

## 凍害の進行に伴うコンクリートへの塩分浸透性状に関する研究

北海道大学大学院		○大竹 康広
北海道大学大学院	正会員 工博	横田 弘
北海道大学大学院	工博	橋本 勝文
北海道大学大学院		松本 直也

## 1. はじめに

コンクリート構造物は様々な要因によって長期に亘り劣化し、性能が低下することが一般的に知られている。代表的な劣化現象として、塩分浸透環境下における塩害や寒冷地における凍害が挙げられる。

このうち寒冷地のコンクリート構造物には、コンクリート中の水分の凍結融解作用に伴い、ポップアウトやスケーリング等の凍害による損傷が見られることが多い。また、交通安全の観点から凍結防止剤を散布する場合もあるが、その場合、コンクリート中に凍結防止剤由来の塩分（以下、「塩分」とする）が浸透し、鉄筋腐食を伴う複合劣化の様相を示すこともある。このように、凍結防止剤散布環境下では凍害および塩害の2つの劣化が同時に進行するが、このような状況下での塩分浸透メカニズムは解明されておらず、知見が少ないのが現状である。

そこで本研究では、凍害環境下における凍結防止剤由来塩分のコンクリート中への浸透性状に関する知見を得ることを目的とした。2種類の凍結防止剤の散布を模擬した状況下で凍結融解試験を行い、全塩分量、可溶性塩分量、および固定塩分量を定量化し、凍害に伴う塩分浸透性状について考察した。

## 2. 実験概要

実験においては、凍結融解サイクル、凍結防止剤の種類、および AE 剤の有無を実験水準とした。凍結融解サイクル数は、後述する温度変化で、0, 5, 20, 50, 100 サイクルの5水準を設定した。凍結防止剤として塩化ナトリウム (NaCl)、塩化カルシウム (CaCl<sub>2</sub>) の2種類を用いた。また、AE 剤を使用したものについては、空気量を5%とした。

供試体は 40mm×40mm×160mm のセメントペーストとし、その配合は表-1のとおりである。セメントは普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比は 50%とした。供試体を 20℃の水中で 28 日間養生した後、供試体の打設面付近を取り除き、1つの供試体から図-1に示すような寸法 30mm×70mm、厚さ 5mm の試験片 10 枚を切り出した。

表-1 配合表

	単位量 [kg/m <sup>3</sup> ]		
	水	セメント	AE剤
ペースト	612	1225	-
AEペースト			0.49

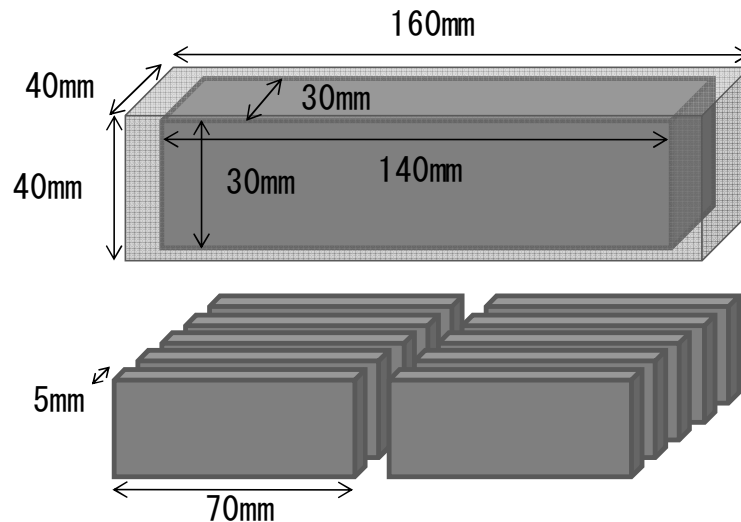


図-1 試験片寸法

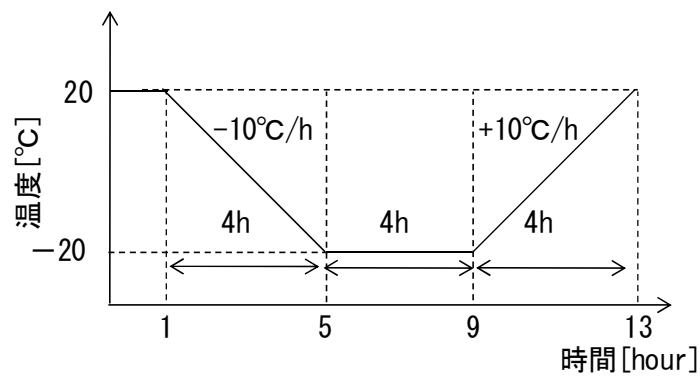


図-2 温度変化図

試験片に質量濃度が 3%の凍結防止剤水溶液を 1 時間真空含浸させ、凍結融解試験を実施した。横軸に時間、縦軸に温度をとった凍結融解試験時の温度変化を図-2 に示す。凍結融解の 1 サイクル 13 時間、最大温度 20°C、最低温度-20°C、昇温および降温速度を±10°C/h とした。また、凍結融解が 5 サイクル経過する毎に試験片を装置から取り出し、凍結防止剤水溶液を 1 時間真空含浸させる操作 (写真-1) を行い、凍結融解が 100 サイクル終了するまで継続した。

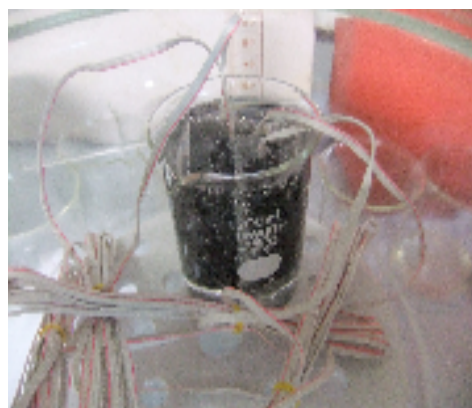


写真-1 凍結防止剤水溶液の真空含浸

所定の凍結融解サイクル終了後に、試験片をボールミルで粉砕し、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠して、粉末試料から塩分の抽出溶液を作製し、全塩分量および可溶性塩分量を測定した。本研究では、全塩分量と可溶性塩分量の差分を固定塩分量とした。丸屋ら<sup>1)</sup>の研究によると、可溶性塩分には自由塩分の他に吸着塩分の一部が含まれ、厳密には全塩分量と可溶性塩分量の差分は固定塩分量とはならないが、本研究においては固定塩分量と見なして考察を進めた。

なお、本研究では、実験条件を表-2に示す記号を用いて表現する。

表-2 供試体の実験条件

凍結融解作用の有無	FTC	凍結融解あり
	nonFTC	凍結融解なし
凍結防止剤種類	N	NaCl
	C	CaCl <sub>2</sub>
AE剤の有無	P	ペースト
	PAE	AEペースト

### 3. 実験結果

#### 3. 1 凍結融解作用の影響

図-3に凍結融解サイクルと塩分量の関係(P-N)を示す。20サイクルまでは、全塩分量および可溶性塩分量は凍結融解なし(nonFTC)の方が多い。一方、50サイクル以降、全塩分量および可溶性塩分量は凍結融解あり(FTC)の方が多い。これは、20サイクルまでは、細孔溶液の凍結により塩分の移動が制限され、固定化が進みにくくなったためと考えられる。また、50サイクル以降は、nonFTCで固定塩分の増加が多いのに対し、FTCでは固定塩分の増加が少なく、全塩分の増分は可溶性塩分の増加に起因するところが大きい結果となった。

#### 3. 2 凍結防止剤種類の影響

図-4に、凍結防止剤の種類を変えた場合の凍結融解サイクルと塩分量の関係を示す。凍結防止剤がNaClの場合、固定塩分量が多く、塩分の固定化の進行が速い。一方、凍結防止剤がCaCl<sub>2</sub>の場合、固定化の進行が遅い。この理由として、CaCl<sub>2</sub>とC<sub>3</sub>Aの反応によるFriedel氏塩の生成や、凍結融解による微細ひび割れの発生が塩分浸透性状に影響を及ぼしたためであると考えられる。

#### 3. 3 AE剤の影響

凍結防止剤にNaClおよびCaCl<sub>2</sub>を用いた場合の凍結融解サイクルと塩分量の関係を図-5および図-6にそれぞれ示す。NaClの場合、AE剤を用いることにより全塩分量および可溶性塩分量は減少する。一方、CaCl<sub>2</sub>の場合、AE剤を用いることにより、逆に全塩分量および可溶性塩分量は増加する。これは、AE剤の添加による空隙構造の変化および凍害抑制効果が凍結融解作用下の塩分の固定化に影響しているためであると推察される。すなわち、AE剤の添加に伴い、微細空隙の連行による水分凍結の遅延および比表面積の増加が塩分の固定化を促進させ、空気量の増加により吸水量および塩分浸透量は増加する。一方、AE剤の添加により、耐凍害性の向上により微細ひび割れの発生が低減され、塩分の固定化が遅延する可能性がある。このように、凍結融解作用下の塩分の固定化の進行に及ぼすAE剤の添加の影響は物理化学的に複合作

用を有していると言える。

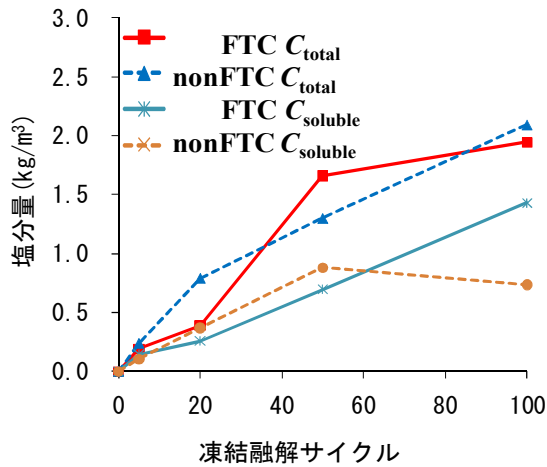


図-3 凍結融解の有無による浸透塩分 (P-N)

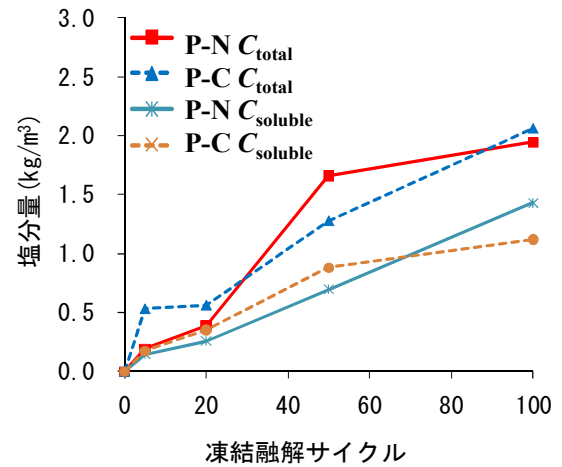


図-4 凍結防止剤種類による浸透塩分 (FTC P)

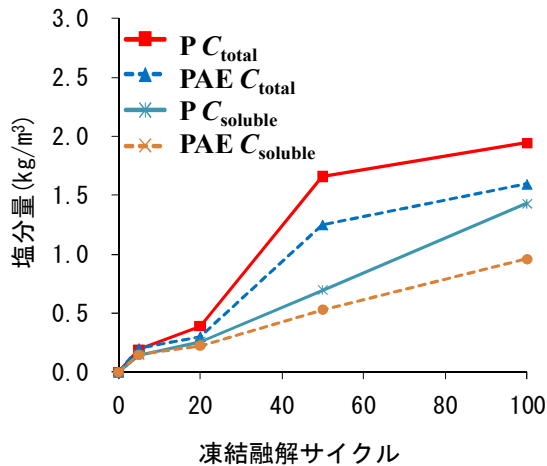


図-5 AE剤の有無による浸透塩分 (FTC P-N)

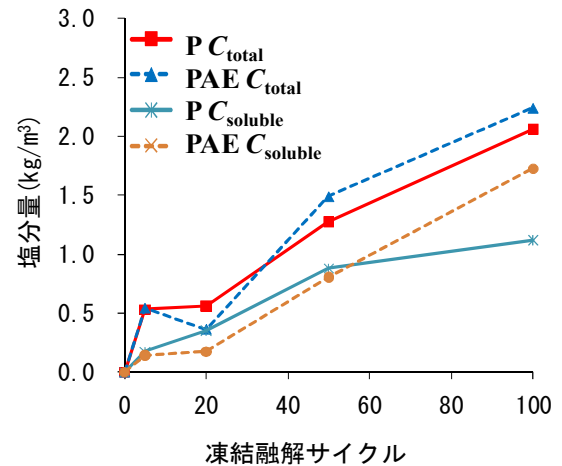


図-6 AE剤の有無による浸透塩分 (FTC P-C)

#### 4. まとめ

本研究で得られた主要な結論は次のとおりである。

- 1) 細孔溶液の凍結により塩分の固定化が進みにくくなる。
- 2) NaCl を用いた場合、 $CaCl_2$  と比較して固定塩分量は多くなり、塩分の固定化の進行が速い。
- 3) AE 剤を用いた場合、NaCl を用いることにより全塩分量および可溶性塩分量が減少する。

#### 参考文献

- 1) 丸屋剛, Somnuk T., 松岡康訓: コンクリート中の塩化物イオンの移動に関する解析的研究, 土木学会論文集, No.442, V-16, pp.81-90, 1992.