論文 繊維補強コンクリートと鋼板を組み合せたはり部材の力学性状

角脇 三師*1・水野 勇*2・国枝 稔*3・六郷 恵哲*4

要旨:鋼繊維補強コンクリート,高靭性セメント複合材料,普通コンクリートの3種類のコンクリートと鋼板とを組み合せた複合はり部材を作製し,材料特性ならびに付着特性が部材の曲げ性能に及ぼす影響について比較検討した。コンクリートと鋼板の剥離過程を打音法により検出し,部材の力学挙動と関連付けて考察した。ECC は変形能に優れているため,鋼板との付着が良好であった。打音法により鋼板とコンクリートとの剥離過程を精度よく検出することができた。

キーワード:繊維補強コンクリート,複合はり部材,付着,打音法

1.はじめに

繊維補強セメント系材料の中で,近年開発さ れたひずみ硬化型高靭性セメント複合材料 ECC(Engineered Cementitious Composites)は, 引張応力下で初期ひび割れ発生後も複数のひび 割れを分散して発生させる特性(マルチプルク ラック特性)を示し,引張ひずみ(引張変形) の増加に伴って応力が増加するひずみ硬化特性 を示す材料である¹⁾。

本研究で対象とした部材は,逆L字型または T字型の鋼材を鋼板に溶接し,その上にコンク リートを打設し,鋼板をコンクリートの補強材 として使用した複合はり部材である。この部材 は,コンクリートを打設した後に下面の型枠の 取外しが不要であり,施工性に優れている。し かし,このような部材にひずみ硬化型高靭性セ 曲線で表わされる複合はり部材の力学性状を対象として,3種類のコンクリートと鋼板との付着性状の違いとその影響について検討した。また母材と鋼板との付着を無くした部材と,付着を向上させた部材を作製し,付着が力学性状に与える影響について検討した。

2. コンクリートの種類の違いによる影響

- 2.1 実験概要
 - (1) 供試体概要

供試体は、鋼板の上にコンクリートを打設し, 複合させた複合はり部材である。コンクリート と鋼板の一体性を向上するため,鋼板には逆 L 字型とT字型の2種類の鋼材をはり軸方向に溶 接した。鋼板の厚さは全て 6mm とした。逆 L 字型鋼材を使用した供試体の断面寸法は,高さ

メント複合材料や鋼繊維
補強コンクリートを適用
した研究は少なく、付着
性状の影響をはじめ解明
されていない点が多い。

れていない点か多い。 材齢8 本研究では,荷重変位 材齢10 表 1 強度試験の結果

	圧縮強度(MPa)			弾性係数(GPa)			曲げ強度(MPa)		
	NC	ECC	SFRC	NC	ECC	SFRC	NC	ECC	SFRC
材齢3週		36.8	50.3	_	15.9	29.1	_	7.5	6.4
材齢6週	71.8	44.9	52.1	41.4	17.5	28.2		_	
材齢8週	72.3	45.5	57.9	42.9	16.4	30.4	8.8	9.8	7.9
材齢10週	77.8	_	53.7	44	-	32.4	9.4	10.2	6.9

- *1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (正会員)
- *2 篠田製作所 橋梁設計課
- *3 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 助手 工博 (正会員)
- *4 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 教授 工博 (正会員)

供試体のタ	供試	体寸法	(mm)	鋼板の配置	材齢					
尻武体の石	幅高さ		長さ	ച്ച¶100018010	(日)					
逆L短NC	300	110	1730	下側						
逆L短ECC	300	110	1730	下側	29 ~ 31					
逆L短SFRC	300	110	1730	下側						
逆L短上NC	300	110	1730	上側						
逆L短上ECC	300	110	1730	上側						
逆L短上SFRC	300	110	1730	上側	53 ~ 56					
T長NC	300	140	4000	下側	33.230					
T長ECC	300	140	4000	下側						
T長SFRC	300	140	4000	下側						
T短上NC	300	140	1730	上側	70~71					
T短上ECC	300	140	1730	上側	/0 - /1					

表 2 供試体の種類

110mm,幅 300mm とし,全体長は 1730mm と した。T字型鋼材を使用した供試体の断面寸法 は,高さ 140mm,幅 300mm とし,全体長は 1730mm と 4000mm の 2 種類とした。はり両端 には,型枠を兼ねて,鋼板を溶接した。主たる コンクリートの種類は,ひずみ硬化型高靭性セ メント複合材料(繊維:PVA 繊維(0.04 × 12mm),混入率:2%,水結合材比:46%,以下 ECC と呼ぶ),鋼繊維補強コンクリート(繊維: 鋼繊維(0.6 × 30mm),混入率:1.5%,水結合 材比:50%,以下 SFRC と呼ぶ),比較用に普通 コンクリート(水セメント比:43%,以下 NC と呼ぶ)を用いた。コンクリートの強度試験の 結果を表 1に示す。NCに比べて ECC の圧縮 強度は約60%であり SFRC は約70%であった。

(2) 載荷方法

モーメントスパンを 300mm とする 4 点曲げ 載荷(漸増繰返し載荷)試験を行った。各供試 体のせん断スパンは,逆L短供試体とT短供試 体では,600mm とし,T長供試体では,1700mm とした。鋼板を引張側(下側)にした供試体に 加え,供試体の上下を反転させて鋼板を圧縮側 (上側)とした供試体についても載荷試験を行 った。供試体の種類,供試体材齢,鋼板配置状 況を表 2 に示す。また,供試体概要を図 1 に示す。

(3) 計測概要

中立軸を計測するためひずみゲージを供試体 の側面(コンクリート面)と上下面に貼り付け



た。ひずみゲージの貼り付け位置を図 2 に示 す。

打音法では,漸増繰返し載荷において,各除荷 後にインパルスハンマーで鋼板の計測点を3回 打撃し,打撃点から15cm離したマイクロフォ ンで打撃音を計測した。マイクロフォンで計測 した波形(打撃音を伝える空気の疎密波)の最 大振幅値をインパルスハンマーで入力した最大 振幅値(打撃力)で除した値を振幅値比とし, 各計測点について求めた。計測点(打撃点)を 図 3に示す。

2.2 結果と考察

(1) 逆L短供試体の破壊性状

鋼板を下面に配置した逆L短供試体の荷重変 位曲線を図 4 に示す。NC 供試体に比べ,ECC 供試体の最大荷重は約80%,曲げ剛性は約75% であった。ECC の弾性係数は,NC の約40%で あったが,供試体の曲げ剛性は約75%であった。 これは,はり供試体の曲げ剛性に及ぼす鋼材の 寄与が大きいためと考えられる。後述するよう に,ECC では引張力も受け持つため,引張域の ECC の剛性の寄与も含まれると考えられる。

供試体の側面と上下面に貼り付けたひずみゲ ージで計測したひずみ分布を図 5に示す。得 られたコンクリートのひずみ分布から,最小二 乗法により中立軸の位置(下面からの位置で表 示)求め,図 6に示す。





鋼板を下面に配置した逆L短供試体において は、下面の鋼板が降伏した後に、コンクリート が圧壊した。ECC の圧壊直前のひずみは 0.5% と非常に大きかった。ECC 供試体や SFRC 供試 体に比べ,NC 供試体の場合,下面鋼板に貼り 付けたゲージで計測されるひずみの値は,コン クリートのひずみ分布から推定される値に比べ て小さくなる傾向がみられた。これは,鋼板と コンクリートとの付着が失われ,鋼板が広い領 域で伸び,ひずみの値が大きくならなかったた めと考えられる。一方, ECC供試体のひずみ分 布は,直線に近い形状となった。これは,ECC 供試体の場合,中立軸位置が低く,鋼板のひず みが相対的に小さいうえに 後述のように ECC と鋼板との付着が良好であったためと考えられ る。逆L短NC供試体では,最大荷重近くで, 供試体上面にはり軸方向のひび割れが生じた。 これは,内部の逆L字型の鋼材の変形によるも のと思われる。ECCやSFRC供試体では,この ようなひび割れは生じなかった。本研究で用い たような鋼板とコンクリートの複合部材では, 局所的な破壊を防ぐ意味でも普通コンクリート よりも繊維補強コンクリートの方が適している と考えられる。

(2) 逆L短供試体の剥離推定(打音法)

振幅値比は,剥離面積に影響を受ける値であ り,剥離が起こると初期の値に比べて大きくな る²⁾。逆L短NC供試体の各計測点の振幅値比 を図 7に示す。横軸は繰返し載荷ごとの最大 変位縦軸は除荷後に計測した振幅値比を示す。 変位が2~3mmと小さな段階(荷重では約60kN で最大荷重の約1/3程度である)から,振幅値 比が急増しており,剥離が起こったことがわか る。また,奇数計測点(1,3,5,7,9,11,13, 15)より偶数計測点(2,4,6,8,10,12,14, 16)の方が早く増加した。そこで各供試体にお いて,偶数計測点の内,モーメントスパン内の計 測点の2点の結果を図 8に示す。SFRC供試 体はNC供試体と同様に小さい変位で振幅値比 が増加し,初期の載荷で剥離が起こったことが



わかる。一方, ECC は変位が 7~14mm にかけ て振幅値比が緩やかに増加した。これは, ECC にひび割れが発生した後も、ひび割れが分散し, 見かけのひずみの増加に伴って, ECC の変形も 増加したため,鋼板と母材の剥離が遅れたと考 えられる。



(3) 逆L短上供試体の荷重変位

次に鋼板を圧縮側(上側)に配置した逆L短 上供試体の曲げ試験結果を図 9に示す。最大 荷重は ECC 供試体が最も大きく,次に SFRC, NC の順となった。NC は初期ひび割れが発生し た後,引張応力に対して抵抗せず,部材の曲げ 剛性が低下した。一方,ECC や SFRC は引張応 力に対して抵抗するため,最大荷重が大きくな った。SFRC 供試体ではひび割れ幅が拡大する と荷重が低下した。ECC 供試体では,ひび割れ が分散して生じるひずみ硬化挙動を示すため, 最大荷重レベルでの変形が大きくなった。

(4) T字供試体の荷重変位

次にT短上供試体とT長供試体の曲げ試験の 結果を図 10と図 11に示す。両供試体とも, 鋼材の量が多いため,コンクリートの種類の影 響は小さくなった。鋼板とコンクリートを複合 させたはり部材では,圧縮力をある程度鋼材に 負担させることが,力学挙動のうえからは望ま しいと考えられる。

3. 付着の有無による影響

3.1 実験概要

ここでは,以下に示す2種類の供試体を1体 ずつ作製した。鋼板とコンクリートの境界にお ける付着を無くした供試体では,逆L短SFRC 供試体の鋼板の表面にテフロンシート(厚さ 0.1mm)を設置し,その上からSFRCを打設し た(付着無しと呼ぶ)。鋼板とコンクリートの付 着を改善した供試体では,鋼板表面に鋼棒(



10×100mm)を溶接した。鋼棒と鋼棒の間隔は 100mmとした。鋼棒の溶接方向は,はり軸方向 に対して直角方向とした(鋼棒リブと呼ぶ)。2 種類の供試体の寸法は幅300mm,高さ110mm, 長さ1730mmとした。載荷方法,ひずみゲージ の貼り付け方法,振幅値比の計測方法は前述の 実験と同様とした。供試体の断面を図 12に示 す。用いたSFRCは前述の実験と同配合であり, 供試体の試験時材齢(21日)における圧縮強度は 55.4(MPa),弾性係数は30.7(GPa)であった。

3.2 実験結果と考察

各供試体の荷重変位曲線を図 13 に示す。供 試体側面ならびに上下面のひずみ分布を図 14



に示す。打音法による計測結果として,モーメ ントスパンの計測点(2点)の結果を図 15 に 示す。付着無し供試体との比較のため,前述の 実験の逆L短SFRCの結果を図 13 に併記する。 逆L短SFRC供試体と付着無し供試体の荷重 変位曲線は,ほぼ一致する結果となった。すな わち,逆L短SFRC供試体は,載荷の載荷の早 い段階から剥離が生じ,付着無し供試体と同様 な挙動となったものと考えられる。下面の鋼板 のひずみは,コンクリートのひずみ分布から推 定される値に比べ,付着無し供試体では小さく なった。

鋼棒リブ供試体は,鋼板に鋼棒が配置されて いることから,鋼板とコンクリートとのずれが 生じにくく曲げ剛性が向上した。変位が2~ 3mmで,付着無し供試体と逆L短SFRC供試体 の荷重変位曲線は,鋼棒リブ供試体の荷重変位 から離れるが,これは,前述の実験において, 逆L短SFRC供試体の剥離を打音法で検出した 荷重レベルと一致する。本研究の結果から,打 音法が剥離の検出に有効なことがわかる。

4.まとめ

本研究の結果は以下のとうりである。

- 鋼板とコンクリートとを組み合せた複合部 材には、局部的な破壊を防ぐうえで、普通 コンクリートよりも繊維補強コンクリート の方が適していた。
- 2) 鋼板と普通コンクリートや鋼繊維補強コン クリートとの付着は荷重の小さい段階から 失われた。一方, ECC は変形能に優れてい るため,鋼板との付着が良好であった。鋼 板にリブを加工して付着を改善すると,曲 げ剛性が向上した。
- 3) 鋼板をインパルスハンマーで打撃する打音 法により、鋼板とコンクリートとの剥離の 様子を精度よく検出することができた。

参考文献

- 高靭性セメント複合材料の性能評価と構造 利用研究委員会:高靭性セメント複合材料 を知る・作る・使う,日本コンクリート工 学協会,2002.1
- 2) 日本コンクリート工学協会:コンクリート 構造物の診断のための非破壊試験方法研究 委員会報告書,2001.3