

材齢初期に炭酸化の影響を受けたモルタルにおける圧縮強度および静弾性係数の分布

鹿島建設(株) 正会員 ○尾口佳丈 関 健吾 取違 剛 向 俊成 田口翔也
東洋大学 横関康祐

1. はじめに

カーボンリサイクルの観点からコンクリート材料の炭酸塩化、すなわち炭酸化反応が注目を浴びている。今後は、積極的に炭酸化させたコンクリート構造物の増加も想定される。ここで、炭酸化によってコンクリートの圧縮強度が増加する¹⁾ことや、石灰石微粉末を用いたコンクリートは、同一強度のコンクリートと比較して静弾性係数が向上する²⁾ことが報告されている一方で、材齢初期から強制的に炭酸化させたコンクリートの静弾性係数やその分布については不明な点が多い。そこで本研究では、将来、炭酸化を積極的に取り入れながら、耐久的な構造物を設計・構築していくことを想定し、材齢初期からの強制的な炭酸化反応がコンクリートの圧縮強度および静弾性係数に及ぼす影響を実験的に評価した。

2. 実験概要

実験ケースを表-1に示す。配合種類は「高炉B種」およびCO₂排出量を大幅に低減した「環境配慮型」の2種とし、それぞれについて20℃水中養生または20℃炭酸化養生を行った試験体を対象とした。

モルタルの使用材料および配合を表-2および表-3にそれぞれ示す。高炉B種はOPCとBFSを質量比1:1で混合した。環境配慮型は、高炉B種と比較してCO₂排出量をさらに低減するため、 γ -C₂Sを使用するとともに、OPCの配合比率を低減した。練混ぜはモルタルミキサを用い、100mm×100mm×400mmの角柱供試体を採取した。打込み後、材齢1日で脱型し、1日乾燥期間を設けた後に、両稜面を残して4面をアルミテープで封緘した。その後、温度20℃、相対湿度50%、CO₂濃度80%環境下にて、材齢28日まで強制炭酸化を行い、その後は20℃、相対湿度80%の環境下で材齢92日まで静置した。また、比較用として、脱型後から20℃水中養生を実施した供試体も用意した。

試験項目を表-4に示す。材齢92日の時点で、図-1に示すように、コンクリートカッターを用いて試験体を切断し、端部稜面からの炭酸化深さを測定した。その後、試験体端部から5~50mmの間隔で、UCI法³⁾による測定を実施した。UCI法は、微小領域における圧縮強度および静弾性係数を測定できることから、強制炭酸化した範囲におけるモルタルの力学的特性の未炭酸化部との違いを評価した。

表-1 実験ケース

配合種類	養生条件	
	20℃水中養生	20℃炭酸化養生
高炉B種	○	○
環境配慮型	○	○

表-2 モルタルの使用材料

項目	記号	摘要
水	W	水道水, 密度 1.00g/cm ³
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm ³
	BFS	高炉スラグ微粉末, 密度 2.92g/cm ³
混和材	γ	γ -C ₂ S, 密度 2.95g/cm ³
	S	砕砂 (最大径 5mm), 密度 2.64g/cm ³
混和剤	Ad	AE減水剤, リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体

表-3 モルタルの配合

配合	W/P (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad
		W	OPC	BFS	γ	S	
高炉B種	50.0	243	243	243	-	1456	1.22
環境配慮型			146	194	146	1446	

W/P: 水粉体重量比, P=OPC+BFS+ γ

表-4 試験項目

項目	材齢	摘要
炭酸化深さ	95日	JIS A 1152
圧縮強度, 静弾性係数		UCI法 ³⁾ , 図-1参照

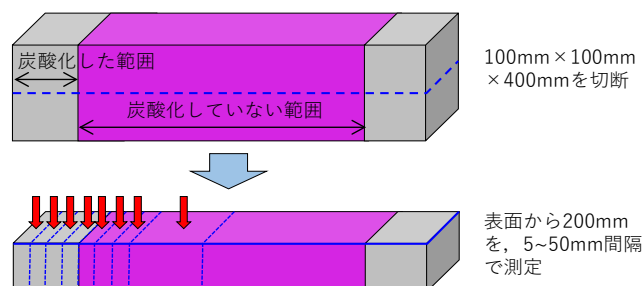


図-1 UCI法の測定位置

キーワード 環境配慮型コンクリート, CO₂吸収コンクリート, 炭酸化, カーボンリサイクル, 静弾性係数

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL. 042-485-1111

3. 実験結果および考察

炭酸化深さの測定結果を図-2に示す。UCI法を実施した面での炭酸化深さは、高炉B種で27.0mm、環境配慮型で26.0mmであり、どちらも同程度の炭酸化深さであった。

UCI法にて得られた静弾性係数の表面からの分布を図-3に示す。同図は、水中養生した供試体の静弾性係数に対する、炭酸化養生した供試体の静弾性係数を比で表したものである。同図中には図-2より得られた炭酸化深さも併記した。図-3より、高炉B種は炭酸化深さを境に、表面側すなわち炭酸化した範囲の静弾性係数比が低下しており、最も表面では未炭酸化領域の0.76となった。既往の研究⁴⁾では、炭酸化によって普通ポルトランドセメントを用いた場合は細孔構造が緻密となるものの、高炉スラグ微粉末を内割で50wt%以上置換した場合は比較的大径の細孔量が増加し、空隙率も大きくなることが報告されている。このことから、本研究における高炉B種も、炭酸化の影響を受けて空隙の粗大化が生じ、静弾性係数が低下したものと考えられる。一方で、環境配慮型は、炭酸化した領域では静弾性係数比が多少低下するものの、高炉B種と比較するとその程度は少なく、最表面でも0.82の静弾性係数比であった。この理由として、環境配慮型はCO₂と反応して緻密化する γ -C₂Sを使用しているため、高炉B種と比較して炭酸化した範囲も細孔構造の粗大化が生じにくく、表面付近と内部で静弾性係数の分布が生じにくかったものと推察される。なお、本研究では炭酸化の途中で試験を実施したが、炭酸化をより進行させることで、炭酸化部はさらに緻密化するものと考えられる。

UCI法にて測定した、各深さでの圧縮強度と静弾性係数の関係を図-4に示す。図より、配合種類および炭酸化の有無によらず、いずれの測定結果も、圧縮強度と静弾性係数には同様の傾向があることが分かった。また、炭酸化した高炉B種は、圧縮強度が19.4~37.4N/mm²、静弾性係数が17.6~25.8kN/mm²と広く分布していた。一方、環境配慮型は、圧縮強度が19.6~25.9N/mm²、静弾性係数が18.1~21.9kN/mm²であり、炭酸化の影響によらず均質な物性であることが確認された。

4. まとめ

炭酸化がコンクリートの力学的特性に及ぼす影響を把握することを目的に、UCI法を用いて圧縮強度および静弾性係数の分布を評価した。その結果、高炉スラグ微粉末を用いた配合は、材齢初期の炭酸化の影響によって圧縮強度および静弾性係数の幅広い分布が認められたものの、 γ -C₂Sを使用することでその影響を改善できることが示された。

(この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP16002)の結果得られたものです)

参考文献

- 1) 魚本健人, 高田良章; コンクリートの中酸化速度に及ぼす要因, 土木学会論文集, No.451/V-17, pp.119-128, 1992.8.
- 2) 社団法人セメント協会; 石灰石微粉末専門委員会報告書, pp.44-45, 2001.10.
- 3) 稲葉洋平, 関田徹志, 親本俊憲; UCI法によるコンクリート強度推定に関する基礎研究, 鹿島技術研究所年報, 第62号, pp.119-124, 2014.9.
- 4) 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.14, No.1, pp.665-670, 2019.

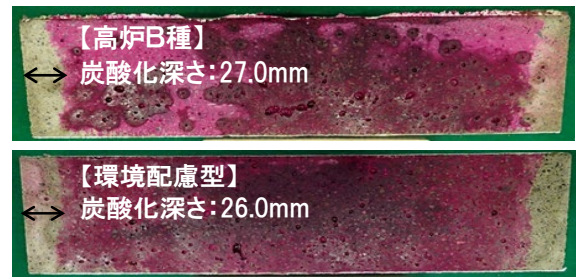


図-2 炭酸化深さ

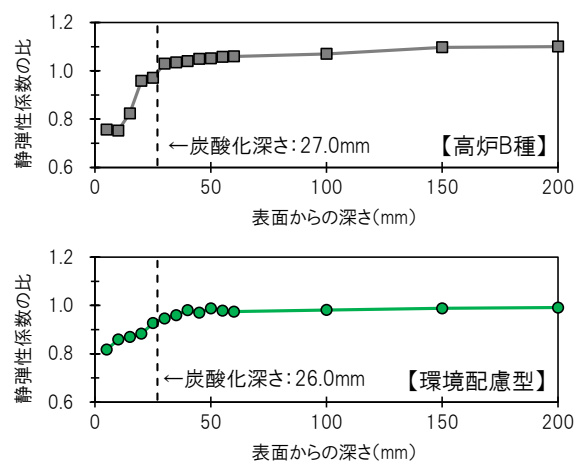


図-3 静弾性係数の分布 (炭酸化養生/水中養生)

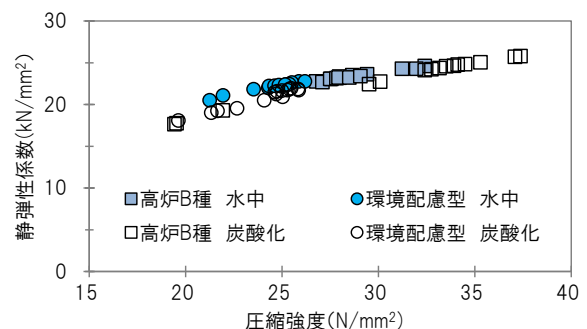


図-4 UCI法における圧縮強度と静弾性係数の関係