

ナノバブル CO₂ 溶解水を用いたセメントペーストの CO₂ 固定に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○山川 剛 中嶋翔平 関 健吾 取違 剛 水野 健

1. はじめに

地球温暖化対策として、建設分野でもより一層の CO₂ 排出量削減が求められており、この対策としてコンクリートの炭酸化反応に注目が集まっている。ここで、CO₂ をナノバブルとして練混ぜ水中に溶解させた場合、溶存したイオン状の CO₂ に加えて、ナノバブルの形態で浮遊する CO₂ も存在すると考えられる (図-1)。ナノバブルは粒径が非常に小さいため、水中で長時間浮上してこないことが期待でき、このナノバブル CO₂ 溶解水 (以下、ナノバブル水) を練混ぜ水として使用することで、溶存 CO₂ に加えて、水中に浮遊する CO₂ もコンクリート中へ固定できる可能性がある。そこで本研究では、ナノバブル発生装置を用いてナノバブル水を作製し、CO₂ の溶解量を評価した。その後、ナノバブル水を練混ぜ水に用いてペースト試験体を作製し、硬化体への CO₂ 固定量を評価した。

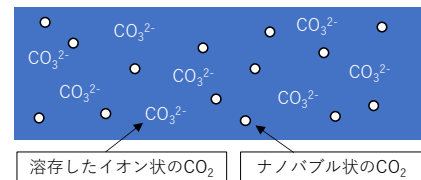


図-1 ナノバブル水中の CO₂ 存在イメージ

2. 実験概要

ナノバブル水の製造状況を写真-1 に示す。水槽に 150L の水道水を用意し、ナノバブル発生装置を用いて水道水にナノバブル CO₂ を導入 (以下、バブリング) した。工業用 CO₂ の供給圧力は 0.25MPa、供給量は 5.5L/min とした。バブリングは、ナノバブル水の溶存 CO₂ 濃度が上昇しなくなった時点で終了した。



写真-1 ナノバブル CO₂ 溶解水の製造状況

ペーストの使用材料および配合を表-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種とし、練混ぜ水も水道水とナノバブル水とした。ナノバブル水はバブリング終了直後のものを使用した。供試体 (φ50mm×h100mm) は打込み後、脱型せずに 20°C、60%RH の養生室で 7 日間の封緘養生を行った。

ナノバブル水の試験項目を表-2 に示す。所定の経過時間ごとに水槽中層部からナノバブル水を採取し、pH および溶存 CO₂ 量を測定した。また、ナノバブル水を運搬する場合を想定して、振動やせん断といった外力がナノバブル水中の CO₂ 濃度に及ぼす影響を評価するため、測定の際にハンドミキサーを用いてナノバブル水を 1 分間攪拌した場合の溶存 CO₂ 量も測定した。

硬化したセメントペーストを対象とした試験項目を表-3 に示す。打込み後、所定の材齢にて脱型して供試体の割裂面で 1% フェノールフタレイン溶液を用いて炭酸化深さを測定した。また、材齢 7 日の供試体から試料を採取し、示差熱重量分析装置を用いて、N₂ ガスをフローした環境下で 20°C/分で 1000°C まで昇温することで炭酸カルシウムの定量を行った。既往の研究¹⁾を参考に、本研究では 600~800°C 間の重量変化を炭酸カルシウムの脱炭酸によるものとした。

表-1 ペーストの使用材料および配合

No.	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)			
		水道水	ナノバブル水	OPC	BB
1	40	558	—	1397	—
2		—	558		
3		549	—	—	1371
4		—	549		

OPC : 普通ポルトランドセメント, 密度 : 3.16g/cm³

BB : 高炉セメント B 種, 密度 : 3.04g/cm³

表-2 ナノバブル水の試験項目

項目	試験方法	水準
pH	pH メーター	1 回/10 分
溶存 CO ₂ 量	CO ₂ 濃度計 [※]	

※ 浮遊するナノバブル状 CO₂ は測定不可

表-3 セメントペーストの試験項目

測定項目	試験方法	材齢
炭酸化深さ	JIS A 1152	1, 2, 7 日
CO ₂ 固定量	示差熱重量分析	7 日

キーワード : 環境配慮型コンクリート, ナノバブル, CO₂ 固定量, 示差熱重量分析

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

3.1 ナノバブル水

ナノバブル水について、バブリング開始から終了までの pH と溶存 CO₂ 量の経時変化を図-2 に示す。開始後 30 分で、溶存 CO₂ 量は 800mg/L 程度まで上昇した。それ以降は増加幅が小さくなり、70 分経過した時点で溶存 CO₂ 量は 850mg/L となり、上昇が見られなくなった。CO₂ の水への溶解度の理論値は 1,628 mg/L (21°C, 1 気圧)²⁾ であることから、本研究で溶解した CO₂ 量は、理論値の約 5 割程度であった。pH の経時変化に着目すると、バブリング開始から 5 分程度で pH が 8.3 から 5.6 まで低下して弱酸性となり、その後の pH はほぼ一定であった。溶存 CO₂ 量は pH に依存し、高 pH であるほど増加する³⁾。このことから、ナノバブル CO₂ の溶解に伴って pH が低下したことで、理論値に対して溶存 CO₂ 量が低下した可能性がある。

バブリング終了後の溶存 CO₂ 量の推移を図-3 に示す。終了後 2 時間が経過時点で 1 割低下し、24 時間後には半減した。また、ハンドミキサーで攪拌した場合、静置状態と比較して溶存 CO₂ 量は 50mg/L 程度低下した。このことから、ナノバブル水をコンクリートの練混ぜ水に使用する際は、バブリング直後に使用することが望ましいと考えられる。

3.2 セメントペースト

炭酸化深さを確認したところ、いずれの材齢も割裂面全体が赤紫色に呈色し、炭酸化を確認できなかった。そこで、供試体の中心 3 箇所から試料を採取し、示差熱重量分析に供した。炭酸カルシウムの定量結果から単位水量 175kg/m³ のコンクリート 1m³ 中に固定される CO₂ 量を試算した (図-4)。図より、ナノバブル水を用いた場合は、水道水の場合よりも CO₂ 含有量が OPC で 1.3kg/m³、BB で 2.3kg/m³ 増加する結果となった。ここで、図-2 に示したナノバブル水の溶存 CO₂ 量 850mg/L からコンクリートの練混ぜ水

175kg/m³ 中に含有される CO₂ 量を算出すると、 $175 \times 850 / 10^6 = 0.15 \text{ kg/m}^3$ となる。図-4 でナノバブル水を使用した場合における CO₂ 含有量の増加分は、溶解した CO₂ を超える結果であった。このことから、本研究で使用したナノバブル水の中には、溶解した CO₂ の他にナノバブル形態で浮遊する CO₂ も存在していた可能性がある。

4. おわりに

ナノバブル CO₂ 溶解水を製造し、溶存 CO₂ 量を測定するとともにセメントペーストの練混ぜ水に用いて CO₂ 固定量を評価した。その結果、コンクリート 1m³ あたり、1~2kg 程度の CO₂ を固定できる可能性が示された。レディーミクスコンクリートの年間使用量は約 6,300 万 m³ であるため⁴⁾、ナノバブル水を練混ぜ水に用いることで、6.3 万 t の CO₂ をコンクリート中に固定できる可能性がある。

(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) 取違ほか; 炭酸化したセメント系材料における CO₂ 固定量の評価手法および物性変化に関する研究, 土木学会論文集 E2, Vol.77, No.2, pp.37-54, 2021.
- 2) 古川ほか; 二酸化炭素の溶解度, 化学と教育, 50 巻, 6 号, pp.458-460, 2002.
- 3) エンジニアリング協会; 地球温暖化対策等に貢献するエンジニアリング調査研究補助事業 CO₂ 地中中和処理の研究報告書, pp.19-21, 2014.3.
- 4) 経済産業省; 平成 30 年生コンクリート統計年報【概況】, pp.1-5, 2019.5.

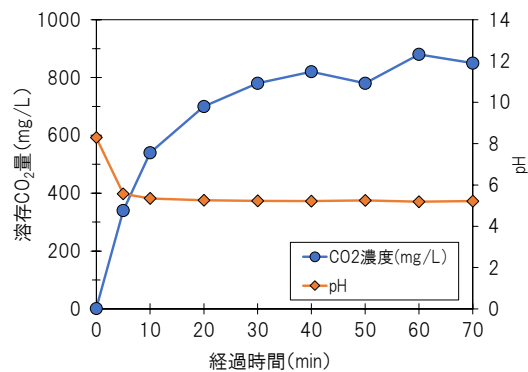


図-2 バブリング開始からの溶存 CO₂ 量と pH

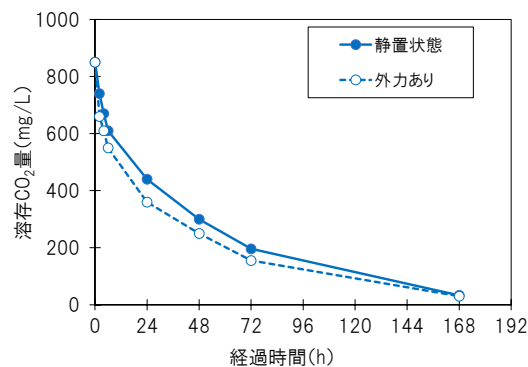


図-3 バブリング終了後の溶存 CO₂ 量推移

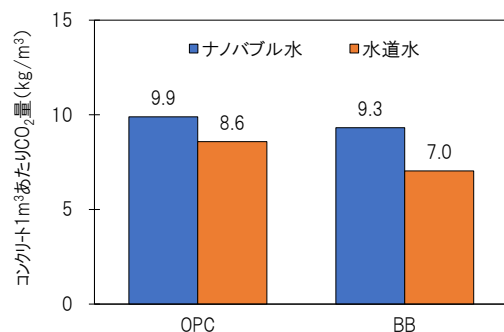


図-4 コンクリート 1m³ あたりの CO₂ 固定量