

高炉スラグ微粉末を用いた硬化体の養生条件が耐硫酸塩性能に及ぼす影響

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○澁谷 亜香里
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. 目的

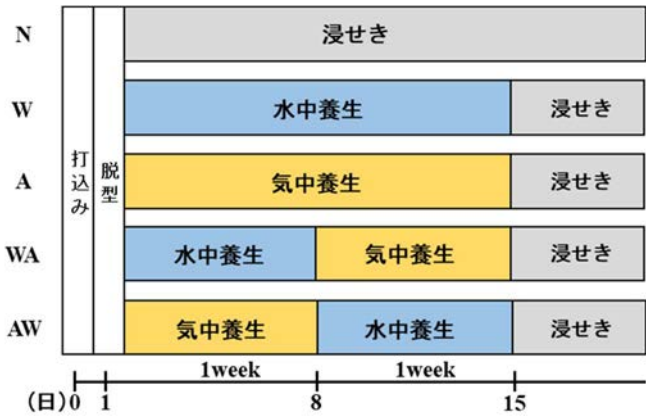
日本には温泉が全国各地に存在し、温泉環境下のコンクリート構造物では、硫酸と硫酸塩の複合劣化が生じることが報告されている¹⁾。日本における硫酸塩劣化の事例報告は少ないが、近年海成粘土層に位置する住宅基礎の劣化の報告が増加している。硫酸塩劣化は、水和生成物と供給された硫酸塩が反応することでエトリンガイトが生成され、膨張しひび割れや剥離が生じる現象である。硫酸塩溶液の作用による化学的侵食は、酸性度の高い場合は硫酸劣化を生じやすく、Na⁺などが共存した場合に硫酸塩劣化が生じやすいとされ、吉田ら²⁾により pH3 以上で SO₄²⁻の濃度が高い場合に硫酸塩の作用が大きくなることが報告されるなど、メカニズムも解明されつつある。また、高炉スラグ微粉末の使用により耐硫酸塩性が向上することが知られている。高炉スラグ微粉末を混和した場合、初期養生の影響が大きいため、耐硫酸塩性にも影響があると考えられた。そこで本研究では、高炉スラグ微粉末を混和した硬化体の養生条件や配合が硫酸塩劣化に及ぼす影響の把握を目的として、硫酸塩への浸せきによる長さ変化試験を実施した。また、石こうがエトリンガイトの生成に寄与することから石こう量を一定とし、高炉スラグ微粉末の置換率、養生条件を変えて試験体を作製した。

2. 使用材料および試験概要

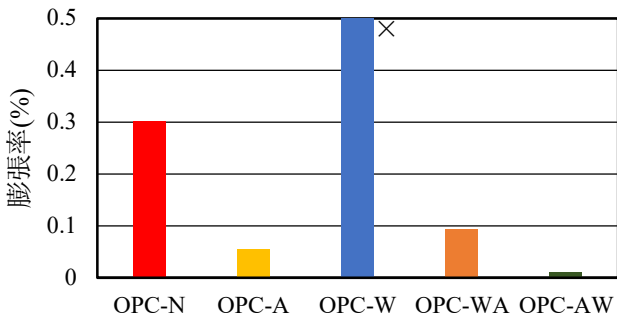
本研究では、モルタルで試験を実施した。セメントは、普通ポルトランドセメント（OPC）を使用し、混和材は石こう添加なしの高炉スラグ微粉末（GGBFS）、細骨材は混合砂（S）を使用した。表－1に示す配合は、ASTM-C1012 に準拠し、水結合材比は 48.5%，結合材：細骨材は 1:2.75 で一定とした。石こうを SO₃ 量換算において全体の 2.03%となるように GGBFS に内割添加した。養生は図－1のように、養生なし（N）、水中養生 14 日（W）、気中養生 14 日（A）、水中養生 7 日後に気中養生 7 日（WA）、気中養生 7 日後に水中養生 7 日（AW）の 5 種類とした。

表－1 配合表

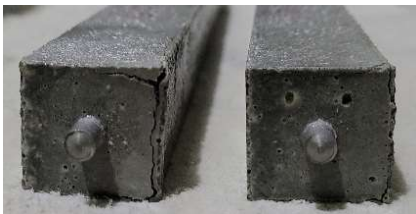
	W/B(%)	S/C	OPC:GGBFS(質量割合)
OPC	48.5	2.75	100:0
B40			60:40
B70			30:70
B90			10:90



図－1 養生条件



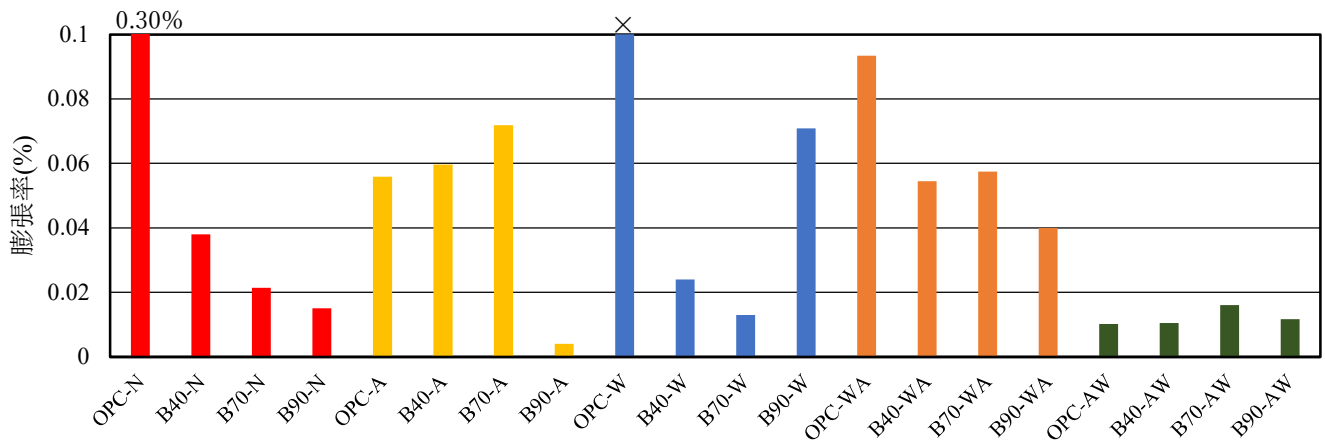
図－2 OPC 各養生条件の膨張率



図－3 上) OPC-N, 下) OPC-W の浸漬 100 週の様子

キーワード 硫酸塩劣化, 高炉スラグ微粉末, 養生

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学工学部土木工学科 TEL:03-5859-8356 E-mail:mc19047@shibaura-it.ac.jp



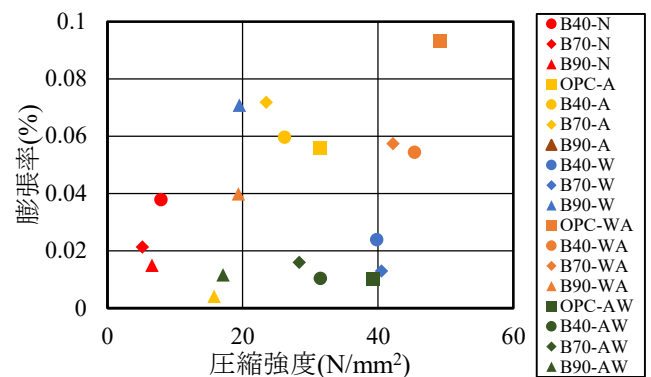
図－４ 各養生条件の膨張率

硫酸塩溶液浸せき試験は、25×25×285mm の試験体を各養生後に硫酸ナトリウム水溶液 5%に浸せきさせた。定期的に外観の観察と長さ計測を行った。また、各養生後に圧縮強度試験を行った。

3. 試験結果

図－2に OPC 配合の各養生条件における浸せき期間約 100 週の膨張率を示す。水中養生 14 日を施した試験体（OPC-W）が膨張の末に図－3 の下の写真のように大きなひび割れが生じ、試験体端部から崩壊した。次いで、養生なし（OPC-N）の試験体の膨張率が大きく、大きなひび割れが試験体の角に生じていた。他の試験体ではひび割れなどの外的損傷を確認できなかった。養生なしの試験体は、硫酸塩溶液に脱型直後から浸せきするため、水中養生と同様の養生となった可能性が高く、初期に養生を十分に施した場合に硫酸塩劣化する可能性が考えられる。

図－4に全ての試験体の浸せき期間約 100 週における膨張率を養生条件ごとに示す。OPC は長さ計測が可能な最大の膨張率は 0.3%であったが、一方で GGBFS 配合では、最大でも 0.07%であったことから、高炉スラグ微粉末には硫酸塩劣化の抑制効果が確認された。養生条件 W では、OPC は崩壊し、B90 においても比較的大きな値を示している。しかしながら、B40 と B70 では大きな膨張は見られておらず高炉セメント B, C 種相当では水中養生を施した方が抑制効果は高いことが明らかとなった。また、養生条件 AW はすべての配合でほとんど膨張がみられなかった。このことから、脱型から 7 日ほどの初期に十分な養生を施さず、その後ある程度施した方が耐硫酸塩性の向上につながることを示唆された。



図－５ 圧縮強度と膨張量の関係

4. 考察

図－5に各養生後の圧縮強度と浸せき約 100 週間における膨張量の関係を示す。圧縮強度と膨張量には、明らかな相関は認められないことから、浸せき期間の再養生の影響で空隙の構造も変化したことで硫酸塩の実際の侵入経路が異なり、養生直後の強度においては評価できないと考えられる。しかしながら、初期養生の違いで膨張量が異なったことから初期の水和生成物の違いが最終的な膨張に影響を及ぼすことが示唆された。

5. まとめ

硫酸塩劣化は、初期の養生条件が影響を及ぼすことが示唆された。高炉セメント B, C 種相当は養生条件によらず耐硫酸塩性を有することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートの化学的侵食・溶脱に関する研究の現状，コンクリート技術シリーズ，No.53，2003
- 2) 吉田 夏樹，中山 健一：硫酸および硫酸塩によるコンクリートの化学的侵食に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.715-720，2013