

論文 増粘剤を添加した高流動コンクリートの乾燥収縮低減に関する実験的研究

佐原晴也*1 ・ 竹下治之*2

要旨：セルロース系増粘剤を添加した高流動コンクリートの乾燥収縮の低減方法を把握することを目的に、骨材以外の材料と配合を実験要因に採り上げて検討した。実験の結果、①膨張材や収縮低減剤は乾燥収縮の低減効果が大きい、②単位粗骨材量を多くすることで乾燥収縮が低減できる、③単位水量、単位セメント量、増粘剤量などの配合要因の工夫やセメントの種類を選定で乾燥収縮が低減できる、ことなどが明らかになった。

キーワード：高流動コンクリート、増粘剤、乾燥収縮、配合、混和材料

1. はじめに

高流動コンクリートは、セメントや各種の微粉末を比較的多量に含むこと、および間隙通過や充填性を確保するために粗骨材量を少なめに配合する傾向にあることなどから、使用材料によっては乾燥収縮が通常コンクリートに比べて大きい場合もあると報告されている[1]。また、各高流動コンクリートと通常コンクリートを使用した実大模型試験体のひび割れの発生状況を調査した結果、乾燥収縮によると思われるひび割れは前者の方が多かったとする報告もみられる[2]

著者らが研究を続けている、増粘剤と高性能(AE)減水剤を添加した高流動コンクリート（以SFコンクリート[3]と略称する）においても、増粘剤量が多い配合では乾燥収縮が増大する傾向にあるなどの課題を報告してきた[4]。ここではSFコンクリートの乾燥収縮を、一種類の細粗骨材条件下で、配合や混和材料の工夫で低減する方法について実験的に検討した。以下に実の概要、および現時点までに得られている実験結果と考察を述べる。

2. 実験概要

2. 1 骨材の品質とSFコンクリートの乾燥収縮

表-1に、関東地区のレデーミクストコンクリート工場で使用されている骨材とSFコンクリートの乾燥収縮の関係を示す。同表から、骨材の品質によってSFコンクリートの乾燥収縮量大きく異なることが分かる。したがって、SFコンクリートの乾燥収縮を低減するためには、乾燥収縮低減に有効な骨材を選定することが効果的な対策と言える。しかし現状では、実施工にたって常に良質な骨材を選定

して使用することは難しく、その地域あるいはレデーミクストコンクリート工場の骨材事情に合わせて高流動コンクリートを配合し、施工しなければならない場合が多いと考えられる。そこで本研究では、

表-1 骨材の種類とSFコンクリートの乾燥収縮の関係

レデーミクスト コンクリート工場	骨 材		配 合			養生期間6ヶ月 の乾燥収縮 ($\times 10^{-4}$)
	細骨材	粗骨材	W/C (%)	W (kg/m ³)	増粘剤 (kg/m ³)	
A工場	砂 (70%) 砕砂 (30%)	砂利	50	175	0.45	551
B工場	砂 (30%) 砕砂 (70%)	碎石	46	175	0.5	820
C工場	砂 (35%) 砕砂 (65%)	碎石	45	170	0.4	941

*1 日本国土開発(株) 技術開発研究所 第三研究室主任研究員 (正会員)

*2 日本国土開発(株) 技術開発研究所長 工博 (正会員)

細・粗骨材の品質は一種類として乾燥収縮の低減方法を検討することにした。

2.2 実験計画

表-2に実験計画を示す。同表に示すように、SFコンクリートの乾燥収縮に影響を及ぼす要因として7項目を採り上げた。これらのうちセメントの種類としては、乾燥収縮に及ぼす影響が大きいとされる[5]C₃Aの含有量に着目し、普通ポルトランドセメントに比べてC₃A含有量が若干少

い早強ポルトランドセメントと、C₃A含有量が大幅に少ない高ビーライトセメントを選定した。また、混和材料に関しては、既往の研究で乾燥収縮の低減に効果があるとされている膨張材[6]、収縮低減剤[7]を採り上げた。膨張材は主成分が異なる2銘柄を標準量使用し、収縮低減剤は実施工時の材料費用を考慮して、標準(7.5kg/m³)の約半分の使用量で効果を検討した。

2.3 使用材料および配合

表-3に使用材料を、表-4にコンクリートの配合を示す。SFコンクリートの基準配合は表-4の配合記号STであり、スランプフローおよび空気量の目標はそれぞれ60cmおよび5%とした。他の配合に関しては、条件に応じて高性能AE減水剤量を増減してスランプフローを調整した。なお、膨張材および収縮低減剤はそれぞれセメントおよび単位水量の一部とみなして配合した。

また、比較のために、単位水量が同程度で目標スランプが18cmの通常コンクリートの配合も加えた。

2.4 試験項目

フレッシュコンクリートに関しては、スランプフローと空気量の他に、著者らが提案したボックス試験[8]、

表-2 実験計画

要因	水 準 (標準)
1. 単位水量	160, 175, 190kg/m ³
2. 単位セメント量	280, 350, 420kg/m ³
3. 単位粗骨材量	300, 330, 360kg/m ³
4. 増粘剤量	0.2, 0.6kg/m ³
5. セメントの種類	普通, 早強, 高ビーライト
6. 膨張材の添加	0%, 30kg/m ³ (A, B 2種)
7. 収縮低減剤の添加	0%, 3.5kg/m ³ (C×1%)

表-3 使用材料

セメント	OPC: 普通ポルトランドセメント, 比重3.15, C ₃ A 9% HPC: 早強ポルトランドセメント, 比重3.13, C ₃ A 8% BC: 高ビーライトセメント, 比重3.20, C ₂ S 47%, C ₃ A 3%
細骨材	相模川水系粗目砂と市原産細目砂の混合, 比重2.58, FM2.70
粗骨材	津久井郡城山産碎石, 最大寸法20mm, 比重2.66
高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系の複合体
増粘剤	セルロース系水溶性高分子化合物
膨張材	A: 酸化カルシウム系, 比重3.14, 標準使用量30kg/m ³ B: カルシウムアルミネート系, 比重2.94, 標準使用量30kg/m ³
収縮低減剤	アルキレンオキシド系, 比重1.0, 標準使用量7.5kg/m ³

表-4 コンクリートの配合

要因	配合記号	W/C ¹⁾ (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				高性能AE減水剤 (C×%)	増粘剤 (kg/m ³)	
				W	C	S	G			混和材料
基準	ST	50.0	50.3	175	350	862	878	—	2.2	0.4
単位水量	W-160	45.7	51.4	160	350	900	878	—	3.5	0.4
	W-190	54.3	49.1	190	350	823	878	—	1.5	0.4
単位セメント量	C-280	62.5	51.9	175	280	919	878	—	3.0	0.4
	C-420	41.6	48.5	175	420	804	878	—	2.1	0.4
単位粗骨材量	GV-300	50.0	54.8	175	350	939	798	—	2.8	0.4
	GV-360	50.0	45.8	175	350	784	958	—	1.9	0.4
増粘剤量	VA-0.2	50.0	50.3	175	350	862	878	—	2.1	0.2
	VA-0.6	50.0	50.3	175	350	862	878	—	2.8	0.6
セメント種類	HPC	50.0	50.2	175	HPC 350	860	878	—	2.0	0.4
	BC	50.0	50.4	175	BC 350	866	878	—	2.0	0.4
膨張材	EX-A	50.0	50.3	175	320	862	878	膨張材A 30	2.2	0.4
	EX-B	50.0	50.2	175	320	859	878	膨張材B 30	2.2	0.4
収縮低減剤	SR	50.0	50.3	175	350	862	878	収縮低減剤 3.5	2.1	0.4
通常コンクリート	N	50.0	47.3	178	356	810	931	—	0.40 ²⁾	—

1) 膨張材はセメントの一部とみなす 2) AE減水剤

およびVロート試験[9]を行いワーカビリチーを評価した。硬化コンクリートに関しては、材齢28日圧縮強度と乾燥収縮量を測定した。乾燥収縮試験はJIS A 1129に従って行い、膨張材を使用した配合については、土木学会規準「膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法 (JSCE-1979)」のB法に準じて行った。いずれも長さ変化の測定はコンタクトゲージ法で行った。

3. 結果および考察

表-5に、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの試験結果の一覧を示す。

3.1 フレッシュコンクリート

表-5に示すように、SFコンクリートのスランプフローは単位水量および単位セメント量が少いW-160と

C-280の2配合条件で目標値の60cmを下回った。この2配合では高性能AE減水剤量を増やしてもスランプフローの伸びは頭打ちになり、増やし過ぎると分離傾向がみられた。また、ボックス試験についてはW-160とC-280に加えて、単位粗骨材量が多いGV-360で目標とした段差5cm以下が満足されず、これら3配合はVロートの流下時間も長くかかった。図-1には、スランプフローが60cm程度の配合について、ボックス試験のa点までの充填時間とVロートの流下時間の関係を示す。両者には良い相関がみられ、平均的にはボックス試験のa点までの充填時間に4秒程度足した値がVロートの流下時間となった。

3.2 圧縮強度

材齢28日の圧縮強度は、基本配合に対して単位セメント量を増減したC-280とC-420以外は、配合条件の違いによる差は小さく、430~500 kgf/cm²の範囲に入っていた。

表-5 試験結果一覧

配合記号	フレッシュコンクリート					硬化コンクリート		
	スランプ70-(cm)	空気量(%)	ボックス試験		Vロート流下時間(秒) ¹⁾	材齢28日圧縮強度(kgf/cm ²)	4ヶ月の乾燥収縮率×10 ⁻⁶	STに対する比
			段差(cm)	a点までの充填時間(秒)				
ST	61×60	4.7	3.0	5.0	9.0	498	717	1.0
W-160	52×52	5.5	11.0	56.0	54.5	498	731	1.02
W-190	64×61	4.6	5.0	5.0	8.0	455	768	1.07
C-280	56×55	5.2	10.0	25.0	21.0	333	853	1.19
C-420	64×63	4.6	1.5	7.0	9.5	594	716	1.0
GV-300	60×59	5.3	3.0	11.0	15.0	489	768	1.07
GV-360	62×60	5.4	13.0	17.0	22.5	488	652	0.91
VA-0.2	62×61	5.5	4.5	7.0	8.5	434	710	0.99
VA-0.6	60×58	4.9	2.0	12.0	18.5	499	765	1.07
HPC	60×60	5.0	1.0	5.0	12.0	491	692	0.97
BC	61×60	4.6	3.5	4.0	8.0	464	688	0.96
EX-A	63×61	4.5	3.0	7.0	12.0	458	567	0.79
EX-B	62×61	4.6	5.0	7.0	11.0	464	647	0.90
SR	64×63	4.9	2.0	6.0	7.5	447	590	0.82
N	スランプ 19.0	4.0	—	—	—	441	730	1.02

1) 2回の試験の平均 2) コンクリート温度は21.0~22.0℃

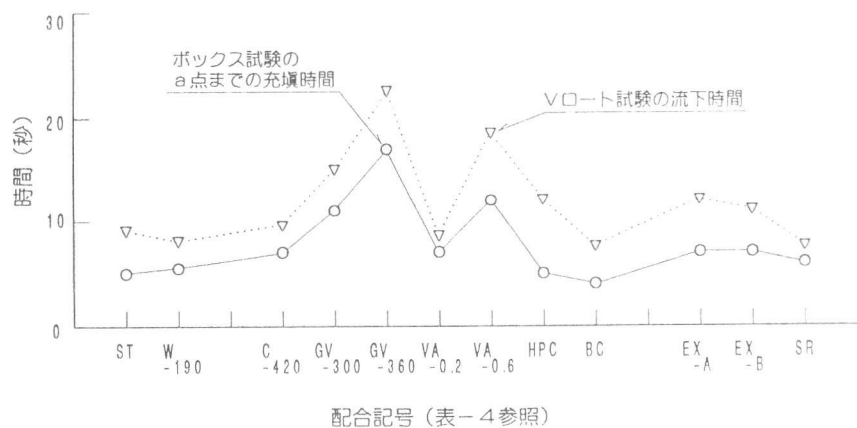


図-1 ボックス試験の充填時間とVロートの流下時間の関係

3. 3 各種要因と乾燥収縮の関係

表-5に示すように、基準配合のSFコンクリートの乾燥収縮率は通常コンクリートよりも若干小さく、SFコンクリートに関する既往の研究結果[4]の、増粘剤量が少い場合と同様な傾向が得られた。

(1) 単位水量と乾燥収縮の関係

図-2に、単位水量と乾燥収縮の関係を示す。同図から、単位水量を基準配合よりも増加した場合には、通常コンクリートと同様に乾燥収縮が増大しているが、単位水量を減少した場合にもわずかなではあるが乾燥収縮が増大していることが分かる。これは、W-160の配合ではスランプフローを出来るだけ目標値に近づけるために、高性能AE減水剤を多量に使用したことが原因と考えられる。以上より、SFコンクリートにおいても単位水量が少ない方が乾燥収縮は低減できるが、単位水量を減らすために高性能AE減水剤量が増加し過ぎると、単位水量減少の効果が十分には得られないと言える。

(2) 単位セメント量と乾燥収縮の関係

図-3に単位セメント量と乾燥収縮の関係を示す。同図から、単位セメント量 $350\text{kg}/\text{m}^3$ と $420\text{kg}/\text{m}^3$ では乾燥収縮は全く差がみられないが、 $280\text{kg}/\text{m}^3$ では乾燥収縮が大幅に増大している。これはC-280の配合では水セメント比が60%以上と大きいために圧縮強度が他の配合に比べて小さかったこと、および高性能AE減水剤の添加率が大きかったことが原因と考えられる。既往の研究結果[4]でも、水セメント比50%と60%では後者の乾燥収縮が大きく、今回の結果と合せて考えると、乾燥収縮が問題となる場合の単位セメント量としては、水セメント比が50%程度以下になる量が望ましいと言える。

(3) 単位粗骨材量と乾燥収縮の関係

図-4に単位粗骨材量と乾燥収縮の関係を示す。同図から、単位粗骨材量がSFコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響は大きく、単位粗骨材量を多くすることによって乾燥収縮がかなり低減できることが分かる。したがって、配合設計にあたっては適度なワーカビリティが得られる範囲内で単位粗骨材量をできる限り多くすることが重要であり、充填性や間隙通過性を重視するあまり単位粗骨材量が必要以上に少なくならない様に留意する必要がある。

(4) 増粘剤量と乾燥収縮の関係

図-5に増粘剤量と乾燥収縮の関係を示す。増粘剤量が $0.6\text{kg}/\text{m}^3$ の場合には乾燥収縮も大きく、既往の研究結果[4]と同じ傾向が得られた。しかし、増粘剤量 $0.2\text{kg}/\text{m}^3$ と $0.4\text{kg}/\text{m}^3$ ではほとんど差がみられない。以上より、乾燥収縮の低減を

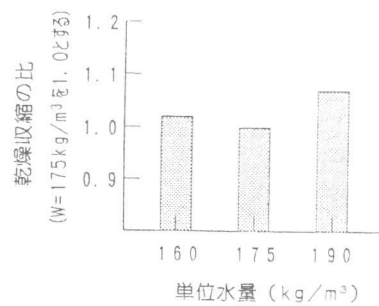


図-2 単位水量と乾燥収縮の関係

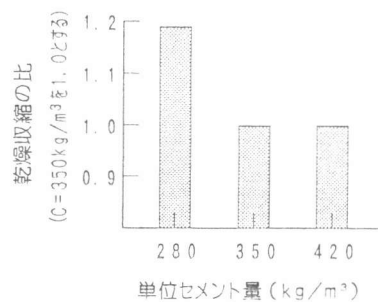


図-3 単位セメント量と乾燥収縮の関係

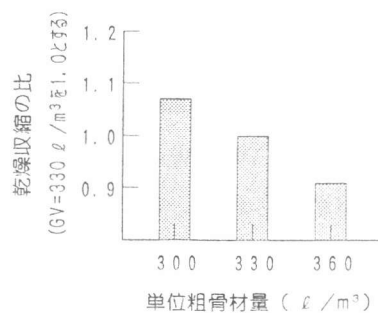


図-4 単位粗骨材量と乾燥収縮の関係

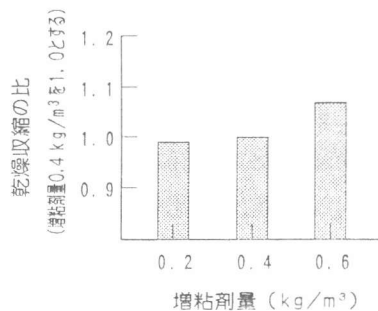


図-5 増粘剤量と乾燥収縮の関係

考慮した増粘剤量としては $0.4\text{kg}/\text{m}^3$ を基準にし、結合材量が多い配合等で粘性が大きくなり過ぎる場合にはこれよりも減らす方向で配合検討すれば良いと考えられる。

(5) セメントの種類と乾燥収縮の関係

図-6にセメントの種類と乾燥収縮の関係を示す。同図から、高ビーライトセメント、早強ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメントの順に乾燥収縮は小さく、 C_3A の含有量の少なさに対応した傾向にあることが分かる。しかし、高ビーライトセメントを使用した場合の収縮低減効果は、 C_3A の含有量の差ほど顕著にはみられない。これは強度発現が遅いことが影響していると考えられる。以上より、施工条件に応じて強度発現性や発熱特性を考慮しながら、 C_3A の含有量が少いセメントを選定することも、SFコンクリートの乾燥収縮の低減に効果があると言える。

(6) 膨張材の添加と乾燥収縮の関係

図-7に膨張材の添加と拘束供試体の乾燥収縮の関係を示す。同図から、膨張材の主成分による差異は認められるものの、膨張材の添加により拘束供試体の乾燥収縮を低減できることが分かる。したがって、硬化時の膨張ひずみを鉄筋や他の部材によって拘束できる部材にSFコンクリートを適用する場合には、膨張材の添加によって乾燥収縮が低減できると考えられる。

(7) 収縮低減剤の添加と乾燥収縮の関係

図-8に収縮低減剤の添加と乾燥収縮の関係を示す。同図から、標準使用量の半分以下の使用量にもかかわらず、収縮低減剤の添加によって乾燥収縮が20%程度小さくなっていることが分かる。このように、収縮低減剤がSFコンクリートの乾燥収縮低減に及ぼす影響は大きく、今後更に少量の使用量での効果も検討したいと考えている。なお、収縮低減剤を添加した配合では、乾燥初期の量が小さく、逆巻きコンクリートに関する既往の研究[7]と同様な傾向がみられた。

(8) 高性能AE減水剤量と乾燥収縮の関係

本研究では高性能AE減水剤量は実験要因として採り上げなかったが、表-4、5に示すに、基準配合よりも高性能AE減水剤量が多い配合では、乾燥収縮も増大する傾向にある。高性能AE減水剤量の増加に伴う乾燥収縮の増大は高強度コンクリートの研究でも指摘されて[10]、SFコンクリートの配合検討にあたってこの点も留意する必要があると言える。

4. SFコンクリートの乾燥収縮低減方法

表-6に、SFコンクリートの乾燥収縮の低減を考慮した、配合の考え方や材料の選定にて本研究の結果をまとめて示す。同表には、それぞれで乾燥収縮の低減に大きな効果があ

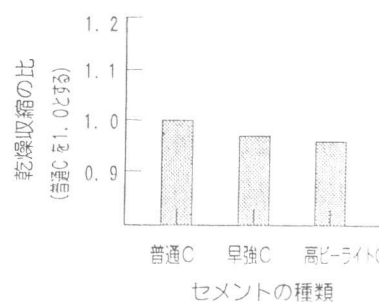


図-6 セメントの種類と乾燥収縮の関係

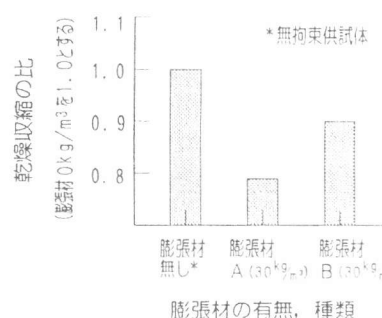


図-7 膨張材の添加と拘束供試体の乾燥収縮の

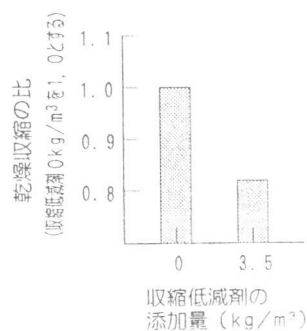


図-8 収縮低減剤の添と乾燥収縮の関

策もあるが、他のいくつかの要因との相乗効果で乾燥収縮を所定の目標まで低減できると考えられる対策もある。例えば、膨張材や収縮低減剤の添加は乾燥収縮の低減効果が大きく、品質上の要求が厳しい場合には非常に有効な対策と言える。一方、主に配合要因の工夫で乾燥収縮を低減する場合には、各々単独の対策で乾燥収縮を大きく低減することは難しく、また、ワーカビリチーの面からの制約も受ける。したがって、適

表-6 配合・材料要因と乾燥収縮低減方法

要 因		乾燥収縮低減方法	効果 ¹⁾
配合 要因	単 位 水 量	高性能AE減水剤量が過大にならない範囲で少なくする	○
	単位セメント量	水セメント比が50%程度以下になる量にする	○
	単位粗骨材量	適度なワーカビリチーが得られる範囲で多くする	◎
	増 粘 剤 量	0.4kg/m ³ を基準にして、粘性に応じて減らす	○
材 料 要 因	セメントの種類	強度発現性や発熱特性を考慮した上で、C ₃ Aの含有量が少いセメントを選定する	○
	膨 張 材	添加することによって、膨張力の拘束が期待できる場合の乾燥収縮が低減できる	◎
	収 縮 低 減 剤	標準使用量以下の添加量でも乾燥収縮が低減できる	◎

1) ○：効果有り，◎：効果大（10%程度以上の低減効果が期待できる）

度なワーカビリチーを確保しながら、表-6の低減効果の大小を考慮して、乾燥収縮量が所定の目標値となるようにいくつかの要因を組み合わせる必要があると言える。

5. まとめ

同一骨材条件下でSFコンクリートの乾燥収縮の低減方法を検討した結果、以下の知見を得た。

- (1) 配合の工夫や適切な混和材料の選定で、SFコンクリートの乾燥収縮が低減できる。
- (2) 膨張材や収縮低減剤の添加は乾燥収縮の低減効果が大きい。
- (3) 乾燥収縮の低減のためには、単位粗骨材量は適度なワーカビリチーが得られる範囲内で、できる限り多くすることが得策である。
- (4) さらに、乾燥収縮低減のためには、単位水量は高性能AE減水剤量が過大にならない範囲内で少なくするとともに、単位セメント量は水セメント比が50%程度以下になる量とし、増粘剤量は0.4kg/m³以下が良い。
- (5) C₃Aの含有量が少いセメントを使用することで乾燥収縮が低減できる。

【参考文献】

- [1] 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書(II)，pp.161～166，1994.5
- [2] 中川 脩ほか：各種高流動コンクリートの特性評価及び実大模型打設実験(その10)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.597～598，1994.9
- [3] 竹下治之ほか：締固め不要な高流動コンクリートに関する基礎的研究，コンクリート工学論文集，Vol.1，No.1，pp.143～154，1990.1
- [4] 佐原晴也ほか：水溶性高分子化合物を添加した高流動コンクリートの諸物性，土木学会第45回年次学術講演会概要集，第5部，pp.756～757，1990.9
- [5] 岡田 清・六車 熙編：コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，1981
- [6] 早川光敬ほか：超流動コンクリートの打放し建築構造物への適用，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.91～94，1992.6
- [7] 田沢雄二郎ほか：水溶性高分子を添加したコンクリートの乾燥収縮特性，鹿島建設技術研究所年報，第36号，pp.9～16，1988
- [8] 佐原晴也ほか：高流動コンクリートのワーカビリチー評価試験方法に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.1，pp.137～142，1991.6
- [9] 岡村 甫・前川宏一・小澤一雅著：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，1993
- [10] 塩見伊津夫ほか：高強度コンクリートの乾燥収縮特性に影響を及ぼす諸要因の検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.487～492，1992.6