

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

三井住友建設(株) 技術研究所 正会員 ○内田誠二郎
 三井住友建設(株) 技術研究所 正会員 篠崎 裕生
 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

近年の建設コスト縮減への強力な要請や性能照査設計の拡充などから、より合理的な構造としてひび割れを許容しながらこれを制御する PRC 構造が採用される場合がある。プレストレスの効果と補強鉄筋との両者によって性能を確保する PRC 構造では、必然的に PC 構造に比べて鉄筋量が多くなるため、コンクリート収縮に対する鉄筋の内部拘束影響の考慮が必須であり、またこれによる初期の収縮ひび割れの制御が課題となる。

本研究では、鉄筋量の多い PRC 構造の収縮ひび割れの抑制を図るひとつの方策として、一般に収縮抑制やひび割れ低減に有効であることが知られる膨張材と短繊維を使用しての材料面からのアプローチを試みたものである。実験では膨張材およびビニロン短繊維を混入した配合を含む大型の梁供試体を製作し、実環境を想定した長期暴露およびその後の載荷試験を実施した。供試体として等価の構造性能水準を持つとみなせる PC 構造、PRC 構造および RC 構造を用意し、各構造の比較を通して主に曲げ特性に対しての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。また実構造物への適用を想定した場合には、付加的材料によるコスト増が障害となることが考えられる。このため本研究では経済性の観点にたち、コスト抑制を考慮した繊維混入量を設定した上で検討を実施した。

2. 実験概要

2.1 梁試験体

(1) コンクリート配合

本実験では、膨張材およびビニロン短繊維による構造体への影響把握のため、表-1に示す3配合による比較を行った。実際の部材を想定しているため、セメントはPC構造では一般的に用いられている早強セメントを使用している。基準となるS配合には膨張材を含まず、高性能 AE 減水剤を使用して単位水量を 160kg/m³に抑制している。SE 配合は、S 配合に対してコンクリートの低収縮化によって初期ひび割れ発生時の抵抗性を高めることを目的としたものであり、収縮補償としての膨張材を混和している。使用した膨張材はセメント 20kg/m³に置換する低添加型膨張材である。SEV 配合ではさらに、ひび割れ発生後のひび割れ幅の進展に対しての抵抗性の向上を想定して、ビニロン短繊維を混入している。ビニロン短繊維は優れた耐食性を持ち、また親水性があるためコンクリートとの付着性状がよく、ひび割れ発生後の架橋効果が有効に発揮されることが期待された。使用したビニロン短繊維の諸元を表-2に示す。

SEV におけるビニロン短繊維の混入率は体積比で 0.4%としている。これは既往の研究事例からみても少量なものである。このような低混入量を採用した理由は、膨張材については製品としての使用量が標準化されていることから、繊維量によってコストの抑制を図るこ

表-1 コンクリート配合

配合名	配合 (kg/m ³)						
	水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	混和剤	短繊維
S	160	377	-	805	974	3.77	-
SE		357	20			3.77	-
SEV		357	20			4.52	5.5

表-2 ビニロン短繊維諸元

直径 (mm)	0.66
標準長 (mm)	30
比重 (g/cm ³)	1.3
引張強度 (N/mm ²)	880
弾性係数 (kN/mm ²)	29.4



写真-1 ビニロン短繊維

とを念頭においたものである。0.4%の混入量とすれば、実構造物において使用した場合に膨張材および短繊維の使用によりコンクリート材料費の上昇率を1.5倍程度までとすることが可能である。

(2) 梁供試体の構造

梁供試体として図-1に示すRC構造、PRC構造およびPC構造を模した3構造を設定した。供試体長さは4mである。表-3には各構造の鋼材配置を示す。PC鋼棒はSBPR1080/1230 C種1号、鉄筋はSD345である。RC構造断面にもPC鋼材が配置されているが、導入されるプレストレスは計画値で0.7N/mm²と微量であり、主鉄筋はD32とほぼRC造の性状であるため便宜的にRC構造と呼ぶ。先のコンクリート配合S、SE、SEVの3種類において各々3構造を製作して全9体とした。

3構造の断面設定においては、設計荷重に対してPC構造ではひび割れの発生を許さず、またPRCおよびRC構造についてはひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であるものとした。図-1のPC構造の設計ひび割れ発生モーメントがほぼ160kN・mであるため、このモーメント値を設計荷重と定義した。PRC、RC構造においては、この設計モーメント作用時にコンクリート標準示方書¹⁾で示される一般の環境における許容ひび割れ幅 $w_a = 0.005 \times 35 = 0.175$ を満足する $w = 0.170$ となるように補強鋼材量を決定した。これにより3構造は等価な構造性能を有する供試体として設定を行えたもの考える。

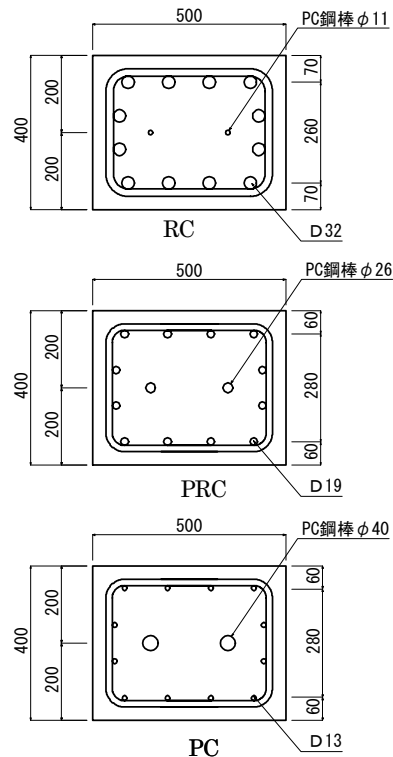


図-1 梁供試体構造

表-3 梁供試体構造

供試体名	RC	PRC	PC
主鉄筋	D32	D19	D13
P C 鋼棒	φ11mm	φ26mm	φ40mm
導入緊張力	140 kN	780 kN	1850 kN
帯鉄筋	D16 ctc150	D16 ctc150	D19 ctc150

2.2 製作と長期暴露

供試体は既報の研究²⁾で製作したものであり、コンクリート打込み後、材齢3日までは養生マットを被せて常時散水を施している。材齢3日時点でプレストレスを導入し、それ以降は乾燥を開始し約500日の材令まで長期暴露を実施した。梁供試体の長期暴露の状況を写真-2に示す。

2.3 荷重試験方法

図-2に曲げ試験の荷重図および荷重試験時に取り付けた計測器を示す。

荷重支間を3.5m、中央部の等曲げモーメント区間を1.0mとした。試験体下方側面位置にはパイゲージを隙間なく設置し、また試験体上面にはコンクリートひずみゲージを貼り並べている。このパイゲージとひずみゲージによって、等曲げモーメント区間における上縁側と下縁側の部材ひずみを測定することで、平均曲率を算出することができる。直接の変形量測定は変位計によった。他、製作時に埋設された鉄筋ゲージ、PC鋼材ひずみゲージなどを準備した。



写真-2 暴露状況²⁾

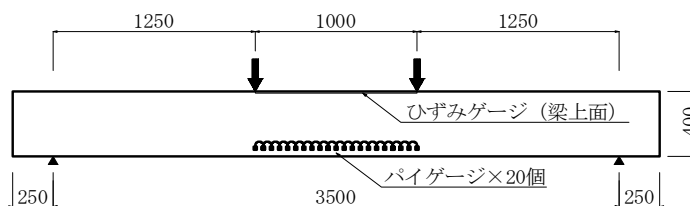


図-2 梁供試体荷重図

3. 実験結果と考察

3.1 基本的な力学的性質

図-3 にテストピースによる強度試験結果の経時変化を示す。テストピースでは参考のため基本S配合にビニロン短繊維のみを混入したSV配合が含まれている。圧縮強度は材令140日以降も増進して60N/mm²を超えている。各強度とも膨張材や短繊維の影響をよる大きな差異は見受けられない、材令500日の曲げ強度ではSVおよびSEVが他を10~20%程度に上回り、低混入量であっても短繊維による架橋効果の影響が窺われる。一方で円柱供試体による割裂強度には差異が表れていない。割裂強度と(圧縮強度)^{2/3}の比を調べると全配合ともほぼ同一の値が得られ繊維の影響が見受けられなかった。これは円柱供試体作成時の試料投入による繊維配向が影響していると推察された。

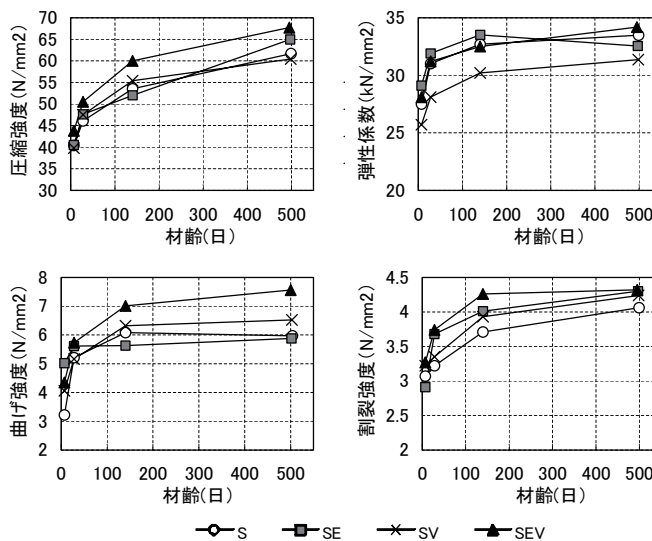


図-3 力学的性質の経時変化

3.2 曲げ特性

(1) 梁の変形とひび割れ発生荷重

図-4 に載荷荷重と梁中央たわみを示す。載荷は引張鉄筋の降伏レベルまで実施した。構造毎の配合による差異をみるといずれにおいてもSEVが高い剛性を示しており、PCおよびPRC構造ではひび割れ発生後の短繊維による架橋効果が見られる。RC構造は4.8%という高い鉄筋比のため、ひび割れ後の剛性に短繊維が与える影響は明らかとはなっていない。

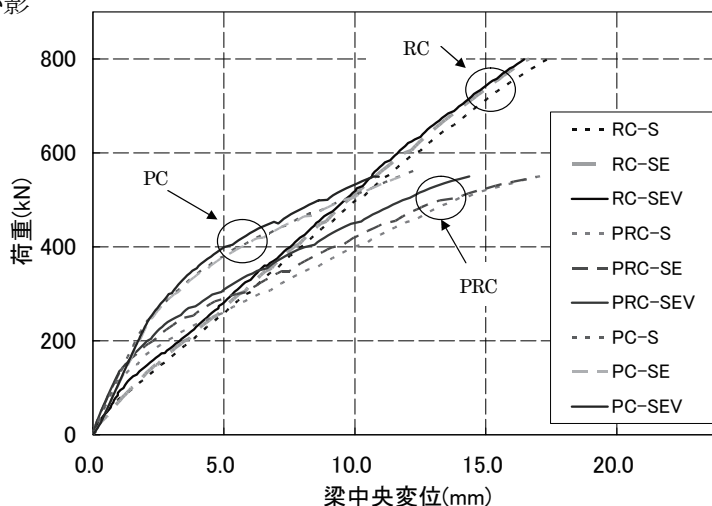


図-4 荷重—梁中央たわみ

表-4 は載荷による荷重-たわみの計測から観測されたひび割れ発生荷重と計算値を比較したものである。計算値は載荷直前の鉄筋ひずみと、PC鋼材ひずみから算定した有効プレストレスによる断面の平均ひずみによって、コンクリートに生じている載荷初期の応力を算出考慮したものである。PCおよびPRC構造では長期暴露中のひび割れがなく、実験と計算値とは近いものとなっている。RC構造のS配合では、載荷によるひび割れ発生荷重は確認できていない。これは長期暴露中に図-5に示すような多数の収縮ひび割れが発生していたためである。SEおよびSEV配合ではひび割れは殆どなく膨張材による収縮補償の効果が有効であった。

表-4 ひび割れ発生荷重

上: 試験, 下: 計算

(kN)	S配合	SE配合	SEV配合
RC	*	59	79
	81	86	101
PRC	121	145	140
	138	141	165
PC	244	249	260
	252	233	263

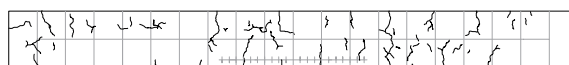


図-5 RC構造(S配合)における収縮ひび割れ図

(2) 荷重時の曲率

図-6 から図-8 に等曲げ区間における作用モーメントと部材曲率の関係を示す。

各グラフ中には、供試体にひび割れが発生しておらず全断面が有効な曲げ剛性による曲率計算値、および最終荷重荷重付近でのひび割れ発生断面での有効曲げ剛性による曲率計算値を付記している。全断面有効の場合には全鋼材をコンクリートに換算した換算剛性を算出している。またひび割れ発生断面での有効曲げ剛性は、コンクリート標準示方書における有効曲げ剛性算出式において、短期における条件にて算出した。なおいずれの算出においても材料強度等は試験値を用いている。またひび割れ断面の計算では、荷重直前の鉄筋およびPC 鋼材に生じているひずみを初期ひずみとして考慮した。

RC 構造においては、S 配合は長期暴露中に多数の収縮ひび割れが発生していたため、荷重初期より部材剛性が小さく他の配合と比較して大きい曲率を示している。ひび割れ発生後は、いずれの配合も計算値に比較的良く漸近している。PRC 構造でも荷重初期の立ち上がり時、最終荷重付近での精度良く曲率が一致しており、コンクリート標準示方書による有効曲げ剛性算定式の適応性の高さが再確認された。

ひび割れ発生後の短繊維の架橋による剛性低下の抑制が期待されたが 0.4%という低混入量のためか、配合間の明確な効果差は今回の実験では確認できなかった。

4. おわりに

PRC 構造に膨張材とビニロン短繊維補強を適用することを、建設コスト抑制を念頭にしたうえで検討した。低レベルの繊維混入量は構造特性に与える影響は大きくはないものの、ひび割れ後の剛性確保の一定の効果が見られた。

近年、優れた性能を有する新材料や新技術が発表されているが社会資本整備としてのコストパフォーマンスは常に重要である。本報告が将来の参考の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]，2002
- 2) 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集，Vol29,No1,pp807-812,2007

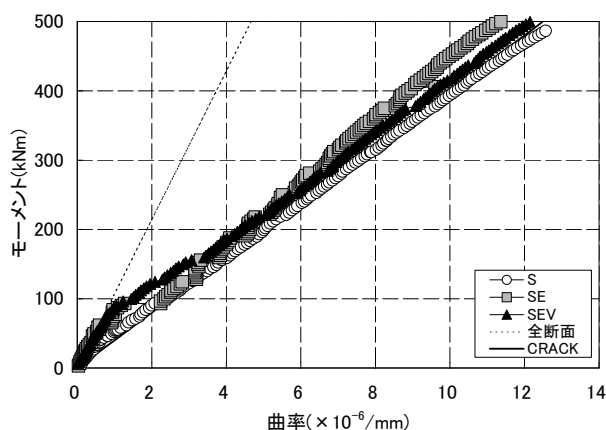


図-6 RC 構造におけるM-φ

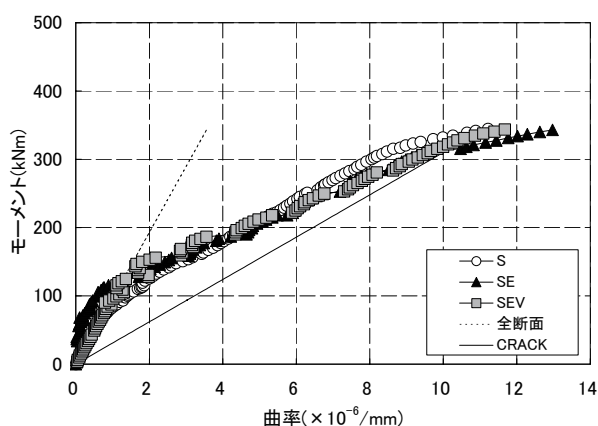


図-7 PRC 構造におけるM-φ

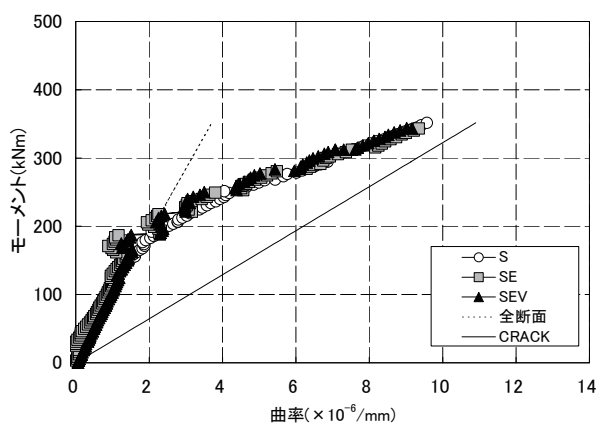


図-8 PC 構造におけるM-φ