

# 報告 ビニロンファイバー混入コンクリート製埋設型枠の構造性能に関する検討

松林 卓<sup>\*1</sup>・坂口 伸也<sup>\*2</sup>・原 夏生<sup>\*3</sup>・三島 徹也<sup>\*3</sup>

要旨：施工の合理化や耐久性の向上を目的として、低水セメント比のモルタルをステンレスファイバーで補強した埋設型枠が開発され、適用されている。本研究は、本埋設型枠の改良を目的として、補強繊維をビニロンとした場合の構造性能について検討した。その結果、型枠材として十分な曲げ強度を有することを確認するとともにその設計値を提案した。さらに、ステンレスファイバーを補強材とする従来の埋設型枠と同様、部材表面のひび割れ幅を抑制する効果があることが判明した。

キーワード：埋設型枠，ビニロンファイバー，曲げ性能，破壊エネルギー

## 1. はじめに

コンクリート構造物の施工の合理化と耐久性の向上を両立することを意図して、低水セメント比のモルタルをステンレスファイバーで補強した埋設型枠が開発され<sup>1)</sup>、橋梁下部工<sup>2),3)</sup>やダム構造物のリニューアル<sup>4)</sup>、ケーソン等の海洋構造物<sup>5)</sup>など、様々な構造物に適用されている。

一方、近年、従来の鋼繊維に加えて、PVA(ビニロン)を素材とする短繊維補強材が開発され、高じん性モルタルなどに適用されている<sup>6)</sup>。これらは、鋼繊維に比べて、単体の剛性は小さいものの、軽量であることから扱い易く、セメント系材料との親和性、耐食性に優れているものも存在することが報告されている。

そこで、本研究ではビニロンファイバーに着目し、上述した参考文献 1)に示す埋設型枠を基に、ビニロンファイバーを補強材とした場合の構造性能について検討する。

## 2. 検討対象とする埋設型枠の構成材料

以下に、本研究が対象とする 3 種類の埋設型枠について概要を示す。表 - 1 に各埋設型枠の材料構成を示す。

(1) 従来埋設型枠<sup>1)</sup>(以下、SF パネルと呼ぶ)  
SF パネルは、低水セメント比(30%)の高強度モルタルを基材とし、両端にフックが付いた「ドックボーンタイプ L=35mm」のステンレスファイバー(SUS430 相当)を体積混入率で 2.5% 混入したものである。

(2) ビニロンファイバー混入高強度コンクリート製埋設型枠(以下、VF パネルと呼ぶ)  
VF パネルは、低水セメント比(30%)の高強度コンクリートを基材とし、補強繊維としてビニロンファイバー(0.66×30mm)を混入したものである。

(3) ビニロンファイバー混入自己充填性高強度コンクリート製埋設型枠(以下、VFS パネルと呼ぶ)

VFS パネルは、VF パネルに特殊混和材を用いて自己充填性を確保し、複雑な形状の構造物においても適用できることを目的に開発したものである。

## 3. パネル単体の曲げ性能

### 3.1 試験項目および目的

VF パネルおよび VFS パネルの曲げ性能を評

\*1 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 (正会員)

\*2 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 工修

\*3 前田建設工業(株) 技術本部 技術研究所 工博 (正会員)

表 - 1 パネルの材料構成

パネル名称	ファイバー		W/C %	W kg/m <sup>3</sup>	C kg/cm <sup>3</sup>	混和材* kg/m <sup>3</sup>	S kg/m <sup>3</sup>	G (5-13) kg/m <sup>3</sup>	高性能AE減水 剤 SP8N kg/m <sup>3</sup>	厚さ mm
	種類	混入率 %								
SF	ステンレス (NF430D)	2.5	30	206	685 ** (普通)	-	1370	-	適宜 C×1%	50
VF	ビニロン RF4000 (0.66×30mm)	2.5	30	206	685 (普通)	-	1046	330	適宜 C×1%	55
VFS	ビニロン RF4000 (0.66×30mm)	2	37	185	500 (普通)	175	1046	330	適宜	55

\*無機系鉱物質微粉末

\*\* (普通): 普通ポルトランドセメント

価するために、曲げ強度試験および破壊エネルギー試験を行う。

(1) 曲げ強度試験

曲げ強度およびそのばらつきを評価することを目的とする。得られた曲げ強度の平均値と標準偏差を用いて 95%信頼強度を算定し、それを型枠材としての曲げ強度の特性値とする。

(2) 破壊エネルギー試験

各材料の引張軟化特性を定量的に評価することを目的として実施する。

3.2 曲げ強度試験

(1) 試験体

試験体は、実製品規模のパネル (2000 × 600mm) から 30 枚の試験体 (100 × 400mm) を切断製作することで、1 枚のパネル内における品質のばらつきについても評価できるようにした。

(2) 試験方法

試験は、土木学会基準「鋼繊維補強コンクリートの曲げおよびタフネス試験方法 (JSCE-G 522-1999)」に準拠し、図 - 1 に示すように 2 点集中載荷で実施した。

(3) 試験結果

代表的な試験体の応力 - 載荷点変位関係を図 - 2、曲げ強度試験結果一覧を表 - 2 に示す。

図 - 2 より、VF パネルおよび VFS パネルの最大曲げ応力は、SF パネルと比較して 3 割程度小さくなったが、最大曲げ応力程度の応力を載荷点変位 4mm 程度まで保持し続けており、じん性に富んだ挙動を示している。

また表 - 2 より、各パネル (30 枚) の曲げ強度の平均値は VF パネル及び VFS パネルがほぼ同値であり、SF パネルと比較して 70%程度と小

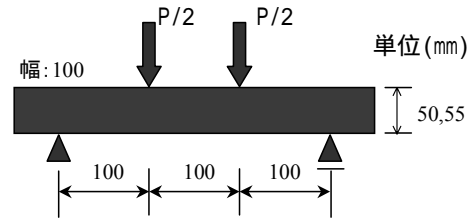


図 - 1 曲げ試験方法

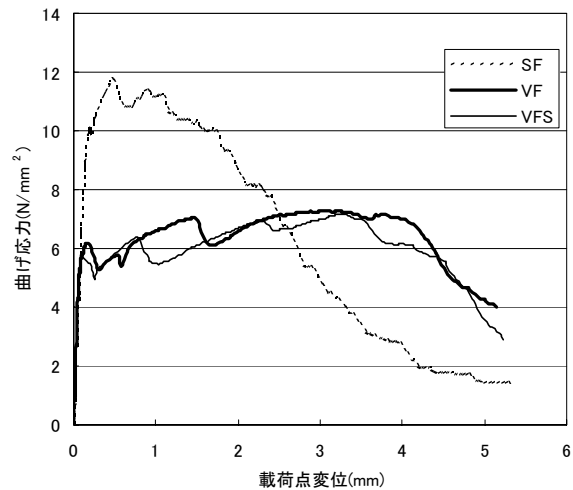


図 - 2 代表的な試験体の応力 - 載荷点変位関係

表 - 2 曲げ強度試験結果

パネル名称	SF	VF	VFS
曲げ強度平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	11.16	7.94	7.95
変動係数	16.51%	14.61%	22.35%
95%期待 曲げ強度(N/mm <sup>2</sup> )	8.14	6.04	5.04

さい結果となった。これはステンレスファイバーの弾性係数が 200GPa 程度であるのに対し、ビニロンファイバーの弾性係数は 29GPa 程度と小さいことに起因するものと考えられる。曲げ強度の変動係数は、VFS パネルが他のパネルに対して大きく、ばらつきが大きいことが認められた。これらの結果より求めた 95%信頼強度 ( $f_k = \bar{f} - 1.64\sigma$ ) を表 - 2 に示す。VFS パネル

はばらつきが大きい分,95%信頼強度はVFパネルより2割程度小さくなった。

(4) VFパネルの設計曲げ強度の評価

埋設型枠の設計用値  $f_{bd}$  は,曲げ強度の特性値  $f_{bk}$  (曲げ強度試験より得られた曲げ強度の平均値と標準偏差を用いて算定した95%信頼強度)と材料係数  $\gamma_m$  を用いて(1)式より算出する。

$$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{\gamma_m} \quad (1)$$

$\gamma_m$  はコンクリートの一般的材料係数である1.3を適用した。

(1)式に基づいて算出した各パネルの  $f_{bd}$  の値を表-3に示す。また,  $f_{bd}$  を用いてSFパネルと同等の曲げ耐力を得るために必要なパネル厚さを算出した結果も同表に示す。VFパネルにおいては,パネル厚さ55mmが必要であり,VFSパネルにおいては,パネル厚さ60mmが必要である。

3.3 破壊エネルギー試験

(1) 試験体

試験体は,矩形断面を有する角柱(100×100×400mm)とし,長手方向中央部に断面高さの1/2(=50mm)まで幅5mmの切欠きを入れたものとする。試験体数は,各パネル種類について4体とする。図-3に破壊エネルギー試験に使用する試験体図を示す。

(2) 試験方法

試験方法,破壊エネルギーおよびタフネスの算出方法は,参考文献7)に従い実施した。図-4に破壊エネルギー試験における荷重および計測方法を示す。

(3) 試験結果

破壊エネルギー試験結果を図-5に示す。

試験結果より,破壊エネルギーはSFパネルおよびVFパネルともに5.5(N/mm)程度であり,VFSパネルは8.4(N/mm)程度であった。タフネスLPD2(LPD=0.015hまでの曲げタフネス,h:試験体断面高さ)およびタフネスLPD4(LPD=0.03hまでの曲げタフネス)は,SFパネルが1.2,2.5(N/mm)程度,VFパネルが0.8,1.7(N/mm)程度,VFSパネルが1.6,3.4(N/mm)

表-3 各パネルの曲げ特性の比較

	設計用値		
	SFパネル	VFパネル	VFSパネル
最大曲げ強度 $f_{bmax}$ (N/mm <sup>2</sup> )	11.16	7.94	7.95
95%信頼強度 $f_{bk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	8.14	6.04	5.04
材料係数 $\gamma_m$	1.3	1.3	1.3
設計曲げ強度 $f_{bd}$ (N/mm <sup>2</sup> )	6.26	4.65	3.88
必要パネル厚さ (mm)	47	55	60
単位幅当たりの曲げ耐力 (N・mm/mm)	2305	2342	2326

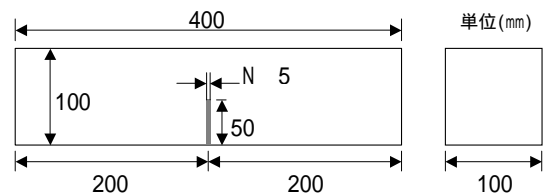


図-3 破壊エネルギー試験 試験体図

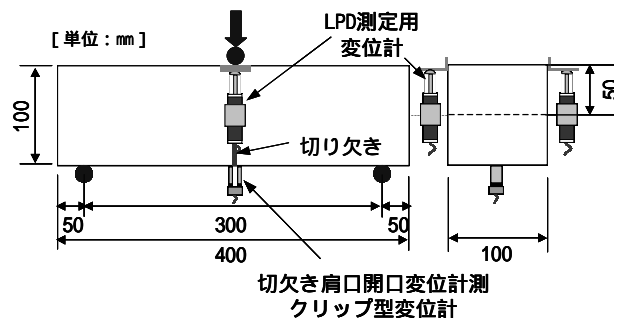


図-4 荷重および計測方法

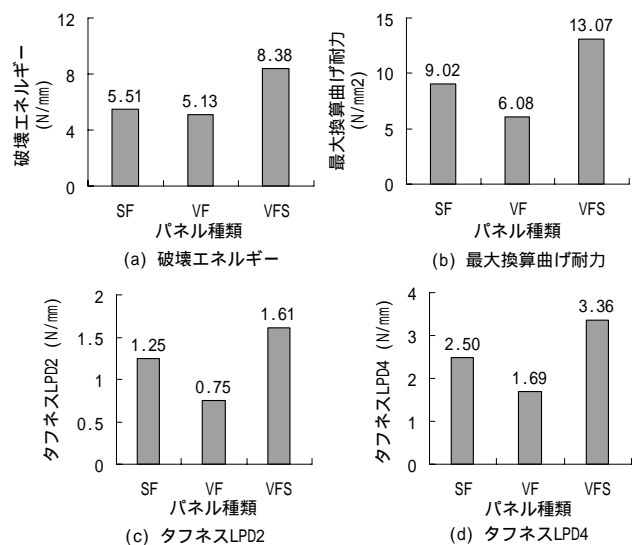


図-5 破壊エネルギー試験結果(平均値)

程度であった。

また、計測荷重の最大値とリガメント部の断面係数より算定した最大換算曲げ耐力は、SF パネルが  $9.02(N/mm^2)$ 、VF パネルが  $6.08(N/mm^2)$ 、VFS パネルが  $13.07(N/mm^2)$  であった。VFS パネルの曲げ強度は、曲げ強度試験では  $7.95(N/mm^2)$  であったのに対し、破壊エネルギー試験では  $13.07(N/mm)$  と高い値を示している。パネルの曲げ強度が試験体 30 体の平均であるのに対し、破壊エネルギー試験の換算曲げ耐力は 4 体の平均値であり、同一の条件で比較することはできないが、曲げ強度は試験条件の影響を大きく受けていることが推定される。

#### 4. 各パネルを適用した梁部材の構造性能

##### 4.1 試験概要

本研究でとりあげた SF パネルは、裏面に目荒らし処理が施されており、打設されたコンクリートとの一体化が図られている。パネル内に配置されたステンレスファイバーの効果により、部材表面のひび割れ幅を抑制する効果があることが確認されている<sup>1)</sup>。VF および VFS パネルにも同様の効果があることを確認するため、引張縁にパネルを配置した梁試験体を用いた静的曲げ載荷試験を行った。

##### 4.2 試験体

パネルの有無およびパネルの種類を比較検討パラメータとし、試験体は表 - 4 に示す計 4 体とする。試験体の概要を図 - 6 に示す。NF はパネルを有しない比較用の基準試験体である。SF、VF および VFS には各パネルを梁の引張縁にそれぞれ配置した。

##### 4.3 試験方法

試験は、図 - 6 に示すように 2 点集中載荷で行った。試験体のたわみ量は梁高さ中央位置の支点間中央位置において変位計により測定した。また、等モーメント区間全延長における断面引張縁において標点間隔 100mm 間の開き変位を変位計により計測し、ひび割れ幅とした。

表 - 4 梁試験体断面諸元

試験体	埋設型枠			断面諸元				a/d
	仕様	ファイバー		幅 B mm	高さ H mm	有効高さ d mm	せん断 パン a mm	
		種類	混入率 %					
NF	なし	-	-	300	500	415	1000	2.41
SF	ステンレス	2.5	50					
VF	ビニロン	2.5	55					
VFS	ビニロン	2.0	55					

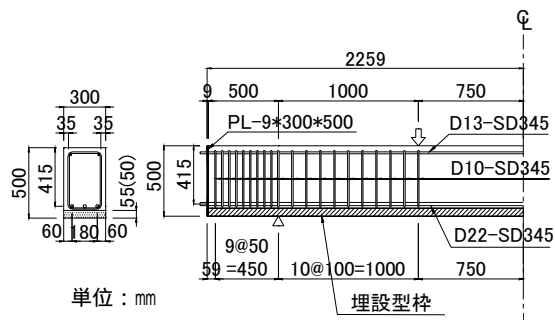


図 - 6 試験体図

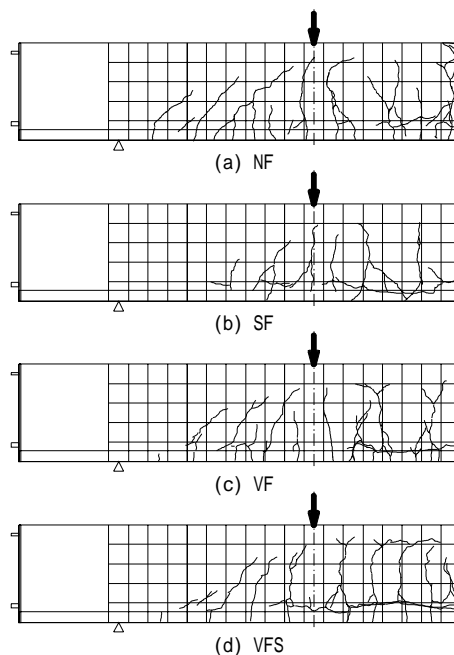


図 - 7 ひびわれ図 (終局時)

##### 4.4 試験結果

###### (1) 破壊性状

すべての試験体において、鉄筋が引張降伏した後に圧縮側のコンクリートが圧壊し終局を迎えた。ひび割れ性状は、すべての試験体において曲げによるひび割れが支配的であった。いずれのケースでも、ひび割れはパネルを貫通し、連続的に打設コンクリート部に進展した。終局時に等曲げ区間で発生した主鉄筋に沿った割裂ひびわれが一部パネルとコンクリートの境界部分に進展したが、終局に至るまでパネルとコン

クリートは剥離しなかった。各試験体の終局時におけるひび割れ図を図 - 7 に示す。

(2) 荷重 - たわみ関係

各試験体のモーメント - たわみ関係を図 - 8 に示す。同図には計算により得られた荷重 - たわみ関係も併せて示した。

実験結果と計算値の比較一覧を表 - 5 に示す。終局変位は最大荷重に達した後、急激な軟化を示した時点のたわみとした。ここで、計算値とは、土木学会コンクリート標準示方書<sup>8)</sup>の方法に準じた計算結果であり、パネルの材料特性には後打ちコンクリートの材料特性を用いた。終局変位は断面計算により得られた曲率を断面軸方向に2回積分して得られた値とした。

図 - 8、表 - 5 より、VF および VFS においても SF とほぼ同等の耐荷能力を有していることが確認できる。また最大荷重および終局変位ともに実験結果は計算値よりも1~2割程度大きくなることが確認された。従って、パネル部分を後打ちコンクリートの物性値で置き換え評価する、FS パネルにおける従来の設計手法を VF および VFS においても適用できるものと考えられる。

(3) 荷重 - ひびわれ幅関係

図 - 9 に各試験体の荷重 - ひび割れ幅の関係を示す。同図には、土木学会コンクリート標準示方書<sup>8)</sup>の方法に準じた計算結果も併せて示した。引張鉄筋が許容応力度 ( $\sigma_{sa}=180\text{N/mm}^2$ ) に達する計算荷重時 ( $P_a/2=75.9\text{kN}$ ) において、パネルを配置したすべての試験体において NF より1~2割程度ひび割れ幅は小さくなっていることが確認された。VF および VFS は、SF と同等のひび割れ幅抑制効果が発揮されていることが図 - 9 より確認できる。

(4) 最大ひび割れ間隔

土木学会コンクリート標準示方書<sup>6)</sup>に準じた最大ひび割れ間隔  $L_{max}$  の算定方法による評価を試みる。

$L_{max}$  の計算値と引張鉄筋が降伏に達した時点における実験値の比較を表 - 6 に示す。同表より、すべての試験体において  $L_{max}$  の実験値は計算値

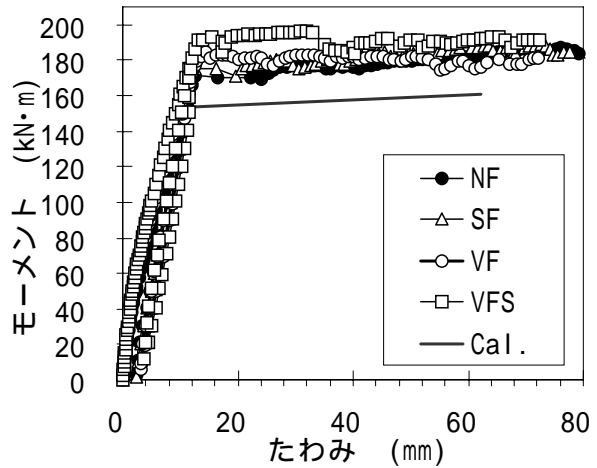


図 - 8 モーメント - たわみ関係

表 - 5 実験結果と計算値比較一覧

パネル種類	パネル厚さ (mm)	実験結果		計算結果	
		最大荷重 (kN)	終局変位 (mm)	最大荷重 (kN)	終局変位 (mm)
NF	-	186.8 (1.13)	76 (1.18)	165.0	65
SF	50	188.5 (1.14)	78 (1.11)	165.9	70
VF	55	184.2 (1.12)	72 (1.16)	164.4	62
VFS	55	196.6 (1.19)	72 (1.07)	165.5	67

※()内は実験値/計算値

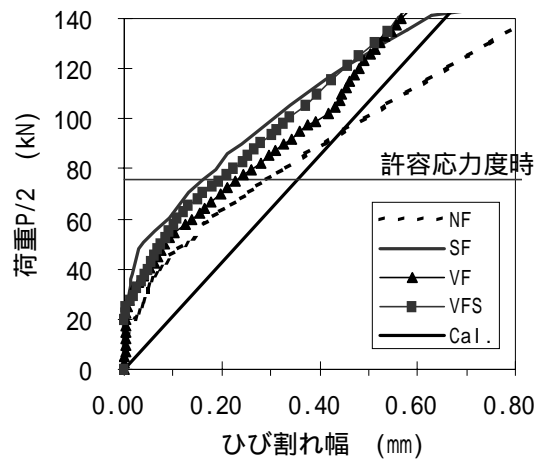


図 - 9 荷重 - ひびわれ幅関係

表 - 6 最大ひびわれ間隔の検討

試験体	ひび割れ間隔 $L_{max}$ (mm)		実験値 / 計算値
	実験値	計算値	
NF	300	379	0.79
SF	250	372	0.67
VF	200	383	0.52
VFS	250	376	0.66

より小さくなっていることが確認される。またパネルを配置した3ケースの試験体は実験値と計算値の比がNFより1~2割程度小さくなって

いることから、パネル配置することによるひび割れ分散性状が良くなっており、VFにおいて最もその効果が現れている。

## 5. まとめ

### 5.1 パネル単体の曲げ性能

VF パネルおよび VFS パネルの曲げ性能を評価し、その設計用値を明らかにすることを目的として曲げ強度試験および破壊エネルギー試験を行った。検討の結果、以下の知見が得られた。

- (1) 従来の埋設型枠（パネル厚さ 50mm）と同等の曲げ耐力を得るためには、VF パネルおよび VFS パネルにおいて、それぞれ 55mm、60mm のパネル厚さが必要であることが分かった。
- (2) 破壊エネルギーは、SF パネル、VF パネルともに 5.5 (N/mm) 程度であり、VFS パネルは 8.4 (N/mm) 程度であった。
- (3) VF および VFS パネルは、曲げ強度は SF パネルに比べ小さいものの、破壊エネルギーは同等もしくは大きく、結果としてじん性に富む変形性状を示した。

なお、本研究では、1 枚のパネル内における強度のばらつきは評価することができたが、ロット間の強度のばらつきについては、今後明らかにしていく必要がある。

### 5.2 VF パネルを適用した梁部材の構造性能

VF および VFS パネルを引張縁に配置した梁試験体による静的曲げ載荷試験を行った。検討の結果、以下の知見が得られた。

- (1) VF および VFS パネルを配置した梁試験体においても SF パネルを配置した場合とほぼ同等の耐荷性能を有しており、最大荷重、終局変位ともに計算値よりも 1~2 割程度大きくなることが確認された。したがって、パネル部分を後打ちコンクリートの物性値で置き換え評価する、FS パネルにおける従来の設計手法を VF および VFS においても適用できるものと考えられる。
- (2) VF および VFS についても、SF と同等のひ

び割れ幅抑制効果が発揮される。

- (3) パネルの配置により、ひび割れ分散性状が良くなる。

謝辞：本研究のうち、VFS パネルについては、住友大阪セメント（株）鈴木康範氏他と共同で実施したものである。また、試験体製作にあたっては、東栄コンクリート工業（株）新田裕之氏他のご協力を得た。関係各位に感謝致します。

### 参考文献

- 1) 財団法人 土木研究センター：土木系材料技術・技術審査証明 報告書(技審証 第 0607 号)「SEED フォーム」, 1995.3
- 2) 田端稔, 横沢和夫, 笹部和房, 松本和久, 今西秀公：REED 工法による高架橋の合理化施工〔報告〕, 前田建設技術研究所報 vol.39, pp.9-16, 1998
- 3) 中島良光, 三島徹也, 田畑稔, 秦宗之, 戸塚信弥, 佐藤勉：鉄道高架構造物へのプレキャスト型枠の適用に関する研究, 前田建設技術研究所報 vol.39, pp.25-32, 1998
- 4) 河野一徳, 宗末良雄, 岩田誠, 山門隆雄, 久保田隆治, 藤井準：SEED フォームを用いた朝日ダム選択取水設備の急速施工〔報告〕, 前田建設技術研究所報 vol.42, pp.25-32, 2001
- 5) 舟橋政司, 佐藤文則, 横沢和夫, 上田達哉, 三輪俊彦, 関口信一郎：プレキャストフォームケーソン製作工法(PFC 工法)の開発 - 防波堤ケーソン製作工事への適用 -〔報告〕, 前田建設技術研究所報 vol.41, pp.25-32, 2000
- 6) 日本コンクリート工学協会：高靱性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書, pp.11-44, 2002.1
- 7) 日本コンクリート工学協会：繊維補強コンクリートの切欠きはり試験体の荷重 - 変位曲線の計測方法およびタフネスの評価方法(案), 日本コンクリート工学協会ホームページに掲載
- 8) 土木学会：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕, 2002