

銅スラグ細骨材を用いた吹付けモルタルの試験施工

椎名 貴快* 高橋 秀樹**
 Takayoshi Shiina Hideki Takahashi
 西田 浩輔*** 高橋 一太***
 Kousuke Nishida Ichita Takahashi
 田口 毅****
 Takeshi Taguchi



写真一 銅スラグ骨材

表一 CUSの化学成分および物理・化学的性質

項目		本試料	JIS規格
化学成分	酸化カルシウム CaO(%)	1.43	12.0以下
	酸化マグネシウム MgO(%)	1.07	—
	全硫黄 S(%)	0.41	2.0以下
	三酸化硫黄 SO ₃ (%)	0.07	0.5以下
	全鉄 FeO(%)	54.0	70.0以下
	銅 Cu(%)	0.97	—
塩化物量 NaCl(%)		0.01以下	0.03以下
絶乾比重		3.52	3.2以上
吸水率(%)		0.11	2.0以下
単位容積質量(kg/l)		1.99	1.80以上
粗粒率		3.81	—
アルカリシリカ反応性*1		A(無害)	A又はB

※1: JISA 1146 (モルタルバー法) に準拠

表二 吹付けモルタルの示方配合

配合名	f'ck (N/mm ²)	CUS混合率 (%)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	CUS
C0	18	0	55	231	420	1647	0
C25	18	25	55	231	420	1236	565

セメント: 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm³普通砂: 佐賀県呼子町産中砂, 絶乾密度 2.59 g/cm³,

吸水率 1.58%, 塩分含有量 0.002%, F.M.2.57

CUS: 絶乾密度 3.55 g/cm³, 吸水率 0.11%, F.M.3.81,

最大寸法 2.5 mm, 実績率 56.5%

1. はじめに

銅スラグは、銅を製錬する過程で発生する副産物であり、年間発生量は約 250 万トンに達する¹⁾。主な用途はセメント原料やプラスト材であるが、大部分は資材として有効活用されていない。また、土木学会や日本建築学会は、良質な骨材資源の枯渇と産業副産物の有効利用の観点から、銅スラグ細骨材（以下、CUS）を用いたコンクリートの設計・施工指針²⁾³⁾を制定したが、現状で使用量の増加には至っていない。

著者らは CUS の新たな活用方法として、ダム堤体法面の吹付けモルタルへの適用を検討した。適用に際して、CUS 混合細骨材 (CUS に他の細骨材を混合した細骨材) と普通細骨材のみ用いた 2 配合について、施工性、品質、環境、経済性に与える影響を比較した。本報では CUS 使用の有効性について報告する。

2. 銅スラグ骨材

(1) 主成分

主成分は鉄と二酸化珪素（シリカ）であり、物理・化学的に安定した黒色ガラス状粒子である（写真一）。鉄物の形態はファイヤライト (2FeO・SiO₂) のため、鉄分の酸化に起因した赤錆は発生しない。

(2) 化学成分および物理・化学的性質

本試料の化学成分および物理・化学的性質を表一に示す。なお、品質規格は JIS A 5011-3 (コンクリート用スラグ骨材—第 3 部: 銅スラグ骨材) に準拠した。

(3) 特定有害物質溶出試験

JIS K0060 4.1.1 に準じて堆積場から採取した CUS 試料に対して特定有害物質 25 成分の溶出試験を実施した。

試験の結果、すべての物質は環境基準（土壌溶出量基準、地下水基準）の値以下であった。

3. 試験施工

(1) 概要

障害久木野尾ダム建設工事現場内の堤体左岸部仮設法面において、堤敷岩盤の風化防止を目的にモルタル吹付けを設計 50 mm 厚で 510 m² 行う計画であった。本施工では、材料に普通細骨材の他、CUS 混合細骨材を試験的に使用し、施工品質の比較検証をおこなった。

(2) CUS 混合率

CUS 混合率 30% (容積比) 以上の場合にはブリーディング量の増大や凝結時間の遅延などによる品質低下が懸念されたため、CUS 混合率 25% (普通細骨材: CUS = 3:1) とした。なお、使用する CUS は粒度範囲 2.5 mm 以下で、アルカリシリカ反応が無害の CUS 2.5A とした。

(3) 配合

吹付けモルタル (1:4 モルタル) の示方配合を表二に示す。配合は CUS 混合率の異なる 2 配合である。

* 技術研究所 技術研究部土木技術研究課

** 技術研究所 技術研究部

*** 九州 (支) 久木野尾ダム (出)

**** 本社 機材部機電課

(4) フレッシュ性状

配合 C25 のフレッシュ性状試験の結果、スランプ 0.5 cm、空気量 6.4%、塩化物含有量 0.06 kg/m³であった。

(5) 施工性

配合 C25 は、配合 C0 に比べて、施工時の圧送抵抗が若干高く、仕上がり面での部分的なムラは生じたものの、リバウンドや粉塵量等は同程度であった。仮設法面への吹付けのため、現配合で施工を継続した(写真-2)。

(6) セメント硬化体の品質

① 圧縮強度

現場の箱吹き試験体から採取したコア供試体(直径φ50 mm)の圧縮強度試験を実施した(表-3)。

CUS 混合の配合 C25 は施工ムラなどの影響により、圧縮強度の値が配合 C0 より 30~20%程度低い値であった。

② アルカリシリカ反応性試験

JIS A1146 (モルタルバー法)による試験の結果、CUS 自体は膨張率 0.1%以下で無害であるが、CUS 混合細骨材は基準値を超えて無害でないと判定された(表-4)。

試験結果を受けて ASR 抑制対策の検討が必要であるが、本材は仮設材のため、ASR 劣化による耐久性への影響は小さいと判断し、現状のまま施工した。

③ 特定有害物質の溶出

本材は堤体盛土の進捗に応じて順次撤去し産業廃棄物として処理するため、セメント硬化体からの特定有害物質(第二種：重金属類)の溶出による環境リスク評価を行った。試験方法は、JSCE-G 575-2005「硬化したコンクリートからの微量成分溶出試験方法(案)」に準拠した。

試験の結果、両配合ともにふっ素およびひ素が検出されたが、環境基準(土壤溶出量基準、地下水基準、一律排水基準)の値以下であった。また配合 C25 で検出された鉛も極微量で基準値以下であった(表-5)。

④ 色調

CUS 自体が黒色のため、硬化体も若干黒灰色となった。

(7) 耐久性

① 中性化深さ

堤体左岸部仮設法面から採取したコア供試体に対して、中性化深さ試験を材齢 4, 13, 26 週で実施した。

試験の結果、両配合とも中性化深さ 1~2 mm 程度(材齢 26 週)で明確な差はなかった。

② 経時変状調査

定期的な目視調査の結果、施工 2 日後、配合 C25 を吹付けた法肩部の一部に水平ひび割れを発見した。ひび割れ幅は最大で約 1 mm あったが、その後の進展はなかった。なお、配合 C0 には明確な変状は確認されなかった。

4. おわりに

本施工により CUS 使用上の問題・留意点を以下に示す。
 ・圧送性の低下や仕上がり面で一部ムラを生じたが、施工性を大きく損なうものではなかった。



写真-2 堤体左岸部仮設法面での吹付け状況

表-3 コア供試体の圧縮強度試験結果

配合	養生方法	圧縮強度 (N/mm ²)	
		材齢 7 日	材齢 28 日
C0	現場気中	20.5 (1.00)	46.5 (1.00)
C25	現場気中	14.7 (0.72)	38.8 (0.83)

表-4 アルカリシリカ反応性試験の結果

使用骨材	膨張率 (26 週間後)	判定
CUS	0.021%	無害
CUS 混合細骨材	0.669%	無害でない

表-5 特定有害物質の溶出試験結果

分析成分	試験結果 (mg/L)		許容限界値 (mg/L)		
	配合 C0	配合 C25	土壤溶出量基準	地下水基準	一律排水基準
ほう素	ND	ND	1	1	10
ふっ素	0.06	0.08	0.8	0.8	8
六価クロム	ND	ND	0.05	0.05	0.5
ひ素	0.002	0.002	0.01	0.01	0.1
セレン	ND	ND	0.01	0.01	0.1
カドミウム	ND	ND	0.01	0.01	0.1
水銀	ND	ND	0.0005	0.0005	0.005
鉛	ND	0.002	0.01	0.01	0.1

備考) ND とは Not Detected の略で「不検出」(定量下限値未満)を表す。

- ・施工ムラにより若干の強度低下がみられた。
- ・アルカリシリカ反応性は無害でないと結果になり、適用する構造物に応じた抑制対策の必要がある。
- ・特定有害物質の溶出量は環境基準値以下であった。
- ・副産物である CUS は、製造出荷地域により購入単価が異なる。
- ・CUS を普通細骨材と混合使用する場合、製造コストに混合費が加わることで若干割高となるため、使用に際しては経済性を含めた検討を要す。

参考文献

- 1) 栗栖一之：コンクリート用銅スラグ骨材, コンクリート工学, Vol.46, No.5, pp.98-101, 2008.5.
- 2) 土木学会：銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー 92, 1998.2.
- 3) 日本建築学会：銅スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計施工指針(案)・同解説, 1998.3.