

蒸気養生を行った混和材を用いたコンクリートの耐久性に関する一考察

(株)日本ピーエス 正会員 工修 ○谷口 正輝
 (株)日本ピーエス 正会員 工修 天谷 公彦
 (株)日本ピーエス 丸山 拳也

キーワード：混和材，蒸気養生，ミスト養生，透気係数，凍結融解

1. はじめに

近年，プレストレストコンクリート（以下，PC）構造物においても長寿命化や環境負荷低減を目的として，早強ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュで置換したコンクリートの積極的な利用が求められている。このような背景から，PCの分野においても，PC床版などのプレテンション構造などへ混和材を用いたコンクリートが適用される事例が増加している。これら混和材を用いたコンクリートは，一般的に早強ポルトランドセメント単味の配合と比較して長期強度が増進すること，耐久性が高くなることが広く知られている。一方で既往の知見では，初期強度の発現性が低下することや，場所打ちのPC橋を想定した場合に湿潤養生の条件が耐久性に与える影響が大きいことが報告されている¹⁾。

そこで，本検討ではプレテンション構造への適用を前提として蒸気養生を実施し，後養生では耐久性の向上を目的として脱型から材齢7日まで常時養生水を噴霧することでコンクリート表面の湿潤状態を保った養生（以下，ミスト養生）を実施し，混和材を用いたコンクリート2種類と早強ポルトランドセメント単味の各配合において種々の試験を行い，実際の製品を想定した養生条件下のコンクリートの耐久性について確認した結果について報告する。

2. 実験の概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

コンクリートの使用材料を表-1に，コンクリートの配合とフレッシュ性状を表-2に示す。本検討ではプレテンション構造への適用を前提としているため，セメントは早強ポルトランドセメント，フライアッシュは JIS II 種品（分級品），高炉スラグ微粉末はブレン値 6000 のものを使用することとした。混和材の置換率は，アルカリ骨材反応抑制対策として認められる範囲でセメントと質量置換することとして，フライアッシュで 15%，高炉スラグ微粉末で 50%とした。各配合の水結合材比（W/B）は，コンクリートの設計基準強度を 50.0 N/mm²，プレストレスの導入強度として材齢 1 日で 35.0 N/mm² を目標として決定した。コンクリートのフレッシュ性状は，スランブを 12.0±2.5cm とし，空気量を 4.5±1.5%とした。

表-1 コンクリートの使用材料

材料名	記号	種類および物性値
セメント	H	早強ポルトランドセメント，比表面積 4490cm ² /g
高炉スラグ微粉末	BFS	ブレン値 6000，比表面積 6100cm ² /g
フライアッシュ	FA	敦賀火力発電所産 JIS II 種品，比表面積 4630cm ² /g
細骨材	S	三国陸砂（福井），葉原砕砂（福井）
粗骨材	G	今津碎石（滋賀）
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系化合物
AE 剤	AE	天然樹脂酸塩

表-2 コンクリートの配合とフレッシュ性状

配合名	水結合材比 (%)	混和材置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)							フレッシュ性状	
			水 (kg)	結合材		細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	高性能減水材 (kg)	AE 剤 (kg)	SL (cm)	Air (%)
				セメント (kg)	混和材 (kg)						
H	36	-	151	420	-	725.5	1082	2.39	0.05	14.0	4.0
BFS	33	50	151	229	229	704	1074	3.21	0.332	13.0	4.8
FA	33	15	151	389	69	699	1071	2.29	0.18	14.5	5.2

表-3 蒸気養生の方法

配合名	前置き時間 (h)	最高温度 (°C)	最高温度継続時間 (h)	温度上昇速度 (°C/h)
H	3	55	5	15
BFS	5	55	5	15
FA	3	60	7	15



写真-1 ミスト養生状況

2.2 供試体の養生方法

供試体の蒸気養生方法の一覧を表-3に、ミスト養生の状況を写真-1に示す。蒸気養生は、工場ですべてに使用されている方法とした。前置き時間（コンクリート打ち込みから蒸気養生開始まで）は、早強ポルトランドセメント単味（以下、H）とフライアッシュ配合（以下、FA）において3時間とし、高炉スラグ微粉末配合（以下、BFS）では5時間とした。また、蒸気養生の方法は配合によって変化させ、最高温度と継続時間をHとBFSにおいて55°Cを5時間継続し、FAでは60°Cを7時間継続とした。なお、すべての配合に共通して温度上昇速度を15°C/hとした。蒸気養生後は、日平均気温14.5°Cの屋外環境下でミスト養生を行い、その後は材齢28日まで屋外環境で気中養生を行った。

2.3 試験項目

今回実施した試験項目を表-4に示す。耐久性に関する試験として、透気係数試験（コンクリートの電気抵抗の計測）、凍結融解試験を実施した。透気係数試験およびコンクリートの電気抵抗値は、各材齢において供試体の型枠面の中央と両端付近で3回の計測を行った。凍結融解試験では、供試体の乾燥状況が試験結果に影響を与える可能性が懸念されたため、それらを排除することを目的として試験開始前日に養生温度20°C±2°Cの水中養生を行った後で試験に供した。

表-4 試験項目の一覧

試験項目	試験方法および参考基準	供試体の寸法
圧縮強度	JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法	φ100×200 mm
透気係数	トレント法 ²⁾	□150×530 mm
コンクリートの電気抵抗	表面電気抵抗計（4点 WENNER プローブ方式）	□150×530 mm
凍結融解抵抗性	JIS A 1148 水中凍結融解試験方法 A 法	□100×400 mm

3. 実験結果

3.1 圧縮強度試験

圧縮強度試験結果を図-1に示す。いずれの配合においても、プレストレス導入時(材齢1日)と材齢28日の必要な圧縮強度を満たした。Hについては材齢14日から材齢28日までの増加が 0.5N/mm^2 程度となり、ほぼ横ばいとなったが、BFSとFAはともに強度の増進が続く結果となった。以上から、混和材を使用したコンクリートに蒸気養生を施した後に、ミスト養生を実施した場合は、一般的に言われるような長期強度の増進が期待できると考えられる。

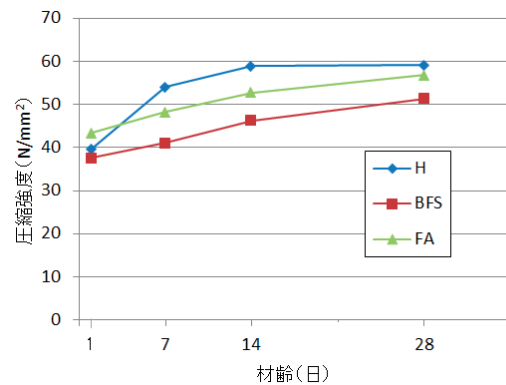


図-1 圧縮強度試験結果

3.2 透気係数試験

透気係数試験の結果を図-2に、トレント法によるグレーディング²⁾を表-5に示す。供試体は、所定の養生を行った後に温度 20°C 湿度60%に保たれた室内にて保管し、試験に供した。いずれの配合においても材齢が進むと乾燥の影響により透気係数が大きくなったが、すべての供試体において材齢13週で 0.1KT 以下(トレント法によるグレーディングでは良以上)となった。次に各配合の透気係数の差に着目すると、若材齢時にはHが最も小さくなったが、材齢の進行に伴って混和材を用いたコンクリートと同程度となった。また、BFSが他配合と比較して若干数値が大きくなる傾向が確認されたが、その差は小さかった。

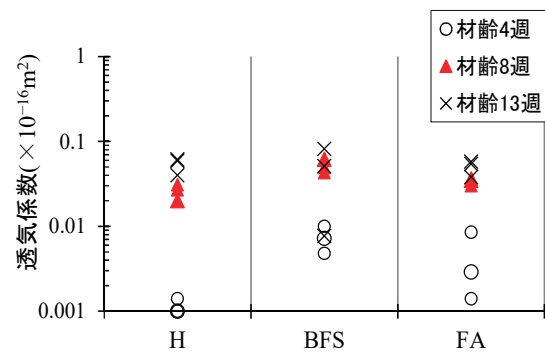


図-2 透気係数試験結果

3.3 コンクリートの電気抵抗の測定

コンクリートの電気抵抗は、透気係数試験の供試体にて4点のプローブを用いて異なる3点で測定した。測定した電気抵抗値の平均値測定結果を図-3に示す。既往の研究³⁾では混和材を用いた場合にコンクリートの電気抵抗が大きくなることや、コンクリートの電気抵抗と塩化物イオンの拡散係数に反比例に近い相関があることが報告されている。結果は、既往の研究と同じ傾向が確認され、BFSが他配合と比較して明確に大きくなり、FAとHは材齢4週、8週ではほぼ同程度であったものの、材齢13週ではFAの方が若干大きくなった。

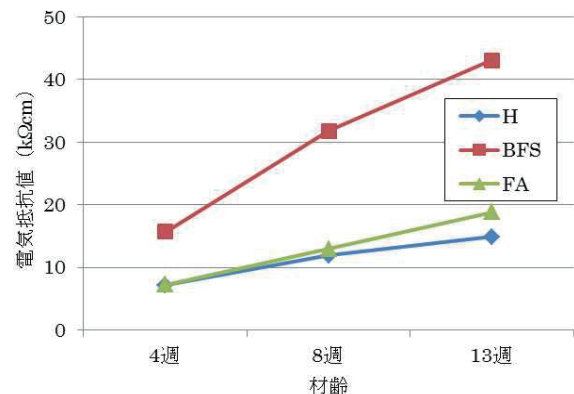


図-3 コンクリートの電気抵抗値測定結果

表-5 トレント法によるグレーディング²⁾

透気係数 KT ($\times 10^{-16}\text{m}^2$)	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	10~100
透気性グレード	1	2	3	4	5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣

3.4 凍結融解試験

相対動弾性係数の結果を図-4に、質量減少率の結果を図-5に示す。相対動弾性係数はすべての配合で300サイクル経過後も100%を上回り、BFSはサイクルの経過とともに5%程度増加する結果となった。高炉スラグ微粉末配合が他と比較して高い抵抗を有する結果また、質量減少率はすべての配合で0%程度となり同程度となった。これらの結果から、すべての配合で十分な凍結融解抵抗性を有していることが確認された。

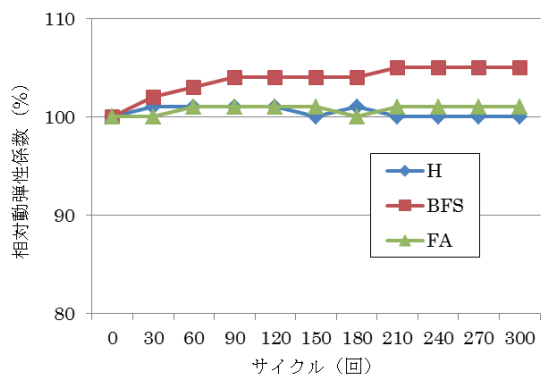


図-4 相対動弾性係数結果

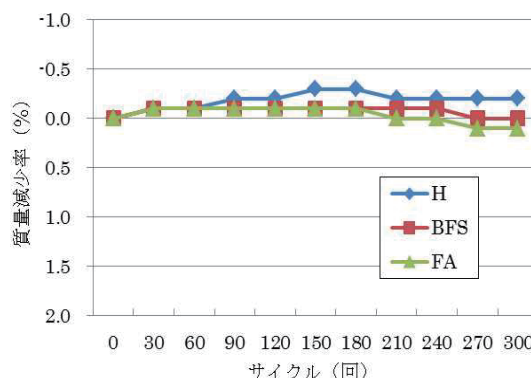


図-5 質量減少率結果

4. まとめ

蒸気養生後に材齢7日までミスト養生を行った混和材を用いたコンクリートにて各種試験を行い、得られた知見を以下に示す。

- ・圧縮強度試験では、Hは材齢14日から材齢28日にかけて圧縮強度の増進はほとんど見られなかったものの、混和材を用いたコンクリートは継続して増進が続く結果となった。そのため、今回の養生条件では、混和材を用いたコンクリートは一般的に言われるような長期強度の増加が期待できると考えられる。
- ・透気係数では、すべての配合（すべての供試体）で材齢13週時点でも良以上のグレーディングとなり、十分な表面品質が確保出来ていると考えられる。
- ・電気抵抗は、BFSが他の配合と比較して明らかに大きくなった。既往の知見から鑑みて塩化物イオンの浸透に対する抵抗が大きいと推定できる。
- ・凍結融解試験では、すべての配合で十分な凍結融解抵抗性を有していた。

以上から、混和材を用いたコンクリートは蒸気養生後に材齢7日までミスト養生を行うことで、一般的に言われるような高い耐久性を確保することが可能だと考えられる。

参考文献

- 1) 中村英佑, 栗原勇樹, 鈴木雅博, 古賀裕久: 混和材を用いたコンクリートの強度と耐久性に湿潤養生期間が及ぼす影響, 第25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. 401-404, 2016. 10
- 2) R. J. TORRENT: 「カバークリート」の透気係数の迅速な決定方法, 土木工学における非破壊試験国際会議シンポジウム (NDT-CE), pp. 26-28, 1995
- 3) 皆川浩, 久田真, 榎原彩野, 齊藤佑貴, 市川聖芳, 井上浩男: コンクリートの電気抵抗率と塩化物イオンの見掛けの拡散係数との関係に関する基礎的研究, 土木学会論文集E, Vol. 66 No. 1, pp. 119-131, 2010. 3