

材齢初期から強制炭酸化を行った際にモルタルから逸散する水分量の検討

鹿島建設(株) 正会員 ○関 健吾 境 美緒 向 俊成 取違 剛

1. はじめに

カーボンリサイクルの観点から、コンクリート中へのCO₂固定、すなわち炭酸化反応によるCO₂の鉱物化に大きな期待が寄せられている。筆者らはこれまでに、高濃度CO₂環境下で強制的にコンクリートの炭酸化を促進させる“炭酸化養生”に関する研究¹⁾を行っている。ここで、コンクリートの炭酸化速度は環境条件の影響を受けることが知られており²⁾、より短時間で炭酸化を完了するには適切な温湿度条件を保つことが望ましい。例えば、プレキャストコンクリート工場で炭酸化養生中の温湿度を制御することを想定すると、炭酸化過程でコンクリートから逸散する水分量を把握することは制御装置の仕様を決定する上で重要である。しかし、材齢初期から炭酸化養生を行った際の水分発生量に関する知見は少ない。そこで本研究では、実験により炭酸化養生中に発生する水分量の評価を行った。

2. 実験概要

実験ケースを表-1に示す。温度およびガス種類を要因に試験を実施した。炭酸化養生では、炭酸化を促進させるため養生温度を高めることが好ましいが、それによって飽和蒸気圧が変化して自由水の一部がコンクリートから蒸発・逸散する現象と、炭酸化反応によって水分が発生する現象の両者が同時に進行すると考えられる。そこで、恒温恒湿槽を2台用意し、それぞれに供試体を配置した状態でN₂ガスもしくはCO₂ガスを槽内に満たし、槽内での供試体の重量変化を連続測定することで、炭酸化養生過程で逸散する水分量の把握を試みた。

使用材料を表-2に、配合を表-3に示す。材料をモルタルミキサーにて練り混ぜた後、φ50×100mmの供試体を作製した。20℃で封緘養生を行い材齢1日で脱型し、20℃・60%RHで3時間静置した後に、表-1に示す環境条件でN₂ガスもしくはCO₂ガスを流量4L/minで供給しつつ、所定の温湿度に制御しながら養生を行った。なお、CO₂ガスを供給した際の試験期間の平均CO₂濃度は86%であった。試験項目を表-4に示す。重量変化は供試体8本をデジタルスケールに乗せ、養生開始から10分毎に測定・記録した。炭酸化状況は、養生開始から64hおよび136h経過後に、重量変化測定用とは異なる供試体を用いて、割裂面に1%フェノールフタレイン溶液を噴霧して呈色状況を観察した。

3. 実験結果および考察

各ケースの重量変化を図-1に示す。図より、N₂ガスを供給した場合、養生時間の経過に伴い重量が減少した。重量減少率は温度が高くなるほど大きくなる傾向であり、136h時点で5.5～7.3%であった。このことから、養生温度が高くなった場合、水和が促進されることによる結合水の増加と比較して、飽和蒸気圧の上昇による水分逸散が卓越していたものと推察される。ここで、N₂ガス環境下における、136h時点での重量変化から算出した供試体からの逸散水量の試算結果を表-5に示す。試算においては、細骨材中に含まれる水量は無視した。表より、養生温度が高くなるにつれて、供試体の初期水量に対する逸散水量は増加する傾向であり、単位水量に対して51～65%の水が逸散する結果であった。

表-1 実験ケース

ケース	温度	相対湿度	ガス種類
N-20℃	20℃	40%	N ₂ ガス もしくは CO ₂ ガス
N-35℃	35℃		
N-50℃	50℃		

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	C	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm ³
細骨材	S	砕砂、密度2.64g/cm ³ 、吸水率1.03%
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複合体

表-3 モルタルの配合

配合種類	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	Ad
N	50.0	243	486	1474	1.22

表-4 試験項目

項目	試験期間	摘要
重量変化	136hまで	φ50×100mmを8本
炭酸化状況	64h, 136h	1%フェノールフタレイン噴霧

キーワード 環境配慮型コンクリート、炭酸化、CO₂濃度、水分逸散、重量変化

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

一方で、図-1 より、CO₂ ガスを供給した場合、重量変化は炭酸化開始直後においては減少傾向だったが、それ以降は増加傾向であった。これは、炭酸化反応の過程で重量が増加したことを示している。ここで、図-1 の CO₂ ガス環境下における結果は、飽和蒸気圧の影響による水分逸散と、炭酸化反応による重量増加の両者を含んだ結果と考えられる。そのため、CO₂ ガスと N₂ ガスを満たした場合の重量変化差を取ることで、CO₂ ガスによる重量変化、すなわち炭酸化反応による重量変化を評価できると考えられる (図-2)。図より、20℃および 35℃と比較し、50℃は養生初期の重量増加率が大きかったが徐々に緩やかとなった。ここで、養生開始から 64h および 136h 経過後に測定した炭酸化状況を図-3 に示す。図より、64h の時点で 20℃と 35℃の供試体中心部は炭酸化しておらず、50℃は全面の炭酸化がほぼ完了していた。136h の時点では、20℃と 35℃も全面の炭酸化がほぼ完了し、50℃は完全に炭酸化していた。これは、図-2 の重量増加とも同様の傾向であった。これらの結果から、本手法により炭酸化の進行状況を評価できる可能性がある。

次に、炭酸化反応で発生した水分量の試算を試みた。試算にあたって、炭酸化反応は全て以下の式(1)のみで進行し、かつ生じた H₂O は直ちに全て蒸発・逸散し、図-2 で示した重量変化率に影響を及ぼさないものと仮定した。この場合、1mol の Ca(OH)₂(74g/mol)が炭酸化すると、1mol の CaCO₃(100g/mol) が生成され、同時に 1mol の H₂O(18g/mol)が蒸発・逸散することとなる。この仮定に基づくと、図-2 に実線示した重量変化率は、Ca(OH)₂ が炭酸化によって CaCO₃ へと反応した際の重量増に相当することとなる。

$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \quad (1)$$

(74 g/mol) (44 g/mol) (100 g/mol) (18 g/mol)
上記の仮定に基づき、炭酸化反応で発生した後に蒸発・逸散した H₂O 量の試算結果を図-2 中に併記した。試算結果は 4.0 ～5.3%であった。以上より、本研究の範囲では、炭酸化養生過程で逸散する水分量は、飽和蒸気圧によるものが供試体重量の 5.5～7.3%、炭酸化反応によるものが 4.0～5.3%と試算された。なお、これらの値は配合条件や養生条件等の影響を受けると考えられるため、今後、より詳細な検討が必要と考えられる。

4. まとめ

炭酸化養生に用いる装置設計に資するデータ取得を目的に、N₂ もしくは CO₂ 環境下で養生を行い、供試体から逸散する水分量を評価した。その結果、本研究の範囲では、①飽和蒸気圧の影響によりモルタル重量の 5～7%程度、単位水量の約 50 ～60%の水が逸散すること、②炭酸化反応でモルタル重量の 5%程度の水分が発生する可能性が示された。

(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) 関ほか;CO₂ ガスを用いた養生における気相・固相中の CO₂ 収支, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1234-1239, 2022.
2) 和泉ほか; コンクリート構造物の耐久性シリーズ中性化, 技報堂出版, pp.32-34, 1986.

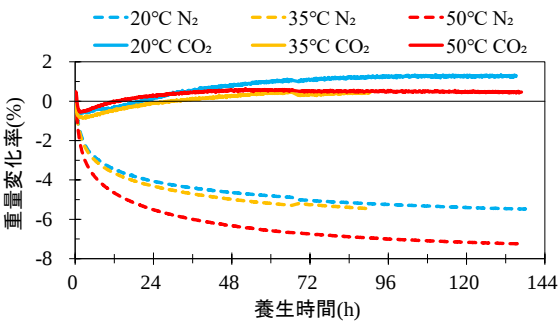


図-1 供試体の重量変化

表-5 N₂ ガス環境における逸散水量の試算結果

養生温度	単位水量 (kg/m ³)	供試体総体積 (L)	供試体の初期水量 A(kg)	逸散水量 B(kg)	B/A
20℃	243	1.57	0.381	0.196	0.51
35℃				0.215	0.56
50℃				0.250	0.65

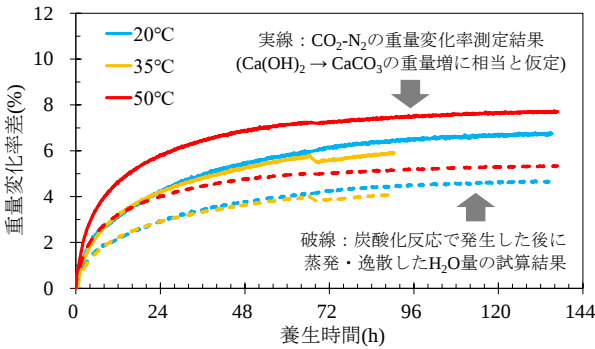


図-2 CO₂ 環境と N₂ 環境の差分

	20℃	35℃	50℃
64h	 途中	 途中	 ほぼ完了
136h	 ほぼ完了	 ほぼ完了	 完全炭酸化

図-3 各温度における炭酸化の進行状況