軸方向補強鋼材を内部に配置した超高強度繊維補強コンクリートに発生する収縮応力

(株)太平洋コンサルタント　正会員　○川口　哲生
太平洋セメント(株)　正会員　河野　克哉

1. 目的

土木学会より刊行されている「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案）」[1]（以降，指針（案）と表記）では，原則として，超高強度繊維補強コンクリート(以降，UFC と表記)の内部には異形鉄筋を配置しないこととされている[1]．これは，UFC の収縮と異形鉄筋による拘束により，ひび割れの発生や引張応力の発生が懸念されるためである．しかし，軸方向補強鋼材を配置した場合，どの程度の収縮ひずみ・応力が発生するかなど，明確になっていないため，検討を行うこととした．

2. 実験概要

表−1 は試験水準を示したものであり，試験要因は UFC の種類(繊維の有無)，鋼材の種類・径である．対象とした UFC は，鋼繊維を 2.0vol.%混入（以降，FM2.0%と表記）したものと，短繊維を混入していないもの（以降，NF と表記）である．**図−1** は試験概要を示したものである．対象とした軸方向補強鋼材は，異形鉄筋，異形 PC 鋼棒(SBPD980/1080,D=22mm)，細径異形 PC 鋼棒（SBPDN，φ=12.6 mm）であり，表面形状の相違に着目して選定した．異形鉄筋は，鋼材径を変化させ，D13，D22，D32 (SD345, f_y=430N/mm^2)を用いた．**表−2** は UFC の示方配合を示したものである．指針(案)[1]に準拠した標準配合粉体，専用細骨材，鋼繊維および高性能減水剤(SP)を用いており，SP の添加量を調整して所定の流動性を確保した．試験体成型後，20℃ 24 時間の一次養生を行った後，最高温度を 90℃として，48 時間保持する標準熱養生[1]を行った．養生中に鋼材に発生する収縮ひずみの計測を行った．**図−1** は，収縮応力の測定で用いた試験体（内部に軸方向補強鋼材を配置した水準）の概要を示したものである．試験体は 100×100×1500mm の角柱であり，長手軸方向に軸方向補強鋼材を配置したものである．これは，JCI が提唱するコンクリートの自己収縮応力試験方法[2]を参考に定めたものである．軸方向補強鋼材を配置したケース (No.2～5, No.7～9)については，長手軸方向中央部における鋼材の節を研削した後，ひずみゲージを貼り付け，養生中に発生するひずみを計測した．また，同時に，熱電対を配置して試験体内部の温度を計測した．次に，軸方向補強鋼材を配置していないケース（No.1, No.6）については，試験体長手軸方向中央部に埋込みひずみ計と熱電対を配置して，養生中に発生するひずみと試験体内部温度を計測した．収縮ひずみの算出では，熱電対にて温度を実測し，UFC の線膨張係数を 13.5×10^{-6}/℃と仮定して，収縮ひずみの補正を行った．

3. 実験結果

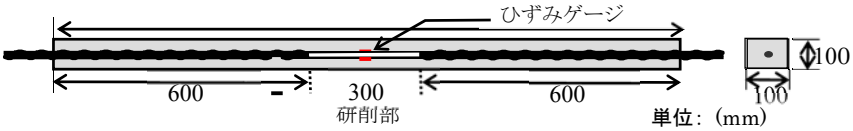
表−3 は実験結果を示したものである．ここで，収縮応力は式(1)を用いて算出した．収縮応力は，UFC 断面内

表−1 試験水準

No.	UFC の種類	鋼材種類	鋼材径 D または φ (mm)
1	FM2.0%	なし	−
2		異型鉄筋 D13	13.0
3		異型鉄筋 D22	22.0
4		異型 PC 鋼棒	22.0
5		細径異型 PC 鋼棒	12.6
6	NF (繊維なし)	なし	-
7		異型鉄筋 D13	13.0
8		異型鉄筋 D22	22.0
9		異型鉄筋 D32	32.0

表−2 UFC の示方配合

名称	単位量 (kg/m^3)				
	水	標準配合粉体[1]	専用細骨材	SP(水に含む)	繊維
FM2.0% (鋼繊維)	180	1322	932	24	157
NF(繊維無し)	183	1328	946	22	0



図−1 試験概要(軸方向補強鋼材を配置した水準)

キーワード　超高強度繊維補強コンクリート(UFC)，収縮
連絡先　〒285-0802 千葉県佐倉市大作 2-4-2 (株)太平洋コンサルタント コンクリート技術部 043-498-3870

に応力が均一に分布すると仮定して算出した.

$$\sigma_{sh} = \rho E_s \varepsilon_s \quad (1)$$

ここで, σ_{sh}:養生中に発生した収縮応力 (N/mm^2), ρ:軸方向鋼材比, E_s:鋼材の弾性係数 (N/mm^2), ε_s:養生中に発生したひずみ

図-3 は, 収縮ひずみの経時変化を示したものである. 同図の(a)は FM2.0%, (b)は NF を示したものである. ここでは, 熱電対により計測した養生槽内の温度も併記している. 軸方向補強鋼材を配置していないケースにおいて, 養生中に発生する収縮ひずみに着目すると, FM2.0%では-690×10^{-6}, NF では-1023×10^{-6} となった. つまり, 短繊維の混入により, 発生する収縮ひずみが小さくなったものと考えられる. 次に FM2.0%において, **図-2(a)**, **表-3** に示す様に, 軸方向補強鋼材を配置すると, 養生中に発生する収縮ひずみが低下し, 鋼材径すなわち軸方向鋼材比が大きくなるにつれて, 発生する収縮応力が増大していることがわかる. また, FM2.0%において, 本研究の範囲で最大となる軸方向鋼材比では, 発生する収縮応力は, -1.9 N/mm^2 程度に留まった. また, 鋼材径がほぼ同等である D13 と細径異型 PC 鋼棒, D22 と異型 PC 鋼棒を比較すると, 発生する収縮ひずみは, ほぼ同等となっており, 鋼材の表面形状が及ぼす影響は小さいものと推察される. 一方, **図-2(b)**に示す NF においても, 鋼材径(軸方向鋼材比)の増大に伴い, 発生する収縮応力の絶対値は増大することがわかった. 例えば, 軸方向鋼材比を 3.0%程度とすると発生する収縮応力は, -2.6 N/mm^2 程度であった. 次に**図-3** は, 収縮応力と軸方向鋼材比の関係を示したものである. 同図より, 各ケースに対して, 軸方向補強鋼材比と収縮応力には相関関係が存在していることが確認された. また, FM2.0%と NF を比較すると, 鋼繊維を混入することにより, 発生する収縮応力は小さくなることがわかった. また, FM2.0%では, 軸方向鋼材比を 3.0%以下とすると, 発生する収縮応力の絶対値は 2.0N/mm^2 より小さくなっており, 軸方向鋼材比に制限すれば, 収縮応力の発生を, ある程度は抑制できるものと考えられる.

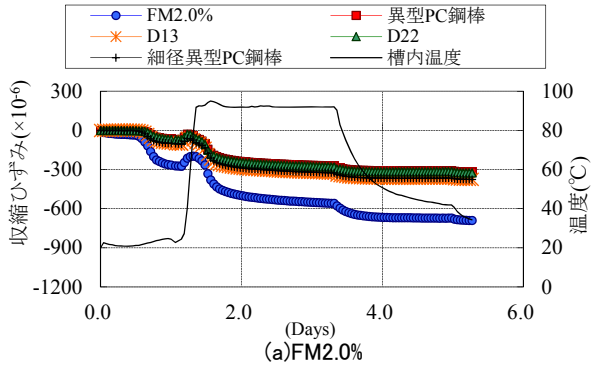
4. まとめ

(1) 軸方向補強鋼材の有無によらず, 鋼繊維を混入すると発生する収縮ひずみが減少することがわかった.

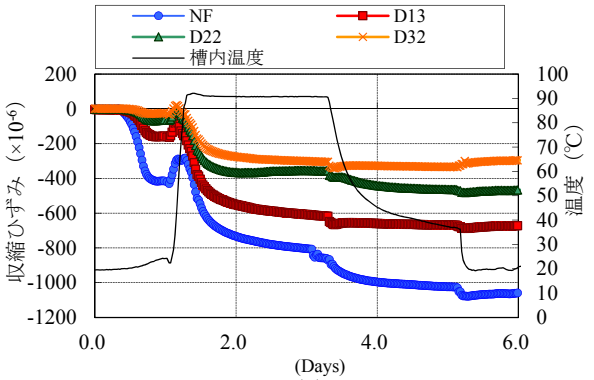
(2) 軸方向鋼材比が増大すると, 発生する収縮応力は増大するが, 軸方向鋼材比に制限すれば, 収縮応力をある程度, 抑制することが出来るものと考えられる.

表-3 実験結果

No.	繊維種類	鋼材種類	軸方向鋼材比 ρ (%)	養生中に発生したひずみ ε_{sh} (×10^{-6})	養生中に発生した収縮応力 σ_{sh} (N/mm^2)
1	FM2.0%	なし	―	-690	―
2		異型鉄筋 D13	1.39	-376	-1.0
3		細径異形 PC 鋼棒	1.05	-378	-0.8
4		異型 PC 鋼棒	3.02	-318	-1.9
5		異型鉄筋 D22	2.90	-326	-1.9
6	NF	なし	―	-1023	―
7		異型鉄筋 D13	1.39	-668	-1.8
8		異型鉄筋 D22	2.90	-463	-2.6
9		異型鉄筋 D32	6.13	-333	-4.1



(a)FM2.0%



(b)NF

図-2 収縮ひずみの経時変化

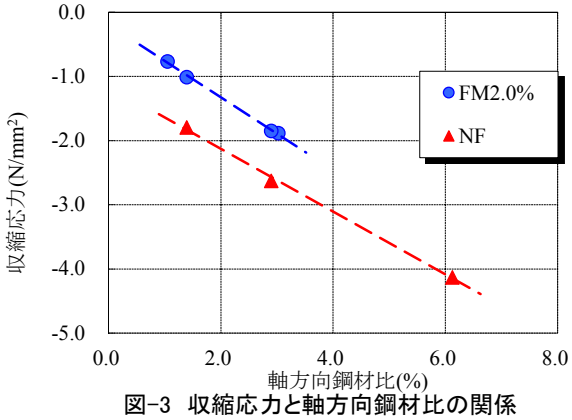


図-3 収縮応力と軸方向鋼材比の関係

参考文献

(1)土木学会 : 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004. (2)日本コンクリート工学協会 : 自己収縮研究委員会報告書.1996