

土木コンクリート塗装マニュアル

平成14年3月

概要

本マニュアルは施設管理者および会員を対象にコンクリート塗装に関する最近の情報をお伝えするものです。

コンクリート塗装は、管理がしやすくしかもコンクリート構造物を美しく保護する効果も優れた保護工法です。

本協会会員は、鋼橋塗装だけでなくコンクリート橋梁においても元請け実績を増やしております。

手元に置いていただいて、計画時や施工時に活用して頂きますようお願い致します。

社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会（J A S P）

目 次

まえがき

1. 土木コンクリート塗装とは	1
2. コンクリートの内部構造	2
3. コンクリート劣化	3
4. コンクリート劣化の種類	4
5. コンクリート構造物の劣化対策	1 2
6. コンクリート塗装の役割、特徴および適用範囲	1 4
7. 塗装系の構成	1 5
8. 塗装系の分類と塗装仕様	1 6
9. 塗装系に関する規格の例	2 1
10. 塗装工事と施工管理	2 3
11. コンクリート片はく落防止対策	3 4
12. 安全管理	4 0
13. 塗装後の点検	4 2
14. 主要な実績	4 3
参考資料	4 4

まえがき

本マニュアルはコンクリート塗装に関する最新の知見を取りまとめたものであり、その現状、施工方法、並びに管理方法などをわかりやすく紹介したものである。

橋梁などを対象とする土木コンクリート塗装は塩害対策に始まり、既に20年の実績がある。当初心配された塗装寿命も十分長いことが判り、適用範囲も次第に広がり、その効果も多くの構造物で確かめられている。

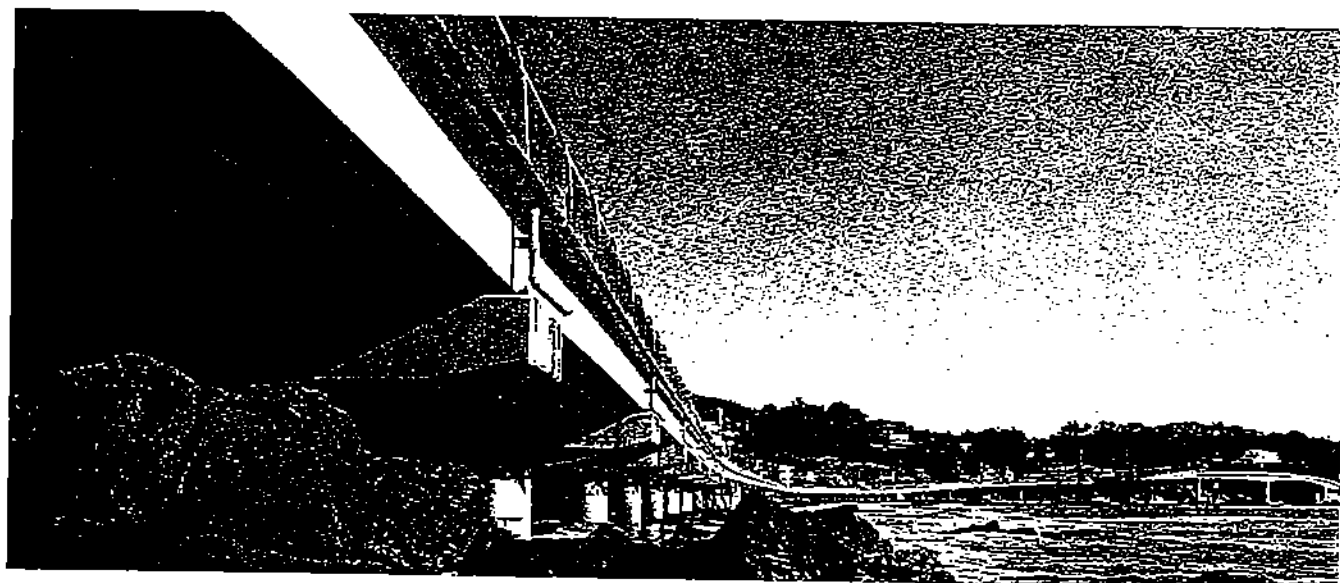
協会では、コンクリート塗装の有効性を確認する調査を今後も継続するとともに、その適用範囲を明らかにして、適材適所の利用を図りたいと考えている。

1. 土木コンクリート塗装とは

コンクリート構造物は土木コンクリート構造物と建築コンクリート構造物に分類され、それぞれ土木および建築の設計・施工基準に従って建設されている。

土木コンクリート構造物には橋梁、道路構造物、河川構造物、港湾構造物、空港施設、農業施設などがある。とことが、これらはコンクリート打ち放しが一般的であり、その表面に塗装されることは少なかった。ところが、コンクリート構造物の劣化が社会問題にまで進展するに伴い、コンクリート構造物においても相応の劣化（または補修）対策、並びに予防対策が不可欠となった。そこで、塗装が経済的で信頼できる方法として、塩害対策に適用され、順次、多くの土木コンクリート構造物に広がった。

これらは、建築塗装とは異なるカテゴリーとして土木コンクリート塗装と称されており、要求性能、使用材料、塗装仕様、施工体制なども建築塗装とは異なるものとして位置づけられ、当然のことながら、準拠する技術基準も異なっている。



2. コンクリートの内部構造

硬化したコンクリートをマクロに観ると、体積で70～75%を占める骨材と25～30%を占めるセメント硬化体組織で構成されている。更にこれらの各成分をミクロに観ると、粒子径が40mmもある粗大な成分から、わずか100Åオーダーの微細な成分にいたるまで様々な寸法のもものが混在している。この中で、コンクリートの劣化現象を考える上で最も重要なものはセメント硬化体組織中に種々の形態で存在する空隙であり、外部環境からの種々の劣化因子の侵入路となる。

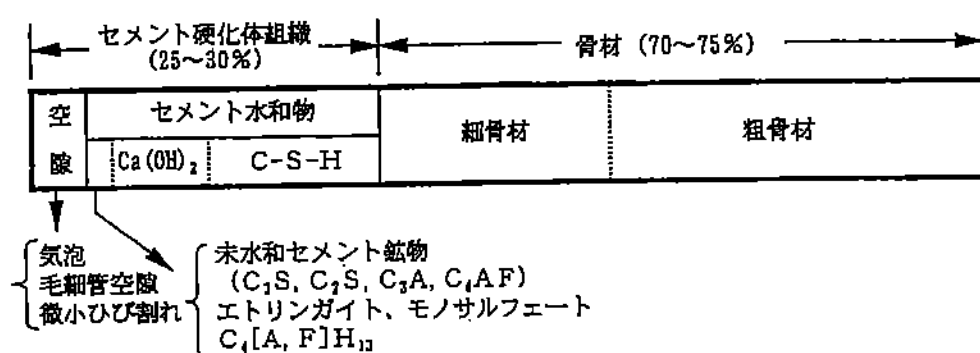


図-1 硬化コンクリートの構成

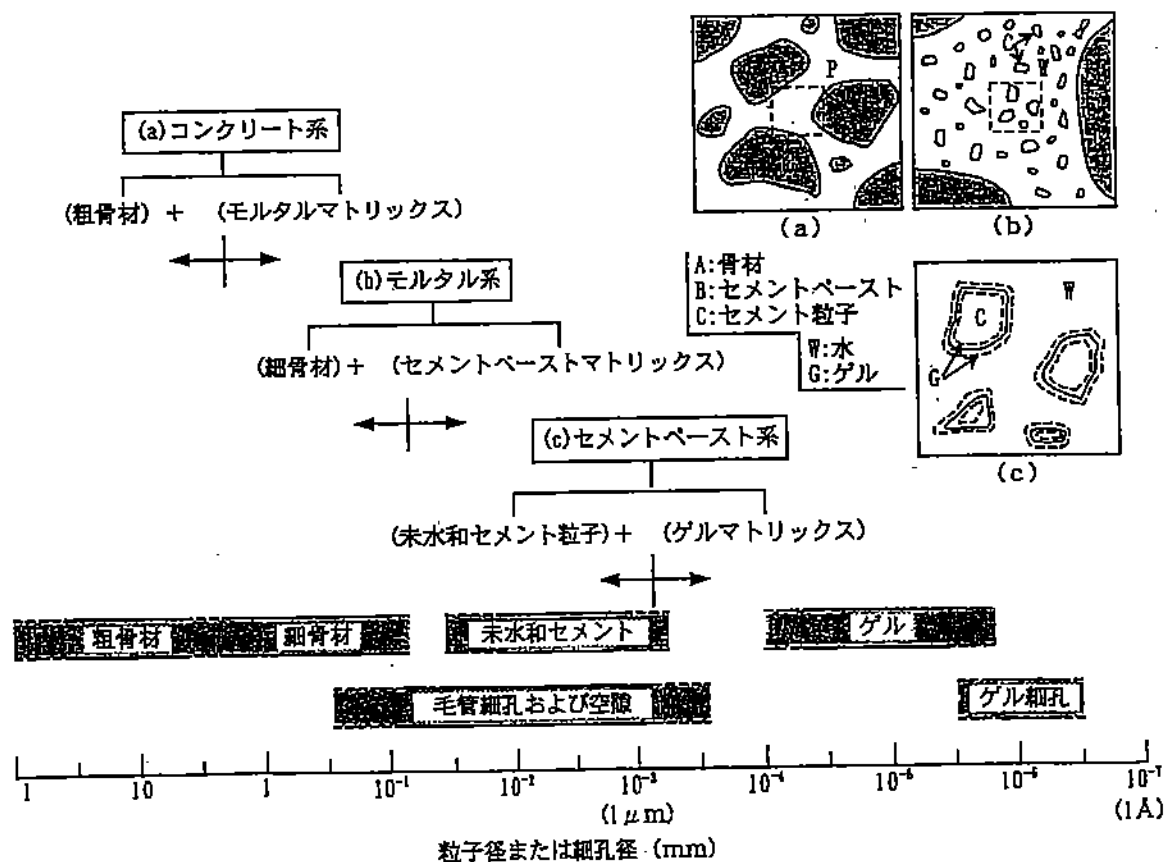


図-2 コンクリートにおける複合構成

3. コンクリート劣化

旧建設省、運輸省、農水省の三省合同による「土木コンクリート構造物耐久性検討委員会」が行った全国のコンクリート構造物の実態調査では、劣化要因と竣工年代の関係をまとめている（トンネルを除く橋梁や擁壁、カルバートなど 2344 の構造物が調査対象）。この調査結果によると、トンネルを除く鉄筋コンクリート構造物の劣化は「コンクリートの品質が不良」や「配筋不良」などのいわゆる「施工不良」に起因している場合が多く、塩害やアルカリ骨材反応、凍害などによる劣化は調査対象全体に占める割合としては決して高くない。ところが、（図示はしていないが）劣化がかなり進行しているものに限ってみると、塩害やアルカリ骨材反応、凍害の割合が高くなり、さらに劣化が進行して、直ぐにも補修が必要なものに限ると塩害だけになっている。

また、劣化した構造物はある特定の年代に集中することではなく、全体としては古い構造物ほど劣化したものの割合が増加すること、さらに、何らかの補修を行った構造物の割合は供用年数とともに増加し、50 年以上供用すると約 4 割の構造物が補修を受けていることも判明した。

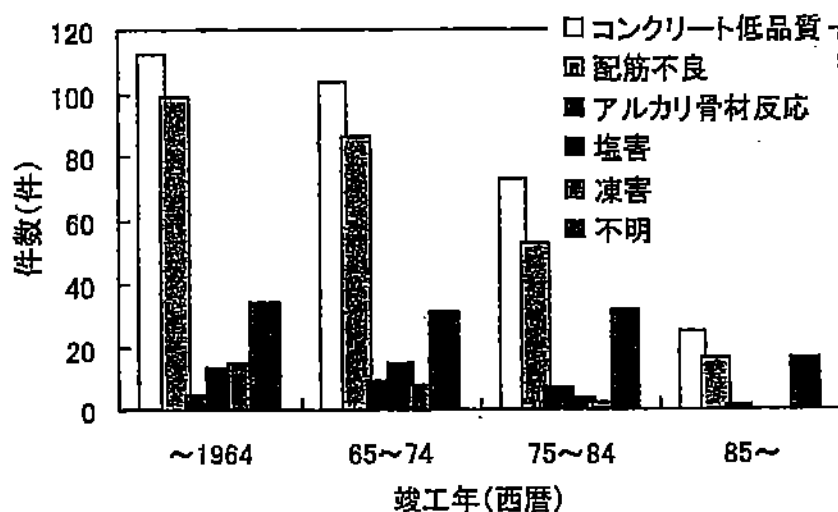


図-3 竣工年代別劣化要因

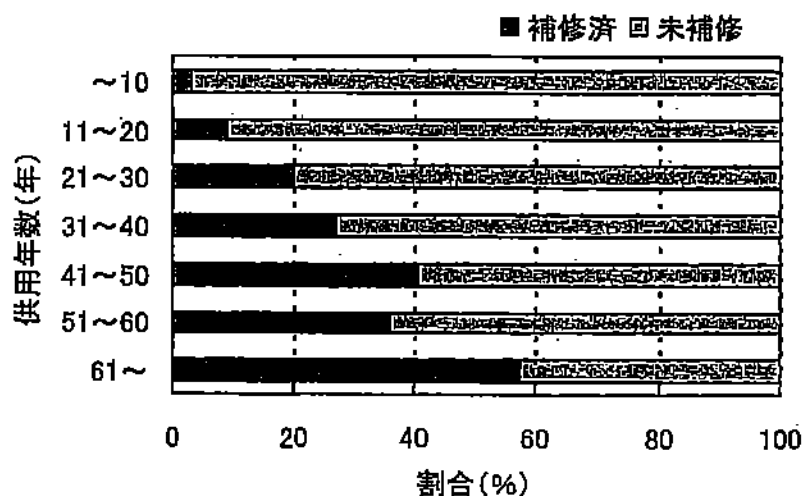


図-4 供用年数別の補修割合

4. コンクリート劣化の種類

コンクリートの品質はそれが置かれる環境や外部からの作用などが原因となる外的要因とコンクリート自体の物性の変化が原因となる内的要因によって次第に低下（劣化）していく。表にはコンクリート構造物で生じる主な劣化現象を簡単に示したが、実際のコンクリートは個々に独立した要因によって機能が低下することは極めて稀で、一般には外的および内的要因が相乗的に作用したり、複数の要因が同時に作用して劣化が進行するものである。

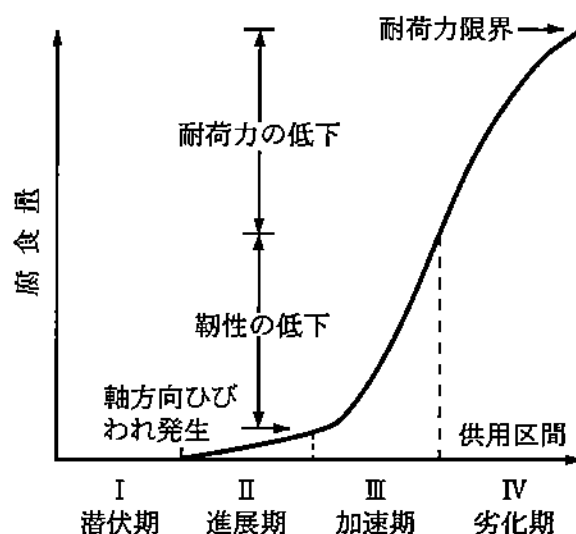
コンクリート構造物で生じる主な劣化現象

分類	劣化の名称	主な現象
化学的劣化	塩害	コンクリート中の鋼材が過酷な海洋環境や凍結防止剤の大量散布、あるいは除塩不足の海砂を用いたことなどが原因で腐食し、鋼材に沿った軸方向ひび割れを生じるとともに、著しい場合には、鋼材の孔食による伸び能力の低下あるいは鋼材断面の減少による耐荷力の低下などを引き起こす現象。
	中性化	セメントの水和により生成する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 NaOH 、 KOH 、エトリンガイト、モノサルフェート等のアルカリ性を呈する化合物が大気中の炭酸ガス (CO_2) 酸性雨や酸性土壌との接触、火災等により消費あるいは分解され、その結果、セメント硬化体のアルカリ性が低下する現象。鉄筋腐食の原因となる。
	アルカリ骨材反応	骨材中に含まれるアルカリ反応性鉱物がコンクリートの細孔溶液中のアルカリ金属 (K 、 Na) と反応してゲルを生成し、これが吸水膨張してコンクリートにひび割れを生じさせる現象の総称。反応形態には幾つかの種類があるが、わが国で主に問題となっているのはアルカリシリカ反応。
	化学的侵食	酸や塩によるコンクリートの侵食現象の総称。コンクリートは $\text{pH}3.0$ 以下の強酸性環境下では著しく劣化する。また、硫酸塩環境はエトリンガイトの生成により膨張・崩壊を引き起こす。最近では下水道施設においてバクテリアの作用により硫酸が生成され、これによる劣化も問題化している。
物理的劣化	凍害	コンクリート中の水が凍結すると、そのときに生じる膨張圧が非凍結部の水圧を高める。この様な水の凍結と融解が繰り返されることによってコンクリートにスケートリングやフレーキング、ひび割れが生じる現象。主に積雪寒冷地で問題となるが、特に海水の影響を受ける箇所での劣化は著しい。
	すりへり	コンクリートが受けるすりへり作用にはすり磨き作用と突き砕き作用の2種類がある。前者は主に車輛などによる舗装コンクリートの劣化であり、後者には水工構造物におけるキャビテーションや海洋構造物の漂砂による摩耗などがある。
	電食	何らかの原因で外部から鉄筋に流れ込んだ迷走電流がコンクリート中から流れ出る時、その箇所の鉄筋を腐食させる現象。
	ひび割れ	ひび割れは劣化現象の結果としても生じるが、構造上の問題やコンクリートの乾燥収縮等によっても生じる。ひび割れの幅がある大きさ以上になると鉄筋腐食の原因となったり、他の劣化現象を加速させたりすることになる。

4.1 塩害劣化のメカニズム

(1) 塩害によるコンクリート構造物の劣化過程

コンクリート構造物の塩害劣化の過程は図のように考えられている。ここで、潜伏期、進展期、加速期、劣化期の4区分は表のような特徴を有している。



塩害による劣化過程

各劣化区分の特徴

劣化区分	特 徴
I : 潜伏期	Cl ⁻ がかぶりコンクリート中を浸透し、鉄筋近傍に蓄積する過程。潜伏期の長さは主としてCl ⁻ のコンクリート中での拡散速度に支配される。したがって、材料からもたらされるCl ⁻ 、例えば海砂中のCl ⁻ の量が多い場合には潜伏期は存在せず、すぐに進展期に入る。
II : 進展期	鉄筋がCl ⁻ により腐食し始め、腐食生成物が蓄積され、その膨張圧によってかぶりコンクリートにひび割れが入る過程。腐食速度およびこれによって定まる進展期の長さは主として溶存酸素量に支配され、水の供給量およびコンクリートの電気抵抗の影響も受ける。
III : 加速期	鉄筋に沿う軸方向ひび割れの発生によって腐食速度が促進され、かぶりコンクリートの剥離、剥落が生じる過程。支配要因は第II期（進展期）とほぼ同様であるが、荷重作用等の影響も受ける。軸方向ひび割れが生じてその直後は静的な耐荷力は低下しないが、孔食等により高応力の繰返し荷重が作用する場合などでは耐荷力および靱性の低下が生じ始める。
IV : 劣化期	鋼材腐食が進み、断面の減少が顕著となり、耐荷力の低下が顕著となる過程で、支配要因は第III期（加速期）とほぼ同様である。

これらの区分を支配する主な要因には主として塩化物イオン（以下、 Cl^- と略す）および酸素の拡散がある。前者は腐食の発生、後者は腐食の速度を大きく支配する要因であり、塩害によるコンクリート構造物の寿命あるいは余寿命を検討するにあたって極めて重要な項目である。

Cl^- の拡散については、コンクリート中における見掛けの拡散係数は $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であり、従来考えられてきたよりもかなり速く拡散・浸透し蓄積されることが明らかとなってきた。さらに、 Cl^- の蓄積によりいったん腐食が発生しさらに腐食が継続的に進行するような環境下では、腐食による軸方向ひび割れが発生するのに必要とされる期間は酸素の拡散能から推定した場合、かぶりが 50mm でもわずか2ヶ月程度となる場合があるなど、 Cl^- の蓄積期間に比べてはるかに短くなる可能性が高いことが指摘されている。

（2）塩害劣化を受けたコンクリート構造物の寿命

コンクリート構造物の供用できる期間＝寿命としては種々の定義が可能である。比較的安全側ではあるものの、合理的な寿命設定方法は腐食による軸方向ひび割れの発生まで、すなわち潜伏期と進展期の和をもって寿命とすることである。しかし、酸素の拡散によって支配される進展期が Cl^- の拡散によって支配される潜伏期に比べてはるかに短いことも多く、このような場合では潜伏期、すなわち Cl^- 量が腐食の発生する限界量（例えば平成11年版コンクリート標準示方書〔施工編〕ではこの値を $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ と定めている）に達したときを寿命とする考え方もある。

（3）塩害劣化に及ぼす環境条件の影響

Cl^- や酸素などは何れも外部環境から供給されるものである。したがって、環境条件が鋼材の塩化物腐食に及ぼす影響は非常に大きい。温度、湿度、乾燥・湿潤の程度、海水飛沫のかかり方、海塩粒子の飛沫量など、どれを取っても大きな要因である。一般には、飛沫帯のように常時波しぶきのかかるような場所や海水による乾湿繰り返し作用を受けるような箇所は塩分と酸素が十分に供給されるため、最も腐食作用が激しいとされている。

図に飛来塩分量の全国分布や全国のコンクリート構造物の劣化損傷状況を示したが、両図から飛来塩分量の著しい地域ほど劣化損傷の程度も著しいことが一目瞭然である。国土交通省ではこの調査結果に加え、海岸線からの距離と飛来塩分量の関係および海岸線からの距離と劣化損傷状況の関係に関する全国調査結果から、塩害対策を必要とする地域を設定している。

一般に、海洋環境における環境条件は海中、飛沫帯、大気中の3種類に区分される。この中で飛沫帯の腐食作用が最も厳しいことはすでに述べたが、最も小さいのは海中であり、これは酸素の供給が少ないためとされている。我が国ではまだ報告例は少ないが、冬季に融氷剤が散布される橋床版の環境条件を海洋環境で例えると、飛沫帯と大気中の間あたりに位置するものと考えられている。

4.2 中性化のメカニズム

(1) 炭酸化（または中性化）とは

セメントの主要な化合物が水と反応すると、セメント水和物を生成する。

これらのセメント水和物は大気中の二酸化炭素と反応すると炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）と他の物質に分解する。この現象を広い意味での炭酸化とよんでいる。②水酸化カルシウムの炭酸化はこれまでコンクリート工学の分野で活発に研究されてきた“中性化”の領域である。というのも、強アルカリ性を示す飽和水酸化カルシウム水溶液はコンクリート中の鉄筋に防食環境を提供しているのに対し、これが中性化によって炭酸カルシウムに変化するとpHが腐食レベルにまで低下（pH8.5～10程度）するので、鉄筋コンクリートの耐久性という観点からこの中性化問題が重要視されてきたためである。

(2) 中性化速度に影響をおよぼす要因

a) セメントの種類

混合セメントは水和によって生成する水酸化カルシウムの量が少なく、またシリカやフライアッシュなどの可溶性ケイ酸塩と結合するため、中性化速度はポルトランドセメントより大きい。

b) 初期塩化物

除塩不足の海砂を用いた場合のように、コンクリート中に初期塩化物が存在すると構造物の建設当初から鉄筋は腐食し始める。この状態でコンクリートの炭酸化が進行するとフリーデル氏塩の分解によって Cl^- が生成し、鉄筋腐食はさらに加速される。鉄筋腐食の加速は中性化残り（フェノールフタイン法による中性化のフロントから鉄筋表面までの距離）が20 mm程度の段階から生じる。なお、『コンクリート標準示方書〔維持管理編〕』においては安全側の措置として、中性化残りが25mmに達した段階で鉄筋が腐食し始めると判定するのがよいとしている。

c) 水セメント比

セメントペーストが密実なほど二酸化炭素の浸透、拡散が遅くなるので水セメント比が小さいほど有効である。

(a)主なセメント水和物
①ケイ酸カルシウム水和物： $\text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ （一般にC-S-Hと総称される。水和生成物の60%以上を占め、セメント硬化体の基本組織を形成する。）
②水酸化カルシウム： $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （水和生成物の約25%を占める）
③エトリンガイト： $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ （コンクリート中の硫酸イオンを取り込んで複塩を形成する。）
④フリーデル氏塩： $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ （コンクリート中の塩化物イオンを取り込んで複塩を形成する。）
+ CO_2
(b)炭酸化による分解生成物
①ケイ酸カルシウム水和物の分解生成物： CaCO_3 、 SiO_2 、 H_2O
②水酸化カルシウムの分解生成物： CaCO_3 、 H_2O
③エトリンガイトの分解生成物： CaCO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、 H_2O
④フリーデル氏塩の分解生成物： CaCO_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 CaCl_2 、 H_2O

主なセメント水和物と炭酸化による分解生成物

4.3 アルカリ骨材反応のメカニズム

(1) アルカリ骨材反応とは

セメント中に含まれているアルカリ分 (Na_2O と K_2O) と骨材中のある種の反応成分が化学反応を起こし、コンクリートに有害な膨張を生じることがある。この現象が"アルカリ骨材反応"である。アルカリ骨材反応は主成分に SiO_2 を有する岩石とアルカリが反応するアルカリシリカ反応と、主成分に CO_2 を有する岩石がアルカリと反応するアルカリ炭酸塩反応に大別されるが、現在、アルカリ骨材反応とよばれているものは大体において前者のアルカリシリカ反応を指すものと見なしてよい。

(2) アルカリシリカ反応のメカニズム

a) アルカリ溶液中におけるシリカの溶解

シリカ (SiO_2) は結晶質のものであれば一般に安定な鉱物であると考えられているが、pH の高い溶液に対しては溶解度が 10 倍以上になる。これは溶液の OH^- イオン濃度が高くなるとシリカの Si-O-Si 結合が切断されるためであるといわれている。水酸化アルカリ溶液中でシリカの溶解が生じるためには OH^- イオンを収容できる空間が必要である。結晶質シリカではその表面、非晶質シリカではその表面および構造中の空孔がその場となる。溶液中の pH が上昇すると、特に非晶質シリカでは OH^- イオンおよびアルカリ金属イオンの構造内部への侵入を許すので、 OH^- イオンは次々と Si-O-Si 結合を切断し、構造を弛緩させ、アルカリシリカゲルが生成される。アルカリシリカゲルの生成によって OH^- イオンが消費されるので、溶液中の OH^- イオン濃度は次第に低下し、 OH^- イオン濃度がある限界値以下になると反応は停止する。形成されるゲルは Si-O-Si 結合の骨組みが部分的に破壊されているような構造をもっているため、吸水膨張性を示す。

b) コンクリート中におけるアルカリシリカ反応の過程

S.Diamond はアルカリシリカ反応による劣化の過程をシリカがアルカリに溶解してゲルが生成するまでの化学反応過程と、このゲルによる細孔溶液の吸水・膨張過程に分けて考えることを提唱している。化学反応過程を反応の進行に伴って細孔溶液中のアルカリが除去される速度によって把握し、吸水・膨張過程を供試体の膨張量の経時変化によって調べた結果は、それぞれの過程が独立したものであることを示している。このことはコンクリート構造物において膨張やひび割れが全く認められない段階においても、内部ではアルカリシリカ反応が進行しているケースがあることを示唆するものである。

4.4 凍害のメカニズム

(1) 凍害とは

コンクリートの凍害とはコンクリート中の水分が凍結融解を繰り返し、ひび割れが発生したり表層部が剥離したりして表層に近い部分から破壊し、しだいに劣化していく現象をいう。なお、図はわが国の凍害危険度の分布図であるが、これによると凍害の危険区域は山間部、内陸部を中心に広く分布しており、特に北海道、東北、関東、中部地方の山間部、内陸部で凍害の危険性が高く、各地域では予想される凍害の危険度に応じた劣化防止対策を立てる必要がある。

(2) メカニズムの基本

水は凍結するときに自由に膨張できるものとするとき 9%の体積膨張を生じるが、セメントペースト内部では空隙組織の壁によって膨張が拘束される。この体積膨張を緩和するのに必要な自由空隙（空気で満たされた空隙）が存在しない場合は大きい圧力が生じ、これが劣化の原因になる。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（組織のゆるみ）が生じる。この繰り返しにより、ついにはコンクリート表面の崩壊、あるいははく落に至る。なお、この空隙に作用する静水圧はコンクリートの冷却速度、飽水度（含水程度）およびコンクリート中の気泡と気泡の間隔（距離）の大小によって異なっている。

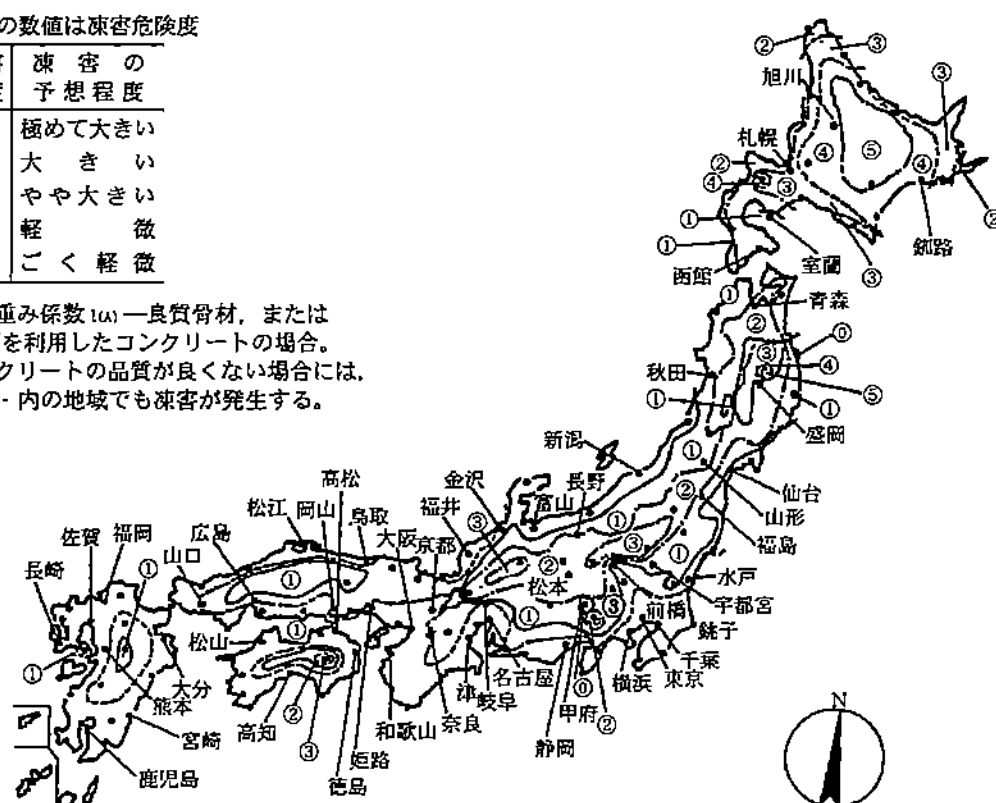
(3) 凍害による劣化形態

凍害による劣化の形態には、ポップアウトやスケーリングがある。なお、最近では冬季に路面の凍結対策として融氷剤がかなり積極的に散布されることが一般的となっているため、凍害地域ではその対策に加え、塩害対策も十分に講じておく必要性が高まっている。

1. ○内の数値は凍害危険度

凍害危険度	凍害の予想程度
5	極めて大きい
4	大きい
3	やや大きい
2	軽微
1	ごく軽微

2. 凍害重み係数 1(a) ー良質骨材、または AE 剤を利用したコンクリートの場合。
 3. コンクリートの品質が良くない場合には、
 ----- 内の地域でも凍害が発生する。



凍害危険度の分布図

凍害による劣化の形態

あばた	セメント質材料またはモルタルの大きな脱落がなく、コンクリート表面から個々の骨材粒子がなくなること。穿孔または腐食のような現象による表面の比較的小さな孔の発達。
ポップアウト	表層下の粒子の膨張による破壊でできたクレーター状のくぼみ。ポップアウトの初期状態では細かなひび割れで囲まれた円錐状の破片が残存する。
ひび割れ	部分的に不連続な状態にあるコンクリートに引張応力が加わったときに生じる。
スケーリング	コンクリートの表面がフレーク状に剥げ落ちること。モルタルまたはコンクリートの表面の部分的なフレーク化、またははげ落ちの現象。

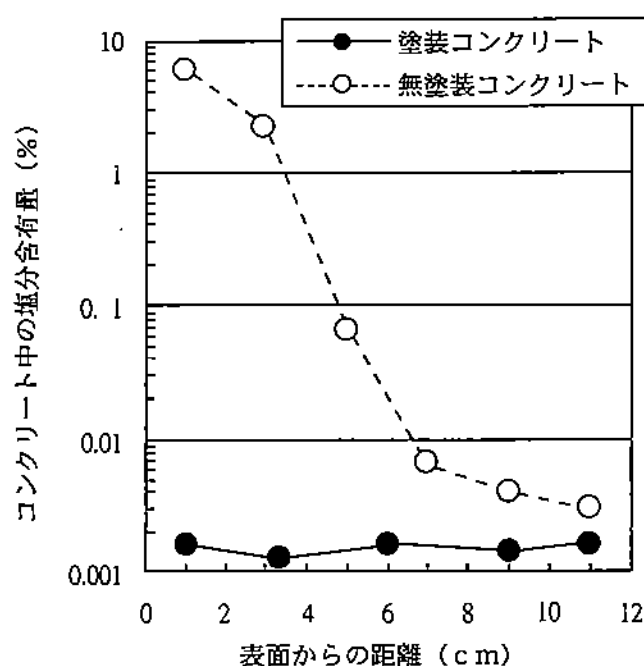
5. コンクリート構造物の劣化対策

5.1 コンクリート構造物の防食工法

コンクリート構造物を健全で長持ちさせるためには建設の段階で綿密な計画と設計のもとに品質の良い材料を使用し、十分に管理された状態で丁寧な施工を行うことが基本となる。しかし、構造物が厳しい劣化環境下に建設される場合や特に設計寿命を長くしたい場合にはコンクリートの水セメント比の大幅な低減やかぶりの著しい増大が必要となり、实际的でないばかりか、却って構造物の設計、施工を行う上で支障をきたすことも考えられる。

このような場合には構造物の設計段階からコンクリートそのものの防食性には頼らない、より積極的な防食方法の必要性も生じてくる。このような防食方法はコンクリートの性能に依存した防食方法（これを通常“第1種防食方法”と呼ぶ）に対して、第2種防食方法と称されている。

コンクリート塗装の効果を調べるために、東京湾の海上で7年間暴露した塗装（エポキシ樹脂塗料を膜厚 $100\mu\text{m}$ で塗装）および無塗装コンクリート供試体中の塩分量測定結果からも明らかのように、膜厚がわずか $100\mu\text{m}$ (0.1mm) の塗膜はコンクリートのかぶり 10cm に匹敵している。



コンクリート塗装の効果

5.2 土木学会コンクリート標準示方書〔維持管理編〕

(社)土木学会では 2001 年に『コンクリート標準示方書〔維持管理編〕』を制定し、維持管理に携わる技術者にとって実用性の高い規準を世に示した。

この〔維持管理編〕では対象構造物の維持管理を構造物の重要度、第三者影響度、供用期間、環境条件および維持管理の難易度などによって、4つの区分に分類している。対策が必要な場合には構造物の劣化の種類および劣化グレードに応じた標準的な補修または補強工法も示されているため、実務者はこの中から最も投資対効果に優れる工法をできるようになっている。

コンクリート塗装は劣化の種類および劣化グレードに応じた標準的な補修として、位置づけられており、塩害、アルカリ骨材反応対策の初期劣化の段階での効果的な対策として例示されている。

点検において、鋼材腐食が顕在していない段階、すなわち、非破壊検査手法(コンクリート表面において自然電位分布を測定し、これを ASTM C 876 による腐食判定基準に準じて腐食領域の推定を行う方法)やコンクリートコアを採取し塩分濃度分布を測定することによって判定することによって予知できる。このような段階で塗装することが効果を最大にするとされている。

維持管理区分

区分	管理の名称	内 容	管理対象
A	予防維持管理	予防保全を基にした維持管理	(1)劣化が顕在化した後では対策が困難なもの (2)劣化が外へ現れては困るもの (3)長く供用したいもの
B	事後維持管理	事後保全を基にした維持管理	(1)劣化が外へ現れてからでも何とか対策がとれるもの (2)劣化が外に現れても困らないもの (3)普通に供用するもの
C	観察維持管理	目視観察を主体とした維持管理	(1)使用できるだけ使用すればよいもの (2)第三者影響度に関する安全性さえ確保すれば良いもの
D	無点検維持管理	直接には点検を行わないもの	(1)直接には点検を行うのが非常に困難なもの

6. コンクリート塗装の役割、特徴および適用範囲

6.1 コンクリート塗装の役割

塗膜にはコンクリート構造物の劣化を防止する機能や、コンクリートが持っている欠点を補う機能（例えばひび割れ、汚れなど）、および周辺環境にふさわしい色彩に調整する機能が必要であり、さらに、これらの機能を長期間維持できることも必要である。また、最近では塗膜に窒素酸化物などの環境汚染対策や落書き防止、貼り紙防止、防藻・防かび等景観対策などの機能も求められるようになり、実用化されはじめている。

6.2 コンクリート塗装の特徴

コンクリート塗装の特徴を簡潔にまとめると以下の通りである。

- ①劣化の種類および劣化グレードに応じた塗料を選定することにより、確実な劣化因子の遮断ができる。
- ②事前に使用塗料の品質評価が可能である。
- ③塗装の良否は膜厚管理や塗膜外観で判定できるので、確実な施工ができる。
- ④鋼構造物塗装の場合とは異なり、塗膜寿命は専ら塗膜の損耗速度に支配されるため、長期の耐久性がある。
- ⑤コンクリートに劣化が生じた場合、日常的な目視点検で劣化部を発見できる。
- ⑥部分的な補修や塗り替えが容易である。特に塗り替えの場合は、一般に、中塗および上塗だけの工程で完了するため、初期工事よりも工程が少なく済む。
- ⑦周辺環境にマッチした色彩設計が可能である。
- ⑧環境対策や景観対策が可能である。
- ⑨新設の場合、打設コンクリートの型枠やかぶり等の施工管理も従来通りの方法を踏襲できる。
- ⑩既に多数の施工実績がある。

6.3 コンクリート塗装の適用範囲

コンクリート塗装を効果的なものとするために、コンクリート塗装は以下の条件または要求を満足する構造物に適用する。

- ①コンクリート中の塩化物イオン量が 1.2kg/m^3 以下の場合（「4.1 塩害劣化のメカニズム」参照）。
- ②コンクリートの中性化残りが 25mm 以上の場合（「4.2 炭酸化（または中性化）のメカニズム」参照）。
- ③大気中の NO_x 汚染、色彩の付与、落書き防止、貼り紙防止、防藻・防かびなどの環境および景観対策が必要な場合。

7. 塗装系の構成

コンクリート塗装においては上記機能を1層の塗膜で満足することは困難なため、何層か塗料を塗り重ねて塗膜全体として必要な機能を確保する。したがって、塗装仕様も塗料の塗り重ね内容（塗り重ねる塗料の種類、目標膜厚、塗り重ね順序）を規定する塗装系として示すことが必要である。コンクリート塗装の塗装系は種類が多く使用する塗料の種類も多いが、基本的には、プライマー、パテ、中塗り（主材ともいう）、上塗りで構成されている。

プライマーは下地コンクリートの表層を強化する性能と、コンクリートと全体塗膜との付着を確実なものとする性能が必要であり、比較的低粘度のものが用いられる。

コンクリート表面は一般に、巣穴や不陸が多数存在するため、この上に直接塗装するとピンホールや塗膜厚不足などの欠陥が生じる。パテはこれらの巣穴や不陸を平滑にする目的で使用する。

中塗りは外部環境からの劣化因子の侵入を阻止する性能と、RCコンクリートの場合ではひび割れ幅の変動に対する追従性能も必要であり、比較的厚膜で、場合によっては柔軟性に富む塗料も用いられる。

外部環境に接する上塗りは、日射や大気などの気象作用により劣化しにくいことが必要であり、耐候性に優れた樹脂および着色顔料を含有する塗料が用いられる。

コンクリート塗装・塗料への要求性能

	要 求 性 能	評 価 方 法
①	塗料性状が良好、安定なこと	比重、つぶ、可使時間、硬化時間、加熱残分
②	プライマーおよび表層塗料との密着性がよい	引張り接着試験 基盤目試験
③	機械的に安定した膜を形成すること	塗膜の引張り特性測定
④	高度の腐食因子しゃ段効果を有すること	防水性（吸収率、透水抵抗）しゃ塩性試験 ガス透過性試験（水蒸気、酸素、炭酸ガス等）
⑤	塗布後、躯体にひび割れが発生した場合に追従できること	ゼロスパン追従性試験または塗膜の伸び率測定

8 塗装系の分類と塗装仕様

8.1 分類

鋼構造物の場合とは違って、コンクリート構造物の塗装系を分類する場合にはその部位別に塗装系を定めることはほとんどなく、塗装の目的と劣化または環境・景観対策の種類に応じて塗装系を分類することが多い。

劣化の種類に応じた対応規格の中には塗装仕様と性能を規定しているもの（仕様および性能規定型）と、性能のみを規定している（性能規定型）ものがある。

コンクリート橋塗装系の分類基本

塗装の目的	劣化や環境対策の種類	対応規格
予防保全： 想定される劣化に対して予 め保護対策を施すこと	中性化	—
	塩害	『道路橋の塩害対策指（案）・同解説』（社）日本道路協会
	凍害	—
	コンクリート片はく落	日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団、ほか
維持補修： 何らかの原因で損なわれた 機能を補修・補強によって 維持または回復すること	中性化	—
	塩害	『塩害を受けた土木構造物の補修指針（案）』国土交通省
	凍害	—
	アルカリ骨材反応	『アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修指針（案）』国土交通省
環境・景観対策： 自動車排ガスからのNox汚 染や汚れ防止、落書き、 貼り紙対策など	Nox 汚染	—
	汚れ防止	『土木構造物用防汚材料の利用技術ガイドライン（案）』国土交通省
	落書き	—
	貼り紙	—

8.2 予防保全を目的とした塗装系

(1) 塗装系の分類

表に予防保全を目的とした塗装系を劣化の種類別に分類して示した。

(2) 塗装仕様

表に塗装系の分類に対応する各塗装仕様を示した。なお、規格が性能規定型の場合には、現在一般的に適用されている塗装仕様を例示した。

8.3 維持補修を目的とした塗装系

(1) 塗装系の分類

表に維持補修を目的とした塗装系を劣化の種類別に分類して示した。

(2) 塗装仕様

表に塗装系の分類に対応する各塗装仕様を示した。なお、規格が性能規定型の場合には、現在一般的に適用されている塗装仕様を例示した。

8.4 環境対策を目的とした塗装系

(1) 塗装系の分類

表に環境対策を目的とした塗装系を環境対策別に分類して示した。

(2) 塗装仕様

表に塗装系の分類に対応する各塗装仕様を示した。

予防保全を目的とした塗装系の分類

構造形式	劣化の種類	区分	塗装系		対応規格
			標準	高耐候性	
P C	塩害	A種塗装系	A-1	A-1 a	『道路橋の塩害対策指針(案)・同解説』
	中性化				—
	凍害		A-2	A-2 a	—
R C	塩害	B種塗装系	B-1	B-1 a	『道路橋の塩害対策指針(案)・同解説』
	中性化				—
	凍害		A-2	A-2 a	—
P C及び R C	コンクリート片はく落防止	首都高速道路公団	F-1	F-1 a	『コンクリート塗装及びFRP補修規準(案)』
		日本道路公団	F-2	F-2 a	『コンクリート片はく落防止対策マニュアル』

塩害対策指針（案）における塗装系

A種の塗装系

工 程		使 用 材 料	塗 装 条 件			塗装間隔
			目標膜厚 (μ)	標準使用量 (kg/m ²)	塗装方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	エアレススプレー (はけ・ローラー)	各工程の間隔は、1日以上10日以内を標準とする
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	—	0.30	へ ら	
中 塗 り		エポキシ樹脂塗料中塗り	60	0.32 (0.26)	エアレススプレー (はけ・ローラー)	
上 塗 り		ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.15 (0.12)	エアレススプレー (はけ)	

B種の塗装系

工 程		使 用 材 料	塗 装 条 件			塗装間隔
			目標膜厚 (μ)	標準使用量 (kg/m ²)	塗装方法	
前 処 理	プライマー	エポキシ樹脂またはポリウレタン樹脂プライマー	—	0.10	エアレススプレー (はけ・ローラー)	各工程の間隔は、1日以上10日以内を標準とする
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	—	0.30	へ ら	
中 塗 り		柔軟性エポキシ樹脂または柔軟型ポリウレタン樹脂塗料中塗り	60	0.32 (0.26)	エアレススプレー (はけ・ローラー)	
上 塗 り		柔軟型ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.15 (0.12)	エアレススプレー (はけ)	

C種の塗装系

工 程		使 用 材 料	塗 装 条 件			塗装間隔
			目標膜厚 (μ)	標準使用量 (kg/m ²)	塗装方法	
前 処 理	プライマー	エポキシ樹脂プライマーまたはポリウレタン樹脂プライマー	—	0.10	エアレススプレー (はけ・ローラー)	各工程の間隔は、1日以上10日以内を標準とする
	パ テ	エポキシ樹脂またはビニルエステル樹脂パテ	—	0.30	へ ら	
中 塗 り	厚膜型エポキシ樹脂またはビニルエステル樹脂塗料中塗り	350	1.20	エアレススプレー (はけ・ローラー)		
上 塗 り	ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.15 (0.12)	エアレススプレー (はけ)		

維持補修を目的とした塗装系の分類

構造形式	劣化の種類	区分	塗装系		対応規格
			標準	高耐候性	
P C 及び R C	塩害	1 種、2 種	A-2	A-2 a	『塩害を受けた土木構造物の補修指針(案)』
	中性化	—			—
	アルカリ 骨材反応	ひび割れが進行	C-1, C-2	C-1 a, C-2 a	『アルカリ骨材反応被害構造物(土木) の補修指針(案)』
		ひび割れが停止	A-2, D-1 D-2, D-3	A-2 a, D-1 a D-3 a	
	凍害	—	E-1	E-1 a	—

維持補修を目的とした塗装仕様

塗装系	工 程	一 般 名	標準使用量	目標膜厚
			(kg/m ²)	(μm)
A-2 (A-2 a)	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り	厚膜柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗り	0.35	160
	上塗り	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り (柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗り)	0.12	30
C-1 (C-1 a)	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り第1層	厚膜柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗り	0.35	160
	中塗り第2層	厚膜柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗り	0.35	160
	中塗り第3層	厚膜柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗り	0.35	160
	上塗り	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り (柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗り)	0.12	30
C-2 (C-2 a)	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り第1層	ゴム系樹脂塗料中塗り	0.50	250
	中塗り第1層	ゴム系樹脂塗料中塗り	0.50	250
	上塗り	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り (柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗り)	0.12	30
D-1 (D-1 a)	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り第1層	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗り	0.35	80
	中塗り第2層	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗り	0.35	80
	上塗り	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り (柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗り)	0.12	30
D-2	プライマー	柔軟形ポリマーセメント系プライマー	0.10	—
	パ テ	柔軟形ポリマーセメント系パテ	0.50	—
	中塗り	柔軟形ポリマーセメント系塗料中塗り	0.60	260
	上塗り	柔軟形ポリマーセメント系塗料中塗り	0.36	130
D-3 (D-3 a)	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り第1層	エポキシ樹脂塗料中塗り	0.26	60
	中塗り第2層	エポキシ樹脂塗料中塗り	0.26	60
	中塗り第3層	エポキシ樹脂塗料中塗り	0.26	60
	上塗り	ポリウレタン樹脂塗料上塗り (ふっ素樹脂塗料上塗り)	0.12	30
E-1 (E-1 a)	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り第1層	厚膜柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗り	0.35	160
	中塗り第2層	厚膜柔軟形エポキシ樹脂塗料中塗り	0.35	160
	上塗り	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り (柔軟形ふっ素樹脂塗料上塗り)	0.12	30

環境対策を目的とした塗装系の分類

構造形式	環境・景観対策の種類	塗装系		対応規格
		標準	高耐候性	
P C 及び R C	NOx汚染	G-1	—	—
	落書き防止	G-2	—	—
	貼り紙防止	G-3	—	—
	汚れ防止	G-4	G-4 a	『土木構造物用防汚材料の利用技術ガイドライン (案)』

環境・景観対策を目的とした塗装仕様

塗装系	工 程	一 般 名	標準使用量	目標膜厚
			(kg/m ²)	(μm)
G-1	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り	光触媒酸化チタン塗料中塗り	0.16	40
	上塗り第1層	光触媒酸化チタン塗料上塗り	0.23	35
	上塗り第2層	光触媒酸化チタン塗料上塗り	0.23	35
G-2	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	1.0~4.0	—
	中塗り	ポリウレタン樹脂塗料中塗り	0.26	60
	上塗り	落書き防止用塗料上塗り	0.12	30
G-3	プライマー	アクリル樹脂プライマー	0.12	—
	ベース	エポキシエマルジョン樹脂系タイルベース	0.80	—
	上塗り	貼り紙防止用塗料上塗り	0.12	—
G-4	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り	エポキシ樹脂塗料中塗り	0.26	60
	上塗り	汚れ防止形ポリウレタン樹脂塗料上塗り	0.12	30
G-4 a	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	0.10	—
	パ テ	エポキシ樹脂パテ	0.50	—
	中塗り	エポキシ樹脂塗料中塗り	0.26	60
	上塗り	汚れ防止形ふっ素樹脂塗料上塗り	0.12	30

注：防藻・防かび機能が必要な場合は上記仕様の上塗に防藻・防かび用上塗塗料を用いる。

9. 塗装系に関する規格の例

(1) (社) 日本道路協会『道路橋の塩害対策基準 (案)・同解説』

表に(社) 日本道路協会が『道路橋の塩害対策基準 (案)・同解説』の中で規定している塗装材料の品質を示した。

(2) 国土交通省『塩害を受けた土木構造物の補修指針 (案)』

表に国土交通省が『道路橋の塩害対策基準 (案)・同解説』の中で規定している塗装材料の品質を示した。

(3) 国土交通省『アルカリ骨材反応被害構造物 (土木) の補修指針 (案)』

表に国土交通省が『アルカリ骨材反応被害構造物 (土木) の補修指針 (案)』の中で規定している塗装材料の品質を示した。

『道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説』の品質規格

項目 \ 塗装系	A-1	B-1
塗膜の外観	塗膜は均一で、流れ・むら・われ・はがれの無いこと	同 左
耐候性	促進耐候性試験を300時間行ったのち、白亜化はほとんど無く、塗膜にわれ、はがれの無いこと	同 左
塩害性	塗膜の塩素イオン透過量が 10^{-2} mg/cm ² ・日以下であること	同 左
耐アルカリ性	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、塗膜にふくれ・われ・はがれ・軟化・溶出の無いこと	同 左
コンクリートとの付着性	25/25であること	同 左
ひび割れ追従性	塗膜の伸びが1%以上あること	塗膜の伸びが4%以上あること

『塩害を受けた土木構造物の補修指針 (案)』の品質規格

項目 \ 被覆系	A-2	
	1種：腐食環境が厳しい場合 および再補修が困難な場合	2種：1種に該当しない場合
耐 候 性 (JIS K 5400 6.17)	促進耐候性試験を300時間行ったのち、白亜化がほとんど無く、塗膜にわれ、はがれの無いこと。	
遮 塩 性	塩素イオン透過量が 1×10^{-3} (mg/cm ² /日) 以下であること	塩素イオン透過量が 1×10^{-3} (mg/cm ² /日) 以下であること
耐アルカリ性 (JIS K 5400 7.4)	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、塗膜に変状がないこと	
コンクリートとの付着性 (JIS A 6909)	界面破壊がないこと	
ひびわれ追従性 (梁供試体の曲げ載荷試験)	P C 用	コンクリートのひびわれ幅が0.1mmまで被覆に欠陥が生じないこと
	R C 用	コンクリートのひびわれ幅が0.1mmまで被覆に欠陥が生じないこと

『アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修指針（案）』の品質規格

品質項目	塗装系	C-1, C-2	A-2, D-1, D-2	D-3
	ひびわれ 進行度区分	ひびわれが進行している	ひびわれの進行が止まっている	
	材料	柔軟形厚膜被覆	柔軟形被覆	硬質形被覆
ひびわれ追従性		中塗り塗料被覆の伸び率が100%以上であること	中塗り塗料被覆の伸び率が50%以上であること	—
水透過阻止性		被膜の透水率が20ml/m ² ・日以下であること	被膜の透水率が30ml/m ² ・日以下であること	被膜の透水率が20ml/m ² ・日以下であること
コンクリートとの付着性		被膜とコンクリートの付着強度が、10kgf/cm ² 以上であること		
耐アルカリ性		水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出のないこと		
塗膜の外観		被膜は均一で、流れ、むら、ふくれ、はがれのないこと		
耐候性		促進耐候性試験を300時間行ったのち、白亜化はほとんどなく被膜にわれ、はがれのないこと		

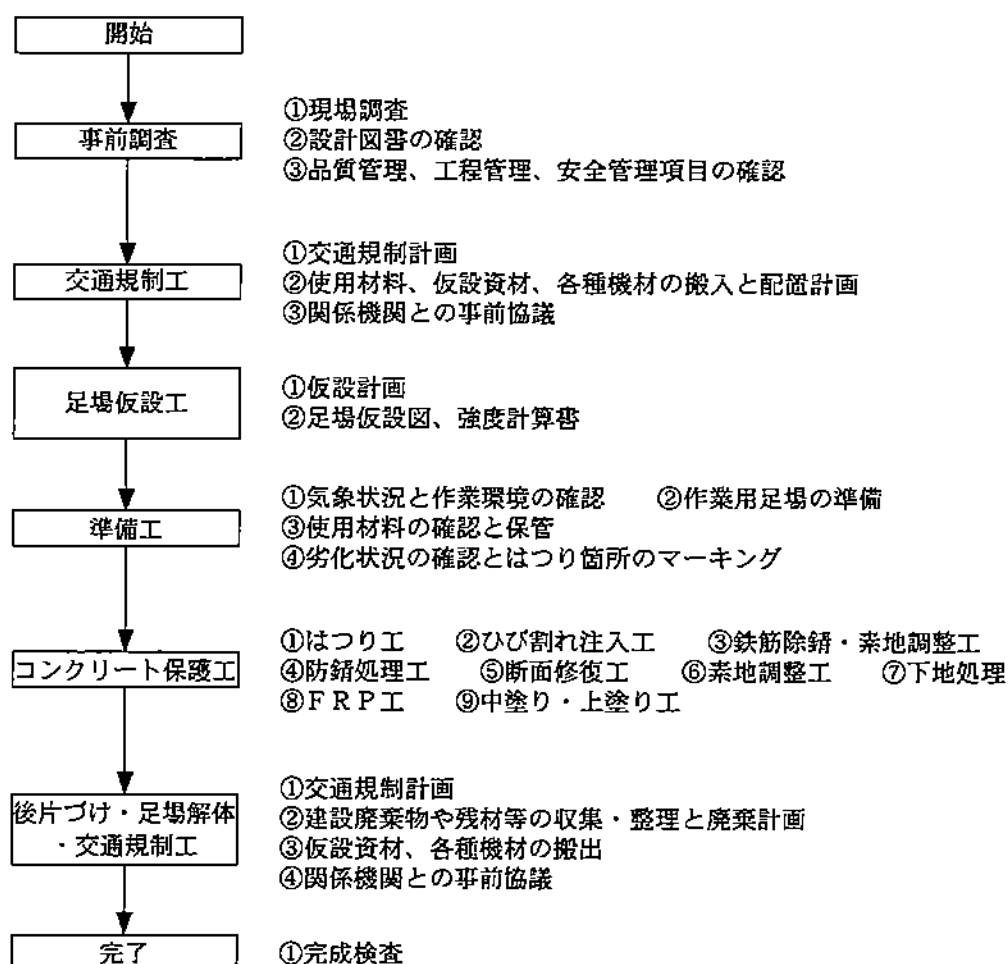
10. 塗装工事と施工管理

10.1 塗装工事に携わる技術者

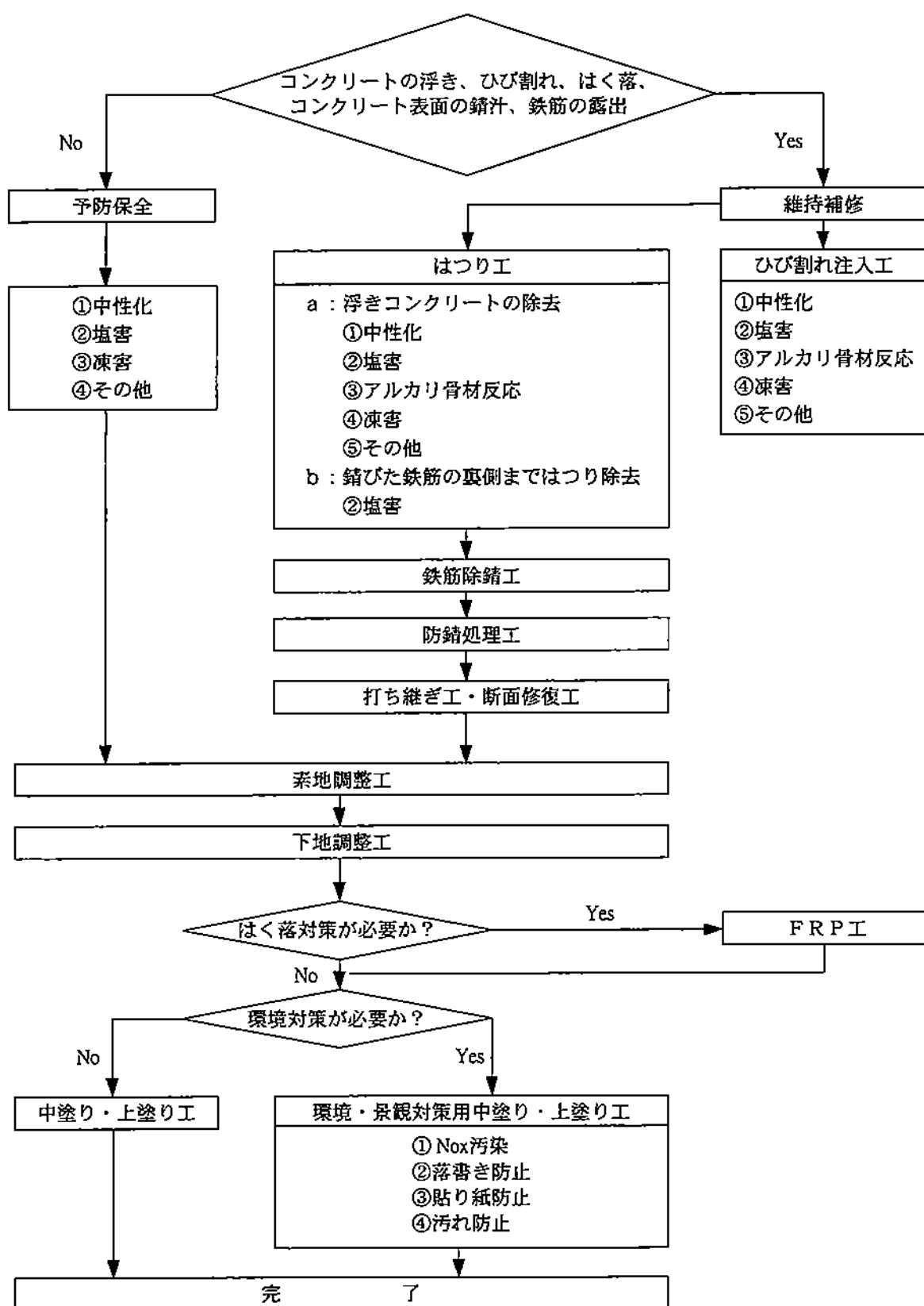
コンクリート構造物の塗装工事においては品質管理や工程管理および安全管理を行うための適切な施工計画書を作成し、発注者の了承を得なければならない。

コンクリート構造物の塗装は新しい分野であり、使用する材料も高品質であることに加えてコンクリート構造および材料に関する知識も要求されるため、施工管理に携わる技術者は当該工事に必要とされる国家資格を有するだけでなくコンクリート塗装に関する十分な経験と技術力を有する者でなければならない。

たとえば、土木施工管理技士であるだけでなく、社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会や土木塗装施工管理技士会が主催するコンクリート塗装講習を受講し、その認定を受けた土木塗装施工管理技士会員であることが望ましいであろう。



コンクリート橋塗装工事の全体工程



コンクリート保護工のフロー

10.2 施工計画の作成

施工計画の作成にあたっては、全体工程を踏まえ、施工時期や防護設備および養生設備等を考慮して、以下のような事項に留意する。

(1) 事前調査

施工に先立って現地調査を行い、周辺の環境を把握する。また、設計図書の確認および品質管理、工程管理、安全管理等の共通事項の確認を行う。

(2) 交通規制工

道路協議、使用許可の規制図および指示事項を遵守し、安全確保に留意しながら実施する。

(3) 足場架設工

足場の架設には、アンカーボルト、吊りチェーン、単管パイプ、クランプおよび足場板等を用い、労働安全衛生規則を遵守して、各作業工程を行うために十分な安全が確保されていること。また、施工時に発生する粉塵等が周辺の環境を汚染しないための養生工や、作業環境を良好に保持するための防護工等に配慮した足場であること。また、特に高水準の作業環境が必要な場合などではパネル足場の適用も検討する。

(4) 準備工

施工を始める前に、コンクリート塗装の目的が十分に達成できるように、以下の条件が確保されていることを確認してから作業を行う。また、工事足場から近接したコンクリートの劣化状況の確認とはつり箇所のマーキングを行う。

a) 気象条件

- ①気温は5℃以上であること。
- ②降雨時でなく、相対湿度は85%以下で、被塗面は結露していないこと。作業中に降雨があった場合は作業を中止し、乾燥後、雨水の当たった材料や塗膜を処理し、同じ作業工程を行う。
- ③塗料等が飛散しない風速であること（目安として、秒速3m以下）。

b) 作業用足場の準備

- ①作業用足場は作業者が安全に施工できるものを準備する。
- ②周囲の環境へ配慮して、作業時の粉塵や材料の飛散などによって第三者に被害を与えないように、防護対策等を施す。

c) 使用材料

i) 品質

- ①使用する材料は、その品質を確認し、各工種毎に適切な品質管理と施工管理を行う。
- ②使用する材料は、その使用に先立って所定の規格等に適合することが確認され、仕様書で指定されていること。

ii) 材料の保管

①溶剤系のプライマーや塗料および含浸接着剤等の有機材料は危険物分類で第4類の引火性液体に分類され、現場での保管または取り扱いは、消防法に従い安全を確保すること。なお、消防法による危険物の取り扱い基準と指定数量を示した。

②上記のような引火性の材料を取り扱う場合には、火気に十分注意しなければならない。

③使用する材料は雨や直射日光があたらないように、また、地面からの湿気を受けないように保管する。特に、セメント系粉体は原則として屋内保管する。

(5) コンクリート保護工

既述の通り、コンクリート保護工はその目的によって予防保全、維持補修、環境・景観対策に分類される。図には施工のフローを示した。

(6) 後片付け、足場解体および交通規制工

中塗り、上塗り工の完了後は建設廃棄物や残材の収集と整理を行い、廃棄計画に従って廃棄する。道路協議、使用許可の規制図および指示事項を遵守し、安全確保に留意しながら交通規制工を実施する。

10.3 共通する事項

(1) コンクリート表面の素地調整

a) コンクリート表面にレイトンス、塵埃、油脂類、塩分等が付着していたり、脆弱な部分があると、ひび割れシール材や断面修復工および下地処理工のプライマーの付着性に悪影響を及ぼすため、これらの有害物は確実に除去する。

b) レイトンスや付着塩分および脆弱部の除去は、一般的にディスクサンダーやサンドブラスト法、ウオータージェット工法等を使用して行い、塵埃の除去にはエアブローで清掃するのが効率的である。

c) 油脂類の除去は、シンナーで拭き取ることが一般的である。

(2) コンクリート表面の乾燥

a) コンクリート表面が濡れていたり、湿っている場合は、ひび割れシール材や断面修復工および下地処理工のプライマーの付着性に悪影響を及ぼしたり、塗膜のふくれを生じる原因となるため、コンクリート表面の含水率は、高周波水分計で8%以下であることを確認する。

b) コンクリートの表面温度が40℃以上になると、表面に塗布した材料が発泡したり、乾燥が速くなり過ぎたりして、塗装できないことがある。

(3) 使用材料

a) 材料を使用する前に、その種類や使用量等が仕様書の規定を満足していることを確認する。

b) 多液性塗料のように二種類以上の材料を混合して使う材料は、その材料に示された混合割合で正確に秤量し、攪拌機を用いて混合する。

c) 反応硬化（固化）する材料で、可使時間（固化時間、または凝固開始時間）を超えた材料は使用してはならない。

d) 材料の使用量は、材料を使い切った後の空缶数量検査等により標準使用量を満足していること。

e) 各工程ごとに使用した材料の所定の硬化（固化）状況を確認した後、次の工程に移る。

(4) はつり工

ひび割れ、浮き、剥離を生じたコンクリート劣化部を、カッターで範囲を限定して、電動ピックまたはエアチッパー等によりコンクリートを除去する工法で、腐食した鉄筋の錆落としが十分できる程度にコンクリートをはつり、腐食した鉄筋をすべて露出させることが原則である。

はつり工によって耐荷力に影響を及ぼす恐れのある場合は、事前に検討する必要がある。

剥離部の周辺に幅50mm程度の余裕をもたせて深さ10mmのカッター目地を入れ、後の断面修復工が容易に整形しやすくなるように処理するのがよい。カッター目地の目的は、断面修復工でのフェザーエッジによる付着力の低下や剥

離を防止することと、健全なコンクリート部まではつりによる損傷を拡大させないことである。なお、はつり工の出来形は、面積・体積を検測し記録する。

(5) 鉄筋除錆・素地調整工

劣化コンクリートをはつり出した後、腐食した鉄筋の錆落としをワイヤーブラシ等で除去する工法で、浮き錆は完全に除去しなければならない。塩害による錆はサンドブラストにより除去し、その除錆程度は ISO Sa 2.0（表面の黒皮や錆は十分に除去されているが、若干その痕跡が認められる）とする。

(6) 防錆処理工

ワイヤーブラシやサンドブラスト等で錆落としをした鉄筋に対して、鉄筋防錆剤を塗布する工法で、サンドブラスト後の鉄筋は発錆しやすい状態にあるため、サンドブラスト後2時間以内に鉄筋防錆剤を塗布するのが好ましい。なお、防錆処理工は使用する鉄筋防錆剤に適した方法で施工し、均一に塗布する。

(7) 断面修復工

はつり工によって劣化コンクリートを除去した断面を修復する工法で、面積・位置などに応じてモルタル工などを適用する。以下にその施工上の注意点を示すが、特に空隙、気泡や不陸等が生じないように施工する。

モルタル工は比較的小規模の断面修復に適用するもので、プライマー（打ち継ぎ材）を刷毛等で塗布し、プライマーの指触乾燥時間以内にコテ、ヘラ等でモルタル状の材料をはつり面にすりつけながら充填し、左官コテで表面を平滑に仕上げて形状を修復するものである。

モルタル工は、使用材料の種類によって施工方法が異なるので、その材料に適した方法や条件で施工する。

天井面の修復では材料の自重や振動の影響でモルタルが硬化する前にはく落することがあるので注意が必要である。その影響の大きい場合には軽量ポリマーセメントモルタルなどの使用も検討する必要がある。

また、はつり深さが大きく、20mm 程度以上の厚塗りとなる場合には、①一層塗りを避けて多層塗りとする、②重ね塗り部にビニロンメッシュなどの補強材を入れる、③材料中にファイバーを混入するなど、厚塗り施工が可能な工夫が必要である。なお、最近では厚塗り仕様の特殊なポリマーセメントモルタル材料も開発されている。

施工条件として注意しなければならない点は施工時の天候・温度・湿度・被着面の状態・塗り間隔等であり、使用する材料に適した条件で施工する。

このほかに型枠コンクリート工があるが、これは比較的規模の大きな断面修復に適用するもので、天井面（下面側）に対してはグラウトモルタル工法が、鉛直面（側面側）に対しては打継ぎコンクリート工法が用いられ、型枠を使用して断面を修復する工法である。

このような工事では、構造的な検討が必要となることがある。

(8) ひび割れ注入工

ひび割れ注入工には、①自動式低圧注入工法、②機械式注入工法および③手動式注入工法がある。

ひび割れ注入工にはコンクリート深部のひび割れ注入性が最も優れるとの理由から、自動式低圧注入工法が用いられることが多い。

a) 準備作業

①設計図書と現地の状況を確認する。

②資材・工具の搬入や作業足場の確保等の現地状況を確認する。

③高所作業が多いので、安全な作業足場を設置する。

b) 表面処理作業

①ひび割れ部にシール材の付着性を良くするために表面処理を十分行なう。

②ひび割れを中心にして、幅 50mm 程度のコンクリート表面をディスクサンダー等でケレンする。

c) 注入孔の設定作業

①ひび割れ幅により注入孔の間隔を設定する。なお、ひび割れ幅と注入孔の間隔との一般的な関係は表-17 の通りである。

②注入孔位置をスケール等で計り、チョーク等でマーキングする。

d) 注入用具の取り付けおよびひび割れのシール作業

①シール材の混合は可使時間内に使いきれの量とし、可使時間を過ぎたものは使用してはならない。

②注入孔位置に注入パイプ、自動式低圧注入器具または注入用台座等をシール材で固定し、その後、ひび割れ部をシール材で幅 30mm、厚さ 2mm 程度に塗布し、確実にシールする。

③シール作業が完了した後は、所定の強度（後述の注入作業で注入材が漏れない程度の強度）が発現するまで、適切な養生を行う。

e) ひび割れ注入作業

i) エポキシ樹脂注入作業

①エポキシ樹脂の主剤と硬化剤を定められた割合に正確に計量し、十分に混合する。

②一回の混合量は可使時間内に使いきれの量とし、可使時間を過ぎたものは使用してはならない。

③混合したエポキシ樹脂を自動式低圧注入器具に入れて注入孔にセットし、ゴム、バネまたは空気圧等で注入する。

④自動式低圧注入工法で注入器具内のエポキシ樹脂が無くなった場合は速やかにエポキシ樹脂を追加して注入を継続する。

⑤硬化養生は所定の強度が発現するまで、適切な養生を行う。

ii) 超微粒子無機系注入作業

①粉体と水を定められた割合で十分混合する。

②混練りしたひび割れ注入材を自動式低圧注入器具またはグリースポンプ等を

用いて、注入孔から注入する。

③混練り時、粉体を一度に入れると粉体が均一に分散しないことがあるので注意をする。

④分散不良や異物の混入があると注入の妨げになるので金網によりろ過を行う。

⑤注入器具内の注入材が無くなった場合は、速やかにひび割れ注入材を追加して注入を継続する。

⑥硬化養生は、所定の強度が発現するまで、適切な養生を行う。

ハ) ポリマーセメントスラリー注入作業

①粉体とポリマーを定められた割合で十分混練りする。

②混練り時、粉体を一度に入れると粉体が均一に分散しないことがあるので注意をする。

③分散不良や異物の混入があると、注入の妨げになるので金網によりろ過を行う。

④混練りした注入材をグリスポンプ等を用いて注入孔から注入する。注入する際、スラリー成分がコンクリートに吸収されてひび割れの奥にまで材料が注入されなくなる恐れがあるので、これを防止するため予め水通しをしておく。

⑤注入器具内のひび割れ注入材が無くなった場合は、速やかにひび割れ注入材を追加して注入を継続する。

⑥硬化養生は所定の強度が発現するまで、適切な養生を行う。

フ) あと処理作業

①注入パイプ、注入台座、注入器具およびシール材を、ディスクサンダー等で除去して平滑にする。

②注入状態を確認する必要がある場合はコアボーリングでコアを採取して、ひび割れへの含浸状況を調べる。

③作業部およびその周辺の汚れ等を除去する。

④足場の撤去および後片付けを行う。

(9) 素地調整工

コンクリート表面に付着しているレイタンス、塵埃、油脂類、塩分等および断面修復工やひび割れ注入工の残材等の除去および下地処理工のプライマーとの付着性を高めるためのコンクリート表面の脆弱部の除去を目的として、ディスクサンダーやサンドブラストウオータージェット等により塗装に適した下地に調整する工程である

素地調整工後のコンクリート表面は、巣穴、気泡、不陸などが現れるため、不陸調整材（ポリマーセメントモルタルやバテ等）を用いて中塗り工に適した平滑な表面に処理する必要がある。この不陸調整材とコンクリートとの付着性を向上させるためにプライマーを全面に塗布する。下地処理工は、プライマーを刷毛やローラー刷毛等で塗布する工程と不陸調整材をコテ、ヘラ等でコンクリート表面の巣穴、気泡、不陸などに充填し、平滑にする工程からなる。

なお、不陸調整材の使用量はコンクリート表面の状態により多少増減することがある。

(10) 中塗り・上塗り工

コンクリート構造物が汚染したり、劣化したりする環境要因を遮断し、また、周囲の環境に調和した景観を維持する目的で、コンクリート表面を被覆する工法でコンクリート表面被覆工とも呼ばれている。

中塗り・上塗り工は使用する材料の種類によって施工方法および施工条件が異なるので、その材料に適した方法および条件で均一な厚さに塗布しなければならない。

塗布方法としては刷毛塗り、ローラー塗りを主に、大面積で十分な飛散防止が可能出る場合はエアレススプレー等が一般的であるが、こて、へら等も使用することもある。これらの方法にはそれぞれ以下の長所と短所があり、使用する材料の粘性、塗膜厚、塗装する部位および施工環境条件に適した方法を採用する。

①刷毛塗り：能率はやや劣るが、特殊な装置や器具を必要とせず手軽に行なえる。

②ローラー塗り：刷毛塗りに比べて能率はやや優れるが、隅や角には適さない。

③エアレススプレー：能率が最も優れ厚膜塗布にも適しているが、専用の機械が必要であり、また、周囲への材料の飛散が多い。

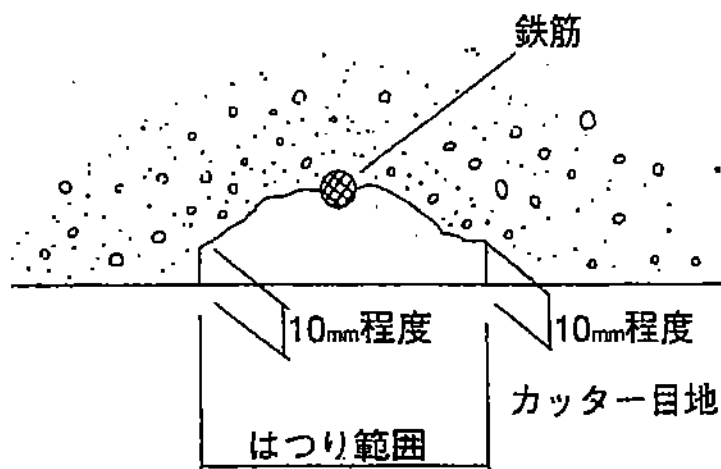
④こて・へら：高粘度の材料の塗布時に用いる。非常に厚く塗れるが、能率は最も劣る。

これらの使い分けによって、中塗り・上塗り工の目的である以下の事項を十分に発揮させる。

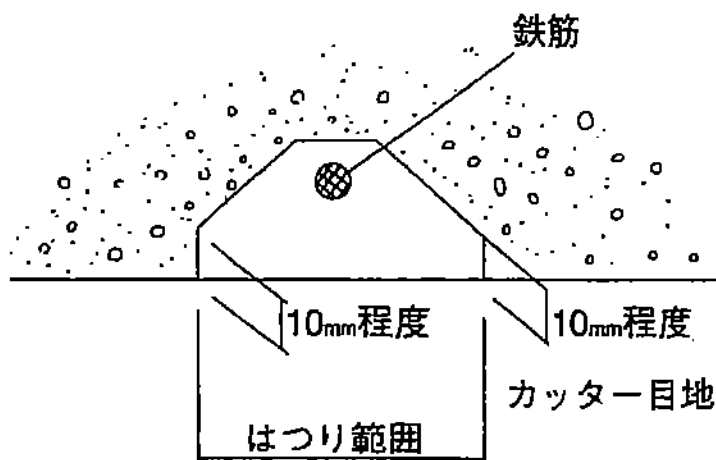
①中塗り：水密性、気密性をもち、コンクリート及びコンクリート中の鉄筋の劣化を防止する材料で、塗装の主たる機能を持つ材料である。

②上塗り：塗膜全体の耐候性および美観の向上を目的として、中塗りの表面に塗装する材料である。

中塗り・上塗り工を行うにあたっては、設計通りの塗付量を守らなければならない。そのため、塗装時はWet膜厚計を用いて膜厚の管理を行い、作業終了後は空缶量の検査を行うことにより、塗料の使用量を管理する。また、使用材料ごとに規定された塗装間隔を遵守する。

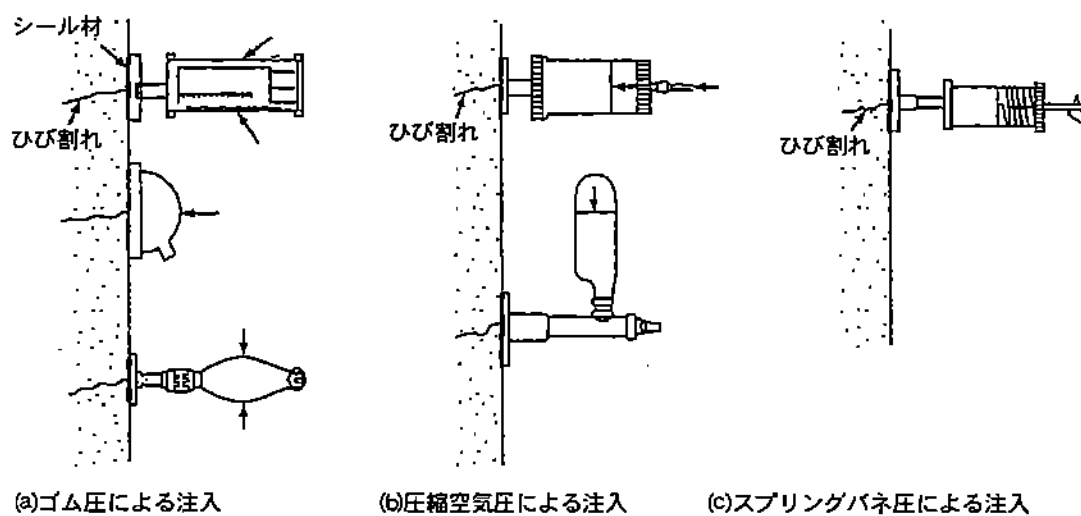


(a) 塩害以外の例

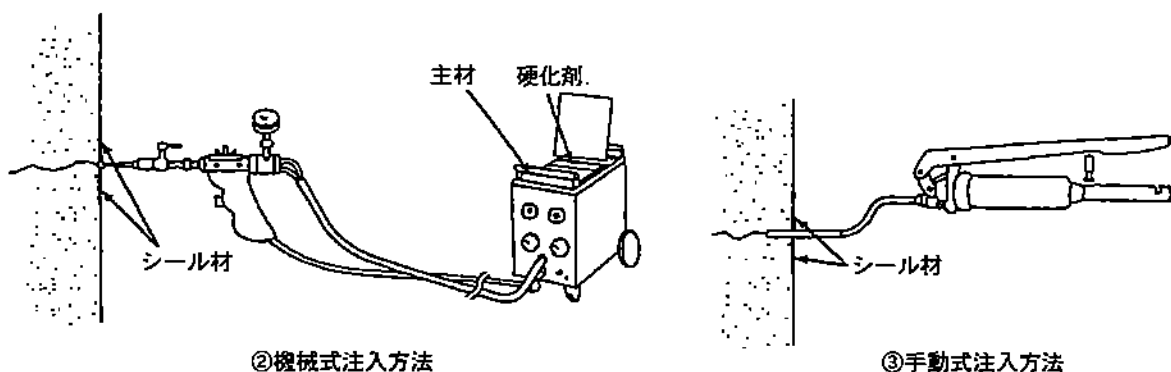


(b) 塩害の場合の例

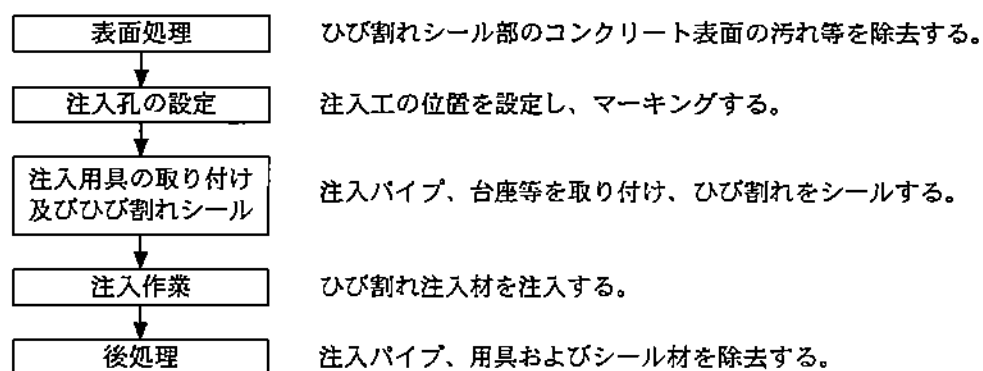
図-24 はつり工の例



①自動式低圧注入工法



各ひび割れ注入工法の施工概要図



ひび割れ注入工の施工フロー

11. コンクリート片はく落防止対策

コンクリートのはく落事故が相次いだことを受けて、各構造物管理者は一斉にはく落対策に取り組み始めている。表にはその取り組み状況とともに構造物管理者が制定しているはく落防止対策の規準（マニュアル等）も示した。表-5からも判るように、はく落防止対策の規準には構造物管理者ごとに性能のみを規定している場合と、性能と仕様の両方を規定している場合があるが、一般的には性能規定型の方が各メーカーのはく落防止工法に対する技術的な考え方の違いが現れやすいようである。

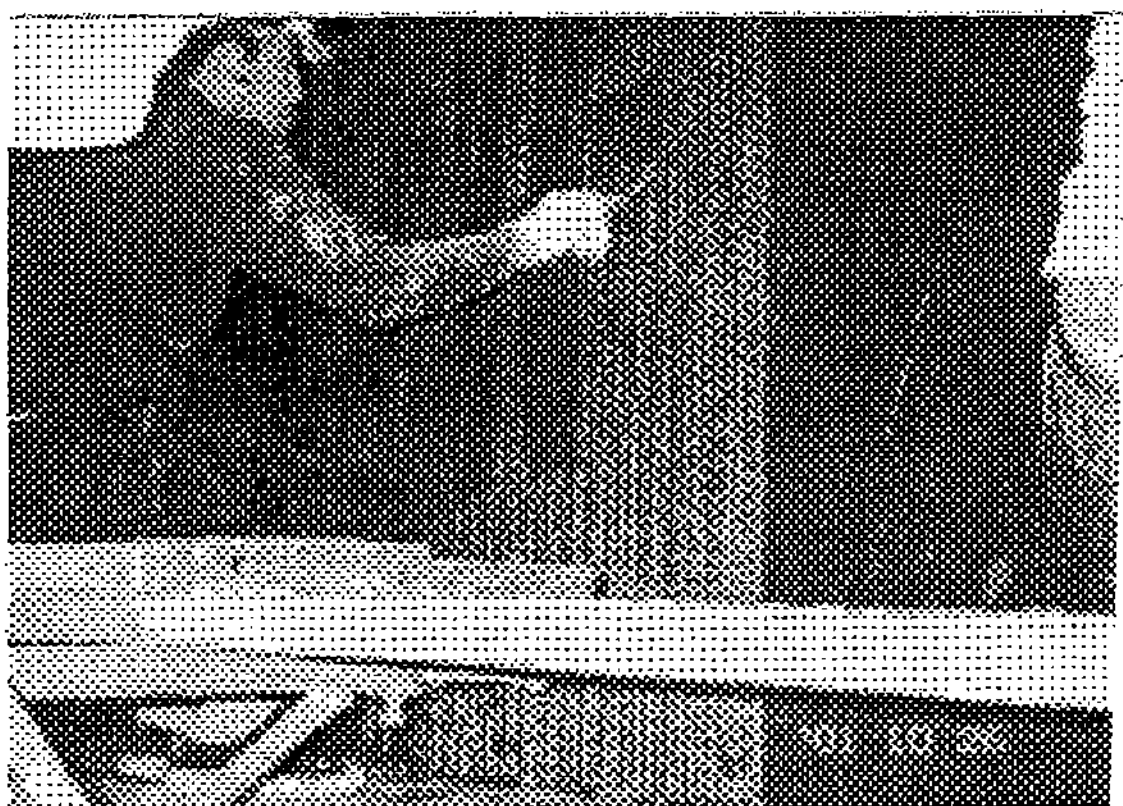


写真-2 ビニロンメッシュシート貼り付け状況

各道路管理者のコンクリート片はく落防止の取り組み

構造物管理者	規 準（または基準）名	規定の区分		取り組みの状況
		仕様	性能	
国土交通省	検討中	—	—	2001年度中に「第三者被害を予防するための橋梁点検要領」の原案を作成
日本道路公団	コンクリート片はく落防止対策マニュアル		○	第三者影響度の高いコンクリート片のはく落を未然に防止する対策として、左記マニュアルを策定し、全国に適用
首都高速道路公団	コンクリート塗装及びFRP補修基準（案）	○	○	左記基準（案）に準じたFRP工法によるはく落対策のほか、点検作業の機械化や保守データの蓄積と有効利用を進める一方、古くなった構造物については予防保全の考え方を取り入れ、いまの内に対策を施す“若返り作戦”を計画
阪神高速道路公団	コンクリート表面保護要領（案）	○	○	左記要領（案）に準じたはく落対策のほか、高架橋の点検ロボットの開発など、点検業務の効率化によって点検頻度を上げ、劣化の早期発見、早期対策に注力
J R 東海	東海道新幹線鉄筋コンクリート構造物維持管理標準		○	同構造物には施工、材料、環境面の課題はないものとし、表面被覆およびFRP工法により構造物の長期耐久性の確保を目的とした“予防保全”を考慮
J R 東日本	検討中	—	—	99～2000年度にかけて設置したコンクリート構造物の保守管理に関する委員会にて検討を重ね、方針を決定。武蔵野線で試験施工も実施し、順次はく落危険度の高い構造物か
J R 西日本	コンクリート構造物補修の手引き	—	○	2000年2月に山陽新幹線高架橋の補修計画を発表。全補修対策の内約3割が表面被覆工法

9-2-3 要求性能の判定手法

(1) 供試体の作製

各要求性能を判定する供試体の作製方法は、それぞれの試験方法に定めることとするが、供試体の作成にあたり、各施工者は、連続繊維シート接着に用いる材料、単位数量当りの使用量、施工方法および施工が可能な気象条件等、施工監理および品質確保に必要な条件をあらかじめ定めるものとし、供試体作製時における連続繊維シート接着もこれに従って施工を行うものとする。また、連続繊維シート接着に用いる材料は、性能を確認した材料と同一と判断できる材料試験項目を定め、施工管理試験においては、これらの項目の品質規格証明書により、性能が確認された材料の判定を行うものとする。

(2) 連続繊維シート接着の押抜き試験

はく落防止性能は、連続繊維シート接着の押抜き試験によるものとし、表9に示す性状を満足しなければならない。

はく落防止性能の判定試験

項	目	評価基準	試験方法
連続繊維シート接着の押抜き試験		1.5kN 以上	マニュアル巻末資料

(3) 連続繊維シート接着の耐久性能試験

はく落防止性能および塩害性能は、連続繊維シート接着の耐久性能試験によるものとし、表に示す性状を満足しなければならない。

各種耐久性能の判定試験

項	目	評価基準	試験方法
連続繊維シート接着の耐久性能試験	付着強度	1.5kN/㎡以上	検討中
	ひび割れ抵抗性	破断しないこと	
	塩化物イオン透過性	0.00 g/㎡	

(4) ひび割れ含浸材料の試験

ひび割れ含浸性能は、ひび割れ含浸材料の試験によるものとし、に示す性状を満足しなければならない。

ひび割れ含浸性能の判定試験

項	目	評価基準	試験方法
ひび割れ含浸材料の試験		20.N/㎡	マニュアル巻末資料

●表1-コンクリートはく落防止対策工の構成と材料標準使用量（例）

	A工法（7層）	B工法（6層）	C工法（9層）	D工法（7層）
①プライマー塗布工	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.1kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.12kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.25kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.15kg/m ²
②不陸調整工	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.5kg/m ²	—	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.4kg/m ²	—
③含浸接着剤塗布工	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.4kg/m ²	クロプロレンゴム系材料 標準使用量：0.25kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.3kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.7kg/m ²
④繊維シート接着工	三軸ビニロンシート 20mmメッシュ	三軸ビニロンシート 10mmメッシュ	三軸ビニロンシート 20mmメッシュ	三軸ビニロンシート 20mmメッシュ
⑤含浸接着剤塗布工	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.3kg/m ²	クロプロレンゴム系材料 標準使用量：1.0kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.2kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.3kg/m ²
⑥プライマー塗布工	—	—	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.1kg/m ²	—
⑦仕上げ材ⅠA	柔軟型ポリウレタン樹脂系材料 標準使用量：0.12kg/m ²	ハイパロンゴム系材料 標準使用量：0.25kg/m ²	ポリマーセメント系材料 標準使用量：1.5kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：2.0kg/m ²
⑧仕上げ材ⅠB	柔軟型ポリウレタン樹脂系材料 標準使用量：0.12kg/m ²	ハイパロンゴム系材料 標準使用量：0.25kg/m ²	エポキシ樹脂系材料 標準使用量：0.26kg/m ²	ポリウレタン樹脂系材料 標準使用量：0.12kg/m ²
⑨仕上げ材ⅠC	—	—	柔軟型ポリウレタン樹脂系材料 標準使用量：0.12kg/m ²	ポリウレタン樹脂系材料 標準使用量：0.12kg/m ²

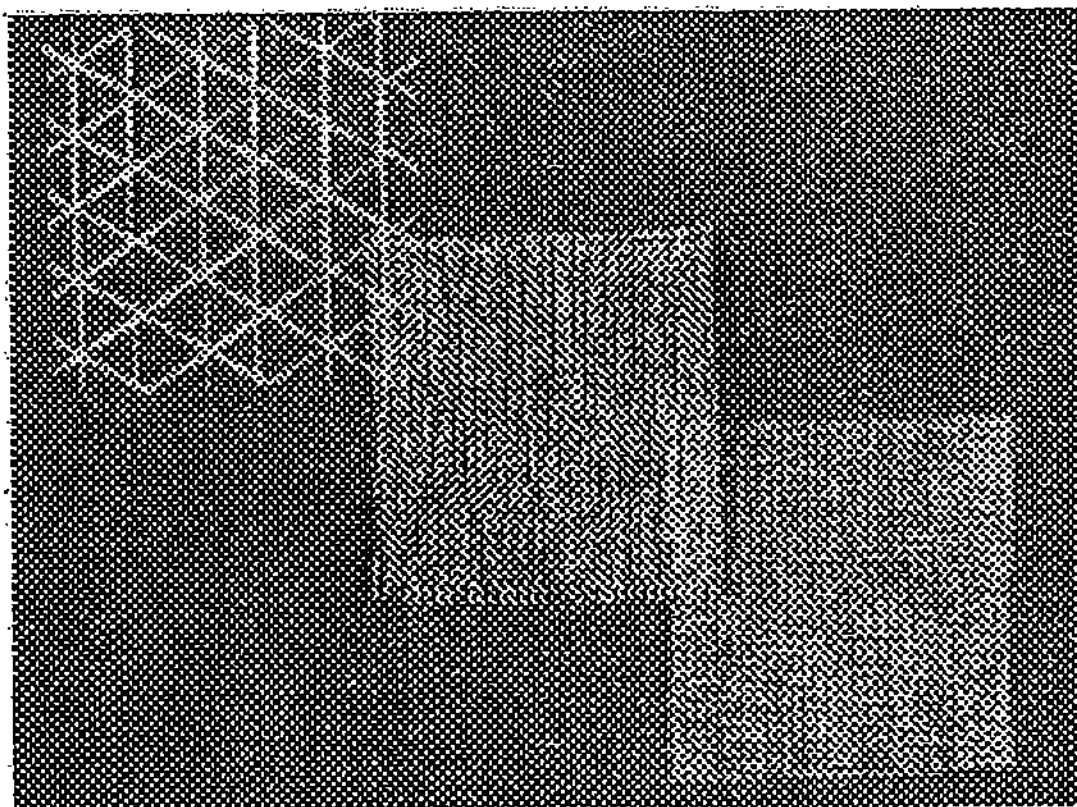


写真-1 連続繊維シートの例（寸法100×100mm）
（左からビニロンメッシュ、ガラスクロス平織り、同からみ織り）

(1) はく落防止対策の工程

一例として、日本道路公団「コンクリート片はく落防止対策マニュアル」に記載されているはく落防止対策の基本的な流れを示した。本マニュアルでは連続繊維シート接着などを用いたはく落防止の施工により、コンクリート片のはく落を物理的に防止することとしている。また、はく落防止の事前処理として、ウオータージェット工法を用いて変状部分の除去を行い、同時に健全部分においてははく落防止の施工に必要な表面処理（下地処理）を実施することとしている。

(2) FRP工

コンクリート構造物が劣化して、コンクリート片のはく落による第三者被害の発生が予測される場合、その防止対策のためにエポキシ樹脂系含浸接着剤を連続繊維シート（ガラスクロス、ビニロンメッシュシートなど）にコテ、ヘラ等で含浸接着し、連続繊維シートで補強された FRP (Fiber Reinforced Plastics) 積層物をコンクリート表面に形成するコンクリート片はく落防止工法である。

エポキシ樹脂系含浸接着剤が連続繊維シートに十分に含浸するように、コテ、ヘラ等で気泡を排除しながら入念に含浸接着する。なお、連続繊維シートの重ね継ぎ手（オーバーラップ）は 10cm 程度が一般的である。

また、FRP 工を行う場合には、既存の水切り部は断面修復材等で埋め戻し、新たに面木を取り付けて水切りとするのが一般的である。

なお、参考までに写真-1 に連続繊維シートの例を示した。

(3) 工程概要

①ひび割れ注入工：ひび割れ（幅 0.2～5mm）からの劣化因子の侵入を防止する目的で樹脂注入を行う。ひび割れ幅が 5mm 以上の場合は充てん工法が適用される。

②はつり工：浮きや剥離を生じた部分を除去する工程で、原則として次の除錆工が十分にできる程度に鉄筋の腐食部分を全面露出させる。

③除錆工・鉄筋防錆工：鉄筋の発錆部分をワイヤーブラシやブラスト法等で除去後、鉄筋防錆剤を塗布する。

④打ち継ぎ工：次工程の断面修復材の付着を確実なものとするために打ち継ぎ材を塗布する。

⑤断面修復工：はつり部分を埋め戻す工程で、断面修復材には母材コンクリートと同程度の強度が求められる。軽量モルタルは高強度、無収縮性かつ低比重（約 1.4）のため、スラヴ等での上向き施工でも落下等の危険性がない。

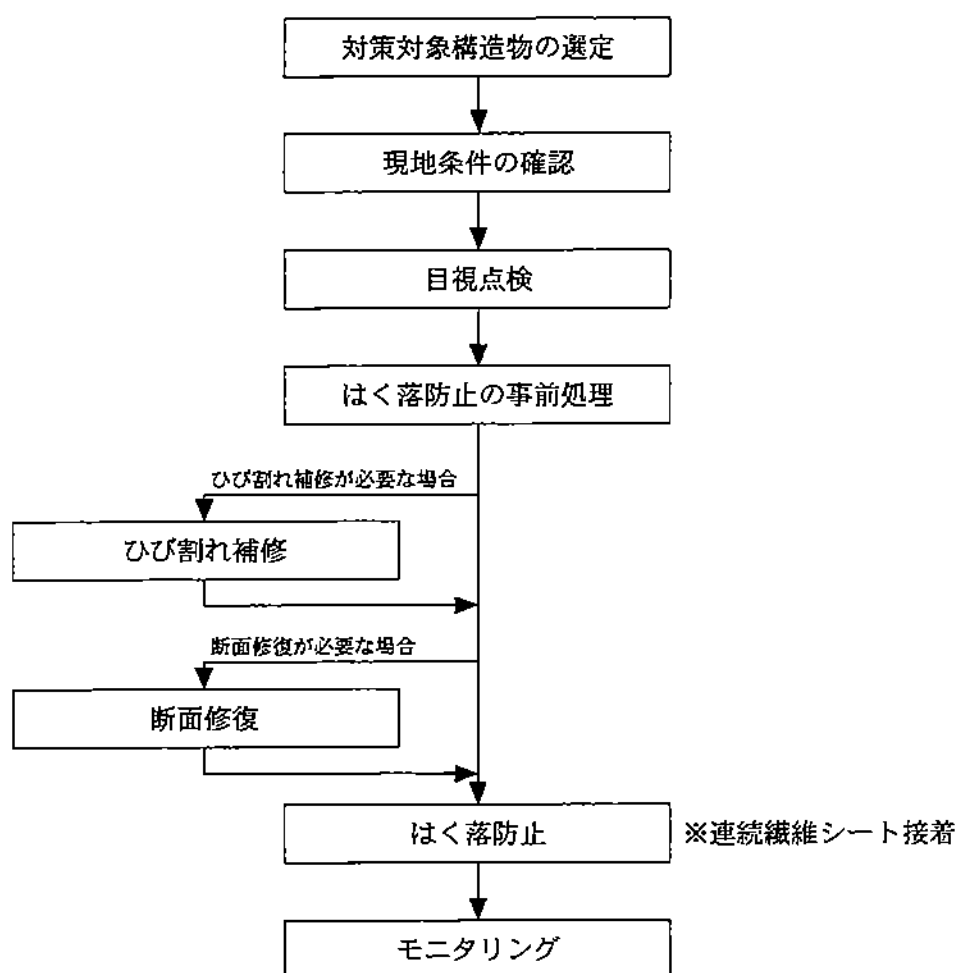
⑥素地調整工：動力工具やブラスト法により付着に有害な物質を完全に除去する工程で、FRP 工法の付着性を決定付ける重要な工程である。

⑦下地処理工：次の FRP 工との付着を確実なものとするためのプライマー工

と、被塗面の巣穴と不陸を無くするためのパテ工とからなり、FRP 工法の仕上がり外観を左右する工程である。

⑧ FRP 工：連続繊維シートを含浸接着剤で貼付ける工程で、含浸接着剤には作業に適した粘性と連続繊維シートへの含浸性および高物性が要求される。なお、写真 -1 には現在実用化されている連続繊維シートの一例を示したが、FRP 積層膜の物性（強度、靱性など）はこの連続繊維シートの性質に左右されるところが大きい。

⑨中塗・上塗工：FRP 工の保護および美観の付与を目的とした工程で、中塗には FRP 工および上塗との付着性が、上塗には長期耐候性が要求される。

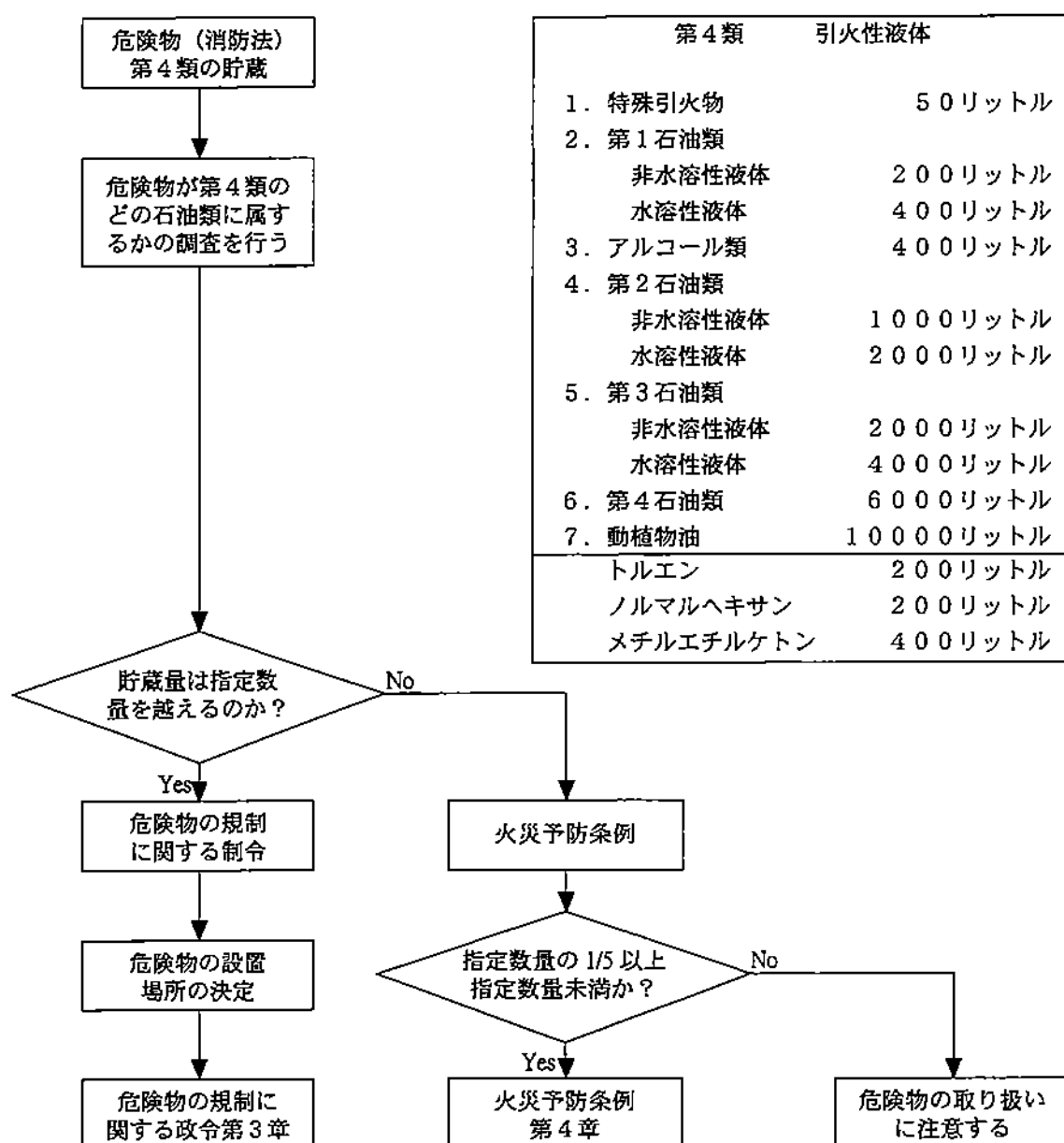


コンクリート片はく落防止対策の流れ

12. 安全管理

各使用材料や機材は定められた取り扱い方法を遵守し、当事者や第三者に安全な施工を行うよう以下の点に注意する。

- ①材料ごとの使用方法や管理方法を十分確認の上施工を行う。
- ②足場、道路規制、路下状況等の施工条件や、設備、施工機器等を考慮して作業環境を整備する。また、作業に応じて保護メガネ、防塵マスク、安全ベルト等の保護具、装身具を着用する。
- ③火気に十分注意し、火気を取り扱う場合は安全な場所を選定する。また、現場には消火器具を準備する。
- ④有機溶剤を使用する場合は換気に注意し、必要に応じて送風機やダクトにより強制換気を行う。特に、足場材やシート養生が思わぬ閉鎖空間を作ることがあるので、有機溶剤等による事故予防を十分に行う。
- ⑤緊急連絡体制を整備し、施工計画書に明記すると共に作業員にも徹底させて、事故発生の際には被害を最小限に抑える。また、応急手当法や最寄りの病院も調査しておく。



消防法に基づく危険物の取り扱い基準

13. 塗装後の点検

本マニュアルの要領に準じて施工されたコンクリート保護工は良質の材料が適用され、さらに十分な施工管理がなされているので、日常の点検で十分であろう。

何らかの塗膜損傷が生じた場合には、再塗装が可能でありその方法は、既に確立しているので、ご相談頂きたい。

コンクリート構造物に再損傷が生じても損傷が軽微な場合は短期間の内に路下交通への支障や第三者への影響が出ることはないが、その劣化の原因を確認する必要がある。特に、原因不明のひび割れを発見した場合は、塗装が原因でないことが多いので、調査を行うことが必要となる。

14. 主要な実績

NO	橋 名	架設場所	環 境	管 理 者	施工年月
1	二見大橋橋脚	兵庫県	都市部	兵庫県	1997
2	中国道別所高架橋		山間部	JH広島	1998
3	青森ベイブリッジ	青森県	海岸部	青森県	1995
4	大森大橋	北海道	海岸部	北海道開発局	1986
5	ヌハ橋	沖縄県	海岸部	沖縄開発庁	1985
6	能登島大橋	石川県	海岸部	石川県	1994
7	空港線（堂島～池田下り）	大阪府	都市部	HDK	1982
8	名神道（吹田～西宮）	兵庫県	都市部	JH大阪	1983
9	堺線（信濃橋～堺）	大阪府	都市部	HDK	1983
10	東大阪・守口・森小路 橋脚	大阪府	都市部	HDK	1985
11	東関東道千葉管内オーバブリッジ	千葉県	山間部	JH東京3	1987
12	葛飾川口線 橋脚	東京都	都市部	SDK	1987
13	沖縄道伊芸高架橋	沖縄県	海岸部	JH沖縄	1992
14	沖縄道屋喜第一高架橋	沖縄県	海岸部	JH沖縄	1992
15	五郎大橋	新潟県	海岸部	北陸整備局	1990
16	弁天大橋	新潟県	海岸部	北陸整備局	1986～1990
17	大磯高架橋	神奈川県	海岸部	関東整備局	1987～1989
18	姫路バイパス曾根高架橋橋脚	兵庫県	山間部	JH大阪	1995
19	環状線大江橋橋脚	大阪府	都市部	HDK	1983
20	葛飾ハーブ橋橋脚	東京都	都市部	SDK	1987
21	神戸線（62-2西宮）	兵庫県	都市部	HDK	1987
22	名神道（吹田）大西高架橋床版	大阪府	都市部	JH大阪	1988
23	環状線（62-1）橋脚	大阪府	都市部	HDK	1988
24	ポートアイランド線橋脚	兵庫県	都市部	神戸新交通	1989
25	油比港橋	静岡県	海岸部	JH東京1	1991
26	一色大橋	静岡県	海岸部	静岡県	1991
27	出井川大橋	静岡県	海岸部	静岡県	1991
28	潮路橋	静岡県	海岸部	静岡県	1991
29	大鳴門橋2P橋脚	徳島県	海岸部	本四公団	1992
30	沖縄道伊芸高架橋	沖縄県	海岸部	JH沖縄	1992
31	沖縄道許田高架橋	沖縄県	海岸部	JH沖縄	1993
32	国縫漁港	北海道	海岸部	北海道庁	1993
33	青森ベイブリッジ	青森県	海岸部	青森県	1995
34	手取川橋	石川県	海岸部	石川県	1995
35	函館湾岸橋（ともえ大橋）	北海道	海岸部	北海道開発局	1998

参考資料

- 1) 建設省、運輸省、農林水産省：コンクリート構造物耐久性検討委員会報告書
- 2) 建設省、建設省土木研究所：建設省総合技術開発プロジェクト・コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果），1988．（財）土木研究センター
- 3) （社）日本道路協会：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説，1984.
- 4) 日本道路公団技術部構造技術課：コンクリート片はく落防止対策マニュアル，2000.
- 5) 日本道路公団試験研究所：試験研究所技術資料第 121 号・材料施工資料（第 1 号）・コンクリート保護工，1994.
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，1999.
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2001.
- 8) 社団法人日本鋼橋塗装専門会：コンクリート
- 9) 片脇：最新のコンクリート防食と補修技術，2001.
- 10) 片脇：コンクリート塗装、鋼橋塗装，1984.