

コンクリートの濃厚塩類による劣化の外観

(国研)国立環境研究所 正会員 ○ 山田 一夫
 (株)太平洋コンサルタント 正会員 小川 彰一 芳賀和子
 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴

1. はじめに

コンクリートは各種塩類により劣化する。硫酸塩では、エトリングライトもしくはミラビライトによる劣化がある¹⁾。凍結防止剤としてCaCl₂が使用される場合は、3CaO・CaCl₂・15H₂O(3-1-15)が生成し²⁾、NaClが使用される場合はアルカリシリカ反応を促進し³⁾、それぞれコンクリートは膨張破壊する場合がある。また、コンクリートは焼却灰の処分施設としても利用されるが、飛灰に含まれる塩類による劣化も懸念される⁴⁾。実際に焼却飛灰が普通ポルトランドセメントコンクリート(OPC)と直接接するとコンクリートが劣化するがフライアッシュコンクリート(FAC)では劣化を抑制できた例がある⁵⁾。本稿では、これらの現象を整理するために、NaCl, KCl, CaCl₂を組み合わせ、異なる温度で最長3年7か月間(2017年3月時点)暴露した劣化状況を報告する。

2. 使用材料ならびに実験方法

セメントは普通ポルトランドセメントおよび30%置換のフライアッシュセメントを用いた。骨材はオパールを含む急速反応性の安山岩を粗骨材としてペシマム条件の30%混合して使用した。非反応性骨材として残りの粗骨材と細骨材に石灰石を使用した。水セメント比は50%、アルカリ総量はNaOHを練混ぜ水に添加し3.0kg/m³とした。浸漬は2シリーズを行った。シリーズ1は、OPCおよびFACを2013年7月に作製(9x6x3cm直方体)、1日後脱型、2週間封かん養生、その後、模擬飛灰溶液(NaCl=2.55M, KCl=1.32M, CaCl₂=1.38M)500cm³に20℃で浸漬した。シリーズ2

表-1 固液比試験水準

	Ca系			Na/K/Ca系		Na/K系	
	30.0%	15.0%	7.5%	飛灰抽出液相当	1/2濃度	15/10%	7.5/5.0%
NaCl-KCl-CaCl ₂ (%)	0-0-30	0-0-15	0-0-7.5	15-10-15	7.5-5-7.5	15-10-0	7.5-5-0
Cl濃度(M)	6.61	3.3	5.4	2.7	1.35	3.91	1.95

では、OPCを2014年1月に作製(φ10H3cm)、1日後脱型、4週間封かん養生、その後、表-1に示す各種塩化物溶液(500cm³)に5℃及び20℃で浸漬した。

3. 試験結果

3.1 シリーズ1: 模擬飛灰溶液でのOPCコンクリートとFACコンクリート

観察は、4か月、6か月、1年6か月、3年7か月時点で行った。外観は、OPC, FACコンクリート双方で、1年6か月時点では変状は認められなかった。



図-1 模擬飛灰溶液へのOPCの浸漬(3年7か月)

3年7か月時点では、OPCにはペースト部分が膨張したひび割れが見られた(図-1)。FACには表層に白色析出物が認められたがひび割れは認められなかった。材齢6か月段階で表層部分の鉱物組成をX線回折により調べると、OPCのみで膨張性鉱物の3-1-15が認められた。40℃での暴露も行ったが、生成量はより少なかった。FACでは認められなかった。

3.2 シリーズ2: 各種塩化物溶液・温度でのOPCコンクリート

観察は、6か月、1年、6か月、3年1か月時点で行った。外観を図-2に、ひび割れと析出物のまともを示す。表-2に示す。塩の組み合わせと濃度、さらに温度の影響を受けて複雑に劣化や析出物の状況が変化する。CaCl₂の場合はいずれも3-1-15が生成している。アルカリ溶液、アルカリ-Ca混合溶液では、Halite(NaCl), Sylvite(KCl)が生成した。塩化アルカリ溶液の場合は、アルカリシリカゲルが骨材から滲出した。

キーワード 塩類劣化, 焼却灰, CaCl₂, アルカリ, 3CaO・CaCl₂・15H₂O, 濃度, 温度

連絡先 〒963-7700 福島県田村郡三春町深作1-2 (国研)国立環境研究所 福島支部 TEL0247-61-6114

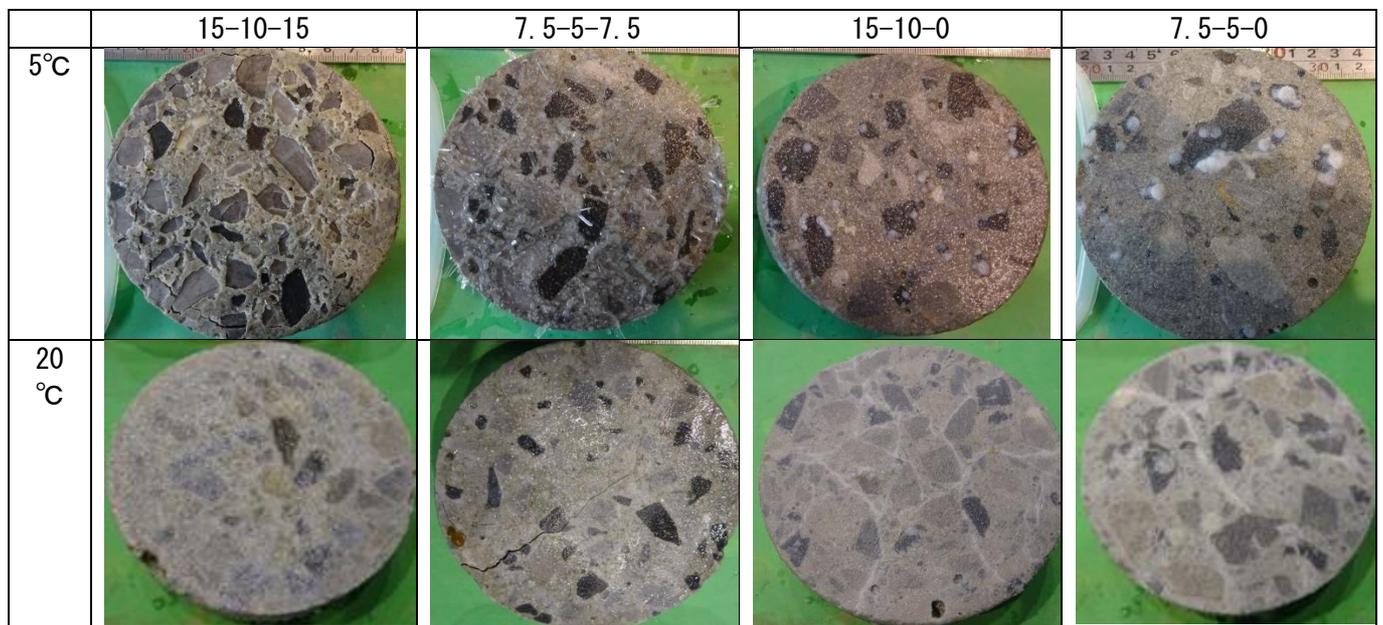
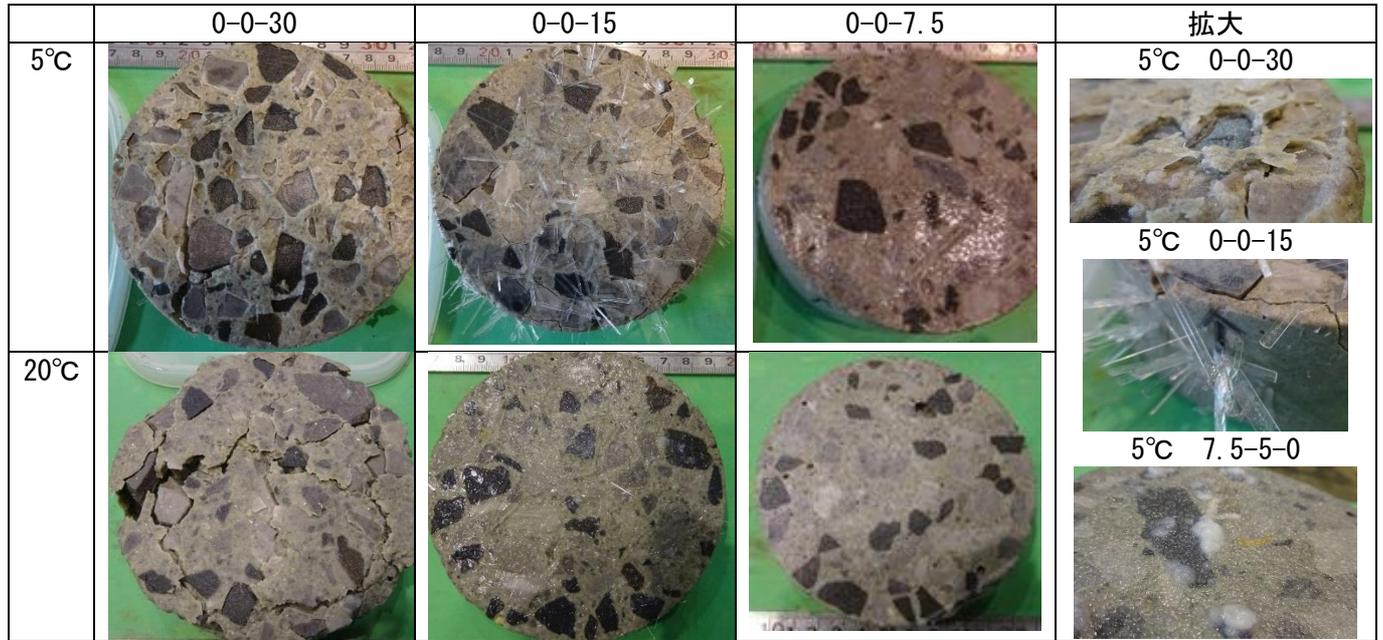


図-2 各種塩化物溶液・温度での OPC の劣化 (上部凡例 : NaCl-KCl-CaCl₂ 濃度/%)

表-2 種塩化物溶液・温度での OPC のひび割れ

(6か月→1年→3年1か月, ひび割れ無=0, 有=1, 顕著=2, 崩壊=3, *結晶析出(**多量), +ゲル析出/白濁(++多量))

	0-0-30	0-0-15	0-0-7.5	15-10-15	7.5-5-7.5	15-10-0	7.5-5-0
5°C	1→1→2	0*→0*→1**	0→0→0*	1→1→2	0*→0*→0**	0→0+→0++	0+→0+→0++
20°C	1→2→3	0→0*→0*	0→0→0	0+→1+→1+	0+→1+→1+	0→0+→1++	0+→0+→1++

謝辞 実験には, 元九州大学大学院の山本大介技官, 鳥田慎也氏, 田中暁大氏, 小田聡氏ほかの協力を得た。謝意を表する。

参考文献

- 1) 吉田夏樹ほか: 温度条件が硫酸ナトリウムによるモルタルの塩類風化に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.677-682, 2010
- 2) 久我龍一郎, 森寛晃: CaCl₂ とセメント硬化体の反応による 3CaO・CaCl₂・15H₂O の生成条件, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.34-40, 2012
- 3) 川村満紀ほか: NaCl 溶液に浸漬したモルタルにおける ASR ゲルの組成および二次的エトリンジヤイトの生成と膨張, 土木学会論文集, No.641/V-64, pp.179-185, 2000
- 4) 山田一夫, 大迫政浩: 10 万 Bq/kg 超の放射性 Cs に汚染した焼却飛灰の最終処分場建設の基本的考え方, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.748-753, 2014
- 5) コンクリート容器の耐久性実証試験, コンクリート容器耐久性研究会 <http://www.concrete-box.com/aboutus/index.html>