

## コンクリートの劣化現象（塩害について）

河野 豊\*  
Yutaka Kawano

近年、コンクリート構造物の劣化現象がクローズアップされてきている。特に日本は海岸で囲まれており塩害での劣化現象が顕著である。コンクリート塩害の進み方とその対応策について紹介する。

キーワード：コンクリート、塩害、耐久性、劣化

### 1. はじめに

高度経済成長時に整備された社会基盤、住宅などは膨大な量であり、最近になりコンクリートの劣化および損傷がメディアでも取り上げられている。このコンクリート劣化機構の中でも代表的な塩害についての事例、IIC としての取り組みを本原稿に紹介する。

### 2. コンクリートの塩害とは？

一般的な鉄筋コンクリート構造（RC 構造）梁

部材の模式図を図 1 に示す。

図 1 のように一般的な RC 梁構造物は、部材長手方向に主鉄筋を通しその周りを囲むようにせん断補強鉄筋が配置されており、その他の部分はコンクリートで覆われている。

コンクリート材料そのものの強度特性としては、圧縮に対する強度がおおよそ 30Mpa ~ 60Mpa あるのに対して、引張に対する強度は圧縮強度の 1/10 程度しかない。こういった特性からより経済的に梁部材を作るためには、図 1 の荷重条件の場合梁中央断面に発生する曲げモーメント

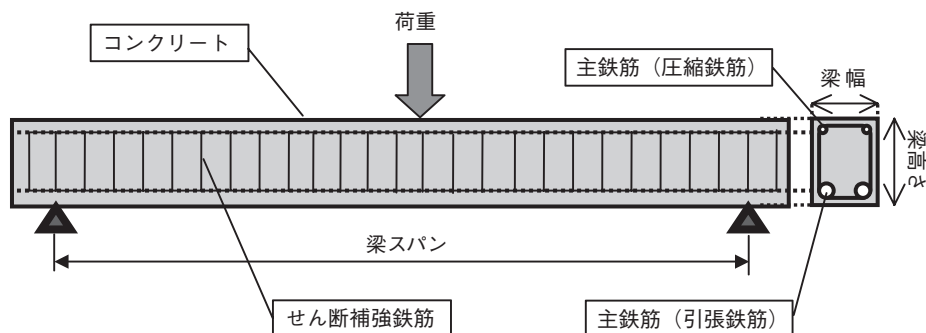


図1 鉄筋コンクリート梁模式図

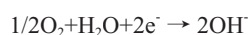
\* 計測事業部 計測エンジニアリング部 課長 コンクリート診断士

に対して、引張側に主鉄筋（引張鉄筋）を配置して、引張は鉄筋に、圧縮側はコンクリートに荷重を受け持たせることにより部材を成立させる。せん断補強鉄筋はせん断力によるコンクリートのせん断破壊（はらみだし）を防ぐためにあばら骨のように配置した鉄筋である。

RC 部材の中での鉄筋は全体の体積の数%しかないにもかかわらず、非常に重要な役割を持っている。

コンクリートの塩害とは、コンクリートそのものに塩分が侵入してきてもほとんど影響は無いが、種々の要因でコンクリート中に混入した塩化物イオン（Cl<sup>-</sup>）によって構造物中の鋼材（鉄筋）が腐食し、その腐食生成物（錆）の影響によって鋼材に体積変化が生じ、その体積膨張圧で表面のコンクリートにひび割れ、剥落がおり、部材体力に問題を生じさせる現象を総称したものである。

通常、コンクリートはセメントの水和反応によって水酸化カルシウム等が析出し、PH12～13ほどの高いアルカリ性をあらわし、このために鋼材とコンクリートとの界面には不働態皮膜が形成され錆が生じにくくなっている。しかしながら、コンクリート中に塩化物イオン（Cl<sup>-</sup>）が混入している場合には、Cl<sup>-</sup> が不働態に吸着し、不働態皮膜を破壊する。破壊された不働態皮膜においては、酸素および水の供給が行われるもとで以下のような反応がおこる。



この反応は電子の授受をふくめたいわゆる電池の形態をしており、コンクリート組織の不均一性やひび割れなどに助長されて生ずるコンクリート中の Cl<sup>-</sup> の不均一性によって発生する。

外的要因から内部の鉄筋を守るため、図 2 の

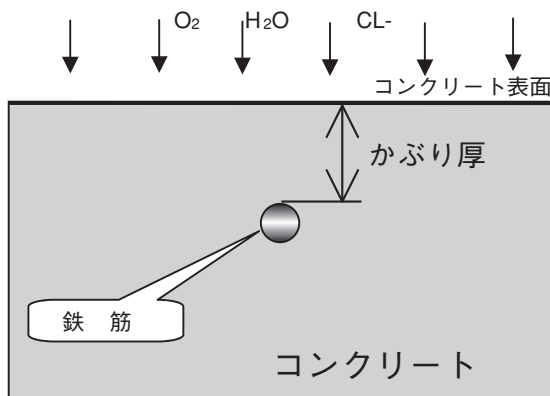


図2 かぶり厚さ

様に設計ではかぶり厚さを確保して、腐食から守ろうとしているが、施工不良によるかぶり厚さ不足、コンクリートの緻密性不良および初期ひび割れなどさまざまな要因で鉄筋腐食が進行する場合があります。

### 3. 塩害事例

#### 3.1 沿岸海洋構造物

塩害で第一に考えられるのは海岸付近での構造物である。日本は周囲を海洋で囲まれておりこの沿岸海洋構造物の経済損失は莫大なものである。

沿岸海洋構造物である、護岸の模式図を図 3 に示す。

護岸の腐食環境として最も厳しいのは、スプラッシュゾーンと呼ばれる飛沫帯で、この部分は常に酸素、水、塩化物イオンが供給される部分である。特に海岸では潮位差があり、満潮時に海水につかり水および塩化物イオンの供給を受け、干潮時に酸素の供給を受ける干満差部分は非常に厳しい腐食環境である。一方海中部は酸素の供給が極端に少ないので、腐食環境としてはそれほど厳しくない。

#### 3.2 寒冷地道路橋

寒冷地道路で、凍結防止剤として塩化カルシウ

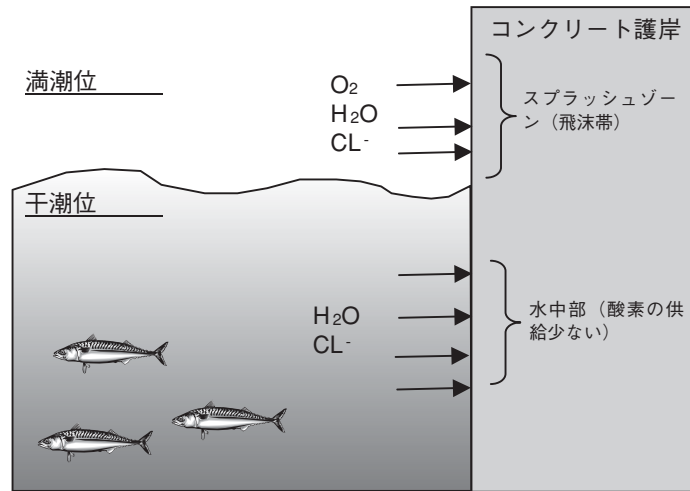


図3 護岸の模式図

ムを散布するが、この塩化物イオンにより腐食を受ける。

### 3.3 施工時のコンクリートに含まれる塩分

コンクリート施工時に含まれてしまう塩分により内部の鉄筋が発錆することがある。代表的な例

としては洗浄をしていない海砂の使用などが挙げられる。このため各国では表1の様に、コンクリートに塩害を及ぼさない塩分量の規定値がある。

日本国内でも良質な骨材（砂、砂利）が入手できなくなっており、やむを得ず海砂を使うことがあるが十分塩分を取り除く必要があるのは言うま

表1 塩分量の規定値

国	協会or規格	規定値
日本	日本建築学会	コンクリート中に含まれる全 Cl-量：0.3kg/m <sup>3</sup> 特記の方法により有効な防食対策を講じた場合：0.6kg/m <sup>3</sup>
	土木学会	練混ぜ時のコンクリート中に含まれる全塩分量（無筋コンクリートを除く）：0.3kg/m <sup>3</sup>
アメリカ	ACI222R185	コンクリート硬化後に酸抽出方法(ASTM C114)により測定された Cl-量のセメント wt% プレストレストコンクリート構造:0.08% 鉄筋コンクリート構造:0.20%
	ACI318-89	コンクリート材齢28~42日後にAASHTO260法により抽出された可溶性 Cr 量のセメント wt% プレストレストコンクリート構造:0.06% 鉄筋コンクリート構造（塩分環境下）:0.15% 鉄筋コンクリート構造（一般環境下）:0.30% 鉄筋コンクリート構造（乾燥状態下）:1.00%
ドイツ	DIN1045	骨材中の可溶性 Cl-量 RC,ポストテンション PC:0.04% プレテンション PC,PC グラウト:0.02%
イギリス	BS8110-85 Part1	セメント重量に対する全塩化物量 (CaCl <sub>2</sub> 換算) 一般の鉄筋コンクリート構造物:0.4% 耐硫酸塩セメント使用の場合:0.2% プレストレストコンクリート構造および高温養生 RC:0.1%

でもない。

#### 4. 塩害の進行過程

コンクリートの塩害進行過程は以下の様になる。

##### 1) 潜伏期

コンクリート中の鋼材位置では塩化物イオンの増加は見られるものの、劣化現象が顕著化していたり、安全性能などの低下が見られない状態。

一般に腐食発生限界塩化物イオン濃度は $1.2\text{kg/m}^3$ とされており、構造物の保全にはこの値が目安とされることが多い。また表面に付着している塩化物イオン濃度から内部の濃度を推定することもできる。

##### 2) 進展期

劣化現象は顕著化していないがコンクリート内部の鋼材は腐食が開始している状態。コンクリートにひび割れが生じる可能性が高まっている。

##### 3) 加速期前期

腐食によるひび割れなどの劣化現象が顕著化している状態。ただし使用性能や安全性能はあまり低下していない。

##### 4) 加速期後期

劣化現象が明確に顕著化している。この状態以降では安全性能や使用性能も大きく低下していくことになり、対策も補強を含めた検討が必要になる。

##### 5) 劣化期

劣化現象の顕著化が非常に激しい状態。供用制限や解体・撤去も考慮する必要がある。

以上が一連の塩害によるコンクリート構造の劣化過程であるが、加速度後期や劣化期の末期状態になってしまうと、その補修・補強費用も莫大となる。

わが国では新規公共事業への投資が縮小され、経年設備の更新も滞り気味の時代を迎えており、既存のインフラを延命させていく必要性が高まっている。コンクリート構造物の延命対策を考えるためには、劣化状態を把握することが必要であり、外観では全く見分けられない潜伏期および進展期の状態をなるべく早く見つける検査・計測の技術が重要である。

#### 5. コンクリート構造物の塩害に対する取り組みと展望

当社ではコンクリート診断技術に数年前から取り組んでおり、現状の取り組みと展望を紹介する。

##### 5.1 マルチスペクトル法による塩分量測定

コンクリート構造物の塩分量を測定する場合、現状では対象構造物からドリルで削孔粉を採取し、「JCI-SC4 硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」により塩分量を計測しており、サンプル採取から化学分析結果を出すまでに数日かかっている。

現在開発を進めている、マルチスペクトル法はコンパクトな計測器を現地に持ち込み、近赤外線照射することで、デジタルデータとして表面の塩化物イオン濃度が得られるものである。一箇所の計測時間も数秒で、橋梁などの大規模構造物の点検調査においても、どの部分に塩分が多いのかを短時間で計測できる利点がある。

活用方法としては、構造物全体を本手法で検査し、明らかに塩分量の多い部分について詳細点検を行うといった方法が有効である。

##### 5.2 光ファイバ変位センサ (SOFO)

特に塩害による劣化過程の加速期では、それまでとは比較にならないスピードで劣化が進行するので構造物全体の変化状況をリアルタイムで観察していないと、最悪の場合、近年話題となってい

る落橋事故などの大惨事に至る恐れがある。

SOFO センサを橋梁桁の下面に設置し、動的に計測することで橋桁の固有振動数が計測できる。塩害を受けた橋桁では引張鉄筋の腐食により、断面性能が変わり橋の固有振動数に大きな変化が生ずる。特に加速期の変化は大きく、常時モニタリングすることにより補強時期の判定も可能となり、落橋などの最悪の事態は回避できる。

高度経済成長期に建設されたインフラは加速期にあるものも多く、不測の事態を避けるために、常時モニタリングの活用による早期劣化対策の施工が望まれる。

## 6. おわりに

コンクリート構造物の塩害は、加速期に入るまでその状態変化が全く見えないものが多い。鋼構造物であれば発錆などの現象により腐食は発見しやすいが、コンクリート構造物の場合は錆び汁やコンクリートの剥落が発生した時点では手遅れとなってしまうことも多々あり、点検・調査・検査・計測の必要性が高くなっている。

今後も社内のさまざまなツールをコンクリート構造物の調査・診断に生かし、適用範囲を広げて行きたい。

## 参考文献

- 1) コンクリート診断技術（日本コンクリート工学会）

---

計測事業部  
計測エンジニアリング部  
課長  
コンクリート診断士  
河野 豊  
TEL. 045-759-2160  
FAX. 045-759-2161