

第V部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 C304(川内北キャンパス講義棟C棟)

耐久性一般(3)

座長：川端 雄一郎（海上・港湾・航空技術研究所）

14:00 ~ 14:10

[V-320] DEF膨張に与える配合条件の影響および膨張抑制メカニズムの一考察

*八尋 瑠奈¹、廣杉 海琴²、伊代田 岳史² (1. 芝浦工業大学大学院、2. 芝浦工業大学)

キーワード：DEF、DEF膨張、高炉スラグ微粉末、高炉スラグ高含有セメント

DEFに与える影響要因として、材料や配合によるSO₃量とAl₂O₃量のバランスや物質移動抵抗性を向上によるSO₄²⁻の溶出を抑制などが考えられる。物質移動抵抗性の向上、つまり空隙の減少にはW/Cの低減や水和反応の進行度が影響すると考えられる。そこで、本研究では高炉スラグ微粉末の置換率やブレン値、W/Bが異なる配合を用い、SO₃量とAl₂O₃量のバランスや空隙組成、水和度を変化させ、それらがDEF膨張に与える影響を検討した。その結果、配合条件によるDEF膨張量に大きな差異は認められなかったものの、DEFによる膨張は、AFtの生成量と生成サイトである空隙により影響を受けることが示唆された。

DEF 膨張に与える配合条件の影響および膨張抑制メカニズムの一考察

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○八尋 瑠奈
 芝浦工業大学 学生会員 廣杉 海琴
 芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

初期に高温を受けたコンクリートにおいて、硬化後の水分供給によりエトリングイト (AFt) が遅延生成 (DEF : Delayed Ettringite Formation) し、膨張を生じることでコンクリートを劣化させる可能性が指摘されている。一方で、DEF は高温作用の他に、使用材料や配合条件が影響を与えられ、 SO_3 量と Al_2O_3 量のバランスが重要である。さらに、硬化後のコンクリートにおいて、物質移動抵抗性を向上すれば DEF 生成条件の 1 つである SO_4^{2-} の溶出を抑制できると考えられる。物質移動抵抗性の向上、つまり空隙の減少には W/C の低減や水和反応の進行度が影響すると考えられる。そこで、本研究では高炉スラグ微粉末の置換率やブレン値、W/B が異なる配合を用い、 SO_3 量と Al_2O_3 量のバランスや空隙組成、水和度を変化させ、それらが DEF 膨張に与える影響について検討を行った。

2. 各種条件における膨張率

2. 1 試験概要

本研究では、普通ポルトランドセメント (OPC, SO_3 : 2.1%, Al_2O_3 : 5.18%), 4000, 8000ブレンの高炉スラグ微粉末 (GGBS, Al_2O_3 : 13.71 (4000), 14.01 (8000)) を使用した。なお、GGBS には無水石膏を SO_3 換算で 2.1% 添加した。また、表-1 に示すように GGBS を OPC に対して 5~70% 置換して使用した。W/B=0.50, 0.60 とし、S/C=3.0 で一定とした。さらに、DEF 促進のため SO_3 量を増加させる目的で K_2SO_4 を添加し全体の SO_3 量が 6.1wt% となるよう調整した。試験体は $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ のモルタルを作製した。打込み後、昇温速度 $20^\circ\text{C}/\text{hr}$ で 4 時間加温、最高温度 90°C 到達後 12 時間保持し、 $10^\circ\text{C}/\text{hr}$ で 20°C まで降温させた。打込み後 26.5 時間で脱型し 20°C の水中に静置した。

表-1 使用配合

No.	GGBS 置換率 (%)	ブレン値	W/B
N	0	—	0.50, 0.60
B5	5	4000, 8000	0.50, 0.60
B10	10	4000	0.60
B15	15	4000, 8000	0.50
B20	20	4000	0.60
B25	25	4000, 8000	0.50
B30	30	4000	0.60
B50	50	4000	0.60
B70	70	4000	0.50, 0.60

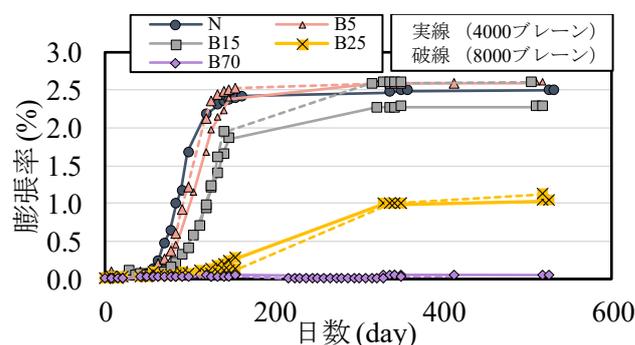


図-1 長さ変化率 (ブレン値)

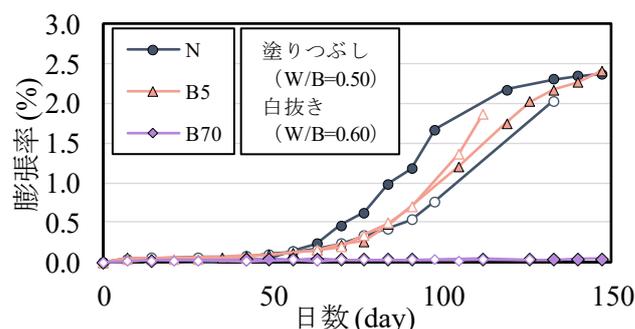


図-2 長さ変化率 (W/B)

水中に静置した後、1 週間毎にダイヤルゲージ法を用いて脱型時を基長として長さ変化率を測定した。

2. 2 結果および考察

図-1 に異なるブレン値における長さ変化試験の結果を示す。全体の傾向として、ブレン値の違いによる膨張率に大きな差異は認められなかった。GGBS 置換率の違いに着目すると、N, B5, B15 に

キーワード DEF, DEF 膨張, 高炉スラグ微粉末, 高炉スラグ高含有セメント

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学

TEL : 03-5859-8356 Email : mh22020@shibaura-it.ac.jp

において膨張率が大きく、最終的な膨張率は同程度を示した。一方で、膨張率が急激に大きくなるタイミングは GGBS 置換率が高いほど遅いことが分かる。さらに、B25 では 518 日での膨張率は 1.0%程度と N に比較して 1/2 以下となり、B70 では 0.04%とほとんど膨張が認められなかった。図-2 に W/B が異なる場合における長さ変化試験の結果を示す。W/B によらず概ね同様の傾向が確認されたが、N については W/B=0.50 に比較して 0.60 において膨張率の増加のタイミングがやや遅くなった。これは、セメントの単位量や空隙量の違いが影響していると考えられるが、今後も計測を継続していく必要があると考える。

図-3 に $\text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比と 91 日の膨張率の関係を示す。 $\text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比が 1.1 程度以上になると膨張率が著しく大きくなり、モル比が大きいほど膨張率も大きくなる傾向が認められた。川端ら²⁾は $\text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比が 1.2 程度で膨張率にペシマム現象を生じたことを報告しているが、本検討では膨張が進行している途中であるため、今後継続計測が必要であると考えられる。

3. 遅延 AFt 生成量と空隙の相互作用

2 章で示したように配合により膨張率に差が生じた要因として遅延 AFt 生成量に着目した。任意の材齢において試験体を粉砕し、 $150\mu\text{m}$ 以下に篩い XRD 分析を行った。内部標準物質として $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ を 10% 内割添加し、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ に対する積分強度（回折波面）を AFt 生成量として算出した。図-4 に 4000 ブレーン、W/B=0.5 の配合において 91 日で測定した AFt 量と 91, 133, 350 日での膨張率の関係をそれぞれ示す。91 日では AFt 生成量の増加に伴い膨張率が増加していることが分かる。一方で、133, 350 日では AFt 生成量が 1.2 付近から膨張率が急増していることが分かる。このことから AFt 生成量では DEF 膨張を整理できないことが推察される。

さらに AFt が生成サイトに着目し、DEF を生じる前の空隙の評価として、同様の高温履歴を与えた材齢 7 日の試料を用いアルキメデス法により空隙率を測定した。図-5 に空隙率と AFt 生成量の関係を示す。両者には一定の関係が認められ、GGBS 置換率の増加により空隙率が高く、AFt 生成量が少なくなることが分かる。AFt 生成量は生成サイトである空

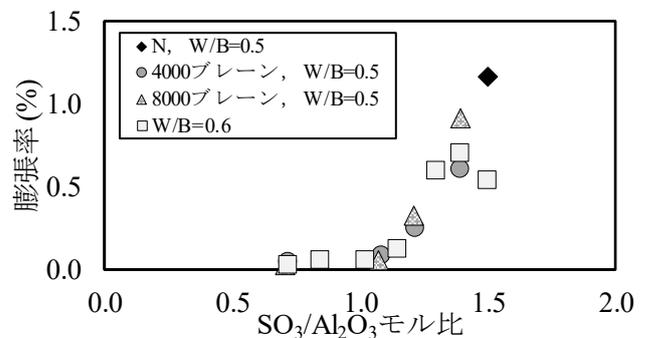


図-3 $\text{SO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比と 91 日膨張率の関係

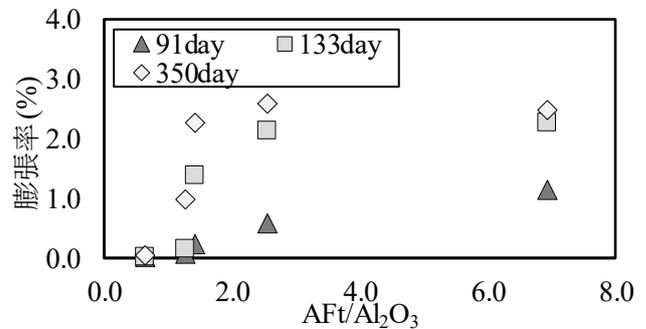


図-4 AFt 量と膨張率の関係

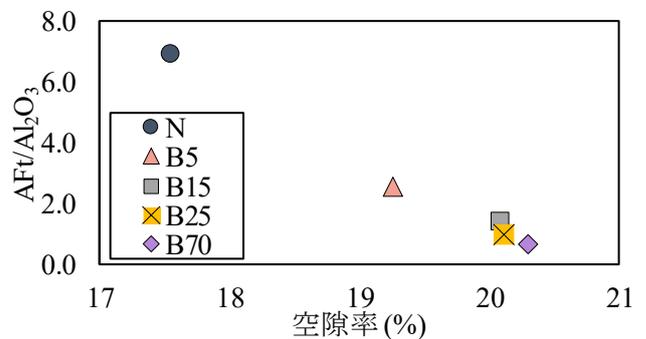


図-5 空隙率と AFt 生成量の関係

隙の影響を受け、空隙に対する AFt の生成量により DEF 膨張に寄与する可能性が考えられ、W/B の違いによる膨張タイミングの差が空隙の影響であることが推察される。一方で、AFt 生成サイトは、空隙サイズ等により異なることが考えられ、今後 MIP を用いた詳細な検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 鶴田孝司, 上田洋, 上原元樹, 笠裕一郎: 場所打ちコンクリート構造物におけるエトリングサイトの遅延生成に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, pp.679-684, 2015
- 2) 川端雄一郎, 小川彰一, 高橋晴香, 佐川康貴: 長期室内試験に基づく DEF 膨張の影響要因の評価, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, No.1, pp. 527-534, 2015