

## コンクリートの質量変化による CO<sub>2</sub> 吸収量定量に関する検討

### Study on determination due to CO<sub>2</sub> absorption by concrete specimen mass variation

#### キーワード

炭酸化, 中性化, CO<sub>2</sub> 吸収量, 質量変化  
高炉スラグ微粉末

藤原 正佑\*, 大江 隆史\*, 小山 広光\*  
伊代田 岳史\*\*

#### 研究概要

本研究では、コンクリートの炭酸化による CO<sub>2</sub> 吸収量の定量を質量変化の計測により試みた。普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートを用いて、炭酸化促進環境で含水率、質量、中性化深さの測定を行った。その結果、炭酸化がコンクリート内部の含水率の変化に及ぼす影響は小さいことを確認し、質量計測によって CO<sub>2</sub> 吸収量を定量できることを確認した。また、CO<sub>2</sub> 吸収量と促進期間の平方根との間には、おおむね比例の関係が確認でき、中性化深さと同様に、質量変化の経時変化を確認することで、CO<sub>2</sub> 吸収量を推定することが可能であると考えられる。

#### 1 はじめに

現在建設業界では、セメントを高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの混和材で置き換えることで、コンクリート全体の CO<sub>2</sub> 排出量を削減した低炭素型コンクリートのさらなる利活用が進められている。CO<sub>2</sub> をコンクリート内部に吸収、固定化させる技術の開発も進められており、製造時の CO<sub>2</sub> 削減量だけでなく供用時のコンクリートの CO<sub>2</sub> 吸収量を考慮することで、コンクリートの CO<sub>2</sub> 排出量を削減、吸収によりネットゼロへと近付けることが期待できる。

CO<sub>2</sub> 吸収量の定量方法には、一般に熱分析や全有機炭素分析、クーロメーターといった装置が用いられており、試験に用いる試料は粉碎したセメントペーストが一般的である。これらの手法は、特殊な装置が必要であり、また、コンクリート中の骨材や空隙の影響を考慮することは困難である。このような観点から、コンクリートの CO<sub>2</sub> 吸収量を簡易評価する方法の研究が進められている<sup>1)</sup>。

そこで筆者らは、CO<sub>2</sub> の侵入によるコンクリート供試体の質量変化から CO<sub>2</sub> 吸収量を簡易に定量できないかと考えた。本研究では、普通ポルトランドセメント (以下、OPC)、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の測定を行い、CO<sub>2</sub> 吸収量の評価のための実験を行った。また、炭酸化促進させたものと、気中養生したものの供試体内部の含水率をそれぞれ測定し、内部の含水状況を把握することで、コンクリート供試体の質量変化量から CO<sub>2</sub> 吸収量の定量を行った。

#### 2 実験概要

##### 2.1 コンクリートの配合

表-1にコンクリートの配合および使用材料を示す。水結合材比 (以下、W/B) を50%、単位粗骨材量を各配合で一定とし、GGBS 置換率 (以下、GGBS/B) を0、30、50、70%とした。60L 強制練りミキサで30L のコンクリートを練り混ぜ、目標スランプ15±2.5cm、目標空気量4.5±1.5%を満足するように混和剤使用量で調整を行った。練混ぜ後、所定のフレッシュ性状を確認し、Φ100×200mm の円柱供試体を1配合につき18本作製した。

##### 2.2 測定条件

図-1に測定フローを示す。供試体作製の翌日に脱型後、材齢28日まで標準養生を行った。その後、材齢165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、各供試体を湿式のコンクリートカッターで切断し、Φ100×100mm の供試体を1配合につき36本用意した。その後、材齢195日まで恒温恒湿室で養生したのち、供試体側面をアルミ箔テープでシールし、炭酸化促進 (温度20℃、湿度60%RH、CO<sub>2</sub>濃度5%、2面暴露) を開始した。比較として材齢195日以降も恒温恒湿室にて気中養生 (温度20℃、湿度60%RH、2面暴露) を施した供試体を炭酸化促進供試体と同数用意した。

\* 技術センター 土木研究部, \*\* 芝浦工業大学

表-1 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	GGBS/B (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						Ad (OPC+GGBS) x%	AE (OPC+GGBS) x%	結合材中のCaO含有率 (%)
					W	OPC	GGBS	S1	S2	G			
50-0	50	0	4.5	45.3	165	330	0	239	584	1001	1.00	0.001	65.2
50-30		30	4.5	45.1	165	231	99	237	580	1001	0.95	0.001	57.6
50-50		50	4.5	44.9	165	165	165	236	576	1001	0.80	0.001	52.4
50-70		70	4.5	44.8	165	99	231	234	572	1001	0.85	0.001	47.6
70-0	70	0	4.5	45.3	160	229	0	268	653	1001	1.00	0.001	65.1
70-30		30	4.5	45.1	160	160	69	266	650	1001	0.97	0.001	57.6
70-50		50	4.5	44.9	160	114	114	266	650	1001	0.95	0.001	52.6
70-70		70	4.5	44.8	160	69	160	264	646	1001	0.93	0.001	47.6

使用材料

OPC：普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm<sup>3</sup>  
 S1：山砂、茨城県行方市産、表乾密度2.57g/cm<sup>3</sup>  
 G：砕石2005、茨城県つくば市産、表乾密度 2.67g/cm<sup>3</sup>  
 AE：変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

GGBS：高炉スラグ微粉末、密度2.89g/cm<sup>3</sup>、比表面積4410g/cm<sup>3</sup>、SO<sub>3</sub> 2.07%  
 S2：石灰石砕砂、栃木県佐野市会沢産、表乾密度2.69g/cm<sup>3</sup>  
 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

2.3 測定内容

電子天秤により供試体の質量の測定を行った。炭酸化の進行度合いを確認するため、円柱供試体を割裂し中性化深さの測定を行い、割裂させた供試体において供試体内部の含水率の測定を行った。含水率の測定は、コンクリートドリルでコンクリート上面を2箇所、深さ50mmまで穿孔し、図-2に示す含水率測定器のワイヤブラシ型プローブを孔に挿入して行った。図-3に示す順序と位置で測定を行い結果の記録を行った。質量変化率、中性化深さ、含水率の測定は、炭酸化促進および気中養生期間が0日、7日、14日、21日、28日、56日で実施した。

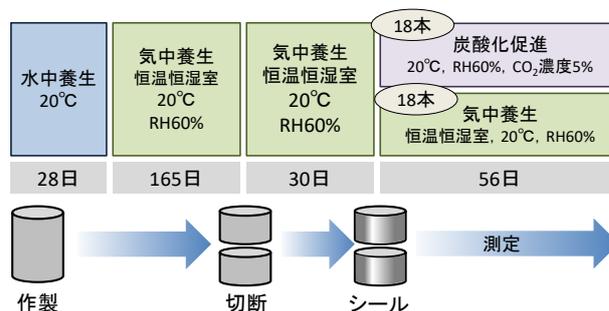


図-1 測定フロー

3 実験結果および考察

図-4に含水率の測定結果を示す。なお、炭酸化促進、気中養生期間0日、14日、28日、56日の測定結果を示したものである。図より、GGBS/Bが大きくなると、含水率の分布が小さくなる傾向がみられた。この傾向は、いずれの期間においても同様であった。次に、暴露条件に着目すると、炭酸化促進させたものと、気中養生させたものとは、いずれの期間においても明確な違いは確認されなかった。このことから、CO<sub>2</sub>濃度5%、促進期間56日の条件では、気中養生したものと水分の逸散に大きな違いはないことが推察される。

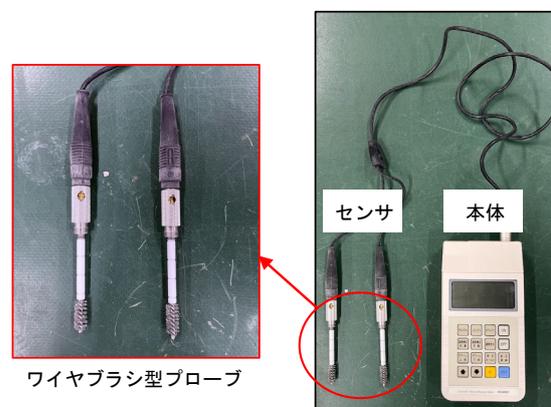


図-2 含水率測定器

図-5に炭酸化促進、気中養生期間と質量変化率との関係を示す。炭酸化促進させた供試体では、GGBS/Bが大きくなるほど質量変化率が小さくなる傾向となった。一方で、気中養生した供試体は、GGBS/Bの違いにより明確な差は認められなかった。

図-4, 5の結果より、炭酸化促進環境下における供試体においても気中養生供試体と同程度の乾燥による質量減少が生じていると考え、CO<sub>2</sub>吸収量の定量を試みた。図-6にCO<sub>2</sub>吸収量換算の概念を示す。炭酸化促進供試体の各測定値から気中養生供試体の質量変化率の減少分を控除し、CO<sub>2</sub>の吸収のみによって生じた質量変化率を算出した。その後、各配合の炭酸化促進前の質量の平均値に、各促進期間の質量変化率を乗じてCO<sub>2</sub>吸収量を算出した。図-7

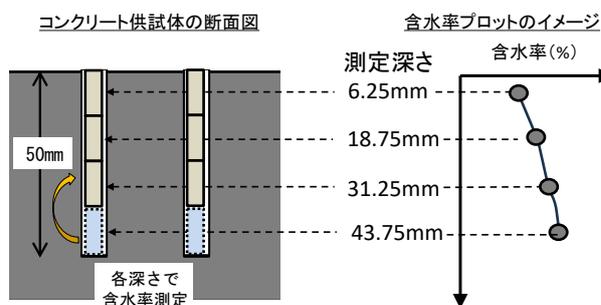


図-3 含水率の測定箇所

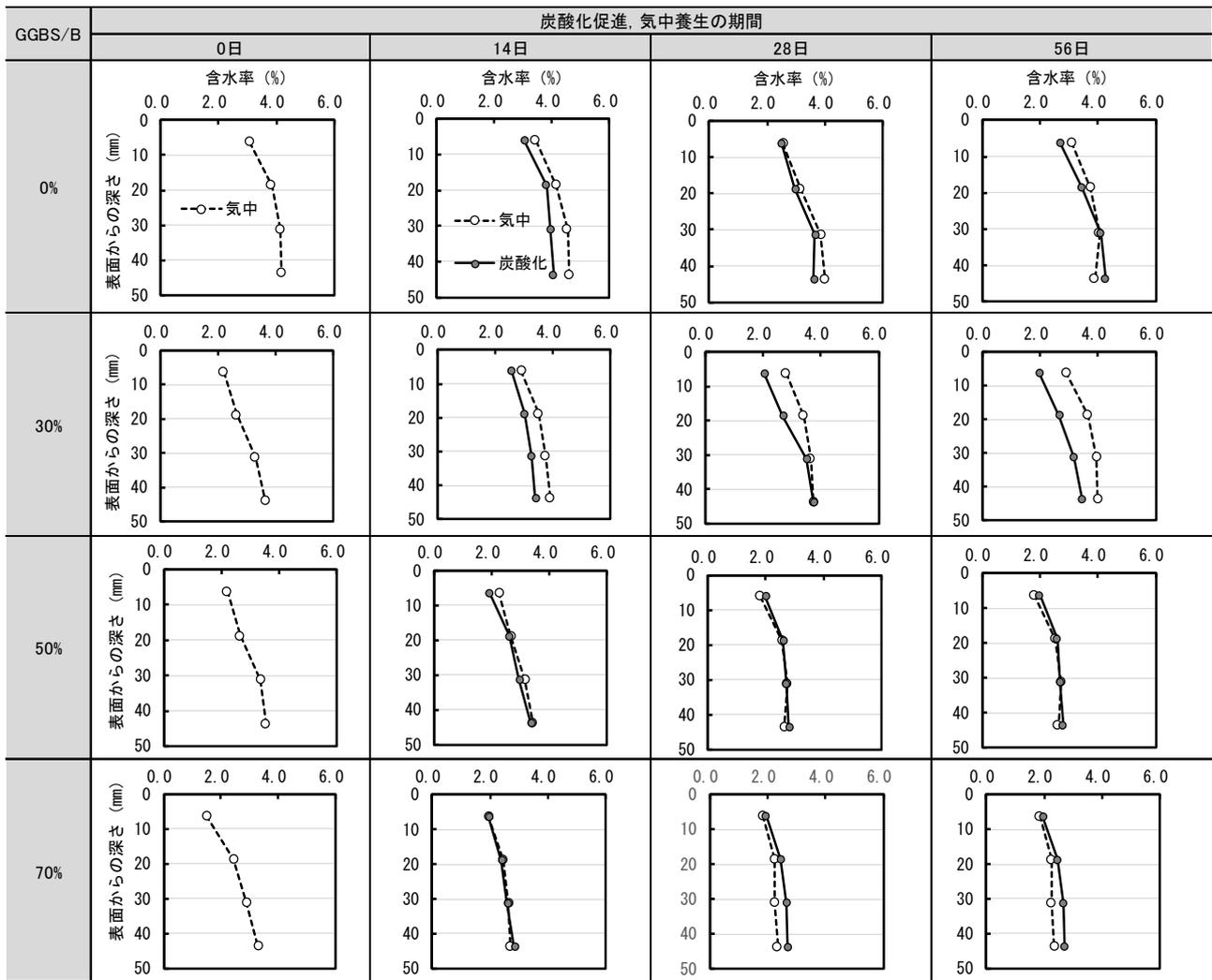


図-4 含水率の測定結果

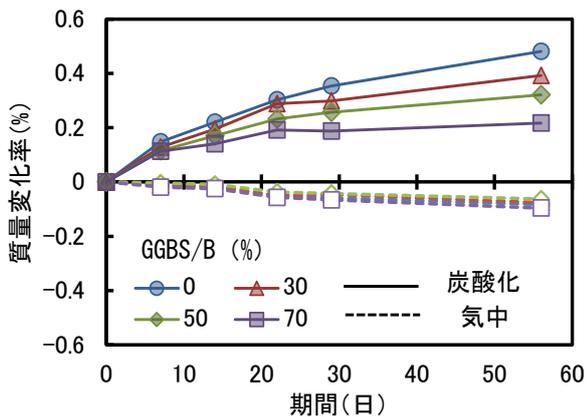


図-5 促進, 養生期間と質量変化率との関係

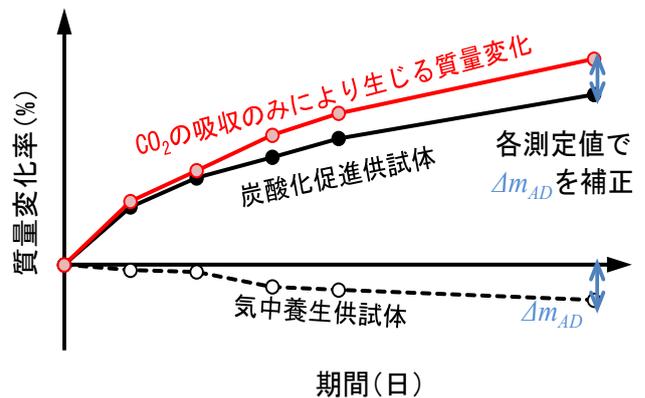


図-6 CO<sub>2</sub>吸収量換算の概念

にその算出結果を示す。図より、いずれの促進期間においても、GGBS/Bが大きくなるほどCO<sub>2</sub>吸収量は小さくなる結果となり、その差は促進期間が経過するほど大きくなる傾向がみられた。

図-8に促進期間とCO<sub>2</sub>吸収量との関係を示す。いずれの配合においても、CO<sub>2</sub>吸収量は促進期間の平方根とおおむね比例の関係が確認できた。このことから、中性化深さと同様に、質量変化の経時変化を確認することで、CO<sub>2</sub>吸

を示す。いずれのGGBS/Bにおいても中性化深さの増加に伴う吸収量を推定することが可能であると考えられる。図-9に、炭酸化促進供試体の中性化深さとCO<sub>2</sub>吸収量との関係を行い、CO<sub>2</sub>吸収量が増加する傾向が確認された。しかし、その勾配はGGBS/Bが大きいくほど小さくなった。これは、GGBS/Bが大きくなるほど、単位深さ(体積)あたりのCO<sub>2</sub>吸収量が小さくなるといえる。単位体積あたりのCO<sub>2</sub>吸収量は、CaO量に依存することを筆者らはセメントペースト

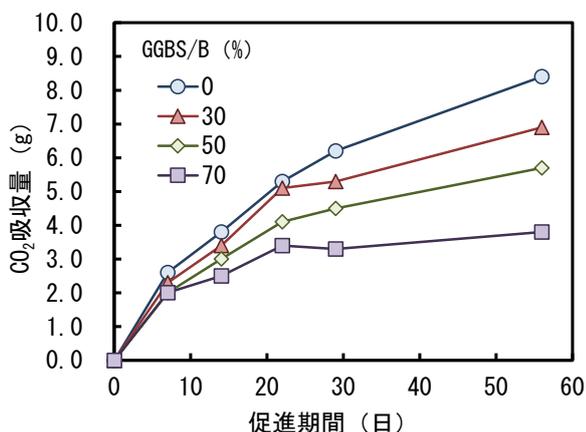


図-7 促進期間と CO<sub>2</sub> 吸収量との関係

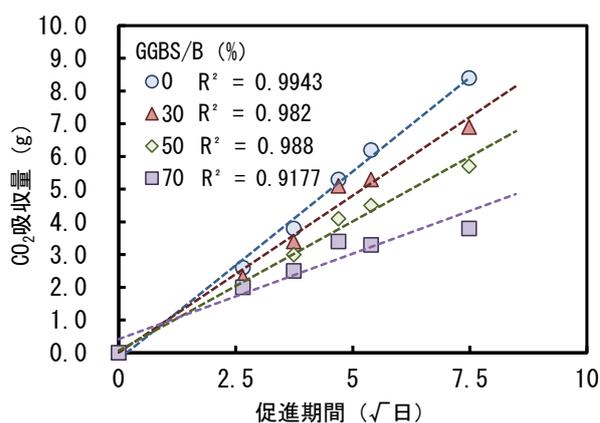


図-8 促進期間の平方根と CO<sub>2</sub> 吸収量との関係

を用いた実験りで確認している。本実験の各配合の結合材中の CaO 含有率は、表-1に示すように、GGBS/B が大きくなるほど小さくなっており、図-9で得られた結果においても、CaO 量に関係しているのではいかと推測される。

#### 4 おわりに

本研究では、コンクリート供試体の質量変化と含水率の測定結果から、CO<sub>2</sub>吸収量の定量を試みた。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 気中養生と炭酸化促進させたコンクリート供試体内部の含水率に明確な差異は確認されなかった。このことから、炭酸化が内部の含水状態に及ぼす影響は小さい。
- (2) 炭酸化促進させた供試体の質量変化量から気中養生供試体の質量変化量を差し引くことで CO<sub>2</sub>吸収量を定量した。その結果、GGBS/B が大きくなると CO<sub>2</sub>吸収量は減少した。
- (3) CO<sub>2</sub>吸収量は促進期間の平方根とおおむね比例の関係であった。このことから、中性化深さと同様に質量変化の経時変化を確認することで、CO<sub>2</sub>吸収量を推定することが可能であると考えられる。
- (4) 中性化深さが大きくなると CO<sub>2</sub>吸収量は増加する傾向が確認できた。しかし、その増加の勾配は GGBS/B が大きくなると小さくなった。

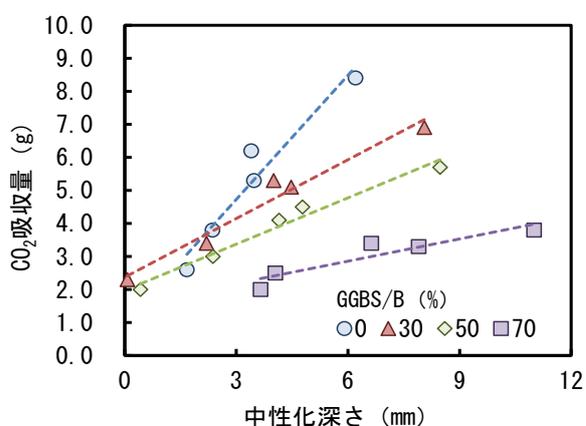


図-9 中性化深さと CO<sub>2</sub> 吸収量との関係

#### 参考文献

- 1) 関健吾, 境美緒, 向俊成, 山野泰明, 取違剛: 炭酸化養生時の質量測定結果に基づく CO<sub>2</sub> 固定量の簡易評価手法, 土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会, V-41, 2024.9
- 2) 八尋瑠奈, 小野寺就, 小山広光, 藤原正佑, 伊代田岳史: W/C やセメント種類が異なる配合における CO<sub>2</sub> 吸収量の定量化に向けた検討, 土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会, V-376, 2023.9