

論文 高強度鋼繊維補強コンクリートの性能に関する実験的研究

渡邊 悟士*1・高橋 智也*2・今井 和正*3・黒岩 秀介*4

要旨：設計基準強度 100 N/mm² 級の鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）について、単位粗骨材絶対容積（以下、V_g）などを変動要因とした試験室実験により、流動性、間隙通過性、自己収縮および引張靱性などに対する影響について検討した。V_g を 250 L/m³ 以下とすることで所要のワーカビリティが得られ、石灰石碎石の使用により自己収縮は過大とはなっていないことを確認した。また、設計基準強度 100 N/mm² 級の SFRC では、圧縮強度が大きいほど引張靱性も大きくなる傾向にあり、その引張靱性は設計基準強度 60 N/mm² 級の SFRC の引張靱性と概ね同等以上であることを確認した。

キーワード：鋼繊維補強コンクリート、高強度、粗骨材量、ワーカビリティ、自己収縮、引張靱性

1. はじめに

コンクリートへの鋼繊維の混入により、靱性能の向上が期待できるため、筆者らは短スパン梁¹⁾や耐震壁²⁾への鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）の適用検討を進めている。また、前述した梁・壁部材への適用を想定した設計基準強度 30~60 N/mm² 級（以下、普通強度）の SFRC について、各種性能¹⁾を確認し、さらに引張靱性の定量的な評価方法³⁾を提案している。

耐震壁に SFRC を適用した場合、それに付帯する柱にも高い靱性能が求められる。超高層建築物の場合、高い圧縮軸力が作用する下層階の柱に設計基準強度 100 N/mm² 級の高強度コンクリートが求められることがある。したがって、設計基準強度 100 N/mm² 級の高強度 SFRC についても検討が必要となる。

高強度 SFRC における課題として、以下のような項目が挙げられる。

<ワーカビリティ>

高強度コンクリートは粘性が高く、さらに鋼繊維や火災時の爆裂抑制のための合成短繊維を混入することで、流動性および間隙通過性が低下する。それらを考慮した上で、所要のワーカビリティが得られるように、配（調）合（以下、調合）条件を設定する必要がある。

<自己収縮>

高強度コンクリートでは自己収縮が大きくなる。SFRC ではワーカビリティ確保のために粗骨材量を低減する必要があり、さらに自己収縮が大きくなる可能性がある。それらを考慮した上で、自己収縮を所要の範囲に収めるように、調合条件を設定する必要がある。

<引張靱性>

普通強度 SFRC では、鋼繊維の体積混入率（以下、V_{sf}）ごとに、圧縮強度をもとに引張靱性を定量的に評価した

³⁾が、結合材の種類や強度範囲が異なるため、その傾向が異なる可能性がある。そのため、高強度 SFRC についても、調合条件が引張靱性に及ぼす影響を確認する必要がある。

本報では、試験室実験の結果をもとに、前述のような高強度 SFRC の課題について検討した結果を報告する。

2. 実験計画

SFRC のワーカビリティ、とりわけ間隙通過性への影響が大きい単位粗骨材絶対容積（以下、V_g）などを変動要因として、流動性、間隙通過性、自己収縮および引張靱性などに対する影響について検討した。

2.1 使用材料

表-1 に、本実験における使用材料を示す。

鋼繊維には、普通強度 SFRC の場合と同じ、直径 0.55 mm、長さ 35 mm の両端に 1.5 段⁴⁾のフック形状を有するものを使用した。鋼繊維以外は、高強度 SFRC の製造を予定しているプレキャスト部材製造工場で使用している、普通ポルトランドセメント、高強度混和材、混合砂、碎石、高性能減水剤、ポリプロピレン短繊維を使用した。

表-1 コンクリートの使用材料

分類	種類	詳細
結合材 B	C 普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
	CP 高強度混和材	密度 2.64g/cm ³
水	W 上水道水	
細骨材	S 混合砂 (S2) <天然砂：砕砂=1：1(質量)>	表乾密度 2.64g/cm ³
粗骨材	G 石灰石碎石 2005 (G2)	表乾密度 2.72g/cm ³
混和剤	AD 高性能減水剤	ポリカルボン酸系
繊維	PP ポリプロピレン短繊維	繊維 17dtex、長さ 20mm
	SF 両端フック形状鋼繊維	直径 0.55mm、長さ 35mm 公称引張強度 1850N/mm ²

*1 大成建設（株） 技術センター 主任研究員 博士（工学）（正会員）

*2 大成建設（株） 設計本部 シニアエンジニア 工修（正会員）

*3 大成建設（株） 技術センター 主席研究員 博士（工学）（正会員）

*4 大成建設（株） 技術センター 構造研究室長 博士（工学）（正会員）

表-2 コンクリートの調合条件

調合 記号	W/B [%]	Vg [L/m ³]	s/a [%]	空気量 [%]	SLF [mm]	単位量[kg/m ³]					AD [B×%]	PP [kg/m ³]	Vsf [%]	検討対象節		
						C	CP	W	S	G				3.1	3.2	3.3
20-200-10	20	200	63.2	2.0±0.5	650±50	660	165	165	906	544	1.85	1.0	○	○	○	
20-250-10		250	54.0						774	680	1.60		○	○	○	
20-300-10		300	44.8						642	816	1.30		○	○	○	
20-250-05		250	54.0						774	680	1.45		○			
25-200-10w	25	200	65.2	2.0±0.5	650±50	528	132	165	990	544	1.60	1.0	○			
25-200-10			66.6						1051	544	1.85		○			
25-250-10		250	58.2						919	680	1.65		○		○	
25-300-10		300	49.8						787	816	1.38		○			
25-250-05		250	58.2						919	680	1.55		○			

高強度混和材には、JASS 5 M-701:2022（高強度コンクリート用セメントの品質基準）⁵⁾の附属書 3 に規定されているスラグせっこう系混和材とシリカフュームをプレミックスしたものを使用した。

細骨材には、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」の規定を満足する混合砂（天然砂+砕砂）を使用した。粗骨材には、JIS A 5005 における砕石 2005 の規定を満足する石灰石砕石を使用した。なお、これらは既報³⁾における S2 および G2 と産地が同じで製造ロットが異なるものである。

2.2 調合条件

表-2 に、コンクリートの調合条件を示す。調合記号は、“水結合材比（以下、W/B）” - “Vg” - “Vsf の小数点省略” で表した。単位水量は 165 kg/m³ を基本としたが、調合 25-200-10 に対して単位水量を 175 kg/m³ と大きくした調合は、末尾に “w” を付している。

W/B は、設計基準強度 100・80 N/mm² を想定した 20・25% の 2 水準とした。Vg は、普通強度 SFRC で採用した 250 L/m³ を基準とし、それに対して増減させた 300・200 L/m³ の 3 水準とした。スランプフロー（以下、SLF）は 650±50 mm を基本とし、高性能減水剤の添加率で調整したが、Vg が 300 L/m³ の調合では分離が生じない限界であった 500 mm 程度に止めた。Vsf は、普通強度 SFRC で採用した 1.0% を基準とし、Vg の基準とした 250 L/m³ については 0.5% を含む 2 水準とした。ポリプロピレン短繊維の混入量は、設計基準強度 100 N/mm² 級の高強度コンクリートの実績をもとに 1.0 kg/m³ とした。

2.3 練混ぜおよびフレッシュ性状試験

コンクリートの練混ぜは、JIS A 1138 に従って容量 55 L または 100 L の水平 2 軸形強制練りミキサで行った。

練混ぜおよびフレッシュ性状試験の手順を以下に示す。なお、間隙通過性試験は、JSCE-F 701-2018（ボックス形容器を用いた加振時のコンクリートの間隙通過性試験方

法（案）⁶⁾に準拠し、加振前の充填高さ、間隙通過速度に加え、材料分離の評価指標となる粗骨材量比率も測定した。ただし、充填装置にはボックス形容器ではなく、加振せずに高流動コンクリートの間隙通過性を試験する JSCE-F 511-2018（高流動コンクリートの充填試験方法（案）⁶⁾にボックス形容器と並列で規定されている U 形容器（底部の曲面形状以外は同じ）を使用した。

- 1) C, CP, S を投入して、30 秒間空練り
- 2) W (AD 含む) を投入して、180 秒間練混ぜ
- 3) G, PP を投入して、90 秒間練混ぜ
- 4) SF を投入して、60 秒間練混ぜ
- 5) SLF・空気量試験（JIS A 1150・1128）を行い、表-2 の範囲を満足することを確認した後に、間隙通過性試験を実施
- 6) 自己収縮測定用供試体および圧縮強度・引張靱性試験用供試体を一部（表-2 の検討対象節がそれぞれ 3.2 および 3.3）調合について採取

2.4 硬化コンクリートの試験

中央に埋込型ひずみ計を埋設した□100×400 mm の角柱供試体 2 個ずつについて、材齢 28 日まで自己収縮の測定を行った。自己収縮測定用供試体は、コンクリートと型枠の間にテフロンシートを敷いて摩擦を低減し、打込み後には打込み面をビニルシートで覆い、脱型後は全面にアルミ箔粘着テープを貼って、20℃封かん養生した。

φ100×200 mm の円柱供試体 3 個ずつについて、20℃封かん養生した後に、材齢 28 日で圧縮強度試験（JIS A 1108）を行った。

□150×530 mm の角柱供試体 3 個ずつについて、圧縮強度試験用供試体と同様に養生した後に、JCI-S-002-2003⁷⁾に準拠して、切欠きはり 3 点曲げ載荷試験を実施した。それにより得られた荷重-ひび割れ開口変位関係を用い、JCI-S-001-2003⁸⁾の附属書（コンクリートの引張軟化曲線の推定方法）により引張軟化曲線を求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 ワーカビリティ

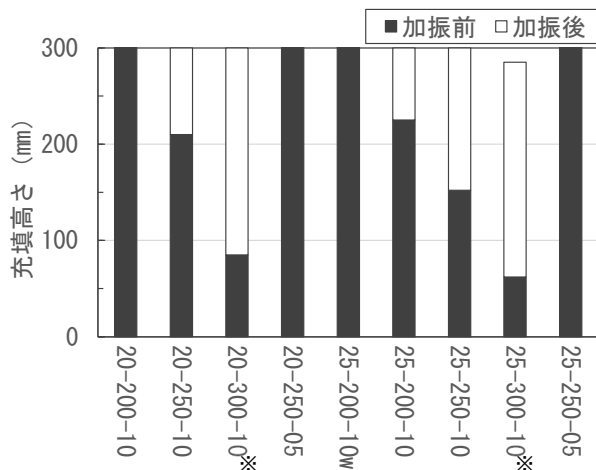
表-3に、フレッシュ性状試験結果を示す。JSCE-F 701-2018の間隙通過性試験では、充填装置下部の流動障害R2 (D13×3本、あき35mm)を通過し、加振時の充填高さが190mmから300mmに達するまでの時間で110mmを除して、間隙通過速度を求める。本検討では、加振前の段階で充填高さが190mmを超えた場合は、加振によりそこから300mmに達するまでの高さの変化量を時間で除した値も、同様に間隙通過速度として表記している。なお、加振前の段階で充填高さが300mmを超えた場合には、加振前の充填高さを「>300」と表記して、加振時の間隙通過速度は計測不能「-」とした。

特にW/Bが25%で、Vgを250L/m³の割合に対して200L/m³に低減すると、500mmフロー到達時間は大きく(粘性が高く)なる傾向にあった。ただし、割合25-200-10wのように単位水量を増加すると、改善傾向にあった。

表-3 フレッシュ性状試験結果

割合記号	空気量 [%]	SLF試験		間隙通過性試験		
		SLF [mm]	500mm時間 [s]	加振前高さ [mm]	間隙通過速度 [mm/s]	粗骨材量比率 [%]
20-200-10	1.6	700	19.9	>300	-	103
20-250-10	1.6	695	18.7	210	2.8*	96
20-300-10	2.0	505	73.0	85	1.8	測定せず
20-250-05	1.5	700	13.0	>300	-	測定せず
25-200-10w	1.5	670	23.7	>300	-	測定せず
25-200-10	2.3	615	45.0	225	4.4*	102
25-250-10	1.7	615	26.3	152	4.6	94
25-300-10	1.6	500	142.2	62	300mm未達	測定せず
25-250-05	1.5	700	13.0	>300	-	測定せず

※JSCE-F 701-2018では、加振前の充填高さが190mmを超えた場合、間隙通過速度は計算しないとされているが、加振前の充填高さから300mmに達するまでの平均速度として算出



※20-300-10・25-300-10は分離が生じないSLF500mm程度に止めた割合

図-1 間隙通過性試験における加振前後の充填高さ

図-1に、間隙通過性試験における加振前後の充填高さの測定結果を示す。

Vgが300L/m³の割合では、高性能減水剤の添加率を大きくすると材料分離が見られたため、SLFを500mm程度に止めた。そのため、Vgが300L/m³の割合は厳密には同条件での評価と言えないが、Vgを低減すると加振前の充填高さを増大できる傾向であった。なお、高強度SFRCに関する間隙通過性試験結果における明確な判定基準は定められていないが、Vsfを1.0%としても、Vgを250L/m³以下とすることで、既報⁹⁾の30秒加振後の充填高さ300mmが得られた割合と同等以上の加振前の充填高さ(130mm程度以上)が得られることが確認できた。

また、Vgが250L/m³以下、Vsfが1.0%の割合で測定した、加振後に上部から採取した試料の粗骨材量比率は概ね100±5%程度(表-3参照)であり、材料分離抵抗性が確保されていることも確認できた。

3.2 自己収縮

自己収縮の測定は、本実験の範囲で比較的大きい値となることが想定されるW/Bが20%の割合を対象とし、Vgの影響について検討した。

図-2に、自己収縮の測定結果を示す。供試体は20℃封かん養生としたが、水和熱により供試体の温度は初期に最高で29℃程度まで上昇したため、自己収縮ひずみはコンクリートの線膨張係数を10×10⁻⁶/℃として補正した値とした。また、凝結試験は実施していないため、10分間隔の測定で1×10⁻⁶を超える自己収縮ひずみの増加が生じる直前を自己収縮の始点(ひずみ0×10⁻⁶)とした。

基準とするVgが250L/m³では、材齢28日の自己収縮ひずみは308×10⁻⁶で、Vgを50L/m³低減・増大すると20×10⁻⁶程度増大・低減する傾向が見られた。自己収縮ひずみが500×10⁻⁶程度以上となる場合には、収縮低減剤の使用などの対策が講じられる¹⁰⁾が、石灰石砕石の使用などにより自己収縮ひずみは過大とはなっていないため、いずれの割合についても特別な対策は不要と考えられる。

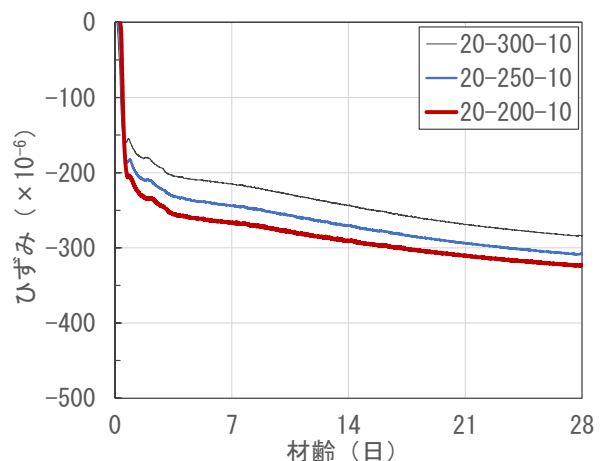


図-2 自己収縮測定結果

なお、前述した自己収縮の始点は、 V_g が $200 \cdot 250 \cdot 300 \text{ L/m}^3$ でそれぞれ $7 \cdot 4 \cdot 3$ 時間程度であり、 V_g が 200 L/m^3 では高性能減水剤の添加率増大による凝結遅延の傾向が懸念されるため、翌日脱型が一般的なプレキャスト部材製造工場での適用については検討が必要と考える。

3.3 圧縮強度・引張靱性

3.1 で V_{sf} が 1.0% でも所要のワーカビリティが確保できることが確認できたため、より高い引張靱性が期待できる V_{sf} が 1.0% の調合を対象として、圧縮強度と引張靱性の関係について検討を行った。

表-4 に、圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は、主に引張靱性との関係の確認を目的として測定したが、 V_{sf} の影響を確認するために、 V_{sf} が 0.5% の調合についても一部実施した結果を参考として併記した。

表-4 圧縮強度試験結果

Vsf=1.0% (引張靱性試験対象)			Vsf=0.5% (圧縮強度試験のみ)		
調合記号	空気量 [%]	圧縮強度 [N/mm ²]	調合記号	空気量 [%]	圧縮強度 [N/mm ²]
20-200-10	1.6	132			
20-250-10	1.6	128	20-250-05	1.5	128
20-300-10	2.0	118			
25-250-10	1.7	112	25-250-05	1.5	113

高強度コンクリートでは、モルタル部分と粗骨材のヤング係数の差にともなう応力集中などに起因して、 V_g が増大すると圧縮強度が低下する傾向がある¹¹⁾が、本実験でも同様な傾向が確認された。ただし、 V_g が 250 L/m^3 以下であれば、想定した設計基準強度の 1.2 倍以上の十分な強度発現が得られた。また、既報¹⁾では、空気量が同等であれば鋼繊維混入による圧縮強度への影響が小さいことを確認しているが、本実験でも V_{sf} による圧縮強度への影響は小さかった。

図-3 に、引張靱性試験で求めた引張軟化曲線を示す。引張応力は、ひび割れ発生後に急激に低下して極小となり、再上昇して極大となった後に下降している。まず、各供試体で得られた引張軟化曲線(細実線)をもとに、ひび割れ幅ごとの引張応力の平均値を算出して、各調合における曲線(太実線)を求めた。さらに、ひび割れ幅 0 mm から 0.5 mm ごとの点と、ひび割れ発生後の極小・大となる点(◇)を繋いで単純化した曲線(破線)により、各調合における引張靱性を評価した。なお、SFRC を用いた短スパン梁の構造実験¹⁾で、最大耐力時のひび割れ幅は概ね 1 mm 以下に収まっていた。そこで、ひび割れ発生後の引張応力の極大値(以下、引張応力極大値)に加えて、前述の単純化した曲線におけるひび割れ幅 1

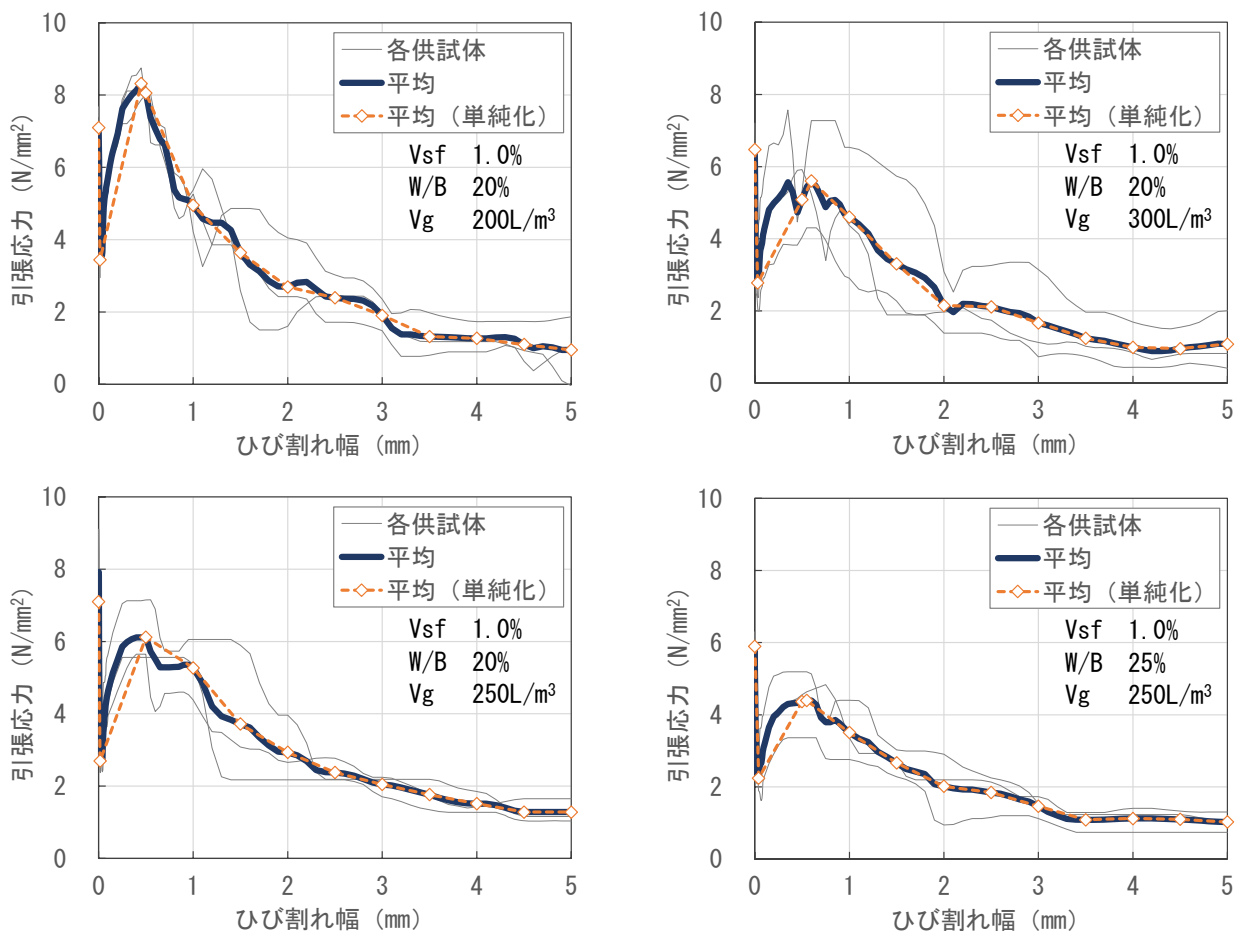


図-3 調合ごとの引張軟化曲線

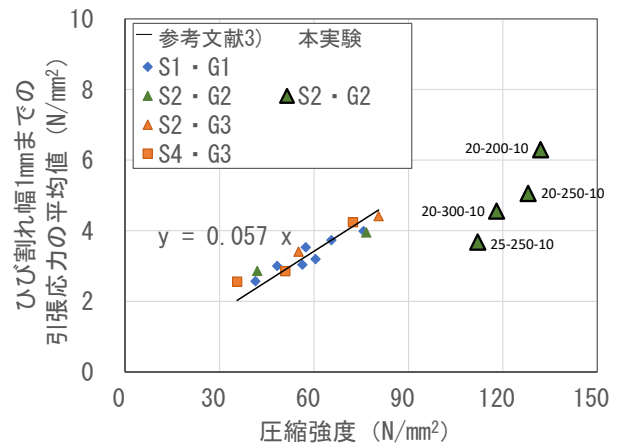
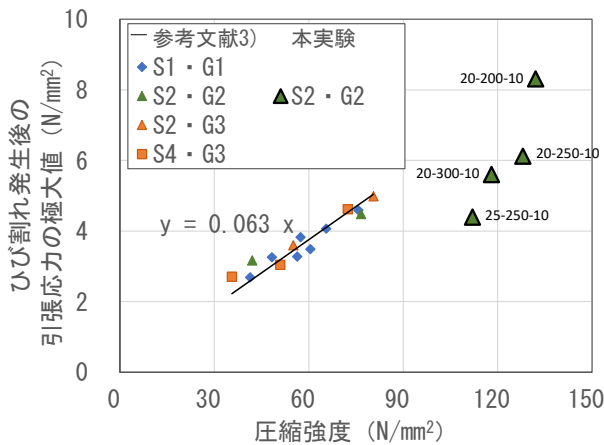


図-4 圧縮強度と引張靱性（左：引張応力極大値，右：引張応力平均値）の関係

mm までの引張応力の平均値¹²⁾(以下、引張応力平均値)の2つの特性値で引張靱性を評価する。

図-4 に、圧縮強度と引張靱性の関係を示す。図中には、本実験の結果と併せて、 V_{sf} が 1.0% で V_g が 250~315 L/m³ の普通強度 SFRC に関する既報³⁾の実験結果およびそれらのデータに対する回帰直線を示した。前述のように、本実験で使用した骨材の組合せは、既報³⁾の実験における S2・G2 に対応している。

普通強度 SFRC では、圧縮強度と引張靱性の間に正の相関を確認している³⁾。本実験でも、圧縮強度が大きいほど引張靱性の各特性値も大きくなる傾向にあった。

普通強度 SFRC では、250~315 L/m³ の範囲では V_g が引張靱性に及ぼす影響は小さいことを確認している³⁾。本実験では、 V_g が 250 L/m³ (調合 20-250-10) に対して 300 L/m³ (調合 20-300-10) では引張靱性がやや小さいが、圧縮強度の差を考慮すると、普通強度 SFRC と同様に V_g が引張靱性に及ぼす影響は顕著ではない。一方、普通強度 SFRC では対象としなかった V_g が 200 L/m³ (調合 20-200-10) では、特に引張応力極大値が大きい傾向にあった。现阶段では、この傾向の原因を明確にするには至っていないが、過去に調査した石灰石砕石の原石の引張強さは 6~10 N/mm² 程度¹³⁾であり、例えば高強度 SFRC では引張靱性への粗骨材の影響が大きくなる可能性なども考えられる。

普通強度 SFRC では、引張応力極大値と引張応力平均値の間に高い正の相関が見られ、前者に対する後者の比は 0.91 程度であった³⁾。本実験では、 V_g が 250・300 L/m³ (調合 20-200-10 以外) では前述した比が 0.81~0.84 となっており、 V_g が 200 L/m³ (調合 20-200-10) では 0.76 とさらに小さくなった。これは、 V_g が 200 L/m³ では極大値以降の引張応力の低下の勾配が大きい(図-3 左上図)ことに起因しており、引張応力極大値(図-4 左図)よりも引張応力平均値(図-4 右図)における V_g の影響が小さいことに繋がっている。

以上のように、高強度 SFRC の圧縮強度と引張靱性の関係の傾向について考察したが、絶対値として評価すると、設計基準強度 100 N/mm² 級(実強度 130 N/mm² 程度)の高強度 SFRC の引張靱性は、設計基準強度 60 N/mm² 級(実強度 80 N/mm² 程度)の普通強度 SFRC の引張靱性と概ね同等以上である(図-4 参照)ことを確認した。ただし、その傾向を定量的に評価するにはデータが十分ではないため、今後は骨材の影響なども含めて、さらに検討を進めていきたいと考える。

4. まとめ

本研究では、直径 0.55 mm、長さ 35 mm の両端に 1.5 段⁴⁾のフック形状を有する鋼繊維を使用した、設計基準強度 100 N/mm² 級の鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRC)を対象とし、単位粗骨材絶対容積(以下、 V_g)などを変動要因とした試験室実験により、流動性、間隙通過性、自己収縮および引張靱性などに対する影響について検討した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 特に水結合材比が 25% で、 V_g を 250 L/m³ の調合に対して 200 L/m³ に低減すると、500 mm フロー到達時間は大きく(粘性が高く)なる傾向にあったが、単位水量を増加すると、改善傾向にあった。
- (2) V_g を低減すると、間隙通過性試験における加振前の充填高さを増大できる傾向であり、 V_g を 250 L/m³ 以下とすることで、所要の間隙通過性および材料分離抵抗性が得られることが確認できた。
- (3) 基準とする V_g が 250 L/m³ では、材齢 28 日の自己収縮ひずみは 308×10^{-6} で、 V_g を 50 L/m³ 低減・増大すると 20×10^{-6} 程度増大・低減する傾向が見られたが、石灰石砕石の使用などにより自己収縮ひずみは過大とはなっていないため、いずれの調合についても特別な対策は不要と考えられる。
- (4) 自己収縮の始点は、 V_g が 200・250・300 L/m³ でそれぞれ 7・4・3 時間程度であり、 V_g が 200 L/m³ では高

性能減水剤の添加率増大による凝結遅延の傾向が懸念されるため、翌日脱型が一般的なプレキャスト部材製造工場での適用については検討が必要と考える。

- (5) 通常の高強度コンクリートと同様に、 V_g が増大すると圧縮強度が低下する傾向が確認されたが、 V_g が 250 L/m^3 以下であれば、想定した設計基準強度の1.2倍以上の十分な強度発現が得られた。
- (6) 設計基準強度 $30\sim 60\text{ N/mm}^2$ 級（以下、普通強度）のSFRCと同様に、圧縮強度が大きいほど引張靱性も大きくなる傾向にあった。
- (7) V_g が 250 L/m^3 以上では、普通強度SFRCと同様に V_g が引張靱性に及ぼす影響は顕著ではなかったが、 V_g が 200 L/m^3 では、引張靱性が大きい傾向にあった。
- (8) 普通強度SFRCでは、ひび割れ発生後の引張応力の極大値に対するひび割れ幅 1 mm までの引張応力の平均値の比は 0.91 程度であったのに対して、 V_g が $250\cdot 300\text{ L/m}^3$ では $0.81\sim 0.84$ となっており、 V_g が 200 L/m^3 （調合 $20\text{-}200\text{-}10$ ）では 0.76 とさらに小さくなった。これは、 V_g が 200 L/m^3 では極大値以降の引張応力の低下の勾配が大きいことに起因している。
- (9) 設計基準強度 100 N/mm^2 級（実強度 130 N/mm^2 程度）の高強度SFRCの引張靱性は、設計基準強度 60 N/mm^2 級（実強度 80 N/mm^2 程度）の普通強度SFRCの引張靱性と概ね同等以上であることを確認した。

参考文献

- 1) 高橋智也，渡邊悟士，今井和正，渡辺英義：鋼繊維補強コンクリートを用いた短スパン梁の開発，コンクリート工学，Vol.60，No.8，pp.661-668，2022
- 2) 村松晃次，小河雅広，高橋智也，杉山智昭，河本慎一郎，渡辺英義，西山峰広：鋼繊維補強コンクリートを用いた耐震壁のせん断特性に関する実験研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.88，No.808，pp.984-994，2023.6
- 3) 渡邊悟士，今井和正，高橋智也，黒岩秀介：鋼繊維補強コンクリートにおける引張靱性の評価に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.88，No.808，pp.880-887，2023.6
- 4) 中川晴日，原田岳信，高橋七海，石川裕次：高強度SFRC柱のせん断強度に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.2，pp.643-648，2022
- 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，pp.850-853，2022
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書【規準編】，2018
- 7) 日本コンクリート工学会：切欠きはりを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法（JCI-S-002-2003），JCI規準，2003
- 8) 日本コンクリート工学会：切欠きはりを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法（JCI-S-001-2003），JCI規準，pp.6-13，2003
- 9) 菊地俊文，黒田泰弘，遠藤芳雄，戸澤正美：間隙通過性に着目した鋼繊維を用いた超高強度コンクリートの調合検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.751-752，2018
- 10) 黒岩秀介，吉田泰，渡邊悟士，山本佳城，陣内浩，並木哲：人工軽量細骨材による低収縮高強度コンクリートの実験的検討 その2，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.235-236，2015
- 11) 渡邊悟士，太田貴士，陣内浩，黒岩秀介：単位水量および単位細・粗骨材量が超高強度コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響の評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.1315-1320，2017
- 12) 今井和正，渡邊悟士，高橋智也，黒岩秀介：鋼繊維補強コンクリートの開発に関する基礎的研究 その4，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.543-544，2022
- 13) 渡邊悟士，榎田佳寛，陣内浩，黒岩秀介，並木哲：品質管理への反映を考慮した高強度コンクリート用砕石の力学特性の評価，日本建築学会構造系論文集，Vol.72，No.622，pp.1-7，2007.12