

高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた梁の付着割裂実験

BOND SPLITTING TEST OF REINFORCED STRAIN-HARDENING CEMENTITIOUS COMPOSITE BEAMS

細矢 博 — * 1 金久保利之 — * 2
 矢野正剛 — * 3 重水法弘 — * 4

Hiroshi HOSOYA — * 1 Toshiyuki KANAKUBO — * 2
 Masaaki YANO — * 3 Norihiro SHIGEMIZU — * 4

キーワード:

高靱性繊維補強セメント複合材料, 梁, 付着割裂実験, 付着性状, 付着強度

Keywords:

Strain-Hardening Cementitious Composites, Beam, Bond splitting test, Bond behavior, Bond strength

Recently, RC buildings with core wall structures have been constructed. The coupling beams connecting core walls are possible to be failed by bond splitting during an earthquake. Short span beams using SHCC (Strain Hardening Cementitious Composites) with PVA fibers have been developed to improve brittle behavior. In this study, cantilever-shaped specimens were subjected to bond splitting tests to investigate bond characteristics of SHCC beams. The experimental bond strength shows higher value than calculated strength by conventional formulas for RC beams. The effect of SHCC can be expressed by modifying the term of lateral reinforcement ratio in these formulas.

1. はじめに

近年、高層集合住宅では、居住空間の多様性を確保するために、平面計画の自由度に優れたセンターコア壁を用いるチューブ構造形式の建物が増加しつつある。しかしながら、この形式の建物では、コア壁とコア壁を連結する梁は、短スパン梁になることが多く、大地震時には高い応力を受け、かつ大きな変形角を強いられる。このとき、連結梁は、脆性的な破壊形態であるせん断破壊や付着割裂破壊を引き起こす恐れがある。そこで、筆者らは、これを防ぐため、モルタルに有機繊維 PVA (Polyvinyl Alcohol) を混入させた高靱性繊維補強セメント複合材料 SHCC (Strain-Hardening Cementitious Composites) を用いた短スパン梁の開発を行なっている。この一環として、SHCC 梁の主筋の付着特性を把握するための付着割裂実験を行い、その付着性状、ならびに付着強度の評価方法について検討した。

準強度は、試験体 Bo1~Bo6 では 30N/mm²、試験体 Bo7~Bo12 では 48N/mm² である。試験体の主筋には、実建物の梁部材において機械式継手を使用する機会が多いことを念頭に置き、ねじ筋鉄筋の異形鉄筋を用いた。この際、付着強度を確認することが目的であるため、主筋の降伏が先行しないように鉄筋には加熱処理を行い降伏点を上昇させた。主筋の本数は、3 本もしくは 4 本の 2 種類である。横補強筋には、SD295 および SD685 の 2 種類の D6 を用い、横補強筋比 p_w は 0%、0.4%、0.8%、1.2% の 4 種類とした。なお、試験体がせん断破壊しないように試験体内部には補強筋を配筋した。

2.2 使用材料

2.2.1 SHCC

SHCC の主要材料であるモルタルの調合を表 2 に示す。モルタルには、PVA 繊維が体積混入率で 2.0% 混入している。PVA 繊維の諸元を表 3 に示す。

2. 試験体概要

2.1 試験体

試験体の諸元を表 1 に、断面の形状・寸法および配筋を図 1 に示す。試験体数は全 12 体である。実験変動因子は、SHCC の設計基準強度、主筋配筋、横補強筋の鋼材種別 (鋼種)、横補強筋比である。

試験体断面寸法は 200×350mm である。主筋は D13 で、付着長さは 208mm (主筋径の 16 倍) である。その自由端側 204mm の領域と荷重端側 76mm の領域には、それぞれ主筋外周に薄肉鋼管 (外径 19mm、内径 16.6mm) を配して主筋の付着を絶縁している。試験体の材料は、モルタルに PVA 繊維を混入した高靱性繊維補強セメント複合材料 SHCC である。SHCC の設計基

表 1 試験体諸元

試験体	SHCC設計基準強度 F_c (N/mm ²)	試験体断面寸法 $B \times D$ (mm)	主筋付着長さ L_B (mm)	主筋		横補強筋		
				配筋	鉄筋比 P_t (%)	鋼種	配筋	鉄筋比 P_w (%)
Bo1	30	200×350	208 (16db)	3-D13	0.54	-	-	0
Bo2				4-D13	0.72	SD295	2-D6@80	0.4
Bo3							2-D6@40	0.8
Bo4							4-D6@53	1.2
Bo5							2-D6@80	0.4
Bo6				SD685	2-D6@80	0.4		
Bo7	48	200×350	208 (16db)	3-D13	0.54	-	-	0
Bo8				4-D13	0.72	SD295	2-D6@80	0.4
Bo9							2-D6@40	0.8
Bo10							2-D6@40	0.8
Bo11							4-D6@53	1.2
Bo12				SD685	4-D6@53	1.2		

主筋 D13:SD390 を加熱処理

¹ 榊奥村組技術研究所 博士 (工学)
 (〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387)
² 筑波大学システム情報工学研究科 准教授・博士 (工学)
³ 元筑波大学学生
⁴ 筑波大学大学院生

¹ Technical Research Institute, Okumura Corporation, Dr. Eng.
² Assoc. Prof., GSSIE, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.
³ Former Student, Univ. of Tsukuba
⁴ Graduate Student, Univ. of Tsukuba

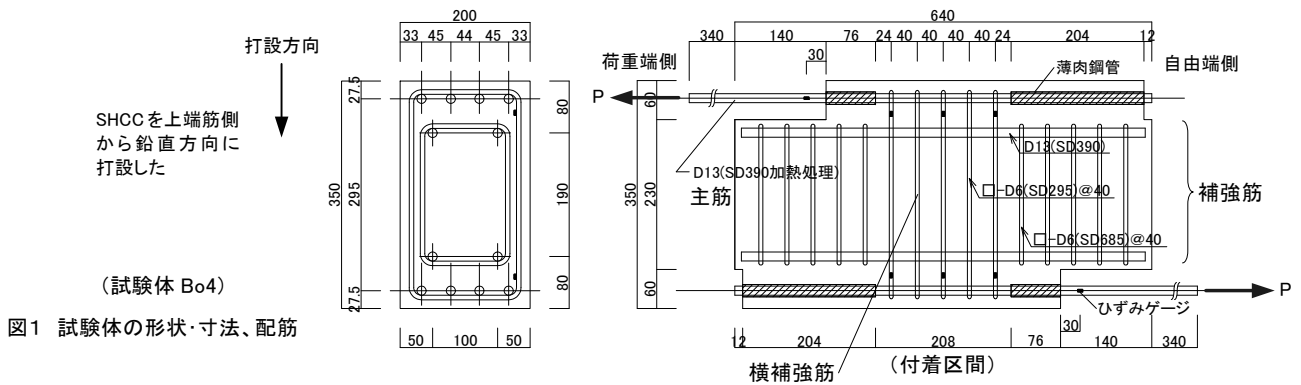


図1 試験体の形状・寸法、配筋

表2 モルタルの調合

F _c (N/mm ²)	W/B	単位量(kg/m ³)						収縮 低減剤	増粘剤	PVA 繊維
		W	C	B FA	膨張材	S				
30	50.0	400	540	240	20	619	16.0	2.0	26	
48	37.0	330	604	268	20	718	17.8	1.0	26	

F_c: 設計基準強度、W: 水、B: 結合材、C: セメント、FA: フライアッシュ、S: 砂

表3 PVA 繊維の諸元

繊維長さ (mm)	繊維径 (mm)	破断強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
12.0	0.04	1690	40.6

表4 SHCC の力学的性質

設計 基準強度 F _c (N/mm ²)	圧縮強度 σ _B (N/mm ²)	ヤング係数 E _c (kN/mm ²)	引張終局 ひずみ度*1 ε _t (%)	引張強度*1 σ _t (N/mm ²)	引張終局 ひずみ度*2 ε _t (%)	引張強度*2 σ _t (N/mm ²)
30	44.5	15.3	2.86	4.61	1.30	4.30
48	66.5	23.5	1.13	4.41	0.28	5.54

*1: 曲げ試験(JCI-S-003-2007¹⁾、供試体寸法: 100×100×400mm

*2: 一軸引張試験(ドッグボーン型、断面寸法: 60×100mm)

材料試験により得られた SHCC の力学的性質を表 4 に示す。圧縮試験には、φ100×L200mm の円柱供試体を用いた。また、引張強度は、曲げ試験ならびにドッグボーン型試験体を用いた一軸引張試験により求めた。曲げ試験¹⁾により得られた曲げモーメント-曲率 (M-φ) 関係を図 2 に、一軸引張試験により得られた引張応力度-ひずみ度 (σ-ε) 関係を図 3 に示す。曲げ試験ならびに引張試験において、繊維架橋によるマルチプルクラック性状が認められ、M-φ 関係および σ-ε 関係より、たわみ硬化とひずみ硬化特性が認められた。

2.2.2 鉄筋

材料試験により得られた鉄筋の力学的性質を表 5 に示す。試験値を求める際の鉄筋の断面積は、全て公称断面積 (D13: 126.7mm²、D6: 31.67mm²) とした。また、D6(SD685) では、応力-ひずみ関係において降伏棚が明確でなかったため、0.2% オフセット法を用いて降伏強度を算出した。なお、降伏ひずみは、それぞれ降伏強度を弾性係数で除して求めた。

2.3 実験方法

加力方法は、図 4 に示すように、主筋を一方に単調引張加力するキャンチレバー形式²⁾をとった。まず、上端筋を引張加力後、試験体を反転させて下端筋を引張加力した。したがって、一体あたり、上端筋と下端筋の 2 回加力している。計測については、全主筋 (3 本または 4 本) の総引張荷重を 1 台のロードセルで測定した。また、主筋荷重端ならびに自由端の滑り量を変位計で、主筋ならびに横補強筋のひずみ度をひずみゲージで測定した。この際、各主筋の分担力は、ロードセルにより得られた荷重を、各主筋の荷重端側の付着区間外に貼付したひずみゲージの測定値をもとに比例配分して算出した。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

F_c30 シリーズの Bo3 試験体の破壊状況を写真 1 に示す。全ての試験体において、最大荷重まではひび割れは少なかったが、最大荷重後に微細なひび割れが多数生じ、ひび割れ幅が僅かながら拡大した。しかし、ひび割れ幅は 0.1mm 以下であった。

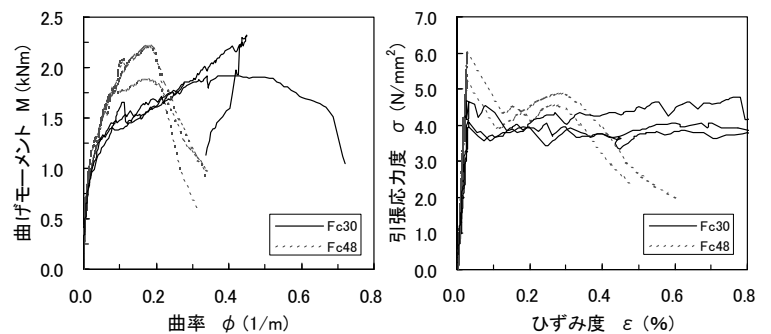


図2 SHCCのM-φ関係

図3 SHCCのσ-ε関係

表5 鉄筋の力学的性質

部位	呼び名	種類	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	降伏ひずみ度 (%)	引張強度 (N/mm ²)
主筋	D13	SD390*	929	191	0.486	952
横補強筋	D6	SD295	438	186	0.236	560
横補強筋	D6	SD685	743	179	0.416	914

*: 加熱処理

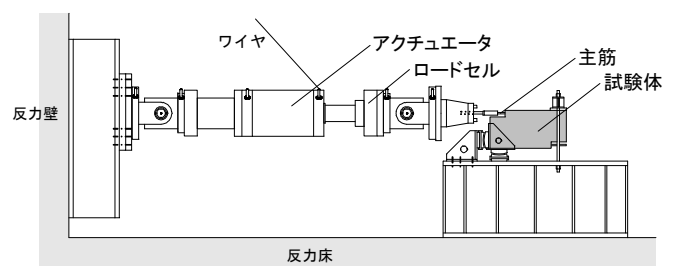


図4 実験装置

それらのひび割れは、付着領域から反力点側に向かう応力ストラットに沿って進展した。RC 梁の付着割裂破壊の場合にみられるような主筋に沿う付着割裂ひび割れは少なく、全ての試験体において、SHCC のかぶりの剥離やそれに伴う最大荷重以後の急激な耐力の低下はみられなかった。また、写真で観察されるように、全ての試験体において、ひび割れ数は上端筋側が下端筋側に比べて少なかった。これは、図1に示したように、SHCC の打設方向の影響により、上端筋側は下端筋側に比べ SHCC 内に PVA 繊維が多く含まれ、繊維の架橋効果により SHCC の引張性能が向上し、付着ひび割れの発生が少なかったものと考えられる。

最終破壊モードは、全試験体ともに主筋の抜け出し破壊であった。

3.2 上端筋、下端筋の付着強度

加力実験で得られた上端筋と下端筋の最大荷重の比較を図5に示す。F_c30 シリーズ、F_c48 シリーズとも上端筋の荷重は下端筋の荷重を上回り、ばらつきが少ない直線的な分布をしている。上端筋の下端筋に対する最大荷重の比の平均をとると 1.08 であった。通常の RC 梁では、一般に上端筋の付着強度が下端筋の付着強度より小さくなるが、本実験の SHCC 梁の場合は、全ての試験体において、上端筋の付着強度が下端筋に比べて大きいことを確認した。これは、上述したように、下端筋側に比べ上端筋側の SHCC 内に PVA 繊維が多く含まれ、繊維の架橋効果により SHCC の引張性能が向上したためと考えられる。このことは、下端筋側に比べ、上端筋側で付着ひび割れが少なかったことに対応している。

これ以降、耐力上の評価には、上端筋の付着強度を 1.08 で除し、全て下端筋強度に換算して整理することとする。

3.3 付着応力度-滑り量曲線

最大荷重時の主筋の変位（滑り量）と付着強度の実験結果を表6に、平均付着応力度（ τ_b ）-自由端平均滑り量（s）関係を図6に示す。表中の付着強度の欄において、隅筋および中筋の付着強度は、各主筋に貼付したひずみゲージの測定値から求めた分担力の最大値で、平均値とは、ロードセルより測定した引張荷重の最大値を主筋の付着面積の総和で除して求めた値である。各主筋の分担力の最大値は必ずしも同一時刻には発生しないので、隅筋と中筋の最大値の平均と平均値とは異なる結果になっている。なお、荷重端の滑り量は、荷重端側の変位計測点の計測値から付着区間外の主筋の伸びを引くことで補正を行なっている。

図6の τ_b -s 曲線より、横補強筋比が大きくなるほど付着応力度のピーク時の滑り量が大きくなっていることがわかる。また、F_c30 シリーズに比べ、SHCC の強度が大きい F_c48 シリーズでは、ピーク後の軟化勾配が僅かではあるが急な傾向にあることがわかる。

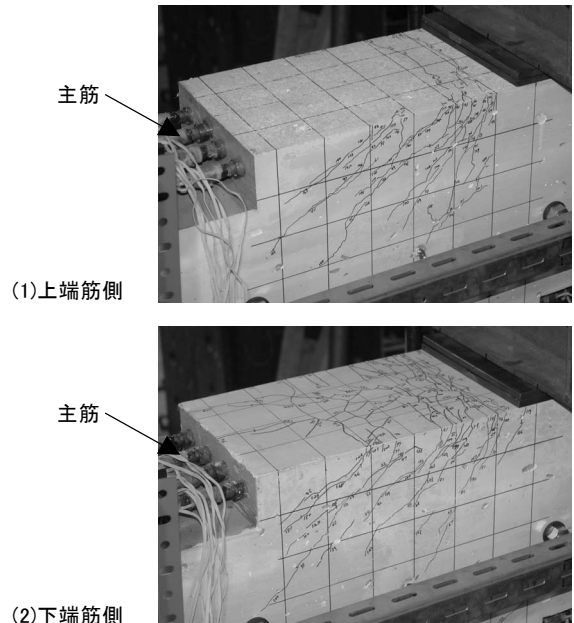


写真1 最終破壊状況例 (Bo3 試験体)

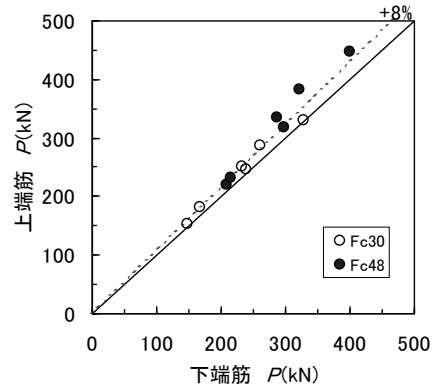


図5 上端筋と下端筋の最大荷重の比較

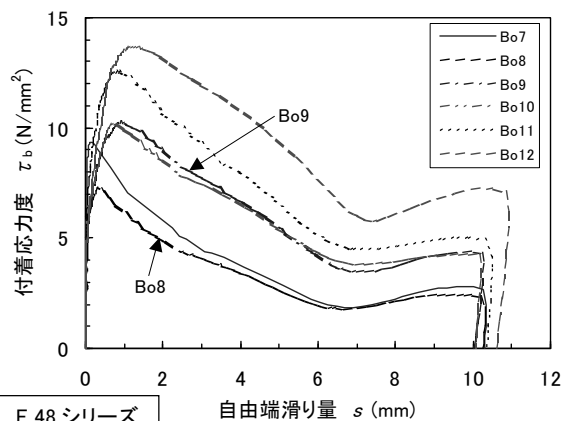
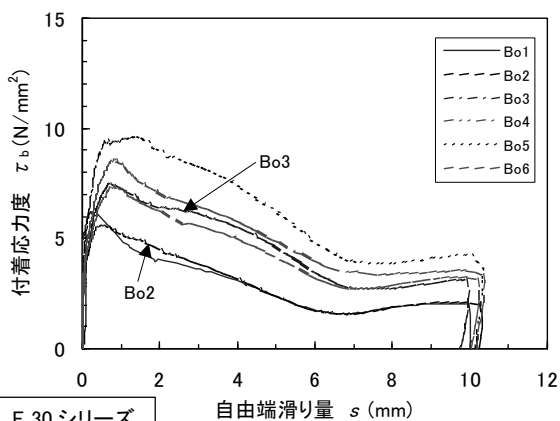


図6 平均付着応力度-自由端平均滑り量関係（上端筋）

※Bo12 では、最大荷重近傍で主筋が降伏した。

表6 最大荷重時の変位（滑り量）と付着強度

試験体	SHCC 圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	横補強 筋比 p_w (%)	最大荷重時の変位(滑り量)				付着強度		
			荷重端		自由端		隅筋 (N/mm ²)	中筋 (N/mm ²)	平均値 (N/mm ²)
			隅筋 (mm)	中筋 (mm)	隅筋 (mm)	中筋 (mm)			
Bo1	44.5	0	0.36	0.45	0.13	0.29	6.31	6.41	6.15
			0.48	0.60	0.16	0.29	6.07	6.23	5.95
Bo2	44.5	0	0.43	1.16	0.39	1.04	5.84	6.11	5.46
			0.67	1.05	0.50	0.76	5.04	5.43	5.01
Bo3	44.5	0.4	0.80	0.86	0.67	0.84	7.71	7.19	7.51
			-	-	0.67	0.79	7.65	6.31	7.19
Bo4	44.5	0.8	-	-	0.79	0.88	9.37	7.80	8.65
			1.05	0.88	0.84	0.68	8.88	7.12	7.83
Bo5	44.5	1.2	0.71	1.26	0.62	0.92	9.66	11.10	9.90
			-	-	0.76	0.81	9.35	10.12	9.83
Bo6	44.5	0.4	0.97	1.16	0.79	0.91	7.29	7.43	7.56
			-	-	0.59	0.53	7.97	6.53	6.96
Bo7	66.5	0	-	-	0.18	0.10	9.59	9.14	9.11
			0.64	0.61	0.40	0.36	8.55	9.15	8.40
Bo8	66.5	0	0.44	0.49	0.29	0.33	7.43	7.15	7.27
			0.52	0.61	0.32	0.37	6.22	6.77	6.56
Bo9	66.5	0.4	1.22	1.15	0.99	0.88	10.37	10.24	10.09
			0.94	0.77	0.67	0.59	8.96	8.16	8.72
Bo10	66.5	0.4	-	-	0.60	0.77	11.36	9.04	9.98
			-	-	0.57	0.76	9.30	8.08	8.91
Bo11	66.5	0.8	0.78	0.89	0.71	0.85	13.66	11.55	12.68
			2.34	0.88	1.92	0.61	13.31	8.50	9.67
Bo12	66.5	1.2	-	-	1.07	1.34	13.70	13.95	13.54
			-	-	0.73	1.15	12.17	12.67	12.05

*: 主筋降伏 - : 計測不備

横補強筋の有無による付着強度への影響に関して、既往の研究^{例え}ば²⁾によると、普通コンクリートでは、横補強筋が配筋されていない場合には、荷重ピーク後に急激な付着応力の低下を伴うのに対し、横補強筋が配筋されている場合には、ピーク後の付着応力の低下が小さいという知見が得られている。しかし、本実験では、使用材料にコンクリートではなく SHCC を用いているため、横補強筋の有無によらず、付着応力の低下傾向は近似し、ピーク後の挙動に大きな差はみられなかった（例えば、Bo2 と Bo3、Bo8 と Bo9）。このことから、SHCC の PVA 繊維は、横補強筋と同様な働きをし、付着力を保持する効果があることを確認した。

3.4 横補強筋による付着強度への影響

付着強度と横補強筋比との関係を図7に示す。ここで、付着強度は、SHCC の圧縮強度 (σ_B) の平方根で除すことで基準化している。

上端筋、下端筋にかかわらず基準化付着強度 ($\tau_v/\sqrt{\sigma_B}$) は、横補強筋比 (p_w) が增大するにつれて増大し、ほぼ線形関係にあることがわかる。また、 $p_w=0$ であっても基準化付着強度は 0.8 程度あることがわかる。

本実験では、2種類の規格強度の横補強筋 SD295 と SD685 を用いたが、横補強筋の鋼種の違いによる付着強度の差は最大で 3%程度であり、ほとんど差異がみられなかった(Bo3 と Bo6、Bo9 と Bo10)。このことから、SHCC の付着強度に与える横補強筋の効果は、鉄筋の強度に依存しないといえる。

3.5 付着強度の評価

3.5.1 付着強度式

主筋の付着強度の実験値を、既往の RC 付着強度式である藤井・

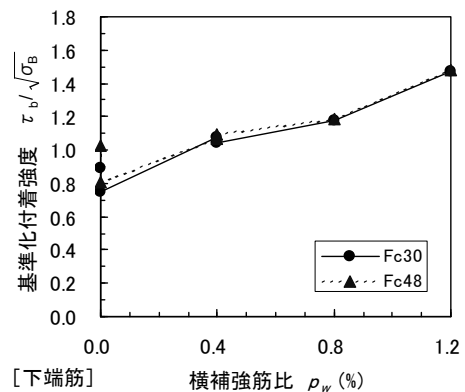
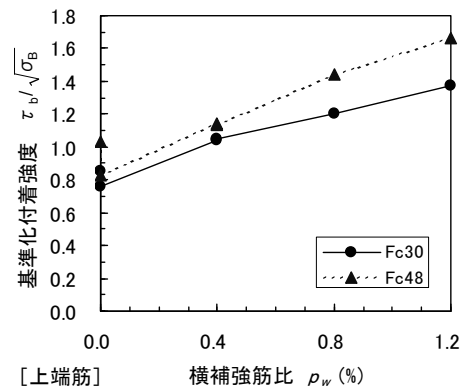


図7 基準化付着強度—横補強筋比関係

森田式²⁾、終局強度型設計指針式³⁾、ならびに靱性保証型設計指針式⁴⁾より得られた計算値と比較する。(付録に3式を示す。)この際、破壊形式は、付着実験でのひび割れ状況を勘案し、全ての試験体でサイドスプリット型と仮定している。また、SHCCの圧縮強度は、材料試験で得られた圧縮強度 σ_B を用いている。すなわち、試験体Bo1~Bo6では454kg/cm²(44.5N/mm²)、Bo7~Bo12では678kg/cm²(66.5N/mm²)としている。

3.5.2 実験値と計算値との比較

実験値と計算値との比較を表7ならびに図8に示す。3式とも、実験値は計算値を上回っている。実験値の計算値に対する比の平均は、藤井・森田式では1.60(標準偏差0.12、変動係数0.08)、終局強度型設計指針式では1.59(0.14、0.09)、靱性保証型設計指針式では2.02(0.29、0.14)であった。他の式に比べ、藤井・森田式のばらつきが小さく対応度が優れている。実験値は計算値を1.59~2.02倍上回っていることから、RC梁に比べ、SHCC梁ではPVA繊維による付着強度の増加が確認されたが、これは、既往の付着強度式は、SHCC梁の付着強度に対しては過小に評価することを示している。

一方、表7で横補強筋が配筋されていない試験体Bo2(Bo8)の付着強度の実験値と、横補強筋が0.8%配筋されている試験体Bo4(Bo11)の藤井・森田式による計算値とを比較すると、両者はほぼ等しい値であった。このことから、PVA繊維2.0vol%の混入効果は横補強筋比 $p_w=0.8\%$ の配筋効果に相当するものと判断した。部材設計における簡易な評価法を考慮し、全試験体を対象に、横補強筋比 p_w に0.8%を一律に加え、再度3式により付着強度を計算し直した。実験値と

修正式計算値との比較を表7ならびに図9に示す。

実験値の計算値に対する比の平均は、藤井・森田式では1.10(標準偏差0.13、変動係数0.11)、終局強度型設計指針式では1.08(0.11、0.10)、靱性保証型設計指針式では1.28(0.17、0.13)であった。実験値の計算値に対する比の平均は1.08~1.28倍となり、修正式はSHCC梁の付着強度を概ね精度良く評価できているといえる。このことから、SHCC梁の付着強度は、既往のRC付着強度式の p_w の項を修正することにより評価できるものと考えられる。

4. まとめ

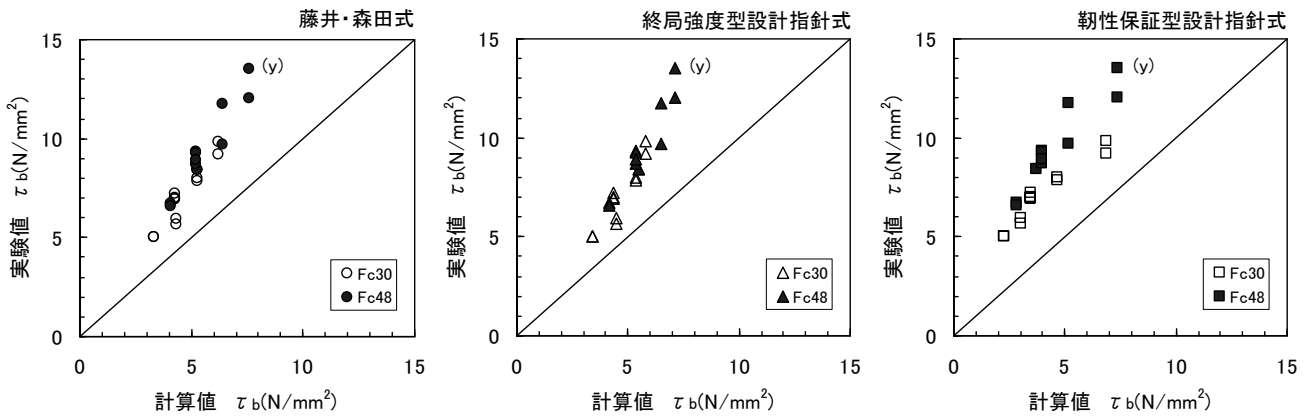
本実験の範囲で、以下の知見が得られた。

- (1) SHCC梁においては、PVA繊維による付着ひび割れ分散効果ならびにひび割れ幅抑制効果がみられた。
- (2) PVA繊維の架橋効果により、かぶりの剥離や最大荷重後の急激な耐力の低下は生じず、付着割裂破壊が抑制された。
- (3) 横補強筋比(p_w)の増加に伴い、主筋の基準化付着強度($\tau_b/\sqrt{\sigma_B}$)は線形的に増大した。
- (4) 横補強筋の鋼種が異なっても、主筋の付着強度に差異はなかった。
- (5) SHCC梁の付着強度の実験値は、既往のRC付着強度式による計算値より高い値を示した。
- (6) SHCC梁の付着強度は、既往のRC付着強度式においてPVA繊維の効果を考慮し、横補強筋比(p_w)の項を修正することにより概ね精度よく評価できた。本実験に供したSHCC梁におけるPVA繊維の効果は、 p_w に換算すると0.8%相当であると考えられる。

表7 実験値と計算値との比較

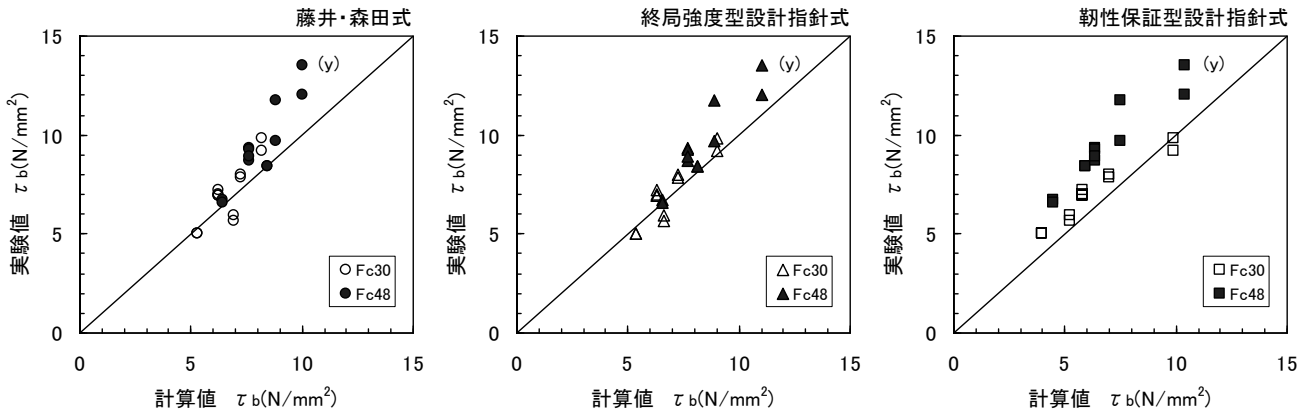
試験体	横補強筋比 p_w (%)	実験値			計算値			修正式計算値 ($p_w=0.8\%$)			実験値(平均)/計算値			実験値(平均)/修正式計算値 ($p_w=0.8\%$)			
		付着強度 (上端/1.08)			藤井・森田式	終局強度型指針式	靱性保証型指針式	藤井・森田式	終局強度型指針式	靱性保証型指針式	藤井・森田式	終局強度型指針式	靱性保証型指針式	藤井・森田式	終局強度型指針式	靱性保証型指針式	
		隅筋	中筋	平均													
		(N/mm ²)			(N/mm ²)			(N/mm ²)									
Bo1	上端	0	5.84	5.93	5.69	4.32	4.49	3.02	6.92	6.64	5.23	1.32	1.27	1.89	0.82	0.86	1.09
	下端	0	6.07	6.23	5.95	4.32	4.49	3.02	6.92	6.64	5.23	1.38	1.32	1.97	0.86	0.90	1.14
Bo2	上端	0	5.41	5.65	5.06	3.32	3.42	2.29	5.27	5.35	3.95	1.52	1.48	2.20	0.96	0.94	1.28
	下端	0	5.04	5.43	5.01	3.32	3.42	2.29	5.27	5.35	3.95	1.51	1.46	2.18	0.95	0.94	1.27
Bo3	上端	0.4	7.14	6.65	6.95	4.28	4.38	3.47	6.24	6.31	5.83	1.62	1.59	2.00	1.11	1.10	1.19
	下端	0.4	7.65	6.31	7.19	4.28	4.38	3.47	6.24	6.31	5.83	1.68	1.64	2.07	1.15	1.14	1.23
Bo4	上端	0.8	8.68	7.22	8.01	5.25	5.33	4.65	7.22	7.26	7.00	1.53	1.50	1.72	1.11	1.10	1.14
	下端	0.8	8.88	7.12	7.83	5.25	5.33	4.65	7.22	7.26	7.00	1.49	1.47	1.68	1.08	1.08	1.12
Bo5	上端	1.2	8.94	10.28	9.17	6.23	5.82	6.87	8.20	9.04	9.91	1.47	1.57	1.34	1.12	1.01	0.92
	下端	1.2	9.35	10.12	9.83	6.23	5.82	6.87	8.20	9.04	9.91	1.58	1.69	1.43	1.20	1.09	0.99
Bo6	上端	0.4	6.75	6.88	7.00	4.28	4.38	3.47	6.24	6.31	5.83	1.63	1.60	2.02	1.12	1.11	1.20
	下端	0.4	7.97	6.53	6.96	4.28	4.38	3.47	6.24	6.31	5.83	1.63	1.59	2.00	1.11	1.10	1.19
Bo7	上端	0	8.88	8.47	8.44	5.28	5.49	3.69	8.46	8.11	5.90	1.60	1.54	2.29	1.00	1.04	1.43
	下端	0	8.55	9.15	8.40	5.28	5.49	3.69	8.46	8.11	5.90	1.59	1.53	2.28	0.99	1.04	1.42
Bo8	上端	0	6.88	6.62	6.73	4.05	4.18	2.81	6.44	6.54	4.46	1.66	1.61	2.40	1.05	1.03	1.51
	下端	0	6.22	6.77	6.56	4.05	4.18	2.81	6.44	6.54	4.46	1.62	1.57	2.34	1.02	1.00	1.47
Bo9	上端	0.4	9.60	9.48	9.34	5.23	5.35	3.98	7.63	7.71	6.34	1.79	1.75	2.35	1.22	1.21	1.47
	下端	0.4	8.96	8.16	8.72	5.23	5.35	3.98	7.63	7.71	6.34	1.67	1.63	2.19	1.14	1.13	1.38
Bo10	上端	0.4	10.52	8.37	9.24	5.23	5.35	3.98	7.63	7.71	6.34	1.77	1.73	2.32	1.21	1.20	1.46
	下端	0.4	9.30	8.08	8.91	5.23	5.35	3.98	7.63	7.71	6.34	1.70	1.67	2.24	1.17	1.16	1.41
Bo11	上端	0.8	12.65	10.69	11.74	6.41	6.52	5.16	8.83	8.87	7.51	1.83	1.80	2.28	1.33	1.32	1.56
	下端	0.8	13.31	8.50	9.67	6.41	6.52	5.16	8.83	8.87	7.51	1.51	1.48	1.87	1.10	1.09	1.29
Bo12	上端*	1.2	12.68	12.91	13.54	7.62	7.12	7.38	10.02	11.05	10.42	1.78	1.90	1.84	1.35	1.23	1.30
	下端	1.2	12.17	12.67	12.05	7.62	7.12	7.38	10.02	11.05	10.42	1.58	1.69	1.63	1.20	1.09	1.16
											平均	1.60	1.59	2.02	1.10	1.08	1.28
											標準偏差	0.12	0.14	0.29	0.13	0.11	0.17
											変動係数	0.08	0.09	0.14	0.11	0.10	0.13

*:主筋降伏



(y):主筋降伏

図8 付着強度の実験値と計算値との比較



(y):主筋降伏

図9 付着強度の実験値と修正式による計算値との比較

謝辞

(独) 建築研究所の福山 洋博士には、本研究に対し有益なご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) JCI-S-003-2007、繊維補強セメント複合材料の曲げモーメントー曲率曲線試験方法、JCI 規準
- 2) 藤井 栄、森田司郎：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究—第1報 付着割裂破壊を支配する要因についての実験結果—、日本建築学会論文集、第319号、pp.47～54、1982.9
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説、1999

【付録】

- (1) 藤井・森田式²⁾ (重力単位系)

$$\tau_u = \tau_{co} + \tau_{st}$$

$$\tau_{co} = (0.307b_i + 0.472) \sqrt{\sigma_B}$$

$$\tau_{st} = (24.9 \kappa A_{st} / s N d_b) \sqrt{\sigma_B}$$

$$b_i = b / N d_b - 1$$

梁水平上端筋以外の場合には、1.22 を乗ずる。

- (2) 終局強度型設計指針式³⁾ (重力単位系)

$$\tau_u = \tau_{co} + \tau_{st}$$

$$\tau_{co} = (0.4b_i + 0.5) \sqrt{\sigma_B}$$

$$\tau_{st} = (20/N + 5N_w/N + 15N_s/N) p_w' b \sqrt{\sigma_B} / d_b$$

$$b_i = b / N d_b - 1$$

梁水平上端筋の場合には、0.8 を乗ずる。

- (3) 靱性保証型設計指針式⁴⁾ (重力単位系)

$$\tau_u = \tau_{co} + \tau_{st}$$

$$\tau_{co} = (0.27b_i + 0.33) \sqrt{\sigma_B}$$

$$\tau_{st} = (550 + 460N_w/N)(b_i + 1) p_w$$

$$b_i = b / N d_b - 1$$

梁水平上端筋の場合には、 $0.75 + \sigma_B / 4000$ を乗ずる。

ここで、

τ_u : 付着強度

τ_{co} : 横補強筋が無い場合の付着強度

τ_{st} : 横補強筋による付着強度の増分

b_i : 割裂線長さ比

d_b : 主筋径

A_{st} : 一組の横補強筋の断面積

s : 横補強筋の間隔

N : 主筋本数

σ_B : SHCC の圧縮強度

b : 試験体断面幅

N_w : 一組の横補強筋の足の数

N_s : 一列主筋のうち、直接中子筋のかかっているもの本数

N_u : 一列主筋のうち、直接中子筋のかかっていないもの本数

p_w : 横補強筋比

p_w' : 断面外周に配筋された横補強筋比

[2010年6月8日原稿受理 2010年9月1日採用決定]