

## 振動締固めによるFAコンクリートの残存空気量と凍結融解抵抗性の検討

福岡大学大学院  
 福岡大学工学部 博(工) 橋本 紳一郎  
 (株)富士ピー・エス 正会員 博(工) 徳光 卓  
 (株)富士ピー・エス 正会員 杉江 匡紀

Abstract : The relationship between residual air content and freeze-thaw resistance of concrete used in prestressed concrete members and same concrete mixed with fly ash (FA) after vibration compaction based on the results of freeze-thaw test were studied in this research. Concrete specimens were prepared based on two kinds of air content in concrete immediately after its preparation, or 2% or under without AE and approximately 4.5% with AE. The concrete mixed with AE and containing an approx. 4.5% air content was put to vibration compaction to reduce the air content down to about 2.5%. The study revealed that the freeze-thaw resistance of concrete with air content free of AE had been very much lowered. However, as far as air content is within the JIS-specified concrete management value, even if residual air content after vibration compaction is reduced to about 2.5%, it is confirmed that concrete can maintain a sufficient level of freeze-thaw resistance and compressive strength.

Key words: Remaining amount of air, Freezing and thawing resistance, Fly ash concrete

### 1. はじめに

近年、地球環境保全に関する社会的要請の高まりから、多岐分野にわたってフライアッシュ(以降、FA と称す)の用途開発が進められている。コンクリートにおいては、FA をコンクリート用混和材として使用した場合、流動性の改善やポゾラン反応による長期強度の増進、ASR の抑制効果などが効果として挙げられるが、初期の強度が低くなるなどの問題点があるため、プレストレストコンクリート(以降、PC と称す)にFA 混入した事例は少ない。PC にFA を混入した既往の研究<sup>1)</sup>では、初期強度発現においてFA を10%内割置換した場合にFA を混入しない場合の9割程度の強度を確保できること、プレストレス導入後の性状はFA を混入しない場合と大きな差はみられず、特性を把握することでFA のPC への適用が可能であることを示唆している。今後、FA のPC への適用を考えた場合、凍結融解などさまざまな環境に対する検討も必要となってくる。

一方で、実施工においては、PC 製品と現場打込みのコンクリートはいずれも振動締固めを行うため、振動によりコンクリート中の空気量の減少が生じる。

空気量は凍結融解抵抗性に大きく関係しているが、一般に気泡間隔係数が200 $\mu$ m以下<sup>2)</sup>となることで耐凍害性に優れていると言われる。しかし、PC 部材に対して振動締固めによる空気量の減少の影響と凍結融解抵抗性の関係性の検討は行われていない。本研究では、振動締固めによるFA コンクリートの残存空気量と凍結融解抵抗性に関する検討を行った。

### 2. 実験概要

#### 2. 1 使用材料

表-1 使用材料

材料：記号	化学的特性
早強ポルトランドセメント：C	密度:3.14g/cm <sup>3</sup> ，比表面積:4680cm <sup>2</sup> /g，強熱減量1.02%
フライアッシュ：FA (JISII種灰)	密度:2.35g/cm <sup>3</sup> ，比表面積:3990cm <sup>2</sup> /g，強熱減量:1.9%，活性度指数:28日86%，91日104%
砕砂：S1	密度:2.68g/cm <sup>3</sup> ，吸水率:1.54%
海砂：S2	密度:2.60g/cm <sup>3</sup> ，吸水率:1.38%
砕石：G	密度:2.66g/cm <sup>3</sup> ，吸水率:1.25%
高性能減水剤：Ad1	密度:1.03g/cm <sup>3</sup> ポリカルボン酸エーテル系化合物
AE剤：Ad2	密度:1.02g/cm <sup>3</sup> 変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

本実験で使用した材料を表-1に示す。セメントはすべて早強ポルトランドセメントを使用し、FAはJISのII種灰(JIS A 6201に準拠)を使用した。混和剤は、ポリカルボン酸エーテル系化合物を主成分とする高性能減水剤I種(JIS A 6204に準拠)、変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤を主成分とするAE剤I種(JIS A 6204に準拠)を使用した。

2.2 コンクリート配合条件およびフレッシュ性状試験

コンクリート配合を表-2に示す。コンクリートの設計基準強度を50N/mm<sup>2</sup>(以降、Fc50と称す)の1水準とした。FAはセメントに対して内割置換し、置換率は0%、20%(以降、FA0、FA20と称す)の2水準とした。目標スランブは18±2.5cm、目標空気量は1.5±0.5%(Non-AE)と4.5±1.5%(AE)に設定しスランブ試験(JIS A 1101:2005に準拠)と空気量試験(JIS A 1128:2005に準拠)を行って確認した。

2.3 振動締固めによる残存空気量の設定値および供試体の作成

目標空気量が1.5±0.5%のNon-AEコンクリート(配合No.1, 3)と目標空気量が4.5±1.5%のAEコンクリート(配合No.5)に関しては、所定の目標空気量を確認後、圧縮強度試験と凍結融解試験の供試体の作製を行った。目標空気量が4.5±1.5%の配合No.2と配合No.4のAEコンクリートに関しては、目標空気量を確認後に振動締固めによる残存空気量の影響を検討するため、振動締固めにより空気量を打込み時の設定空気量2.5≤Air<3.0%になるまで減少させ、打込み時の設定空気量になった時点で供試体の作製を行った。打込み時の設定空気量の確認は、空気量試験(JIS A 1128:2005に準拠)で行った。振動締固めによる空気量の調整方法は、平らな容器に10Lのコンクリートを入れ、テーブルバイブレータ(周波数:70Hz, 振幅:1mm)を用いて行った。表-3に練り上がり時の実測スランブと空気量、打込み時の設定空気量と実測空気量を示す。

2.4 養生方法および硬化後の品質評価試験

養生方法については、蒸気養生と水中養生の2種類を行った。蒸気養生は、前養生を4時間とし8.34°C/hで昇温、最高温度50°Cで3時間保持した後、3.58°C/hで20°Cまで降温した。図-1に蒸気養生プログラムを示す。蒸気養生終了後に脱型し、7日間の水中養生後、気中養生を材齢28日まで行った。水中養生は、蒸気養生終了時まで恒温(室温:20°C±1, 湿度:60%)に養生し、蒸気養生終了時に

表-2 使用配合

配合No	目標空気量 (%)	打込み時の設定空気量 (%)	FA置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							
						W	C	FA	S1	S2	G	Ad1 (B×%)	Ad2 (B×%)
1	1.5±0.5	Air<2.0	0	38	43	165	434	0	371	380	1007	B×1.1	-
2	4.5±1.5	2.5≤Air<3.0										B×1.0	B×0.0006
3	1.5±0.5	Air<2.0										B×1.0	-
4	4.5±1.5	2.5≤Air<3.0	20	38	43	165	347	87	365	374	991	B×0.9	B×0.003
5		Air=4.5±1.5										B×0.9	B×0.003

表-3 フレッシュ性状試験結果および打込み時の設定空気量

配合No	実測スランブ (cm)	練上がり時の実測空気量 (%)	打込み時の実測空気量 (%)	打込み時の設定空気量 (%)
1	20	1.6	1.6	Air<2.0
2	20	5.3	2.8	2.5≤Air<3.0
3	20	1.7	1.7	Air<2.0
4	19	5.8	2.9	2.5≤Air<3.0
5	20	5.5	5.5	Air=4.5±1.5

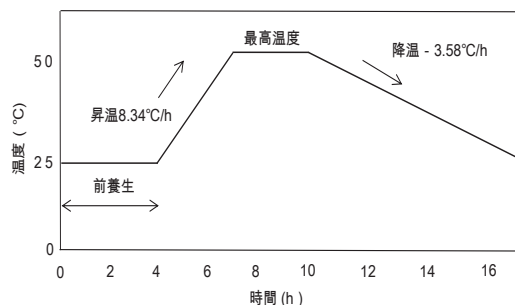


図-1 蒸気養生プログラム

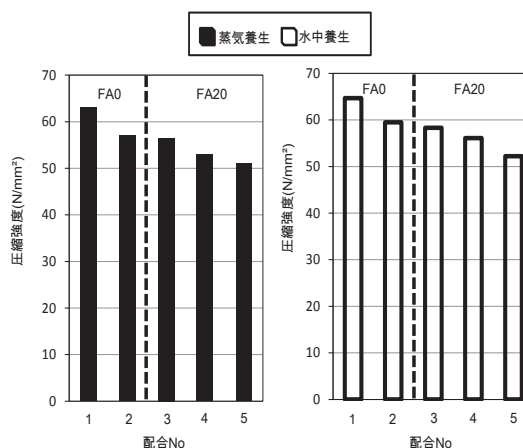


図-2 養生別による圧縮強度

脱型を行い、その後、水中養生を材齢 28 日まで行った。材齢 28 日に圧縮強度試験(JISA1108: 2006 に準拠)、凍結融解試験(JIS A 1148:2010 に準拠)を行った。

### 3. 試験結果および考察

図-2 に FA を混入と無混入、蒸気養生と水中養生を行った材齢 28 日の圧縮強度試験結果を示す。蒸気養生と水中養生ではいずれも  $F_c50$  を満たしており、圧縮強度は空気量の大きさの順に低くなった。FA を混入した場合と混入していない場合では、FA を混入した場合の圧縮強度が低いが、FA を混入していない場合の 9 割程度の圧縮強度を確保できていた。また、蒸気養生と水中養生では、蒸気養生を行った材齢 28 日における圧縮強度が低い。既往の研究より、蒸気養生コンクリートの細孔構造は、同一配合の標準養生(水中養生)コンクリートと比較して粗大であること、強度と耐久性が低下することが明らかとなっており<sup>3)</sup>コンクリートに FA を混入した場合も同様の傾向を示した。

図-3 に凍結融解試験の結果として、No-AE (Air<2.0%) の配合 No.1 と配合 No.3 の相対動弾性係数の結果、図-4 に質量減少率の結果を示す。No-AE (Air<2.0%) の配合 No.1 と配合 No.3 は、いずれも相対動弾性係数が 60%以下になった。FA を混入した場合と混入しない場合の大きな違いは見られなかったが、養生条件で比較した場合、蒸気養生の方が水中養生に比べて、短いサイクル数で相対動弾性係数が 60%以下になり、No-AE (Air<2.0%) の配合では養生条件の違いが明確となった。質量減少率に関しては、相対動弾性係数が 60%以下であっても質量減少率は小さい値であった。相対動弾性係数の結果と同様に蒸気養生の方が水中養生に比べて質量減少率の値が大きく、また、水中養生の質量減少率は非常に小さかった。これは蒸気養生を行うことにより圧縮強度と同様に、コンクリートの表層部の乾燥により品質が低下したためだと考えられる。質量減少率が全体的に小さいのは、空気量が少なく、PC 部材を対象とした圧縮強度の比較的高いコンクリートであるため、スケリングが少なかったと考えられる。以上から、PC 部材を対象としたコンクリートでも No-AE (Air<2.0%) の場合、凍結融解抵抗性は低い。

図-5 に振動締固めにより空気量を打込み時の設定空気量  $2.5 \leq \text{Air} < 3.0\%$  になるまで減少させた配合 No.2 と配合 No.4 の相対動弾性係数の結果を示す。初期の目標空気量を JIS 生コンの管理幅内の

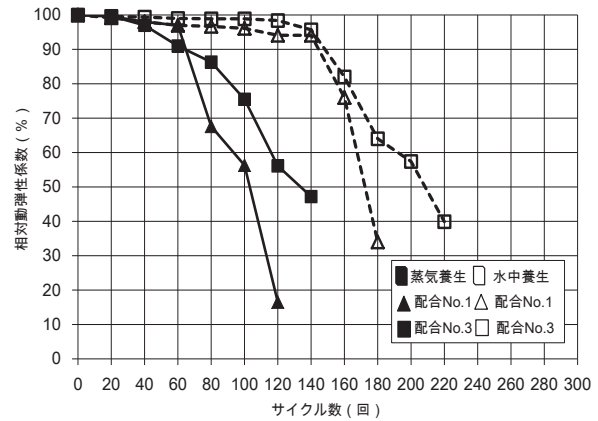


図-3 配合 No. 1 と No. 3 における相対動弾性係数とサイクル数の関係

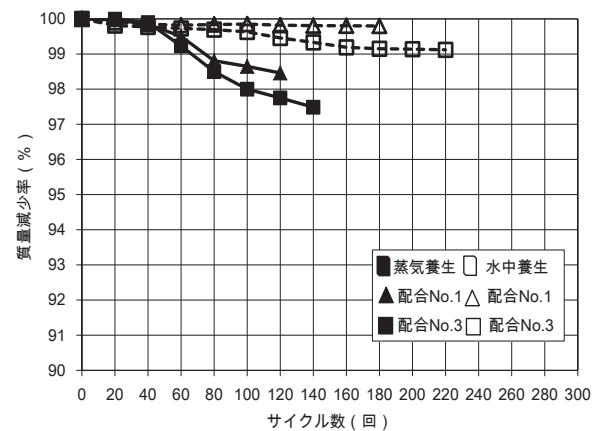


図-4 配合 No. 1 と No. 3 における質量減少率とサイクル数の関係

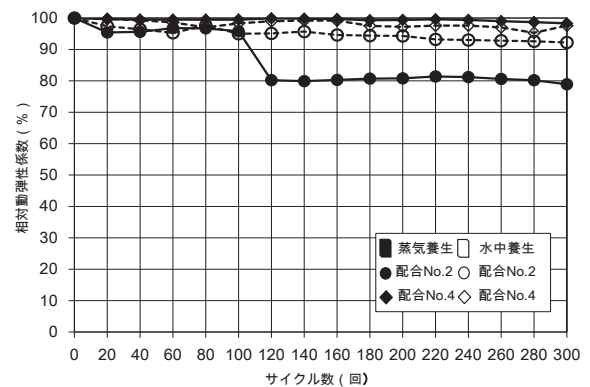


図-5 配合 No. 2 と No. 4 における相対動弾性係数とサイクル数の関係

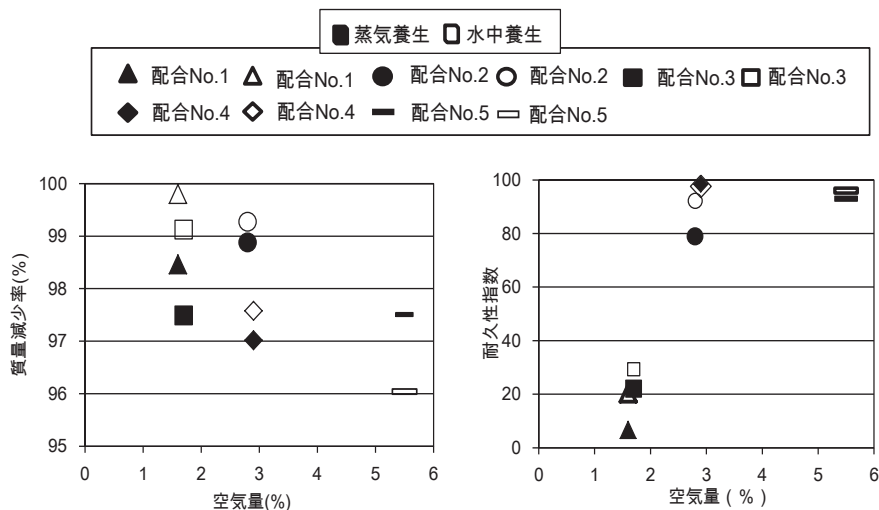


図-6 凍結融解試験終了時における  
質量減少率と空気量の関係

図-7 凍結融解試験終了時における  
耐久性指数と空気量の関係

4.5±1.5%の場合、振動締固めによって空気量が2.5%程度減少した場合でも、十分な凍結融解抵抗性を確保できた。その中でも蒸気養生を行ったFAを混入していない配合No.2は80%程度であったが、その他は90%以上の高い相対動弾性係数を示した。これは、圧縮強度やNo-AE (Air<2.0%)の結果と同様に、高い相対動弾性係数であっても蒸気養生を行うことによってコンクリートの品質が低下したと考えられる。また、蒸気養生を行った場合でも、FAを混入したことによりコンクリート内部組織が緻密化し、高い相対動弾性係数を示したと考えられる。以上から、目標空気量をJIS生コンの管理幅内であれば、振動締固めによって空気量が低下した場合も十分な凍結融解抵抗性を確保できる。

図-6に質量減少率と空気量の関係、図-7に耐久性指数と空気量の関係を示す。質量減少率は、全ての配合と養生条件において96%以上であった。また、打込み時の空気量が大きい配合の方が、質量減少率が大きくなる傾向を示した。耐久性指数は、打込み時の空気量が2.5%以上であれば、80%以上の高い耐久性指数を示した。

本研究結果は、打込み時に計測した空気量と凍結融解抵抗性の関係を示したものである。今後は、これらの結果に加えて、硬化コンクリートの気泡組織(気泡間隔係数)との関係をFAの混入の有無の影響とともに示す予定である。

#### 4. まとめ

- (1) 蒸気養生と水中養生では、蒸気養生を行った材齢28日における圧縮強度が低くなる。
- (2) PC部材を対象としたコンクリートでもNo-AE (Air<2.0%)の場合の凍結融解抵抗性は低い。
- (3) PC部材を対象としたコンクリートの目標空気量がJIS生コンにおける空気量の管理値の範囲内であれば、振動締固めによって打込み時の空気量が低下した場合でも十分な凍結融解抵抗性を確保できる。

#### 【参考文献】

- 1) 山田悠二, 橋本紳一郎, 徳光卓, 山田雅彦: フライアッシュのプレストレストコンクリートへの適用に関する基礎的研究, 第22回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.521-526, 2013
- 2) 入矢桂史郎, 十河茂幸, 近松竜一: 気泡間隔係数によるコンクリートの凍結融解抵抗性の評価に関する一考察, 土木学会第62回年次学術講演会, pp.1146, 2007
- 3) 住吉 宏, 窪山 潔, 今橋太一, 塩谷 勝: コンクリートの組織や物性におよぼす蒸気養生の影響, セメント技術年報, Vol.35, pp.290-293, 1981.12