

第V部門

2024年9月5日(木) 11:10 ~ 12:30 C201(川内北キャンパス講義棟C棟)

サステナビリティ (1)

座長：山田 悠二 (山口大学)

11:40 ~ 11:50

[V-42] コンクリート供試体を用いたCO₂吸収量定量方法に関する検討

*藤原 正佑¹、大江 隆史¹、小山 広光¹、伊代田 岳史² (1. 佐藤工業株式会社、2. 芝浦工業大学)

キーワード：CO₂吸収量、炭酸化、質量変化、中性化深さ、高炉スラグ微粉末

筆者らは、コンクリート供試体でCO₂吸収量の定量を行うため、普通ポルトランドセメントおよび高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートの炭酸化促進環境下における質量変化量、中性化深さから、CO₂吸収量を定量する方法について検討を行った。その結果、炭酸化によるコンクリートの空隙構造の変化に伴う水分逸散の補正が必要であることが示唆された。試算に用いた仮定や係数に関して、実験等により詳細な検証を行い、前提条件の精度を上げることにより、コンクリート供試体の質量変化や中性化深さからコンクリートのCO₂吸収量の推定が可能となると考えられる。

コンクリート供試体を用いた CO₂ 吸収量定量方法に関する検討

佐藤工業（株） 正会員 ○藤原 正佑, 大江 隆史, 小山 広光
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

近年、コンクリートの炭酸化反応に着目し、CO₂ をコンクリート内部に吸収、固定化させる技術の開発が進められている。製造時の CO₂ 削減量に、供用時のコンクリートの CO₂ 吸収量を考慮することで、コンクリートの CO₂ 排出量を削減と吸収によりネットゼロへと近付けることが期待できる。しかし、コンクリートがどの程度の CO₂ を吸収できるかの照査方法は標準が定められておらず、現時点では環境負荷低減効果を考慮した配合設計が確立されていない。筆者らは、コンクリート供試体で CO₂ 吸収量の評価を行うため、普通ポルトランドセメント（以下、OPC）および高炉スラグ微粉末（以下、GGBS）を使用したコンクリートを用い炭酸化促進環境下における質量変化量、中性化深さから、CO₂ 吸収量を定量する方法について検討を行った。さらに、炭酸化による質量変化量を試算し、測定値との比較を行った。

2. 実験概要

表-1 にコンクリートの配合、配合名および使用材料を示す。Φ100×200mm の円柱供試体を実験に用いた。供試体作製の翌日に脱型後、材齢 28 日まで標準養生を行い、その後、材齢 112 日まで恒温恒湿室（温度 20℃、湿度 60%RH、全面暴露）にて気中養生を行ったのちに炭酸化促進（温度 20℃、湿度 60%RH、CO₂ 濃度 5%、全面暴露）を開始した。炭酸化促進開始後、電子天秤により供試体の質量の測定と、一部の材齢において、円柱供試体の割裂面で中性化深さの測定を行った。

表-1 配合および使用材料

配合名	W/B (%)	GGBS/B (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad	AE	
					W	OPC	GGBS	S1	S2			G
50-0	50	0	4.5	45.3	165	330	0	239	584	1001	1.00	0.001
50-30		30	4.5	45.1	165	231	99	237	580	1001	0.95	0.001
50-50		50	4.5	44.9	165	165	165	236	576	1001	0.80	0.001
50-70		70	4.5	44.8	165	99	231	234	572	1001	0.85	0.001
70-0		70	0	4.5	45.3	160	229	0	268	653	1001	1.00
70-30	30		4.5	45.1	160	160	69	266	650	1001	0.97	0.001
70-50	50		4.5	44.9	160	114	114	266	650	1001	0.95	0.001
70-70	70		4.5	44.8	160	69	160	264	646	1001	0.93	0.001

使用材料

OPC：普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm³

GGBS：高炉スラグ微粉末、密度 2.89g/cm³、比表面積 4410g/cm²、SO₃ 2.07%

S1：山砂、茨城県行方市産、表乾密度 2.57g/cm³

S2：石灰石砕砂、栃木県佐野市市産、表乾密度 2.69g/cm³

G：砕石 2005、茨城県つくば市産、表乾密度 2.67g/cm³

Ad：リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体

AE：変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

3. 炭酸化により生じる質量変化量の試算

既往の研究¹⁾を参考に、単位 OPC、GGBS 量と中性化深さから炭酸化により生じる質量変化の試算を(1)~(4)式にて行った。試算は以下の仮定に基づき、表-2 の係数を用いることとした。①水和生成物である、水酸化カルシウム（以下、CH）と C-S-H が同時に炭酸化する。②水和生成物は C₃S、C₂S から生成される。また、水和率はすべての配合で 1 とする（表-2）。③生成される C-S-H の C/S 比を 1.5 とする。④中性化深さ＝炭酸化した領域とし、炭酸化した領域では CH と C-S-H がすべて CaCO₃ となる。⑤炭酸化によって生じる H₂O（分子量 18）は内部へ留まらず、すべて外部へ逸散する。

$$CH = OPC \times K4 \quad (1)$$

$$CSH_1 = OPC \times K5 \quad (2)$$

$$CSH_2 = GGBS \times K6 \quad (3)$$

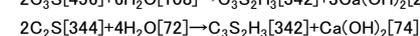
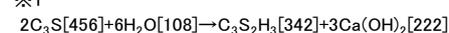
ここに、CH：OPC から生成される CH 量 (kg/m³)、

CSH₁：OPC から生成される C-S-H 量 (kg/m³)、

表-2 試算に用いた係数

GGBS/B (%)	結合材中の C ₃ S の構成比率 K1	結合材中の C ₂ S の構成比率 K2	水和率 K3	OPC由来の水和生成物の生成率 ^{※1}		GGBS由来の水和生成物の生成率 ²⁾
				K4 CH	K5 C-S-H	
0	0.50	0.20	1	0.29	0.57	0.4
30	0.35	0.14	1	0.20	0.40	0.4
50	0.25	0.07	1	0.14	0.26	0.4
70	0.15	0.02	1	0.08	0.13	0.4

※1



より、C₃SとCHおよびC-S-Hとの分子量比から算出

$$K4 : K1 \times K2 \times (222/456) + K2 \times K3 \times (74/344)$$

$$K5 : K1 \times K2 \times (342/456) + K2 \times K3 \times (342/344)$$

キーワード CO₂ 吸収量、炭酸化、質量変化、中性化深さ、高炉スラグ微粉末

連絡先 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区 1

佐藤工業株式会社 技術センター TEL070-1320-4731

CSH_2 : GGBS から生成される C-S-H 量 (kg/m^3), OPC : 単位 OPC 量 (kg/m^3), $GGBS$: 単位 GGBS 量 (kg/m^3)

$$\Delta m = V_c \times \left(CH \times \frac{44-18}{74} + CSH_1 \times \frac{132-5}{342} + CSH_2 \times \frac{132-54}{342} \right) \quad (4)$$

ここに, Δm : 炭酸カルシウム生成による質量変化量 (kg), V_c : 炭酸化 (中性化) した体積 (m^3)

4. 実験結果および考察

図-1 に炭酸化促進期間と質量変化率との関係を示す。質量変化率は, 炭酸化促進環境下においても, 気中養生と同程度の質量減少が生じているとみなし, 各測定値において気中養生供試体の質量変化率の減少分を補正したものである。図より, 50-0, 50-30, 70-0 は促進期間 162 日まで質量変化率が増加し続け, 50-50, 70-30 は質量変化率が促進初期において増加し, 78 日以降ではほぼ一定に推移する傾向となった。50-70, 70-50, 70-70 においては質量変化率が減少し続け, 92 日以降には養生前の質量よりも小さい値となった。水野らの研究³⁾では, GGBS を置換したコンクリートにおいて炭酸化により空隙構造が変化することを示唆する結果を得ており, 本検討においても, 特に GGBS/B=50, 70% といった配合で, 炭酸化の進行により空隙構造が変化し, 閉じた空隙が開放した空隙へと変化したことで, 内部に保持されていた自由水が外部に逸散し, 質量減少が生じたのではないかと考えられる。

図-2 に質量変化率の測定値と式(4)より算出された計算値との関係を示す。なお, V_c は促進期間 28 日の中性化深さから得られた中性化速度係数により算出している。図より, 50-0, 50-30 では, 測定値と計算値がおおむね一致したことが確認できる。しかし, それ以外の配合では, 促進期間の経過に伴い計算値が実測値より大きい傾向が確認された。乖離の要因は多岐にわたり考えられるが, そのうちのひとつとして上述した空隙構造の変化が考えられる。

そのため, GGBS を置換したコンクリートにおいては, 空隙構造の変化に伴う水分逸散を補正する必要があることが示唆される。また, 70-0 のように GGBS を置換していない配合においても, 実測時よりも計算値が高い結果となっており, 計算の仮定条件や試算に用いた係数に関してはより詳細な検証が必要である。

5. おわりに

本検討では, コンクリート供試体を用いて CO_2 吸収量評価方法の検討を行った。その結果, 炭酸化によるコンクリートの空隙構造の変化に伴う水分逸散の補正が必要であることが示唆された。試算に用いた仮定や係数に関して, 実験等により詳細な検証を行い, 前提条件の精度を上げることにより, コンクリート供試体の質量変化や中性化深さによるコンクリートの CO_2 吸収量の推定が可能となると考えられる。

参考文献

- 岡雅聡, 斎藤辰弥, 阿部道彦: 質量変化によるコンクリート中性化の評価, 工学院大学総合研究所・都市減災研究センター研究成果報告書 (平成 24 年度), pp69-72, 2013.
- 須田裕哉: C-S-H の組成と物理的性質の関係に基づいたセメント硬化体の性能評価に関する研究, 新潟大学博士論文, pp57-58, 2013.
- 水野博貴, 伊代田岳史: 炭酸化した高炉セメント硬化体の空隙構造変化が水分浸透性に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, 2019.

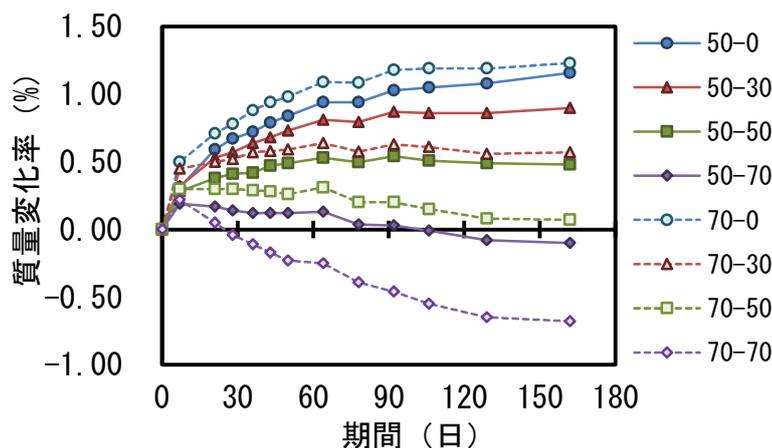


図-1 促進期間と質量変化率との関係

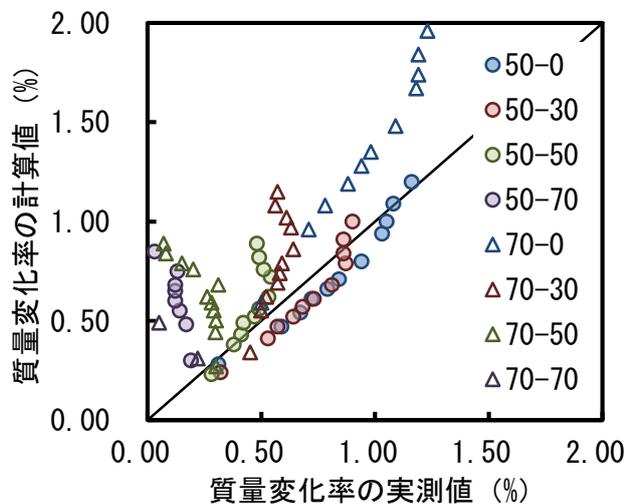


図-2 質量変化率の実測値と計算との関係