

高強度コンクリートの耐凍害性

プレキャストコンクリート工場における凍結融解試験結果

石川 伸介* 立山 創一*

Frost Damage Resistance of High-strength Concrete

Result of freezing and thawing examination in precast concrete works

by Shinsuke ISHIKAWA and Souichi TATEYAMA

Abstract

To understand frost damage to high-strength concrete manufactured at our prefab factory, frozen melt examination of a typical mixture was conducted. As a result, an excellent frost damage resistance was shown about the majority of mix proportions, though it was 2% of the set value of air content. However, it is necessary to examine the water-cement ratio or the set value of air content in the mixture for the water-cement ratio to exceed 27% when using it in regions there is a freezing and thawing problem and in regions with a possibility of a freezing and thawing.

要 旨

当社のプレハブ工場で製造する高強度コンクリートの、耐凍害性を把握するため、代表的な調合について、凍結融解試験を行った。その結果、大部分の調合については、設定空気量が2%と比較的低いにもかかわらず、良好な耐凍結融解性能を示した。しかし、水セメント比が比較的大きい調合においては、一部耐凍結融解性に問題のあるものもあり、凍結融解の可能性のある地域で使用する場合には、水セメント比または空気量を検討する必要がある。

キーワード：高強度コンクリート／対凍害性／凍結融解／プレキャストコンクリート

1. はじめに

住宅性能表示の普及に伴い、コンクリートの耐久性について関心が高まってきている。

凍結融解の可能性のある地域において、住宅性能表示において等級3を取得するには、コンクリートの耐久性を確保するために空気量の標準値を4.5%とする必要がある。関東地方においても、東京23区、神奈川・千葉の一部などを除きほぼ凍結融解の可能性のある地域に該当する。標準値が4.5%を下回る場合には試験結果により国土交通大臣の特別評価方法認定を取得する必要がある。

高強度コンクリートにおいては、水セメント比の

低下、セメント量の増加に伴い、粘性が上がるため、フローを大きくする 경우가多く、高い空気量を保持することが困難である。また、水セメント比の低下に伴いコンクリート組織の緻密化により、水分の移動が少ないため、少ない空気量でも耐凍結融解性能は普通強度のコンクリートより良好となる傾向が見られる。

そこで今回は、当社のPC工場の高強度コンクリートについて凍結融解性能の確認実験を行った。

国土交通大臣の特別評価方法認定は現状では、建物ごとの個別認定となる。この実験結果をもとに、八王子地区で建築される建築物に対する特別評価方

* 技術研究所材料・施工研究室

法認定を取得した。

2. 実験方法

実験は、相模原および佐倉のプレキャスト工場において、プレハブ建築協会H認定を取得した調合のうち代表的なもの、凍結融解について安全側であると考えられる方向に水セメント比を変更した調合について行った。

空気量は、当社の設計基準強度70N/mm²以上の調合の設定値である2.0±1.5%の中心値2.0%に対して1.5～2.5%、下限値0.5%に対して0.5～1.0%の範囲を目標とした。

試験体は、両工場の試験室で1000 強制2軸型ミキサーにより練り混ぜを行った。使用材料を表1に、調合を表2に示す。記号は、水セメント比と目標空

表1 使用材料

相模原工場

| 材料 | 種類・品名 | 生産者または産地 |
|-----------|--|---------------|
| セメント (C) | 中庸熟ポルトランドセメント 密度 3.21g/cm ³ | 宇部三菱セメント(株) |
| | シリカフェームセメント 密度 3.07 g/cm ³ | |
| 細骨材 (S) | 砕砂 表乾比重 2.63 | 神奈川県相模原市城山町産 |
| 粗骨材 (G) | 砕石 表乾比重 2.66 | 神奈川県相模原市城山町産 |
| 混和剤 (Ad) | 高性能減水剤(標準型)レオビルド 8000S | BASF ポゾリス(株) |
| 繊維 (F) | ポリプロピレン繊維 直径 2.2dtex, 長さ 2mm | ダイワボウポリテック(株) |
| 練り混ぜ水 (W) | 地下水 | 工場敷地内 |

佐倉工場

| 材料 | 種類・品名 | 生産者または産地 |
|-----------|---|---------------|
| セメント (C) | 中庸熟ポルトランドセメント 密度 3.21 g/cm ³ | 太平洋セメント(株) |
| | SFPC セメント 密度 3.07 g/cm ³ | |
| 細骨材 (S) | 砕砂 表乾比重 2.62 | 茨城県桜川市富谷岩瀬産 |
| 粗骨材 (G) | 砕石 表乾比重 2.62 | 茨城県桜川市富谷岩瀬産 |
| 混和剤 (Ad) | 高性能減水剤(標準型)レオビルド 8000S | BASF ポゾリス(株) |
| 繊維 (F) | ポリプロピレン繊維 直径 2.2dtex, 長さ 2mm | ダイワボウポリテック(株) |
| 練り混ぜ水 (W) | 地下水 | 工場敷地内 |

気量で示し、繊維を使用したものはFで表示した。セメントは、佐倉工場は水セメント比19.9%の調合はSFPC、相模原工場は水セメント比15.1および20.7%の調合ではシリカフェームセメントとし、それ以外の調合では中庸熟セメントとした。

目標空気量が2.0%、0.5%と異なる2種類の試験体については、調合は同一とし、空気量調整剤(消泡剤)を添加することにより調整した。

フレッシュ性状としては、空気量、スランプフローを測定した。圧縮強度は標準水中養生材齢28日で測定した。

凍結融解試験は建材試験センターに依頼して、JIS A 1148 (コンクリートの凍結融解試験方法)に準じて行った。試験体は3週間工場水中養生した後、建材試験センターに搬入し1週間水中養生の後、試験を開始した。試験方法の種類は「A法」(水中で凍結し水中で融解する)とした。

試験開始時にたわみ振動の一次共鳴振動数を測定し、JIS A 1127 (共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動弾性係数および動ポアソン比試験方法)の「6.1 動弾性係数」に従って動弾性係数を算出した。凍結融解サイクルは300サイクルとした。

試験は3本一組で行った。

表2 調合

相模原工場

| 記号 | 目標空気量 (%) | 設計基準強度 N/mm ² | 単位量 (kg/m ³) | | | | | |
|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|------|---|
| | | | W | C | G | S | Ad | F |
| 19.9F-2.0 | 2.0 | 100 | 150 | 754 | 880 | 665 | 9.43 | 1 |
| 19.9F-0.5 | 0.5 | 100 | 150 | 754 | 880 | 665 | 9.43 | 1 |
| 27.0-2.0 | 2.0 | --- | 165 | 612 | 853 | 799 | 7.34 | 0 |
| 27.0-0.5 | 0.5 | --- | 165 | 612 | 853 | 799 | 7.04 | 0 |
| 27.0F-2.0 | 2.0 | --- | 165 | 612 | 853 | 799 | 8.57 | 1 |
| 28.4F-2.0 | 2.0 | 80 | 165 | 581 | 853 | 823 | 8.13 | 1 |
| 28.4F-0.5 | 0.5 | 80 | 165 | 581 | 853 | 823 | 8.13 | 1 |
| 30.0-2.0 | 2.0 | 70 | 165 | 550 | 853 | 847 | 6.88 | 0 |
| 30.0-0.5 | 0.5 | 70 | 165 | 550 | 853 | 847 | 6.60 | 0 |

佐倉工場

| 記号 | 目標空気量 (%) | 設計基準強度 N/mm ² | 単位量 (kg/m ³) | | | | | |
|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------|------|-----|-----|-------|---|
| | | | W | C | G | S | Ad | F |
| 15.1F-2.0 | 2.0 | 120 | 155 | 1026 | 838 | 446 | 12.83 | 3 |
| 15.1F-0.5 | 0.5 | 120 | 155 | 1026 | 838 | 446 | 12.31 | 3 |
| 20.7F-2.0 | 2.0 | 100 | 155 | 745 | 838 | 686 | 8.94 | 1 |
| 20.7F-0.5 | 0.5 | 100 | 155 | 745 | 838 | 686 | 8.54 | 1 |
| 27.9F-2.0 | 2.0 | 80 | 165 | 591 | 833 | 819 | 7.39 | 1 |
| 27.9F-0.5 | 0.5 | 80 | 165 | 591 | 833 | 819 | 6.80 | 1 |
| 29.4-2.0 | 2.0 | 70 | 165 | 561 | 833 | 844 | 6.17 | 0 |
| 29.4-0.5 | 0.5 | 70 | 165 | 561 | 833 | 844 | 6.11 | 0 |

3. 試験結果

3.1 コンクリートの試験結果

コンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度試験結果を表3に示す。

フレッシュ性状については、おおむね目標値を満たしているが、空気量について一部目標値を満足できない物があった。今回の実験においては、空気量の下限値のコンクリート試料を作成するため、空気量調整剤を通常では用いられない量添加することとなった。また繊維を入れた調合では空気量を下げることが難しく、ほとんどの試験体が0.8%~0.9%となった。

圧縮強度についてはいずれも規定値を満足する値となっている。

表3 フレッシュ性状および圧縮強度

相模原工場

| 記号 | 目標 空気量 (%) | 空気 量 (%) | スランブフロー (cm) | 28日圧縮強度 (N/mm ²) |
|-----------|------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|
| 19.9F-2.0 | 2.0 | 2.4 | 66×64 | 131.3 |
| 19.9F-0.5 | 0.5 | 0.9 | 57×53 | 140.2 |
| 27.0-2.0 | 2.0 | 2.4 | 63×62 | 113.6 |
| 27.0-0.5 | 0.5 | 0.7 | 57×54.5 | 111.7 |
| 27.0F-2.0 | 2.0 | 1.8 | 58×58 | 111.4 |
| 28.4F-2.0 | 2.0 | 2.2 | 63×62 | 101.8 |
| 28.4F-0.5 | 0.5 | 0.8 | 62×60 | 106.6 |
| 30.0-2.0 | 2.0 | 1.9 | 70×66.5 | 100.1 |
| 30.0-0.5 | 0.5 | 0.6 | 59×58 | 102.2 |

佐倉工場

| 記号 | 目標 空気量 (%) | 空気 量 (%) | スランブフロー (cm) | 28日圧縮強度 (N/mm ²) |
|-----------|------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|
| 15.1F-2.0 | 2.0 | 2.1 | 73.5×72.5 | 164 |
| 15.1F-0.5 | 0.5 | 0.9 | 72×70.5 | 150 |
| 20.7F-2.0 | 2.0 | 1.6 | 68.5×68 | 127.7 |
| 20.7F-0.5 | 0.5 | 0.9 | 69.5×69.5 | 130.7 |
| 27.9F-2.0 | 2.0 | 1.8 | 68.5×68.5 | 106 |
| 27.9F-0.5 | 0.5 | 0.2 | 59×58.5 | 110.7 |
| 29.4-2.0 | 2.0 | 1.6 | 62.5×62.5 | 105 |
| 29.4-0.5 | 0.5 | 0.7 | 61×61 | 112 |

3.2 凍結融解試験結果

凍結融解試験結果を図1~34、および表4に示す。

通常、耐凍結融解性の規定としては、JISの混和剤の規定で相対動弾性係数60%以上となっているが、特別評価方法認定を取得する際には、やや厳しく相対動弾性係数80%以上が求められる。

目標空気量2.0%ではいずれも300サイクル後にお

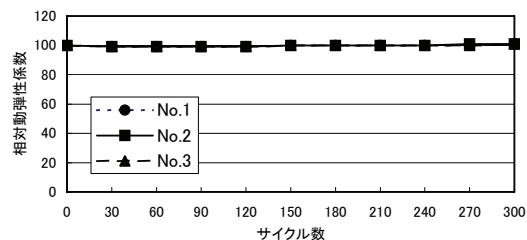


図1 相対動弾性係数 (相模原19.9F- 2.0)

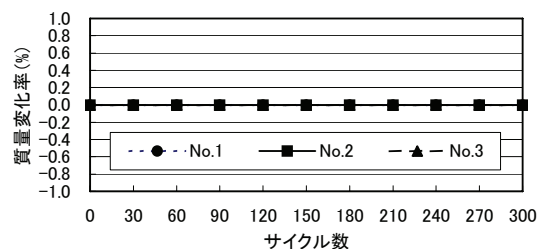


図2 質量変化率 (相模原19.9F - 2.0)

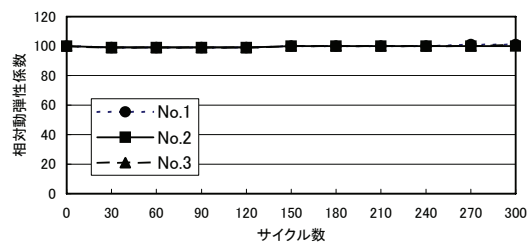


図3 相対動弾性係数 (相模原19.9F - 0.5)

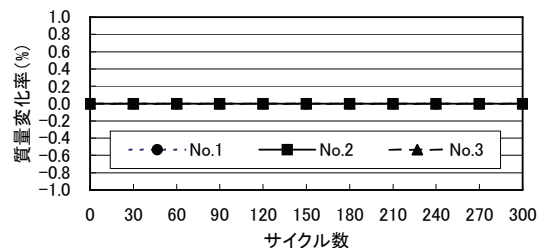


図4 質量変化率 (相模原19.9F - 0.5)

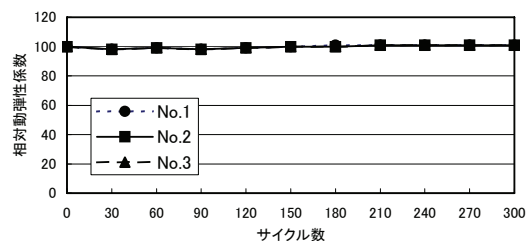


図5 相対動弾性係数 (相模原27.0- 2.0)

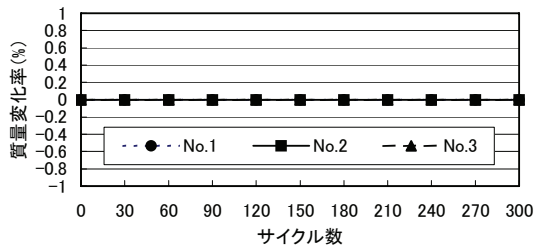


図6 質量変化率 (相模原27.0- 2.0)

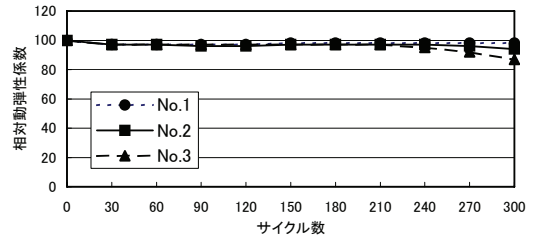


図11 相対動弾性係数 (相模原28.4F- 2.0)

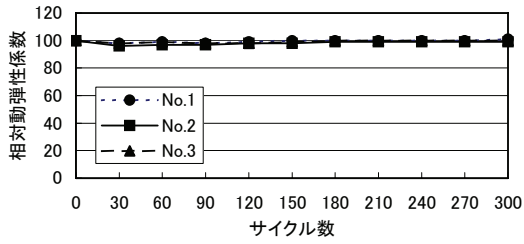


図7 相対動弾性係数 (相模原27.0- 0.5)

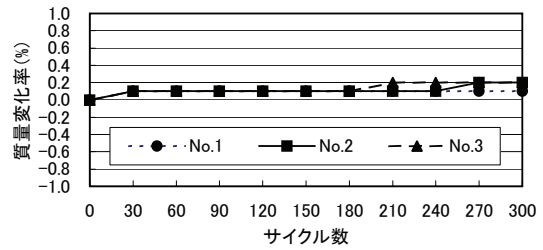


図12 質量変化率 (相模原28.4F - 2.0)

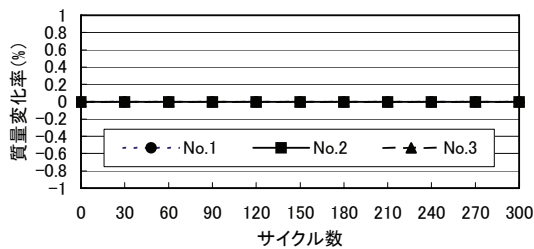


図8 質量変化率 (相模原27.0- 0.5)

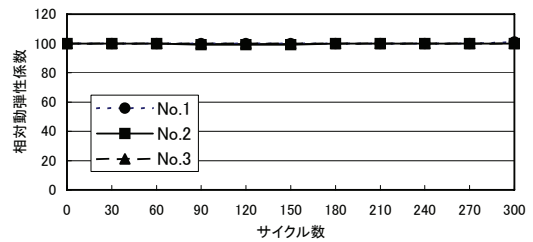


図13 相対動弾性係数 (相模原28.4F - 0.5)

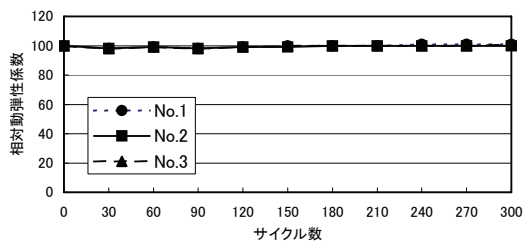


図9 相対動弾性係数 (相模原27.0F- 2.0)

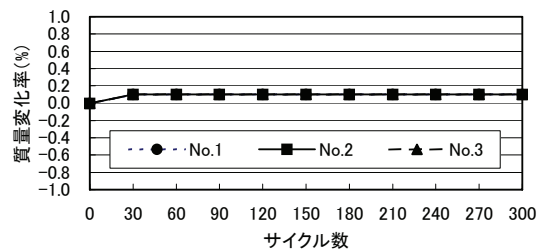


図14 質量変化率 (相模原28.4F - 0.5)

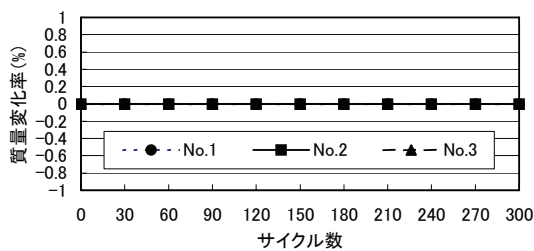


図10 質量変化率 (相模原27.0F- 2.0)

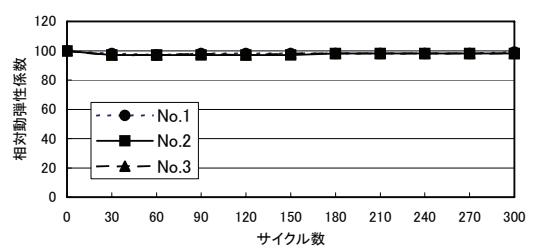


図15 相対動弾性係数 (相模原30.0- 2.0)

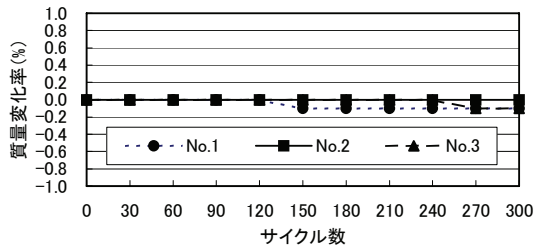


図16 質量変化率 (相模原30.0- 2.0)

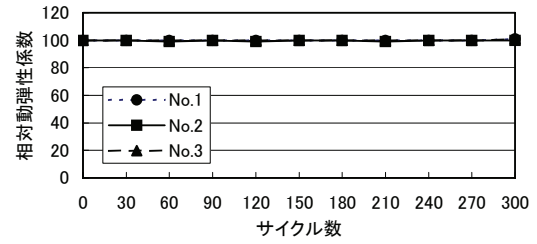


図21 相対動弾性係数 (佐倉15.1F - 0.5)

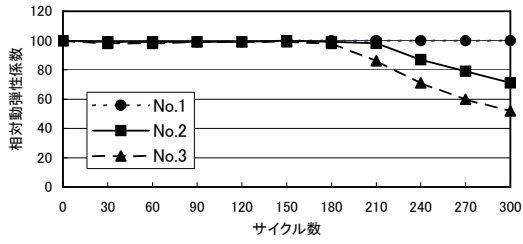


図17 相対動弾性係数 (相模原30.0- 0.5)

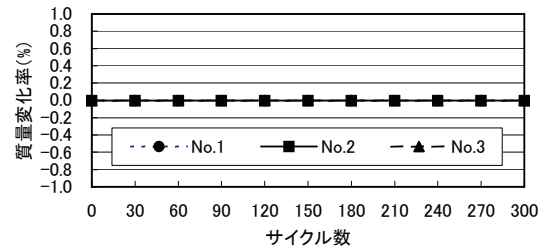


図22 質量変化率 (佐倉15.1F - 0.5)

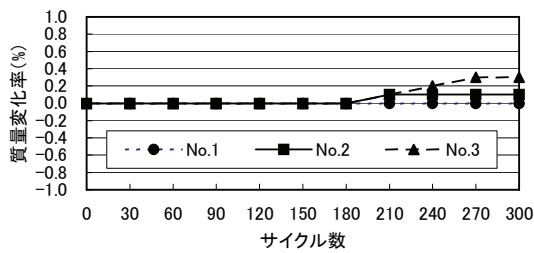


図18 質量変化率 (相模原30.0- 0.5)

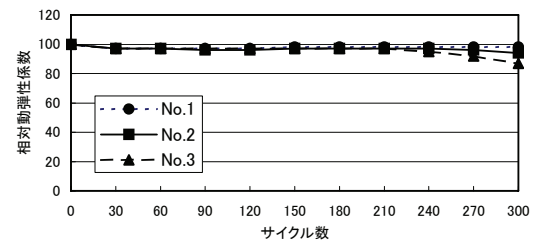


図23 相対動弾性係数 (佐倉20.7F- 2.0)

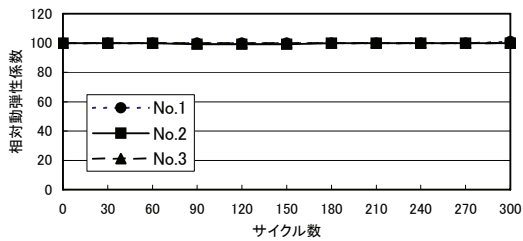


図19 相対動弾性係数 (佐倉15.1F- 2.0)

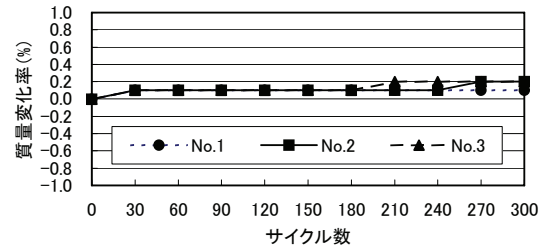


図24 質量変化率 (佐倉20.7F - 2.0)

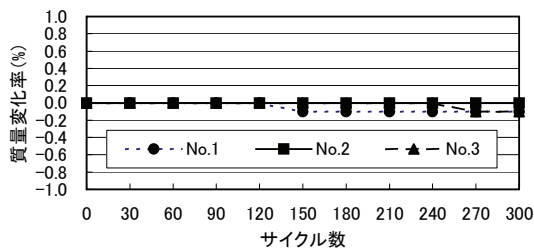


図20 質量変化率 (佐倉15.1F - 2.0)

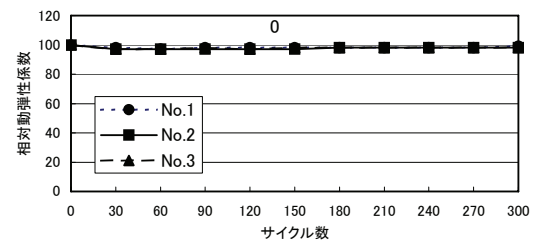


図25 相対動弾性係数 (佐倉20.7F - 0.5)

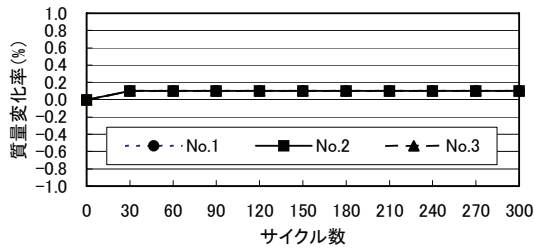


図26 質量変化率 (佐倉20.7F - 0.5)

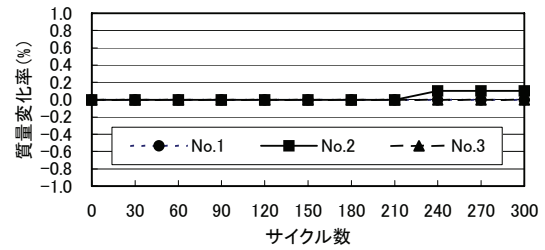


図31 相対動弾性係数 (佐倉29.4 - 2.0)

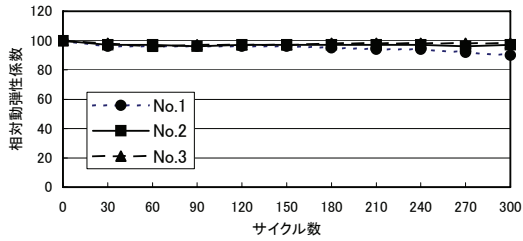


図27 相対動弾性係数 (佐倉27.9F - 2.0)

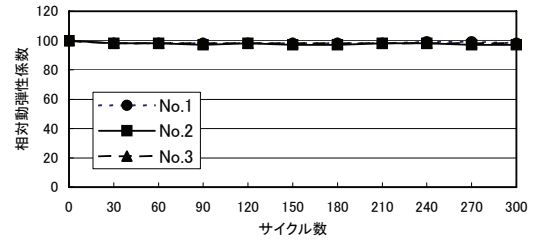


図32 質量変化率 (佐倉29.4 - 2.0)

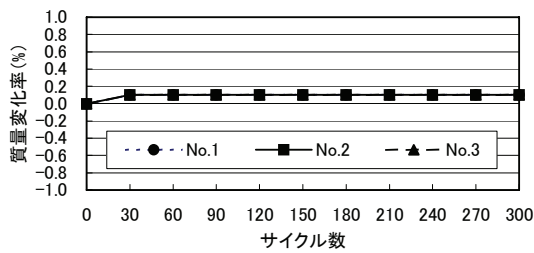


図28 質量変化率 (佐倉27.9F - 2.0)

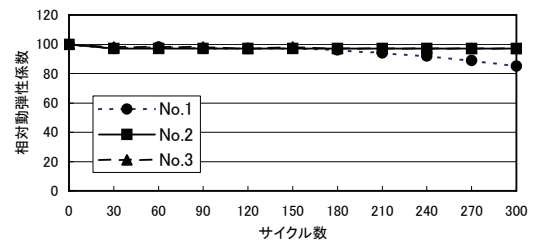


図33 相対動弾性係数 (佐倉29.4 - 0.5)

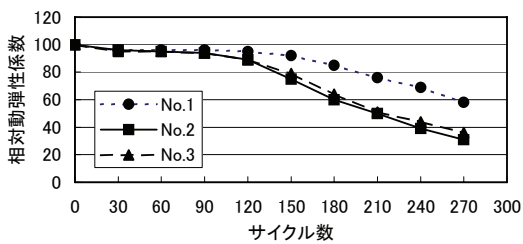


図29 相対動弾性係数 (佐倉27.9F - 0.5)

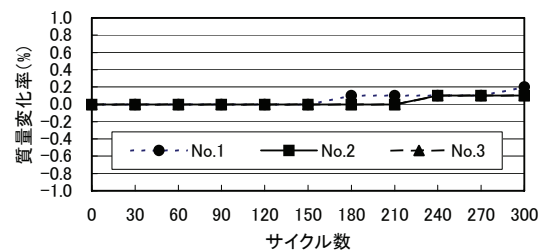


図34 質量変化率 (佐倉29.4 - 0.5)

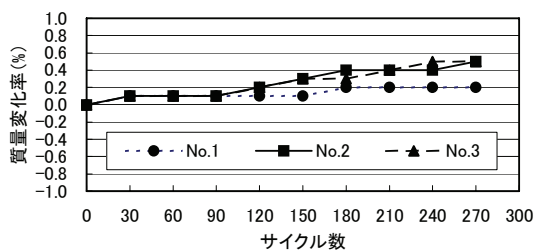


図30 質量変化率 (佐倉27.9F - 0.5)

いても健全であったが、目標空気量を0.5%としたものにおいては、一部水セメント比の高いものにおいて300サイクル時に動弾性係数の低下が見られた。相対動弾性係数が80%を下回ったのは、佐倉工場の設計基準強度 80N/mm^2 (27.9F-0.5) と相模原工場の設計基準強度 70N/mm^2 (30.0-0.5) である。相模原工場の設計基準強度 70N/mm^2 の調合については、水セメント比が30%と高く、充分緻密にならず、目

表4 各調査の相対動弾性係数および質量変化率

(300サイクル終了時, 3試験体の平均値)

相模原工場

| 記号 | 目標 空気量 (%) | 空気 量 (%) | 相対動弾性係数 (%) | 質量変化率 (%) |
|-----------|------------------|----------------|----------------|--------------|
| 19.9F-2.0 | 2.0 | 2.4 | 101 | 0.0 |
| 19.9F-0.5 | 0.5 | 0.9 | 101 | 0.0 |
| 27.0-2.0 | 2.0 | 2.4 | 101 | 0.0 |
| 27.0-0.5 | 0.5 | 0.7 | 100 | 0.0 |
| 27.0F-2.0 | 2.0 | 1.8 | 101 | 0.0 |
| 28.4F-2.0 | 2.0 | 2.2 | 100 | 0.0 |
| 28.4F-0.5 | 0.5 | 0.8 | 100 | 0.0 |
| 30.0-2.0 | 2.0 | 1.9 | 101 | 0.0 |
| 30.0-0.5 | 0.5 | 0.6 | 74 | +0.2 |

佐倉工場

| 記号 | 目標 空気量 (%) | 空気 量 (%) | 相対動弾性係数 (%) | 質量変化率 (%) |
|-----------|------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| 15.1F-2.0 | 2.0 | 2.1 | 100 | -0.1 |
| 15.1F-0.5 | 0.5 | 0.9 | 100 | 0.0 |
| 20.7F-2.0 | 2.0 | 1.6 | 93 | +0.2 |
| 20.7F-0.5 | 0.5 | 0.9 | 98 | +0.2 |
| 27.9F-2.0 | 2.0 | 1.8 | 95 | +0.1 |
| 27.9F-0.5 | 0.5 | 0.2 | 41 (240サイクル) | +0.4 (240サイクル) |
| 29.4-2.0 | 2.0 | 1.6 | 98 | 0.0 |
| 29.4-0.5 | 0.5 | 0.7 | 93 | +0.1 |

標空気量2%±1.5%とした場合の限界であると思われる。

佐倉工場の水セメント比29.4%の調査では目標空気量0.5%の試験体でも300サイクル後の相対動弾性係数93%と良好な結果となっているが水セメント比27.9%では、相対動弾性係数41%と水セメント比が低いにもかかわらず、低い値となっている。これは、水セメント比29.4%において空気量の調整がうまくいかず0.2%まで下がってしまったためと考えられる。通常の製造では、このような低空気量になることは考えられない。

図35, 36に水セメント比と相対動弾性係数の関係を示す。目標空気量0.5%とした場合水セメント比が27~30%程度の試験体で、動弾性係数の低下が見られるものがある。目標空気量2.0%とした場合には水セメント比による動弾性係数の低下が見られず、かなり低い空気量であっても、空気量の差が耐凍結融解性に大きな影響を持っていることが分かる。

空気量の設定値を適切な範囲に定めることにより、より高い水セメント比まで耐凍結融解性を確保する

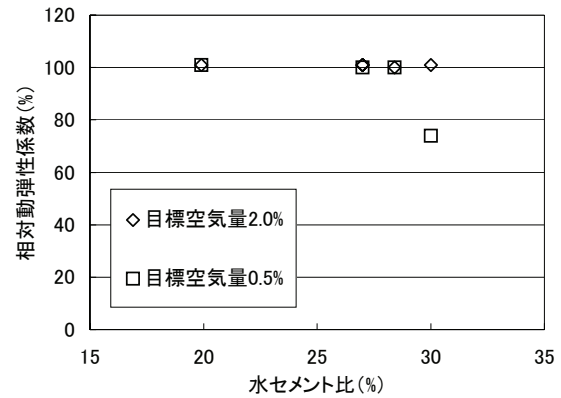


図35 水セメント比と相対動弾性係数の関係 (相模原工場)

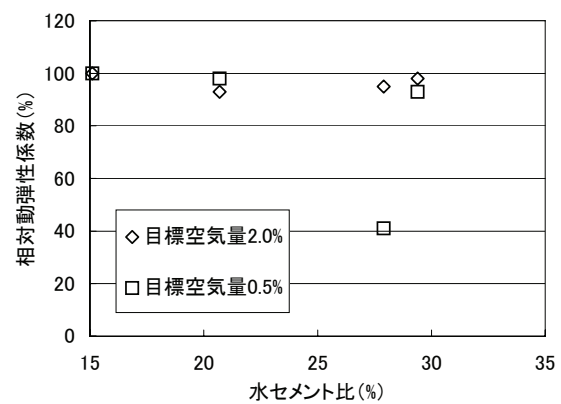


図36 水セメント比と相対動弾性係数の関係 (佐倉工場)

ことが可能になると考えられる。

4. まとめ

実験の結果、以下の結果が得られた。

- 1)今回実験した試験体は、空気量の標準値が2.0%であるが、標準の空気量とした試験体ではいずれも300サイクル経過後の相対動弾性係数が90%以上となり、耐凍害性に優れる。
- 2)空気量を設定下限値とした、試験体においては、比較的水セメント比の高い調査において、300サイクル経過後の相対動弾性係数が80%以下となった。今回の調査では、空気量を2%±1.5%とした場合、水セメント比27~30%程度が耐凍結融解性を確保できる上限値となると考えられる。

