

## 膨張材およびビニロン短繊維を混入したコンクリートの 長期屋外乾燥後の引張特性と梁の曲げ性状

三井住友建設(株) 技術開発センター 正会員 ○篠崎 裕生  
 三井住友建設(株) 技術開発センター 正会員 三加 崇  
 埼玉大学理工学研究科 助教 博士 (工学) 正会員 浅本 晋吾  
 埼玉大学理工学研究科 教授 工学博士 正会員 睦好 宏史

### 1. はじめに

プレストレス量を抑え鉄筋によりひび割れの制御をすることを基本概念としたPRC構造は、特にコンクリートの収縮の影響を設計時に適切に反映しなければ、過大なひび割れなど不具合を生じることがある。本研究では、PRC構造における初期ひび割れの抑制およびひび割れ幅制御の一方策として、低添加型膨張材およびビニロン短繊維の有効性について検証を行ったものである。これらの材料に関しては、試験室レベルで数多くの研究成果が報告されており、その有効性が確認されているが、本研究では屋外環境において長期間暴露した供試体によりこれを検証するものである。すでにこれらの混和材を用いた材齢5ヶ月までのひび割れ特性および1年以上経過後の比較的大型のRC, PRC, PC梁の曲げ載荷試験の結果については報告している<sup>1)~3)</sup>。ここでは、梁の試験と同時に実施した一軸引張試験の結果から、長期暴露後の引張特性の変化について考察するとともに、ファイバーモデルにこれらの引張特性を反映させて梁の曲げ挙動をシミュレーションした結果について報告する。

### 2. 実験の概要

#### 2.1 コンクリートの配合

本実験で用いたコンクリートの配合を表-1に示す。早強セメントに高性能AE減水剤を用いて単位水量を

表-1 コンクリートの配合

配合名	配合 (kg/m <sup>3</sup> )						
	セメント	膨張材(E)	水	細骨材	粗骨材	混和剤	短繊維(V)
S	377	-	160	805	974	3.77	-
SE	357	20				4.52	-
SV	377	-				4.52	5.2
SEV	357	20				4.52	5.2

160kg/m<sup>3</sup>とした。SE配合はセメントの20kg/m<sup>3</sup>を低添加型エトリンガイト・石灰複合系膨張材に置き換えたもの、SV配合は体積比0.4%のビニロン短繊維を混入したもので、繊維の直径は0.66mm、長さは30mmである。SEV配合は膨張材とビニロン短繊維の両方を添加したものである。

図-1は、コンクリートの自由膨張収縮試験の結果である。供試体の大きさは100×100×400mmで、中央に埋め込み型ひずみ計（温度変化の影響は無視できる）を設置してコンクリート打設直後からのひずみを計測した。収縮ひずみは200~300日でほぼ一定値に収束している。また、膨張材を添加することにより収縮ひずみが大きく低減していることが分かる。その大きさはビニロン混入の有無で若干異なるが、概ね100~200μである。図にはコンクリート標準示方書<sup>4)</sup>による計算値も併記した。途中、風雨の影響などによりばらつきは見られるが、膨張材未添加の収束後のひずみ値はほぼ計算値と一致していることが分かる。

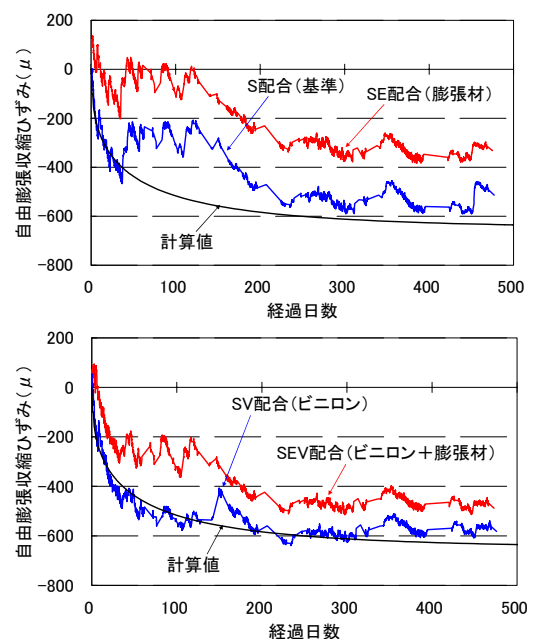


図-1 自由膨張収縮ひずみ

### 2.2 一軸引張試験

一軸引張試験供試体は、JCIが提案している自己収縮応力試験を参考に、断面寸法を100×100mm、長さを2000mmとした。鉄筋径は、大型梁供試体の主鉄筋であるD19およびD32である。図-2に示すように両端の鉄筋を鉄筋が降伏するまで引張り、鉄筋のひずみおよび供試体両端面に当たった変位の計測値の差分から供試体全体の伸びを測定した。

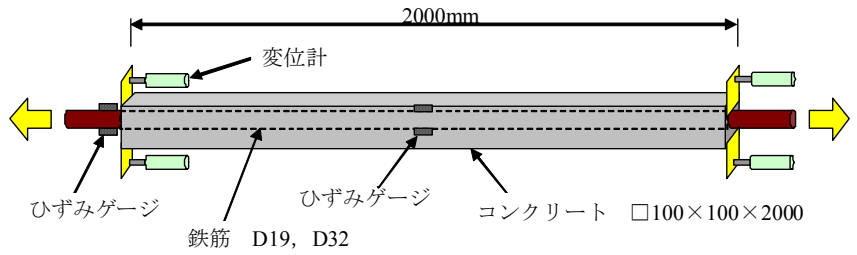
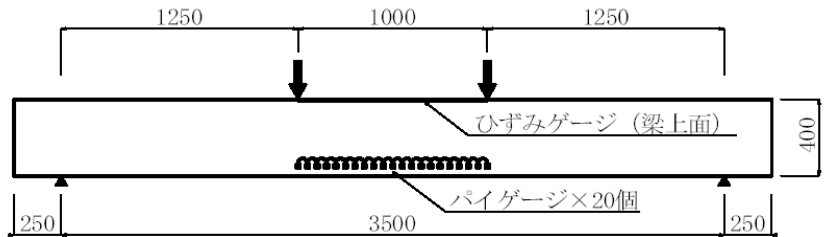


図-2 一軸引張試験供試体



### 2.3 大型梁の曲げ載荷試験<sup>2)</sup>

供試体はRC、PRC、PCタイプの3種類とした。供試体の形状寸法を図-3に示す。断面寸法は幅500×高さ400mmで、高さ方向中央にPC鋼棒を配置した。PCタイプのひび

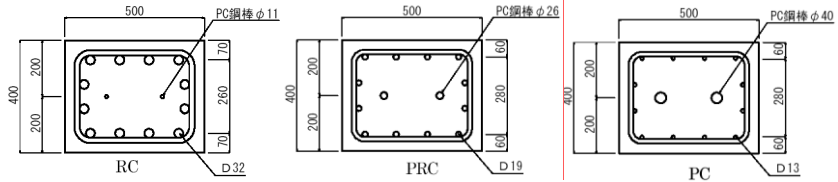


図-3 大型梁供試体形状寸法

割れ発生モーメント計算値256kNmを設計モーメントとし、その荷重においてRCおよびPRCタイプの計算ひび割れ幅が0.2mmになるように断面諸元を設定している。ひび割れ幅の算出には、コンクリート標準示方書<sup>4)</sup>の式を用いたが、コンクリートの収縮やクリープの影響を考慮するための数値  $\epsilon'_{csd}$  は150 $\mu$ とした。なお、ひび割れ幅を合わせるためにRCタイプ供試体にもφ11のPC鋼棒によりプレストレスを導入している。PC鋼棒の初期緊張力は0.8 $\sigma_{pu}$ とした。

等曲げ区間内に生じたひび割れの幅を測定するため供試体側面には、等曲げ区間全長に亘ってひび割れ幅ゲージ (通称 $\pi$ ゲージ) を設置した。 $\pi$ ゲージは、1個の測定可能区間が50mmで容量は2mmのものを用いた。等曲げ区間の梁上面 (圧縮縁) にはひずみゲージを複数枚貼付け、梁の圧縮ひずみおよび先の $\pi$ ゲージの値を用いて等曲げ断面の曲率を計算することとした。なお、SV配合では梁の試験は行っていない。

## 3. 試験結果

### 3.1 一軸引張試験

図-4に一軸引張試験における引張荷重と変位計から求めたコンクリート部分の平均ひずみの関係を示す。図には、鉄筋単体および鉄筋+コンクリートの荷重とひずみの関係を併記した。鉄筋単体のひず

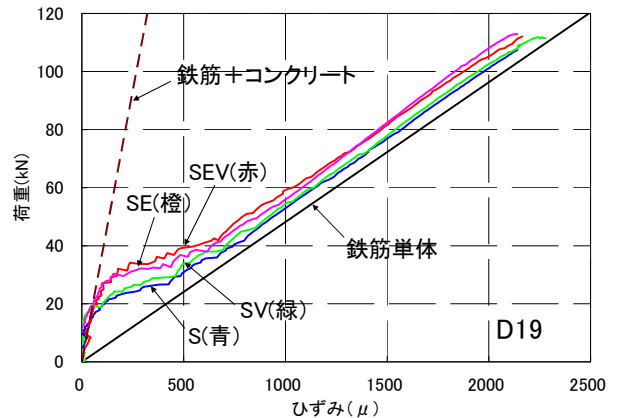


図-4(a) 一軸引張試験結果 (D19)

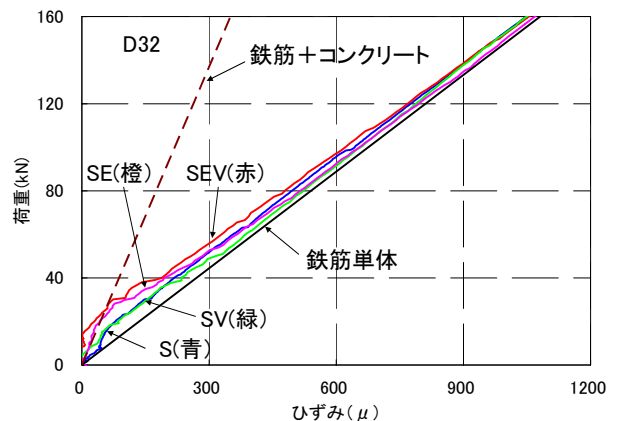


図-4(b) 一軸引張試験結果 (D32)

みは一軸引張試験供試体の鉄筋露出部分にひずみゲージを添付して計測したものであり、各鉄筋径における平均値を用いている。また、鉄筋+コンクリートの線は、S配合の材料試験における弾性係数を用いて計算した。荷重と平均ひずみの関係は、載荷直後は鉄筋+コンクリートの線に沿ったものとなるが、ひび割れ発生後は鉄筋単体の線に近づく。D32の場合、S、SV配合では、載荷前に鉄筋拘束によるひび割れがすでに生じていたため載荷初期の剛性が小さくなっていた。

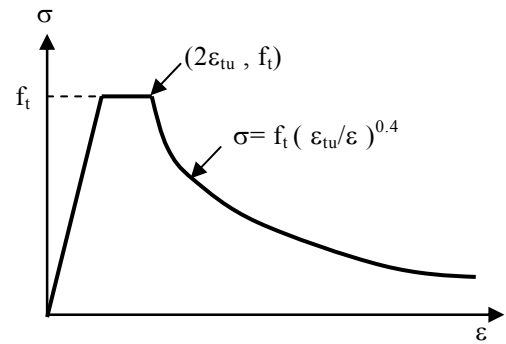


図-5 平均応力-平均ひずみの関係

いずれの鉄筋径においても、S、SV配合と比較してSE、SEV配合の方が載荷初期の荷重が大きく、コンクリートの負担が大きいことを示している。これは膨張材添加によって、ひび割れ発生荷重が増加していることなどが影響していると考えられる。ちなみに、D19の試験において最初にひび割れが発生した荷重はS、SE、SV、SEV配合でそれぞれ21.3、26.4、19.5、26.0N/mm<sup>2</sup>であった。一方、ビニロン短繊維を混入することによる効果は、この結果からは明らかに出来なかった。

図-4の供試体の平均ひずみと引張荷重の関係から、以下の式(1)でコンクリートの平均応力を算出した。

$${}_a\sigma_c = (P_T - P_{RB}) / A_c \quad (1)$$

ここに、 $P_T$ は引張荷重、 $P_{RB}$ は鉄筋が負担する荷重(鉄筋単体の実測ひずみから算出)、 $A_c$ はコンクリートの断面積、である。図-6に算出結果を示す。図には、材齢28日における結果も併記した。また、今回の結果に対して図-5に示す平均応力-平均ひずみの関係を当てはめてみた。図中、 $\epsilon_{tu}$ はひび割れひずみ、 $\epsilon_{tu}'$ は $2 \times \epsilon_{tu}$ 、 $f_t$ はコンクリートの引張強度である。実験結果に当てはめるに際しては、コンクリートの最大引張応力度が $f_t$ に一致するようにした。

図より、ばらつきはあるものの、平均応力-平均ひずみの関係は材齢28日時点のものと比較して大きく変化していない、すなわち膨張材の効果が消失していないことが分かる。コンクリートの引張強度を一致させ図-5に示す曲線を実験結果に当てはめてみたところ両者概ね一致していることが分かった。

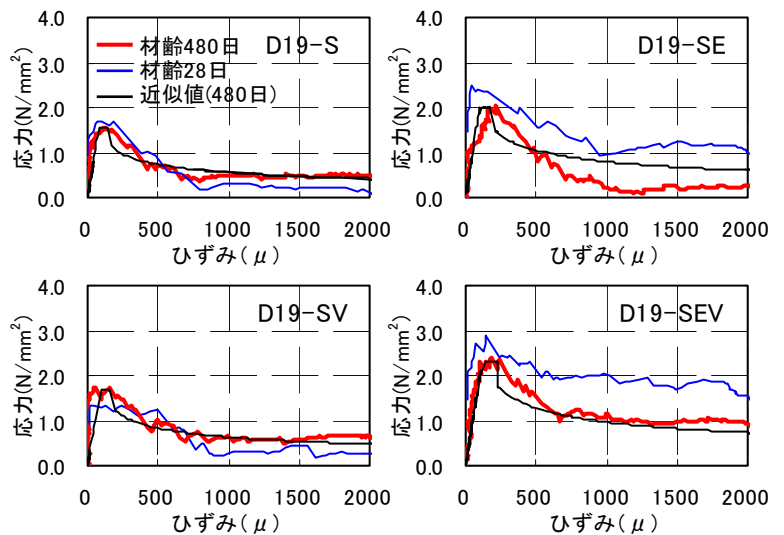


図-6(a) コンクリート平均応力(D19)

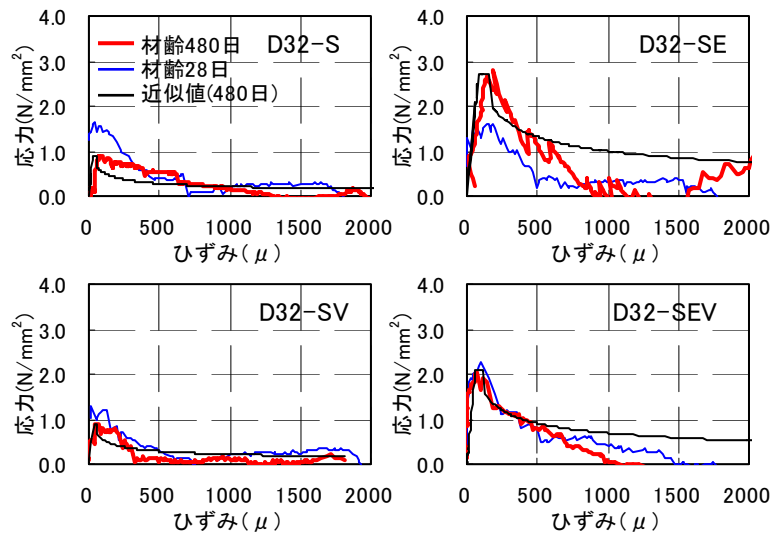


図-6(b) コンクリート平均応力(D32)

### 3.2 大型梁曲げ試験のシミュレーション

3.1で得られたコンクリートの平均ひずみと平均応力度の関係をファイバーモデルに導入して、大型梁の曲げ試験の結果をシミュレーションした。梁の荷重-変位関係およびひび割れ性状については既報<sup>2)~3)</sup>を参照のこと。実験結果との比較に当たっては、誤差が入る要因の多い梁の変位ではなく等曲げ区間の曲率を用いた。また、PC供試体の主鉄筋はD13であるが、D19の一軸引張試験の結果を用いている。ファイバーモデルで用いた材料データは、鉄筋、PC鋼棒およびコンクリートの材料試験結果を用いている。また、PC鋼棒のプレストレスについては、曲げ載荷試験直前に測定したPC鋼棒の張力を入力した。図-7にその結果を示す。

図より、膨張材による見かけ上の引張応力度の増大を考慮した平均ひずみと平均応力の関係を導入したファイバーモデルで梁の挙動を比較的精度良くシミュレーションできることが分かった。

### 4. まとめ

膨張材およびビニロン短繊維を混入したコンクリートの一軸引張試験および梁の載荷試験を実施して以下が明らかとなった。

- (1)一軸引張試験の結果は長期材齢においても大きな変化はなく、膨張材の効果は消失していないことが分かった。
- (2)膨張材を添加することで、コンクリートの引張強度が増加する。一方、ビニロン短繊維は混入量が少なかったため、その効果は明確に現われなかった。
- (3)一軸引張試験から得られたコンクリートの平均ひずみ-平均応力の関係をファイバーモデルに入力して、梁の挙動をある程度解析できることが分かった。

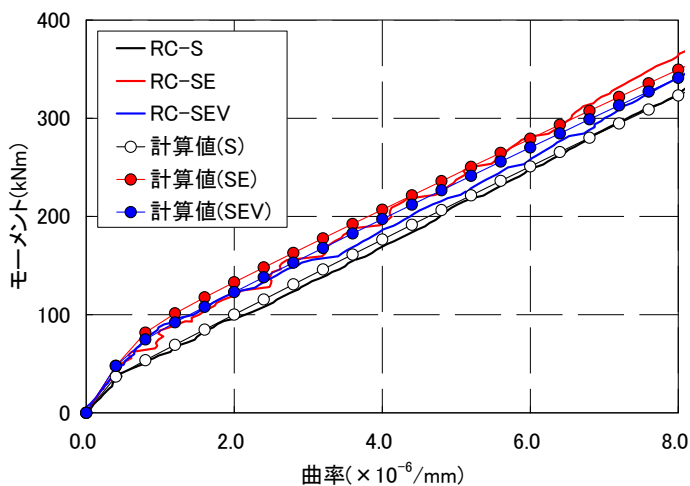


図-7(a) 大型 RC 梁の曲げ試験結果

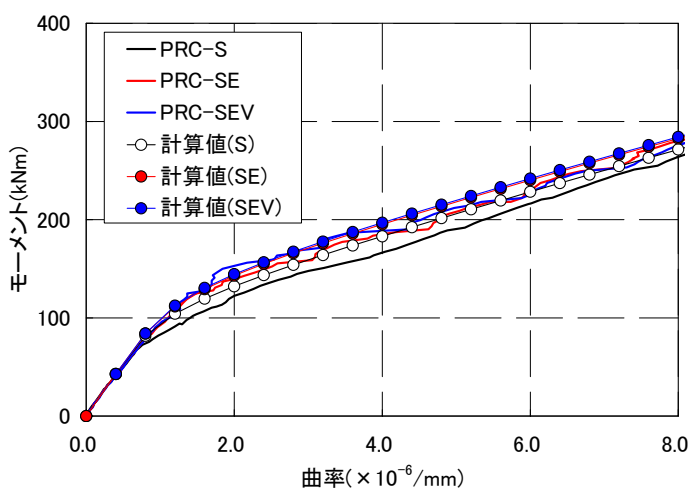


図-7(b) 大型 PRC 梁の曲げ試験結果

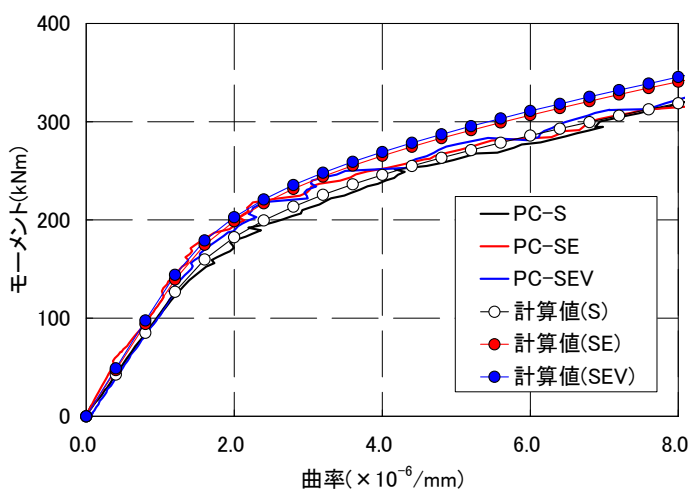


図-7(c) 大型 PC 梁の曲げ試験結果

### 参考文献

- 1)玉置, 睦好, 浅本, 三上: 膨張材およびビニロン短繊維を用いたコンクリートのひび割れ特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.29, No.1, pp807-812, 2007
- 2)内田, 篠崎, 浅本, 睦好: 膨張材およびビニロン短繊維を用いたPRC梁の曲げ特性に関する研究, プレストレストコンクリート技術協会 第17回シンポジウム論文集, pp.283-286, 2008
- 3)浅本, 篠崎, 三上, 睦好: 長期屋外乾燥させたPRC梁の曲げひび割れ性状に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol30, No.3, pp.559-564, 2008
- 4)土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書 [設計編], 2007