

各種繊維の混入が超高強度コンクリートのフレッシュ性状および力学性状に及ぼす影響とその評価方法の検討

INFLUENCE OF MIXING OF VARIOUS FIBERS ON FRESH AND MECHANICAL PROPERTIES OF ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE AND CONSIDERATION OF ITS EVALUATION METHOD

李 曉赫 — * 1 高橋祐一 — * 2
竹内博幸 — * 3 轟見淳也 — * 4

Xiaohe LI — * 1 Yuichi TAKAHASHI — * 2
Hiroyuki TAKEUCHI — * 3 Junya TSURUMI — * 4

キーワード：
超高強度コンクリート, 鋼繊維, ポリプロピレン繊維,
フレッシュ性状, 力学性状

Keywords:
Ultra high strength concrete, Steel fiber, Polypropylene fiber, Fresh property, Mechanical property

200 MPa class ultra high strength concrete is easy about brittle fracture and explodes on fire. As their countermeasures, the steel fibers are used to suppress brittle fracture and polypropylene short fibers are used to suppress the explosion in fire. However, the previous studies have reported that the strength of concrete is affected by steel fibers. And the fluidity of concrete is reduced by polypropylene short fibers. In this report, the influence of steel fibers, polypropylene short fibers and their combination on the fresh and mechanical properties of 200 MPa class concrete is introduced.

1. はじめに

近年, 設計基準強度(以下, F_c)200N/mm²級超高強度コンクリートが地上 50 階を超える超高層鉄筋コンクリート造建築物の低層階柱に適用されている。このような超高強度コンクリートの使用によって低層階にある柱部材の断面積を小さくすることが可能となり, 設計上の自由度が高くなる。ところが, 超高強度コンクリートの水結合材比が小さいことから, 脆性的な破壊を起しやすい。また, 火災時に爆裂しやすいといった課題がある。脆性的な破壊の抑制対策として, 高い靱性を持つ鋼繊維をコンクリートに混入することが多い。また, F_c 80N/mm²以上の高強度コンクリートが火災時に発生する爆裂の抑制対策として, ポリプロピレン製短繊維(以下, PP 繊維)をコンクリートに混入することが多い。しかし, 既往の研究¹⁾において, 鋼繊維の種類や混入量によっては圧縮強度が低下することや, PP 繊維を使用することによる流動性の低下といった課題が指摘されている。一方, 鋼繊維と PP 繊維を併用することで火災時の爆裂抑制効果を高めるとする報告²⁾があるものの, その事例は少ない。

そこで, 本研究は鋼繊維と PP 繊維をそれぞれ単体で使用した場合や併用した場合, さらに, 繊維の形状や混入量が F_c 200N/mm²級超高強度コンクリートのフレッシュ性状および力学性状に及ぼす影響を確認する目的で室内実験を行った。また, 繊維の混入がコンクリートの流動性および曲げタフネスに及ぼす影響の評価方法について検討を行った。本報はその結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

コンクリートの使用材料を表 1 に示す。セメントは高強度コンクリートによく用いられるシリカフェーム混合セメントを使用した。また, ワークアビリティを確保することを目的に, セメントにプレミックスしたシリカフェームのほかに, 混和材として, 結合材の一部にシリカフェームを使用した。

使用した繊維の仕様を表 2 に示す。各種繊維の形状がコンクリートのフレッシュ性状および力学性状に及ぼす影響を比較するために, 鋼繊維および PP 繊維はそれぞれ 2 種類ずつ使用した。なお, 表中の各鋼繊維の引張強度はカタログ値であり, 各種繊維の単位質量あたりの表

表 1 コンクリートの使用材料

名称	種類・産地	記号	物性
セメント	シリカフェーム混合セメント	C	密度: 3.08g/cm ³
		B	
混和材(結合材)	シリカフェーム/電融ジルコニア	SF	密度: 2.20g/cm ³
細骨材	砕砂(硬質砂岩)/茨城県桜川市産	S	表乾密度 2.58g/cm ³
粗骨材	砕石 2005(硬質砂岩)/茨城県桜川市産	G	表乾密度 2.65g/cm ³
化学混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系化合物
	収縮低減剤	SR	グリコールエーテル系誘導体
	消泡剤	—	ノニオン系界面活性剤

¹⁾ 五洋建設株式会社技術研究所建築技術開発部 係員・博士(工学)
(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

²⁾ 五洋建設株式会社技術研究所建築技術開発部 担当部長・博士(工学)

³⁾ 五洋建設株式会社技術研究所建築技術開発部 専門部長

⁴⁾ 五洋建設株式会社技術研究所建築技術開発部 主任

¹⁾ Engineer, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd., Dr. Eng.

²⁾ Senior Manager, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd., Dr. Eng.

³⁾ Senior Manager, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

⁴⁾ Senior Staff Manager, Building Construction Engineering R&D Division, Institute of Technology, Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

表 2 使用した繊維の仕様

繊維記号	引張強度*1 (N/mm ²)	密度 (g/cm ³)	直径 (mm)	長さ (mm)	単位質量あたりの表面積*2 (m ² /kg)	形状
STF1	2750	7.85	0.200	13.0	2.57	直線
STF2	1080	7.85	0.620	30.0	0.83	波型
PP1	—	0.91	0.041	12.0	107	直線
PP2	—	0.91	0.018	10.0	244	直線

*1 カタログ値である。

*2 繊維の形状が円柱であると仮定して算出した値である。

表 3 調合

調合名*1	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)						各種繊維の混入量 (vol%)				SP (B×%)	
		W	C	SF	S	G	SR	STF1	STF2	PP1	PP2		
BASE1								—					
1-STF1-05								0.50	—				
1-STF1-075								0.75					
1-STF1-10								1.00					
1-STF2-05								0.50					
1-STF2-10	12.5	150	1080	120	317	824	10	1.00				1.90	
1-STF2-125								1.25					
1-PP1-025								—		0.25			
1-PP1-030										0.30			
1-PP1-035										0.35			
1-STF2-10-PP1-030								1.00		0.30			
BASE2								—					
2-STF2-075								0.75				1.90	
2-STF2-10								1.00					
2-PP1-030								—		0.30			
2-PP2-030										—	0.30		
2-STF2-075-PP1-030	12.5	155	1116	124	325	795	10	—	0.75	0.30		2.30	
2-STF2-10-PP1-030									1.00	0.30			
2-STF2-075-PP2-025									0.75		0.25		
2-STF2-075-PP2-030									0.75		0.30	2.40	

*1 : BASE1・BASE2 : ベースとなる調合である。

STF1・STF2・PP1・PP2 : 繊維の種類である。

025~125 : 繊維の混入量 0.25~1.25 (vol%) である。

※ 高性能減水剤は固形分を補正し、消泡剤は B×0.01% で一定とした。

面積は繊維の形状が円柱であると仮定して算出した値である。

2.2 調合

本実験におけるコンクリートの調合を表 3 に示す。各調合の水結合材比は 12.5% とし、混和材として使用するシリカフェームは内割で結合材の 10% (質量比) とした。繊維を混入していない調合 (以下、ベース調合) は単位水量 150g/m³、粗骨材かさ容積 0.52m³/m³ の BASE1、および単位水量を 155kg/m³ に増やし、粗骨材かさ容積を 0.50m³/m³ に減らし、コンクリートの流動性に寄与するモルタルの量を増やした BASE2 の 2 種類とした。なお、収縮低減剤は単位水量の一部として 10 kg/m³ を添加した。また、高性能減水剤 (以下、SP) は BASE1 をベースとした各調合、および BASE2 をベースとし、単体で鋼繊維または PP 繊維を混入した調合において、B×1.90% とした。BASE2 をベースとし、鋼繊維と PP 繊維を併用で混入した調合の SP は、コンクリートの流動性を改善する目的で B×2.30% または B×2.40% とした。各種繊維は外割で混入した。

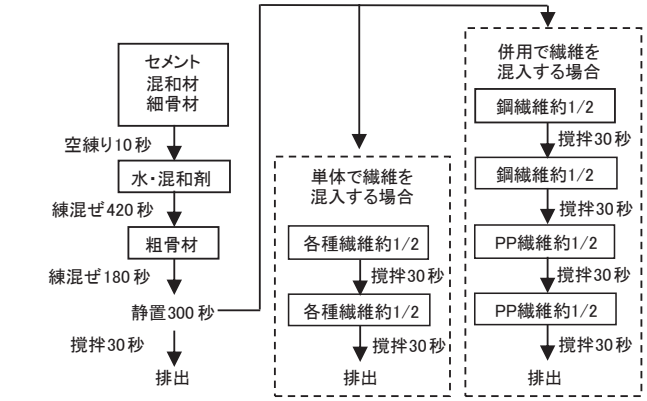


図 1 練混ぜ手順

表 4 試験項目および試験方法

対象	試験項目	試験方法	備考
フレッシュコンクリート	スランプフロー	JIS A 1150	50cm 到達時間
	空気量	JIS A 1128	—
	コンクリート温度	JIS A 1156	—
硬化コンクリート*1	圧縮強度	JIS A 1108	φ100mm×H200mm 試験材齢 28 日
	静弾性係数	JIS A 1149	φ100mm×H200mm 試験材齢 28 日
	曲げ強度 曲げタフネス	JCI-SF4	□100mm×L400mm 試験材齢 28 日

*1 : 各試験体は材齢 3 日まで 20℃ の室内にて封かん養生を行い、材齢 3 日で脱型し、試験材齢まで 40℃ の水中養生を行った。

2.3 練混ぜ

練混ぜは強制二軸練りミキサを使用し、図 1 に示す手順で行った。

2.4 試験項目

試験項目および試験方法を表 4 に示す。スランプフローの目標値 (許容差) はベース調合で 75cm (±10cm)、繊維を混入した各調合で 70cm (±10cm) とした。また、空気量の目標値 (許容差) は 1.0% (+1.0%, -0.5%) とした。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果を表 5 に示す。2-STF2-075-PP2-030 のスランプフローが許容範囲の下限 (60cm) を下回ったが、他の各調合においては各試験結果が許容範囲内に収まった。

(1) 各種繊維の混入がフレッシュ性状に及ぼす影響

単体で混入した各種繊維の混入量とスランプフロー比の関係を図 2 に示す。なお、スランプフロー比は各調合の結果をそれぞれのベース調合のスランプフローで除した値とした。鋼繊維の混入量がスランプフロー比及ぼす影響をみると、STF1 と STF2 のどちらを使用しても、混入量の増加に伴ってスランプフローが低下する傾向にあった。また、鋼繊維の種類がスランプフロー比に及ぼす影響をみると、波型で太い STF2 を混入した調合よりも、直線で細い STF1 を混入した調合のフローロスがやや大きい。

PP 繊維の混入量がスランプフロー比に及ぼす影響をみると、混入量が増加するほど、スランプフローが低下する傾向にあった。また、PP 繊維の混入量が鋼繊維よりも少ないに関わらず、フローロスが大きかった。さらには、PP 繊維の種類がスランプフロー比に及ぼす影響を

表5 フレッシュ試験結果

調合名	スランプフロー (cm×cm)	フロータイム (秒)			空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)
		平均	50cm 到達	停止*1		
BASE1	83.5×80.5	82.0	5.8	260	1.2	24
1-STF1-05	77.2×76.8	77.0	12.0	300	1.3	24
1-STF1-075	76.8×76.0	76.4	16.1	300	1.8	24
1-STF1-10	74.1×70.8	72.5	20.5	300	1.7	25
1-STF2-05	81.0×78.5	79.8	9.4	300	1.4	24
1-STF2-10	75.6×74.8	75.2	13.0	300	1.6	24
1-STF2-125	75.4×73.9	74.7	16.0	300	1.9	24
1-PP1-025	70.0×68.6	69.3	14.2	300	1.6	24
1-PP1-030	68.2×67.3	67.8	16.5	300	2.0	24
1-PP1-035	62.2×61.2	61.7	18.8	240	1.5	24
1-STF2-10-PP-030	62.3×61.2	61.8	28.6	300	1.2	24
BASE2	81.3×79.0	80.2	7.1	300	1.3	20
2-STF2-075	78.6×77.9	78.3	9.9	300	1.1	21
2-STF2-10	76.1×75.6	75.9	11.7	300	1.0	22
2-PP1-030	66.7×66.1	66.4	13.2	300	1.6	21
2-PP2-030	61.6×61.3	61.5	20.4	300	1.6	22
2-STF2-075-PP1-030	62.1×61.5	61.8	23.8	300	1.8	21
2-STF2-10-PP1-030	60.7×60.5	60.6	41.4	300	1.2	22
2-STF2-075-PP2-025	61.8×59.2	60.5	19.0	300	1.8	22
2-STF2-075-PP2-030	52.6×51.9	52.3	67.1	300	1.9	22

*1 停止時間が300秒となっている調合は、300秒で停止したものと判断してスランプフローを測定した。

みると径の太いPP1を混入した調合よりも、同量で径の細いPP2を混入した調合のフローロスが5cm程度大きい。

単体で混入した各種繊維の混入量と空気量の関係を図3に示す。鋼繊維の混入量が空気量に及ぼす影響をみると、鋼繊維の混入に伴って空気量が増加する傾向にあったが、混入量と空気量の関係は明確ではない。また、鋼繊維の種類が空気量に及ぼす影響をみると、1-STF1および1-STF2の空気量の結果に大きな差はなかった。

PP繊維の混入量が空気量に及ぼす影響をみると、PP繊維の混入に伴って空気量が増加する傾向にあったが、混入量と空気量の関係は明確ではない。また、PP繊維の種類が空気量に及ぼす影響をみると、PP1およびPP2を同量として混入した調合の空気量の結果には大きな差はなかった。さらには、鋼繊維よりもPP繊維の混入量が少ないものの、空気量が増加する傾向は顕著であった。これは、鋼繊維よりもPP繊維の径が細いため、繊維を混入する際、攪拌によってコンクリートに巻き込まれるエントラップトエアが多くなったものと考えられる。このため、混入量が同程度の場合、鋼繊維よりもPP繊維の混入が空気量に及ぼす影響は大きいといえる。

(2) 鋼繊維とPP繊維の併用がフレッシュ性状に及ぼす影響

単体または併用で混入した各種繊維の混入量とスランプフロー比の関係を図4に示す。なお、ベース調合とSPの添加率の違いがスランプフローに及ぼす影響を除外するために、図中にSTF2とPP2を単体または併用でBASE1に混入した各調合の結果のみ取り上げている。また、鋼繊維とPP繊維を併用した調合の混入量は両者を合計した値とした(以下、同様である)。鋼繊維とPP繊維の併用による影響をみると、PP繊維を単体で混入した調合の結果よりも、両繊維を併用した調合のフローロスがやや大きい。一方、両繊維を併用した調合において、鋼繊維よりもPP繊維の混入量が少ないため、単体使用および併用に

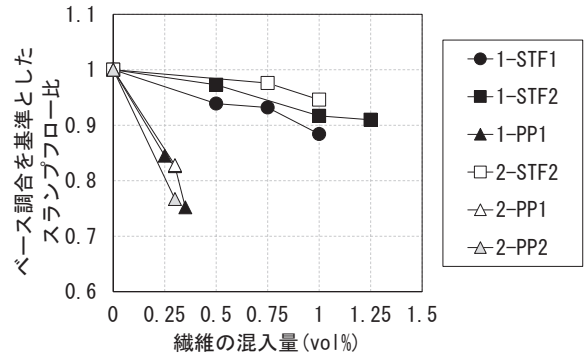


図2 単体で混入した各種繊維の混入量とスランプフロー比の関係

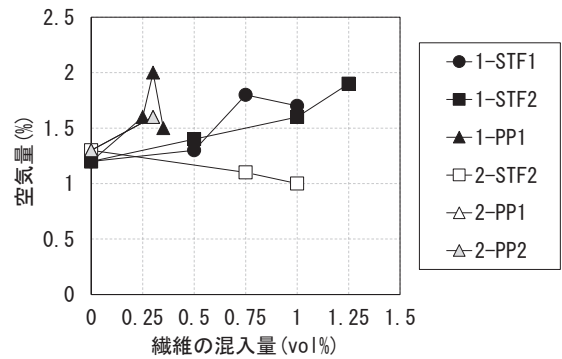


図3 単体で混入した各種繊維の混入量と空気量の関係

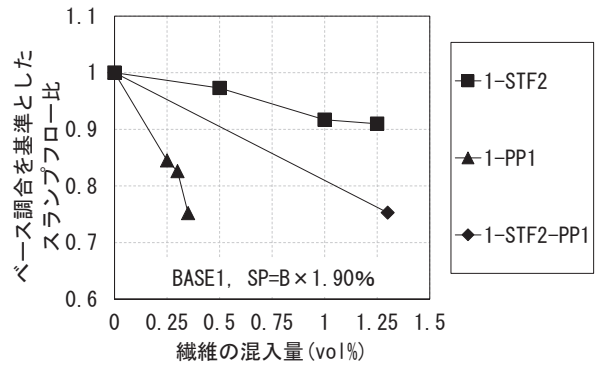


図4 単体または併用で混入した各種繊維の混入量とスランプフロー比の関係

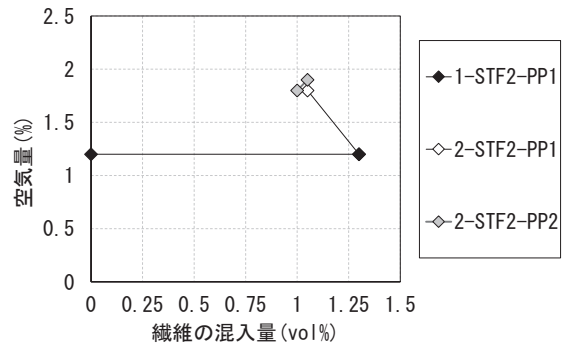


図5 鋼繊維およびPP繊維を併用で混入した各調合における繊維の混入量と空気量の関係

関わらず、鋼繊維よりもPP繊維の混入がコンクリートのスランプフローに及ぼす影響が大きいといえる。

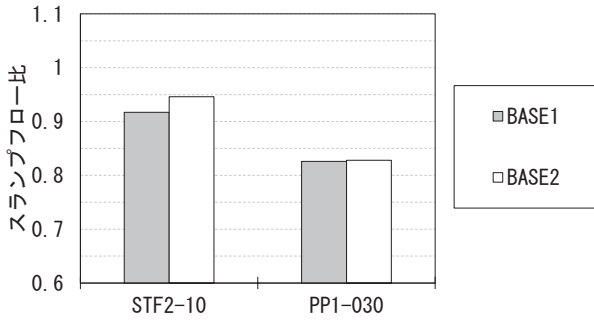


図6 ベース調合が異なる場合のスランプフロー比の結果

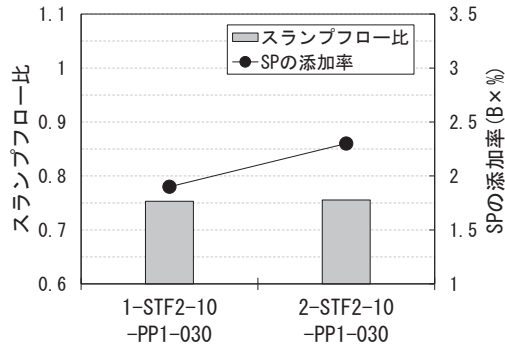


図7 SPの添加率が異なる場合のスランプフロー比の結果

鋼繊維および PP 繊維を併用で混入した各調合における繊維の混入量と空気量の関係を図 5 に示す。鋼繊維と PP 繊維の併用による影響をみると、繊維を併用で混入した各調合空気量が増加する傾向にあったが、混入量と空気量の関係は明確ではない。

(3) スランプフローの改善方法の検討

同種類かつ同量の繊維を異なるベース調合に混入する場合のスランプフロー比の結果を図 6 に示す。BASE1 よりも BASE2 をベースとした調合のモルタル量が多いものの、スランプフロー比の結果に大きな差はなかった。このため、モルタルの量を増やしても、流動性を改善する効果は小さかった。

同種類かつ同量の繊維を混入し、SP 添加率が異なる場合のスランプフロー比の結果を図 7 に示す。取り上げている 2 調合のベース調合が異なるが、それぞれのベース調合のスランプフローは同程度であった。1-STF2-10-PP1-030 よりも 2-STF2-10-PP1-030 の SP の添加率が B×0.40%多いものの、スランプフロー比の結果に大きな差はなかった。このことから、両調合のベース調合が異なるので一概にいえないが、SP の添加率を増やしても、流動性を改善する効果は小さかった。

3.2 硬化コンクリート

硬化コンクリートの試験結果を表 6 に示す。

(1) 圧縮強度

各種繊維の混入量と圧縮強度比の関係を図 8 に示す。なお、圧縮強度比は各調合の結果をそれぞれのベース調合の圧縮強度で除した値とした(以下、同様である)。鋼繊維の混入量が 1.25vol%, PP 繊維が 0.35vol%までの各調合の結果はベース調合の圧縮強度±10%の範囲内に収まった。また、圧縮強度比の結果が 1 を下回る結果もあったが、その原因として、繊維を混入することにより、コンクリートに巻き込んだ空気が増加した影響が考えられる。そこで、空気量の差と圧縮強度比の関係について検討した。その結果を図 9 に示す。なお、空気量

表 6 硬化試験結果

調合名	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (N・m)
BASE1	206	50.7	12.5	1.04
1-STF1-05	214	51.1	13.3	54.1
1-STF1-075	206	50.9	13.2	63.3
1-STF1-10	217	51.0	14.2	54.7
1-STF2-05	205	51.9	11.6	26.4
1-STF2-10	193	51.8	12.3	45.6
1-STF2-125	197	51.6	13.6	42.1
1-PP-025	194	50.0	—	—
1-PP-030	183	49.6	—	—
1-PP-035	191	48.4	—	—
1-STF2-10-PP-030	191	50.0	12.7	36.9
BASE2	186	50.3	13.1	1.20
2-STF2-075	197	51.0	12.9	36.4
2-STF2-10	202	50.5	13.4	48.5
2-PP1-030	178	48.6	—	—
2-PP2-030	171	48.6	—	—
2-STF2-075-PP1-030	187	48.9	14.4	40.0
2-STF2-10-PP1-030	194	49.3	14.0	43.0
2-STF2-075-PP2-025	193	49.5	14.2	48.8
2-STF2-075-PP2-030	183	48.2	—	—

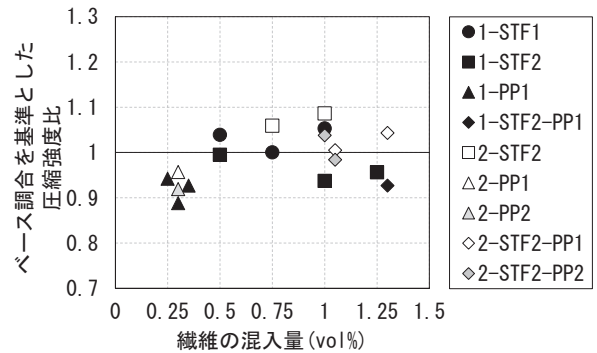


図8 各種繊維の混入量と圧縮強度比の関係

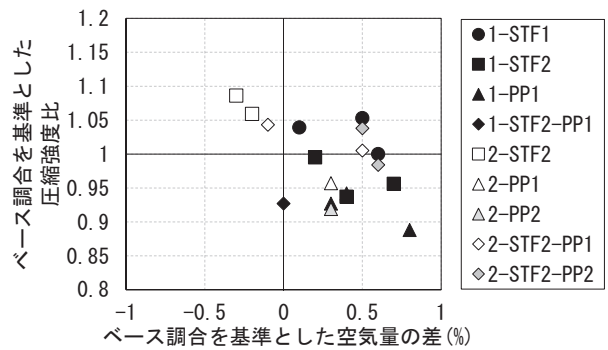


図9 空気量の差と圧縮強度比の関係

の差は繊維を混入した各調合の結果からそれぞれのベース調合の空気量を差し引いた値である。ばらつきがあるが、各種繊維を混入したコンクリートの空気量の差が増加するほど、圧縮強度が低下する傾向がみられた。このため、空気量の増加が原因と考えられる圧縮強度の低下を抑制するために、消泡剤を使用する対策が有効と考えられる。

(2) 静弾性係数

各調合における圧縮強度と静弾性係数の関係を図 10 に示す。また、図中にも NewRC 式で求められる圧縮強度と静弾性係数の関係およびそ

れの±5%, NewRC 式×80%の範囲を併せて示している。なお、コンクリートの単位容積質量を表す係数 γ の値は調査上BASE1とBASE2それぞれの値(BASE1=2.49t/m³, BASE2=2.52t/m³)を参考に $\gamma=2.5$ とした。本実験の各調査における圧縮強度と静弾性係数の関係はNewRC式±5%の範囲内に収まった。このことから、繊維の混入がコンクリートの静弾性係数に及ぼす影響は小さく、構造設計上、繊維を混入した調査であっても、NewRC式で推定した静弾性係数を使用しても支障ないと考えられる。

(3) 曲げ強度

各種繊維の混入量と曲げ強度の関係を図11に示す。繊維を混入した各調査の結果はBASE1およびBASE2の静弾性係数と大差がなかった。このため、繊維の混入がコンクリートの曲げ強度に及ぼす影響が小さいといえる。

各調査における圧縮強度と曲げ強度の関係を図12に示す。図中に式(1)³⁾で求められる圧縮強度と曲げ強度の関係およびその実測値の95%信頼限界(上限・下限)を併せて示している。

$$\sigma_t = 7.2 \times \left[\frac{\sigma_B}{60} \right]^{2/3} \quad (1)$$

ここに、 σ_t : 曲げ強度 (N/mm²)
 σ_B : 圧縮強度 (N/mm²)

本実験の各調査における圧縮強度と曲げ強度の関係は式(1)よりもやや下回るが、95%信頼限界内に収まった。したがって、本実験の範囲内では、繊維を混入したコンクリートの曲げ強度は既往の関係式を用いて推定することができる。

(4) 曲げタフネス

各鋼繊維の混入量と曲げタフネスの関係を図13に示す。鋼繊維を混入した各調査の結果をみると、ベース調査よりも曲げタフネスが大幅に増加した。鋼繊維の形状が及ぼす影響をみると、径が太いSTF2を混入した調査よりも径の細いSTF1を混入した調査の曲げタフネスが大きい傾向にあった。また、ばらつきはあるが、鋼繊維の混入量が0.75vol%までは多くなるほど、曲げタフネスが増加する傾向にあった。

一方、鋼繊維とPP繊維の併用が及ぼす影響をみると、1-STF2-PP1、2-STF2-PP1および2-STF2-PP2の結果は、STF2を単体で同量として混入した調査の曲げタフネスとほぼ同程度であったため、PP繊維を混入しても曲げタフネスに及ぼす影響は小さいと考えられる。

4. 繊維の総表面積とコンクリートのスランプフローおよび曲げタフネスの関係

4.1 スランプフロー

繊維の混入がスランプフローに及ぼす影響を評価する際、混入量を指標として用いることが多い。しかし、繊維の混入量とスランプフローの関係は繊維の種類によって異なる。また、複数種類の繊維を併用する場合、両者の関係を単体でそれぞれの繊維を混入した場合の結果より推測することは難しい。これに対して、既往の研究⁴⁾では、繊維の混入量と形状(径, 長さ)を併せて表すことができる指標として、単位容積あたりのコンクリートに含まれる繊維の表面積の合計値(以下、総表面積)が提案されている。本研究においても、異なる種類の繊維を混入したコンクリートについて、繊維の総表面積を用いて一律に

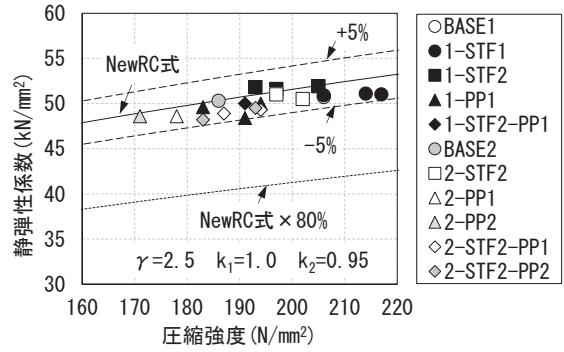


図10 各調査における圧縮強度と静弾性係数の関係

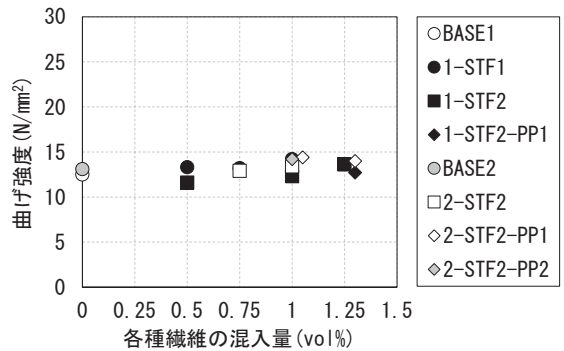


図11 各種繊維の混入量と曲げ強度の関係

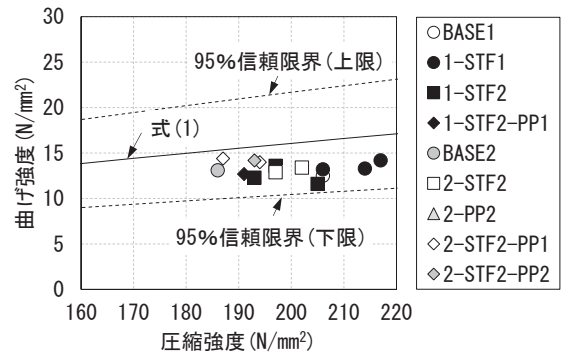


図12 各調査における圧縮強度と曲げ強度の関係

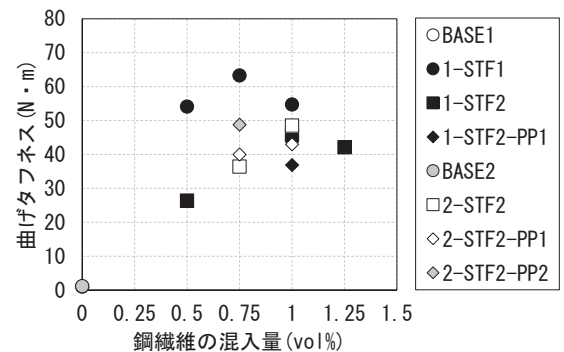


図13 鋼繊維の混入量と曲げタフネスの関係

評価することを試みた。

各種繊維の総表面積とスランプフロー比の関係を図14に示す。繊維の種類や形状に関わらず、総表面積が大きいほど、スランプフロー比が小さくなる傾向にあり、両者には良好な相関性が認められた。こ

これは、混入した繊維の総表面積が大きいほど、繊維に付着するモルタルが多くなり、コンクリートの流動性を阻害しているためと考えられる。

4.2 曲げタフネス

鋼繊維の混入が曲げタフネスまたは曲げ靱性係数に及ぼす影響を評価する指標がいくつか提案されている。例えば、参考文献 5) では、実強度 170N/mm²~195N/mm² のコンクリートを対象とし、鋼繊維引張強度と混合量の積および鋼繊維引張強度・比表面積・混合量の積、参考文献 6) では Fc80N/mm²~100N/mm² のコンクリートを対象とし、鋼繊維の総表面積が提案されている。本実験では、Fc200N/mm² のコンクリートを対象とし、鋼繊維の総表面積を用いて評価することを試みた。

鋼繊維の総表面積と曲げタフネスの関係を図 15 に示す。なお、図中の近似式は 1-STF1-10 (図中、矢印で示す結果) の結果を除いて算出した。両者の関係をみると、鋼繊維の種類に関わらず、総表面積が大きいほど、曲げタフネスが大きくなる傾向にあり、両者には概ね良好な相関性が認められた。これは、鋼繊維の総表面積が大きいほど、鋼繊維とコンクリートの付着面積が大きくなり、両者の間の付着力も大きくなるためと考えられる。ただし、1-STF1-10 の結果が、他の結果と異なる傾向を示した理由は明確ではなく、さらなる検討が必要である。

4.3 総表面積を指標とした場合の有効性

既往の研究^{4),6)}において、コンクリートに混入した各種繊維の総表面積が増加するほど、フローロスが大きくなり、曲げタフネスが大きくなる傾向が認められている。本実験の結果においても、繊維の総表面積とスランブフローおよび曲げタフネスの間に、良好な相関性が認められた。したがって、本研究の範囲において、Fc200N/mm² 級のコンクリートに対して、各種繊維の総表面積を指標とすることで、各種繊維の混入がスランブフロー及ぼす影響を評価することができる。また、鋼繊維の総表面積を指標とすることで、鋼繊維の混入が曲げタフネスに及ぼす影響を一定の範囲で評価することができる。

5. まとめ

本研究では、Fc200N/mm² 級の超高強度コンクリートを対象として、鋼繊維および PP 繊維の混入がフレッシュ性状および力学性状に及ぼす影響について検討を行った。その結果、本実験の範囲内で、以下の知見が得られた。

- 1) 単体使用および併用に関わらず、鋼繊維よりも PP 繊維の混入がコンクリートのスランブフローに及ぼす影響は大きい。
- 2) 繊維を混入したコンクリートの流動性を改善する対策として、モルタルの量や SP の添加率を増加することの効果は小さい。
- 3) コンクリートに繊維を混入する際、攪拌によって、空気量が増加する傾向にある。空気量の増加が原因と考えられる圧縮強度の低下を抑制するために、消泡剤を使用する対策が有効と考えられる。
- 4) 各種繊維の混入量が本実験の範囲内であれば、コンクリートのヤング率係数と曲げ強度は既往の関係式で推定できる。
- 5) Fc200N/mm² 級のコンクリートにおいても、繊維の総表面積を指標とすることで、各種繊維の混入がスランブフロー及ぼす影響を評価することができる。また、鋼繊維の総表面積を指標とすることで、鋼繊維の混入が曲げタフネスに及ぼす影響を一定の範囲で評価することができる。

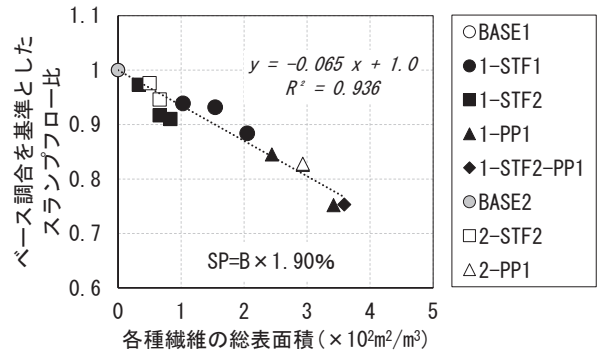


図 14 各種繊維の総表面積とスランブフロー比の関係

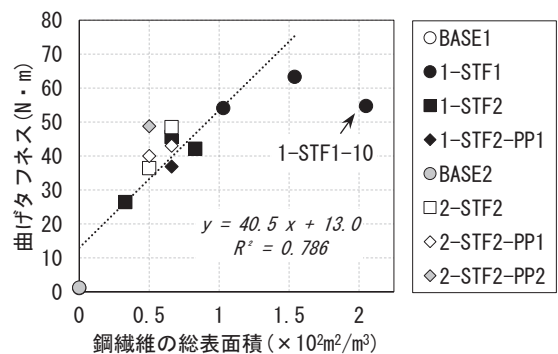


図 15 鋼繊維の総表面積と曲げタフネスの関係

謝辞

本実験の実施に当たり、(株)フローリックの各位に多大なるご協力をいただきました。各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井戸康浩, 他 3 名: 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, pp.527~528, 2008.9.
- 2) Mitsui, K., et al.: EFFECT OF INCORPORATING ORGANIC AND STEEL FIBER ON FIRE RESISTANCE OF 80 TO 200N/mm² HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMNS, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 75, No. 648, pp. 461~468, 2010. 2 (in Japanese)
三井健郎, 他 3 名: 設計基準強度 80~200N/mm² 超高強度コンクリート柱の耐火性能に及ぼす有機繊維および鋼繊維の影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 648 号, pp.461~468, 2010.2
- 3) Noguchi, T. and Tomosawa, F.: RELATIONSHIP BETWEEN COMPRESSIVE STRENGTH AND VARIOUS MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETE, Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 60, No. 472, pp. 11~16, 1995. 6 (in Japanese)
野口貴文, 友澤史紀: 高強度コンクリートの圧縮強度と各種力学特性との関係, 日本建築学会構造系論文集, 第 60 巻, 第 472 号, pp.11~16, 1995.6.
- 4) 吉田理紗, 他 2 名: ポリプロピレン短繊維を混入したセグメント用コンクリートの流動性向上に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.291~296, 2018
- 5) 西岡由紀子, 他 2 名: 鋼繊維形状と混合量が超高強度繊維補強コンクリートのフレッシュ性状と曲げ性能に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.297~302, 2018
- 6) 佐々木亘, 他 3 名: 高強度コンクリートの力学特性に与える鋼繊維の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.277~282, 2013

[2020年10月6日原稿受理 2020年12月8日採用決定]