４．スーパーフィルクリートの開発
－その２ 各種強度性状－
Development of Super-Fillcrete
－ Part2　Various Kinds of Properties in Strength －

立松　和彦*1　石原　誠一郎*1　山﨑　順二*2

要　旨

外付けの枠付き鉄骨ブレースによる耐震補強工法の間接接合部に打設する、無収縮モルタルに代替できる充填材として使用できることを目指してスーパーフィルクリートの開発を進めてきた。本報告では割裂引張強度、曲げ強度および付着強度などの各種強度性状の実験について述べる。検討の結果、スーパーフィルクリートの強度性状は同程度の圧縮強度である通常の高強度コンクリートの評価式でほぼ適切に評価できることが確認できた。なお、スーパーフィルクリートは(財)日本建築総合試験所から建築技術性能証明を取得した（2009 年 5 月）。

キーワード：耐震補強／割裂引張強度／曲げ強度／付着強度／高強度コンクリート

１．はじめに

外付けの枠付き鉄骨ブレースによる耐震補強工法の間接接合部に打設する無収縮モルタルに代替できる充填材として使用できることを目指してスーパーフィルクリートの開発を進めてきた。昨年度の既報[1)]では、「その１　基本性状の確認試験」として概要を報告したが、本報では、割裂引張強度、曲げ強度および付着強度などの各種強度性状について実験を行った結果について述べる。

なお、スーパーフィルクリートについては(財)日本建築総合試験所から建築技術性能証明「スーパーフィルクリート　－無収縮高流動コンクリート－（GBRC 性能証明第 09-01 号）」を取得した（2009 年 5 月）。

２．実験概要

2.1　実験計画

実験は、スーパーフィルクリートの適用上限値の設計基準強度（Fc）である 36N/mm^2 に対して、温度補正値などを加味して、呼び強度 39 相当、呼び強度 42 相当となる水結合材比を設定して行った（**表－1** 参照）。さらに、スーパーフィルクリートに添加する各種の混和材料が強度性状に与える影響を明らかにするために、比較用のコンクリートを併せて製造した。比較用コンクリートでは膨張材を使用せず、後添加材料の水量相当分の水を加えてスーパーフィルクリートと同じ水セメント比とした。試験項目は**表－1** に示すとおり、圧縮強度、割裂引張強度、曲げ強度、付着強度である。なお付着強度は呼び強度 39 およびその比較用コンクリートのみとした。第 1 回目の練混ぜで圧縮強度、割裂引張強度、曲げ強度用試験体を、第 2 回目の練混ぜで圧縮強度、付着強度用試験体を作製した。

表－1　実験計画

	試験項目	圧縮強度	割裂引張強度	曲げ強度	付着強度
	試験方法	JIS A 1108	JIS A 1113	JIS A 1106	(本文参照)
呼び強度39	スーパーフィルクリート	○●	○	○	●
	比較用	○●	○	○	●
呼び強度42	スーパーフィルクリート	○	○	○	－
	比較用	○	○	○	－

○；１回目の練混ぜ[2009.12]で試料作製
●；２回目の練混ぜ[2010.1]で試料作製
－；実施せず

2.2　使用材料および調合

表－2 に使用材料を、**表－3** に調合表を示す。セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材の最大寸法は 15mm、細骨材の一部には石灰砕砂（混合比率は容積比で 40%）を用いている。練り混ぜ水は工業用水である。比較用コンクリートでは、スーパーフィルクリートの後添加材料（**表－2** 中のスーパーフィルクリート用混和剤）の代わりに水を 15kg/m^3 加えてスーパーフィルクリートと同等の水セメント比にしている。なおスーパーフィルクリートのフレッシュ性状の目標値はスランプフロー60cm、空気量 4.5%、自由膨張率 1.0%である。比較用コンクリートの目標値はスランプ 21cm、空気量 4.5%である。

*1 技術研究所環境・生産研究グループ　　*2 大阪本店建築部技術グループ

表－2　使用材料

材料		種類、産地、物性等
セメント		普通ポルトランドセメント 密度3.16g/cm^3
細骨材		砕砂　（兵庫県西島産） 表乾密度2.58 g/cm^3　粗粒率 2.80
		砕砂　（福岡県東谷鉱山産　石灰砕砂） 表乾密度2.69 g/cm^3　粗粒率 2.50
粗骨材		砕石1505　（兵庫県西島産　流紋岩） 表乾密度2.63 g/cm^3　実積率58%
膨張材		石灰系膨張材
スーパーフィルクリート用混和剤	発泡剤	特殊処理アルミニウム粉末
	収縮低減剤	収縮低減剤 （低級アルコールアルキレンオキシド付加物）
	増粘剤	セルロース系
	化学混和剤	高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系）
	補助AE剤	（空気量調整剤）

表－3　調合表

調合記号	水結合材比(W/B)*1 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m^3)					備考
			水*2	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材	
呼び強度39	41	52.5	180	419	20	876	794	スーパーフィルクリート
	41	52.5	180	439	0	876	794	比較用
呼び強度42	38	51.7	180	454	20	848	794	スーパーフィルクリート
	38	51.7	180	474	0	848	794	比較用

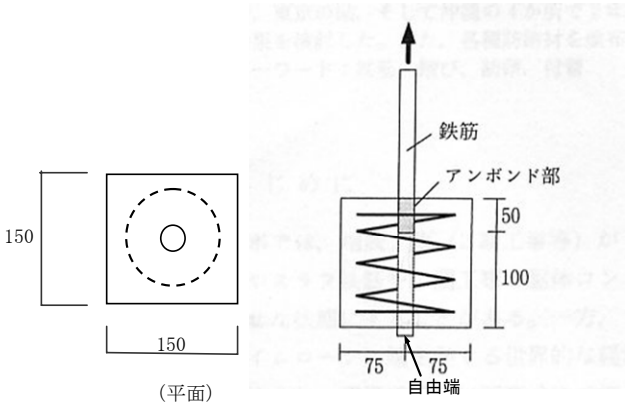
*1　B＝セメント+膨張材
*2　後添加材料の水量相当分15kg/m^{3}を含む

2.3　練り混ぜおよび試験方法

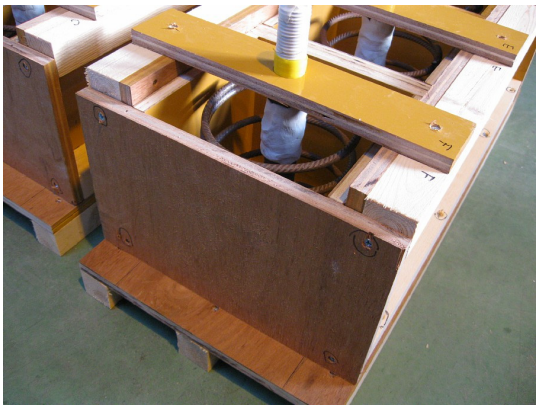
練り混ぜは強制二軸練りミキサを用い、1バッチ 50 リットルで 90 秒間練り混ぜた。フレッシュ試験の試験項目はスランプ（比較用コンクリートのみ）、スランプフロー、空気量、コンクリート温度とし、試験方法はそれぞれの JIS によった。なお自由膨張率（スーパーフィルクリートのみ）は、φ10cm×高さ 20cm の鋼製型枠に詰めたフレッシュ状態の試料の、鉛直方向の（初期硬化時の）自由膨張を高感度変位計で測定した。

圧縮強度試験は JIS A 1108 に、割裂引張強度試験は JIS A 1113 に、曲げ強度試験は JIS A 1106 によった。試験材齢は 28 日とし、試験体の養生は標準水中養生とした。

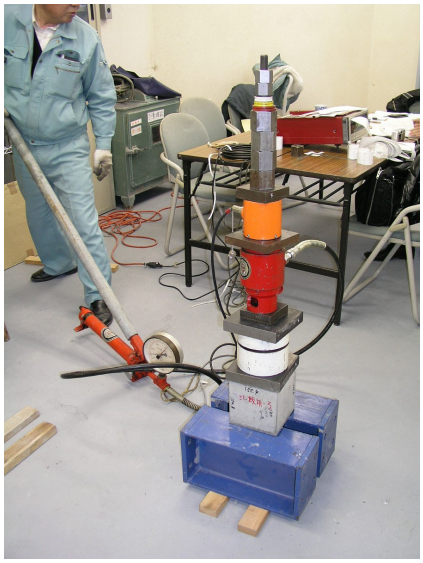
付着強度試験は、各種の標準引抜き付着試験案[2)]の中から、(社)日本コンクリート工学協会案および(財)建材試験センター案を参考にした引抜き試験方法とした。試験体は**図－1** および**写真－1** に示すように、スパイラル筋を有した150mm角の試料コンクリート試験体の中央に異形鉄筋(D25)を鉛直に配し、上部に 5cm のアンボンド部を設けて付着部分を 100mm とした。試験は、**写真－2** に示すように、手動の油圧ジャッキによる単調引張載荷とし、ロードセルで載荷荷重を、試験体底部に突出させた鉄筋の自由端のすべり量を高感度変位計で測定した。付着強度は、自由端すべり量 0.002D　(=0.05mm) 時の荷重を付着部分の面積で除して求めた。なお試験材齢は 28 日とし、付着強度試験体の養生は室内封緘養生とした。



図－1　付着強度試験体



写真－1　付着強度試験体の型枠



写真－2　付着強度試験の状況

３．実験結果

(1) フレッシュ性状

フレッシュ試験の結果一覧を**表－4** に示す。目標値に対し、第 2 回練り混ぜの自由膨張率がやや小さな値を示した。自由膨張はアルミニウム粉末の発泡に起因する膨張なので、膨張そのものの温度依存性だけでなく、測定環境（試験後の室温の低下）、測定方法（変位計の設置方法）なども変動要因である。これらの要因が複合していると推定されたが、特定には至らなかった。

その他の結果については目標値の範囲内であった。

表－4　フレッシュ試験結果

		スランプ (cm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度(℃)	自由膨張率(%)
呼び強度39（第1回）	スーパーフィルクリート	－	60.5×58.0	4.8	18.0	0.86
	比較用	22.0	40.5×40.5	4.8	17.0	－
呼び強度42（第1回）	スーパーフィルクリート	－	63.0×61.5	3.9	17.0	0.78
	比較用	22.0	40.5×39.5	4.2	18.0	－
呼び強度39（第2回）	スーパーフィルクリート	－	55.5×55.0	4.2	16.0	0.46
	比較用	21.5	37.0×36.0	4.9	16.0	－

(2) 圧縮強度

各種強度一覧を**表－5** に示す。各強度の値は試験体 3 本の平均値である。スーパーフィルクリートの材齢 28 日標準水中養生における圧縮強度は、呼び強度 39 で 55.4 N/mm^2、呼び強度 42 で 62.7 N/mm^2 となり、それぞれ比較用コンクリートの圧縮強度を若干下回った。(財)日本建築総合試験所が平成20年度工事用材料試験結果の集計として公表している圧縮強度の集計結果 [3]によると、呼び強度 36、同 40 の呼び強度比（圧縮強度平均値／呼び強度の強度値）は 1.39 および 1.40 である。今回の結果からスーパーフィルクリートの呼び強度比を求めると、第 1 回の呼び強度 39 では 1.42、呼び強度 42 では 1.49 となり、上記集計結果の呼び強度比とほぼ一致していることから、呼び強度に対するスーパーフィルクリートの水結合材比の設定は適切であったと考えられる。

一方、第 2 回練り混ぜにおけるスーパーフィルクリートの圧縮強度（呼び強度 39）は 63.1 N/mm^2、比較用コンクリートで 63.9 N/mm^2 となった。第 1 回練り混ぜの結果に比べ、スーパーフィルクリートでは約 8 N/mm^2、比較用コンクリートでは約 4 N/mm^2、圧縮強度が高くなった。これは、スーパーフィルクリートの自由膨張率の相違が主な原因と考えられる。第 1 回練り混ぜ時の自由膨張率 0.86%に比べ、第 2 回練り混ぜ時には 0.46%であった。自由膨張率が小さくなると強度は高くなる（これまでの実験では自由膨張率が 0.5%小さくなると圧縮強度は 7%程度高くなることがわかっている）ので、この差によって 4 N/mm^2 程度の強度変動が生じ、比較用コンクリートの強度変動（練り混ぜバッチ間の変動あるいは日間変動に相当する）と累加されて約 8 N/mm^2、の強度差になったと考えられる。

表－5　強度試験結果一覧

［第1回　練混ぜ］　(N/mm^2)

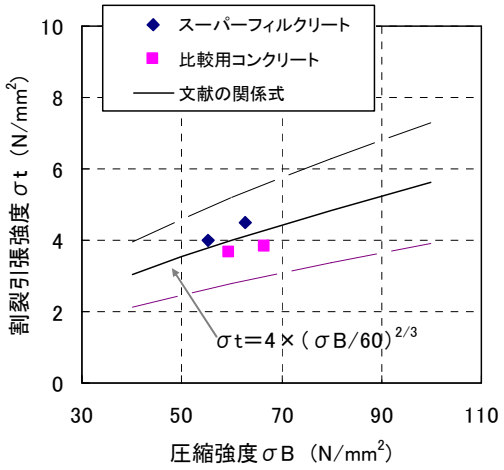
試料区分		圧縮強度	割裂引張強度	曲げ強度
呼び強度39	スーパーフィルクリート	55.4	3.98	6.50
	比較用	59.5	3.68	6.82
呼び強度42	スーパーフィルクリート	62.7	4.52	6.97
	比較用	66.5	3.85	7.53

［第2回　練混ぜ］　(N/mm^2)

試料区分		圧縮強度	付着強度
呼び強度39	スーパーフィルクリート	63.1	12.7
	比較用	63.9	11.6

(3) 割裂引張強度

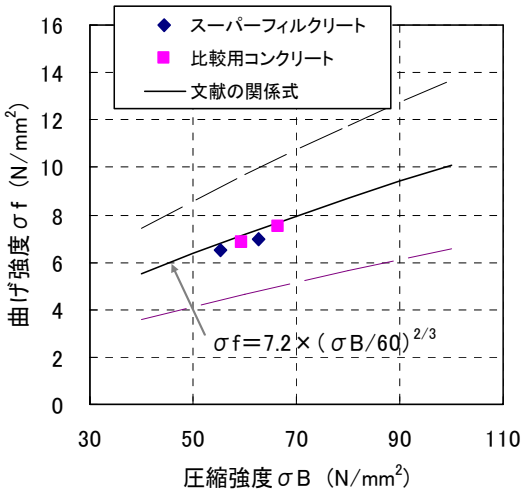
スーパーフィルクリートの材齢28日標準水中養生における割裂引張強度は、呼び強度 39 で 3.98 N/mm^2、呼び強度 42 で 4.52 N/mm^2 となり、それぞれ比較用コンクリートの割裂引張強度を若干上回った。高強度コンクリートの圧縮強度と各種力学特性との関係を検討した文献 [4]に見られる、圧縮強度と割裂引張強度との関係式 [4]と比較すると、**図－2** に示すとおり、関係式とほぼ同等の値であった。なお図中の破線は、上記文献 [4]において実測値の 95%信頼限界として示されたもので、中央値±30%のラインである。



図－2　圧縮強度と割裂引張強度の関係

(4) 曲げ強度

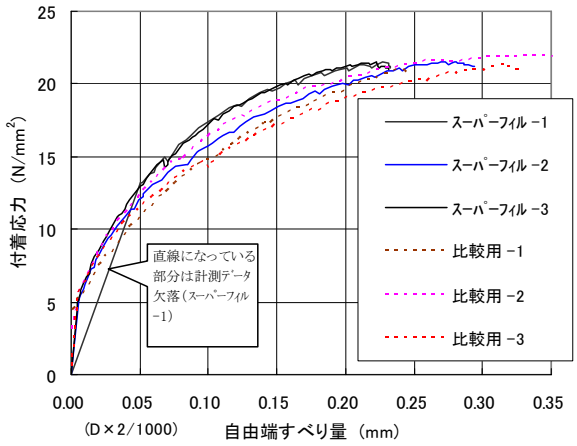
スーパーフィルクリートの材齢28日標準水中養生における曲げ強度は、呼び強度 39 で 6.50 N/mm^2、呼び強度 42 で 6.97 N/mm^2 となり、それぞれ比較用コンクリートの曲げ強度を若干下回った。しかし、文献 [4]に見られる、圧縮強度と曲げ強度との関係式 [4]と比較すると、**図－3** に示すとおり、関係式とほぼ同等の値であった。なお図中の破線は、上記文献 [4]において実測値の 95%信頼限界として示されたもので、中央値±35%のラインである。



図－3　圧縮強度と曲げ強度の関係

(5) 付着強度

図－4 に付着強度試験時の、自由端すべり量と付着応力との関係を示す。自由端すべり量 0.05mm 時の付着応力が付着強度である。呼び強度 39 のスーパーフィルクリートの材齢 28 日における付着強度（試験体 3 体平均）は、12.7 N/mm^2 となり、比較用コンクリートの値 11.6 N/mm^2 を約 9%上回った。スーパーフィルクリートの、アルミニウム粉末の発泡に起因するフレッシュ時の膨張あるいは膨張材に起因する硬化時の膨張が付着強度の向上に影響を及ぼしている可能性が考えられるが、この点については引き続き検討していきたい。



図－4　付着強度試験結果

4．まとめ

スーパーフィルクリートの割裂引張強度、曲げ強度および付着強度などの各種強度性状について検討した結果、以下のことが確認できた。

1) 圧縮強度では、呼び強度に対するスーパーフィルクリートの水結合材比の設定は通常のレディーミクストコンクリートと同程度である。
2) 割裂引張強度、曲げ強度と圧縮強度との関係は、それぞれ通常の高強度コンクリートにおける関係式とほぼ同等の関係である。
3) スーパーフィルクリートの付着強度は、比較用コンクリートに比べ約 9%上回った。スーパーフィルクリートの、アルミニウム粉末の発泡に起因するフレッシュ時の膨張あるいは膨張材に起因する硬化時の膨張が付着強度の向上に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

［謝　辞］

実験に協力いただいた(株)関西宇部 堺工場の関係者の方々に謝意を表します。

［参考文献］

1) 立松和彦・塩濱圭治：スーパーフィルクリートの開発　その 1 基本性状の確認試験、淺沼組技術研究報告、No.21、pp.3-1～3-6、2009
2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料、pp.43-46、1987.9
3) 平成 20 年度工事用材料試験結果の集計、GBRC、Vol.34 No.3、pp.40-43、2009.7
4) 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 472 号、pp.11-16、1995.6