

報告 SRC 造中高層建築物への高強度・高流動コンクリートの適用性

秋葉泰男*1・萩原伸彦*2・山田雅裕*3・廣瀬善香*4

要旨：本報告は、充填が難しい高強度コンクリート使用のSRC部材に対して、最も普及している普通ポルトランドセメントを使用した粉体系高流動コンクリートを採用することを目的に、一連の材料・施工実験を行い、SRC造20階建物の実施工に高流動コンクリートを適用したものである。その結果、石灰石微粉末を少量添加することで、高い流動性と安定した製造が得られ、良好なワーカビリティを確認できた。また、温度履歴の影響を考慮した強度管理に簡易断熱養生を用い、十分な品質管理が行えたことについて述べる。
 キーワード：高強度コンクリート、高流動コンクリート、SRC造、経時変化、温度履歴

1. はじめに

大地震時の柱に生じる変動軸力を考慮して高強度コンクリートを使用した設計が増えている。特に、SRC部材に高強度コンクリートを使用する場合に、鉄骨廻りの充填に困難を伴う。このため、工事の省力化・高品質化を目的に高い流動性と自己充填性を持つ高流動コンクリートを採用し、その品質管理手法の確立が要求されている。しかし、一方でその製造コストが問題視されている。特殊なセメント・混和剤を使用せずに、レディーミクスト工場に常備されている材料によって製造可能であれば、製造コストの問題を縮小できる。そこで、最も普及している普通ポルトランドセメント使用の粉体系高流動コンクリートが考えられたが、単味の場合、その流動性や懸念される高温履歴により強度への影響と強度管理方法に不安があった。従って、これら問題点を一連の材料・施工実験によって検証し、その上で実施工に適用して、製造安定性と品質管理方法について評価を行った。

2. 実施工に適用した建物

実施工として、大阪市北区で建設中のSRC造20階共同住宅の1～6階の柱・梁部分に適用し、

平成9年12月～翌年2月に約700㎡を打設した。

3. 材料実験及び施工実験の概要

3.1. 使用材料と基本調合

本報告における使用材料を表-1に、基本調合を表-2に示す。室内試し練りにおいて、細骨材は砕砂の使用が経時のフローロスが大きくなる傾向が認められ海砂のみとした。また、石粉の添加は、水和熱上昇に影響しない点と、セメント単味でs/aを高くした調合よりも流動性が改善されたためである。調合条件は、目標スランプフロー 60±5cm, 空気量4.0±1.5%, 及び粗骨材の単位かさ容積を0.55m³/m³に設定した。

表-1 使用材料

材料名	種類, 特徴及び主成分
セメント C	普通ポルトランドセメント 比重3.15 粉末度3230cm ² /g
細骨材 S	香川県室木沖産海砂 表乾比重2.56 吸水率1.88%
粗骨材 G	兵庫県西島産砕石 (最大寸法20mm) 表乾比重2.63 吸水率0.79% 実績率58%
混和材 Ls	石灰石微粉末(石粉) 比重2.71 粉末度5780cm ² /g
混和剤 AD	ホリカルボ [®] ン酸系高性能AE減水剤 (マレノ酸誘導体共重合物)

表-2 基本調合 (kg/m³)

水粉体比 W/P%	細骨材率 s/a%	水量 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材 Ls
33.0	48.1	175	500	758	839	30

*1 東亜建設工業(株) 技術研究所 材料・構造研究室 研究員 (正会員)
 *2 東亜建設工業(株) 建築本部 設計部構造設計課 (正会員)
 *3 東亜建設工業(株) 建築本部 技術部 (正会員)
 *4 東亜建設工業(株) 大阪支店 建築部

3.2 小型ミキサによる室内試し練り

ミキサは、容量60リットルの傾胴式で1バッチ40リットルとした。材料投入は細骨材・粉体の順で10秒間空練りし、注水後粗骨材を投入した。練混ぜ時間は300秒間で、排出後300秒間静置とした。

表-3 コンクリート試験

試験項目	試験方法
スランプフロー	70-の50cm通過時間及び最終70-値を測定(突き数:3層各5回)
空気量	JIS A 1128による(突き数:3層各10回)
Lフロー ¹⁾²⁾	30cmと50cmの通過時間及び最終距離を測定(突き数:2層各5回)
圧縮強度	JIS A 1108 標準水中養生(突き数:2層各5回)
ヤング係数	コンプレッサメータ法(単調増加載荷) ³⁾

フレッシュ試験は、静置後及び練上り30分・60分・90分・120分後に試料を練返して実施し、経時変化を記録した。表-3に試験方法を示す。

3.3 実機ミキサによる試し練り

実機ミキサ試し練りは、平成9年9月と11月に実施した。ミキサは、容量 2.5m³の傾胴式で、1バッチを2m³×2機の4m³とした。フレッシュ試験は、出荷時、荷卸し時、ポンプ圧送後の筒先について行った。また、アジテータ車を現場待機させ、練上り60分・90分後に急速回転し排出した試料について経時変化を記録した。

3.4 実大施工実験の概要

実大施工実験は、図-1に示す実大SRC部材試験体により、平成9年9月に行った。打込みは、コンクリートポンプ車により圧送し、コンクリートを柱より流動させた。フレッシュ試験に加

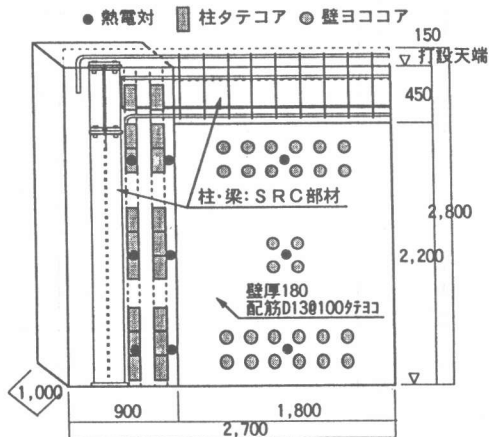


図-1 実大SRC部材試験体

えて、壁の流動勾配を測定し、試験体の内部温度を1時間毎に7日間計測した。なお、供試体は表-4に示す養生方法とし、コア強度との比較を行って強度管理に用いる養生方法を検討した。

表-4 コンクリート供試体の養生方法

標準水中	JIS A 1132
温度追従	密封供試体を柱中心部の温度履歴に追従させた水槽で養生
簡易断熱	密封供試体を10cm厚の発泡スチロールで内部を断熱した木箱で養生
現場封緘	密封供試体を現場気中で養生
現場水中	硬化後脱型して現場水槽で養生

4. 実験結果

4.1 フレッシュコンクリートの性状

小型ミキサ試し練りのスランプフロー及び空気量の経時変化を図-2に示す。スランプフローは90分後で5cm程度低下した。空気量は練返しのため若干増加したがほとんど変化しなかった。

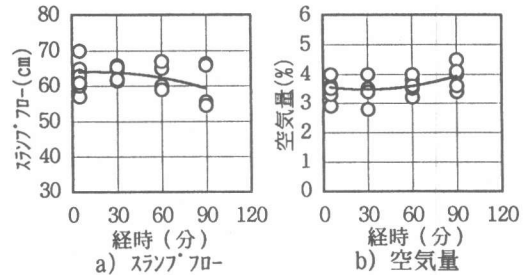


図-2 小型ミキサ試し練りの経時変化

実機ミキサ試し練りのスランプフロー及び空気量の経時変化を図-3に示す。図中の経時0分は出荷時の値で、運搬時間は約25分である。

スランプフローは、練上りから60分程度まで延び、その後徐々に低下する傾向が認められたが、経時変化を含め目標値60±10cmの範囲内であった。空気量は経時変化がほとんどなかった。

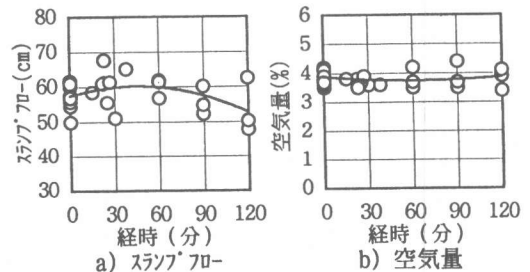


図-3 実機ミキサ試し練りの経時変化

4.2 硬化コンクリートの性状

ここでは、実大施工実験の結果について述べる。各養生条件の供試体及びコアの圧縮強度の平均値を表-5に示す。

表-5 実大施工実験の圧縮強度 (N/mm²)

供試体種別	7日	28日	56日	91日
標準・荷卸	54.3	68.9	---	77.9
標準・筒先	49.5	66.2	76.2	79.9
現場水中(筒先)	51.3	67.0	76.9	76.8
現場封緘(筒先)	48.2	64.6	70.0	71.8
温度追従(筒先)	53.0	60.6	63.9	60.0
簡易断熱(筒先)	50.6	62.8	69.0	67.6
柱コア	65.2	62.2	65.6	63.3

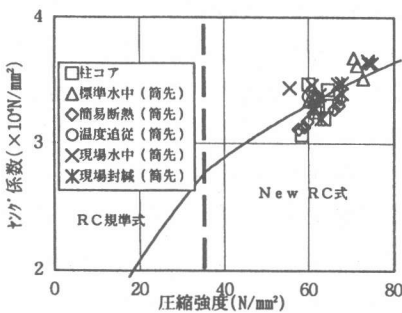


図-4 圧縮強度・ヤング係数(材齢28日)

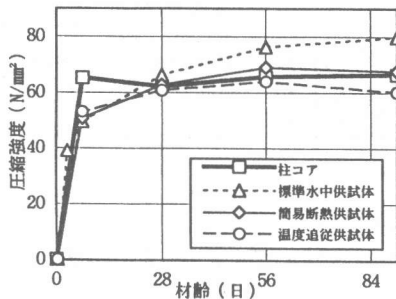


図-5 圧縮強度と材齢の関係

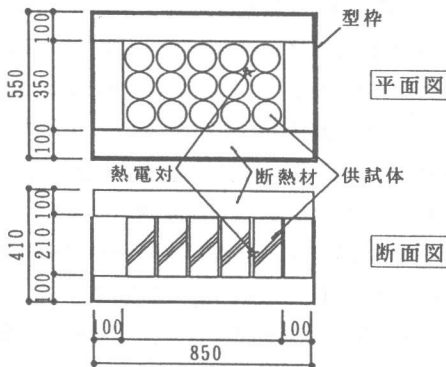


図-6 簡易断熱養生の方法

圧縮強度とヤング係数の関係を図-4に示す。プロット点は、ほぼNew RC式⁴⁾付近にばらついている。

筒先採取における供試体の圧縮強度と材齢の関係を図-5に示す。材齢7日以降の柱コアの強度増進はほぼ横ばいであった。材齢28日以降の柱コアの強度変化は、簡易断熱と温度追従の供試体の各材齢強度の間を推移している。材齢91日では、標準水中/柱コアの値は120%を超えているが、簡易断熱/柱コア及び温度追従/柱コアの値は90~105%の範囲であり、柱コアの材齢91日強度が簡易断熱供試体にほぼ近似した結果を示した。従って、打込まれたコンクリートの強度管理に用いる養生方法を簡易断熱養生とした。なお、簡易断熱養生に用いた木箱を図-6に示す。

柱部材及び各養生供試体の内部温度を1時間毎に7日間計測した結果を図-7に示す。打込み時のコンクリート温度は27.8℃で、打込み16時間後に柱中心部の温度が最高73℃に達した。簡易断熱供試体と柱外側(外端5cm)の最高到達温度は、それぞれ55.7℃、57.5℃で近似していた。

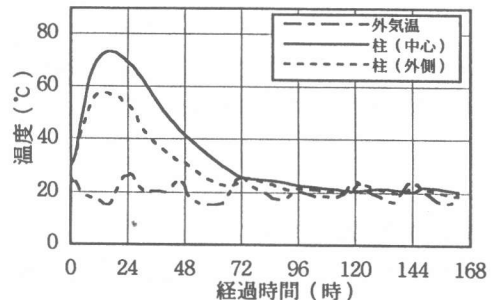
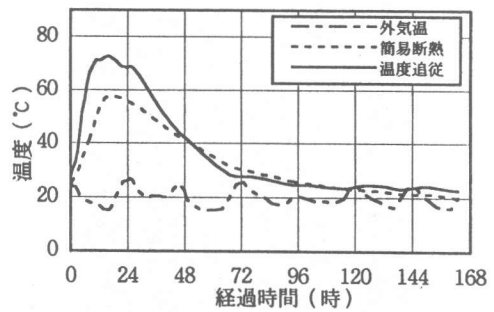


図-7 温度履歴曲線(実大施工実験)

4.3 実大施工実験における流動性・充填性

実大試験体は、実施工で適用する建物のSRC部材に同一断面である。耐震壁（版厚180mm D13@100縦横ダブル）の流動勾配を測定した。脱型後の状態を図-8に示す。

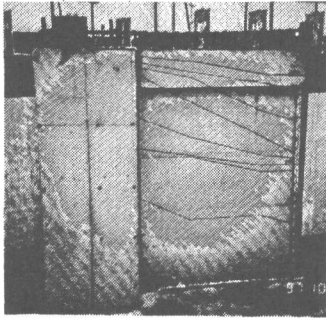


図-8 脱型後の実大試験体と流動勾配

上図の壁に記された折れ線が時刻歴の流動勾配である。勾配は1/5~1/10で時間と共に小さくなり、最終的に約1/10で安定した。脱型面は、叩き等も行っていないため、気泡が多少目立つが、大きなひび割れもなく良好であった。

試験体大梁を硬化後に鉄骨継手部で断面に垂直に切断した。その切断面を図-9に示す。

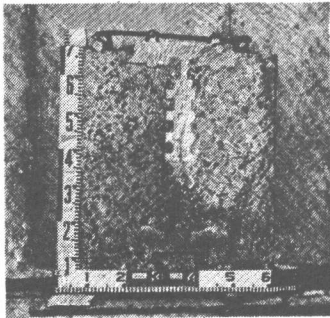


図-9 SRC大梁の切断面

コンクリートが鉄骨やボルトの廻りに密実に充填され、粗骨材の分布も良好であった。

5. 実施工の概要

5.1 打設方法と工程

実施工では、コンクリートを水平垂直分離打設とし、1~6階の垂直部分に高流動コンクリートを適用した。打設方法は、実大施工実験同様、

コンクリートポンプ車により圧送し、柱より流動させた。また、1階打設時、スパン11mの耐震壁に透明型枠を使用し、流動勾配を計測すると共に充填状態を確認した。施工工程の一部を表-6に示す。

表-6 打設工程と打設量

1997.12					1998.01	
1	5	10	15	20	25	5 10
↓1F打設		2F打設		3F-A打設 ↓		3F-B打設 ↓
176m ³		108m ³		48m ³		56m ³

5.2 品質管理値と試験頻度

フレッシュ試験は、原則としてトラックアジテータ5台に1回の頻度で、表-7に示す項目を出荷時、荷卸し時、筒先時について行った。

ただし、最初の3台は直前の車輛の荷卸し試験の結果連絡を待ち、高性能AE減水剤(AD)の添加量調整を行って製造させ、同様に試験をした。他に、荷卸し時にLフロー試験を行った。

表-7 高流動コンクリートの品質試験と管理値

試験項目	品質管理値
スランプフロー	出荷時：45~60cm 荷卸時：50~70cm (60cm目標) ただし、50cm以下はAD再添加
空気量	4.0±1.5%

6. 実施工の結果

6.1 フレッシュコンクリートの品質

1~3階における打設時のフレッシュ試験の平均値を表-8、経時変化を練上り直後を0分として図-10に示す。結果は、スランプフロー・空気量ともに管理値を満足し、フレッシュ状態も良好で安定していた。ここで、出荷時の0分に対して荷卸し時の20~30分付近のスランプフローが大きくなっている。これは、打設時期が12~1月にあたり、練上り温度が15℃前後、外気温が10℃以下であったため、高性能AE減水剤の効果が遅れる傾向にあったと推察できる。

圧送前後のスランプフロー・空気量の変動を図-11に示す。圧送前後で、フローロスは最大9cm、平均3.1cmで、空気量は変化がなかった。

出荷時のスランプフローとLフローの関係を図-13に、スランプフローと50cmフロー時間の関係を図-12に示す。スランプフローが60cm以上になると、Lフローは75cmを超え計測限界に達した。また、スランプフローが60cm以上となる50cmフロー時間はほぼ7秒以下であった。

出荷時と荷卸し時のスランプフローの変動を図-14に示す。1階において、出荷と荷卸しのスランプフローの関係が安定していない。これは、1階打設時点では打設速度の把握が十分でなく、アジテータ車を現場待機させることが度々あ

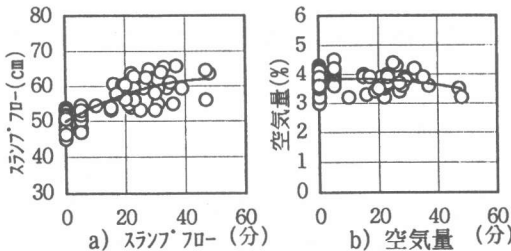


図-10 フレッシュコンクリートの経時変化(実施工)

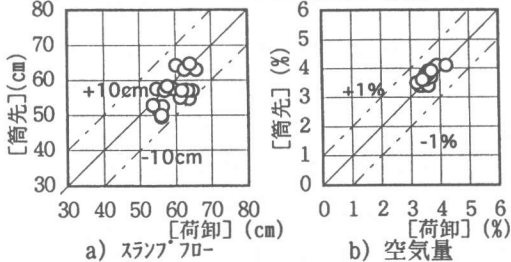


図-11 圧送前後の品質変化(実施工)

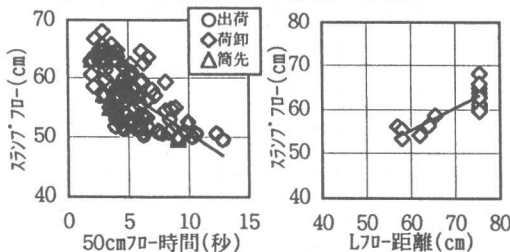


図-12 フローと50cmフロー時間 図-13 フローとLフロー距離

表-8 フレッシュ試験の平均値(実施工)

種別	試験項目	平均値	標準偏差	データ数
出荷	スランプフロー	50.6cm	2.16	40
	空気量	3.9%	0.39	35
	50cmフロー	6.77s	2.55	28
荷卸	スランプフロー	59.9cm	3.96	52
	空気量	3.7%	0.30	36
	50cmフロー	4.84s	1.82	51
筒先	スランプフロー	56.8cm	4.30	23
	空気量	3.7%	0.23	16
	50cmフロー	4.89s	2.09	21

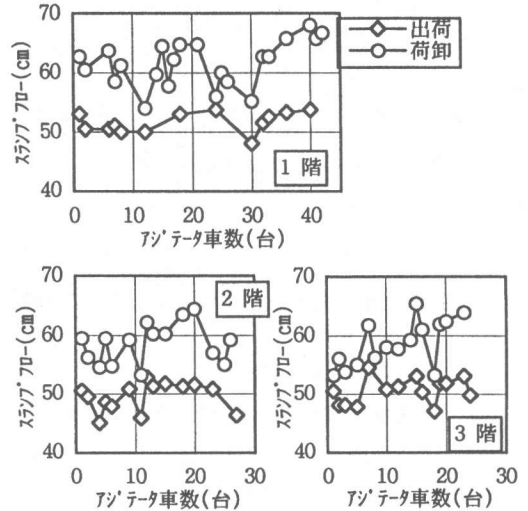


図-14 出荷時と荷卸し時のスランプフローの変動

ため、出荷時と荷卸し時の試験時間の間隔が結果的にばらついたためと思われる。

2階以降、アジテータ車の配車計画を打設速度の緩急に応じて練り直した結果、各試料採取時によるスランプフローの関係がほぼ一定となって、品質管理を的確に行えた。

6.2 硬化コンクリートの品質

ここでは、実大施工実験と同様に、部材内部の温度計測と各種養生方法の比較を行った1階の結果について述べる。

各養生条件下の供試体の圧縮強度の平均値を表-9に、圧縮強度と材齢の関係を図-15に示す。材齢91日の温度追従と簡易断熱の供試体強度の差は6%程度で、実大施工実験と同様の結果であったため、2階以降は簡易断熱養生によって強度管理を行った。なお、圧送前後で圧縮強度に差はなかった。圧縮強度とヤング係数の関係を図-16に示すが、実大施工実験と同様で、New RC式⁴⁾付近にばらついている。

表-9 各養生条件下の圧縮強度(1階)(N/mm²)

養生種別		7日	28日	91日
荷卸	標準水中	57.4	73.2	81.3
	簡易断熱	53.3	60.3	71.5
筒先	温度追従	52.4	56.4	66.9
	簡易断熱	52.9	61.8	71.6

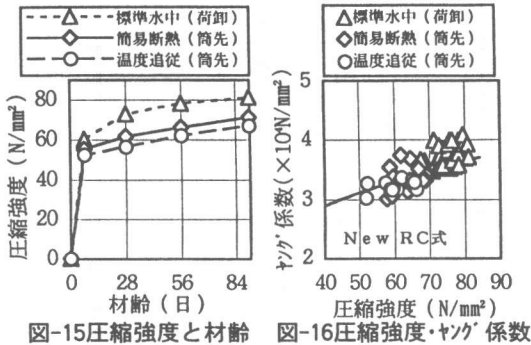


図-15 圧縮強度と材齢

図-16 圧縮強度・ヤング係数

6.3 部材内部の温度履歴

1階の柱部材及び各養生供試体の内部温度を1時間毎に7日間計測した結果を図-17に示す。打込み時のコンクリート温度は20.4℃で、打込み25時間後に、柱中心部の温度は最高71.8℃に達した。簡易断熱供試体と柱外側（外端 5cm）の最高到達温度は、それぞれ51.1℃、58.9℃で、実大施工実験と比較して差が大きい。外気温が10℃以下では木箱の断熱性不足が懸念されたが、圧縮強度では温度追従と大きな差がなかった。

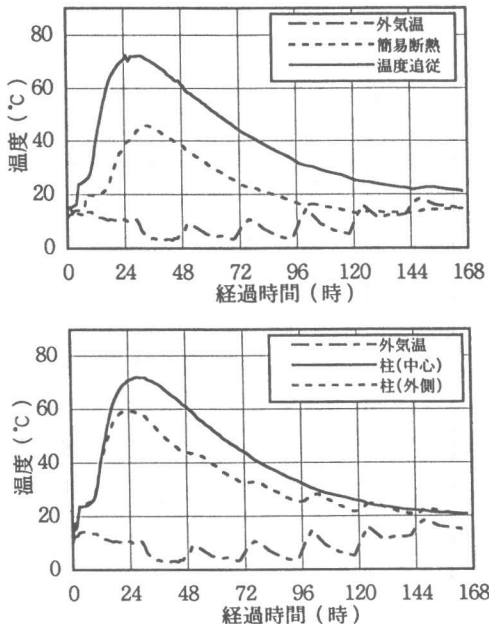


図-17 温度履歴曲線（実施工1階）

6.4 流動勾配の計測結果

1階のスパン11mの耐震壁で4箇所に幅60cmの透明アクリル製型枠を使用して、充填状況を確認した。流動勾配の測定結果を図-18に示す。

流動距離はスパン長11mに到達し、実大施工実験と同様に約1/10の流動勾配が測定され、充填状況は良好であった。

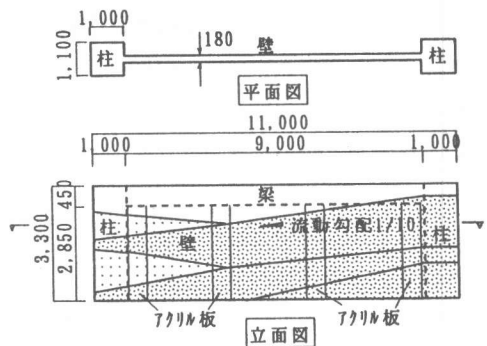


図-18 1階耐震壁の流動勾配

7. まとめ

- ①普通ポルトランドセメントに石粉を少量添加した粉体系高流動コンクリートは、締固め不要でSRC部材の複雑な鉄骨廻りに十分充填し、長さ11mの密な配筋の壁に対しても約1/10の流動勾配を示し、充填の難しいSRC造の施工性の改善に有効であった。
- ②各種養生の供試体と柱コアの強度及び温度履歴を比較した結果、簡易断熱養生によって温度履歴の影響を考慮したコンクリートの強度管理が可能であることを確認した。
- ③高流動コンクリートの品質管理では、冬期の場合、予め出荷時と荷卸し時でフローが延びる傾向を把握してアジテータ車を待機させない等配車計画に留意する必要がある。最後に、コンクリートの試験・製造に御尽力いただいた、(株)シンワ生コンの峯氏をはじめとする吹田工場の皆様に深く感謝致します。

参考文献

[1] 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調査・製造・施工指針(案)・同解説,1997.1
 [2] 日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告(II),1994.5
 [3] 土木学会：コンクリート標準示方書 規準編,1996
 [4] New RC総アソビ委員会：平成4年度工法分科会報告書,1993.3