合、水分の凍結に伴う塩分の濃縮あるいは、未凍結水の移動に伴う塩化物イオンの浸透が凍結融解作用を受けるコンクリートの全塩化物イオン濃度をより増加させる一因であると考えられる。

図－３に凍結融解サイクル数 30 回における、表面から 10mm 以下の位置における全塩化物イオン濃度と水セメント比の関係を示す。これより、すべての温度条件下において、水セメント比の増加に伴い、全塩化物イオン濃度も増加することが確認された。この傾向は、一般的に示されている傾向と同様である。また各水セメント比における温度条件の影響として、水セメント比が高いものほど、凍結融解作用を受けた際の全塩化物イオン濃度の増加が大きくなる傾向を示す。これは水セメント比の増加に伴い、コンクリート中の凍結水量が増加し、上述の未凍結水の移動に伴う塩化物イオンの濃縮・移動が増加するためと考えられる。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 凍結融解作用を受けるコンクリートの全塩化物イオン濃度は、温度一定条件下におけるそれと比較して、高い値を示す傾向にあることが明らかとなった。これは、凍結融解作用による未凍結水の移動に伴う塩化物イオンの移動あるいは濃縮によるものと考えられる。
- (2) 凍結融解作用を受けるコンクリート中の全塩化物イオン濃度の増加は、水セメント比が高いものほど高くなる傾向を示すことが明らかとなった。これは水セメント比の増加に伴い、コンクリート中の凍結水量が増加することにより、未凍結水の移動および塩化物イオンの濃縮が増加するためと考えられる。

以上、本研究では、コンクリートの塩化物イオン浸透性に及ぼす凍結融解作用の影響について、実験的に検討を行った。本稿では 30 サイクルまでの検討結果であることから、今後長期にわたる塩化物イオン浸透性に及ぼす温度の影響を検討するとともに、凍結融解作用を受けたコンクリート中への塩化物イオン浸透メカニズム等を詳細に検討することが重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 今野竜也, 阿波稔, 庄谷征美, 月永洋一: 凍結融解作用を受けるコンクリートの塩化物浸透性と鉄筋腐食, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.1137- 1142, 2007