

5. 収縮低減型中・高流動コンクリート「スムースフィルクリート」の開発

Development of Middle and High-performance Concrete “SMOOTH FILLCRETE” in the shrinkage reduction type

河合 智寛^{*1} 山崎 順二^{*2} 立松 和彦^{*1}

要 旨

2009年に技術研究所では、狭小・閉じた空間への圧入打設を対象とする当社既往技術の「フィルクリート」を改良し、軽微な締固めによる流し込み打設を前提とした無収縮高流動コンクリート「スーパーフィルクリート（GBRC 性能証明 第 09-01 号改）」を開発し、これまでに 1,000m³を超える使用実績を積上げている。その製造法は工事現場で生コンクリートを受入れた後に、発泡剤・収縮低減剤・増粘剤等をトラックアジテータに投入・攪拌するため、作業所での流動化の手間と高いレベルでの品質管理能力が要求される。本研究は、さらに作業所業務の軽減（生産性向上）および品質安定性の向上を目指して改良し、収縮低減型の中・高流動コンクリート「スムースフィルクリート」を開発した。

キーワード：中流動／耐震改修／収縮／膨張材／細骨材種類／スランプフロー

1. はじめに

耐震改修工事における後打ちコンクリート部分や逆打ちコンクリート工事部分では、一般的に普通コンクリートを流し込んだ後に、その上部に無収縮モルタルや無収縮グラウトを充填する作業工程が必要とされている。通常は既存コンクリート躯体との界面において、確実な一体性の確保が困難であると考えられており、打込んだコンクリート天端の沈降などを理由に、打継ぎ部分に隙間が生じる可能性があると考えられている。このため、施工に用いられるコンクリートに低収縮性能を付与することができれば、後工程で必要とされている無収縮モルタルの代替材として使え、さらにはそのまま増設壁や増打ち壁への打込みにも適用できる可能性があることから、2009年に技術研究所では、当社既往技術の狭小・閉じた空間への圧入打設を前提とした「フィルクリート」を改良し、軽微な締固めによる流し込み打設を前提とした無収縮高流動コンクリート「スーパーフィルクリート（GBRC 性能証明 第 09-01 号改）」を開発した。このスーパーフィルクリートは当社において、これまでに 1,000m³を超える使用実績を積上げている。しかし、その製造方法は工事現場で生コンクリートを受入れた後に、発泡剤・収縮低減剤・増粘剤等をトラックアジテータに投入・攪拌するため、作業所での流動化の手間と高いレベルでの品質管理能力が要求される。

本研究は、さらに作業所業務の軽減（生産性向上）および品質安定性の向上を目指して改良し、収縮低減型の中・高流動コンクリート「スムースフィルクリート」を

開発した。

2. 開発の概要

スムースフィルクリートとは、レディーミクストコンクリート製造時において、化学混和剤に増粘剤 1 液タイプの高性能 AE 減水剤を使用することでスランプフローを 55cm とし、さらに膨張材を添加することで乾燥収縮率を低減した中・高流動コンクリートである。

その特徴は、

- (1) 高い流動性および材料分離抵抗性を有する。
- (2) 一般に単位セメント量が小さい場合は、高い流動性および材料分離抵抗性を確保することは困難であると考えられているが、単位セメント量 400kg/m³以下の領域でも、上記 (1) の性能を確保することができる。
- (3) 硬化後のコンクリートの物性である乾燥収縮率を 5×10^{-4} 以下（特級（JASS5））または 6.5×10^{-4} 以下（高級（JASS5））にまで低減することが可能である。

3. 目標性能と適用範囲

3.1 目標性能

製造に際して、スムースフィルクリートが目標とする性能は、以下の (1) から (4) とした。

- (1) 流動性：スランプフロー 55cm
- (2) 圧縮強度：設計基準強度 27, 30, 33N/mm²
- (3) 収縮性：拘束膨張および収縮試験による長さ変化（収縮）率^{*1}

^{*1} 試験方法は、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」

^{*1} 技術研究所材料研究グループ ^{*2} 技術研究所材料研究グループ 兼 大阪本店建築部品質管理室

付属書 2 (参考) 2015、日本規格協会『膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法』による拘束治具を用いた B 法

- (4) 耐 久 性：凍結融解作用に対する抵抗性が 200 サイクルで相対動弾性係数が 60%

但し、凍害危険度が「2 (軽微)」以上の地域に使用する際の要求性能とする。

3.2 適用範囲

スムーズフィルクリートは使用する範囲を以下のように規定した。

- (1) 対象とする構造物

建築確認申請を必要としない規模の改修工事に適用することとし、構造種別は鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造の建築物とする。主として耐震改修工事における無収縮モルタルの代替材として使用可能であり、VE 提案のための要素技術となりうる。

- (2) 設計基準強度 (F_c)

$$F_c = 27, 30, 33 \text{ N/mm}^2$$

- (3) 材料およびコンクリートの仕様

スムーズフィルクリートの製造は、JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) の認証を取得しているレディーミクストコンクリート工場で行い、以下の材料とコンクリートとしての仕様に適合するものとした。

- (a) セメント

普通ポルトランドセメント

- (b) 骨材の最大寸法

20mm または 15mm

- (c) 膨張材

JIS A 6202 (コンクリート用膨張材) に適合するもの

- (d) 化学混和剤

JIS A 6204 (コンクリート用化学混和剤) に適合するもの

- (e) フレッシュ時の流動性

スランプフロー 55cm

- (f) フレッシュ時の空気量

4.5%

- (g) フレッシュ時の温度

荷卸し時において 5℃以上、原則として 35℃以下

3.3 建築技術性能証明

実験をもとにして技術資料を作成し、目標性能および適用範囲等について審査を受け、平成 28 年 2 月 4 日付で一般財団法人 日本建築総合試験所 (GBRC) の建築



写真-1 建築技術性能証明 (スムーズフィルクリート)

技術性能証明 (GBRC 性能証明 第 15-20 号) を取得した (写真-1)。

4. 調合決定のための試し練り

4.1 室内実験の概要

使用骨材の異なる 3 工場 (工場 MR、工場 RA、工場 IT) で、細・粗骨材がスムーズフィルクリートのワーカビリティやコンシステンシーおよび硬化後の性能に与える影響を調査、室内での試し練りによる調合決定の手法を確立、実機での製造性、経時変化性状、後添加後の性能確認などを目的に、2012 年 10 月から 2015 年 6 月まで、予備実験を含めた 6 回の室内実験と 2 回の実機実験を行った。なお、細骨材の混合比率や単位粗骨材かさ容積が強度発現性に及ぼす影響、膨張材の使用量および化学混和剤との組合せがスムーズフィルクリートの性能である長さ変化 (膨張および収縮) 特性に与える影響を把握するための実験なども併せて実施した。

代表工場として、工場 MR と工場 RA のコンクリートの使用材料および品質を表-1 に示す。

4.2 フレッシュコンクリートの性状

生コン工場の試験室にてフレッシュコンクリートの性状に関する試し練りを実施した結果、細骨材混合割合と単位粗骨材かさ容積は、スムーズフィルクリートのスランプフローに影響を及ぼす要因と考えられ、図-1 から図-3 に示す結果が得られた。

試し練りに使用した細骨材は工場が通常使用しているものとし、工場 MR では石灰砕砂と砕砂、工場 RA では山砂と砕砂であり、通常の出荷において、工場 MR では砕砂：石灰砕砂を 70 : 30、工場 RA では砕砂：山砂を 55 : 45 として製造している。試し練りを行ったコンクリートは W/C50%、単位水量 180kg/m³ である。図-1 は砕砂に対す

表-1 コンクリートの使用材料と品質

工場MR

材 料	種 類	産地または品名	表乾 密度 g/cm ³	吸水 率 %	粗粒 率 %
セメント	普通ポルトランドセメント	U社製	3.16	—	—
水	工業用水	—	—	—	—
細骨材	石灰砕砂	福岡県北九州産	2.69	0.75	2.44
	砕砂	大阪府高槻産	2.66	1.57	2.81
粗骨材	砕石2010	大阪府高槻産	2.68	0.79	—
	砕石1505	大阪府高槻産	2.68	0.83	—
化学 混和剤	高性能AE減水剤 (増粘剤1液タイプ)	B社製	—	—	—
	AE剤 (I 種)	B社製	—	—	—
混和材	膨張材(構造用)	T社製	—	—	—

工場RA

材 料	種 類	産地または品名	表乾 密度 g/cm ³	吸水 率 %	粗粒 率 %
セメント	普通ポルトランドセメント	U社製	3.16	—	—
水	工業用水	—	—	—	—
細骨材	山砂	千葉県市原産	2.60	2.07	2.04
	砕砂	兵庫県赤穂産	2.59	1.91	2.85
粗骨材	砕石2010	兵庫県赤穂産	2.62	0.7	—
	砕石1505	兵庫県赤穂産	2.61	1.00	—
化学 混和剤	高性能AE減水剤 (増粘剤1液タイプ)	B社製	—	—	—
	AE剤 (I 種)	B社製	—	—	—
混和材	膨張材(構造用)	T社製	—	—	—

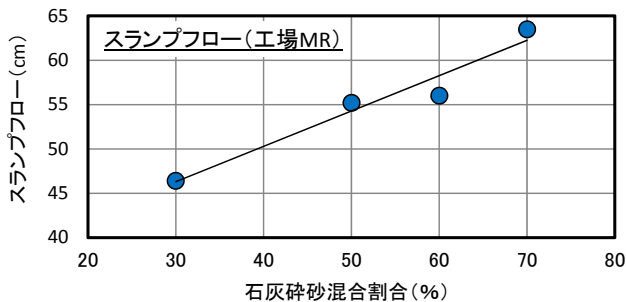


図-1 石灰砕砂混合割合とスランプフローの関係
(対砕砂割合)

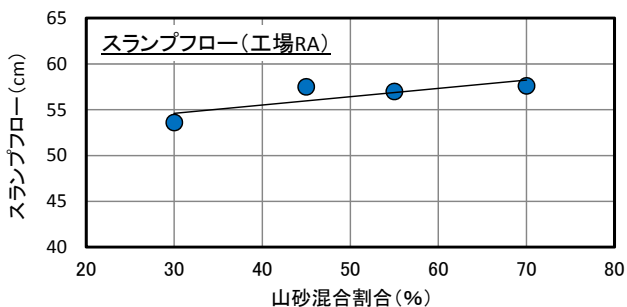


図-2 山砂混合割合とスランプフローの関係
(対砕砂割合)

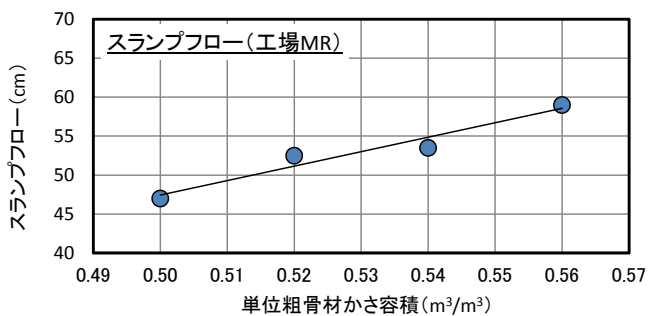


図-3 単位粗骨材かさ容積とスランプフローの関係

る工場MRの石灰砕砂混合割合とスランプフローの関係を、
図-2は工場RAの山砂の混合割合とスランプフローの関
係を示しており、細骨材の混合割合以外は全て同じ条件
である。

図-1と図-2から、砕砂に対する石灰砕砂および山砂
の混合割合を増加させると、スムーズフィルクリートの
スランプフローが直線的に大きくなる結果が得られた。
図-1の工場MRの細骨材を使用してスムーズフィルクリ
ートのスランプフロー目標値を55cmとする場合には、砕
砂に対して石灰砕砂の混合割合を50%にすれば良いと思
われ、一方、図-2に示す工場RAでは、山砂の混合割合
の増加とともにやや増大する程度であり、工場MRの結果
のように、スランプフローに大きな影響を与えないと考
えられる。

調査決定において、工場RAのような傾向を示す場合は、
工場の日常出荷における細骨材混合比率でスランプフロ
ー55cmを目標として化学混和剤の使用量を設定すれば良
いと考えられ、工場MRのような場合では、室内での試し
練りによって細骨材の混合割合を適切に設定する必要が
求められる。

図-3は工場MRの単位粗骨材かさ容積とスランプフロ
ーの関係を示しており、使用粗骨材は硬質砂岩砕石であ
る。スムーズフィルクリートの単位粗骨材かさ容積の標
準値は、ワーカビリティ、コンシステンシー、充填性、
間隙通過性などを考慮して0.520m³/m³～0.540m³/m³と設
定しているが、室内での試し練りの結果から、単位粗骨
材かさ容積を大きく設定することによってスランプフロ
ーがやや増大することが確認できた。

以上から、スムーズフィルクリートの調査決定のため
の試し練りを実施する際は、粗骨材の実積率や粒形でワ
ーカビリティが異なることも想定されるが、標準値
(0.520m³/m³～0.540m³/m³)の範囲内で単位粗骨材かさ容

積を設定し、細骨材の混合割合を変化させて試し練りを行い、目標スランプフロー（55cm）が得られるように混合割合を決定するという方針が得られた。

4.3 圧縮強度発現性

図-4 に、図-1 で示した石灰砕砂混合割合の異なる 4 種類のコンクリートの標準養生 (A) における材齢 7 日および材齢 28 日の圧縮強度試験結果を、図-5 に図-3 で示した $0.50\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 0.56\text{m}^3/\text{m}^3$ の範囲の 4 種類のコンクリートにおける圧縮強度試験結果を示す。

図-4 より工場 MR での W/C50%における材齢 28 日の圧縮強度は概ね $50\text{N}/\text{mm}^2 \sim 52\text{N}/\text{mm}^2$ であり、細骨材の混合割合の違いが圧縮強度に与える影響はほぼなかった。図-5 より粗骨材が堅硬な場合、単位粗骨材かさ容積が大きくなると圧縮強度がやや増大する傾向にあると考えられたが、試し練りの範囲内ではその傾向は顕著ではなく、 $0.50\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 0.56\text{m}^3/\text{m}^3$ の範囲においてほぼ同程度の強度発現性が得られた。

5. 硬化物性および調合決定の考え方

5.1 セメント水比と圧縮強度の関係

スムーズフィルクリートの W/C45%、W/C50%および W/C55% の 3 水準における標準養生材齢 28 日強度とセメント水比の関係について、工場 MR を代表工場として図-6 に示す。なお、工場 MR における製品検査の圧縮強度試験結果一覧より算出したコンクリートの圧縮強度の平均値を□マークで示している。

図-6 より、セメント水比と圧縮強度には極めて高い相関が得られ、生コン工場（JIS A 5308 認証取得工場）が日常出荷するコンクリート（JIS マーク品）の強度発現性よりもスムーズフィルクリートの方が圧縮強度はやや大きい良好な結果が得られた。この結果からスムーズフィルクリートの呼び強度を選定する際には、生コン工場が標準化している配合から、設計基準強度 F_c と構造体強度補正值 S を加えた数値に相当する呼び強度によって発注すれば、安全側の強度発現になると考えられる。

5.2 セメント水比と圧縮強度の関係

乾燥収縮率を低減する手法として、スムーズフィルクリートでは水酸化カルシウム系の膨張材を、要求される収縮性能に応じて $20\text{kg}/\text{m}^3$ または $25\text{kg}/\text{m}^3$ セメント内割置換で混入する。膨張材は混入量が多くなると圧縮強度がやや低下する¹⁾ 場合があるため、実験により強度低下の程度を確認することとした。加えて、膨張材を混入していない状態での長さ変化率が 8×10^{-4} を超えるような乾燥収縮率の大きいコンクリートについては、収縮低減

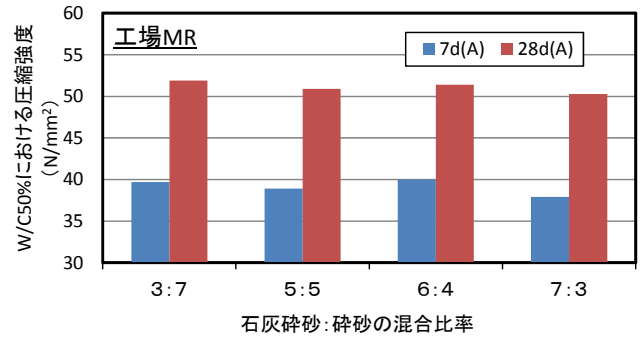


図-4 細骨材混合割合と圧縮強度の関係

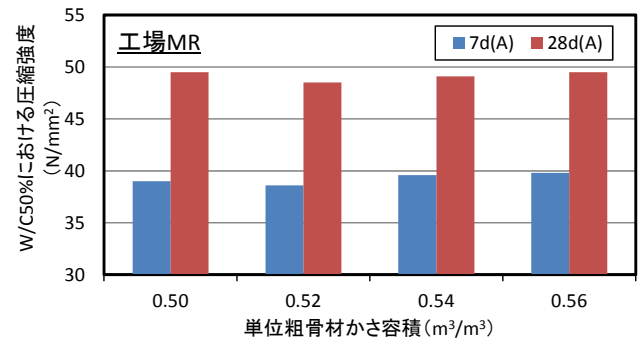


図-5 単位粗骨材かさ容積と圧縮強度の関係

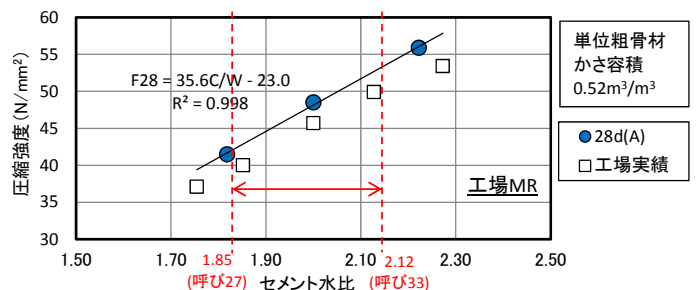
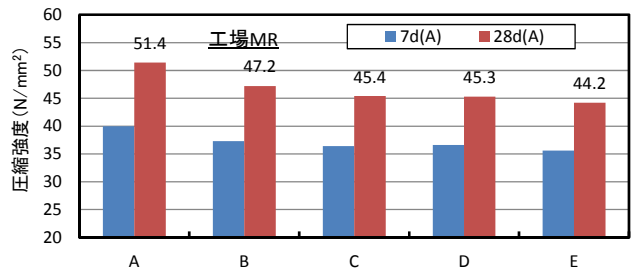


図-6 セメント水比と強度式および工場実績の関係



凡例: A: 膨張材なし
B: 膨張材 $20\text{kg}/\text{m}^3$ 混入
C: 膨張材 $25\text{kg}/\text{m}^3$ 混入
D: 膨張材 $20\text{kg}/\text{m}^3$ と収縮低減タイプの高性能AE減水剤の併用
E: 膨張材 $25\text{kg}/\text{m}^3$ と収縮低減タイプの高性能AE減水剤の併用

図-7 膨張材の使用による圧縮強度の変化

タイプの高性能 AE 減水剤を併用するケースも想定しているため、それらの強度発現性を確認した。図-7 に工場 MR での実験結果を示す。

膨張材をセメント内割置換で $25\text{kg}/\text{m}^3$ 混入して無拘束状態で養生した場合は、無混入のものより圧縮強度が 10～15%程度低下することが分かった。このため、スムーズフィルクリートでは強度低下分を呼び強度に対する強度発現性の安全率で満たせないことが室内実験における試し練りで確認された場合、所要の強度が得られる呼び強度のコンクリートを選定して調合を決定することとした。

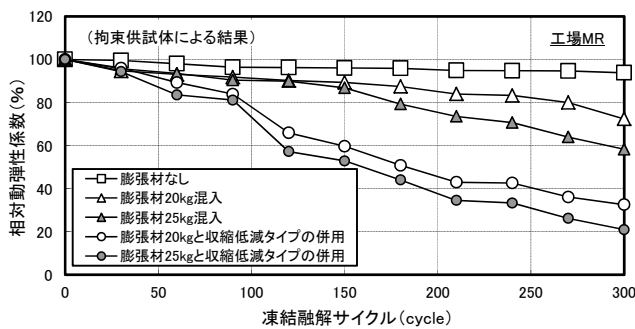


図-8 凍結融解抵抗性

5.3 凍結融解抵抗性

一般に、収縮低減剤を添加したコンクリートは凍結融解抵抗性が低下する場合があるため、その影響を確認する目的で水中凍結水中融解 (A 法) による凍結融解試験を実施した。試験方法は、JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」2015 による。

図-8 に凍結融解サイクル 300 サイクルまでの相対動弾性係数の変化を示す。実験の結果、収縮低減タイプの高性能 AE 減水剤を併用した場合にのみ、凍結融解抵抗性は 150 サイクルで相対動弾性係数 60%以下となるが、それ以外は凍結融解 200 サイクル終了後に相対動弾性係数 60%以上となる高い凍結融解抵抗性を有していることが分かった。しかし、サイクルを重ねると徐々に低下す

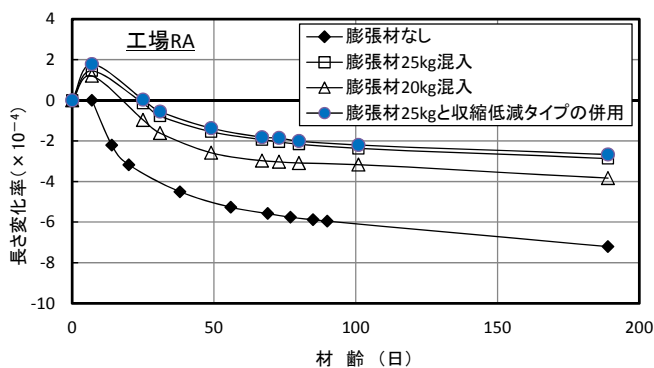


図-9 乾燥収縮率が 8×10^{-4} 以下の場合の対応

る傾向にあること、呼び強度 $30\text{N}/\text{mm}^2$ 程度 (水セメント比 50%程度) のコンクリートであることも考慮し、スムーズフィルクリートでは目標性能の耐久性について、凍害危険度 2 (軽微) 以上の地域においては凍結融解作用に対する抵抗性が 200 サイクルで相対動弾性係数 60%以上を確保することを、スムーズフィルクリートを使用する際の要求性能とした。

5.4 長さ変化特性

工場 RA および工場 MR において、拘束膨張および収縮実験による長さ変化 (収縮) 率を調査した。試験方法は、JIS A 6202「コンクリート用膨張材」附属書 2 (参考) 2015、「膨張コンクリートの束膨張及び収縮試験方法」による拘束治具を用いた B 法とし、保存材齢 26 週まで測定した。

膨張材無混入のコンクリートの乾燥収縮率が 8×10^{-4} 以下のコンクリートにスムーズフィルクリートの技術を適用した結果を図-9 に、同様に乾燥収縮率が 8×10^{-4} を超えるコンクリートに適用した結果を図-10 に示す。

図-9 より膨張材無混入のコンクリートの乾燥収縮率が 8×10^{-4} 以下の場合は、膨張材を $20\text{kg}/\text{m}^3$ または $25\text{kg}/\text{m}^3$ 混入することで、スムーズフィルクリートの性能に設定する「特級 (JASS5)」レベルが確保できると考えられる。一方、図-10 より膨張材無混入のコンクリートの乾燥収縮率が 8×10^{-4} を超える場合は、「特級 (JASS5)」または「高級 (JASS5)」レベルの収縮性能を確保するためには、膨張材 $20\text{kg}/\text{m}^3$ または $25\text{kg}/\text{m}^3$ (セメント内割置換) に加えて、収縮低減タイプの高性能 AE 減水剤を併用することが必要と考えられる。なお、収縮低減タイプの高性能 AE 減水剤の使用量については、化学混和剤に含まれる収縮低減成分の量を確保することに配慮して添加量を決定する必要がある。

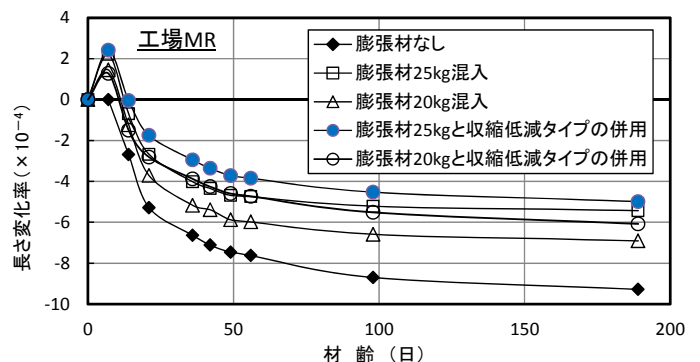


図-10 乾燥収縮率が 8×10^{-4} を超える場合の対応

5.5 調合決定の考え方

スムーズフィルクリートの調合決定の流れを図-11に示す。収縮性能のレベル（特級または高級）の設定については、室内試験における試し練り時に長さ変化試験用供試体を作製し、材齢7日での初期膨張量と28日での長さ変化率を確認し、JASS5に基づき保存材齢26週時点での乾燥収縮率を予測することによって判断することとした。なお、乾燥収縮率の予測のための α_i （保存材齢4週から26週を推定するための係数）については、JASS5を

参考にするか、または、工場が保有する長さ変化率の測定結果など信頼できる資料により設定することとした。

6. スムースフィルクリートの特徴など

6.1 製造技術の簡素化

スムーズフィルクリートは作業所業務の軽減（生産性向上）および品質安定性の向上を目的に、これまでに1,000m³を超える使用実績を積上げている無収縮高流動コンクリート「スーパーフィルクリート（GBRC 性能証明

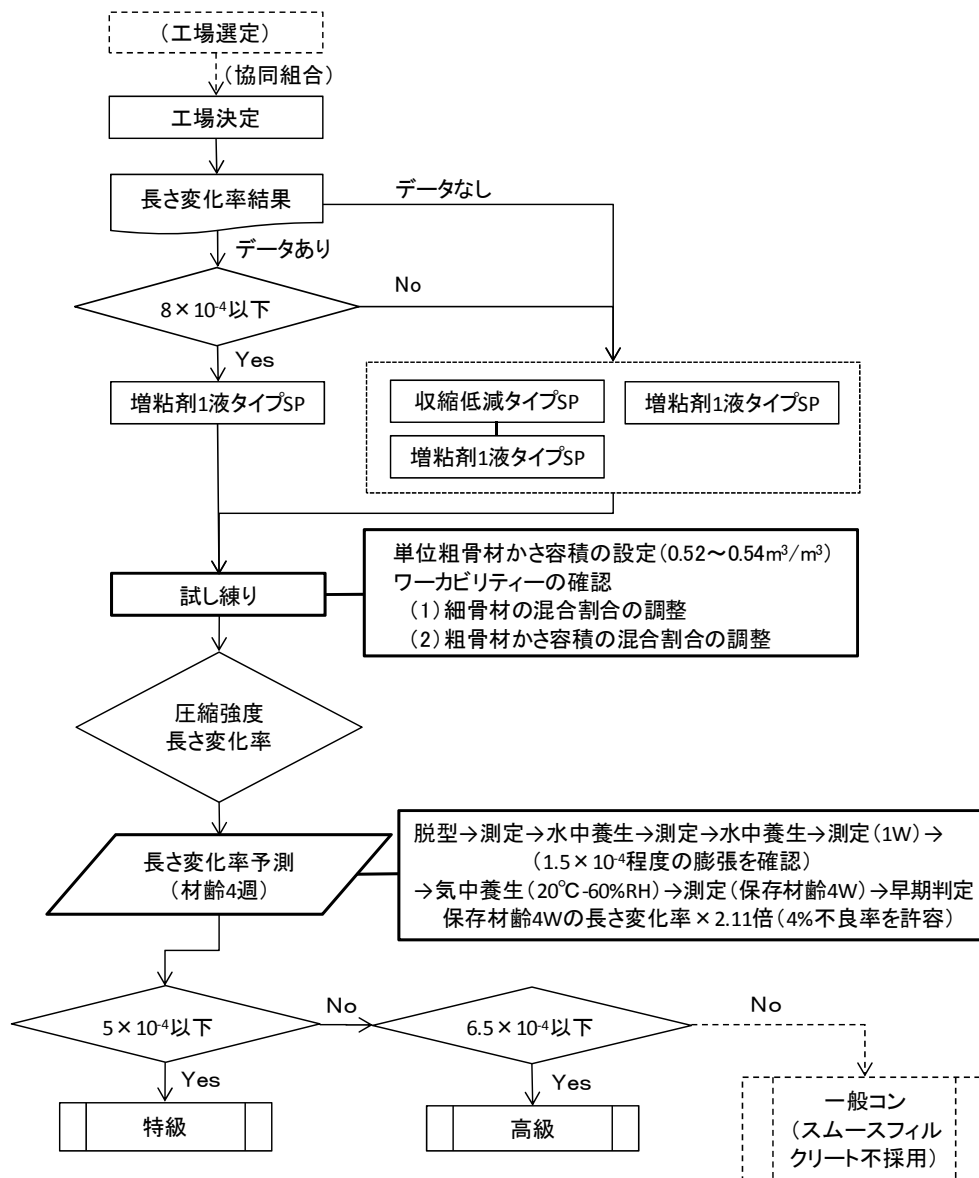


図-11 スムースフィルクリートの調合決定の流れ

第 09-01 号改)」とは異なり、その製造方法を極めて簡単にした。スーパーフィルクリートも軽微な締固めによる流し込み打設を前提としたものであるが、コンクリート材料自体のスペックが高く、硬化していく段階で自己の初期膨張が発現するように、製造時に高い品質管理のもとで化学混和剤および混和材を添加して流動化する作業が必要であった。このため、スムーズフィルクリートは工事現場で後添加する作業をなくして、コンクリート材料の品質安定性を確保した。なお、スムーズフィルクリートには硬化の初期段階において、自己の初期膨張が発現する特性はない。図-12 に製造工程を簡単に示す。

6.2 使用できる部位・箇所

圧入による逆打ちを伴わない耐震改修工事が対象であり、軽微な締固めによる流し込み打設を前提とし、基本的には新築工事は適用外となる。

(例)

- ・既存柱のせん断補強
- ・袖壁の増設
- ・非構造部材の開口ふさぎ
- ・狭隘な隙間への充填
- ・無収縮モルタルの代替材
- ・その他、RC 増し厚壁をはじめとした建築確認申請を必要としない規模の耐震改修工事など

6.3 コスト

スムーズフィルクリートの製造にかかるコストは、試算により、市販の無収縮モルタルの約 1/10 程度、既往技術であるスーパーフィルクリートの約 1/3 程度であった(近畿圏 2016 年 5 月現在)。

7. 結論

以下の結果が得られた。

- 1) 工事現場における化学混和剤の後添加による流動化が必要なくなり、レディーミクストコンクリート工場の実機のみで製造を完了することができるようになった。
- 2) 施工時の作業労務軽減と品質安定性が向上し、コストメリットも大きく、市販の無収縮モルタルの約 1/10 程度、当社保有技術の無収縮高流動コンクリート「スーパーフィルクリート」の約 1/3 程度のコストで施工が可能になった。

今後は、耐震改修工事における無収縮モルタルの代替材としても VE 提案のための要素技術に展開が可能であり、当社保有技術として有効活用を図って行きたい。

[参考文献]

- 1) 河合智寛、山崎順二、立松和彦：増粘剤 1 液タイプ高性能 AE 減水剤を用いた中流動コンクリートの物性に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集（近畿）、pp.1109-1110、2014.9

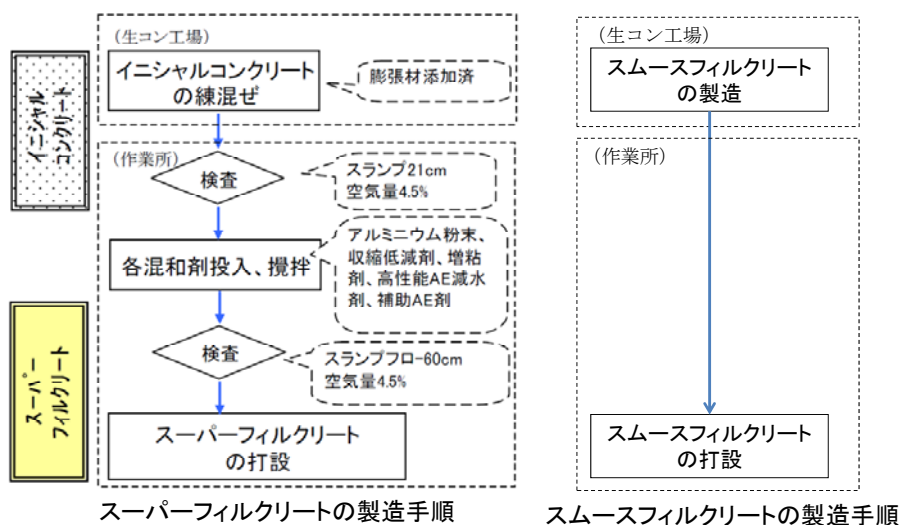


図-12 製造の手順