

PVA-ECCのひび割れ面でのせん断伝達機構と部材のせん断耐力評価 EVALUATION OF SHEAR STRENGTH FOR PVA-ECC MEMBER AND SHEAR TRANSFER MECHANISM ON CRACK SURFACE

清水克将*, 金久保利之**, 閑田徹志***, 永井 覚****
*Katsuyuki SHIMIZU, Toshiyuki KANAKUBO, Tetsushi KANDA
and Satoru NAGAI*

In this research, PVA-ECC (Engineered Cementitious Composites with Polyvinyl alcohol fiber), which is one of the composites showing pseudostrain hardening behavior in uniaxial tension, is focused. Method of single plane shear test under tensile stress as normal stress on crack surface is conducted to clarify shear transfer mechanism on crack surface. From the test results, tensile shear strength on crack surface is about half of uniaxial tensile strength. This means that normal stress for crack surface is possible to keep tensile strength under shear. Predicting method for shear strength of beams is proposed based on multiplying the reduction coefficient for tensile strength obtained from evaluation of tensile properties using bending test. The reduction coefficient derived from beam test results is 0.41.

Keywords : PVA-ECC, Shear, Single plane shear, crack surface

PVA-ECC, せん断, 一面せん断, ひび割れ面

1. はじめに

ECC (Engineered Cementitious Composite)¹⁾ に代表されるような、短繊維を混入させたセメント複合材料の実用化に向けた研究開発が盛んに行われている。この材料は、ひび割れ面において繊維が力の架け橋となることで応力を伝達し、引張応力下で初期ひび割れ以降にひび割れを分散発生（マルチプルクラック）させながら応力上昇し、数%程度まで変形する擬似歪硬化特性を示す。このような特長を生かした実構造物への適用例が近年報告されている。例えば、個々のひび割れ幅が極めて小さく抑えられるマルチプルクラック特性による低い物質透過性を期待した表面保護や、引張力負担を期待した下面増厚補強などである²⁾。また、建築構造部材への適用としては、ECC と鉄筋との併用による高いエネルギー吸収能力に期待し、境界梁への適用が報告されている³⁾。

このように ECC は従来の鉄筋コンクリート（以下、RC）構造の性能を躍進させる可能性を秘めた材料として期待されているが、材料性能の評価から構造設計へのプロセスが未だ確立されておらず、ECC の利用拡大への障壁となっている。その障壁の要因として、ECC の特長である引張性能の評価方法が未確立であるということ、ECC の構造部材中での挙動に未解明な部分が多いこと、さらに引張性能

を定量化し構造設計へ取り込むためのバックデータが不足していることなどが挙げられる。1つ目の問題に関して、これまで ECC の引張性能を得る手段として各機関、研究者によって様々な直接引張試験方法が提案されてきた。しかしながら、直接引張試験は多くの時間と労力を要するため一般化することが困難であり、また得られる引張性能が試験方法によって異なること⁴⁾ などが報告されており、より容易に実施可能でベンチマークとなりうる試験方法の確立が模索されてきた。そこで著者らは ECC の引張性能の簡便な評価方法として、曲げ試験による引張性能評価法を提案し、PVA 繊維を用いた ECC（以下、PVA-ECC）における本評価法の適用性について検討を行った⁵⁾。その結果、本評価法により引張性能を十分評価可能であることを示した。本論文では、構造性能の評価法の確立に資することを目的とし、特に部材のせん断耐力について、曲げ試験により得られた引張特性値による評価方法を論じる。

これまで、ECC 部材のせん断耐力の評価法については、日本コンクリート工学協会の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、土木学会の超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案）などにより提案されている。いずれも従来の RC 部材のせん断強度式であるトラス・アーチ式を基に ECC の引張強度

* 元筑波大学大学院システム情報工学研究科 大学院生

** 筑波大学大学院システム情報工学研究
准教授・博士(工学)

*** 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.

**** 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

Former Graduate Student, GSSIE, University of Tsukuba
Assoc. Prof., GSSIE, University of Tsukuba, Dr. Eng.

Chief Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, Ph. D.

Senior Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, M. Eng.

を累加する形を採っているが、力学的根拠による裏づけを示すに至っていない。その理由として、ECCのひび割れ面でのせん断伝達機構が未解明であること、ECC部材がエネルギー吸収部材への適用を目的としていたため、バックデータとなるせん断破壊した部材のデータが僅少であることなどが挙げられる。本論文では、引張応力下において、擬似歪硬化性状を示すPVA-ECCに着目し、ひび割れ面でのせん断伝達機構の解明を目的とした、引張力下での一面せん断試験を実施し検討を行った。また、せん断破壊型のPVA-ECC梁部材の曲げせん断試験を行い、せん断耐力の評価方法について検討を行った。

2. 一面せん断実験

RCのひび割れ面におけるせん断伝達機構に関する研究は古くからなされており、せん断力の主な抵抗機構としては、骨材やコンクリート面での噛み合い、鉄筋のダウエル作用などが挙げられる。例えば李らは、ひび割れ面の形状を確率密度関数で表現し、ひび割れ面におけるせん断応力と圧縮応力の関係を提案している⁶⁾。ECCにおいては、粗骨材を使用しないため骨材の影響は比較的少ないと考えられ、ひび割れ面において繊維が架橋することでせん断伝達されるため、そのメカニズムを把握する必要がある。例えばKabeleは、せん断伝達強度は一軸引張強度程度を有することを解析的に求めている⁷⁾が、直接せん断加力試験による実験的検討はなされていない。そこで本章では引張力下でのせん断加力試験を行い、ECCのひび割れ面におけるせん断伝達機構について考察する。

2.1. 使用材料

使用したPVA繊維の形状および力学性能は、長さ12mm、径0.04mm、引張強度1690MPa、弾性係数40600MPaである。使用材料の調合計画を表1に示す。使用した結合材は普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュ（JIS A 6201に規定するⅡ種）である。細骨材としては、比表面積が2500cm²/gの石灰石砕砂を用いた。PVA繊維の体積繊維混入率 V_f は、2.0%（PVA20）および1.5%（PVA15）の2種類とした。PVA15は、表1に示すPVA20の調合を基に繊維量のみを減じて計画した。PVA-ECCの練混ぜ方法およびフレッシュ性状については文献8)を参照されたい。試験体の打設は、均一かつ連続的に打ち込み、打ち継ぎによる繊維の不連続性がないよう配慮した。養生方法は練り上がり後に蒸気養生（最高温度35℃、8時間）を施し、その後封緘養生を行った。表2にPVA-ECCの力学特性を示す。引張特性は、曲げ試験による引張性能評価法により得られた結果に、既報⁹⁾により得られた低減係数（引張強度が0.82、終局歪が0.85）を乗じたものである。体積繊維混入率が圧縮特性に与える影響は小さいが、引張特性に与える影響が大きく、引張強度がPVA20で4MPa程度、PVA15で2MPa程度であった。

2.2. 実験概要

一面せん断試験体の形状を図1に示す。100×100×400mmの角柱試験体の中央部に高さ15mmの切欠きを設け、両端には引張力を伝達するためにM16ネジ棒を挿入した。試験体はPVA20が6体、PVA15が4体である。加力は、図2に示す試験装置⁹⁾により行い、試験体に2本の油圧ジャッキによりネジ棒を介して引張力を与え、切欠き

表1 調合計画

名称	水結合材比* W/B	砂結合材比* S/B	単位水量 W (kg/m ³)	体積繊維混入率 V _f (%)	空気量 (%)
PVA20	0.43	0.76	357	2.0	10

* 結合材重量のうち、セメント：フライアッシュ JIS2種=0.7：0.3

表2 PVA-ECCの力学特性

名称	圧縮特性		引張特性*	
	割線剛性 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	終局歪 (%)
PVA20	16.7	42.5	3.93	0.91
PVA15	16.2	40.1	1.98	0.36

* 引張性能評価法により得られた結果に低減係数を乗じたもの。低減係数は既報⁹⁾により引張強度は0.82、終局歪は0.85である。

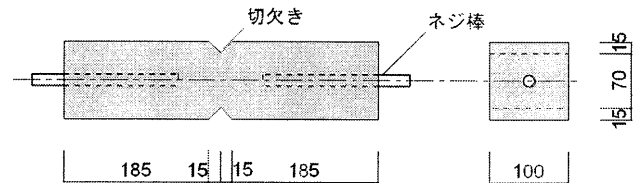


図1 一面せん断試験体形状

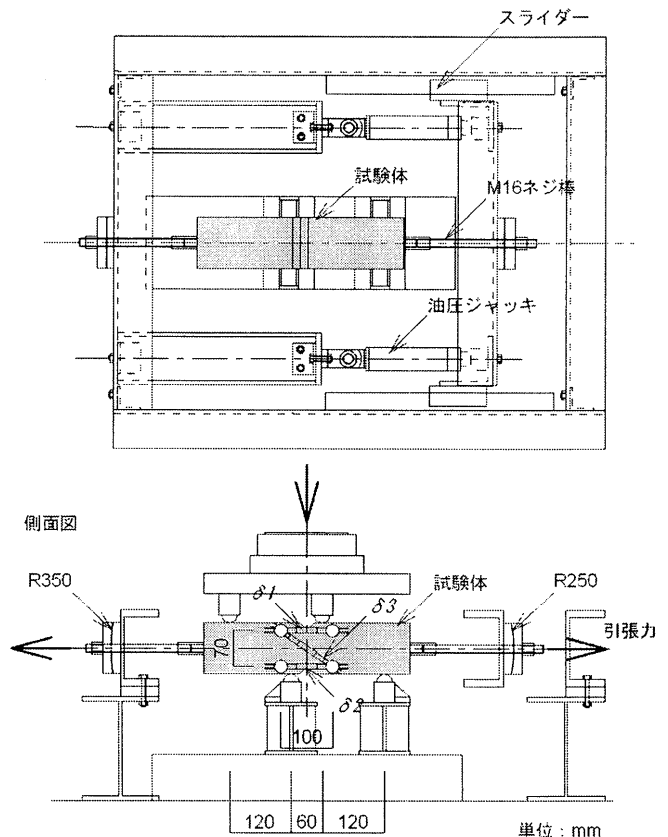


図2 一面せん断試験装置

にひび割れを発生させ（予亀裂導入引張加力）、目標の軸方向変位に到達した時点でその引張力を維持したまま一面せん断加力を行う。一面せん断加力は、比較的容易に実施可能なルーマニア式直接せん断試験方法¹⁰⁾を採用した。なお、両端に曲率半径（R）350mmお

よび 250mm の回転支承を設置し、せん断変形による試験体の回転を許容させた。変位計測は試験体の表裏にそれぞれ取り付けられた3つのパイ型変位計(図2参照)により、以下の式から軸方向変位 w およびせん断変位 δ_s を算出した。

$$w = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \quad (1)$$

$$\delta_s = \frac{122}{70} \cdot \left(\delta_3 - \frac{100}{122} \cdot \left(\frac{\delta_1 + \delta_2}{2} \right) \right) \quad (2)$$

ここで、

δ_1, δ_2 : 上下に取り付けた変位計の変位(mm)

δ_3 : 斜め方向の変位計の変位(mm)

実験因子を目標軸方向変位としているが、実際に加力を行う際に目標軸方向変位をコントロールすることは非常に困難である。つまり、過度に軸方向変位を与えた試験体や繊維混入率の少ない PVA15 試験体においては、予亀裂導入引張加力時において引張破壊する恐れがある。本実験では、可能な限り目標軸方向変位を変動させて実験を行うこととし、引張破壊した実験結果は省くこととした。

2.3. 実験結果

一面せん断試験結果一覧を表3に、せん断応力/定引張応力-軸方向変位およびせん断変位関係を図3に示す。せん断応力はせん断力を切欠き部の断面積で除した平均応力とし、せん断力は引張力による $P-\delta$ 効果を考慮して算出した。なお試験体 No.は、引張加力時に経験した軸方向変位(経験軸方向変位 w_{exp})が小さいものから順次つけた。図3より、PVA20の試験体では全ての試験体で、ある剛性を示して荷重が増加し、せん断応力/定引張応力が0.3~0.4程度まで上昇すると剛性が低下し、せん断応力を一定に維持したまま変形が生じている。その後、軸方向変位が小さい試験体(No.1~No.4)では、せん断変位0.4mm付近で応力上昇し、その後破壊に至っている。経験ひび割れ幅の大きい試験体(No.5, No.6)では、応力上昇はほとんど見られず、破壊に至っている。一方、PVA15の試験体では、変形およびせん断応力が比較的小さいレベルで破壊に至っていることから、繊維混入率による引張性能の違いが、せん断伝達特性に影響を与えていることが考えられる。

加力終了後のひび割れ状況を図4に示す。PVA15の試験体ではひび割れは目視上1本であった。一方、PVA20の試験体では、切欠きを結ぶひび割れに加え、せん断加力支点間を結ぶ微細なひび割れが生じているものが多くあり、最終的に圧縮ストラットが形成されているものと考えられる。

2.4. 考察

実験結果から本実験は、次のような破壊過程を経ているものと考えられる。図5に一面せん断試験の破壊過程の概略を示す。①引張加力によりひび割れを発生させ、②目標のひび割れ幅まで加力する。ただし、この時点では、ひび割れが断面全体に貫通しておらず、上端側にひび割れが偏って生じる場合が多い。これは、本試験方法では、両端ピ

表3 一面せん断試験結果

試験体名	定引張応力 $\sigma_{t,cons}$ (MPa)	目標 軸方向変位 w_{exp} ^{*1} (mm)	引張 せん断強度 τ ^{*2} (MPa)	せん断強度 τ_{max} (MPa)	
PVA20	No.1	3.58	0.0245	1.87	2.62
	No.2	3.86	0.0495	1.79	2.52
	No.3	3.84	0.0598	1.84	2.70
	No.4	4.25	0.121	1.73	2.89
	No.5	3.72	0.124	1.43	1.43
	No.6	4.28	0.161	1.13	1.13
PVA15	No.1	2.14	0.0918	1.15	1.78
	No.2	2.47	0.108	1.56	1.56
	No.3	2.44	0.122	1.25	1.57
	No.4	2.59	0.162	1.19	1.19

*1 予亀裂導入引張加力時に経験した軸方向変位 *2 せん断応力-せん断変位関係における降伏棚の応力

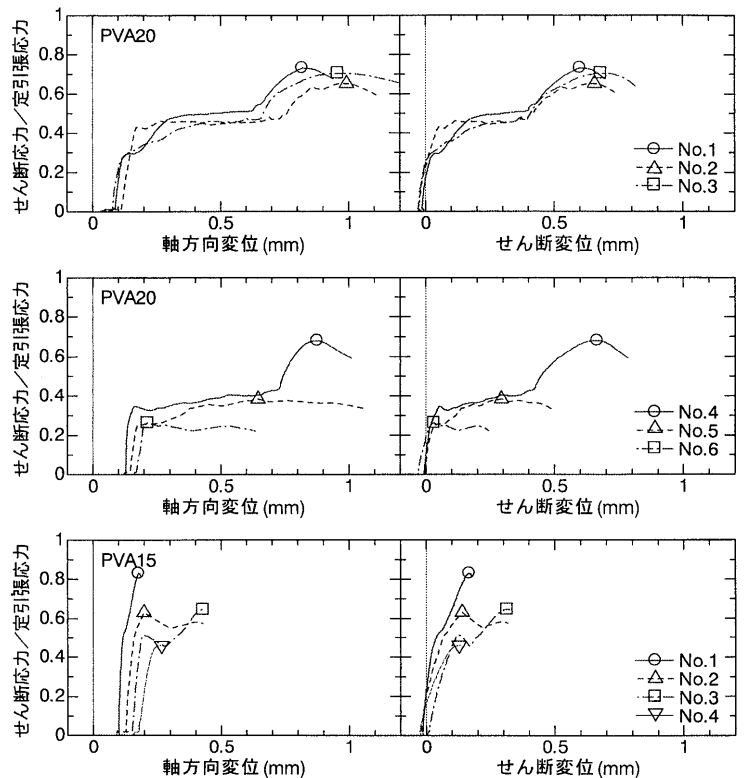


図3 せん断応力/定引張応力-軸方向変位, せん断変位関係

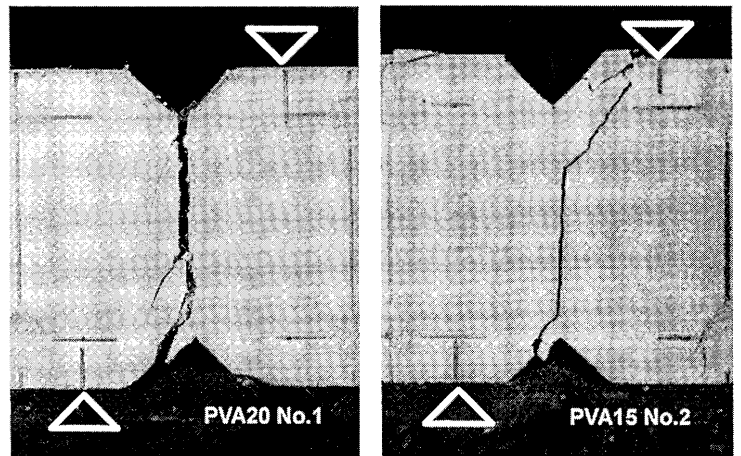


図4 加力終了後のひび割れ状況

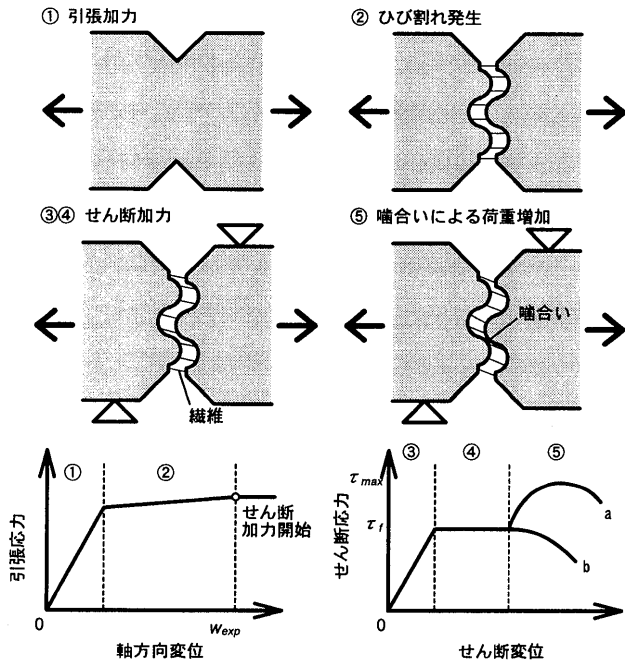


図5 一面せん断試験の破壊経過

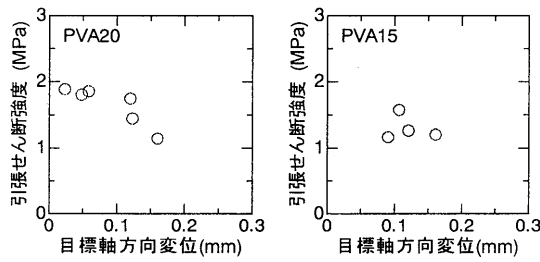


図6 引張せん断強度－目標軸方向変位関係

ン支持での引張加力となるため、二次曲げの影響を多大に受け、一様に引張加力を行えないことによる。その後、③せん断加力させ、断面全体にひび割れが貫通した時点で、④剛性が低下し、応力一定のまま変形が進む。ある程度変形が進むと⑤aマトリックスの噛合いが生じて応力上昇し破壊に至る。ここで、目標軸方向変位が大きい試験体では、引張加力による損傷が大きいため、噛合いに至らずに引張破壊する(⑤b)。

④の状態の時、すなわちマトリックスの噛合いが生じる前では、繊維の引張力のみがせん断力に抵抗していると考えられる。そこで、噛合いが生じる直前の応力を引張せん断強度と呼ぶこととする。図6に引張せん断強度－目標軸方向変位関係を示す。PVA20の目標軸方向変位が0.1mm以下の試験体では、引張せん断強度が1.8MPa程度であるが、目標軸方向変位が0.1mmを超える試験体では引張せん断強度が小さく、1.3MPa程度であった。またPVA15では、目標軸方向変位が0.1mmより大きい試験体がほとんどであり、引張せん断強度は1.3MPa程度であった。以上のことから、ひび割れ面において垂直応力に引張力が作用する場合の引張せん断強度は、定引張応力がほぼ引張強度程度であることを考慮すると、引張強度の1/2程度を有すると考えられる。逆に、ひび割れ面にせん断ずれが生じても、ひび割れ面に対する垂直応力として引張強度程度を維持できると考えることもできる。せん断変形がさらに進行する場合には、ひび割れ面でのマトリックスの噛合いにより圧壊すると考えられる。

3. 梁部材の曲げせん断実験

これまでに著者らは、PVA-ECC梁部材の曲げせん断実験結果を報告している^{11)および12)}。本章では、既報の実験結果に加え、せん断スパン比が異なる試験体の実験結果を用いて、PVA-ECC梁部材のせ

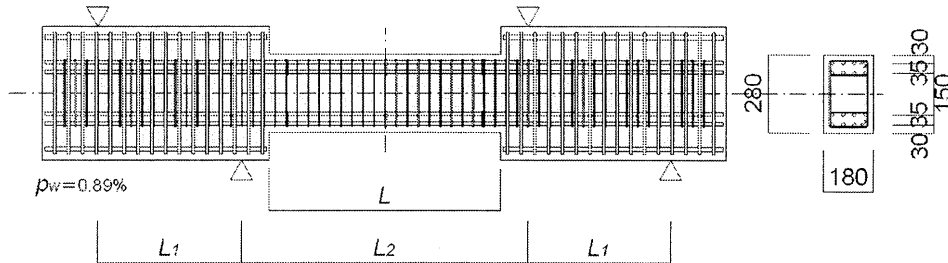


図7 梁試験体形状

表4 梁試験体一覧

試験体名	混入率 V_f (%)	せん断 スパン 比	内法 スパン L (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	断面 $b \times D$ (mm)	主筋		肋筋		備考
							配筋	強度	配筋	p_w (%)	
PVA15-00L	1.5	1.50	840	520	1040	180×280	8-D13	SHD685	—	0.00	文献 11)
PVA15-15L									2-D4@93	0.15	
PVA15-30L									2-D4@47	0.30	文献 12)
PVA15-60L									2-D6@59	0.60	
PVA15-89L									2-D6@40	0.89	
PVA15-89S									2-D6@40	0.89	—
PVA15-120S									4-D6@59	1.20	
PVA20-00L	2.0	1.50	840	520	1040				—	0.00	文献 11)
PVA20-15L									2-D4@93	0.15	
PVA20-30L									2-D4@47	0.30	文献 12)
PVA20-60L									2-D6@59	0.60	
PVA20-89L									2-D6@40	0.89	
PVA20-89S									2-D6@40	0.89	—
PVA20-120S									4-D6@59	1.20	

せん断耐力について検討する。

3.1. 実験概要

梁試験体形状を図7に、梁試験体一覧を表4に示す。実験因子はせん断スパン比、肋筋比および繊維混入率である。使用したPVA-ECCは2章と同じ調合のPVA20およびPVA15である。梁断面が180×280mmで共通で、主筋にはSHD685を用いている。せん断スパン比が1.5の試験体(L)は肋筋比が0.00%~0.89%までの5体、せん断スパン比が1.25の試験体(S)は肋筋比が0.89%および1.20%の2体である。加力は大野式の曲げせん断一方載荷とした。鉄筋の引張試験結果を表5に示す。使用したPVA-ECCの力学特性を表6の梁実験結果一覧とともに示す。引張特性は、曲げ試験による引張性能評価法により得られた結果に、既報⁵⁾により得られた低減係数(引張強度が0.82, 終局歪が0.85)を乗じたものである。

表5 鉄筋の引張試験結果

呼び名	降伏強度 (MPa)	降伏歪 (μ)	備考
D4	295	1528	$p_w=0.00\sim0.30\%$ L用肋筋
D6	334	1940	$p_w=0.60\sim0.89\%$ L用肋筋
D6	427	2061	$p_w=0.89\sim1.20\%$ S用肋筋
D13	719	3764	$p_w=0.00\sim0.30\%$ L用主筋
D13	711	3850	$p_w=0.60\sim0.89\%$ L用主筋
D13	691	4113	$p_w=0.89\sim1.20\%$ S用主筋

3.2. 実験結果

実験結果一覧を表6に、せん断力一部材角関係を図8に示す。PVA20-120Sは曲げ降伏が先行してせん断破壊したが、他の試験体

では曲げ降伏は確認されず、せん断破壊した。全ての試験体で複数ひび割れが生じたが、最大荷重付近で、ある一つのひび割れに変形が集中し、破壊に至った。さらに、変形が集中するひび割れ面では、図9に示すように一部でマトリックスの噛み合いが生じ、圧壊が生じていた。また、すべての試験体においてひび割れを貫通する箇所の肋筋は降伏していた。

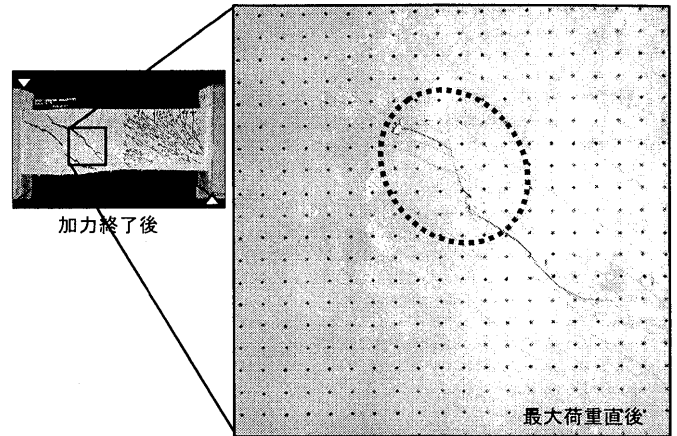


図9 最大荷重直後のひび割れ面の状況 (PVA20-60L)

せん断強度およびその時の部材角を同じ肋筋比で比較すると、ほとんどの試験体でPVA20がPVA15より大きいことより、体積繊維混入率が部材の耐力および変形に影響を与えていることが分かる。日本建築学会終局強度型指針式A法(以下、A法)によるせん断耐力計算値と実験値を比較すると、実験値が大幅に耐力式を上回るこ

表6 梁実験結果一覧

試験体名	PVA-ECCの力学特性				最大荷重時		限界変形角 ^{*2} ($\times 10^{-3}$ rad)	破壊形式 ^{*3}	A法によるせん断耐力計算値 (kN)	最大荷重 / 計算値
	弾性係数 (GPa)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 ^{*1} (MPa)	引張終局歪 ^{*1} (%)	せん断力 (kN)	部材角 (rad)				
PVA15-00L	16.3	35.7	3.14	0.87	143	8.7	10.4	S	75.4	1.90
PVA15-15L					170	15.0	17.9	S	95.8	1.77
PVA15-30L					183	12.0	14.3	S	116	1.58
PVA15-60L	19.4	50.3	3.00	0.35	296	16.9	31.1	S	187	1.58
PVA15-89L					344	23.3	>50	S	232	1.48
PVA15-89S	17.4	42.0	1.98	0.36	296	17.5	46.0	S	261	1.13
PVA15-120S					344	22.0	56.1	S	296	1.16
PVA20-00L	19.5	39.1	3.90	1.30	183	10.6	12.6	S	80.1	2.28
PVA20-15L					206	12.8	15.2	S	101	2.04
PVA20-30L					209	19.0	22.6	S	121	1.73
PVA20-60L	19.5	45.8	3.55	0.57	310	18.8	23.9	S	182	1.70
PVA20-89L					341	19.2	43.1	S	226	1.51
PVA20-89S	19.9	44.3	3.93	0.91	337	16.6	38.6	S	264	1.28
PVA20-120S					409	23.9	44.9	F→S	303	1.35

*1 引張性能評価法により得られた結果に低減係数を乗じたもの。低減係数は既報⁵⁾により引張強度は0.82, 終局歪は0.85である。
*2 最大荷重の80%まで低下したときの変形角 *3 S=せん断破壊, F=曲げ降伏

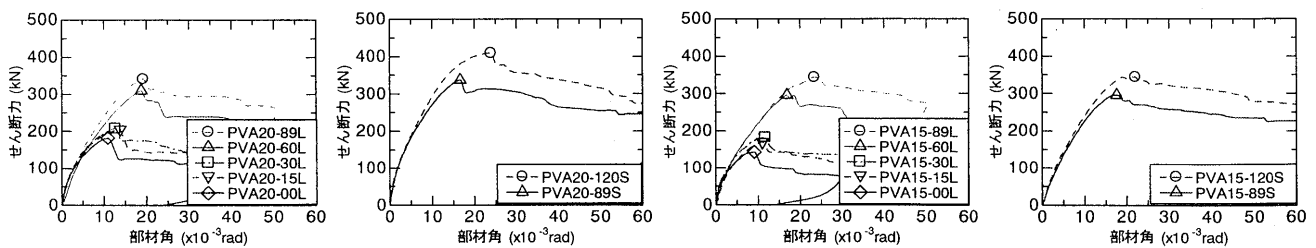


図8 せん断力-部材角関係

とから、従来の鉄筋コンクリートのせん断耐力式に繊維混入による影響を考慮する必要がある。

4. 梁部材のせん断耐力評価

梁部材のせん断破壊は、あるせん断ひび割れに変形が集中して起こり、せん断ひび割れ面に着目すると、ひび割れ面に対する垂直応力（引張応力）およびせん断応力が同時に作用する二軸応力下で破壊に至ると考えられる。すなわち、ECCの引張主応力はひび割れに対して、ある角度を有しており、マトリックスの噛み合いが生じるまでは一定の応力を負担しているものと考えられる。2章の一面せん断試験では、ひび割れ面においてせん断ずれが生じて、ひび割れ面に対する垂直応力は引張強度を維持できることが分かった。さらに最大耐力時にはひび割れ面での噛み合いが発生し、最終的に破壊が生じていた。そこで、本研究では、引張主応力方向にECCが引張強度を保持し、その直交方向の圧縮ストラットの破壊で耐力が決定されると考え、A法にECCの引張強度 σ_t を累加する形で耐力を評価することとした。また、ECCの引張強度に低減係数 v_t を乗じるものとし、低減係数を実験結果から逆算した。なお、トラス機構における圧縮ストラットの釣合には、従来のA法と同様にせん断補強筋によるものだけを考慮し、ECCの引張強度はひび割れ面で釣合を保つものと考えた。また、トラス機構とアーチ機構の圧縮ストラットの角度の違いは無視し、圧縮ストラットの圧縮強度有効係数はCEB式¹³⁾に依った。以上の仮定によるせん断強度評価式を(3)式~(7)式に示す。

$$V_u = b j_i (p_w \sigma_{wy} + v_t \sigma_t) \cot \phi + b \frac{D}{2} (1 - \beta) v \sigma_B \tan \theta \quad (3)$$

$$\tan \theta = \sqrt{(L/D)^2 + 1} - L/D \quad (4)$$

$$\beta = \frac{(1 + \cot^2 \phi) p_w \sigma_{wy}}{v \sigma_B} \quad (5)$$

$$\cot \phi = \min \left(2, \sqrt{\frac{v \sigma_B}{p_w \sigma_{wy}} - 1} \right) \quad (6)$$

$$v = 1.70 \sigma_B^{-0.333} \quad (7)$$

ここで、

- V_u : せん断耐力
- b : 梁幅
- j_i : 主筋中心間距離
- p_w : せん断補強筋比
- σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度
- v_t : ECCの引張強度低減係数
- σ_t : ECCの引張強度
- D : 梁せい
- v : ECCの圧縮有効係数
- σ_B : ECCの圧縮強度 (MPa)
- L : 内法長さ

各試験体の実験結果から定まる低減係数の一覧を、表7に示す。なお、ECCを用いた部材の曲げ強度は主筋の降伏が先行した後も危険断面での繊維の架橋により荷重が増大するため、主筋降伏が見ら

れたPVA20-120S試験体の結果も有効なデータとして扱った。

実験結果より逆算した低減係数 v_t の平均値は0.41となった。PVA15試験体の低減係数 v_t の平均値が0.40、PVA20試験体で0.41であり、繊維混入率による差は認められない。また、筋筋比による差も認められない。図10に低減係数 v_t を0.41とした計算値と実験値の比較を示す。比較値の平均は0.99、変動係数が0.08であり、繊維混入率および筋筋比に依らず精度良く評価できている。この低減係数 v_t の意味する詳細な原因については現時点では不明であるが、複雑な曲げせん断応力下ではECCがひび割れ面において必ずしも一様な応力を負担するとは限らないこと、最大耐力を決定する主要因を圧縮ストラットの破壊とし、その時にECCの負担引張力がどの程度になっているか不明であること等の理由が考えられる。

表7 ECCの引張強度低減係数

	せん断耐力実験値 (kN)	低減係数 v_t	せん断耐力計算値* (kN)	実験値 / 計算値
PVA15-00L	143	0.32	161	0.89
PVA15-15L	170	0.35	182	0.93
PVA15-30L	183	0.32	202	0.91
PVA15-60L	296	0.54	269	1.10
PVA15-89L	344	0.56	314	1.10
PVA15-89S	296	0.27	315	0.94
PVA15-120S	344	0.42	343	1.00
PVA20-00L	183	0.40	186	0.94
PVA20-15L	206	0.41	207	1.00
PVA20-30L	209	0.34	227	0.92
PVA20-60L	310	0.54	278	1.12
PVA20-89L	341	0.49	323	1.06
PVA20-89S	337	0.28	371	0.91
PVA20-120S	409	0.44	398	1.03

* 低減係数 v_t の平均値0.41を用いて算出

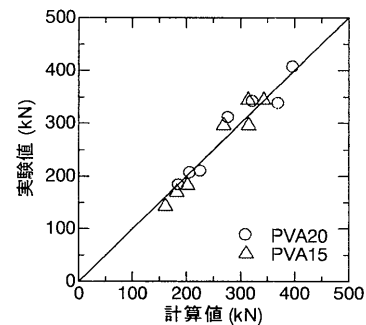


図10 せん断強度評価の検証

5. まとめ

引張応力下において擬似歪硬化性状を示すPVA-ECCに着目し、PVA-ECCのひび割れ面におけるせん断伝達機構を解明するため、ひび割れ面の垂直応力として引張力を作用させた一面せん断試験を行った。その結果、ひび割れ面において引張力が作用する場合のせん断強度が引張強度の1/2程度を有していることが分かった。これは、ひび割れ面にせん断ずれが生じて、ひび割れ面に対する垂直応力として引張強度程度を維持できると考えることもできる。このことを考慮し、日本建築学会終局強度型指針式A法にECCの引張強度に低減係数を乗じた値を累加したせん断耐力式を提案した。梁部材試験結果から逆算した低減係数は0.41となり、提案式によりせん断

強度を評価可能であることを示した。しかしながら、低減係数の意味については不明な点が多く、今後の課題である。

参考文献

- 1) Li, V.C.: From Micromechanics to Structural Engineering - The Design of Cementitious Composites for Civil Engineering Applications, Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, JSCE, Vol.10, No.2, pp.37-48, 1993
- 2) 土木学会：複数微細ひび割れ型繊維補強モルタルの評価と利用，コンクリート技術シリーズ No.64, pp.1-32, 2005
- 3) 丸田誠，閑田徹志，永井覚，山本幸正，：プレキャスト ECC 連結梁を用いた高層 RC 新架構，コンクリート工学，Vol. 43, No.11, pp.18-26, 2005
- 4) 日本コンクリート工学協会，高韌性セメント複合材料の構造利用に関する委員会報告書（Ⅱ），pp.59-76, 2004
- 5) 清水克将，金久保利之，閑田徹志，永井覚：曲げ試験による PVA-ECC の引張性能評価，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，pp.31-36, 2006.6
- 6) 李宝禄，前川宏一，岡村甫：鉄筋コンクリートひび割れ面におけるせん断伝達特性，日本コンクリート工学年次論文報告集，Vol.12, No.2, pp.293-298, 1990
- 7) Kabele, P.: New Developments in Analytical Modeling of Mechanical Behavior of ECC, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.1, No.3, pp.253-264, 2003
- 8) 閑田徹志，金久保利之，永井覚，丸田誠：曲げ試験を用いた高韌性複合材料 ECC の引張力学性能管理に関する実験的検討，鹿島技術研究所年報，第 52 号，pp.131-138, 2004
- 9) 清水克将，金久保利之：定引張応力下での鉄筋コンクリートのひび割れ面における一面せん断試験法の提案，土木学会年次学術講演会講演概要集，部門 V, pp.989-990, 2006.9
- 10) Iosipescu, N.: A New Method for Determining the Pure Shear Strength of Concrete, Concrete, Concrete Society London, Vol.3, No.2, 1969.2
- 11) 清水克将，金久保利之，閑田徹志，永井覚：PVA-ECC 梁部材のせん断終局耐力評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.26, No.2, pp.1537~1542, 2004.7
- 12) 清水克将，氏家隆博，金久保利之，閑田徹志：PVA-ECC 梁部材のせん断性状評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, No.2, pp.1333~1338, 2005.6
- 13) 建設省総合技術開発プロジェクト：鉄筋コンクリート造建築物の超軽量化・超高層化技術の開発，平成 4 年度構造性能分科会報告書，（財）国土開発技術研究センター，pp.V-4-5 および V-13-14, 1993.3

(2006年11月10日原稿受理, 2007年6月8日採用決定)