

セメントキャラクターの違いがセメント硬化体の収縮に及ぼす影響評価

太平洋セメント(株)中央研究所 正会員 ○林 建佑
太平洋セメント(株)中央研究所 非会員 大野 麻衣子 黒川 大亮 平尾 宙
太平洋セメント(株)営業部 非会員 中津 和也 中沢 聡

1. はじめに

本研究では、セメントキャラクターの違いが、硬化体の収縮に及ぼす影響を評価することを目的に検討を実施した。ここでいうセメントのキャラクターとは、セメント鉱物組成、粉末度、石膏添加量および少量混合成分のことを指す。セメントの種類と乾燥収縮に関しては、これまで多くの研究がなされているが、上記の各キャラクターが収縮に及ぼす総合的な影響度については、あまり検討がなされていない。そこで本研究では、①セメント鉱物組成の影響を評価する場合にはセメントの粉末度ならびにセメント中の SO₃ 量を一定にすることで、②粉末度や少量混合成分の影響を評価する場合には、同一ロットのセメントを用い、かつ SO₃ 量を一定にすることで、他の因子の影響をできるだけ排除した試製セメントを用いた系で試験を実施し、各キャラクターがセメント硬化体の収縮に及ぼす影響を評価した。

2. 試験概要

2.1 使用材料

(1) セメント鉱物組成の影響

セメント鉱物組成の影響を評価するために、鉱物組成の大きく異なる 6 種類のセメントに、セメント中の SO₃ が 2.0% で一定なよう二水石膏を添加し、ブレン比表面積 (以下 Bl) が 3300±100cm²/g となるまでボールミルで混合粉碎することで、試製のセメントを作製した。表-1 に使用したセメントの鉱物組成ならびに調整後の Bl の実測値を示す。

(2) 粉末度ならびに混合材の影響

粉末度、石膏添加量および少量混合成分の影響を評価するために用いたセメントは表-1 の C である。粉末度の検討をする際には、二水石膏添加量は 2.0% で一定とし、粉末度のみを Bl4500cm²/g (実測値: 4480cm²/g) とした (試料名: C4500)。石膏添加量の影響を評価する際には、セメント中の SO₃ 量が 3.0% となるように二水石膏を添加し Bl3300cm²/g (実測値: 3230 cm²/g) となるまで粉碎した (試料名: C+SO₃)。少量混合成分の検討をする際には、表-2 に示す石灰石微粉末 (LSP) ならびに高炉スラグ微粉末 (BFS) を、JIS R 5210 に規定されている少量混合成分の最大値である 5% を添加した。上記で試製したセメントの Bl はそれぞれ 3310 cm²/g ならびに 3290 cm²/g である (試料名: C+LSP ならびに C+BFS)。

2.2 配合ならびに供試体

配合は、全ての水準で W/C=50% のセメントペーストであり、5L ホバートミキサを用いて練り混ぜた。また、練り混ぜたセメントペーストは、ブリーディングの発生が落ち着くまで 30 分ごとに練り返し、4×4×16cm の型枠に打ち込み成型した。成型後は材齢 1 日まで封緘養生を行い、脱型後、材齢 7 日まで水中養生を実施した。

2.3 試験項目

水中養生を実施した供試体は、基長ならびに基重を測定後、直ちに気温 20℃、相対湿度 60% の恒温恒湿室に保管した。長さ変化量ならびに質量変化量の測定は乾燥期間 0 (基長ならびに基重)、7、28、56、91 および 182 日とした。なお、各水準で 3 本の供試体について測定を実施しており、結果は平均値を示している。

3. 結果ならびに考察

3.1 セメント鉱物組成が収縮に及ぼす影響

鉱物組成が異なるセメント硬化体の長さ変化率と質量変化量の関係を図-1 に示す。乾燥期間 7 日における収縮は D>B>A≧C>E>F の順で大きくなり、182 日では D>C>F>A>B>E の順で、最大の D と最小の E では、950 μ 程度の差が生じた。乾燥期間 7 日の時点で長さ変化率の小さい E や F は初期に質量減少量が大きくなるが、長さ変化率と質量減少量の関係から、E や F は乾燥初期段階では硬化体の収縮をほとんど生じることなく、水分の逸散が行われていることがうかがわれる。一般に、このような収縮を伴わない水の逸散は主に粗大な空隙から生じ、逆に収縮を伴う水の逸散は微細な空隙から生じるとされている¹⁾。図-2 にアルミネート量と収縮量の関係を示す。乾燥材齢 7 日においては、アルミネート量が増加するに従い長さ変化率が大きくなる傾向が認められた。

表-1 試製セメントの鉱物組成ならびに粉末度

セメント 種類	鉱物組成 (w t %)				比表面積 (cm ² /g)
	C3S	C2S	C3A	C4AF	
A	69.3	10.9	10.6	8.4	3290
B	61.9	18.3	8.4	10.9	3260
C	61.8	18.3	9.3	10.4	3300
D	53.0	17.0	11.7	17.2	3310
E	39.7	43.1	1.8	15.4	3260
F	24.9	62.0	1.1	10.8	3390

表-2 使用した少量混合成分の化学組成

試料名	化学成分 (mass%)									
	ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	total
高炉スラグ微粉末	0.02	35.03	14.75	0.31	42.43	6.09	<0.01	0.2	0.39	99.22
石灰石微粉末	43.66	0.06	0.04	0.03	55.45	0.18	0	0	0	99.42

キーワード：乾燥収縮、鉱物組成、粉末度、少量混合成分、炭酸化収縮
連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 TEL 043-498-3843

このことを勘案すると、初期段階の水和に寄与するアルミネートが少ないEやFを用いた場合、水中養生7日程度のセメントペースト硬化体においては粗大空隙が多数残存しているため、その粗大空隙から多量の水が逸散しているものと考えられた。一方、乾燥日数が増えるに従って、Fの収縮量の増加が他のものと比較して著しいことが分かる。ここで、質量変化量に着目すると、Fは乾燥材齢28日の時点から質量増加を始めており、炭酸化の影響が懸念された。セメントペースト硬化体の炭酸化が、C-S-Hの脱水の段階まで進行すると、炭酸化収縮を生じるとされている²⁾。このことから、Fは乾燥収縮に加えて炭酸化収縮の影響を大きく受けており、その結果として最終的な収縮が大きくなったものと考えられた。質量増加がそれほど生じておらず炭酸化の影響が少ないと思われるAからEの結果のみに着目すると、概ね初期の長さ変化率と最終的な長さ変化率には一定の相関が認められることから、炭酸化の影響が少ない場合、鉱物組成の中では上述したアルミネート量が長さ変化率に寄与しているものと考えられた。アルミネートの影響については、既往の文献^{例えば3)}にも言及されているが、本研究のように、粉末度や混合成分の影響を一定にした系においても同様の結果であることが分かった。

3. 2 粉末度ならびに混合材が収縮に及ぼす影響

粉末度を変えたCならびに各種混合材を添加したCの乾燥収縮試験の結果を図-3に示す。CとC4500を比較すると、C4500で収縮量は200 μ 程度大きくなった。質量減少量の結果より、粉末度が大きいほど初期の段階での減少量が小さくなっていることが分かる。これは、セメントの粉末度が大きいことで、粗いものと比較すると初期の段階での水和が促進され、水中養生期間中に空隙量が少なくなっているためと考えられた。BFSを普通ポルトランドセメントに混和した場合、硬化体の乾燥収縮が大きくなることは知られている³⁾が、本研究のような少量混合の場合においても同様の傾向であり、CとC+BFSを比較すると、約400 μ 程度収縮が大きくなる傾向であった。C+SO₃では、収縮は大幅に小さくなっており、セメント中のSO₃量を1%増加させることで、1100 μ 程度の収縮抑制ができることが分かった。また、C+LSPでは乾燥収縮に及ぼす影響は認められないことが分かった。CとC+LSPでは、長さ変化率と質量変化量の関係がほぼ一致していることから、LSP5%の添加は、硬化体の細孔構造にもほとんど影響を与えていないことが考えられた。

4. まとめ

セメントの各キャラクターがセメント硬化体の収縮に与える影響を、試製したセメントを用いて評価したところ、以下の知見が得られた。

- ① セメント鉱物中のアルミネート量が増加することで、セメント硬化体の収縮量は大きくなる。ただし、炭酸化収縮の影響が大きい場合、この限りではない。
- ② セメントの粉末度が上がることで、セメント硬化体の収縮量は大きくなる。
- ③ BFSを添加した場合、セメント硬化体の収縮は大きくなるが、LSPの添加ではほとんど影響は無い。

今後は、鉱物組成と混合材の総合的な作用と収縮のメカニズムについて検討していく必要がある。

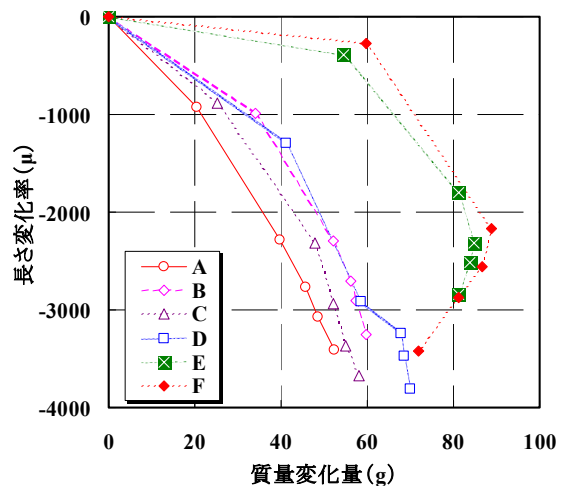


図-1 収縮試験結果（クリンカ鉱物の影響）

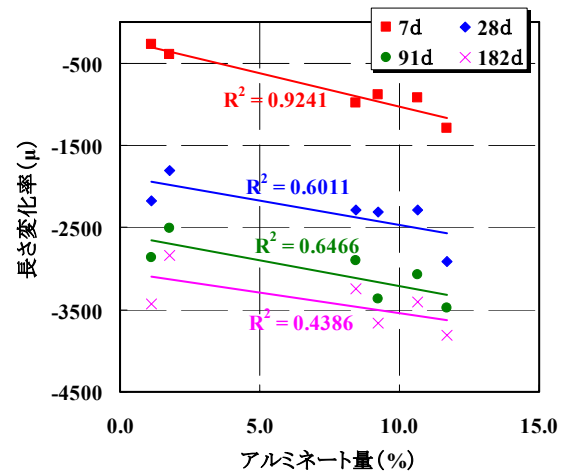


図-2 長さ変化率とアルミネート量の関係

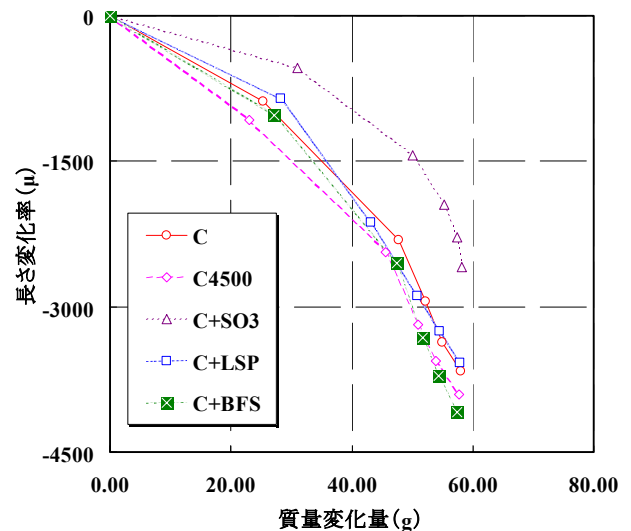


図-3 収縮試験結果（粉末度・混合材の影響）

【参考文献】

- 1) セメント・コンクリート研究会 水委員会：セメント・コンクリート中の水の挙動，pp55-61，1993
- 2) A. M. Neville (三浦尚 訳)：ネビルのコンクリートバイブル，pp.547-550，2004
- 3) セメント協会：耐久性専門委員会ひび割れ分科会報告 H-23，コンクリートの乾燥収縮に及ぼす各種要因の検討 pp.16-23