

論文 混和材料を組合せて使用した高流動コンクリートの諸特性

田中敏嗣*¹・杉山彰徳*²・小川 鑑*³・富田六郎*⁴

要旨：石灰石粉および増粘材を併用した系の高流動コンクリートのひび割れ抵抗性を向上させるため、乾燥収縮低減剤もしくは膨張材を混和し、流動性、強度発現性、収縮性状等の基本性状を調べた。さらに、この種のコンクリートを用い実構造物において試験施工を行った。その結果、①収縮低減剤と膨張材を併用することにより、収縮を著しく低減でき、ひび割れ抑制効果が期待できること、②実施工においても、流動性および充填性には大きな問題がないことがわかった。

キーワード：高流動コンクリート、収縮低減剤、膨張材、増粘材、石灰石粉、流動性、充填性

1. はじめに

近年、高流動コンクリートの研究開発が盛んに行われており [1]、筆者らは石灰石粉を用い高流動コンクリートの検討を行っている。

一般に、高流動コンクリートは、セメントや高炉スラグ微粉末、フライアッシュおよびシリフューム等の粉体材料が比較的多量に使用され、さらに材料分離を低減するため増粘剤を用いものが多い。このように、粉体量が多く、単位粗骨材量が少なくなるため、コンクリートの収が増大し、ひび割れ抵抗性が低下する可能性が指摘されている [2]。また、コンクリートの有なひび割れの防止に関しては、収縮低減剤あるいは膨張材の使用が効果的であることが多く報されている [3]。

本研究は、石灰石粉および増粘材を用いた高流動コンクリートのひび割れ抵抗性の向上を目的とし、収縮低減剤もしくは膨張材の効果を調べたものである。すなわち、これらの混和材料を合せた場合の、流動性、強度発現性、収縮性状等の基本性状を調べるとともに、実構造物における試験施工を行ったものである。

2. 室内試験の概要

2. 1 使用材料

試験には以下の材料を使用した。

- (1) セメント：普通ポルトランドセメント (比重：3.15)
- (2) 石灰石粉：比重：2.71、比表面積：3000cm²/g (以下LP)
- (3) 細骨材：岡山県産海砂 (F.M.：2.57、比重：2.54)と岡山県産山砂 (F.M.：2.80、比重：2.54)を6：4に混合して使用した。
- (4) 粗骨材：岡山県産のコンクリート碎石1505 (F.M.：6.30、比重：2.65)とコンクリート碎石2015 (F.M.：6.96、比重：2.65)を4：6に混合して使用した。

*1 日本セメント(株)中央研究所副主任研究員、工修(正会員)

*2 日本セメント(株)中央研究所、工修

*3 (株)大本組技術本部次長、工博(正会員)

*4 日本セメント(株)中央研究所主席研究員、工博(正会員)

- (5) 膨張材：CSA系膨張材(以下EA)
- (6) 収縮低減剤：アルコール系化合物を主成分とする収縮低減剤(以下SRA)
- (7) 増粘材：アクリル系増粘材(以下HF)
- (8) 混和剤：アルキルアリルスルホン酸系高性能減水剤(以下SP)

2.2 コンクリート配合

表-1 コンクリート配合

表1にコンクリートの示方配合を示す。石灰石粉を粗骨材の一部として用いた高流動コンクリートは、細骨材率が低い場合においても材料分離が生じにくく、流動性が優れたコンクリート

記号	W/C (%)	s/a (%)	単分量 (kg/m ³)								
			W	C	LP	S	G	EA	SRA	HF	SP
HF (基準)	50.0	52.3	180	360	154	803	763	-	-	3	12.96
HF+EA			180	360	154	801	759	30	-	3	12.96
HF+SRA			180	360	154	803	763	-	6	3	12.96
HF+SRA+EA			180	360	154	801	759	30	6	3	12.96

になることが知られている[4]。そこで、石灰石粉を粗骨材の体積の20%置換して用いた。また、材料分離を確実に防止する目的で、石灰石粉を含めた粉体量の増加に加えて、増粘材を用いた。ただし、その量は標準より少なめの3kg/m³とした。収縮低減剤および膨張材は、それぞれ標準量である6kg/m³および30kg/m³用いた。なお、練混ぜは強制二軸ミキサを用い、90秒間行った。

2.3 試験項目およびその方法

(1) スランプフロー

土木学会規準「コンクリートのスランプフロー試験方法(案)」に従って、スランプフローを測定した。測定は練混ぜ直後、練混ぜ30分後および60分後に行った。なお、コンクリートは30分後および60分後の測定まで静置状態で保存した。

(2) 分離抵抗性

コンクリートを2ℓの容器に入れ、5mmメッシュの上に静かに開けて5分間静置後にメッシュ通過モルタル質量を測定し、次式で定義した分離指標値(SI値)を算出して評価した[5]。

$$SI値 = \frac{\text{メッシュから落下したモルタル質量}}{2ℓのコンクリート中のモルタル質量} \quad (1)$$

(3) 乾燥収縮

JIS A 1129に従って、表1に示す全配合について乾燥収縮を測定した。供試体は、10×10×40cmとし、各配合3本とした。材齢7日まで20℃水中養生を行った後、20℃、60%RHの恒温恒湿室に保管し、質量とダイヤルゲージ(1/1000mm)による長さを測定した。なお、膨張材を用いた配合については、JIS A 6202(膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方法、A法)により膨張量を測定した。

4) 自己収縮[6]

供試体寸法は10×10×40cmとし、打設後直ちに表面をポリ塩化ビニリデンのフィルムで覆い、20℃恒温室に1日静置した。材齢1日で脱型し、水分逸散を防止するため直ちにアルミ箔粘着テープで供試体全面をシールした。材齢1日で基長後、20℃、60%RHの恒温恒湿室に保管し、質量とダイヤルゲージ(1/1000mm)による長さ変化を測定した。また、シールしない供試体について、質量と収縮を測定した。なお、自己収縮試験において、膨張剤を用いた配合については、無拘束試験を行った。

(5) 圧縮強度

JIS A 1108に従った。試験材齢は7, 28および91日とした。

3. 室内試験結果および考察

3. 1 フレッシュコンクリートの性状

表2にフレッシュコンクリートの性状を示す。スランプロスは、60分後で20mm程度であり大きなスランプフローロスは認められなかった。SI値は、

表-2フレッシュコンクリートの性状

記号	スランプフロー(mm)			空気量(%)	練上 [§] り温度(°C)	SI値(%)
	直後	30分後	60分後			
HF	640×670	640×650	630×640	2.3	22.0	2.5
HF+EA	645×620	630×650	630×620	2.2	22.0	2.8
HF+SRA	700×665	650×650	670×650	1.8	20.5	2.1
HF+SRA+EA	645×655	630×660	620×625	2.1	22.0	1.9

いずれの配合においても2~3%程度で、十分な不分離性を有していることが認められた。

3. 2 強度試験結果

図-1に圧縮強度試験結果を示す。収縮低減剤および収縮低減剤と膨張材を用いた場合、初期材齢で強度が若干低い傾向が見られるが、28日まで材齢が進むと他の配合と同程度となった。これは、収縮低減剤の主成分がアルコール系の有機物であり、セメントの水和反応を遅延させることによると考えられる[7]。

3. 3 乾燥収縮および自己収縮測定結果

図-2に、乾燥収縮試験結果を示す。収縮は、基準コンクリートに対して、収縮低減剤及び膨張材を用いることで低減された。すなわち、膨張材を用いた場合と収縮低減剤を用いた場合、同等の収縮率を有することが認められた。また、膨張材と収縮低減剤を併用することで収縮率はさらに低減された。

図-3に自己収縮試験結果を、図-4に自己収縮試験同様材齢1日から乾燥した場合の乾燥収縮試験結果を示す。セメントペーストでの研究結果[8]と同様、本実験においても、基準(HF)に比較して、収縮低減剤および膨張材を用いた場合、自己収縮は低減することが認められた。特に、収縮低減剤と膨張材を併用した場合は、それらの組合せ効果により、自己収縮が著しく低減されることが認められた。

収縮低減剤の使用により自己収縮が低減されるのは、収縮低減剤の表面張力低下作用によるものと考えられる。また、この種の高流動コンクリートの乾燥収縮には、自己収縮成分が大略30~40%含まれていることが認められた。

以上より、収縮低減剤および膨張材を単独あるいは組合せて用いた場合、高流動コンクリートの有害なひび割れの発生が抑制されることが期待される。

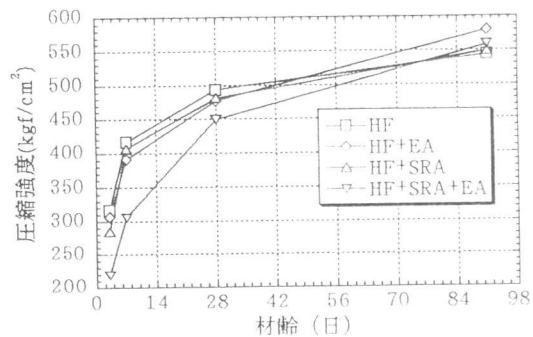


図-1 圧縮強度試験結果

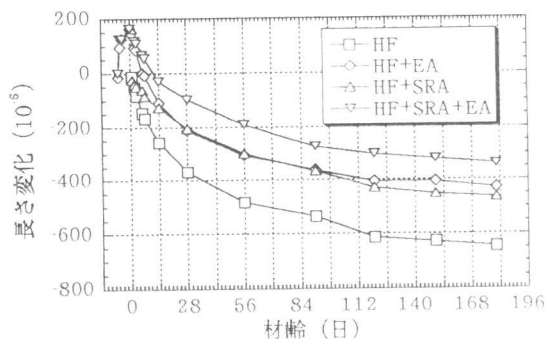


図-2 乾燥収縮試験結果

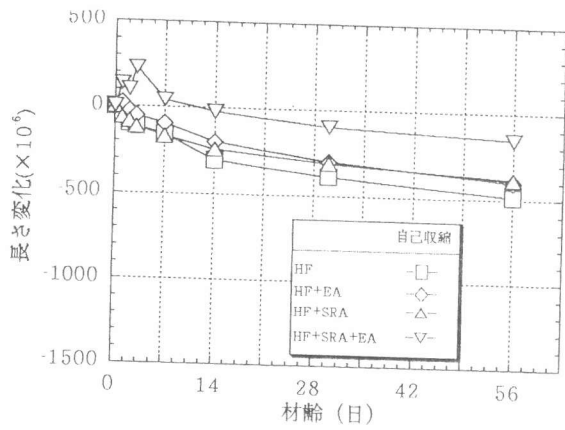


図-3 自己収縮試験結果

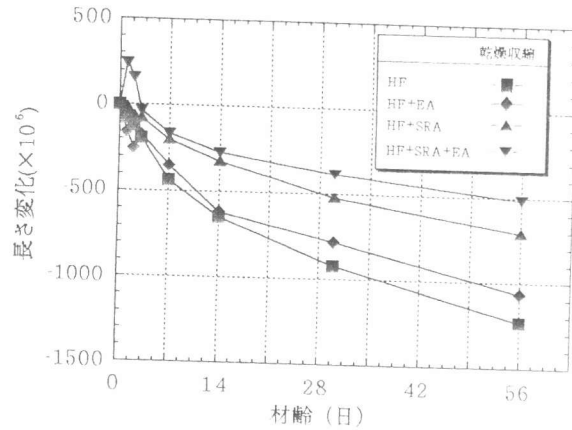


図-4 材齢1日を基準とした乾燥収縮試験結果

4. 実構造物への試験施工結果

4.1 試験概要

(1) 構造物の概要

試験施工を行った建築物は、SRC造3階建て、壁高は6m、建築面積が1734 m^2 、延床面積が4545 m^2 である。図5に1階の平面図を、図6に配筋図を示す。なお、コンクリートの設計基準強度は210 kgf/cm^2 とした。

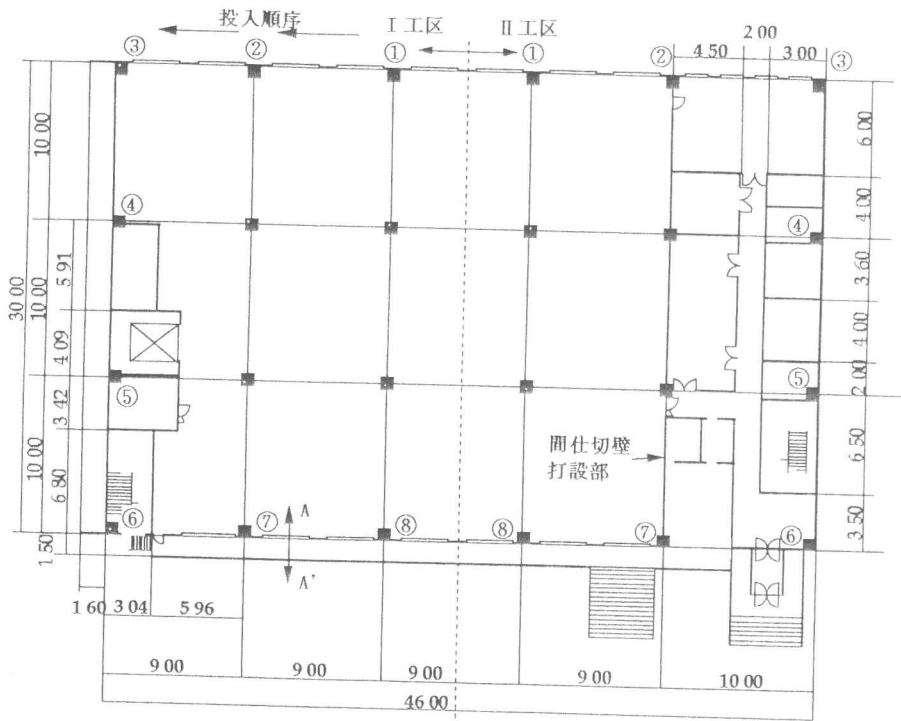


図-5 平面図 (cm)

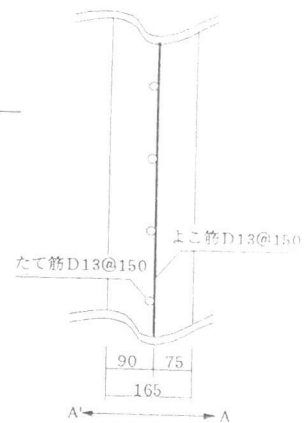


図-6 外壁部の断面詳細配筋図 (mm)

(2) 使用材料およびコンクリートの配合

高流動コンクリートは、表-1に示す配合を用いた。ただし、高性能減水剤の使用量はスランプフローが $650 \pm 50\text{mm}$ となるようプラントで試験練りを行った結果、室内試験より約40%減少した。また、表-3に各工区に用いたコンクリート種類を示す。

(3) 打込み方法および締固め方法

コンクリートの打設は、各階を2つの工区に分割して行ない、最大吐出量110m³/hのピエのポンプ車を用いた。コンクリートの投入は柱部で、図5に示す①～⑧の順に行い、1リ～3mとして打込んだ。打込みはスラブ下までおこない、スラブには普通コンクリート(フ18cm)を用いた。また、締固めは、振動機は基本的に用いず、一部木槌によるたたきを行

(4) 試験項目

フレッシュコンクリートの性状は、荷下ろし地点でスランプフローおよびコンクリー1について、原則として20m³に一回の割合で測定した。また、3Fおよび2F II工区以外はSI値の午前と午後一回ずつ測定した。圧縮強度供試体は、午前と午後一回ずつ作成し、現場水および標準水中養生を行った。

4. 2 試験施工結果

表-3に、フレッシュコンクリートおよび圧縮強度試験結果を示す。なお、結果は平均値

表-3 フレッシュコンクリートおよび圧縮強度試験結果

No.	打設部位		コンクリート種類	打設時期	打設量 (m ³)	スランプ 7U- (cm)	SI値 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (kgf/cm ²)			
									標準養生			現地
									7日	28日	91日	
①	1F	玄関部	HF	H6.8	9.0	71.9 (n=2)	24	37.5 (n=2)	325	410	452	337
②	1F	I工区	HF+SRA	H6.8	144.0	64.1 (n=7)	13	33.0 (n=7)	297	371	423	302
③		II工区		H6.9	124.0	60.9 (n=5)	4.9	34.8 (n=5)	299	385	441	304
④	2F	I工区	HF+SRA	H6.9	119.0	60.8 (n=6)	4.4	28.0 (n=6)	326	432	470	320
⑤		II工区		H6.9	131.0	65.4 (n=4)	-	27.0 (n=4)	318	414	464	317
⑥	3F	I工区*	HF+SRA	H6.10	110.0	65.3 (n=5)	--	27.4 (n=5)	266	369	407	261
⑦		II工区		H6.10	110.0	62.0 (n=5)	--	22.6 (n=5)	350	439	488	335
⑧	1F	II雑壁	HF+EA+SRA	H6.9	4.5	60.0 (n=1)	2.2	26.0 (n=1)	312	398	464	315
⑨		II雑壁	HF+EA	H6.9	2.3	50.0 (n=1)	0.0	26.0 (n=1)	349	469	498	351

*試験的にW/C=55%の配合について施工した。

試験施工の結果をまとめると次のようになる。

- (1) スランプフロー：スランプフローは全体を通じて概ね目標値を満足した。ただし、部および1F I工区において、一部スランプフローが大きく、若干分離した状態のコンが見られた。これは、骨材水分の変動によるものと考えられる。よって、この種の高流リートの骨材水分管理は普通コンクリートと比較してより厳しくする必要があると思
- (2) ポンプ圧送性：ポンプの圧送圧力は、同一の圧送量において普通コンクリートと比合、若干高い傾向となった。
- (3) 充填性および表面気泡：充填性については、一部木槌によるたたきを行ったのみで開口部周辺にも十分にコンクリートが充填されており、良好であった。また、脱型後のコト表面には、気泡は少なく滑らかであった。この一因として、コンクリートの空気量と少ないことが考えられる。
- (4) 強度：圧縮強度は、いずれの配合においても、設計基準強度に対して十分な値が得

5. まとめ

本研究は、石灰石および増粘材を用いた高流動コンクリートのひび割れ抵抗性を向上させることを目的とし、収縮低減剤もしくは膨張材の効果を調べた。すなわち、これらの混和材料を単独および組合せて用いた場合の流動性、強度発現性、収縮性状等の基本性状を調べるとともに、実構造物への試験施工を行った。本研究で得られた結論を要約すると次のようになる。

(1) 石灰石粉および増粘材を用いた高流動コンクリートに、収縮低減剤もしくは膨張材を使用した場合、無混和の場合と比較して、フレッシュコンクリートの性状は同等であることが認められた。また、強度発現性は、収縮低減剤を用いた条件において初期強度が若干低下するが長期強度は無混和の場合と同等である。

(2) 石灰石粉および増粘材を用いた高流動コンクリートに、収縮低減剤もしくは膨張材を単独で用いた場合、無混和の場合と比較して、自己収縮および乾燥収縮ともに低減される。これらの混和材料を組合せて使用した場合、自己収縮および乾燥収縮はさらに低減された。したがってこれらの混和剤を組合せて使用することにより、高流動コンクリートのひび割れを抑制することが期待される。

(3) 石灰石粉および増粘材を用いた高流動コンクリートおよびこれに収縮低減剤もしくは膨張材を混和したコンクリートを用いて、実構造物への試験施工を行った。流動性および充填性いずれも大きな問題なく施工を行うことができ、実構造物への適用が可能であることがわかった。なお、今後構造物のひび割れ調査を行い、ひび割れ抑制効果について検証する予定である。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会編：超流動コンクリートに関するシンポジウム論文報告集
- 2) 和泉意登志：高流動コンクリートの施工—建築物—、コンクリート工学、Vol. 32, No. 7, pp79-84, 1994. 7
- 3) A. OGAWA and R. TOMITA, "Crack-control of reinforced concrete structures by using shrinkage-reducing agent in combination with expansive additives", International Conference 2000 Economical and Durable Construction Through Excellence, Ducedee, U.K., Sept. 1993
- 4) 綾野克紀、阪田憲次、小川鑑、金子泰治：石灰微粒粉末を用いた超流動コンクリートの配合に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15, No. 1, pp167-172, 1993
- 5) 藤原浩巳、下山善秀、富田六郎、久保田裕康：高流動コンクリートの充填性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp27-32, 1992
- 6) 田澤栄一、宮澤伸吾、佐藤剛、小西謙二郎：コンクリートの自己収縮、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 14, No. 1, pp561-566, 1992
- 7) 富田六郎：コンクリート用有機系収縮低減剤の作用機構およびその効果に関する実証的研究、学位論文、pp98-100, 1994. 3
- 8) 田澤栄一、宮澤伸吾：セメント系材料の自己収縮に及ぼす結合材および配合の影響、土木学会論文集、No. 502/V-25, pp43-52, 1994