

PVA 繊維補強コンクリートのせん断強度に関する実験的研究

三上 敬司¹

Experimental Study on Shear Strength of PVA Fiber Reinforced Concrete Beam

Takashi Mikami¹

要 旨

本研究は空気量および繊維混入率が PVA 繊維補強コンクリート梁(FRC)のせん断強度に及ぼす影響に関して実験的研究を行った。本実験では3種類の繊維混入率($V_f = 0, 0.5, 1\%$)および3種類の空気量(0, 4.5, 6.5%)における PVA 繊維を混入させた繊維補強コンクリート梁を各4体ずつ作製して、JCI-SF6 に準拠した直接二面せん断強度試験法によって実験を行った。

その結果、空気量および繊維混入率が PVA 繊維補強コンクリート梁のせん断強度に及ぼす影響を明確にすることができなかったものの、せん断破壊状況に関してはプレーンコンクリートの場合では脆性的なせん断破壊を、FRC の場合では PVA 繊維の架橋およびアンカー効果によって靱性的な挙動を示すことがわかった。明確にできなかった主な原因としては、繊維混入率の増加の場合、細骨材率が小さい場合や AE 減水剤が少量の場合では流動性の低下が生じることにより、所要のスランプが配合設計どおり得ることができなかったものと考えられる。

キーワード： PVA 繊維補強コンクリート，直接二面せん断試験，繊維混入率，空気量，せん断強度

Abstract

This research did the experimental study on the air quantity and fiber content in regard to the influence which it causes to shear strength of the PVA fiber reinforced concrete beam (FRC). With this experiment 3 types of fiber contents ($V_f = 0, 0.5$ and 1%) and 3 types of the air quantities (0, 4.5 and 6.5%) each 4 specimen producing FRC beam each which makes the PVA fiber mix in, in accordance with JCI-SF6 for shear strength test of FRC beam by direct double shear test method.

As a result, it was not possible to make the influence which the air contents and the fiber contents cause to the shear strength of the PVA fiber reinforced concrete beam. But it was found that in regard to the shear failure patterns the plain concrete beam occurred the brittle shear failure, and the behaviour of the FRC beam represented fracture toughness by the effect of bridging and anchoring. It is thought that the required slump as it is a proportioning concrete mixtures was not able to be obtained by causing the decrease in fluidity when the sand-total aggregate ratio and air-entraining and water reducing admixture are small amount at an increase at the fiber contents as the main cause.

Key words : PVA fiber reinforced concrete, direct double shear test, fiber content, air content
, shear strength

¹ 専修大学地域総合科学研究センター(〒079-0197 北海道美幌市宇美幌 1610-1, TEL:0126-63-4321)
Community Cooperative Research Center, Senshu University, Bibai, Hokkaido, 079-0197, Japan: e-mail:
mikami@senshu-hc.ac.jp

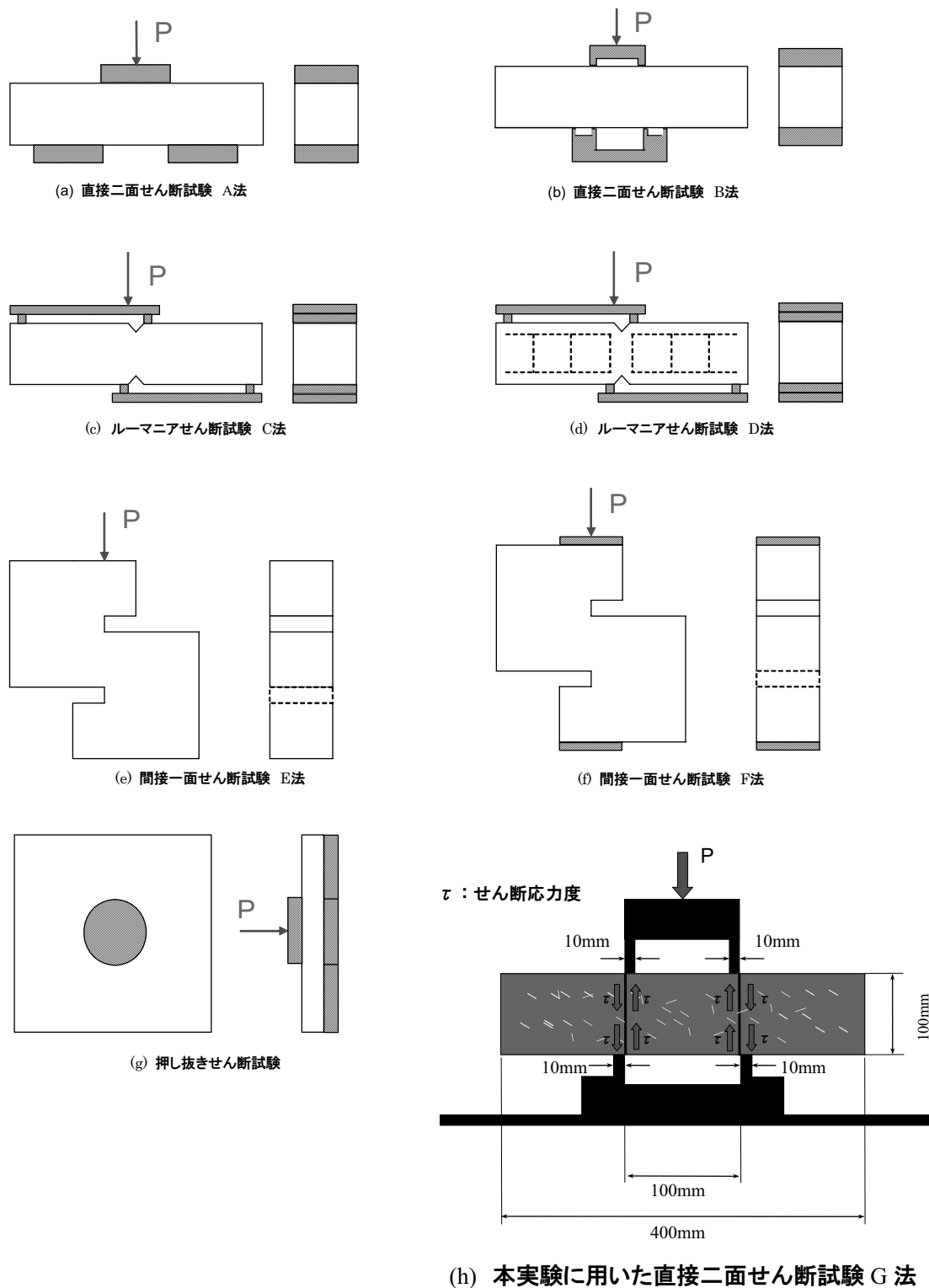


図 1 各種せん断試験法

1. まえがき

繊維補強コンクリートの材質として鋼繊維，化学繊維（ポリエチレン，ポリビニルアルコール，炭素，ガラス，ナイロン）などが上げられる．用途は法面の補強材，トンネルのコンクリート落下防止材，コンクリート舗装などの多方面に亘って

いる．鋼繊維補強コンクリートの曲げ特性に関する研究は古くから国内，国外の多くの研究機関によって行われ，各繊維の曲げ特性に関して解明されている（梅山和成，1979，1980，Colin D., 2001, Banthia, N., 1996，三上敬司，2004，2004）．一方，コンクリートのせん断強度を求める試験法

が容易でかつ適正な試験法が確立されていなかったために、最初に東らは提案したせん断試験法によるせん断強度と他のせん断試験法と比較して、せん断強度はやや高いものの他の実験法より実験の簡便さを強調している(東洋一, 1979)。その後、魚本らはコンクリートのせん断強度試験法を確立するために、純せん断強度、破壊包絡線を用い、有限要素法弾性解析を併用する方法で各種のせん断強度試験法を比較検討している。その結果、簡便な実験法でかつ実用的な直接二面せん断強度 G 法を推奨している(魚本健人, 1981)。なお、各種のせん断強度試験法の詳細は後述している。峰松らは直接二面せん断強度 G 法を用い、コンクリートマトリックスの品質および繊維の品質、せん断変形が鋼繊維補強コンクリートのせん断特性に及ぼす影響に関して検討している(峰松敏和, 1981)。河野らは鋼繊維補強コンクリートのせん断強度に関して、一面せん断試験法と二面せん断強度 B 法とを比較検討し、その後、後者の方法を用いて粗骨材の最大寸法、繊維混入率、アスペクト比などがせん断強度に及ぼす影響に関して検討している(河野浩, 1983)。また、Ingraffea と Panthaki は切欠きの入ったコンクリート梁のせん断破壊実験およびその解析を行い、せん断破壊はせん断力によって破壊せず、引張力によって破壊することを明らかにした(Ingraffea, A. R., Panthaki, M. J., 1985)。以上の結果を踏まえて、日本コンクリート協会(JCI)はコンクリートおよび繊維補強コンクリートの試験方法に関する規準を制定し、繊維補強コンクリートのせん断強度は直接二面せん断強度試験 G 法によって求めることを規定した(日本コンクリート工学協会, 1984)。しかし、本来であれば、コンクリートのひび割れ進展から破壊に至るまでの破壊機構を検討するには多軸載荷方法を用いて純せん断強度を求めることが有用であるものの、この方法は大規模な試験装置が必要で一般的には使用しにくい方法である。そこで、Collins らはせん断力パネル試験装置を開発している。しかし、加力装置は高度な制御が必要で経済性や利便性に難点がある(Vecchio, F. J., Collins, M. P. 1986)。その難点を解決するために、田中らは簡便な加力装置を開発し、純せん断応力下におけるコンクリートの破壊性状に関する研究を比較容易に検討可能にした(田中浩 2003, 2004, 吉武勇, 2006)。以上のように、コンクリートや鋼繊維補強コンクリートのせん断強度に関する研究は多く検討されているが、化学繊維に関するせん断強度特性に関する研究は著者の知る限りではほとんど成されていないようである。

前述したことを踏まえ、本研究では PVA 繊維補強コンクリート梁を作製し、PVA 繊維補強コンクリート梁のせん断強度が空気量および繊維混入率に

よって最大荷重、せん断強度に及ぼす影響に関して、直接二面せん断強度試験 G 法を用いプレーンコンクリート梁と比較しながら検討を行うこととする。

2. 既往のせん断試験法

コンクリートのせん断強度試験は、図 1 に示したように直接二面せん断試験法(図(a), (b), (h))、ルーマニアせん断試験法(図(c), (d))、間接一面せん断試験法(図(e), (f))および押し抜きせん断試験法(図(g))の 4 種類などが上げられる。魚本と峰松は上述した各種せん断試験法を用いて純せん断強度および有限要素解析と比較検討し、妥当な試験法を提案している(魚本健人, 1981)。その結果、ほとんどの試験方法は圧縮力、引張力や曲げによる影響を受けるために、純せん断強度よりも大きめの値となる。一方、図(h)の直接二面せん断試験 G 法は圧縮力、引張力や曲げによる影響が他の方法に比較して少なくかつ純せん断強度とほぼ一致していることから、前述したように、コンクリート工学協会や土木学会では簡便でかつ実用的なせん断試験法として規定している(日本コンクリート工学協会, 1984, 土木学会編, 2005)。また、魚本らはこの試験方法を用いる場合には厳密な純せん断強度を求めることとコンクリートの破壊機構等を研究するためには多軸載荷試験方法(三軸圧縮試験)を推奨している。

3. 実験の概要

3.1 実験供試体

試験体は図 1 に示したように寸法が 400 × 100 × 100mm の直方体のプレーンおよび PVA 繊維補強コンクリート梁を作製した。そのスパン長は各 $l=300\text{mm}$ である。コンクリートは養生温度を 20℃で 28 日間養生を行い、その圧縮強度は 30N/mm²である。試験体は

表 1 繊維混入率、空気量および供試体名

供試体名	繊維混入率 $V_f(\%)$	空気量(%)
PL-1-4	0	0
PL-45-1-4	0	4.5
PL-65-1-4	0	6.5
F2-5-0-1-4	0.5	0
F2-5-45-1-4	0.5	4.5
F2-5-65-1-4	0.5	6.5
F2-1-0-1-4	1.0	0
F2-1-45-1-4	1.0	4.5
F2-1-65-1-4	1.0	6.5



図2 実験に用いた PVA 繊維

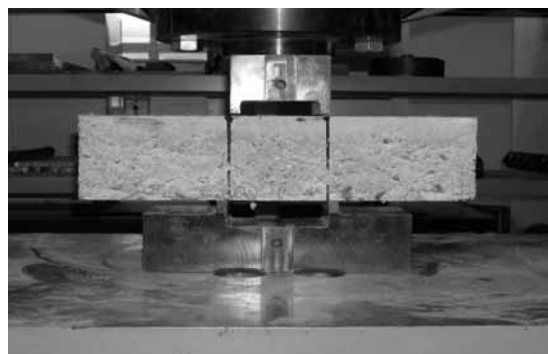


図3 直接二面せん断試験(JCI-SF6に準拠)

表2 PVA 繊維の物性値

PVA 繊維	カット長(mm)	繊維径(mm)	引張強度(MPa)	破断伸度(%)	引張弾性率(GPa)	密度(g/cm ³)
REC100	12	0.10	1100	10	25	1.3

表3 コンクリートの配合表

W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	AE 減水剤 (g/m ³)	空気量 (%)
38	40	167	463	544	1220	0.0	0
38	40	148.24	388	707	1080	174.6	4.5
38	40	133.88	364	704	1075	236.6	6.5

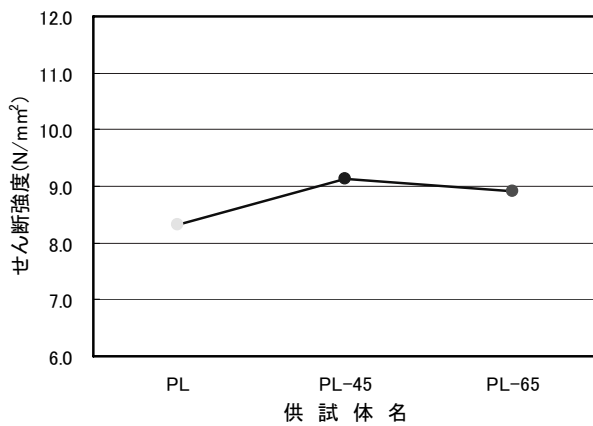
合計 36 体を繊維混入率 V_f と空気量ごとに作製し、表 1 には供試体名、空気量、繊維混入率ごとに示している。表に示した供試体名は、プレーンコンクリートを PL、空気量 4.5% の場合では 45、6.5% の場合では 65、供試体の番号は各供試体を 4 本ずつ作製していることから 1~4 を末尾に付している。また、PVA 繊維の場合は F2、繊維混入率 $V_f=0.5\%$ の場合は 5、1% の場合は 1 の記号を付している。

3.2 ファイバー

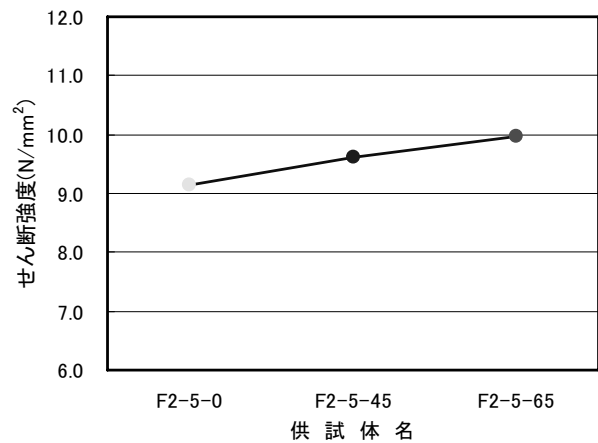
本実験には図 2 に示したように株式会社クラレの PVA 繊維を用い、その物性値は表 2 に示している（株式会社クラレ，2002，株式会社クラレ産業資材事業部，2002）。PVA 繊維はコンクリートに入れる補強材、ファイバーの一種で、コンクリート補強用ビニロン繊維で、正式名称はポリビニルアルコール繊維である。PVA 繊維は高靱性（大きな引張、曲げ変形能力を発揮）に優れており、耐震性、耐衝撃性などの特徴をもつ繊維である。

3.3 本実験に用いたコンクリート配合表

表 3 には本実験で用いた繊維補強コンクリートの供試体を作製するためのベースコンクリートにおける配合表を示している。セメントは普通ポルトランドセメント、粗・細骨材は川砂利・川砂、混和剤は AE 減水剤を用いている。本実験では同水セメント比および同細骨材率で、空気量（0、4.5、6.5%）の変化がせん断強度に及ぼす影響に関して検討することと繊維を混入させることから、できるだけワーカビリティを良好にするために混和剤として AE 減水剤をセメント量の 0.03% 程度用いている。また、コンクリートおよび繊維補強コンクリート作製にはフレッシュコンクリートを十分締固めるためにテーブル型振動機を用いている。しかし、 $V_f=1\%$ における繊維補強コンクリートではスランプが 3~5cm とワーカビリティが非常に悪くまたテーブル型振動機を用いたにもかかわらず、締固めに十分にできなかった。その原因として細骨材率 40% と小さな値で繊維補強コンクリートを作製した場合は特に繊維混入量がやや多くなると繊維に水分が



(a) PL の場合($V_f=0\%$)



(b) F2-5 の場合($V_f=0.5\%$)

吸収されたために、所要の単位水量を確保できなくなることが原因の一つと考えられる。そのために繊維補強コンクリートの場合が十分ワーカビリティが得られずかつ締固めることが困難になったものと推測される。

フレッシュコンクリート作製後翌日に脱型し、コンクリート養生槽で養生した。材齢 28 日における圧縮強度試験を行い、その試験結果は平均 40N/mm^2 であった。

3.4 実験装置および方法

本実験は、図 3 に示したように JCI-SF6 に準拠した直接二面せん断試験法によってせん断強度を求めていることとする。

せん断強度は万能試験機上にせん断試験装置を設置し、供試体がせん断破壊した時点で実験を終了した。その最大荷重 P を読み取り、破壊時の供試体の断面幅 b および高さ h を測定し、それらの実験結果をコンピュータに用いてデータ整理を行った。

4. 実験結果

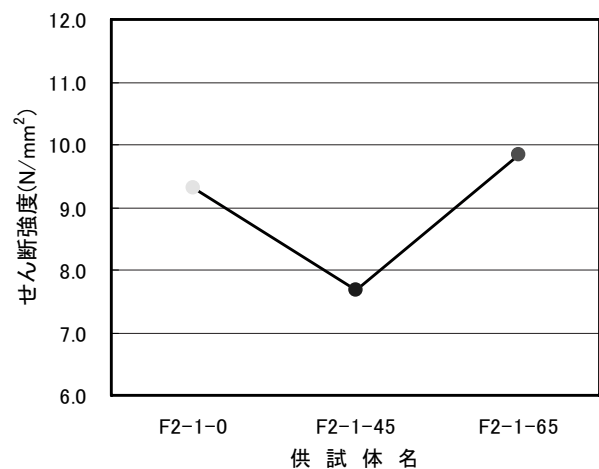
本研究は PVA 繊維補強コンクリートのせん断試験を行い、空気量 0, 4.5, 6.5%, 繊維混入率 $V_f=0, 0.5, 1.0\%$ が PVA 繊維補強コンクリートのせん断強度に与える影響に関して検討した。

コンクリートおよび繊維補強コンクリートのせん断強度 τ は JCI-SF6 より次式より求めた。

$$\tau = \frac{P}{2bh} \quad (1)$$

4.1 空気量による影響

図 4(a), (b), (c)には繊維混入率 $V_f=0, 0.5\%, 1\%$ の場合で空気量 0, 4.5, 6.5%における PVA 繊維補強コ



(c) F2-1 の場合($V_f=1\%$)

図 4 空気量の影響によるせん断強度

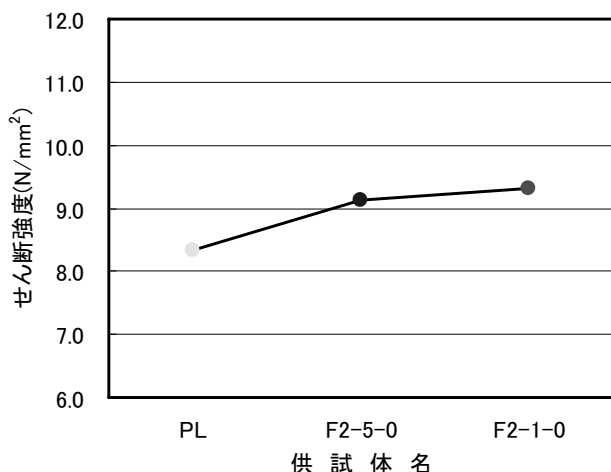
ンクリートのせん断強度を示している。

図(a)のプレーンコンクリートの場合は、PL の場合と比較して PL-45 の場合では 1.1 倍と最大値を示し、PL-65 の場合では 1.07 倍と PL-45 の場合よりもやや低めであるものの、両者は大略的に同値を示しているものと見なすことができる。

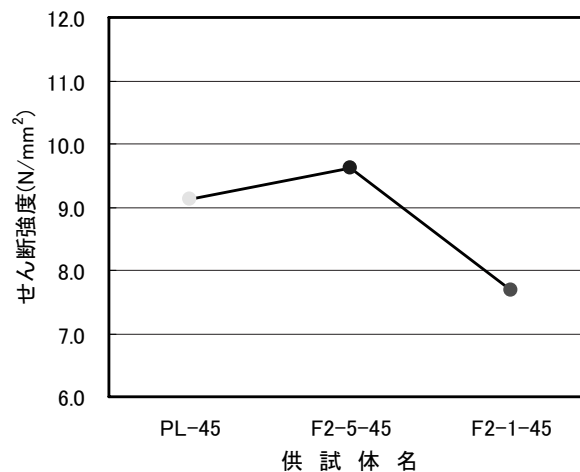
図(b)より、F2-5 のせん断強度では空気量が 0, 4.5, 6.5%と増加に従って F2-5-0 の場合よりそれぞれ約 5, 9%と僅かながら増加している。

図(c)より、F2-1-45 の場合では F2-1-0 の場合に比して約 0.82 倍となり、F2-1-65 の場合では 1.06 倍と若干増加している。2.3 で述べたように、 $V_f=1\%$ の場合は細骨材率が小さめのために十分にワーカブルでかつ締固められた繊維補強コンクリートを作製できなかったことが主な原因であると思われる。

以上より、プレーンコンクリートのせん断強度では空気量が 4.5 および 6.5%で約 9N/mm^2 前後を、 $V_f=0.5\%$ における繊維補強コンクリートの場合は空気量に比例して約 $9\sim 10\text{N/mm}^2$ の範囲の値を示していることがわ



(a) 繊維混入率による変化(空気量 0%)



(b) 繊維混入率による変化(空気量 4.5%)

かった。また、 $V_f=1\%$ における繊維補強コンクリートの場合は空気量が 6.5%で最大せん断強度を、4.5%で最小せん断強度を示していることがわかった。

4.2 繊維混入率による影響

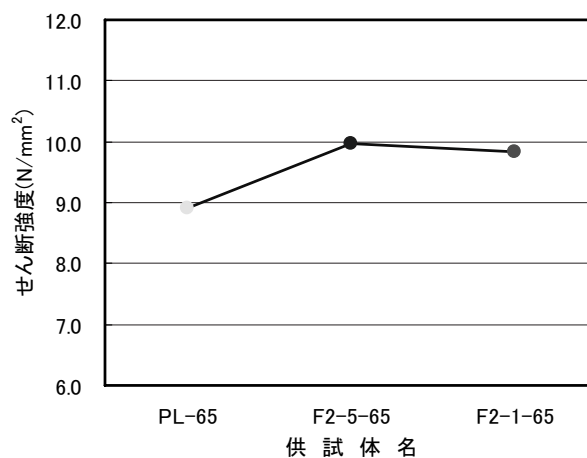
図 5(a), (b), (c)は空気量 0, 4.5, 6.5%の繊維混入率 0, 0.5, 1%に対する PVA 繊維補強コンクリートのせん断強度を示している。

図(a)は Non-AE コンクリートにおけるせん断強度を示している。各 FRC の場合は PL の場合と比して 1.1 と 1.12 倍と約 10%程度増加しているものの、両 FRC は繊維混入率の変化によってもほとんど大差が見られないことがわかる。

図(b)より、空気量 4.5%と一定とした場合では F2-5-45 の場合が最大値を示し、繊維混入量が一番多い F2-1-45 の場合が PL-45 より約 16%程度低い値を示している。これは、前述したように $V_f=1\%$ の場合では十分なワーカビリティが得られず締固めることができなかったために繊維によるアンカー効果が十分発揮することができなかったものと考えられる。

図(c)でも、図(a)の場合と同様に、PL の場合と比して 1.12 と 1.1 倍と両 FRC とともに約 10%程度増加し、両者は繊維混入率の変化によってもほとんど大差が見られないことがわかる。なお、F2-5-65 の最大せん断強度は 9.97N/mm^2 となり、他の供試体と比較して最大値を示している。

このことより、空気量 0%における繊維補強コンクリートのせん断強度は繊維混入率が大きくなるに従い、僅かながら増加していることがわかった。空気量 4.5%の場合では $V_f=0, 0.5\%$ より $V_f=1\%$ の方が小さいことが、また空気量 6.5%の場合では $V_f=0\%$ で最小値を、 $V_f=0.5$ および 1% は約 10N/mm^2 を示していることがわかった。



(c) 繊維混入率による変化(空気量 6.5%)

図 5 繊維混入率の影響によるせん断強度

4.3 プレーンコンクリートおよび PVA 繊維補強コンクリートのせん断破壊状況

図 6(i)-(iv)には PL, F2-5-0, F2-5-45, F2-1-65 の場合のプレーンおよび PVA 繊維補強コンクリートのせん断破壊状況を示している。図(a)では荷重を、図(b)では最大荷重時の各供試体のひび割れ状況を、図(c)にはせん断破壊状況を示している。

図 6(i)における最大荷重時の各供試体のひび割れ状況は荷重台が供試体の上下の荷重部分のエッジ部分に食い込んでいることと上部には若干剥離も見られる。図(c)のせん断破壊時には上部右側に顕著な剥離と破断予定面にはひび割れが発生していることがわかる。本論文には示していないが、破壊状況に到達した後、さらに荷重を増加し供試体を破断させた。その結果、PL の場合は荷重部分から脆性的に 3 つに分割された。

図 6(ii)の場合では最大荷重時に上部荷重台近傍にひび割れが発生している。これは供試体が下部の荷重台近傍部分に食い込み、この部分が固定端となり荷重



(a) 載荷前



(b) 最大荷重時のひび割れ状況



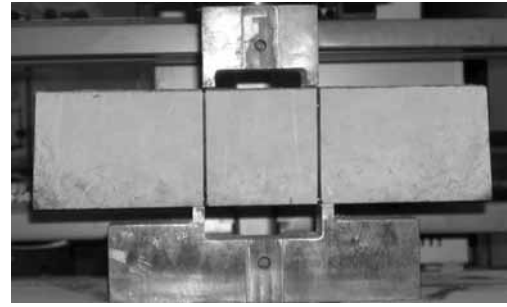
(c) せん断破壊状況

図 6(i) PL のせん断破壊状況

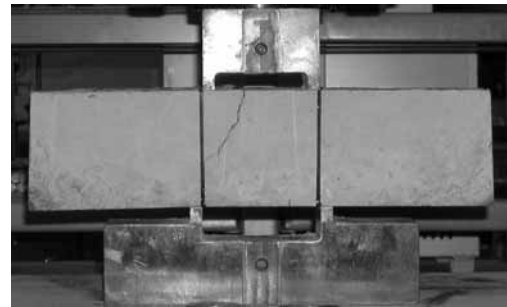
台上部側に引張力が発生したと思われる。しかし、全体として、供試体は破壊予定面で破断していることから、純せん断力に近い状況であるものと見なされる。また、前述したように、プレーンコンクリートは脆性的な破壊を示しているものの、PVA 繊維補強コンクリートではプレーンコンクリートとは異なり靱性的な破壊を示していることがわかる。

図 6(iii)の場合では PL の場合と同様に、荷重を増加すると上下の載荷台が F2-5-45 供試体に食い込み始めるものの、最大荷重時でも供試体表面にひび割れが未だ発生していないことがわかる。その後、その供試体にはひび割れが破壊予定断面に沿って発生し、せん断破壊に至っていることがわかる。

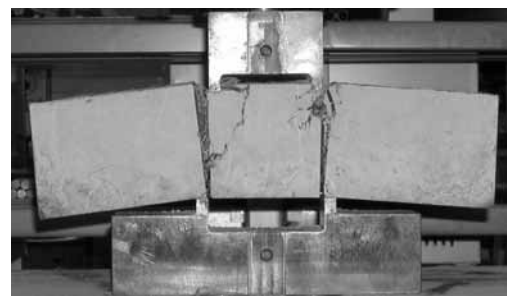
図 6(iv)の場合は最大荷重時では F2-1-65 供試体には顕著なひび割れが未だ発生していないことがわかる。その後、載荷を保持し続けると、(c)図に示したように両破壊予定面にほぼ沿ってひび割れが発生してせん断



(a) 載荷前



(b) 最大荷重時のひび割れ状況



(c) せん断破壊状況

図 6(ii) F2-5-0 のせん断破壊状況

破壊に至っていることがわかる。

以上より、プレーンコンクリートと PVA 繊維補強コンクリートのせん断破壊状況とを比較すると、プレーンコンクリートの場合は脆性的な破壊を、PVA 繊維補強コンクリートの場合は PVA 繊維における架橋およびアンカー効果によって靱性的な挙動を示すことがわかった。各コンクリートのせん断破壊状況は繊維混入率や空気量による影響がそれ程顕著に受けていないことがわかった。

5. おわりに

本研究では PVA 繊維を用いた FRC 梁を作製し、純せん断強度に近似的な値を求めることができる直接二面せん断強度試験 G 法を用いて、空気量および繊維混入率が FRC 梁のせん断強度に及ぶ影響に関して検討した。その結果を以下のようにまとめた。



(a) 載荷前



(b) 最大荷重時のひび割れ状況



(c) せん断破壊

図 6(iii) F2-5-45 のせん断破壊状況



(a) 載荷前



(b) 最大荷重時のひび割れ状況



(c) せん断破壊

図 6(iv) F2-1-65 のせん断破壊状況

- 1) 空気量が及ぼすプレーンコンクリートのせん断強度は PL-45 の場合が最大値を示し、一方、PL-45 と PL-65 の場合と比較すると、両者に大差がなくほぼ同値と見なすことができる。 $V_f=0.5\%$ の場合では空気量に比例してせん断強度が増加し、 $V_f=1\%$ における F2-1-45 の場合は最小値を示していることがわかった。
- 2) 空気量 0% における繊維補強コンクリートのせん断強度は繊維混入率が大きくなるに従い、僅かながら増加していることがわかった。空気量 4.5% の場合では $V_f=0$ 、0.5% より $V_f=1\%$ の方が小さいことが、また空気量 6.5% の場合では $V_f=0\%$ で最小値を、 $V_f=0.5$ および 1% は約 10N/mm^2 と同値を示していることがわかった。
- 3) プレーンコンクリートと PVA 繊維補強コンクリートのせん断破壊状況とを比較すると、プレーンコンクリートの場合はひび割れ発生直後に脆性的

な破壊を、PVA 繊維補強コンクリートの場合は PVA 繊維の架橋およびアンカー効果によって靱性的な挙動を示すことがわかった。また、各コンクリートのせん断破壊状況は繊維混入率や空気量による影響がそれ程顕著に受けていないことがわかった。

以上の実験結果より、空気量および繊維混入率が PVA 繊維補強コンクリート梁のせん断強度に及ぼす影響を明確にすることができなかった。その原因は繊維混入率の増加、細骨材率が小さいこと、AE 減水剤の少量が流動性の低下の主な原因であるものと考えられ、所要のスランプが配合設計どおり得ることができなかった。今後は高流動性の効果が期待できる高性能 AE 減水剤の混入や細骨材率の増加によって、コンシステンシーの改善を図り再検討する予定である。

【謝辞】

本論文は平成 17 年度に行った課題研究の実験結果に基づいてまとめたものである。本実験に携わった本学の学生諸君および PVA ファイバーを提供してくれた株式会社クラレの保城秀樹氏へここに感謝の意を表します。

【参考文献】

梅山和成, 岡村雄樹, 小林一輔(1979): 鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度試験方法について, 第 1 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.413-416.

梅山和成, 岡村雄樹, 小林一輔(1980): 鋼繊維補強コンクリートの曲げ靱性の評価方法, 第 2 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.201-204.

Colin D. Johnston (2001): Fiber Reinforced Cements and Concretes, Gordon and Breach Science Publishers.

Banthia, N., Sheng, J. (1996): Fracture Toughness of Micro-Fiber Reinforced Cement Composites, Cement & Concrete Composites 18, pp.251-269.

三上敬司(2004): 曲げを受ける繊維補強コンクリート梁の静的曲げ性状, 農業土木北海道第 26 号, pp.44-52.

三上敬司(2004): 繊維補強コンクリート梁の曲げ靱性に関する実験的研究, 専修大学北海道短期大学環境科学研究所報告, 第 26 号, pp.27-35.

東洋一, 磯健一, 大久保全陸(1979): コンクリートのせん断強度試験法に関する実験的方法, 第 1 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.12-16.

魚本健人, 峰松敏和(1981): コンクリートのせん断強度試験方法に関する基礎的研究, コンクリート工学(論文), Vol.10, No.4, pp.106-117, 4 月.

峰松敏和, 小林一輔, 魚本健人(1981): 鋼繊維補強コンクリートのせん断特性, 第 3 回コンクリート工学年

次講演会論文集, pp.193-196.

河野浩, 堀井克章, 雪本清浩(1983): 鋼繊維補強コンクリートのせん断強度に関する検討, 第 5 回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.5-8.

Ingraffea, A. R., Panthaki, M. J.(1985): Analysis of "Shear Fracture" Tests of Concrete Beams, Seminar on Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structure, Vol.1, pp.71-91, May.

日本コンクリート工学協会(1984): 繊維補強コンクリートの試験方法に関する基準, pp.11~17.

野口貴文(2001): コンクリートの非線形性状—圧縮・引張・曲げ・せん断実験—, コンクリート工学, Vol.39, No.9, pp.110-114.

Vecchio, F. J., Collins, M. P.(1986): The Modified Compression-Field Theory for Reinforced concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, Vol.83, No.2, pp.219-231.

田中浩, 吉武勇, 山口佳起, 浜田純夫(2003): 純せん断力を受けるコンクリート要素の強度に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, No.746/V-61, pp.205-214, 11 月.

田中浩(2004): 純せん断力を受けるコンクリートの強度に関する研究, クリモト技報, No.51, pp.7-15, 9 月.

吉武勇, 本庄一貴, 久部修弘, 田中浩, 浜田純夫(2006): 純せん断力を受けるコンクリート要素の破壊挙動に関する実験的研究, 土木学会論文報告集 E, Vol.62, No.1, pp.29-37, 2 月.

土木学会編(2005): 平成 2005 年度版コンクリート標準示方書 (規準編), pp.260~261.

株式会社クラレ(2002): クラテックの技術解説書.

株式会社クラレ産業資材事業部(2002): PVA 繊維を用いた高靱性型セメント系複合材料.