

## 超速硬フライアッシュコンクリートのひび割れ抵抗性に関する検討

川田建設(株) 正会員 工修 ○川口 千大  
 川田建設(株) 正会員 北野 勇一  
 川田建設(株) 椎名 栄次郎  
 首都高速道路(株) 吉村 崇志

キーワード：PCゲルバー橋，超速硬コンクリート，フライアッシュ，ひび割れ抵抗性

### 1. はじめに

1963年に建設された首都高速1号羽田線勝島地区のPCゲルバー箱桁橋について、ゲルバー部の恒久的な改良を目的にPC桁の連続化工事が実施されている(図-1)<sup>1)</sup>。本工事において、急速施工性、ひび割れ抵抗性、高耐久性を兼ね備えることを目的に開発された超速硬フライアッシュコンクリート<sup>2)</sup>の効果を検証するため、実施工を行った際に各種調査を実施した。本稿では、コンクリート打込み後3ヶ月ほどの間に得られた調査結果に基づき、超速硬フライアッシュコンクリートのひび割れ抵抗性について詳細に検討した結果を報告する。

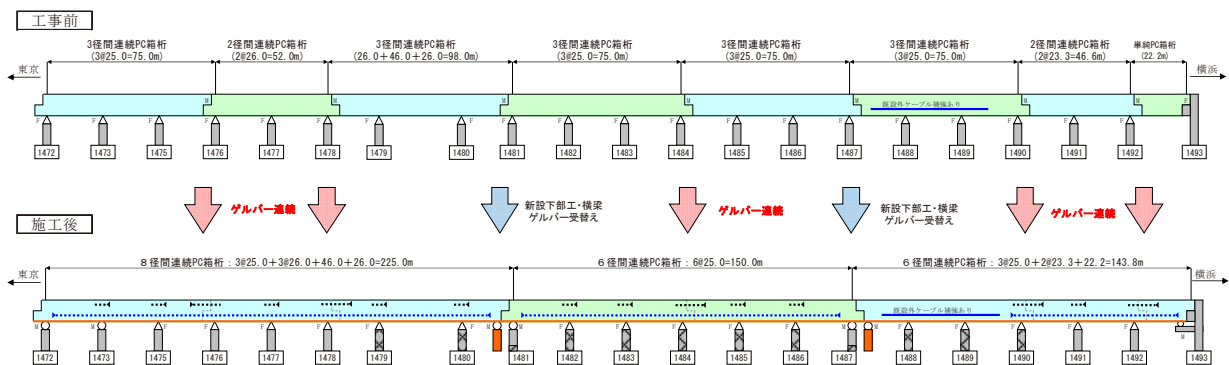


図-1 工事概要図 ((改) 支承・連結装置耐震性向上工事 1-108)

### 2. 実施工における各種調査結果

図-2に連続化を行うゲルバー部の施工概要を示す。ゲルバー部間詰め施工は、予め床版を除く箱桁部に無収縮モルタルを桁側面から充填したのち、夜間片側交通規制を行って床版部に超速硬コンクリートを橋面より打設した(写真-1)。この際に、测温付きの鉄筋ひずみ計を間詰め部橋軸方向に設置し、打込み時点から1時間ごとにひずみを測定した。

表-1に配合を示す。配合JEFは超速硬フライアッシュコンクリートであり、現地における計量作業を省略するため、超速硬セ

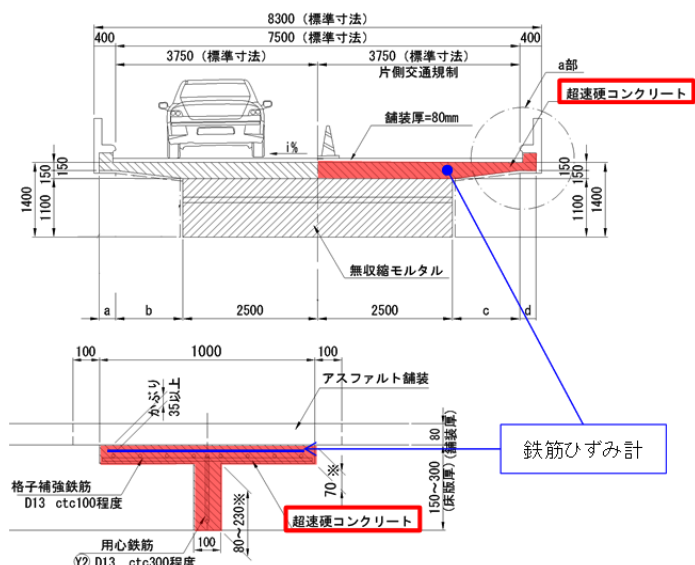


図-2 PCゲルバー部施工概要



写真-1 ゲルバー部間詰め施工状況

メント(C), 改質フライアッシュ(F), 細骨材(S)をプレミックスしたものをを用いた。配合Jは汎用の超速硬コンクリートである。両配合とも可使時間を考慮し、凝結遅延剤を適宜添加した。打設量は1箇所あたり0.5~0.8m<sup>3</sup>であり、100L練りミキサを用いて現地にて製造し、両配合とも2016年11月2日深夜のほぼ同時刻に打設を開始した。表-2にフレッシュ性状と圧縮強度の試験結果を示す。配合JEFの強度は打設後3時間で36.7N/mm<sup>2</sup>, 91日が70.2N/mm<sup>2</sup>となり、配合Jの2割増しとなった。

図-3に打設後のコンクリート温度履歴を示す。両配合とも打込み後4~5時間で最高温度に達し、温度下降の履歴を含め概ね同じ挙動を示した。

図-4に鉄筋ひずみの測定結果を示す。図中の実線は実施工部の鉄筋ひずみ、プロットは一軸拘束膨張試験 (JIS A 6202附属書2のB法を参考に封緘状態とした供試体を用いた) の結果である。図より、配合JEFは実線、プロットとも材齢初期に膨張性を有し、配合Jに比べて収縮ひずみが100×10<sup>-6</sup>程度低減する傾向が確認された。

### 3. ひび割れ抵抗性に関する解析的検討

#### 3.1 解析方法

ここでは、市販の温度応力解析プログラムを用い、超速硬フライアッシュコンクリートのひび割れ抵抗性を解析的に検証した。

図-5に解析モデルを示す。解析モデルはゲルバー部を含む2径間分のPC箱桁半断面モデルとし、支承位置で鉛直方向を拘束し、かつ、温度変化+10℃を与えた際の橋軸方向応力が骨組解析から求められる設計計算上の応力と一致する

表-1 超速硬コンクリート配合 [kg/m<sup>3</sup>]

配合	W	C	F	S	G	SP
JEF*	162	491	59	602	1102	-
J**	143	400	-	728	1089	3.20

\*Cは非晶質カルシウムアルミネート系超速硬セメントで粉末減水剤を含む、Fは改質フライアッシュ (JIS A6201 II種)。  
\*\*Cはカルシウムフルオロアルミネート系超速硬セメント。  
Wには高性能減水剤(SP)を含む。

表-2 フレッシュ性状と圧縮強度試験結果

配合	気温 [°C]	コンクリート温度 [°C]	スランプ [cm]	圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	
				3時間	91日
JEF	13	15	15.0	36.7	70.2
J	12	18	10.5	28.8	57.4

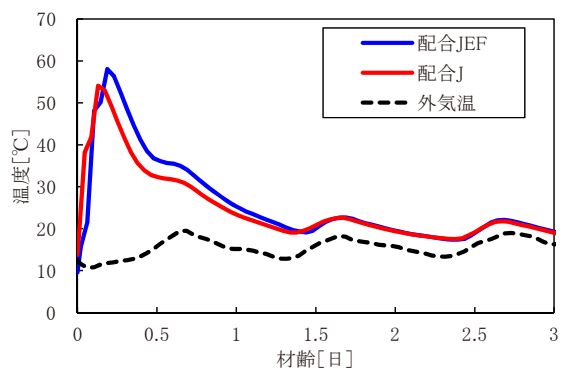


図-3 コンクリート温度履歴

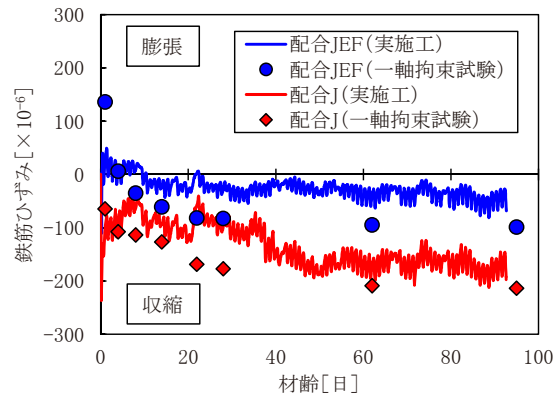


図-4 鉄筋ひずみ測定結果

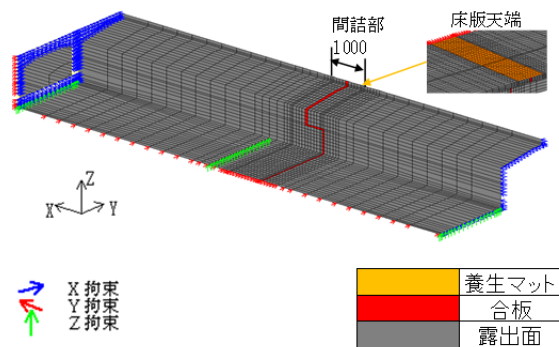


図-5 解析モデル

ように橋軸方向の変形を拘束した。

表-3に解析条件を示す。解析はJEF, Jの2ケースとし、圧縮強度、長さ変化および温度履歴は基本的に実測値を用いた。ヤング係数や引張強度は圧縮強度を基に算出し、有効ヤング係数は既往の研究<sup>2)</sup>より $\phi=0.42$ 一定として求めた。体積ひずみは図-4に示す一軸拘束膨張試験の結果をそのまま用いた。また、温度履歴は図-3に示される実測値に近似するよう式(1)として与えられる温度上昇速度定数  $r$  を60とした。

$$Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-rt}) \quad (1)$$

ここで、 $Q_{\infty}$  : 終局断熱温度上昇量,  $r$  : 温度上昇速度定数。

上記以外の解析条件は既往の指針<sup>3)</sup>を基に熱伝導率 $2.7\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ 、ポアソン比 $0.2$ 、熱膨張係数 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とした。

表-4に温度境界条件を示す。本解析では昼夜の温度差など、外的要因による変動を抑えるために外気温および熱伝達率を一定値とした。

### 3. 2 実測値と解析値の比較

図-6に鉄筋ひずみの実測値と解析値を比較した結果を示す。実測値は継時的な変動があるものの、解析値の継時的な変化と概ね一致した。材齢91日における解析値に着目すると、配合JEFのひずみは配合Jに比べ収縮ひずみが $100 \times 10^{-6}$ ほど低減される結果となり、実施工で得られた鉄筋ひずみと同様の傾向を示した。

以上より、超速硬フライアッシュコンクリートの圧縮強度、長さ変化、温度履歴を把握することにより、既往の温度応力解析手法によって初期応力の推定が可能であることが確認された。

### 3. 3 間詰め部の応力性状

図-7に各ケースの橋軸方向の応力コンター図を示す。材齢12時間（最高温度到達後の温度下降の段階）の間詰め施工部に着目すると、配合JEF

表-3 解析条件

項目	解析ケース		既設部
	JEF	J	
圧縮強度[N/mm <sup>2</sup> ]	実測値		35
ヤング係数[N/mm <sup>2</sup> ]	JCI2016 <sup>3)</sup>		31200
長さ変化[ $\times 10^{-6}$ ]	実測値		-
温度履歴[ $^{\circ}\text{C}$ ]	実測値の近似		15
$Q_{\infty}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	普通セメント		-

表-4 温度境界条件

項目	養生 マット	合板	露出面
熱伝達率[W/m <sup>2</sup> $^{\circ}\text{C}$ ]	5	8	14
外気温[ $^{\circ}\text{C}$ ]	15	15	15

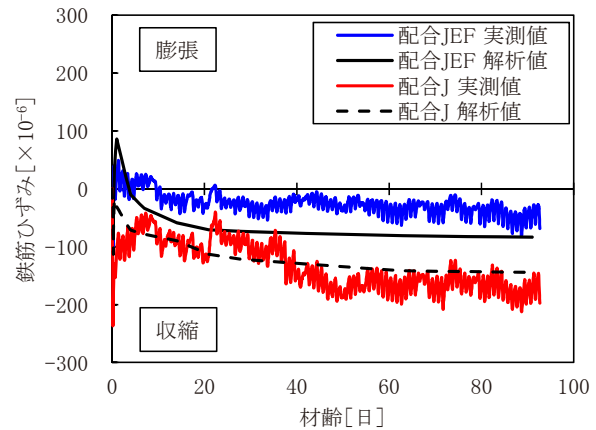
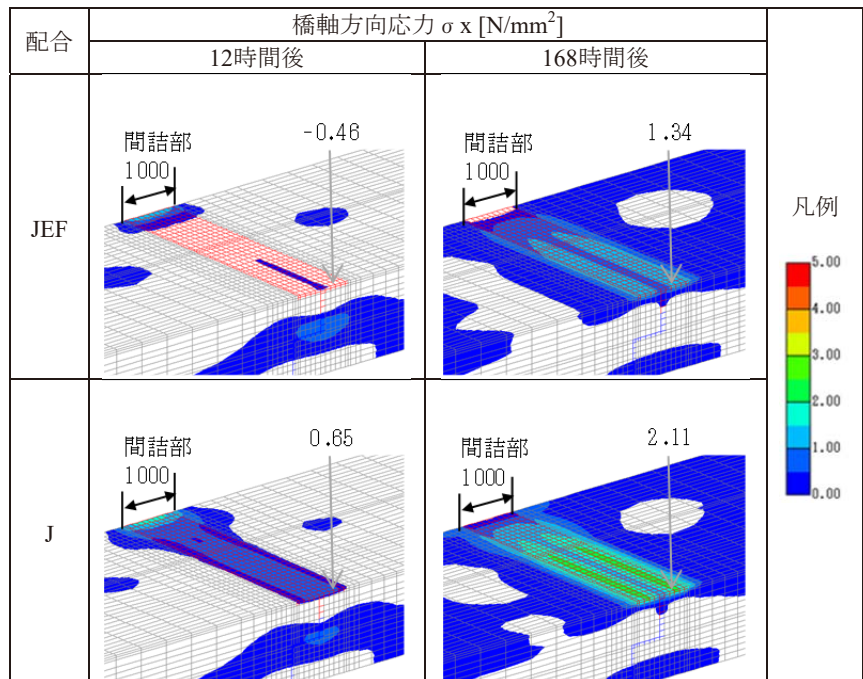


図-6 鉄筋ひずみ実測値と解析値の比較



注) コンターは、引張応力の範囲を表示するようにした。

図-7 間詰め部の発生応力 (解析値)

は概ね圧縮応力となっているのに対し、配合Jでは引張応力が生じた。また、材齢168時間（配合JEFの膨張が終了したと考えられる材齢7日程度）の間詰め施工部に着目すると、配合Jの引張応力は最大2.11N/mm<sup>2</sup>に達するのに対し、配合JEFでは1.34N/mm<sup>2</sup>となり、引張応力で0.8N/mm<sup>2</sup>の低減効果が認められた。

図-8に間詰め施工部に生じる引張応力が最大の位置における応力履歴を示す。配合JEFおよび配合Jとも材齢初期においてコンクリートの発熱により圧縮応力が導入され、配合Jに関しては材齢12時間までに引張応力に転じるのに対し、配合JEFでは材齢3日程度までは圧縮応力状態であった。

上記の位置におけるひび割れ指数の履歴を図-9に示す。配合Jのひび割れ指数は材齢17日でひび割れ抑制の目安である1.45を下回るが、材齢91日まで1.0以上を確保した。一方、配合JEFのひび割れ指数は材齢91日まで1.45以上を確保した。

以上より、超速硬フライアッシュコンクリートは、汎用の超速硬コンクリートに比べ間詰め部に生じる引張応力を0.8N/mm<sup>2</sup>低減するなどひび割れ抵抗性が向上することが確認された。

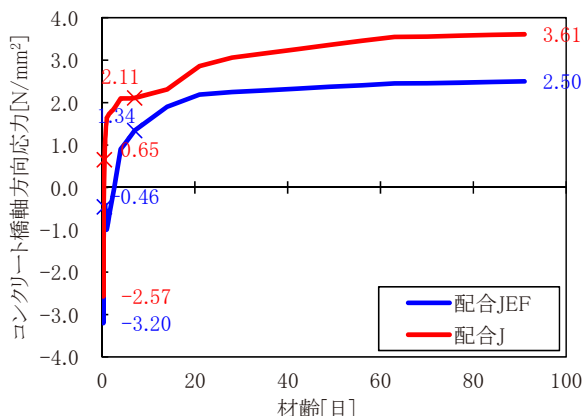


図-8 間詰め施工部の応力履歴（解析値）

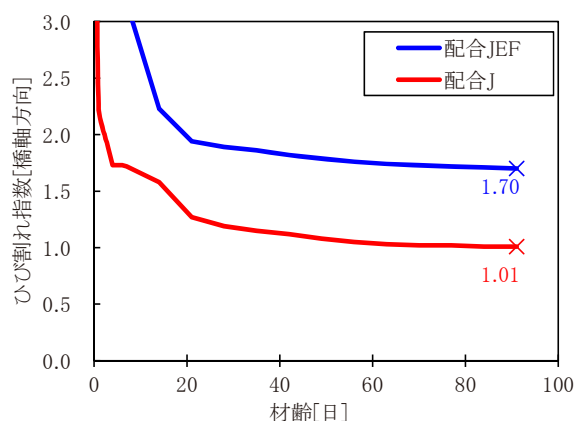


図-9 ひび割れ指数の履歴（解析値）

#### 4. まとめ

超速硬フライアッシュコンクリートのひび割れ抵抗性に関し、PCゲルバー一部間詰め施工に適用した際に各種調査を行うとともに、温度応力解析により詳細に検討した結果、次のことが確認された。

- 1) 超速硬フライアッシュコンクリートは材齢初期に膨張性を有し、汎用の超速硬コンクリートに比べ収縮ひずみを $100 \times 10^{-6}$ 程度低減する。
- 2) 超速硬フライアッシュコンクリートの圧縮強度、長さ変化、温度履歴を把握することにより、既往の温度応力解析手法によって初期応力の推定が可能である。
- 3) 超速硬フライアッシュコンクリートは、汎用の超速硬コンクリートに比べ間詰め部に生じる引張応力を0.8N/mm<sup>2</sup>低減するなどひび割れ抵抗性が向上する。

#### 【参考文献】

- 1) 小島直之, 花房禎三郎, 北野勇一: PCゲルバー橋の連続化に関する設計検討 (首都高速1号羽田線勝島地区PC橋), 第21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, 2012. 10
- 2) 北野勇一, 水戸健介, 相澤一裕, 寺崎聖一: 非晶質カルシウムアルミネートを利用した超速硬フライアッシュコンクリートの性能, コンクリート工学年次論文集, 2017. 6 (投稿中)
- 3) 日本コンクリート工学会: マスコンクリートのひび割れ制御指針2016, 2016. 11