

# 論文 各種使用材料が設計基準強度 200 N/mm<sup>2</sup> 級超高強度コンクリートの基礎物性に及ぼす影響に関する研究

篠原 佳代子\*1・古川 雄太\*1・大岡 督尚\*2

**要旨:** 超高強度コンクリートの開発にあたり、セメント、シリカフェーム、骨材、化学混和剤および鋼繊維の種類などがコンクリートの基礎物性に及ぼす影響について実験的に検討した。その結果、設計基準強度 200 N/mm<sup>2</sup> に対応可能なセメント、シリカフェームおよび骨材は限定されること、鋼繊維の種類によっては、トラックジテータへの投入を模擬した実験でファイバーボールが形成され均一に分散しないことが明らかとなった。また、本検討範囲では、40℃の水中で養生した供試体の圧縮強度が材齢 28 日で 200 N/mm<sup>2</sup> を超えることを確認し、設計基準強度 200 N/mm<sup>2</sup> に対応可能な調合設計を確立した。

**キーワード:** 超高強度コンクリート、セメント、シリカフェーム、骨材、化学混和剤、鋼繊維

## 1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート造建築物の超高層化に伴い、コンクリートに要求される圧縮強度（設計基準強度）は飛躍的に大きくなっている。また、細径の柱が意匠的に好まれたり、空間の有効利用を目的として採用されたりと、コンクリートの高強度化の必要性が高まっている。

設計基準強度が 200 N/mm<sup>2</sup> 以上のコンクリートに関する研究については、既にいくつか報告されている<sup>1), 2)</sup>。しかし、これらの研究では、セメントをはじめとした使用材料がコンクリートの基礎物性に及ぼす影響について報告されているものの、各研究で使用材料や検討項目が異なるため、基礎データが十分であるとはいえず、更なるデータの蓄積が必要である。

本研究は、セメント、シリカフェーム、骨材、化学混和剤および鋼繊維の種類、さらには鋼繊維の添加量および投入方法が、コンクリートのフレッシュ性状や強度等に及ぼす影響について実験的に検討したものである。

## 2. 実験計画

表-1 に実験の因子と水準を、表-2 に試験項目を示す。実験は2つのフェーズに分けて実施した。フェーズ I ではセメント、シリカフェーム、骨材、化学混和剤および鋼繊維の種類がコンクリートのスランプフロー、空気量および圧縮強度に及ぼす影響について検討し、その結果から、良好なフレッシュ性状を有し、設計基準強度 200 N/mm<sup>2</sup> に対応可能な材料を選定した。フェーズ II では、フェーズ I の結果をもとに、鋼繊維を 2 種類、添加量を 3 水準として、スランプフロー、空気量、圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度および曲げ強度に及ぼす影響

表-1 実験の因子と水準

フェーズ	因子	水準
I	セメントの種類	3 種類
	シリカフェームの種類	3 種類
	骨材の種類	4 種類
	化学混和剤の種類	2 種類
	鋼繊維の種類	4 種類
II	鋼繊維の添加量*	0 vol%, 0.5 vol%, 1.0 vol%
	鋼繊維の種類	2 種類

\* 外割混合

表-2 試験項目

フェーズ	試験項目	試験方法
I	スランプフロー	JIS A 1150
	空気量	JIS A 1128
	圧縮強度	JIS A 1108
II	スランプフロー	JIS A 1150
	空気量	JIS A 1128
	圧縮強度	JIS A 1108
	静弾性係数	JIS A 1149
	割裂引張強度	JIS A 1113
	曲げ強度 曲げタフネス	JCI-SF4

について検討した。なお、鋼繊維はコンクリートの脆性破壊の防止を目的として添加しており、効果を確認するために曲げタフネスも併せて測定した。本研究における供試体は、脱型以降、試験を行う材齢 28 日まで 40℃の水中で養生した。既往の研究<sup>3)</sup>において、40℃温水養生を継続することで構造体強度と同程度の強度を得られるとされていることから、本研究でもこの方法を採用した。

表-3 に使用材料を示す。セメントはいずれもシリカ

\*1 東急建設（株） 技術研究所 修士（工学）（正会員）

\*2 東急建設（株） 技術研究所 博士（工学）（正会員）

フェーム混合セメントであり、別項のシリカフェームはこれに追加混合するものである。骨材は、首都圏の工場で調達可能かつ高強度コンクリート (Fc100 N/mm<sup>2</sup>程度) で実績のあるものから選定した。

### 3. フェーズ I 実験結果と考察

#### 3.1 フェーズ I-1 結合材および化学混和剤の選定

表-4 に調合、フレッシュ性状および硬化性状を示す。なお、本検討ではスランブフロー (180 秒経過時) 75±5 cm, 空気量 1.0±1.0%, 材齢 28 日における圧縮強度 200 N/mm<sup>2</sup>以上を目標性能と設定した。また、骨材はすべて S1, G1 を使用した。化学混和剤の添加量については、事前の検討の結果、過多であると分散効果が鈍くなり強度発現が著しく低下する可能性が考えられたことから、影響がないと考えられる範囲の上限値で一定とした。

図-1 にスランブフローおよび空気量試験結果を示す。これは化学混和剤をすべて SP1 としたときの結果である。セメントの種類で比較すると、シリカフェームの種類が同じ場合、C1, C2, C3 の順にスランブフローが大きくなり、流動性の観点からは、C3 が最も良好な結果を示した。また、シリカフェームの種類で比較すると、いずれのセメントを使用した場合も、SF1, SF3, SF2 の順にスランブフローが大きくなった。目標性能であるスランブフロー75±5 cm を満足するのは、セメントを C3 とし、シリカフェームを SF2 または SF3 とした場合であった。

また、セメントが C2 または C3 であれば、いずれのシリカフェームを用いても空気量 1.0±1.0% を満足する結果となった。セメントを C1 とした場合、スランブフローが小さいこともあり、消泡剤の添加量を増やしても空気量の低減は認められず、空気量 1.0±1.0% を満足させることは困難であった。

図-2 に材齢 28 日における圧縮強度試験結果を示す。

表-3 使用材料

材料名	記号	物性値・産地等
セメント	C1	シリカフェーム混合セメント 密度：2.99 g/cm <sup>3</sup>
	C2	シリカフェーム混合セメント 密度：3.07 g/cm <sup>3</sup>
	C3	シリカフェーム混合セメント 密度：3.08 g/cm <sup>3</sup>
シリカフェーム	SF1	フェロシリコン起源 密度：2.2 g/cm <sup>3</sup> , 比表面積：16.3 m <sup>2</sup> /g
	SF2	ジルコニア起源 密度：2.2 g/cm <sup>3</sup> , 比表面積：10.8 m <sup>2</sup> /g
	SF3	ジルコニア起源 密度：2.2 g/cm <sup>3</sup> , 比表面積：8.6~8.7 m <sup>2</sup> /g
細骨材 (S) 粗骨材 (G)	S1 G1	青梅産硬質砂岩 表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) : S1=2.60, G1=2.65 実積率：G1=60.0%
	S2 G2	八王子産硬質砂岩 表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) : S2=2.62, G2=2.65 実積率：G2=61.0%
	S3 G3	大月産安山岩 表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) : S3=2.62, G3=2.64 実積率：G3=60.0%
	S4 G4	桜川産硬質砂岩 表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> ) : S4=2.60, G4=2.65 実積率：G4=61.0%
化学混和剤	SP1	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	SP2	(SP2 は分散性を向上させた改良品)
消泡剤	Ad	ポリアルキレングリコール誘導体
収縮低減剤	SR	低級アルコールのアルキレンオキシド付加物
鋼繊維	StF1	φ 0.16×13 mm ストレート・バラ状
	StF2	φ 0.22×15 mm ストレート・バラ状
	StF3	φ 0.38×30 mm 端部フック・バインド状
	StF4	φ 0.62×30 mm 端部フック・バインド状

表-4 調合、フレッシュ性状および硬化性状 (フェーズ I-1)

調合記号	W/B (%)	G かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )											SLF (cm)	Air (%)	C.T. (°C)	σ <sub>28</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
			W	C1	C2	C3	SF1	SF2	SF3	S1	G1	SP1	SP2					Ad
C1×SF1	12.5	0.500	155	1116	—	—	124	—	—	274	795	24.8	—	2.48	36.5	3.9	23	138
C1×SF2	12.5	0.500	155	1116	—	—	—	124	—	274	795	24.8	—	2.48	64.5	4.6	23	148
C1×SF3(SP1)	12.5	0.500	155	1116	—	—	—	—	124	274	795	24.8	—	2.48	59.0	4.6	24	156
C1×SF3(SP2)	12.5	0.500	155	1116	—	—	—	—	124	274	795	—	24.8	2.48	63.5	4.2	24	158
C2×SF1	12.5	0.500	155	—	1116	—	124	—	—	299	795	24.8	—	1.24	53.5	2.0	23	152
C2×SF2	12.5	0.500	155	—	1116	—	—	124	—	299	795	24.8	—	1.24	67.5	1.6	23	159
C2×SF3(SP1)	12.5	0.500	155	—	1116	—	—	—	124	299	795	24.8	—	1.24	65.0	1.6	23	171
C2×SF3(SP2)	12.5	0.500	155	—	1116	—	—	—	124	299	795	—	24.8	1.24	68.5	1.5	25	175
C3×SF1	12.5	0.500	155	—	—	1116	124	—	—	302	795	24.8	—	1.24	64.5	1.8	23	155
C3×SF2	12.5	0.500	155	—	—	1116	—	124	—	302	795	24.8	—	1.24	76.5	1.6	23	162
C3×SF3(SP1)	12.5	0.500	155	—	—	1116	—	—	124	302	795	24.8	—	1.24	71.0	1.7	23	173
C3×SF3(SP2)	12.5	0.500	155	—	—	1116	—	—	124	302	795	—	24.8	1.24	74.5	1.7	23	174

W/B の B は結合材 (C+SF), SLF はスランブフロー (180 秒経過時), Air は空気量, C.T. はコンクリート温度, σ<sub>28</sub> は 28 日圧縮強度を示す。以降の表も同様である。

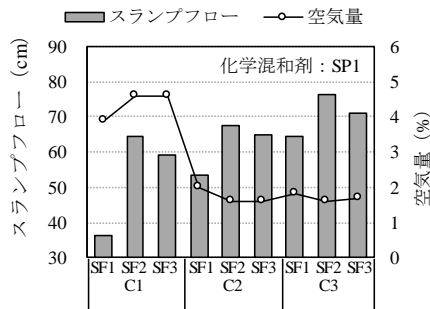


図-1 スランブフローおよび空気量 (フェーズ I-1)

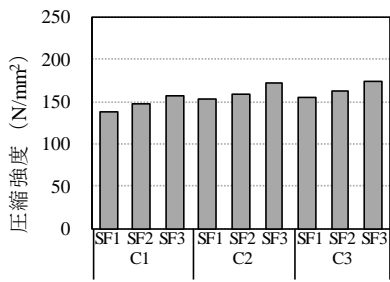


図-2 圧縮強度 (フェーズ I-1)

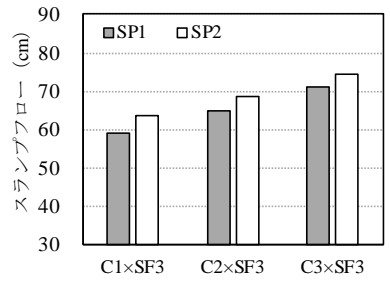


図-3 スランブフロー (フェーズ I-1)

セメントの種類で比較すると、シリカフュームの種類が同じ場合、C1, C2, C3の順に圧縮強度が大きくなる傾向がみられた。また、シリカフュームの種類で比較すると、SF1, SF2, SF3の順に圧縮強度が大きくなる傾向がみられた。圧縮強度が特に大きくなるのは、セメントをC2またはC3とし、シリカフュームをSF3とした場合であった。

図-3に化学混和剤の種類ごとのスランブフロー試験結果を示す。SP2は、SP1と比較してスランブフローが3~4cm程度大きい値となった。SP2は初期反応を高め、セメントの分散性が向上するように改良したものであるため、スランブフローがより大きくなったものと推察される。このことから、SP2は少ない添加量で所定の流動性を確保することが可能であると考えられる。なお、圧

縮強度への大きな影響は確認されなかった(表-4参照)。

以上のように、セメント、シリカフュームおよび化学混和剤の種類が各物性に及ぼす影響を検討した結果、セメントをC3、シリカフュームをSF3、化学混和剤をSP2とすれば、良好なフレッシュ性状が得られ、圧縮強度が大きくなることを確認した。

3.2 フェーズ I-2 骨材の選定

表-5に調査、フレッシュ性状および硬化性状を、図-4に骨材の組み合わせごとのスランブフロー試験結果を示す。骨材の種類が異なる場合も、スランブフローに大きな差はなく、骨材がスランブフローに及ぼす影響は小さいと考えられる。また、空気量についても大きな影響は認められなかった。

図-5に骨材の組み合わせごとの圧縮強度試験結果を

表-5 調査、フレッシュ性状および硬化性状 (フェーズ I-2)

調査記号	W/B (%)	Gかさ容積 (m³/m³)	単位量(kg/m³)														添加量			σ28 (N/mm²)
			W	C3	SF3	S1	S2	S3	S4	G1	G2	G3	G4	SP2	Ad	StF1	SLF (cm)	Air (%)	C.T. (°C)	
S1×G1	12.5	0.500	155	1116	124	302	—	—	—	795	—	—	—	24.8	1.86	0.5 vol%	74.5	1.7	23	174
S2×G2	12.5	0.500	155	1116	124	—	292	—	—	—	808	—	—	24.8	1.86	0.5 vol%	75.5	1.6	23	184
S3×G3	12.5	0.500	155	1116	124	—	—	305	—	—	—	792	—	24.8	1.86	0.5 vol%	73.5	1.6	24	204
S4×G4	12.5	0.500	155	1116	124	—	—	—	289	—	—	—	808	24.8	1.86	0.5 vol%	73.0	1.6	23	209

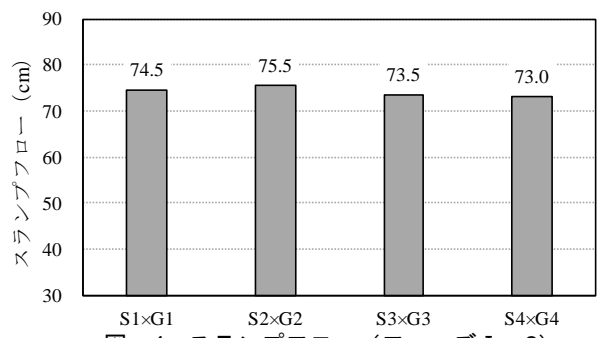


図-4 スランブフロー (フェーズ I-2)

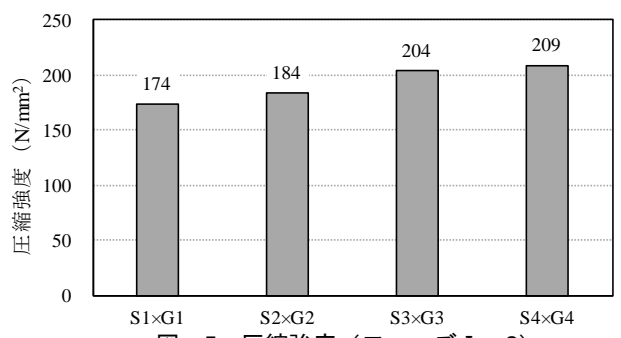


図-5 圧縮強度 (フェーズ I-2)

表-6 調査、フレッシュ性状および硬化性状 (フェーズ I-3)

調査記号	W/B (%)	Gかさ容積 (m³/m³)	単位量(kg/m³)								添加量(vol%)				SLF (cm)	Air (%)	C.T. (°C)	σ28 (N/mm²)
			W	C3	SF3	S4	G4	SP2	Ad	StF1	StF2	StF3	StF4					
StF1	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	22.3	1.86	0.5	—	—	—	71.5	1.6	23	205	
StF2	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	22.3	1.86	—	0.5	—	—	70.5	1.8	23	206	
StF3	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	22.3	1.86	—	—	0.5	—	73.5	1.5	22	202	
StF4	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	22.3	1.86	—	—	—	0.5	72.5	1.4	23	208	

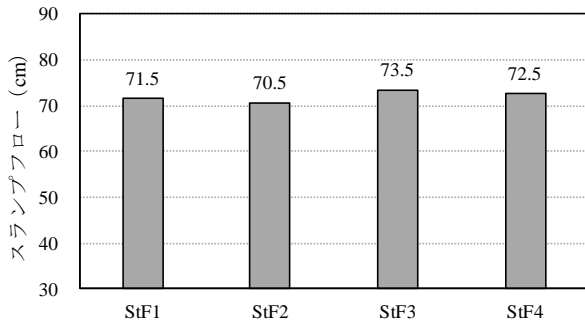


図-6 スランプフロー (フェーズ I-3)

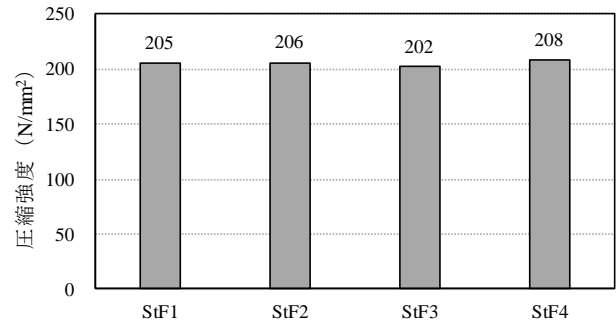


図-7 圧縮強度 (フェーズ I-3)

示す。図より、200 N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度となるのは、S3とG3またはS4とG4の組み合わせであり、200 N/mm<sup>2</sup>以上の強度が必要な場合、骨材の選定が重要であることを確認した。

### 3.3 フェーズ I-3 鋼繊維の選定

表-6に調合、フレッシュ性状および硬化性状を、図-6にスランプフロー試験結果を示す。StF1およびStF2は繊維径が小さいため、同一添加量(vol%)でも繊維本数が増えることからStF3やStF4よりもスランプフローが小さくなることが想定されたものの、図-6に示すようにスランプフローに大きな差は認められない結果となった。これは、前述のセメント、シリカフェームおよび化学混和剤の選定結果により、スランプフロー75±5 cmを満足する材料選定ができており、高い流動性の範囲では、鋼繊維の本数による流動性の低下の影響はごく小さいものであったためと推察される。

図-7に各鋼繊維を使用したコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。全ての鋼繊維で200 N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度となった。各調合間で流動性に開きがないことから、円柱形型枠への充填性、ひいては圧縮強度の発現においても大きな差は生じなかったものと考えられる。

前述の結果は、高い攪拌能力を有する強制二軸ミキサを用いた場合における比較検討によるものであった。しかしながら、実際の製造を想定した場合、バッチャープラントの強制二軸ミキサへ鋼繊維を投入すると他のコンクリートの出荷を制限する必要が生じる。さらに、鋼繊維投入終了後は鋼繊維の除去にミキサの洗浄が必要であり、多大な労力を要する。このため、鋼繊維の添加はミキサではなく、トラックアジテータのドラムで行うことが望ましい。そこで、写真-1に示すトラックアジテータのドラム形状を模擬した傾胴型ミキサで、鋼繊維の投入方法および攪拌状況を確認することとした。使用した傾胴型ミキサの容量は100 Lである。

検討に使用した鋼繊維はStF1、StF2、StF3およびStF4の4種類とし、添加量は0.5 vol%および1.0 vol%の2水準とした。なお、調合条件は表-6と同一であり、鋼繊維の添加量のみを変化させた。また、鋼繊維の投入方法



写真-1 傾胴型ミキサ

表-7 ファイバーボールの有無 (フェーズ I-3)

鋼繊維の種類	添加量	ファイバーボールの有無
StF1	0.5 vol%	有
	1.0 vol%	有
StF2	0.5 vol%	無
	1.0 vol%	有
StF3	0.5 vol%	無
	1.0 vol%	無
StF4	0.5 vol%	無
	1.0 vol%	無



a) ファイバーボールの外観 b) ファイバーボールの内部  
写真-2 ファイバーボール

は、実際のトラックアジテータのドラムへの投入を想定し、ミキサの回転は止め、波板を使用して滑らすように所定量を一ヶ所に投入した。攪拌時間は90秒から120秒を標準とした。攪拌後、一部の鋼繊維および添加量において目視によりファイバーボールが認められた。この場合に限り、計5分程度経過するまで追加で攪拌を行ったが、ファイバーボールが分散することはなかった。鋼繊維の種類と添加量によるファイバーボールの有無を表-7に示す。ファイバーボールが確認されたのは、バラ状の鋼繊維を使用したStF1-0.5、StF1-1.0およびStF2-1.0であった。ファイバーボールは鋼繊維とコンクリートが混ざる前に鋼繊維どうしが絡まることで生じており、その結果、写真-2に示すようにファイバーボール内部には

表-8 調査、フレッシュ性状および硬化性状（フェーズⅡ）

調査記号	W/B (%)	G かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								添加量(vol%)		SLF (cm)	Air (%)	C.T. (°C)	σ <sub>28</sub> (N/mm <sup>2</sup> )
			W	C3	SF3	S4	G4	SP2	Ad	SR*	StF3	StF4				
N	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	24.8	1.86	10	—	—	76.0	1.6	26	203
StF3 0.5 vol%	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	24.8	1.86	10	0.5	—	75.0	1.5	27	223
StF4 0.5 vol%	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	24.8	1.86	10	—	0.5	78.5	1.5	27	205
StF4 1.0 vol%	12.5	0.500	155	1116	124	289	808	24.8	1.86	10	—	1.0	74.0	1.3	27	205

\*SR は練り混ぜ水の一部と置換

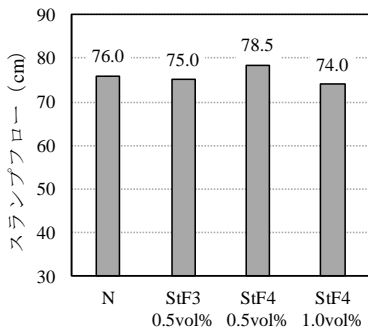


図-8 スランプフロー (フェーズⅡ)

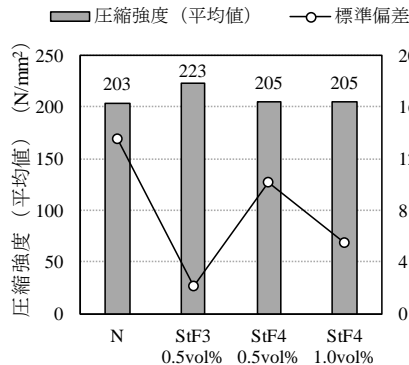


図-9 圧縮強度 (フェーズⅡ)

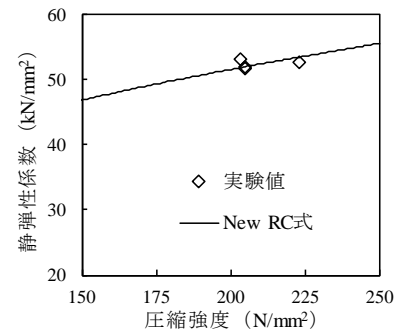


図-10 静弾性係数と圧縮強度の関係 (フェーズⅡ)

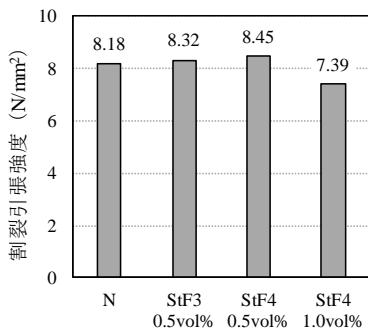


図-11 割裂引張強度 (フェーズⅡ)

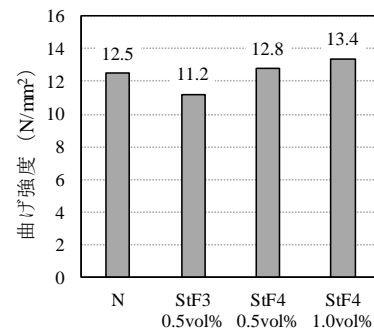


図-12 曲げ強度 (フェーズⅡ)

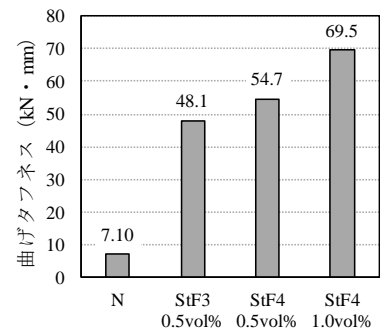


図-13 曲げタフネス (フェーズⅡ)

セメントペーストが付着していないことが確認できた。なお、バラ状の鋼繊維のうち StF2-0.5 ではファイバーボールの形成は認められなかったが、単位容積あたりの繊維の本数が少なかったことが一因であると考えられる。一方、バインド状の鋼繊維である StF3 および StF4 は、数十本の束になった鋼繊維がコンクリートとの混練中に分散する仕様であり、ファイバーボールを形成することなくコンクリートと混練することができた。

以上より、本検討範囲では、鋼繊維の種類が異なることによってスランプフローや圧縮強度に及ぼす影響は小さかったが、トラックアジテータのドラムへの投入を模擬した実験において、StF1 および StF2 ではファイバーボールが形成され、コンクリート内に均一に分散しないケースがあることを確認した。

#### 4. フェーズⅡ 実験結果と考察

##### 4.1 鋼繊維の添加量の検討と収縮低減剤の効果

フェーズⅡでは、フェーズⅠの結果を踏まえ、セメント、シリカフューム、化学混和剤、細骨材および粗骨材

をそれぞれ C3, SF3, SP2, S4 および G4 とし、鋼繊維の種類は分散性を考慮して StF3, StF4 の 2 水準、添加量は 0%, 0.5%, 1.0% の 3 水準として、力学的性状等についてさらに詳しく実験を行った。なお、自己収縮ひずみによるひび割れの低減に配慮して収縮低減剤を添加した調査とした。添加量は既往の研究<sup>4)</sup>を参考にして定めた。

表-8 に調査、フレッシュ性状および硬化性状を、図-8 にスランプフロー試験結果を示す。鋼繊維の種類、添加量に関わらず、目標性能であるスランプフロー75±5 cm かつ空気量 1.0±1.0% を満足した。ただし、StF4 の添加量を 1.0 vol% とした場合は、添加量の少ない 0.5 vol% とした場合と比較してスランプフローが 4.5 cm 小さくなった。

図-9 に圧縮強度試験結果を示す。いずれも平均で 200 N/mm<sup>2</sup> 以上の強度を発現した。標準偏差が比較的小さく、安定した試験結果を得られた StF3 0.5 vol% が最も高い値となった。

図-10 に静弾性係数と圧縮強度の関係を示す。日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンク

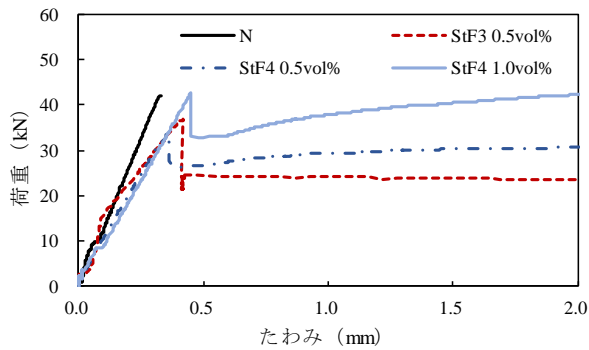


図-14 荷重とたわみの関係（フェーズⅡ）

リート工事<sup>5)</sup>では、静弾性係数について、式(1)（以下、New RC式）で計算される値を基準として評価を行うこととしている。実験値はいずれもNew RC式で計算される値に概ね沿う結果となり、本式による評価が可能であることを確認した。なお、 $\gamma=2.5$ 、 $k_1=1.0$ 、 $k_2=0.95$ として計算した。

$$E = k_1 \times k_2 \times 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{2.4}\right)^2 \times \left(\frac{\sigma_b}{60}\right)^{1/3} \quad (1)$$

$E$  : コンクリートのヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma$  : コンクリートの単位体積質量 (t/m<sup>3</sup>)

$\sigma_b$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k_1$  : 粗骨材の種類により定まる修正係数

$k_2$  : 混和材の種類により定まる修正係数

図-11に割裂引張強度試験結果を、図-12に曲げ強度試験結果を示す。割裂引張強度、曲げ強度のどちらにおいても、鋼繊維の種類および添加量による明確な差は認められなかった。割裂引張強度および曲げ強度に影響を及ぼす要因として、ベースとなるコンクリートの力学的物性が支配的であったものと考えられる。

図-13に曲げタフネス試験結果を示す。また、図-14に代表的な供試体の曲げタフネス試験時の荷重とたわみの関係を示す。鋼繊維を添加した供試体は、添加していない供試体と比較して、曲げタフネスが大幅に向上した。StF4 1.0 vol%が最も大きく、本検討範囲では、鋼繊維の添加量が多いほどエネルギー吸収能が高くなることを確認した。既往の研究においては、鋼繊維の本数が多い方が単位体積あたりの付着面積が大きいことから、引き抜きに対する抵抗性が増して曲げタフネスが増加すると考察されている<sup>6)</sup>。このことから、本実験においても同一添加量のStF3 0.5%とStF4 0.5%では鋼繊維の本数が多いStF3 0.5%の方が曲げタフネスが大きくなると想定されたが、結果としてStF4 0.5%の方が大きい値となった。破壊断面における鋼繊維の量や配向は供試体によって偏りがあると考えられ、精査のためにはより多くのデータを蓄積する必要がある。

## 5. まとめ

超高強度コンクリートの開発にあたり、使用材料がコンクリートの基礎物性に及ぼす影響について実験的に検討し、以下の結果を得た。

- 1) セメント、シリカフェュームの組み合わせをC3、SF3とすることで、スランブフロー $75 \pm 5$  cmかつ空気量 $1.0 \pm 1.0$  %を満足し、他の組み合わせよりも高い圧縮強度を発現した。
- 2) 化学混和剤をSP2とすることで、SP1とする場合よりも高い流動性が得られた。
- 3) 細骨材と粗骨材をS3とG3またはS4とG4とすることで、 $200 \text{ N/mm}^2$ 以上の圧縮強度を発現した。
- 4) 鋼繊維をStF1またはStF2とした場合、トラックアジテータへの投入を模擬した実験において、ファイバボールが形成され、コンクリート内に均一に分散しないケースがあった。
- 5) 鋼繊維の添加量が多いほど、曲げタフネスは大きくなった。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、工学院大学名誉教授 阿部道彦先生に傾胴型ミキサを貸与いただき実験遂行に関するご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 小島正明, 三井健郎, 辻大二郎, 鴉越元紀, 菅田昌宏, 大沢悟: Fc200 N/mm<sup>2</sup> 超高性能コンクリートの開発 (その1) ~ (その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.1087-1092, 2008.9
- 2) 渡邊悟士, 陣内浩, 黒岩秀介, 山本佳城, 並木哲, 寺内利恵子: 設計基準強度 200 N/mm<sup>2</sup> の超高強度コンクリートの開発に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.1077-1078, 2008.9
- 3) 井戸康浩, 菊田繁美, 梅本宗宏, 端直人: 200 N/mm<sup>2</sup> 級超高強度コンクリートの基礎的研究 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), pp.997-998, 2010.9
- 4) 井戸康浩, 梅本宗宏, 右田修平, 諏訪一広: Fc200N/mm<sup>2</sup> 超高強度コンクリートの製造品質に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1456-1461, 2014
- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2018, p.192, 2018.7
- 6) 井戸康浩, 菊田繁美, 梅本宗宏, 端直人: 鋼繊維補強した超高強度コンクリートの基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.527-528, 2008.9