

溶融スラグの市場化準備（製品ニーズ調査）*

菅原 龍江**

溶融スラグの市場化を図るため、製品ニーズ調査を行った結果、新規用途として根固めブロックへの応用の可能性が高いことが分かった。そこで、基礎試験を実施したところ、十分な強度を得ることができ、根固めブロックへの応用が有望であることが分かった。

キーワード：溶融スラグ、市場化、根固めブロック

Preparation of Making to Market of Molten Slag (Product Needs Investigation)

SUGAWARA Ryukou

As a result of having performed product needs investigation to plan a market of molten slag, a thing very likely to be application to a root hardening block shared it as a new use. Therefore I could get enough strength when it carried out basics examination, and it shared it that application to a root hardening block was promising.

key words : molten slag, a market, a root hardening block

1 緒言

岩手県内では、廃棄物処理施設として溶融炉の導入が進み、発生する溶融スラグが増加してきている。そのため、これらの新規用途の開発・製品化等、その有効活用が求められている。

岩手県工業技術センターでは、産業廃棄物再資源化技術開発事業（H15～H16、H17～H18）を進めており、岩手・青森県境不法投棄物の試験溶融スラグを建設材料へ利用する実証試験を行い、溶融スラグの特性や問題点を明らかにしてきている^{1,2)}。また、溶融スラグを多角的に有効活用するため、試験研究機能強化推進事業（H17）として、他県先進地における活用事例等について広く調査を行った³⁾。

今回、これらの知見を基に、具体的にどのような製品であれば市場化できるかニーズ調査を行い、出口となるターゲットの詳細を固めるための試験等を行ったので、その結果について報告する。

2 調査研究方法

外部有識者3名（東京都内A氏、仙台市内B氏、岩手県内C氏）と個別に、これまでの研究成果を示した上で、具体的な溶融スラグ新規用途のターゲットを検討し、そのためのスラグ活用手法、業界に提案可能なターゲットを選定した。

選定したターゲットに溶融スラグを活用するにあたっては、利用しやすい使い方にするために、どのような利用方法にすべきかについて検討した。

また、検討したスラグ利用方法により必要な強度が得られるか調べるため、各種の供試体を作成し強度試験に供した。そして、選定したターゲットへ応用可能かどうか検討を加えた。

3 新規用途のターゲット選定

外部有識者の意見を踏まえ、溶融スラグ新規用途のターゲットとして魚礁の錘、及び根固めブロックについて検討を行った。

3-1 魚礁の錘

既存のコンクリート製の箱型マスに溶融スラグを詰めてフタをし、魚礁の錘として使おうとするもの。

持ち運びが容易な軽量（50kg以内）のものを試験的に試作できるか検討したが、コンクリート製品は概して重く、それに溶融スラグを入れるとすぐ100kg以上になってしまうことから、既製品のコンクリート製マスでは軽量の製品は作れないことが分かった。

また、試作製造した場合の錘の強度測定等の試験も困難であり、データを示して業界に提案できるターゲットとはなりにくい、と思われた。

3-2 根固めブロック

消波用あるいは河川で使う根固めブロックにコンクリート骨材の代替として溶融スラグを使おうとするもの。

根固めブロックは、重量があることが大切なので、強度はあまり問題にならない。しかし、大型製品のため、密度の異なる骨材（特に砂状の天然細骨材と水砕スラグ）を同一場所に固定することは難しく、重い骨材や溶融スラグは凝固前に

* 基盤的・先導的技術研究開発事業

** 環境技術部

下方へ移動し、製品を均一化できなくなる可能性が高い。

したがって、熔融スラグをある程度の大きさの固まりにすれば移動しにくくなり、製品均一化に寄与することになることから、その方法を確立できれば、新規用途として有望である。また、供試体を作成すれば強度試験データも得やすいことから、ターゲットとして選定することとした。

4 根固めブロック基礎試験

4-1 熔融スラグ利用方法の検討

ターゲットとして選定した根固めブロックに熔融スラグを利用するため、スラグをある程度の大きさの固まりにする効果的な方法について検討することとし、以下の各種サンプルを作成した。

①紙、②ポリ塩化ビニリデンフィルム、③不織布、④綿布を用いて、熔融スラグ50g及び100gを各々包んだサンプル。
⑤セメント12.5%、水12.5%、スラグ75%を練り混ぜて作ったスラグモルタルブロック。

これらのサンプルを、外部有識者（C氏）に提示して意見を聴取。その結果、スラグモルタルのブロック化の方法が良い、ということで、スラグ比率を変えたスラグモルタルブロックを作成し、供試体を作って圧縮強度試験に供した。



図1 スラグモルタルブロック

4-2 スラグモルタルブロック試験

4-2-1 スラグモルタルブロックの作成

家庭用製氷皿を用いて熔融スラグ75%配合または熔融スラグ60%配合のモルタルブロックを表1の配合により作成した。2日後に脱型し、ヤスリで角取りをしたものを、供試体に入れるブロックとした（図1）。表1に示す平均質量は角取り後の質量である。

使用した熔融スラグは2種類で、1つは回転式表面熔融炉の水砕スラグで、熔融温度は1300～1400℃程度、もう1つはシャフト式ガス化熔融炉の水砕スラグで、熔融温度は1700～1800℃程度である。いずれも形状は砂状で、性状は非晶質である。

表1 スラグモルタルブロックの配合量等

| | 配合量(この配合量で3回作成) | | | | 作成個数 | 平均質量 |
|----------------|-----------------|------|------|------|------|-------|
| | 水 | セメント | スラグ | 合計 | | |
| スラグ75%モルタルブロック | 90g | 110g | 600g | 800g | 63個 | 33.4g |
| スラグ60%モルタルブロック | 120g | 200g | 480g | 800g | 63個 | 33.4g |

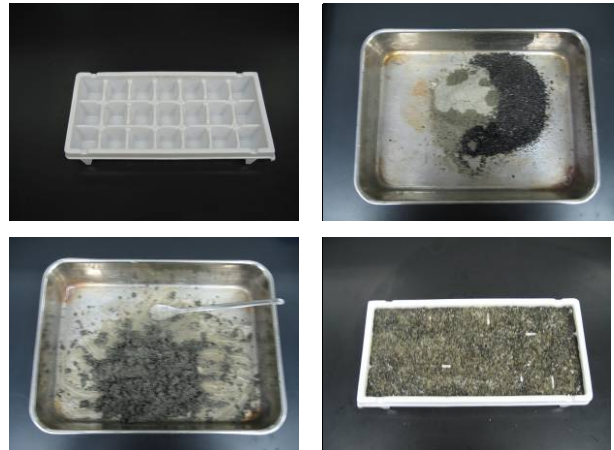


図2 スラグモルタルブロックの作成

4-2-2 供試体作成及び強度試験方法

供試体は粗骨材は使わず、細骨材主体のモルタル状で作成した。その理由は、①使用した熔融スラグは砂状であるため、細骨材主体の方が対比しやすいこと、②供試体（直径100mm×高さ200mm）の中に、1辺が20mm前後のスラグモルタルブロックを10～25個入れた上に、さらに粗骨材を入れると、均等に混合できなくなる可能性が高いこと、のためである。

熔融スラグの置換率は、0%、10%、20%とし、置換方法として、スラグモルタルブロックの形で置換する場合と、ブロック化を行わず熔融スラグのまま（単体）で置換する場合とで、それぞれ供試体を作成した。

混和剤は、変性リグニンスルホン酸化合物を主成分とするAE減水剤（商品名ポゾリス78S）を使用した。

供試体の打設は、岩手県工業技術センターで実施し、標準養生（20±2℃の水中養生）とした。

圧縮強度試験は、共和コンクリート工業(株)水沢工場において材齢14日で実施した。試験機は、(株)森試験機製作所製の圧縮試験機(アムスラー型)を用いた(図3)。



図3 圧縮強度試験

配合量については、溶融スラグをモルタルへ適用した場合のモルタル計量表⁴⁾を参考にしながら、県内における配合状況を考慮して設定した。

圧縮強度試験は、最初に回転式表面溶融炉スラグを用いた供試体について実施したが、モルタルブロックそのものの圧縮強度は、スラグ75%含有のモルタルブロックに比べて、スラグ60%含有のブロックの方が約2倍の強度を示すと共に、スラグ置換による圧縮強度試験においてもスラグ60%含有のブロックの方が高い強度を得られたことから（10%スラグ置換時）、シャフト式ガス化溶融炉スラグを用いた試験では、スラグ60%含有のブロックのみとした。

4-3 強度試験結果

両スラグのモルタルブロックの圧縮強度（表1の配合により供試体を作成して測定）を表2に示す。

また、両スラグのスラグ置換率0%、10%、20%の圧縮強度試験結果を図4に示す。

これらの試験の結果、スラグモルタルブロックによるスラグ置換及びブロック化しないスラグ（単体）によるスラグ置換とでは、後者の圧縮強度が高くなる傾向が見られたが、いずれの場合でも、27.9N/mm²以上の値であった。

また、回転式表面溶融炉スラグを用いた場合とシャフト式ガス化溶融炉スラグを用いた場合とでは、スラグモルタルブロックによるスラグ置換ではシャフト式ガス化溶融炉スラグの方が、またブロック化しないスラグ（単体）によるスラグ置換では回転式表面溶融炉スラグの方が、各々圧縮強度が高いことが分かった。

表2 スラグモルタルブロックの圧縮強度

| スラグモルタルブロックの種類 | 圧縮強度 |
|-----------------------------|------------------------|
| 回転式表面溶融炉スラグ75%含有モルタルブロック | 9.55 N/mm ² |
| 回転式表面溶融炉スラグ60%含有モルタルブロック | 18.6 N/mm ² |
| シャフト式ガス化溶融炉スラグ60%含有モルタルブロック | 16.7 N/mm ² |

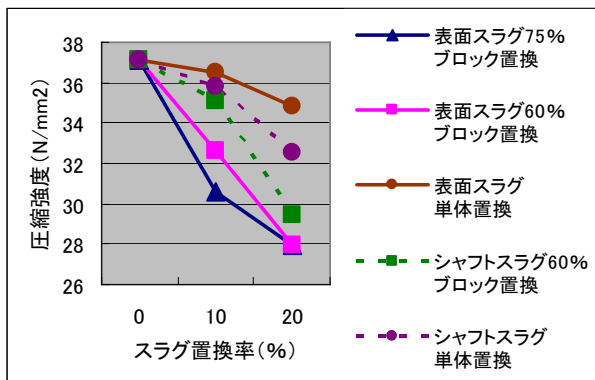


図4 スラグ置換による圧縮強度

なお、スラグモルタルブロックそのものの供試体の圧縮強度は、スラグ置換の供試体圧縮強度より大幅に低く、9.55N/mm²～18.6N/mm²の範囲の値であった。

4-4 考察

4-4-1 スラグモルタルブロックの密着性

スラグモルタルブロック入り供試体における強度試験時の破断状況を確認するため、圧縮強度試験実施後に供試体に横方向に圧力をかけて縦割りにし、その破断面を観察した。回転式表面溶融炉スラグ60%含有モルタルブロックによるスラグ20%置換の供試体の破断面を図5に示す。

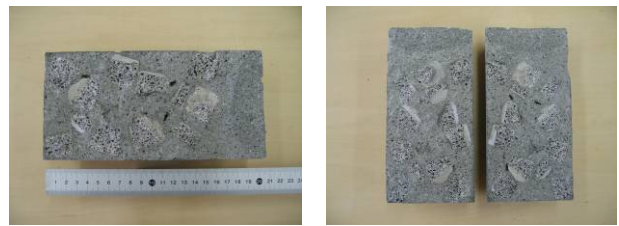


図5 供試体の破断面

その結果、スラグモルタルブロックの破断面は供試体の破断面とほぼ連続しており、スラグモルタルブロックの界面で破断している箇所は少なかった。

当初はスラグモルタルブロック界面での破断が多く、圧縮強度も大幅に低下するのではないかと予想していたが、実際にはそうではなく、スラグモルタルブロックと供試体モルタルとの密着性は高いことが分かった。この密着性の高さにより、圧縮強度も高いレベルを維持できたのではないかとと思われる。

4-4-2 根固めブロックへの応用の可能性

一般的な根固めブロックの設計基準強度（呼び強度）は、18N/mm²以上となっている⁵⁾。

今回実施した2種類のスラグによるモルタルブロック入りの供試体における圧縮強度試験では、27.9N/mm²～35.1N/mm²のデータが得られている。したがって、スラグモルタルブロックを根固めブロックに応用するには、少なくとも溶融スラグ20%置換相当の範囲までは、圧縮強度としては問題ないと考えられる。

ただし、今回は砂状の溶融スラグを固まりにするために、モルタルブロック化の作業を行い、これを骨材のように扱って供試体を作ったが、骨材をそのままの形で利用する場合に比べて工程が増えるほか、スラグモルタルブロックそのものの圧縮強度が、スラグ置換の圧縮強度より大幅に低いという問題点がある。

また、ブロック化しない溶融スラグ（単体）で置換した供試体の方が、スラグモルタルブロック入り供試体よりも圧縮強度が高く、溶融スラグ単体利用の方が強度的には有利であることも分かった。

溶融スラグを根固めブロックへ応用する際に課題となる製品の均一化を図るために溶融スラグのモルタルブロック化を試みたものであるが、問題点も明らかになってきたことから、本技術の実用化のためには、モルタルブロック化の方法等について、さらに検討を加えることが必要と思われる。

4-4-3 根固めブロック応用のための現場的考察

通常、根固めブロックを製造する場合、当該ブロックの設置場所付近に型枠を作っておき、生コンプラントで製造された生コンクリートを専用の生コン車で現地に運び、型枠に流し込んでいる。

この生コンプラントでの製造時に砂状スラグを入れることは可能ではあるが、同じ生コンプラントにおいて、各方面の生コンクリートを供給しているので、特定の場所向けにスラグ入り生コンクリートを作ろうとすると、製造後にそのプラントに残ったスラグを洗い直す必要が生じ作業量が大幅に増大する。したがって、よほど大量のスラグ入り生コンクリートを連続して製造する場合でない限り、プラント側でスラグ入り生コンクリートを作るのは現実的ではない。

一方、設置場所では、砂状スラグは飛散の恐れがあるため保管できないが、ある程度の大きさのものなら保管は可能であり、生コンクリート投入後に別途型枠に入れることは可能である。特に定形的なもの（例えばインターロッキングブロック）であれば数量管理等も容易であり、発注者側でスラグ使用を仕様で盛り込んだ場合、スラグのブロック化は極めて有効な方法になりうる。

また、インターロッキングブロックのような形なら、既存の設備が活用でき、大量生産が可能で作り溜めも容易なことから、根固めブロックのように大量の骨材を短時間に調達する必要がある場合は、スラグの大量使用に有効であるとも考えられる。

5 結 言

溶融スラグの市場化を図るため、製品ニーズ調査を行った結果、新規用途として根固めブロックへの応用の可能性が高いことが分かった。そこで、根固めブロックへ

の応用を図るため、2種類の溶融スラグをモルタルで固めてブロック化し、そのスラグモルタルブロックを用いて供試体を作成し、圧縮強度試験を実施した。

その結果、一般的な根固めブロックの設計基準強度（呼び強度）を満たす圧縮強度が得られ、スラグモルタルブロックを根固めブロックに応用するには、少なくとも溶融スラグ20%置換相当の範囲までは、圧縮強度としては問題ないと考えられた。

今後の課題としては、モルタルブロック化の作業を行うことで工程が増えること、ブロック化しない溶融スラグ（単体）の利用の方が高い圧縮強度を得られることを踏まえて、モルタルブロック化の方法等について、例えばインターロッキングブロックのように定型化するなど、さらに検討を加えることが必要と思われる。

なお、本研究の実施にあたり、ニーズ調査にご協力頂いた外部有識者の方々、また圧縮強度試験を快くお引き受け頂いた共和コンクリート（株）岩手支店、同水沢工場の関係者の方々に感謝いたします。

文 献

- 1) 佐々木秀幸、平野高広、藤原智徳、藤原忠司、小山田哲也、安部隆司、中南真理子：岩手・青森県境不法投棄物の焼却及び溶融特性、廃棄物学会論文誌 Vol.16 No. 6, 492-500 (2005)
- 2) 菅原龍江、平野高広、佐々木秀幸、藤原忠司、小山田哲也：岩手・青森県境不法投棄物の分析と溶融処理、第16回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 639-641 (2005)
- 3) 菅原龍江：溶融スラグの多角的有効活用について、地方独立行政法人岩手県工業技術センター研究報告 VOL13, 152-155 (2006)
- 4) 鈴木大介、中田善久、永尾弘孝、田辺英男、伊藤学、菅田雅裕、松井勇、大塚秀三：溶融スラグ細骨材を用いた左官モルタルへの適用に関する実験的研究、第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 641-643 (2006)
- 5) JIS A5308 (2004) 推奨仕様 4-1 積みブロック、宮城県土木設計マニュアルⅡ（設計施工編）ほか