コンクリート養生水へのイオン添加による強度の回復特性について

群馬工業高等専門学校　学生会員　○田中　光
群馬工業高等専門学校　正会員　田中　英紀

１．はじめに

コンクリートは安価で高強度な建設材料であるが，硬化する際の水和反応により熱が発生しひび割れを生じることがある．このひび割れは，コンクリートの耐久性を低下させ塩害や中性化などの劣化を引き起こすため，構造物の寿命を縮める大きな要因となる．そこで，ひび割れを閉塞させるための方法としてコンクリートの自己治癒に注目し，自己治癒を促進するための方法についての研究を今まで行ってきた．その中で，材齢３日にひび割れを生じさせたコンクリートを自己治癒させる際の養生水に５種類のイオンを添加し比較する実験を行ったところ，材齢28日での強度回復にイオンの影響が確認できた．本稿では，各イオンを添加した場合の強度比較と，走査型電子顕微鏡(SEM)による観察結果を報告する．

２．実験概要

２．１　使用材料

供試体はφ100mm x 200mmの円柱供試体とし，**表 - 1**に示す配合を使用した．混和剤としては高性能AE減水剤，混和材としてはシリカフュームを使用した．

２．２　添加イオン

今回の実験で，損傷を生じさせたコンクリートの養生水に添加した５種類のイオンを**表 - 2**に示す．

２．３　実験方法

５種類のイオンそれぞれについて３本ずつ，比較用にイオン添加を行わないものを３本，計18本供試体を作製した．その後，材齢３日において圧縮強度試験を行い，初期損傷を導入した．初期損傷の導入は，**図 - 1**の様に応力 - ひずみ曲線が応力最大点を超えて，最大応力から応力が 15%低下した点で除荷することにより，供試体に**写真 - 1**の様なひび割れを生じさせた．初期損傷導入後，水道水にイオンを添加した５種類の養生水と，水道水のみの養生水それぞれに供試体を入れ養生させた．材齢28日まで養生させた後，再び圧縮強度試験を行い，材齢３日の強度に対する材齢28日強度を求め，各イオンについて強度回復率を比較した．

２．４　比較方法

式(1)に示す様に，材齢３日強度に対する材齢 28日強度の比を強度回復率と定義する[1)]．強度回復率を各養生条件について比較することで，損傷後の養生水の違いが強度回復に与える影響を比較した．

$$R = \frac{P_{28}}{P_3} \times 100\ (\%) \qquad (1)$$

R：強度回復率(%)
P_3：材齢３日強度(N/mm^2)
P_{28}：材齢28日強度(N/mm^2)

表 - 1　配合表

粗骨材の最大寸法 (cm)	スランプ (cm)	水粉体比 W/P (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)
15	8	55	4.2	45

単位量(kg/m^3)					
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤	混和材
174.2	296.8	761.0	960.0	3.5	20.0

表 - 2　添加イオンと添加量

元素	化合物名	基準	添加量
Na	炭酸ナトリウム	Naイオンとして　0.05mol/L	2.6 g/L
Mg	酢酸マグネシウム	Mgイオンとして　0.05mol/L	10.7 g/L
K	炭酸カリウム	Kイオンとして　0.05mol/L	3.5 g/L
Al	アルミン酸ナトリウム	Alイオンとして　0.05mol/L	7.0 g/L
Si	オルトケイ酸ナトリウム	－	10.0 g/L

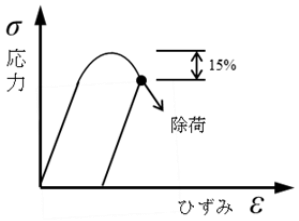

図 - 1　初期損傷導入

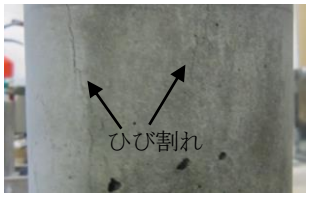

写真 - 1　初期損傷

キーワード　コンクリート，イオン添加，強度回復，SEM，ケイ素
連絡先　〒371-8530　群馬県前橋市鳥羽町580番地　群馬工業高等専門学校　田中研究室
TEL. 027-254-9184 E-mail：htanaka@cvl.gunma-ct.ac.jp

２．５　SEM による観察

材齢 28 日強度試験を行った後，供試体の破壊面から採取した破片を SEM により観察した[2]．実際に作製した観察用試料を**写真 - 2** に示す．直径 1 ㎝ 程度の試料台に破片をカーボンテープで固定し蒸着を行ってある．SEM で観察することで，イオン添加により析出物の種類に違いが出るかを調べた．

３．実験結果

３．１　強度回復率

各添加イオンについて強度回復率を求めたものを**図 - 2** に示す．図中の黒丸は供試体毎の強度回復率を示しており，棒グラフは３つの供試体の強度回復率の平均値を示している．平均値の値はそれぞれ，水 -149%，Na-157%，Mg-153%，K-165%，Al-176%，Si-182%となった．特に Al と Si については，水と比較して，強度回復率がそれぞれ 27%，33%高くなった．

３．２　SEM による観察

各添加イオンについて，SEM を用いて撮影した画像を**写真 - 3** から**写真 - 8** に示す．Al を養生水に添加したものについてはエトリンガイトと思われる針状の結晶が多く見られるが[3]，それ以外のイオンを添加したものでも針状結晶は観察された．一方，Si を添加したものについては，他のイオンを添加したものと比較して，全体的に結晶同士の隙間が少ない，密な状態となっているのが観察できた．

４．おわりに

今回の実験では，Al，Si を添加した場合に強度回復率が高くなる現象が起こった．原因を調べるため SEM による観察を行ったところ，Si を添加したものについては，他のイオンよりも結晶が密な状態となっていた．今後，特定のイオンの添加による結晶の生成促進が確かめられれば，自己治癒や電着等，ひび割れ補修技術の進歩につながるものと考える．

参考文献

1) 五十嵐心一・ほか:セメント系材料の自己修復性とその利用法研究専門委員会報告書，pp.39-51，2009.

2) 株式会社太平洋コンサルタント:走査型電子顕微鏡(SEM)，<http://www.taiheiyo-c.co.jp/business/business 05/business0505/>2015.01.12 アクセス.

3) セメント協会：C&C エンサイクロペディア，セメント協会，pp.22-29，1996.

写真 - 2　SEM 観察用試料

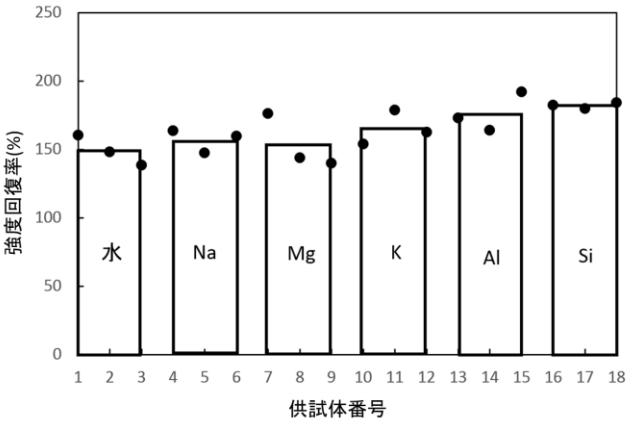

図 - 2　強度回復率による比較

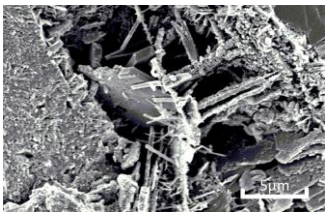

写真 - 3　水

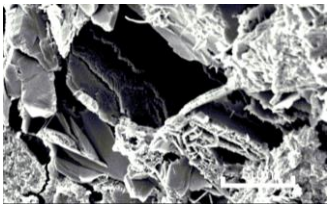

写真 - 4　Na

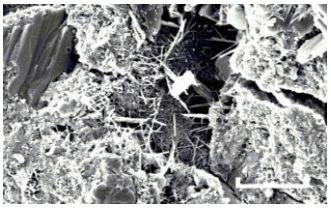

写真 - 5　Mg

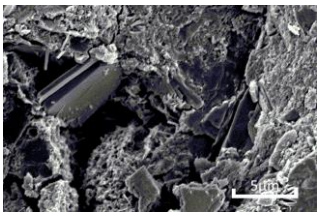

写真 - 6　K

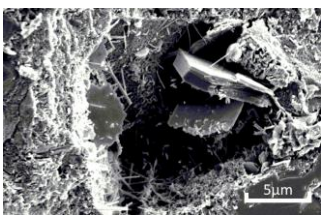

写真 - 7　Al

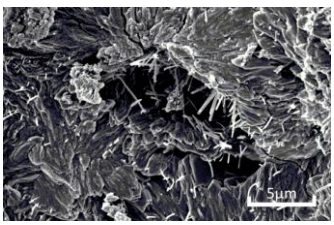

写真 - 8　Si