

コンクリート構造物の劣化と診断について

博士(工学) 長谷川光弘

参考文献 日本コンクリート工学協会 コンクリート診断技術
新セメント・コンクリート用混和材料

コンクリート構造物の劣化の種類

- I・中性化(鉄筋の発せい(錆))
- II、塩害(発せい(錆)、ASR)
- III、ASR (アルカリシリカ反応)
- IV、凍害
- V、化学的腐食
- VI、疲労
- VII、風化・老化(直射日光によるもの)
- VIII、火災

2

コンクリート構造部材の劣化

コンクリートの劣化要因として、中性化、塩害、アルカリシリカ反応、凍害、化学的腐食、疲労、風化・老化、火災などが上げられる。ただし、複合劣化で発生するケースがほとんどである。

中性化、塩害、アルカリシリカ反応、凍害、風化老化は気象条件その他自然環境の中で生じるものであるが化学的腐食、疲労、火災等は外力により強制的に苛酷な環境におかれた状態で、これらはあらかじめ対策が必要となる。

3

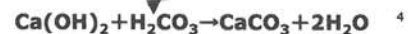
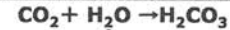
I、中性化による劣化

コンクリートの中性化は炭酸ガスの侵入でコンクリート表面から始まり、また、ひび割れがあるとそのひび割れが新しいコンクリート表面となって中性化が進行する。一般には

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ となるが、水分が介在しないとこの反応は生じない。すなわち、コンクリートの細孔溶液中には炭酸イオン(CO_3^{2-})や重炭酸イオン(HCO_3^-)が存在し、コンクリート中の水酸化カルシウム(Ca(OH)_2)と反応して炭酸カルシウム(CaCO_3)となり、析出する。

乾燥、湿潤を繰り返す程中性化は早くなる

中性化の促進



4

生成されるセメント水和物

セメント鉱物は水と反応してセメント水和物を生成し、さらに CaSO_4 や CaCl_2 と結合してエトリンガイトやフリーデル氏塩を生成する。

①C-S-H (カルシウム・シリケート・ハイドレード)

② Ca(OH)_2 (ポルトダンライト)

③エトリンガイト:

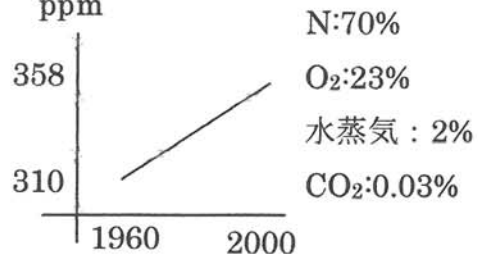


・・・32個の水を吸収して膨張する。

④Friedel氏塩: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

5

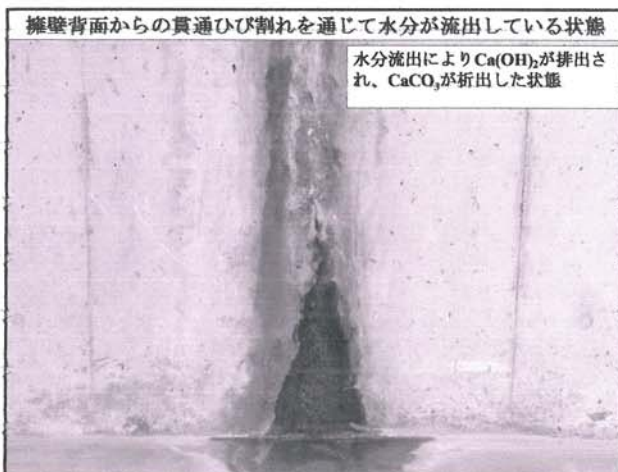
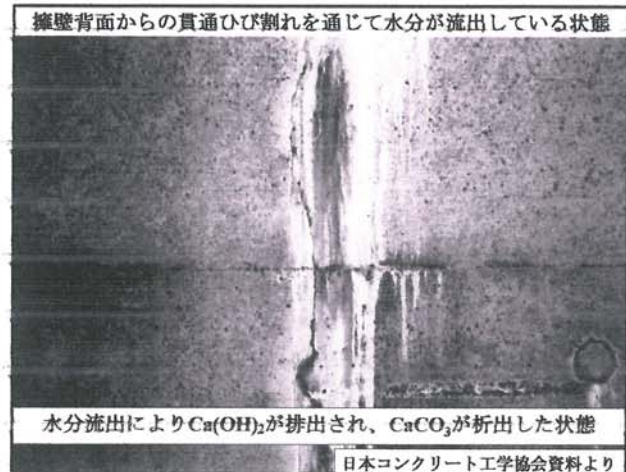
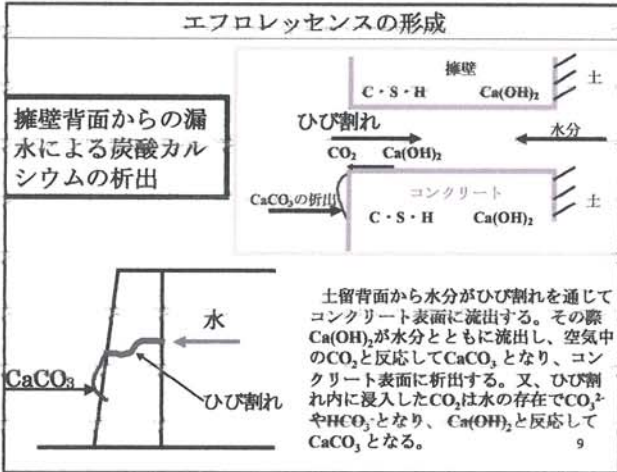
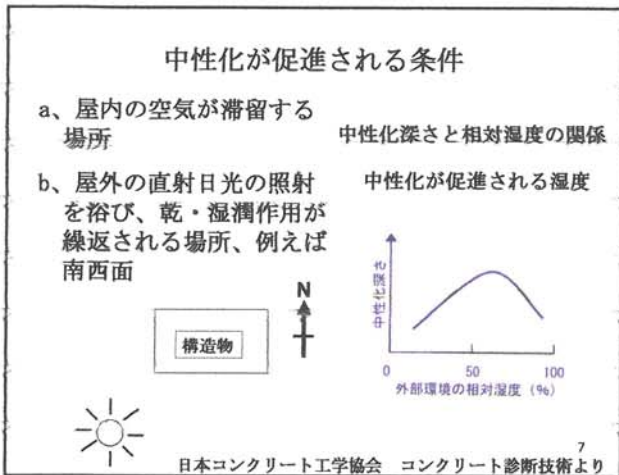
ppm



近年における炭酸ガス濃度の推移

セメント1t 製造に当り、 CO_2 0.8~1.2 t 排出している。

6



鉄筋の発せい(錆)によるコンクリート剥落塊の見かけの密度 (表面乾燥状態)

高築擁壁高欄の鉄筋腐食によるコンクリート片剥落塊の密度ならびに中性化の状態			
	a	b	c
質量 (g)	151.48	60.25	14.28
体積 (cc)	72.95	28.20	7.37
密度 (g/cm^3)	2.08	2.14	1.94
フェノールフタレイン反応	なし	なし	なし

中性化深さ

- 中性化深さは $C=A\sqrt{t}$ (t =年数)で表され、 A はコンクリートの品質からくる定数で、十分締固められた構造物では $A=1$ 未満であるが、流し込んだコンクリートで十分な締固めがなされていない状態では $A=3\sim 4$ 程度となる。

参考 現在測定中の締固めの程度差による中性化の進行状態

水セメント比	細骨材率	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
%	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	g/m ³
52.0	41.5	331	172	732	1032	3310

締固めの程度	3年経過後の 中性化深さ
1層の巻き出し厚さ50cm、50cmピッチに 締固め、さらに再振動締固め	1mm
1層の巻き出し厚さ50cm、再振動締固め	2.5mm
流し打ち	4mm

13

往時のコンクリート構造物の中性化深さ

中性化測定場所	中性化深さ (mm)
函館漁港石積み防波堤 (約110年経過)	2.5
小樽港北防波堤 (約110年経過)	1.9
信楽高原鉄道第一大戸川橋梁(PC桁) (約53年経過)	表面のみ
スリップフォーム工法による コンクリート構造部材(13年経過)	表面のみ

14

炭酸化によるイオンの移動 その1

- コンクリートは細孔溶液中の K^+ 、 Na^+ がアルカリ性を示す。細孔溶液中には Ca^{2+} は少なく、 $Ca(OH)_2$ として固相に存在する。
- $Ca(OH)_2$ は CO_2 の浸入で $Ca(OH)_2$ と反応し、難溶性の $CaCO_3$ が生成され中性化する。そして鉄筋コンクリート構造物は鉄筋を取り巻く環境がアルカリ性の低下とともに発錆し、鉄筋かぶりは錆の膨張圧で破壊へと連係する。中性化による発せい(錆)は満遍なく錆びるが、塩害によるものは孔食となる。

15

炭酸化によるイオンの移動

- 内部に移動したイオン (Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、フリーデル氏塩、エトリンガイト) は再度、速やかにフリーデル氏塩、エトリンガイト(後にモノサルフェート、硫酸塩の供給で再びエトリンガイト)として固定されるが CO_2 の進入で再びこの反応が繰り返される。

炭酸化領域に 移動するイオン	非炭酸化領域に移動するイオン
Na^+ 、 K^+ 、 OH^-	フリーデル氏塩 エトリンガイト Cl^- 、 SO_4^{2-} CO_3^{2-} 、 HCO_3^-

CO_3^{2-} や HCO_3^- イオンが未炭酸化部に移動し、入れ替わりに OH^- が炭酸化部分に移動する。マイナスイオンの移動とともにプラスイオンも炭酸化部に移動する。

16

中性化による予防及び対策

- | | |
|------------|--|
| 潜伏期 | ひび割れの発生はしていないがアルカリ性が低下している場合は表面被覆、含浸剤の塗布、再アルカリ化等を行う |
| 進展期 | 鉄筋腐食が始まった場合、劣化因子の遮断並びに劣化速度の抑制の為に含浸剤の塗布を行う。鉄筋腐食が進行したひび割れ部分では被りコンクリートを除去し、補修の必要がある。場合によっては防食工法も併用する。 |
| 加速期 | 鉄筋腐食が急激に進行している状態から被りコンクリートの除去、剥落防止の検討を行い防食工法の処置を行う。 |
| 劣化期 | 鉄筋腐食による断面減少により耐荷力の低下が懸念される。被りコンクリートのはつり並びに剥落防止と共に防食工法の採用、箇所によっては補強工法の検討も必要である。 |

17