

## PVA繊維を混入した軽量コンクリートの取替えPC床版への適用について

川田建設(株) 正会員 修士(工学) ○鈴木 聡  
 川田建設(株) 正会員 北野 勇一  
 川田建設(株) 正会員 修士(工学) 水戸 健介  
 富山県立大学 正会員 博士(工学) 伊藤 始

キーワード：軽量骨材，ビニロン繊維，PVA繊維混入軽量コンクリート，PC床版

## 1. はじめに

わが国で高度経済成長期に建設された道路橋は老朽化が進んでおり，とくに鋼橋RC床版の損傷が著しく，床版取替工事が行われるようになった。昭和55年制定以前の道路橋示方書の規定により設計されたRC床版を，現行の道路橋示方書に適用すると，床版厚が厚くなり，死荷重の増大によって下部工の耐力不足が懸念され，PC床版の軽量化が求められることがある。軽量骨材を使用したコンクリートは一般に引張やせん断強度が低下することから，その改善のために，RC床版への鋼繊維<sup>1)</sup>や膨張材の混入<sup>2)</sup>，PC床版へのPP繊維<sup>3)</sup>の混入等が試行されてきた。

本稿では，せん断耐力の改善対策としてビニロン繊維(PVA繊維)を混入した軽量コンクリートに着目し，取替えPC床版に適用する場合の基礎性状について実験的に検討した。

## 2. 要求性能

取替えPC床版に用いるPVA繊維混入軽量コンクリートの要求性能は，以下の通りとした。

圧縮強度：材齢1日でプレストレス導入時強度 $35\text{N/mm}^2$ 以上，材齢7日で設計基準強度 $50\text{N/mm}^2$ 以上

単位重量： $1900\text{kg/m}^3$ 以下

弾性係数： $22.0\text{kN/mm}^2$ 以上

耐久性：普通コンクリートと同等

表-1 使用材料

材料	記号	仕様
セメント	C	早強ボルトランドセメント 密度 $3.13\text{ g/cm}^3$
細骨材	S	砕砂，表乾密度 $2.64\text{ g/cm}^3$
粗骨材	G	砕石，表乾密度 $2.66\text{ g/cm}^3$
	LG	人工軽量骨材
短繊維	PVA	ビニロン繊維
混和剤	SP	高性能AE減水剤 (I種)
	AE	AE剤

## 3. 実験概要

## 3.1 使用材料

実験に使用した材料を表-1に示す。セメント

ト，骨材および混和剤は，N工場で使用されているものである。人工軽量骨材の基本物性値を表-2に示す。耐凍害性の観点より，含水率2%以下の人工軽量骨材を粗骨材として用いた。

PVA繊維の基本物性値を表-3に示す。PVA繊維は，トンネル覆工コンクリートや橋梁間詰コンクリートなど，はく落防止対策に利用されているもので，コンクリートとの付着性や耐アルカリ性に優れ，大きい引張強度を有するなどの特徴を有するものである。

## 3.2 配合

表-4に配合表を示す。配合Hは，N工場のプレテンションPC用配合である。

表-2 人工軽量骨材

	規格値
絶乾密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	$1.29 \pm 0.05$
24時間吸水率 (%)	$10.0 \pm 3.0$
含水率 (%)	2%以下
粗粒率	$6.35 \pm 0.30$

表-3 ビニロン繊維

材料	PVA繊維
繊維直径 (mm)	0.66
繊維長 (mm)	30
引張強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	900
弾性係数 ( $\text{kN/mm}^2$ )	23.0
密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	1.30
切断伸度 (%)	9.0

表-4 PC用コンクリート配合

配合 No	W/C (%)	s/a (%)	繊維混入率 (vol.%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					単位容積質量 kg/m <sup>3</sup>	
				W	C	S	G	LG		
N工場配合	H	38.4	44.0	-	162	422	765	980	-	2329
実験 I	L1	38.4	43.5	-	162	422	750	-	483	1832
	L2	35.4	42.5	-	162	458	720	-	483	1838
	L3	32.4	41.3	-	162	500	685	-	483	1845
実験 II	L1	38.4	43.5	-	162	422	750	-	476	1825
	FL1	38.4	43.5	0.5	162	422	750	-	476	1822
	FL3	38.4	48.5	1.0	162	422	836	-	434	1864
	L2	35.4	42.5	-	162	458	720	-	480	1835
	FL2	35.4	42.5	0.5	162	458	720	-	480	1832

※軽量骨材の密度はミルシートの値を用いた。

実験 I : 1.31g/cm<sup>3</sup>, 実験 II L1, FL1, FL3 : 1.28g/cm<sup>3</sup>, L2, FL2 : 1.30g/cm<sup>3</sup>

※繊維は、コンクリート体積に対して、外割で混入した。

実験 I では、水セメント比を 3 水準 (W/C=32.4%, 35.4%および 38.4%) で、単位水量 (162kg/m<sup>3</sup>) および粗骨材容積を H 配合と同一とした。実験 II では、水セメント比を 2 水準 (W/C=38.4%および 35.4%) で、繊維混入率(Vf)をコンクリート容積に対して、外割で 0.0%, 0.5%および 1.0%とした。

繊維補強コンクリートでは、Vfが大きくなるほど所定の流動性を確保するため、単位水量および s/a を増加させる<sup>2)</sup>が、単位水量を一定とし、また、単位重量を 1.9t/m<sup>3</sup>以下とするため、s/a の調整を最小限とし、高性能 AE 減水剤にてスランブを調整した。スランブは、N 工場内で練混ぜ後 30 分で打設可能なことを事前に確認し、ベースコンクリートのスランブを Vf=0.0%で 10cm, Vf=0.5%で 21cm, Vf=1.0%で 23cm と設定し、空気量は 5±1.5%とした。なお、PVA 繊維は、アジテータ車での練混ぜを想定したため、ベースコンクリートの練混ぜ 10 分後に、PVA 繊維を投入し 60 秒間練り混ぜた。

### 3.3 試験項目

実験では、圧縮強度および弾性係数を測定した。加えて実験 II では、L1, FL1 と FL3 について、割裂引張試験 (JIS A 1113) および 2 面せん断試験(JCI-SF6)を実施し、L2 と FL2 について、切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法 (JCI-S-001) を実施し、破壊エネルギーおよび引張軟化曲線を算出した。なお、強度試験に用いた供試体は、最高温度 45℃の蒸気養生を行い、脱枠後 20℃の室内にて所定の材齢まで保管した後、各種試験を行った。

## 4. 実験結果

### 4.1 圧縮強度

図-1 にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。いずれの配合でも、プレストレス導入強度 (材齢 1 日 35N/mm<sup>2</sup>) および設計基準強度 (材齢 7 日 50N/mm<sup>2</sup>) を満足する結果であった。また、材齢 28 日では、セメント水比 2.82(W/C=35.4%)において、既往の研究<sup>4)</sup>と同様に圧縮強度の頭打ち現象が生じた。

図-2 に繊維混入率と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は、水セメント比に関係なく、Vf=0.0%と Vf=0.5%で同程度で、プレストレス導入強度および設計基準強度を満足する結果となった。既往の研究<sup>5)</sup>では、所定の圧縮強度を確保するためには、水セメント比を低下させる必要があるとしているが、今回の実験の範囲では、繊維混入率 0.5%であれば、水セメント比の変更は不要であった。一方で、Vf=1.0%では、圧縮強度が低下し、プレストレス導入強度および設計基準強度を満足しなかった。圧縮強度低下の原因は、明確にできていないため、今後の課題である。

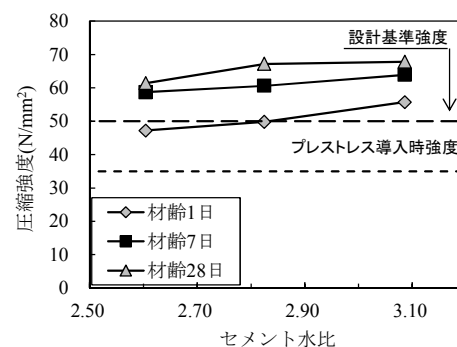


図-1 セメント水比と圧縮強度の関係

### 4.2 弾性係数

図-3 に圧縮強度と弾性係数の関係を示す。図中には、2012 年制定コンクリート示方書 (コン示) <sup>6)</sup> に示される弾性係数を示す。圧縮強度と弾性係数の関係は Vf に関係なく一定であり、材齢 28 日での弾性係数は 22.0kN/mm<sup>2</sup> 程度であった。コン示には軽量骨材を用いた場合、50N/mm<sup>2</sup> 以上の弾性係数は示されていないが、今回の近似直線は、普通骨材を用いた場合の圧縮強度と弾性係数の関係式の 6 割程度であった。

### 4.3 引張強度

図-4 に割裂引張試験結果を示す。軽量骨材を用いた場合の割裂引張強度は、繊維の混入率に関係なく H 配合の 8 割程度であり、繊維の補強効果を確認できなかった。

### 4.4 せん断強度

図-5 に 2 面せん断試験結果を示す。軽量骨材を用いた場合のせん断ひび割れ発生強度は、Vf に関係なく H 配合の 7 割程度であったが、せん断強度は Vf が高いほど改善された。FL3 (Vf=1.0%) のせん断強度は、L1 (ベースコンクリート) のせん断強度に比べ、約 2 割増加したが、普通骨材コンクリートまでは改善しなかった。

### 4.5 破壊エネルギーおよび残存引張応力

図-6 に荷重-ひび割れ開口変位 (CMOD) 曲線を示す。図より、既往の研究 <sup>7)</sup> を参考に CMOD 2.0mm までの範囲の破壊エネルギーを算出した。L2 は 89N/m, FL2 は 273N/m となり、繊維混入による効果を確認した。

次に、繊維混入率 0.5% の荷重-CMOD 曲線の測定データから多曲線近似法により算出した FL2 の引張軟化曲線を図-7 に示す。筆者の一人 <sup>8)</sup> は既往の研究にて図-8 のように引張軟化曲線のモデル化を行い、引張応力の保持性能を残存引張強度 (fv) として、式 1 より算出している。なお、式 1 は、普通骨材と軽量骨材を対象にしたものである。

$$fv = 0.34 \cdot Vf \cdot \sigma_t \cdot \dots \cdot (1)$$

$$\text{ここで、} \sigma_t = 0.23f'ck^{2/3}$$

表-5 に、残存引張強度の算出結果を示す。Vf の実験値 0.30N/mm<sup>2</sup> に対して、式 1 では 0.53N/mm<sup>2</sup> となり、今回の実験結果より、式 1 では残存引張強度が大きく見積もられた。また、文献 9 では、軽量骨材を対象として、残存引張強度を Vf=0.5% で 0.25N/mm<sup>2</sup> としており、今回の実験と概ね一致している。

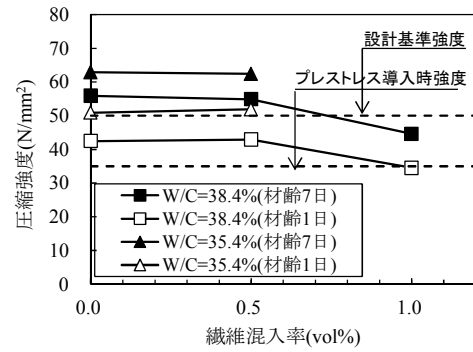


図-2 繊維混入率と圧縮強度の関係

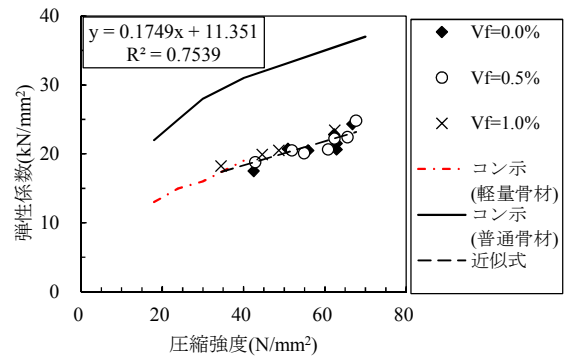


図-3 圧縮強度と弾性係数の関係

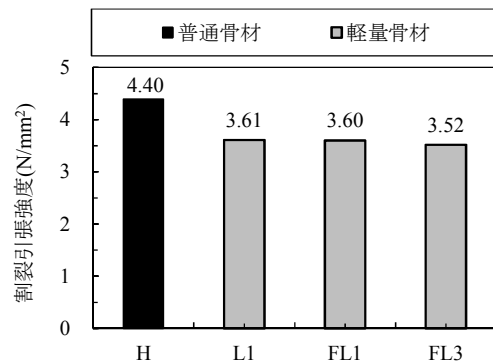


図-4 割裂引張試験結果

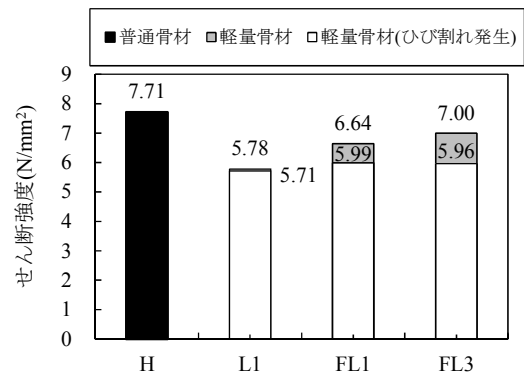


図-5 せん断強度試験結果

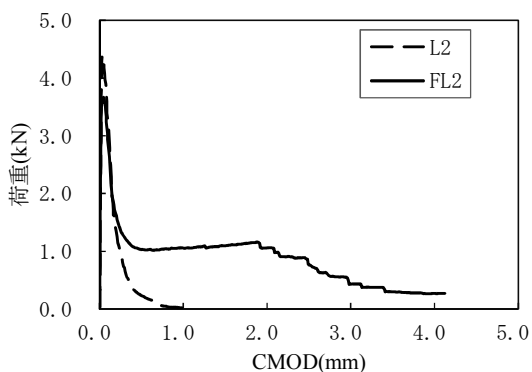


図-6 荷重-CMOD 曲線

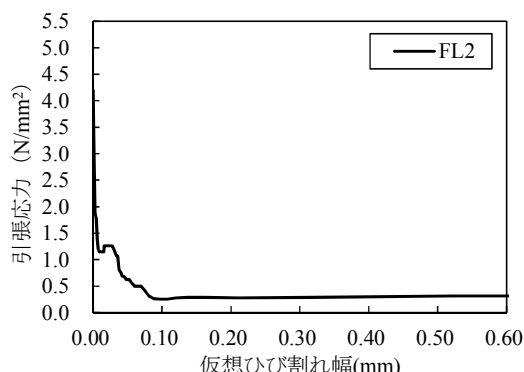


図-7 引張軟化曲線

5. まとめ

取替え PC 床版への適用を想定し、PVA 繊維を混入した軽量コンクリートの基礎性状について実験的に検討を行った結果、次のことが明らかになった。

- 1) 繊維混入率 0.5%であれば、水セメント比を変更せずに、圧縮強度の要求性能を満足できた。繊維混入率 1.0%では、圧縮強度の要求性能を満足しなかった。
- 2) 引張強度は、ビニロン繊維を混入しても改善されない。
- 3) ビニロン繊維混入により、せん断強度は増加するものの、普通骨材コンクリートまでは改善されない。
- 4) 破壊エネルギーは、軽量骨材 89N/m に対して、ビニロン繊維混入率 0.5%混入したものは 273N/m と改善される。
- 5) 残留引張応力は、繊維混入率 0.5%で 0.30N/mm<sup>2</sup> となり、既往の研究と概ね一致した。

【参考文献】

- 1) 松井繁之, 藤井伸介, 安松敏雄, 藤木英一: 人工軽量骨材コンクリートの道路橋床版への適用性に関する基礎的研究, 第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.95-100, 2000.
- 2) 磯部龍太郎, 津野和宏, 岩城一郎, 岸利治, 中澤治郎: 膨張材と軽量骨材を併用した道路橋 RC 床版の耐疲労性に関する研究, 土木学会論文集 E2, Vol.71, No.2, pp.191-202, 2015.
- 3) 小野聖久, 稲葉尚文, 紫桃孝一郎, 庄中憲: 軽量コンクリートを用いたプレキャスト PC 床版の疲労耐久性に関する検討, 第四回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.43-48, 2004.
- 4) 土木学会, コンクリートライブラリー第 56 号 人工軽量骨材コンクリート設計施工マニュアル, 昭和 60 年 6 月
- 5) 三上浩, 岸徳光, 栗橋祐介, 竹本伸一: せん断破壊型軽量コンクリート製 RC 梁の耐衝撃性に及ぼす PVA 短繊維混入率の影響, 構造工学論文集, Vol.52A, pp1237-1248,2006.3
- 6) 土木学会, 2012 年制定コンクリート標準示方書 (設計編), 2012
- 7) 渡辺一郎, Suhaendi S L, 堀口敬, 志村和紀: 高温環境下におけるハイブリッド繊維補強高強度コンクリートの破壊靱性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp339-344,2007
- 8) 伊藤始, 岩波光保, 横田弘: 軽量コンクリートスラブの押抜きせん断特性に及ぼす PVA 短繊維の影響, 土木学会, 構造工学論文集, vol.51A, pp.1321-1331,2005
- 9) 寒地土木研究所, 有機系短繊維を混入したコンクリート—設計施工の手引き—, 2014

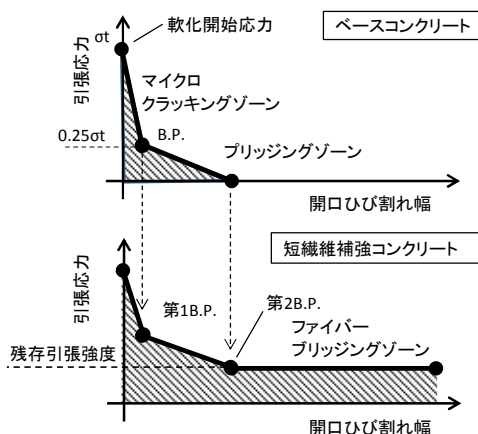


図-8 引張軟化モデル (文献 7 を参考に作図)

表-5 残存引張強度算出結果

残存引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
実験値	式 1	文献9
0.30	0.53	0.25