

## セメント中のアルカリ硫酸塩がモルタルの諸性状に及ぼす影響

Influence of Alkali Sulfate in Portland Cement on the Properties of Mortar

小林 一 輔\*・小倉 盛 衛\*\*・星 野 富 夫\*

Kazusuke KOBAYASHI, Morie OGURA and Tomio HOSHINO

## 1. はじめに

近年、セメントの生産方式が湿式から経済効率の高い SP キルンを用いる乾式に転換されるに及び、ポルトランドセメント中のアルカリ分の増加などに起因すると思われる種々の問題点が指摘されている<sup>1)2)</sup>。セメント中の高レベルのアルカリがこれを用いたモルタルやコンクリートの初期性状や強度に及ぼす影響に関して定性的には指摘されているが、これを定量的に検討した報告は極めて少ない。

高レベルのアルカリを含んだセメントが定常的に生産される可能性は少なくとも今後我が国においては考え難いが、何らかのアクシデントによって、そのようなものが一時的に出回る可能性は十分に考えられる。

本文では高レベルのアルカリがコンクリートの諸性状に及ぼす影響に関する研究の予備実験として、アルカリ硫酸塩を添加したセメントを用いたモルタルについて若干の検討を行ったのでその結果を報告する。

高いレベルのアルカリを含むセメントのシュミレーション実験としてアルカリ硫酸カリウムを添加する手法についてはすでに I. Jawed および J. Skalny<sup>1)</sup>, V. Johansen<sup>2)</sup>らが試みており、現実に工場において生産されたセメントの使用に伴って発生した種々の異常現象をよく再現することが指摘されている。したがって、本研究においてもアルカリを添加させる手段として硫酸カリウムを使用した。

硫酸カリウム添加の影響はフロー値の著しい低下のほか、早期強度の促進および材令 28 日以降の強度の著しい

低下などとして現れ、セメントの品質に原因する 2, 3 の重要な問題点を明らかにすることができた。

## 2. 材料およびモルタルの配合と供試体の成型

実験に用いたセメントは市販の普通ポルトランドセメントであり、その化学成分は表-1 のとおりである。添加した硫酸カリウムは化学薬品特級のもので、88  $\mu$  以下に粉砕したものをあらかじめ粉体混合機によってセメントと入念に混合して使用した。

砂は標準砂を使用した。使用に先立ってアルカリ骨材反応の有無をチェックし非反応性を確認した。

モルタルの練り混ぜおよび供試体の成型は JIS R 5201 にほぼ準拠したが、練り混ぜ作業は手練りとした。材令 1 日で脱枠し所定の材令まで 20 $\pm$ 1°C の水中で養生した。

モルタルの配合は JIS モルタルに準拠し、水量 338 cc、セメント量 520 g および標準砂量 1040 g を 1 バッチとしたが、この中でセメントは硫酸カリウムを内割で 0, 1, 2, 3, 5 および 10% の 6 段階に変化させて添加したものを使用した。このうち添加量が 2% のものはモルタルのフロー試験にのみ供された。

## 3. 実験結果および考察

硫酸カリウム ( $K_2SO_4$ ) の添加がモルタルのフロー値に及ぼす影響を示したものが図-1 である。この図により、 $K_2SO_4$  の添加量が 1% の場合、すなわち、 $K_2O$  量が 0.54% 程度添加された場合はフロー値はわずかに増大す

表-1 セメントの化学成分(%)

種 類	ig.loss	insol	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O
普通ポルトランドセメント	0.73	0.08	20.89	5.38	3.02	64.43	2.00	2.34	0.51	0.55	0.87

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

\*\* 関東学院大学 工学部

研究速報

るが、添加量が1%を超えるとフロー値は急激に低下することがわかる。しかし、添加量が3%を超えた範囲でのフロー値の低下の度合はやや緩慢となる。いずれにせよ、以上の結果は過剰のアルカリがモルタルのフラッシュセツトを引き起こしたことを示している。

クリンカー中のアルカリ分が多いセメントはモルタル

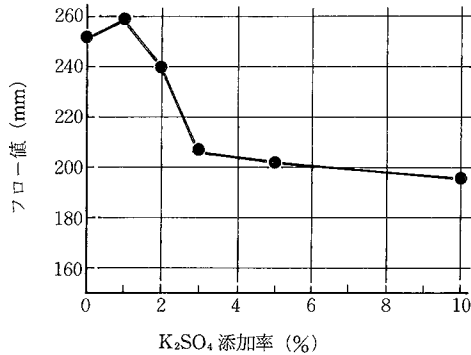
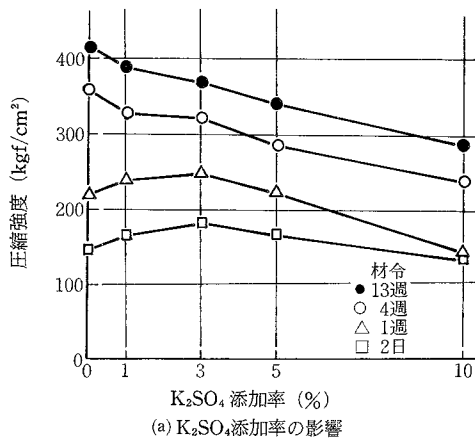
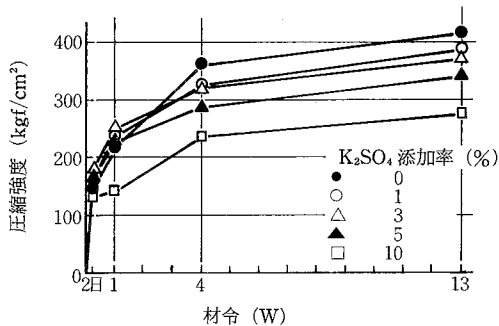


図-1 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の添加率とフロー値の関係



(a) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>添加率の影響



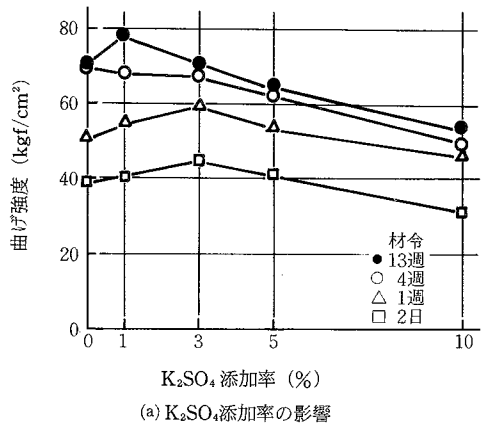
(b) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>添加率と材令との関係

図-2 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の添加が圧縮強度に及ぼす影響

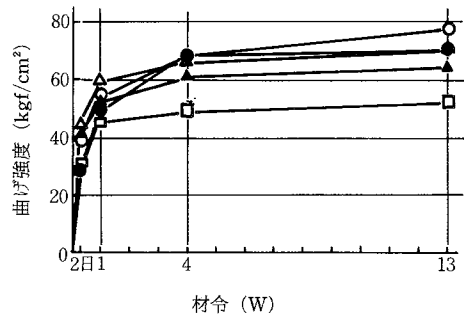
の凝結硬化を早める作用を有することはすでに数多くの研究者<sup>4)</sup>によって指摘されているが、その中の Richartz と Sprung はこのような急結現象がセメントクリンカー中の K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と石こうとの反応による syngenite (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · CaSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O) の形成に起因するとしている。すなわち、硬い syngenite 組織の形成は急結を招くのみでなく、水和を適切に遅延させることが難しくなるのである。図-1において K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の添加量が2%を超える場合にみられるフロー値の急激な低下はまさにこれを裏付けるものといえる。

セメントのアルカリ硫酸塩混入にともなう強度の発現性を検討するため、実験結果をまとめたものが図-2および3である。K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>添加量とモルタルの圧縮強度との関係を図-2に示し、曲げ強度との関係を図-3に示す。

一般にクリンカー中のアルカリ分の多いセメントを用いてつくったモルタルやコンクリートは初期強度は増大するが28日強度は減少することが指摘されている。図-2の結果もこれを裏付けており、K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の添加による強度変化の傾向は Johansen<sup>3)</sup>らの実験結果とよく対応している。図-2と同様な傾向は図-3の曲げ強度の場合にも



(a) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>添加率の影響



(b) K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>添加率と材令との関係

図-3 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>の添加が曲げ強度に及ぼす影響

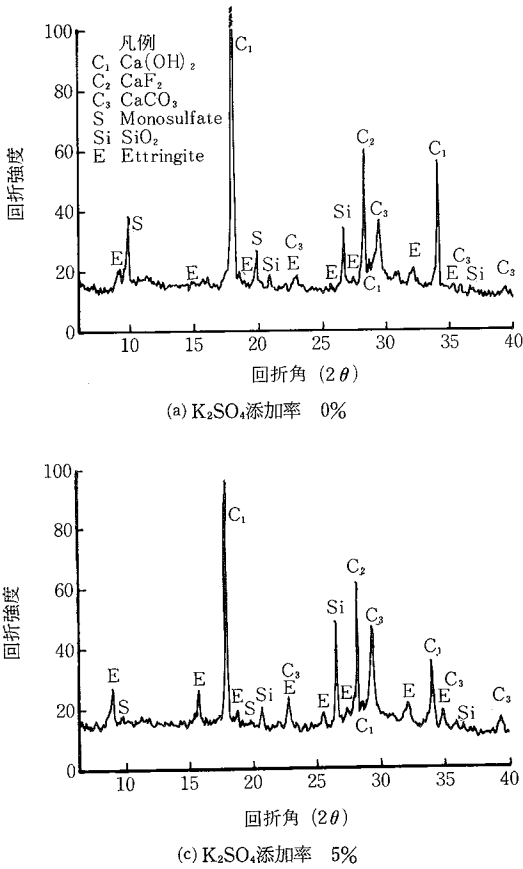


図-4 モルタルのセメントベース部分の X 線回折図

現れている。

$K_2SO_4$ 添加量を増した場合に材令 28 日以降の強度が低下する原因を確かめる目的で粉末 X 線回折試験を実施した。試料は材令 13 週のモルタル強度試験後の JIS モルタルの破片で、これよりセメント硬化体部分を分離した粒径  $30\mu m$  以下の粉末である。

試験結果は図-4(a)~(c)に示すとおりである。また、これらの結果からモルタル種別ごとのエトリンガイトの平均回折強度を求め、 $K_2SO_4$ 添加量との関係で表したものが図-5である。

これらの結果によれば、 $K_2SO_4$ 添加量とエトリンガイトの形成の因果関係はほぼ明らかであり、とくに添加量が 3%を超えるとエトリンガイトの形成量が著しく増大してゆく傾向がよくわかる。

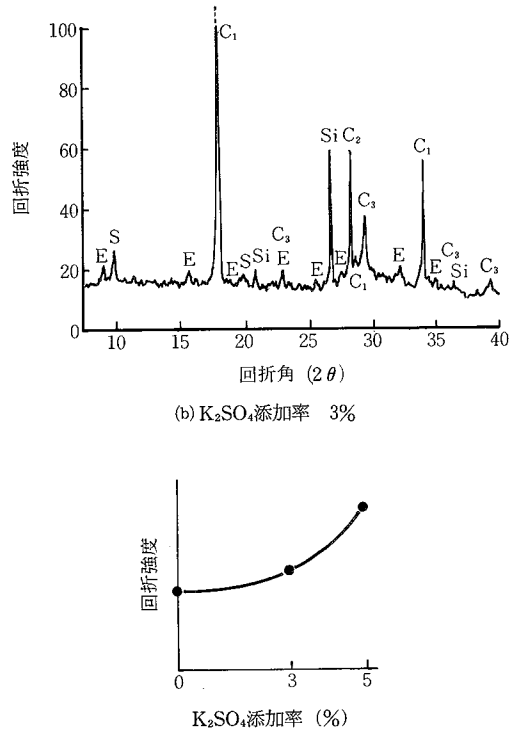


図-5  $K_2SO_4$ 添加率とエトリンガイトの回折強度との関係

#### 4. ま と め

以上の結果より、 $K_2SO_4$ の添加による材令 28 日以降の強度低下はエトリンガイトの生成に基づく、いわゆる硫酸塩膨脹によるものであると考えられる。

(1985年 11月 27日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) I. Jawed and J. Skalny, Cement and Concrete Research, Vol. 8, (1978)
- 2) L. U. Spellman, Cement, Concrete and Aggregate, Vol. 5, No. 1, (1983)
- 3) V. Johansen, Proc. The 1976 Symposium on Cement Concrete of Japan, (1976)
- 4) たとえば, O. Henning and R. Stieler, Proc. 6th International Congress on Chemistry of Cement, Moscow, Suppl. paper, (1974)., F. W. Locher and Sprung, Tonind. Ztg., 98, (1974)., W. Richartz, Zement-Kalk-Gips, 7, 177, (1973)., S. Sprung, ibid., 27, 259, (1974)