

論文 超高強度繊維補強コンクリートを用いた RC はりのせん断特性に及ぼす高級アルコール系収縮低減剤の効果

河野 克哉*1・川口 哲生*2・森 香奈子*3・田中 敏嗣*4

要旨: 超高強度繊維補強コンクリートは自己収縮が大きいいため、異形鋼材を配置すると収縮変形の内部拘束によるひび割れを生じやすい。そこで市販ならびに新規の収縮低減剤を添加した RC はりを作製し、せん断特性を評価した。その結果、収縮低減剤によって超高強度繊維補強コンクリートの養生中における収縮が低減し、破壊力学特性が改善されるため、RC はりのせん断耐力を向上できることがわかった。これらの効果は、新規収縮低減剤を添加した場合に顕著であり、鋼繊維を混入しない超高強度繊維補強コンクリートに適用した場合でも、初期ひび割れに起因した耐荷性能の低下が小さい RC はりを製造できることが確認できた。

キーワード: 超高強度繊維補強コンクリート、鋼繊維、収縮低減剤、破壊力学特性、RC はり、せん断耐力

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFC)は 200N/mm^2 以上の高強度を有するとともに、引張軟化特性、流動性および耐久性を飛躍的に向上できる材料である。このような UFC の特長は水結合材比がきわめて低いことや 90°C 程度の高温養生などによって実現されているものの、その反面で自己収縮が増大しやすいといった課題がある。このため、土木学会の UFC の設計・施工指針(案)では UFC の大きな収縮が異形鋼材で拘束されることで発生するひび割れを防止する観点から、原則として UFC 内部に異形鋼材を配置しないことにしている¹⁾。

本研究では UFC の収縮を低減することで内部拘束ひび割れを抑制し、従来は不可能であった RC 部材などに UFC が適用できるかどうかについて検討を行ったものである。このため、市販ならびに新規開発の収縮低減剤(以下、SRA)をそれぞれ添加した UFC の破壊力学特性や収縮特性などを測定するとともに、これらの UFC を用いた RC はりを載荷試験に供してせん断特性を評価した。また鋼繊維を混入していない UFC にも収縮低減剤を添加し、その材料ならびに RC 部材の性能を比較検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料、配合および養生

(1) 使用材料

表-1 に示すように UFC の設計・施工指針(案)に準拠した標準配合粉体(粉体中の結合材は以下 B、骨材は以下 S と記す)、鋼繊維(以下、F)および高性能減水剤(以下、SP)に加えて、SRA として市販の低級アルコール系(以下、SRA1)ならびに新しく開発した高級アルコール系²⁾(以

下、SRA2)の2種類を用いた。また SRA の添加による連行空気量の増加を抑制する目的で消泡剤(以下、DFA)を使用し、SRA1 にはポリエーテル系(以下、DFA1)を、SRA2 にはシリコン系(以下、DFA2)をそれぞれ組み合わせる形で添加した。

(2) 配合

表-2 に SRA1, SRA2 をそれぞれ添加した場合ならびに SRA を添加していない場合の UFC の配合を示した。一般に分子中に含まれる炭素数が少ないアルコール(低級アルコール)は水によく溶けるものの、炭素数が多く、分子中の炭素水素基(疎水基)の占める割合が高いアルコール(高級アルコール)は水に溶けにくい。主成分であるアルコールの分子中の炭素数は SRA1 の場合に4個で易溶性を示すものの、SRA2 の場合には8個となって難溶性を示すようになる。このため流動性と強度発現性の両方を確保する観点から、易溶性の SRA1 は水量(以下、W)の一部に内割置換で、難溶性の SRA2 は W に対して外割添加で、いずれの場合も添加量(以下、 V_{sra})を 15kg/m^3 として用いた。なお、DFA は W の一部として内割置換し、DFA1 は添加量 $B \times 0.02\%$ で、DFA2 は添加量 $SRA2 \times 5\%$ でそれぞれ使用した。また、鋼繊維の体積混入率(以下、 V_f)はすべての UFC に対して内割2%ならびに0%とした。

(3) 養生

SRA1, SRA2 をそれぞれ添加した UFC ならびに SRA を添加していない UFC は、いずれも所定の型枠内に打ち込んで標準熱養生に供した。すなわち、1次養生(封緘養生: 20°C , 48h)の後で脱型し、2次養生(蒸気養生: 昇温速度 15°C/h , 最高温度 90°C , 最高温度保持時間 48h, 降温速度 15°C/h)を行った。

*1 太平洋セメント(株)中央研究所 セメント・コンクリート研究部 主任研究員 博(工) (正会員)

*2 太平洋セメント(株)中央研究所 セメント・コンクリート研究部 副主任研究員 修(工) (正会員)

*3 太平洋セメント(株)中央研究所 セメント・コンクリート研究部 修(工) (正会員)

*4 太平洋セメント(株)中央研究所 セメント・コンクリート研究部 チームリーダー 博(工) (正会員)

表-1 UFC の使用材料

材料	種類	略号	成分ならびに物性
標準配合粉体	結合材	B	市販のプレミックス粉体
	骨材	S	市販のプレミックス粉体
補強用繊維	鋼繊維	F	市販の専用繊維, 長さ 15mm, 直径 0.2mm, 密度 7.85g/cm ³
混和剤	高性能減水剤	SP	市販の専用減水剤
	収縮低減剤	SRA1	低級アルコールアルキレンオキシド付加物(炭素数 4 個), 易溶性, 密度 1.02g/cm ³
		SRA2	高級アルコールアルキレンオキシド付加物(炭素数 8 個), 難溶性, 密度 0.98g/cm ³
	消泡剤	DFA1	ポリエーテル系(ポリアルキレングリコール誘導体)
DFA2		シリコン系(ジメチルシリコン)	

表-2 UFC の配合ならびにフレッシュ性状

No.	V _f (%)	V _{sra} (kg/m ³)	単位量 (kg/m ³)									フロー ^{*3} (mm)	空気量 ^{*4} (%)	始発 ^{*5} (h-m)
			W	SRA1 ^{*1}	SRA2 ^{*2}	B	S	F	SP	DFA1	DFA2			
1	2	15	180	15	—	1322	932	157	23.5	B×0.02%	—	272	2.5	14-35
2				—	15					—	SRA2×5%	280	3.5	12-15
3				—	—					—	—	—	272	3.8
4	0	15		15	—	0	22.5	B×0.02%	—	275	3.0	14-25		
5				—	15	—	—	SRA2×5%	263	3.2	12-10			
6				—	—	—	—	—	268	2.8	10-20			

*1 W の一部として内割置換。*2 W に対して外割添加。*3 フローコーンを引き上げて無振動にて 180 秒経過後に測定。

*4 質量法にて算出。*5 プロクター貫入抵抗値 3.5N/mm² (鋼繊維を混入せずに測定)。

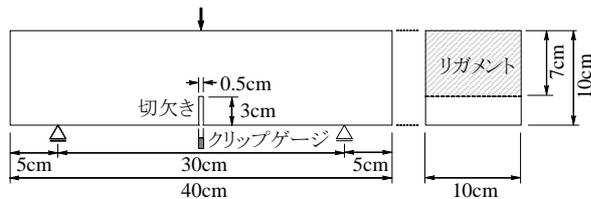


図-1 切欠きはりの 3 点曲げ試験の方法

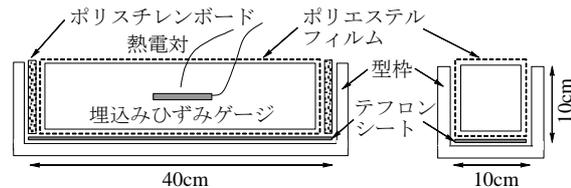


図-2 収縮ひずみ測定の方法(材齢 48 時間以前)

2.3 UFC の材料特性の試験方法

(1) 圧縮強度ならびにひび割れ発生強度

圧縮強度(以下, f'_c)ならびにひび割れ発生強度(以下, f_{cr})は, それぞれ寸法 $\phi 5 \times 10\text{cm}$, $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の供試体にて測定した。なお, f_{cr} は UFC の設計・施工指針(案)に記載されている割裂引張試験から求める方法とし³⁾, 供試体端面にポリエステル箔ひずみゲージを貼り付け, このひずみの計測値が不連続になったときの荷重をひび割れ発生とした。

(2) 破壊力学特性

破壊エネルギー(以下, G_F)の測定は, JCI-S-002-2003 に準じて, 図-1 に示す切欠きはり供試体の 3 点曲げ試験から荷重-ひび割れ開口変位(以下, $CMOD$)曲線を求め, JCI-S-001-2003 に準じて式(1)にて G_F を算出した。切欠きは標準熱養生を行った供試体で曲げ試験に供する前にカッターにて部分的に切断する形で導入した。

$$G_F = (0.75W_0 + W_1) / A_{lig} \quad (\text{N/mm}) \quad (1)$$

ここで, W_0 : 荷重- $CMOD$ 曲線下の面積 ($\text{N} \cdot \text{mm}$), W_1 : 供試体の自重ならびに載荷治具が成す仕事 ($\text{N} \cdot \text{mm}$), A_{lig} : リガメントの面積 (mm^2)。

なお, 鋼繊維を混入した供試体は最終的に破壊しないため, ひび割れ発生後の最大荷重とその下降域が十分に確認できた時点 ($CMOD=10\text{mm}$) で曲げ試験を終了し, その時点で破壊したものと仮定して G_F を計算した。

引張軟化曲線は, 図-1 の試験で得られた荷重- $CMOD$ 曲線から, はり中央部に仮想ひび割れモデルを組み込んだ FEM を用いて多直線近似法⁴⁾にて推定した。

(3) 収縮ひずみ

1 次養生(封緘養生, 20°C)中の材齢 48 時間までは, 図-2 に示すように供試体の自由な変形の拘束(底面にテフロンシートならびに両端面にポリスチレンボードの設置), および水分の逸散を防止(全面にポリエステルフィルムの設置)した型枠(寸法 $10 \times 10 \times 40\text{cm}$)内で凝結の始発に達した時点から供試体中心部に設置した埋込みひずみゲージ(弾性係数 39N/mm^2 , 標点距離 10cm)にて測長した。その後の 2 次養生(蒸気養生, 90°C)では, 供試体を脱型(全面に施したポリエステルフィルムを除去)した状態にて同様に埋込みひずみゲージにて測長した。なお, 収縮ひずみの算出では, 熱電対にて水和熱を測定し, UFC の線膨張係数を $13.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ と仮定して⁵⁾, 長さの補正を行った。

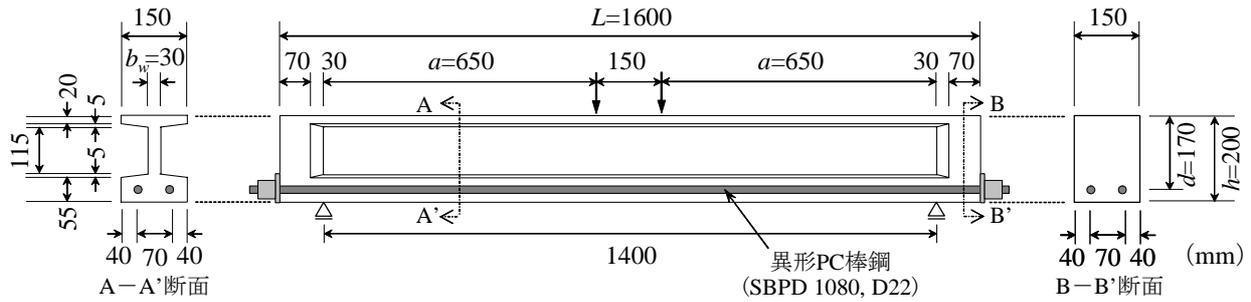


図-3 RC はりの断面諸元

2.4 UFC を用いた RC はりのせん断特性の試験方法

(1) RC はりの作製方法

図-3 は RC はりの断面諸元を示したものであり、ウェブ厚 $b_w=30\text{mm}$ 、有効高さ $d=170\text{mm}$ の I 型断面を有する全長 $L=1600\text{mm}$ のはり部材とした。引張縁の軸方向には異形 PC 棒鋼 (SBPD 1080, D22) を使用し、両側のせん断スパンにはせん断補強鉄筋を一切使用しない配筋状態とした。RC はりは UFC の自己充填性を利用して一方向から流込み成形し、標準熟養生 (1 次養生 24h, 2 次養生 48h) を行った後で荷重に供した。なお、表-2 に示した 3 配合にて RC はりを作製し、供試体数は各配合につき 1 本ずつとした (計 3 本)。

(2) RC はりの荷重方法

RC はりは図-3 に示すように支点間 1400mm、等モーメント区間 150mm、せん断スパン有効高さ比 $a/d=3.67$ となるように支点と荷重点を設置し、耐圧機にて 2 点集中荷重を静的に作用させた。荷重をロードセルで検出しながら、はり中央たわみならびに鋼材ひずみを測定した。なお、凝結の始発から荷重直前 (1 次養生ならびに 2 次養生終了後) までに生じた収縮に起因する内部鋼材の初期ひずみも測定した。

3. 実験結果ならびに考察

3.1 SRA を添加した UFC の材料特性

(1) UFC の流動性、凝結および強度特性

表-2 ならびに表-3 は、SRA1 ならびに SRA2 を $V_{sra}=15\text{kg/m}^3$, 0kg/m^3 、鋼繊維を $V_f=2\%$, 0% で、それぞれ組み合わせて用いた UFC の流動性、凝結および強度特性を示したものである。表-2 から、いずれの SRA を用いた場合にもフロー 270mm 以上の高い流動性を示すことがわかる。また、始発時間は、いずれの SRA を添加した場合にも延長される傾向を示すが、W に外割添加した SRA2 の場合は W に内割置換した SRA1 の場合よりも始発時間を短縮できた。表-3 から、 $V_f=2\%$ ならびに 0% のいずれの場合においても UFC の f_c' は、SRA を添加していない場合にくらべて W に内割置換した SRA1 の場合はほぼ同等となり、W に外割添加した SRA2 の場合は

表-3 UFC の強度特性

No.	V_f (kg/m^3)	V_{sra} (kg/m^3)	SRA 種類	f_c' (N/mm^2)	f_{cr} (N/mm^2)	G_F (N/mm)
1	2	15	SRA1	233	9.51	18.54
2			SRA2	207	9.98	19.99
3			—	224	8.06	16.20
4	0	15	SRA1	220	9.08	0.027
5			SRA2	200	8.81	0.026
6			—	221	8.92	0.025

やや低下したものの、すべての配合において 200N/mm^2 以上の超高強度となった。また SRA を添加しない $V_f=2\%$ の場合の f_{cr} は、同じく SRA を添加しない $V_f=0\%$ の場合の f_{cr} よりも小さい値となっており、鋼繊維が母材の収縮変形を拘束することで母材には引張力が生じていた可能性がある。このため $V_f=2\%$ の場合に SRA を添加すると f_{cr} の低下が抑制できたと考える。とくに $V_f=2\%$ の場合は SRA1 を用いた場合よりも SRA2 を用いた場合の方が f_{cr} が高くなったものの、 $V_f=0\%$ の場合には SRA の種類や添加の有無が f_{cr} に与える影響は明確でなかった。

(2) UFC の破壊力学特性

図-4 は $V_f=2\%$ の UFC を用いた切欠きはりの荷重— $CMOD$ 曲線を示したものである。いずれの SRA を添加した場合にもピーク荷重が増加しており、とくに SRA2 を添加した場合には SRA を添加していない場合にくらべてピーク以降の下降域でも同一の $CMOD$ に対して高い荷重を常に維持できることがわかった。このため、表-3 に示すように $V_f=2\%$ とした UFC の G_F は、いずれの SRA を添加した場合でも SRA を添加していない場合にくらべて向上するものの、SRA2 を添加した場合にもっとも高い値を示した。なお、SRA を添加すると、荷重— $CMOD$ 曲線は荷重低下と増加を細かく繰り返す形で振幅が観察されるようになり、とくに SRA2 を添加した場合には顕著となった。これは、SRA2 の添加により母材と繊維との界面付着が改善されることで、大きな引張力を分担できるようになった繊維が母材 (モルタルマトリクス) との付着切れを起こした際に急激に引き抜けるために生じた現象と考えられ、今後、剛性の高い試験機による検証が必要である。 $V_f=0\%$ とした UFC の G_F は、表

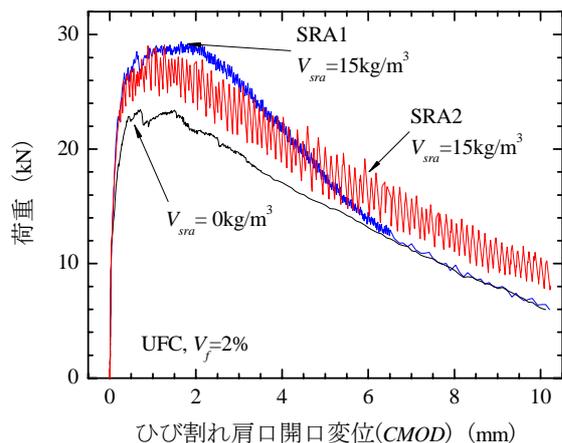


図-4 SRA を添加した UFC の荷重-CMOD 曲線

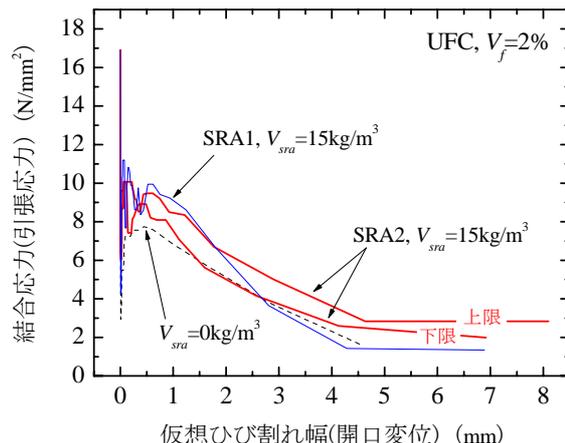


図-5 SRA を添加した UFC の引張軟化曲線

一3 に示すように鋼繊維を $V_f=2\%$ で混入した場合よりもかなり低い値であり、鋼繊維を混入していない場合には SRA の種類ならび添加の有無が G_F に与える影響はほとんど認められなかった。

図-5 は $V_f=2\%$ の UFC において引張軟化曲線を推定した結果を示したものである。なお、SRA2 を用いた UFC の場合、荷重-CMOD 曲線の振幅が大きかったため、その荷重-CMOD 曲線の上限值ならびに下限値を抽出し、それぞれに対応する引張軟化曲線を推定した。図から、SRA を用いることで軟化開始応力が向上し、SRA1 を用いた場合がもっとも高い結果となった。しかし、仮想ひび割れ幅が $1.75\sim 2.75\text{mm}$ の範囲以上になると、SRA1 を用いた場合よりも SRA2 を用いた場合の方が結合応力が高くなり、SRA2 の添加によって、ひび割れた UFC の引張応力の伝達性能が向上することがわかった。

(3) UFC の収縮特性

図-6 は養生中に生じた UFC の収縮ひずみの測定結果を示したものである。 $V_f=2\%$ の場合、1 次養生ならびに 2 次養生を通じた全収縮ひずみは、SRA を添加しない場合にくらべて SRA1 を添加した場合には 32% ほど、SRA2 を添加した場合には 50% ほど低減できており、SRA2 を用いることで UFC の収縮を大幅に低減できることがわかった。また、 $V_f=0\%$ とした場合の全収縮ひずみは、 $V_f=2\%$ の場合にくらべて SRA1 を添加した配合で 1.89 倍、SRA2 を添加した配合で 1.94 倍、SRA を添加していない配合で 1.53 倍となっており、鋼繊維の混入は収縮低減に寄与できることや、鋼繊維と SRA を併用した方が収縮の低減効果が高いことがわかった。

表-3、図-4 および図-6 の結果を勘案すると、鋼繊維を混入した UFC において SRA を添加することで f_{cr} や G_F が向上した原因には、i) 収縮を鋼繊維が拘束することで母材に生じる引張応力を低減できること、ii) 母材と鋼繊維の界面に生じる収縮応力を低減し、微細収縮ひび割れを抑制することで鋼繊維の架橋効果を向上

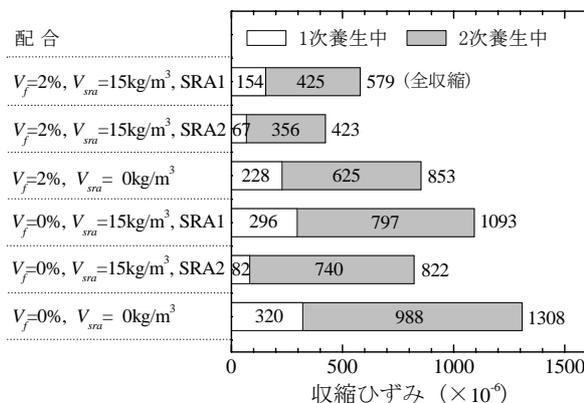


図-6 養生中における UFC の収縮ひずみ

できること、などが関与したと考えられる。なお、このような効果は収縮低減剤と短繊維を併用することで高強度軽量骨材コンクリートの破壊力学特性が改善された既往の研究例⁶⁾にきわめて類似している。

3.2 SRA を添加した UFC はりのせん断特性

(1) RC はりの載荷試験結果ならびにひび割れ状況

表-4 は、SRA1 ならびに SRA2 を $V_{sra}=15\text{kg/m}^3, 0\text{kg/m}^3$ にて添加し、 $V_f=2\%$, 0% の UFC を用いた RC はりの載荷試験結果をまとめたものである。 $V_f=2\%$ の場合、SRA を添加した配合では SRA を添加していない配合にくらべて RC はりの終局荷重(以下、 P_u)が増大した。図-7 は、 $V_f=2\%$ とした RC はりの載荷終了後のひび割れ状況を示したものであり、いずれの RC はりも斜めひび割れによって破壊したことがわかる(図中では最終的に破壊に至った斜めひび割れを太線(赤色)で表示した)。 $V_f=2\%$ の場合には、下フランジ部分は SRA の添加によって載荷前の初期に生じる引張応力が低下し、ひび割れが減少しているものの、ウェブ部分については SRA の添加の有無によってひび割れの分散性に大きな違いがなかった。

一方、 $V_f=0\%$ の場合、表-4 に示すように SRA の種類ならびに添加量によって RC はりの P_u は大きく変化しなかった。図-8 は、 $V_f=0\%$ とした RC はりの載荷終了

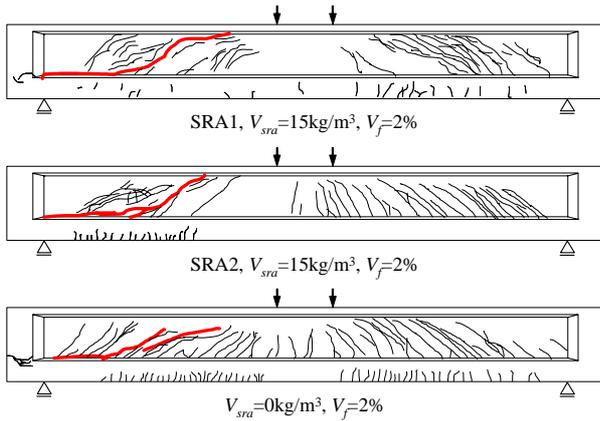


図-7 鋼繊維を混入した UFC はりのひび割れ状況

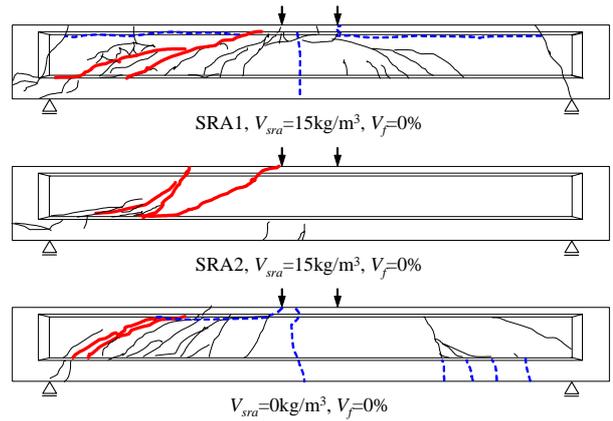


図-8 鋼繊維を混入しない UFC はりのひび割れ状況

後のひび割れ状況を示したものであり、いずれの RC はりも斜めひび割れで破壊したものの、SRA1 を添加した場合ならびに SRA を添加していない場合には養生中にすでにひび割れが発生していた(図中には養生終了時に生じていた初期ひび割れは破線(青線)で、荷重によって最終的に破壊に至った斜めひび割れは太線(赤色)で表示した)。なお、SRA2 を添加した場合には、荷重試験開始までに初期ひび割れの発生は認められなかった。表-4 に示した $V_f=2\%$ の RC はりの主鉄筋初期ひずみはいずれも図-6 に示した UFC の収縮量と同程度の値となったが、 $V_f=0\%$ で SRA2 を添加した RC はりに生じた主鉄筋初期ひずみは UFC の収縮量の半分程度となった。このことから $V_f=0\%$ で SRA2 を添加した RC はりは、外見上のひび割れはほとんど無いが内部鉄筋周囲で部分的に微細ひび割れを生じている可能性や、鋼繊維を混入しない UFC のクリープ変形が大きく主鉄筋に応力が発生しにくい可能性などが考えられる。図-6 で示したように、 $V_f=0\%$ で SRA1 を添加した配合、ならびに $V_f=0\%$ で SRA を添加していない配合では、養生中に 1000×10^{-6} を超えるような大きな収縮ひずみを生じたことが、養生中の RC はりのひび割れ発生に起因したと考えられる。また、これらの RC はりでは、図-8 で示すように UFC の収縮変形が主鉄筋で拘束される等モーメント区間中央部や下フランジ下縁部だけでなく、下縁に配置した主鉄筋による拘束を受けにくい上フランジ部で養生中のひび割れがより多く認められた。

(2) RC はりの荷重-たわみ曲線

図-9 は、 $V_f=2\%$ とした UFC において、SRA の種類ならびに添加の有無が RC はりの荷重-たわみ曲線に与える影響を示したものである。UFC はりの等モーメント区間における曲げひび割れ発生荷重(以下、 P_c)は、SRA を添加していない場合と SRA1 を添加した場合には同程度であったものの、SRA2 を添加した場合には増大している。また UFC はりの P_u は表-4 に示したように SRA を

表-4 UFC を用いた RC はりの荷重試験結果

No.	UFC の配合			荷重前	荷重後の RC はり		
	V_f (%)	V_{sra} (kg/m ³)	SRA 種類	ϵ_s ($\times 10^{-6}$)	P_c (kN)	P_u (kN)	破壊形式
1	2	15	SRA1	604	36.5	196.4	斜め引張
2			SRA2	456	49.8	190.8	斜め引張
3	0	15	—	945	32.2	150.8	斜め引張
4			SRA1	—	養生中	37.7	(斜め引張)
5			SRA2	433	22.0	32.9	斜め引張
6			—	—	—	養生中	32.9

ϵ_s : 荷重直前まで(養生中)に生じた主鉄筋の初期ひずみ、
 P_c : (曲げ)ひび割れ発生荷重、 P_u : 終局荷重(最大荷重)

添加していない場合に比べて SRA1 を添加した場合 1.30 倍、SRA2 を添加した場合 1.27 倍となっており、ほぼ同様に耐力を向上させることができる。表-3 に示したように、いずれの SRA を添加した場合にも UFC 自体の G_f が増大した結果を勘案すると、SRA の添加によって、ひび割れた UFC、言い換えると、はりに生じた斜めひび割れの間で架橋した鋼繊維の応力伝達性能が向上し、はりのせん断性能を改善できたものと考えられる。なお、SRA の添加による繊維補強 RC はりのせん断耐力の改善は、既往の研究^{7),8)}にて高強度軽量骨材コンクリートの RC はりで確認された効果と同様なものであった。

表-4 に示したように $V_f=2\%$ の UFC の収縮が低減するほど、荷重直前までに生じる内部鋼材の初期ひずみが小さくなり、はりの P_c も増大している。これは、SRA の添加によって、i) 内部鋼材による UFC の収縮拘束で生じる下縁引張応力が低減できること(巨視的収縮拘束応力の低減)、ii) 鋼繊維による収縮拘束を低減して UFC 自体の f_{cr} が増大すること(微視的収縮拘束応力の低減)、などに起因するものと考えられる。なお、収縮の低減効果をもっとも高い SRA2 を添加した $V_f=2\%$ の UFC はりでは、SRA1 を添加した場合よりも P_c の値が大幅に向上しており、図-9 に示した荷重-たわみ曲線の結果から、初期剛性の改善にも寄与したことが確認できる。

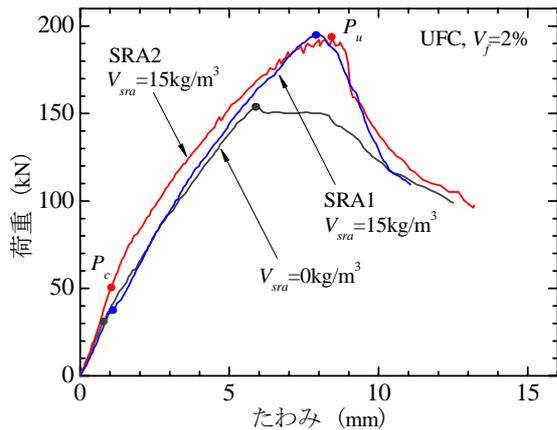


図-9 鋼繊維を混入したUFCはりの荷重-たわみ曲線

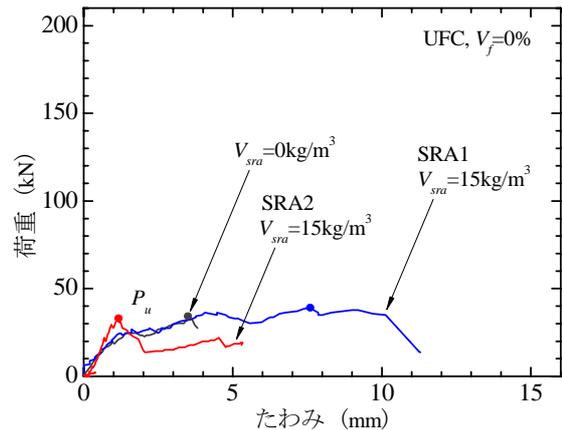


図-10 鋼繊維を混入しないUFCはりの荷重-たわみ曲線

図-10は、 $V_f=0\%$ としたUFCにおいて、SRAの種類ならびに添加の有無がRCはりの荷重-たわみ曲線に与える影響を示したものである。いずれの場合もRCはりの P_u は同程度であり、SRAの添加による P_u の向上効果は鋼繊維を混入していない場合には存在せず、SRAと鋼繊維を組み合わせることで発現する現象といえる。また、 $V_f=0\%$ でSRA1を添加した場合ならびにSRAを添加していない場合では、図-7に示したように載荷前に初期ひび割れを生じていたため、 $V_f=0\%$ でSRA2を添加した配合よりもピーク荷重までの初期剛性が低く、載荷前からUFCと鋼材が十分に一体化していなかったのではないかとと思われる。SRA2は鋼繊維を混入しないUFCに添加した場合であっても、初期ひび割れに起因した耐荷性能の低下が小さいRCはりを製造できることが確認できた。

4. まとめ

鋼繊維混入率を2%ならびに0%として収縮低減剤を添加した超高強度繊維補強コンクリートの力学特性ならびにRCはりのせん断特性について、本研究で得られた成果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 鋼繊維混入率 2%とした超高強度繊維補強コンクリートに収縮低減剤を添加すると、養生中に生じる収縮が低減するとともに、破壊エネルギーの向上ならびに引張軟化曲線の形状の改善が可能になった。
- (2) 鋼繊維混入率 2%とした超高強度繊維補強コンクリートを適用したRCはりは、収縮低減剤の添加でひび割れ発生荷重ならびにせん断耐力を増大できた。
- (3) 鋼繊維を混入せず超高強度繊維補強コンクリートの母材(モルタルマトリクス)だけで市販の低級アルコール系の収縮低減剤を添加しても破壊力学特性は改善できず、RCはりのせん断耐力も向上しなかった。
- (4) 新しく開発した高級アルコール系の収縮低減剤は鋼繊維混入率 2%の超高強度繊維補強コンクリートに生じる養生中の収縮を約50%低減でき、RCはりの初

期剛性の改善やせん断耐力の増大に寄与できた。

- (5) 高級アルコール系の収縮低減剤は収縮低減効果が高いため、鋼繊維を混入せず超高強度繊維補強コンクリートの母材(モルタルマトリクス)だけで作製したRCはりでも初期ひび割れがほとんど生じず、載荷時における初期剛性の低下を抑制できた。

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリートライブラリー113 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), p.4, 2004
- 2) 佐藤正己, 田中敏嗣, 杉山真悟:収縮低減剤を添加した超高強度繊維補強コンクリートの収縮特性, 第64回土木学会年次学術講演会講演概要集第V部門, pp.437-438, 2009
- 3) 土木学会:コンクリートライブラリー113 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), pp.11-12, 2004
- 4) 栗原哲彦, 安藤貴宏, 国枝稔, 内田裕市:多直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ性状, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.119-129, 1996.2
- 5) 土木学会:コンクリートライブラリー113 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), p.20, 2004
- 6) 河野克哉, 大滝晶生, 二羽淳一郎:混和材料と合成繊維を併用した高強度軽量骨材コンクリートの破壊力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1369-1374, 2005
- 7) 河野克哉, 二羽淳一郎, 大滝晶生, 村田裕志:高強度軽量骨材コンクリートはりのせん断特性に及ぼす合成短繊維と収縮低減剤の併用効果, 土木学会論文集 第E部門, Vol.63, No.4, pp.575-589, 2007
- 8) 河野克哉, 二羽淳一郎, 大滝晶生:ポリプロピレン短繊維と有機系収縮低減剤を併用した高強度軽量RCはり部材のせん断強度評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, pp.1567-1572, 2008