

積雪寒冷地におけるコンクリート舗装の
設計・施工に関する手引き（案）

北海道土木技術会 舗装研究委員会
コンクリート舗装小委員会

平成２９年９月

目次

1.	総則	2
1.1.	位置付け	2
1.2.	適用範囲	2
1.3.	関連図書	3
2.	積雪寒冷地のコンクリート舗装概論	4
3.	設計	6
3.1.	路床・路盤設計	6
3.2.	コンクリート版設計	18
3.3.	路面設計	22
4.	材料	23
4.1.	コンクリート用材料	23
4.2.	路盤用材料	28
4.3.	凍上抑制層材料	28
5.	配合	29
5.1.	積雪寒冷地の環境条件に適した配合	29
5.2.	最低気温が 4℃以下となることが想定される場合の配合	32
6.	施工	33
6.1.	製造	34
6.2.	運搬	35
6.3.	打設	37
6.4.	養生	39
6.5.	型枠・支保工	44
7.	路面管理	45
7.1.	路面状況	45
7.2.	凍結防止剤散布による影響	47
7.3.	路面のすべり抵抗性	49

1. 総則

1.1. 位置付け

本手引き（案）は、積雪寒冷地におけるコンクリート舗装に関する知識の普及および技術力の向上を目的として、設計・施工における留意点をまとめたものである。

【解説】

近年、高度経済成長期に建設されたインフラの老朽化が進行するなか、国・地方とも財政は一層厳しい状況となっている。一方で道路の総延長は年々伸びており、この状況に対応するためには、道路舗装の長寿命化による維持管理費用の縮減が望まれている。国土交通省では、コンクリート舗装の活用に向けて、平成 25 年 4 月の設計業務等共通仕様書の改訂において、トンネル部以外での箇所でも、アスファルト舗装とコンクリート舗装についてライフサイクルコストを比較検討するよう明記している。

以上より、今後コンクリート舗装の検討、採用が進むことが想定される。そこで、本手引き（案）では、積雪寒冷地においてコンクリート舗装の設計・施工を行う担当者に向けた留意点を整理し、設計時に配慮が必要な積雪寒冷地特有の環境条件や、配合、材料面からの対策、施工上の注意事項についてまとめている。

なお、一般的なコンクリート舗装の設計・施工および補修に関する事項については「1.3. 関連図書」に示す関連図書等を参考にされたい。

1.2. 適用範囲

本手引き（案）は、積雪寒冷地における経験に基づく設計法による普通コンクリート舗装の設計・施工に適用する。

【解説】

コンクリート舗装の設計手法には、経験に基づく設計法と理論的設計方法の 2 つの方法があり、コンクリート舗装の種類には、普通コンクリート舗装、転圧コンクリート舗装、連続鉄筋コンクリート舗装などがあるが、本手引き（案）は、標準的に広く用いられている、経験に基づく設計法による普通コンクリート舗装の設計・施工を対象としている。

理論的設計方法および転圧コンクリート舗装や連続鉄筋コンクリート舗装の設計施工に対しても、積雪寒冷地において考慮すべき点は共通しており、本手引き（案）が参考になる部分が多いが、個別に別途考慮すべき部分を記載していないため、適用対象から除外している。個別技術毎の考慮事項については、関連図書などを適宜参照されたい。

1.3. 関連図書

材料の選定や取り扱い、施工にあたっては、関連する法規類を遵守することは当然であるが、本手引き（案）に関する技術図書には表-1.1 に示すものがあり、適宜参照されたい。

表-1.1 関連図書

区分	図書名	発行時期
道路構造	道路構造令の解説と運用	平成 27 年 6 月
舗装	舗装の構造に関する技術基準・同解説	平成 13 年 9 月
	舗装設計施工指針（平成 18 年版）	平成 18 年 2 月
	舗装設計便覧	平成 18 年 2 月
	舗装施工便覧（平成 18 年版）	平成 18 年 2 月
	舗装再生便覧（平成 22 年版）	平成 22 年 11 月
	道路維持修繕要綱	昭和 53 年 7 月
	舗装性能評価法 -必須および主要な性能指標の評価法編-（平成 25 年版）	平成 25 年 4 月
	舗装性能評価法（別冊） -必要に応じ定める性能指標の評価法編-	平成 20 年 3 月
	舗装調査・試験法便覧（全 4 分冊）	平成 19 年 6 月
	舗装の維持修繕ガイドブック 2013	平成 25 年 11 月
	コンクリート舗装に関する技術資料	平成 21 年 8 月
	コンクリート舗装ガイドブック 2016	平成 28 年 3 月
	舗装標準示方書（2014 年制定）	平成 27 年 10 月
	コンクリート標準示方書（2012 年制定）	平成 25 年 3 月
	舗装工学ライブラリー6 積雪寒冷地の舗装	平成 23 年 3 月
	舗装工学ライブラリー15 積雪寒冷地の舗装に関する諸問題と対策	平成 28 年 9 月
土工	道路土工要綱	平成 21 年 6 月
	土の凍結-その理論と実際-（第 1 回改訂版）	平成 6 年 6 月
	土の凍結-その制御と応用-	昭和 57 年 12 月
	寒地地盤工学-凍上被害とその対策-	平成 21 年 12 月
	地盤材料試験の方法と解説	平成 21 年 11 月
	NEXCO 試験方法	平成 27 年 7 月

2. 積雪寒冷地のコンクリート舗装概論

積雪寒冷地で供用されるコンクリート舗装の設計・施工にあたっては、積雪寒冷地特有の留意点があることを認識することが必要である。

【解説】

積雪寒冷地では、低温、雪、水、凍結融解、摩耗、凍結防止剤散布などの特有の環境条件が作用するため、それらの影響を考慮してコンクリート舗装の設計・施工を行うことが求められる。ここでは、積雪寒冷地で考慮すべき点の概要を、①設計、②材料、③配合、④施工に大別して示す。各々の詳細については3章以降に示す。

①設計

(路床・路盤設計)

積雪寒冷地では、融解期に路床の支持力が低下することが知られている。さらに、路床材が凍上性の場合には凍上を生じる。特に、凍上によって不陸が生じた箇所では、コンクリート版にひび割れが発生しやすくなり、融解期にアイスレンズが融解すると、その部分が空洞化するとともに周囲の土が過飽和状態となり、路床・路盤の支持力が低下しコンクリート舗装の耐久性が低下する。このため、設計期間にわたって支持力低下や凍上による損傷が発生しないよう設計にて考慮する必要がある。つまり、積雪寒冷地においてコンクリート舗装の設計を行う場合、最初に路床土の調査および路床の評価を行い、その評価結果に基づいて、設計 CBR の決定、路盤厚など適切な舗装構成の設定、凍上対策の必要性と対策工法の検討を行う必要がある。

融解期の支持力低下を考慮するため、凍結融解後の CBR 試験によって各地点の CBR ならびに設計 CBR を決定し、路盤の厚さを設計する。

また、凍上による影響を考慮するため、凍結深さの算定を行い、凍結深さが舗装厚より大きい場合、路床の凍上性を判定し、対策の必要性および対策工法の検討を行う必要がある。なお、凍上性の判定は、地盤工学会基準の凍上試験、または NEXCO 基準による凍上試験による。

対策工法としては、所定の深さまで凍上を起こしにくい材料で置き換える置換工法が一般に採用されている。置換え深さは、理論最大凍結深さに置換率をかけて決定され、これまでコンクリート舗装では、アスファルト舗装と同様の置換率が採用されてきていた。しかし、凍結深さ内の路床に凍上性の材料が存在する既設コンクリート舗装区間では、構造的なひび割れの発生が多数認められている。さらに、これまでの研究や解析の結果より、変形追従性のあるアスファルト舗装では許容される小さな量の凍上による不陸でも、剛性舗装であるコンクリート舗装では、不陸の発生した路盤面とコンクリート版の間に生じる隙間が影響し、車両通過時に発生する引張応力が増大し、疲労ひび割れの発生が早まり、寿命を低下させるケースがあることが明らかになってきた。

以上のことから、積雪寒冷地のコンクリート舗装においては、凍結深さまで非凍上性材料で構成させることが最善と考えられる。

よって、積雪寒冷地のコンクリート舗装の路床設計においては、設計期間の n 年に一度生じると推定された凍結深さまで非凍上性材料で構成させる。

(路面設計)

積雪寒冷地においては、チェーン装着タイヤによる摩耗や、路面凍結等の影響を勘案し、路面設計条件を適切に決定する。特別に冬期路面对策が必要な箇所においては、表面粗面化技術や凍結抑制舗装等の採用を検討する。

②材料

コンクリートを構成する骨材は、すり減り減量の小さい摩耗に強いもの、コンクリートの凍害抵抗性を損なわないよう骨材吸水率が低く、凍結融解作用に強い物理的・化学的安定性の高いものが望まれる。このため、コンクリート舗装用骨材は一般地域に比べてすり減り減量が 10%程度小さく、吸水率や安定度損失率が小さいものを使用する。なお、骨材は供用後のすべり抵抗にも影響を与えるため留意する必要がある。

③配合

コンクリートは、凍結融解作用を繰返し受けると凍害劣化し、スケーリングやひび割れなどの損傷に進行すると言われている。そのため、積雪寒冷地のコンクリート舗装に用いるコンクリートは、凍害抵抗性を意識した配合が求められる。

具体策としては、AE 剤または AE 減水剤を適切に用いることにより、微細な空気が連行され凍害抵抗性が向上すること、コンクリートのワーカビリティが改善され単位水量が減じ、水密性が改善されることなど、多くの利点が得られるため、AE コンクリートを用いることを原則とする。また、凍結融解作用による損傷を抑制するため、水セメント比を管理することが有効であり、積雪寒冷地においては水セメント比を 45%以下とする。

④施工

硬化前のコンクリートが氷点下に曝され凍結すると、内部に微細なひび割れを生じる初期凍害を受ける。初期凍害を受けたコンクリートはその後強度が回復せず、耐久性や水密性の劣ったものとなる。また、硬化前のコンクリートが凍結しないまでも 5℃程度以下の低温に曝されると、凝結および硬化反応が著しく遅延する。コンクリート舗装は、一般的なコンクリート構造物と比較して部材厚が薄く、外気に接する面積が大きく、かつ地盤とも接しているため、施工時に温度低下しやすいと考えられる。また、一般に施工延長・面積が大きい分、十分な養生環境を構築することが困難であるため、外気温が低い条件下では硬化前の初期凍害や硬化反応の遅延が発生するリスクが高くなる。

このような、凍結や低温の悪影響を受けないように配慮して施工をすすめる必要がある。具体策としては、日平均気温が 4℃よりも高い気象条件の時に施工と養生を実施することを第一に考える。日平均気温が 4℃以上であっても夜間や早朝に一時的に氷点下となることが予想されるような場合には、工場の出荷・運搬、配合、施工、養生の各段階において必要な対策を講じるなどの注意を払うことが必要となる。なお、日平均気温が 4℃以下になるような低温環境下でのコンクリート舗装の施工は、品質の低下が懸念されるため、極力行わないようにすることが望ましい。

3. 設計

3.1. 路床・路盤設計

路床の各地点の CBR を決定するにあたっては、融解期の支持力低下を考慮し、凍結融解後の CBR 試験結果を用いる。各地点の CBR から、区間の CBR ならびに設計 CBR を決定し、路盤厚を設計する。

さらに、積雪寒冷地においては、設計期間において凍上による損傷が発生しないよう設計にて考慮する必要がある。凍結深さの算定を行い、凍結深さが舗装厚より大きい場合、路床の凍上性を判定し、対策の必要性および対策工法の検討を行う必要がある。凍上・支持力低下に対する対策は、置換工法を用いることを基本とする。コンクリート舗装の路床設計においては、設計期間の n 年に一度生じると推定された凍結深さまで非凍上性材料で構成させる。

【解説】

積雪寒冷地においては、融解期に路床の支持力が低下することが知られている。このため、設計に用いる各地点の CBR は凍結融解後の CBR 試験結果より設定することとした。

路床の凍上により路盤面に不陸が生じコンクリート舗装版との間に隙間が生じることにより、疲労によるひび割れの発生を助長する場合がある。また、凍上が生じた箇所では、融解期にアイスレンズが融解すると、その部分が空洞化するとともに周囲の土が過飽和状態となり、路床・路盤の支持力が低下し舗装表面に局所的な不陸が発生する。このため、設計期間にわたって凍上による損傷が発生しないよう設計にて考慮する必要がある。

①支持力低下を考慮した路床の評価

積雪寒冷地においては凍結融解作用や融解期の含水比の上昇により、融解期に路床の支持力が低下することが知られている。このため、積雪寒冷地においてコンクリート舗装を構築する上で、融解期の路床の支持力低下を設計へ考慮することは極めて重要である。

積雪寒冷地のコンクリート舗装では、融解期に路床、路盤の支持力が低下することで、コンクリート舗装版の目地部に段差が生じ、破損に至った事例が報告されている。写真-3.1の箇所は、コンクリート舗装版の目地部に数 cm 程度の段差が生じていたことから、開削調査を実施した結果、ダウエルバーの破断が確認された事例である。

本手引き（案）では、設計に用いる路床の各地点の CBR は、融解期の支持力低下を考慮するため、凍結融解後の CBR 試験結果より設定こととする。



写真-3.1 ダウエルバーの破断

②凍上現象の概要

地盤は冬期間低温にさらされると土中の水分が凍結し、これに伴い土の体積が増加する。凍結が進むと地表面が盛り上がる場合があり、これを凍上現象という。図-3.1 に地盤の凍上機構を示す¹⁾。

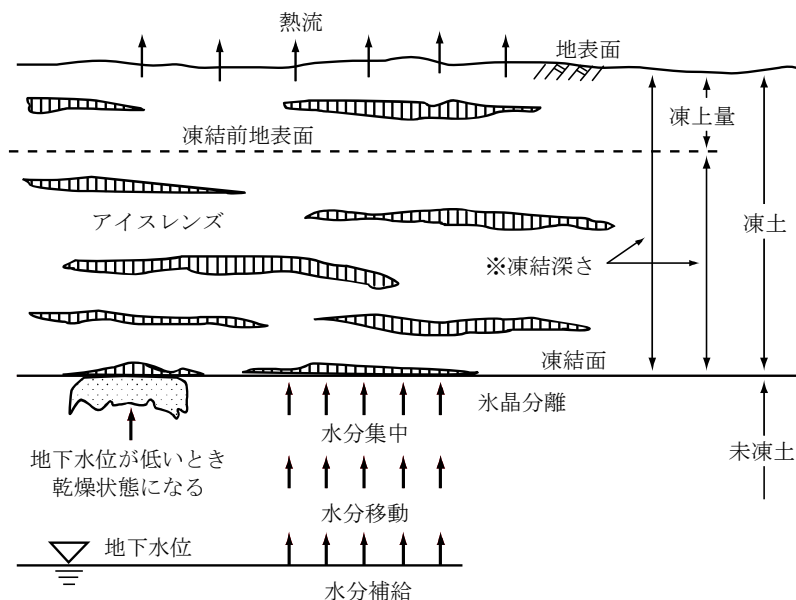


図-3.1 地盤の凍上機構

まず、気温の低下によって地表面から地盤が凍結し、地盤中に未凍結土と凍結土の境界である凍結面が形成される。次に、未凍結土側から水分が凍結面に向かって移動していく。凍結面に集まった水分が凍結するときに土粒子骨格から分離して、土粒子と土粒子の間を押し広げるかたちで氷の層を成長させる。このような氷の層を形成する現象は氷晶現象と呼ばれ、そこで形成される層がアイスレンズと呼ばれる。このアイスレンズの形成が凍上発生の要因である。

水は凍結すると体積が9%増加する。この体積増加は土粒子中の水の凍結でも当然起こるものであるが、体積増加は無視し得る程度のものであることが知られており、凍上は凍結面に移動した水分の氷晶分離とアイスレンズの形成によってもたらされるものが主となる。

凍結面で発生する単位面積当たりの力を凍結膨張圧と呼び、その凍結膨張圧が凍土を介して構造物に伝達された力を凍上力という。北見工業大学でおこなった地盤の凍上力の測定では、 6.4MN/m^2 という大きな圧力が計測されており¹⁾、構造物に伝わる凍上力は非常に大きなものであることが知られている。

③凍上の要因

凍上現象に影響する要因は多く挙げられるが、究極的には、温度、水分、土質、荷重の四つにまとめられる。

a) 温度

気温が低下すると凍結面が深部に進行し、アイスレンズが形成される。さらに気温が低下すると、凍結面が移動し新たにアイスレンズが形成される。

b) 水分

アイスレンズが形成されるためには、凍結面に水分が供給されることが必要である。地下水面が高く、必要な水分補給が十分に行われる条件では凍上量が大きくなる。

c) 土質

凍上が発生するためには、凍上性の土が必要である。土粒子の周りの付着水が多くなると凍上に必要な水分が凍結面に供給されやすくなる。比表面積が大きい粒度が小さな土質ほど、また透水係数が大きいものほど強い凍上性を示す。土の凍上性（アイスレンズを形成する性質）は粒径だけで決まるものではないが、実際には粒径との関係が非常に強い。一般に粗粒土と呼ばれる砂や礫は凍上性を持たない。土の凍上性は粒径 0.1mm 以下のシルト、粘土の領域で現れ、凍上性は粒径が小さいほど強くなる。しかし、粒径が小さくなりすぎると透水性が悪くなるため、地盤としての凍上性は逆に小さくなる。

d) 荷重

地表面に荷重が加わると、凍上量は減少することから荷重も凍上発生に影響する因子の一つとなる。

以上、4つの因子のうち、温度、水分、土質を凍上の3要素と呼び、全ての条件が揃うことで凍上は発生するが、3要素のうち1つでも欠けると凍上は発生しない。自然界においては、全ての条件が広範囲で揃うことはないため、凍上は不均一に発生することになる。

④コンクリート舗装の凍上被害のメカニズム

凍上の被害には、直接的な凍上力によって、コンクリート舗装版にひび割れが発生する事例も報告されているが、大きな凍上力が直接発生しなくとも、供用中の道路においては以下のようなメカニズムで、凍上の被害が発生する。

図-3.2 のように路床にアイスレンズが発生した場合、車両荷重がかかることにより写真-3.2 のような横断方向にひび割れが発生する。また、融解期には舗装版直下の支持力の低下をまねき、ひび割れの発生要因となる。一方、路床が凍上性の材料で、路床まで凍結が入り、路肩からの水分の供給がある場合、図-3.3 のように、路肩側の路床にアイスレンズが発生・発達し、舗装版が持ち上げられる。ここに車両荷重が繰り返しかかり縦断的にひび割れが発生する。また、融解期には路肩端部の支持力の低下をまねき、ひび割れの発生要因となる。

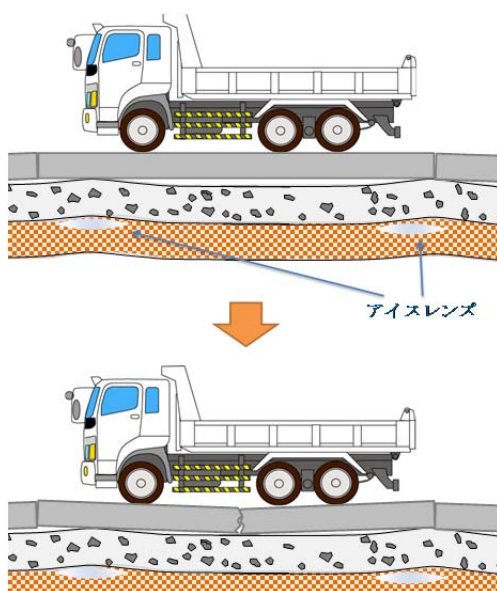


図-3.2 凍上被害発生メカニズム
(横断方向のひび割れ)

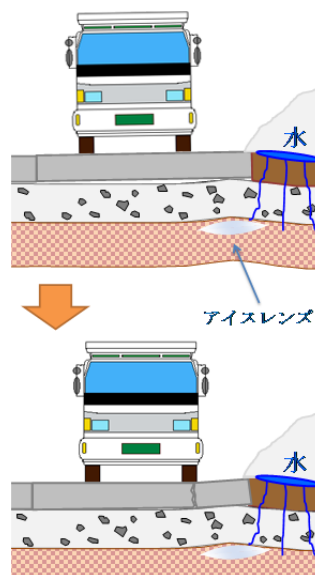


図-3.3 凍上被害発生メカニズム
(縦断方向のひび割れ)



写真-3.2 横断ひび割れ

⑤凍上被害の実例

表-3.1 に示す北海道内の国道で比較的長い延長のコンクリート舗装区間を有する箇所において、ひび割れの件数を調査した事例である²⁾。調査結果を図-3.4 に示す。

路床に凍上性の低い材料を使用していた一般国道 229 号神恵内では、供用後 20 年程度経過しているが、構造的なひび割れは発生していない。

一方、凍結深さ内の路床に凍上性の材料（レキ質土：NEXCO 基準の凍上試験で不合格）が存在する一般国道 231 号増毛では、構造的なひび割れの発生が多数認められた。これは、凍結が凍上性の材料のある深さまで到達し、路床土が凍結・凍上し図-3.2、3 に示したような現象が発生したことによりひび割れが生じたと推察される²⁾。

表-3.1 調査箇所概要

調査箇所	交通量 区分	版厚	施工年	調査時の 供用年数
一般国道229号 神恵内	N4	20cm	H7～8	19～20年
一般国道231号 増毛	N4	25cm	S55～61	29～35年

	一般国道229号神恵内	一般国道231号増毛
	コンクリート舗装 t=20cm 上層路盤 (切込碎石40mm級) t=25cm 凍上抑制層 (切込碎石80mm級) t=25cm or 0cm 路床 (岩盤)	コンクリート舗装 t=25cm 上層路盤 (切込碎石30mm級) t=15cm 下層路盤 (切込碎石40mm級) t=25cm 凍上抑制層 (切込碎石80mm級) t=15cm 路床 (レキ質土)
横断ひび割れ件数 (件)	0	40
縦断ひび割れ件数 (件)	0	7
ひび割れ発生頻度 (件/km)	0.00	8.63

※横断ひび割れは、版の横断方向に貫通するものを集計

※縦断ひび割れは、版の縦断方向に版延長の半分以上の延長を集計

図-3.4 ひび割れの発生件数

⑥凍上性の評価

土の凍上性を大略判定するには、粒度分布や細粒分含有率を用いるのが一般的である。しかし、土の凍上機構は複雑であり、土粒子の粒径だけに依存するわけではなく、密度や含水比などの物性値、拘束応力、凍結速度などの条件が異なれば同じ土質でも凍上性が異なる。そのため、凍上試験などを活用して、土の凍上性能を判断する。

⑦凍上試験

凍上試験から得られる土の凍上性に関する情報は、原地盤の置換の必要性を判定し、または置換材料の妥当性を判断するための定量的判定に利用される。凍上試験は、①地盤工学会基準、または②NEXCO 基準によるものとする。

現在、最も正確に土の凍上性を判定できる試験法は、地盤工学会基準の凍上試験法である。また、室内で与える凍結融解の履歴と CBR との関連性を検討する場合は、NEXCO 基準にある凍上試験法が対応している。

⑧凍結深さ

凍結深さとは、“凍結前の地表面（路面）から地中温度の 0°C 線までの最大深さ”と定義づけられる。凍結深さは、主として気温、土質、地中水等によって決まるが、日射量、舗装の種類、舗装表面の色、積雪量等多くの要素に支配される。

凍結深さは気象データと材料の熱特性を用いて推定することができるが、実測によって凍結深さを求めることもできる。

＜凍結深さの計算方法＞

凍結深さの計算方法は、気象観測データから凍結指数の年変動を統計処理して凍結深さを推定する。凍結指数の年変動の統計処理として、道路舗装では n 年確率凍結指数算出し、この凍結指数に対応した凍結深さを図-3.5 に示す凍結指数と凍結深さの関係¹⁾より推定する。

凍結指数とは、凍結深さを求めて凍上対策工を設計するために必要なパラメータであり、道路土工要綱にあるように、日平均気温がマイナスとなる連続した期間（凍結期間という）における日平均気温の累計値（単位： $^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$ ）である。

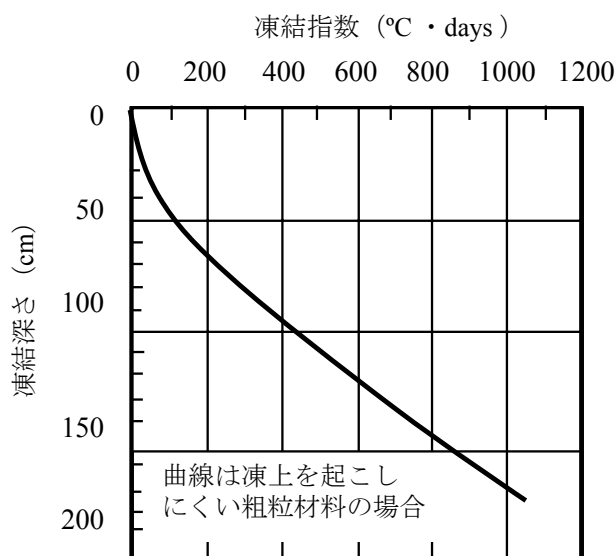


図-3.5 凍結指数と凍結深さの関係

＜n 年確率凍結指数の計算方法＞

凍結指数の n 年確率とは、「n 年に一度起り得る」と考える確率論に基づいた数値決定の手法であり、この n 年とは舗装の設計期間に対応する。舗装の設計期間は、道路交通や沿道環境に及ぼす舗装工事の影響、当該舗装のライフサイクルコスト、利用できる舗装技術等を総合的に勘案して道路管理者が適宜設定することとなっている。ただし、従来のコンクリート舗装の設計期間は 20 年が適用されてきており、経験にもとづく設計法を用いる場合にはこの設計期間が原則とされている。なお、n 年確率凍結指数を推定する場合に必要なデータ数は、n 年の値にかかわらず 10 個（10 年分）以上が望ましいと舗装設計便覧に記載されていることから、コンクリート舗装の設計に用いる n 年確率凍結指数は、コンクリート舗装の設計期間や気象庁による AMeDAS データの蓄積が進んできた状況を考慮すれば、20 個（20 年分）以上の計画箇所近隣の最新 AMeDAS データを用いて、推定を行うとよい。

このような確率統計手法を用いる際には、適した確率分布モデルの決定が必要であり、凍結指数の度数分布曲線には、対数正規分布が仮定されることが多い。n 年確率凍結指数の算出にあたっては以下の式を用いる¹⁾。

n 年確率凍結指数 (X) は、

$$\log_{10} X = \sigma_0 \cdot \zeta + \log_{10} X_0$$

によって求められる。

ここに、X : n 年確率凍結指数

(n 年に 1 回起こると推定した凍結指数、℃・days)

X_0 : 凍結指数対数値の平均値 (℃・days)

σ_0 : $\log_{10} X_i$ の標準偏差 (℃・days)

ζ : 確率年数 (n) に対する統計値 (10 年:1.28、20 年:1.64、30 年:1.83)

X_i : 各年の凍結指数 (℃・days)

とする。

⑨凍上抑制対策工法の設計方法・選定方法

凍上抑制対策工法には凍上抑制層を設ける置換工法等、以下の工法がある。置換工法を用いることを原則とするが、構造的な制約や、時間的な制約、凍上対策以外の地盤対策を実施する必要がある場合には、他の工法も検討する。

・置換工法

凍結深さから求めた必要な置換厚と舗装の厚さを比較し、置換厚が大きい場合には、凍上を抑制する凍上抑制層を設ける工法である。凍上抑制層を設けるために 20cm 以上の置き換えを行った場合は、設計 CBR の再計算を行う。

・断熱工法

凍上性地盤の上部に断熱材を埋設し、凍上性地盤への寒気の浸入を防ぐことにより凍上を抑制する工法である。

断熱工法の効果として以下の事項が挙げられる。①断熱材より下の置換層が不要となり凍上抑制層の厚さを減らすことが可能となるので省資源に寄与し、経済性にも優れた工法である。②トンネルのように舗装構造に制約があり置換工法の適用が難しい場合に有効な工法である。③空港舗装のショルダー部においても断熱工法の有効性を確認した事例があり、時間的な制約を受ける条件下においても有効な工法である。

国内ではポリスチレン（XPS）が断熱工法の主力材料となっているが、一般に材料自体が高額であるので、経済性等を比較検討して採用しなければならない。

断熱材として満足しなければならない条件は、以下の通りである。

- a) 熱伝導率が小さいこと
- b) 吸水量が長期間の埋設でも少ないこと
- c) 水蒸気の透過抵抗が大きいこと
- d) 圧縮応力が大きく経年劣化が生じないこと
- e) 経済的であること

・安定処理工法

セメントや石灰などの添加剤を凍上性の土に適当量混合し、土質を改良して凍上性を抑制するものである。これは水和作用やポズラン反応などにより、土粒子相互間の凝固、土粒子の付着性の増大、透水性の低下などをもたらすことで凍結抑制効果が期待できるものである。

・遮水工法

凍結面に水分を供給させないようにすることで凍上を抑制する工法である。遮水工法には、粗粒材などの毛管作用の比較的小さな層により地下からの水の移動を遮断する方法と、ビニール膜やアスファルト層などの不透水層を形成して水分を遮断する方法がある。

⑩置換厚

凍上対策としては、所定の深さまで凍上を起こしにくい材料で置き換える置換工法が一般に採用されている。置換え深さは、理論最大凍結深さに置換率をかけて決定され、これまでコンクリート舗装では、アスファルト舗装と同様の置換率が採用されてきていた。

しかし、「⑤凍上被害の実例」に述べたように、凍結深さ内の路床に凍上性の材料が存在する既設コンクリート舗装区間では、構造的なひび割れの発生が多数認められた。

また、これまでの研究や解析の結果より、変形追従性のあるアスファルト舗装では許容される小さな量の凍上による不陸でも、剛性舗装であるコンクリート舗装では、不陸の発生した路盤面とコンクリート版の間に生じる隙間が影響し、車両通過時に発生する引張応力が大きくなり疲労ひび割れの発生が早まり、寿命を低下させるケースがあることが明らかに²⁾なってきた。

そのような中、舗装標準示方書 2014 年制定版では、「置き換えの深さは、設計期間の n 年に一度生じると推定された凍結深さ、または経験値から求め、必要な置換厚は凍結深さまでとする。」とされた。

以上のことから、積雪寒冷地のコンクリート舗装においては、凍結深さまで非凍上性材料で構成させることが最善と考えられる。

よって、積雪寒冷地のコンクリート舗装の路床設計においては、設計期間の n 年に一度生じると推定された凍結深さまで非凍上性材料で構成させる。

なお、凍上性の判定は、地盤工学会基準の凍上試験、または NEXCO 基準による凍上試験による。

コラム 1 コンクリート舗装とアスファルト舗装の凍結深さの違い

コンクリート舗装とアスファルト舗装では、路面の色が異なるため、舗装体の温度が異なることや、凍結深さについて差が生じることが考えられます。このことについて実際に計測した事例があるので紹介します。

図-3.6 は北海道内の駐車場と国道において隣接するコンクリート舗装とアスファルト舗装の凍結深さを計測した結果です。一部の調査結果を除き、概ねコンクリート舗装のほうがアスファルト舗装よりも凍結深さが大きくなっています。これは舗装体温度に差が生じ、凍結深さに影響を及ぼしたものと考えられます。一方で、熱伝導率から計算した場合は、コンクリート舗装のほうがアスファルト舗装よりも凍結深さが浅くなるため、日射の影響の少ない箇所では凍結深さが逆転する可能性もあります。

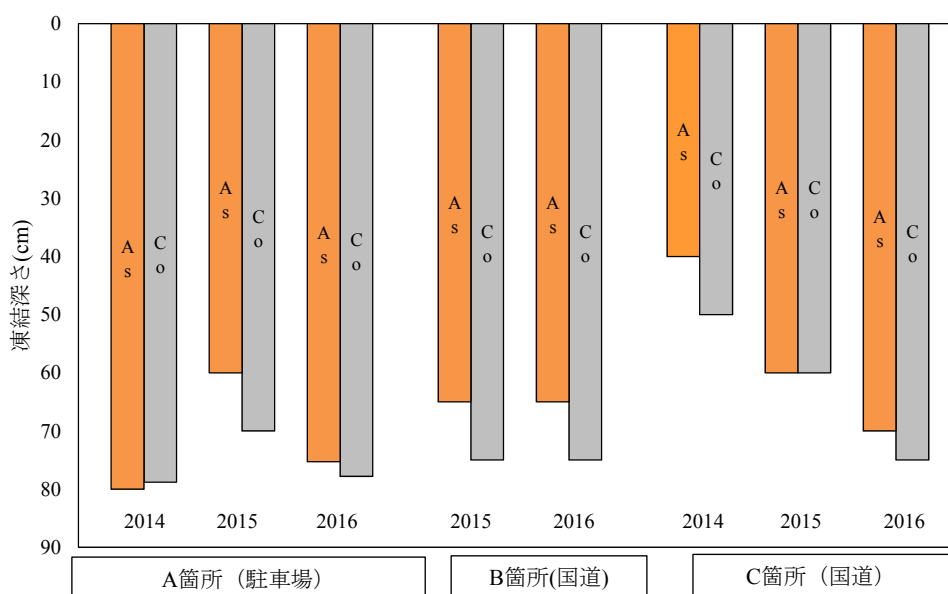


図-3.6 凍結深さの違い

3.2. コンクリート版設計

積雪寒冷地においては、コンクリート版自体に凍結融解作用が働くことでコンクリート材料に損傷が発生するため、設計にて適切な対策を行う必要がある。

【解説】

コンクリート版に対する凍結融解作用による損傷の主なものとしてポップアウト、スケーリングがあり、設計および配合、使用材料の選定での配慮が必要である。

寒冷地のコンクリート構造物にとって凍結融解作用は不可避な問題であり、冬期間の外気温や日射の影響を受けることで生じる。凍結融解作用とは、コンクリート中に含まれる水分が凍結と融解を繰り返す作用であり、この凍結融解作用を繰り返し受けることによってコンクリートの強度や耐久性が次第に低下する。

凍結融解作用による劣化のメカニズムは、T.C.Powers の「水圧説」によって説明されるのが一般的である。通常コンクリートは外部から冷却され、コンクリート中の表面に近い毛細管水が凍結し、凍結に伴う体積膨張分（約 9%）に相当する未凍結水が、凍結していない内部へと移動する。この水の移動により圧力が生じ、この圧力は、疲労として蓄積される。この蓄積された疲労がコンクリートの引張強度より大きくなった際、コンクリートにひび割れが生じる。

一般にコンクリートは凍結融解作用を受けると、硬化セメントペーストの組織膨張が生じる。初期には、表面のひび割れとしての劣化がみられ、その後、ひび割れが進行し崩壊に至る。

コンクリート組織の膨張によるひび割れの他に、水セメント比の高いコンクリートや海水、凍結防止剤の影響を受ける環境では、コンクリート表面がフレーク状にはく離するスケーリングや、使用材料に吸水率が極めて高い軟石成分が含まれている場合は、粗骨材表面のモルタルが円錐状にはく離するポップアウトといった劣化現象も凍結融解作用によって生じる。

コンクリートに凍結融解作用による劣化が生じている場合には、①配合の問題、②使用骨材の吸水率が高い、③コンクリートに欠陥が生じており水の侵入がある、④水きりが悪いなどの原因が考えられる。したがって、コンクリートの凍結融解作用による劣化防止対策には、耐凍害性に優れたコンクリートを使用するとともに、コンクリートの含水率が高くならないようにすることが重要である。

コンクリート舗装に用いられるコンクリートは、一般のコンクリート構造物に用いられるものよりも比較的低水セメント比であるため、凍結融解作用による舗装の性能低下が問題になる場合が少ないが、凍結融解作用が懸念される場合には、適切な照査を行う必要があると土木学会 舗装標準示方書に記されている。しかし、現段階では定量的に評価された

研究成果はほとんどなく、構造物に要求される性能との関係で凍害劣化の程度や深さの限界値を定め、これを性能照査の指標として用いることは難しいのが現状である。

コンクリートの凍結融解抵抗性を高めるには、①水セメント比を小さくする、②吸水率の低い耐凍害性の高い骨材を使用する、③適切な空気を連行する、④コンクリート中に水がしみ込まないように水勾配、防水処理をするなどが挙げられる。

この中で最も重要となる要素は、図-3.7 に示す様に適切な空気を連行することである。土木学会 コンクリート標準示方書では、練上り時におけるコンクリートの空気量を4～7%程度とすることを標準としている。AE 剤または AE 減水剤を使用して連行したエントレインドエアは、コンクリート硬化後も水で満たされることなく、凍結時の移動水の逃げ道となる。また、連行空気量の他に、気泡特性として気泡間隔係数（気泡と気泡の距離）も重要な要素である。連行空気量が同じ場合、気泡径が小さいほど気泡間隔係数は小さくなり凍結融解抵抗性は高まる。凍結融解抵抗性を向上するためには気泡間隔係数を 200～250 μm にすることが推奨されている。

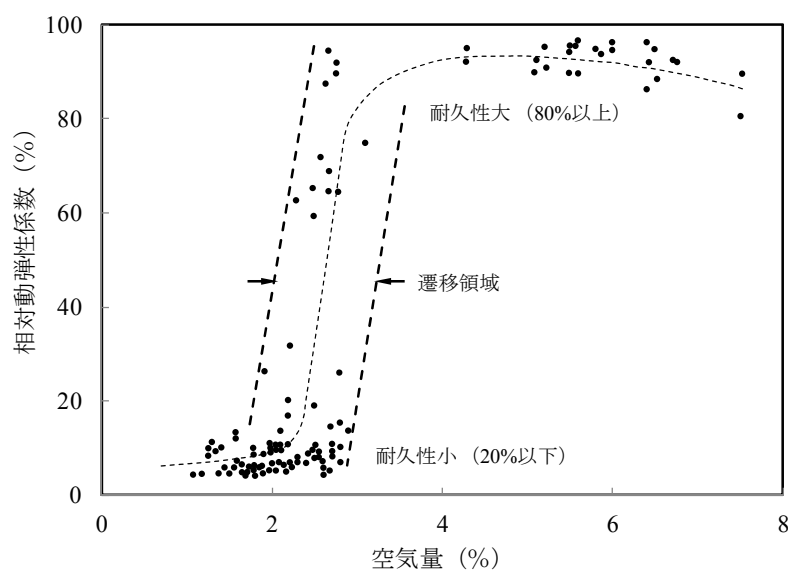


図-3.7 耐凍害性に及ぼす空気量の影響

＜スケーリング対策＞

スケーリングとは、コンクリート表面のペースト分やモルタル分が薄片状にはく離する現象である。初期段階では、コンクリート表面に存在する粗骨材の頂面から薄いモルタル層がはがれ落ちる現象が確認され、スケーリングが進行すると、モルタル中に固定されている粗骨材が徐々に緩んだ状態となり、コンクリート表面が劣化する。

施工時の表面仕上げ不良によってスケーリングが生じてしまう場合もあるが、積雪寒冷地域では、凍害や路面に散布される凍結防止剤などの影響によるスケーリングが問題となることが多い。

施工時の表面仕上げ不良とは、表面仕上げ時に、表面が急激に乾燥することによって表層部が脆弱層となる場合や、ブリーディングが表面仕上げ工程よりも遅く発生する場合に、緻密化した仕上げ面の直下にブリーディング水が滞留し、この部分が脆弱化してはく離するケースがある。

凍結防止剤などの塩化物は、雪氷の融点を下げることで路面の凍結を防止する一方、凍結防止剤の使用は凍結融解作用によるスケーリング劣化を促進させる方向に作用する。

凍結防止剤の使用によるスケーリングの促進メカニズムについては、様々な検討が行われており、飽水度の上昇（蒸気圧・浸透圧の作用）、表層の押し上げ現象（層間凍結・アイスレンズの形成）、氷層のクリープ現象、熱衝撃、化学的作用（水酸化カルシウムの溶脱による組織の多孔化）など種々提唱されているが、現状十分に解明されていない。

1991年のスパイクタイヤ規制の施行以来、車両走行の安全確保の観点から凍結防止剤の散布量は増加傾向にある。凍結防止剤の種類は塩化物系と酢酸系に大別され、塩化物系では塩化ナトリウム系（ NaCl ）、塩化カルシウム系（ $\text{CaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）、塩化マグネシウム系（ $\text{MgCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ）が、酢酸系では酢酸カルシウムマグネシウム系（ $\text{CaMg}_2(\text{CH}_3\text{COO})_6$ ）、酢酸ナトリウム系（ $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO})$ ）、酢酸カリウム系（ $\text{K}(\text{CH}_3\text{COO})$ ）が使用されている。主として塩化物系のものが使用されており、その中でも塩化ナトリウムの使用が多い。散布量は、一般的には $20 \sim 50\text{g/m}^2$ 程度、雪氷融解のためには $50 \sim 100\text{g/m}^2$ 程度である。

凍結防止剤は、凍結融解作用を受けるコンクリートのスケーリング劣化を助長するが、特に塩化ナトリウムを使用した場合にその影響が大きい。

コンクリートのスケーリング抵抗性を改善するには、プルーフ強度を大きくすること、透水係数を小さくすること、連行空気を導入することが有効とされている。塩化ナトリウム溶液が作用する環境下での舗装用超硬練りコンクリートのスケーリング抵抗性について検討を行った結果が図-3.8 である³⁾。セメント種類によらず連行空気を導入して気泡間隔係数を小さくすることによってスケーリング量が小さくなっていることが分かる。また、水セメント比を小さくすることで、プルーフ強度が増大し、スケーリング抵抗性が改善されている。

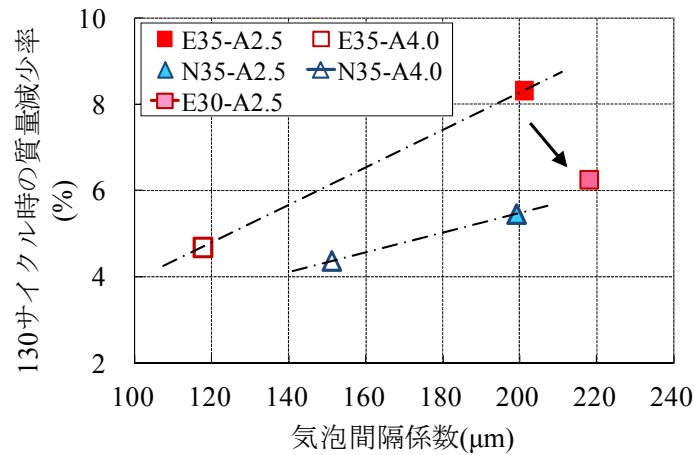


図-3.8 質量減少率と気泡間隔係数の関係

コンクリート配合、骨材選別における対策として、以下の項目が挙げられる。

- a) ブリーディング量が適切となるように、使用骨材の品質のほか、単位水量、細骨材率、粉体量（単位セメント量）等の配合条件にも気を配る。必要に応じてブリーディング試験を実施して検討するのが望ましい。
- b) 施工時には、ブリーディングの発生状況を確認し、適切に対応する。
- c) 骨材は、凍害を受けやすい軟石が混入しているものや、凍結防止剤の影響を受けやすいものの使用を控える。骨材の安定性試験や有機材反応試験によって良好な品質を有することが確認された骨材を使用するのが望ましい。
- d) 空気を連行したコンクリートは凍害による圧力発生を抑制する効果があるが、凍結防止剤の影響によるスケーリングやポップアウトに対する対策としての効果は不明瞭であるので、空気量のみによる対応は推奨できない。
- e) 養生期間が短い時点で凍結防止剤の影響を受けると、コンクリート表面にスケーリングが発生する場合がある。十分な養生を行うことは、表面の緻密さとコンクリート強度が確保されるので、スケーリングの抵抗性を向上できる。

実際の運用については現場の状況に十分に配慮することが必要である。

3.3. 路面設計

路面設計では、設計期間にわたって設定された路面の性能指標の値を満足するように、路面を形成する層（一般に表層）の材料、工法や厚さを決定する。特に、積雪寒冷地においては、チェーン装着タイヤによる摩耗や、路面凍結等の影響を勘案し、路面設計条件を適切に決定する。

【解説】

基本的な路面設計は「舗装設計便覧」に準じるが、特に積雪寒冷地においては、冬期の路面凍結やチェーン装着タイヤによる摩耗に留意し、路面を形成する層（一般に表層）の材料、工法を検討する。なお、路面設計は、それ自体独立したものではなく、構造設計とも関連するものであることから、これを考慮し実施する必要がある。

一般にコンクリート舗装の表面は、ほうき目による粗面仕上げが採用されるが、特に冬期路面对策が必要な箇所においては、高規格幹線道路のトンネル内コンクリート舗装においては若材齢時ショットブラストによる骨材露出工法の採用される場合が多い。

また、氷膜の生成抑制を目的にグルービングウレタン工法などにより凍結抑制効果を得ている例もある。なお、グルービング工法を採用する場合には、切削深さを勘案しコンクリート版厚を設定する必要がある。

また、積雪寒冷地では、チェーン装着タイヤによる摩耗を抑制するためにすり減り減量25%以下（寒冷地以外では35%以下が一般的）のすり減り抵抗性の高い骨材を使用する。

なお、骨材の選定およびすべり抵抗値に関する詳細は「4.1.1. 骨材」および「7.3. 路面のすべり抵抗性」を参照のこと。

4. 材料

4.1. コンクリート用材料

コンクリート舗装用材料の選定は、すり減りや凍結融解作用に対する耐久性を考慮しなければならない。また、施工時期の最低気温が4℃以下となる場合は、材料選定において十分な配慮をしなければならない。

【解説】

積雪寒冷地においては、冬期供用の耐久性を考慮し、チェーン等に対するすり減り抵抗性の高い材料、凍結融解作用に対する抵抗性が確保できる材料がコンクリート舗装用材料として適している。また、最低気温が4℃以下となる時期の施工の場合は早期に強度が発現する材料が適している。

また、コンクリートを構成する材料は、品質が確かめられたもので、環境条件に適したものを選定しなければならない。適切な材料を用いることは、所要の性能のコンクリートを造るためにきわめて重要である。

材料の適否は、試験あるいは既往の実績によって判断でき、JIS ならびに土木学会規準などの品質規格に適合した材料は、品質が確かめられたものと判断ができる。

4.1.1. 骨材

舗装版表面は、交通車両によってすり減り作用を受けるので、粗骨材はすり減り抵抗が大きいことが望ましい。特に積雪寒冷地では、タイヤチェーンなどによるすり減り作用に抵抗することが極めて大切である。また、凍結融解作用の影響を受け、ポップアウトが生じる場合があるため、使用骨材の選定にあたっては配慮が必要である。

【解説】

コンクリートを構成する骨材は、すり減り減量の小さい摩耗に強いもの、コンクリートの凍害抵抗性を損なわないよう骨材吸水率の低く、凍結融解に強い物理的・化学的安定性の高いものが望まれるため、コンクリート舗装用骨材は表-4.1 に示す規格を満足するものを使用する。また、各項目の設定根拠を以下に示す。

表-4.1 コンクリート舗装用骨材

すり減り減量	吸水率		安定試験損失量	
	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材
25%以下	3.5%以下	3.0%以下	10%以下	12%以下

・粗骨材のすり減り減量

土木学会 舗装標準示方書に示されるように、積雪寒冷地において著しいすり減り作用を受ける場合には、すり減り減量の限度を 25%程度とする。なお、JIS A 5005「コンクリート用砕石」では、砕石のすり減り減量（ロサンゼルス試験機）の規格値は 40%以下であるが、コンクリート舗装版は常時すり減り作用を受けること、市販の砕石ではすり減り減量が 40%を上回るものが 1%程度とほとんどないなどの理由から、一般地域のすり減り減量の限度は 35%となっている。

・吸水率

細骨材において、多孔質な粒子はコンクリートの凍害抵抗性を損なう原因となりやすく、一般に推奨されている程度のエントレインドエアを混入しても所要の凍害抵抗性が確保されないこともある。したがって、使用する細骨材の吸水率は小さいものを使用する。

吸水率の高い骨材を使用した場合、路面の平坦性や崩壊骨材の飛散、水溜りによる耐久性への影響が大きいポップアウトの発生が懸念されるため、吸水率の限度は、土木学会 舗装標準示方書に示されるように、粗骨材：3.0%以下、細骨材：3.5%以下とする。

・物理的および化学的安定性

骨材の安定性については、使用実績やコンクリートの凍結融解試験結果などから判断するのが適切であるが、JIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法」によって評価する場合の損失量の限度は、土木学会 舗装標準示方書に示されるように、細骨材は 10%以下、粗骨材は 12%以下とする。また、アルカリシリカ反応が懸念される場合には、アルカリ総量規制や混合セメント等の使用による抑制対策を検討する。これらの方法が適用できない場合には、JIS A 1145「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法：化学法」あるいは JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法：モルタルバー法」によって試験を行い、使用の可否を判断するとよい。

・骨材の種類

粗骨材には、砂利（川砂利、陸砂利、海砂利）、砕石等があり、粒度、粒径、耐久性等から川砂利が適しており、海砂利は塩化物イオン含有の観点から使用しない。しかし、天然骨材の枯渇化により JIS A 5005「コンクリート用砕石及び砕砂」あるいは、JIS A 5011「コンクリート用スラグ骨材」に規定する粗骨材を使用する例が多く、供用後のすべり抵抗性をコンクリート表面で確保する観点からは、砂利よりも砕石の使用が望まれる。ただし、石灰石については、摩耗に弱く、摩耗した場合、平滑になるので滑り摩擦抵抗の低下の原因となる可能性があるため、使用にあたっては十分に検討することが必要である。なお、骨材の選定にあたっては「7.3. 路面のすべり抵抗性」を参照すること。

＜ポップアウト対策＞

ポップアウト（写真-4.1）は、コンクリート舗装の表面にクレーター状（クレーター状はく離）のくぼみができる現象をいい、ポップアウトの主な原因は、そのほとんどが骨材に由来する。ポップアウトが懸念される骨材には、①多孔質で吸水率が大きい骨材（軟石・死石等）、および②反応性骨材が代表的なものとして挙げられる。①の骨材は、コンクリート中の水分を吸収し、その水分が凍結作用によって体積膨張を引き起こし破壊に至る。②の骨材は、物理的・化学的に不安定な鉱物で、水分やナトリウムやカリウム等の物質によって体積変化を引き起こす。代表的な鉱物としては、モンモリロナイト・ローモンタイト・黄鉄鉱などが挙げられ、ポップアウトが発生すると、その周囲に微細なひび割れが発生し、さらに冬期間ではスケーリング等の劣化現象を助長する。

ポップアウトは、外的要因が凍害の場合、耐凍害性に寄与する AE 剤や AE 減水剤などの使用によりコンクリートの耐凍害性を向上させてもその防止は期待できないため、物理的・化学的に安定で成分が均一な良質の砕石を用いることが重要である。

砂利については、軟石や粘土塊などが偏在している場合があるため、その使用に際しては十分に注意することが必要であり、砕石を使用する方が、供用中に発生する粗骨材のポップアウト等、粗骨材に起因する不具合を低減しやすい。

また、空港滑走路で融氷剤として使用されているエチレングリコールの作用により、コンクリート中の骨材のポップアウト現象が発生したという報告がある。これは、骨材に含まれる粘土鉱物がエチレングリコールを吸収することにより膨潤することが原因である。

北海道内の空港では、融氷剤の作用によるコンクリート中の骨材のポップアウトに関して、凍結融解試験を付加した独自の有機材反応試験を採用し、適切な骨材を選定してエプロン等の整備を行っている事例もある。

骨材の評価方法には、JIS A 1122「硫酸ナトリウムによる骨材の安定性試験方法」や日本コンクリート工学会による「骨材に含まれる有害鉱物の判別（同定）方法」、「有害鉱物の定量方法」などがあり、使用する骨材は、これらの結果を参考に選定するとよい。



写真-4.1 ポップアウト

4.1.2. セメント

セメントを選定する場合には、断面寸法、施工時の気象条件、工事の時期、工期等によって所定の性能のコンクリートが安定して得られるセメントを選ぶ必要がある。

【解説】

一般に、普通ポルトランドセメントが用いられるが、養生期間の短縮が必要な場合や、施工時期の最低気温が4℃以下となり、コンクリートの初期凍害のおそれのある場合には早強ポルトランドセメントを用いると良い。高炉およびフライアッシュなどの混合セメントは、長期的な強度増進や高い化学抵抗性を有しているなどの長所を有しているが、打込み初期に十分な湿潤養生を必要とする場合があるので注意が必要である。

4.1.3. 混和剤

混和剤は、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」もしくは土木学会規準の規格を満足するものから選ぶことを標準とする。また、低温下においてもその混和剤を用いたコンクリートの品質が安定したものを選定する。

【解説】

要求性能に対する各種混和剤の分類は表-4.2に示すとおりである。また、積雪寒冷地のコンクリート舗装に主に用いられる各混和剤の特徴を以下に示す。

表-4.2 要求性能に対する各種混和剤の分類

効果	混和剤
単位水量の低減	AE減水剤、高性能AE減水剤
耐凍害性の改善	AE剤、AE減水剤、高性能AE減水剤
初期凍害防止、氷点下での強度増進	硬化促進剤、防凍剤、耐寒促進剤
毛細管張力の緩和による乾燥収縮の低減	収縮低減剤、 収縮低減成分が配合されたAE減水剤及び高性能AE減水剤
ワーカビリティの向上	AE剤、AE減水剤、高性能AE減水剤
凝結、硬化時間の調整	硬化促進剤、遅延剤

・ AE減水剤

AE減水剤には、コンクリートの凝結時間を調節する目的で、標準形、遅延形、促進形のものがある。寒中に補設する場合には促進形の使用を検討するなど施工条件によって適切なものを選定する。

・ 高性能AE減水剤

高性能AE減水剤は、空気連行性を有するとともに、通常のAE減水剤よりも高い減水性能があるため、単位水量を大幅に減少できる。水セメント比を小さくすることは、凍結に対する抵抗性を高める上で効果的である。しかし、高性能AE減水剤を使用したコンクリートは、コンクリート温度が低い場合には高い場合よりも練上りのスランプが小さくなる反面、時間の経過とともにスランプが大きくなることがあるため、低温度下における減水性能、ワーカビリティの変化などに注意を払って使用することが重要である。

・ 耐寒剤（耐寒促進剤）

耐寒剤（耐寒促進剤）は、セメントの水和を促進し、コンクリート中の水分の凍結温度を低下させ、初期凍害を防止する目的で開発され、日本建築学会の「寒中コンクリートの施工指針・同解説」、および北海道建築指導センターの「耐寒剤の品質標準および施工ガイド」では、混和剤の構成成分によって2つのタイプに分類されている。耐寒促進剤タイプⅠは、耐寒促進成分に加えて減水成分、AE成分などで構成されたもので、耐寒促進剤タイプⅡは、耐寒成分のみで構成されたものである。耐寒促進剤タイプⅠは、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の区分におけるAE減水剤促進形Ⅰ種に属し、耐寒促進剤タイプⅡは、2006年の改正で硬化促進剤として取り込まれている。使用方法は、レディーミクストコンクリート工場で直接コンクリートに添加する方法や現場で添加する方法がある。耐寒剤（耐寒促進剤）を用いたコンクリートの凍結温度は、その使用量にも関係するが実用範囲の使用量で概ね-4℃～-2℃程度となっている。

・ その他

このほかに、防凍剤等の混和剤や、強度促進の目的で促進形のAE減水剤や硬化促進剤等の混和剤の使用が考えられる。使用にあたっては、その成分、効果等については十分な調査を行ったうえで使用することが望ましい。なお、液状の混和剤は、凍結すると分離するため、必要に応じて混和剤が凍結しない措置を施しておく必要がある。

4.2. 路盤用材料

路盤に用いる材料には、所要の支持力や耐久性が得られるものを選定する。なお、資源の有効利用、舗装発生材の活用等の観点から、地域産材料やコンクリート再生路盤材等を積極的に利用することが望ましい。

【解説】

路盤材料は、細長いあるいは、うすっぺらな石片、ごみ、どろ、有機物などを有害量含んではない。

4.3. 凍上抑制層材料

凍結深さから設ける凍上抑制層には、凍上を起こしにくい材料を選定する。排水性がよく、凍上を起こしにくい砂、切込砂利および切込碎石等の粒状材料を用いる。なお、資源の有効利用、舗装発生材の活用等の観点から、地域産材料やコンクリート再生骨材等を積極的に利用することが望ましい。

【解説】

凍上抑制層材料には凍上を起こしにくい材料である砂、80 mm級以下の切込砂利、切込碎石及びコンクリート再生骨材等の粗粒材料を用い、ごみ、どろ、有機物などを有害量含んではない。なお、凍上抑制層材料に関する詳細は、道路土工要綱（平成 21 年度版）を参照するとよい。

5. 配合

5.1. 積雪寒冷地の環境条件に適した配合

凍害抵抗性等の向上を目的として、AE コンクリートを用いることを原則とし、水セメント比は 45%以下とする。

【解説】

AE剤またはAE減水剤を適切に用いることにより、コンクリートのワーカビリティが改善され単位水量が減じること、凍害抵抗性が向上すること、水密性が改善されることなど、多くの利点が得られるため、AEコンクリートを用いることを原則とする。

凍害抵抗性等の向上対策として、凍結融解作用による損傷を抑制するため、特に、水セメント比を管理することが有効である。

北海道開発局では、凍結融解作用による損傷を抑制するため、表-5.1 の品質条件を満足するように定めている。各数値の根拠等を以下に示す。

表-5.1 コンクリート舗装用コンクリートの品質条件

記号	設計基準 曲げ強度	スランプ	空気量	水セメント 比	粗骨材寸法	最小単位 セメント量
C-7	$\sigma_{bk}=4.5\text{N/mm}^2$	2.5cm (6.5cm)	4.5%	45%	40mm	280kg/m ³

・設計基準曲げ強度

配合設計において曲げ強度を求める材齢は、一般に 28 日を標準とする。ただし、施工期間などの制約から特殊なセメントを使用して早期の交通開放を目指す場合には、3 時間、3 日、および 7 日など、必要に応じた材齢における強度試験から定める。なお、コンクリート舗装版の設計に使用する設計基準曲げ強度は舗装設計便覧に示される 4.4MPa とする。コンクリートの配合曲げ強度は、設計基準曲げ強度および現場におけるコンクリートの品質のばらつきを考慮して定める。

・スランプ

舗装用コンクリートは、舗設方法に応じたワーカビリティを持ち、所要の平坦性が容易に得られるフィニッシュビリティを持つものでなければならない。コンクリートのコンシステンシーの判定はスランプあるいは沈下度で行うものとする。土木学会舗装標準示方書にあるように舗設時のスランプは2.5cmを標準とする。スリップフォームを用いる場合は4cm程度とする。

初期ひび割れの発生防止などを考慮するとスランプの小さいものが望ましいが、あまりにも硬練りすぎると締固めが不十分となり、強度への影響が懸念されるので、舗設に使用する機械の性能に応じて、スランプを適切に定める必要がある。

・空気量

舗装施工便覧に示されているように、セットフォーム工法の場合4.5%、スリップフォーム工法の場合4~7%を標準とする。なお、プラントにおける練混ぜ直後の空気量は、運搬中の損失量を見込んでおく必要がある。

コンクリートの空気試験は、JIS A 1116「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」、JIS A 1118「フレッシュコンクリートの空気量の容積による試験方法（容積方法）」、JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法（空気室圧力方法）」等によるものとする。

・水セメント比

舗装施工便覧に示されている「耐久性から定まる水セメント比の最大値」を表-5.2に示す。積雪寒冷地においては、表中の「特に厳しい気候で凍結融解がしばしば繰り返される場合」に示される水セメント比45%を準拠し、現場においては、骨材の表面水の変動および材料の計量誤差等を考慮してこの表の値よりやや小さい値を用いるとよい。また、養生条件が悪い場合には、それよりさらに小さい値とするのが望ましい。

良質な混和材を適切に用いる場合には、セメント量をセメントの質量と混和材の質量の和としてよい。

表-5.2 耐久性から定まる水セメント比の最大値

環 境 条 件	水セメント比 (%)
特に厳しい気候で凍結融解がしばしば繰り返される場合	45
凍結融解がときどき起こる場合	50

・粗骨材の最大寸法

骨材の最大寸法は、一般の場合 40mm を標準とする。粗骨材の最大寸法が大きければ、単位水量を少なくできるなどの長所がある一方、材料分離しやすいなどの短所もある。これに対して、粗骨材最大寸法を小さくすると、単位水量が増えるなどの短所はあるが、材料分離抵抗性は向上するなどの長所もある。粗骨材の最大寸法の選定に当たっては、40mm に限定することなく、地域ごとの骨材事情、施工条件などを勘案することが大切である。

ただし、骨材露出工法を採用する場合は、すべり抵抗性に寄与する粗骨材を多く露出させる観点から最大寸法 20mm もしくは 25mm の粗骨材を使用する場合がある。

・単位水量

単位水量は、初期凍害を防止するため、所要のワーカビリティが保てる範囲内でできるだけ少なくしなければならない。一般に、コンクリート温度が低いほど、スランプは大きくなるため、冬期の製造では、所定のスランプを得るための単位水量は少なくなる傾向にある。単位水量を減少させることは凍結可能な水量を減らすだけでなく、特に低温下において過大になる傾向にあるブリーディング量を減少し、また、コンクリート温度の低下を防止する効果も期待できる。したがって、所要のワーカビリティが得られる範囲内で、できるだけ単位水量を小さくすることが基本である。

舗装設計便覧においては、粗骨材の最大寸法 40mm で良質な混和材を用いたスランプ 2.5cm、空気量 4.5%程度のコンクリートにおける単位水量は一般に $110\sim120\text{kg/m}^3$ 程度であるとされている。粗骨材に碎石を用いた場合は、これよりも $10\sim20\text{kg/m}^3$ 多く、細骨材として砕砂を用いた場合はさらに $5\sim10\text{kg/m}^3$ 程度多く必要となる。一般にスランプ 2.5cm のコンクリートの単位水量が 150 kg/m^3 以上となる場合は骨材の粒度および形状が適当でない。

・その他（単位セメント量）

単位セメント量は、所要の品質が得られるように定め、原則として単位水量と水セメント比から求める。舗装設計便覧に示される単位セメント量の標準は、一般に $280\sim350\text{kg/m}^3$ 程度である。単位セメント量を多く用いる場合には、乾燥によるひび割れ、温度ひび割れなどが発生するおそれもあるため、高性能 AE 減水剤の使用や、経済性も考慮し、使用材料を含めた総合的な配合の見直しを行うのがよい。

5.2. 最低気温が4℃以下となることが想定される場合の配合

春期および秋期、夜間施工等により、最低気温が4℃を下回る可能性のある条件で施工する場合には配合時に必要な対策を講じる。

【解説】

気温の低下が懸念される場合に早期の強度発現を目的として、早強ポルトランドセメントや耐寒剤を使用するケースがあるが、早期の強度発現を重視すると、硬化時の水和反応による温度上昇量が大きくなる事や、運搬中や施工中におけるスランプの低下が大きくなる場合があるので注意が必要である。このため、早強ポルトランドセメントや耐寒剤（耐寒促進剤）の使用に関しては、試験練り等によるコンクリートの性状確認や供試体の強度発現等を確認してから採用を検討する。

寒冷地では耐寒剤（耐寒促進剤）の使用実績が多数あるが、ダンプトラックで運搬するスランプが小さいコンクリートでは、運搬中のスランプの低下が大きいため、事前に試験練り等で耐寒剤（耐寒促進剤）の使用量やフレッシュコンクリートの性状を確認することが必要である。

特別な養生の対策がとりにくい場合は、混和剤として無塩化物系防凍剤の使用も検討するとよい。

6. 施工

コンクリート舗装の寒冷期施工は凍害のリスクが高く、極力行わないようにすることが望ましい。また、春期および秋期、夜間施工等では、平均気温が4℃以上であっても、気象の変化や日射の影響により、養生に必要な環境が確保できなくなる可能性があるため、施工中の対策、工場の出荷・運搬、配合等にさかのぼって必要な対策を講じる。

【解説】

コンクリート舗装は、部材厚が一般的なコンクリート構造物と比較して薄く、外気に接する面積が大きく、かつ地盤とも接しているため、施工時に外的要因により温度変化しやすい構造物である。また、一般に施工延長・面積が大きく、十分な養生が困難な構造物である。このため、外気温が低い条件下では、施工直後の初期凍害のリスクが高くなり、品質の低下が懸念されるため、極力行わないようにすることが望ましい。

また、平均気温が4℃以上であっても、気象の変化や日射の影響により、養生に必要な環境が確保できなくなり、所定の品質が得られない場合がある。このため、最低気温が4℃を下回る可能性のある施工時期においてコンクリート舗装版を施工する場合には、必要な防寒対策を事前に検討し、講じる必要がある。このため、舗設後の養生をどのように実施できるかを考慮した上で、施工中の対策、工場の出荷・運搬、配合等にさかのぼって検討することが一般的である。

低温時におけるコンクリート舗装の施工で最も注意する点としては、初期凍害を防止することが挙げられる。最低気温が4℃以下になるような気象条件のもとでは、凝結および硬化反応が著しく遅延し、硬化前のコンクリートは氷点下にさらされると、容易に凍結、膨張し、初期凍害を受けるため、寒中コンクリートとしての配慮が必要となる。初期凍害を受けたコンクリートは、その後適切な養生を行っても強度を回復することはなく、耐久性、水密性等が著しく劣ったものとなる。初期凍害を防止する対策では、早期の強度発現を目的として、早強ポルトランドセメントや耐寒剤（耐寒促進剤）を使用するケースがあるが、早期の強度発現を重視すると、硬化時の水和発熱量が大きくなることや、運搬中や施工中におけるスランプの低下が大きくなる場合があるので注意が必要である。

コンクリート舗装では、外気温などの環境温度とコンクリートの出荷（到着）温度の差が大きい場合に不具合が起こることがあり、製造時の温度が運搬時の凍結の他、硬化発熱や強度発現にどのような影響を及ぼすかを予測して施工方法を決定する必要がある。

6.1. 製造

最低気温が 4℃を下回る可能性のある条件で施工する場合には、コンクリートに使用する材料の保管および温度管理は、安定的にコンクリートを出荷する上でとても重要であり、適切に行わなければならない。

【解説】

最低気温が 4℃を下回る可能性のある条件で施工する場合には、練混ぜ水は冷えないように貯蔵し、必要に応じて加熱して用いることも有効である。ただし、加熱する場合はセメントが急結しない温度とする必要がある。

セメントの加熱は実質上困難であり、温度の高いセメントと水を接触させると、急結したりしてコンクリートに悪影響を及ぼすおそれもある。材料の加熱は、容易な点と熱容量の大きい点から、水の加熱が有利である。温水の温度はセメントが急結を起こさないような温度にする。材料加熱の装置および方法は、材料が一様に熱せられて常に所要の温度の材料が得られるように、また、コンクリートの練混ぜ作業に対応できるように、十分な能力をもたせることが必要である。

骨材は 65℃以上に熱すると取扱いが困難になり、かつ、セメントを急結させるおそれがある。一般に、水と骨材との混合物の温度を 40℃以下にしておけば、このような心配はないとされている。骨材の加熱方法としては、設備的には容易な方法ではないが、蒸気を使用するのが管理面で比較的容易である。

6.2. 運搬

運搬距離、環境温度、養生条件等を考慮した上で、打込み温度の範囲を確実に確保するため、運搬中の急激な温度低下はできるだけ避けなければならない。

【解説】

コンクリートの急激な温度低下は、フレッシュ性状や打込み直後の性状、およびごく初期の強度発現性に影響を及ぼすため、十分に注意をする必要がある。したがって、コンクリートの運搬中は、降雪や外気温度に対して直接曝されることのないように対策を講じることが重要である。

機械施工のコンクリート舗装では、ダンプトラックによってコンクリートを運搬するが、風の吹込みや外気温の影響で運搬中のコンクリートに凍結や乾燥による不具合が起こる場合があり、降雪中の運搬では、雪が混入する可能性もあるため、運搬時の保温対策等には注意が必要である。

特に配慮を行う場合は、ダンプトラックによる運搬よりもトラックアジテータによる運搬の方が、外気温やフレッシュコンクリートの性状変化に対して有利である。低温となる恐れがある場合や運搬時間が長い場合等、ダンプトラックによる運搬でコンクリートの温度低下が懸念される場合には、トラックアジテータによる運搬の採用を検討する。

トラックアジテータによる運搬を行う場合、舗設位置でスランプ3～8cmの範囲とし、舗設、運搬、荷おろしが可能な範囲でできる限り小さくする。ただし、トラックアジテータによっては、スランプが5cmを下回ると排出効率が落ちる場合があるので、事前の確認が必要である。舗設時のスランプを3～8cmとする場合、AE減水剤などを用いて単位水量および単位セメント量をできる限り少ない範囲にとどめるように配慮する。

トラックアジテータによる運搬では、シュート上部の蓋を必ず閉じるようにする。さらに、暑中コンクリート対策で使用されているドラムカバーを利用するとによって、コンクリートの温度低下を遅らせることができる。ダンプトラックでコンクリートを運搬する場合は、上部に隙間なく覆いを施して、直接外気と接触しないように配慮することで、コンクリートの温度低下に対する多少の効果が期待できる。

また、可能な限り施工現場に近い生コンクリート工場を選定するなどし、コンクリートの練混ぜから打込みまでの時間を短くすることが重要である。これによって外気温度と接する時間が短く、運搬中のコンクリート温度の低下を小さくすることができる。

運搬中のコンクリート温度の低下については、トラックアジテータを使用する場合の計算式または予測式が示されている。コンクリート標準示方書「施工編」では、次式により打込み終了時のコンクリート温度を計算できる。通常、コンクリートの温度が低下する程度は、運搬および打込み時間が1時間につき、コンクリート温度と周囲の気温との差の15%程度と言われている。

$$T_2 = T_1 - 0.15(T_1 - T_0)t \quad \text{式 (1)}$$

T_0 : 周囲の温度 (°C)

T_1 : 練り混ぜたときのコンクリート温度 (°C)

T_2 : 打込み終了時のコンクリート温度 (°C)

t : 練り混ぜてから打込み終了までの時間 (h)

その他では、コンクリートの運搬時間が30分までとそれ以降の時間で次の2つの予測式が示されている。

・運搬時間が30分までの場合

$$T_{30} = T_s - 0.3(T_s - T_0)m / 60 \quad \text{式 (2)}$$

・運搬時間が30分以上経過した場合

$$T_e = T_s - 0.15(T_s - T_0) - 0.1275(T_s - T_0)(m - 30) / 60 \quad \text{式 (3)}$$

T_0 : 外気温度 (°C)

T_s : レディーミクストコンクリート工場出発時のコンクリート温度 (°C)

T_{30} : 工場出発から30分以内のコンクリート温度 (°C)

T_e : 工場出発から30分以降のコンクリート温度 (°C)

m : 工場出発からの経過時間 (分)

6.3. 打設

最低気温が4℃を下回る可能性のある条件で施工する場合に最も注意する点としては、初期凍害を防止することである。

【解説】

初期凍害は、コンクリートが凝結、硬化過程に凍結融解作用を受けることにより、セメントの化学反応が遅れて強度発現性が遅延することや、内部に微細なひび割れが発生して強度や耐久性、水密性に悪影響を及ぼす。

打ち込まれるコンクリートの温度は、養生条件および外気温にも左右されるものの、外気温との温度差を可能な範囲で小さめに設定することが多い。このため、気象条件の急激な変化によっては初期凍害の危険性が高くなる。一般に、コンクリートが凍結する温度は、 $-2.0^{\circ}\text{C} \sim -0.5^{\circ}\text{C}$ といわれており、これに対して初期凍害に対する抵抗性は、コンクリート標準示方書によると、圧縮強度が4MPa以上であれば、数回の凍結融解作用に対する影響は比較的小さいとされている。このことから、初期凍害への対策は、コンクリートの凝結遅延を抑制し、速やかに強度発現を促すことが重要であり、以下の対策が有効である。

①打設前

コンクリートを打ち込む前には、路盤が凍結していないことを確認し、凍結のおそれがある場合は、予め打ち込むコンクリートの想定温度と同程度に保つよう、路盤の保温をしておくことが望ましい。また、保温を目的として施工予定箇所をシート等で覆っておくことで、打込み直後のコンクリート温度の低下を軽減することが可能である。

②打設中

打設中のコンクリート温度が高い場合は、周囲との温度差が大きくなるため、水分が蒸発して表面が乾燥し、ひび割れにつながることもある。コンクリート標準示方書では、施工中の最低温度を初期凍害の観点から 5°C と設定している。この温度を下回らないように施工を終え、初期養生へ移行することが重要となる。また、一般にスランプや空気量の低下が小さくなり、ブリーディングが多くなりやすいことや、硬化が遅くなって表面仕上げや養生マットの設置に時間を要する可能性がある。硬化が進み養生マットが設置可能となるまでの時間が十分にとれない場合は、仕上げ面に不具合が生じないようにマットを静置するとよい。

③打設後

打設直後では、暴露されている表面やブリーディング水が凍結しないよう、速やかな施工が必要である。

コンクリートの練り上がり温度は、舗設時で 5～20℃ (特に注意が必要な場合は 10～20℃) を確保できるようにすることが望ましく、コンクリートの荷おろしから、表面仕上げまで円滑に素早く作業を行い、打設したコンクリートの熱量損失をなるべく少なくするように配慮する必要がある。

6.4. 養生

養生方法は、気温などの気象条件の他、施工幅員や施工延長によって異なるため、施工条件に適した養生を実施することが必要となる。

【解説】

コンクリートが凍結しないまでも 5℃程度以下の低温度にさらされると、凝結および硬化反応が相当に遅延するため、早期に荷重を受ける構造物では、ひび割れ、残留変形等の問題が生じやすくなるので、必要な強度が発現するまで十分な養生期間を確保することが必要である。特に、コンクリートの露出部やメタルフォームの型枠面では直接風があたりコンクリート温度が大きく低下するので注意が必要である。

また、養生においてはコンクリートと外気温の差等、温度の影響によるひび割れの発生を防止しなければならない。水和によりコンクリート版内部の温度が高く、コンクリート版表面付近が外気温の影響等で温度が低い場合では、温度差に起因するひび割れが発生する。また養生不良などコンクリート版表面の乾燥収縮が生じる場合はさらにひび割れ発生リスクが増大するので十分注意する必要がある。コンクリート版の乾燥収縮や自己収縮は、セメント量やセメントの種類、コンクリートの版厚によって異なり、一般的には、湿潤養生の初期の段階でコンクリート版内部と表面の温度差が小さくなるように断熱するのが適当である。

早期の強度発現を目的とした早強ポルトランドセメントの採用なども発熱が大きくなる場合があり、発熱のピーク時に冷水を散水することや被覆しているマット等を取り去ることもひび割れの発生リスクが高まる。このため、収縮ひび割れを防止するための目地切断時期についても、内部の温度状況と強度発現の程度を確認しながら実施することが必要である。

6.4.1. 養生方法

コンクリートは、セメントと水の水和反応で硬化する材料なので、特に最低気温が4℃を下回る可能性のある条件で施工する場合においては、水和反応が良好に進行するように養生を行わなければならない。

【解説】

養生方法は、気温などの気象条件の他、施工幅員や施工延長によって異なるため、施工条件に適した養生を実施することが必要となる。以下に代表的な養生方法を示す。

①湿潤養生

湿潤養生（後期養生）は以下のような方法がある。

a) 被覆養生（養生マットによる湿布養生等一般的な湿潤養生方法）

養生マットやシートでコンクリートの露出面、型枠面を覆い、コンクリートからの水分蒸発と風の影響を防ぐ方法。

b) 保温養生（断熱養生）

断熱型枠、断熱シート、養生マットやバブルシートなどの断熱性のある材料でコンクリートを隙間なく覆い、コンクリートの水和熱を利用する方法。

c) 給熱養生（加熱養生）

養生上屋（仮囲い）をもうけて、内部空間を加温する方法で、一般的には練炭やジェットヒータ、電熱シート等の熱源を用いて給熱する方法。

湿潤養生（後期養生）の初期段階では、低温による硬化不良を起こさないように、複数枚の養生マットを重ねることやシートや断熱シートで覆うことで対応する。被覆、保温養生に加えて、舗装の縁端部など外気温の影響を受けやすい部分のみを簡易的に加温する場合があるが、必要に応じ被覆・保温養生に引き続き給熱養生を実施する場合もある。

また、湿潤養生期間中にコンクリートを乾燥させてはならないが、散水による湿潤養生が困難な場合は、表面に形成した粗面に影響がないように、設置直後の養生マットが湿潤状態になるように給水する手法が有効である。給水後はシート等で覆い、養生マットからの水分蒸発が抑制可能な断熱養生とし強度発現を促す。その後、養生マットが乾燥した場合は吸水して湿潤状態に回復させることが望ましい。

養生の終了は、現場養生供試体の曲げ強度が所定の値に達するまでの期間とする。一般に、配合強度の7割に達するまでとされている⁴⁾。

②特殊養生

特殊養生には以下のような方法がある。

a) 被覆養生

被覆養生は標準的な養生方法であるが、最低気温が4℃を下回る可能性のある条件における施工では、被覆養生に加えて、型枠周辺のみを加温する対応や、施工継ぎ目等の早期に脱型を予定している箇所のみを加温する方法が防寒対策として有効である。加温には、簡易的に練炭や灯光ランプ等を使用するが、局所的な温度の不均衡を起こさないように、必要以上に部分的な加温を行わないことが重要である。保温養生（断熱養生）についても、部分的に加温する場合には温度の不均衡が生じないように注意が必要である。

b) 給熱養生

初期養生や保温養生等の途中から引き続き養生上屋（仮囲い）を設ける場合と、最初から養生上屋を設置し、コンクリートの打込み作業のほとんどをその中で行う場合がある。養生上屋は、降雪や風の影響にも耐えられる構造で、養生上屋内の作業方法や養生方法に応じて、養生上屋の大きさを決める。給熱装置は、コンクリート版が乾燥しないようにシートやマットで被覆した後に、コンクリート版の温度が不均衡とならないように設置する。特に、養生上屋内でジェットヒータを使用する場合には、ビニールダクトを必ず使用して温風が局所的に作用することなく、コンクリート全面を加温することが重要である。

補足として、コンクリート舗装では積算基準等による養生上屋をそのまま適用することが困難となる場合がある。過去の施工例としては、設置したビニールダクトをブルーシートで覆い、養生上屋の代用とした養生例がある。

6.4.2. 養生期間

コンクリート舗装では、養生期間ではなく積算温度と強度の関係から間接的にコンクリートの強度を把握し、加えて、現場養生供試体の強度を確認する養生管理が有効である。

【解説】

構造物用コンクリートの冬期における養生期間は、養生温度が5°Cと10°Cの場合についてセメントの種類毎に設定されている⁴⁾。しかしながら、コンクリート舗装のように、養生中の温度が変動する可能性がある場合や、現場養生供試体の管理が困難な場合には、養生期間ではなく積算温度と強度の関係から間接的にコンクリートの強度を把握し、加えて、現場養生供試体の強度を確認する養生管理が有効である。

構造物用コンクリートの場合で、養生温度が5°Cと10°Cの養生期間を積算温度に変換したものを表-6.1に、養生温度の平均値と積算温度の関係を表したものを表-6.2に示す。コンクリート舗装において交通開放を前提とする一般的な養生期間は、配合強度（設計強度×割り増し）の70%以上に達していることを、現場養生供試体で確認することが原則であり、現場養生供試体による強度確認が困難な場合は、普通ポルトランドセメントを用いる場合14日間、早強ポルトランドセメントを用いる場合7日間、高炉セメントB種を用いる場合21日間が標準とされている。これらの管理手法については、コンクリート強度と積算温度の関係から、養生期間を設定することが妥当である。

また、タイヤチェーンなどを装着した車両が走行する地域では、交通による路面の損傷が生じなくなるまで交通解放を遅らせるのがよい。

表-6.1 標準的な養生日数と積算温度の関係（案）

養生日数の目安（日）	普通	早強	混合B種
養生温度：5°C	4	3	5
養生温度：10°C	3	2	4

積算温度の目安（°C・days）	普通	早強	混合B種
養生温度：5°C	60	45	75
養生温度：10°C	60	40	80

さらに2日間は0°C以上とした 積算温度の目安（°C・days）	普通	早強	混合B種
養生温度：5°C	80	65	95
養生温度：10°C	80	60	100

断面が普通の暴露状態で、5MPaの圧縮強度を得る養生日数と積算温度の目安

※W/C=55%の場合の標準値を示した。W/Cがこれと異なる場合は適宜増減する。

表-6.2 養生温度と積算温度による養生期間の目安

養生期間（日）	3	4	5	6	7	8	9	10
養生温度（℃）	積算温度（℃・days）							
5	45	60	75	90	105	120	135	150
4	42	56	70	84	98	112	126	140
3	39	52	65	78	91	104	117	130
2	36	48	60	72	84	96	108	120
1	33	44	55	66	77	88	99	110
0	30	40	50	60	70	80	90	100
-0.5	29	38	48	57	67	76	86	95

60～80℃・days となる養生期間の目安

6.5. 型枠・支保工

最低気温が 4℃を下回る可能性のある条件における施工で使用する型枠は、保温性の良いものを用いることを原則とする。

【解説】

コンクリートの舗設場所では、設置している鋼製型枠が非常に低い温度になっている場合が多く、フレッシュコンクリートが接触すると部分的に凍結して初期凍害を起こす可能性がある。コンクリート舗設前の鋼製型枠やバー等の鋼材が 0℃以下となるような場合には、舗設の直前まで保温することが望まれる。ただし、コンクリート温度よりも著しく高い温度に加温するとかえって不具合が発生するため、フレッシュコンクリートと同程度の温度となるように加温することが望まれる。

木製型枠は、鋼製型枠に比べて、熱伝導率が小さく保温効果が大きく、断面が薄い場合でも発泡樹脂等と型枠を組み合わせて用いれば、給熱しないで保温することも可能である。

型枠は、コンクリート舗設後 20 時間以上経過した後に取りはずすこととされているが、気温が 10℃を下回らない場合で、しかも型枠を最小の数量で有効に転用できるよう必要最低限の時間を規定したものであり、安全のために 1 日のコンクリートの舗設終了時間からの時間とする。ただし、取りはずし作業によりコンクリート版に角かけが生じる場合、気温が低い場合、強度発現が遅い高炉セメントやフライアッシュセメントを使用している場合などには、取りはずし時期を遅らせる必要がある。

7. 路面管理

7.1. 路面状況

寒冷期において、コンクリート舗装はアスファルト舗装と融雪状況や、路面の凍結状況が異なる場合があるため、路面管理において留意が必要である。

【解説】

コンクリート舗装は明色であり、アスファルト舗装と比較して、日中の舗装体温度が抑制されることから、ヒートアイランド現象の抑制に寄与されている。一方で冬期においては、日射による舗装体温度の上昇がアスファルト舗装よりも小さいため、アスファルト舗装と融雪状況が異なる場合や、凍結状況が異なる場合がある。

コラム2 コンクリート舗装とアスファルト舗装の路面温度・路面状況の違い

コンクリート舗装とアスファルト舗装では、凍結深さに差が生じている事例が見られることを紹介しましたが、コンクリート舗装とアスファルト舗装では、路面の色が異なるため、舗装体の温度が異なることや、冬期においては、路面の凍結状況が異なることが考えられます。

供用中の道路脇に固定カメラを設置し、冬期間のコンクリート舗装とアスファルト舗装の路面状況を撮影した事例があります（写真-7.1、2）。写真は、同日同時刻に撮影した隣接するコンクリート舗装とアスファルト舗装の路面状況です。コンクリート舗装版では、路面が凍結している様子が見られますが、アスファルト舗装ではタイヤ走行部の路面が露出しています。



写真-7.1 アスファルト舗装の路面状況



写真-7.2 コンクリート舗装の路面状況

また、供用中の舗装内部に熱電対を用いた温度計を設置し、舗装体温度（路面から2cmの深さ）を計測した事例があります。図-7.1は隣接するコンクリート舗装とアスファルト舗装の舗装体温度を示しています。アスファルト舗装の温度の方が高く最大で約8℃の差が見られます。この舗装体の温度差から、写真のような路面状況の違いが生じたと考えられ、コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べ、路面雪氷の消失遅延や路面凍結が早期に発生する可能性があります。除雪費や凍結防止剤の散布の頻度への影響は把握されていませんが、維持管理に留意が必要になると考えられます。施工箇所の交通条件や気象条件などを考慮して、粗面処理工法などの対策を検討することも必要です。

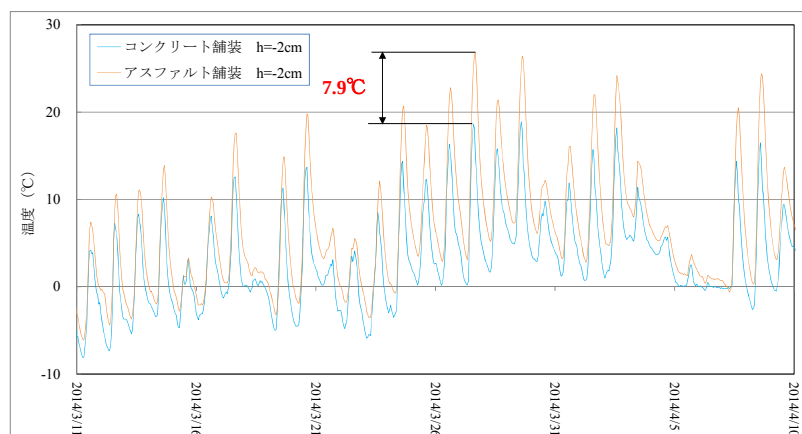


図-7.1 コンクリート舗装とアスファルト舗装の舗装温度

7.2. 凍結防止剤散布による影響

凍結防止剤の散布量が多いなどにより、既設コンクリート構造物の鋼材に腐食が生じていることが日々の管理において確認されている箇所において、コンクリート舗装を採用する場合には、腐食による損傷が生じないように設計にて考慮する必要がある。

【解説】

積雪寒冷地においては、冬期の路面凍結を抑制する目的で凍結防止剤が散布され、目地部およびコンクリート版に塩化物イオンが侵入する。これにより目地部や、コンクリート版内の鋼材に腐食が生じる場合があり、供用期間中にコンクリート版内の鋼材の腐食が進行して鋼材の断面が欠損し、コンクリート舗装が所要の性能を満足しなくなることも予想される。

このため、目地部では図-7.2、3に示すように、ダウエルバーおよびタイバーの塩化物イオンの影響を受け腐食しやすい箇所において、さび止めペイントを用いる。ダウエルバーやタイバーが腐食により破断した場合、段差の生じることが考えられるが、現在、北海道内の明かり部で供用されている明かり部のコンクリート舗装では、そのような損傷は見られていないこと²⁾から、さび止めペイントによる処理により腐食を抑制できるものと考えられる。

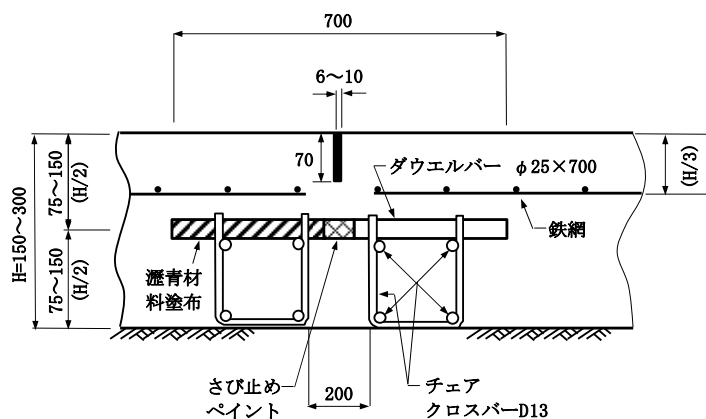


図-7.2 横収縮目地の構造

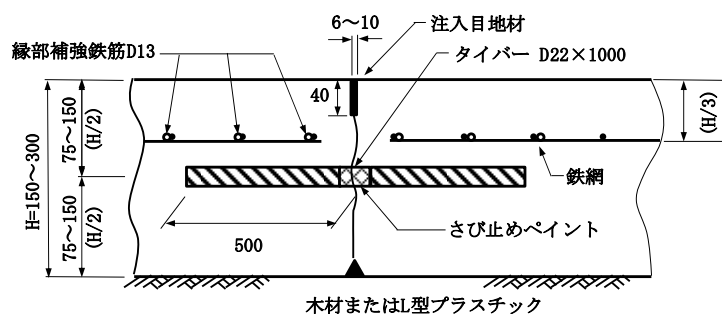


図-7.3 縦目地の構造

また、表-7.1 に国道のコンクリート舗装版より採取したコアの深さ別塩化物イオン量を示す²⁾。R231 石狩市と R231 増毛町は、海岸線沿いの路線であり飛来塩分の影響を大きく受けるため、表面付近では高い塩化物イオン量が計測されている。一方、海岸線から離れ、直接海水のしぶきのかからない高台に位置する R5 森町のコンクリート版表面でも塩化物イオン量が 5kg/m^3 程度となっている。これは、冬期間すべり対策で散布される塩化ナトリウム等の凍結防止剤の影響と推察される。なお、3箇所とも供用開始から約 30~40 年経過しているが、鉄網設置深さにおいて塩化物イオン量は少なく、鋼材腐食は確認されていない。

以上より、現在の設計法を用いて一般国道のような路面管理が行われる路線には、特別な照査は必要ないものと考えられる。ただし、路面管理上、凍結防止剤が特に多く散布され、既設コンクリート構造物の鋼材に腐食が生じていることが日々の管理において確認されている箇所においてコンクリート舗装を採用する場合には、あらかじめ防錆処理を施した鋼材の使用等を検討するとよい。なお、塩化物イオンは凍結防止剤のみならず、海水にも存在するため海水のしぶきが多くかかる環境においても留意が必要である。

表-7.1 採取コアの塩化物イオン濃度

	塩化物イオン量 (kg/m^3)		調査時の供用年数
	舗装表面	鉄網位置	
R231 増毛町	8.0	0.2	19~20年
R231 石狩市	17.5	0.4	29~35年
R5 森町	4.9	0.8	32~36年

7.3. 路面のすべり抵抗性

コンクリート舗装は、路面のすべり抵抗が得られるよう配慮する必要がある。

【解説】

コンクリート舗装のすべり抵抗値は舗装表面の仕上げの状態と密接に関係しており、使用材料、舗装表面のテクスチャや排水状況によって大きく影響されるのでこれらについて総合的に評価する必要がある。

コンクリート舗装のすべり抵抗値に関して既往研究によると、コンクリート舗装の断面は図-7.4のように概略され、細粒分で構成されるⅠ層、砂と細粒分で構成されるⅡ層、粗骨材・砂・細粒分で構成されるⅢ層の3層構造で、それぞれ異なったすべり抵抗性を有するとされている。

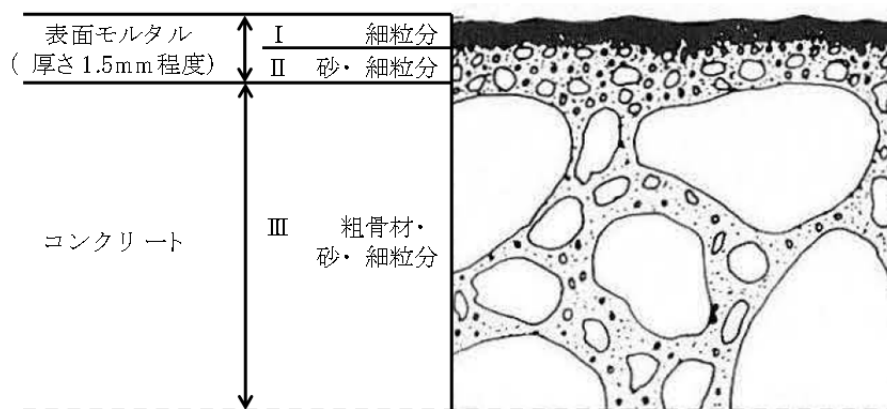


図-7.4 フィニッシャー仕上げ後のコンクリート舗装表面部（概略図）⁵⁾

最上層の第Ⅰ層は細粒分で構成されており、一般に、この層は2、3ヶ月程度でタイヤの走行や天候の影響で飛散する。

その下にある第Ⅱ層は1mm以下の砂と細粒分とで構成されている。この層は比較的長い間摩耗しないで存在し、細粒分による平面的な鋭さによりすべり抵抗性に寄与する。以上の2層で表層モルタルが形成されるが、配合や現場での施工条件によりこの厚さは異なるが、概ね1.5mm程度とされている。

一般的なコンクリート舗装のすべり対策はⅠ、Ⅱ層の表面モルタルにほうき目を形成する方法で行われる。骨材露出工法ではⅠ、Ⅱ層の表面モルタルを除去し粗骨材を露出させすべり抵抗値の確保を行う。

表層モルタル（Ⅰ、Ⅱ層）が車や降雨等の影響で取り除かれると、本来のコンクリート混合物である第Ⅲ層の表面がすべり抵抗に支配的となり、表面に現れた粗骨材による粗い凹凸が、コンクリート舗装のすべり抵抗に重要な役割を果たす。

骨材の性質は摩擦係数に重要な関係がある。スラグや砂岩、安山岩等はすべり止め骨材として良好であり、とくにシリカサンド、エメリーなどは優れたすべり止め効果を表す。一方、石灰岩は摩耗に弱く、摩耗した場合、平滑になるので滑り摩擦抵抗の低下の原因となることが多い。よって、摩耗が少なく、特に摩耗しても平滑にならないものが良い。また、骨材の選定にあたっては、川砂利よりも砕石を使用する方が長期供用後に粗骨材が露出してきた場合にすべり抵抗性が確保しやすいなどの利点がある。なお、骨材の化学組成も一部すべりに影響すると思われるがあまり明らかではない。

また、トンネル内において、すべり抵抗性が低下している箇所があるとの報告がある⁶⁾。トンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗値低下について、これまでは沿岸部において多くの発生事例が報告されていたが、最近では沿岸部以外における発生事例の報告がある。また、明かり部におけるコンクリート舗装では、トンネル内と比較してすべり抵抗性の低下事例が非常に少ない現状にある⁷⁾。

これは、粗面仕上げによって設けられた凹凸の消失や、化学的要因などが原因として挙げられる。化学的要因としては、①セメントから溶脱したカルシウムと空気中の CO_2 結合によるカルサイト層（カルシウム結晶層）の生成、②明かり部に比べ雨水などの影響を受けにくく、表層の CaO 濃度が高くマイクロテクスチャが平滑となる、の2つの理由が考えられている。

現在、新設路面の対策としてはほうき目仕上げのほか、北海道内の高規格幹線道路や高速道路においては骨材露出工法の適用が基本となっている。既設路面の対策では、ニート工法、切削オーバーレイ（明色混合物）、ショットブラストが実施されている。凍結抑制舗装としてグルーピングウレタンが実施される例もある。なお、この場合はあらかじめ削り代を考慮すると良い。また、近年はダイヤモンドグラインディング工法の施工事例が増えつつあり、その長期耐久性について調査が行われている。

コラム3 ダイヤモンドグラインディング工法によるすべり対策事例

コンクリート舗装の表面は粗面化によるすべり防止を主な目的としてほうき目仕上げが実施されます（写真-7.3）。

しかしながら、ほうき目部はコンクリート表面のモルタルの凹凸で構成されるため耐摩耗性は低く、供用に伴いタイヤによるすり磨き等により消失していきます。また、特にトンネル内のコンクリート舗装では、供用に伴い光沢を帯びたすべりやすい路面が形成される場合があります（写真-7.4）。

北海道開発局ではトンネル内コンクリート舗装にて国内で初めてダイヤモンドグラインディング工法によるすべり抵抗値改善に関する試験施工を実施しました。

ダイヤモンドグラインディング工法（写真-7.5）は、米国においては、コンクリート舗装の表面のリフレッシュ工法として20年近い実績のある一般的な工法です。主な効果として、コンクリート表面のきめを増大させ路面摩擦を改善する効果のほか、雨水の表面排水性も向上しハイドロプレーニング現象の抑制効果や平坦性の改善による走行性の向上、表面形状の修復などがあげられます。

試験施工路面（写真-7.6）では、ダイヤモンドグラインディング工法施工後に、すべり抵抗値は大きく回復し、その後も安全な走行に問題ないレベルで推移しています。

また、ダイヤモンドグラインディング工法で形成される路面は、凍結路面発生時において、すべり抵抗値が比較的低下しにくいことが報告されており⁸⁾（写真-7.7）、積雪寒冷地のコンクリート舗装のすべり対策として有効な方法として期待されます。

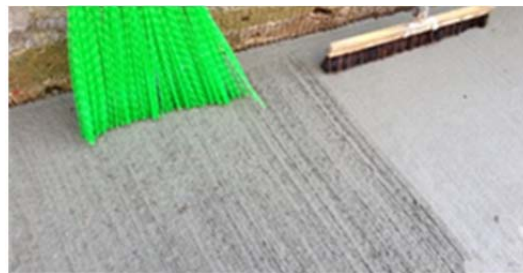


写真-7.3 ほうき目仕上げ状況

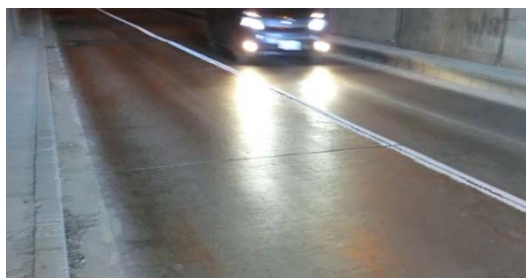


写真-7.4 光沢を帯びたコンクリート舗装



写真-7.5 ダイヤモンドブレード

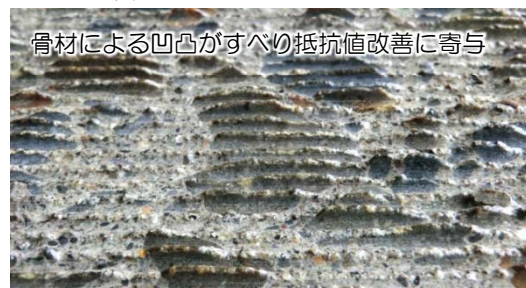


写真-7.6 施工後の路面



写真-7.7 冬期の路面状況

参考文献

- 1) 公益社団法人 地盤工学会北海道支部：寒冷地舗装工学、2009.
- 2) 上野千草、安倍隆二、井谷雅司、木村孝司：積雪寒冷地におけるコンクリート舗装の設計法に関する一検討、土木学会論文集 E1（舗装工学）、Vol.72、No.3、pp.95-103、2016.
- 3) 蔦田聖史、岸良竜、石田征男、上野敦：普通エコセメントを用いた舗装用超硬練りコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす配合条件の影響に関する検討、第 67 回セメント大会、PP110-111、2003.
- 4) 公益社団法人 土木学会：舗装工学ライブラリー15 積雪寒冷地の舗装に関する諸問題と対策、2016.
- 5) コンクリート舗装の表面性状のすべり抵抗値に及ぼす影響、J.ダーメス、P.ズルテン、高速道路と自動車、1981.12
- 6) 森一宏、高橋守人：海岸付近のコンクリート舗装のすべり抵抗低下の要因とその対策について、北海道開発局技術研究発表会発表概要集 第 43 巻、pp.55-60、2000.
- 7) 中村和博、松本大二郎、佐藤正和、神谷恵三、コンクリート舗装のすべり抵抗回復工法に関する研究、土木学会論文集 E1（舗装工学）、Vol.70、No.3、2015.
- 8) 井谷雅司、上野千草、丸山記美雄、木村孝司：トンネル内コンクリート舗装の補修実態とダイヤモンドグラインディング工法による湿潤路面・凍結路面の摩擦抵抗改善効果について、第 70 回土木学会年次学術講演会、2015.10