

コンクリート構造物の炭酸化反応による強度特性と長期耐久性に関する一考察

JR 東日本(株) 正会員 ○高山 充直

JR 東日本(株) 正会員 廣田 元嗣

1. 序論

コンクリートの炭酸化反応が、耐久性や強度特性の向上に与える効果について実験による検証を行った。コンクリートの炭酸化反応は、これまで鉄筋の腐食に関する劣化要因として扱われることが多かった。しかし、最近では炭酸化反応よりも「かぶり」や「水分供給」が鉄筋の腐食に影響する要因であることが指摘されている¹⁾。また、コンクリートやモルタルの炭酸化反応による炭酸化層の形成により、表層の緻密化や圧縮強度が増加するとした既往の研究²⁾も報告されており、炭酸化反応が長期耐久性の向上に効果的な現象となる可能性がある。

本稿では、炭酸化反応によるコンクリートの強度特性の変化と、炭酸化層の組成の変化について調査を行い、得られた結果について報告する。

2. 試験概要

2-1. 使用材料およびコンクリート配合

表-1 コンクリート配合

本試験で用いた供試体のコンクリート配合を表-1に示す。供試体は円柱供試体(φ100mm×200mm)を使用した。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には大井川水系の陸砂(絶乾密度2.52g/cm³, 吸水率2.34%)を、粗骨材には青梅産の砕石(絶乾密度2.64g/cm³, 吸水率0.56%)を使用した。水セメント比(以下、W/C)は55%とし、コンクリート打設後は温度50°C相対湿度95%以上の恒温恒湿室で湿空養生を210日間行い、強度発現の安定を図った。

呼び強度(N/mm ²)	スランプ(cm)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m ³)			
				C	W	S	G
27	13.0	55	47	305	168	836	970

2-2. 実験方法

供試体の炭酸化促進は、20°C・RH60%・CO₂5%の促進試験機にて26週まで行った(以下、促進供試体)。また、比較供試体として20°C・RH60%の環境で促進養生と同期間気中養生を行った供試体(以下、標準供試体)を準備した。強度試験の直前には各供試体の重量を測定し、炭酸化による単位重量の変化を確認したほか、1次共鳴振動数を測定し、動弾性係数を求めた。強度試験は促進養生及び気中養生共に26週後に圧縮強度試験と割裂引張試験を行った。圧縮強度試験では応力とひずみの関係から静弾性係数を求め、引張強度試験体の割裂面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液(以下、PP溶液)を噴霧し、強度試験時の炭酸化深さを測定した。また、コンクリートの耐久性には水和反応によって形成される、けい酸カルシウム水和物(C-S-H)の性質が重要であり、C-S-Hの性質はCa/Si比の影響を受けることが知られている³⁾。そこで、蛍光X線装置により、供試体の炭酸化層と非炭酸化層のCa/Si比に着目した比較検討を行った。

3. 試験結果および考察

3-1. 試験結果

1) 炭酸化深さと重量の変化

炭酸化深さは2供試体の平均値とし、促進13週で11.2mm、促進26週で16.3mmであった。これは、コンクリート標準示方書で示している炭酸化の予測式(\sqrt{t} 則)⁴⁾で「乾燥しやすい環境」として計算した場合、経年50年程度に相当する。また、促進26週での単位重量は、標準供試体で22.7kN/m³、促進供試体で23.1kN/m³であった。表層部の炭酸化反応により単位重量は約3%増加した。

キーワード 長期耐久性, 炭酸化反応, 強度特性, 組成分析, Ca/Si比

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目2番6号 東日本旅客鉄道(株) TEL 03-6276-1251

2) 強度試験

表-2 強度試験の結果一覧

表-2 に各供試体における圧縮強度試験と弾性係数の試験結果を示す。炭酸化反応にともない、圧縮強度は7.1%増加しているが、逆に弾性係数は両者とも低下する傾向となった。特に、静弾性係数は0.8%の低下であったのに対し、動弾性係数の低下は6.7%となった。図-1に圧縮試験で破壊した円柱供試体を観察した状況を示す。破壊面にPP溶液を噴霧したところ、炭酸化領域と非炭酸化領域の界面で破壊していることが解った。

	供試体 No.	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)	動弾性係数 (N/mm ²)
標準供試体	S1	55.3	30331.0	38156.0
	S2	54.3	30445.0	36556.8
	Ave.	54.8	30388.0	37356.4
促進供試体	D1	59.9	-	34050.7
	D2	58.1	30159.0	35986.7
	Ave.	59.0	30159.0	35018.7
促進/標準 (%)		7.1%	-0.8%	-6.7%

3) 組成分析

炭酸化領域と非炭酸化領域のコンクリートの組成の違いを確認するため、組成分析を行い、Ca/Si比の違いを確認した。図-2に結果を示す。炭酸化領域と非炭酸化領域では、Ca/Si比が互いに増減する結果となっており、炭酸化反応により表層の組織が変化するとした既往の知見と一致する結果となった。

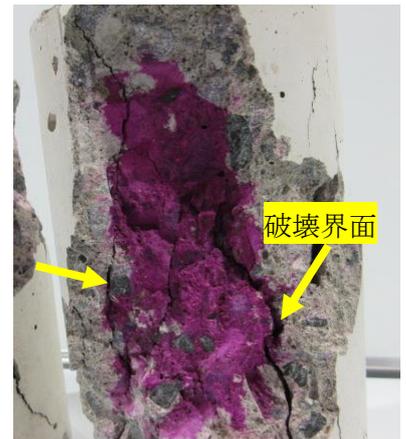


図-1 圧縮試験による破壊状況

3-2. 考察

促進炭酸化試験から、炭酸化にともなう単位重量の増加が確認された。水酸化カルシウムが炭酸カルシウムに変化して密度が増加したことや、図-2 から炭酸化領域でCa/Si比が低下していることから、炭酸化層で組成の変化が生じ、緻密化していることが推測され、物質移動抵抗性の向上に効果がある可能性がある。

強度試験から、炭酸化による圧縮強度の増加が確認された。一方、静弾性係数と動弾性係数は炭酸化により低下する傾向であった。特に、動弾性係数の低下が生じており、炭酸化領域と非炭酸化領域では別の組成を持った硬化体となっていることが考えられる。圧縮強度試験の観察においても、炭酸化界面で破壊が生じていることがわかった。このことから、炭酸化反応による強度の増加が確認されたが、これは炭酸化した表層の強度増加や弾性係数の変化が影響しているものと考えられる。

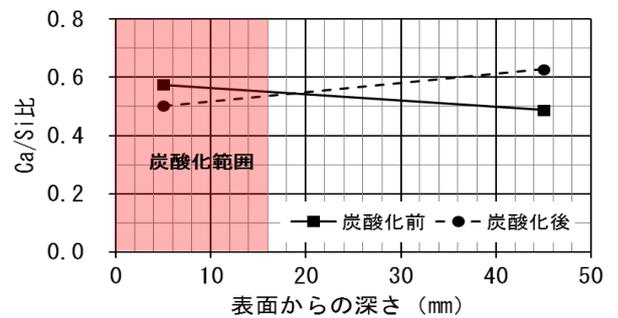


図-2 炭酸化によるCa/Si比の変化

4. まとめ

炭酸化反応によるコンクリートの強度特性と硬化体組成の変化に着目した試験を行い、以下を確認した。

- ・ 炭酸化領域の重量増加とCa/Si比の変化から、表層が緻密化していることが推測される。このことから、物質移動抵抗性の向上に効果がある可能性がある。
- ・ 炭酸化反応による強度の増加が確認されたが、炭酸化した表層部の強度増加や弾性係数の変化が影響しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道構造物への水の影響と維持管理：松田芳範,セメント・コンクリート, No.812, Oct.2014.
- 2) コンクリートの諸特性に及ぼす炭酸化の影響に関する研究：尼崎省二,第6回コンクリート工学年次講演会論文集,1984.
- 3) C-S-Hの組成がコンクリートの耐久性に及ぼす影響：佐々木謙二,佐伯竜彦,Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.56, No.8, pp.699-706, Aug.2007.
- 4) 2013 制定 コンクリート標準示方書 維持管理編：土木学会,2013.9.