

## フライアッシュ混和の高強度PC桁の蒸気養生方法に関する検討

極東興和(株) 正会員 博士(工学) ○河金 甲  
 極東興和(株) 和氣 佳純  
 愛媛大学大学院 正会員 博士(工学) 氏家 勲

キーワード：フライアッシュ，高強度PC桁，蒸気養生，透気係数

## 1. はじめに

設計基準強度 70N/mm<sup>2</sup>クラスの高強度コンクリートを用いたプレストレストコンクリート桁（以下、高強度 PC 桁）において、フライアッシュ混和により耐久性が向上することをこれまでに確認した<sup>1)</sup>。このような高強度 PC 桁製造時には早期のプレストレス導入強度確保の観点から蒸気養生を行うのが一般的である。一方、プレキャスト製品において蒸気養生中にコンクリート表層部温度が養生槽内温度より高くなると蒸気圧勾配が生じ、コンクリート表層部が乾燥することで品質低下につながるものが指摘されている<sup>2)</sup>。高強度 PC 桁に用いるコンクリートはセメント量が多いためコンクリート表層部の温度は高くなり、養生槽内温度との温度差拡大に伴い表層部の乾燥が顕著になると推測される。さらに、フライアッシュ混和により強度発現が遅くなるため早期の乾燥による表層部コンクリートへの影響が大きくなる可能性がある。そこで、フライアッシュを混和した実大の高強度 PC 桁を製作し、蒸気養生中の乾燥の有無がコンクリート表層品質に与える影響を検討した。

## 2. 試験概要

## 2.1 コンクリートの配合

試験に用いたコンクリートの配合およびフレッシュ性状を表-1 に示す。設計基準強度は 70N/mm<sup>2</sup>とし、早強単味の W/B が 29%の配合 (H29) と、早強セメントの 20% (質量比) をフライアッシュ置換した W/B が 27%の配合 (F27) を用いて検討した。W/B は両者の初期強度が同程度となるように決定した。

## 2.2 供試体製作

JIS A 5373 で規定されている設計基準強度 70N/mm<sup>2</sup>の軽荷重スラブ橋桁を参考にした実大供試体(幅 0.7m×高さ 0.375m×長さ 4.0m, 図-1) を、H29 と F27 の配合を用いて各 1 体ずつ製作した。蒸気養生中の乾燥の有無が表層品質に与える影響を検討するため、供試体の 1/2 の範囲は十分に吸水させた養生マット(ウレタンフォーム製、厚さ 20mm)を敷設することにより湿潤状態を保持させた(図-1, 写真-1)。F27 のコンクリート打込み完了後から 5 時間の前養生(H29 は F27 の 40 分前にコンクリート打込み完了)を行ってから蒸気養生を実施した(15°C/時間で昇温させ、最高温度 45°C を 3 時間保持、写真-2)。その後、材齢 17 時間でシート除去・脱枠をしてからプレストレスを導入した。なお、供試体製作は冬季に行い製作時の工場内の気温は 10°Cであった。

表-1 配合およびコンクリート試験結果

配合名	水結合材比 W/B (%)	混和材置換率 (%)	単体量(kg/m <sup>3</sup> )					混和剤 (kg/m <sup>3</sup> )		スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート 練上り温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
			W	C	FA	S	G	AD	AE				17時間	28日
H29	29	0	147	507	0	688	1029	4.06	0.15	8.0 (スランプ)	4.9	15	61.9	80.9
F27	27	20	152	450	113	635	978	6.47	0.17	62 (フロー)	3.5	15	60.3	80.6

W:地下水, C:早強ポルトランドセメント(密度=3.14g/cm<sup>3</sup>), FA:フライアッシュ(II種, 密度=2.17g/cm<sup>3</sup>), S:細骨材(混合砂, 表乾密度=2.66g/cm<sup>3</sup>), G:粗骨材(砕石, 表乾密度=2.65g/cm<sup>3</sup>, 最大寸法:20mm), AD:高性能減水剤, AE:AE剤(F27配合はフライアッシュ用)

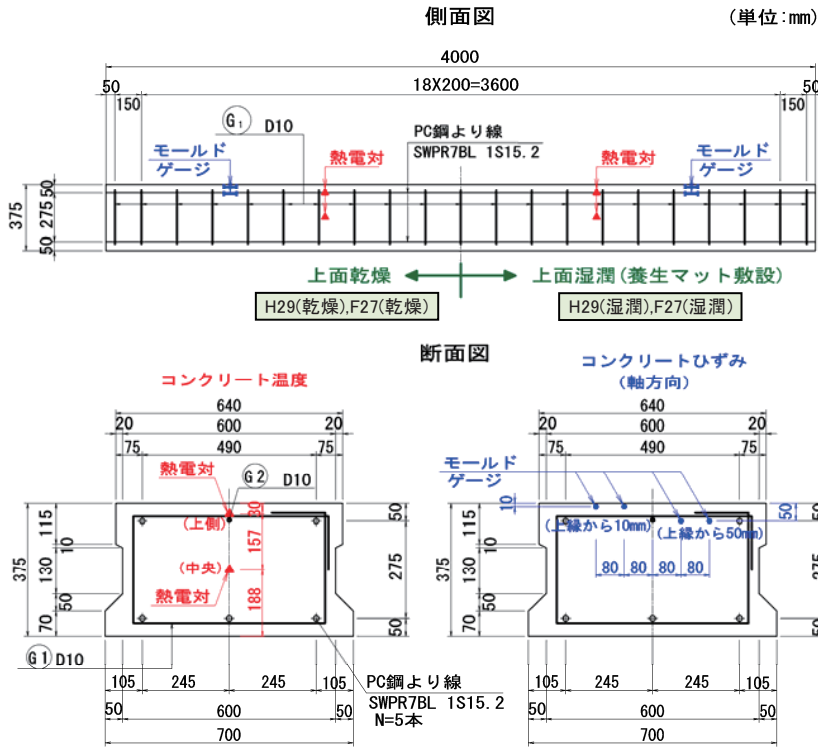


図-1 実大供試体

### 2.3 計測項目

コンクリート打込み直後から図-1 に示すように実大供試体内部のコンクリート温度（上から 30mm と断面中央）を熱電対により、コンクリートひずみ（上縁から 10mm と 50mm）をモールドゲージ（標点距離 60mm）により測定した。コンクリートひずみは同一断面・同一高さで 2 点ずつ計測し（図-1）、平均値を用いて検討した。また、養生シート内に熱電対と湿度計を設置して養生温度と相対湿度を計測した。実大供試体製作時には、同一養生の円柱供試体（φ100×200mm）を用いて、脱枠・プレストレス導入時（材齢 17 時間）と材齢 28 日の圧縮強度も測定した。

脱枠・プレストレス導入直後にコンクリート打込み面に水を噴霧してひび割れの有無などの外観状況を目視で確認した。その後屋外で保管し（写真-3）、材齢 34 日にダブルチャンバー方式のトレント法を用いて各ケース 4 箇所ずつコンクリート打込み面の透気係数を測定することにより表層品質を比較した。なお、透気係数測定前の 3 日間は降雨がみられず、測定箇所コンクリート表面の含水率は 4.3~4.7%であった。

## 3. 試験結果

### 3.1 養生シート内の温度および相対湿度

F27 のコンクリート打込み直後からの養生シート内の温度と相対湿度の推移を図-2 に示す。F27 の 40 分前にコンクリート打込み完了した H29 も F27 と同一養生シート内で養生した。蒸気供給中（材齢 5~11 時間）の養生シート内の相対湿度は 90%以上あるものの、その後、蒸気の供給を止めると相対湿度は低下し脱枠時には 50%程度になった。



写真-1 打込み面の養生



写真-2 蒸気養生状況



写真-3 供試体保管状況

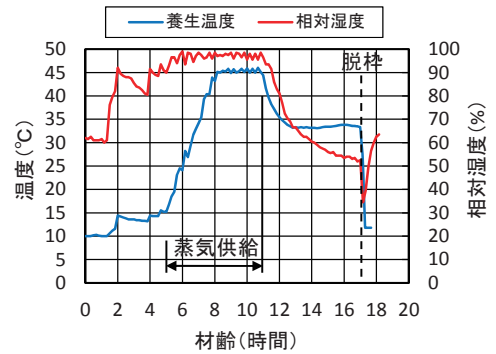


図-2 養生温度と相対湿度 (F27)

### 3.2 コンクリートの圧縮強度

圧縮強度の測定結果を表-1 に示す。H29 と F27 の材齢 17 時間（プレストレス導入時）と材齢 28 日の圧縮強度は同程度であった。

### 3.3 コンクリート温度

コンクリート温度の推移を図-3 に示す。供試体中央の温度上昇速度はH29と比較してF27の方が遅くなるものの、最高温度についてH29とF27および打込み面の養生方法の違いの影響はみられなかった。供試体上側での最高温度も中央と同様にH29とF27の差はほとんどみられない一方、「湿潤」の場合は「乾燥」と比較して5℃程度高くなっている。これは養生マットの保温効果の影響であると考えられる。供試体上側のコンクリート温度と養生温度を比較すると、材齢9時間程度で供試体上側の温度が上回り、両者の差は養生温度低下に伴い拡大し、材齢13時間以降は20℃程度の温度差で推移した。

### 3.4 コンクリートひずみ

コンクリートひずみの推移を図-4 に示す。上縁から50mmの深さにおいてすべてのケースのひずみはほぼ同様に推移した。材齢8時間以降の収縮は主に自己収縮に起因していると考えられるが、50mmの深さではフライアッシュ混入の有無や上面の養生方法の違いが自己収縮ひずみに及ぼす影響は少ないといえる。一方、上縁から10mmの深さになると、上面を湿潤にすることにより脱枠時での収縮ひずみは小さくなった。また、「F27(乾燥)」のケースのみ、材齢9時間以降のひずみは他のケースと比べると不規則に推移していることが分かる。

### 3.5 脱枠直後のコンクリート打込み面の状況

脱枠直後のコンクリート打込み面の状況を写真-4に示す。材齢9時間以降にコンクリートひずみが不規則に推移した「F27(乾燥)」のケースにおいて亀甲状の微細ひび割れが発生していた。養生マットを敷設した「F27(湿潤)」ではこのようなひび割れは発生しておらず、蒸気養生中の乾燥によって微細ひび割れが発生したと思われる。図-2より材齢11時間までは蒸気供給により養生シート内は高い相対湿度を保っているものの、「F27(乾燥)」において供試体上側のコンクリート温度が養生温度を上回った材齢9時間程度からコンクリートひずみが不規則になっていることから推測すると(図-3, 図-4), 蒸気供給中でも養生温度とコンクリート表層部との温度差に起因した蒸気圧勾配によって表層部の乾燥は進行している可能性がある。一方、図-4では相対湿度

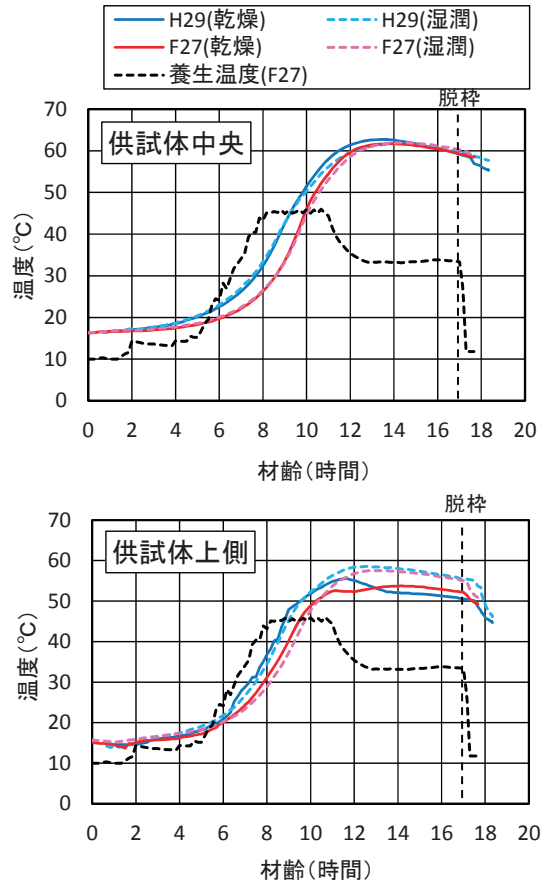


図-3 コンクリート温度

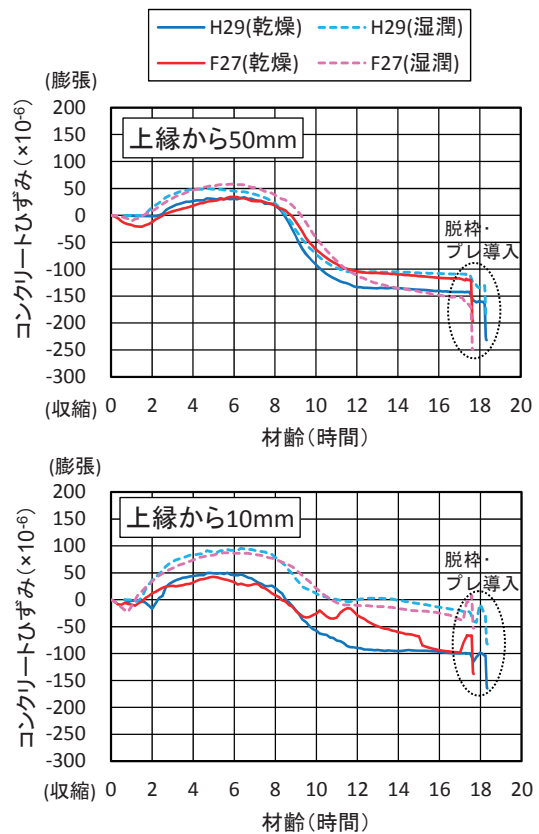


図-4 コンクリートひずみ



が低下した材齢11時間以降において上縁から10mmの深さの「H29(乾燥)」の収縮ひずみはほとんど増加していない。「F27(乾燥)」の上縁から10mmの深さの収縮挙動も同様であったとすると、乾燥による収縮は極めて表層部に近いところで卓越し内部との収縮差によりコンクリート打込み面に微細なひび割れが発生したと推測される。

また、「H29(乾燥)」のケースにひび割れはみられなかったことから、脱枠時(材齢17時間)でのH29とF27の圧縮強度は同等ではあるが(表-1)、それ以前の圧縮強度発現はフライアッシュを混入したF27の方が遅いと推測され、引張強度も同様に小さかったことが「F27(乾燥)」の微細ひび割れ発生に影響している可能性もある。

### 3.6 打込み面の透気係数

打込み面の透気係数測定結果を図-5に示す。測定限界である  $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$  未満の場合は  $0.001 \times 10^{-16} \text{m}^2$  として示している。この図に示すように、脱枠時に微細ひび割れが観察された「F27(乾燥)」の透気係数は他のケースと比較すると大きくなっているものの、一般的に非常に良い品質とされている  $0.010 \times 10^{-16} \text{m}^2$  以下<sup>3)</sup>であった。

### 4. おわりに

フライアッシュを用いた設計基準強度  $70 \text{N/mm}^2$  の高強度PC桁において、蒸気養生中の乾燥を抑制しない場合、脱枠直後のコンクリート打込み面に亀甲状の微細ひび割れが発生した。高強度コンクリートは緻密である反面、水分逸散が表層部のみで卓越するため乾燥収縮による亀甲状の微細ひび割れが打込み面に生じやすくなると考えられる。本検討では表層部の微細ひび割れが透気係数に及ぼす影響は小さかったものの、前養生時の温度がさらに低い場合や前養生時間が短いことなどにより引張強度が小さい段階で乾燥の影響を受けると耐久性低下が懸念される。よって、フライアッシュを高強度コンクリートに適用する場合、長期耐久性向上効果を十分に発揮させるには、蒸気養生中も十分な乾燥抑制対策を行うことが重要であると思われる。

本検討では表層部の微細ひび割れが透気係数に及ぼす影響は小さかったものの、前養生時の温度がさらに低い場合や前養生時間が短いことなどにより引張強度が小さい段階で乾燥の影響を受けると耐久性低下が懸念される。よって、フライアッシュを高強度コンクリートに適用する場合、長期耐久性向上効果を十分に発揮させるには、蒸気養生中も十分な乾燥抑制対策を行うことが重要であると思われる。

### 参考文献

- 1)河金甲, 下野聖也: 高強度コンクリートの物質透過性におよぼすフライアッシュ混和の影響, 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集, V-232, pp. 463-464, 2018. 8
- 2)鳥海秋, 原洋介, 宇治公隆, 上野敦: 蒸気養生中の散水がコンクリート表層部の品質および強度特性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 40, No. 2, pp. 493-498, 2018. 7
- 3)土木学会: 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335委員会)成果報告書およびシンポジウム講演概要集, 2008. 4

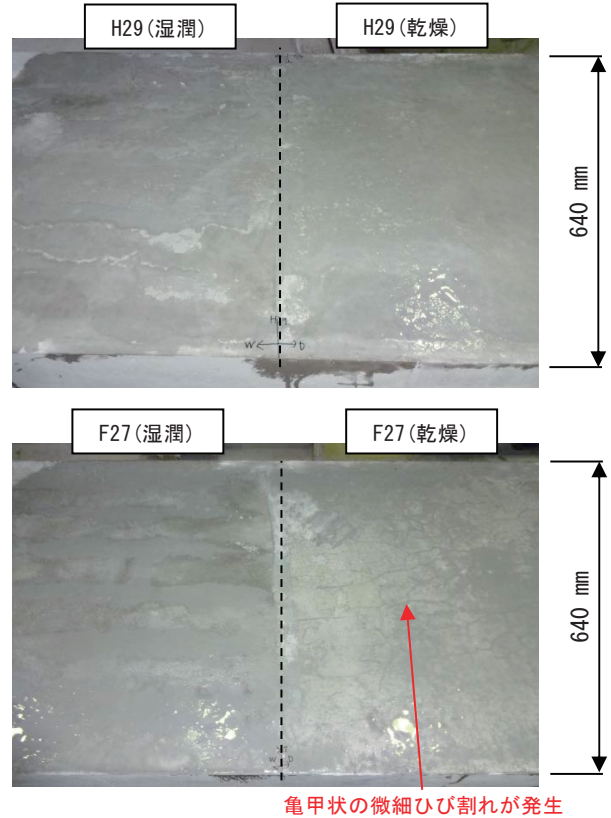


写真-4 脱枠直後のコンクリート打込み面

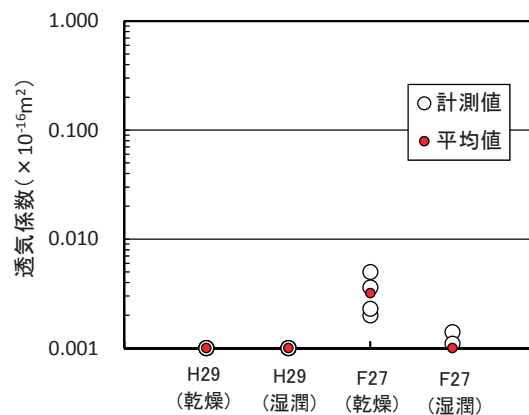


図-5 打込み面の透気係数