

## 高炉スラグ細骨材の吹付けコンクリートへの適用

前田建設工業株式会社 正会員 ○森 英治  
 前田建設工業株式会社 佐藤 智彦  
 前田建設工業株式会社 正会員 白根 勇二  
 西日本高速道路株式会社 正会員 岩島 保

### 1. はじめに

高炉スラグ細骨材(以下、BFS)は、高炉水砕スラグを破碎、整粒し、粒度分布を調整した副産物起源の人工骨材であり、JIS規格<sup>1)</sup>が制定され、土木学会や日本建築学会においても設計施工指針<sup>2),3)</sup>が制定されている。天然砂や砕砂の代替として使用することで環境負荷の軽減が可能となることから、グリーン購入法の特定調達品目にも指定されており、最近では骨材枯渇の問題があり、BSFの供給が可能な地域において、生コンクリートや2次製品への利用が増加している<sup>4)</sup>。

新名神高速道路切畑トンネル工事では、地域的な骨材事情から吹付けコンクリートに利用する細骨材が十分に供給されない可能性があった。そこで、吹付けコンクリートに通常用いられる砕砂とBFSを併用することを検討し、2014年1月より実施工を開始した。本報では、これらの検討結果や実施工の状況について報告する。

### 2. 高炉スラグ細骨材の品質

BFSの種類は、安定的な入手が可能なものとし、JIS A 5011に区分される「2.5mm高炉スラグ細骨材」(粒度の範囲は2.5mm以下)とした。表-1に、使用したBFSの化学成分および物理的性質の一例を示す。JIS A 5011-1の規定値をいずれも満足する品質となっている。なお、BFSは気温の高い時期には貯蔵に伴い粒子が固結する場合があるため、貯蔵の安定性が求められる。そのため、通常、コンクリートの配合や品質に悪影響を与えない範囲で固結防止剤が散布されている。

また、BFSはアルカリ骨材反応の恐れがないと言われている<sup>4)</sup>が、化学法およびモルタルバー法によって問題がないことを確認している。

### 3. 試験施工の概要

表-2に配合および使用材料を示す。細骨材は粒度調整を目的としてBFS(S3)の他、砕砂(S1)とスクリーニングス(S2)を使用した。スクリーニングスは、岩石破碎時に発生する微粒分を多く含んだ砕砂である。各細骨材の割合は室内配合試験を実施して決定し、質量比でS1:S2:S3=5:1:4とした。

表-1 BFSの化学成分および物理的性質の一例

項目		規定値 (JIS A 5011-1)	試験値
化学成分 (%)	酸化カルシウム CaO	45.0以下	43.3
	全硫黄 S	2.0以下	1.0
	三酸化硫黄 SO <sub>3</sub>	0.5以下	0.01
	全鉄 FeO	3.0以下	0.1
物理的性質	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.5以上	2.59
	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	—	2.64
	吸水率 (%)	3.5以下	1.85
	単位容積質量 (kg/L)	1.45以上	1.5
	粗粒率	—	2.63
	微粒分	—	3.9
NaCl量 (%)		—	0.005
貯蔵の安定性		—	A (安定)

表-2 配合および使用材料

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						AD C×%	急結剤 C×%
			W	C	S1	S2	S3	G		
48.0	62.0	3.0	216	450	487	101	400	599	0.8	7

※空気量は3.0%として計算。規格値ではない。

[使用材料]

N: 普通ポルトランドセメント、密度 3.15g/cm<sup>3</sup>

S1: 兵庫県赤穂産砕砂、表乾密度 2.57 g/cm<sup>3</sup>

S2: 大阪府箕面産スクリーニングス、表乾密度 2.67g/cm<sup>3</sup>

S3: 2.5mm高炉スラグ細骨材、表乾密度 2.64 g/cm<sup>3</sup>

G: 兵庫県神戸産砕石、G<sub>max</sub>13mm、表乾密度 2.58 g/cm<sup>3</sup>

AD: 湿式吹付け用減水剤、ポリカルボン酸系化合物

急結剤: カルシウムサルフォアルミネート系粉体急結剤

W: 伏流水

表-3 試験施工の試験項目と規格値

項目	試験方法	規格値
スランブ試験	JIS A 1101	20±2cm
空気量試験	JIS A 1128	—
コンクリート温度	—	—
施工性	目視確認 (圧送性、急結性、ダレなど)	施工上、問題ないこと
圧縮強度	ピン貫入試験	3時間: 2N/mm <sup>2</sup> 24時間: 10N/mm <sup>2</sup>
	JIS A 1108 (φ50mmコア)	28日: 36N/mm <sup>2</sup>

キーワード 高炉スラグ細骨材、吹付けコンクリート、副産物利用、環境負荷軽減、NATM

連絡先 〒541-8529 大阪府大阪市中央区久太郎町2-5-30 MKD10大阪 前田建設工業(株)関西支店 TEL 06-6243-2411

また、BFS 中には表-1 に示すとおり硫黄(S)が含まれており、酸性の物質と接触すると化学反応によって硫化水素が発生する恐れがある。そのため、急結剤の種類は硫化水素を発生しないものを選定した。

表-3 に試験施工の試験項目と規格値を示す。試験施工は実際の工事で使用する吹付機械を用いて実施した。施工性は目視により評価し、圧縮強度試験は箱型枠に吹き付けた試料を試験に供し、若材齢はピン貫入試験、材齢 28 日はコア（直径 50mm）による試験を実施した。

4. 試験施工の結果

写真-1 にフレッシュ性状を示す。スランブは 21.0cm、空気量は 2.5%で目標性能を得られており、コンクリートの状態はやや粘性があり、良好な流動性を有している。

目視による施工性の確認の結果、ダレが観察されず良好な急結性および付着状態であった。また、脈動が少なく圧送性が良好で、リバウンドや粉じんの発生も少なかった。

表-4 に圧縮強度試験の結果を示す。BFS には固結防止剤が散布されているため初期強度の低下が懸念されたが、材齢 3 時間および 24 時間の圧縮強度は規定値を満足し、施工時の安全性に問題ないことが確認された。また、材齢 28 日の圧縮強度も 36N/mm<sup>2</sup>を十分満足する値であった。

5. 特定有害物質の微量成分溶出試験

トンネル構造物は地下水が流入・流出し、また BSF は人口骨材で表-1 に示す化学物質を含む。したがって、BSF を用いた吹付けコンクリートの環境側面を評価するため、コアを採取して特定有害物質の微量成分溶出試験（JSCE-G 575-2005）を実施した。試験結果を表-5 に示す。微量のほう素が検出されたが、土壤汚染および地下水の水質汚濁に係る環境基準を下回っており、周辺環境への影響がないことを確認した。

6. 実施工状況

写真-2 に実施工時の吹付け状況を示す。2014 年 3 月末時点で約 750m<sup>3</sup>の施工を完了しているが、吹付けコンクリートのフレッシュ性状、圧送性、リバウンド、粉じん発生状況、付着性および硬化物性などに大きな変動はなく、良好な施工状況である。最終的に約 26,000m<sup>3</sup>の施工量を計画している。

7. まとめ

試験施工および特定有害物質の微量成分溶出試験の結果、高炉スラグ細骨材を吹付けコンクリート適用可能であることが確認された。現在、実工事において適用を進めており、環境に配慮した施工を実現している。

参考文献

- 1)日本工業規格：コンクリート用スラグ骨材-第1部：高炉スラグ骨材，JIS A 5011-1，2003
- 2)土木学会：高炉スラグ骨材コンクリート施工指針，コンクリートライブラリー76，1993.7
- 3)日本建築学会：高炉スラグ細骨材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説，2013.2
- 4)山中量一：高炉スラグ骨材，コンクリート工学，Vol.46，No.5，pp.90-94，2008.5

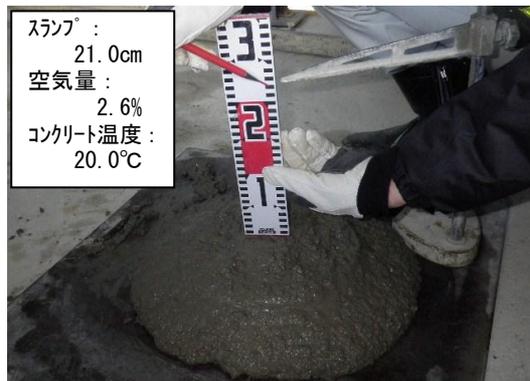


写真-1 フレッシュ性状

表-4 強度試験結果

材齢	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
3時間	2.9
24時間	22.5
28日	48.7

表-5 特定有害物質の微量成分溶出試験結果

成分	浸漬試験結果*1 (mg/L)	定量下限値 (mg/L)	土壤汚染に係る環境基準 (mg/L)	地下水の水質汚濁に係る環境基準 (mg/L)
ほう素	0.014	0.010	1	1
ふっ素	ND	0.08	0.8	0.8
六価クロム	ND	0.005	0.05	0.05
ひ素	ND	0.001	0.01	0.01
セレン	ND	0.001	0.01	0.01
カドミウム	ND	0.001	0.01	0.003
水銀	ND	0.0005	0.0005	0.0005
鉛	ND	0.001	0.01	0.01

\*1：4回の平均値を示す。  
「ND」は検出の定量下限値以下を表す。



写真-2 実施工における吹付け状況