

## 細骨材相当の粒径を有する製鋼スラグを用いたモルタルのCO<sub>2</sub>固定に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○田口翔也 向 俊成 取違 剛 関 健吾

### 1. はじめに

世界中で環境問題が叫ばれ、あらゆる産業に対して温室効果ガスの削減や廃棄物の有効利用が求められている。建設業界では、産業副産物である高炉スラグやフライアッシュのセメント代替としての利用に加え、強制的な炭酸化によってCO<sub>2</sub>を固定するコンクリート（以下、炭酸化コンクリート）に注目が集まっている。炭酸化コンクリートには、CO<sub>2</sub>排出量が少なく、CO<sub>2</sub>固定能力の高い材料の適用が求められる<sup>1)</sup>。ここで、製鋼過程において排出されるスラグ（以下、製鋼スラグ）には、CO<sub>2</sub>と反応し得るCaなどの元素が含まれているため<sup>2)</sup>、炭酸化コンクリートのCO<sub>2</sub>固定源として適用できる可能性がある。本研究では、細骨材相当の粒径を有する製鋼スラグを、細骨材の一部に置換したモルタルのCO<sub>2</sub>固定能力を評価した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 使用材料

使用材料を表-1に示す。製鋼スラグは、細骨材相当の粒径を有し、生産過程の異なる3種類（転炉由来のA、Aとは異なる転炉由来のE、電気炉還元由来のH）を使用した。製鋼スラグはフローコーンによる表乾状態の判定が困難であったため、本研究では絶乾状態で使用した。蛍光X線による製鋼スラグの元素分析結果を図-1に示す。CO<sub>2</sub>固定が期待されるCaの含有量は30~40%であった。

#### 2.2 実験方法

モルタルの配合を表-2に示す。W:C:Sを質量比で1:2:4とし、各種製鋼スラグを細骨材に対し30%置換した。比較用として製鋼スラグを置換しないモルタル（ベース）も作製した。練混ぜは、10Lモルタルミキサを用い、試験体はφ50mm×h100mmとした。その後材齢1日で脱型し、材齢28日まで20°C水中養生または20°C、50%RH、CO<sub>2</sub>濃度80%での炭酸化養生を行った。所定の材齢にて、表-3に示す箇所から試料を採取し、示差熱重量分析にて、Ca(OH)<sub>2</sub>およびCaCO<sub>3</sub>含有量を定量した。測定には、熱重量/示差熱同時分析装置（リガク製、ThermoplusEVO2）を用いて、N<sub>2</sub>ガス雰囲気下で室温~1000°Cまで昇温した。既往の研究<sup>3)</sup>を参考に、本研究では、405-505°C間の重量減少をCa(OH)<sub>2</sub>、600-800°C間での重量減少をCaCO<sub>3</sub>の熱分解によるものとした。

表-1 モルタルの使用材料

項目	記号	摘要
水	W	地下水, 密度 1.00g/cm <sup>3</sup>
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	砂岩砕砂, 表乾密度 2.61g/cm <sup>3</sup>
製鋼スラグ (SS)	A	転炉由来, 絶乾密度 3.33g/cm <sup>3</sup>
	E	転炉由来, 絶乾密度 3.17g/cm <sup>3</sup>
	H	電気炉還元由来, 絶乾密度 3.25g/cm <sup>3</sup>

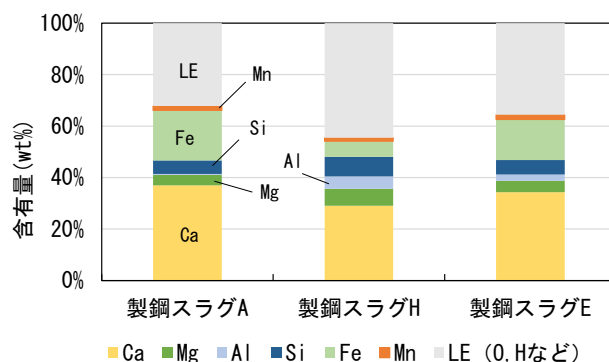


図-1 蛍光X線分析結果

表-2 モルタルの配合

ケース	W/C (%)	混合割合 (%)		単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
		S	SS	W	C	S	製鋼スラグ		
							A	E	H
ベース	50	100	0	294	588	1175	-	-	-
A-30		70	30	303	607	849	364	-	-
E-30				302	603	844	-	362	-
H-30				302	605	847	-	-	363

表-3 示差熱重量分析に用いた試料

名称	養生種類	採取場所
水中養生	水中養生	試験体中心
未炭酸化部	炭酸化養生	1%フェノールフタレインの呈色領域
炭酸化部		1%フェノールフタレインの呈色しない領域

キーワード 環境配慮型コンクリート, CO<sub>2</sub>吸収コンクリート, 製鋼スラグ, 炭酸化, CO<sub>2</sub>固定, CaCO<sub>3</sub>

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL.042-485-1111

### 3. 実験結果および考察

ベースおよびA-30のDTG曲線を図-2に示す。図より、水中養生について、いずれも $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の明確なピークが見られ、 $\text{CaCO}_3$ は僅かではあるがピークが認められた。本研究に用いた細骨材は $\text{CaCO}_3$ が含まれないことを確認しているため、水中養生における $\text{CaCO}_3$ は、普通ポルトランドセメント中の少量混合成分に由来する可能性がある。

次に、ベースに着目すると、未炭酸化部および炭酸化部ともに、僅かながら $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が確認されるとともに $\text{CaCO}_3$ の強いピークが見られた。既往の研究では、フェノールフタレインが呈色した領域でも、 $\text{CaCO}_3$ が生成される範囲があり、この範囲では、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と $\text{CaCO}_3$ が混在することが報告されている<sup>4)</sup>。本研究では、試験体を $\text{CO}_2$ 濃度80%という高濃度で養生していたことから、 $\text{CO}_2$ がフェノールフタレインの呈色領域まで浸透した可能性がある。

A-30に着目すると、未炭酸化部および炭酸化部において、明確な $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および $\text{CaCO}_3$ のピークが認められた。ベースと同様に、 $\text{CO}_2$ が内部まで浸透することで $\text{CaCO}_3$ が生成され、両鉱物が存在した可能性もあるが、別途実施した粉末X線回折においても、製鋼スラグA自体に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の存在が確認されたことから、この $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が示差熱分析によって検出された可能性がある。

各ケースにおける $\text{CaCO}_3$ の含有量を図-3に示す。図より、ケースによらず水中養生における $\text{CaCO}_3$ 量はほぼ同等であった。炭酸化部においても、 $\text{CaCO}_3$ 量は22.5~25.5wt%と同等であり、製鋼スラグの置換による $\text{CaCO}_3$ 量の明確な増加は確認されなかった。この理由として、いずれの製鋼スラグにも $\text{Ca}(\text{OH})_2$ や $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 、 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ の存在は粉末X線回折により確認されているが、本研究では細骨材相当の粒径であったために反応性が低く、結果として $\text{CaCO}_3$ の生成に寄与しなかったものと考えられる。なお、未炭酸化部に着目すると、いずれのケースでも炭酸化部の6割程度の $\text{CaCO}_3$ が確認された。前述のとおり、未炭酸化部であっても $\text{CaCO}_3$ が生成されていた可能性がある。

### 4. まとめ

$\text{CO}_2$ 固定源として期待される製鋼スラグを、細骨材の一部に置換したモルタルの $\text{CaCO}_3$ 含有量を評価した。本研究の範囲では、製鋼スラグを用いたことによる $\text{CaCO}_3$ 量の明確な増加は確認されなかった。今後、示差熱重量分析以外の $\text{CO}_2$ 固定量の分析方法や、製鋼スラグを小径化した際の $\text{CO}_2$ 固定能力について確認を行う予定である

(この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP16002)の結果得られたものです)

### 参考文献

- 1) 取違ほか: コンクリート構造物への強制炭酸化技術の適用による $\text{CO}_2$ 排出削減, コンクリート工学, Vol.48, No.9, pp.39-42, 2010.
- 2) 尾上俊雄: 製鋼スラグの有効利用, 日本金属学会会報, Vol.19, No.10, pp.752-760, 1980.
- 3) 取違ほか: 炭酸化したセメント系材料における $\text{CO}_2$ 固定量の評価手法および物性変化に関する研究, 土木学会論文集E2, Vol.77, No.2, pp.37-54, 2021.
- 4) 福島ほか: コンクリートの中性化深さの物理化学的意味について, セメント・コンクリート工学論文集, No.43, pp.424-429, 1989.

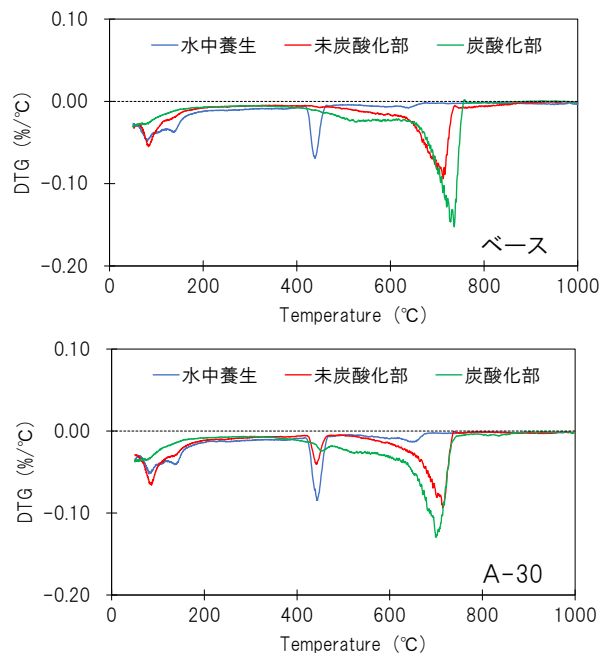


図-2 DTG曲線(ベース, A-30)

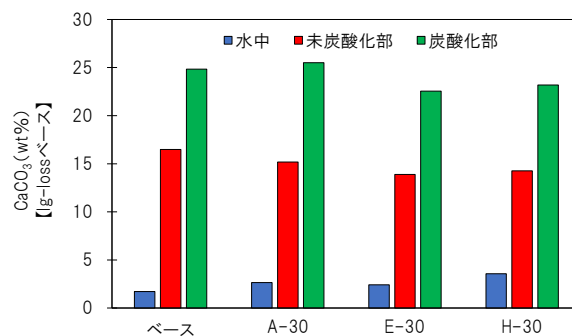


図-3 各ケースにおける $\text{CaCO}_3$ 含有量