

技術解説

コンクリートの劣化

素材開発部 矢崎 誠

1. はじめに

コンクリートは高強度で、どんな形にも成形可能であり、しかも原料が豊富で安価なため、建築材料として大量に使われています。しかし、こんな便利なコンクリートも色々な原因で劣化します。この原因を探ってみます。

2. コンクリートの劣化の主な原因

(1) コンクリートの中性化による劣化

新しいコンクリートは水和生成物（水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）により強いアルカリ性を呈するので、コンクリート中の鉄筋をさびから保護することができます。しかし、コンクリートはその表面から空気中の炭酸ガスの影響を受けて、徐々に炭酸カルシウム (CaCO_3) に変化してアルカリ性を失って行きます。その結果、鉄筋を保護する能力が減少していきます。

(2) 凍害による劣化

コンクリートに吸収された水が凍結し、その際に生ずる膨張圧の繰り返しにより、コンクリートの組織がゆるみ、コンクリート表面の破壊、崩落に至ります。コンクリートの凍結融解に対する抵抗力は、コンクリートの吸水性が小さいほど大きく、したがって品質の良いコンクリートにおいては凍害も受けにくくなっています。

(3) 塩害による劣化

コンクリート中の鉄筋が塩分によって錆びることで生じる劣化です。その原因は次の二つです。

- ① コンクリートの材料中に規定以上の塩分が含まれている。細骨材として水洗いが足りない又は水洗いを行っていない海砂を使用しているなど。
- ② 海岸近くに作られたコンクリート構造物に波しぶきなどを受けて起きる。波しぶき中の海塩粒がコンクリートの表面に付着して、それが内部に浸入していく。

(4) 酸による劣化

コンクリート中のセメントは、主として、珪酸、アルミナ、酸化鉄の石灰塩 (C_3S , $\beta\text{-C}_2\text{S}$, C_3A , C_4AF 注：表1) と少量のアルカリ化合物からなるため、酸によって可溶性の石灰塩となり、コンクリートは浸食を受けます。特に、硫酸、塩酸、硝酸のような強い無機酸は、コンクリート中の水酸化カルシウムを中和するとともに、比較的安定な硬化生成物である石灰の珪酸塩やアルミナ塩まで分解してしまいます。また、ナトリウム、マグネシウム、カルシウムの硫酸塩などの塩類は、コンクリート中の水酸化カルシウムと反応して可溶性の物質を作ったり、多量の結晶水をとって膨張し、コンクリートを破壊します。

表1 ポルトランドセメントクリンカーの主要化合物

| | 主成分 | 水との反応 | 水和熱 |
|--------|----------------------------|-------|---------|
| Ⅰ-ライト | C_3S | 早い | 500 J/g |
| Ⅱ-ライト | $\beta\text{-C}_2\text{S}$ | 遅い | 250 J/g |
| アルミナ相 | C_3A | 瞬間的 | 850 J/g |
| Ⅲ-ライト相 | C_4AF | 大変早い | 420 J/g |

各酸化物成分 CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 をセメント化学の分野ではそれぞれ C, A, F, S と表します。

(5) アルカリ骨材反応による劣化

アルカリ骨材反応とは骨材中のある種の鉱物とコンクリート中のアルカリ性の細孔溶液との間の化学反応のことです。一般に反応のメカニズム及び反応性岩石の種類に基づいて、①アルカリ・シリカ反応、②アルカリ炭酸塩岩反応、③アルカリ・シリケート反応の3つに分類されます。この中でもっとも多いのは①アルカリ・シリカ反応です。劣化はこれらのアルカリ骨材反応によって生成されたアルカリシリカゲルの吸水や反応生成物の形成に伴って、コンクリート内部で局部的な容積膨張が生じ、コンクリートにひび割れが発生するためです。

コンクリート中の細孔溶液中のアルカリとしては、セメント、骨材、混和剤のようなコンクリート材料から内部的に供給される物と、コンクリート構造物ができあがったあとに海水や融氷塩などと接触して外部的に供給される物があります。

アルカリ・シリカ反応を起こす反応性骨材は1980年現在約40種類報告されており、代表的な物にオパール、フリント、チャート、火山岩が挙げられます。アルカリ炭酸塩岩反応の反応性骨材はドロマイト質石灰岩です。また、アルカリ・シリケート反応はグレイワケ、粘土質岩、千枚岩等の岩石中に含まれる粘土成分（シリケート）との反応です。

(6) すり減りによる劣化

コンクリートが流水や波浪などの磨耗作用を受けたりすると、コンクリートの表面にすり減りを生じます。コンクリートの品質が悪い場合には、このすり減り現象が促進され、また粗骨材の部分よりモルタル部分が早くすり減ります。このすり減りが進むと、鉄筋のかぶりの減少も伴い、構造物の強度の低下、鉄筋の保護効果の低下をきたします。

(7) 透水することによる劣化

透水しやすいコンクリートはコンクリート成分中の消石灰が水に溶解して流出し、空気中の炭酸ガスと化合して炭酸カルシウムとなり、つらら状の白色体を形成します。これはコンクリートの中酸化現象と同じです。

(8) 高熱による劣化

コンクリートが高熱にさらされると、コンクリートの構成材料の熱膨張係数の差、部材の表面と内部の温度差による内部応力、結晶水の逸脱などによりひび割れが発生し、コンクリートが劣化します。また、これらの原因により、鉄筋とコンクリートの付着が損なわれます。

3. おわりに

コンクリートの劣化は今まで述べた原因だけではありません。他にも砂糖など糖類、鯨油、大豆油などの油類による化学的食害による劣化、また、橋梁等に見られる繰り返し荷重を受けることによる疲労による劣化などもあります。

コンクリートの劣化は一つの原因だけでなく、複合して起こることもあります。

参考文献

コンクリート便覧

(社)日本コンクリート工学協会編 技報堂出版
セメントの科学

大門正機編訳 内田老鶴圃
セメント・セッコウ・石灰ハンドブック

無機マテリアル学会編 技報堂出版
たのしく学ぶセメント・コンクリート

(社)セメント協会編 (社)セメント協会
コンクリート構造物のアルカリ骨材反応

中部セメントコンクリート研究会編 理工学社
コンクリート構造物の耐久性シリーズ (塩害I, 化学的腐食, 凍害, 中性化, アルカリ骨材反応, 疲労)
岸谷孝一他編 技報堂出版