

参 考 资 料

A. 耐寒剤を用いる寒中コンクリートの施工指針(案)

目 次

1. 総 則	3-コA-1
1.1 適用の範囲	3-コA-1
2. コンクリートの品質	3-コA-2
3. 材 料	3-コA-2
4. 配 合	3-コA-3
4.1 一 般	3-コA-3
4.2 水セメント比と耐寒剤添加量	3-コA-3
4.3 単 位 水 量	3-コA-4
4.4 細 骨 材 率	3-コA-4
4.5 空 気 量	3-コA-4
4.6 耐寒剤の添加量	3-コA-5
5. 運搬および打込み	3-コA-6
6. 養 生	3-コA-8
7. 型 わ く	3-コA-13
8. 管 理	3-コA-14

A. 耐寒剤を用いる寒中コンクリートの施工指針(案)

1. 総 則

1.1 適用の範囲

この指針は、耐寒剤を用いてシート養生をする寒中コンクリートの施工についての一般の標準を示すものである。この指針に示されていない事項は、土木学会コンクリート標準示方書による。

【解 説】

積雪寒冷地の冬期コンクリート工事では、コンクリート打ち込み直後の初期材齢において寒気にさらされて凍結すると、コンクリートは初期凍害を受け、その後適当な温度で養生しても強度、耐久性、水密性など、コンクリートの品質が著しく低下する。

本指針で解説する耐寒剤は、冬期工事におけるコンクリート打設後の初期凍害を防止する目的で開発された混和剤であり、コンクリートの凍結温度を下げ、初期強度を促進させる機能を有する。

図1.1.1に耐寒剤の使用量とモルタルの凍結温度の関係[1]を示す。耐寒剤の添加量が多いほどモルタルの凍結温度は低下する傾向にあるが、耐寒剤の標準使用量の範囲3～5L/C=100 kgにおける凍結温度の低下は1.5～2.5℃程度とわずかである。そのため、耐寒剤による初期凍害防止の効果は、図1.1.1に示した凍結温度の降下よりも、コンクリートの硬化促進による部分が重要であるとされており、「耐寒促進剤」とも呼ばれている。

耐寒剤を用いたコンクリートでは、これらの初期凍害防止効果によって、一般に施工されている寒中コンクリートのような仮囲いや給熱養生などをしなくとも初期凍害を防止することができることから、現場条件によっては施工の省力化やコスト縮減が可能となる。

ただし、耐寒剤を用いて初期凍害を防止するためには、耐寒剤の特性を理解し、適切に施工する必要があることから、本指針において、耐寒剤を用いて寒中コンクリートを施工する場合、特に配慮すべき事項をとりまとめた。なお、この指針に示されていない事項は、土木学会コンクリート標準示方書によらなければならない。

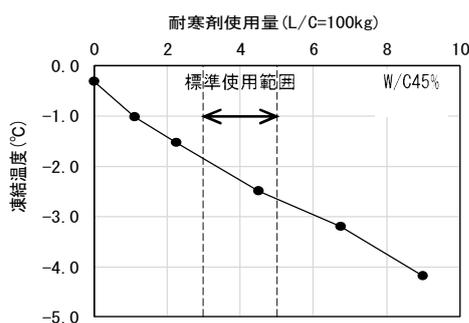


図1.1.1 耐寒剤の使用量とモルタルの凍結温度の関係

2. コンクリートの品質

耐寒剤を用いた寒中コンクリートは、所要の性能をもち、品質のばらつきの少ないものでなければならない。

また、施工時には、作業に適するワーカビリティを有していなければならない。

【解説】

耐寒剤を用いた寒中コンクリートは、所要の強度および耐久性をもち、品質のばらつきの少ないものでなければならないのは、通常のコンクリートと同様である。

3. 材 料

- (1) 耐寒剤は、JIS A 6204のAE減水剤促進型（I種）または硬化促進剤（I種）に適合する無塩化、無アルカリタイプの製品でなければならない。
- (2) 耐寒剤は、ごみその他の不純物が混入しないように貯蔵し、有効貯蔵期限を越えた場合は、品質を確認して用いなければならない。
- (3) セメントは、普通ポルトランドセメントを用いることを標準とする。

【解説】

(1)について

塩化物を含んだ耐寒剤をコンクリートに用いると、コンクリート中の鉄筋の腐食が促進され、構造物の耐久性を損ない、場合によっては耐荷力を低下させる。また、ナトリウム等のアルカリ金属を含んだ耐寒剤は、その使用量が多くなるとアルカリ骨材反応の危険性があるので好ましくない。

そのため、使用する耐寒剤は無塩化、無アルカリタイプの製品でなければならない。なお、JIS A 6204における塩化物イオン量区分 I種に該当する製品（塩化物イオン量 0.02 kg/m^3 以下の製品）については無塩、無アルカリタイプであるとみなしてよい。

耐寒剤のうち硬化促進剤は減水成分が含まれていないため、JIS A 6204の規格に適合する他のAE減水剤または高性能AE減水剤と併用することが一般的であるが、ロダン系（チオシアン酸）塩を主成分とする混和剤と併用するとシアンガスを発生する恐れがあることから、併用する混和剤との相性の確認が必要となる。

添加方法としては、一般にプラント添加としている。ただし、硬化促進剤に適合する耐寒剤では現場添加も可能であり、現場添加の際には、単位水量の一部として換算しておく必要がある。

(2)について

耐寒剤の貯蔵場所は、直射日光が当たらない、定められた温度以下の所とし、有効貯蔵期限を越えた耐寒剤は試験によって品質を確認のうえ使用しなければならない。

(3)について

耐寒剤使用の寒中コンクリートに普通ポルトランドセメントを用いるのを標準としているのは、低温養生した際の初期材令における強度発現の遅延程度が小さく、コンクリートが凍害を受けるおそれを少なくできるからである。

4. 配 合

4.1 一 般

耐寒剤を用いるコンクリートの配合は、所要の強度、耐久性、水密性および作業に適するワーカビリティを持つ範囲内で、単位水量ができるだけ少なくなるよう、耐寒剤の性能、外気温および構造物の断面寸法ならびに構造物が受ける気象条件を考慮して定めなければならない。

【解 説】

耐寒剤を用いるコンクリートの配合は、一般のコンクリートと同様に、所要の強度、耐久性および水密性などをもつコンクリートを造るために、作業に適するワーカビリティが得られる範囲で、単位水量をできるだけ小さくするのが基本である。また、耐寒剤を用いたコンクリートの性能は、耐寒剤の性能、外気温および構造物の断面寸法によって相違し、構造物が凍結融解作用を受ける気象条件および構造物の露出状態によって異なってくるので、これらの条件を考慮して定めなければならない。

4.2 水セメント比と耐寒剤添加量

水セメント比および耐寒剤の添加量は、コンクリートの所要の強度および耐久性を満足するとともに、初期凍害が防止できるよう定めなければならない。

【解 説】

コンクリートの圧縮強度をもととして水セメント比および耐寒剤添加量を定める場合、圧縮強度と水セメント比の関係は、過去の実績または試験によってこれを定めることとする。

コンクリートの耐凍害性をもととして水セメント比および耐寒剤添加量を定める場合、耐寒剤を用いたコンクリートの凍結融解試験を行い、耐凍害性を確保できる水セメント比を確認し、その値以下とする。

なお、亜硝酸カルシウムを主成分とする耐寒剤を用いた場合、水セメント比が55%以下、耐寒剤の添加量がセメント100kg当たり3～5リットルの範囲であれば、所定の圧縮強度および空気量を確保することで十分な凍結融解抵抗性が得られることを確認している[技研論文]。

初期凍害を防止することを目的にして水セメント比および耐寒剤添加量を定める場合、構造物の体積、打設時コンクリート温度、環境条件等によって相違するので、これらの条件に応じて試験を行い、定めることを原則とする。なお、亜硝酸カルシウムを主成分とする耐寒剤を用いた場合、表4.2.1に示す組み合わせの範囲であれば、過去の指針で示されていた水セメント比50%、耐寒剤添加量4L/C=100kgと同等以上の初期強度が得られることから、過去の実績と同程度の初期凍害防止効果を有しているとみなしてよい。また、表4.2.1に示す水セメント比と耐寒剤添加量の組み合わせよりも高い水セメント比で配合を計画する場合には、日最低気温が0℃以上と想定される初冬期や初春期にのみ適用を検討するのがよい。

表4.2.1 初期凍害の影響を考慮した水セメント比と耐寒剤添加量

耐寒剤添加量 (L/C=100kg)	水セメント比 (%)
3	45以下
4	50以下
5	55以下

4.3 単位水量

単位水量は、作業ができる範囲内で、できるだけ少なくなるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解 説】

耐寒剤を用いたコンクリートの単位水量も、一般のコンクリートと同様に、所要のワーカビリティが得られる範囲内でできるだけ少なくなるように、試験によってこれを定めるのがよい。

4.4 細骨材率

細骨材率は、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、単位水量が最小になるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解 説】

耐寒剤を用いたコンクリートの場合も、一般のコンクリートと同様に、所要のワーカビリティが得られ、かつ、単位水量が最小となるような最適な細骨材率を、試験によって定めなければならない。

4.5 空気量

耐寒剤を用いたAEコンクリートの空気量は、粗骨材の最大寸法、その他に応じてコンクリート容積の4～7%を標準とする。

【解 説】

最適な空気量を連行したコンクリートは、所要のワーカビリティを得るのに必要な単位水量を減らせるほか、コンクリートの耐凍害性も向上させることができる。

空気量は、耐寒剤を用いたコンクリートの場合も、一般のコンクリートと同様に、粗骨材の最大寸法や環境条件に応じて、コンクリート容積の4～7%とするのがよい。

4.6 耐寒剤の添加量

耐寒剤の添加量は、所要の強度および耐久性が得られるよう、試験によってこれを定めなければならない。

【解 説】

耐寒剤の効果は、使用する耐寒剤、コンクリートの配合、環境条件等によって相違するので、これらの条件に応じて試験を行い、その添加量を定めることとした。耐寒剤(NF)を用いる場合の耐寒剤の添加量は、開発土木研究所が行ったこれまでの検討結果からセメント100kg当たり4ℓとしてよい。

5. 運搬および打込み

- (1) コンクリートの運搬および打込みは、熱量の損失をなるべく少なくするように行わなければならない。
- (2) 打込み時のコンクリート温度は、構造物の断面寸法および気象条件等を考慮して、5～20℃の範囲でこれを定めなければならない。
- (3) コンクリートの打込み時に、鉄筋、型わくなどに氷雪が付着してはならない。
- (4) 打継目の旧コンクリートが凍結している場合には、適当な方法でこれを溶かし、コンクリートを打継がなければならない。
- (5) 打込まれたコンクリートは、露出面が外気に長時間さらされることのないようにしなければならない。
- (6) コンクリートの打込みは、練混ぜ後できるだけ早い時間に行わなくてはならない。

【解説】

(1) について

耐寒剤を用いた寒中コンクリートの場合も、一般のコンクリートの場合と同様に、運搬および打込み中にコンクリート温度が低下するので、これを防ぐ処置が必要であり、コンクリートを練り混ぜてから打込みまでの時間をできるだけ短くするようにしなければならない。

(2) について

寒中の施工では、気温が急激に低下した場合、コンクリートが硬化する前に凍結し、強度発現および耐寒性に悪影響をおよぼすおそれがある。このため、打込み時には、構造物の種類や大きさ、天候、気温、養生方法に応じた適切なコンクリート温度を確保する必要がある。

新しく打ち込んだコンクリートが初期凍害を受けないようにするため、コンクリートの部材厚が80cm未満の場合には、打込み時のコンクリート温度は10℃以上を確保することが望ましい。また、部材厚の薄い箇所に打設する場合には、セメントの水和熱が既設コンクリートや外部に奪われるため、事前に既設コンクリートを暖める等の対策を検討するのがよい。

一方、部材が厚い場合には、打込み温度を上げると、かえって水和熱に起因する温度応力によってひびわれが発生しやすくなる。特に耐寒剤を用いたコンクリートの場合には給熱養生をしないため、給熱養生をしたコンクリートに比べて表面温度が低く、強度も小さい。そのため、部材が厚い場合には、打込み時のコンクリート温度は低いほうが望ましい。したがって、打込み時のコンクリート温度は、構造物の部材寸法や気象条件を考慮し、5～20℃の範囲で定めることとした。

(3) について

鉄筋、型わく等に付着している氷雪を溶かすには、湯または蒸気かけるのがよいが、低温の場合、一度溶かした水が再び凍結して悪い結果をもたらすことがあるので注意しなければならない。

(4)について

旧コンクリートが凍結しているか、氷雪が付着している場合には、(3)に準じて十分にこれを溶かし完全な打継目を得るようにしなければならない。

(5)について

コンクリートの打込み終了後、コンクリート表面の温度が急冷される可能性があるため、打込み後ただちにシート等で表面を覆い、特に風を防がなければならない。

(6)について

耐寒剤を用いたコンクリートでは、耐寒剤の添加に伴い凝結が促進されるためコールドジョイント等を生じないよう、練り混ぜてからできるだけ早く連続的に打ち込まなければならない。

また、凝結が早いためにコンクリートにこわばりが生じて均しが困難になったり、コールドジョイントが発生しやすくなったりすることがあるため、その特性を理解して使用することが重要である。

6. 養生

- (1) 耐寒剤を用いたコンクリートの養生方法は、一般にシート養生とする。
- (2) 養生方法および養生期間は、耐寒剤の性能、外気温および構造物の断面寸法を考慮して適切に定めなければならない。
- (3) 養生シートは、セメントの水和熱を構造物の端部や下部から逃がさないようにコンクリートの周囲を覆わなければならない。
- (4) 養生初期におけるコンクリート温度は、耐寒剤の性能を考慮して定めなければならない。
- (5) 激しい気象作用を受ける環境下にあるコンクリートは、所要の強度が得られるまで、適切な処置をとらなければならない。
- (6) 養生の打切り、型わくおよび支保工の取りはずし時期の適否の確認は、現場のコンクリートとできるだけ同じ状態で養生した供試体によるか、コンクリート温度の記録から推定した強度によって行うものとする。

【解説】

(1)について

耐寒剤を用いた寒中コンクリートの養生は、給熱をしないで、シート養生とするのが一般的である。シート養生は、ブルーシートを用いるのを標準とする。

(2)について

コンクリートの強度発現は、耐寒剤の性能、外気温および構造物の断面寸法によって異なる。したがって、これらを十分考慮して養生方法および養生期間を定めなければならない。

(3)について

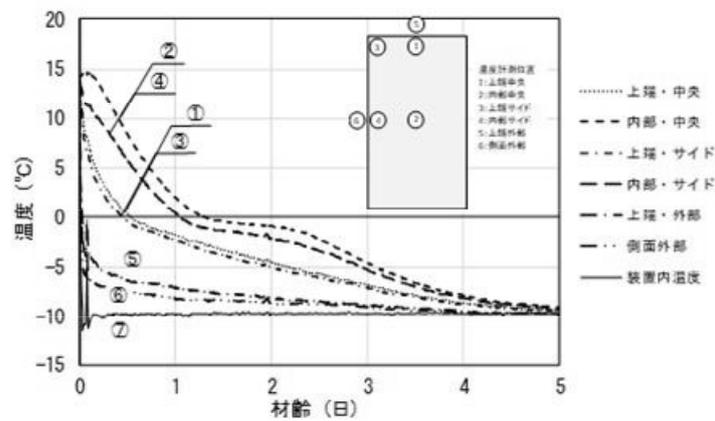
シート養生はセメントの水和熱を利用して保温するものであるから、構造物の端部および下面あるいはシート継ぎ目部より熱を逃がさない配慮をしなければならない。また、型枠とシート間に空間ができないようにするのが望ましい。

(4)について

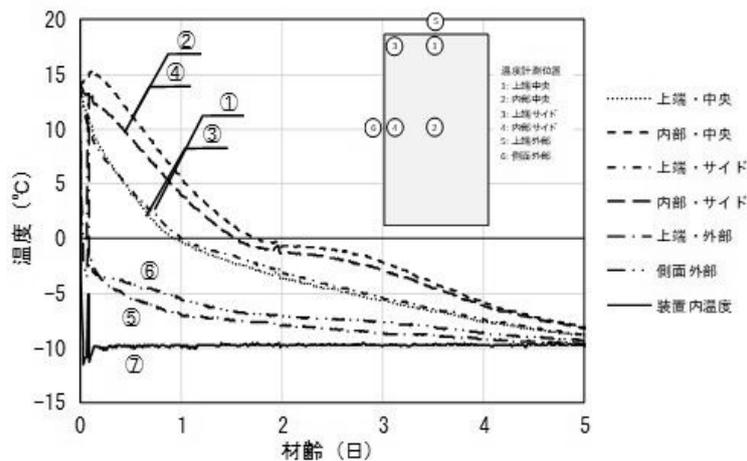
圧縮強度が 5N/mm^2 に到達する前にコンクリートが凍結すると、初期凍害によりその後の圧縮強度発現が停滞する可能性が生じるため、養生初期においては、耐寒剤の性能に応じて、圧縮強度 5N/mm^2 を確保するまでコンクリートを所定の温度を保たなければならない。

耐寒剤を用いた場合のコンクリート温度は、打込み後24時間まで 5°C に保つのが望ましい。コンクリート表面の最も厳しいところでも、コンクリートが凍結温度以下にならないようにしなければならない。打込み後、厳しい外気温が予想される場合には、ブルーシートより保温性の高いシート(気泡緩衝材など)を用いるのがよい。

図6.1は、部材厚 30cm の耐寒剤を添加したコンクリートを(a)ブルーシート養生および、(b)ブルーシートと気泡緩衝材を併用した養生を施したときのコンクリート温度である。コンクリートは -10°C 環境の試験機内で温度を測定した。ブルーシートと気泡緩衝材を併用した場合にコンクリート表面温度が 0°C に到達したのは約24時間後であり、ブルーシートを用いた場合より12時間長く 0°C 以上を確保できていた。



(a) ブルーシート



(b) ブルーシート+気泡緩衝材

図6.1 W/C=50%、耐寒剤添加量4Lのコンクリートの温度履歴

(5)について

養生終了後、春までにコンクリートが凍結融解作用を受ける場合は、凍結融解試験によって凍結融解作用に抵抗できる強度を確認し、その強度が確保されるまで、凍結融解作用を受けさせない処置をしなければならない。

亜硝酸カルシウムを主成分とする耐寒剤を用いた場合の凍結融解試験開始時の圧縮強度と耐久性指数の関係を図6.2に示す。60%の耐久性指数を得るためには、強度はおおよそ 15N/mm^2 程度必要と判断される。表6.1に、コンクリートが凍結融解作用を受けてもよい圧縮強度の標準を示す。表6.1の強度を得るために必要な日数は、配合および外気温等によって異なるので使用するコンクリート配合における圧縮強度と積算温度の関係と、過去の気象資料を用いて推定するのがよい。

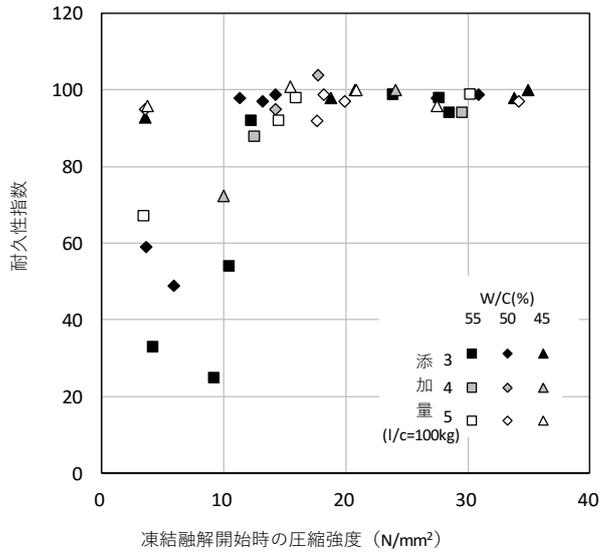


図6.2 凍結融解試験開始時の圧縮強度と耐久性指数の関係

表6.1 コンクリートが凍結融解作用を受けてもよい圧縮強度

構造物の露出状態	圧縮強度 (N/mm ²)
①連続して、あるいはしばしば水で飽和される部分 ¹⁾	15
②普通の露出状態にあり、①に属さない場合	10

1) 水路、水槽、橋台、橋脚、擁壁、トンネル覆工等で水面に近く水で飽和される部分、およびこれらの構造物の他、桁、床板等で水面から離れてはいるが融雪、流氷、水しぶき等のため、水で飽和される部分等

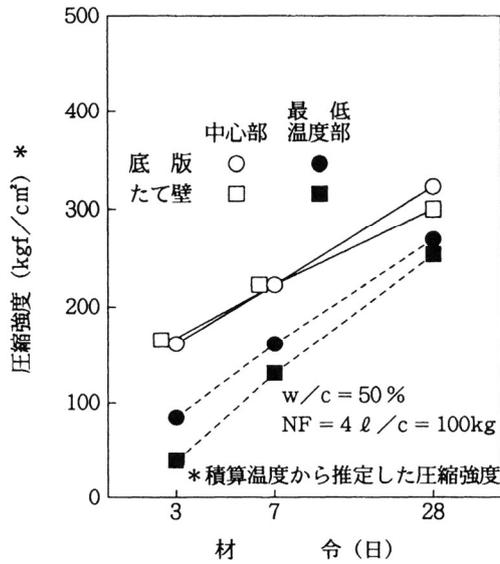


図6.3 材令と圧縮強度の関係

(6)について

養生の打切り、型わくおよび支保工の取りはずし時期の適否の確認は、現場のコンクリートと同じ状態で養生した供試体の圧縮強度によるか、あるいは、コンクリートの温度記録から積算温度を求め、あらかじめ調べた積算温度と圧縮強度の関係から推定した圧縮強度によるものとする。

現場のコンクリートと同じ状態で養生する場合は、供試体のコンクリート温度は構造物のコンクリート温度と同一であることが望ましい。しかし、単に構造物と同じ場所に置くだけでは同じ温度状態にならない。実構造物のコンクリート温度と同じ温度に制御できる簡易な装置が付いた養生箱があればそれを用いるのがよい。例えば、渡辺ら [3] や嶋田ら [4] の報告では、厚さ2~3cmの発泡スチロール製の箱を用いて現場養生を行うことで、現場コンクリートに近い温度状態になることが示されている。

コンクリートの温度記録から強度推定を行う場合には、あらかじめ標準養生した供試体の圧縮強度試験から積算温度と圧縮強度の関係を求めておき、コンクリートの温度記録から圧縮強度を推定する。なお、積算温度の計算には日本建築学会発行「寒中コンクリート施工指針・同解説」[5] に示される、氷点下を含む積算温度式(式-1)を用いることとする。

$$\begin{aligned} T \geq 0 \text{ のとき} \\ M = \sum (T + 10) \Delta t \\ T < 0 \text{ のとき} \\ M = \sum 10 \times \exp(-0.60 \times (-T)^{0.74}) \Delta t \end{aligned} \quad \text{式-1}$$

ここに、 T : Δt のコンクリート温度 (°C)
 M : 積算温度 (°D・D)
 Δt : 温度測定間隔 (日)

また、あらかじめ標準養生した供試体の圧縮強度試験から積算温度と圧縮強度の関係を求めることが困難な場合には、以下に示す式-2により推定してもよい。

$$\begin{aligned} (0 < M \leq 1000) \\ F_c = a \times \exp(b \times (1/M)^c) \quad \text{式-2} \\ a = 103 - 1.46 \cdot W/C + 5.37 \cdot Ad \\ b = -33.0 - 0.0255 \cdot W/C + 4.33 \cdot Ad \\ c = 1.15 - 0.00467 \cdot W/C - 0.0719 \cdot Ad \end{aligned}$$

ここに、 F_c : 積算温度Mのときの圧縮強度 (N/mm²)
 M : 積算温度 (°D・D)
 a, b, c : 実験係数
 W/C : コンクリートの水セメント比 (%)
 Ad : 耐寒剤の添加量 (L/C=100kg) とする。

表6.2に強度推定に用いる実験係数の算定結果の例を示す。ただし、式-2は材齢初期の強度発現に対応させた式であるため、積算温度Mの取り得る範囲は0~1000°D・Dまでとする。

図6.4の導出に用いた圧縮強度の実験値と推定式との関係を示す。水セメント比が40~55%の耐寒剤添加量3~5Lの範囲であれば、比較的対応した強度推定が可能となった。

表6.2 水セメント比と耐寒剤添加量毎の最終到達強度と実験係数

W/C (%)	添加量 (L/C=100kg)	a	b	c
40	3	61.2	-21.0	0.745
	4	66.6	-16.7	0.673
	5	71.9	-12.4	0.601
45	3	53.9	-21.2	0.721
	4	59.3	-16.8	0.649
	5	64.6	-12.5	0.577
50	3	46.6	-21.3	0.698
	4	52.0	-17.0	0.626
	5	57.3	-12.6	0.554
55	3	39.3	-21.4	0.674
	4	44.7	-17.1	0.603
	5	50.0	-12.8	0.531

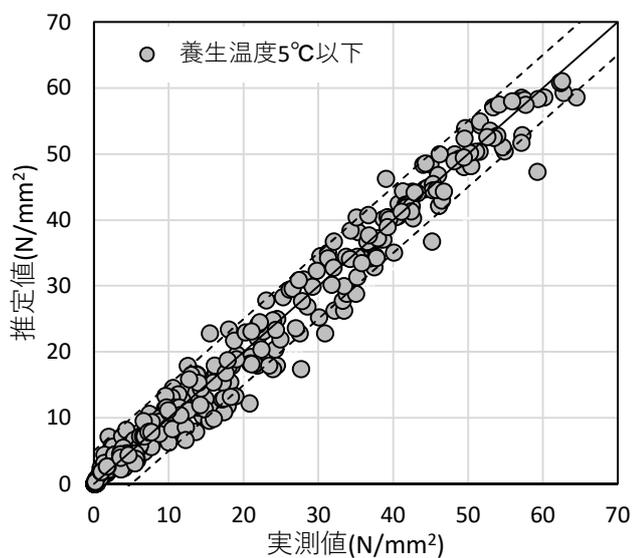


図6.4 圧縮強度の実測値に対する推定値(養生温度5°C以下)

7. 型 わ く

- (1) 型わくは、保温性の良いものを用いるのを標準とする。
- (2) 型わくの取りはずしは、コンクリートの温度を急激に低下させないように行わなければならない。

【解 説】

(1)について

耐寒剤を用いたコンクリートの養生は、コンクリートの水和熱を利用するので、鋼製型わくに比べて熱伝導率が小さく、保温効果の大きい木製型わくを用いるのが望ましい。

(2)について

断面が厚い構造物では、コンクリート内部の温度は水和熱によりかなり高温になっているので、型わくの取りはずしによって急激に冷却すると大きな温度差が生じ、ひびわれが発生するおそれがある。したがって、型わくの取りはずし可能な強度が得られた後も、コンクリート部材の表面部と中心部の温度差に起因するひびわれが生じない状態になるまで型わくを残しておくのが望ましい。

8. 管 理

- (1) 所定の品質のコンクリートを造るため、一般の管理試験の他に、練上り時および打込み時のコンクリート温度、養生中のコンクリート温度、シート内の温度および外気温を測定するのを原則とする。練上り時および打込み時のコンクリート温度は、アジテータトラックごとに測定するものとする。養生中のコンクリート温度、シート内の温度および外気温は、その経時変化を所定の間隔で測定しなければならない。

【解 説】

(1)について

寒中コンクリートにおいては、打込まれたコンクリートが計画どおりに養生されているかどうかを管理しなければならない。このため、練上り時のコンクリート温度、打込み時のコンクリート温度、外気温および気象条件を記録しておくとともに、養生中のコンクリート温度およびシート内の温度を測定する必要がある。

また測定位置は、コンクリート温度が最も低くなると予想される位置で測定するのが望ましい。

養生中のコンクリート温度、シート内温度および外気温については継続的に測定管理するのが理想的であるが、作業が繁雑となり管理費用がかさむこと等を考慮し、断続的な測定でよいこととした。

参 考 文 献

- 1) K. Sakai, H. Watanabe, H. Nomachi, K. Hamabe: Antifreeze Admixture Developed in Japan, Concrete International, vol. 13 No. 3, pp. 26~30, 1991

B. 道路橋での表面含浸材の適用にあたっての留意事項

目 次

1. 総 則	3-㉓B-1
1.1 はじめに	3-㉓B-1
1.2 用語の定義	3-㉓B-1
2. 基本事項	3-㉓B-5
3. シラン系表面含浸材	3-㉓B-5
3.1 適用範囲	3-㉓B-5
3.2 製品選定	3-㉓B-6
3.3 作業の留意点	3-㉓B-9
4. けい酸塩系表面含浸材	3-㉓B-14
4.1 適用範囲	3-㉓B-14
4.2 製品選定	3-㉓B-16
4.3 作業の留意点	3-㉓B-16
5. 各部材への施工	3-㉓B-17
5.1 一般	3-㉓B-17
5.2 地覆・剛性防護柵	3-㉓B-18
5.3 橋座面	3-㉓B-19
5.4 主桁（コンクリート橋）	3-㉓B-20
6. 記 録	3-㉓B-21
7. 劣化予測	3-㉓B-22
8. 維持・管理	3-㉓B-24

B. 道路橋での表面含浸材の適用にあたっての留意事項

1. 総 則

1.1 はじめに

本事項は、道路橋コンクリート部材の凍害、凍・塩害の複合劣化を抑制する対策として、表面含浸材（対象はシラン系とけい酸塩系および含浸性防錆材の3種類）を適用するに際し、留意すべき内容を実務的なレベルでまとめたものである。ここでは、製品の選定や施工の方法といった初期性能に範囲を限定し、寒地土木研究所（以下：寒地土研）の研究成果や各種文献をもとに整理している。

施工後の検査方法や追跡調査の方法、冬期施工の詳細なマニュアル、既設への適用に際しての条件、実環境を勘案した経年的な劣化予測手法・性能照査手法、地覆や橋座面等以外の部位で施工が望ましい箇所など、未だ整理しきれていない事項についても引き続き資料収集や研究を行い、本事項に随時書き加え、今後改訂していく形で内容の充実を図る計画である。

ただし、本事項の適用の範囲は北海道開発局が発注する工事とする。

1.2 用語の定義

本事項で用いる用語を下記のとおり定義する。

- | | | |
|----|-------|---|
| 1) | 表面含浸材 | 劣化を受けやすいコンクリートの表層の品質を集中的に高めることを目的に使用される製品。塗装や表面被覆材とは異なり、性能を発揮する材料をコンクリートに含浸させて、コンクリート自体に特殊機能を付与する工法である。 |
| 2) | シラン系 | コンクリートの表面および空隙の内壁に、撥水機能を有する疎水基を固着させ、外部からの吸水を抑えるタイプの製品。空隙は充填されないため組織は密化しない。 |
| 3) | 水系 | シラン系製品の多くは、浸透性能を高めるために主成分が希釈されている。水系とは、水で希釈された製品をいう。 |
| 4) | 溶剤系 | 労働安全衛生法の有機溶剤中毒予防規則に掲げられている有機溶剤で希釈された製品のうち、希釈に使用された溶剤の重量が表面含浸材全体の5%以上の製品を指す。希釈の理由は3)と同じである。 |
| 5) | 無溶剤系 | 水系、溶剤系、いずれにも該当しない製品をいう。希釈に用いられた有機溶剤の重量が表面含浸材全体の5%未満であるものや、規則に掲げられていない溶剤で希釈されたもの（使用量は問わない）などが該当する。 |
| 6) | 有効成分量 | 一般には、製品に含まれる主成分（シラン）の量を示す。通常はパーセントで表示される。 |

- 7) けい酸塩系 コンクリート表面および細孔表面を固化させるタイプの製品
- 8) 含浸性防錆材 鉄筋の腐食環境をコンクリート内部から改善させる目的で使用される含浸材
気化性防錆材、浸透性防錆材等と称されることもある。

なお、3)～6)は、シラン系の製品に対して広く使われる用語である。

【解説】

1) について

表面含浸工法は、目的とする所定の性能・効果を発揮する液体状の材料（表面含浸材）を刷毛・ローラー・スプレー等を用いてコンクリート表面に塗布し、材料を含浸させることでコンクリートの耐久性を高める工法である。主な長所として、以下のことが挙げられる。

- ・少ない工程でかつ短期間で施工ができ、簡便で安価
- ・コンクリート表面の外観を大きく変えることがないため、施工後も目視による日常点検・維持管理が可能
- ・被覆材とは異なり、材料を含浸させる工法であるため、表面では紫外線劣化を受けても、含浸部は紫外線の影響をほとんど受けない
- ・改修時における産業廃棄物の発生量が少ない

表面含浸工法で使用される材料は、図1に示すようにシラン系、けい酸塩系、その他（含浸性防錆材、塗布型収縮低減材、ポリマー含浸材等）に分類される [1]。

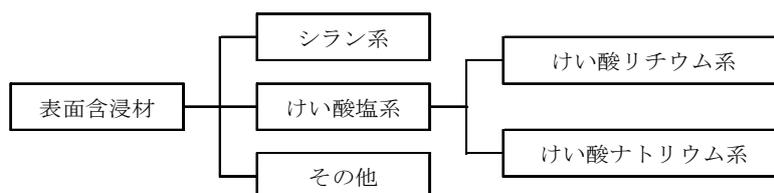


図1 表面含浸材の分類

2) について

シラン系は、浸透性吸水防止材とも称され、コンクリート表層部に吸水防止層を形成し、外部からの水分や塩化物イオンの侵入を抑制する機能を付与するシリコーン系表面含浸材の一種である。シリコーン系は、成分の組合せによって、①アルキルアルコキシシラン、②アルキルシリコネート、③その他のシリコーン化合物の3タイプに分類される。中でも、アルキルアルコキシシランは分子同士の連鎖が生じにくく、浸透性に優れ、コンクリートに固着しやすく、安定した性能が得られやすい。このため、アルキルアルコキシシランを利用した製品が多く、シリコーン系よりもシラン系と広く呼ばれるようになった。

図-2に示すように、主成分であるシランモノマーまたはシランオリゴマー（1～10個のシランモノマーが結合した重合体）の希釈液をコンクリートに含浸させると、コンクリート表面もしくは細孔表面の水酸基と化学的に結合し、疎水基であるアルキル基が表面に並ぶように固着する。これによって含浸部分が疎水化され（図3）、吸水抑制機能が発現する。なお、含浸部分の細孔は閉塞されないため、コンクリート内部から外部への水蒸気の透過・逸散は可能である。このため、コンクリート内部に滞留する水分に起因する劣化の抑制が期待できることが大きな特徴である [1]。

疎水基は有機（炭素を含む）のため紫外線の影響を受けやすい。そのため、コンクリート面の撥水性は数年で消失すると言われており（製品により異なる）、紫外線の影響を受けにくい表層に含浸しているシランに期待するところが大きい。このため、より深く含浸する製品が望ましい。

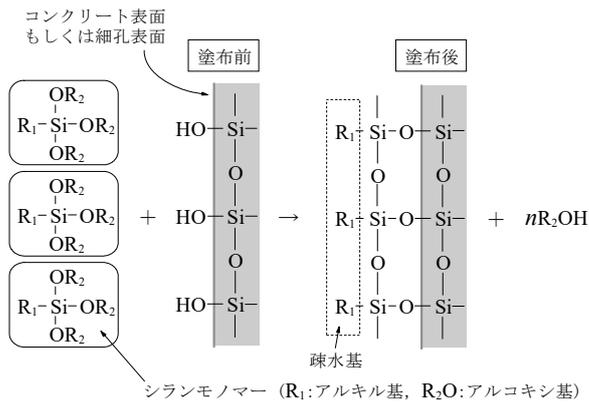


図2 吸水防止層の形成機構 [1]

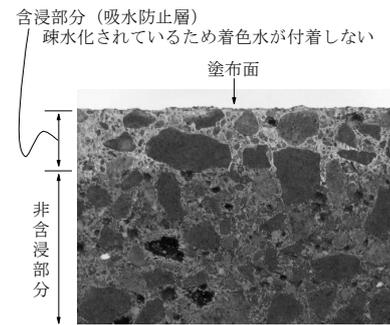


図3 吸水防止層 [1]
(切断面を着色水で濡らした状態)

3)～5) について

シラン系は従来、主成分をミネラルスピリットやイソプロピルアルコール等の有機溶剤で希釈させた溶剤系が主であったが、近年は環境に与える影響を考慮し、主成分を水で希釈させた水系や、水や有機溶剤に依存せず、特殊な技術によって製造された有機溶剤を含まない無溶剤系の製品も市販されている。

補足：ただし、労働安全衛生法の有機溶剤中毒予防規則（昭和47年9月30日労働省令第36号）は、第1章・第1条・2項において、有機溶剤を当該混合物の重量の5%を超えて含有するものを「有機溶剤含有物」と定義しているため、たとえ有機溶剤が使用されていても、使用量が重量の5%を超えない場合は原則的に溶剤系ではなく、無溶剤系に分類されることになる。このため、有機溶剤を全く使用していない場合は、安全性を強調する意味で「完全無溶剤」と称して市販されることもある。さらに最近では、壁面や天井面での施工性を考慮した液だれが発生しにくいジェル状、クリーム状の製品も開発されている [1]。

6) について

製品によっては、全ての成分を勘定して表示している場合もあるので、注意すること。

7) について

けい酸塩系は浸透性固化材とも称され、脆弱なコンクリート組織を固化する機能を有している。このタイプの製品は、製造の工程でアルカリ金属を含む炭酸塩と反応させる理由から、アルカリ金属イオンを含んでいる。けい酸塩系は、ケイ素と結合するアルカリ金属塩の種類によって、けい酸ナトリウム系とけい酸リチウム系にさらに細分化される。

けい酸ナトリウム系は、水が存在する条件下で、コンクリートの未水和カルシウムと反応し、生成されるカルシウムシリケート水和物により空隙が充填され、ち密化するタイプの製品である。一方、けい酸リチウム系は、材料自身がコンクリート表面および細孔表面で固化することで組織がち密化されるタイプの製品である。けい酸ナトリウム系は親水性であるのに対し、けい酸リチウム系は難溶性で細孔充填性が高いとされるが、コストはやや高めのものである。けい酸ナトリウム系とけい酸リチウム系の違いを概念的に表すと図-4のようになるが、使い分けの考え方については、現段階では未だ整理されていないため、当面はどちらの製品を選択してもよいこととする。

このタイプの製品は、凍害による内部ひびわれの進行を抑えたい場合に適する [2] (ただし、製品にもよる)。製品は無機 (炭素を含んでいない) のため、紫外線の影響を受けない長所がある。また、けい酸塩系の表面含浸材はアルカリ性であるため、中性化したコンクリートに含浸させてコンクリートが本来有する程度のアルカリ性を付与し、鉄筋の腐食環境の改善を図ることを目的に使用されることもある。

補足：けい酸ナトリウム系はけい酸ナトリウム (Na_2SiO_3) を主成分とする水溶液である。コンクリートに含浸させると、コンクリート中の水酸化カルシウムと化学的に結合してセメント水和物に近いC-S-H系の結晶を空隙の内部に形成し、脆弱な組織を固化させる。この反応は、水分の存在下で緩やかに進行する。なお、含浸後においても水分が供給されると未反応のけい酸ナトリウムがゲル状になり、水分移動に伴ってコンクリート内部へ再び含浸する。製品の中には、含浸性を向上させる界面活性剤や、水酸化カルシウムとの反応を促す反応促進剤が配合されたものもある [1]。

けい酸リチウム系はけい酸リチウム (Li_4SiO_4) を主成分とする水溶液で、水溶液中ではリチウム原子がSi(OH)₅の鎖状分子に取り囲まれたポリシリケートの状態が存在している。リチウム原子は粒径が非常に小さく、コンクリートに含浸させると、厚さがナノオーダーの難溶性の固形の連続被膜をコンクリート内部の空隙の壁面に形成し、脆弱な組織を固化させる。なお、水溶液の粘度は主成分の濃度によって変化するため、微小空隙・微細ひび割れに含浸しやすい粘度となるように濃度が調整されている。

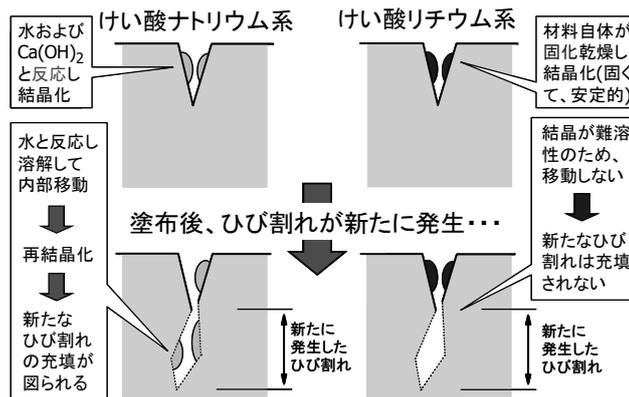


図4 けい酸ナトリウム系とけい酸リチウム系の違い

8) について

腐食環境の改善を図る材料として主にアミン等が含まれている。また、近年はシランを組み合わせたタイプの製品も市販されている。

2. 基本事項

検討にあたっては、事前に施工の目的や期待する効果を明らかにしておくこと。

【解説】

シラン系とけい酸塩系の改質機能・特徴は各々異なるので、適用に際しては施工の目的と期待する効果を明確にし、それに見合う製品を選定する必要がある。

3. シラン系表面含浸材

3.1 適用範囲

- 1) 当面は新設および打換えられた直後の部材への適用を標準とする。
- 2) 水中に常時浸かる部材への適用はできるだけ避ける。

【解説】

1) について

表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告書によると、シラン系に期待される効果は、表1のように整理されている[3]。これによると、新設では効果が概ね期待される見解が示されている。既設は劣化が著しい構造物への適用は困難で、劣化の程度によっては効果が期待される場合もあるようだが、データは未だ少ない。このことから、当面は新設構造物および打換えられた直後の部材への適用を標準とした。

表1 期待される効果

種別	新設	既設	
		ひびわれ発生前	ひびわれ発生後
塩害	◎	◎～○ ¹⁾	△～× ²⁾
凍害	○～△ ³⁾	○～× ⁴⁾	△～× ⁴⁾

【凡例および備考】

◎: 効果が高い
○: 効果が期待できる
△: 効果を期待するのは困難な場合がある
×: 効果が期待できない

1) 内在塩分量によって効果が異なる
2) 既に腐食が開始している場合は期待できない
3) 水分供給条件が厳しい環境では効果が小さい
4) 損傷の程度によっては効果が小さい

2) について

コンクリートの空隙は充填されないことから、水が強制的に圧入されるような環境下では、期待する効果が得られない場合がある。このため、適用はできるだけ避ける。

3.2 製品選定

- 1) 製品は、JSCE-K571-2005において、表面含浸材の浸透深さは6mm以上、塩化物イオンの浸透深さは3mm以下を満たすものを目安とする（コンクリートの品質はRC-4相当）。ただし、道路管理者との協議により了承が得られた製品については、この限りではない。
- 2) 1) 以外に特記仕様書で指定できる項目は、以下の5つとする。
 - a) 主成分、b) タイプ、c) 有効成分量、d) 塗布量、e) その他特筆事項

【解 説】

1) について

表面含浸材の試験方法については、2005年JSCE-K 571-2005が新設されたところである[4]。また、文献[5]では表面含浸材の基準値について触れられており、それによると表面含浸材の浸透深さは2mm以上、塩化物イオンの浸透深さは3mm以下とされている。

一方、図5、6 に示すスケーリング劣化挙動に関する寒地土研の研究成果[6]をみると、RC-4相当のW/C=55%においては、平均で深さ約6mmのスケーリングが生じている。

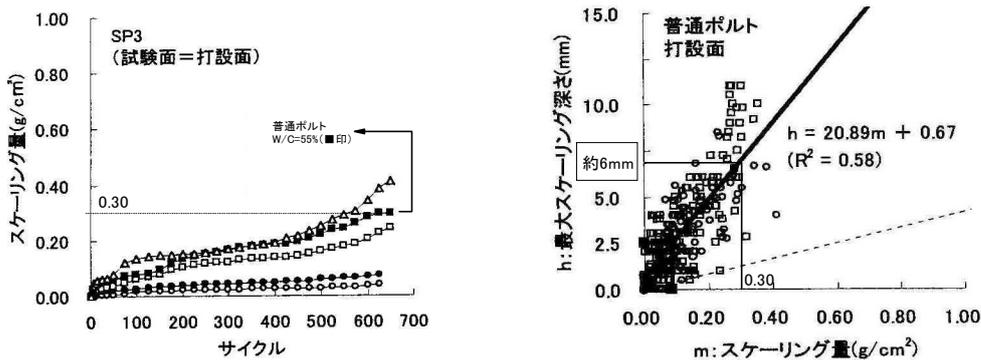


図5 スケーリング試験結果の一例（普通ポルトランドセメント）

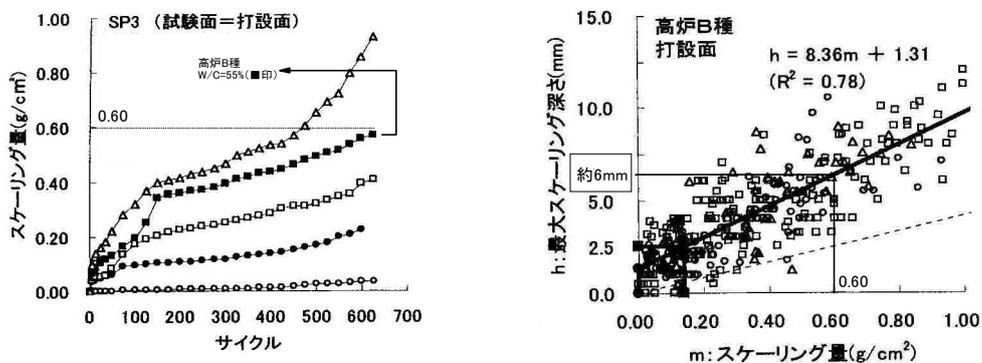


図6 スケーリング試験結果の一例（高炉セメントB種）

スケーリングが生じた場合でも、表面含浸材の浸透によって形成された吸水防止層は残っていることが望ましいことから、表面含浸材の浸透深さは6mm以上は欲しいところである。

また、塩化物イオンの浸透深さについては、寒地土研の研究成果 [7] では、3mm以下ではスケーリング抵抗性が大きくなる (図7) こと、また、北海道の道路橋の地覆コンクリートを対象に行った試験施工・追跡調査の結果でも3mm以下の製品はスケーリングの進行を抑制する効果が期待されることが確認されている (図8、9)。このことから、塩化物イオン浸透深さの基準については、現段階では妥当と判断される。

以上のことから、選定の目安は、安全側に見積もり、JSCE-K 571-2005における表面含浸材の浸透深さが6mm以上、塩化物イオンの浸透深さは3mm以下を標準とした (コンクリートの品質はRC-4相当)。ただし、劣化予測手法が確立するまでの暫定的な対応として、この目安は満たさないものの、追跡調査データ等から相応の持続効果が期待される製品については、道路管理者との協議によって了承されたものに限り、適用できることとした。

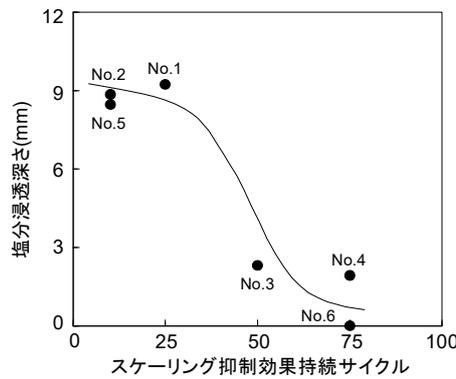


図7 塩化物イオンの浸透深さとスケーリング抵抗性の関係 (高炉B種、W/C=45%のデータ)

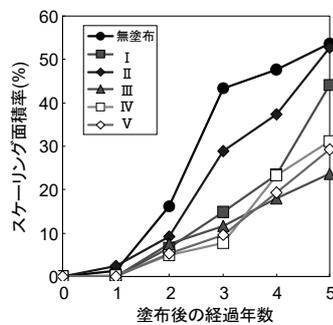


図8 シラン系表面含浸材を塗布した地覆コンクリート (道路側垂直面) のスケーリングの進行性の一例 (I~Vは製品の種類)

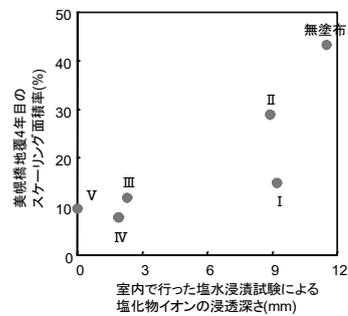


図9 室内実験における塩化物イオン浸透深さと図-8の4年経過後のスケーリング面積率との関係

2) について

特記仕様書の一例を表2に示す。

- a) 主成分は、アルキルアルコキシシラン（いわゆるシラン系）を標準とする。その他には、揮発抑制に効なシロキサン、防汚性に優れるフッ素を組み合わせた製品がある。
- b) タイプは、水系、溶剤系、無溶剤系の3種類から選ぶ。水系は、環境汚染の影響が小さい製品だが、凍結の恐れがある場合は、溶剤系、無溶剤系の選択が望ましい。無溶剤系は、性能と環境の双方に配慮して開発された製品である
- c) 有効成分量は、明確な基準が定められていない。一般に、値が大きいほど効果は高いとされる。他の現場の施工実績や各種技術資料を基に設定するのがよい。なお、建設部によっては、有効成分量を指定しているところもあるので確認すること。
- d) 一般に、製品の特徴に合わせてメーカーが定めているケースがほとんどである。各メーカーのパフレットによると、0.2～0.4kg/m²が一般的である。塗布量は多い方がよいが、経済性との兼ね合いを考慮しながら各種技術資料をもとに設定する。
- e) その他としては、施工上の留意点を記載するのがよい。内容については、各建設部の裁量に委ねるが、例としては以下のようなものがあげられる。
 - ① 水セメント比やセメント種類を記載する（表面含浸材の浸透性は配合によって変わる）。
 - ② 施工面の表面処理を入念に行うよう促す（浸透性が改善される場合がある）。
 - ③ 施工前に、φ10×20cmのテストピースを作製し（配合は実構造物にあわせる）、実環境下で浸透性の確認試験を行うよう義務づける。
 - ④ 前項1) の目安を記載する。

表2 特記仕様書の一例

主成分	アルキルアルコキシシラン (シロキサン成分配合)
タイプ	〇〇〇系
有効成分量	〇%以上
塗布量	〇～〇 kg/m ²
その他特筆事項	1) コンクリートのW/Cは〇%、セメントは〇〇である。 2) 表面処理は入念に行うこと 3) 施工前にテストピースによる浸透深さ確認を行うこと etc

3.3 作業の留意点

- 1) 雨天時の施工は原則として避ける。やむを得ない事情により施工する場合は、表面を乾燥に保つよう努めること。
- 2) 冬期に施工する際は必要に応じて防寒対策を講ずる。
- 3) 水セメント比45%以下の部材においては、施工する前に浸透性の確認試験を行うこと。
- 4) 浸透性が低下しないよう、施工前におけるコンクリート表面処理は確実にを行うこと。

【解 説】

1) について

シランは、水に触れると固着反応が瞬時に起こるため、浸透挙動はその時点で終了する。そのため、水が存在する場合は、十分に浸透しないことが懸念される。雨天時は、水の影響はもちろんのこと、湿気も高くなりがちなため、施工はできるだけ避けた方がよいが、施工中止が困難な場合は、雨よけや湿度を下げるなどの対策を講じる。

図-10は参考例であるが、北海道内の実構造物で夏季に行った試験施工事例において、湿度が約80%の沿岸の道路橋で作業空間を単管とシートで覆って除湿機を設置し、作業空間の湿度を約30%まで下げて塗布を実施したときの吸水防止層の厚さを調べた結果である。なお、この試験施工では除湿による温度低下で結露が起らないよう、除湿機の排熱は作業空間に放っている。その結果、含浸材塗布後、含浸を阻害する作業空間および表層の水分や蒸気を除湿によって減少させることで含浸が進み、吸水防止層の形成が図られることが確認されている。本方法は一つの試験事例であるが、非雨天時でも日射が当たりにくく、水辺が近く、湿気を帯びた空気が滞留する現場における除湿方法として参考となる。

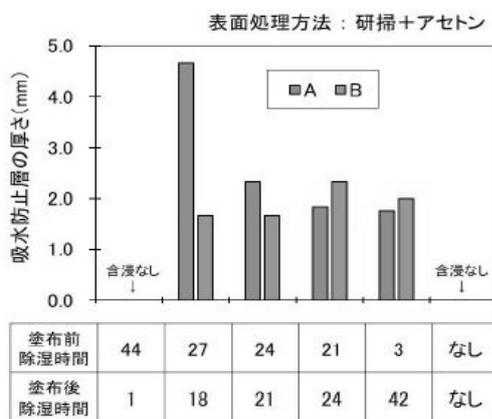


図-10 吸水防止層の形成に及ぼす除湿の効果 [8]

ただし、メーカーに確認をとることを前提とする。メーカーによっては、表面水分計（写真-1、2）によって乾燥の度合を管理しているところもある。

一般に表面水分計には、深さ0～4cmの平均誘電率をもとに表面の水分状態を評価する「高周波容量式」と、表面の電気抵抗をもとに表面の水分状態を評価する「電気抵抗式」がある。図-11は、コンクリート表面の湿り具合を変化させて（乾燥～湿潤）、塗布直前に測定した表面水分計の値と、塗布後に調べた吸水防止層の厚さの関係を整理した寒地土木研究所の実験結果を示している。

写真-1に示す「高周波容量式」の場合、表面水分計で測定された値が大きい一部のケース（10%）において吸水防止層の厚さが小さい（2mm）結果も示されているが、全体的にみると、表面の湿り具合を変化させているものの、表面水分計の測定値は5～6%前後の範囲に集中し、同じ5%程度でも吸水防止層の厚さに幅がある（0～10mm）傾向となっている。

この理由として、高周波容量式の水分計で評価されるのは深さ0～4cmの範囲の水分状態の平均であるため、例えば表面が濡れているものの内部は濡れていないケースなど、表面と内部で濡れ具合が異なる場合、表面の含水状態を適切に把握することが難しいことが影響していると考えられる。

一方、写真-2に示す「電気抵抗式」の場合、測定の対象範囲が内部ではなく表面のみであることもあり、表面水分計の測定結果と吸水防止層の厚さが良く対応していることがわかる。

このように、コンクリート表面と内部において濡れ具合が異なると考えられる部材では、電気抵抗式の表面水分計の方が管理に適することもあるので、参考にするるとよい。



写真-1 表面水分計（高周波容量式）



写真-2 表面水分計（電気抵抗式）

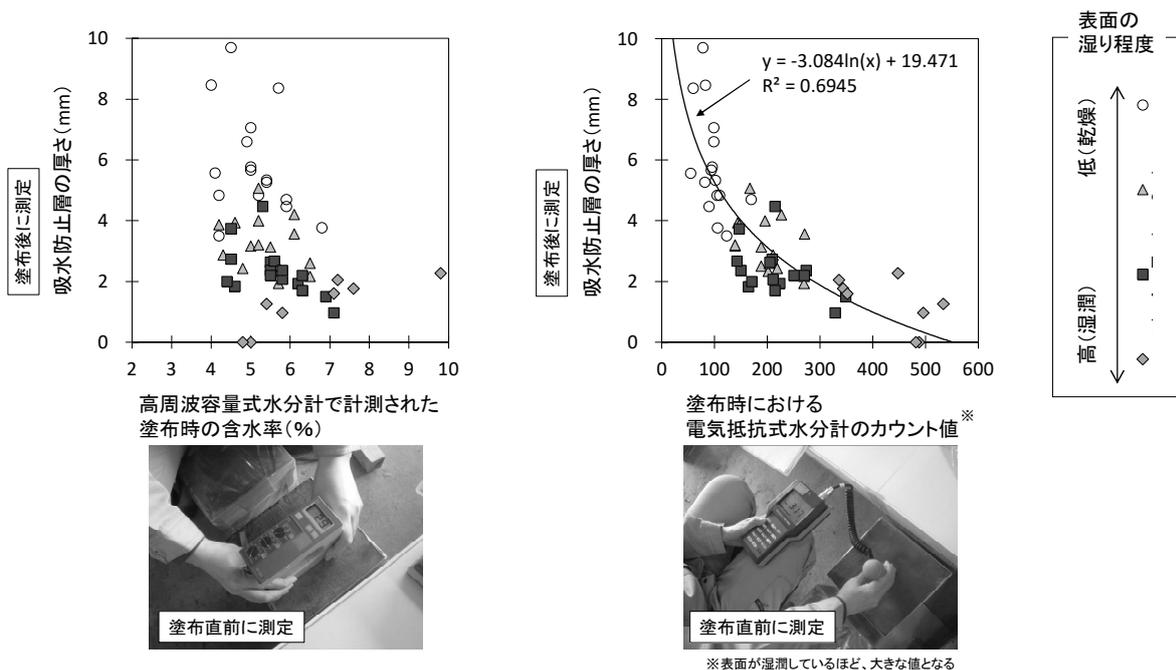


図-11 塗布直前に行った表面水分計の測定結果と塗布後に測定した吸水防止層の厚さの関係 (左図は高周波容量式、右図は電気抵抗式)

また、表面水分計による測定では、コンクリート表面の温度にも注意が必要である。図-12は、表面温度が -10°C の凍結状態のコンクリート表面を加温し続けたときの表面水分計の測定値(高周波容量式、電気抵抗式)とコンクリート表層(深さ $0\sim 10\text{mm}$)の実際の含水率の推移を調べた寒地土木研究所の実験結果の一例である。

加温開始直後、当然ながら、表面温度は上昇し、含水率は低下しているのに対し、表面水分計の測定値をみると、含水率が減少しているため、本来は値が低下しなければならないのに、高周波容量式の方は上昇し続けている。電気抵抗式についても加温開始直後、暫くは値が上昇している。

表面水分計は、水の量が多くなると電気が流れやすくなる特徴を応用して、水分状態を評価している。水に比べて、氷の比誘電率は小さいため、コンクリート表層の水が加温によって氷に変化したことで誘電率が上昇し、表面水分計の測定値が上昇したのである。

すなわち、低温時に表面水分計で測定を行うと値が小さく表示されることがあるが、これについて、表層に含まれる水が氷に変化していることが理由であっても、数値が小さいため「乾燥状態にある」と誤った判断がなされる恐れがある。そのため、図-13に示すように、加温を続けても表面水分計の測定値が上昇を続ける場合は氷が水に変化していることが考えられるため、この間は塗布可否の判定を行わず、表面水分計の測定値が減少に転じてから塗布可否の判定を行うことを基本とする。

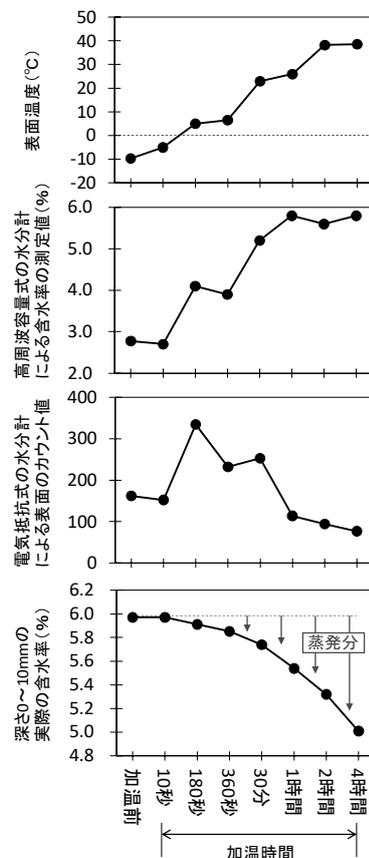


図-12 凍結状態のコンクリートを加温したときの表面水分計の測定値の推移の一例

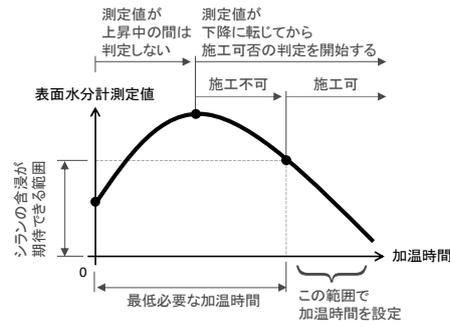


図-13 表面水分計による塗布可否判定の際の注意事項

2) について

施工可能な最低気温は製品によって異なるが、概ね5℃程度とされている。施工日の外気温がこれを下回ることが予想される場合は、仮囲い等の防寒対策を講じ、必要な最低温度が確保できるよう配慮すること。

なお、低温環境下で塗布を行う場合、塗布前にコンクリート表面の含水率を下げる目的で行う加温に加えて、塗布後も加温を続けた方が吸水防止層は形成されやすい。写真-3および図-14は、寒地土木研究所が、函館開発建設部管内の道路橋主桁下面で冬期に行ったシラン塗布実験の一例である。塗布後も加温を続けるとシランは深く含浸し、厚い吸水防止層が形成されやすいことがわかる。これは、塗布後すぐ加温を停止すると、コンクリートの表面温度は低下に転じ、これに伴って相対湿度が上昇し、シランの含浸を阻害する結露が生じるためと考えられる。そのため、塗布後も加温を続けた方が、相対湿度が小さい状態が続き、水分の蒸発も進み、シランの含浸には効果的である。

この実験では、塗布後、16時間以上の加温継続が望ましい傾向が示されており、参考にするとうい。



写真-3 冬期のシラン塗布実験の様子

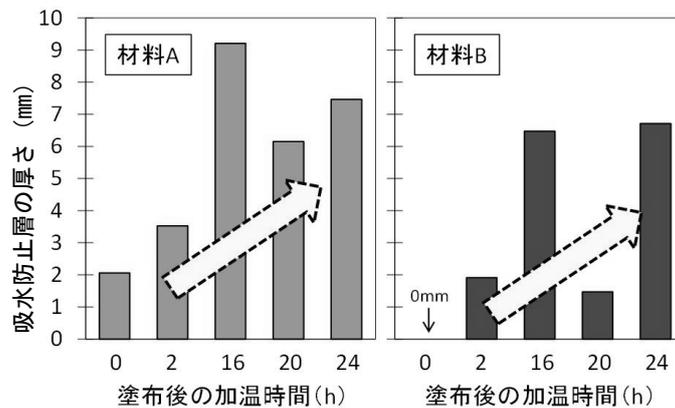


図-14 塗布後の加温時間と吸水防止層の厚さの関係

3) について

図-15は寒地土研の研究の一例である [9] (材齢14日のコンクリートの打設面に、任意で選んだ製品を塗布した結果)。水セメント比と表面含浸材の浸透性は良く対応していることがわかる。これは、水セメント比が小さくなると、コンクリートのち密性が高まるため、表面含浸材が浸透しにくくなることを示している。

50%以上では、良好な浸透性が期待されるが、45%以下では浸透性能の低下が見受けられる。コンクリートの品質はそれぞれの構造物で異なるため、この図を全ての構造物にあてはめることはできないが、安全をみて、45%以下の部材においては、施工に着手する前にφ10×20cmのテストピースを作製し(配合は実構造物にあわせる)、実環境下での浸透性の確認試験を行うこととする。

なお、構造物において、シラン系表面含浸材の浸透状況を非破壊で管理する場合、コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル2022年版、シラン系表面含浸材の含浸状況非破壊管理方法(案)を参考にするとよい[10]。

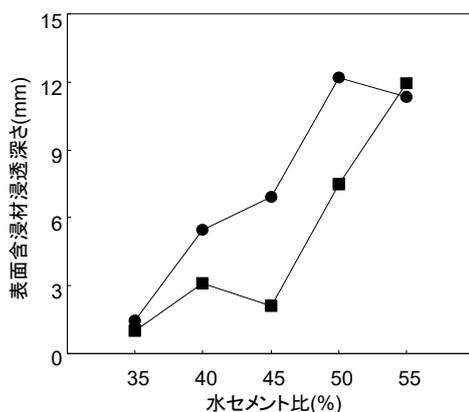


図-15 水セメント比と浸透性の関係 [9]

4) について

含浸材の浸透性を保持するため、打設後、塗布前に行う養生はシートやシール材の使用を基本とし、被膜養生剤については、含浸材の浸透性が低下しないことを前もって確認し、管理者と協議した上で使用可否を決定する。なお、これは、後述するけい酸塩系表面含浸材、含浸性防錆材でも同様である。また、表面に汚れ等が付着していると、含浸材の浸透性が低下する可能性があるため、表面処理は確実にすること。

4. けい酸塩系表面含浸材

4.1 適用範囲

基本的には新設および打換え直後の部材を標準とする。ただし、凍害によるひびわれの進展を抑制したい場合に限り、過度の劣化が生じているケースを除いて、製品の効果を確認することを条件に、既設への適用も可とする。

【解説】

けい酸塩系の製品は組織のち密化を図る目的に使用される。コンクリートに塗布・浸透させると、微細空隙内に結晶など固形物が生成され、組織が固化することが暴露実験で確認されている(図-16[11])。これにより、透気係数の低下(図-17 [12])ならびに微細ひび割れによって低下した相対動弾性係数を回復させる効果(図-18 [13])が期待されることが実験的に確認されている。なお、シラン系表面含浸材とは異なり、生成される固形物は親水性で、微細空隙を完全に閉塞するものではないため、遮塩効果まで期待することは難しい(図-19[11])。このことから、けい酸塩系表面含浸材は、生成される固形物によって組織を固化させるねらいで使うことが適切である。乾燥収縮といった軽微なひびわれを修復するために採用されることもある。改質の速度はシラン系に比べると緩慢である。耐久性に関するデータは未だ少ないが、劣化が著しくひどくなければ、凍結融解作用に対する抵抗性が向上される成果も報告されている[2]。

そこで、適用範囲は基本的に新設とするが、文献[2]をふまえて、凍害による弾性係数の低下を抑えたい場合に限り、製品の効果を確認することを条件に、既設への適用も可とした。

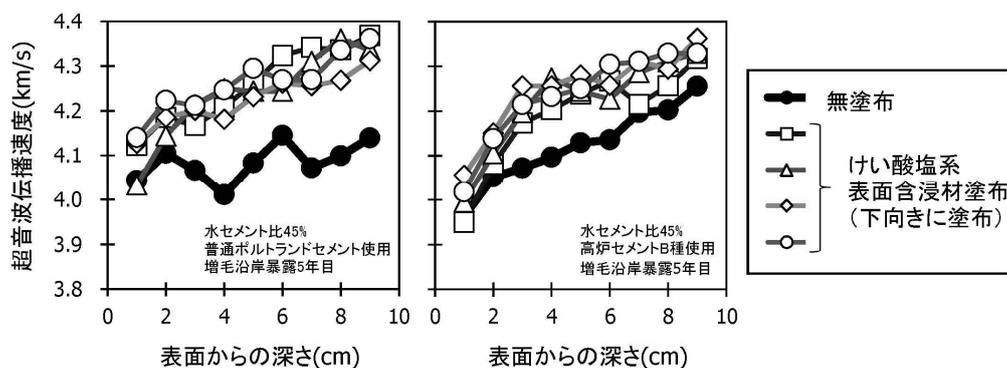


図-16 超音波伝播速度の測定結果(沿岸暴露5年間)[11]

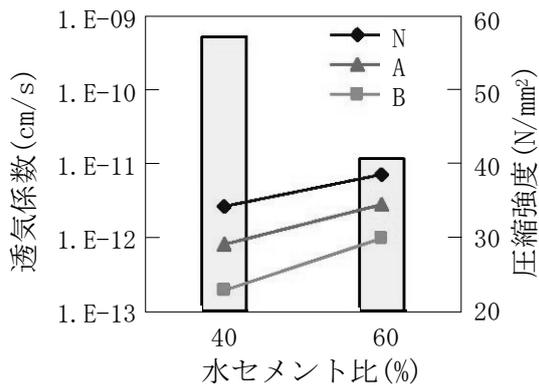


図-17 透気係数の低減効果の評価 (N: 無塗布、A・B: 塗布、プロット線: 透気係数、棒: 圧縮強度) [12]

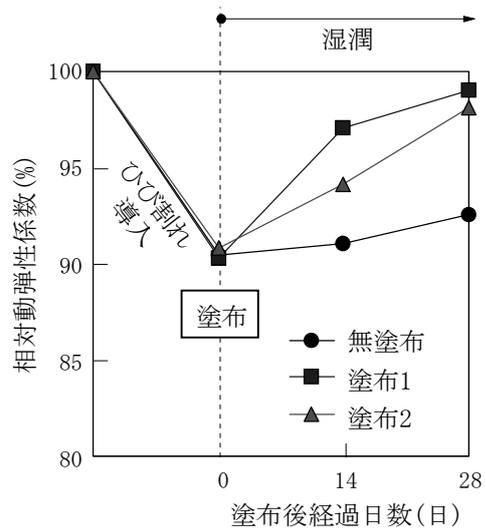


図-18 弾性係数の回復効果の評価 [13]

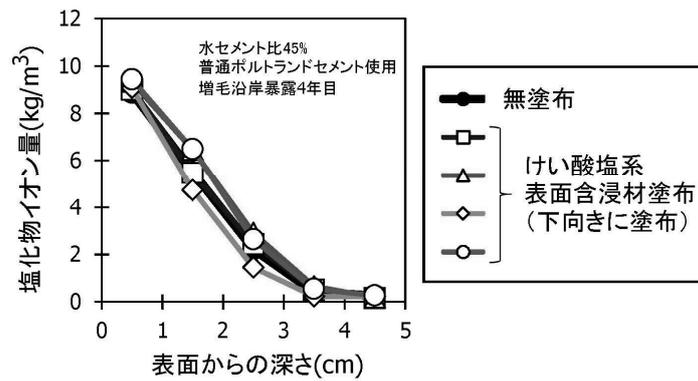


図-19 けい酸塩系表面含浸材を塗布したコンクリートの塩化物イオン量 (沿岸暴露4年間) [11]

4.2 製品選定

性能評価手法が確立されるまでの当面の間、寒地土木構造物での施工実績を有し、なおかつ追跡調査データを取得している製品の中から選ぶ。

【解 説】

JSCE-K 571-2005[4]は、主にシラン系を対象とした試験である。しかしながら、けい酸塩系を対象とした試験方法（含浸材の浸透深さなど）はまだ定まっていない。このため、定まるまでの当面の間は、実績を重視して経験則的に選ぶ流れを基本とする。すなわち、寒地土木構造物での施工実績があり、なおかつ追跡調査を行ってデータを取得している（年数は特に定めないが、製品の歴史が浅いことから、現段階では、長くても5年程度のデータしかないと予想される）製品の中から選ぶ。

表-3に特記仕様書の一例を示す。主成分は、けい酸ナトリウム、けい酸リチウム、その他（けい酸カリウムなど）から選ぶ。それぞれの特徴は、1. 総則の【解説】7)、文献[2]、[14]を参照されたい（塗布後、文献[2]は湿潤養生、文献[14]は自然乾燥させており、両者の作業行程が同一ではないことに注意）。

例えば、文献[2]によると、遮塩性はけい酸リチウムの方が良好のようである。しかしながらリチウム系は一般に割高の傾向にある。効果と経済性の両者をよく検討した上で選定する。他の現場の施工実績を参考にして選ぶのもよい。

表-3 特記仕様書の一例

主 成 分	けい酸〇〇〇〇〇
条 件	寒地土木構造物での施工実績があり、なおかつ追跡調査を行い、劣化の兆候がないことを示す実証データを取得していること
その他特筆事項	1) コンクリートのW/Cは〇%、セメントは〇〇である。 2) 表面処理は入念に行うこと その他(撥水施工も併せ持つ、遮塩性が期待される etc)

4.3 作業の留意点

初冬から厳寒期にかけての施工は原則として行わない。やむを得ない事情により施工する場合は、凍害に留意すること。

【解 説】

けい酸塩系は粘性が高いため、浸透性能を高めることと水和（固化）反応を促す理由から水を併用して施工する製品が多い。このため、施工後のコンクリートの含水率は高く、このままの状態では厳寒期を迎えるとコンクリートは凍害を起こす危険性がある。

特に、施工後すぐに交通解放され、さらに、凍結防止剤が散布されるような環境では、凍害劣化が早期に顕在化することが予想される[14]。このため、初冬から厳寒期にかけての施工は原則避けることとし、やむを得ない事情によって施工する場合は防寒対策を講ずる、凍結防止剤との接触を避ける等、凍害に留意すること。

5. 各部材への施工

5.1 一般

表面含浸材の施工にあたっては、コンクリート表層へ確実に含浸させるため、現場の制約条件などを十分に把握し、現場に即した施工計画を策定した上で、適切かつ効果的な施工を行う。

【解説】

コンクリート表面に塗布した表面含浸材は、コンクリート表層へ確実に含浸させなければならない。そのため、現場の制約条件などを十分に把握し、確実に含浸させる適切かつ効果的な施工計画を策定する必要がある。

施工は、下地処理、素地調整、塗布および養生の順に行われる。各工程の大まかな内容は下記の通りである。

・下地処理

劣化部の修復、著しい表面凹凸の粗面調整など、コンクリートの表面状態を回復するために行う物理的な処理工程である。なお、コンクリート下地の状態によっては、省略することができる。

・素地調整

汚れ、レイタンス、剥離剤をブラスト処理やケレンで除去する、コンクリート表層の含水率を所定の値まで小さくする、などコンクリート表層への含浸を阻害する各種要因を除去する目的で実施する工程。なお、素地調整が終了し、塗布および養生が完了するまでの間に降雨が懸念される場合は、作業スケジュールの再調整もしくは素地調整の段階から雨よけなど表面を保護するための措置を講ずる検討を行う必要がある。

・塗布および養生

表面含浸材を刷毛、ローラー、吹き付け、噴霧などにより塗布し、確実に含浸させる主幹の工程。塗布後、雨など含浸を阻害する因子との接触を防ぐ養生の期間は製品によるが、寒地土木研究所の実験[16]によると、表面含浸材を塗布して吸水防止層が形成されるまでに少なくとも1日を要する。なお、塗布面が側面および下面の場合、表面含浸材が液だれし、塗布面に表面含浸材が残らず、表層に含浸しないことが懸念されるため、施工計画の策定においては特に留意する必要がある。例えば、液だれが発生しにくいジェル状の製品を選択する、液だれや揮発を抑えるための適切な措置を物理的に講ずる（例えば多めに塗布し、塗布後すみやかにコンクリート表面にフィルムやシートを密着させる）、などがあげられる。

また、現場の条件によっては、事前に試験施工を行い、問題なく含浸することを確認することも大切である。

その他、施工計画の策定にあたっては、3章、4章で述べた作業の留意点もあわせて参考にする。なお、施工中に計画通りの施工ができない事態が発生したときは、監督職員と協議を行い、施工方法等を適切なものに変更する。

5.2 地覆・剛性防護柵

- 1) シラン系を標準とし、当面は新設および打換え部材への適用を基本とする。
- 2) 施工範囲は原則として道路側と天端とするが、凍害や複合劣化が懸念される場合は水切り部まで施工することが望ましい。
- 3) コンクリート桁橋、鋼桁橋ともに適用可とする。

【解説】

1) について

本項は、北海道内の橋梁地覆で実施した試験施工の追跡調査の結果をもとに定めたものである。表面含浸材は、コンクリートを打設した後に施工するため、作業は秋から冬にかけて行われるケースが多い。地覆は、凍結防止剤の影響を受けやすいことは勿論のこと、目につきやすいため美観の確保も求められる。したがって、遮塩性とスケーリング抵抗性が要求される。

シラン系は、スケーリングが発生している既設に施工した場合、効果は明確に現れなかったが、新設・打換え部材に施工した場合はスケーリングの進行を遅らせる効果が確認された（写真-4）。一方、けい酸塩系は、新設に施工したところ1冬後に軽微なスケーリングが確認された。施工が10月末であったことから施工時に用いた水の影響により凍害が生じたことや、改質速度が緩慢であることから改質が十分に進んでいなかったことが原因と推察される。

以上のことから、地覆はシラン系を標準とし、当面は新設および打換え部材への適用を基本とする。

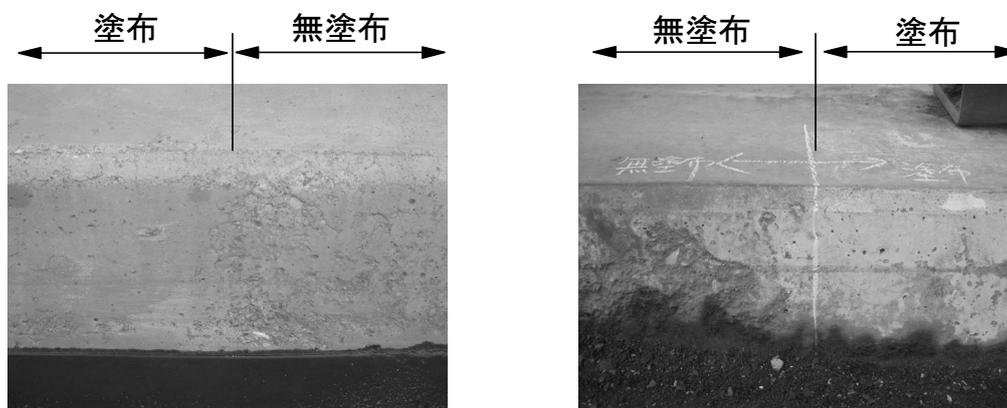


写真-4 スケーリングの進行抑制に及ぼすシラン系表面含浸材の効果
(左：塗布から4年間経過、右：塗布から1冬経過)

2) について

施工範囲は本来、全面が望ましい。しかしながら、コストの増加が懸念されるため、凍結防止剤の影響を最も受けやすい道路側と天端を基本とする。

ただ、直射日光によって凍結融解を受けやすい、もしくは沿岸からの飛来塩分の影響が懸念される場合は、水切り部まで施工することが望ましい。図-20 に施工範囲を示す。

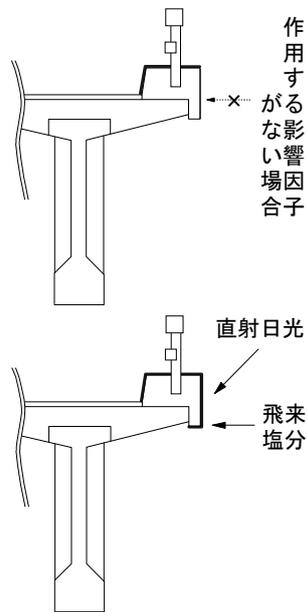


図-20 施工範囲

3) について

鋼桁橋は、たわみ振動が比較的大きいため、地覆や剛性防護柵ではひびわれの発生が懸念される。一方、表面含浸材は、コンクリート材料そのものの劣化を抑える機能を持ち、コンクリート自体の電気抵抗は基本的に保持されることから、マクロセル腐食の抑制効果が期待される。

【マクロセル腐食】劣化が生じていない電気抵抗が高いコンクリート（例えば、部分補修を終えた後のコンクリート）と、塩化物イオンを含んでいるような電気抵抗の低いコンクリート（未補修のコンクリート）との間に生ずる電位差によって、巨視的な腐食電流が形成され、後者のコンクリートに埋め込まれている鉄筋の腐食（孔食）が促進される現象。

5.3 橋座面

けい酸塩系の製品が望ましい。

【解説】

橋座面は水分が滞留しやすい部位であるため、シラン系の適用は基本的には厳しい。けい酸塩系は改質の速度は緩慢ではあるが、水分の滞留は組織の緻密化にプラスの効果をもたらす。橋座面は人目につきにくい部位であるので美観が問題視されるケースは少ない場合が多い。しかしながら、凍害の進行（発生ではない）による断面欠損は抑制すべきである。このことから、けい酸塩系が望ましいと言える。

5.4 主桁（コンクリート橋）

- 1) シラン系、含浸性防錆材、もしくはシラン系と含浸性防錆材との併用を標準とする。
- 2) 鉄筋位置の塩化物イオン量が腐食限界に達しておらず、有害なひび割れが生じていない場合は、既設主桁での適用も可とする。ただし、床版防水工が施工されていることを前提条件とする。

【解説】

1)、2)について

主桁は水分が滞留しにくい部位であるためスケーリングが著しく進行する危険性は比較的小さく、主に懸念される劣化形態は飛来・飛散塩分による塩害である。そのため、遮塩効果を有するシラン系の適用を標準とする。施工範囲は、凍結防止剤の浸透が多いジョイント近辺の端部の主桁外面とするが、橋梁が沿岸部に位置し、桁への飛来塩分量が多い場合は全面的に施工することが望ましい。また、最近では既設橋でも、主桁の延命対策にシラン系表面含浸材が適用される場合がある。表-1で示したように、塩害対策の場合、内在塩分量にもよるが過度のひび割れが生じていなければ既設の主桁でも劣化抑制効果が期待される。図-21、22に示すように、シラン系表面含浸材の適用による腐食速度の低減効果は既往の実験・調査でも確認されている[17][18]（実橋での試験施工では含浸性防錆材もしくはシランと含浸性防錆材の併用による腐食速度の低減効果も確認されており、長期耐久性を要求する場合は効果が期待される）。

ただし、これらの施工目的は、桁外部からの塩化物イオンの浸透を抑えることにある。そのため、床版から凍結防止剤を含む融雪水が流れてくるような条件下では効果を期待することは厳しい。よって、床版防水工の施工が確実になされていることを前提条件とする。

また、内在塩化物イオン量が $4\text{kg}/\text{m}^3$ までであればシラン系表面含浸材による腐食速度の低減効果が現れる結果は示されている[19]ものの、データがまだ少ない理由から当面の間、適用に際しての鉄筋位置の内在塩化物イオン量の上限量は発生限界量（ $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ）とし、それよりも高い場合は塩化物イオンを除去する等の対応をとることを標準とする。

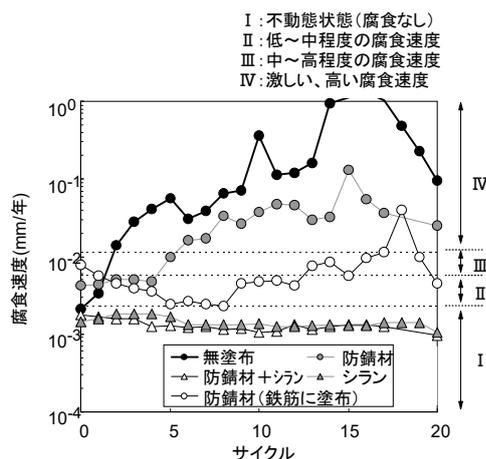


図-21 腐食速度抑制に及ぼすシラン系表面含浸材の効果（室内実験）[17]

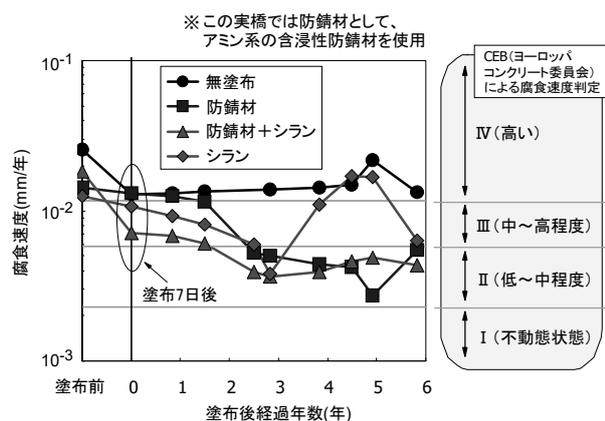


図-22 腐食速度抑制に及ぼすシラン系表面含浸材の効果（実橋主桁（PCT桁）、施工前の塩化物イオン量は表面 $1.3\sim 1.8\text{kg}/\text{m}^3$ 、鉄筋近傍 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ ）[18]

6. 記 録

使用した製品は必ず記録する。記録は、構造物への銘板表示により行う。

【解 説】

表面含浸材の耐久性に関するデータや資料は少ない状況にあり、情報蓄積の必要性の観点から、製品については必ず記録する。これは、将来的に塗り替えを検討する際の資料としても役に立つ。

記録について、文献[20]では、原則として構造物の本体に施工記録の銘板を残すよう提言している。

これに合わせ、表4に示すような銘板をわかりやすい位置にとりつけることとする。寸法は15×20cm程度で、材質はアクリル製、塩化ビニル製、ブロンズ製等を標準とする。なお、アクリル製、塩化ビニル製の場合、下地の色は白とし、文字は黒を標準とする。あわせて、品質記録にも記載する。

なお、塩化ビニル等の銘板を設定した現場において、銘板に印字した文字が紫外線等の長期作用によって経年変化し、文字が消えてしまった例も確認されている。そのため、なるべく文字が消えにくい銘板を選ぶとともに、銘板を直射日光の当たりにくい面に設置する等の考慮をするのがよい。また、文字が消えた銘板の交換が円滑に行えるよう、銘板の内容を写真で記録しておくといよい。

表-4 銘板の一例 (15×20cm)

構造物の名称	〇〇橋
施工部位	地覆コンクリート(L・R両側、天端面・道路側面)
施工年月	平成〇年〇月〇日
使用材料(製品名)	〇〇〇〇〇〇
材料製造者	〇〇〇〇株式会社
施工者(工事管理者)	株式会社〇〇〇〇 〇〇 〇〇

7. 劣化予測

新設部材および打換え部材における塩化物イオンの浸透抑制に与えるシラン系の効果は、図-23の概念に基づいて次式により評価する。

i) $0 \leq x \leq t_h$ の場合

$$C(x,t) = C_o \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_h \cdot t}} \right) \right)$$

ii) $x > t_h$ の場合

$$C(x,t) = C_o \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{t_h}{\sqrt{D_h}} + \frac{(x-t_h)}{\sqrt{D_c}} \right) \right) \right)$$

ここに、 $C(x, t)$ は t 年後における深さ x の塩化物イオン量(kg/m^3)、 C_o は表面の塩化物イオン量(kg/m^3)、 erf は誤差関数、 x はコンクリート表面からの深さ(cm)、 D_h は含浸部における塩化物イオンの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)、 D_c 是非含浸部の塩化物イオンの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)、 t は経過年数、 t_h は含浸深さすなわち吸水防止層の厚さ(cm)である。

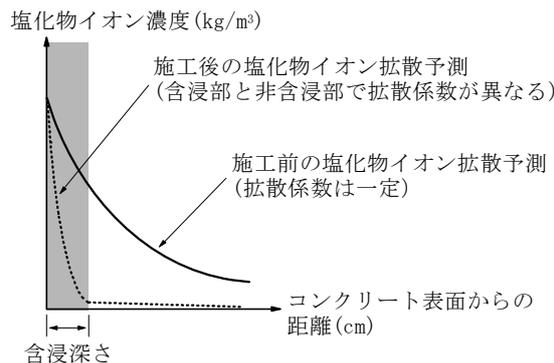


図-23 シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートにおける塩化物イオン浸透の概念

【解 説】

表面含浸工法を実構造物に適用する場合、ライフサイクルコストの評価は構造物の維持管理計画を立案する管理者にとって非常に重要な項目の一つであるが、現在のところ、評価に資する理論はシラン系表面含浸材を塗布したコンクリートにおける塩化物イオンの浸透予測[21]しかない。

北海道の沿岸部にある増毛暴露実験場および山間部の道路橋地覆で実施された約10年の追跡調査の結果によると、予測値と実測値は概ね対応する結果が得られている(図-24)ことから、シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートにおける塩化物イオン浸透予測は、この考え方を基本に行うものとする。 D_h の算出の算出については、本事項3.2の1)を満たす材料を用いた場合、 D_c の1/100程度とすると実測値と良く対応する結果が文献[22]に示されているので参考にされたい。

ただし、この式はシラン系表面含浸材によってスケールリングや中性化の進行が抑えられていることを前提としている。このため、日常点検で変状が確認された場合は、予測の修正を検討することも大切である。なお、近年は、再塗布によって吸水抑制機能を回復させる技術[23]や、再塗布によってスケールリングが発生しにくくなる[24]知見も報告されている。変状回復の検討の際に参考にするといよい。

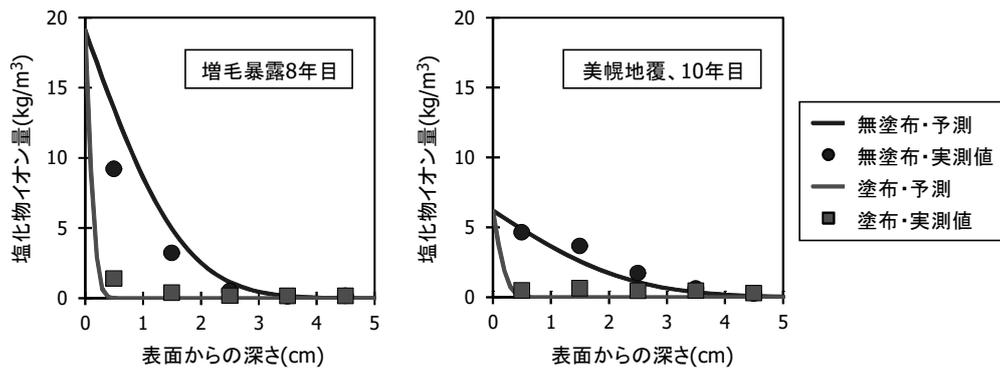


図-24 塩化物イオンの浸透量の予測（計算値）と実測値の比較[22]

補足：その他の劣化形態の予測方法、LCCの評価方法についても今後、情報が整理でき次第、順次書き加えて改訂していく予定である。

8. 維持・管理

- 1) 土砂などで排水マスが詰まらぬよう、注意を払う。
- 2) 除雪の際は、除雪車の刃で地覆を傷つけぬよう、極力留意する。

【解説】

1) について

土砂などによって排水マスが目詰まりを起こすと（写真-5）、路面水が舗装面に溜まりやすくなる。これによって、地覆の垂直面下部が路面水と長時間接触しやすい状態となり、舗装面近傍ではスケーリング抑制効果が早期に終局に至り、スケーリングが集中的に生ずる場合がある（図-25）。このため維持管理では、排水マスの目詰まりに注意を払う。



写真-5 目詰まりした排水マスの例

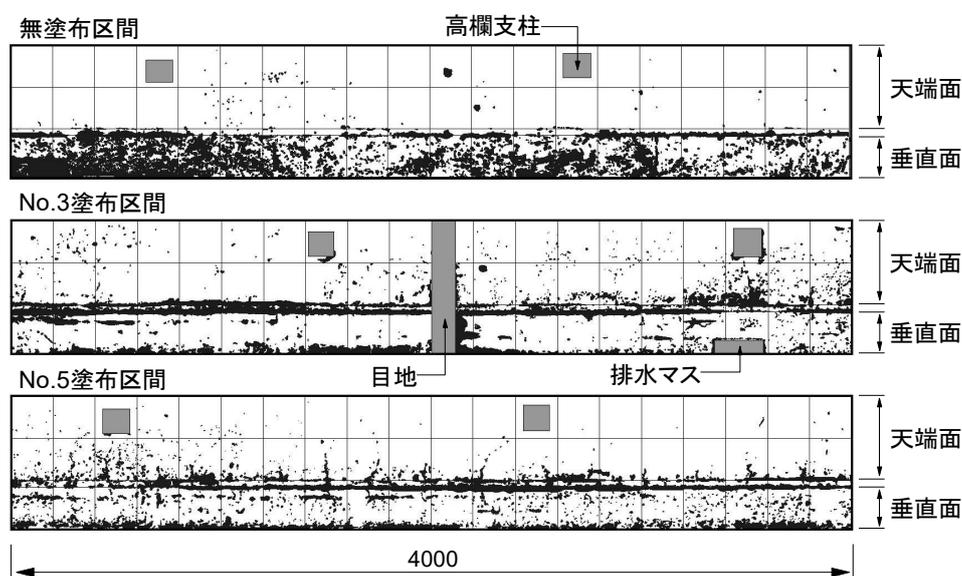


図-25 排水マスが目詰まりした区間の地覆のスケーリング状況
(全体的には塗布区間のスケーリングが少ないが、垂直面
下方の舗装面近傍にスケーリングが目立つ)

2) について

除雪車の刃によって地覆表面を傷つけると、部材が損傷に至ることはもちろんのこと、シラン系表面含浸材によって形成された表面保護層を傷つけてしまうことになる。そのため、有効厚さを欠損させないためにも、地覆表面を傷つけぬよう、極力留意すること。

参考文献

- [1] 遠藤裕丈：表面含浸工法による劣化抑制対策の現状と課題、コンクリート工学、2010. 5
- [2] 名和豊春・鈴木美樹・長沼洋：高浸透性コンクリート表面改質剤、ファインケミカル4月号、pp. 5-12、シーエムシー出版、2006. 4
- [3] コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告、コンクリート技術シリーズ68、pp. 158、土木学会、2006. 4
- [4] 2005年制定コンクリート標準示方書「規準編」土木学会規準および関連規準、pp. 342-355、土木学会、2005. 3
- [5] コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状、コンクリート技術シリーズ58、pp. 264、土木学会、2004. 2
- [6] 遠藤裕丈・田口史雄・嶋田久俊：塩化物水溶液による長期凍結融解作用を受けたコンクリートのスケーリング特性、土木学会論文集、No. 725、V-58、pp. 227-244、2003. 2
- [7] 遠藤裕丈・田口史雄・谷本俊充・小野俊博：シラン系表面含浸材によるコンクリートのスケーリング抑制対策に関する研究―試験施工1年目の評価―、寒地土木研究所月報、pp. 10-20、2006. 9
- [8] 遠藤裕丈、島多昭典：夏期の高温・高湿環境下でのシラン系表面含浸材の適切な施工方法に関する試験施工―吸水防止層の形成のためのクーラー除湿の留意点整理―、第 67 回（令和 5 年度）北海道開発技術研究発表会発表概要集、2024. 2
- [9] 遠藤裕丈・田口史雄：シラン系表面含浸材の含浸性状とコンクリートの品質との関係、平成 18 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 63 号、F-2（CD-ROM）、2007. 1
- [10] 国立研究開発法人土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル2002 年版、土木研究所資料No. 4433、pp. II-74-II-77、2022. 12
- [11] 遠藤裕丈、島多昭典：寒冷沿岸域に 5 年間暴露したけい酸塩系表面含浸材塗布コンクリートの性能評価、土木学会第 71 回年次学術講演概要集（V 部門）、pp. 429-430、2016. 9
- [12] 樋原弘貴・武若耕司・山口明伸・白澤直：けい酸塩系表面含浸材によるコンクリート表層の品質改善が透気係数に与える影響について、土木学会第 64 回年次学術講演会、pp. 797-798、2009. 9
- [13] 遠藤裕丈・田口史雄・吉田行：けい酸塩系表面含浸材によるコンクリート品質向上効果に関する実験的評価、土木学会第 64 回年次学術講演概要集、V-399、pp. 794-795、2009. 9
- [14] コンクリートライブラリー119、表面保護工法設計施工指針、pp. 203-236、土木学会、2005. 4
- [15] 遠藤裕丈・田口史雄・名和豊春：スケーリングの進行性に及ぼす凍結融解を受けるまでの期間の暴露環境の影響、土木学会論文集 E、Vol. 66、No. 3、pp. 348-365、2010. 9
- [16] 遠藤裕丈・安中新太郎：低温化でのシラン系表面含浸材の含浸性に関する基礎実験、土木学会第 72 回年次学術講演概要集（V 部門）、pp. 1033-1034、2017. 9
- [17] 遠藤裕丈・田口史雄・山脇剛：表面含浸工法による既設コンクリート構造物の鉄筋腐食抑制効果の基礎的評価、平成 22 年度国土技術研究会、2010. 10
- [18] 遠藤裕丈・島多昭典：鉄筋腐食の進行抑制を目的とした既設コンクリート部材への表面含浸材塗布後 6 年間の追跡調査、土木学会第 69 回年次学術講演概要集（V 部門）、pp. 425-426、2014. 9
- [19] 遠藤裕丈・田口史雄・山脇剛：表面含浸材と含浸性防錆材の併用による既設コンクリート構造物の鉄筋腐食の進行抑制に関する基礎的検討、第 53 回（平成 20 年度）北海道開発局技術研究発表会発表概要集、2010. 2
- [20] コンクリートライブラリー119、表面保護工法設計施工指針「工種別マニュアル編」、pp. 180、土木学会、2005. 4
- [21] 北海道土木技術会 コンクリート研究委員会 コンクリート維持管理小委員会：北海道におけるコンクリート構造物維持管理の手引き（案）、2006. 3
- [22] 遠藤裕丈・島多昭典：寒冷環境下における約 10 年間のシラン系表面含浸材の効果に関する追跡調査、第 58 回（平成 26 年度）北海道開発技術研究発表会発表概要集、2015. 2
- [23] 建設技術開発費補助金総合研究報告書「表面改質材による既設コンクリート構造物の延命補修システム」、2010. 10
- [24] 遠藤裕丈・田口史雄・宮本修司・村中智幸・後藤浩之・林大介・坂田昇・名和豊春：シラン系表面含浸材による寒冷地のコンクリート構造物の耐久性向上効果、土木学会論文集 E、2011. 2

C. 積雪寒冷地において劣化作用を受けるコンクリート構造物の維持管理に関する留意事項

目 次

1. はじめに	3-C-1
2. 積雪寒冷地において劣化作用を受けるコンクリート構造物の維持管理	3-C-2
2.1 凍害が疑われる構造物の調査・対策	3-C-2
2.2 塩害やアルカリシリカ反応が疑われる際の留意事項	3-C-2
2.3 劣化作用が複合する際の留意事項	3-C-4

C. 積雪寒冷地において劣化作用を受けるコンクリート構造物の維持管理に関する留意事項

1. はじめに

積雪寒冷地においてコンクリート構造物を維持管理する際には、低温環境下特有の劣化作用に注意した調査・対策を行う必要がある。

【解 説】

本事項は、積雪寒冷地において劣化作用が疑われるコンクリート構造物を調査・対策などの維持管理を実施する上での留意事項を、凍害・塩害・アルカリシリカ反応（ASRという）に対して取りまとめたものである。

従来、北海道開発局が管理するコンクリート構造物の維持管理においては、以下の調査・対策手引書（案）が示されていた。

- ・ 北海道開発局建設部道路維持課、独立行政法人北海道開発土木研究所監修
凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 平成17年3月
- ・ 北海道開発局建設部道路維持課、独立行政法人北海道開発土木研究所監修
塩害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 平成17年3月
- ・ 北海道開発局建設部道路維持課、独立行政法人北海道開発土木研究所監修
アルカリ骨材反応が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 平成16年3月

凍害が疑われる構造物の維持管理に際しては、次節によるものとする。

塩害およびアルカリシリカ反応が疑われる構造物の維持管理に際しては、国土交通省の基準類が整備されたことから、積雪寒冷地において特筆すべき事項を抽出し、留意事項として次節に整理した。

なお、積雪寒冷地や温暖な地域を含めた全国共通の事項については、本事項の他に以下の基準類によるものとする。

- ・ 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編・施工編・維持管理編〕
- ・ 橋梁塩害対策検討委員会（北陸地方整備局）：塩害橋梁維持管理マニュアル（案）
- ・ 国道交通省：道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領（案）H15年3月
- ・ ASRに対する対策検討委員会（近畿地方整備局）：アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン（案）H20年3月
- ・ コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版（土木研究所資料第4433号）

2. 積雪寒冷地において劣化作用を受けるコンクリート構造物の維持管理

2.1 凍害が疑われる構造物の調査・対策

凍害が疑われるコンクリート構造物の維持管理に際しては、「凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案）平成29年5月改訂 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所監修」によるものとする。

【解 説】

凍害に対する調査・対策等は同手引書を活用すること。同手引書は、平成17年3月に北海道開発局建設部道路維持課・独立行政法人北海道開発土木研究所監修により示されたものであるが、平成23年10月及び平成29年5月に国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所監修による改訂を行ったものである。なお、同手引書は、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所ホームページからダウンロードできる。

2.2 塩害やアルカリシリカ反応が疑われる際の留意事項

塩害やアルカリシリカ反応による劣化には、地域性や劣化が進行する構造部位があることが知られており、該当地域や部位では劣化の進行に注意が必要である。

【解 説】

(1) 飛来塩分による塩害の影響地域について

道示 [1] では図1の通り、北海道内を日本海側（B地域）と太平洋側（C地域）に分類しており、日本海側（B地域）の方が太平洋側（C地域）より飛来塩分が多く、厳しい塩害環境である。

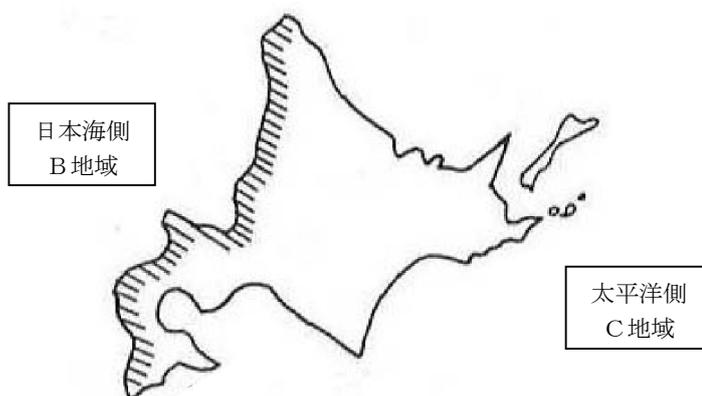


図1 飛来塩分による塩害の地域分区

(2) コンクリート用骨材が反応性骨材である可能性が高い地域について

北海道内においてアルカリシリカ反応（ASR）を呈する骨材をコンクリート用骨材として使用している可能性の高い地域を図2に示す。ここに、斜線は全道各地で採取した砕石（砕砂）・砂利・砂について鉍物分析・骨材のASR反応性試験（化学法・モルタルバー法）を実施し、反応性骨材である可能性が高いとした地域 [2] である。また、網掛けは砕石骨材（砂，砂利を含まない）で反応性のある岩石が高率で含まれている可能性のある岩体（中新世よりも新しい火山岩類） [3] を示す。

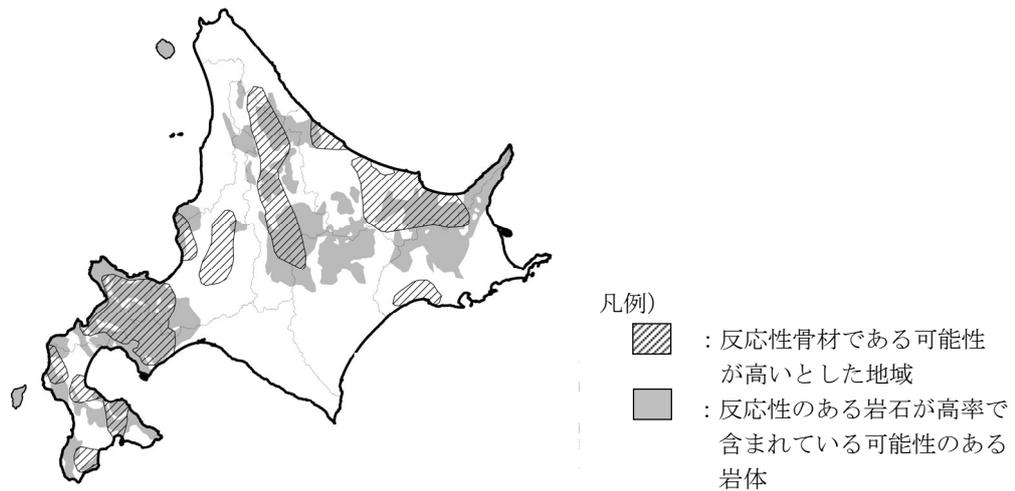


図2 反応性骨材である可能性が高い地域

(3) 凍結防止剤の散布地域について

積雪寒冷な地域では、冬期に路面凍結を防止する目的で凍結防止剤(塩化カルシウムCaCl₂、塩化マグネシウムMgCl₂、塩化ナトリウムNaClなど、融雪剤ともいわれる)を散布する場合がある。北海道で使用されている凍結防止剤(融雪剤を含む)の大半は塩化ナトリウムおよび塩化カルシウムであり、図3に示す通り道内各地で使用されている。

旭川地域については、主にすべり止め材(砂および碎石)を中心とした路面管理をしており、北海道の中でも比較的低温となる地域では凍結防止剤の使用料が小さい傾向にある。

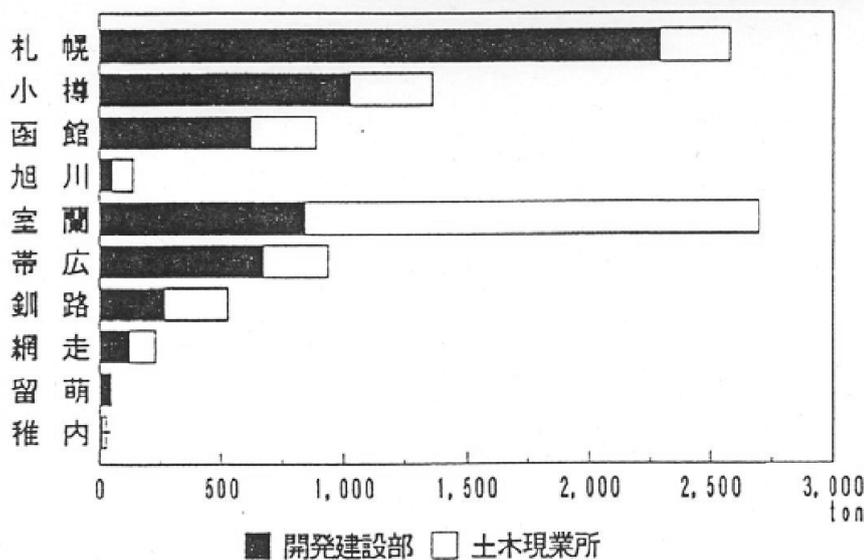


図3 北海道内の地域別凍結防止剤散布量(平成5年度) [4]

(4) 凍結防止剤の散布の影響を受けやすい部位について

凍結防止剤が直接散布される橋梁の路面では、図4のように凍結防止剤混じりの融雪水の滞水や車両走行時の飛散により、床版防水が十分に機能していないコンクリート床版や地覆がその影響を受けやすい。さらに、融雪水が路面の縦横断勾配に沿って流れるため、排水施設に加え、橋台部や掛け違い部のジョイントから桁端部、沓座、下部工躯体など、流路となる箇所や滞水する箇所ではその影響を受けやすい。

凍結防止剤から塩化物イオンやアルカリ金属が供給されることから、構造物では塩害、アルカリ骨材反応、凍塩害の促進に注意が必要である。

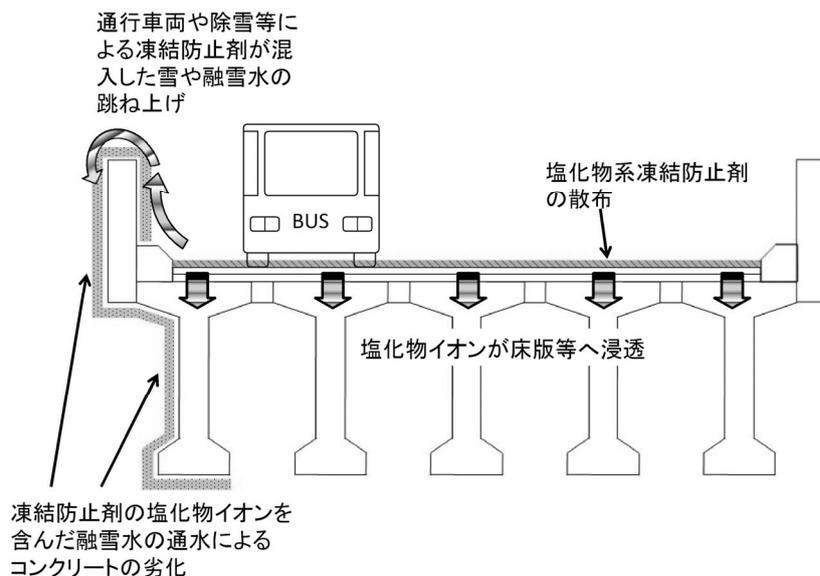


図4 凍結防止剤散布の影響 [5]

2.3 劣化作用が複合する際の留意事項

積雪寒冷地において劣化作用を受ける構造物を維持管理する際には、凍害を中心として複数の劣化が同時に作用する場合があることから、劣化作用相互の影響を適切に考慮した対策を講じることとする。

【解説】

凍害、塩害およびアルカリシリカ反応を中心とした複合作用の関係を、図5、図6、図7に示す。この図は、複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書 [6] を参考に作成した。複合劣化は、個々の劣化作用が複雑に絡み合ったものであるが、どの劣化作用が中心となって複合的な劣化が生じているかに注意する必要がある、劣化状況に応じた適切な対策を検討することが望ましい。特に、積雪寒冷地では、凍害による複合作用を考慮した対策を講じることが重要である。

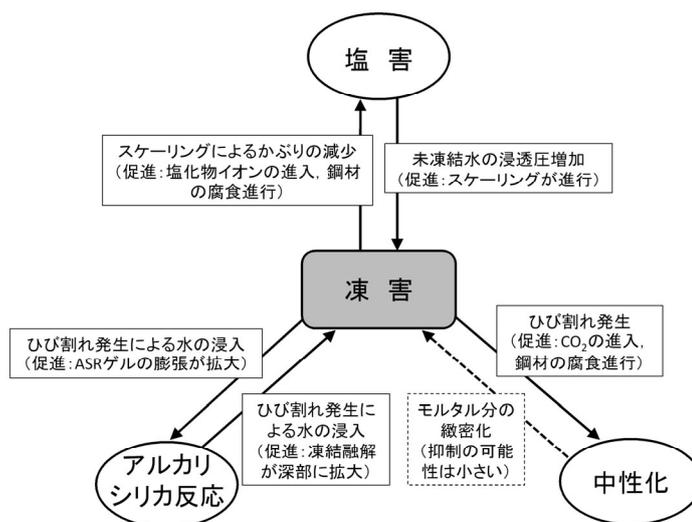


図5 凍害を中心とした複合劣化の関係図

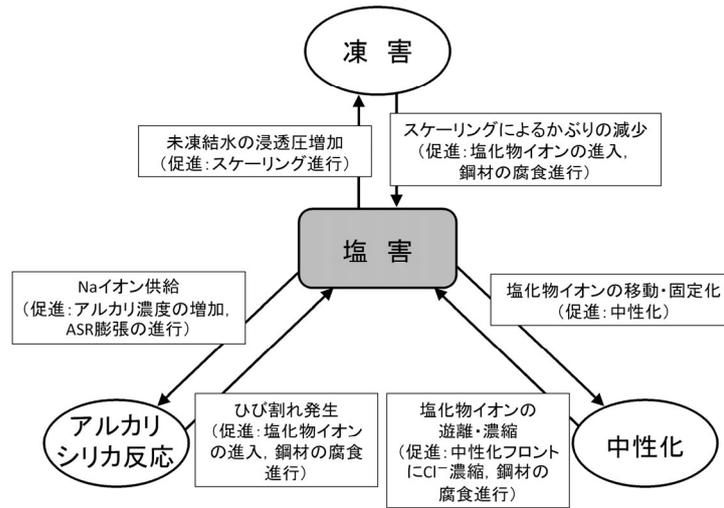


図6 塩害を中心とした複合劣化の関係図

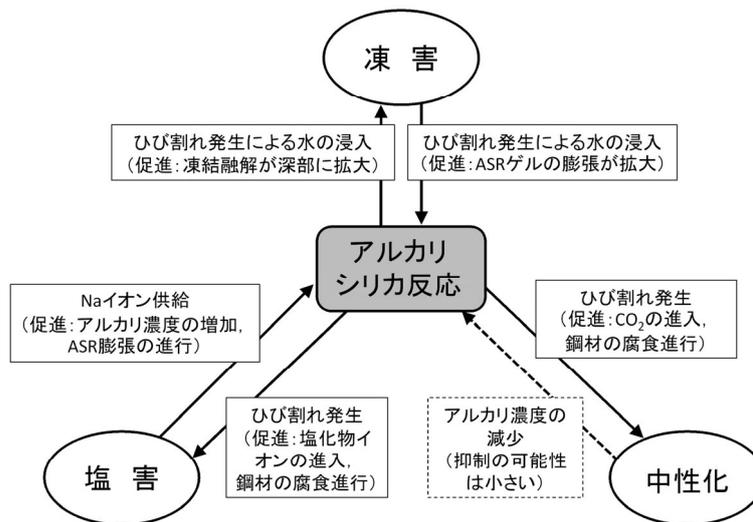


図7 ASRを中心とした複合劣化の関係図

参考文献

- [1] 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，IVコンクリート橋編，p176，H24年3月
- [2] 中井俊英：北海道におけるASR反応性骨材の実態について，開発土木研究所月報No425，p35-40，1988. 10
- [3] 財団法人 土木研究センター：建設省総合技術開発プロジェクト，コンクリート耐久性向上技術の開発，アルカリシリカ反応性骨材分布図，p291，1989. 5
- [4] 開発土木研究所交通研究室：凍結防止剤の基礎知識，1994. 11
- [5] (財) 海洋架橋・橋梁調査会：橋梁マネジメント現場支援セミナー、セミナーテキスト、平成16年10月
- [6] 社団法人 日本コンクリート工学協会：複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書，p18-47，2001. 5

