

2015/11/25

鋼橋 R C 床版施工手順書

一般社団法人日本橋梁建設協会

まえがき

道路橋RC床版は直接荷重を受けるだけでなく、様々な環境作用（凍結融解、水や塩化物の浸入など）を受けることから、橋梁部材の中では損傷事例が多く、その補修工事が橋梁の維持管理コストの大半を占めている状況である。今後、東北地方において、一時期に大量に建設される復興道路のRC床版の耐久性が十分でないと、同様の補修工事が集中する恐れがある。また、設計・施工において鋼桁とRC床版を分けて考えるのではなく、相互の役割が「橋」として効果的に連携・機能し、適切に維持管理されるよう配慮することも耐久性確保に必要な着目点である。

そのような背景から、実務遂行時の一助とし、当協会既刊資料の「RC床版施工の手引き(H22版)」を基本として、本手順書を作成した。特に寒冷地における劣化事例（凍害、塩害、疲労、および鋼橋としての構造特性に対する配慮不足や施工上の不具合によるもの）を示すとともに、これらに対する最新の知見を加え、施工時に注意すべき項目を再度整理し、鋼橋上に構築されるRC床版の施工方法としてとりまとめた。なお、本手順書に記載の無い項目については上記資料を参照する必要がある。

さらに、参考資料として有用な打設順序に関する計算例や、寒冷地でのRC床版の耐久性向上に資すると考えられる最新の材料、配合、および施工管理方法についても示したので、必要に応じて選択されたい。

平成 27 年 3 月
(一社) 日本橋梁建設協会
技術委員会 床版小委員会

<床版小委員会>

委員長 雨森 慶一 (巴コーポレーション)
床版技術部会長 春日井 俊博 (横河ブリッジホールディングス)
床版施工部会長 小林 岳彦 (東京鐵骨橋梁)

<編集委員>

グループ長 江頭 慶三 (駒井ハルテック)
委員 田中 喜一郎 (横河工事)
委員 春日井 俊博 (横河ブリッジホールディングス)
委員 小林 岳彦 (東京鐵骨橋梁)
委員 久保 圭吾 (宮地エンジニアリング)
委員 和田 均 (高田機工)
委員 高林 和生 (IHI インフラシステム)
委員 小川 淳史 (宇部興産機械)
委員 佐々木 竜治 (三菱重工鉄構エンジニアリング)
委員 亀田 宏 (川田工業)
委員 袋 和雄 (北都鉄工)

目 次

1. 目 的	.....	1
2. 設計・施工上の配慮	.....	5
3. ひび割れの発生原因と対策	.....	9
4. 運搬・受入れ	.....	19
5. 打込み・締固め	.....	23
6. 仕上げ・養生	.....	27
7. 打継目	.....	31
8. 排水設備	.....	34
【参考資料1】かぶり厚を7cmにした場合の設計計算例		42
【参考資料2】床版打込み順序の計算例		44
【参考資料3】高耐久性に資すると考えられる材料・配合・混和材		55
【参考資料4】RC床版施工用チェックシート		61

1. 目的

本施工手順書は寒冷地における鋼橋RC床版の施工に際し、施工者が耐久性を確保するために配慮すべき基本事項と留意事項を示したものである。

寒冷地では凍結防止剤の散布によりRC床版の上面に塩分を含んだ水が滞水し、加えて低温による上面コンクリートの凍害が促進され、さらに交通活荷重による疲労が複合的に作用して劣化している事例が報告されている（写真-解 1.1）。このような劣化の詳しいメカニズムは明らかとなっていないが、凍結融解作用による劣化と水や塩分の浸透が抑制できれば、このような損傷を防ぎ、長期耐久性を確保することが可能と考えられる。



写真-解 1.1 東北地方で生じている床版上面の損傷例
(床版下面には有害なひび割れが観察されない場合もある)

また、寒冷地での劣化・損傷の要因を現時点における知見を整理して列記すると、以下のように構造要因やコンクリート材料によるもの、設計上の配慮不足、施工上の不良があげられる。

- ①鋼桁の拘束に起因するひび割れ（コンクリートの乾燥収縮：写真-解 1.2）
- ②連続桁の中間支点上のひび割れ（構造要因、乾燥収縮：写真-解 1.3）
- ③活荷重による2方向ひび割れと押抜きせん断破壊（疲労：写真-解 1.4）
- ④凍結防止剤散布環境下でのアルカリシリカ反応（ASR）（材料不良：写真-解 1.5）
- ⑤凍結防止剤散布環境下での凍害や塩害の発生（凍害・塩害：写真-解 1.6）
- ⑥床版打継目からの漏水（施工不良：写真-解 1.7）
- ⑦床版と地覆の打継目からの漏水（施工不良：写真-解 1.8）
- ⑧排水柵周辺からの漏水（施工不良：写真-解 1.9）
- ⑨スラブドレーン周辺の漏水または伝い水（施工不良：写真-解 1.10）
- ⑩上縁鉄筋に沿った水平ひび割れ（凍害・疲労：写真-解 1.11）
- ⑪走行車両の軌跡に沿ったコンクリートの浮き、剥離（凍害・疲労：写真-解 1.12）

したがって、寒冷地でのRC床版の長期耐久性確保を検討する場合には、以下の前提条件を踏まえておく必要がある。

- ①凍結防止剤や凍害の影響を必ず受ける
- ②活荷重による2方向ひび割れ、乾燥収縮による橋軸直角方向ひび割れが生じやすい
- ③防水層は10～15年程度の舗装の打替え時から十全には機能しなくなる



写真-解 1.2 主桁拘束と乾燥収縮ひび割れ



写真-解 1.3 中間支点のひび割れ

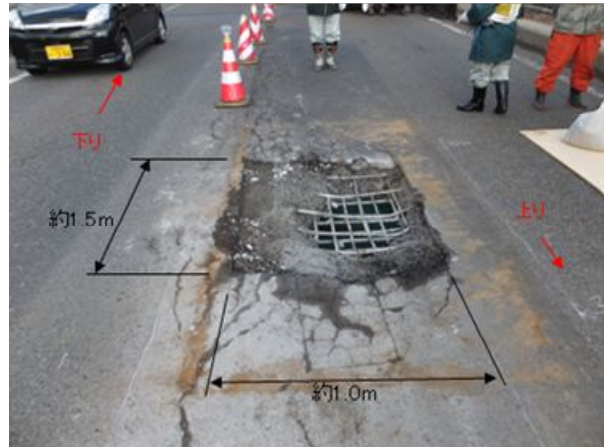
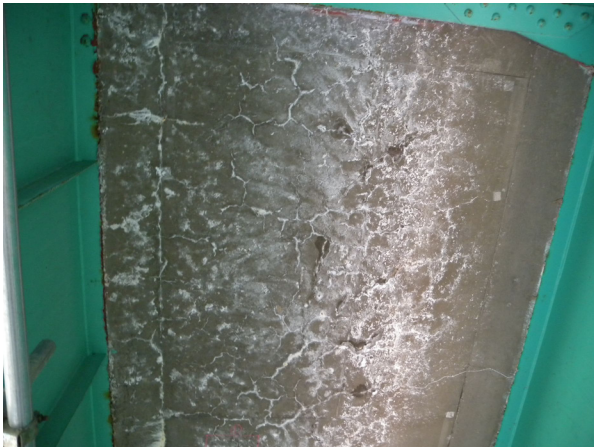


写真-解 1.4 2方向ひび割れと押抜きせん断破壊



写真-解 1.5 ASRによるひび割れ¹⁾



写真-解 1.6 塩害による鉄筋露出



写真-解 1.7 床版打継目からの漏水



写真-解 1.8 床版と地覆の打継目からの漏水



写真-解 1.9 排水柵周辺からの漏水



写真-解 1.10 スラブドレーン周辺の漏水

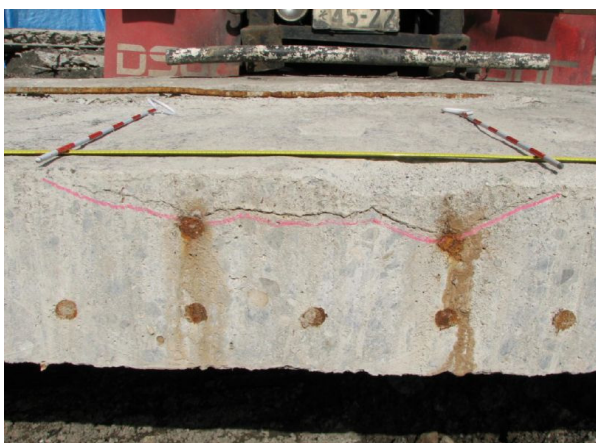


写真-解 1.11 上縁鉄筋に沿った水平ひび割れ



写真-解 1.12 走行車両の軌跡に沿ったコンクリートの浮き、剥離

そこで、強度だけを床版コンクリートの管理指標にするのではなく、気象作用や化学的作用に対する材料劣化、設計・施工上の配慮不足や施工不良、および初期欠陥を防いで密実なコンクリートを施工することを目的に、設計・施工とその品質管理法について本施工手順書をとりまとめた。ただし、床版上面の防水層には過度に期待せず、コンクリートにはひび割れが生じることを前提で、凍結防止剤による塩害と凍害の影響を軽減または排除できる対策の記述を中心とした。

このようなことから、一般的な項目は協会の既刊資料である「RC床版施工の手引き」の内容に準拠し、強化・補足すべき項目について本資料に記述する。なお、手引きの内容と記述の異なる部分があるが、これは寒冷地での耐久性確保を目的に、最新の情報・知見を踏まえて再記述したものであるため、本資料の記述を優先しなければならない。

巻末にはRC床版を施工する際に主要なポイントを確実に実施できているかをチェックするための「施工状況把握チェックリスト」を添付しているため、施工時に必ず活用し、入念な施工を心がけられたい。

本書を策定するにあたり、主として下記に示す図書を参考とした。

- ①RC床版施工の手引き（2010.3）
- ②平成25年度 北海道開発局 道路設計要領：北海道開発局（2013.4）
- ③設計施工マニュアル[橋梁編]の改訂について：東北地方整備局（2008.12）
- ④設計要領(道路編)第9章 橋梁：北陸地方整備局（2012.4）
- ⑤東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)：東北コンクリート耐久性向上委員会（2009.3）
- ⑥塩害対策マニュアル(案)：新潟県（2010.4）
- ⑦コンクリート構造物ひび割れ対策資料：山口県（2007.10）

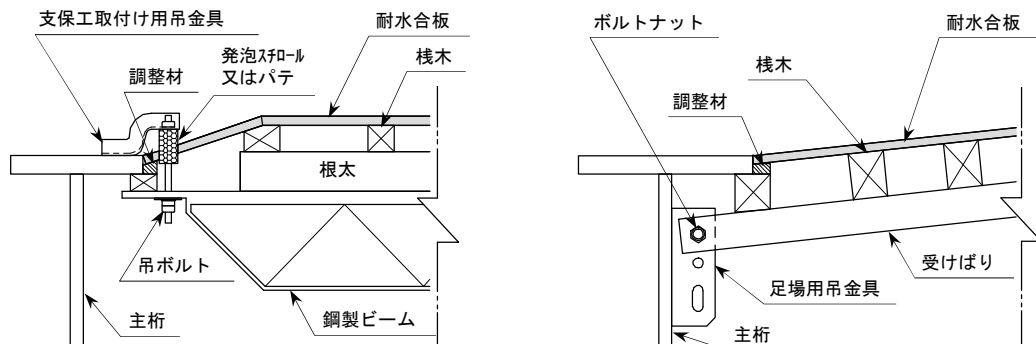
2. 設計・施工上の配慮

- (1) 設計基準強度は、 $24\text{N}/\text{mm}^2$ 以上とし、各発注機関の規定により設定することを原則とする。
- (2) 床版のかぶりは塩害環境の程度に応じて決定する。
- (3) 型枠支保工取付け用吊金具の溶接は工場で行うことを原則とする。
- (4) 1日当りのコンクリート打込み量の決定
- (5) 打込み順序の計画

(1) 設計基準強度は、水セメント比の低減による実強度の増加を見込んで規定される場合や水セメント比の低減による実強度の増加は考慮せず、耐久性確保上の余裕とみなす場合等があり、各発注機関により推奨する強度が異なる。そのため、設計基準強度は各発注機関の規定に準じた強度に設定することを原則とする。

(2) 塩害の影響を考慮した床版の最少かぶりは、道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編（平成24年3月）の5.2塩害に対する検討によることを原則とする。海岸線からの距離が遠く、塩害の影響度合いが低い地域であっても、凍結防止剤が大量に散布される場合や塩害対策区分Sと同等以上とみなされる場合は、床版のかぶりを増厚し、塩分の浸入に対する耐久性を向上させることを検討する。従来方法によって算出した床版厚に対して、かぶりを増厚した場合の試設計を参考資料1に示す。

施工上、かぶりの確保に留意する必要がある事例として型枠支保工取付け用吊金具がある。支保工を吊りボルトで支持するタイプの吊金具は、ハンチの形状やすりつけ位置（上フランジ上面または下面）にあわせて必要なかぶり量を確保できる金具を選定する（図-解2.1 型枠支保工取付け用吊金具(a)参照）。なお、吊りボルトは型枠解体時に撤去できるよう発泡スチロールやパテなどで養生することが条件となる。また、塩害対策等で最小かぶりを70mmとする場合は、前述の吊金具では必要かぶりを確保できないため、足場用吊金具を兼用した吊金具を用いて支保工を支持する方法がとられる（同図(b)参照）。



(a) 吊ボルトにより支持

(b) 足場用吊金具と兼用

図-解 2.1 型枠支保工取付け用吊金具

(3) 型枠支保工取付け用吊金具の溶接は、桁本体と同等の品質管理を行うため、吊金具が溶接性に問題のない材質であることを鋼材検査証明書（ミルシート）などにより確認する必要がある。また、やむを得ず現場で溶接する場合には、「鉄筋コンクリート床版型枠吊金具の現場溶接施工要領（案）について」（建設省事務連絡 昭和63年6月28日、参考資料4参照）などを参考とし、工場溶接と同等の品質が得られるように施工する。

現場溶接時の主な管理項目を以下に示す。

- (A) 溶接方法は原則として被覆アーク溶接で行い、溶接棒の種類は D5016（低水素系）、棒径は 4mm のものを標準とする。また、溶接棒の乾燥状態は、道示Ⅱ. 18. 4. 2 の規定により管理し、吸湿させないように注意する。
 - (B) 作業に従事する溶接工は、JIS Z 3801 の A-2F と同等の資格を有していなければならない。
 - (C) 雨天または作業中に雨天となることが懸念される場合、溶接面が濡れた状態、強風時（溶接箇所風の風速が 5m/s 以上）、気温が 5℃以下の場合（予熱を行なう場合はこの限りでない）には溶接作業を行ってはならない。
 - (D) 吊金具の溶接において、桁の塗装に損傷が生じた場合には、補修塗装を行う。なお、目安としてすみ肉溶接の場合、20mm 位の板厚までは溶接面の裏側の塗膜が損傷しやすい。この時、塗膜の膨れ、剥がれ、変色が生じる。また、既設橋の床版取替時などで、経年劣化した塗膜では 20mm 以上の板厚でも損傷することがあるので注意する。
- (4) 橋梁形式、コンクリートプラントの供給能力、現場までの運搬距離、コンクリートポンプの圧送能力および作業員の人員配置等を考慮し、あらかじめ 1 日当りのコンクリート打込み量を決定する必要がある。施工時期や現場の施工条件にもよるが、1 日の標準的な打込み時間は、その後の表面仕上げ・養生時間を考慮すると 5 時間程度であるため、コンクリートポンプ 1 台当りの吐出量を 20～30m³/h とすると、標準的な 1 日当りの床版コンクリート打込み量の目安は 100～150m³/日となる。
- (5) 鋼橋の床版工事では、コンクリートの打込みにより主桁が変形するため、先に打ち込んだコンクリートに、後から打ち込まれるコンクリートによって引張応力が作用し、ひび割れが発生する場合がある。このため、コンクリートの打込みが数日におよぶ場合は、必要に応じて打込み順序の検討を行い、各施工段階の打込みに伴う発生応力が若材齢時の許容引張応力度以下におさまるよう確認する必要がある。打込み計算の例を参考資料 2 に示す。各橋梁における一般的な床版コンクリートの打込み順序を以下に示す。

(A) 単純桁橋の場合

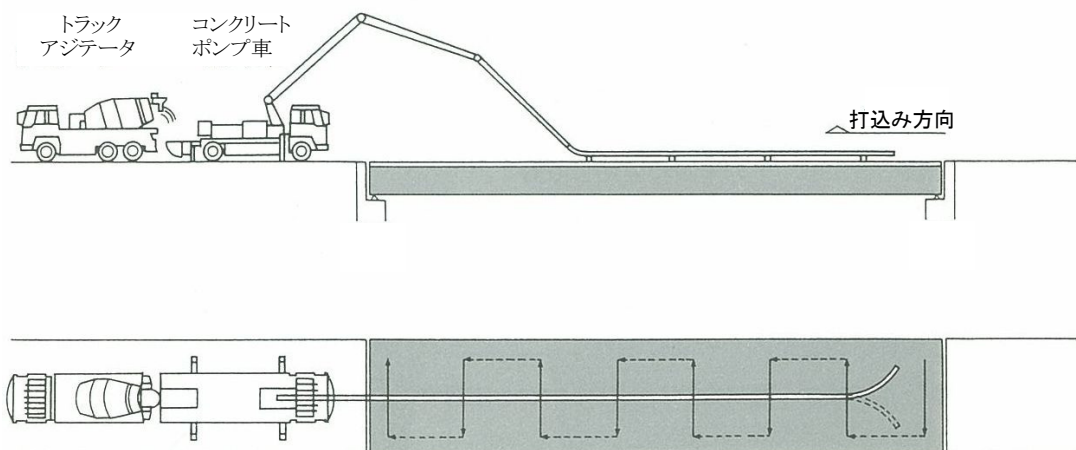


図-解 2.2 単純桁橋の打込み順序

単純桁は施工規模が小さい場合、コンクリートは片押しで 1 回で打ち込む。また、支間が大きい場合や桁の変形が大きい場合には、支間中央より両支点方向に対称に連続して打ち込む。なお、施工規模が大きい場合には、ブロックに分割して打ち込むこともある。

(B) 3 径間連続桁橋の場合

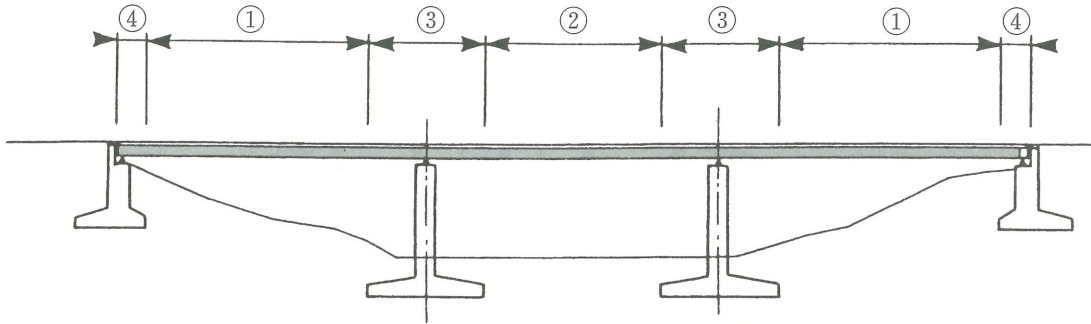


図-解 2.3 3 径間連続桁橋の打込み順序

中間支点付近 (③のように負の曲げモーメントが生じる個所) は中間支間部 (ブロック①、②) の打込みにより、コンクリートに引張力が働くので、このような個所の打込みは後に行う。

(C) 上路アーチ橋の場合

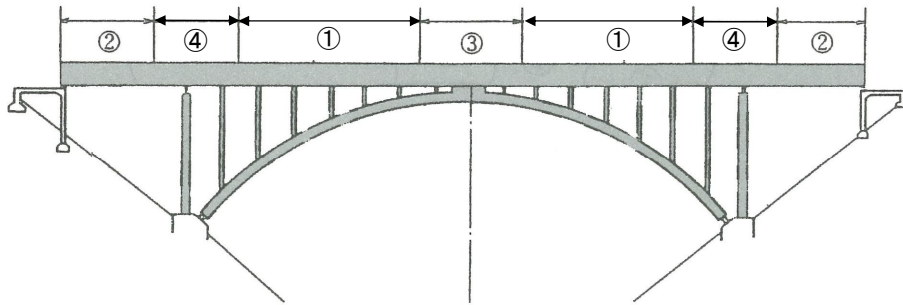


図-解 2.4 上路アーチ橋の打込み順序

上路アーチ橋は、たわみが最大となるアーチ支間長の 4 等分点付近から打込む。この際、後で打込むコンクリート重量によるアーチの変形を抑制するため、最初に打込む範囲を広く設定した方がよい。なお、上路アーチは非対称荷重によるたわみ変形が大きいため、左右対称に打込むなどの配慮が必要となる。

(D) 下路アーチ橋の場合

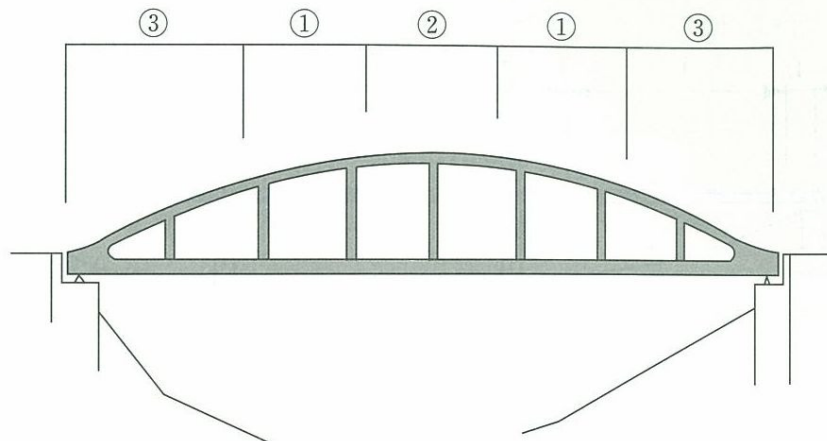


図-解 2.5 下路アーチ橋の床版打込み順序

下路アーチ橋の場合にも、上路アーチと同様の打込み順序となる。ただし、下路アーチ橋では、床組に載荷されたコンクリート自重によりアーチ部材では圧縮変形、補剛桁では伸び変形となり、補剛桁の伸び変形は横桁を介して、床組である縦桁を伸ばそうとする力になる。

また、日照や環境温度の変化にともなうアーチ材や補剛桁の変形も同様の現象を誘起する。そのため、床版コンクリートには縦桁の伸び変形にともない、ずれ止めを介して縦桁と同様の引張応力が作用し、結果として床版コンクリートにひび割れが発生する場合があるので、留意が必要である。

これらのひび割れ抑制対策としては、配力筋の追加、床版開口部（アーチ・吊材と床版との交差箇所等）への用心鉄筋の追加、及び、縦桁の一部の高力ボルト継手部を後施工とするなどの検討を行う。

(E) 曲線橋の場合

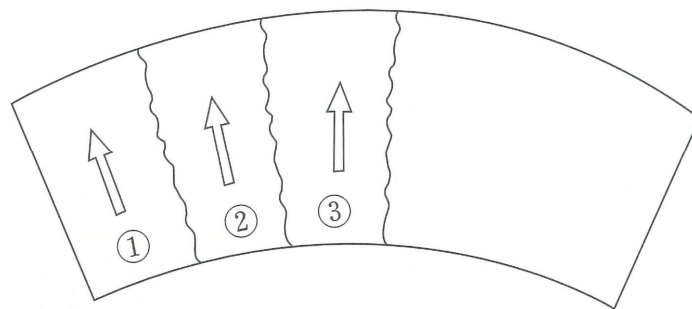


図-解 2.6 曲線橋の床版打込み順序

曲線橋の橋軸方向の施工順序は、橋直の場合と同じであるが、横断方向では一般的に勾配がついているので、曲線の内側（低い方）から外側（高い方）へ向けてコンクリートを打ち込む。これは、横断勾配のためコンクリートが低い方に流動するのを防ぐためと、曲線桁の重心の位置が橋軸（橋梁中心線）に対して曲線の外側方向に偏心しているため、桁の横方向の安定および荷重分配上、有利であるためである。

また、コンクリートの打込み順序によっては、施工時にひび割れが生じたり、支点到負反力が生じる場合があり、桁の安定や部材の強度についても事前に検討する必要がある。

(F) 斜橋の場合

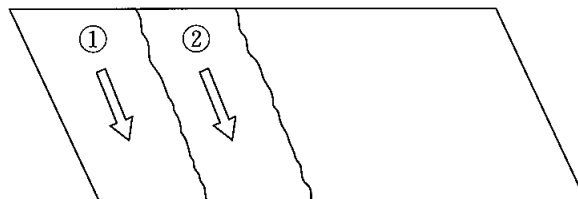


図-解 2.7 斜橋の床版打込み順序

斜角がある場合、同一断面での桁のたわみ量が異なるため、桁に傾きが生じる。また、コンクリートの打込み順序によっては、支点到負反力が生じる場合もあり、桁の安定性や部材の強度について、事前に検討を行う必要がある。

3. ひび割れの発生要因と対策

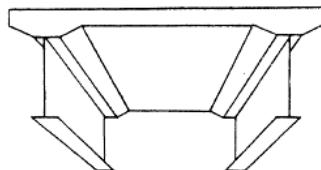
3.1 ひび割れによる床版の損傷

床版コンクリートに、有害なひび割れを発生させないことが原則である。

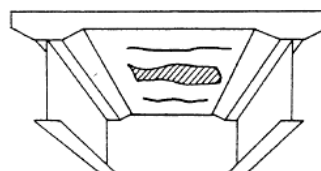
(1) 有害なひび割れとは、一般にひび割れ幅が 0.2mm 以上のひび割れとされている。ひび割れは時として大きな損傷に進展する。すなわち過大な繰り返し荷重による疲労、雨水の浸入、凍結融解によるコンクリートの劣化、鉄筋の腐食等により、初期ひび割れが進展すると床版としての耐久性の低下ばかりでなく、最終的には床版としての機能を失わせる結果にもなる。

(2) RC 床版の疲労損傷は、図-解 3.1 に示すような 6 段階のプロセスを経て進展する。

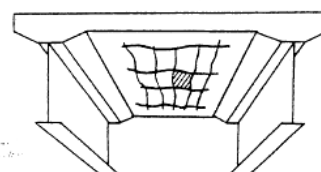
①版として挙動する初期の段階



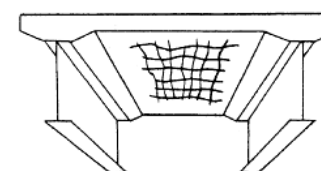
②乾燥収縮クラックの発生により並列の梁状になる段階



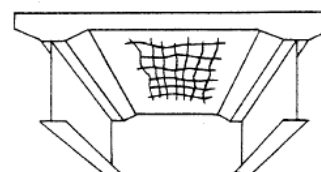
③活荷重により縦横のクラックが交互に発生し格子状のクラック密度が増加する段階



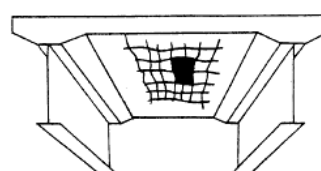
④下面から発生した曲げクラックが移動荷重の影響で上面まで貫通する段階



⑤貫通したクラックの破面同士が摺り磨き作用により平滑化されせん断抵抗を失う段階



⑥低下した押抜きせん断強度を超える輪荷重により抜落ちを生じる段階



なお、寒冷地では床版下面の劣化や損傷が進んでいない場合でもコンクリートが押し抜けたり、上面のコンクリートの砂利化や水平ひび割れなどの劣化が生じているケースがあり、上面からの点検・検査方法が求められている。

図-解 3.1 RC 床版の損傷プロセス²⁾

3.2 ひび割れ発生 の 要因分析

ひび割れは、きわめて多種多様な原因により発生する。
 したがって、設計、材料、施工に対するひび割れ対策以外に、環境条件(塩害地域、寒冷地域等)、供用条件に応じたひび割れ対策が必要となる。

過去の実績からひび割れ発生 の 要因を分類すると図-解 3.2 のように表すことができる。

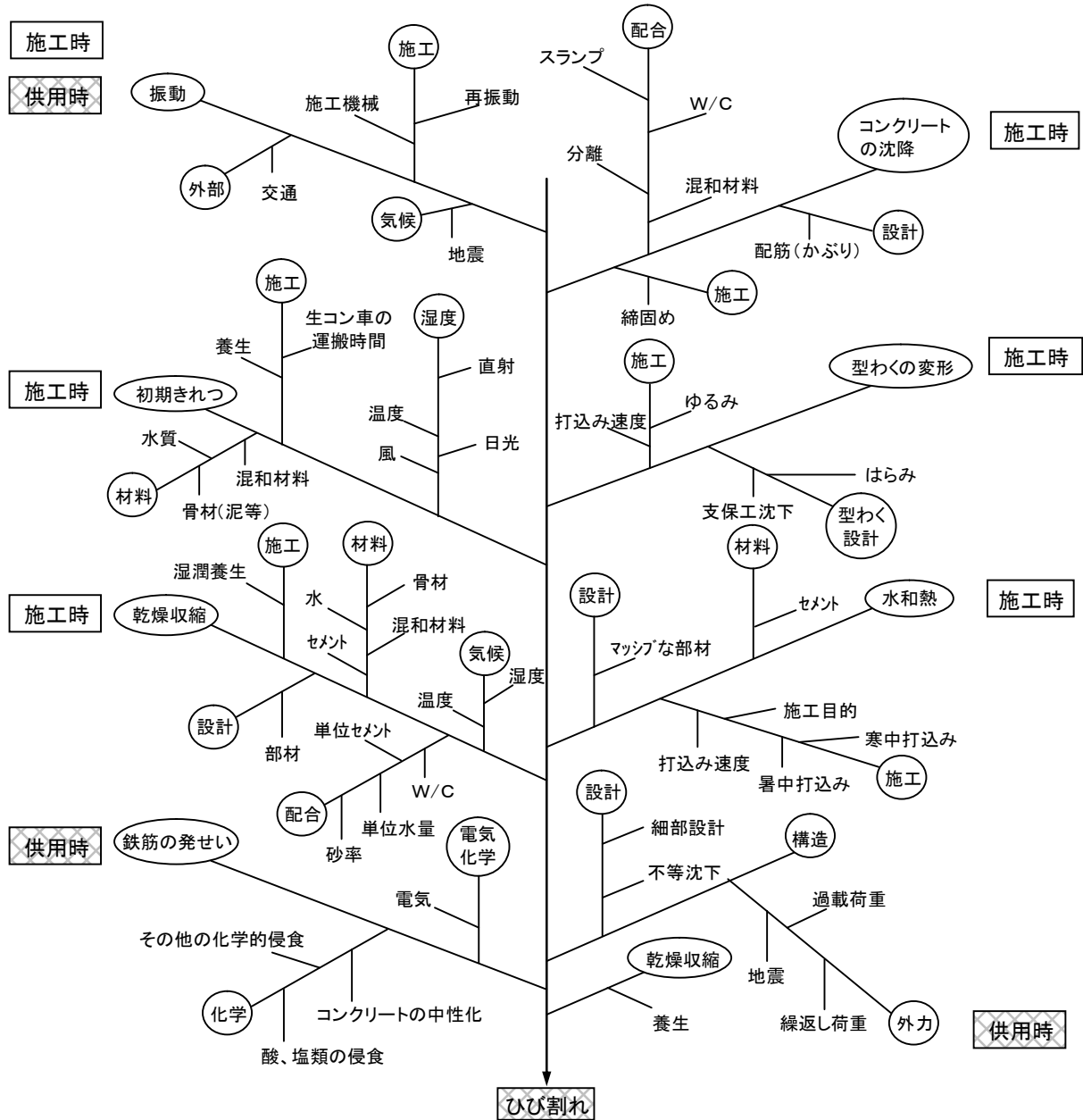


図-解 3.2 ひび割れの発生要因図

3.3 ひび割れの原因と特徴

有害なひび割れを発生させないためには、床版の施工時、供用時に予想されるひび割れの原因を検討し、その対策を講じる必要がある。

表-解 3.1 に床版に発生するひび割れの原因とひび割れの特徴を示す。

表-解 3.1 床版ひび割れの一覧表^{3),4)}

区分	ひび割れの原因		ひび割れの特徴
A コンクリートの 材料的質 に関するもの	A1	セメントの異常凝結	幅が大きく、短いひび割れが、比較的早期に不規則に発生
	A2	セメントの水和熱	断面の大きいコンクリートで、打込み後1~2週間してから直線状のひび割れがほぼ等間隔に規則的に発生。表面だけのものと部材を貫通するものがある
	A3	セメントの異常膨張	放射型の網状のひび割れ
	A4	骨材に含まれている泥分	コンクリート表面の乾燥につれて、不規則に網状のひび割れが発生
	A5	低品質な骨材	ポップアウト状に発生する
	A6	反応性骨材(アルカリ骨材反応)	コンクリート内部から爆裂状に発生。多湿な個所に多い
	A7	コンクリート中の塩化物	鉄筋にそって大きなひび割れが発生。かぶりコンクリートがはく落したりさびが流出したりする
	A8	コンクリートの沈下、ブリーディング	打込み後1~2時間で、鉄筋の上部や壁と床の境目等に断続的に発生
	A9	コンクリートの硬化・乾燥収縮	打込み後2~3か月してから発生し、次第に成長。開口部や隅部には斜めに、床版の一般部にはほぼ等間隔に発生
	A10	コンクリートの自己収縮	高強度コンクリートでは自己収縮が主要因となるひび割れが発生
B 施工に関係 するもの	B1	混和材料の不均一な分散	膨張性のものと収縮性のものがあり、部分的に発生
	B2	長時間の練混ぜ	運搬時間が長すぎた時等に発生。全面に網目状のひび割れ
	B3	ポンプ圧送時の配合の不適當な変更(セメント量・水量の増量)	A8やA9のひび割れが発生しやすくなる
	B4	不適當な打込み順序	コールドジョイントとなる
	B5	急速な打込み	B13やA8のひび割れが発生。コンクリートの沈降によって発生
	B6	不適當な締固め	振動機による締固めが不十分なために発生。軟練りコンクリートにおいて過度に締め固めた場合に砂すじができる
	B7	硬化前の振動や載荷	Dの外力によるひび割れと同様
	B8	初期養生中の急激な乾燥	打込み直後、表面の各部分に短いひび割れが不規則に発生
	B9	初期凍害	こまかいひび割れ。脱型するとコンクリート面が白っぽく、スケーリングする
	B10	不適當な打継ぎ処理	コンクリートの打継ぎ個所やコールドジョイントがひび割れとなる
	B11	鋼材の乱れ	配筋の表面にそって発生
	B12	かぶり(厚さ)の不足	配筋の表面にそって発生
	B13	型わくのはらみ	型わくの動いた方向に平行し、部分的に発生
	B14	型わくからの漏水	収縮性のひび割れとなる
	B15	型わくの早期除去	B7とB8と同じ
	B16	支保工の沈下	床版の端部上方、中央部下端等に発生
	B17	不適當な打重ね	コールドジョイントとなる

区 分	ひび割れの原因		ひび割れの特徴
C 使用・環境 条件に関係 するもの	C1	環境温度・湿度の変化	A9のひび割れに類似。発生したひび割れは温度・湿度変化に応じて変動する
	C2	コンクリート部材両面の温度・湿度の差	低温側または低湿側の表面に、曲がり方向と直角に発生
	C3	凍結融解の繰返し	表面がスケーリングを起こし、ボロボロになる
	C4	火災	急激な温度上昇と乾燥により網目状の微細なひび割れが発生。部分的に爆裂してはく落することがある
	C5	表面加熱	急激な温度上昇と乾燥により網目状の微細なひび割れが発生
	C6	酸・塩類の化学作用	コンクリート表面が浸食され、多くは鋼材位置にひび割れが生じ、一部コンクリート表面がはく落する
	C7	中性化による内部鋼材のさび	鉄筋にそって大きなひび割れが発生。かぶりコンクリートがはく落したりさびが流出したりする
	C8	塩化物の浸透による内部鋼材のさび	鉄筋にそって大きなひび割れが発生。かぶりコンクリートがはく落したりさびが流出したりする
D 構造・外力 等に関係 するもの	D1	設計荷重以内の長期的な荷重	D2と同じ。発生時期は数年から数十年
	D2	設計荷重を超える長期的な荷重	床版支間長に対して厚みが薄い床版に大型車等の積載の繰返し走行にともなう疲労により、橋軸直角方向にひび割れが発生、最終的に亀甲状のひび割れが発生
	D3	設計荷重以内の短期的な荷重	D4と同じ。発生時期は数年から数十年
	D4	設計荷重を超える短期的な荷重	(地震等；せん断) 床版のななめ方向にひび割れが発生
	D5	断面・鉄筋量不足	D2、D4と同じ。床版がたれ下がる方向に平行に発生
	D6	橋台・橋脚の不等沈下	不等沈下に追従できない床版部に発生
	D7	凍上	凍結膨張による地盤の隆起によって構造物が浮き上がる

注) 本表は参考文献に示すひび割れ一覧表をRC床版用に見直したものである。

3.4 床版のひび割れ対策

3.4.1 設計上の不備によるひび割れ

設計上の不備により起こるひび割れ防止対策としては、床版厚の不足、鉄筋量の不足、桁配置の良否、支持桁の剛度差等が考えられ、照査時のポイントとして留意する。

図面照査において、設計上のひび割れ防止対策として次の事項に留意する。

- (1) 桁配置は大型車両の車輪の軌跡を考慮しているか。支持桁の剛度差が考慮されているか（例えば箱桁と縦桁で支持される床版など）
- (2) 太径筋より細径筋を密に配筋しているか。同じ断面積(曲げ引張応力)の場合、コンクリートとの接触面積(周長)が大きい細径筋の方がひび割れ幅の制御に有効なためである。
- (3) 連続形式の場合、床版コンクリートの打込み順序が図面に明示されているか。先行で打ち込んだコンクリートに許容値以上の引張応力が入らないようにする。
- (4) 連続形式で負の曲げモーメントが作用する領域では、常に床版に引張力が働くため、ひび割れが進行しやすいので、ひび割れ制御として用心鉄筋が補強されているか。また、鉄筋の引張応力度は120N/mm²程度まで低く抑えてあるか。

3.4.2 レディーミクストコンクリート材料に起因するひび割れ

レディーミクストコンクリートの材料に起因するひび割れ防止対策としては、工場の選定、セメントの種類、水質、骨材、混和剤の種類、コンクリートの練混ぜ、塩化物の総量等に留意する。

レディーミクストコンクリート工場は、JIS 認証品を製造する工場のうち、全国生コンクリート品質管理監査会議から(適)マークを承認された工場から選定し、次の事項を考慮する。

- (1) 工場から現場までの運搬時間が出荷から打込み完了まで1時間以内が理想である。
- (2) セメントは普通ポルトランドセメントを使用するのを標準とする。
- (3) コンクリートの品質に悪影響を与える、油、酸、塩類、有機物等の物質を含まないこと。
- (4) 骨材はアルカリシリカ反応に対して「安全と認められる骨材」の使用を原則とする。
- (5) AE 剤、減水剤の他、AE 減水剤、高性能 AE 減水剤等の使用には施工時期、配合を検討し、発注機関と協議する。
- (6) コンクリートの練混ぜは正しい計量装置、均等な同時投入、ミキサの性能、練混ぜ時間等のチェック(工場設備の再確認)を行う。
- (7) レディーミクストコンクリートの塩化物イオン量の許容量は0.3kg/m³以下とする。

3.4.3 施工に起因するひび割れ

コンクリートは、不適切な施工上の要因により、ひび割れが発生するおそれがある。

施工によるひび割れが発生しないように、適切な対策にもとづく施工計画を立案するとともに、管理者による適切な管理を行う必要がある。

施工時におけるひび割れの発生原因と対策を次に示す。

(1) 沈下ひび割れ

打込み後1~2時間内でコンクリートがまだ固まらない内に表面にひび割れが発生することがある。ひび割れは鉄筋や大きな骨材粒に沿って生じることが多い。この原因は主として鉄筋真上と周辺でコンクリートの沈下量が異なることによって生じる。したがって、できるだけブリーディングの少ないコンクリート(W/Cを小さく、AE剤、減水剤等を有効に

用いたコンクリート)を用い、ひび割れが生じた場合には、沈下が終了した後、再度仕上げをすることが必要である。

(2) 乾燥収縮ひび割れ

コンクリートが乾燥し収縮する場合、骨材、鉄筋、および主桁などの拘束によって、収縮が妨げられひび割れが発生する。このひび割れを低減するためには、単位水量、単位セメント量を少なくし、骨材は、硬質で弾性係数の大きいものを使用する。また、養生完了時期、型わく解体時期をできるだけ遅くすることも乾燥収縮ひび割れを防ぐ対策である。

(3) 温度ひび割れ

セメントが水と反応するときに水和反応熱が発生する。部材が厚い場合には反応熱が内部に蓄積され、部材内外の温度差が生じてひび割れが発生することがある。また、既設コンクリートや桁上に打ち込まれたコンクリートは、硬化後の温度降下にもなって拘束を受け、さらに乾燥収縮の引張力も加わってひび割れが発生することがある。対策としては、以下の点に配慮して施工するのがよい。

- 1) 単位セメント量を少なくし、水和熱を小さくするとともに十分な湿潤養生を行う。
- 2) 高温時の施工を避ける。
- 3) コンクリートの練上り温度をなるべく下げる。

(4) 温度変化によるひび割れ

硬化中のコンクリートが急激な温度変化を受けると、内外の温度差による温度応力が生じ、ひび割れの原因となる。この温度変化によるひび割れの発生を低減するためには、適切な湿潤養生、保温養生を行う。

(5) コンクリートポンプ車および配管径選定の誤りによるひび割れ

施工計画時点で現地の地形、圧送距離、圧送高さ、打込み時期を確認し、諸条件を満足する能力を有した機種を選定を行わなければならない。能力不足の場合は配管部が閉塞するなどの圧送不可能な事態におちいり、コンクリートの打込みを中断することとなり、打ち重ね不良によるひび割れにつながる。

(6) 急速な打込みと沈下によるひび割れ

筒先から打ち込まれるコンクリートが一箇所に集中し、型枠・支保工の変形が生じたり、締固め不足によるコンクリートの沈降によるひび割れを防ぐため、適切な人員配置と応力に余裕を持たせた型わく・支保工等の設備、機材の計画が必要である。

(7) 配筋の乱れとかぶりの不足によるひび割れ

鉄筋の結束・固定個所の不足、またはスペーサの不足等による鉄筋のたわみと所要のかぶり不足から、コンクリートにひび割れが発生することがある。したがって、コンクリート打込み前に設計図に合致した検査が重要となる。

(8) 不適切な施工によるひび割れ

コンクリートの打込み時、中央分離帯鉄筋上、あるいは地覆鉄筋上に足場板等を敷設し、通路代わりとすることが多い。初期硬化前にむやみに歩行して振動を与えて配筋を乱すことがあるため、作業足場、通路等の配置状況を確認する。またコンクリート打込み時の配管支持架台が不十分な場合にも、圧送時の衝撃で鉄筋を乱すので、配管部をタイヤ等で支持個所を増やして養生することが必要である。

(9) 打継目の位置の誤り、および処理不足によるひび割れ

コンクリートの打継目は構造物の弱点となりやすいので、可能な限り少なくし、構造物の強度、水密性、外観を損なわないようにその位置、方向、施工方法を選定する必要がある。具体的には、打継ぎ方法や適切なせき板の解体時期の検討不足のほか、ゆるんだ骨材粒の除去、レイタンスの除去、新コンクリート打込み前の散水と接着剤の塗布、打継目の型わく再締付け、新コンクリートの適切な締固めに留意する。

(10) 型わくの変形と支保工の沈下によるひび割れ

コンクリート打込み時の荷重が集中する箇所や、ハンチ部の型枠の緩みの点検不足、あるいは張り出し長が大きい場合等にも支保工が変形し、ひび割れが発生することがある。型わく、支保工の設備は仮設備設計に合致したものとし、打込み時には常に型わく支保工を点検する。

(1 1) 引張強度発現前の振動と载荷によるひび割れ

連続桁のコンクリート打込み計画の検討不足、あるいは地覆、中央分離帯、壁高欄等のコンクリート打込み時、橋面へ直接ミキサ車・運搬重機等を乗り入れる場合は、コンクリートの引張強度不足からひび割れが発生することがある。

(1 2) 初期養生中の急激な乾燥収縮によるひび割れ

橋面からの水分蒸発速度が $1.0\sim 1.5\text{kg}/\text{m}^2/\text{hr}$ より多い場合、あるいは型わくからの漏水により表面にブリーディング水が浮いてこない場合等では、表面にプラスチック収縮ひび割れ（コンクリートの硬化前に、仕上げ面に生じる細かな浅いひび割れで、あらゆる方向に無差別に発生することがある）が生じやすい。この対策として次の初期養生対策が必要となる。

- 1) 気温の高い時、平均風速 $5\text{m}/\text{sec}$ 以上の風の強い時等は、初期の急激な乾燥によって、ひび割れが発生しやすいので、普通ポルトランドセメントを使用する場合は少なくとも5日間、早強ポルトランドセメントを使用する場合は少なくとも3日間は、湿潤養生を行う。
- 2) 暑中コンクリートの施工にあたっては、練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は1時間以内、コンクリートの温度はやむをえない場合でも 35°C 以下とし、打込み後少なくとも24時間は、一時的にでも表面を乾燥させることがないように湿潤状態に保ち、5日間以上の養生を行う。また、表面乾燥を極力抑えるためには、外気温の低い早朝から打込みを行ったり、被膜養生を併用したりすることも有効である。
- 3) 強風時は地覆外側に風防設備を設けるなどの対策を行う。
- 4) 寒中養生時は、急激な温度の上昇下降をしないように配慮する。とくに寒中養生時は凍結を防止するため、保温養生を行うことはもとより、シート等での全面オーニングの防風対策は有効である。なお、型枠は圧縮強度が $15\text{N}/\text{mm}^2$ 程度に達するまでは存置し、適当な保温設備のもとに養生を行う。

3.5 地覆、高欄のひび割れ対策

3.5.1 コンクリート地覆のひび割れ防止対策

RC床版のコンクリート地覆のひび割れ防止対策として、膨張材の使用、鉄筋量の増加、目地の設置、溶接金網の使用等を考慮して施工を行う必要がある。

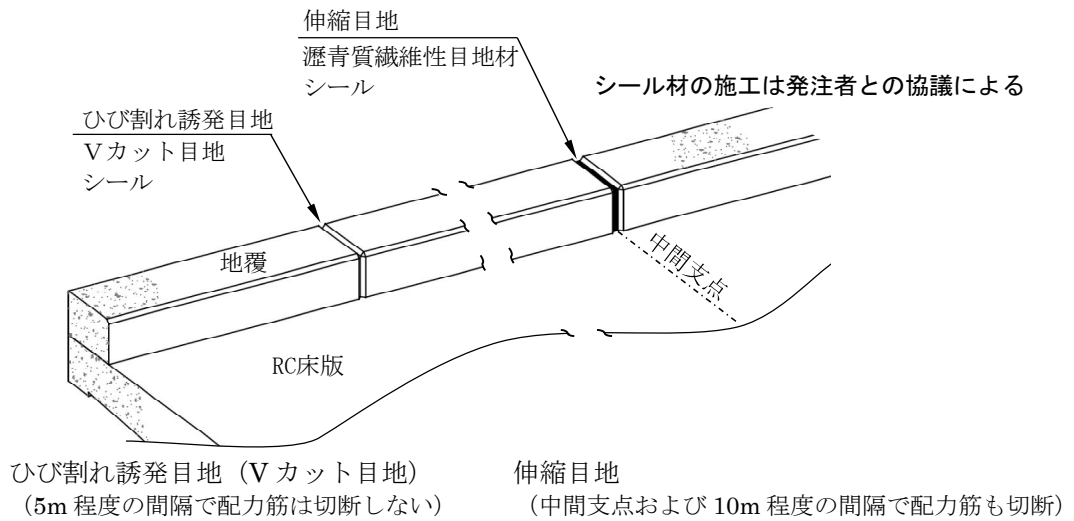
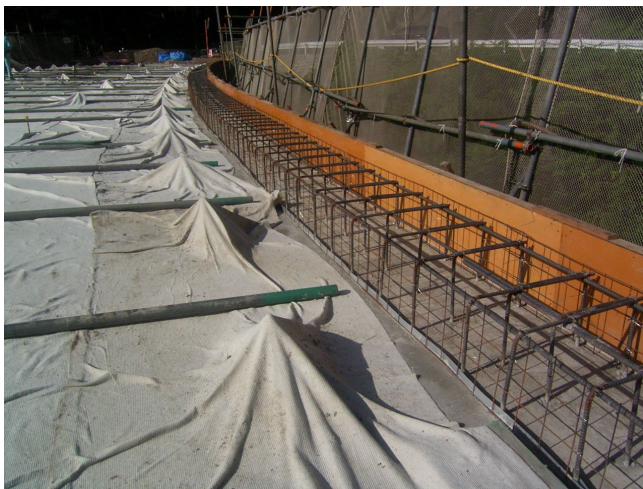


図-解 3.3 地覆の目地



配筋状況 (側面への網鉄筋の追加)



打込み時天端部配筋 (上面への網鉄筋の追加)

写-解 3.1 地覆部溶接金網設置例

3.5.2 壁高欄のひび割れ防止対策

鉄筋コンクリート壁式防護柵の場合は、連続桁の中間支点付近については伸縮目地を、支間部については5~10m 間隔程度にひび割れ誘発目地を設置しなければならない。また、壁高欄のコンクリートには収縮補償型の膨張材を添加する。

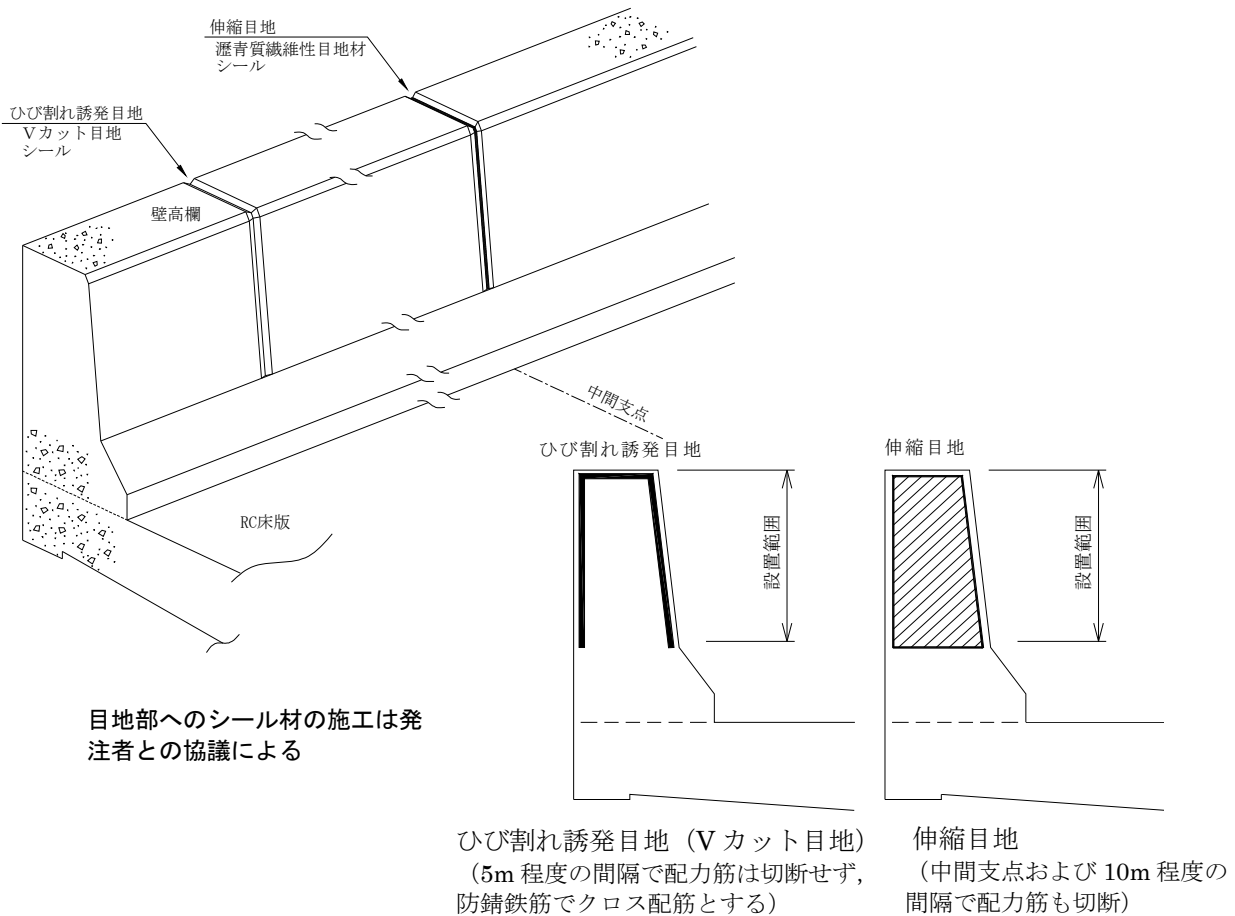


図-解 3.4 壁高欄の目地



伸縮目地挿入状況



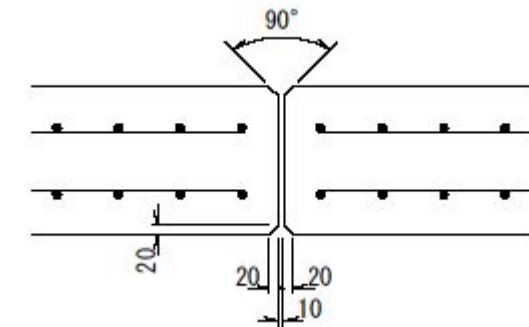
シール施工

写-解 3.2 壁高欄部目地設置例

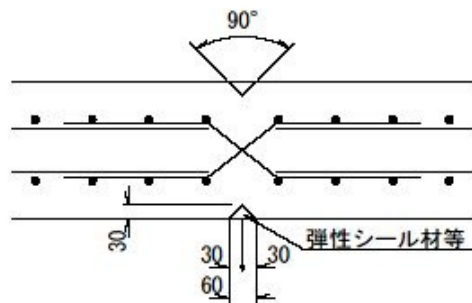
3.5.3 地覆・壁高欄のひび割れ防止対策構造例

地覆・壁高欄の構造を決めるにあたっては、次に紹介する構造例を参考として、有害なひび割れを防止する。

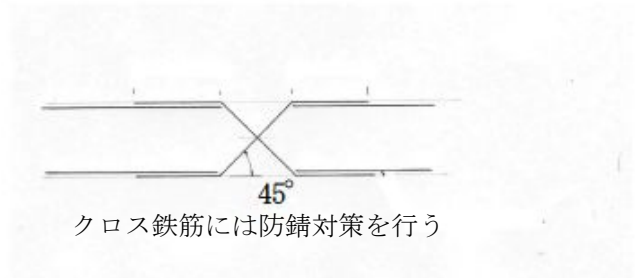
壁高欄のひび割れ抑制を目的に設置する伸縮目地・ひび割れ誘発目地の配筋は、図-解 3.5 に示すような構造とする。



(a) 伸縮目地部詳細図



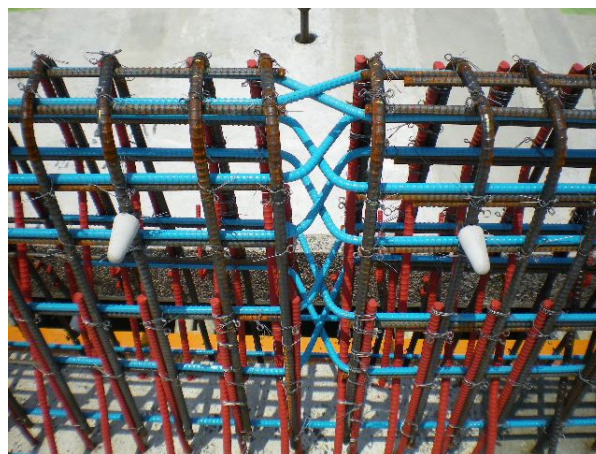
(b) ひび割れ誘発目地部詳細図



クロス鉄筋には防錆対策を行う

図-解 3.5 目地部詳細図

伸縮目地は、原則として10m 間隔以下とし、中間支点上にも設置するものとする。目地の厚さは、 $t=10\text{mm}$ を標準とする。また、ひび割れ誘発目地（Vカット目地）は、5m 間隔を標準として30mm 程度の深さとする。さらに、ひび割れ誘発目地部は積極的にひび割れを集中させることを目的としていることから、内部の鉄筋（クロス筋）は防錆対策としてエポキシ樹脂塗装鉄筋等を使用する（写-解 3.3）。



写-解 3.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたクロス筋の例

4. 運搬・受入れ

コンクリートの運搬・受入れは、骨材の品質、セメントの種類、混和材料の種類、コンクリート温度、気象条件、圧送距離などによって異なるが、コンクリートの性状変化が少ない品質を確保した運搬・受入れが行えるよう配慮することが必要である。

(1) 施工フロー

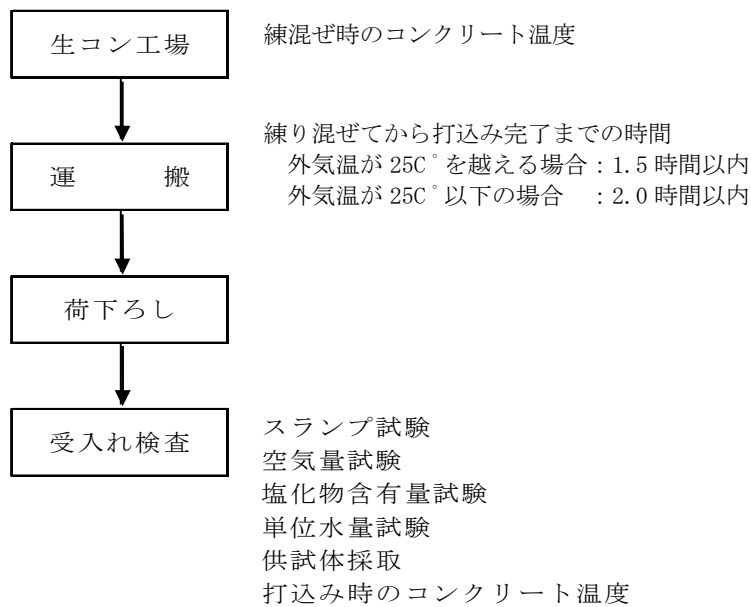


図-解 4.1 運搬、受入れの施工フロー

(2) 寒中コンクリート施工では、プラントから現場までの運搬、現場内での待機および荷下ろしまでの過程に要する時間とその間の温度低下を事前に確認する。

床版コンクリートは部材が薄く、打込み後に急冷されて凍結する恐れがあるため、コンクリートの最低打込み温度は 10℃程度を確保する。

打込み時のコンクリート最低温度および運搬時の温度低下を考慮した練混ぜ時および打込み時のコンクリートの最低温度は表-解 4.1 を標準とする。

表-解 4.1 寒中コンクリート施工時のコンクリート温度の標準⁵⁾

断面		薄い場合
打込み時のコンクリート最低温度(℃)		13
練混ぜ時のコンクリート最低温度(℃)	気温-1℃以上	16
	気温-1℃~-18℃	19
	気温-18℃以下	21

※断面が薄い場合とは、部材の最小寸法が300mm以下

また、運搬時のコンクリート温度の低下を抑える参考例として写-解 4.1 に示すアジテータ（車）にドラムカバー等を使用して保温効果が高めることが望ましい。



写-解 4.1 アジテータ車のドラムカバー装着例[NETIS:CG-110012-A]

- (3) アジテータ（車）は、運搬中に振動による材料分離を防ぐため、低速で攪拌することが義務づけられているが完全に分離を防げるとは限らない。そこで、現場に到着したら必ず15秒程度、高速攪拌を行う。
- (4) 冬期の運搬は、路面に散布された凍結防止剤によりアジテータ（車）が走行中に巻上げシュート部分へ付着し、打込み時にレディーミクストコンクリートと混入しないよう供給前に水洗いする必要がある。

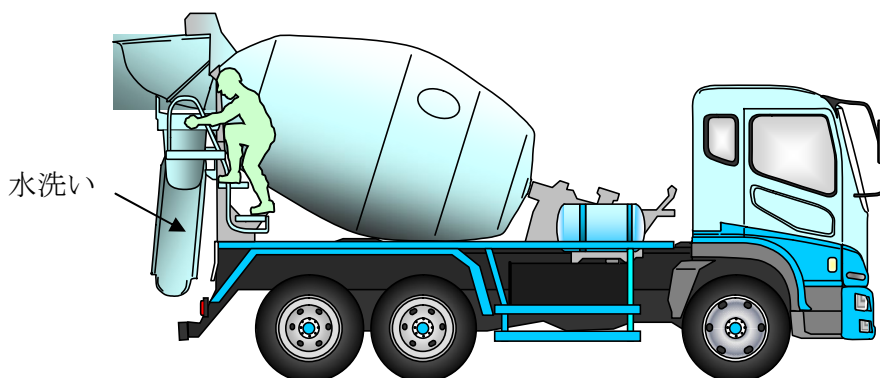


図-解 4.1 シュート部の水洗い

- (5) 暑中及び寒中コンクリートで施工する場合には、外気温の影響により閉塞する恐れがあるため、配管を断熱シート等で覆いする。
- (6) アジテータ（車）からコンクリートポンプ車のホッパに供給する際には、天候の変化を考慮し必要に応じて仮設の屋根を設けるなど対策を行う。

(7) 練上がりの目標スランプの設定は、「2012年度制定 コンクリート標準示方書 施工編」によれば、現場までの運搬時間とスランプの低下量については、レディーミクストコンクリートを対象とした実態調査により、標準期(春、秋)において運搬時間30分当たり概ね1cm程度が目安となる。冬期は、運搬時間60分までで1~1.5cm程度が目安となる。なお、夏期は運搬時間30分当たり概ね1.5cm程度が目安となる。

また、圧送に伴うスランプの低下の目安は、表-解4.2に示す圧送条件、最小スランプ、環境条件等の諸条件に応じたスランプの低下量を見込む。なお、既往の実績や試験圧送等の参考となる資料がある場合には、それらの情報に基づいてスランプの低下を定めるのがよい(但しスランプを増加させるには高性能AE減水剤を使用する)

表-解4.2 施工条件に応じたスランプ低下の目安⁶⁾

圧送条件		スランプの低下量	
水平換算距離	輸送管の接続条件	打込みの最小スランプが12cm未満の場合	打込みの最小スランプが12cm以上の場合
50m未満 (バケット運搬含む)		—	—
50m以上150m未満	—	—	—
	テーパ管を使用し100A(4B)以下の配管を接続	0.5~1cm	0.5~1cm
150m以上300m未満	—	1~1.5cm	1cm
	テーパ管を使用し100A(4B)以下の配管を接続	1.5~2cm	1.5cm
その他特殊条件下		既往の実績や試験圧送	

注) 日平均気温が25℃を超える場合は、上記の値に1cmを加える。

連続した上方、あるいは下方の圧送距離が20m以上の場合は、上記の値に1cmを加える。

(8) コンクリートの空気量は、運搬や圧送によって若干減少する傾向がある。減少量は気象条件、圧送条件、骨材の品質、混和材料の種類などによって異なる。参考として図-解4.2に空気量の経時変化の測定例を示すが、一般に30分程度の運搬中に0.5%程度減少する。図-解4.3に圧送前後の空気量の変化の測定例を示すが、圧送による空気量の減少は、圧送距離が100m程度の場合ではほとんど認められないが、圧送距離が150m以上の場合には0.5~1.0%程度減少することが多い。この値を参考に練り混ぜ直後の空気量を設定し、荷下ろし時の空気量4.5%を確保する。

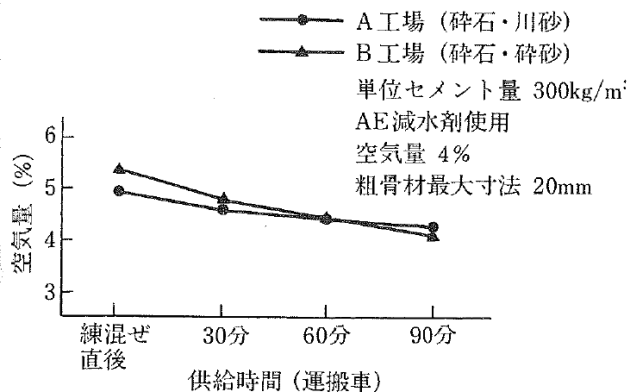


図-解4.2 空気量の経時変化の測定例⁷⁾

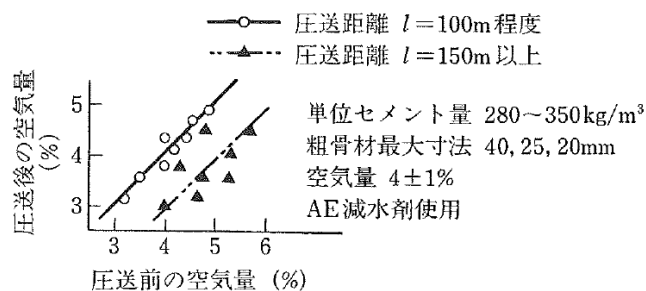


図-解4.3 圧送前後の空気量の変化の測定例⁷⁾

(9) 現場に到着したコンクリートの品質は、測定試験により表-解 4.3 に示す品質確認項目を管理する。この品質基準を確保できないと判定されたコンクリートは使用しない。

表-解 4.3 品質確認項目と品質基準

スランプ (cm)	空気量 (%)	塩化物含有量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)
8±2.5	4.5 (±1.5)	0.3	55 以下	配合設計 (±15)

- 1) 指定スランプは荷下し地点とする。 *単位水量の上限値は 175kg/m³
- 2) 粗骨材の最大寸法は 20 cm～25 cm である。
- 3) スランプ又はスランプフロー、及び空気量的一方又は両方が許容の範囲を外れた場合には、新しく試料を採取して 1 回限り試験を行い、その結果が規定にそれぞれ適合すれば合格とする。その規定に適合しない場合には、そのアジテータ(車)を返却する。
- 4) 単位水量は以下の許容値で管理する。
- 配合設計±15 kg/m³を超え±20 kg/m³の範囲にある場合は、水量変動の原因を調査しプラントに改善を指示し、そのアジテータ(車)のコンクリートを打設する。その後、配合設計±15 kg/m³以内で安定するまで、アジテータ(車)の 3 台毎に 1 回、単位水量を測定する。
 - 配合設計±20 kg/m³の指示値を超える場合は、アジテータ(車)を返却する。なお、水量変動の原因を調査しプラントへ改善を指示し、その後の全アジテータ(車)の測定を行い、配合設計の±20 kg/m³以内になることを確認する。更に、配合設計±15 kg/m³以内で安定するまで、アジテータ(車)の 3 台毎に 1 回、単位水量を測定する。
 - なお、管理値または指示値を超える場合は 1 回に限り試験を実施することができる。再試験を実施したい場合は 2 回の測定結果のうち、配合設計との差の絶対値の小さい方で評価してよい。
- 5) スランプの増加には、加水するのではなく、高性能 AE 減水剤により流動性を確保するものとする。

5. 打込み・締固め

- (1) コンクリートの打込みは、コンクリートに材料分離やワーカビリティーの低下が生じて、打込み作業が中断しないように打込み区画、打込み方法、打込み速度、打込み順序、打重ね時間間隔等を考慮して行わなければならない。
- (2) 寒中コンクリートの施工に当っては、コンクリートが凍結しないように、打込み温度、打込み完了時間について管理しなければならない。
- (3) 締固めは、締固め方法、振動機の種類・台数、要員数等について事前に検討してから実施する。

- (1) コンクリートの打込みは、コンクリートの供給能力、コンクリートの打込み工程、床版の形状、打込み能力、型枠、打継目の位置等を考慮し、コンクリートの打込み区画、打込み方法、打込み速度、打込み順序、打重ね時間間隔などについて定めて実施する必要がある。

特に床版コンクリートは打込み面積が広いので、コールドジョイントの防止に留意する必要がある。コールドジョイント部分は強度が弱くなるとともに、中性化がコールドジョイント部から内部まで進行し、鉄筋の腐食を早期に引き起こす要因となるため、許容打重ね時間間隔を見極めて、打込み速度、打込み順序、適切な人員配置を考慮して施工しなければならない。

床版コンクリートの打設方向は、図-解 5.1 のように、通常折り返しながら連続して打設を行っていくが、広幅員の場合など打重ね時間間隔が長くなる場合、コールドジョイントの発生を防ぐために橋軸直角方向へ片押し施工するのが望ましい。許容打重ね時間間隔は、セメントの種類、混和剤の種類及び使用量、コンクリートの温度、外気温度等により異なる。一般のコンクリートの場合、打重ねは表-解 12.5.1 に示した時間内に行うことを標準とする。

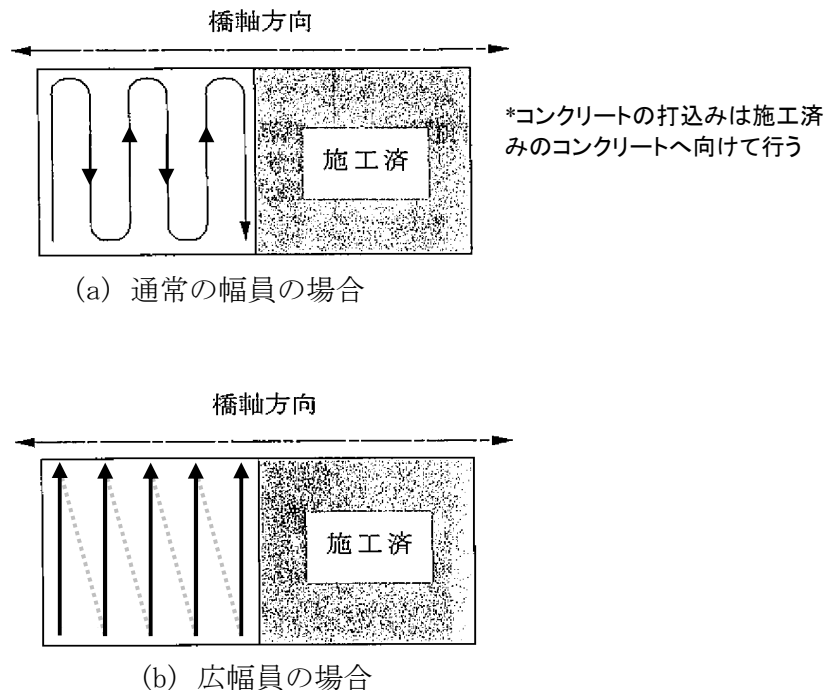


図-解 5.1 床版コンクリート打設方向

表-解 5.1 許容打重ね時間間隔の標準⁶⁾

外気温	許容打重ね時間間隔
25℃以下	2.5 時間
25℃を超える	2.0 時間

注) 打重ね時間間隔は、コンクリートを練混ぜ始めてからコンクリートの打込みが完了し、静置時間をはさんで次のコンクリートが打重ねられるまでの時間とする。

また、塩害対策としてかぶり厚の確保が重要となる。所定のかぶりを確保するために、スペーサー（モルタル製）を適切な間隔で、かつ適切な位置に設置（4個/m²以上）し、打設時に移動しないよう堅固に鉄筋と固定する。定規用鉄筋（打設高管理等に使用）や型枠セパレータがかぶり内に残らないようにするとともに、これら撤去後の跡穴には膨張モルタル等を入念に充填する必要がある。

(2) 寒冷地より寒中コンクリートとしての施工に配慮する必要がある。日平均気温が4℃より低い場合には、硬化が著しく遅くなるばかりでなく、温度が急に低下する場合にコンクリートが凍結する恐れがある。このため、打込み時には、適切なコンクリート温度を確保する必要がある。特に床版コンクリートは打込む面積が広く、断面が薄いため、コンクリートの打込み温度は、10℃程度を確保する必要がある（前章 表-解 4.1 参照）。

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。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想定した強度が得られず、耐久性、水密性等が著しく劣ったものとなる。特に床版コンクリートは打込み面積が広いため、養生時間を考慮し、適切な打込み完了時間を設定する必要がある。ここで、図-解 5.2 の床版コンクリート打込み時のタイムスケジュール例に示す通り、同じ施工量で比較すると寒中コンクリートは長時間の作業となるので、作業員の増員、または施工量

・コンクリート打込み量：150m³
 ・コンクリートポンプの標準打込み量：20～30m³/h（時間当たり打込み量：30m³/hで算出）

標準コンクリート

工種	時間													
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	
打込み準備														
打込み・締固め			150m ³											
表面仕上げ			敷きならし・荒仕上げ				こて仕上げ							
養生														
跡片付け														

寒中コンクリート

工種	時間													
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
打込み準備														
打込み・締固め			150m ³											
表面仕上げ			敷きならし・荒仕上げ				こて仕上げ							
養生														
跡片付け														

※寒中コンクリートは標準コンクリートに比べて硬化が遅いため、上記の表よりも養生完了時刻が遅くなる場合がある。これにより、コンクリートの凍結が懸念される場合は、日当り打込み量を減らしたり、2パーティ施工などで打込み完了時刻を早める、または養生用の上屋設備を設置するなどの現場条件に合わせた検討が必要がある。

図-解 5.2 床版コンクリート打込み時(標準・寒中)のタイムスケジュールの一例

の低減(=施工期間の増加)を検討すると共に、発注者と適切に協議を行う必要がある。

また、コンクリートの打込み時には、打込む部分にある氷雪を完全に取り除かなければならない。特に鉄筋、型枠等に氷雪が付着してはならない。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、一度溶かした水がさらに凍結することもあるので注意が必要である。プロパンガス、灯油等のバーナ、ヒータ等を併用するのも一つの方法である。なお、溶けた水および溶かすために使用した水は、コンクリートの打込みまでに取り除いておかなければならない。床版コンクリートでは打込み場所が覆われていない場合が多いので、氷雪を溶かす作業はコンクリート打込み作業の直前に行う必要がある。

(3) コンクリートの締固めは、コンクリートを密実にするとともに、鉄筋との付着を良くし、型枠の隅々までコンクリートをゆきわたらせるために行うものであり、打込み作業の良否を決める重要な作業である。従って、コンクリートの締固めにおいては、床版の形状、コンクリートの供給速度、打込み方法、打込み能力、打込み速度等を考慮して、締固め方法、振動機の種類・台数、要員数等を適切に定めなければならない。

床版コンクリートの締固めは、内部振動機(バイブレータ)を用いるものとし、打込んだコンクリートに様な振動が与えられるように、あらかじめ振動機の挿入深さ、挿入間隔、振動時間等を定めておく必要がある。内部振動機の挿入間隔は50cm以下とし、均等に締固めを行う。1箇所当りの振動時間は5~15秒を目安とし、コンクリートが材料分離を起こさないようにする。なお、表-解5.1の表を目安とするとよい。



写真-解5.1 内部振動機の挿入間隔の管理事例

コンクリートは連続して打込むことが原則であるが、床版コンクリートは打込み面積が広いので打重ねが生じてしまうので、打重ね部は振動機を下層のコンクリートまで挿入し、上下層が一体となるように施工する。

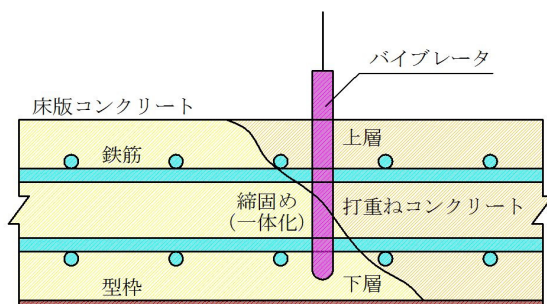


図-解5.3 打重ね部締固め要領

表-解5.1 内部振動機の影響範囲

バイブレーターの種類				振動影響範囲(cm)		
分類	棒径(mm)	振動数(rpm/Hz)	振幅(mm)	スランブ(cm)		
				15	10	5
小型	38	8000/133	2~3	15	12	10
				25	20	17
大型	60	8000/133	1.8~2.0	50	35	22
	60	12000/200	0.2~1.5			

(資料:大島・亀田・毛見・平賀「高強度コンクリートの打込み振動効果に関する実験的研究」日本建築学会関東支部第39回学術研究発表会)

締固め不足であった場合、ジャンカや充填不足が発生する恐れがある。ジャンカが生じた部分は、コンクリートの中酸化抑制をほとんど示さず、鉄筋の腐食を早期に引き起こす要因となるため、入念な施工が必要である。また、過密配筋など充填が困難な箇所では、必要に応じて透明型枠や充填感知センサーを活用することも有効である。

【参考】（P5で説明した1日の目安である150m³の施工量）

参考として、バイブレータ台数の算出と標準的な人員配置を以下に記述する。

○ バイブレータ台数の算出（例）

コンクリート打設速度：30m³/h（約8分/1台）、最大打設厚さ：25cmとした場合のバイブレータ必要台数を算出する。

$$30\text{m}^3/\text{h} \div 0.25\text{m} = 120\text{m}^2/\text{h}$$

締固め間隔 0.4m×0.4m として

$$120\text{m}^2/\text{h} \div (0.4\text{m} \times 0.4\text{m}) = 750 \text{箇所}/\text{h}$$

1箇所当り所要時間 10秒として

$$750 \text{箇所}/\text{h} \div (3600\text{s} \div 10\text{s}/\text{箇所}) = 2.1 \text{台}$$

従って、振動機は3台必要となる。

○ 人員配置計画（ポンプ車1台当り）

ポンプ車1台当りの標準的な人員配置は下記とする。

- ・ 作業指揮者：1名（打設作業全体の指揮）
- ・ 筒先管理者：2～3名（ポンプ車先端のホース管理）
- ・ バイブレータ担当①：2名（締固め・配線持ち）
- ・ バイブレータ担当②：2名（締固め・配線持ち）
- ・ バイブレータ担当③：2名（締固め・配線持ち）
- ・ 仕上げ担当（左官工）：4名（荒仕上げ・仕上げ）
- ・ 雑工：2～4名（清掃・型枠支保工点検他）
- ・ 合計：15～18名

但し、実際の工事においては、コンクリート供給速度や打設方法、床版形状などを勘案し、適切な人員配置を行うものとする。コンクリート打設人員配置図の一例を図-解 5.4 に示す。

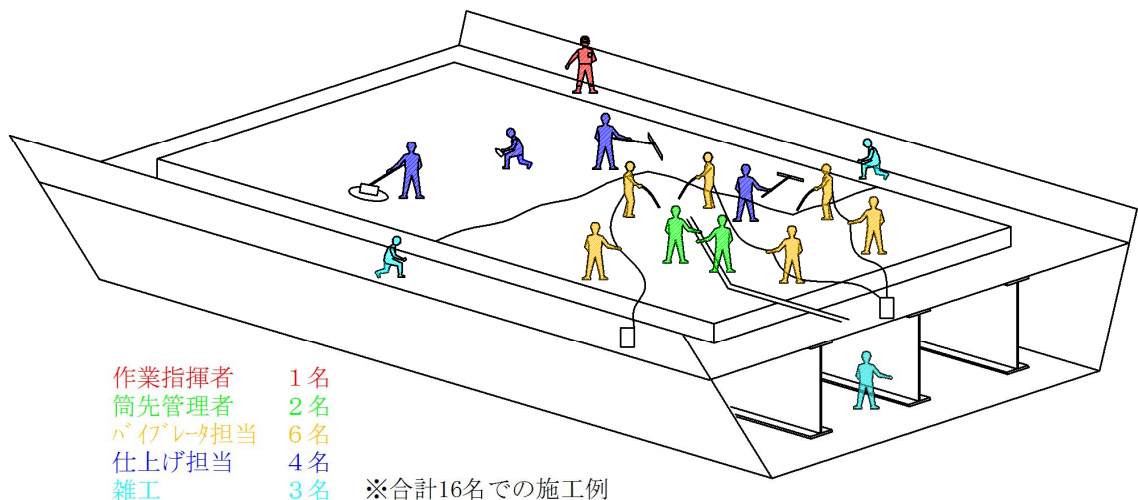


図-解 5.4 コンクリート打設人員配置図の一例

6. 仕上げ・養生

- (1) 床版コンクリートの仕上げは、平坦性を確保するとともに床版上面に滞水が生じないように配慮するものとする。
- (2) 凍害や塩害が生じる恐れがある場合、コンクリートの養生を十分に行うとともに、膜養生を併用するものとする。
- (3) 厳冬及び積雪地方において寒中養生を行う場合には、積雪やコンクリートの凍結に対する対策を行うものとする。
- (4) 膨張コンクリートを使用する場合には、養生期間中に十分な散水を行い、養生期間は少なくとも5日以上行うものとする。

(1) 床版コンクリートの仕上げは、耐久性の向上に大きく影響するため、平滑で密実な表面となるように仕上げる必要がある。特に寒冷地においては、床版上面に凹凸があると凹部に滞水が生じ、凍結融解作用により舗装や防水層に損傷を及ぼす原因となる。そのため、表面仕上げは平坦性を確保するとともに、床版上面に滞水が生じないようにすることが重要である。また、床版上面の滞水は平坦性のみならず縦横断勾配にも影響されるため、勾配の小さい範囲については平坦性の管理値を厳しくするなどの配慮が必要である。

そこで、高さを管理する定規用鉄筋を密に配置し（図-解 6.1）、荒仕上げ時、羽子板などの作業時に、定規用鉄筋間も高さ精度を向上させる必要がある。なお、鉄筋に直接定規用鉄筋を設置する場合は、作業者の体重で鉄筋が沈下することがあるので、スペーサ、間隔保持用鉄筋（たな筋）を直下に配置する等の対策が必要である（写真-解 6.1）。

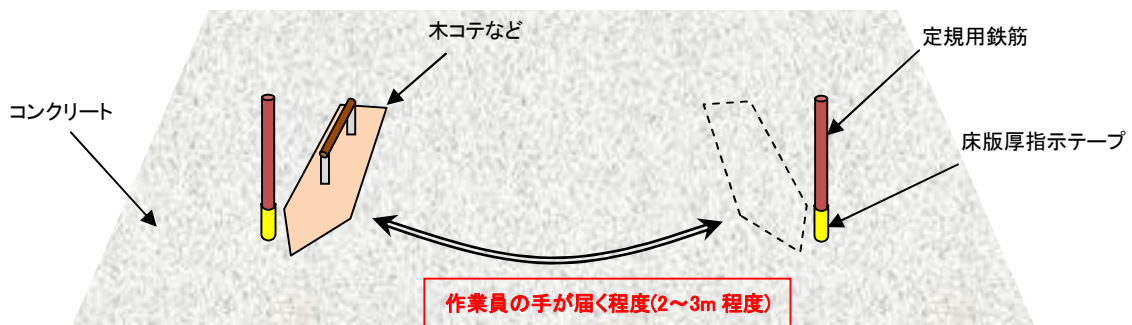


図-解 6.1 定規用鉄筋等による平坦性向上の例

(2) 凍害の原因となる融雪水や、塩害の原因となる塩化物をコンクリート中にできるだけ浸透しないようにするためには、コンクリート表面を緻密にすることが重要であり、図-解 6.2 に示すように湿潤養生期間はコンクリートの水密性に影響する。そのため、凍害や塩害が生じる恐れがある場合は特に長期の養生が必要であり、十分な湿潤養生を行うとともに膜養生を併用し品質を確保しなければならない。

なお、膜養生として被膜養生剤を使用する場合、噴霧器またはジョウロ（シャワータイプのノズル付き）を使用し、均一に散布する必要がある。また、散布量は目盛りで管理するなどの方法で必要最小限とする。過度な散布量や不均一な散布、およびブリーディング水発生前での散布は表面のムラ等の要因となるので注意する必要がある。



写真-解 6.1 たな筋による沈下防止

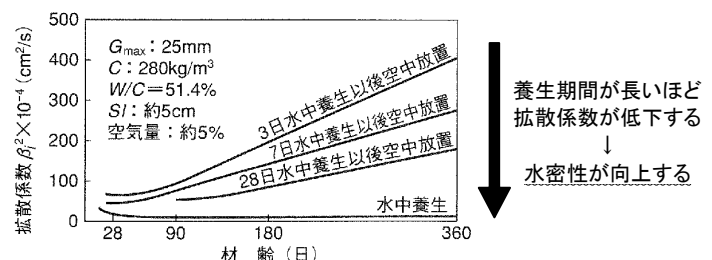


図-解 6.2 湿潤養生期間とコンクリートの水密性⁸⁾

その他、養生における留意事項を以下に示す。

1) 養生開始時期

養生の開始時期は、コンクリート表面を荒らさないで作業ができる程度に硬化した状態になった時点が適当であるが、ブリーディング水の通り道や、表面の乾燥に伴う微細なひび割れは、その後の養生では改善しないため、コンクリートの表面を緻密にするためには、3. によるブリーディングの少ない配合を用いるとともに、最終仕上げを確認した後、速やかに湿潤養生を行うことが重要である。

2) 養生期間中

湿潤養生を行う際には、露出したコンクリート表面から水和反応に必要な水分が逸散するため、床版上面を養生用マット等ですき間のないように覆い、散水し常に湿潤状態を保つ必要がある。風による養生マットの飛散防止対策として、足場板や網鉄筋等で養生マットを押さえる方法なども検討すると良い。

湿潤養生期間中は、定期的にコンクリート表面の湿潤状態を確認し、必要に応じて水分の補給を行うが、日射や風など気象条件により急激に乾燥が進むことが予測される場合には、湿潤状態の確認間隔を短くするなどの対策を行う。特に水和反応が急激に進行する若材齢時には、コンクリート表面を乾燥させないように十分な注意が必要である。

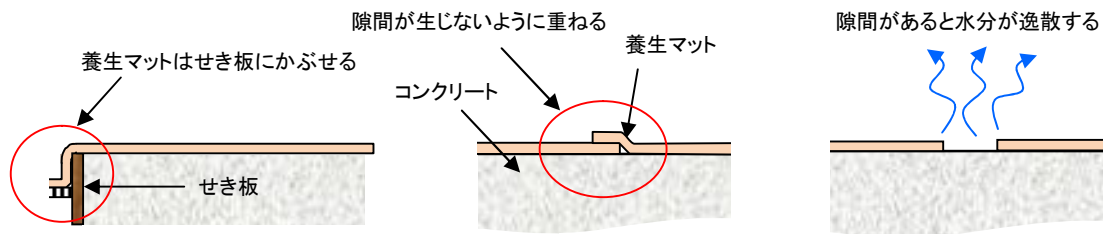


図-解 6.3 養生マットの設置



写真-解 6.2 養生マット施工状況

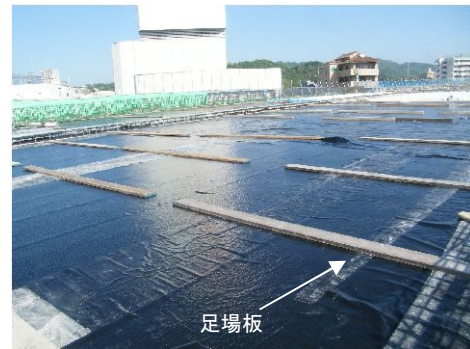


写真-解 6.3 養生マット飛散防止例

3) 養生終了時期

湿潤養生の必要期間は、セメントの種類や使用する養生方法、環境条件などを考慮して定めることが基本となるが、標準的な湿潤養生期間は表-解 6.1 に示すとおりである。

コンクリートの品質を向上させるためには、施工の効率性や経済性等に悪影響を及ぼさない範囲で、なるべく湿潤養生期間を長くすることが望ましく、型枠および支保工の取り外しに必要な圧縮強度が早期に得られた場合でも、表-解 6.1 に示す養生期間は湿潤状態を保つ必要がある。

なお、寒中コンクリートなどで、表-解 6.2 に示す標準の湿潤養生期間を厳守することに加え、円柱供試体 (TP) を採取して強度を確認するのが良い。ただし、TP は風の影響を受けやすく、実構造 (床版) と養生条件が異なると発現強度に差が生じるので、主桁間などの環境下で、封かん養生を行って類似の条件に揃える必要がある。

表-解 6.1 湿潤養生期間の標準⁶⁾

日平均気温	普通ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント
15℃以上	5日	3日
10℃以上	7日	4日
5℃以上	9日	5日

表-解 6.2 所要の圧縮強度を得る寒中養生期間の目安⁶⁾

構造物の露出状態	セメントの種類		
	養生温度	普通ポルトランドセメント	早強ポルトランドセメント
連続してあるいはしばしば水で飽和される状態	5℃	9日	5日
	10℃	7日	4日

注) W/C=55%の場合

4) 養生マット

養生マットには、保水性能を向上したものや保温性能を付加したもの、傾斜面においても湿潤養生が可能なものなど様々な種類が商品化されているが、それぞれの特徴が養生を行う目的や施工条件に適合するものを選定する必要がある。例えば、気温が低い時期等において温度ひび割れの発生が懸念される場合には、保温効果を持つ養生マットが有効であるが、気温があまり低下しない場合、その保温効果により水和反応に伴う発熱によって構造物の温度が大幅に上昇し温度ひび割れを生ずることがある。また、養生マットの撤去後に、急激なコンクリート表面の温度低下が発生しないように撤去時期を考慮する必要がある。

(3) 日平均気温が4℃以下になることが予想される場合には、寒中コンクリートとして施工する必要があり、気温が0℃以下となる場合には、コンクリートが凍結し初期凍害をうけるおそれがある。初期凍害をうけたコンクリートは、その後、適切な養生を行っても所定強度を発現することなく、耐久性、水密性が著しく劣ったものとなる。また、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、凝結及び硬化反応が相当に遅延するため、早期に施工荷重を受けた場合に、ひび割れや損傷などの悪影響を生じやすくなる。

初期凍害の原因となる積雪やコンクリートの凍結を防止するためには、適切な給熱養生を行うとともに、床版上に屋根を組み立て、足場やシート等により桁全体を覆うことが有効である。このような対策を行う場合、桁端や出入り口付近などで温度差が生じないように注意する必要がある。



写真-解 6.4 厳冬及び積雪地方での寒中養生の例

(4) 膨張コンクリートを使用する場合、養生期間中は十分な水分が必要であるため、通常のコンクリートに対する湿潤養生よりも長めに散水する必要がある。また、養生期間は所要の膨張率を得るために少なくとも5日以上必要であり7日を推奨する。

参考にコンクリートの打込みから仕上げまでのフローを図-解 6.2 に示す。コンクリートの配合や現場の条件により、コテ仕上げの作業性を向上させたい場合などはパワートロウエルによる再仕上げを加えてもよい。

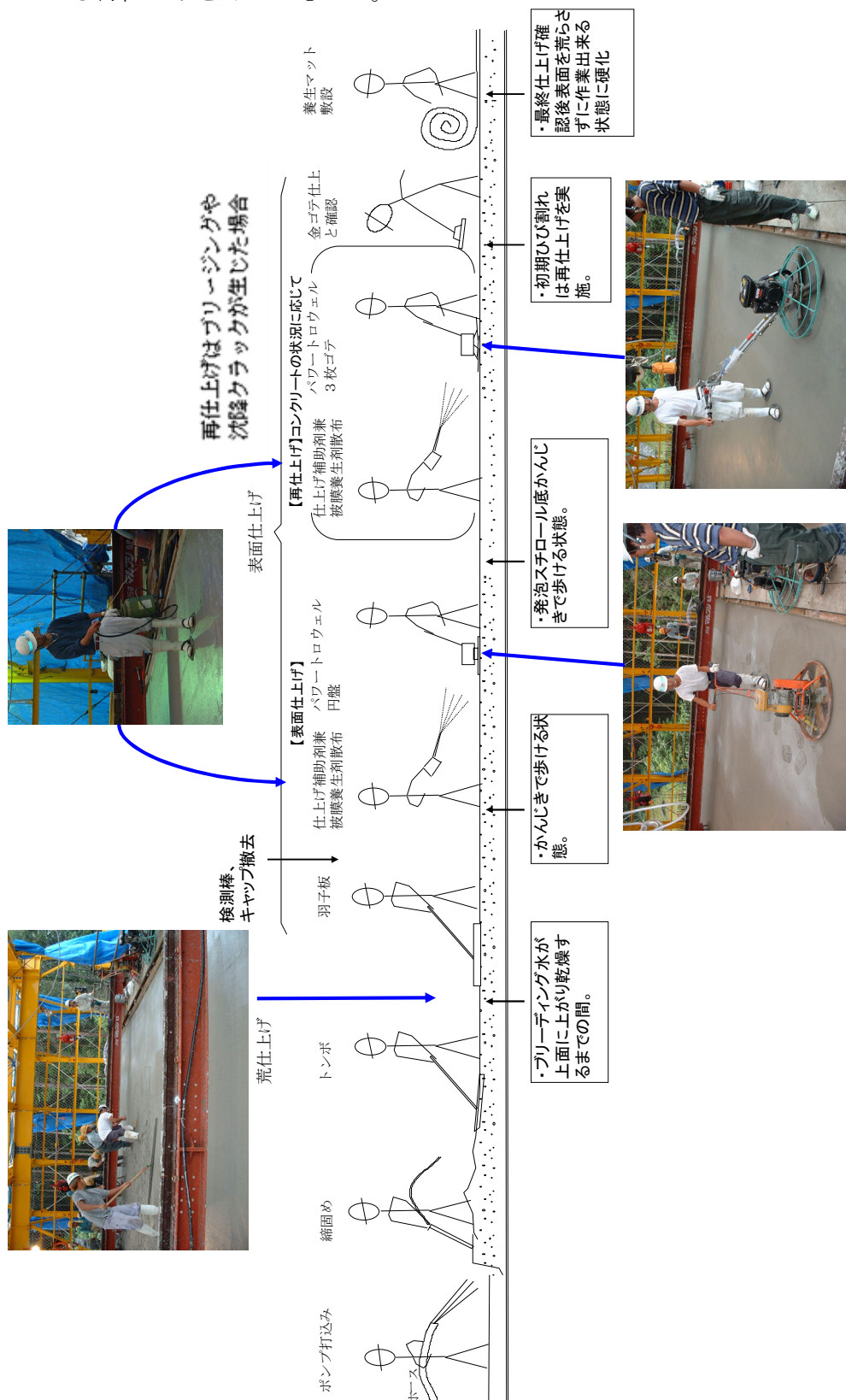


図-解 6.2 打込みから仕上げまでのフロー

7. 打継目

床版の打継目はひび割れ、漏水等の施工上の弱点となりやすく、雨水や塩分の浸入を伴う場合は鉄筋を腐食させ、劣化の原因となる。特に寒冷地では次に示す事項に留意して施工する必要がある。

- (1) 打継目は凝結遅延剤を使用し、ワイヤーブラシ・タガネ・高圧水などでレイタンスやゆるんだ骨材などを完全に取り除き、十分吸水させる。
- (2) 床版と地覆または壁高欄との水平打継目にも(1)と同様のレイタンス処理を行って打継目の一体化を図る。さらに、打継目には漏水対策を施す必要がある。

(1) 打継目のレイタンス処理等が不十分な場合、所定の強度、耐久性、水密性が得られないので注意する。ここで、打継目の処理にはチップングによる方法もあるが、床版厚が薄い場合は床版の品質を損ねたり、鉄筋が密に配置されている場合は大変な労力と困難を伴う。したがって、コンクリートの打込み前に型枠表面に凝結遅延剤などを塗布し、翌日脱型後にワイヤーブラシ・タガネ・高圧水などで打継目を粗面に仕上げる方法を用いるのがよい。

なお、高圧水によるレイタンスの除去作業は多量の処理水が発生するため、排水処理にも十分配慮する必要がある。ポンプやバキュームクリーナを使用する場合は、事前に性能や作動状況を確認しておく。以下に打継目の処理例を示す。



写真-解 7.1 せき板設置・凝結遅延剤塗布状況



写真-解 7.2 高圧水によるレイタンス処理状況

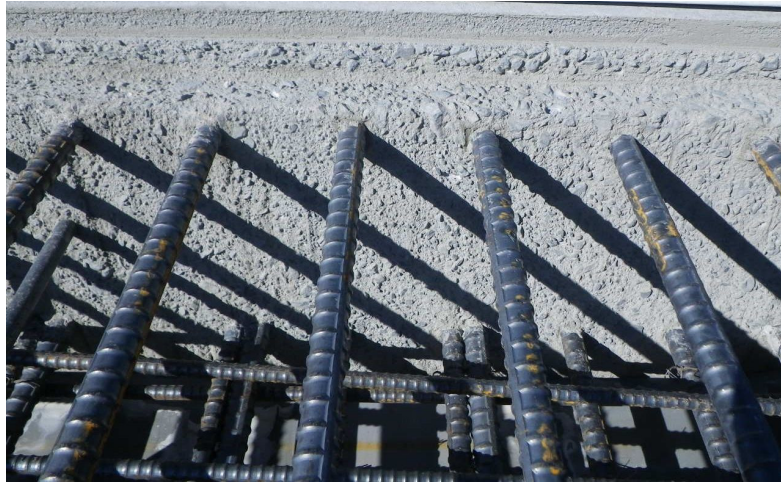


写真-解 7.3 打継目処理後の状況

新コンクリートを打継ぐ際は旧コンクリートには前日から十分吸水させておく。また、旧コンクリートの打継目は表面処理の後、富配合のモルタルあるいは湿潤用エポキシ樹脂接着剤などを塗り、直ちにコンクリートを打継ぐなどの配慮が必要となる。



写真-解 7.4 打継目への接着剤塗布状況

(2) 床版と壁高欄との水平打継目の一体性確保のため、表面水がひいた後に凝結遅延剤を散布し、翌日高压水にて表面のレイタンスを除去して骨材を露出させ、表面を粗面に仕上げるのがよい。凝結遅延剤は打継目範囲外に散布しないよう注意する。また、水平打継目での漏水防止のため、図-解 7.1、写真-解 7.5 に示すとおり、床版コンクリートの打込み時に 20mm 程度嵩上げを行って漏水対策を行う方法を原則とする（排水柵の設置される側のみ）。この時、浮き型枠により凝結遅延時も打継目範囲外に流れ出ることを防ぐことができる。なお、高压水が使用できない場合はワイヤーブラシやタガネを用いる。

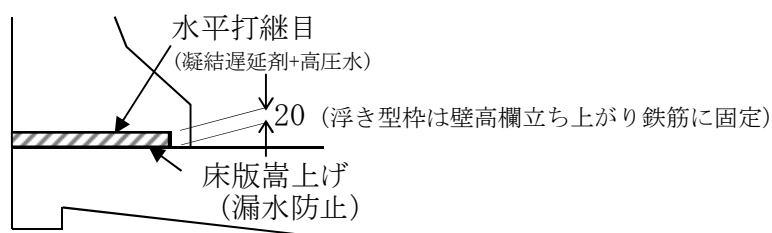


図-解 7.1 壁高欄打継目要領

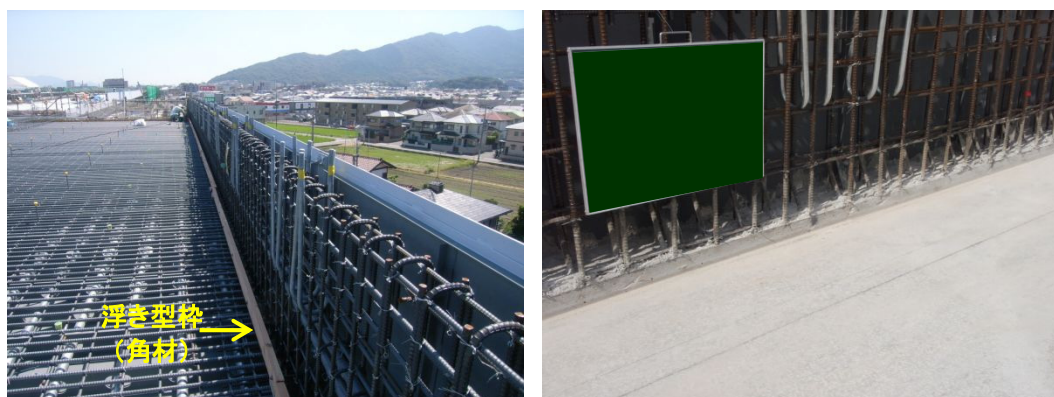


写真-解 7.5 浮き型枠の設置と嵩上げ施工の状況

8. 排水設備

積雪寒冷地において使用される塩化ナトリウムなどの凍結防止剤を含んだ橋面水は、床版内部への浸透や主構造外面への付着により、鉄筋および鋼部材の腐食を促進させ、橋梁の耐久性を下げる大きな要因となる。

寒冷地特有の橋面水による劣化を防止するため適切に橋面から橋梁外へ排水する際の要点を以下に示す。

- (1) 横断勾配の低い側には排水装置を設ける。排水装置には、排水装置まわりの滞水、漏水を避ける対策を施す。
- (2) 排水装置に鋼製排水溝を採用する場合は、鋼製排水溝の敷きモルタル部は浸水、滞水しやすいため、十分な防水対策および排水対策を行う。
- (3) 鉄筋コンクリート床版にアスファルト舗装を施工する防水層には、寒冷地に適した防水材料を使用する。
- (4) 床版面上の滞水しやすい箇所には、スラブドレーンおよび舗装内導水パイプを設けて、床版面上の排水機能を向上させる。スラブドレーン下端は導水管により排水管への導水を実行する。
- (5) 縦断勾配の低い桁端の伸縮装置の付近には排水装置を設ける。伸縮装置手前の舗装端部は滞水しやすいため、舗装導水パイプを設けて排水機能を向上させる。排水構造の伸縮装置のドレーンパイプ下端は導水管により排水管への導水を実行する。
- (6) 排水装置からの橋面水を橋梁下へ導水する排水管は、腐食しにくいVP管を標準とする。排水管の配置計画においては、主構造への橋面水の付着が生じにくい排水計画とする。
- (7) 床版張り出し部から床版下面を伝って主構造に橋面水が付着しないように、床版端部には水切りを設ける。水切りは床版下面から 30mm 以上を標準とする。

- (1) 舗装上面の橋面水の排水装置は、図-解 8.1 のように舗装に勾配をつけることにより排水性能を高めるなどの工夫を行うが、舗装と床版の境界面での滞水に対しても注意を払う必要がある。排水柵のまわりに滞水すると排水柵とコンクリートとの接触面から床版内部に表面水が浸透しやすくなること、滞水が凍結融解することで、排水柵まわりのコンクリートの凍害が進む（写真-解 8.1）ことから、滞水させることなく排水柵に導水する必要がある。導水方法としては排水柵に水抜き孔を設置する場合は、水抜き穴が床版上面より上にならないように設置および施工することと、床版打設時に水抜き孔がコンクリートで目詰まりを起こさないように施工する必要がある。また、図-解 8.2, 3 に示すとおり、排水柵を上下 2 層に分離し下層柵の上面を床版上面に合わせることで、表面水の排水性能を向上させた排水柵構造の採用事例も増加している。

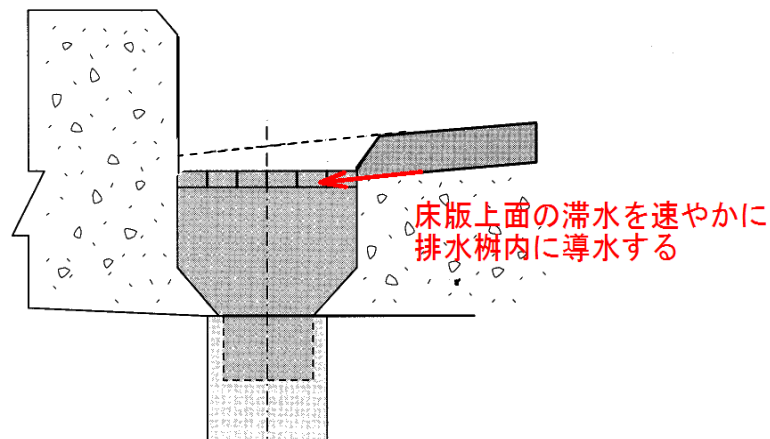


図-解 8.1 床版上面の排水対策



写真-解 8.1 排水柵まわりの損傷例

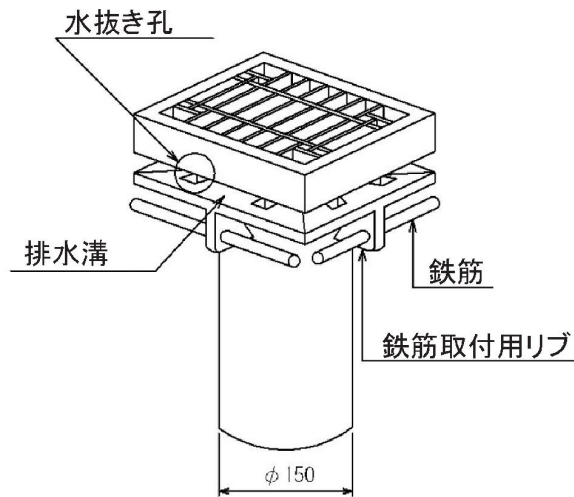


図-解 8.2 2層式の排水柵構造例 (その1)

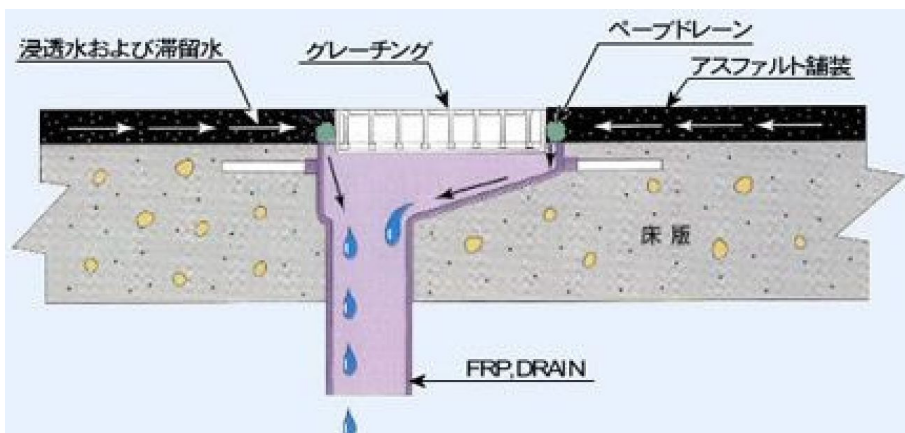


図-解 8.3 2層式の排水柵構造例 (その2)

- (2) 排水装置に鋼製排水溝を採用する場合、その機能と構造より図-解 8.4 のように、鋼製排水溝の下面には敷きモルタルを施工することになる。敷きモルタル部に滞水すると凍結融解により床版上面の劣化を促進することになるが、敷きモルタル自体には防水性がないため、図-解 12.8.2 に示すように、敷きモルタル部に導水・滞水させない構造詳細が必要になる。

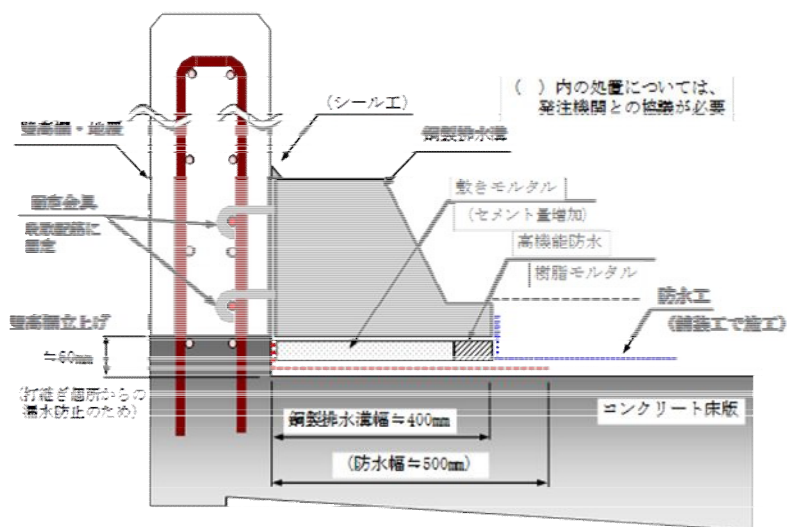


図-解 8.4 鋼製排水溝周辺の止水対策例

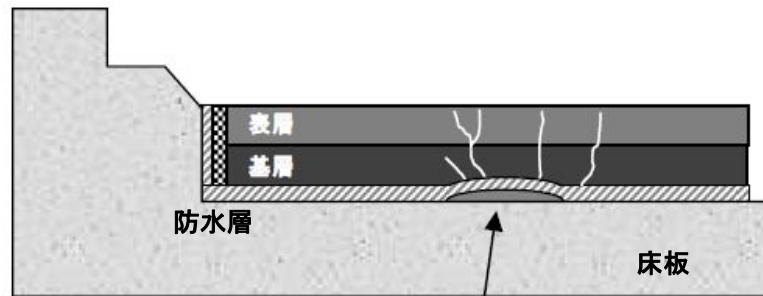
- (3) 「RC床版施工の手引き」の第9章に示すとおり、床版コンクリートの上面には、床版内部への浸透を防止し床版の耐久性を高めるために防水層を施工する必要がある。寒冷地で使用する防水層の選定においては、9.4 および表-解 9.2 に示すとおり、「低温時のせん断強度および変位量、引張接着強度の高いもの」を選ぶ必要がある。また、防水層の品質基準については 9.5 を参照して決定するのがよい。

防水層の施工において、床版上面温度が5℃以下の場合は引張接着強度が5℃以上の約60%になる傾向があるため⁹⁾、施工時の温度管理についても注意する必要がある。

さらに、凍害地域においては防水層上面の滞水による凍結融解により、舗装が劣化する事例が報告されている。防水層上面の滞水の原因は、防水層の施工精度のほか、床版上面の不陸によるものがある。写真-解 8.2 に、床版上面の滞水の例を示す。この他、床版上面の舗装の損傷は、防水層と床版上面の水分によるブリスタリングがある（図-解 8.5、写真-解 8.3）。このため、床版上面の仕上げにおいては、より不陸を小さくして水がたまらない仕上げ精度を確保するのがよい。



写真-解 8.3 床版上面の滞水



床版上の水分によるブリスタリング

図-解 8.5 床版上面の滞水による劣化
(ブリスタリング)

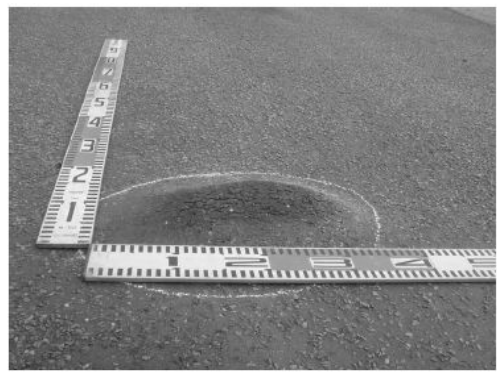


写真-解 8.3 床版上面の滞水による劣化

(4) 床版防水工は、防水層による床版コンクリート内への遮水を目的にしたものを、床版面上の排水しやすい箇所にスラブドレーンや縦断、横断排水管（舗装内導水管）を設けるなどの排水性の確保を目的としたものがある。

図-解 8.6～8、写真-解 8.4 に床版上面の排水性確保に配慮した排水設備計画の例を示す。凍害地域においては、床版面上の滞水と凍結融解により舗装の劣化が加速されるため、構造上床版上に滞水しやすい緩勾配や、路面勾配の変化点にはスラブドレーンや排水パイプを密に配置するのがよい。

●設置間隔 (L)

縦断勾配	設置ピッチ
1%未満	5m
1%以上	10m
但し、流末部は、必ず設置する。	

(着色部)

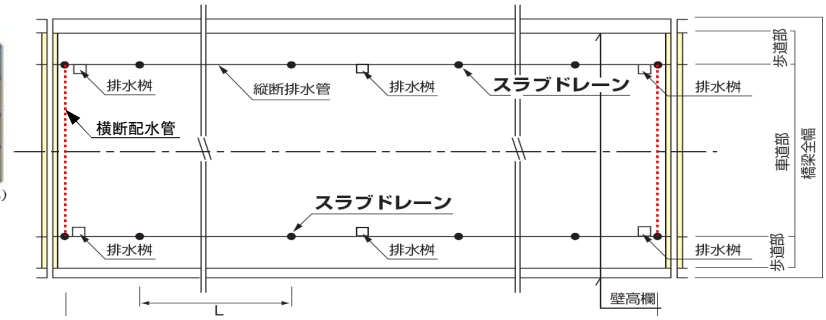


図-解 8.6 床版上面排水計画

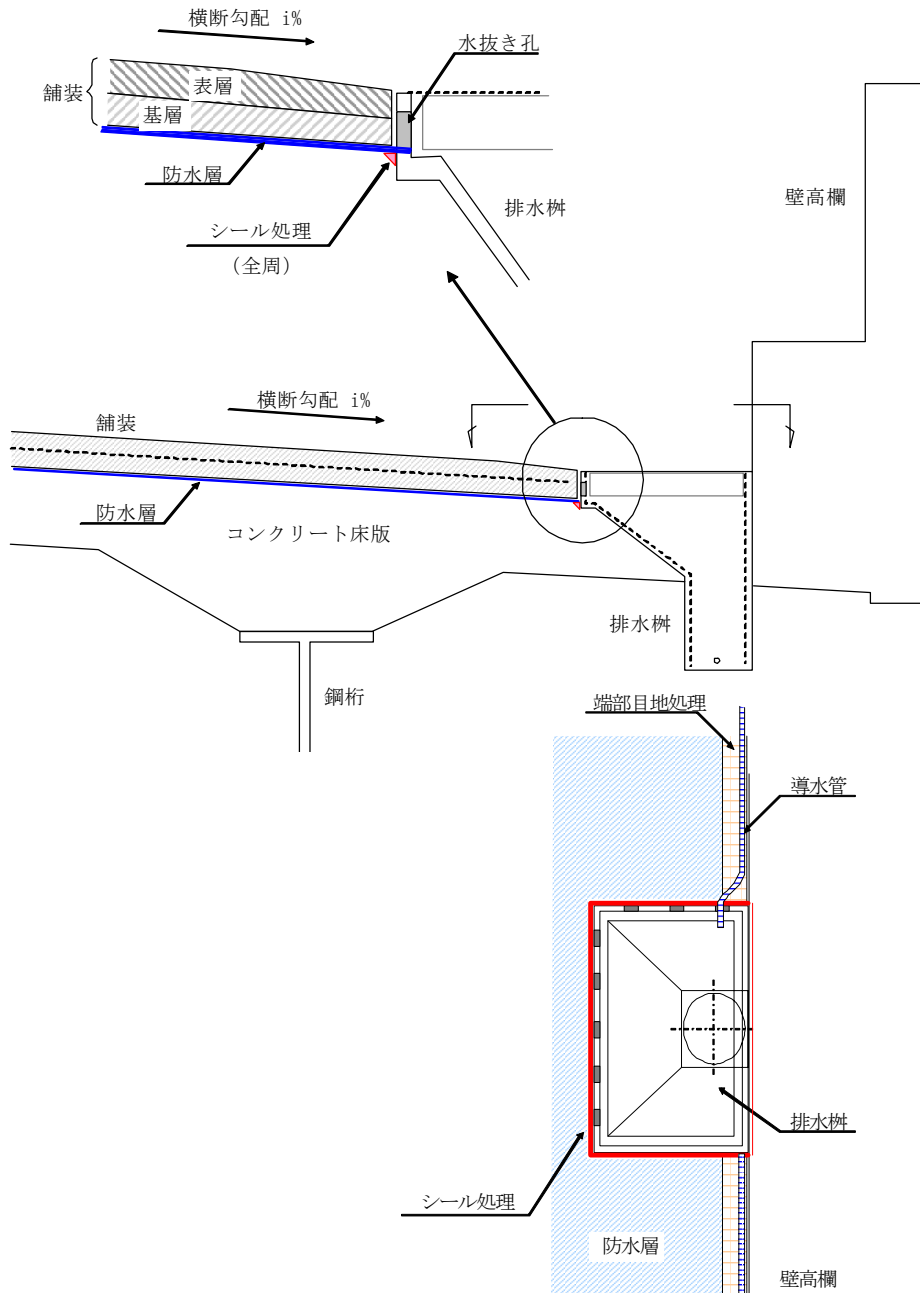


図-解 8.7 排水樹周辺の止水処理例

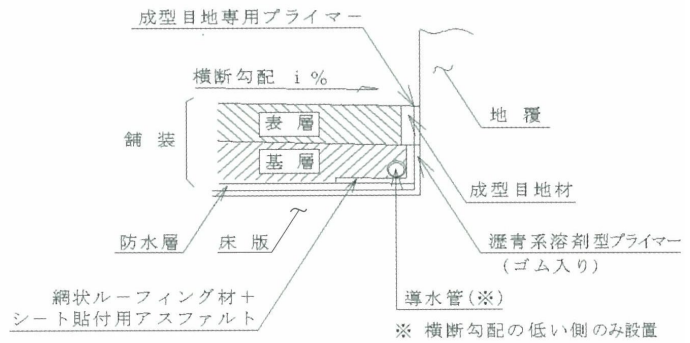
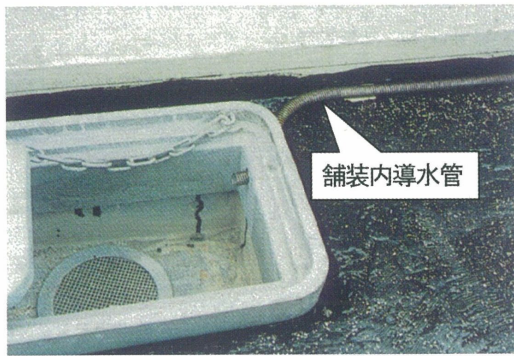


写真-解 8.4 舗装内導水管

図-解 8.8 防水層と舗装内導水管

- (5) 橋梁の端部に設置される伸縮装置は道路の縦断勾配によって橋面水が伸縮装置上を流れることから、伸縮装置周辺の構造により滞水、浸水が生じやすく、伸縮装置の機能不全により漏水が発生すると、主構造桁端部が湿潤状態になりやすく、腐食の原因となっている。
- 伸縮装置まわりの滞水进行处理するため、縦断勾配の低い桁端部の伸縮装置前面には舗装内導水管やスラブドレーンを設置して排水機能を向上させるのがよい。図-解 8.9 に舗装内導水管の設置例を示す。

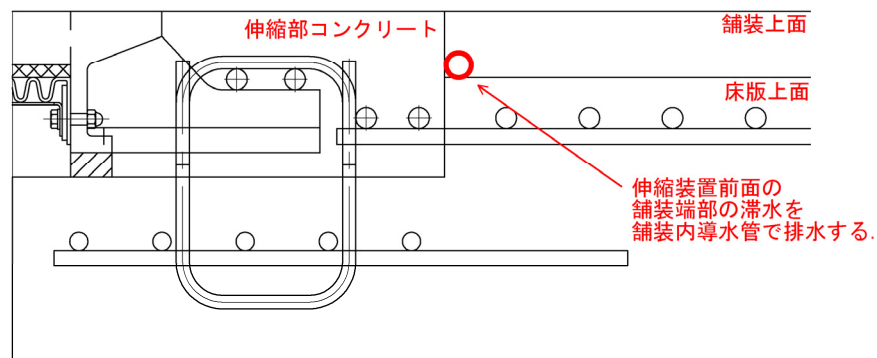


図-解 8.9 伸縮装置前面の舗装内導水管の例

- (6) 排水管の材質については、これまで冬期凍結に対する強度面などを考慮して一般構造用炭素鋼鋼管 (STK400) を用いていたが、排水管の中を流れる橋面水には凍結抑制剤の代表的な成分であり鋼材の腐食促進因子である塩化ナトリウムが含まれているため、
- ①多くの排水管で腐食が発生していること (写真-解 8.5)
 - ②既設排水管の内部を塗装等により維持管理することは困難であること
 - ③さらには排水管の重量が重く、現場での交換作業が容易ではないこと
- などの問題が生じている。排水管が腐食すると、破損した排水管から溢流した塩化ナトリウムを含む橋面水が主構造に付着し、主構造の腐食の原因となる。



写真-解 8.5 排水管の腐食状況

このため、点検・補修及び部材の更新といった維持管理に配慮した材質として、硬質塩化ビニル管（VP 管）を用いることを標準とする。ビニル管を排水管として検討するにあたっては、ビニル管は鋼管よりも強度が小さいため、排水計画上水平方向の支持間隔を密に設置できない場合や、冬期凍結による影響が著しく強度面における特段の配慮が必要な場合については、硬質塩化ビニル管の耐久性が問題となる場合もあるため、高気密性ステンレス排水管等(写真-解 8.6)も検討するとよい。冬期凍結による影響度合いについては、1期線または周辺橋梁における凍結や「つらら」の状況等を参考に判断するとよい(写真-解 8.7)。



写真-解 8.6 高気密性ステンレス排水管
 (排水バンドと配水管の接触面で異種金属間腐食が生じる場合があるので、ゴム板を間に挟んで絶縁する必要がある)

写真-解 8.7 配水管凍結による破損例

(7) 壁高欄外面の雨水は、床版端部に水切りを設置して床版下面を伝って主構造に雨水が流れない構造とするのがよい。図-解 8.10 に床版水切りの例を示す。



図-解 8.10 床版水切り形状¹⁰⁾

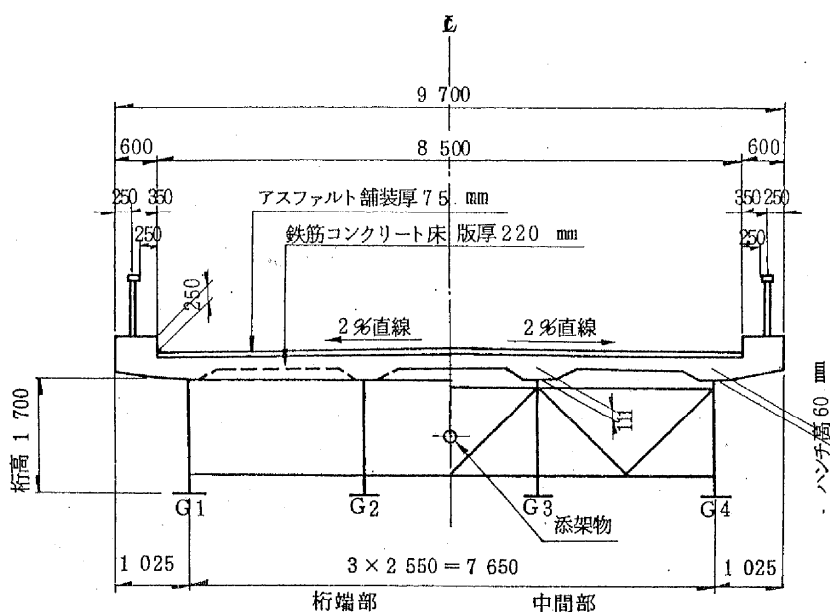
【参考資料 1】 かぶり厚を 7cm にした場合の設計計算例

従来方法によって算出した床版厚に対して、かぶりを増厚した場合の試設計を下記に示す。

1) 設計条件

- ・ 橋梁形式：単純活荷重合成 I 桁 () 内は非合成 I 桁の場合を示す。
- ・ 床版：鉄筋コンクリート床版 220mm
 コンクリート設計基準強度 $\sigma_{ck} = 30\text{N/mm}^2$ (24N/mm^2)
 鉄筋 (SD345) D19 使用 $\sigma_{as} = 140\text{N/mm}^2$
- ・ アスファルト舗装：75mm

2) 断面形状



3) かぶり厚

かぶり厚は、凍結防止剤の散布により塩分が侵入すると考えられる床版上面側を 70mm としたケースと、対策区分 S における上下側とも 70mm のケースとした。

4) 試設計のケース

試設計は、床版厚 220mm および 260mm に対し使用鉄筋とその間隔およびかぶり量を変化させ、支間中央部を対象とし、下記の 1~8 のケースについて行った。

- | | |
|--------|---|
| ケース 1 | ： 床版厚 220mm、かぶり厚上側 30mm、下側 30mm で D19 を 150mm 間隔で配置 |
| ケース 2 | ： 床版厚 220mm、かぶり厚上側 70mm、下側 30mm で D19 を 150mm 間隔で配置 |
| ケース 3 | ： 床版厚 220mm、かぶり厚上側 70mm、下側 70mm で D19 を 150mm 間隔で配置 |
| ケース 3' | ： 床版厚 220mm、かぶり厚上側 70mm、下側 70mm で D22 を 150mm 間隔で配置 |
| ケース 4 | ： 床版厚 220mm、かぶり厚上側 70mm、下側 70mm で D19 を 125mm 間隔で配置 |
| ケース 4' | ： 床版厚 220mm、かぶり厚上側 70mm、下側 70mm で D22 を 125mm 間隔で配置 |
| ケース 5 | ： 床版厚 260mm、かぶり厚上側 30mm、下側 30mm で D19 を 150mm 間隔で配置 |
| ケース 6 | ： 床版厚 260mm、かぶり厚上側 70mm、下側 30mm で D19 を 150mm 間隔で配置 |
| ケース 7 | ： 床版厚 260mm、かぶり厚上側 70mm、下側 70mm で D19 を 150mm 間隔で配置 |
| ケース 8 | ： 床版厚 260mm、かぶり厚上側 70mm、下側 70mm で D19 を 125mm 間隔で配置 |

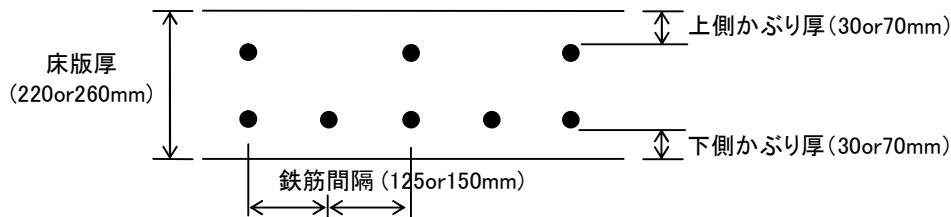
5) 断面計算結果

試算結果（支間中央部）

	床版厚 (mm)	上側 かぶり (mm)	下側 かぶり (mm)	鉄筋径 (mm)	鉄筋 間隔 (mm)	有効高 (mm)	コンクリート 応力度 (N/mm ²)	鉄筋 応力度 (N/mm ²)
ケース1(標準)	220	30	30	D19	150	180.5	5.3(OK)	118(OK)
ケース2	220	70	30	D19	150	180.5	5.9(OK)	117(OK)
ケース3	220	70	70	D19	150	140.5	9.2(OUT)	149(OUT)
ケース3'	220	70	70	D22	150	139.0	8.4(OK)**	114(OK)
ケース4	220	70	70	D19	125	140.5	8.7(OUT)	127(OUT)
ケース4'	220	70	70	D22	125	139.0	8.0(OK)	97(OK)
ケース5	260	30	30	D19	150	220.5	3.8(OK)	97(OK)
ケース6	260	70	30	D19	150	220.5	4.2(OK)	97(OK)
ケース7	260	70	70	D19	150	180.5	6.0(OK)	120(OK)
ケース8	260	70	70	D19	125	180.5	5.6(OK)	102(OK)

$$\sigma_{ca}=8.6(8.0) \quad \sigma_{sa}=140$$

※設計基準強度が24N/mm²の場合 OUT となる。



ケース2のように、床版厚220mmのまま上側かぶり厚を70mmにした場合、コンクリート応力度および鉄筋応力度は許容応力度以下となる。圧縮側コンクリートの有効高は鉄筋位置に影響を受けないため、支間中央部を対象とした場合、床版厚を増加させることなく上側かぶりを増厚できると考えられる。

塩害対策区分Sを想定し、上下側かぶり厚を70mmとしたケース3およびケース4では、許容応力度を超過している。ケース3'およびケース4'のように鉄筋径をワンランクアップさせD22とすることで、許容応力度を満足することができるが、有効高を減少させない範囲で形状を決定することが基本であるため*)、ケース3'およびケース4'は望ましい設計ではない。そのため、上下面かぶりを増厚する際は、ケース7およびケース8のように床版厚を増加させ、有効高を確保するように設計することが望ましい。

*)：道路協会コンクリート橋小委員会 Q&A 塩害対策区分Sの具体的対策例

【参考資料2】 床版打込み順序の計算例

2.1 概要

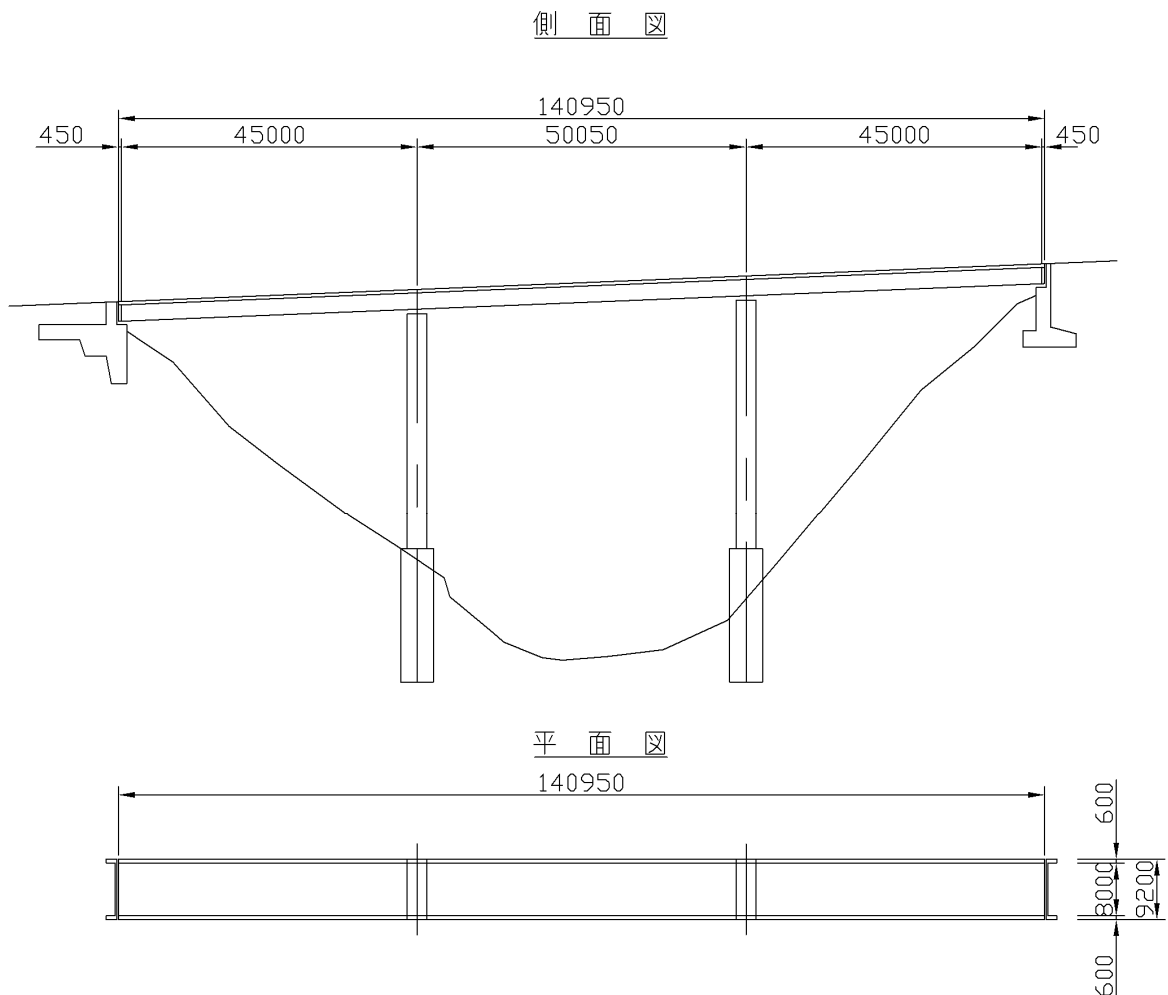
橋梁規模の大きい床版のコンクリートは、ブロック割り打込み工法により施工する。ブロック割りを計画する際は、打込み順序、打込み個所、打込み数量を考慮して、すでに打込み済みの硬化した床版コンクリートに悪い影響を与えないように注意する必要がある。

とくに連続桁では、先行して打ち込んだコンクリートに、引張応力が生じるケースがあるので、適切なブロック割りと打込み順序の検討を行い、発生する引張応力を小さくするような計画を行う。

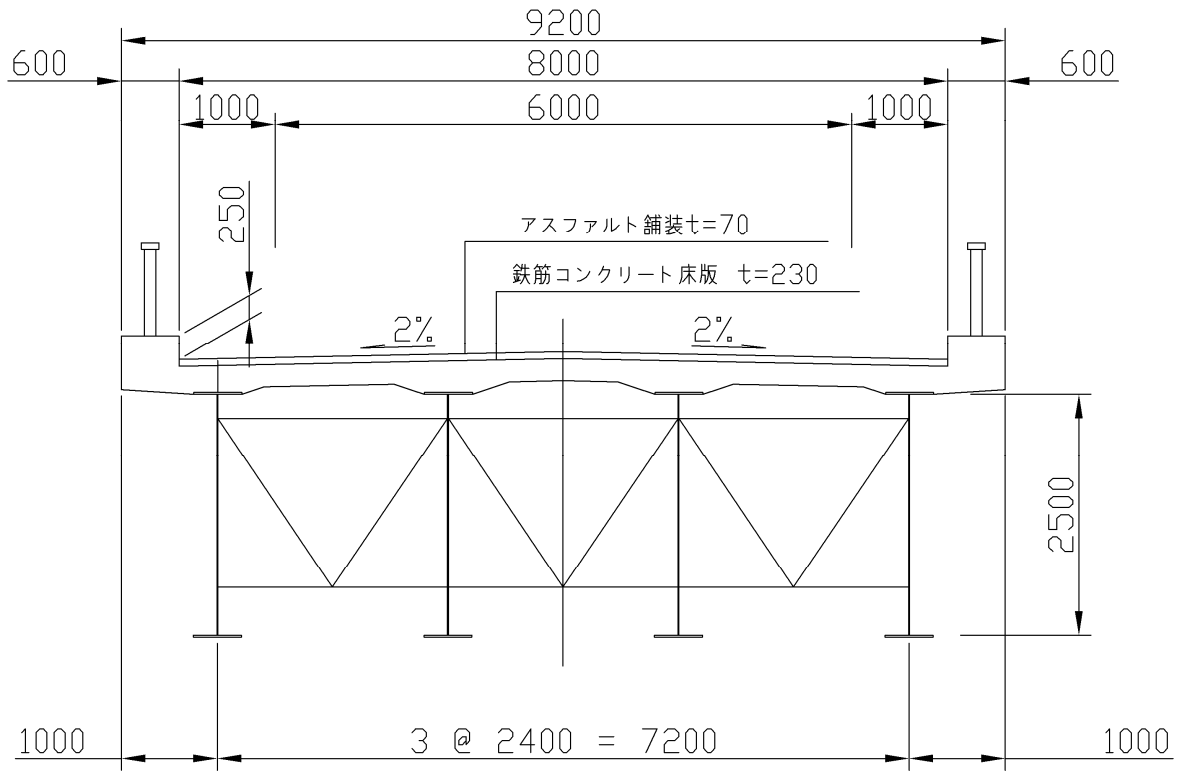
また、打込み日の間隔をあけ、コンクリートの許容引張応力を高めることも有効となる。次の例は全体を3ブロックに分けて打ち込む場合を示す。打込みの日程は、打込み間隔の日をあけず、3日連続打込みと仮定した。

2.2 打込み計算例

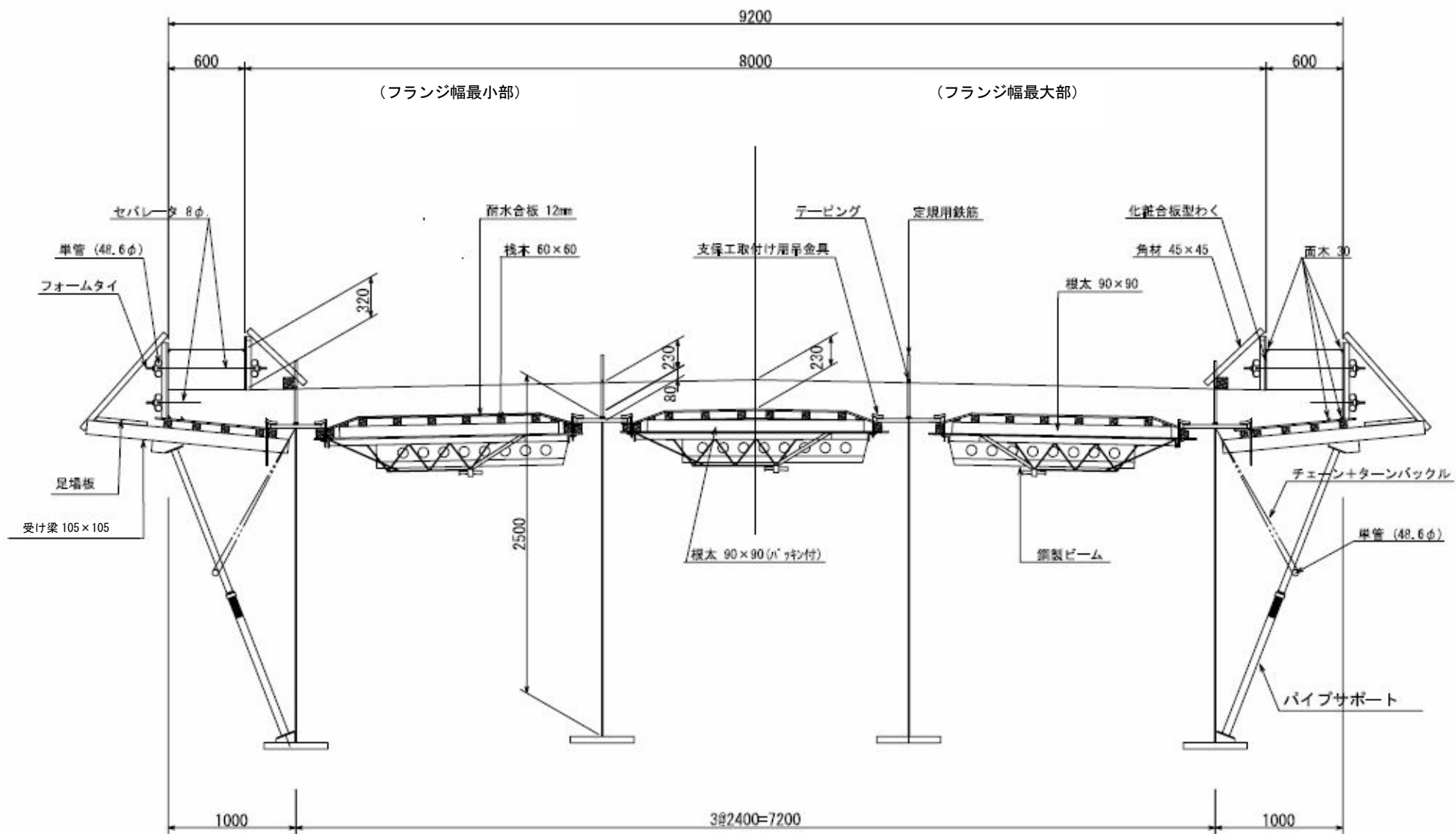
(1) 検討モデル



断面図



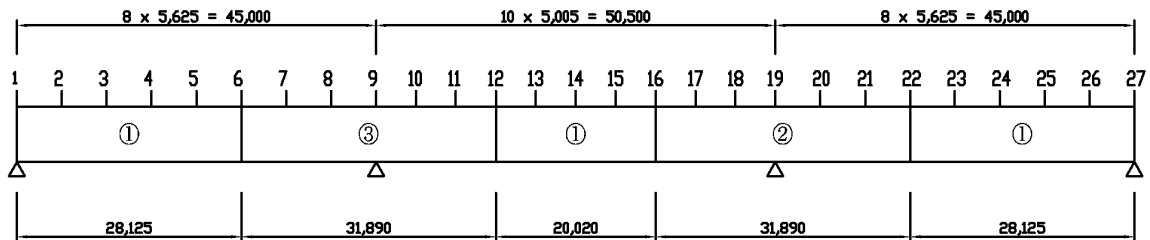
(2) 床版型わく支保工詳細図例



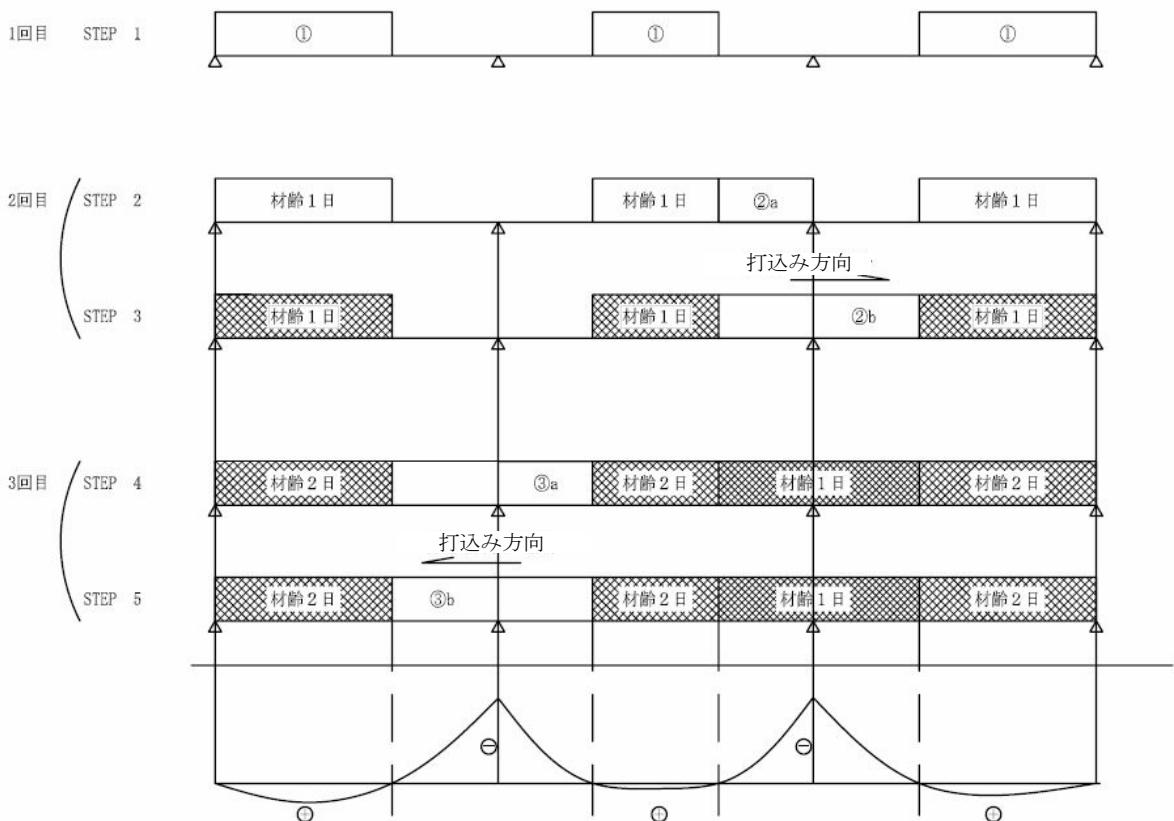
(3) ブロック割りおよび打込み順序

打込み順序は、先行して打ち込んだコンクリートに発生する引張応力を極力小さくするために、支間中央部を先行し、中間支点部を後にする。

①ブロック割り

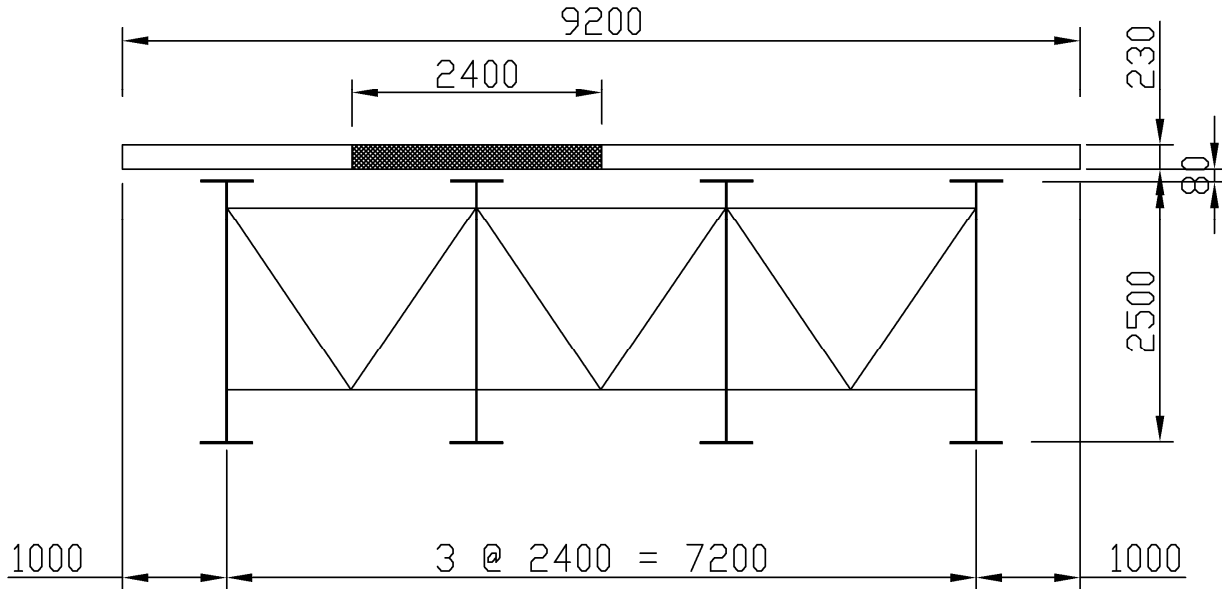


②打込み順序 (計算 STEP)



- 注) 1. 各径間について、同時に打込みができる場合には、先行打込み部分は、床版自重を全載荷したときに生じる曲げモーメントの正の部分が目安となる。
 2. 各径間について同時に打込みができない場合は、先行して打ち込んだ支間中央部分に引張応力が生じるので注意する必要がある。
 3. 本計算例では、端支点の打残し部については省略した。

床版コンクリート（地覆、高欄は除く）



断面積 $\Sigma A_c = 9.20 \times 0.23 + (\text{ハンチ部面積}) = 2.39 \text{ m}^2$

ハンチ部は断面算定には含まないが、荷重には含むこと。

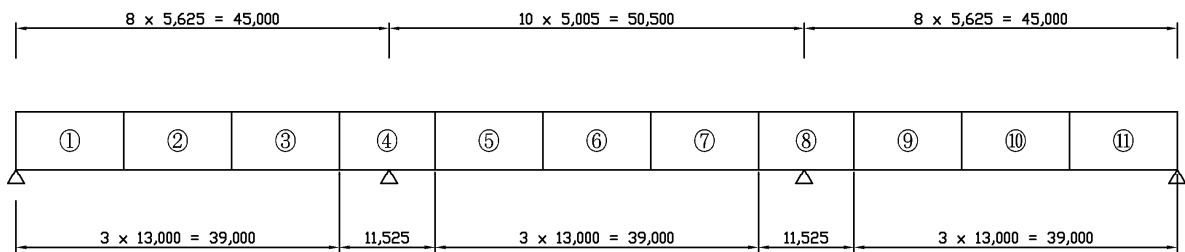
コンクリート打込み量

1日目 $2.39 \times 72.85 = 174.1 \text{ m}^3$

2日目 $2.39 \times 33.60 = 80.3 \text{ m}^3$

3日目 $2.39 \times 33.60 = 80.3 \text{ m}^3$

(4) 主桁の断面配置および諸数



○は断面番号

計算で用いた断面諸数値を次項に示す。

(5) 荷重

コンクリート重量 (内桁 1 本あたり重量)

$$2.4 \text{ m} \times 0.23 \text{ m} \times 24.5 \text{ N/m}^3 = 13.524 \text{ kN/m} + (\text{ハンチ部重量})$$

ハンチ部重量を加えた打込み重量を用いること。計算例では省略した。

(6) 応力度の算出

床版コンクリート上面に作用する応力度は、各材齢、ステップごとに作用する応力度の累計とする。

$$\sigma_{cn} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i \cdot y_i}{n_i \cdot I_{vi}}$$

σ_{cn} : STEP_nでの応力度の累計 (N/mm²)

M_i : STEP_iに作用するモーメント (kN・m)

y_i : STEP_iでの合成断面中心～床版上面距離 (mm)

n_i : STEP_iでの弾性係数比 (E_s/E_{ci})

I_{vi} : STEP_iでの合成断面 2 次モーメント (mm⁴)

コンクリートのヤング係数 E_{ci} は[コンクリート標準示方書 設計編]によると

$$E_{ci} = 0.73 \times 4700 \sqrt{\sigma_c(t)} \quad \text{材齢 3 日まで}$$

$$E_{ci} = 4700 \sqrt{\sigma_c(t)} \quad \text{材齢 5 日以降}$$

材齢 3 日～5 日までは直線補間してもよい。

$$\sigma_c(t) = [t/(4.5+0.95 \times t)] \times 1.11 \times \sigma_{ck} \quad (\text{普通ポルトランドセメントの場合})$$

$$(\text{早強セメントの場合は } \sigma_c(t) = [t/(2.9+0.97 \times t)] \times 1.07 \times \sigma_{ck})$$

ここに、 $\sigma_c(t)$: 材齢 t 日におけるコンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

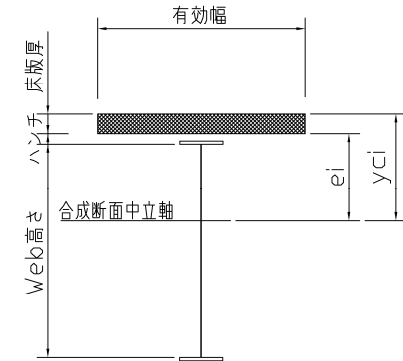
t : 材齢 (日)

σ_{ck} : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

(本例の場合 $\sigma_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$)

床版・鋼断面

断面		床版				鋼桁								
		有効幅	床版厚	Ac	σ_{ck}	U.Flг		web		L.Flг		As	e	Io
No.	部材長	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N/mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm ⁴)
①	13.000	2400	230	552000	24	500	16	2500	12	600	19	49400	86.9	45996741316
②	13.000	2400	230	552000	24	500	19	2500	12	600	19	50900	47	48667073125
③	13.000	2400	230	552000	24	500	16	2500	12	600	22	51200	128.5	48429682000
④	11.525	2400	230	552000	24	500	25	2500	12	600	28	59300	92	61888205725
⑤	13.000	2400	230	552000	24	500	16	2500	12	600	22	51200	128.5	48429682000
⑥	13.000	2400	230	552000	24	500	16	2500	12	600	19	49400	86.9	45996741316
⑦	13.000	2400	230	552000	24	500	16	2500	12	600	22	51200	128.5	48429682000
⑧	11.525	2400	230	552000	24	500	25	2500	12	600	28	59300	92	61888205725
⑨	13.000	2400	230	552000	24	500	16	2500	12	600	22	51200	128.5	48429682000
⑩	13.000	2400	230	552000	24	500	19	2500	12	600	19	50900	47	48667073125
⑪	13.000	2400	230	552000	24	500	16	2500	12	600	19	49400	86.9	45996741316



合成断面

断面		1 日目									2 日目								
		材齢	σ_{t1}	E1	n1	A1	e1	I1	yc1	Zc1	材齢	σ_{t2}	E2	n2	A2	e2	I2	yc2	Zc2
No.	部材長	(日)	(N/mm ²)	(kN/m ²)		(mm ²)	(mm)	(mm ⁴)	(mm)	(mm ³)	(日)	(N/mm ²)	(kN/m ²)		(mm ²)	(mm)	(mm ⁴)	(mm)	(mm ³)
①	13.000	1	4.9	7595000	26.33	70365	966.5	79734489124	1196.5	66639773.61	2	8.3	9885000	20.23	76686	879	86297118782	1109	77815255.89
②	13.000	1	4.9	7595000	26.33	71865	941.8	81814747817	1171.8	69819719.93	2	8.3	9885000	20.23	78186	856.3	88330769296	1086.3	81313421.06
③	13.000	1	4.9	7595000	26.33	72165	1001.4	85350870631	1231.4	69312059.96	2	8.3	9885000	20.23	78486	911.5	92622463091	1141.5	81141010.15
④	11.525	1	4.9	7595000	26.33	80265	1020.5	98570334705	1250.5	78824737.87	2	8.3	9885000	20.23	86586	937.6	106153529722	1167.6	90916006.96
⑤	13.000	1	4.9	7595000	26.33	72165	1001.4	85350870631	1231.4	69312059.96	2	8.3	9885000	20.23	78486	911.5	92622463091	1141.5	81141010.15
⑥	13.000	1	4.9	7595000	26.33	70365	960.5	80630512934	1190.5	67728276.3	2	8.3	9885000	20.23	76686	871.8	87367171477	1101.8	79294945.98
⑦	13.000	1	4.9	7595000	26.33	72165	1001.4	85350870631	1231.4	69312059.96	2	8.3	9885000	20.23	78486	911.5	92622463091	1141.5	81141010.15
⑧	11.525	1	4.9	7595000	26.33	80265	1020.5	98570334705	1250.5	78824737.87	2	8.3	9885000	20.23	86586	937.6	106153529722	1167.6	90916006.96
⑨	13.000	1	4.9	7595000	26.33	72165	1001.4	85350870631	1231.4	69312059.96	2	8.3	9885000	20.23	78486	911.5	92622463091	1141.5	81141010.15
⑩	13.000	1	4.9	7595000	26.33	71865	941.8	81814747817	1171.8	69819719.93	2	8.3	9885000	20.23	78186	856.3	88330769296	1086.3	81313421.06
⑪	13.000	1	4.9	7595000	26.33	70365	960.5	80630512934	1190.5	67728276.3	2	8.3	9885000	20.23	76686	871.8	87367171477	1101.8	79294945.98

Ei : コンクリートのヤング係数

Es : 鋼材のヤング係数 $E_s = 2.0 \times 10^8$

n : 鋼と床版コンクリートのヤング係数比 E_s/E_i

各打込みステップにおける断面2次モーメント

(m^2, m^4)

部材番号	格間長	コンクリート無		材齢1日		材齢2日		STEP 1	STEP 2	STEP 3	STEP 4	STEP 5
	(m)	A	I	A	I	A	I	I	I	I	I	I
1	5.625	0.049400	0.045997	0.070365	0.079734	0.076686	0.086297	0.045997	0.079734	0.079734	0.086297	0.086297
2	5.625	0.049400	0.045997	0.070365	0.079734	0.076686	0.086297	0.045997	0.079734	0.079734	0.086297	0.086297
3	5.625	0.050433	0.047836	0.071398	0.081168	0.077719	0.087698	0.047836	0.081168	0.081168	0.087698	0.087698
4	5.625	0.050900	0.048667	0.071865	0.081815	0.078186	0.088331	0.048667	0.081815	0.081815	0.088331	0.088331
5	5.625	0.051013	0.048577	0.071978	0.083151	0.078299	0.089952	0.048577	0.083151	0.083151	0.089952	0.089952
6	5.625	0.051200	0.048430	0.072165	0.085351	0.078486	0.092622	0.048430	0.048430	0.048430	0.048430	0.048430
7	5.625	0.051200	0.048430	0.072165	0.085351	0.078486	0.092622	0.048430	0.048430	0.048430	0.048430	0.048430
8	5.625	0.058760	0.060991	0.079725	0.097689	0.086046	0.105251	0.060991	0.060991	0.060991	0.060991	0.060991
9	5.625	0.059300	0.061888	0.080265	0.098570	0.086586	0.106154	0.061888	0.061888	0.061888	0.061888	0.061888
10	5.625	0.052042	0.049828	0.073007	0.086724	0.079328	0.094028	0.049828	0.049828	0.049828	0.049828	0.049828
11	5.625	0.051200	0.048430	0.072165	0.085351	0.078486	0.092622	0.048430	0.048430	0.048430	0.048430	0.048430
12	5.625	0.050662	0.047703	0.071627	0.083941	0.077948	0.091053	0.047703	0.083941	0.083941	0.091053	0.091053
13	5.625	0.049400	0.045997	0.070365	0.080631	0.076686	0.087367	0.045997	0.080631	0.080631	0.087367	0.087367
14	5.625	0.049400	0.045997	0.070365	0.080631	0.076686	0.087367	0.045997	0.080631	0.080631	0.087367	0.087367
15	5.625	0.050662	0.047703	0.071627	0.083941	0.077948	0.091053	0.047703	0.083941	0.083941	0.091053	0.091053
16	5.625	0.051200	0.048430	0.072165	0.085351	0.078486	0.092622	0.048430	0.048430	0.048430	0.085351	0.085351
17	5.625	0.052042	0.049828	0.073007	0.086724	0.079328	0.094028	0.049828	0.049828	0.049828	0.086724	0.086724
18	5.625	0.059300	0.061888	0.080265	0.098570	0.086586	0.106154	0.061888	0.061888	0.061888	0.098570	0.098570
19	5.625	0.059300	0.061888	0.080265	0.098570	0.086586	0.106154	0.061888	0.061888	0.061888	0.098570	0.098570
20	5.625	0.051740	0.049327	0.072705	0.086232	0.079026	0.093525	0.049327	0.049327	0.049327	0.086232	0.086232
21	5.625	0.051200	0.048430	0.072165	0.085351	0.078486	0.092622	0.048430	0.048430	0.048430	0.085351	0.085351
22	5.625	0.051013	0.048577	0.071978	0.083151	0.078299	0.089952	0.048577	0.083151	0.083151	0.089952	0.089952
23	5.625	0.050900	0.048667	0.071865	0.081815	0.078186	0.088331	0.048667	0.081815	0.081815	0.088331	0.088331
24	5.625	0.050433	0.047836	0.071398	0.081446	0.077719	0.088031	0.047836	0.081446	0.081446	0.088031	0.088031
25	5.625	0.049400	0.045997	0.070365	0.080631	0.076686	0.087367	0.045997	0.080631	0.080631	0.087367	0.087367
26	5.625	0.049400	0.045997	0.070365	0.080631	0.076686	0.087367	0.045997	0.080631	0.080631	0.087367	0.087367

(7) 床版コンクリート打込み時の曲げモーメントおよびコンクリート応力度

各点番号	STEP 1		STEP 2			STEP 3					STEP 4					STEP 5				
	M1	M2	Zci	ni	σ_2	M3	Zci	ni	σ_3	$\Sigma \sigma_i$	M4	Zci	ni	σ_4	$\Sigma \sigma_i$	ΔM_5	Zci	ni	σ_i	$\Sigma \sigma_i$
	(kN・m)	(kN・m)	(mm ³)		(N/mm ²)	(kN・m)	(mm ³)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN・m)	(mm ³)		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN・m)	(mm ³)		(N/mm ²)	(N/mm ²)
1	0.000	0.000	66639774	26.33	0.00	0.000	66639774	26.33	0.00	0.00	0.000	77815256	20.23	0.00	0.00	0.000	77815256	20	0.00	0.00
2	1019.338	-29.340	66639774	26.33	-0.02	20.137	66639774	26.33	0.01	-0.01	-61.111	77815256	20.23	-0.04	-0.04	159.459	77815256	20	0.10	0.06
3	1610.768	-58.681	68830403	26.33	-0.03	40.274	68830403	26.33	0.02	-0.01	-122.222	80225103	20.23	-0.08	-0.09	318.917	80225103	20	0.20	0.11
4	1774.290	-88.021	69819720	26.33	-0.05	60.411	69819720	26.33	0.03	-0.02	-183.333	81313421	20.23	-0.11	-0.13	478.376	81313421	20	0.29	0.16
5	1509.904	-117.361	69627937	26.33	-0.06	80.548	69627937	26.33	0.04	-0.02	-244.444	81248288	20.23	-0.15	-0.17	637.834	81248288	20	0.39	0.22
6	817.610	-146.702	69312060	26.33	-0.08	100.685	69312060	26.33	0.06	-0.03	-305.555	81141010	20.23	-0.19	-0.21	797.293	81141010	20	0.49	0.27
7	-88.637	-176.042				120.823					-366.666					742.798				
8	-994.885	-205.383				140.960					-427.777					260.394				
9	-1901.132	-234.723				161.097					-488.889					-649.917				
10	-1224.212	-112.729				82.589					225.480					-564.840				
11	-547.291	9.264				4.082					601.073					-479.764				
12	129.630	131.257	68838982	26.33	0.07	-74.425	68838982	26.33	-0.04	0.03	637.889	80589588	20.23	0.39	0.42	-394.688	80589588	20	-0.24	0.18
13	637.162	253.251	67728276	26.33	0.14	-152.933	67728276	26.33	-0.09	0.06	505.316	79294946	20.23	0.32	0.37	-309.612	79294946	20	-0.19	0.18
14	805.918	375.244	67728276	26.33	0.21	-231.440	67728276	26.33	-0.13	0.08	372.744	79294946	20.23	0.23	0.31	-224.536	79294946	20	-0.14	0.17
15	635.897	497.238	67728276	26.33	0.28	-309.948	67728276	26.33	-0.17	0.11	240.171	79294946	20.23	0.15	0.25	-139.460	79294946	20	-0.09	0.17
16	127.100	619.231	68838982	26.33	0.34	-388.455	68838982	26.33	-0.21	0.13	107.599	80589588	20.23	0.07	0.19	-54.384	80589588	20	-0.03	0.16
17	-551.086	571.836				-466.962					-24.973	81141010	26.33	-0.01	-0.01	30.693	81141010	26	0.01	0.00
18	-1229.272	185.665				-545.470					-157.546	82156594	26.33	-0.07	-0.07	115.769	82156594	26	0.05	-0.02
19	-1907.457	-539.283				-623.977					-290.118	90916007	26.33	-0.12	-0.12	200.845	90916007	26	0.08	-0.04
20	-1000.419	-471.873				283.092					-253.853	90916007	26.33	-0.11	-0.11	175.739	90916007	26	0.07	-0.03
21	-93.381	-404.462				762.252					-217.589	81792677	26.33	-0.10	-0.10	150.634	81792677	26	0.07	-0.03
22	813.657	-337.052	69312060	26.33	-0.18	813.505	69312060	26.33	0.45	0.26	-181.324	81141010	20.23	-0.11	0.15	125.528	81141010	20	0.08	0.23
23	1506.741	-269.641	69627937	26.33	-0.15	650.804	69627937	26.33	0.35	0.21	-145.059	81248288	20.23	-0.09	0.12	100.422	81248288	20	0.06	0.18
24	1771.918	-202.231	69819720	26.33	-0.11	488.103	69819720	26.33	0.27	0.16	-108.794	81313421	20.23	-0.07	0.09	75.317	81313421	20	0.05	0.14
25	1609.186	-134.821	69169049	26.33	-0.07	325.402	69169049	26.33	0.18	0.10	-72.530	80685451	20.23	-0.04	0.06	50.211	80685451	20	0.03	0.09
26	1018.547	-67.410	67728276	26.33	-0.04	162.701	67728276	26.33	0.09	0.05	-36.265	79294946	20.23	-0.02	0.03	25.106	79294946	20	0.02	0.05
27	0.000	0.000	67728276	26.33	0.00	0.000	67728276	26.33	0.00	0.00	0.000	79294946	20.23	0.00	0.00	0.000	79294946	20	0.00	0.00

注) 応力度 σ において+ : 圧縮、- : 引張を示す。

(8) 許容引張応力度

許容引張応力度は次の手順で決定する。

①設計基準強度 σ_{ck} より材齢 n 日の圧縮強度を求める。

図-資 2-1 より、養生温度との交点 $A(\%)$ を読む。

そこから $\sigma_c = \sigma_{ck} \times A(\%)$ (N/mm^2)

②圧縮強度 σ_c より引張強度を求める。

$$\sigma_t = 0.23 \times \sigma_c^{2/3} \quad (N/mm^2) \quad [\text{コンクリート標準示方書 設計編}] \quad \dots \dots \dots (\text{式-資 2.1})$$

$$\sigma_t = 0.44 \times \sqrt{\sigma_c} \quad (N/mm^2) \quad [\text{コンクリート標準示方書 設計編}] \quad \dots \dots \dots (\text{式-資 2.2})$$

表-資 2.1 引張強度算出式の比較

σ_c	式 - 資 2.1 (1)	式 - 資 2.2 (2)	(2)/(1)
5	0.67	0.98	1.46
10	1.07	1.39	1.30
20	1.69	1.97	1.17
30	2.22	2.41	1.09

式-資 2.2 は若材齢での精度を重視した関係式であるが、式-資 2.1 を用いた方が安全側となるため、本照査では式-資 2.1 を用いる。

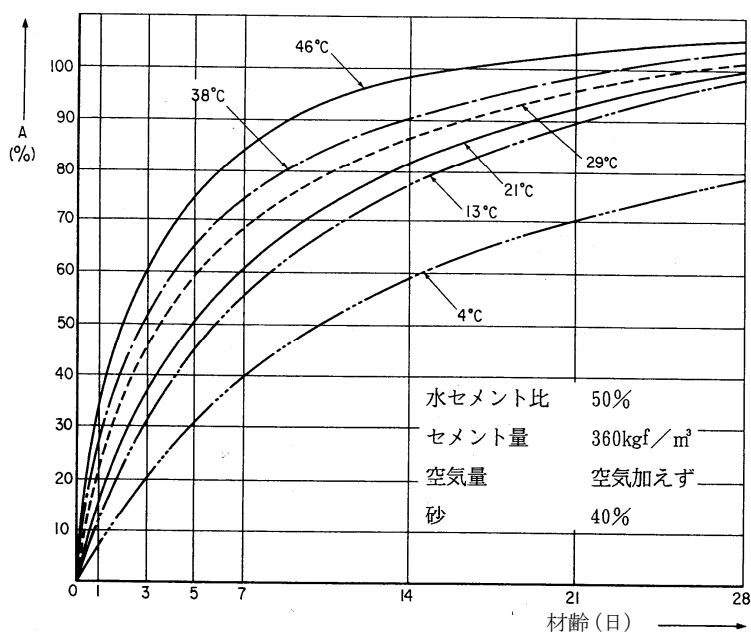
③許容引張応力度の設定

安全率 S.F. = 2.0

短期割増率 = 1.25

上記より、許容引張応力度は次式のとおりとなる。

$$\sigma_{ta} = \sigma_t \times 1.25/2.0 = 0.625 \sigma_t \quad (N/mm^2)$$



A : 21°Cで養生したコンクリートの28日強度との比

図-資 2.1 養生温度と圧縮強度¹¹⁾

材齢 1 日（養生温度 21 度）の場合の許容引張応力度

①図-資 2.1 より $A = 16 \%$ （図から読み取る）

$$\text{圧縮応力度 } \sigma_c = 24 \times 0.16 = 3.84 \text{ N/mm}^2$$

②引張強度

引張強度の算出は式-資 2.1 より

$$\sigma_t = 0.23 \times \sigma_c^{2/3} = 0.23 \times 3.84^{(2/3)} = 0.56 \text{ N/mm}^2$$

③許容引張応力度

$$\sigma_{ta} = 0.625 \times \sigma_t = 0.625 \times 0.56 = 0.35 \text{ N/mm}^2$$

同様にして材齢 2 日は $\sigma_{ta} = 0.50 \text{ N/mm}^2$

[結果の評価]

先行打込み部の床版コンクリートに発生する最大引張応力度については許容範囲内になった。したがってブロックの割り方、打込み順序に関する計画には問題がないことが確認できた。

さらに、連続打込みとしないで中 1 日間をあけて打ち込む方が、ひび割れに対する安全性が向上すると考えられる。

表-資 2.2 結果のまとめ

STEP	格点番号	発生応力度 σ_t (N/mm ²)	許容応力度 σ_{ta} (N/mm ²)
2	22	0.18	0.35
3	6	0.03	0.35
4	6	0.21	0.50
	19	0.12	0.35
5	-	-	0.50
	19	0.04	0.35

【参考資料3】高耐久性に資すると考えられる材料・配合・混和材料

資料-3.1 材料, 配合

特に寒冷地において凍害と凍結防止剤や飛来塩分等による塩害が複合的に作用する環境での長期耐久性を確保するためには、2章の規定を一部見直し、(1)～(6)を配慮するものとする。

- (1) 水セメント比は45%以下とする。
- (2) 受け入れ検査時の空気量は6%（管理値4.5%～6.9%）とする。
- (3) 使用する骨材は化学法で「無害」の骨材を使用するか、外部から塩化物の影響を取り入れた試験によって安全性を確認したものをを使用することを原則とする。
- (4) コンクリートは透水により構造物の機能が損なわれないよう、所要の水密性を有していなければならない。
- (5) コンクリートは収縮補償型の膨張材を添加して主として乾燥収縮によるひび割れを抑制することを原則とする。
- (6) 最小セメント量は材料分離の抑制と耐久性向上のため、330kg/m³とする。なお、上記の項目を満足することが出来ない場合は、各種評価試験を実施して劣化を抑制できることを確かめなければならない。
- (7) 上記の配合を採用する場合、一般的な配合ではないので、施工性を確認するため、試験練りや実機練り等の事前の準備を行い、十分な検討を行った上で実施するものとする。

本規定は凍害・塩害による劣化を防ぐために材料と配合面から検討されてきた各種基準・文献等を元にRC床版に適用すべき項目を抽出して策定した。

表-資 3.1 各種基準で規定された凍害・塩害を抑制するための配合・強度

基準名	発行年月	発行機関	概略内容	推奨する配合・強度等				備考
				W/C (%)	Air (%)	σ _{ck} (N/mm ²)	最小セメント量 (kg/m ³)	
北海道開発局 道路設計要領 第3集 橋梁	平成25年4月	北海道開発局	第2編コンクリートにおいて、「コンクリート品質条件表」により細かく仕様を規定するとともに、塩害対策区分に応じた対策や凍結防止剤による凍害・塩害への対策を記載	45以下	6.0	24	330	左記(例) RC-4S;海上及び飛沫帯の鋼橋非合成床版等
設計施工マニュアル(橋梁編)改訂(案)一覧表 第2編 橋梁一般	H20.12	東北地整	第10章 耐久性 10-3 海岸線近くに建設されるコンクリート橋の塩害対策 10-3-3 対策工法に高耐久性コンクリート橋の仕様あり	43	6		330	コンクリート橋の場合を示す(上部構造に高炉セメントは使用しない)
設計要領(道路編) 第9章 橋梁	H24.4	北陸地整	9-3耐久性の検討 9-3-2塩害に関する検討に 水セメント比の規定あり 9-4 上部工 9-4-3 PC橋 9-4-3-2 使用材料にコンクリート強度の記述あり	50		30		左記値は鉄筋コンクリートの場合(W/C:PCが43%、プレキャストPCは36%)
塩害対策マニュアル(案)	平成14年6月 (平成22年4月改訂)	新潟県	I 海洋環境編、II 凍結防止剤編、III 表面塩化物イオン量調査試行(案)、参考資料から成る	50以下		27		
東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案)	2009年3月	東北コンクリート耐久性向上委員会	耐久性に影響を及ぼす寒中養生、コンクリートの凍害、凍結防止剤による各種劣化、海水による劣化	45以下	6±1.5	30	330	左記配合は凍害と凍結防止剤の影響が懸念される床版コンクリートに対する推奨値(P33)

- (1) 水セメント比を下げることは圧縮強度と耐久性の向上に有効である。これは防水層が劣化した場合の凍害や塩害の抑制を目的としている。施工に際しては、粘性の増加により作業性が低下し、充填不足や締固め不足、およびブリージング水の減少による仕上げ作業性の低下の要因となることがあるので、試験練りを実施するとともに、コンクリート打込み時には十分な配慮と事前の計画が必要である。
- (2) コンクリートの耐凍害性は粗骨材の最大寸法が25mm以下で6%（管理値±1.5%）とすることで、飛躍的に向上することが実験により確認されているが、このようなコンクリートの供給方法については、実績が少ないと考えられるので、プラントと十分な協議を行って施工に臨む必要がある。特に7%以上の空気量を有するコンクリートに関しては十分な知見が一般に空気量が1%増加すると、圧縮強度が4～6%低下するので、試験練り等により強度確認を行うことが望ましい。

(3) 「骨材のアルカリシリカ反応性試験法 JIS A 1145(化学法)、JIS A 1146 (モルタルバー法)」では、化学法で無害でないと判定された骨材でも、モルタルバー法で無害と判定されれば、使用することが可能であるが、床版コンクリートは凍結防止剤 (NaCl) の影響を受け、ASRを引き起こす可能性があるため、より厳格な化学法の結果を優先することとした。しかし、やむを得ず化学法で無害でないと判定された骨材を使用する場合は、外部から塩化物の影響を取り入れた試験によって使用骨材、または使用配合の安全性を確認しなければならない。具体的試験方法としては、SSW モルタルバー試験か SSW コンクリート試験がある。

SSW モルタルバー試験 : 骨材のアルカリシリカ反応性試験方法(JIS A 1146)において、供試体を包む吸取り紙に含ませる真水を 20%NaCl 水溶液に変える点のみが異なる試験方法

SSW コンクリート試験 : コンクリートのアルカリシリカ反応性判定試験方法(JCI-AAR-3)において、供試体を包む保水紙に含ませる真水を 20%NaCl 水溶液に代える点のみが異なる試験方法

なお、優れた材料が常に揃う状況にない地域では、材料の安全性確認のため、工事着手時から早めの対応を心がけることが肝要である。

(4) 既往の実験からは水セメント比 (水結合比) が 55%以下であればコンクリートの水密性は確保されることが確認されているが、さらに床版コンクリート表面の水密性向上のために十分な養生等の配慮を加えるのが望ましい。

(5) 床版コンクリートは乾燥収縮などの経時的なひずみ変化を鋼桁が拘束するため、内部に引張応力が生じ、これが大きくなると貫通ひび割れを生じさせることがある。このようなひび割れを防止することが、長期耐久性の条件となるため、収縮補償型の膨張材 (拘束膨張性試験にて $150\mu \sim 250\mu$) を添加することが望ましい。

(6) コンクリートの運搬、打込み時の材料分離抵抗性や施工性を確保するには、単位粉体量が少なくとも $270\text{kg}/\text{m}^3$ 以上確保し、 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 以上とすることが推奨されている。但し、粉体量が多いと粘性が増大するのでバランスが重要である。さらに凍結防止剤散布地域ではコンクリートの表面の緻密さが要求されることから、最低セメント量を $330\text{kg}/\text{m}^3$ とした。

(7) 水セメント比を小さくし、粉体量を増加させることは、コンクリートの粘性を増加させることとなり、ポンプ圧送性等やコンクリートの充填性を損なう場合がある。また、空気量を 6%程度まで増加させる場合も流動性や締固め、仕上げにも影響が生じると考えられる。したがって、事前の施工試験等を行って施工性を確認することが重要である。

資料-3.2 混和材料

床版コンクリートの耐久性向上を目的として、フライアッシュ、膨張材等の混和材と、高性能 AE 減水剤等の混和剤を使用する場合は JIS 規格に適合したものをを用い、かつ使用方法と効果について十分に検討したうえで用いるものとする。

品質の優れたフライアッシュはコンクリートのワーカビリティを改善し単位水量を減らすことが可能で、加えて長期材齢における強度の増進、乾燥収縮の減少、水密性や化学的浸食に対する耐久性の改善に効果が期待できる。さらにアルカリシリカ反応の抑制にも効果があるとされている。また、乾燥収縮によるひび割れは、凍害や塩害による複合的な劣化を促進させることから、乾燥収縮ひび割れの低減を主目的として、膨張コンクリートを用いることとし、JIS A 6202 に適合したものを使用する。

なお、高炉スラグ微粉末はコンクリートの長期強度の増進と水密性を高め、塩化物イオン等のコンクリート中への浸透の抑制や化学抵抗性の改善、アルカリシリカ反応の抑制等の優れた効果

を期待できるが、施工時の養生方法の適否により、中性化速度の増加やひび割れ抵抗性の低下も指摘されているので、RC床版へは原則として用いないこととした。

また、高性能AE減水剤等の混和剤はJIS A 6204に適合し、凍結融解作用に対しても抵抗性の実績があるものを使用する。また、仕様書で規定されている時間を超えて運搬するような特殊なケースに対しても適用事例がある。

さらに、これらの使用にあたっては、資料3-1解説(7)と同様に事前の検討を要する。

資料-3.3 防錆鉄筋

寒冷地では、床版コンクリートに発生したひび割れや凍結融解による損傷部から、凍結防止剤に含まれる劣化因子（塩化ナトリウム、塩化カルシウムなど）が浸入することで、鉄筋が腐食し、床版を著しく損傷させる事例が報告されている。そのため、損傷が予測される箇所には、防錆鉄筋を使用することが望ましい。

- (1) 防錆鉄筋は、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することを標準とし、土木学会規準 JSCE E102「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格」に適合するものを使用する。
- (2) エポキシ樹脂塗装鉄筋の適用範囲は、床版の鉄筋（上面、下面）とする。
- (3) エポキシ樹脂塗装鉄筋の運搬、貯蔵、加工、組立においては、有害な傷など受けないようにしなければならない。また、やむを得ず傷を受けた場合は、塗膜の補修をしなければならない。

- (1) エポキシ樹脂塗装鉄筋は、鉄筋を劣化因子から遮蔽する防食機能を有しており、飛来塩分環境下での使用実績も多く、耐久性の信頼性が高い防錆鉄筋である。写真-資 3.1 に防錆鉄筋の使用事例を示す。その他の防錆鉄筋では、塩化物イオン濃度が高い環境下でも防食性能に優れたステンレス鉄筋があり、実橋にも採用された事例もある。

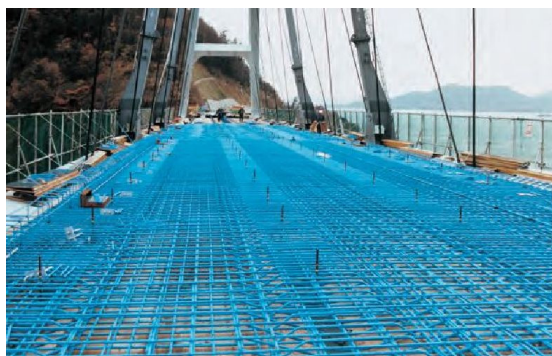
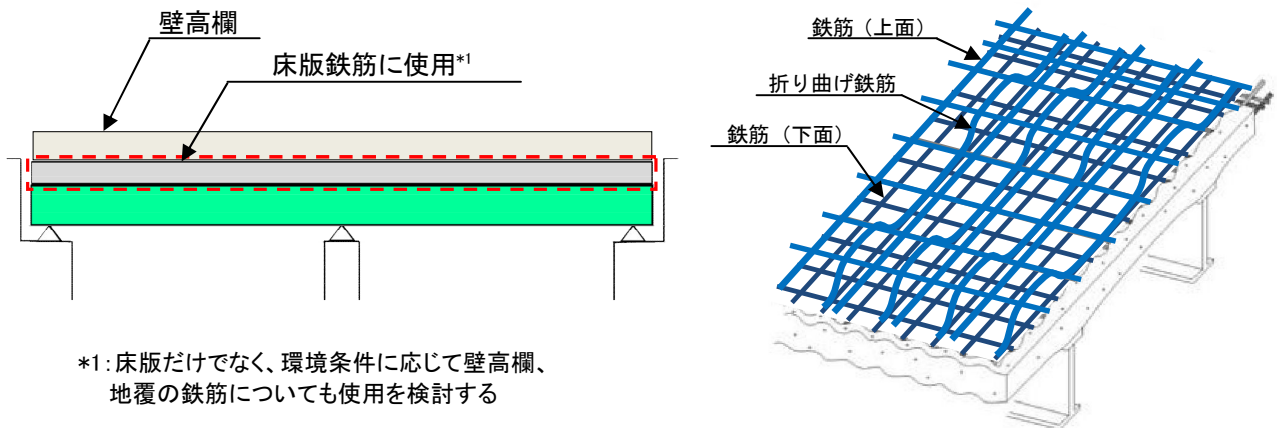


写真-資 3.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用事例

- (2) 寒冷地における床版は、凍結融解や走行車輛の輪荷重の影響で床版上面から損傷が発生しやすく、さらに防水層が劣化し雨水が浸入するとコンクリートが土砂化に至る場合がある。このような損傷部は、水や凍結防止剤を容易に床版内部に浸入させるため、鉄筋の腐食を助長し床版の耐久性を低下させることになる。写真-資 3.2 に床版コンクリート上面の損傷による補修状況を示す。そのため、床版には鉄筋の腐食抑制効果がある防錆鉄筋を使用することが望ましい。なお、横断勾配等により床版と壁高欄境界部が滞水しやすい構造や、凍結防止剤の散布頻度が高い地域などでは、各橋梁の特性を踏まえて壁高欄、地覆等への適用も検討するのがよい。図-資 3.1 に防錆鉄筋の適用範囲の例を示す。



写真-資 3.2 床版コンクリート上面の損傷による補修事例



*1: 床版だけでなく、環境条件に応じて壁高欄、
地覆の鉄筋についても使用を検討する

図-資 3.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋の適用範囲の例

(3) エポキシ樹脂塗装鉄筋は、鋭利なもの等で塗膜に傷がつきやすい。そのため、エポキシ樹脂塗装鉄筋を施工する場合は、十分な注意が必要である。

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、運搬時において、車輛振動による鉄筋相互のこすれや、積荷時の衝撃、玉掛用具との摩擦などにより塗膜に損傷を生じやすい。そのため、運搬車輛の荷台の上や、鉄筋束の間には緩衝材（木、ゴム、麻袋など）を配置するとともに、吊上げ時にはナイロンスリングや緩衝材等を用いて塗膜の損傷を防止する。

貯蔵の際は、塗膜の損傷を避けるため直接地面に置かず適切な間隔で置いた台木に緩衝材（木、ゴム、麻袋など）を設置する。また、鉄筋を重ねる段数はD16以上の鉄筋で5段程度までとし、有害な変形、傷等を受けないようにする必要がある。なお、直射日光を避けるため、倉庫内に貯蔵するのが望ましいが、屋外で貯蔵する場合はシートで覆い養生する。写真-資 3.3 に吊上げ及び仮置き状況を示す。



写真-資 3.3 吊上げ及び仮置き事例

エポキシ樹脂塗装鉄筋の加工は、塗膜ならびに鉄筋の材質を害さない方法で行なわなければならない。そのため、鉄筋折り曲げ時に加工機が接触するローラーなどには、塗膜に損傷を与えな

い材質(ウレタン等)でライニングされたものを使用するのがよい。また、曲げ加工時において、気温が低い場合は、塗膜が硬くなり、折り曲げ時に塗膜が割れるおそれがあるため、5℃以上の雰囲気温度で加工することを原則とする。写真-資 3. 4 に切断及び曲げ加工状況を示す。



写真-資 3. 4 切断及び曲げ加工状況

エポキシ樹脂塗装鉄筋の組立の際には塗膜を損傷させないため、投げ下ろして強い衝撃を加えたり、鉄筋を引きずり強い摩擦を与えないよう丁寧に取り扱う必要がある。また、鉄筋組立時に用いる結束線には、芯線径 0.8mm 以上のビニール被覆等の処置を施した鉄線を使用し堅固に組み立て、組立後のこすれによる損傷などにも配慮する。

エポキシ樹脂塗装鉄筋の組立完了後に、長期間直射日光に曝されると塗膜の耐衝撃性能が低下するため、コンクリートの打込みまで3ヶ月以上経過することが予想される場合には、予めシート等で鉄筋を覆うのがよい。また、配筋上を通路として使用する場合には、エポキシ樹脂塗装鉄筋と足場板との間に緩衝材(木、ゴム、麻袋など)を配置するのがよい。図-資 3. 2 に通路の養生状況を示す。

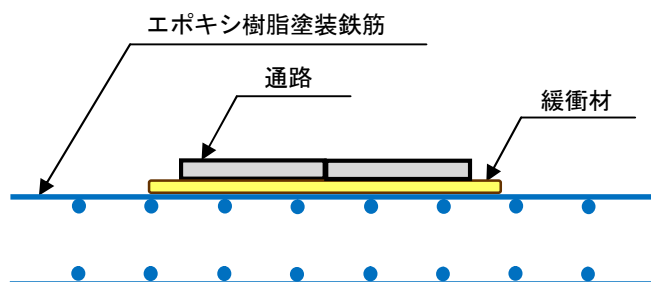


図-資 3. 2 通路の養生方法

コンクリートの圧送に用いる輸送管には支持台を配置する。この支持台は、管や圧送中のコンクリート重量ならびに振動に対して安全で、かつエポキシ樹脂塗装鉄筋に傷が付かないものを設置する。支持台にゴム製のタイヤを使用した例を図-資 3. 3 に示す。

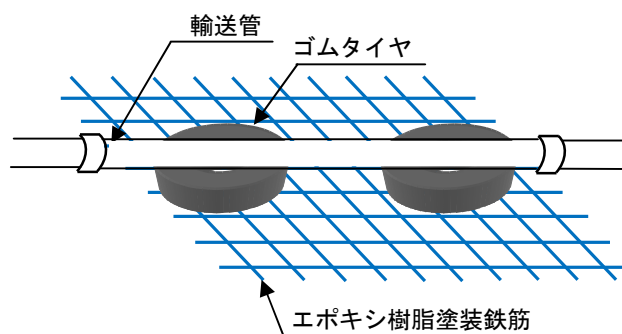


図-資 3. 3 輸送管の支持台の例

コンクリート打込み時は、エポキシ樹脂塗装鉄筋に強い衝撃がかからぬよう打込み高さは1.5m以内とする。また、締固め作業時に塗装の損傷を防止するため、内部振動機は振動部の先端に緩衝材があるものを使用するのがよい。写真-資 3.5 にコンクリート打込み状況を、図-資 3.4 に内部振動機の緩衝材の例を示す。



写真-資 3.5 コンクリート打込み状況

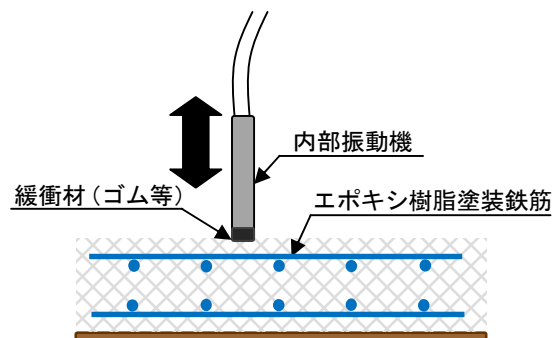


図-資 3.4 内部振動機の緩衝材の例

施工途中において、エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜に有害な損傷が発見された場合は、損傷部を十分清掃したうえで、JSCE-E 105「エポキシ樹脂塗装鉄筋補修用塗料の品質規格」に適合する塗料を使用し、ハケ等で補修塗装を行う。補修塗装では、塗料（2液）を所定の混合比率（体積比 主剤3:硬化剤1）で調合し、膜厚が200～300 μ m程度になるよう塗布するものとする。写真-資 3.6 に補修塗装状況を示す。



写真-資 3.6 補修塗装状況

※エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工例 写真提供 安治川鉄工㈱

【参考資料4】RC床版施工用チェックシート

本資料を活用するにあたり、RC床版の施工計画書を入念にチェックし、その計画書が仕様書に準じていることを確認するとともに、チェックリストは計画書のとおり確実に履行されているかを現場で確認することを目的としているので、これを理解し、事前の準備を確実に実施していただきたい。

また、本チェックシートを活用して品質のPDCAサイクルを効果的に回していくには、以下の点に留意して、作業員を含めてフォローアップの会議を継続的に行う必要がある（文書に残すべきである）。

- ①準備段階で計画どおりにできなかった項目の原因の洗い出しと改善策、および確認方法の協議
- ②運搬段階での問題点の有無と改善策、確認方法の協議
- ③打込み時の問題点の洗い出しと改善策、および確認方法の協議。さらに品質に悪い結果を与えたと想定される項目があれば、その分析と対策の協議
- ④締固め、仕上げ時についても③と同様に検討する
- ⑤養生方法と養生結果に対する問題点の洗い出し（養生中、養生完了時に実施）とその対策、
- ⑥表層の状況の目視確認（ひび割れの有無、平坦性、打継目の一体性など）による不具合箇所の洗い出しと次回施工での対策案の立案
- ⑦型枠の脱型後の表面確認（ジャンカの有無、気泡残り、セパレーター付近の沈降クラックの有無、砂すじの有無など）による不具合箇所の洗い出しと次回施工での対策案の立案

【 施 工 状 況 把 握 チェックシート（コンクリート打込み時）】

事務所名				工事名				工区	
構造物名				部位				範囲	
受注者				確認者					
配合	強度-スランプ-粗骨材径			確認日時					
打込み開始時刻	予定		実績		打込み開始時気温		天候		
打込み終了時刻	予定		実績		打込み量 (m ³)		施工面積 (m ²)		
施工段階	チェック項目							記述	確認
準備	施工順序（範囲）が計画のとおりか。							—	
	打込み間隔（施工日）が計画のとおりか。							—	
	ポンプ車の整備、点検は適正か。							—	
	圧送配管の暑中または寒中養生は計画のとおりか。							—	
	圧送配管の配置、支持方法は計画のとおりか。							—	
	型枠面は湿らせているか。							—	
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。							—	
	かぶり内に結束線がないことを確認したか。（チェックリスト運用者が監理技術者にも確認）							—	
	硬化したコンクリート打継面は計画のとおり打継ぎ処理が行われているか。							—	
	コンクリート打込み作業人員(※)は計画のとおりか。							作業員数 記入	
	予備のバイブレータを準備しているか。							使用台数 予備台数	
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。							—	
	スペーサが外れていないか。							—	
	定規用鉄筋（高さ検測棒）は計画のとおり配置されているか。							—	
型枠内に水が溜まっていないか。							—		
運搬	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間および管理は適切であるか。							時間記入	
	アジテータトラックの配車とルートは計画のとおりか。							—	
打込み	ポンプや配管内面の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。また、送られたモルタルは破棄したか。							—	
	鉄筋や型枠は乱れていないか。							—	
	横移動が不要となる位置に、コンクリートを降ろしているか。							—	
	コンクリートは、途中で打継目を設けることなく計画のとおり範囲全てに打込まれたか。							—	
	構造や勾配を考慮して、打込み方向は計画のとおりか。							—	
	打重ね部は振動機を下層のコンクリートまで挿入しているか。							—	
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか。							打込み高さ 記入	
	注文のとおり生コンが納入されているか、品質確認を行ったか。							W/C, 空気量 記入	
ポンプが正常に作動しているか。圧送負荷は正常か。							—		
打重ね時間間隔は計画のとおりか。							打重ね時間 記入		
締固め 仕上げ	トロウエルや金ゴテ仕上げ等で表面のひび割れ防止できているか、また平滑性が確保できているか。							—	
	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入時間は5～10秒、挿入間隔は50cm以下としているか。							挿入時間 間隔記入	
	締固め作業中に、バイブレータを鉄筋等に接触させないようにしているか。							—	
	バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。							—	
バイブレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。							—		
養生	硬化を始めるまでの乾燥防止のために被膜養生剤等を使用しているか。							—	
	床版コンクリート表面を湿潤状態に保っているか。							—	
	湿潤状態を保つ期間は計画のとおりか。							養生日数 記入	
型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。							—		
要改善 事項等									

※コンクリート打込み作業人員・・・コンクリートの打込み・締固め作業時の人員のうち、直接作業に携わらない者（監理・主任技術者やポンプ車運転手等）を除いた人員

参考文献

- 1) 橘 吉宏：鉄筋コンクリートの床版の損傷事例と調査，橋梁と基礎 Vol. 48, pp. 53-59, 2014. 5.
- 2) 建設図書：橋梁と基礎, 1998. 6.
- 3) コンクリート工学会：コンクリート技術の要点 ‘12
- 4) コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2012-
- 5) 東北コンクリート耐久性向上委員会：東北地方におけるコンクリート構造物設計・施工ガイドライン(案), p. 192, 2009. 3.
- 6) 2012 年度制定 コンクリート標準示方書 施工編
- 7) 土木学会：コンクリートのポンプ施工指針 2012 年版, p. 35, 2012. 6.
- 8) 村田二郎：コンクリートの水密性の研究, 土木学会コンクリートライブラリー, No. 7, 1963.
- 9) 寒地土木研究所：高機能防水システムによる床版劣化防止に関する研究 H24 年度重点 PJ の研究成果
- 10) 東北地方整備局：設計施工マニュアル [橋梁編] , P2-53, 2008
- 11) Bureau of Reclamation : Concrete Manual 8th ed., 1977