

石膏添加量を変えた高炉スラグ微粉末を用いた 結合材の耐硫酸塩性

西日本工業大学 学生会員 下川 智宏 正会員 沼田 晋一

1. はしがき

高炉スラグ微粉末を用いた結合材の耐硫酸塩性は、ポルトランドセメント中の C_3A のみならず高炉スラグ中のアルミナ含有量が影響し、スラグ置換率が小さい場合は用いたポルトランドセメント自体の耐硫酸塩性よりもかえって悪化すること、この対策としては高炉スラグ微粉末に石膏を適量添加しておけばある程度改善されることが知られている^{1, 2)}。本研究は各種ポルトランドセメントに多様な高炉スラグ微粉末に石膏量を変化させて添加して置換することにより、高炉スラグ微粉末のアルミナによる硫酸塩に対する悪影響を抑制すること、今までの知見を更に発展させて行ってきた一連の研究の一環である。高炉スラグ微粉末の石膏添加量や粉末度が C_3A 量の異なる各種ポルトランドセメントに対して効果的な石膏添加量およびスラグ置換率が定量的に見出すことを目的とした。

耐硫酸塩性の評価は、硫酸ナトリウム溶液中に浸したモルタルバーの長さ変化によった。

2. 試験方法

モルタルバーは $10 \times 40 \times 160$ mmとし、硫酸塩溶液が外部から深部までに一様に浸透できることを期待した。試験要領はモルタル配合およびモルタルバー寸法を除いてASTM C1012に準拠した。モルタル配合は $W/C=0.45$ とし、 S/C は成形性を考慮して $S/C=2.2 \sim 2.5$ の範囲で試験シリーズごとに一定とした。砂は豊浦標準砂と相馬砂($590 \sim 840 \mu m$)及び相馬砂($840 \sim 1190 \mu m$)を等量混合したシリカサンドとした。供試体は $35 \pm 3^\circ C$ の石灰飽和溶液で20MPa以上得られるまで2～4日促進養生した後脱型した。脱型後乾燥しないように注意してダイヤルゲージ式コンパレータによって基長を測定し、直ちに $20 \pm 3^\circ C$ の3% SO_4^{2-} の硫酸ナトリウム溶液に浸して膨張試験に供した。供試体数は各配合3本とした。硫酸ナトリウム溶液は供試体によるpH上昇を抑えるために、 $N/10-H_2SO_4$ 溶液を用いて $pH=6.8 \pm 0.2$ に調整した。浸液後、1, 2, 3, 4, 6, 8, 13...週と長期にわたって膨張率を測定した。測定結果はアルカリ骨材反応のモルタルバー試験と同様な膨張率を計算した。

3. 試験に用いた結合材用の材料

ポルトランドセメントは、普通OPC・中庸熱MPC・低発熱LPC(2種類)とし、高炉スラグ微粉末はアルミナ量が比較的多いGS3とやや低めのGS4のほか、粉末度の影響を調べるための3種類、合計5銘柄とした。

表-1 セメント・高炉スラグ微粉末の品質

セメント等 (メーカー)	比重	粉末度 (cm^2/g)	鉱物成分(%)					スラグ (メーカー)	粉末度 (cm^2/g)	化学成分(%)				
			C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	SO_3			SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	SO_3
OPC(N社)	3.15	3310	55.3	19.7	8.4	9.7	2.2	GS3(MR)	3960	33.5	14.7	41.7	6.6	0
MPC(N社)	3.20	3050	44	36	2	13	2.0	GS4(KS)	4360	33.0	13.8	43.2	6.4	0
LPC1(T社)	3.22	3430	21	61	2	9	2.4	G4(MS)	4380	33.3	13.3	42.3	8.2	0
LPC2(M社)	3.23	3230	20	59	3	11	2.1	G6(MS)	6080	33.3	13.8	42.2	8.1	0
粉末石膏								G8(MS)	9680	33.5	14.2	42.3	7.7	0

註) 高炉スラグ微粉末の比重は、2.92である。

4. 試験結果と考察

LPC1の組合せは2年、MPCとLPC2は1年、OPCは0.5年(26週)までの試験結果が得られている。結果は、既報告¹⁾のように、置換率が小さい場合は基準として用いたポルトランドセメント単独よりも膨張量が大きくなり、高炉スラグ微粉末に石膏を添加しても所期の膨張量(許容膨張率は取りあえず0.1%以下とする)とすることは困難であった。そこで、ここにはデータを整理して試験目的に合致したもののみを図-1に示す。

5. 結果の考察

- ① OPC及びMPCの場合は置換率50%において、LPCの場合は置換率30%において最大の膨張量を示し、置換することによってかえって膨張量が基準のポルトランドセメントよりも大きくなる。
- ② OPCの場合(26週)：
 - (1) 置換率が55%では石膏無添加は26週で崩壊し、OPC単味(13~17週で崩壊)よりも膨張崩壊時期が遅くなる。石膏添加とともに崩壊時期は遅くなるが所定の許容膨張率は得られない。
 - (2) 置換率60および65%の場合は膨張崩壊には至らないが、(1)と同様に所定の許容膨張率は得られない。
 - (3) 置換率70%の場合は26週までの結果であるが、石膏無添加でも許容膨張率以下であって、3~4%SO₃添加の場合は殆ど膨張の挙動がみられない。

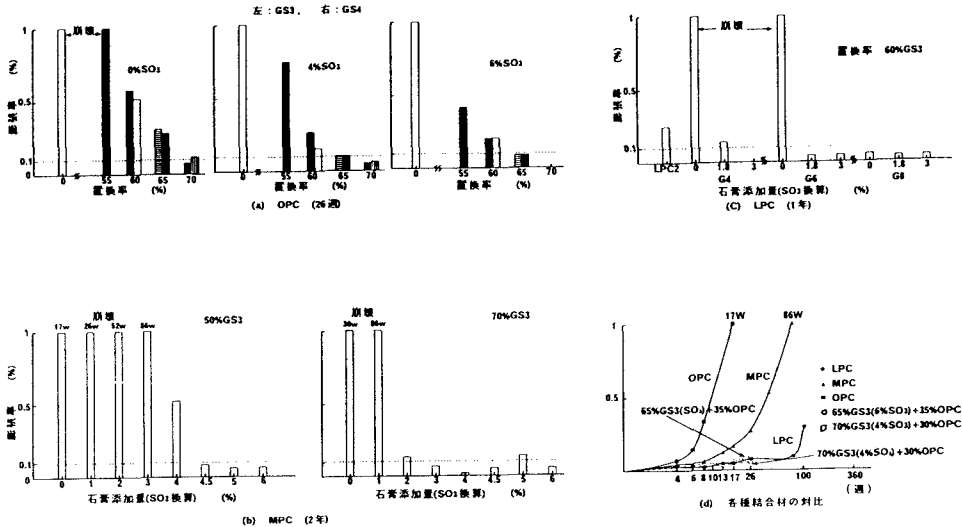


図-1 膨張率試験結果

- ③ MPCの場合(2年)：
 - (1) 石膏無添加の場合、置換率80%までは全て崩壊し置換率85%のみ膨張率0.39%となるが許容膨張率を超過した。なお、MPC単味は1.6年(86週)で膨張崩壊した。
 - (2) 置換率50%における石膏添加の効果は、3%SO₃まではみられず4%において0.52%の膨張率となり、それ以上では許容膨張率を達成できた。また、置換率70%では1%SO₃では崩壊するが、2%で膨張率0.13%とかなり改善され、2%以上では許容膨張率に収まった。
- ④ LPCの場合(1および2年)：
 - (1) LPC単味は、LPC1の場合2年膨張率が0.29%、LPC2の場合1年膨張率が0.25%に達して、いずれも許容膨張率を超えた。LPCを30%置換した場合は、最高の膨張量を示して崩壊が速まった。
 - (2) LPC1を石膏無添加のスラグで置換した場合、置換率70%までは崩壊し、置換率80%で2年膨張率が0.28%となりLPC単味に相当した。置換率85%では2年経っても殆ど膨張の兆候はない。
 - (3) LPC2を粉末度の異なるスラグで60%置換した場合は、高炉スラグ微粉末4000および6000級のスラグ(G4およびG6)では、石膏無添加の場合16~17週で崩壊したが、高炉スラグ微粉末8000級(G10)では1年経過しても異常が見えたらない。
 - (4) 上記のスラグに石膏を添加すれば、G4の場合2.5%SO₃でG6の場合1.8%SO₃で異常なかった。
- ⑤ スラグ中のアルミナは全てがエトリンガイト生成に参与する訳ではないが、反応性アルミナはその1モルと3モルのSO₃からエトリンガイトを得ることになる。これを質量比で計算すると反応性アルミナ1%の増減は石膏添加2.36%SO₃の増減が必要となることになる。GS3(14.7%Al₂O₃)とGS4(14.7%Al₂O₃)のアルミナ含有量の差が所要石膏量に対する影響を図-1(a)から計算して推定すると、平均的に2.3%であった。

7. 参考文献

- 1) 沼田晋一 「各種セメント・混和材の耐硫酸塩性に関するモルタルバーによる評価試験」, 土木学会第49回年次講演会V, pp.460~461, 1994
- 2) 沼田晋一 「各種ポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末などの混和材で置換した結合材の耐硫酸塩性に関する実験的研究」, 西日本工業大学紀要 理工学編, pp.31~40, 1995