

論文

[1121] 塩分作用下でのコンクリートの凍害劣化に関する研究

正会員 〇月永洋一 (八戸工業大学建築工学科)

正会員 庄谷征美 (八戸工業大学土木工学科)

正会員 原 忠勝 (日本大学土木工学科)

1. はじめに

我が国の寒冷地においては、冬季に融氷剤(凍結防止剤)等の塩類が散布されているが、早くからスパイクタイヤ等の使用禁止措置がとられている欧米諸国に比べれば、その散布量は著しく少ない現状にある。欧米では、散布によるコンクリートへの種々の被害の顕在化や、その維持補修費が莫大であることが報告されているが、我が国においては今のところ大きな問題にはなっていない。しかし、我が国においても、スパイクタイヤの使用禁止に関する法律が公布・施行されるに至り、融氷剤の散布量は今後増加の一途をたどるものと考えられる。従って、このまま何の対策も講じなければ、塩害をはじめ、塩分作用下での凍害やアルカリ骨材反応等による被害が各地で顕在化してくるものと思われ、欧米での実情を教訓として、融氷剤散布によるコンクリートへの被害に関する研究を早急に進めることが必要であると考えられる。

本研究は、融氷剤散布を起因として生じると考えられる被害のうち、比較的研究が遅れていると思われる塩分作用下でのコンクリートの凍害劣化に着目したもので、各種塩類を用いた場合の凍害劣化を定量的に把握するという点を重視して検討したものである。

2. 試験概要

2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は碎石(最大寸法25mm、粗粒率6.90、比重2.69)、細骨材は陸砂(粗粒率2.73、比重2.59)、混和剤はAE剤(ヴィンソル)を使用した。本実験では、表1に示した塩類を、外部塩分(環境側塩分)および内部塩分(コンクリートへの初期混入塩分)として使用した。

表1 使用した塩類

塩類名	外部塩分			内部塩分	
	濃度 (%)	Cl ⁻ 量 (%)	記号	混入量* (kg/m ³)	記号
イオン交換水	—	0.00	IEW	—	IEW
NaCl	3.0	1.82	NaCl	1.2	NaCl
CaCl ₂	3.0	1.92	CaCl	1.2	CaCl
〃	1.5	0.96	CaCl*	—	—
MgCl ₂	3.0	1.05	MgCl	—	—
人工海水	—	1.98	ASW	1.2	ASW

*: Cl⁻量換算の混入量

2.2 コンクリートの調(配)合・使用塩類の組合せ

本実験は、2シリーズよりなる。コンクリートの調合を表2に示す。なお、内部塩分の場合は、各種塩類をCl⁻量換算で1.2kg/m³となるように調整して練り混ぜ水に混入した。各シリーズにおける使用塩類の組合せを表3に示した。

表2 コンクリートの調(配)合

シリーズ	水セメント比 (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤
I	45	8	1.5	42.7	187	416	737	1027	—
	45	8	2.5	40.6	181	402	701	1065	0.054
	45	8	4.5	39.1	169	376	675	1092	0.102
	65	8	1.5	46.7	190	292	850	1007	—
	65	8	5.0	41.6	151	232	766	1116	0.084
II	55	8	5.0	40.3	168	305	715	1100	0.107

2.3 試験方法

シリーズIは、ASTM C 666A法に準じた水中凍結融解試験であり、シリーズIIは、RILEM技術委員会でも検討している試験法を参考にして条件設定した凍結融

解試験である。シリーズIでは、W10×D10×H40cm供試体を材令28日まで水中養生後、ゴム製容器に入れて隙間を外部塩分溶液で満たし、原則として300サイクルまで試験を継続して、所定サイクル毎に相対動弾性係数および質量変化率を求めた。シリーズIIでは、W53×D15×H15cm供試体を材令7日まで水中養生後、W15×D15×H7.5cmにカットして材令28日まで気中養生し、図1に示す試験容器にカット面が外部塩分（浸漬溶液）と高さ5mmまで接するようにセットして20°Cで7日間浸漬後、図2に示す凍結融解温度条件（外部塩分溶液は、融点降下により凍結温度が純水に比べて数°C下がるが、十分凍結状態を保持できる）で80サイクルまで試験を行った。測定は8サイクル毎とし、浸漬溶液中に落ちているスケーリング片に供試体浸漬面のブラッシングによる剥落片を加え、イオン交換水で塩分を洗い流した後乾燥して質量を測定し、供試体浸漬単位面積当たりの剥落量を求めた。また、試験終了時には、JCI(案)法に準じた可溶性塩分含有量の分析試験を実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 シリーズI

図3に、外部塩分存在下での相対動弾性係数と質量変化率を示す。なお、W/C=65%、Air=1.5%については、どの外部塩分の場合も15サイクルで相対動弾性係数が60%以下を示し、この時点で測定は中止したので、図は省略した。調合種別でみると、水セメント比が大きく空気量の少ない場合ほど、相対動弾性係数が小さく、質量変化率が大きくなることが分るが、全体的に、相対動弾性係数の低下は比較的小さいのに対して、質量変化率の低下は大きい傾向にある。また、相対動弾性係数の低下がみられない場合でも質量変化率が著しい場合もあり、両者の変化は必ずしも対応しない。これまでの知見のとおり、動弾性係数の低下は膨張による組織の緩みをとらえるのに対し、質量変化は膨張としての劣化とは異なり、スケーリングとしての劣化指標であることを示すものと思われ、スケーリング劣化の程度を相対動弾性係数だけで評価することは基本的に難しいようである。従って、本稿では質量変化のみに着目して考察する。質量変化率を塩類別でみると、W/C45%では人工海水>イオン交換水 という関係にあり、空気量が少ない場合この傾向は顕著である。W/C65%の場合も空気連行によって劣化は著しく抑えられており、塩類別では、NaCl3%>CaCl₂3%≥人工海水>CaCl₂1.5%>MgCl₂3%>イオン交換水 という関係にある。各種塩類のCl⁻量で比較すると、CaCl₂1.5%と

表3 使用した塩類の組合せ

シリーズ	水セメント比 (%)	空気量 (%)	内部塩分 1.2 kg/m ³	外部塩分					
				IEW	NaCl 3%	CaCl* 1.5%	CaCl 3%	MgCl 3%	ASW
I	45	1.5	IEW	○	-	-	-	-	○
		2.5	IEW	○	-	-	-	-	○
		4.5	IEW	○	-	-	-	-	○
		4.5	CaCl	○	-	-	○	-	-
		4.5	ASW	○	-	-	-	-	○
	65	NON	IEW	○	○	○	○	○	○
		5.0	IEW	○	-	-	○	○	○
		5.0	CaCl	○	-	-	○	-	-
		5.0	ASW	○	-	-	-	-	○
		5.0	ASW	○	-	-	-	-	○
II	55	5.0	IEW	○	○	-	○	○	
		5.0	NaCl	○	○	-	○	○	

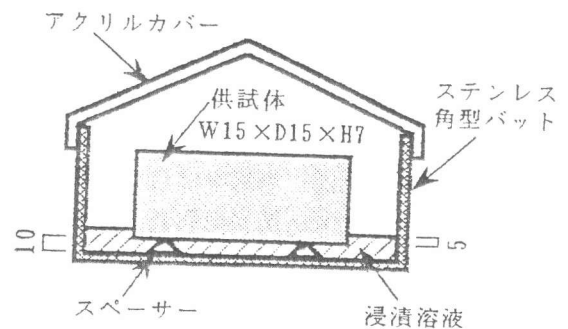


図1 試験容器（シリーズII）

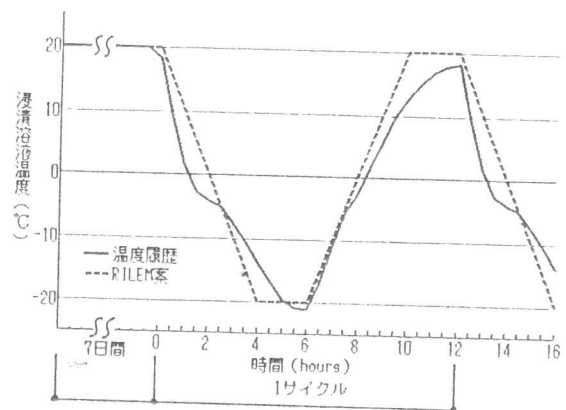


図2 外部塩分（浸漬溶液）の温度条件

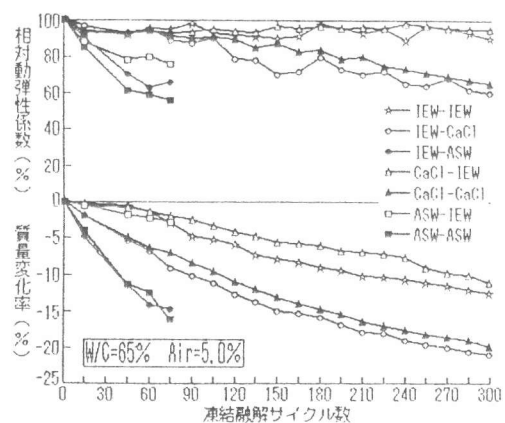
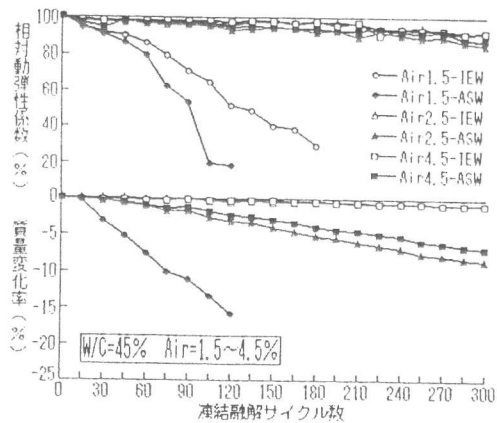


図3 外部塩分存在下での相対動弾性係数と質量変化率（シリーズ I）

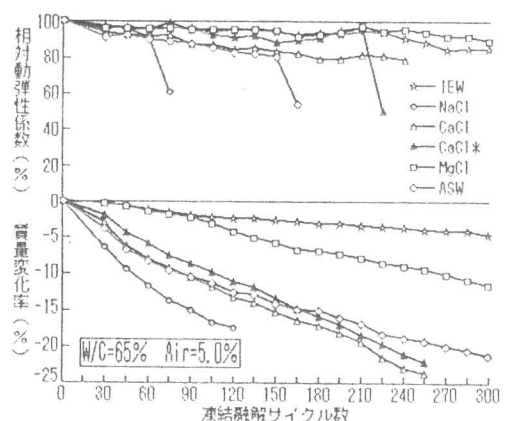
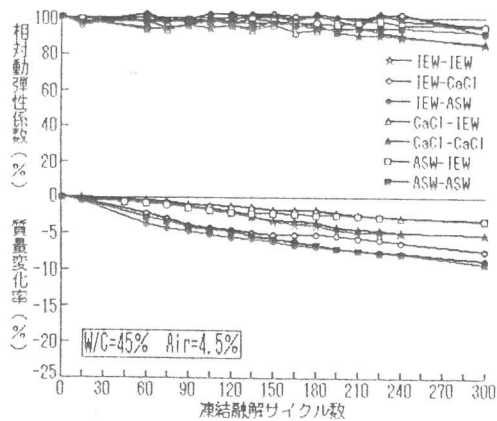


図4 内部塩分-外部塩分存在下での相対動弾性係数と質量変化率（シリーズ I）

MgCl₂3%のCl⁻量は約1%と他の塩類の約半分程の値であり、劣化程度はCl⁻量にも関係しているものと思われる。

図4には、内部塩分と外部塩分存在下での相対動弾性係数と質量変化率を示した。相対動弾性係数と質量変化率の関係は前述と同様の傾向を示している。ここでの使用塩類は、CaCl₂3%と人工海水の2種類であるが、内部塩分-外部塩分の組合せで質量変化率をみると、人工海水-人工海水>CaCl₂3%-CaCl₂3% という関係にあり、この傾向はW/C45%に比べてW/C65%の場合が顕著である。また、内部塩分のみ存在した場合は、内部塩分と外部塩分の両者が存在した場合に比べて小さな値を示す傾向にあり、塩分混入による初期強度の増進等が影響していると推察される。

3.2 シリーズII

図5は、単位剥落量を凍結融解サイクル数の平方根との関係でみると、ほぼ直線関係で表すことができることを示したものである。内部塩分-外部塩分の組合せで単位剥落量をみると、著しく大きな値を示すのはNaCl-NaClのケースである。これは、供試体浸漬面の剥落に加えて供試体側面からの剥落もあったため、この傾向は他の組合せでは観察されなかった。従って、今後は供試体側面をシールするなどして、側面からの剥落を防ぐための工夫が必要である。また、NaCl-イオン交換水のケースは最も小さな値を示し、シリーズIの場合と同様に内部塩分のみ存在する場合のスケーリング劣化は小さい。外部塩分のみ存在する場合は、CaCl₂>NaCl>人工海水>MgCl₂≧イオン交換水 という関係にあり、CaCl₂とNaClの関係を除けばシリーズIと同様な傾

向を示す。図6は、試験終了後における供試体の可溶性塩分量を示したものであるが、塩分含有量はNaCl-NaClのケースが最も大きく、NaCl-イオン交換水のケースが比較的小さな値を示して、単位剥落量の大小と対応することが分る。内部塩分無しの場合でも表面からの深さ2cmまでに塩分の含有が著しいことが分るが、全体的に供試体の中心部では少なく両端で多くなる傾向を示しており、塩分の移動や濃縮が生じた可能性があることが指摘できる。

3. 3 所定サイクルにおける比較

図7は、シリーズIで105サイクル、シリーズIIで80サイクルの質量変化率を比較したものである。内部塩分のみ存在する場合は、外部塩分のみや内部塩分と外部塩分の両者が存在する場合に比べて小さな値を示し、また、試験方法を変えても、各種塩類によるスケーリング劣化の程度は、傾向的には大略対応することが分る。このようにスケーリング劣化は、塩類の種類や濃度、Cl⁻量および内部塩分や外部塩分といった塩分の存在形態等により、異なる性状を示す。

4. まとめ

- 1) ASTM C666A法に準拠した凍結融解試験においては、相対動弾性係数の低下がみられなくても質量の減少が著しい場合があり、質量変化はスケーリングとしての劣化指標として適切である。
- 2) 塩分環境下においては、水セメント比を小さくして空気を行き通らせることにより、凍結融解抵抗性を高めることができる。
- 3) 凍結融解試験による質量変化は、外部塩分のみや内部塩分と外部塩分の両者が存在する場合に比べて、内部塩分のみ存在する場合が小さい。
- 4) コンクリートの凍結融解抵抗性は、塩類の種類や濃度、Cl⁻量により異なる性状を示す。
- 5) 供試体の高さ5mmまでを塩類溶液に浸漬する凍結融解試験法では、供試体の側面をシールするなどして側面からのコンクリート小片の剥落を防ぐための工夫が必要である。

〔謝辞〕本研究は、文部省科学研究費補助金一般研究C（課題番号：02650406）によって行われた成果の一部であることを付記する。

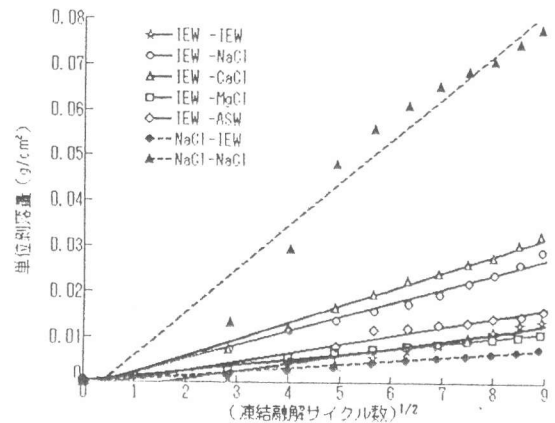


図5 塩分存在下での単位剥落量(シリーズII)

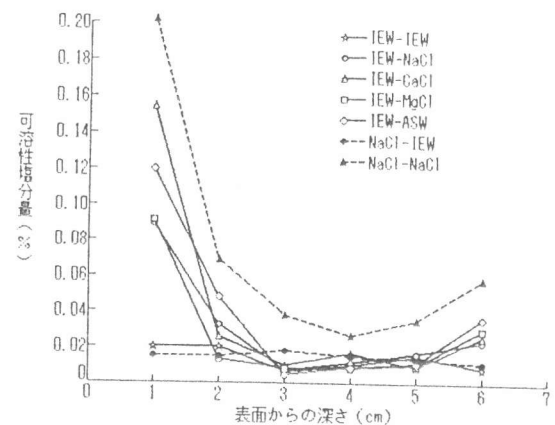


図6 試験終了後の塩分含有量(シリーズII)

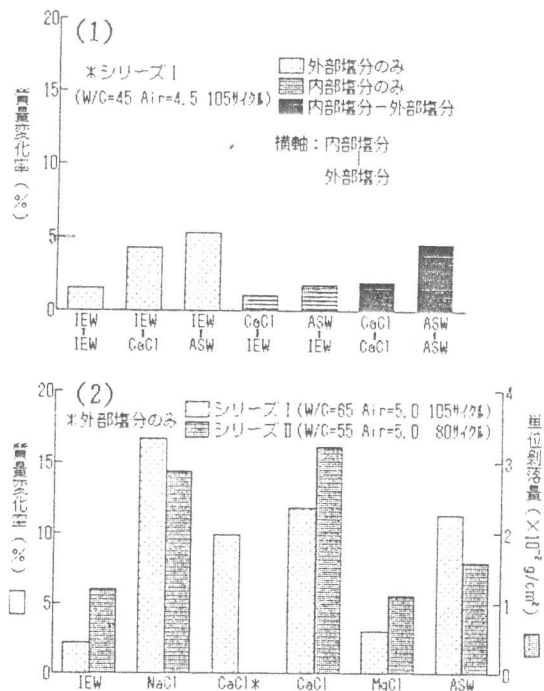


図7 所定サイクルにおける比較