

V-230

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

西日本工業大学 正会員 沼田 晋一

1. はしがき

コンクリートの硫酸塩による劣化は、使用環境条件を別とすれば水セメント比と使用する結合材の影響が著しい。我国ではコンクリートの耐硫酸塩性が大きく問題になった事例は少ないが、コンクリート構造物の使用分野の拡大や益々増大する廃棄物処理場とその施設あるいは跡地利用などを考えると、今からどのようなセメントを使用すればよいか考えておくことが必要であろう。

本研究では各種のボルトランドセメント及び混和材について、モルタルバーによる評価試験を行った。

2. 試験方法

モルタルバーは10または12×40×160mmとし、硫酸塩溶液が外部から一様に浸透できることを期待した。試験要領はASTM C1012に準拠した。ただし、W/C=0.45、S/C=2.25とした。これは耐硫酸塩が問題視される場合は、W/Cは配合設計上45%程度以下とすることが望まれること、10または12mmの間隙の型枠からモルタルを打ち込むために必要な成形性の確保からはS/C≤2.25であるためである。供試体は成形後24±2hrまではガラス板を載せて水密構造とした型枠ごと、35±3°Cの石灰飽和溶液に入れて前養生を行い、次いで脱型して20±3°Cの飽和石灰溶液中で立方強度が200kgf/cm²以上得られるまで養生した。硫酸塩試験溶液に浸す直前に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た。供試体数は各配合3本とした。硫酸塩溶液は、20±3°Cの3%SO₄²⁻及び6.67%SO₄²⁻の硫酸ナトリウム溶液とした。なお、3%SO₄²⁻溶液の場合は供試体によるpH上昇を抑えるために、N/10H₂SO₄溶液を用いてpH=6.8±0.8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量を測定した。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. 試験材料

細骨材は、コンクリート用練混ぜ水の評価試験に用いる相馬砂と標準砂を2：1に混合したものとした。セメントは普通OPC、中庸熱MPC、耐硫酸塩SRPC及び低熱LHPCのボルトランドセメントとし、混和材としては高炉スラグ微粉末GS、フライアッシュFA及び顆粒状シリカフュームSFを用いた。これらの性状を表-1に示す。なお、シリカフュームを使用する場合は、結合材量の0.5%だけnon-AE型高性能減水剤を使用した。

表-1 セメント・混和材の性状

セメント	比重	粉末度 (cm ² /g)	化 学 成 分 (%)				
			C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	SO ₃
OPC	3.15	3240	52	23	9	9	2.0
MPC	3.20	3210	46	32	2	12	2.1
SRPC	3.18	3320	50	28	2	14	2.0
LHPC	3.22	3350	27	58	2	8	2.2
混和材			SiO ₂ Al ₂ O ₃ CaO MgO SO ₃				
GS1	2.92	4490	34.9	13.1	42.1	6.6	-
GS2	2.91	3800	34.5	15.0	42.1	5.7	-
FA	2.19	2650	55.2	25.2	7.0	1.5	1.2
SF	2.29	2.3*10 ⁵	95.2	0.1	0.2	0.1	-

4. 混和材の混和率

OPC及びMPCには混和材を加えてその効果を調べた。スラグの場合は、2種類の銘柄のほかこの両者を等量混合したもの（GS）も試験した。混和率は表-2の「結合材の種類」の欄に示す。

5. 試験結果

浸液13週までの試験結果を表-2に示す。

表-2 モルタルバー試験の結果

結合材の種類	70- 引 力 (mm)	引 力 (N)	引 力 (kg)	試験 回数 (回)	浸液13週における伸びひずみ ($\times 10^{-4}$)		備 考 (試験後91~108日の外観)
					④ 3% SO_4^{2-}	⑤ 6.67% SO_4^{2-}	
1) 普通 OPC	178	10	2	56/56			④108日で前者1本折損、⑤伸び過大・測定不能
2) 中庸熱 MPC	212	12	3	49/49			⑤偶角僅かに欠損、周辺少し欠損、⑥も同程度
3) 耐硫酸塩 SRPC	209	10	3	35/49			④、⑤とも偶角・周辺僅かに欠損
4) 低熱 LHPC	213	12	4	試験ナシ			④、⑤とも変化ナシ
5) 50%OPC+50%GS1	206	10	4	21			④亀裂・周辺欠損(OPCと同程度の変化)
6) 30%OPC+70%GS1	206	12	2	28/14			④全偶角欠損・亀裂発生 ⑤亀裂・表面剥離
7) 15%OPC+85%GS1	205	12	4	試験ナシ			④、⑤とも変化ナシ
8) 50%OPC+50%GS2	215	12	2	56			偶角及び周辺僅かに欠損(GS1の場合よりやや良好)
9) 30%OPC+70%GS2	209	12	2	21/28			④周辺亀裂と欠損 ⑤表面剥離大・損傷著しい
10) 15%OPC+85%GS2	133	12	3	ナシ/49			④変化ナシ ⑤偶角欠損
11) 50%OPC+50%GS	205	10	2	試験ナシ			変化ナシ。ただし膨張大。
12) 30%OPC+70%GS	208	12	2	ナシ/28			④変化ナシ ⑤偶角欠損
13) 15%OPC+85%GS	203	12	3	試験ナシ			④、⑤とも変化ナシ
14) 50%MPC+50%GS1	206	10	2	28			偶角大きく欠損。ブラグ付近亀裂
15) 30%MPC+70%GS1	205	12	2	35/21			④偶角損傷、⑤全偶角大きく欠損・周辺欠損
16) 50%MPC+50%GS2	208	10	2	49			④偶角、周辺僅かに損傷
17) 30%MPC+70%GS2	210	12	2	35/14			④偶角完全に欠損 ⑤亀裂大40~42日で中央折損
18) 70%OPC+30%FA	208	10	2	56			偶角・周辺僅かに欠ける
19) 70%MPC+30%FA	210	12	3	49			偶角欠損。上記よりもやや良好
20) 80%OPC+20%SF	145	10	3	70			殆ど変化ナシ。周辺僅かに欠ける

6. 結果の考察

3%及び6.67% SO_4^{2-} 濃度の硫酸ナトリウム溶液に浸した試験結果をみると、ポルトランドセメントでは普通セメントが最も膨張率が高い。最も膨張率が小さいポルトランドセメントは低熱セメントであった。中庸熱（中庸耐硫酸塩）セメントと耐硫酸塩セメントを比較すると、後者は必ずしも優れた性能を発揮していない。

普通セメントOPCにスラグを混合した場合、置換率に応じて膨張量は低下するが、低熱セメント・中庸熱セメントに匹敵する置換率は85%のものである。しかし、中庸熱セメントをスラグで置換すると、置換率70%まではかえって膨張作用を促す傾向を示した。また異種のスラグを混合してOPCを置換した場合、単独で使用情况の平均値とならない挙動を示すものがあったが、置換率85%では十分満足できる性能が得られた。試験に用いたフライアッシュの場合、OPCに対する置換率30%では不十分のようであるが、MPCに対しては相当な効果がみられた。シリカフェーム20%のOPC置換は、この試験シリーズの中で最も膨張率が小さかった。

7. 結語

スラグを用いて耐硫酸塩効果を発揮させるには置換率は85%程度必要である。また中庸熱セメントなどの相互作用による膨張促進については今後検討しなければならない。フライアッシュを用いて膨張率0.05%以下にするには置換率30%では不十分のようである。シリカフェームは良好な性能を発揮している。

この研究の一部は、平成5年度文部省科学研究費補助金（総合研究A・課題番号05302036・代表研究者：岡村 甫）の助成を受けて行ったものである。