有機繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートはりのせん断特性に及ぼす収縮低減剤の影響

太平洋セメント(株) 正会員 ○河野 克哉 川口 哲生 森 香奈子 田中 敏嗣
太平洋建設工業(株) 川村 禎昭

1．はじめに

超高強度繊維補強コンクリート(以下，UFC)は，従来のコンクリートにくらべて圧縮強度ならびに引張強度が飛躍的に高く，流動性や耐久性にも優れた材料である．しかし，UFC は水粉体比がきわめて低く，さらに高温で蒸気養生を行うことから，自己収縮が増大しやすい．このため，土木学会の UFC の設計・施工指針(案)では，UFC の収縮が異形鋼材によって拘束され，ひび割れが発生することを懸念し，原則として UFC は内部に異形鋼材を使用しないように規定している [1)]．ただし，適切な方法でひび割れを防止できる場合には，この限りではないことも言及されている．

筆者らはこれまで研究において，鋼繊維を用いた UFC の RC はりのせん断性能の改善に収縮低減剤(以下，SRA)の添加が効果的であることを明らかにしている [2)]．なお，鋼繊維を用いた UFC にくらべて有機繊維を用いた UFC の方が収縮の増大を生じやすいことから，本研究では有機繊維を用いた UFC においても SRA の添加で RC はりのせん断性能を向上させることができるかどうかについて検討した．

2．実験概要

(1) 使用材料ならびに配合

UFC の設計・施工指針(案)に準拠した標準配合粉体(以下，結合材：P，骨材：S)，有機繊維(以下，O)のポリビニルアルコール(以下，PVA)，高性能減水剤(以下，SP)に加え，SRA として**表 1** に示した市販の低級アルコール系 SRA1 ならびに新規開発の高級アルコール系 SRA2[3)]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)を添加し，SRA1 にはポリエーテル系の DFA1 を，SRA2 にはシリコーン系の DFA2 を組み合せる形で使用した(DFA はWの一部として内割添加)．

表 2 は SRA を添加した UFC の配合を示しており，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，いずれも添加量(以下，V_{sra})を 15kg/m^3 として使用した．また PVA 繊維の体積混入率(以下，V_f)はすべて UFC に対して内割で 3%とした．

表 1 使用した収縮低減剤ならびに消泡剤

種類	略号	成分ならびに物性
収縮低減剤	SRA1	低級ｱﾙｺｰﾙｱﾙｷﾚﾝｵｷｼﾄﾞ付加物，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ﾄﾞ付加物，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	シリコーン系 (ジメチルシリコーン)

表 2 有機繊維を用いた UFC の配合

No.	単位量 (kg/m^3)								
	W	SRA1*	SRA2**	P	S	O	SP*	DFA1*	DFA2*
1	178	15	－	1309	922	39	32	P×0.02%	－
2	178	－	15					－	SRA2×5%
3	178	－	－					－	－

* W の一部として内割置換．** W に対して外割添加．

表 3 有機繊維を用いた UFC の材料特性

配合			流動性	強度特性			収縮ひずみ		
SRA 種類	V_{sra}	V_f	フロー	f_c'	f_{cr}	G_F	1 次養生中	2 次養生中	全ひずみ
	kg/m^3	%	mm	N/mm^2	N/mm^2	N/mm	×10^{-6}	×10^{-6}	×10^{-6}
SRA1	15	3	278	179	11.9	7.70	279	265	544
SRA2	15	3	267	169	9.40	7.12	149	212	361
無し	0	3	276	191	8.84	6.55	460	332	792

f_c'：圧縮強度，f_{cr}：ひび割れ発生強度，G_F：破壊エネルギー

(2) UFC はり供試体の作製方法

図 1 ならびに**図 2** に，はりの形状，断面および配筋を示す．なお，引張縁には軸方向に異形 PC 棒鋼を配置したが，両側のせん断スパンにはせん断補強鉄筋を配置していない．

表 2 に示す配合にて練り混ぜた UFC は，いずれもフロー(落下無し)が 270±10mm となり，自己充填ではり供試体を成形することが可能であった．はり供試体は 1 次養生(封緘養生，20℃，48h)の後で脱型し，2 次養生(蒸気養生，最高温度 90℃，保持時間 48h，昇温速度 15℃/h)を行った．

(3) UFC はり供試体の載荷方法

養生を終了したはり供試体は，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，打込み完了から載荷直前(1 次・2 次の養生終了後)までに生じた内部鋼材の初期ひずみも測定した．

キーワード 超高強度繊維補強コンクリート，PVA 繊維，収縮低減剤，破壊エネルギー，せん断性能
連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3902

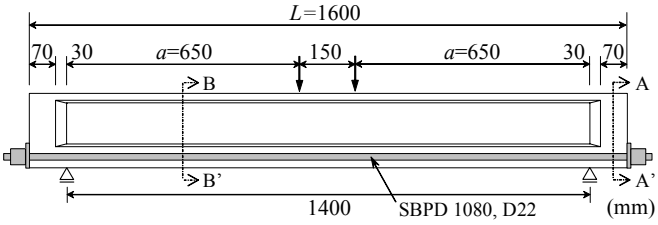

図 1 はりの形状と配筋

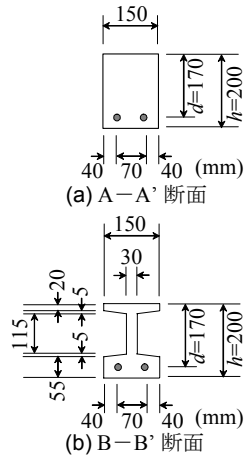

図 2 はりの断面と配筋

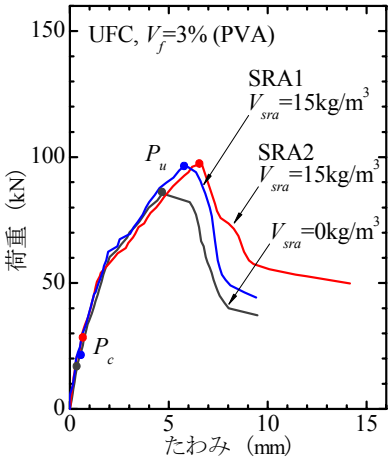

図 3 はりの荷重－たわみ曲線

3．実験結果

(1) SRA を添加した有機繊維混入 UFC の材料特性

表 3 は，SRA を添加した UFC の材料特性を示したものである．SRA を添加した UFC は，SRA を添加していない UFC にくらべて圧縮強度(以下，f_c')が 6～12%ほど低下するものの，ひび割れ発生強度(以下，f_{cr})ならびに破壊エネルギー(以下，G_F) はいずれも向上した．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 31%，SRA2 を添加した場合には 50%ほど低減できており，新規に開発した SRA2 を用いることで UFC の収縮を大幅に低減できた．なお, SRA を添加した UFC の f_{cr} や G_F が向上した原因としては, ①収縮を PVA 繊維が拘束することで母材に生じる引張応力を抑制できること, ②母材と PVA 繊維の界面に生じる微細収縮ひび割れを抑制することで PVA 繊維の架橋効果を向上できること, などが関与したのではないかと考える．

(2) SRA を添加した有機繊維混入 UFC はりの力学特性

図 3 は，SRA を添加した UFC はりの荷重－たわみ曲線を示したものであり, すべての UFC はりは斜めひび割れによって破壊した(斜め引張破壊)．いずれの SRA を添加した UFC はりでも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)ならびに終局荷重(以下，P_u)の増大が認められた．UFC はりの P_u は SRA を添加していない場合にくらべて SRA1 を添加した場合 1.13 倍，SRA2 を添加した場合 1.14 倍となっており，ほぼ同等に耐力を向上させることができた. **表 3** に示すようにいずれの SRA を添加した場合にも UFC 自体の G_F が増大しており，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で架橋した PVA 繊維の応力伝達性能が向上し, はり部材のせん断性能を改善できたものと考える．

表 4 SRA を添加した有機繊維混入 UFC はりの力学特性

No.	UFC の配合			載荷前(養生後)の鋼材のひずみ	はり部材の載荷結果		
	SRA 種類	V_{sra} kg/m^3	V_f %	×10^{-6}	P_c kN	P_u kN	破壊形式
1	SRA1	15	3	558	21.1	96.8	斜め引張破壊
2	SRA2	15	3	497	29.5	97.5	斜め引張破壊
3	無し	0	3	782	17.5	85.6	斜め引張破壊

P_c：曲げひび割れ発生荷重，P_u：終局荷重

表 4 は，SRA を添加した UFC はりの載荷試験結果をまとめたものである．UFC の収縮が低減するほど，載荷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，①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)，②PVA 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る．なお，収縮の低減効果がもっとも高い SRA2 を添加した UFC はりでは，SRA1 を添加した場合よりも P_c の値が向上することがわかった．

4．まとめ

PVA 繊維を用いた UFC に SRA を添加することで養生中に生じる収縮を低減するとともに破壊エネルギーを向上できることがわかった．また PVA 繊維を用いた UFC に SRA を添加して RC はりとした場合には，ひび割れ発生荷重ならびにせん断耐力を増大できることもわかった．

［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) 河野克哉ほか：収縮低減剤を添加した超高強度繊維補強コンクリートはり部材のせん断特性，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集第 V 部門，pp.419-420，2011.
3) 佐藤正己ほか：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，土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集第 V 部門，pp.437-438，2009.