特集

防食技術の正しい見方

ーコンクリート防食の確かな位置付けへ一

前田 照信

ハザマ 技術研究所技術研究部 先端研究室主任研究員



基礎知識①

わかりやすい腐食のメカニズム

なぜ腐食が起きるか

セメントは石灰岩(炭酸カルシウム)を主成分として、粘土を加えて焼成して作られる。コンクリートはセメントの水和物であり、水和物は約2/3のセメント鉱物と残り1/3の水酸化カルシウムから構成される。水酸化カルシウムは、大気あるいは水中の炭酸と反応し、炭酸カルシウムとなる。コンクリート中の鉄筋が錆びないのは、水酸化カルシウムの高アルカリが鉄の表面に不動態を形成するためで、アルカリの消失とともに鉄筋は発錆し、膨張し、カブリのコンクリートを破壊する。このため、アルカリの消失すなわち酸との反応は、コンクリート構造物にとって重大な意味を持つ。

下水中のコンクリート腐食原因物質としては、 炭酸と硫酸の2種の酸が挙げられる。炭酸は下水 中の有機物の分解によって生成し、コンクリート 中の炭酸カルシウムを溶脱する。下水中に含まれ るタンパク質や洗剤等、イオウを含む化合物が微 生物の働きによって硫化水素になり、さらに、硫 化水素はイオウ酸化細菌によって硫酸に変えられ る。硫酸はコンクリートと反応し、エトリンガイトや石膏を生成する。

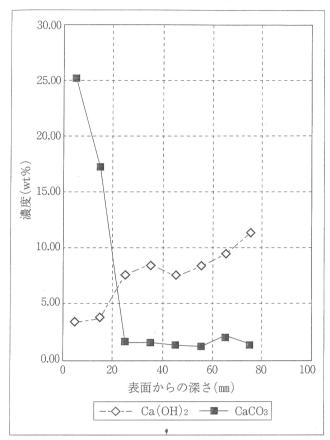
以下に、これらの腐食のメカニズムについて解 説する。

2 炭酸によるカルシウムの溶脱

石灰岩が炭酸に浸食されると、鍾乳洞を形成する。この反応は、炭酸カルシウムがさらに炭酸と反応して重炭酸カルシウムとして溶解する現象で、小中学校で石灰水(水酸化カルシウム)に息を吹き込むと白濁し(炭酸カルシウムが生成)、さらに吹き込むと透明になる(重炭酸カルシウムになる)実験をされた方も多いと思う。

下水処理場では、下水中の有機物を炭酸と水に 分解するのが仕事であり、特に分解反応を行って いる曝気槽では、顕著な腐食を受ける。標準活性 汚泥法の曝気槽では多量の曝気が炭酸を抽出し、 水中の炭酸濃度は30ppm程度と、一般の河川と同 程度の濃度である。しかし、この30ppmは発生期 の浸食能力を持った炭酸であるため、カルシウム を溶脱する。図-1、2に1986年と1998年に同一 の曝気槽からコア採取し、水酸化カルシウム、炭 酸カルシウム濃度を深さ方向に測定した結果を示 す(1979年供用開始)。図から極端にカルシウム が減少していることがわかる。興味深いのは、内 部のカルシウム濃度がほぼ均一なことで、溶脱に 伴って内部のカルシウムが移動していることを示 唆している。同じ試料でpHを測定した結果を 図-3に示したが、変化はほとんど認められない。 これは、pHのみで構造物の健全度を判断すると、 ある日突然全断面アルカリ消失の危機が訪れる可

図-1 1986年の調査結果



図ー3 深さ方向のpH変化

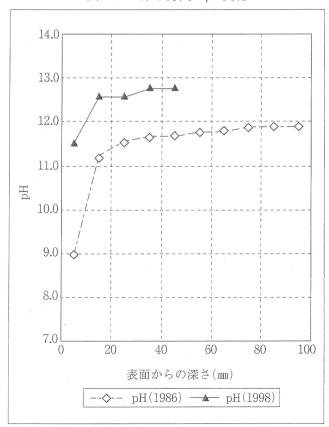
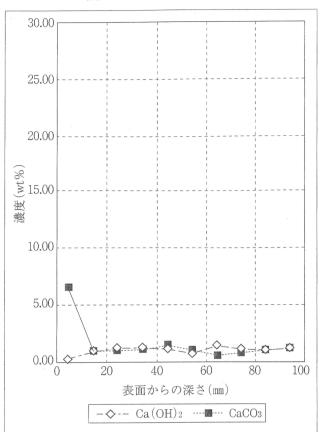


図-2 1998年の調査結果



能性を示すものである。

同様の調査を複数の処理場で実施したが、同じ傾向を示した。ただし、1960年代までの粒子が大きいセメントを用いた構造物については、溶脱速度は非常に緩慢であった。

3 硫酸による劣化

イオウ化合物は炭素が植物、動物、石炭、サンゴ (石灰岩)、炭酸と形態を変え地球上を循環するように、元素イオウ、黄鉄鉱等の含硫鉱物、石膏、硫化水素、硫酸と形態を変え循環している。イオウの循環には、多くの微生物が関与することが知られている。下水中のイオウ化合物は、イオウ還元細菌によって腐卵臭のする硫化水素に変えられる。この硫化水素は、イオウ酸化細菌によって硫酸に変えられる。硫酸はコンクリート中の水酸化カルシウムと反応して石膏を作り、石膏はさらにアルミン酸三カルシウムと反応して膨張性のエトリンガイトを作る。セメントには硬化時の収エトリンガイトを作る。セメントには硬化時の収

縮を防ぐ目的で、若干のエトリンガイトが生成す るよう配合されている。しかし、多量に生成した エトリンガイトはコンクリートを膨脹させる。さ らに硫酸の供給が続くと、セメント鉱物はほとん どが石膏となってしまう。石膏化したコンクリー トは脆弱で、湿潤した劣化面には簡単に指を挿入 することができる。著しい場合は、劣化は10年で 10cmにおよぶことがある。硫酸を生成するイオウ 酸化細菌には種々のものが単離されており、pH の変化とともに菌の種類が変化していくことが知 られている。石膏化した部分はpH1前後の強酸 性を示し、石膏化部ではチオバチルス・チオオキ シダンスとチオバチルス・フェロオキシダンスが 支配的に活動している。これらの菌は30℃をピー クに、20~40℃の範囲で活動する。このため寒冷 地では比較的劣化は緩慢である。温泉地では温度 と温泉基因の硫化水素が加わるため著しい劣化を 示すことがある。

4

劣化対策

炭酸に対する対策は、被覆以外有効な工法は開発されていない。被覆のグレードとしてはカルシウムの溶脱を防ぐだけで良いので、比較的簡単な被覆でも劣化は防止できる。ただし、耐用年数と単価を考慮してトータルコストを選ぶか、イニシ

ャルコストを選ぶかは意見の分かれるところである。

硫酸に対する対策は、イオウ酸化細菌の生育を 阻害する防菌剤をコンクリートに添加する方法 と、被覆による方法がある。

防菌剤はニッケルやタングステンからなり、 $10ppm以下の硫化水素濃度では、菌の生育をほぼ完全に阻害することができる<math>^{1}$)。

被覆工法で注意を要するのは、被覆の透気性である。一般に、被覆の耐食性は硫酸水溶液の浸漬試験で評価、表示されることが多い。被覆に使用される高分子材は液の透過性はほとんどないため、硫酸水溶液での浸漬試験では良好な結果を示す。しかし、高分子材は気体を比較的透過する。すなわち硫化水素は透過してしまうのである。レトルト食品やお茶の袋がアルミニウム箔でラミネートされているのは、高分子材のみでは水蒸気や酸素が透過してしまうからである。当然、透過した硫化水素はイオウ酸化細菌によって硫酸になり、剥離の原因となることがある。このため、被覆の下地コンクリートにも防菌剤を添加することが望ましい。

<参考文献>

1) 共同研究「硫黄酸化細菌による劣化に対するコンクリート の補修、防食工法に関する技術開発」報告書、平成10年3月、 日本下水道事業団・㈱間組・日本ヒューム管㈱

◆行政ニュースー

日本下水道事業団:

10年度は6%のコスト縮減成果あげる 処理場設計の標準化・パッケージ化など

日本下水道事業団(定道 成美理事長)は、平成9年5月に策定した「建設工事コスト縮減対策に関する行動計画」に基づいて、諸施策を順次実施してきているが、平成10年度は技術基準や設計方法の見直しなどによって、直接的施策については縮減率5.1%(190億円)と、目標の8割以上を達成、間接的施策を含めた全体では6.0%(224億円)のコスト縮減成果をあげた。行動計画の最終年度にあたる11年度も引き続き取組みを強化し、直接的施策分野で6%以上、間接的施策分野を含めた全体では10%以上の縮減率の確保を目指す方針だ。

平成10年度に実施した主な施策は、①下水道施設の共通 化・共同化、②汚泥処理施設の集約化、③下水汚泥広域処 理事業での効率的な汚泥収集方式の検討・施設稼働率の向上等、④小規模処理場設計の標準化・パッケージ化のための技術基準策定、⑤POD(プレハブ式下水処理場)の推進、⑥マンホール形式ポンプ場、簡易形式ポンプ場の採用、⑦推進工事の長距離化、⑧契約後VE制度の導入——など、計画手法の見直しから入札・契約制度の検討まで12項目に及ぶ。

このうち、小規模処理場設計の標準化・パッケージ化のための技術基準策定は、水処理施設、汚泥処理施設、建築施設等の標準化と処理場全体設計のパッケージ化により、コスト縮減を図るもの。縦軸型オキシデーションディッチ法やコンテナ形式ケーキ貯留設備、自立型監視盤など、コスト縮減効果の高い施設・機器を小規模下水処理施設の設計に組み込むことで、約56億円(約20%)のコスト縮減が見込まれる。