

# N-43 湿式粉砕方法によって製造したスラグセメントに関する一実験

電力中央研究所技術研究所 正 河原 友純

1. まえがき 現在一般に市販されている高炉セメント用のスラグは、製鉄所で鉄を造るときに副産される多冷水滓を乾燥し乾式粉砕方法によつたものであるがヨーロッパではトリーフセメント（ベルギー人のトリーフ氏の案出による）と称して、湿潤状態で産出された多冷水滓を乾燥することなくそのまま湿式粉砕方法によつて微粉砕してスラグスラリーを造り、これとポルトランドセメントおよび少量の刺激剤を加え、骨材・水と共にミキサーに投入してコンクリートを製造する方法も取られている。（以下高炉セメントと区別するため湿式スラグセメントという）

文献によればフランスのBoitダム、イギリスのMoriston水系の諸ダムには、この方法によるコンクリートが実用されており、その他プレキャストコンクリート製品にも用いられている。トリーフセメントを用いる場合のコンクリートミキシングプラントの一例は、図-1の通りである。この実験は、国内産のスラグを用いた湿式スラグセメント・コンクリートが、ダム等実用され得るかどうかの目安と得るために行ったものである。

2. コンクリートの材料および配合 実験に用いたスラグは八幡製鉄所より送付して戴いた多水冷されたままの粒状の水滓を、当研究室のボールミルで粉砕後の含水率約35%・ブレン約3600号となるよう湿式粉砕して作ったスラグスラリーであり、その化学成分および粉末度・比重は表-1の通りである。また、セメントはアサノ普通ポルトランドセメントを、促進剤は局法試薬の塩化カルシウムを用い、スラグ：セメント：塩カルの混合率を70：30：1とした。細骨材は相模川産のもので、細骨材の粒度はF.M.=2.75、粗骨材の最大寸法は20mmとした。その他、比較用コンクリートには、八幡化学製のC種高炉セメント（スラグ混合率70%）および小野田中熱セメントを用いた。

コンクリートの配合は表-2の通りである。

3. 実験の方法 コンクリートの練り混ぜには可傾式8切または3切ミキサーを用い、予めスラグスラリーとセメントとを混合水の一部を加えて混ぜておき、ミキサーには先づ粗骨材と細骨材とを投入し、おいてスラグセメントペーストを入れ、ミキサーを回転しつつ残りの混合水を徐々に加え、全材料投入後3分間練り混ぜた。

実験の項目は(1)圧縮および曲げ (2)断熱温度上昇 (3)乾燥収縮 (4)凍結融解である。

図-1 トリーフセメントプラントの一例

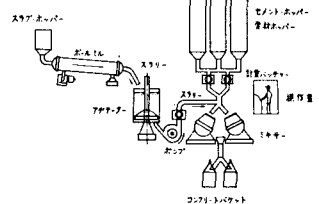


表-1 スラグの化学成分<sup>(1)</sup>および粉末度・比重

| 成分 | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | CaO   | MgO  | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | 比重  |
|----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----|
| 値  | 37.46            | 19.03                          | 0.23                           | 1.76 | 37.68 | 6.90 | 0.06             | 99.79             | 2.07             | 36.90           | 3.2 |

(1) 濃度濃度 =  $\frac{CaO + MgO + SO_3}{SiO_2} = 2.07$  比重 2.90

(2) 八幡化学の化学成分結果による

表-2 コンクリートの配合

| セメント  | スラグ   | 塩カル | 細骨材 | 粗骨材 | 水  | 合計  | 容積率 | 比重                   | 強度                    |
|-------|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|----------------------|-----------------------|
| 重量    | 重量    | 重量  | 重量  | 重量  | 重量 | 重量  | (%) | (g/cm <sup>3</sup> ) | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 55-75 | 50-40 | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |
| 55-75 | 50-40 | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |
| 55-75 | 50-40 | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |
| 55-75 | 50-40 | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |

(1) 湿式スラグセメントコンクリートの配合は表-1の通り

単位セメント量 = (普通ポルトランドセメント) 300g (乾燥重量) 濃度のスラグ量 70g

(2) C種高炉セメントは八幡化学でスラグ混合率 70%

表-3 コンクリートの圧縮強度 (20°C水中養生)

| セメント  | スラグ | 塩カル | 細骨材 | 粗骨材 | 水  | 合計  | 容積率 | 比重                   | 強度                    |
|-------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----------------------|-----------------------|
| 重量    | 重量  | 重量  | 重量  | 重量  | 重量 | 重量  | (%) | (g/cm <sup>3</sup> ) | (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| 55-75 | 50  | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |
| 55-75 | 50  | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |
| 55-75 | 50  | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |
| 55-75 | 50  | 10  | 100 | 100 | 40 | 205 | 100 | 2.10                 | 210                   |

(1)は2/℃水中養生材令3日～3年について強度および応力ひずみ関係を求めた。(2)は断熱熱量計を用いて材令7日まで測定した。(3)は4種の貯蔵条件で2年までコンパレータ方法によって測定した。(4)は材令9日まで2/℃水中養生した供試体について水中における急速凍結融解試験方法によって-18℃～+5℃の温度で300サイクルまで試験した。

4. 実験の結果 供試体φ10×20<sup>mm</sup>3本の平均値による圧縮強度は→表-3に示した通りであり、曲げ強度も大体同じような傾向を示した。湿式スラグの場合C種高炉より幾分強度増進が小さいようであるがこれは実験の日程上、送付された粒状スラグを相当日数屋外に貯蔵した後に実験を始めた事、粉末度が少し大きかった事、等によるのではないかと考えられる。圧縮強度試験と同時に全供試体について応力ひずみ関係を求め、これより弾性ひずみ $\epsilon$ と応力 $\sigma$ ・強度 $\sigma_c$ との関係を坂式 $\epsilon = \alpha(\frac{\sigma}{\sigma_c})^m$  ( $\alpha \cdot m$ は常数)でセメント別に整理した。その結果は図-2および次式の通りである。

$$\begin{aligned} \text{湿式スラグ} & \quad \epsilon = 6.295 \left( \frac{\sigma}{\sigma_c} \right)^{1.014} \\ \text{C種高炉} & \quad \epsilon = 6.012 \left( \frac{\sigma}{\sigma_c} \right)^{1.087} \\ \text{中庸熱} & \quad \epsilon = 6.427 \left( \frac{\sigma}{\sigma_c} \right)^{1.012} \end{aligned}$$

$\epsilon$ : 弾性ひずみ度       $\sigma$ : 圧縮応力 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_c$ : 圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

断熱温度上昇試験の結果は図-3の通りである。比熱を0.25と仮定して湿式スラグセメントの水和熱を、 $H = \frac{CP}{C}T$ から計算すると、3日で29 cal/g, 7日で33 cal/gとなり、中庸熱セメントの49 cal/g・61 cal/g, およびC種高炉の39 cal/g・48 cal/g (何れもJIS方法)に比べてかなり小さかった。

乾燥収縮試験結果は図-4の通りであり早期の貯蔵条件によって2/℃・50%の乾燥による収縮の程度は異なるが、6ヶ月～1年において収縮率10～11×10<sup>-4</sup>となりほぼ安定した。これはC種高炉・中庸熱と比べ同程度といえる。

凍結融解試験結果は図-5の通りであり、300サイクル後の湿式スラグセメントの相対弾性係数は、中庸熱セメントに比べてそれぞれ88%および82%でありやや劣っていたが、外観的には変りないようであった。

5. おわりに この実験の結果、湿式スラグセメント・コンクリートには短所、改良すべき点も見られたが、一方発熱が極めて小さい事等の長所も見られたので、目的にあった用い方をすればこのセメントの利用は可能となるであろう。

図-2 コンクリートの $(\frac{\sigma}{\sigma_c} - \epsilon)$ 関係図

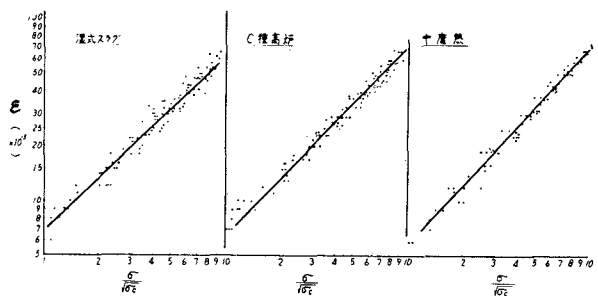


図-3 断熱温度上昇試験結果

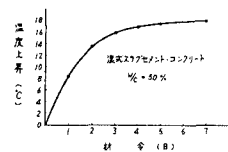


図-5 凍結融解試験結果

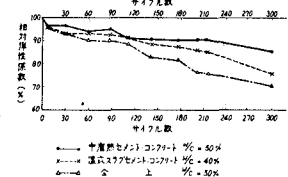
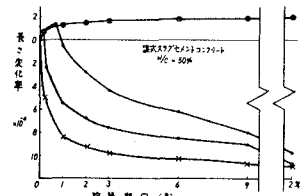


図-4 乾燥収縮試験結果



× 断熱体: 湿式2/℃・50%の乾燥温度上昇試験  
 △ 全 1週間2/℃水中養生と2/℃・50%湿式貯蔵  
 ○ 全 4週間2/℃水中養生  
 ● 湿式2/℃水中貯蔵