

## 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

太平洋セメント(株) 正会員 ○河野 克哉 正会員 川口 哲生  
正会員 森 香奈子 正会員 田中 敏嗣

### 1. はじめに

200N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度を有する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引張強度が大きく向上しており, 流動性や耐久性にも優れた構造材料となっている. 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の内部に異形鋼材を使用しないことにしている<sup>1)</sup>. そこで, もしもUFCの収縮を効果的に低減して内部拘束ひび割れが抑制できれば, 構造部材に対するUFCの適用範囲を広げ, さらに新しい設計・施工が可能になるものと考えられる.

このような観点から, 本研究ではUFCの収縮低減に効果的となる2種類の収縮低減剤(以下, SRA)をそれぞれ添加したUFCはりを作製して曲げせん断載荷試験を行い, SRAを添加しない場合と比較することでせん断性能を評価した.

### 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(結合材は以下 P, 骨材は以下 S), 鋼繊維(以下, F)および高性能減水剤(以下, SP)に加えて, 表1に示すようにSRAとして市販の低級アルコール系のSRA1ならびに新しく開発された高級アルコール系のSRA2<sup>2)</sup>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にはシリコン系のDFA1を組み合わせた形で使用した(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, いずれの場合も添加量(以下,  $V_{sra}$ )を15kg/m<sup>3</sup>として使用した. また鋼繊維の体積混入率(以下,  $V_f$ )はすべてUFCに対して内割で2%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ノキジド付加物, 易溶性, 密度 1.02g/cm <sup>3</sup>
	SRA2	高級アルコールアルキレノキジド付加物, 難溶性, 密度 0.98g/cm <sup>3</sup>
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

表2 収縮低減剤を添加したUFCの配合

No.	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
	W	SRA1*	SRA2**	P	S	F	SP*	DFA1*	DFA2*
1	180	15	—	1322	932	157	23.5	P×0.02%	—
2	180	—	15					—	SRA2×5%
3	180	—	—					—	—

\*Wの一部として内割置換, \*\*Wに対して外割添加.

表3 収縮低減剤を添加したUFCの材料特性

SRA種類	配合		強度特性			凝結	収縮ひずみ		
	$V_{sra}$ kg/m <sup>3</sup>	$V_f$ %	$f'_c$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{crk}$ N/mm <sup>2</sup>	$G_F$ N/m	始発時間 h-m	1次養生中 ×10 <sup>6</sup>	2次養生中 ×10 <sup>6</sup>	全ひずみ ×10 <sup>6</sup>
SRA1	15	2	230.0	9.51	16.48	14-35	154	425	579
SRA2	15	2	204.8	9.41	18.54	12-15	67	356	423
無し	0	2	223.5	8.06	16.20	10-30	228	625	853

$f'_c$ : 圧縮強度,  $f_{crk}$ : 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の配合にて練り混ぜたUFCはいずれもフロー(無振動, 180秒経過時)が270mm以上となり, 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°C, 48h)の後で脱型し, 2次養生(蒸気養生, 最高温度90°C, 保持時間48h, 昇温速度15°C/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, 凝結始発から載荷直前(1次養生ならびに2次養生終了後)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, 収縮低減剤, 破壊エネルギー, 斜めひび割れ, せん断耐力

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

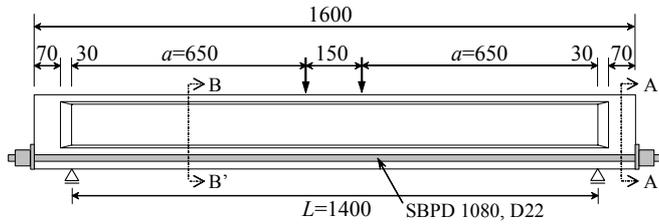


図1 はりの形状

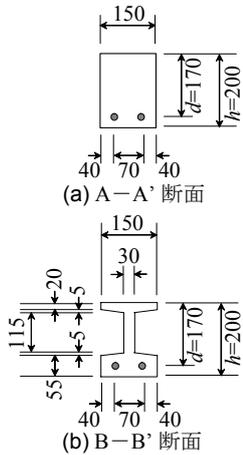


図2 はりの断面

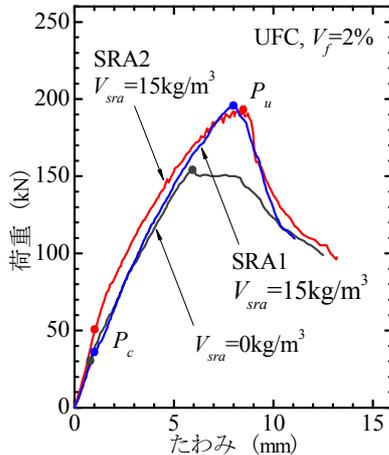


図3 はりの荷重-たわみ曲線

3. 実験結果

(1) 収縮低減剤を添加した 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。いずれのSRAを添加したUFCにおいても圧縮強度(以下、 $f_c$ )は $200\text{N/mm}^2$ 以上となり、ひび割れ発生強度(以下、 $f_{crk}$ )ならびに破壊エネルギー(以下、 $G_F$ )はSRAを添加していないUFCよりも向上した。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比べてSRA1を添加した場合には32%、SRA2を添加した場合には50%ほど低減できており、新しく開発されたSRA2を用いることでUFCの収縮を大幅に低減できる。なお、SRAを添加したUFCの $f_{crk}$ や $G_F$ が向上した原因としては、①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抑制できること、②母材と鋼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鋼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) 収縮低減剤を添加した 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、 $P_c$ )の低下ならびに終局荷重(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

表4 収縮低減剤を添加した 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 $\times 10^{-6}$	はり部材の載荷結果		破壊モード	
	SRA 種類	$V_{sra}$ $\text{kg/m}^3$		$V_f$ %	$P_c$ kN		$P_u$ kN
1	SRA1	15	2	604	36.5	196.4	斜め引張破壊
2	SRA2	15	2	457	49.8	190.8	斜め引張破壊
3	無し	0	2	945	32.2	150.8	斜め引張破壊

$P_c$ : 曲げひび割れ発生荷重,  $P_u$ : 終局荷重

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鋼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する。

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)、②鋼繊維による収縮拘束を低減してUFC自体の $f_{crk}$ 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する。なお、収縮の低減効果をもっとも高いSRA2を添加したUFCはりでは、SRA1を添加した場合よりも $P_c$ の値が大幅に向上しており、図3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できることがわかる。

4. まとめ

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SRAを添加したUFCをはり部材に適用した場合には、ひび割れ発生荷重が低下し、せん断耐力を増大できることもわかった。さらに新しく開発された高級アルコール系のSRA2はUFCの収縮を50%低減することが可能であり、UFCはりのせん断性能の改善にも高い効果があった。

【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) 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, 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.