

論文 PVA-ECC 梁部材のせん断性能に関する実験研究

清水 克将^{*1}・金久保 利之^{*2}・閑田 徹志^{*3}・永井 寛^{*4}

要旨: PVA-ECC を用いた梁部材を対象として、大野式加力によるせん断実験を行った。実験因子は PVA 繊維の体積混入率および筋筋の量である。加力実験の結果、すべての試験体で曲げ降伏前にせん断破壊が見られ、筋筋の降伏および PVA-ECC のせん断ひび割れ幅の拡大にともなって耐力が低下した。実験により得られた最大荷重は、PVA 繊維の体積混入率および筋筋の量の増加にともなって増大した。最大荷重時の筋筋の歪はおおむね降伏歪に達しており、数千 μ の歪が確認された試験体もあった。

キーワード: 高靱性セメント複合材料、せん断強度、筋筋歪、せん断ひび割れ

1. はじめに

高靱性セメント複合材料（以下、DFRCC）を構造的要素として使用するために、鉄筋補強されたDFRCC部材の加力実験が行われている^{例え}^{ば¹⁾}。これらの実験では、制振デバイスや耐震壁、境界梁と言った部材に着目した実験が行われていることが多く、エネルギー吸収部材とした設計が前提のため、部材実験でも曲げ降伏先行型の試験体の結果が多い。一方で、DFRCC部材設計のためには曲げ性状とともに部材のせん断性状も重要であると考えられるが、現状では例えばせん断設計をどのように行えばよいのか等、不明な点も多い。本研究ではDFRCCとしてPVA繊維を使用した Engineered Cementitious Composites（以下、PVA-ECC）に着目し、鉄筋補強したPVA-ECC梁部材を対象として、大野式加力による逆対称モーメントせん断実験を行った。実験因子はPVA繊維の体積混入率および筋筋の量である。

2. 使用材料

2.1 PVA-ECC

使用繊維は PVA で、体積混入率を 1.0、1.5、2.0%とした。繊維の力学的性質（メーカー値）を**表-1**に、調合計画を**表-2**に示す。また、100

ϕ -200mm シリンダーによる圧縮試験結果を**表-3**に示す。また比較のために目標強度 36MPa の普通コンクリートを使用した試験体も計画した。普通コンクリートの調合計画、圧縮試験結果もあわせて表中に示す。

表-1 使用繊維

種類	繊維長 (mm)	繊維径 (mm)	破断強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
PVA	12	0.04	1600	40

表-2 調合計画

名称	繊維体積混入率 (%)	水結合材比 (%)	骨材結合材比	計画空気量 (%)
PVA10	1.0	42.7	0.74	10
PVA15	1.5	42.7	0.73	10
PVA20	2.0	42.7	0.71	10
NC	-	48.5	5.11	5.0

表-3 圧縮試験結果

種類	圧縮強度 (MPa)	圧縮強度時歪 (%)	弾性係数 (GPa)
PVA10	37.3	0.35	17.8
PVA15	35.7	0.35	16.3
PVA20	39.1	0.36	19.5
NC	39.0	0.23	26.2

2.2 鉄筋

梁試験体の主筋には異形鉄筋 D13 (SD685)

^{*1} 筑波大学大学院 理工学研究科（正会員）
^{*2} 筑波大学講師 機能工学系 博士（工学）（正会員）
^{*3} 鹿島建設（株） 技術研究所建築生産グループ上席研究員 Ph.D.（正会員）
^{*4} 鹿島建設（株） 技術研究所建築構造グループ主任研究員 工修（正会員）

0.30%の試験体をそれぞれ製作した。また、普通コンクリートを用いた試験体（NC）も同様の3種類の筋筋比で製作した。筋筋比 0.15%の試験体の形状および配筋を図-1 に、試験体一覧を表-5 に示す。いずれの試験体も曲げ破壊に先行してせん断破壊するように計画した。

名称	降伏 強度 (MPa)	弾性 係数 (GPa)	降伏 歪 (μ)	破断 伸び (%)
D13 ^{*1}	719.7	190.5	3779	9.8
D13 ^{*2}	719.0	193.2	3721	14.5
D4 ^{*3}	294.5	192.7	1528	27.4

PVA 試験体の製作は、PVA-ECC 梁試験部分を水平打設（加力方向直交方向：図中▼が打設方向）した後、スタブに普通コンクリートを打設し製作した。PVA-ECC 試験部分のスタブ内にはコッターを設け、スタブとの一体性の確保に努めた。なお普通コンクリートを用いた試験体は一体打ちで製作した。

3.1 試験体

3.2 加力・計測方法

加力は大野式一方向載荷とし、加力梁を取り付けた 2MN ユニバーサル試験機により加力を行った。計測項目は全体変形、局部曲げ変形・

[illegible]

せん断変形, 主筋歪, 肋筋歪および荷重とした。
鉄筋歪の測定位置は, 図-1 中に示す■である。

4. 実験結果

4.1 破壊性状

NC-30 試験体を部材角 $1/33\text{rad}$ まで加力した後のひび割れ状況と, PVA10-30, PVA15-30 および PVA20-30 試験体を $1/22\text{rad}$ まで加力した後のひび割れ状況を図-2 に示す。なお, ひび割れ状況におけるひび割れ線は部材角 $1/100\text{rad}$ までに発生したひび割れを示す。いずれの試験体においても, 部材角 $1/400\text{rad}$ 程度までに, 曲げ

ひび割れおよびせん断ひび割れが順次発生した。PVA-ECC を使用した試験体では, 複数ひび割れが観察され, 最大荷重以前において最大せん断ひび割れ幅が NC 試験体に比べて小さい傾向にあり, ひび割れ幅抑制効果が見られた。最大強度付近になると, PVA-ECC を用いた試験体においてもひとつのせん断ひび割れに変形が局所化し始め, 最大荷重に達すると耐力低下し, せん断破壊した。変形の局所化が生ずると, 他の位置でのひび割れ幅は減少する傾向が観察された。なお, 全試験体において, 主筋の降伏は確認されなかった。

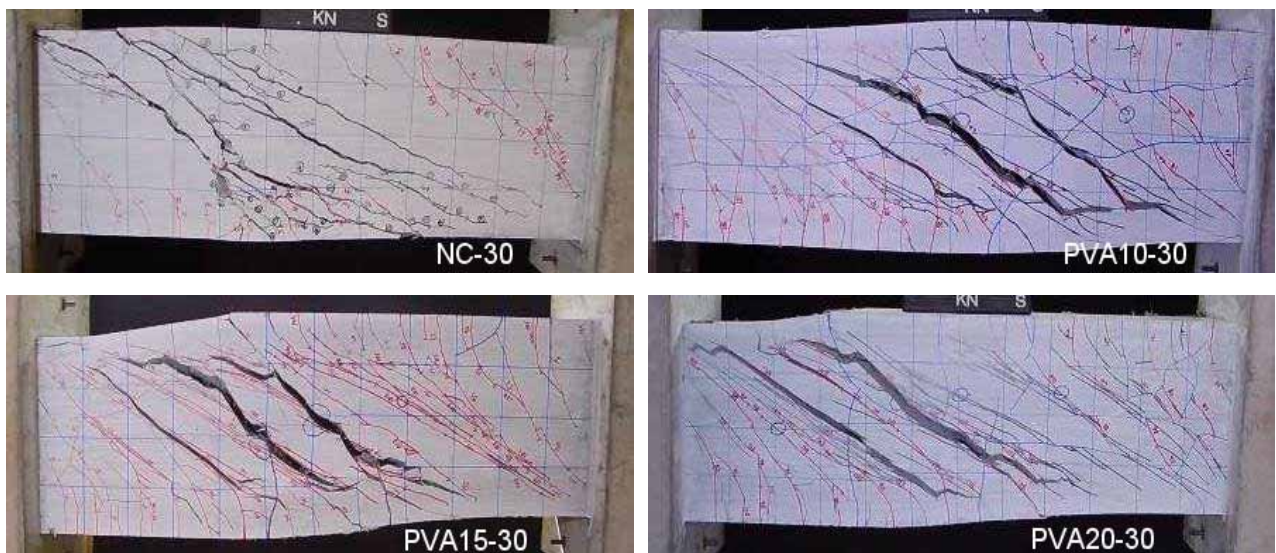


図- 2 ひび割れ状況

表- 6 実験結果一覧

試験体名	ひび割れ発生荷重		最大荷重 (kN)	最大荷重 時部材角 ($\times 10^{-3}\text{rad}$)	せん断終 局強度 計算値 (kN)
	曲げ (kN)	せん断 (kN)			
NC-00	43.6	97.5	116.4	5.05	78
NC-15	36.9	69.4	104.8	6.93	98
NC-30	41.9	74.3	132.3	12.01	117
PVA10-00	26.1	66.7	123.9	6.44	76
PVA10-15	20.4	55.3	144.8	8.07	95
PVA10-30	18.8	60.5	171.5	11.75	115
PVA15-00	31.1	66.6	142.8	9.11	74
PVA15-15	42.4	63.7	169.7	11.01	93
PVA15-30	27.9	123.7	182.9	11.64	113
PVA20-00	17.0	36.3	182.7	10.90	78
PVA20-15	20.8	33.0	205.8	13.82	98
PVA20-30	19.8	90.6	208.6	12.62	117

4.2 最大荷重

表-6 に実験結果一覧を示す。なお、せん断終局強度計算値は日本建築学会終局強度型設計指針 A 法によるせん断強度（PVA-ECC 試験体は、圧縮強度が等しい鉄筋コンクリート梁部材と仮定して算出）により算出した。また、各試験体の最大荷重実験値を比較して、図-3 に示す。

肋筋のないPVA15-00 およびPVA20-00 試験体の最大荷重は、肋筋比 $p_w=0.30\%$ のNC-30 の最大荷重を上回っており、繊維混入によるせん断補強効果が認められた。また、繊維混入率の増加および肋筋比の増加にともない最大荷重が増加する傾向が見られた。肋筋比の増加による最大

荷重の増加割合はPVA試験体間で同程度に、また繊維混入率の増加による最大荷重の増加割合も各肋筋比試験体間で同程度になっている。

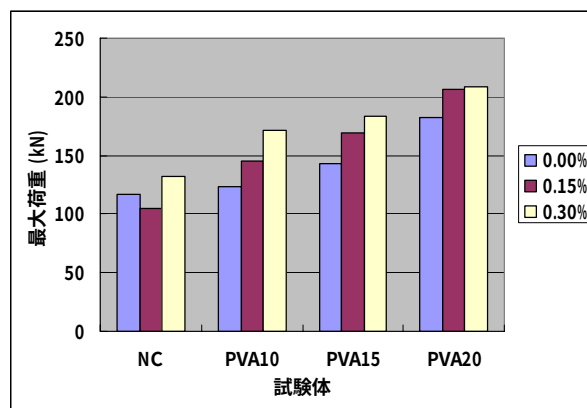


図-3 最大荷重の比較

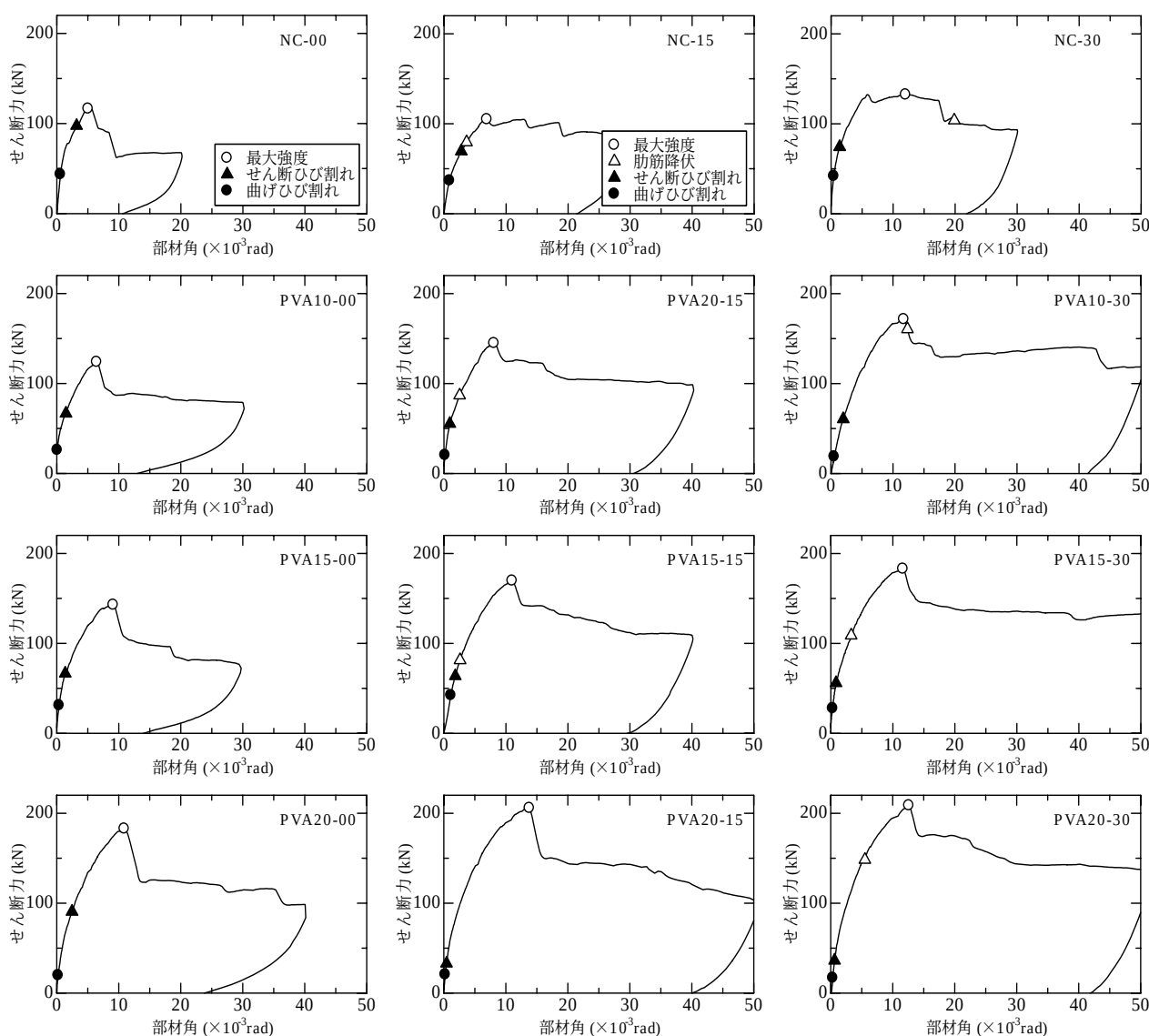


図-4 せん断力-部材角関係

4.3 セン断力一部材角関係

全試験体のせん断力一部材角関係を図-4 に示す。図中には、曲げひび割れ、せん断ひび割れ発生点、肋筋降伏点、最大荷重点を示した。初期剛性は NC 試験体が高く、ひび割れ発生後の剛性は PVA 試験体のほうが高い。最大荷重時の部材角はおおむね $1/100\text{rad}$ 程度である。PVA 試験体では最大荷重以降耐力低下が見られ、せん断ひび割れの拡大、変形の局所化に対応している。肋筋の降伏は、PVA 該当試験体 6 体中 4 体で最大荷重到達前に観察された。なお、肋筋の歪も変形の局所化にともない一端増加した後減少する場合が見受けられた。

4.4 肋筋の歪

各試験体の肋筋の歪分布を図-5 に示す。なお、図中の破線は肋筋の材料試験結果より得られた降伏歪であり、グラフ横軸のゲージ位置は梁試験区間左端からの距離を示している。

ほとんどの試験体で最大荷重時において降伏歪に達している箇所が見られ、その位置は梁端から $100\sim 300\text{mm}$ であった。最大荷重時の歪は降伏が見られた試験体で、およそ $3000\sim 7000\ \mu$ であった。また、最大荷重時後の $1/50\text{rad}$ の歪分布では、歪値が減少する箇所が多く見受けられた。

5. まとめ

PVA-ECC を用いた梁部材のせん断実験を行った結果、以下のような知見を得た。

- 1) 全試験体とも、PVA-ECC のせん断ひび割れ幅の拡大、変形の局所化にともなって耐力が低下した。
- 2) 肋筋のない PVA 試験体の最大荷重は、肋筋比 $p_w=0.30\%$ の普通コンクリート試験体の最大荷重を上回っており、繊維混入によるせん断補強効果が認められた。
- 3) 最大荷重は肋筋量および繊維混入量の増加にともない上昇する。
- 4) 肋筋の歪は、最大荷重時でおよそ $3000\sim 7000\ \mu$ であった。

謝辞

実験の実施にあたっては、筑波大学大学院八十島章氏の協力を得た。

参考文献

- 1) H. Fukuyama, H. Suwada, Y. Ilseung : HPFRCC Damper for Structural Control, Proceedings of the JCI International Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC 2002), pp.219-228, 2002.10