

## セメントの種類および骨材の種類が DEF 膨張に及ぼす影響

九州大学 学生会員 池田 隆徳 フェロワー 松下 博通  
 正会員 濱田 秀則 正会員 佐川 康貴  
 学生会員 川端 雄一郎

## 1. はじめに

本研究は、DEF(Delayed Ettringite Formation:エトリンタイトの遅延生成)による膨張の影響要因としてセメントの種類および骨材の種類に着目し、これらの組合せが DEF 膨張に及ぼす影響に関して検討を行ったものである。

## 2. 実験概要

## 2. 1 使用材料および配合

セメントは、早強ポルトランドセメント(HPC)、白色ポルトランドセメント(WPC)、普通ポルトランドセメント(OPC)、低熱ポルトランドセメント(LPC)を使用した。各セメントの化学成分および Bogue 式により算出される鉱物組成を表-1に示す。また、硫酸塩として  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  を  $\text{SO}_3$  添加量 1.6%、2.7%となるように混和した。骨材は石灰石砕砂(LS)、海砂(SS)を使用した。

本研究はモルタルにより評価を行い、配合は、水セメント比 50%、砂セメント比 2.45 で一定とした。なお、供試体は「(セメント種類)-( $\text{SO}_3$ 添加量)-(骨材種類)-(養生条件)」の形で表記する。

表-1 セメントの化学成分と鉱物組成

	化学成分 (%)										鉱物組成(% Bogue式)			
	ig.loss	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	Cl	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
WPC	2.83	22.88	4.60	0.19	65.13	1.35	2.52	0.05	0.06	0.00	52.8	25.8	11.9	0.6
HPC	1.09	20.81	4.88	2.55	65.24	1.10	2.75	0.18	0.35	0.00	63.1	12.2	8.6	7.8
OPC	1.50	21.20	5.20	2.80	64.20	1.50	2.00	0.31	0.48	0.01	55.5	19.0	9.0	8.5
LPC	0.75	25.93	2.84	3.10	63.66	0.47	2.45	0.11	0.26	0.00	31.5	50.6	2.3	9.4

## 2. 2 供試体作製および養生

JIS R 5201 のモルタル作製方法で練混ぜを行った後、温度 20℃にて前養生を 1 時間行い、その後温度 80℃での蒸気養生(SC)を 4 時間行った。蒸気養生後は徐々に冷却し、打設後 24 時間で脱型した。また、脱型後は温度 20℃、相対湿度 100%における湿空養生とした。比較検討として蒸気養生を行わない常温養生(RC)の供試体も作製した。

## 2. 3 試験方法

脱型直後の長さを基長とし、所定の材齢において、コンタクトゲージ法により長さ変化および質量を測定した。また材齢 1 年においてモルタルの一部を切断し、研磨片を作製した。採取したサンプルは Au-Pd 蒸着後 SEM-EDS により反射電子(BEI)像の観察を行った。

## 3. 実験結果及び考察

## 3. 1 モルタルの膨張挙動

図-1、図-2に膨張量の経時変化を示す。蒸気養生を行った場合には、200日以降、膨張挙動が認められた。しかし、セメントの違いにより膨張速度が異なることが分かる。また、蒸気養生を行わない場合は膨張は見られなかった。図-3に質量増加率と膨張量の関係を示す。質量が増加するとともに膨張量が大きくなる傾向が見られる。質量の増加はモルタルの吸水と生成したエトリンタイト結晶水によるも

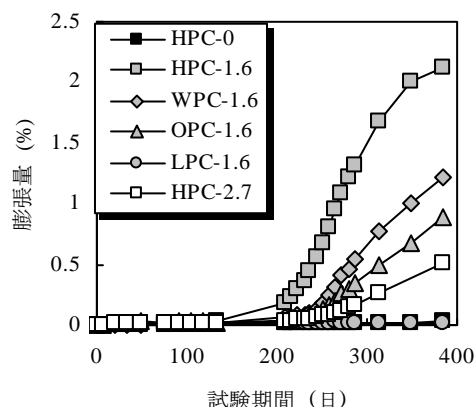


図-1 膨張量の経時変化(LS-SC)

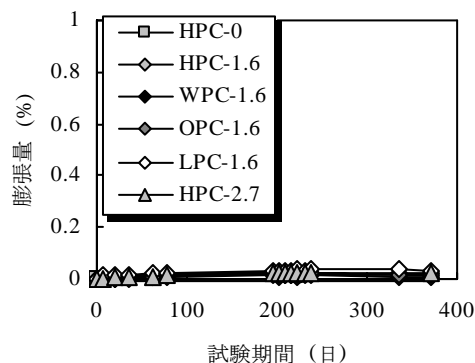


図-2 膨張量の経時変化(LS-RC)

のと考えられ、エトリンガイトの生成量の増加によって膨張量が増加したと推察される。

3. 2 DEF 膨張に対するセメント種類の影響

図-4に海砂(SS)を使用した要因の全 SO<sub>3</sub>量と材齢 400 日の膨張量の関係を示す。なお、図中の破線は HPC の SO<sub>3</sub>量の JIS 規格値(3.5%)を示す。全 SO<sub>3</sub>量が大きいほど膨張量も大きくなる。また、膨張量は HPC>WPC>OPC> LPC の順で大きいことが分かる。膨張に影響を及ぼすセメントの化学成分としては SO<sub>3</sub>, C<sub>3</sub>S, C<sub>3</sub>A 量またアルカリ量などある<sup>1)</sup>。HPC は C<sub>3</sub>S 量が多く、C<sub>3</sub>A 量も比較的多いことから、膨張量が最も大きくなったと考えられる。WPC と OPC を比較すると C<sub>3</sub>S は同程度の量であるが、WPC の方が C<sub>3</sub>A 量が多いため、より大きな膨張を示したと考えられる。また、LPC に関しては C<sub>3</sub>S 量、C<sub>3</sub>A 量がともに少ないことによりほとんど膨張を示さなかったと考えられる。

3. 3 DEF 膨張に対する骨材種類の影響

図-5に石灰石砕砂(LS)を使用した場合の全 SO<sub>3</sub>量と材齢 400 日の膨張量の関係を示す。HPC と OPC に関して最大の膨張量を示す全 SO<sub>3</sub>量のペシマム量が存在することが認められる。最大膨張量を比較するとセメントの種類に関して海砂(SS)を使用した場合と同様の傾向が見られるが、海砂(SS)を使用した場合に比べ膨張量が小さい傾向にあること分かる。しかし、HPC および OPC は SO<sub>3</sub>添加量 1.6%(図中○印)において SS よりも大きな膨張量を示しており、セメントと骨材の組み合わせにより石灰石を使用した場合においても膨張量が大きくなる場合があることが明らかとなった。

3. 4 SEM-EDS による反射電子像の観察結果

写真-1, 写真-2 に HPC-1.6-LS-SC(膨張量 2.25%)および HPC-1.6-LS-RC(膨張量 0.01%)の研磨片の反射電子(BEI)像を示す。膨張量が大きい HPC-1.6-LS-SC は骨材-ペースト界面にギャップが認められる。さらにギャップ内にはエトリンガイトの生成が確認された。

4. 結論

本研究は DEF 膨張の影響要因としてセメント種類と骨材種類に着目し検討を行った。以下にその概要を示す。

- (1) DEF による膨張量はセメント中の全 SO<sub>3</sub>量の増加に伴い大きくなる。ただし、石灰石骨材を使用した場合、HPC および OPC では膨張量が最大となる SO<sub>3</sub>量(ペシマム量)が存在する。
- (2) DEF による膨張量は HPC>WPC>OPC>LPC となる。この傾向より膨張量は、SO<sub>3</sub>量のほかに水和初期段階において多くの C-S-H を生成する C<sub>3</sub>S 量、エトリンガイトの生成に必要な C<sub>3</sub>A 量の影響を受けると推察される。
- (3) 海砂を使用した場合の方が石灰石骨材よりも膨張量は大きい。ただし、セメントと骨材の組み合わせによっては石灰石骨材の膨張量が大きくなる場合が存在する。この原因としては、石灰石自身の反応性による影響の可能性が考えられ、今後検討が必要である。

1) Kelham, S.:The Effect of Cement Composition and Fineness on Expansion Associated With Delayed Ettringite Formation, Cement and Concrete Composites, Vol. 18, No.3, 1996, p.171-179

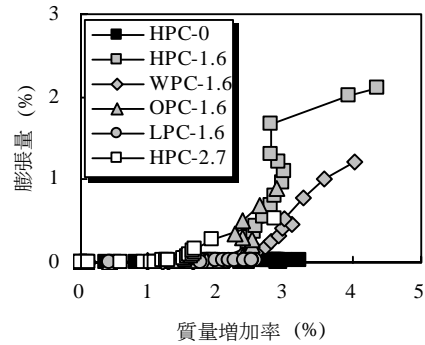


図-3 質量増加率と膨張量の関係(LS-SC)

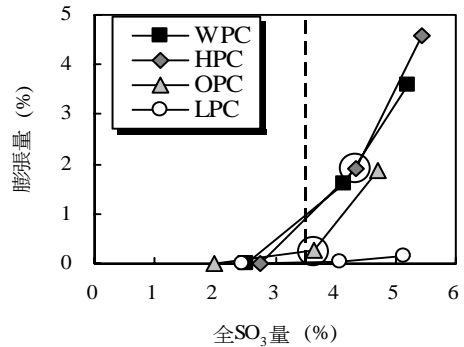


図-4 全 SO<sub>3</sub>量と膨張量の関係(SS-SC)

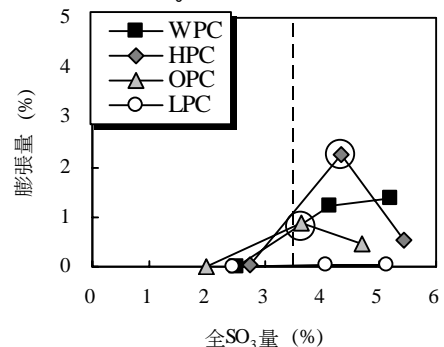


図-5 全 SO<sub>3</sub>量と膨張量の関係(LS-SC)



写真-1 BEI 像  
(HPC-1.6-LS-SC)

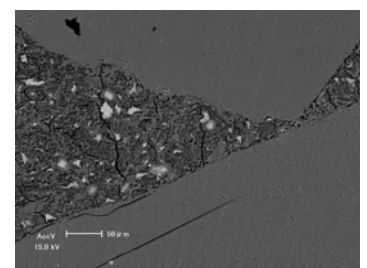


写真-2 BEI 像  
(HPC-1.6-LS-RC)