

快適なビル環境のための

2008

設備と管理 3

特集 管理業務主任者試験問題と

解答・解説

- 企業の盗聴対策
- 熱効率103%!無圧開放式潜熱回収温水器
- 第39回技能五輪国際大会配管職種競技レポート

液体ガラスで安心と長期耐久化を(3)

コンクリートの塩害、凍害を防ぐ

コンクリートの港湾構造物や寒冷地・山間部の道路、建設物などで、塩水や融雪剤、凍結融解による表面剥離現象が起きている。液体ガラスを表面から浸透させることで、これらの劣化を防ぐことを紹介する。



外崎安弘・堀 晴雄

1 コンクリートとは

まず、コンクリートについての概略を述べてみたい。

コンクリートは、インフラストラクチャーや一般建造物に使われている。それはなぜかという、価格が安く、さまざまな形に柔軟に対応できることや強度の確保ができるからである。

しかし一方では、品質の管理が非常に難しく、完成された製品ではないことも特徴である。例えば、練り混ぜ水の量の加減でコンクリート品質の出来栄が変わってしまったり、打ち継ぎなどの工程で、全体を一定の品質に保つことが難しい、といったことである。また、コンクリートが固まりつつあるときに水分が蒸発していくが、このときにコンクリートの弱点を作ってしまうことが多い。それは水分が抜けた部分に細かい穴(空隙)が連続してできてしまい、この多孔質な部分が無数にあるので、雨水がコンクリートの中を出入りしやすくなってしまうためである。

コンクリート構造物のほとんどが、鉄筋コンクリートや鉄骨鉄筋コンクリートというように、コンクリート内部で引張力を負担するために鉄を使っている。

コンクリート内部の鉄(鋼材)は、コンクリートが強アルカリ状態の中では不動態皮膜といって腐食作用に抵抗する皮膜が表面に生じていてさびることはないが、大気中の二酸化炭素(CO₂)がコンクリート内に侵入し、酸

化反応を引き起こすことにより、本来アルカリ性であるコンクリートのpHを下げる現象が起き、中性化劣化する。

中性化はコンクリート表面より進行し、鉄筋などの鋼材位置に達すると、不動態皮膜を破壊する。これにより鋼材を腐食させ、鉄は酸化鉄になり、体積膨張しコンクリートにひび割れ・剥離を引き起こし、耐荷力など構造物の性能低下を生じさせる。ひび割れが発生したコンクリートはさらにCO₂や水の浸入を促すため、中性化によるコンクリート建造物の劣化を加速させる。

このほかにもコンクリート劣化に関わる問題には、アルカリ骨材反応、塩害、凍害などいろいろあるが、コンクリートを取り巻く環境などからすべての問題を解決できる方法は難しいと言えよう。

一時期、コンクリートはメンテナンスフリーとまで言われ、供用年数が普通50~60年程度はあるので、劣化にはそれほど注意をはらってこなかったのが現状だ。高度経済成長期に大量に建設された構造物の維持・管理が、現在重要な課題になってきている。

2 塩害・凍害とは

2-1 塩害

コンクリート構造物の塩害とは、コンクリート中の鋼材の腐食が塩化物イオンの存在により促進され、腐食生成物(錆)の体積膨張により、コンクリートにひび割れや剥離を引き起こし、さらに腐食が進行すると鋼材の断面

減少が著しくなり、構造物は本来の性能・機能を果たすことができなくなる劣化現象をいう。

このような劣化を引き起こす塩化物イオンは、海水や凍結防止剤のように、構造物の外部環境から供給される場合と、コンクリート製造時に材料から供給される場合とがあり、供給経路は次の四つである。

- ①骨材および練り混ぜ水に含まれる場合
- ②セメントおよび混和剤中に含まれる場合
- ③海から供給される塩化物イオンがコンクリート中に浸透する場合
- ④塩化物イオンが含まれる融氷剤などによりコンクリート中に浸透する場合

コンクリート中にはセメントの水和反応に使われない細孔溶液があり、空気中の二酸化炭素などにより中性化していなければ、一般に $\text{pH}=12$ 以上の高いアルカリ性を示している。このような高アルカリの下では、鋼材の表面には不動態皮膜と呼ばれる酸化物皮膜が形成され、非常に腐食しにくい状態にある。したがって、コンクリートが中性化しない限り、鉄筋は健全であると考えられてきた。

しかし、実環境下においてコンクリート中の鉄筋周囲で鋼材腐食発生限界濃度 ($1.2\sim 2.4\text{kg/m}^3$) を超えた塩化物イオンが存在すると、高アルカリ性環境であっても不動態皮膜は破壊され、腐食が進行する。

錆の体積は元の鋼材の約2.5倍になるので、かぶりコンクリートに膨張圧を与え、ひび割れや剥落を引き起こす。このひび割れは、水や酸素などの腐食因子を容易に侵入させ、鉄筋腐食が加速する。その結果、鉄筋断面が欠損して鉄筋コンクリート構造物の性能が低下し、所定の機能を果たすことができなくなり、早期に重大な劣化につながるという厄介な現象となる。



写真1 外壁打放し面の中程度のポップアウト

2-2 凍害

凍害とは、コンクリート中の水分が 0°C 以下になったときの凍結膨張によって発生するものであり、長年にわたる凍結と融解の繰返しによってコンクリートが徐々に劣化する現象である。凍害を受けたコンクリート構造物では、コンクリート表面にスケーリング（剥離）、微細ひび割れ、またはポップアウトなどの形で劣化が現れはじめ、次第に進行すると、鋼材（鉄筋）までの中性化や鉄筋腐食が早くなり、かぶりコンクリートの剥落に至ることもある。

この凍害劣化のメカニズムは（水は凍結するときに自由に膨張できるものとする）、9%の体積膨張を生じるが、コンクリートの細孔内部では、温度降下に伴いまず大きい空隙中の水が凍結し、ついで小さい空隙中の水が凍結する。小さい空隙中の水が凍結する過程では、大きい空隙中にできた氷晶により膨張が拘束される。この膨張を緩和するだけの自由空隙が存在しない場合は、大きい静水圧が空隙の壁に作用し、これが引張強度に達したときにひび割れが生ずるものと考えられる。この繰返しによりコンクリート表面から徐々に劣化していく。

凍害による劣化の主な形態は、次に示すものが代表的である。

- ①ポップアウト（表層下の骨材などの膨張破壊による円錐状の剥離、写真1）
 - ②微細ひび割れ（紋様や地図状が多い）
 - ③スケーリング（表面が薄片状に剥離・剥落）
 - ④崩壊（小さな塊や粒子になる組織の崩れ）
- (a) 土木構造物における凍害

土木構造物は、一般には水にじかに接する機会が多く、しかも気象作用の厳しい箇所に設置される場合が多いため、建築構造物に比較して凍害を受けやすい条件下にある。凍害は、道路橋（地覆部分、橋台、橋脚、橋桁）、境界ブロック、擁壁、トンネル坑口部、防波堤などの港湾海岸構造物、水路などの水利構造物、ダムなどに多い（写真2, 3）。

(b) 建築物における凍害

凍害を受けやすいのは、水に接する状態で凍結融解作用を多く受ける箇所である。建築物の場合には、一般に建物の外部周りであり、その中で外壁面などは水に濡れる機会が少ないので、凍害は比較的生じにくい。しかし、

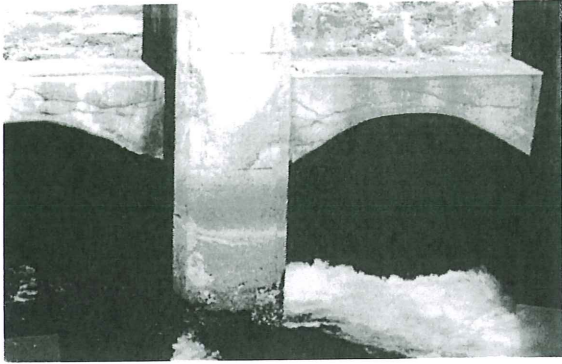


写真2 橋脚水面部の凍害

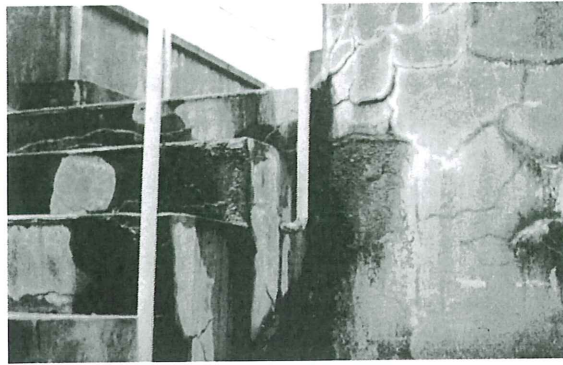


写真4 屋外階段モルタル仕上げのひび割れ
(降雨後)

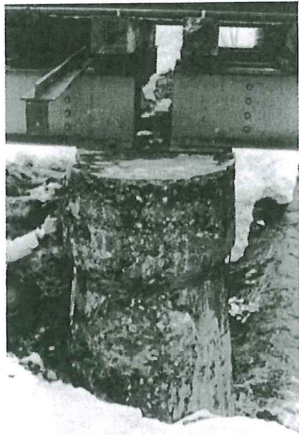


写真3 線路橋ピア上部の凍害
(スケーリングとひび割れ)

外壁面でも融雪水によって濡れる部分では、凍害が発生している。建築物で最も多く凍害が発生しているのは、突出部（軒先、ベランダ、玄関庇）、外部柱・梁、外壁面の特殊部分（開口部・パラペット周り、隅角部、排気口下部、斜め外壁など）、床面（防水層押さえ、置き手摺）、屋外階段（写真4）などである。

3 一般的な劣化防止方法

3-1 塩害の場合

コンクリート中の鋼材の腐食を防止する方法は、一般に次のように分類できる。

- ①水分、酸素およびCl⁻などの腐食性物質を環境中から除去する。
- ②腐食性物質のかぶりコンクリート中への侵入・拡散を防止する。
- ③かぶりコンクリート中の腐食性物質が鋼材表面に到達するのを防止する。
- ④鋼材として防食性能の高いものを用いる。
- ⑤外部からの電流によって鋼材の電位を変化させ防食領域に入らせる。
- ⑥防錆剤の使用。

海洋環境あるいは冬期に融氷剤が散布されるような、外部から塩分の侵入が多いと予想される場合には、上記の分類のうち、②、③、⑤の方法が主として用いられる。

このなかで、②の方法には、具体的にはコンクリート表面のライニングがあり、これまで塗装、コーティング、ライニング、含浸などにより、コンクリート表面からの塩分侵入を遮断しようとするものであるが、一般にはこれらが施工後、長期にわたり、その維持・補修が十分にできるかが課題として挙げられる。すなわち、これらの使用にあたっては、特に樹脂系では耐候性、遮水・遮塩性、耐アルカリ性、コンクリートとの付着性、ひび割れ追従性などが課題として求められている。

3-2 凍害の場合

凍害を受ける直接的原因は、

- ①凍結融解繰返し作用が多い
- ②コンクリートの含水率が多い
- ③コンクリートの耐凍害性が小さい

の3点である。

したがって、凍害防止対策はこれらの3つの条件とならないようにすることである。建築物の場合には、これを凍害防止設計の面から分類すれば、次のようになる。

- ①外的防止設計（建物の設計、使用条件に関するもの）
 - ・外観設計……できるだけ突出部を設けない
 - ・断熱・暖房計画……凍結または凍結融解の繰返しの防止
 - ・各部防水・排水設計……コンクリートが水と接触し、含水が多くなることを防止
 - ・構造設計……凍害発生の誘因作用となる温度応力などから発生するひび割れ

の防止

②内的防止設計（コンクリートの耐凍害性の向上）

- ・調合・養生……水圧緩和機構と緻密な組織の形成，ひび割れ防止
- ・骨材の選定……ポップアウトなどによる劣化の防止
- ・施工……初期凍害の防止，表面のならし過ぎの防止，打継ぎ部の欠陥防止

土木構造物の場合においても，凍害防止の要点は建築物と基本的には変わらない。ただし，土木構造物のコンクリートのほとんどが特別の仕上げを施さない打放しであるので，気象作用を直接受け，水利構造物以外でも直接水と接する機会が多い。そのため，仕上げを施したコンクリートに比べて凍害発生に不利な条件下にある。凍害をもたらす作用に対して直接抵抗しなければならないため，コンクリートそれ自体の耐凍害性が極めて重視されるのが，土木用コンクリートである。つまり，前述の「内的防止設計」による対応が重視されるが，それだけでは現実には凍害を防止できていないのが現状である。それは，特にコンクリートが湿潤状態になりやすい箇所凍害の発生が多々見られるからで，「各部の防水・排水の設計」がやはり重要である。

4 コンクリート表面の含浸材塗布工法

鉄筋コンクリート構造物の劣化原因が，いずれもコンクリート表面からある種の物質の浸透あるいは拡散に大きく関係していることから，「含浸塗布工法」はコンクリート表面に含浸材を塗布することによって，それぞれの劣化因子の侵入防止または鉄筋腐食作用を抑制する工法である。

コンクリート用の含浸材には，さまざまなものが市販されているが，その中で次のようなものが補修用として使用されている。

- ①アルカリ性付与材
- ②塗布型防錆(サビ材)
- ③浸透性吸水防止材（コンクリート表面より塗布含浸させることによって，コンクリート表層部に吸水防止層を形成し，外部からの水の浸入や，塩化物イオンの浸透を抑制する含浸材。後述のクリスタルシーラーは無機質であるが，これにも該当する）

④浸透性固化材

- ⑤その他（無機質浸透性防水材，ポリマー含浸透材，アルカリ骨材反応抑制材，塗布型収縮低減材などの含浸材などがある）

5 クリスタルシーラーによる塩害・凍害の防止

5-1 クリスタルシーラーとは何か

先に述べたように，コンクリートは，空気，雨水，塩分などの侵入に弱い，逆に言うと，これらを遮断してしまえば，中性化や凍害，

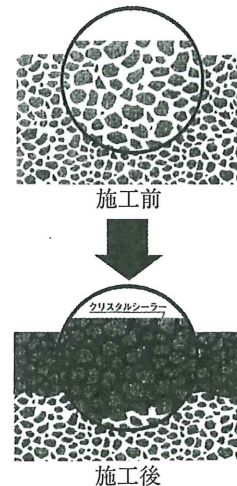


図1 クリスタルシーラー塗布によるコンクリート表面部の無孔化

表1 透水係数試験結果

(単位：×10⁻⁹cm/秒)

試験体	1	2	3	平均
無処理	0.96	3.88	5.58	3.47
クリスタルシーラー処理	0.93	0	1.11	0.69

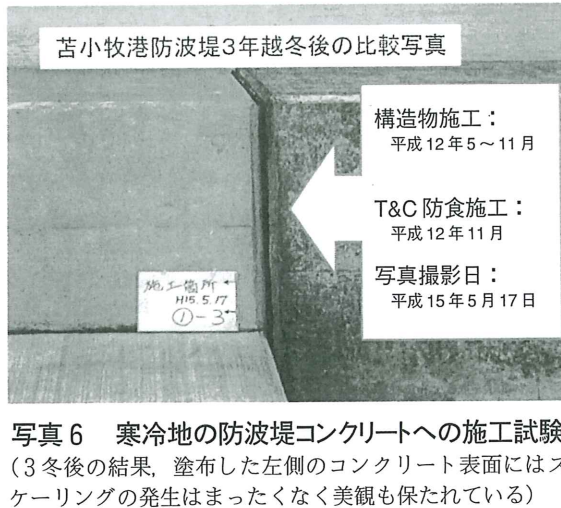
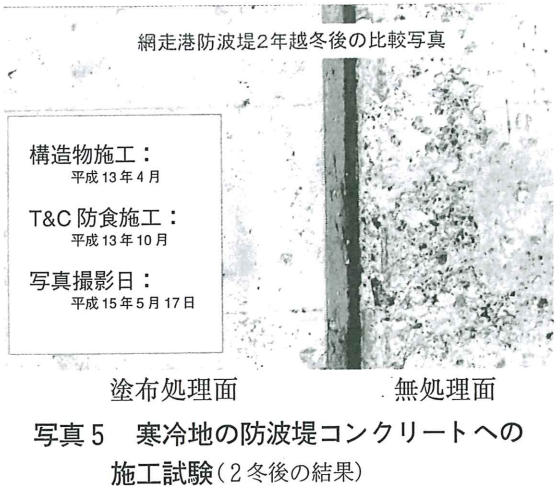
*無処理及び無機表面強化剤(クリスタルシーラー)処理の試験体(材令28日)よりコアカッターにて100mmφの試験体を3個切り出し，負荷水圧4kg/cm²，試験温度20℃において測定。

表2 塩化物イオンの浸透遮断性試験結果

	試験開始直後	4週 [mm]	9週 [mm]	26週 [mm]	52週 [mm]	見かけの拡散係数 [cm ² /sec]	
空気量3%	無処理	0.0	3.2	6.6	16.0	26.6	1.50×10 ⁻⁸
	T&C防食	0.0	1.9	4.7	12.0	19.0	0.79×10 ⁻⁸
	輸入汎用品	0.0	2.6	6.3	16.3	25.4	1.42×10 ⁻⁸
空気量5%	国内汎用品	0.0	2.1	5.1	15.4	24.9	1.37×10 ⁻⁸
	無処理	0.0	3.4	6.9	17.8	28.3	1.73×10 ⁻⁸
	T&C防食	0.0	2.3	5.0	14.3	22.9	1.07×10 ⁻⁸
	輸入汎用品	0.0	2.9	6.6	17.3	26.5	1.55×10 ⁻⁸
	国内汎用品	0.0	2.4	5.4	16.3	24.1	1.41×10 ⁻⁸

*結果は，「T&C防食」の塩化物浸透遮断性が大きいことを示している。

*NaCl3%の水溶液中に浸漬させ，時間ごとに試験片を割裂によって二分割し，塩化物イオン浸透深さを測定したもの。



外部からの塩分による塩害の発生そのものを防止することになり、コンクリートの外部環境による劣化に極めて有効である。

そのため、コンクリート表面に塗料を塗ることがある。近年まで塗料といわれているものは、耐久性のある強い有機溶剤が使われていて、今一番を考えなければならない環境問題に対して疑問が残る。

そこで、有機溶剤に代わる環境にやさしい耐久性を備えた塗料はというと、それが「クリスタルシーラー」なのである。

クリスタルシーラーとは、コンクリート・モルタルへの浸透性完全無機質反応型改質剤である。

有機高分子系もしくは無機系の防水改質剤とは異なり、コンクリート・モルタルなどの多孔質石造材料に珪酸アルカリ水溶液を塗布し浸透させ、アンモニウムイオンとハロゲン

イオン存在下に珪酸カルシウムおよびコロイド珪酸を生成させ、材料の孔を完全に充填して無孔化する(図1)。すなわち、コンクリート内部のイオンと置換反応を起こし、内部に不溶性の結晶体(ガラス物質)を形成する。

5-2 クリスタルシーラーの特徴と効果

クリスタルシーラー塗布によりコンクリート表層部の空隙が無孔質のガラス層に改質され、空気、水分、塩分その他の浸透を防止するため(表1, 2)、コンクリートの劣化防止に極めて有効であり、これを「T&C防食」と呼ぶ。(a)表面防水性の向上による凍害・塩害の防止(写真5, 6)

雨水の表面からの浸入がなくなるのでコンクリート内部は乾燥状態にあり、そのため温度的に凍結・融解の繰り返しがあっても、内部応力の発生はないので凍害はまったく発生しない。同様の理由で、外部から侵入する塩

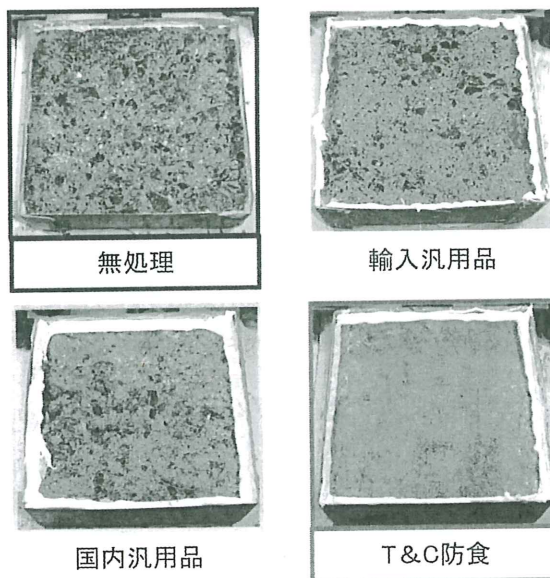
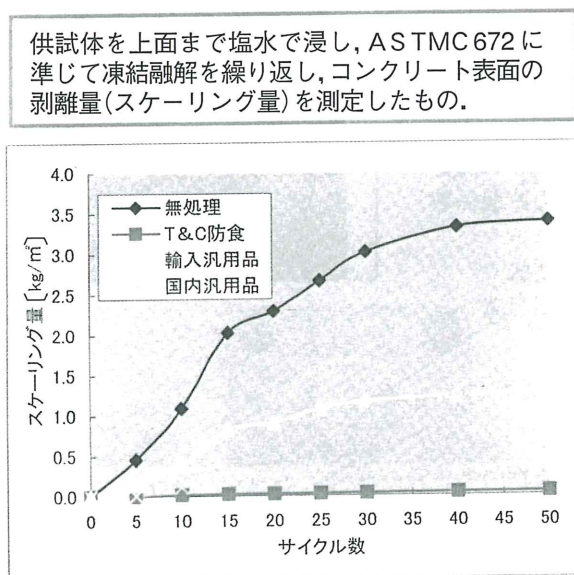


図2 塩水浸漬による凍結融解試験結果(表面剥離量の比較)

化物イオンの侵入も防げるので、塩害の発生もない(図2)。

(b)コンクリートの中酸化防止

二酸化炭素や酸化性ガスなどの表面からの侵入をほぼ防ぐので、中性化の進行が大幅に遅くなる。しかもクリスタルシーラーの持つ強アルカリで中性化を再生させる効果もある。特に、酸性雨が原因でコンクリートの中酸化劣化が促進されるが、クリスタルシーラーの未反応部分がこれらを取り込み不溶性部分を形成するため、酸性雨に対しては顕著な効果を発揮する。

(c)強度・耐摩耗性の向上

コンクリート表層部に不溶性結晶体が形成されるので、コンクリート表面強度や耐摩耗性が増大する。

(d)耐薬品性の向上

コンクリート表面が侵されやすい各種の炭化水素類(ハロゲン化炭素類、アルデヒド、ケトン類、アルコール類など)や油類(自動車用・機械用・食用など)などの薬品類に対して、抵抗性が向上する。

(e)コストの低減化

クリスタルシーラーで処理したコンクリートは、初期の材料・施工費用がかかるが、そ

の後はメンテナンスフリーで高耐久のため、長期的に考えて経済的な効果が極めて大きい。

なお、施工上の注意としては、すでにコンクリートが内部まで相当脆弱化しているときは、脆弱部をすべてはつきとって、健全部に施工することが重要である。また、表面が濡れて含水しているときにも、施工は避けるべきである。

* * *

以上、クリスタルシーラーの特徴と優れた効果を述べてきたが、クリスタルシーラーにより、コンクリートは生まれ変わるのである。またその用途は、打放しコンクリート(内外壁・塀・擁壁)、床コンクリート(駐車場・工場倉庫・店舗床)、二次製品(ヒューム管・ブロック・テトラポット・成型版)、土木構造物(トンネル・橋梁・橋脚・用水路・岸壁)などがあり、それぞれに前述の表面改質による劣化防止効果が大きいので、その使用が望まれる。

(潮産業株式会社 専務取締役

[そとざき やすひろ]

株式会社堀江製函合板所 主任

[ほり はるお]

図解 コンクリート構造物の総合診断法

小林 一輔 編著

定価：2 940円(税込)

B5判・168ページ

〈目次〉

カラー口絵

第1部 健全度診断法

コンクリート構造物の健全度診断に関するQ&A

第1章 中性化(炭酸化)深さの測定法

第2章 圧縮強度・弾性係数および鉄筋位置・かぶりの測定

第3章 コンクリートの酸素および塩化物イオンの拡散係数
試験方法

第4章 セメント硬化体・コンクリート組織の診断法

第5章 コンクリート中の高炉スラグ微粉末の検出方法

第6章 硬化コンクリート中の塩化物量の測定法

第2部 劣化診断法

コンクリート構造物の劣化診断に関するQ&A

第1章 ひび割れの診断方法

第2章 アルカリ骨材反応によるコンクリート構造物の劣化診断法

第3章 鉄筋腐食によるコンクリートの劣化診断

第4章 炭酸化によるコンクリートの劣化診断法

第5章 硫酸塩・酸性水によるコンクリートの劣化診断法

