

地下水中の遊離炭酸がモルタルの劣化に及ぼす影響

Influence of CO₂ Included Underground Water on the Deterioration of Mortar

○取違 剛*, 横関康祐*, 根岸将也**, 後藤秀樹*, 小澤勝幸**, 伊藤廣志***

TORICHIGAI Takeshi*, YOKOZEKI Kosuke*, NEGISHI Masaya**, GOTOU Hideki*, OZAWA Katsuyuki**, ITOU Hiroshi***

1. はじめに

約 25 年前に建設された幹線用水路に使用されていた PC 管 (2 種 : φ 1350mm) が, 破損漏水する事故が発生した。現地調査および各種の検討結果により, PC 鋼線を覆うカバーコートモルタルが場所によっては全面 (25mm) 中性化していることが確認され, これが PC 鋼線の腐食, 破断を引き起こし, PC 管が破損漏水したと推定された。当該地域は, 地下水中に高濃度の遊離炭酸が含まれていた。そこで本検討では, モルタルの遊離炭酸水中への浸漬試験を行い, 地下水中の遊離炭酸がモルタルの劣化に及ぼす影響について検討した。

2. 試験方法および測定項目

図-1 に遊離炭酸による劣化促進試験装置の概要を示す。CO₂ ガスをイオン交換水中に吹き込むことで水中の遊離炭酸濃度を高めるものであり, 予備試験結果より, 遊離炭酸濃度を 1000mg/L (22.7mmol/L) まで高められることを確認した。試験に供したモルタルはカバーコートモルタルを模擬して, W/C=21%, 単位水量 140kg/m³ の配合とした。モルタルを傾動式ミキサで練り混ぜた後, 1 辺 5cm の立方体に成型した。3 日間散水養生後に脱型し, 14 日間気中にて養生した。その後暴露面 (1 面) 以外をエポキシ樹脂にてコーティングし, 図-1 に示す装置内に浸漬した (作用水重量 : 試料重量 = 13 : 1)。浸漬期間は 90 日とし, 測定項目は pH, 遊離炭酸濃度, 重量変化, 中性化深さ (JIS A 1152 フェノールフタレイン法), EPMA による固体 Ca 濃度分析, および作用水中のイオン分析 (Ca²⁺, HCO₃⁻) とした。

3. 試験結果および考察

図-2 に作用水の pH および遊離炭酸濃度の測定結果を示す。浸漬期間中は常時 CO₂ を供給したため, 遊離炭酸濃度は 1000mg/L 程度でほぼ一定であった。一方, pH は試験開始から 30 日程度まで上昇した。これは, モルタル中の KOH や NaOH, Ca(OH)₂ の溶出によるものと考えられる。また, 30 日以降の pH は約 5.8 で一定となった。ここで, 作用水中の Ca²⁺ および HCO₃⁻ の濃度変化を図-3 に示す。これによると, いずれのイオンも時間の経過とともに作用水中の濃度が上昇している。次に, 溶液中の pH と CO₂ の解離状態との関係を図-4¹⁾ に示す。水中における CO₂ の存在形態は pH によって異なり, 浸漬開始時 (pH=4) の状態ではそのほとんどが解離していない溶存炭酸 H₂CO₃(aq) である。この溶存

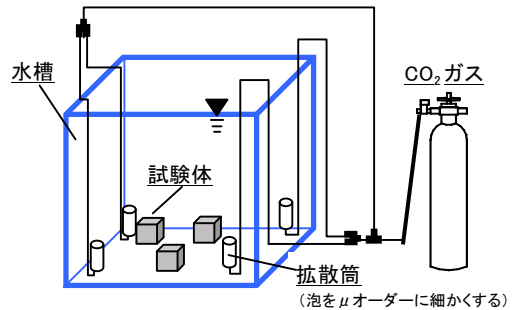


図-1 劣化促進試験装置

Experimental Set-up for the Acceleration Test of Deterioration

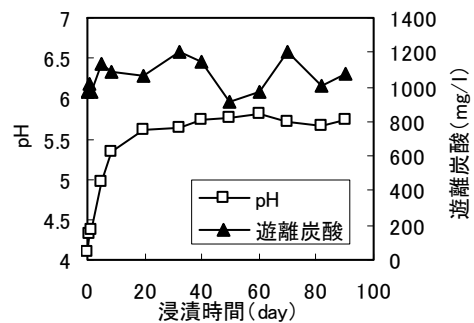


図-2 pH と遊離炭酸濃度の測定結果
pH and CO₂ Concentration in Submerged Water

* 鹿島建設技術研究所, KAJIMA Technical Research Institute,

** 太陽コンサルタンツ, Taiyo Consultants Co.LTD,

*** 東北農政局阿武隈土地改良調査管理事務所, Tohoku Regional Agricultural Administration Office,

炭酸がモルタルからの OH⁻の溶出に伴う pH 上昇によって、H⁺と HCO₃⁻に解離する。これによって発生した H⁺に見合う OH⁻を供給するために、Ca(OH)₂の溶出が促進され、結果として浸漬 30 日以降に pH が一定になったものと考えられる。すなわち、溶存炭酸の解離に伴う H⁺の発生によって、Ca(OH)₂の溶出が促進されたものと推察された。ここで、実際の環境では遊離炭酸濃度 100mg/L で、地下水の pH が 7 程度であったことから、**図-4** より遊離炭酸のうち約 80% (80mg/L=1.8mmol/L) が HCO₃⁻とであるとされる。一方、**図-3** より本試験の浸漬 30~90 日における作用水中の HCO₃⁻濃度が約 4~6mmol/L であったことから、本試験は実際の環境の約 2~3 倍の劣化環境を与えていると考えられる。

図-5 にモルタルの重量変化を示す。これによると、浸漬 40 日以降においてモルタルの重量が低下している。ここで、浸漬 90 日後におけるモルタル表面を**写真-1**に示す。浸漬後のモルタル表面付近ではペースト部分が消失しており、このことから、モルタルの重量低下は主としてペースト部分からの Ca(OH)₂の溶出によるものと考えられる。

次に、浸漬期間の平方根と中性化深さおよび Ca 溶出深さの関係を**図-6**に示す。「Ca 溶出深さ」は、EPMA 分析において、モルタル中の Ca 濃度が低下した深さである。いずれも時間とともに劣化深さが増大している。Ca 溶出の理由は上述のとおりであり、中性化はモルタルからの Ca(OH)₂の溶出による細孔溶液中の pH の低下が原因と考えられる。ここで、本試験結果をもとに中性化速度を算出すると 2.8mm/√年となった。上述のとおり、本試験では 2~3 倍程度の劣化環境を与えているため、実際の環境における中性化速度は 0.9~1.4mm/√年程度と予測できる。一方、実際の調査によって得られた中性化速度は 2.3~3.5mm/√年であり、場所によっては本試験よりも早期に中性化している箇所が見られた。これは環境条件（作用する地下水の移動）や材料条件（配合、施工誤差）が影響しているものと考えられ、今後はこれらの影響まで含めた検討が必要である。

4. まとめ

本検討では、遊離炭酸がモルタルの劣化に及ぼす影響およびそのメカニズムについて検討を行った。その結果、遊離炭酸を含む水中ではモルタルからの Ca 溶出が促進され、それに伴って断面欠損や中性化などの劣化が起ることを実験によって確認した。

参考文献

- 1) 小林一輔：コンクリートの炭酸化に関する研究，土木学会論文集 No. 433/V-15, pp. 1-14, 1991. 08

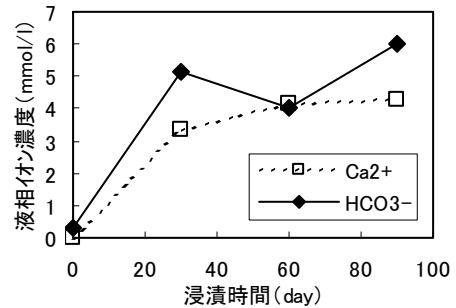


図-3 浸漬期間と液相イオン濃度
Ion Concentration in Submerged Water

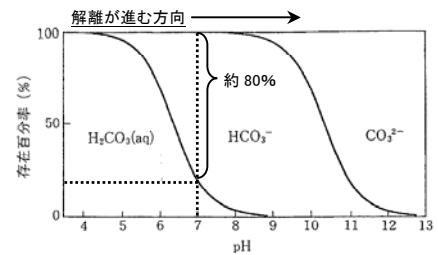


図-4 溶液中の pH と CO₂ の解離状態¹⁾
Relationship between CO₂ and pH in Solution

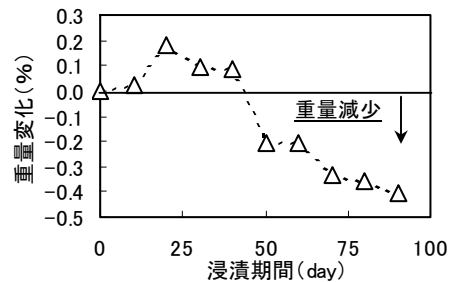


図-5 供試体の重量変化
Weight Change of Mortar

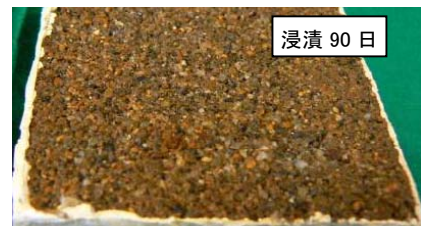


写真-1 劣化したモルタルの表面
Deteriorated Surface of Mortar

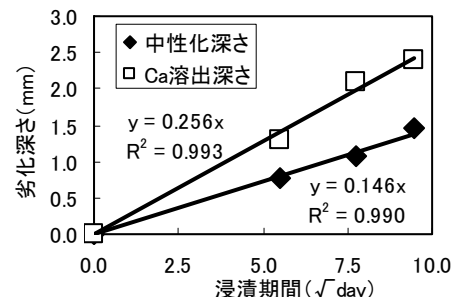


図-6 浸漬期間の平方根と劣化深さ
Depth of Deterioration of Mortar