

## 酸性雨成分によるセメント硬化体の溶脱挙動の変化に関する研究

新潟大学 学生員 酒井 宗義  
土木研究所 正会員 久田 真  
(株)福田組 松谷 竜一

## 1. はじめに

コンクリート構造物が長期にわたって雨水あるいは地下水などと接触することにより、コンクリートに対して有害なイオンがコンクリート内部に侵入および反応し、カルシウム成分が溶脱する。これによりコンクリートが脆弱化することが知られているが、そのメカニズムについてはあいまいな点が多いのが現状である。そこで本研究では、カルシウムの溶脱に対する外部環境の影響として酸性雨成分に着目し、pHの違いによるセメント硬化体の溶脱による物理的性質の変化及びそれに伴うセメント水和物の変化の把握を目的とした。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料及び配合条件

セメントは普通ポルトランドセメント（以下 OPC，比重  $3.16\text{g/cm}^3$ ，比表面積  $3270\text{cm}^2/\text{g}$ ），混和材は高炉スラグ微粉末 8000（以下 BFS，比重  $2.91\text{g/cm}^3$ ，比表面積  $8360\text{cm}^2/\text{g}$ ），シリカフューム（以下 SF，比重  $2.2\text{g/cm}^3$ ，比表面積  $226100\text{cm}^2/\text{g}$ ）を使用し、セメントペーストを作製した。配合は水結合材比 0.3，0.5，0.65，BFS の置換率は 50%，SF の置換率は 10%とした。

## 2.2 供試体の作製

本研究で用いたペースト供試体は、寸法  $40\times 40\times 160\text{mm}$  の型枠に打設し、28日間  $20^\circ\text{C}$  にて湿空養生を行った。養生終了後、コンクリートカッターを用いて  $20\times 40\times 2\text{mm}$  の薄片試験体に切断した。

## 2.3 曝露実験概要

pH の影響を検討するため、新潟県の雨水の平均 pH=4.8 を基に、pH=3，5，7 に固定した模擬酸性雨を準備した。新潟県における降雨成分の統計によると、主要成分である硫酸イオン：硝酸イオン比率が平均 2：1 であることから、硫酸：硝酸=2：1 の混合溶液とし、これを蒸留水で希釈して pH を調節した。酸性雨成分溶液による内部組織の変化を把握するため、薄片試験体を 1，2，4，8 および 12 週の間浸漬させ、pH を一定にするためポンプで酸性雨成分溶液を循環させた。

## 2.4 実験項目

- 1) 化学的性質：酸性雨成分並びに pH の変化によるセメント硬化体の化学的性質の変化を把握する目的で CH，CSH 及び AFm の定量を行った。
- 2) 物理的性質：酸性雨成分並びに pH の変化によるセメント硬化体の物理的性質の変化を把握する目的で全空隙量及び曲げ強度試験を行った。

## 3. 実験結果および考察

## 3.1 化学的性質の検討

曝露実験における CH 残存量，AFm 残存量の関係を Fig.1 に示す。これによれば W/C と pH の違いに関係無く，CH より早く AFm の溶脱がみられ，AFm 消失時の CH 残存量は  $0.03\text{g/cm}^3$  程度になることが認められた。また，SF を用いた配合においては pH，W/C に関係無く OPC とほぼ同様の傾向を示し，BFS を用いた配合では

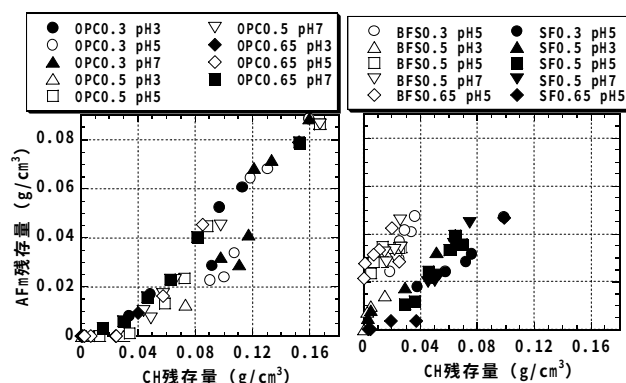


Fig.1 CH 残存量, AFm 残存量の関係

キーワード：酸性雨，pH，CH，AFm，CSH

連絡先：新潟大学工学部建設学科 〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐二の町 8050 TEL025-262-7279

OPC とは逆に CH の方が早く消失する傾向を示した。硬化体中の CH 残存量と CSH 残存量の関係を Fig.2 に示す。これによれば、OPC の場合 W/C と pH の違いに関係無く CH の溶脱とともに CSH の溶脱がみられた。特に pH3 の場合には、CSH の溶脱が著しくみられ、CH 消失時の CSH 残存量は  $0.2\text{g/cm}^3$  程度になることが認められた。pH5 と pH7 の場合同様な傾向がみられ、CH が消失した時点の CSH 残存量は  $0.3\sim 0.4\text{g/cm}^3$  程度になることが認められた。混和材を用いた場合、CH の溶脱とともに CSH の溶脱がみられた。特に pH3 では CSH の溶脱が著しくみられ、CH が消失した時点の CSH 残存量は  $0.2\sim 0.3\text{g/cm}^3$  程度になることが認められた。それ以外の配合では、BFS の場合、CH の溶脱はするが CSH の溶脱は少量であることが認められた。SF の場合、CH の溶脱とともに CSH は若干溶脱することが認められた。

### 3.2 化学的性質と物理的性質との関係

曝露実験における CH 残存量、全空隙量の関係を Fig.3 に示す。OPC の場合、W/C と pH の違いに関係無く CH の溶脱とともに全空隙量の増加がみられ、CH 消失時の全空隙量は  $0.6\text{cc/cc}$  程度になることが認められた。また、混和材を用いた配合では、全体的に初期の CH が少ないため、CH の溶脱による若干の増加はあるものの、大きな変化は無かった。しかし pH3 においては OPC と同様な傾向を示し、pH5 あるいは pH7 よりも全空隙量の増加が認められた。

CH 残存量および曲げ強度の関係を Fig.4 に示す。OPC の場合、W/C と pH に関係無く CH の溶脱とともに曲げ強度が緩やかに低下しており、CH 消失時の曲げ強度は  $2\text{Mpa}$  程度になることが認められた。混和材を用いた配合も、CH の減少に伴い曲げ強度が低下しており、CH 消失時点の曲げ強度は OPC と同様に  $2\text{Mpa}$  程度になることが認められた。特に BFS では、CH の減少に伴って曲げ強度の低下が大きいことが認められた。なお、SF においては W/C0.3, pH5 の場合、CH の溶脱はするが曲げ強度の変化は小さい傾向を示した。

### 4. 結論

- 1) 酸性雨成分環境下におけるセメント水和物の溶脱挙動は  $\text{AFm} \rightarrow \text{CH} \rightarrow \text{CSH}$  の順に進行すると考えられる。
- 2) 全空隙量及び曲げ強度とセメント水和物量の変化との間に相関性が認められ、pH、混和材の有無に関してある値に収束してくことがわかった。
- 3) 混和材を用いた場合、酸性雨成分環境下においても OPC 単味と比較して溶脱が抑制されることがわかった。

### 参考文献

久田 真, 大井才生, 尾口本一, 長瀧重義: モルタルからのカルシウムの溶出に伴うセメント水和物の組成と硬化体物性の変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.223-228, 2000

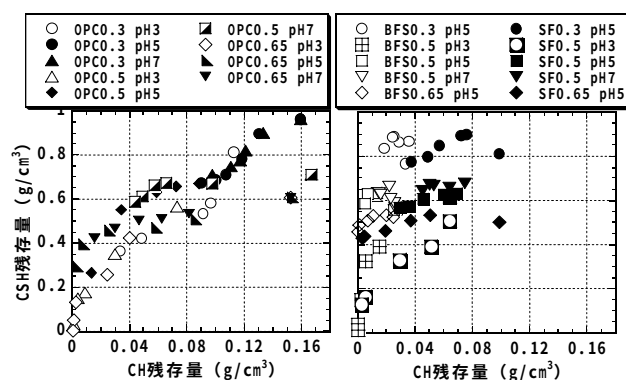


Fig.2 CH 残存量, CSH 残存量の関係

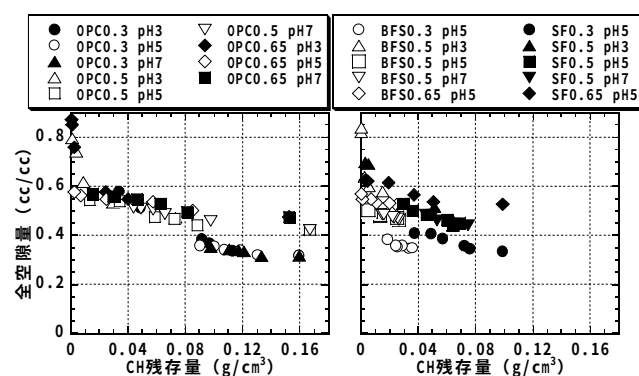


Fig.3 CH 残存量, 全空隙量の関係

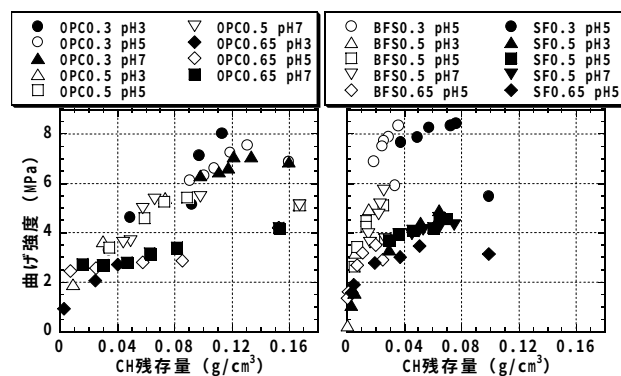


Fig.4 CH 残存量, 曲げ強度の関係