

## (参考)RC構造物の腐食メカニズムについて

### 1. 中性化による鉄筋腐食(「コンクリートが危ない」小林一輔著 岩波新書616 p. 47)

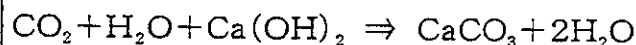
- ◇ 大気中では、酸素の供給がつづくかぎり鉄の腐食が進行する。しかし、鉄表面に接する電解質溶液がpH11.5以上のアルカリ性であれば、腐食反応はおこらない。アルカリ性の環境下では、鉄表面に不動態皮膜とよばれる厚さ約3mmのちみつな酸化皮膜[ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ]がつくられており、この酸化皮膜が鉄を腐食から保護しているからである。
- ◇ 健全なコンクリートの内部はpH12~13のアルカリ性の溶液によって満たされており、鉄筋の表面には不動態皮膜がつくられている。鉄筋が腐食しはじめるのは、不動態皮膜がなんらかの原因で破壊されたときである。それは、コンクリートのアルカリ性が低下した場合である。
- ◇ 大気中でコンクリートのアルカリ性を低下させるのは、二酸化炭素である。二酸化炭素によってアルカリ性が低下する現象は「中性化」とよばれている。中性化は、表面から徐々に内部に向かって進行する。中性化が鉄筋の近くまで達したときに不動態皮膜が破壊され、鉄筋の腐食がはじまる。

pH(ピーエッチ)濃度; (「SI単位ポケットブック」国際単位研究会編、日刊工業新聞社 p. 88)  
(定義) 水素イオンの濃度を規定(N)で表わした数値の逆数の常用対数で表わされる濃度(非SI単位)。

(備考) 国際法定計量機関(OIML)で示されている定義  $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] / (\text{mol/kg})$

コンクリートの中性化(炭酸化); (「イラストで見るコンクリート構造物の維持と補修」ピーターH・エモンズ著、原田 宏監訳 鹿島出版会 p. 8)

コンクリートの中性化は、大気中の炭酸ガス等の酸性ガスがコンクリートの細孔から侵入し、間隙水の中の水酸化カルシウムと反応して生じる。



### 2. 塩化物イオンによる鉄筋腐食(「コンクリートが危ない」小林一輔著 岩波新書616 p. 49)

- ◇ 塩化物イオンによって鉄筋が腐食にいたるメカニズムと、コンクリート構造物の劣化のようすは、中性化に起因するものとは違っている。コンクリート中に限界値以上の塩化物イオンが存在すると、不動態皮膜がつかれない。
- ◇ 鉄筋は腐食に対して無防備の状態におかれるので、水と酸素があれば、中性化とは無関係に腐食がはじまる。このことは、鉄筋の腐食はコンクリート表面付近の鉄筋のみでなく、内部の鉄筋にもおこることを意味する。

塩化物の浸透; (「イラストで見るコンクリート構造物の維持と補修」ピーターH・エモンズ著、原田 宏監訳 鹿島出版会 p. 5)

腐食を促す塩素濃度はpHに影響され、pHが13.2のとき塩素イオンが8,000ppmを境に腐食が始まり、11.6に低下すると僅か71ppmで腐食が始まるとの報告がある。

### 3. 炭酸化による鉄筋腐食(「コンクリートが危ない」小林一輔著 岩波新書616 p. 53)

- コンクリートが流しこまれた直後には、海砂中の塩分(NaCl)はコンクリート中で解離して塩化物イオンとなるが、まもなく、その多くの部分はセメント中のアルミン酸カルシウムと結合して、フリーデル氏塩( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )とよばれる結晶を形成する。
- フリーデル氏塩がなんらかの作用で分解した場合には、大量の塩化物イオンが生まれる。このように、眠っていた塩分の活性化を引き起こす引き金の役割を演じるのが、大気中の二酸化炭素である。
- 二酸化炭素は、時間の経過とともにコンクリート表面の毛管空隙を通じて内部に侵入し、コンクリートを固めているセメント硬化体組織を分解させる。これがコンクリートの炭酸化である。
- 炭酸化によってフリーデル氏塩は分解され、固定化されていた塩分はふたたび塩化物イオンとなる。この結果、炭酸化部分における塩化物イオン濃度が高まり、濃度拡散現象によって塩化物イオンは内部に移動する。このために炭酸化のフロント(最前線)部分で塩化物イオンの濃縮がおこるのである。

### 4. アルカリ骨材反応のメカニズム(「コンクリートが危ない」小林一輔著 岩波新書616 p.74)

- アルカリ骨材反応は、コンクリート中で、素材である岩石(骨材)中のシリカ分が強アルカリによって溶解する現象である。シリカは、石灰岩を除く岩石中に40~80%含まれている、ごく一般的な鉱物である。シリカが溶けるということは、岩石が溶解することを意味する。
- シリカは石英のような結晶であれば安定であるが、それでもpHが10を越えるような高アルカリ性の水に対しては、100ppmくらいは溶解する。これが非晶質になると、アルカリ性の水に対してきわめて溶けやすくなり、pH10の場合の溶解度は1000ppmに達する。このことは、シリカを含んでいるすべての岩石は、コンクリート中のアルカリ濃度がある限界を越えると溶けはじめるということの意味する。
- 岩石鉱物学的に見たアルカリ反応性の目安は、非晶質のシリカを含む安山岩や流紋岩などの火山岩、チャートや頁岩などの堆積岩である。コンクリート用の砕石に多く使われている砂岩にも、反応性の高いシリカが存在する。さらに、粘板岩、片麻岩、片岩などの変成岩に含まれている、結晶格子に歪みをもつ石英も同様にアルカリ反応性である。

アルカリ骨材反応;(「イラストで見るコンクリート構造物の維持と補修」ピーターH・エモンズ著、原田 宏監訳 鹿島出版会 p. 15)

アルカリ骨材反応によるひびわれは、未解明の部分があるが、骨材に含まれる反応性シリカが、セメントのカリウム、ナトリウムや水酸化カルシウムと反応して、骨材の周辺にゲルを形成し、それが湿気にさらされると膨張し、その引張力によってひびわれが発生する。アルカリ骨材反応は数年間認められないことがある。

## 原位置(槽内)処理 費用検討

### 1. サイト概要

サイト名: Cc~Ss

対象物: 汚泥、ばいじん、鉱さい

溶出量: アルキル水銀0.0016mg/l、総水銀0.0079mg/l、カドミウム34mg/l、鉛15mg/l、六価クロム0.15mg/l、セレン0.23mg/l

埋立量: 125411 m<sup>3</sup>

### 2. 処理方策

- ①低分子ジチオカルバミン酸系、高分子ジチオカルバミン酸系不溶化剤使用
- ②注入は区画毎の井戸より行う
- ③不溶化の確認は概ね30m<sup>3</sup>に1検体、溶出試験を行う
- ④反応後の自由水は揚水・精密ろ過処理し、水質確認後、放流する
- ⑤精密ろ過で補足された懸濁物質は、カートリッジとともに遮断槽上部に埋め込む
- ⑥対策後、コンクリートで固型化する

### 3. 対策概算費用

#### ①不溶化処理

1)不溶化剤費 (剤: 64,000 円/m <sup>3</sup> )	8,026,304,000 円
2)井戸設置費	206,928,150 円
3)不溶化処理機材及び人件費	627,055,000 円
4)サンプリング、分析費	325,950,000 円
・処理前試験	1755 検体
・処理後試験	4264 検体
・法流水分析	500 検体
5)固型化処理	8,151,715,000 円

#### ②仮設費

1)仮囲い、天井スラブ撤去、修復	固型化処理に含む 円
2)放流水貯槽レンタル (20m <sup>3</sup> ×400槽)	200,000,000 円

合計 17,537,952,150 円  
139,844 円/m<sup>3</sup>

## 原位置(槽内)処理 費用検討

### 1. サイト概要

サイト名: VVw

対象物: 汚泥(メッキスラッジ)

溶出量: カドニウム0.05mg/l、六価クロム0.10mg/l、全シアン3.1mg/l

埋立量: 650 m<sup>3</sup>

### 2. 処理方策

- ①ポリ硫酸鉄、硫酸第一鉄等凝結剤使用
- ②注入は区画毎の井戸より行う
- ③不溶化の確認は概ね30m<sup>3</sup>に1検体、溶出試験を行う
- ④反応後の自由水は揚水・精密ろ過処理し、水質確認後、放流する
- ⑤精密ろ過で補足された懸濁物質は、カートリッジとともに遮断槽上部に埋め込む
- ⑥対策後、コンクリートで固型化する

### 3. 対策概算費用

#### ①不溶化処理

1)不溶化剤費 (剤: 1,600 円/m <sup>3</sup> )	1,040,000 円
2)井戸設置費	1,072,500 円
3)不溶化処理機材及び人件費	3,250,000 円
4)サンプリング、分析費	1,700,000 円
・処理前試験	9 検体
・処理後試験	22 検体
・法流水分析	3 検体
5)固型化処理	42,250,000 円

#### ②仮設費

1)仮囲い、天井スラブ撤去、修復	固型化処理に含む 円
2)放流水貯槽レンタル (20m <sup>3</sup> ×4槽)	2,000,000 円

合 計

51,312,500 円  
78,942 円/m<sup>3</sup>

## 原位置(槽内)処理 費用検討

### 1. サイト概要

サイト名: MMmm

対象物: 燃え殻、ばいじん

溶出量: 六価クロム0.02mg/l

埋立量: 88 m<sup>3</sup>

### 2. 処理方策

- ①埋立基準以下のため不溶化処理は行わない
- ②コンクリートで固型化する

### 3. 対策概算費用

#### ①不溶化処理

1)不溶化剤費 (剤: 0 円/m <sup>3</sup> )	0 円
2)井戸設置費	0 円
3)不溶化処理機材及び人件費	0 円
4)サンプリング、分析費	0 円
・処理前試験	0 検体
・処理後試験	0 検体
・法流水分析	0 検体
5)固型化処理	5,720,000 円

#### ②仮設費

1)仮囲い、天井スラブ撤去、修復	固型化処理に含む 円
2)放流水貯槽レンタル	0 円

合 計	5,720,000 円
	65,000 円/m <sup>3</sup>