

凍結防止剤散布下におけるコンクリートの耐凍害性に及ぼす気泡特性の影響

日本大学 学生会員 ○居鶴 哲郎

日本大学

斉藤 史明

日本大学

丸山 和真

日本大学 正会員

子田 康弘

日本大学 正会員

岩城 一郎

1. はじめに

東北地方は積雪寒冷地域であり、特に凍結防止剤散布下においては、コンクリートの耐凍害性の向上が不可欠である。そのため、凍害対策として、水セメント比45%以下、空気量6.0%のコンクリートが推奨されている¹⁾。しかし、フライアッシュ (FA) 使用下では、AE剤により6.0%の空気量を確保するにはFA中の未燃カーボンが障害となり安定的にこれを確保することが難しい。近年、エントレインドエアの気泡と形状が類似な中空微小球が開発され、物理的にエントレインドエアのような微細な気泡をコンクリート中に形成できるようになった。本研究では、中空微小球を混合したコンクリートの凍結防止剤散布下における耐凍害性について、中空微小球混合方法や中空微小球添加率などを実験条件に気泡計測を行い、その特性を明らかにした上でスケーリング試験を実施し、気泡特性が耐凍害性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

表-1に、実験条件を示す。表より、セメントは普通セメント(OPC)、水セメント比(W/C)は48%、55%の2条件、目標空気量は2.0%、3.0%、4.0%、4.5%、6.0%の5条件、中空微小球添加率は0%、1.0%、2.0%、2.5%、4.0%の5条件、FAは添加の有無の2条件、また、中空微小球の練混ぜ方法を一括混合、後添加混合の2条件、加えて中空微小球の水分状態を乾燥と湿潤の2条件に設定した合計18条件で実験を行った。供試体名は、左からFAとOPC、目標空気量、中空微小球添加率とし、さらに練混ぜ方法は強制ミキサを使用した一括混合をI、強制ミキサでコンクリート製造後傾動ミキサへ移し中空微小球を添加した後添加をII、中空微小球の水分状態は乾燥がd、湿潤をwとして表記した。表-2には、コンクリートの配合を示した。気泡間隔係数の測定は、リニアトラバース法により測定したもので、図-1に測定装置を示す。スケーリング試験は、ASTM C 672²⁾に準拠し行ったもので、図-2の直径150mm×高さ80mmの円柱供試体を使用した。なお、スケーリング試験は、現在も継続中であり、表-1のOPC条件は養生が終了した段階である。

キーワード: 耐凍害性, 中空微小球, 凍結防止剤, 空気量

連絡先: 郡山市田村町特定字中河原1番地 TEL 024-956-8721

表-1 実験条件

| 供試体名 | W/C (%) | 目標空気量 (%) | 中空微小球添加率 (%) | FA | 中空微小球混合方法 | | 中空微小球水分状態 | | | | | | | |
|------------------|---------|-----------|--------------|----|-----------|--------|-----------|----|-----|-----|---|---|---|---|
| | | | | | 一括混合 I | 後添加 II | 乾燥 | 湿潤 | | | | | | |
| FA-2.0 | 48 | 2.0 | 0 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| FA-4.0 | | 4.0 | | | | | | | | | | | | |
| FA-6.0 | | 6.0 | | | | | | | | | | | | |
| FA-3.0-1.0-I-d | | 3.0 | | | | | | | 1.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| FA-3.0-1.0-II-d | | 3.0 | | | | | | | 1.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| FA-4.0-2.0-I-d | 48 | 4.0 | 2.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| FA-4.0-2.0-II-d | | | | | | | | | 4.0 | 2.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| FA-6.0-4.0-I-d | | | | | | | | | 6.0 | 4.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| FA-6.0-4.0-I-w | | | | | | | | | 6.0 | 4.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| FA-6.0-4.0-II-d | | | | | | | | | 6.0 | 4.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| OPC-2.0 | 55 | 2.0 | 0 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| OPC-3.0 | | 3.0 | | | | | | | | | | | | |
| OPC-4.5 | | 4.5 | | | | | | | | | | | | |
| OPC-6.0 | | 6.0 | | | | | | | | | | | | |
| OPC-3.0-1.0-II-d | | 3.0 | | | | | | | 1.0 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| OPC-4.5-2.5-II-d | 55 | 4.5 | 2.5 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | |
| OPC-6.0-4.0-II-d | | | | | | | | | 6.0 | 4.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| OPC-6.0-4.0-I-d | | | | | | | | | 6.0 | 4.0 | ○ | ○ | ○ | ○ |

表-2 コンクリートの配合

| 供試体名 | Gmax (mm) | W/C (%) | W/B (%) | s/a (%) | Air (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|-----|----|------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|--------|
| | | | | | | W | B | | | 中空微小球 | | S | | G | | 混和剤 | | | |
| | | | | | | | OPC | FA | EX | | S | G | SP | AE | | | | | |
| FA-2.0 | 48 | 39.1 | 45 | 165 | 347 | 55 | 20 | 0 | 0 | 1.3 | 789 | 975 | 5.6 | 0 | | | | | |
| FA-4.0 | | | | | | | | | | | | | | | 2.0 | 801 | 990 | 5.5 | 0 |
| FA-6.0 | | | | | | | | | | | | | | | 4.0 | 753 | 931 | 4.22 | 0.0105 |
| FA-3.0-1.0-I-d | | | | | | | | | | | | | | | 3.0 | 753 | 931 | 5.9 | 0 |
| FA-3.0-1.0-II-d | | | | | | | | | | | | | | | 3.0 | 753 | 931 | 5.9 | 0 |
| FA-4.0-2.0-I-d | 20 | 55 | 46 | 165 | 300 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | 862 | 1024 | 5.6 | 0 | | | | | | |
| FA-4.0-2.0-II-d | | | | | | | | | | | | | | 4.0 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |
| FA-6.0-4.0-I-d | | | | | | | | | | | | | | 6.0 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |
| FA-6.0-4.0-I-w | | | | | | | | | | | | | | 6.0 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |
| FA-6.0-4.0-II-d | | | | | | | | | | | | | | 6.0 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |
| OPC-2.0 | 55 | 55 | 46 | 165 | 300 | 0 | 0 | 0 | 1.3 | 862 | 1024 | 5.6 | 0 | | | | | | |
| OPC-3.0 | | | | | | | | | | | | | | 3.0 | 862 | 1024 | 5.6 | 0 | |
| OPC-4.5 | | | | | | | | | | | | | | 4.5 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |
| OPC-6.0 | | | | | | | | | | | | | | 6.0 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |
| OPC-3.0-1.0-II-d | | | | | | | | | | | | | | 3.0 | 862 | 1024 | 5.6 | 0 | |
| OPC-4.5-2.5-II-d | 55 | 55 | 46 | 165 | 300 | 0 | 0 | 0 | 3.25 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | | | | | | |
| OPC-6.0-4.0-II-d | | | | | | | | | | | | | | 6.0 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |
| OPC-6.0-4.0-I-d | | | | | | | | | | | | | | 6.0 | 844 | 1002 | 5.6 | 0 | |



図-1 気泡計測装置

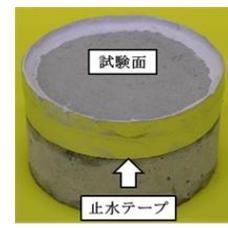
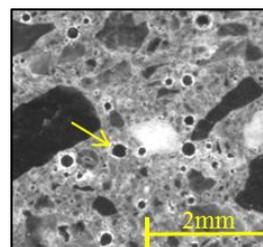
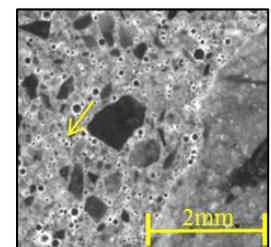


図-2 円柱供試体



FA-6.0



FA-6.0-4.0-I-d

図-3 気泡計測画像

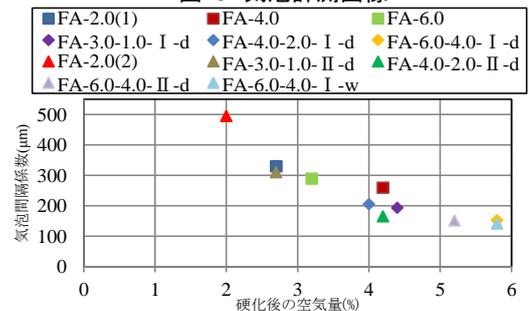


図-4 硬化後の空気量-気泡間隔係数

3. 実験結果及び考察

図-3 に、FA-6.0、FA-6.0-4.0- I -d の気泡画像を示す。図中の矢印がエントレインドエア(左)と中空微小球(右)それぞれの例である。FA-6.0-4.0- I -d のベースは NonAE コンクリートであることから微細な空隙が中空微小球によって形成されたことがわかる。図-4 に、硬化コンクリートの空気量と気泡間隔係数との関係を示す。図より、硬化後の空気量が増加するに従い、気泡間隔係数は小さくなる傾向を示しており、中空微小球やエントレインドエアを問わず微細な気泡の増加は気泡間隔係数を小さくすることに有利であることが分かる。図-5 に、硬化コンクリートの空気量を気泡径毎に分類したものを示す。図より、0.15mm 以下の気泡径に着目すると、中空微小球の混合方法によって傾向が異なった。一括混合(I)の場合は、添加率の大小と空気量の大小に相関は認められないが、後添加(II)の場合は相関があり、添加率が大きいほど微細な気泡が存在した。これは、一括混合は強制ミキサによる練混ぜ中に中空微小球を破壊するためであり、中空微小球の混合は傾動ミキサによる後添加の方がよいと考えられる。図-6 に、一括混合(I)のスケーリング試験結果を示す。この供試体は凍結融解 100 サイクルまで実施した。図より、中空微小球の添加の有無を問わず、空気量が多い方がスケーリング抵抗性は高い結果にはなっておらず、耐凍害性と空気量の多少の関係は認められなかった。図-7 に、硬化コンクリートの空気量に対する図-6 の 100 サイクル時のスケーリング量の関係を示す。図より、中空微小球を添加した場合、スケーリングに対して効果が認められたが、AE 剤による気泡とは挙動が異なる傾向を示し、中空微小球を添加し空気量 6.0%としたものが無添加 4.0%とスケーリング量が同等という傾向を示した。これは、練混ぜ時に中空微小球が潰れ、気泡分布にそれが影響した可能性を示唆するものである。なお、後添加のスケーリング試験結果については、発表会時に報告する。

4. まとめ

本研究より、中空微小球混合方法は強制ミキサによる一括混合よりも傾動ミキサによる後添加とすることで、AE 剤による連行空気と同様にコンクリート中に気泡が確保された。また、中空微小球が練混ぜ中に破損しなければ、中空微小球の混入量により空気量の調整が可能であり、AE 剤による気泡のような凝結前の消泡が軽減されるといえる。すなわち、中空微小球を実施工に用いる場合、現場にてアジテータ車に必要な量を直接投入する方法も有効なことを示唆するものである。

謝辞: 本研究は電気化学工業株式会社との共同研究により行われた。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 東北コンクリート耐久性向上委員会(2009): 東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)
- 2) American Society for Testing and Materials(1998) : Standard test method for scaling resistance of concrete surface exposed to de-icing chemicals, Annual Book of ASTM Standard, pp.344-346

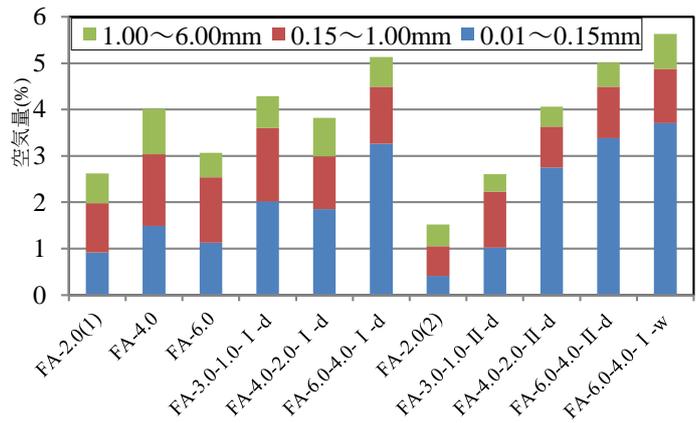


図-5 気泡径範囲における空気量

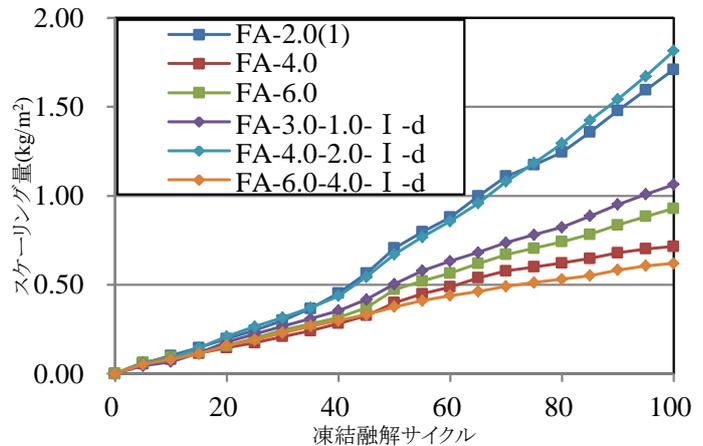


図-6 スケーリング試験結果 (I)

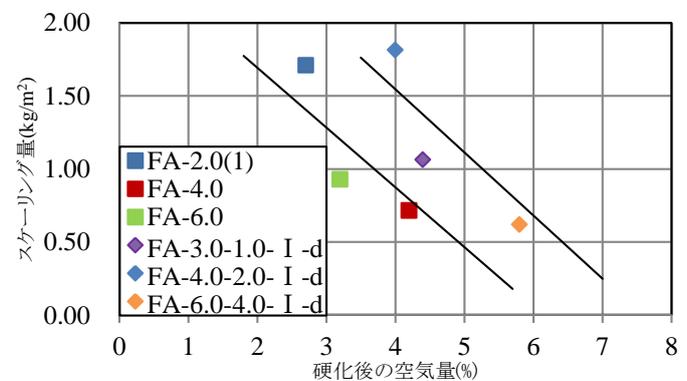


図-7 硬化後の空気量とスケーリング量