

打放しコンクリート表面の汚染事例とその原因・対策

鹿島建設(株)建築管理本部

寺内 伸

1. はじめに

従来、打放しコンクリート外壁の建物は意匠上設計者に好まれ、その数はきわめて多い。仕上げ技術者としては打放しコンクリート外壁は全く反対であり、コンクリート表面の保護養生を含めて何らかの仕上げは不可欠と考えている。

近年、某建物で打放しコンクリート外壁の表面がポップアウトし、錆色の汚れが発生した事例があった。本邦文はその原因・対策について検討した結果を報告する。

2. 不具合の発生状況・経緯

不具合を発生した建物は、千葉県印西市で1994年竣工の地下2階、地上20階、延べ床面積約80,000㎡S造の事務所ビル低層部打放しコンクリート外壁ならびにほぼ同時期に施工された近隣の数種類の建物、及び歩道アスファルト舗装面など広範囲である。不具合の代表的な発生状況を写真1～2に示す。写真1はコンクリート表面より、流出した錆汁の事例、写真2は錆汁発生起点がコーン状にポップアウトし剥離し

た状況である。

不具合発生規模は、5,000㎡打放しコンクリート外壁面に概ね1,000箇所程度の錆色の汚れが見られ、雨がかりの箇所は錆汁状の汚染物質が垂直方向1～2mに付着している。なお、内壁を含め雨のかけにくい箇所は錆状の小さな汚れは確認されたが、垂直方向の汚れはなく目立ちにくい状態であった。また、程度に差があるものの数10箇所に錆の起点よりコーン状のポップアウトが確認された。現在までの経緯を表1に示す。当初錆状物質は、鉄筋・結束線などが原因と考えられたが調査の結果、錆状物質の付着物はコンクリート表面のみで、その箇所に合致するコンクリート内部にはそれらは存在しないことが分かった。したがってコンクリートかぶり厚不足が錆発生の原因ではなく打放しコンクリートに使用されている骨材が原因していると考えられた。使用した3社の生コン業者の骨材を調査すると、A社はすべて鬼怒川産の川砂利、B社は鬼怒川産川砂利50%・碎石



写真1 コンクリート表面の錆汁の事例



写真2 錆汁起点のポップアウトの状況

表 1 外壁汚れの経緯

年 月	項 目
1994 年 12 月	建物竣工
2002 年 11 月	得意先より外壁が錆色に汚れているので調査を要請される。
2003 年 1 月	錆状物質のコンクリート内部にはいずれも鉄筋・結束線、釘などは存在しないことを確認
2003 年 4 月	汚れの規模は 5,000 m ² の外壁に約 1,000 箇所程度の汚れを確認
2003 年 9 月	生コン業者 3 社の骨材使用状況調査
2004 年 1 月	補修工事開始、現在に至るが、その後顕著な錆汁状の汚れは進展していない

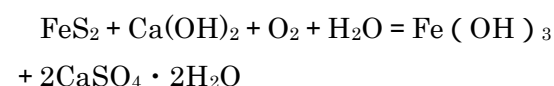
50%、C 社はすべて砕石が使用され、本件の不具合の原因が B 社・C 社で使用した砕石にあると考えられた。

3. 原因の推定

既往文献^{1)~5)}調査の結果、錆汁の汚染及びポップアウト現象は、砕石中に含まれる黄鉄鉱(FeS₂)が原因であることが推察された。吉木¹⁾は硫化鉄鉱中の黄鉄鉱についてその特性を詳細に報告している。L.ドラール・マントアニ・洪ら²⁾は黄鉄鉱、白鉄鉱、磁硫鉄鉱は多くの岩石に付随する成分で骨材中に存在し、コンクリート表面近くにあるものは、水和反応によって錆の生成による汚染とポップアウトを起こすことを指摘している。飛内³⁾は河川の護岸工用コンクリートブロックが敷設後 0.5~2年で茶褐色に変色するとともにポップアウトが発生した事例とその核物質を分析した結果、黄鉄鉱が確認されたことを報告している。なお、論文では黄鉄鉱の含有量は 1%未満のためブロックの破壊までには至らないことを示唆している。丸⁴⁾はコンクリートの耐久性を左右する骨材の品質、岩石と鉱物の判別方法について解説し、磁硫鉄鉱が原因となるコンクリートの弊害について指摘

している。佐々木ら⁵⁾は、硫化鉄はアルカリ溶液中で溶解し生成した鉄イオンが水酸化鉄として沈殿することを述べている。

以上により本建物の不具合が既往の報告と酷似していることから使用されたコンクリート砕石中に黄鉄鉱が存在し下式により反応したのは自明である。



この反応は、コンクリートのアルカリ性・中性に関わらず生じるものであり、酸素及び水の供給により行われる。したがって、コンクリート表面に近い箇所に黄鉄鉱を含有する骨材が存在すると反応に必要な酸素と水はコンクリート表面より供給され反応する。黄鉄鉱は水酸化第二鉄に変化し 4~5 倍体積膨張する。また、生成した硫酸カルシウム(2 水石膏)はさらに結晶水 24H₂Oを有するエトリンガイドに変化し膨張圧が著しく増加する。これらが、錆汁とポップアウトの原因である。黄鉄鉱がコンクリート表面から極めて浅い場所に存在し、かつある程度の粒径を有する場合、体積膨張によってコンクリートをはじき出されポップアウト現象を生ずる。しかし、黄鉄鉱

の粒径が小さいかまたは微量の場合ポップアウトまでには至らず、生成した微量の水酸化第二鉄のみが浸入した雨水によりコンクリート表面に溶出する。またコンクリート表面で空気と接触した水酸化第二鉄は酸化鉄（ Fe_2O_3 ：赤褐色， Fe_3O_4 ：黒褐色）となり錆汁を生ずることになる。なお、ポップアウトまで発生するか、錆汁のみにとどまっているか、換言すれば存在する黄鉄鉱の粒径・量とコンクリート表面からの厚さ方向の存在位置との関係は明確には分かっていない。

4. 対策

(1) 今後の補修対策・施工時期

補修方法としては、錆汁の流出起点となっているポップアウトの核物質と見られる箇所の骨材をハツリのみにて除去し、エポキシ樹脂モルタルにて穴埋め、錆汁跡はサンダーによる研磨と補助的に塩酸による払拭を併用し除去した。その後念のため表面に浸透塗布材を塗布することとした。現在、補修後2年経過するも錆汁の汚染は増加していないので、補修の効果はあったと考える。なお、雨水のかからない内壁については、現状のままで処置を要しないものと考えている。得意先に対し提案した今後の補

修施工対策とその時期について表2に示す。

(2) 構造躯体への影響

構造体への影響については、既往の文献も含め、深い位置にある骨材中の黄鉄鉱が酸化して躯体を破壊しコンクリート片を落下させたという例は見られない。これは、深い位置にある黄鉄鉱が反応を起こしにくいこと、あるいは仮に反応したとしてもコンクリートによる拘束度が高いためポップアウトが生じにくいことによるものと考えられる。このことから、今回の現象は、構造体の安全性・耐久性は問題ないものと考え得意先の了承を得た。

(3) 今後の対応

今回の事例を契機に、当社が設計監理を行う全てのコンクリート工事を対象に、生コン業者の選定に際して骨材の産地に留意し、過去に同種の問題が生じていないことを確認する。特にコンクリート打放し外壁については以下の方策を検討している。

使用する骨材中に存在する黄鉄鉱の確認

骨材中の黄鉄鉱の存在を確認する方法としては、X線解析或いは顕微鏡による観察がある。採石場所でのサンプリングは、同一産地でも層の違い、組成の違いや偏りが

表2 今後の補修対策と補修施工時期

対策	仕様	5年	7年	10年	15年	20年
撥水材塗布	シラン系撥水材					
撥水材+塗装	シラン撥水材+ アクリル樹脂系塗装					
	シラン撥水材+ フッ素樹脂系塗装					
備考	補修施工時期を示す					

あり、適切なロットの構成が困難である。生コンプラントにおける骨材分析を徹底させることで対応せざるを得ない。(たとえば生コン車1台を1ロットとするなど)しかるに「実務的に有効な検査法が確立できるか」「サンプリングをどうするか」「迅速かつ簡便な分析方法」「判定基準をどう設定するか」「不合格の場合の対処方法」等、多くの検討課題があるのも事実である。

生コン業者に対し骨材の指定

黄鉄鉱を含む可能性が低い石灰石を骨材に使用するように生コン業者に指定する。現状では、国産コンクリート粗骨材の1~2割を石灰石が占めている。この石灰石を骨材とするコンクリートの供給性・コスト・地域格差等、今後詳細に検討を進める必要がある。しかし生コン業者に骨材を指定することは事実上困難である。

5. 今後の検討課題

本件の不具合については多くの既往の文献でも指摘されており、新規の不具合ではない。しかし、現場施工担当者としては、コンクリート工事については JASS5、碎石・砕砂については「JIS A 5005 コンクリート用碎石及び砕砂」を遵守し施工するのが精一杯であり、黄鉄鉱の含有検査までは手が回らず、その必要性の認識すらされていないのが実態である。また現実問題として、生コン業者に対し搬入する生コンに条件をつけることは事実上不可能であるのが事実である。その反面、打放しコンクリート外壁は如何に仕上げ技術者が不可と主張しても意匠上採用されるケースが多い。近年、骨材の品質低下の可能性も含めて、本件の不具合と対策について学会等の場で検討を推進していただきたく問題提起

をしたい。

6. まとめ

打放しコンクリート表面の汚染事例とその原因・対策の事例を報告した。

・不具合は、錆汁とポップアウト現象である。これらについては、既往の文献にも多く紹介されており特に新規の不具合事例ではない。

・対策として生コン業者に骨材を指定することは困難であるとともに、硫化鉄鉱を含まない骨材の確認も事実上至難の業である。今後骨材の不具合について、具体的な対策を如何にすればよいのか苦慮しているのが実態である。

・錆び発生防止については、シラン系撥水剤+フッ素樹脂クリヤ塗装は錆び発生防止の具体的対策として有効である。

【謝辞】 笠井先生には、多くの文献紹介のほか、本件の不具合原因についてご指導賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1)吉木文平；鉱物工学、3.酸化鉄 3.1.4 硫化鉄鉱、p200、技報堂、昭和43年、5版
- 2)L.ドラー、マントアニ著・洪悦郎、鎌田英治；コンクリート骨材ハンドブック、コンクリート骨材としての鉱物と岩石、p92、技術書院、昭和62年5月
- 3)飛内圭之；コンクリートブロックの変色原因について、p196、日本大学理工学部学術講演会論文集、昭和61年度
- 4)丸章夫；骨材品質にかかわる耐久性の診断手法 岩石・鉱物学的手法、p40、コンクリート工学、Vol26, No7, July, 1988
- 5)佐々木孝彦、中村亨、立松英信；骨材のアルカリ反応性に及ぼす共存鉱物の影響、p5、鉄道技術研究所報告、1989年