

# 論文 溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートのポップアウトの抑制に対するエージングの効果

高田 龍一<sup>\*1</sup>・北辻 政文<sup>\*2</sup>・高橋 真治<sup>\*3</sup>・明石 哲夫<sup>\*4</sup>

要旨：溶融スラグ細骨材は JIS に規定されコンクリート用としても広く利用されている。しかし、この材料でコンクリートのポップアウト現象の発生の可能性が指摘され、平成 22 年 7 月には JIS A 5031 の追補改正により注意喚起がなされた。また、平成 23 年 3 月に（財）建材試験センターの調査研究でポップアウトの確認試験方法が提案されているものの適応事例は少ない。そこで、本研究では、実プラントの溶融スラグを用いて、提案された確認試験方法(案)に従ってモルタルによる評価試験とコンクリートでの評価試験を試みた。また、ポップアウト抑制に有効とされる自然エージング及び蒸気エージングの試験を行い、その効果を検討した。

キーワード：溶融スラグ細骨材，ポップアウト，モルタル試験，コンクリート試験，発生抑制，エージング

## 1. はじめに

都市ごみや下水汚泥の溶融処理は全国的に拡大し 2008 年度には 86.6 万トンの溶融スラグが生産され、その有効利用率は 83% に達している<sup>1)</sup>。溶融スラグは 2006 年 7 月に道路用及びコンクリート用骨材としてのそれぞれ JIS が規格された。溶融スラグのコンクリート用骨材としての利用にあたっては、生コンへの使用が認められていないため、一部のプレキャストコンクリート製品のみ制限されている。2008 年 7 月に、溶融スラグを混入した生コンを用いて造られた構造物に、ポップアウト(以下、PO)が発生し問題となった。その後の国土交通省の調査により、PO は溶融スラグに含有または混入した生石灰に起因するものとされた<sup>2)</sup>。この影響を受け、2009～2010 年度に建材試験センター(JTCCM)において試験方法の調査委員会(以下、「JIS 委員会」)が開催され、JIS A 5031 の追補案を提案するとともに、ポップアウト確認試験方法案(以下、PO 評価試験)が提案された<sup>3)</sup>。JIS 委員会では実際の溶融スラグを用いた PO の実態調査も行っているが、試験方法の検討に当たっては、PO の原因物質となる硬焼生石灰の粉末を添加した模擬試料で行っている。また、提案された評価試験方法は未だ溶融スラグへの適応事例<sup>4)</sup>は少なく、モルタルによる試験に比べコンクリートによる評価試験を実施した事例も少ない。さらに、PO の抑制に関しても実際の溶融スラグでの調査報告は少ない。

そこで本研究では、適正な PO 評価試験方法及び抑制方法の確立を目的に、JIS 委員会で提案された試験方法案に従って、稼動している溶融スラグ製造プラントから得られた溶融スラグ細骨材を用いた PO 評価試験を行う

とともに、PO の抑制に有効とされる<sup>5)</sup>自然エージング及び蒸気エージングを、溶融スラグに施すことで PO の抑制効果を検証した。さらに溶融スラグを用いたコンクリート製品の試作を行い、実用的な観点での PO の評価・検討を行った。

## 2. 研究内容

### 2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm<sup>3</sup>)を用いた。細骨材は鳥根県奥出雲町産の加工砂(密度 2.57g/cm<sup>3</sup> 吸水率 1.30%)及び溶融スラグ(密度 2.86g/cm<sup>3</sup>、吸水率 0.35%)を、粗骨材は松江市八雲町産の碎石 2005A(密度 2.67g/cm<sup>3</sup>、吸水率:0.85%)を用いた。混和剤には高性能減水剤を用いた。

なお、本試験に使用した溶融スラグは、一般廃棄物の溶融施設においてシャフト式ガス化溶融炉により約 1600 の高温で溶融処理され、水砕冷却した後、磁選機、磨砕機、振動ふるい機で生成されたものである。

#### (1) 溶融スラグの品質

本試験に使用した溶融スラグの化学成分を表 - 1 に、物性を表 - 2 に示す。これらの表より溶融スラグに含まれる化学成分及びスラグの物性はすべて JIS 規格値を満たしていることがわかる。

また、アルカリシリカ反応性試験結果を表 - 3 に示す。JIS A 1145 に準拠し化学法で評価した結果、A に区分され無害であった。

#### (2) 溶融スラグの有害物質の安全性

試験に使用した溶融スラグにおける、重金属の溶出量及び含有量を表 - 4 に示す。JIS に規定される 8 項目の

\*1 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 教授 農学博士 (正会員)

\*2 宮城大学 食産業学部 建設環境材料科学研究室 教授 博士(農学) (正会員)

\*3 (株)イズコン 製造本部 管理研究室 室長

\*4 JFE エンジニアリング(株) 環境プラント事業部 設計部 部長代理 工修

重金属類の溶出量と含有量の測定値はいずれも検出限界未満かごく微量で、JIS の基準値を満たしている。溶融スラグ細骨材に求められる安全性は十分確保されていることが判る。

### (3) 試験用の溶融スラグの選定

溶融スラグの PO 発生要因として、貝殻などのごみ由来のカルシウムなどが溶融スラグに生石灰 (CaO) の状態として混入することが指摘されている。そのため、時季により PO 発生状況の変動が考えられるので、冬季と夏季に生成された溶融スラグを試験対象とした。また、事前にモルタルによる PO 評価試験を行って、PO が発生する状態であることを確認した上で、試験用のスラグを選定した。

### 2.2 溶融スラグのエイジング方法

PO の抑制に有効とされているエイジング処理を検討した。ここでは、溶融スラグ貯留施設にて、溶融スラグを気中状態で保管し安定化する自然エイジング及び、コンクリート製品工場の製品養生用蒸気を活用し短期間で安定化する蒸気エイジングを行った。

表 - 1 溶融スラグ細骨材の化学成分

項目	単位	測定値	JIS A 5031 基準値
酸化カルシウム	%	32.7	45.0 以下
全硫黄	%	0.5	2.0 以下
三酸化硫黄	%	0.05 未満	0.5 以下
金属鉄	%	0.26	1.0 以下
塩化物量(NaCl)	%	0.001 未満	0.04 以下

表 - 2 溶融スラグの物性

項目	単位	測定値	JIS 規格値
粗粒率	-	2.43	-
密度	表 乾	2.87	-
	絶 乾	2.86	2.5 以上
吸水率	%	0.35	3.0 以下
安定性	%	5.5	10 以下
粒径判定実績率	%	56.1	53 以上
微粒分量	%	3.39	7.0 以下
単位容積質量	kg/l	1.87	-
実績率	%	65.4	-
モルタル膨張率	%	-0.76	2.0 以下

表 - 3 溶融スラグ細骨材のアルカリシリカ反応性

項目	項目	測定値	判定基準
JIS A 1145 化学法	アルカリ濃度減少量 Rc (mmol/l)	47	Rc 700
	溶融シリカ量 Sc (mmol/l)	35	Sc 10
	判定	A 無害	Sc < Rc

### (1) 自然エイジング

#### (a) 冬スラグ

溶融スラグを 500kg 採取しフレコンパックに入れ、施設内に屋内保管することによって自然エイジングを行った。採取は冬季(2月中旬)に行い、5ヶ月後にモルタル PO 確認試験によって PO が発生しないことを確認した。(以下、冬スラグ)

#### (b) 夏スラグ

溶融施設での実用出荷管理のためシャッター開閉式屋内ストックヤードにおいて、所定期間保管し自然エイジングを行った。約 300 トンのスラグを保管した。散水やシート掛けなど加湿や乾燥防止の処置は行わず、屋内において気中状態で静置した。夏季(7~8月)に生産され、9月からエイジングを開始し、2ヶ月後の10月末に PO が発生しないことを確認した。(以下、夏スラグ)

### (2) 蒸気エイジング

PO の発生が確認された溶融スラグを採取し、以下の条件で蒸気エイジング試験に使用した。

#### a) 恒温恒湿基礎試験

恒温恒湿装置を用い蒸気温度とエイジング時間を管理し溶融スラグの蒸気エイジング試験を行った。水を入れた恒温恒湿容器内の皿の上にスラグを置き、一定の蒸気温度を保ちスラグを静置した。蒸気温度は 50、90 の 2 水準、静置時間は 5 時間、10 時間の 2 水準とした。

#### b) コンクリート製品工場でのシート養生試験

図 - 1 に示すように、コンクリート製品工場の蒸気養生棟内で、20kg 入りの土のう袋に入れた溶融スラグをプラスチックパレット上に並べ、コンクリート製品のシート養生の要領で、養生シートを被せ、パレット下部に蒸気ホースを挿入し蒸気を流入させた。シート内の雰囲気温度を K 熱電対で測定して製品養生条件と同じ約 65 に調整した。蒸気量のバルブ調整は手動で行ったため、

表 - 4 溶融スラグ細骨材の有害物溶出量と含有量

項目	測定項目	測定値	検出限界	JIS A 5031 基準値
溶出量 mg/l	カドミウム	不検出	0.001	0.01 以下
	鉛	不検出	0.005	0.01 以下
	六価クロム	0.04	0.02	0.05 以下
	ひ素	不検出	0.005	0.01 以下
	総水銀	不検出	0.0005	0.0005 以下
	セレン	不検出	0.002	0.01 以下
	ふっ素	不検出	0.08	0.8 以下
	ほう素	不検出	0.01	1.0 以下
含有量 mg/kg	カドミウム	5	5	150 以下
	鉛	不検出	5	150 以下
	六価クロム	不検出	0.5	250 以下
	ひ素	不検出	0.5	150 以下
	総水銀	不検出	0.05	15 以下
	セレン	不検出	0.5	150 以下
	ふっ素	220	10	4000 以下
	ほう素	156	5	4000 以下

シート内雰囲気温度は  $65 \pm 5$  の範囲で変動があった。蒸気エージング状況を確認するためシート内の雰囲気温度とスラグ中の温度をデータロガーで測定・記録した。

蒸気使用時間は5時間/日とし4サイクル(5H, 10H, 15H, 20H)の試験を実施した。

シート養生中の温度測定結果より、溶融スラグの内部温度は蒸気の流入後に雰囲気温度より昇温遅れが認められた。そこで、蒸気の流入により溶融スラグの内部温度が一定温度以上に昇温した累積時間を、本試験における蒸気エージングの有効時間とした。シート養生試験の蒸気エージング有効時間を表 - 5 に示す。

### 2.3 PO 確認試験方法

#### (1) JIS 委員会案の試験方法

JIS 委員会では促進試験として2種類の方法(以下「JIS 案」)が提案されている<sup>3)</sup>。以下にその概要を示す。

#### (a)モルタルによるポップアウト確認試験方法案

JIS 案(a)は、この分野で先駆的研究を行っている北辻等が提唱した試験方法<sup>6)</sup>をベースに改良されたものである。細骨材に溶融スラグを全量用いて JIS A 5031「アルカリシリカ反応性試験」による配合条件(セメント:水:スラグ細骨材=1:0.5:2.6)で、JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(モルタルバー法)」に従って練混ぜ、 $40 \times 40 \times 160$ mmのモルタル供試体を3体作製する。モルタルの反応促進方法は、JIS A 1804「アルカリシリカ反応性試験方法(迅速法)」による促進法(150kPa, 127 で4時間煮沸)または、JIS R 5201の9.4「セメントの物理試験方法」に準拠した煮沸法(水中に沈め徐々に加熱し90分間煮沸)で行う。POの確認は供試体6面を対象とする。

#### (b)コンクリートによるポップアウト確認試験方法案

JIS 案(b)は標準的な材料及び配合条件で試験を行う場

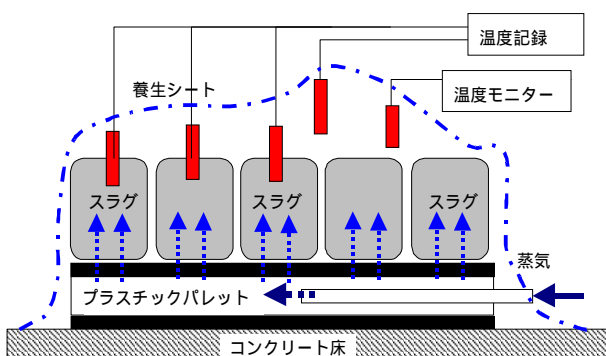


図 - 1 製品工場のシート養生式の蒸気エージング試験

表 - 5 シート養生試験の蒸気エージング有効時間

試験条件	5H	10H	15H	20H
シート養生サイクル(回)	1	2	3	4
蒸気エージング時間(h)	5	10	15	20
50 以上有効時間(h)	2.5	7.2	10.9	15.75
60 以上有効時間(h)	1.25	6.1	9.9	12.75

合は、細骨材の50%を溶融スラグとして、スランプ  $8 \pm 2.5$ cm, 空気量  $4.5 \pm 1.5$ %にて  $\Phi 100 \times 200$ mmのコンクリート供試体を3体作製して行う。実際に使用する材料及び配合条件の場合は、現場で使用する材料及び配合条件とする。コンクリート供試体を反応促進する方法は JIS 案(a)と同様に促進法または煮沸法によって行う。POの確認は供試体の側面を対象とする。

### 2.4 コンクリートの配合と供試体製作

#### (1) 配合

本試験では JIS 案(a)及び JIS 案(b)について溶融スラグを対象に実施し、JIS 案(b)では、コンクリート製品工場において実際に使用する材料及び配合条件で作製して行った。配合設計は、コンクリート製品工場において実際に使用する配合条件とした。配合を表 - 6 に示す。具体的には溶融スラグの配合割合は、島根県溶融スラグ使用基準のコンクリートの配合設計(細骨材全体質量の10%以上30%以下)の上限に合わせ30%とした。また、比較のために溶融スラグを使用しない普通コンクリートも作製した。以下、普通コンクリートを C1 及び C2, 自然エージングスラグを細骨材として用いたものを S1(冬スラグ)・S2(夏スラグ), 蒸気エージングスラグを細骨材として用いたものを J\*(J-未処理 J-5H, J-10H, J-15H, J-20H)と記す。

#### (2) 練混ぜ

(試験1): S1 及び C1 の練混ぜはコンクリート製品工場の強制2軸型ミキサで、練混ぜ時間は水投入後1分間の製造ライン混練設備で行った。使用した練混ぜ機は容量が  $1.0\text{m}^3$  とした。粗骨材、セメント、細骨材及び水は自動計測で順次投入し、溶融スラグは細骨材の投入時間に合わせて、ミキサ上部のホッパに投入した。

(試験2): S2, C2 及び J\*では容量60lの傾動型練混ぜ機を用いてパッチ混練で行った。パッチ混練の材料投入順序は、粗骨材、セメント、細骨材+溶融スラグ、水の順番とした。練混ぜ時間は水投入後3分間とした。

#### (3) 流し込み及び供試体製作

S1 及び C1 の2種類のコンクリートについて PO 確認試験用供試体と圧縮強度供試体のほか、PO 暴露観察試

表 - 6 コンクリートの配合

試験条件	W/C (%)	溶融スラグ置換率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					混和剤 (Cx%)
			水	セメント	加工砂	溶融スラグ	砕石	
S1	47.5	30	160	337	556	238	1109	0.75
C1	47.5	0	160	337	770	0	1109	0.75
S2	47.5	30	160	337	556	238	1109	0.65
J*	47.5	30	160	337	556	238	1109	0.65
C2	47.5	0	160	337	770	0	1109	0.65

\*蒸気エージングスラグ: J-未処理, J-5H, J-10H, J-15H, J-20H

験用に円柱供試体各 3 本，曲げ試験角柱供試体各 3 本，U 字側溝製品 B2 - 300A×2m 各 2 本を作製した。

S2, J\*(J-未処理, J-5H, J-10H, J-15H, J-20H), 及び C2 の 7 水準のコンクリートについて, PO 確認試験用供試体と圧縮強度供試体のほか, PO 暴露観察試験用に円柱供試体各 3 本, 曲げ試験角柱供試体各 2 本を作製した。

いずれの試験も PO 試験用は JIS 案に従って養生し, 強度試験の  $\sigma_1$ ,  $\sigma_{14}$  は製品同一養生,  $\sigma_{28}$  は標準養生, 暴露観察試験用は製品同一養生とした。

## 2.5 PO 確認試験の実施要領

JIS 案で提案された試験方法に従って試験を実施するに当たり, 供試体を促進養生する際に提案されている装置は JIS A 1804 (促進法) に規定の反応促進装置であるが, 試験設備が十分普及していないことから, 試験に用いる設備による影響を検討するため複数の試験装置で実施した。

### (1) モルタルによる促進法

蒸気エージングの恒温恒湿基礎試験の溶融スラグ及びシート養生試験の溶融スラグについてモルタルによる促進法での PO 評価試験を実施した。試験は JIS 案の使用機器である反応促進装置で実施した。(写真 - 1)

### (2) コンクリートによる促進法

4 種類の試験装置により促進法の試験を実施し比較を行った。試験条件は下記のように設備能力によりわずかに違いが見られた。(a) は上述と同一の JIS 案の使用機器である反応促進装置である。

#### (a) 反応促進装置

試験条件: 127 , 150kPa, 4 時間 (写真 - 1)

#### (b) 高温高压滅菌装置

試験条件: 123 , 4 時間 (写真 - 2)

#### (c) 大型オートクレーブ試験装置

試験条件: 127 , 4 時間 (写真 - 3)

#### (d) オートクレーブ試験装置

試験条件: 127 , 150kPa, 4 時間 (写真 - 4)

### (3) コンクリートによる煮沸法

#### (a) 現地試験

製品工場で実施する現地試験を想定し, 下記の簡易的なコンクリートによる煮沸試験を行った。試験 1 では (a-1)、試験 2 では (a-2) を行い, 試験条件はいずれも煮沸状態 (100 ) で 90 分間とした。

(a-1): ペール缶を携帯ガスコンロで加熱 (写真 - 5)

(a-2): ドラム缶を簡易薪釜戸で加熱 (写真 - 6)

#### (b) 試験装置での試験

下記の試験装置を用いてコンクリートによる煮沸法での試験を行った。試験 1 では (b-2), 試験 2 では (b-1) と (b-2) を, いずれも煮沸状態 (100 ) で 90 分間行った。



写真 - 1 反応促進装置 写真 - 2 高温高压滅菌装置



写真 - 3 大型オートクレーブ試験装置



写真 - 4 オートクレーブ試験装置



写真 - 5 (a-1)試験 1

写真 - 6 (a-2)試験 1



写真 - 7 (b-2)試験

(b-1)高温高压滅菌装置 (写真 - 2)

(b-2)大型煮沸試験装置 (写真 - 7)

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 コンクリートによる PO 確認試験結果

##### (1)自然エージングスラグの試験結果

###### (a) 煮沸法

普通コンクリート C1 及び C2, 自然エージングを行った冬スラグ S1 及び夏スラグ S2 の煮沸法による試験結果を表 - 7 に示す。C1 と同様に S1 及び S2 において, PO の発生は確認されなかった。現地簡易試験も同様の結果であった。

###### (b)促進法

普通コンクリート C1 及び C2, 自然エージングを行った冬スラグ S1 及び夏スラグ S2 の促進法による試験結果を表 - 8 に示す。煮沸法で反応促進を行った場合と同様に, いずれの供試体においても PO の発生は確認されなかった。また, 試験装置による違いは見られなかった。

以上より, 自然エージングを施した溶融スラグを用いたコンクリートは煮沸法及び促進法において試験装置による差異は見られず, いずれも PO は発生しないことが確認された。これらの自然エージングスラグは, モルタル促進法(試験条件 127) で評価し, 当初は PO の発生が認められたが, 自然エージングを実施した結果 PO が発生しないことが確認済みの細骨材であるため, 同一の試験条件でのコンクリートによる促進試験においても, PO の発生は起きなかったものと考えられる。

#### 3.2 蒸気エージング基礎試験結果

恒温恒湿基礎試験で得られた溶融スラグについて, モルタルの PO 評価試験(促進法)結果を表 - 9 に示す。蒸気温度とエージング時間の増加により, PO 発生数が減少していることから, PO の抑制には蒸気エージングの処理温度や処理時間が大きく影響すると考えられる。

#### 3.3 シート養生スラグの PO 試験結果

##### (1)モルタルによる PO 促進法試験結果

シート養生による蒸気エージング試験で得られた溶融スラグについて, モルタルの促進法における PO 評価試験結果を表 - 10 に示す。

##### (2)コンクリートによる PO 煮沸法試験結果

シート養生による蒸気エージング試験で得られた溶融スラグについて, コンクリートの煮沸法における PO 評価試験結果を表 - 11 に示す。

##### (3)コンクリートによる PO 促進法試験結果

シート養生による蒸気エージング試験で得られた溶融スラグについて, コンクリートの促進法における PO 確認試験結果を表 - 12 に示す。

以上の結果から, 蒸気エージングは温度が高く処理時間が長いほど PO の抑制効果が確認された。60 超で 12.75 時間以上の処理条件ではほとんどの試験で PO が発生せず, PO の発生抑制ができると考えられる。

表 - 7 コンクリートによる煮沸法 PO 確認試験結果  
- : 試験なし(個/3本)

試験条件 試験装置 \	試験 2		
	試験 1	C2	S2
(a-1)	0	-	-
(a-2)	-	0	0
(b-1)	-	0	0
(b-2)	0	0	0

表 - 8 コンクリートによる促進法 PO 確認試験結果  
- : 試験なし(個/3本)

試験条件 試験装置 \	試験 2			
	C1	S1	C2	S2
(a)	-	0	0	0
(b)	0	0	0	0
(c)	0	0	0	0
(d)	-	0	-	0

表 - 9 蒸気エージング基礎試験結果

(個/3本)

試験条件	未処理	蒸気エージング処理条件			
		50		90	
		5h	10h	5h	10h
試験結果	17	5	4	2	1

表 - 10 モルタルによる PO 促進法試験結果

(個/3本)

試験条件	未処理	シート養生の条件 蒸気エージング有効時間(60 以上)			
		5H	10H	15H	20H
		1.25h	6.1h	9.9h	12.75h
試験結果	32	8	6	2	1

表 - 11 コンクリートによる PO 煮沸法試験結果

(個/3本)

試験条件 試験装置 \	未処理	シート養生の条件 蒸気エージング有効時間(60 超)			
		5H	10H	15H	20H
		1.25h	6.1h	9.9h	12.75h
(a-2)	8	4	2	0	0
(b-1)	12	8	5	0	0
(b-2)	2	0	0	0	0

表 - 12 コンクリートによる PO 促進法試験結果

- : 試験なし(個/3本)

試験条件 試験装置 \	未処理	シート養生の条件 蒸気エージング有効時間(60 超)			
		5H	10H	15H	20H
		1.25h	6.1h	9.9h	12.75h
(a)	7	4	2	1	0
(b)	34	16	5	1	0
(c)	66	39	21	13	4
(d)	-	-	9	0	-

また, 同一の反応促進試験装置で行った促進法による試験の比較(表 - 8 と表 - 12(a)) から, コンクリート試験よりモルタル試験の方が厳しい評価となっている。また, 煮沸法と促進法の比較(表 - 11(b-1)と表 - 12(b))から促進法の方が厳しい評価となっている。なお, 促進法の(表 - 12(c))が最も厳しい判定となったが, これは压力容器の鉄皮厚さが 80mm と厚く, 所定の保持時間後も長時間高温に保たれた影響と考えられる。

### 3.4 現地工場での暴露試験の状況

配合 S1 におけるコンクリート暴露試験の結果を表 - 13 に示す。普通コンクリート C1 や C2 との表面状態の差異が無く、10m<sup>2</sup>以上の暴露面積において 6.5 ヶ月時点で PO の発生は確認されなかった。また、配合 S2 においても 円柱供試体と曲げ供試体は 3.5 ヶ月時点で PO の発生は確認されなかった。さらに、蒸気エージングの J\* では 10 時間以上の円柱供試体と曲げ供試体は 3.5 ヶ月時点で PO の発生は確認されなかった。

### 3.5 コンクリート強度試験の結果

#### (1) 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図 - 2, 図 - 3 に示す。スラグを置換したものとコントロールの圧縮強度は同程度である。

#### (2) 製品曲げ強度試験結果

S1 及び C1 の配合で作製した U 字側溝製品 2 本を製品同一養生し材齢 14 日で曲げ強度試験を行った結果、規定強度(54 kN : 2m 当り, スパン 300mm)をいずれも満たしていた。

以上より溶融スラグ置換率 30% では強度上の問題は

表 - 13 暴露観察の PO 総数 (単位: 個) - : 試験なし

暴露サンプルと数量	暴露面積 (m <sup>2</sup> )	暴露観察期間			
		S1		S2	
		4 ヶ月	6.5 ヶ月	1 ヶ月	3.5 ヶ月
円柱供試体 3 本	0.235	0	0	0	0
曲げ供試体 3 本	0.54	0	0	0	0
U 字側溝製品 2 本	10.26	0	0	-	-

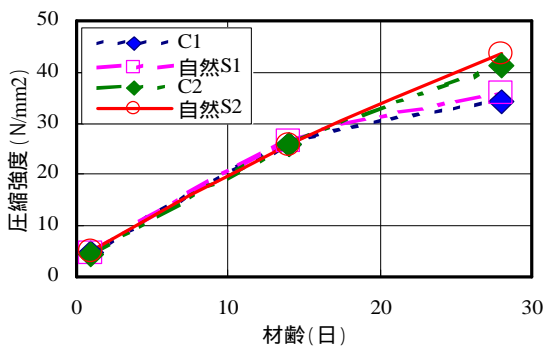


図 - 2 圧縮強度試験結果 (1)

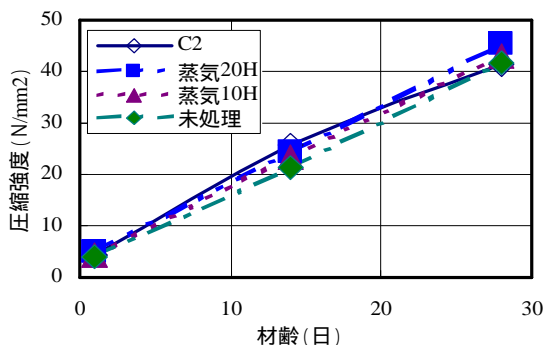


図 - 3 圧縮強度試験結果 (2)

ないことが確認された。

### 4.まとめ

本研究では、稼動している溶融スラグ製造プラントから得られた溶融スラグを用いて各種適応試験を行い、自然エージングや蒸気エージングが PO 抑制に有効であると考えられる以下の成果を得た。

- (1) 溶融スラグを用いた供試体においても JIS 案により PO 評価が可能であった。
- (2) 自然エージングスラグでは、煮沸法と促進法いずれにおいても PO の発生は確認されず、現地工場における 6.5 ヶ月間の製品暴露試験でも、暴露サンプルの全てにおいて、PO の発生は確認されなかった。
- (3) 蒸気エージングスラグでは処理温度と時間や、PO 促進試験装置の違いにより PO 発生に差異があった。
- (4) 本研究の試験の範囲では、自然エージングは 2 ヶ月以上、蒸気エージングでは 60 超で 12.75 時間以上の処理を行うと PO を抑制できることがわかった。
- (5) コンクリート強度試験では、スラグを 30% 置換したものとコントロールの圧縮強度は同程度であった。また、製品曲げ強度試験では規定強度を満たしていた。以上の結果より、溶融スラグ置換率 30% では強度上の問題は無いことが確認された。

### 謝辞

本研究の実施に当り、島根県土木部、島根県溶融スラグ利用推進協議会、島根県コンクリート製品組合、和光産業(株)、昭和セメント工業(株)の協力を得て行われた。ここに、ご協力頂いた関係各位に感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) エコスラグ利用普及センター：2009 年度版エコスラグ有効利用の現状とデータ集, p.37, 2011.6
- 2) JIS 規格不適合コンクリートを使用した建築物の対策技術検討委員会 中間報告, 国住指第 2063 号, 2008.8.27
- 3) (財)建材試験センター：コンクリート用溶融スラグ骨材の試験方法に関する標準化調査研究成果報告書, pp.120-125, 2011.3
- 4) 明石 哲夫ほか：溶融スラグ骨材のポップアウト確認試験, 第 21 回環境工学総合シンポジウム 2011 論文集, pp.130-132, 2011.6.30-7.1
- 5) (財)沿岸技術研究センター：鉄鋼スラグ水和体固化体技術マニュアル - 製鋼スラグの有効利用技術 - 改訂版, pp.111-149, 2008.2
- 6) 朴 仁哲, 北辻 政文：溶融スラグを用いたコンクリートのポップアウト試験法の検討, 廃棄物学会東北支部第 1 回研究発表会講演論文集, pp.13-14, 2008