

質量変化によるコンクリートのCO₂吸収量推定に関する一検討

佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部

○藤原 正佑

小山 広光

芝浦工業大学 大学院理工学研究科社会基盤学専攻

八尋 瑠奈

芝浦工業大学 工学部土木工学課程

伊代田 岳史

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CO₂排出量を削減した低炭素コンクリートのさらなる利活用が進められている。また、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も進められている。製造時のCO₂削減量だけでなく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。そのためには、どのような配合のコンクリートがどの程度のCO₂を吸収できるかの評価方法の確立が求められる。

筆者らは、CO₂の侵入によるコンクリート供試体の質量変化からCO₂吸収量を簡易に評価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、CO₂吸収量の評価のための基礎実験を行った。

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の円柱供試体を作製した。

2. 2 養生条件

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。比較として材齢112日以降も恒温恒湿室にて気中養生を施した供試体を併せて用意した。

表1 コンクリートの配合および使用材料

W/B (%)	GGBS/B (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							Ad	AE
				W	OPC	GGBS	S1	S2	G	OPC _x %		
50	0	4.5	45.3	165	330	0	239	584	1001	1.00	0.0010	
	30	4.5	45.1	165	231	99	237	580	1001	0.95	0.0010	
	50	4.5	44.9	165	165	165	236	576	1001	0.80	0.0010	
	70	4.5	44.8	165	99	231	234	572	1001	0.85	0.0010	

OPC：普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm³GGBS：高炉スラグ微粉末、密度2.89g/cm³比表面積4410g/cm³、SO₃ 2.07%S1：山砂、茨城県行方市産、表乾密度2.57g/cm³S2：石灰石砕砂、栃木県佐野市市産、表乾密度2.69g/cm³G：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

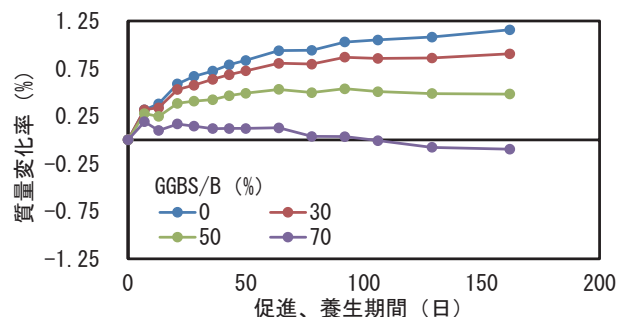


図1 促進期間と質量変化率との関係

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。また、炭酸化の進行度合いを確認するため、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い、割裂の際に割裂引張強度の測定を併せて行った。

3. 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。図に示す質量変化率は、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、GGBS/B=0、30%においては、養生期間162日においても質量変化率が増加し続けることを確認した。GGBS/B=50%においても、質量変化率が促進初期において増加する傾向を示したが、78日以降では、ほぼ一定に推移する傾向となった。一方で、GGBS/B=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減少する結果となった。

図 2 に炭酸化促進供試体の中性化深さと質量変化率との関係を示す。なお、中性化深さの測定は、炭酸化促進期間 0、28、78 日に行った。図より、GGBS/B=0%~50%では、中性化深さの増加に伴い質量変化率が増加していることが分かる。一方で、GGBS/B=70%においては他の配合よりも中性化が進行しているにもかかわらず、質量変化率はほとんど変化しなかった。

図 3 に促進、養生期間と割裂引張強度比（以下、強度比）との関係を示す。炭酸化促進前の強度比を 1 とした場合の強度比を示したものである。図より、78 日時点で強度比がいずれの配合においても増加していることが分かる。このことから、いずれの配合においても、炭酸化による空隙構造の緻密化が進展していることが示唆される結果となった。

水野¹⁾の研究では、OPC 単味のコンクリートは炭酸化により空隙構造が緻密化すること、GGBS を置換したコンクリートは炭酸化により連続した空隙構造を形成することを示唆する結果を得ている。本実験の GGBS を置換した配合についても、上述したような空隙構造の変化の影響を受けたと考え追加の実験を行った。促進、養生期間 28 日の供試体の質量を測定し、その後水中（20℃）に 24 時間浸漬させ、浸漬後の質量を測定し、吸水後の質量変化率を確認した。

図 4 に GGBS/B と水中浸漬 24 時間後の質量変化率との関係を示す。なお、図に示す質量変化率は、吸水前の質量を 0%としたものである。図より、GGBS を置換した配合では、気中養生よりも炭酸化促進環境下の方が浸漬後の質量変化率が大きくなる結果となった。また、この差は GGBS/B が増加するほど大きくなる結果となった。このことから、GGBS を置換したコンクリートは、炭酸化により空隙構造が変化し連続した空隙構造となることで、空隙内の水分が移動しやすくなったと推察される。

以上の結果から、GGBS/B=70%に関しては、コンクリート内部の水が外部へ移動し、質量変化率が減少したと推察される。GGBS/B=30、50%の配合に関しては、炭酸化の進行により質量変化率が増加する傾向が確認されたものの、上述した要因の影響により、実際にはさらに質量が増加していた可能性が高い。また、コンクリートは炭酸化反応に伴い水を生成することが知られているが、その水分が内部に留まるのか、それとも逸散するのかが明確ではない。本実験で計測した質量変化にはこの水分の影響も含まれていることが考えられる。

以上より、質量変化により CO₂ 吸収量を評価するためには、空隙構造の変化に伴う水分逸散量や炭酸化反応により生成した水分の影響を整理する必要があることが確認できた。

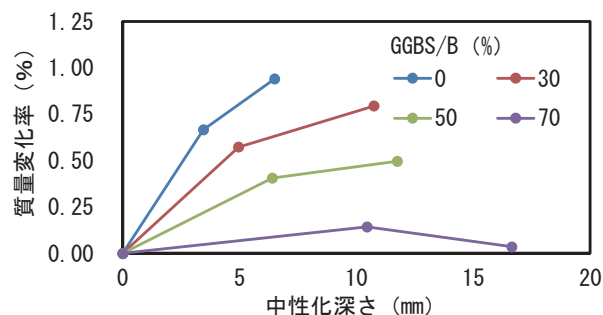


図 2 質量変化率と中性化深さとの関係

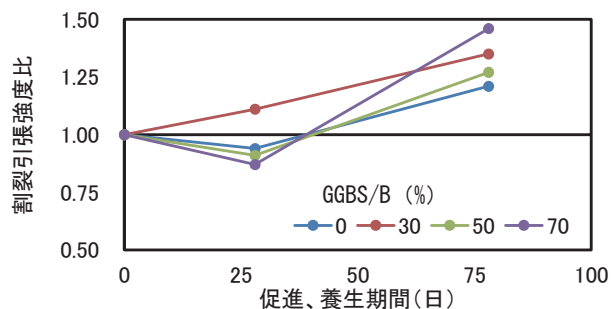


図 3 促進、養生期間と割裂引張強度比との関係

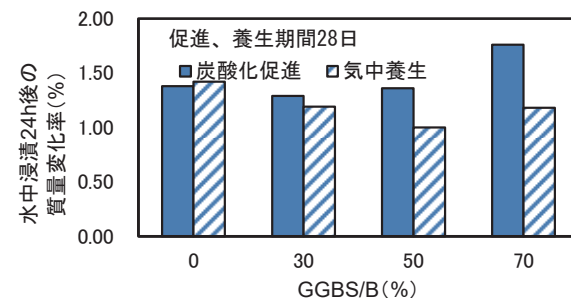


図 4 GGBS/B と質量変化率との関係

4. おわりに

本実験により、以下の知見が得られた。

- GGBS/B=0~50%の配合では、炭酸化の進行に伴い質量が増加する傾向が確認できた。その増加量は GGBS/B が小さくなるほど減少する結果となった。
- GGBS/B=70%の配合では、炭酸化の進行に伴い質量が減少する結果となった。これは、炭酸化の進行により空隙構造が変化し、多くの水分が逸散したためだと考えられる。
- 質量変化により CO₂ 吸収量を評価するためには空隙構造の変化に伴う水分逸散量や炭酸化反応により生成した水分の影響を整理する必要がある。

【参考文献】

- 1) 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、pp.665-670 (2019)