

炭酸化したコンクリートの CO₂ 固定量評価方法に関する一考察

鹿島建設株式会社 正会員 ○取違 剛 木村 彩永佳 関 健吾 横関 康祐
中国電力株式会社 正会員 吉岡 一郎 中本 健二
電気化学工業株式会社 正会員 樋口 隆行 庄司 慎

1. 目的

建設分野に関わる CO₂ 排出量は、セメント製造時や鉄筋製造時の CO₂ 排出量までカウントすると全産業の約 1/4 を占めるといわれており¹⁾、コンクリート分野での CO₂ 削減は地球温暖化を抑制するうえで非常に大きな役割を担うと考えられる。このような背景のもと、著者らはこれまでに、コンクリートの炭酸化反応に着目し、高濃度の CO₂ にて強制的に炭酸化させたコンクリートは CO₂ を大量に固定していることを化学的な分析によって実証してきた²⁾。この化学的な分析は、試料の微粉碎や酸への浸漬など複数の工程があり、分析に日数を要することから、炭酸化させたコンクリートを大量に製造したときの CO₂ 固定量の評価方法としては煩雑となる。そこで本検討は、強制的に炭酸化したコンクリートの簡易な CO₂ 固定量評価方法として、pH 指示薬呈色深さの適用性を把握することを目的として、検討を行った。

2. 実験概要

本検討に用いたコンクリートの使用材料を表-1 に、配合を表-2 に示す。このコンクリートを練り混ぜて歩車道境界ブロック C 種（上辺 18cm，下辺 21cm，高さ 30cm，長さ 60cm）製造用型枠に打ち込み，1 日後に脱型した。その後，コンクリートブロックを 50℃，40%RH に管理された炭酸化養生設備内に搬入し，7 日間炭酸化養生を行った。炭酸化養生に用いる CO₂ には，火力発電所から排出される排気ガスを用いた。この排気ガスに含まれる CO₂ 濃度は実験期間中 17～20%で推移していた。

養生終了後のコンクリートブロックを割裂し，フェノールフタレイン 1%溶液を噴霧し，中性化深さを測定した。また，フェノールフタレインの濃度が中性化深さの測定結果に及ぼす影響を把握するために，0.1%および 5%濃度のフェノールフタレイン溶液を噴霧して呈色深さを測定した。さらに，フェノールフタレイン溶液よりも高 pH 領域で呈色するアリザリンイエロー GG0.1%溶液，チモールフタレイン 0.1%溶液をそれぞれ割裂面に噴霧し，呈色深さを測定した。これらの方法で測定した呈色深さと CO₂ 吸収量との関係を把握するために，1%フェノールフタレイン溶液にて中性化と判断された部分と未中性化と判断された部分から試料を採取し，コンクリート表面からの CO₂ 固定量の分布を測定した。CO₂ 固定量は，無機炭素分析装置（クーロメータ）にて硬化体中の無機炭素量を定量し，CO₂ 量に換算して求めた²⁾。

表-1 コンクリートの使用材料

材料	記号	摘要
水	W	水道水
セメント	HPC	早強ポルトランドセメント 密度: 3.14g/cm ³ ，比表面積: 4,510cm ² /g
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末 密度: 2.91g/cm ³ ，比表面積: 4,400 cm ² /g
	γ	炭酸化混和材 密度: 3.00g/cm ³ ，比表面積: 2,010 cm ² /g
	F	石炭灰 密度: 2.18g/cm ³ ，比表面積: 3,640 cm ² /g
細骨材	S	混合砂（陸砂 60：砕砂 40） 密度: 2.61g/cm ³ ，FM: 2.64
粗骨材	G	碎石 Gmax=20mm 密度: 2.68g/cm ³ ，FM: 6.62
混和剤	AD	AE 減水剤 変性リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸系化合物の複合体
	AE	空気量調整剤 アーク及びノニオン系特殊界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

W/P (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)							AD	AE
				W	C	BFS	γ	F	S	G	(P×%)	(P×%)
48	46.0	8±2.5	4.5±1.5	172	86	115	86	71	784	935	1.0	0.13

※P=HPC+BFS+γ+F

キーワード：炭酸化，CO₂ 吸収量，pH，フェノールフタレイン

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 TEL 042-489-6752 FAX 042-489-8435

3. 実験結果

(1) 各種 pH 指示薬の呈色深さ

各種 pH 指示薬の呈色領域と色調を表-3 に示す。各種 pH 指示薬を噴霧したときの、炭酸化養生 7 日におけるコンクリートの呈色状況を写真-1 に、呈色深さの測定結果を図-1 に示す。フェノールフタレイン溶液の濃度が高くなることで赤紫色が鮮明に呈色され、かつ呈色深さが若干小さくなることがわかった。表-3 に示すように pH 指示薬の呈色下限値には幅があり、フェノールフタレイン濃度が高いほど低い pH でも呈色するために、このような差が生じたものと考えられる。次に、pH 指示薬の違いに着目すると、同一濃度 (0.1%) において、フェノールフタレインとチモールフタレイン、アリザリンイエロー GG で呈色深さはほぼ同等であった。本検討で使用した pH 指示薬の呈色域は 8.3~11.1 であることから、コンクリート表面から 16.5mm~19.75mm のわずか 3.25mm の範囲で、大きな pH の変化が生じていると推察された。

(2) 中性化深さと CO₂ 固定量の分布

コンクリート表面からの深さと CO₂ 固定量の関係を図-2 に示す。ここで、CO₂ 固定量測定用の試料としては、深さ方向に表面~19.5mm (中性化部分), 19.5~50 mm, 50~100 mm にて試料を採取し、当該箇所の試料を全粉砕して測定に供した。図-2 より、中性化している表面~19.5 mm では CO₂ を大量に固定しているものの、それより内部ではほとんど CO₂ が固定されていないという結果が得られた。既往の研究では、硬化したコンクリートを CO₂ 濃度 10% の環境で促進中性化させた場合、コンクリート内の CO₂ 固定量は内部になだらかに分布するとされている³⁾ が、本検討のように材齢初期から高濃度の CO₂ とコンクリートを接触させる場合には、コンクリートと CO₂ の反応は、浸透した CO₂ がその場で直ちにセメント成分と反応し、その場での反応が終了したら内部に進む、“反応律速”になっている可能性が示された。また、コンクリートの CO₂ 固定領域は、フェノールフタレイン溶液 1% を用いた中性化深さで簡易的に評価できる可能性が示された。

表-3 各種 pH 指示薬の呈色領域と色調

pH 指示薬	記号	呈色下限値	色調
フェノールフタレイン	PP	8.3~10.0	無色~赤紫
チモールフタレイン	TP	9.3~10.5	無色~青
アリザリンイエロー GG	AY	10.1~11.1	無色~黄褐色

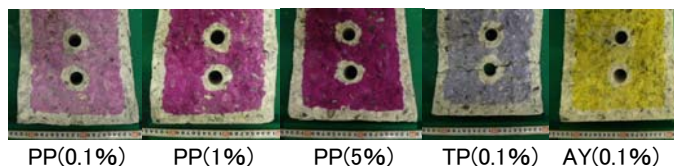


写真-1 各種 pH 指示薬噴霧後の呈色状況

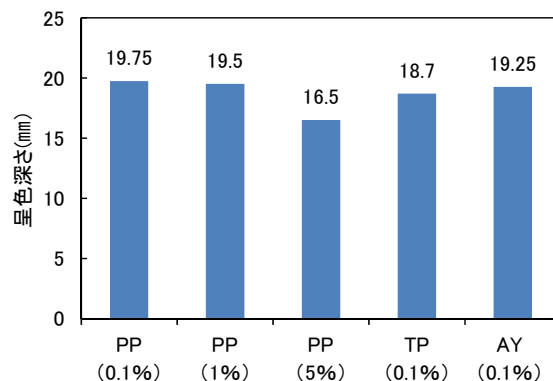


図-1 各種 pH 指示薬の呈色深さ

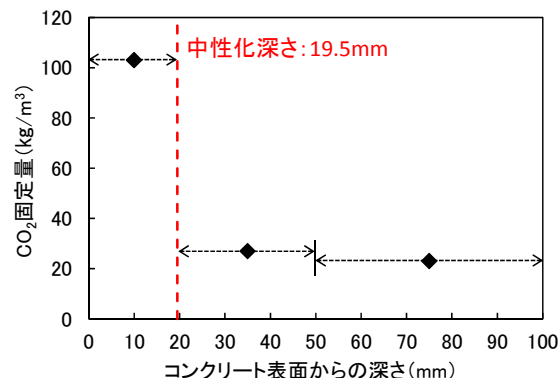


図-2 CO₂ 固定量の深度分布

4. まとめ

本検討により、強制的に炭酸化したコンクリートのフェノールフタレイン法による中性化深さが、コンクリート中における CO₂ 固定領域とほぼ一致することが明らかとなった。今後は、フェノールフタレイン法による中性化深さを CO₂ 固定量の簡易評価手法として確立するために、さらにデータを蓄積する予定である。

参考文献

- 1) 日本建設機械化協会：建設施工における地球温暖化対策の手引き，p.3，2003.7 2) 取違ほか：炭酸化養生を行ったコンクリートの CO₂ 収支ならびに品質評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1450-1455，2012 3) 張ほか：中性化によるコンクリート内の二酸化炭素吸収量分布，第 52 回セメント技術大会講演要旨，pp.262-263，1998