

打設したコンクリートの水中曝気による pH 上昇抑制効果

東洋建設（株） 正会員 ○福田 慶吾  
東洋建設（株） 正会員 山崎 智弘

1. はじめに

打設されたコンクリート構造物が水と接する場合、コンクリート表面から水酸化物イオン（以下：OH<sup>-</sup>）が溶出し水中の pH が上昇する．例えば、コンクリートで製作された養殖生簀には魚類の生育環境に対する pH の基準値<sup>1)</sup>が定められており、海域に生息する生物に対しては 7.8～8.4 と規定されている．従来では、養殖生簀の pH の上昇抑制対策としてコンクリート表面への塗装等が行われている．本検討では、pH の上昇抑制対策としてエアレーションの効果を小型水槽実験にて実証した．

2. 方法

本実験は表-1 に示す初期対象水、曝気の有無、水交換回数及び浸漬期間をパラメータとして比較した．供試体は表-2 に示す配合のコンクリートをφ5cm のプラモールドに高さ 3cm 程度を目標に流し込んで作製した．養生条件は、恒温室内において材齢 3 日で脱型、その後 25 日間の気中養生を行った．本実験では水槽内の水量 V (m<sup>3</sup>) とコンクリートが水に触れる表面積 A (m<sup>2</sup>) の比 V/A (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)を 1.8 とした．実験は水槽（容量 21L、15.6cm×58.6cm×23.0cm）に供試体と表-1 に示す対象水を入れ、pH 計（㈱佐藤商事製、PH-230SDJ）とエアストーン（ニッソー製、AQ-97）を水槽端部にそれぞれ設置した．人工海水にはマリンアート SF-1（大阪薬研㈱製）を用いた．水面は空気と触れないように緩衝材で隙間を埋め、ガラス蓋で覆った．供試体の大部分が対象水に触れるように曲面を下にして水槽中央に設置した（図-1）．曝気はエアーポンプ（GEX 製、e-AIR 1000SB、送気量約 0.6L/min）を用いて行った．浸漬及び曝気開始と同時に pH 計、大気圧計（㈱佐藤商事製、MHB-382SD）、CO<sub>2</sub> 濃度計（㈱佐藤商事製、MCH-383SDJ）での連続計測を 5 分間隔で開始した．水交換は表-1 に示す時期に行い、入れ替え水には水道水を使用した．曝気の有無については表-1 に示す通りである．

3. 結果

恒温室内の環境条件は、室温 20℃（±2℃）、湿度 70%（±5%）、平均 CO<sub>2</sub> 濃度 440ppm（404～568ppm）、平均大気圧 1013hPa（989～1024hPa）であった．pH の経時変化を図-2 に示す．無対策で水道水に供試体を浸漬したケース 1 では、開始から 3 日程度で pH が 9.0 を超えた．曝気をしなかった人工海水のケース 3 では 35 日間初期の pH からほとんど変動しなかった．35 日間曝気を行ったケース 2、4、6 の pH は、曝気しなかったケース 1、3、5 と比較して、ケース 2 で 1.05、ケース 4 で 0.05、ケース 6 で 0.80 の pH 低下が認められた．また 35 日目に曝気を停止すると、ケース 2 と 7 日目に水道水に入れ替えたケース 6 では変動しながら pH は 0.1～0.2 上昇したのに対し、人工海水のままのケース 4 では曝気停止前から変化しなかった．水交換による pH 低減効果は、

表-1 実験条件

| ケース         | 1   | 2     | 3     | 4     | 5        | 6     |
|-------------|-----|-------|-------|-------|----------|-------|
| 初期対象水       | 水道水 |       | 人工海水  |       |          |       |
| V/A (m³/m²) | 1.8 |       |       |       |          |       |
| 曝気          | 無   | 有     | 無     | 有     | 無        | 有     |
| 曝気停止日       | －   | 35 日目 | －     | 35 日目 | －        | 35 日目 |
| 水交換日        | －   |       | 35 日目 | －     | 7, 35 日目 | 7 日目  |

表-2 配合表

|                             |     |              |          |        |
|-----------------------------|-----|--------------|----------|--------|
| W/C=0.6                     | 水道水 | 普通ポルトランドセメント | 細骨材      | 粗骨材    |
| 単位体積重量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 166 | 277          | 778      | 1167   |
| 備考                          |     |              | 東北珪砂 4 号 | 5-20mm |



図-1 実験状況

キーワード コンクリート、アルカリ溶出、pH 抑制、エアレーション

連絡先 〒663-8142 兵庫県西宮市鳴尾浜 1-25-1 東洋建設（株）鳴尾研究所 TEL 0798-43-5903

曝気しなかったケース 3, 5 では交換後に大きく pH が上昇した. また水交換を 2 回行ったケース 5 の pH は, 1 回目よりも 2 回目の方が低い値で収束した. 最終的な pH の収束値は, 曝気をしなかったケース 1, 3, 5 よりも曝気を行ったケース 2, 4, 6 の方が低くなる傾向が見られた. また 35 日目に 1 回水道水に交換したケース 3 と 7, 35 日

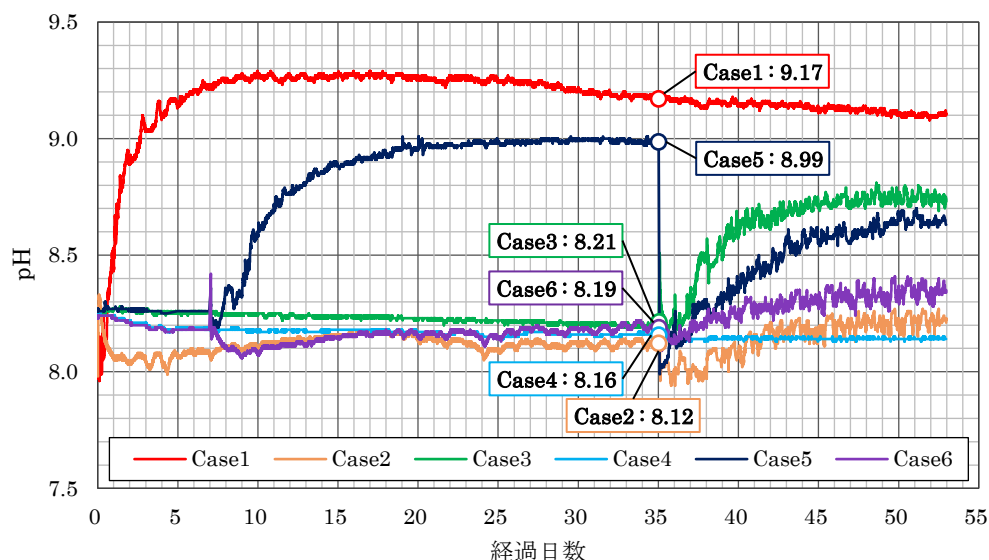


図-2 各ケースの pH の経時変化

目に 2 回水道水に交換したケース 5 では, ケース 5 の方が低い pH で収束した.

#### 4. 考察

本実験では人工海水を使用した場合, 水道水と比較して pH の上昇が抑制された. 人工海水に多量に含まれる  $Mg^{2+}$  や  $Ca^{2+}$  等が供試体から溶出する  $OH^-$  と反応したと考えられる. ケース 4 で 35 日経過時に曝気停止後も pH が安定していた理由は, この人工海水の緩衝能によると考えられる. 水道水ではこの反応が少なく, 供試体から溶出する  $OH^-$  が pH を上昇させたと考えられる.

海水のままコンクリート水槽を使用することができれば良いが, 淡水にしなければならない場合の有効な対策について考察する. 曝気を行うと, 人工海水よりも水道水の方が pH は低下した. これは水道水には曝気で供給した空気に含まれる  $CO_2$  の溶解度が人工海水と比べて大きいことが要因と考えられる.

人工海水を水道水へ交換すると緩衝能により抑制されていた pH 上昇が再開する. ケース 3, 5 の初期値から収束値までの増分を比較するとケース 3 で 0.49, ケース 5 で 0.73 であった. ケース 3 はケース 5 の 5 倍の浸漬期間を取ったが, ケース 5 の増分から 33% 減少するにとどまっていた. また, 最終的な収束値を比較すると, 水交換を 2 回行ったケース 5 の方が 0.10 低かった. そのため, 長期間の浸漬よりも頻繁に水を交換する方が pH 上昇抑制に本実験では効果的であった.

また, 海水にコンクリートを浸漬すると表面で炭酸カルシウムの皮膜を形成することが文献<sup>2)</sup>で報告されており, 全ケースの供試体表面に炭酸カルシウムと見られる皮膜が確認された. しかし, 文献<sup>2)</sup>によると皮膜は供試体脱型直後に浸漬させた場合に形成され, 脱型後 24 日経過し表面が部分的に炭酸化した供試体ではほとんど認められなかったとある. そのため, 脱型後 25 日経過した本実験の供試体で見られた皮膜は脱型直後から浸漬させた場合と比べてごく微量であったと推察され, 皮膜による溶出抑制効果は限定的と考えられる.

#### 5. まとめ

以上の結果からコンクリート水槽内の pH 低減効果が期待される方法は曝気と水の交換であった. 人工海水は緩衝能力が高く, 曝気と組み合わせて pH を基準値以下に維持できた. 人工海水から淡水へ切り替える場合は, 緩衝能が無い分を曝気で補うことが可能である. 予め淡水で運用する場合は 35 日間の曝気で pH を基準値以下に抑制できた. また, この結果は水槽形状の V/A に応じて変動する. そのため V/A が 1.8 を上回る場合は本実験の結果よりも低い pH を示すと考えられ安全側となる. また高炉セメントを用いると  $OH^-$  の溶出が抑えられると報告<sup>2)</sup>されているため, 材料の変更による pH 低減効果も期待できるものと考えられる.

#### 参考文献

- 1) (社)日本水産資源保護協会 水産用水基準 (2018 年版) [https://www.ntsc.co.jp/guidelines/guideline\\_06.html](https://www.ntsc.co.jp/guidelines/guideline_06.html)
- 2) 関博, 善一章, 阿部正美, 藤澤孝夫: 港湾技術研究所報告, p. 113-132, Vol. 14, No. 4, 1975.