

硫酸ナトリウム溶液に長期間浸せきしたコンクリートの性状

金沢大学 正員 川村 満紀 金沢大学 正員 ○鳥居 和之

金沢大学 学員 寺嶋 永昌 石川 高専 正員 柳場 重正

1. ま え が き 硫酸ナトリウム溶液中にコンクリートを長期間浸せきすると、コンクリート中に侵入した硫酸ナトリウムとセメントの水和反応生成物とが反応し、このためコンクリートに膨張性のひびわれが生じ、以後コンクリートの劣化が急速に進行する。このようなコンクリートの硫酸塩による劣化現象は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の溶出やエトリングアイト、石膏などの生成が原因であるとされているが、硫酸塩によるコンクリートの劣化機構および反応生成物の果す役割については不明な点が多く存在する。このような観点より、本研究は、約2年間硫酸ナトリウム溶液に浸せきした普通およびフライアッシュコンクリートの強度、膨張量などの物理的諸性質の変化をコンクリート中に生成する反応生成物および内部組織の特徴との関係より比較検討を行った。

2. 実験概要 使用した材料は、普通ポルトランドセメント（N社）、2種類のフライアッシュA、B（T火力産）、川砂および玉砕石（早月川産）である。コンクリートの配合は、単位結合材量（ $C+F$ ）が200、300、および $400\text{kg}/\text{m}^3$ 、フライアッシュ置換率（ $F/(C+F)$ ）が0、30、50%であり、所定のスランプ値（ $5 \pm 1\text{cm}$ ）および空気量（ $5 \pm 1\%$ ）が得られるように試験練りによって決定した。供試体は $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を使用し、浸せき方法は硫酸ナトリウム溶液（濃度10%）への完全浸せきおよび部分浸せきである。浸せき前の養生条件は、アメリカ開拓局の方法に従い水中養生（14日間）+湿空養生（14日間）とした。実験項目を表-1にまとめて示す。

表-1 測定項目

種類	結合材量: 200, 300, $400\text{kg}/\text{m}^3$ フライアッシュ置換率: 0, 30, 50% フライアッシュ: A (細粉), B (原粉)
浸せき方法	濃度10%の Na_2SO_4 溶液への完全浸せきおよび部分浸せき
浸せき材令	1ヵ月, 3ヵ月, 6ヵ月, 1年, 2年, 3年 および 5年
測定項目	• 外観の観察, 中性化深さ • 圧縮強度, 動弾性係数, パルス速度 • 長さ変化, 重量変化 • XRD, DSC-TG, SEM-EDXA • SO_3 量の定量分析 • 細孔径分布の測定

3. 実験結果および考察 硫酸ナトリウム溶液に完全に浸せきした普通コンクリートでは、浸せき6ヵ月頃から供試体の端部にクラックが観察され $C = 200$ および $300\text{kg}/\text{m}^3$ （プレーン）のものは浸せき24ヵ月において亀甲状の大きなクラックの発生により崩壊した（写真-1参照）。一方、フライアッシュコンクリートでは、 $C+F = 300\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $F/(C+F) = 30\%$ のものを除いて浸せき24ヵ月においても劣化の形跡はまったく観察されていない。普通およびフライアッシュコンクリートにおける浸せき材令にともなう圧縮強度の変化を図-1および2に示す。普通コンクリートでは、外観観察の結果と対応して浸せき6ヵ月以後においていずれも圧縮強度の低下が認められ、とくに $C = 200$ および $300\text{kg}/\text{m}^3$ は $C =$

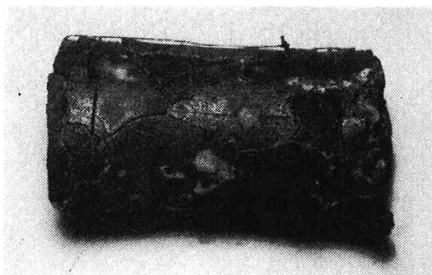
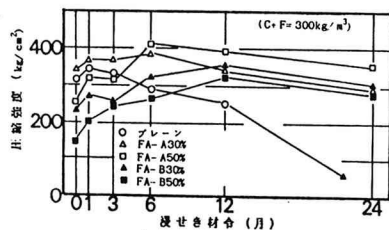


写真-1 供試体の劣化性状（全浸2年）

図-1 圧縮強度の変化（ $C+F=300\text{kg}/\text{m}^3$ ）

400kg/m³よりも比較的早い時期より強度低下が生じている。

一方、セメントの一部をフライアッシュで置換することによる耐硫酸塩性の改善効果は、いずれのフライアッシュについても顕著であり、とくに $C + F = 400\text{kg/m}^3$ 、 $F/C + F = 50\%$ の場合には長期間の浸せき中も比較的大きな強度の増大が認められる。

普通およびフライアッシュコンクリートにおける供試体表面部分の浸せき材令にともなうDSC曲線の変化を図-3、4および5に示す。硫酸ナトリウム溶液に長期間浸せきした普通およびフライアッシュコンクリートにおける反応生成物は、エトリンガイトと二水石膏とが主要なものであり、硫酸ナトリウムの侵入によって劣化が生じている部分ではエトリンガイトおよび石膏の生成量が他の部分よりかなり多いことがわかる。また、X線回折では両者以外の反応生成物として初期材令においてモノサルフェート水和物の生成が、長期材令においてソーマサイトの生成がそれぞれ認められた。

示差熱分析およびX線回折の結果より、ひびわれが発生していない健全なコンクリートでは、硫酸イオンの内部への侵入がそれほど顕著ではなく、硫酸イオンの侵入による影響範囲は0～5mm程度の表層部分に限られている状況が確認された。SEM観察の結果を写真-2に示す。供試体表面に生じた劣化部分では、内部組織に微細なひびわれが発生しており、その部分には1～2μm程度のエトリンガイトが多数生成している状況が観察された(写真-2、a)。また、浸せき材令1年のものでは、100～200μmの棒状の石膏粒子がクラックの内部に放射状に生成しており、石膏生成によりコンクリートの劣化が促進されている状況も観察された(写真-2、b)。

4. まとめ 硫酸塩によるコンクリートの劣化は、コンクリートの配合(単位セメント量およびフライアッシュ置換率)や浸せき期間によるエトリンガイトおよび石膏の生成過程の相違により説明が可能である。浸せき材令にともなう他の物理的諸性質の変化および完全浸せきと部分浸せきとの比較については当日発表する。

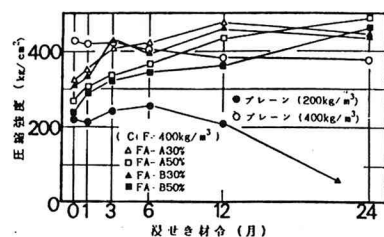


図-2 圧縮強度の変化 ($C + F = 400\text{kg/m}^3$)

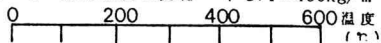


図-3 DSC-TG曲線 ($C = 300\text{kg/m}^3$)

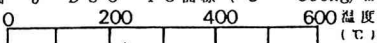


図-4 DSC-TG曲線 ($C = 400\text{kg/m}^3$)

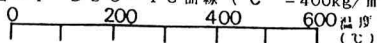


図-5 DSC-TG曲線 ($C + F = 400\text{kg/m}^3$, FA50%)

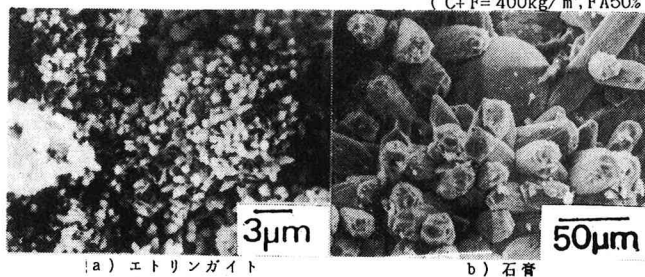


写真-2 反応生成物の形態