

各種炭酸化養生におけるモルタルの諸物性

長岡技術科学大学 学生会員○ 尾口 佳丈
鹿島技術研究所 正会員 取違 剛 正会員 渡邊 賢三
正会員 横関 康祐 フェロー 坂田 昇

1. はじめに

コンクリートの溶出や塩類によるコンクリートの侵食などを抑制する手法として、セメント硬化体を緻密化させることが有効である。その一手法として、ダイカルシウムシリケート γ 相(以下、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$)を混和して強制炭酸化させることによって、緻密な空隙構造を有し、溶解抵抗性に優れるコンクリート硬化体が形成されることを明らかにしている¹⁾。しかしながら、緻密な空隙構造を有し十分な炭酸化深さが得られる効率的な養生条件は明らかにされていない。以上のことから本研究では、十分な炭酸化深さを得ること、また、緻密な空隙構造を得るための最適な養生条件を明らかにすることを目的に、炭酸化養生時における CO_2 濃度、温度、湿度を要因として検討を行った。

2. 実験概要

使用材料を表-1 に示す。また、モルタルの配合を表-2 に示す。配合1は JIS R 5201:1997 のモルタル(以下、JIS モルタル)、配合2は JIS モルタルの細骨材に $\gamma\text{C}_2\text{S}$ をセメントの 30%vol. 置換したモルタル、配合3は混和材を用い、さらに W/B を低減させたモルタル¹⁾とした。また、配合1および配合2のセメントは OPC、細骨材は S1 を用いた。また、配合3のセメントは LPC、細骨材は S2 を用いた。

養生方法を表-3 に示す。供試体は $40\times 40\times 160\text{mm}$ の角柱供試体を用いた。モルタルを型枠に打設後、 20°C 、80%RH の環境下で 24 時間型枠養生を行い、脱型後、標準水中養生を 1 日行った。その後、5 日間環境条件を要因とした炭酸化養生を行った。ケース A は CO_2 濃度を要因とし、配合1、2および3において検討を行った。また、ケース B は温度を、ケース C は湿度を要因とし、配合3のみ検討を行った。各養生終了後、JIS R 5201:1997 に準拠して強度試験を行った。また、JIS K 8001:1998 に準拠して炭酸化深さを測定した。さらに、炭酸化部分から試料を採取し、水銀圧入法により空隙率を測定した。なお、炭酸化深さが 2mm 以下となった供試体は外側から 2mm をサンプルとした。

3. 試験結果および考察

図-1 に、ケース A における CO_2 濃度と炭酸化深さの関係を示す。また、図-2 に、ケース A における CO_2 濃度と空隙率の関係を示す。図-1 より配合1および2は CO_2 濃度が高くなるにつれて炭酸化深さが大

表-1 使用材料

項目	材料	記号	密度 g/cm^3	比表面積 cm^2/g	備考
セメント	普通ポルトランドセメント	OPC	3.16	3310	
	低熱ポルトランドセメント	LPC	3.22	3480	
細骨材	ISO標準砂	S1	2.64	-	
	山砂/砕砂	S2	2.59	-	FM:2.73
混和材	混和材	AD	-	-	
	ダイカルシウムシリケート γ 相 $\gamma\text{C}_2\text{S}$	$\gamma\text{C}_2\text{S}$	2.85	1500	
混和剤	高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系 ポリアルキレングリコール誘導体		
	空気量調整剤	AE			

表-2 モルタルの配合

配合	W/C (%)	W/B (%)	S/C (%)	単位量 (kg/m^3)				
				W	C	AD	$\gamma\text{C}_2\text{S}$	S
1	50	50	300	225	450	0	0	1350
2	50	50	300	225	450	0	135	1215
3	43	30	-	195	454	195	195	1282

表-3 養生方法

ケース	配合	材齢		
		0~1日	1~2日	2~7日
A	1, 2, 3	湿潤	水中	CO_2 濃度: 5, 20, 50, 80% ※温度: 40°C , 湿度: 50%RH
		湿潤	水中	温度: 10, 25, 40, 60, 70°C ※ CO_2 濃度: 20%, 湿度: 50%RH
B	3	湿潤	水中	湿度: 30, 50, 70, 90%RH ※ CO_2 濃度: 20%, 温度: 40°C
		湿潤	水中	
C	3	湿潤	水中	
		湿潤	水中	

キーワード 炭酸化, 緻密化, $\gamma\text{C}_2\text{S}$, 空隙率, 炭酸化養生

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 TEL: 0258-47-1611

きくなる傾向を示している。これはフィックの拡散則でも示されるように、 CO_2 濃度が増大することによるものと考えられる。一方、配合 3 は CO_2 濃度が高くなるにつれて炭酸化深さが小さくなる傾向を示している。これは、図-2 にあるように、配合 3 では CO_2 濃度が高くなると、配合 1, 2 に比べてマトリクスが飛躍的に緻密化したためと推察される。さらに配合 1 と 2 を比較した場合、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ が混入されている配合 2 は、配合 1 よりも空隙率ならびに炭酸化深さが小さくなっている。これは、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ が CO_2 と反応することにより CaCO_3 生成による緻密化が促進されたためと考えられる。また、配合 3 が飛躍的に緻密化した要因として、配合 3 は配合 1, 2 に比べ水結合材比が低減されていること、上述した $\gamma\text{C}_2\text{S}$ の効果によるものなどが考えられる。

次に、ケース B における温度と炭酸化深さおよび空隙率の関係を図-3 に示す。図より温度が高いほど炭酸化深さが大きく、空隙率が小さくなる傾向を示していることがわかる。これは、温度を高くすることにより、 CO_2 の浸透速度と $\gamma\text{C}_2\text{S}$ と CO_2 の炭酸化反応の両者が促進されるためと考えられる。

ケース C における湿度と炭酸化深さおよび空隙率の関係を図-4 に示す。図より、湿度 50%RH で炭酸化深さが最も大きくなり、既往の結果²⁾と同様の傾向となった。また、炭酸化深さが最も大きい湿度 50%RH で最も緻密になっていることが分かった。これは、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ の炭酸化反応率およびセメントの水和率が、湿度 50%RH において最も大きくなるためと考えられた。

4. まとめ

本研究で、 $\gamma\text{C}_2\text{S}$ が CO_2 と反応することにより、緻密化を増進することが確認された。一方、配合 3 は混和材を用い、さらに W/B を低減させた配合のため CO_2 濃度が高くなるにつれて表面が飛躍的に緻密化し炭酸化が進まないことが推察された。また、温度を高くすることで、炭酸化が促進され、炭酸化深さが大きく、かつ緻密になることが確認された。

今回の実験結果の範疇においては、炭酸化深さと空隙率を同時に得るために、適した炭酸化養生条件は CO_2 濃度 20%、温度 70℃、湿度 50%RH であると推察された。

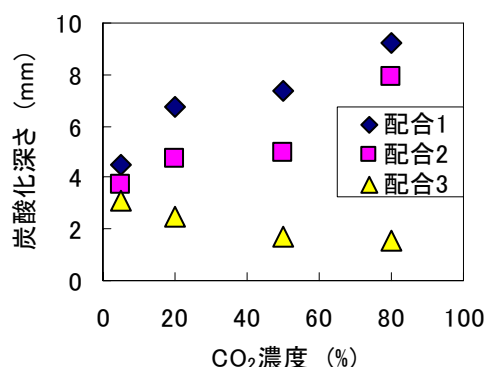


図-1 CO_2 濃度と炭酸化深さの関係

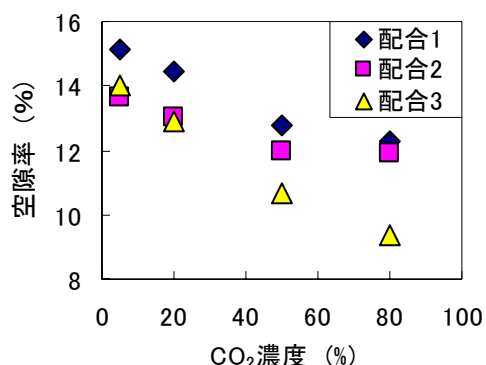


図-2 CO_2 濃度と空隙率の関係

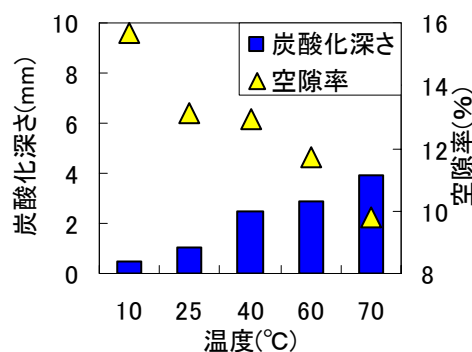


図-3 温度と炭酸化深さおよび空隙率の関係

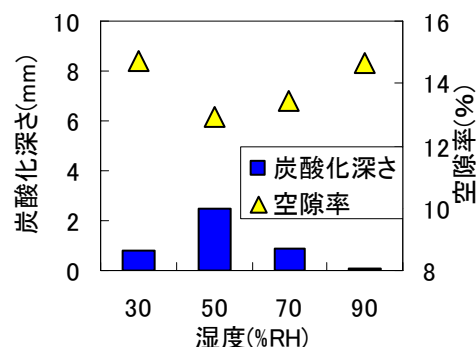


図-4 湿度と炭酸化深さおよび空隙率の関係

参考文献

- 1) 渡邊ほか： $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ を用いたセメント系材料の炭酸化による高耐久化，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.735-740，2004
- 2) 小林一輔：コンクリートの炭酸化に関する研究，土木学会論文集，Vol.15，No.433，pp.1-14，1991