

平成27年度 橋梁技術発表会

# 寒冷地における鋼橋RC床版の 耐久性向上対策

－ 施工手順書の策定と施工実験 －

技術委員会 床版小委員会

[ 田中喜一郎 江頭慶三 和田 均 袋 和雄 出口哲義 ]

# コンクリート系床版に関する取組

橋建協は、鋼桁の製作・施工だけでなく、RC床版、PC床版、鋼コンクリート合成床版の施工に関する調査・研究等も行っています。

- ・各種コンクリート系床版に関する調査・研究（疲労・凍害・塩害・ASR・指針策定など）
- ・既設床版の補修や取替に関する調査・研究
- ・合成床版の非破壊検査に関する調査・研究
- ・床版に関する質問対応、講師派遣などにも注力

## 発表内容

### ○なぜ寒冷地のRC床版に耐久性向上対策が必要か

- ・寒冷地における劣化・損傷事例
- ・防水層施工の経緯と現状

### ○鋼橋RC床版の耐久性向上対策

- ・凍害対策、塩害対策、ASR対策、疲労・ひび割れ対策、施工時の留意事項

### ○鋼橋RC床版施工手順書

### ○RC床版の高耐久化を目指した施工実験

# なぜ寒冷地のRC床版に耐久性向上対策が必要か

## 寒冷地におけるRC床版の現状

- ・凍結防止剤による塩分を含んだ水が床版上面に滞水またはひび割れから浸入
- ・表層コンクリートの凍害
- ・輪荷重走行による疲労(主要因でない)

これらの劣化要因が複合的に作用



水や塩分の浸透を抑制し、耐凍害性を向上させなければならない

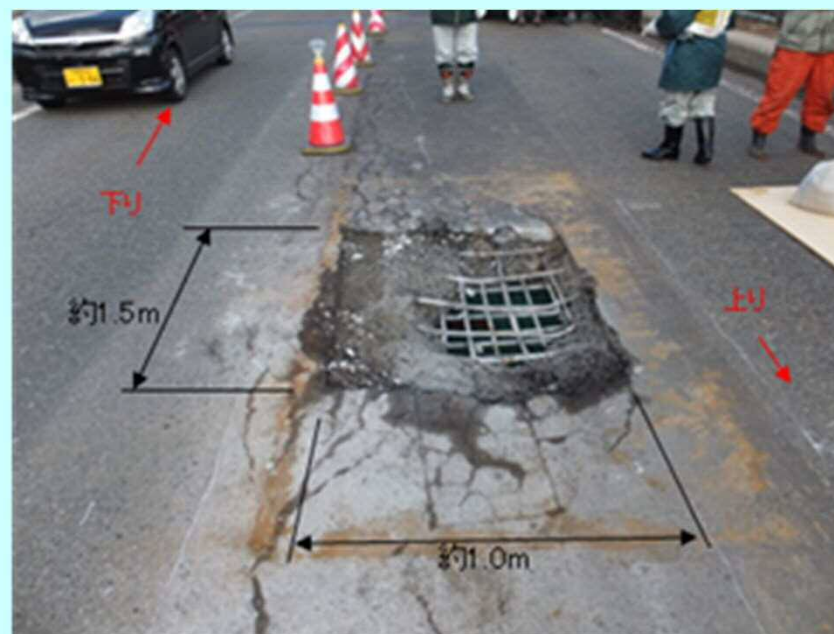
# 寒冷地における劣化・損傷

## 劣化・損傷の要因

- ・床版の構造特性による劣化
- ・鋼橋の構造的要因による劣化
- ・設計上の配慮不足による劣化
- ・施工不良に起因する劣化
- ・コンクリート材料の特性による劣化

# 寒冷地における劣化・損傷事例①

## 床版の構造特性による劣化



活荷重による2方向ひび割れと押抜きせん断破壊

# 寒冷地における劣化・損傷事例②

## 鋼橋の構造的要因による劣化



主桁の拘束による乾燥収縮ひび割れ



連続桁の中間支点上ひび割れ



# 寒冷地における劣化・損傷事例③

## 施工不良による劣化



床版打継目からの漏水



床版と地覆の打継目からの漏水



# 寒冷地における劣化・損傷事例④

## 施工不良(配慮不足)による劣化



排水柵周辺からの漏水



スラブドレン周辺の漏水または伝い水

# 寒冷地における劣化・損傷事例⑤

## コンクリート材料の特性による劣化



凍結防止剤散布環境下での塩害事例



凍結防止剤散布環境下でのASRによる劣化事例

代表的劣化事例



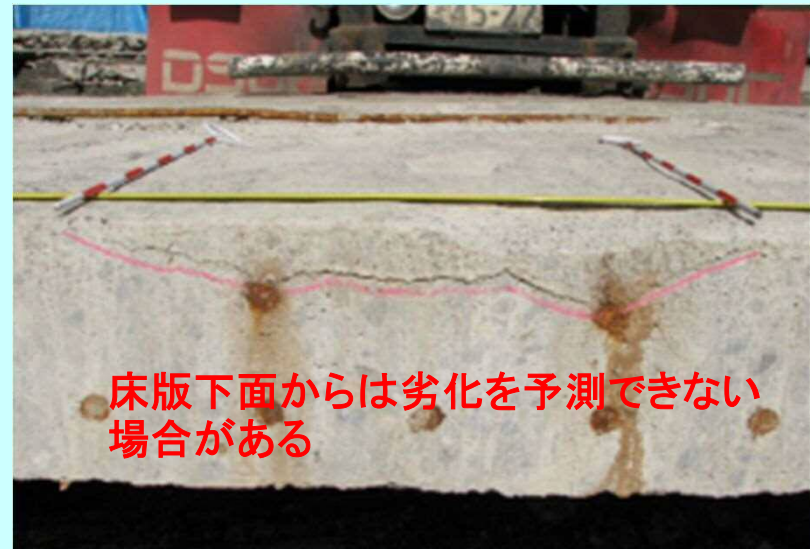
凍害による劣化事例



走行車両の軌跡に沿った劣化



舗装のポットホールと床版上面の砂利化



上縁鉄筋に沿った水平ひび割れ



# 防水層施工の経緯と現状

## 防水層施工の経緯

昭和48年：道路橋示方書に初めて規定

昭和62年：道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料発刊（防水箇所は限定）

- ・合成桁や連続桁の中間支点付近
- ・凍結防止剤を多量に散布する橋梁
- ・床版打替えが極めて困難な重要路線の橋梁

平成 3年：スパイクタイヤ使用禁止と凍結防止剤散布の増加

11年

平成14年：道路橋示方書にて規定改訂

- ・床版防水層の原則全面設置

## 防水層施工の現状

防水層は舗装打替え時(10~15年)に更新されるが、道路規制の制限の中で実施されることが一般的

- ①床版のかぶり部分のコンクリートの一部が削られ、表面の不陸やクラックの残存により、防水層の付着が不足する。
- ②車線規制での施工のため、防水層や舗装に継目が生じ、その部分からの漏水が生じる。



仮に、防水層が十全に機能しない場合でも、凍害や塩害等による劣化を避けるため、床版本体の耐久性を向上させておくことが重要

# 寒冷地における 鋼橋RC床版の劣化予防対策

寒冷地においてRC床版の長期耐久性を検討するための条件

- ①凍結防止剤や凍害の影響を必ず受ける
- ②乾燥収縮による橋軸直角方向ひび割れ、活荷重による2方向ひび割れが生じやすい
- ③防水層は舗装の打替え時から十全には機能しないことがある

## 寒冷地におけるRC床版の施工においては・・・

- ・設計および施工上の配慮不足や施工不良
- ・初期欠陥
- ・気象作用や化学的作用に対する材料劣化  
(床版の表層コンクリートが劣化すると輪荷重の繰り返し走行による複合劣化に進展し易い)

これらを防いで密実なコンクリートを施工することが重要→強度だけに頼らず、劣化に対する耐久性能を持たせる



# RC床版の耐久性向上対策の基本事項①

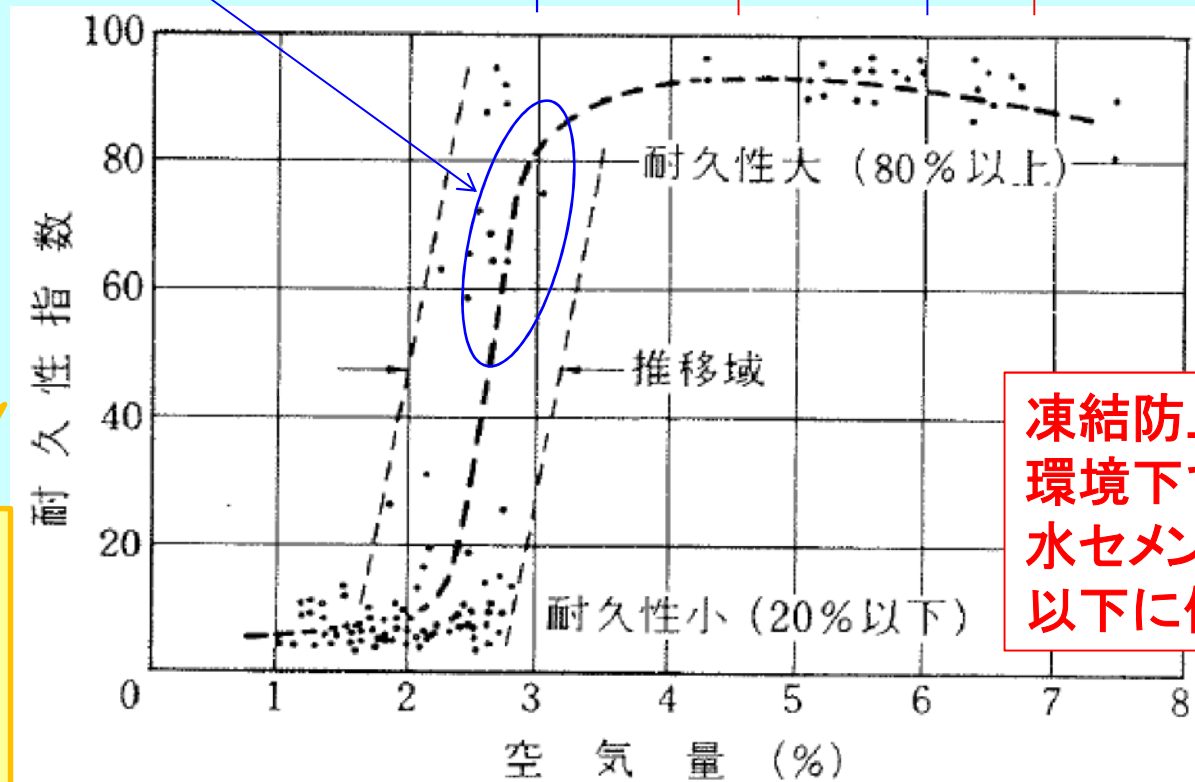
## 材料面からのRC床版の耐久性向上対策

劣化形態	有効と考えられる対策
凍害	①所要の空気量(AE 剤)と水セメント比を確保 ②耐凍害性の大きい骨材の使用
塩害	①所要のかぶり厚と水セメント比の確保 ②防錆鉄筋の使用
アルカリシリカ反応 (ASR)	①コンクリート中のアルカリ総量の遵守 ②骨材の安全性(化学法・モルタルバー法) ③フライアッシュ等のASR 抑制混和材の使用
疲労・ひび割れ	①乾燥収縮補償用コンクリートの膨張材を使用

# 凍害対策

空気量が3%以下になると  
耐久性指数が大幅に低下

高耐久仕様の管理値 (4.5~6.9%)  
標準の管理値 (3.0~6.0%)



凍結防止剤散布  
環境下ではさらに  
水セメント比を45%  
以下に低減する

注) 耐久性指数  
とは、動弾性係  
数の凍結融解試  
験前と後の比率  
を示す。  
80%以上が目安

コンクリートの凍害と空気量との関係\*

(種々の骨材・セメント量・水セメント比・空気量による結果)

\*W. A. Cordon, D. Merrill: Requirements for Freezing-and-

Thawing Durability for Concrete, Proc. ACI, Vol.63, pp.1026~1036, 1963

# 塩害対策

塩害の影響による最少かぶり(mm)

塩害の影響の度合い	対策区分	RC構造 (RC床版)
影響が激しい	S	70*1
影響を受ける	I	
	II	70
	III	50
影響を受けない		30

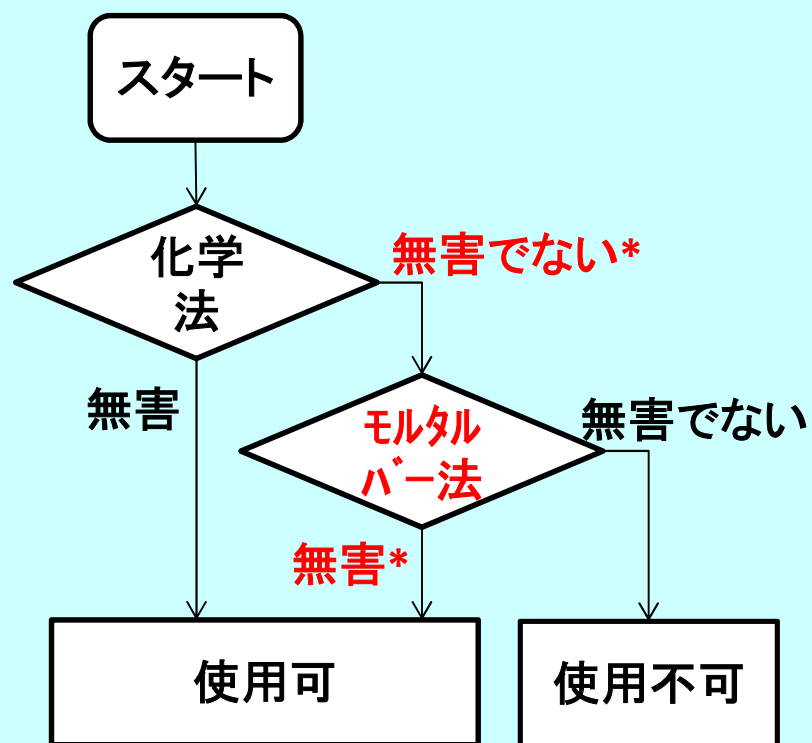
かぶり規定に加えて  
W/C45%以下の条件も追加  
(中性化対策にも有効)

\*1 塗装鉄筋の使用またはコンクリート塗装を併用  
(床版の場合はエポキシ樹脂塗装鉄筋を推奨)

注) 対策区分S、I ~ IIIは道路橋示方書・同解説IIIコンクリート橋編P175を参照

# アルカリシリカ反応 (ASR) 対策

- ①コンクリート中のアルカリ総量を  $3\text{kg/m}^3$ 以下とする
- ②反応性試験で無害の骨材を使用する
- ③フライアッシュなどのASR抑制効果のある混和材を検討する



一般的な反応性試験方法の流れ

\*凍結防止剤散布環境下では化学法で無害でないものは使用しないことが望ましい

## 反応性試験の概要

	試験概要	必要期間
化学法	粉砕した骨材をアルカリ溶液で反応させ、溶液のアルカリ濃度減少量や溶解シリカ量の関係から骨材の反応性を判定	1週間
モルタルバー法	粉砕した骨材とアルカリ量を調整したセメントにてモルタルバーを作成し、指定条件下保存した後の膨張量から反応性を判定	6か月

# 疲労・ひび割れ対策

## 乾燥収縮ひび割れ

鋼桁の拘束による乾燥収縮、鋼桁との温度差によるひび割れ



- ・ 輪荷重の走行による疲労劣化促進
- ・ 浸入した水分による凍結融解
- ・ 塩化物などの劣化因子の浸入

### 【対策】

- ・ AE減水剤、高性能AE減水剤による単位水量低減
- ・ 収縮補償用コンクリートの膨張材添加

すでに東北地整発注の一部の橋梁では、これまで説明した高耐久性仕様のコンクリートを用いたRC床版の試験施工が実施されている(日経コンストラクション 2015.4.13版右写真)



さらに 材料面・配合面からの  
高耐久化に加えて

不具合事例を把握した上で確実な  
施工や配慮・工夫が求められる

# RC床版の耐久性向上対策の基本事項②

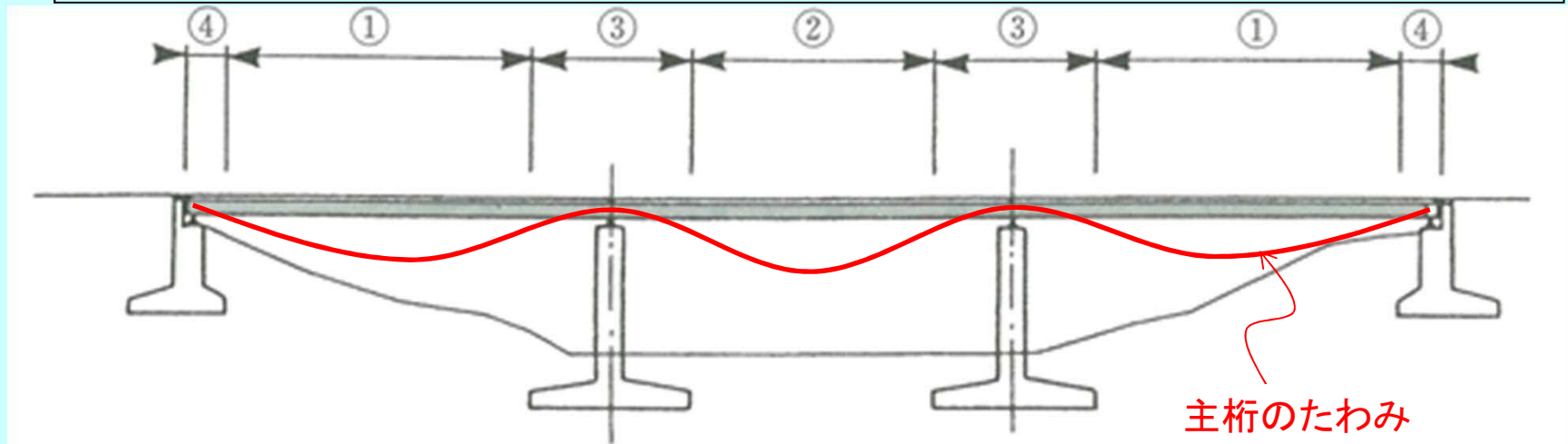
## 施工計画および施工時の留意事項

項目	留意事項
ひび割れ対策	①打込み順序の決定と施工中の引張応力照査 ②床版上面のひび割れ防止
コンクリート施工量	①施工条件によって適切な施工量を決定する
運搬・打込み	①条件に応じた適切なスランプを決定 ②単位水量は増やさない ③空気量の変動予測と確保
出来形精度	①かぶり確保、②高さ管理
養生	①養生期間、方法の工夫
打継目	①一体化のための対策 ②漏水防止対策
橋面排水	①速やかな排水を促す設備・計画

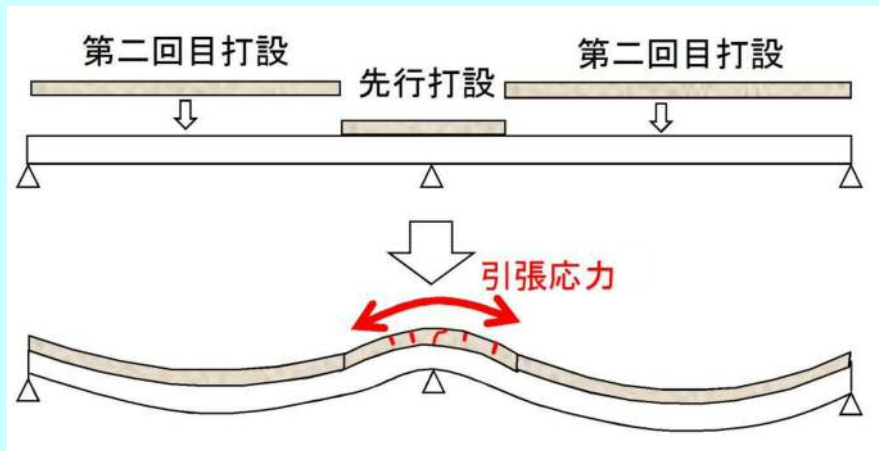


# ひび割れ対策

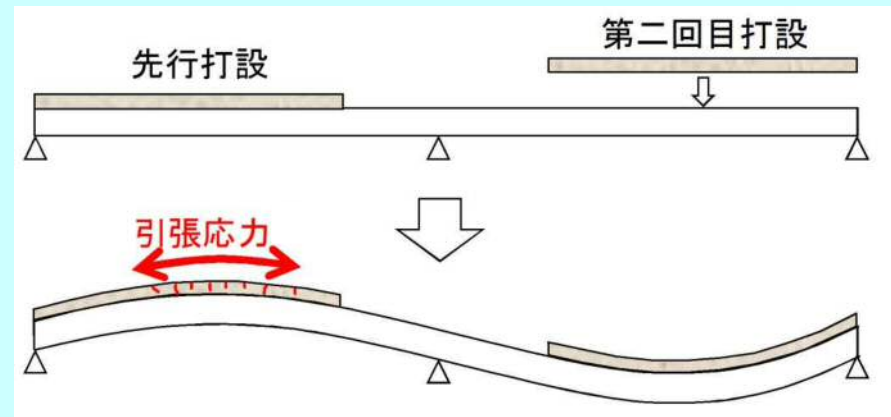
## 床版コンクリートの打込み順序



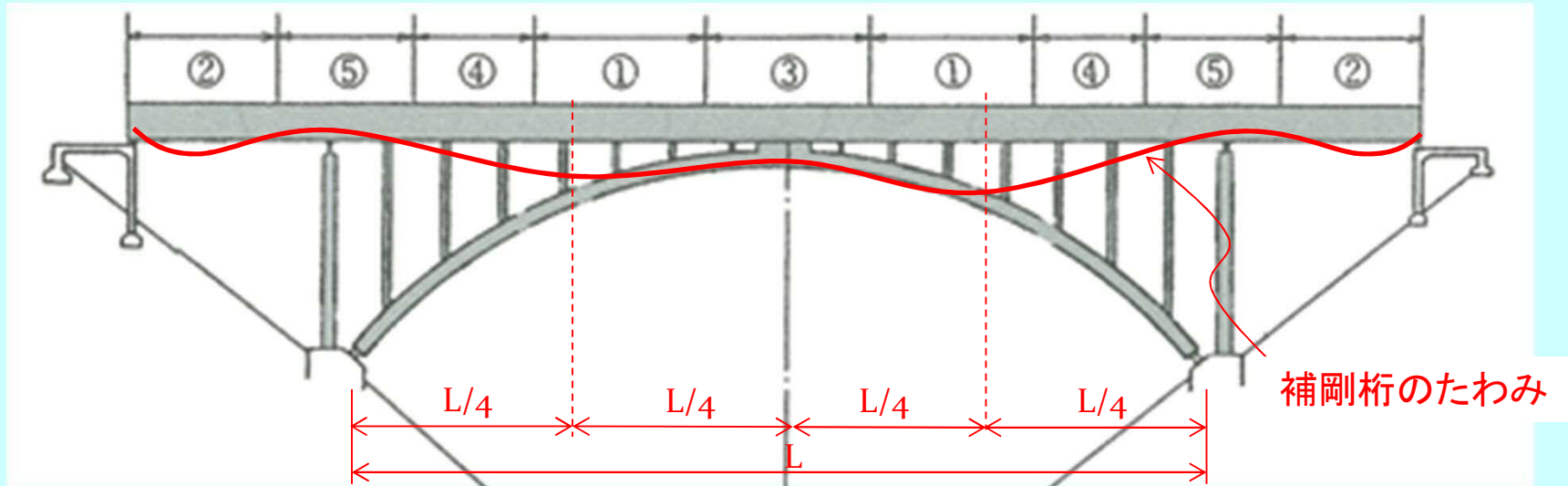
3径間連続桁の打込み順序



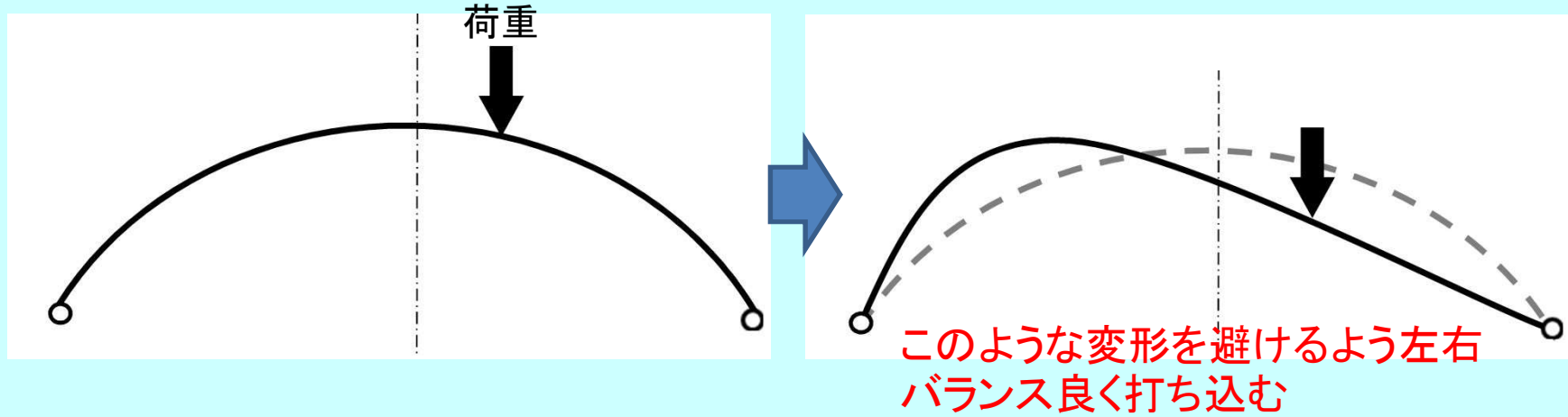
誤った例：中間支点部を先行打設した場合



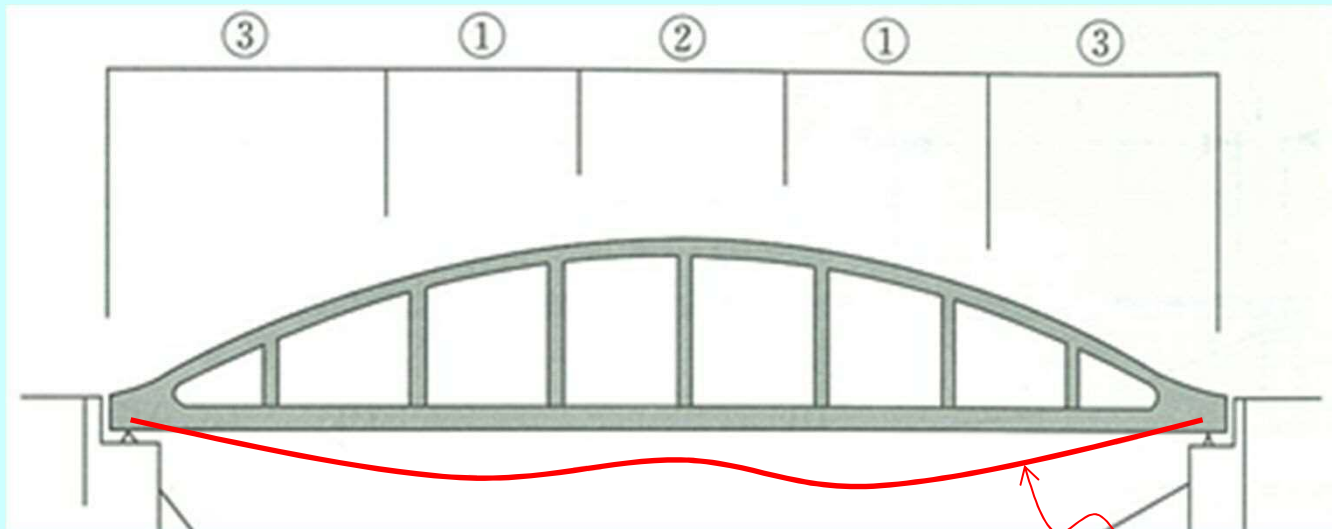
中間中央部の打設時



上路アーチ橋の打込み順序

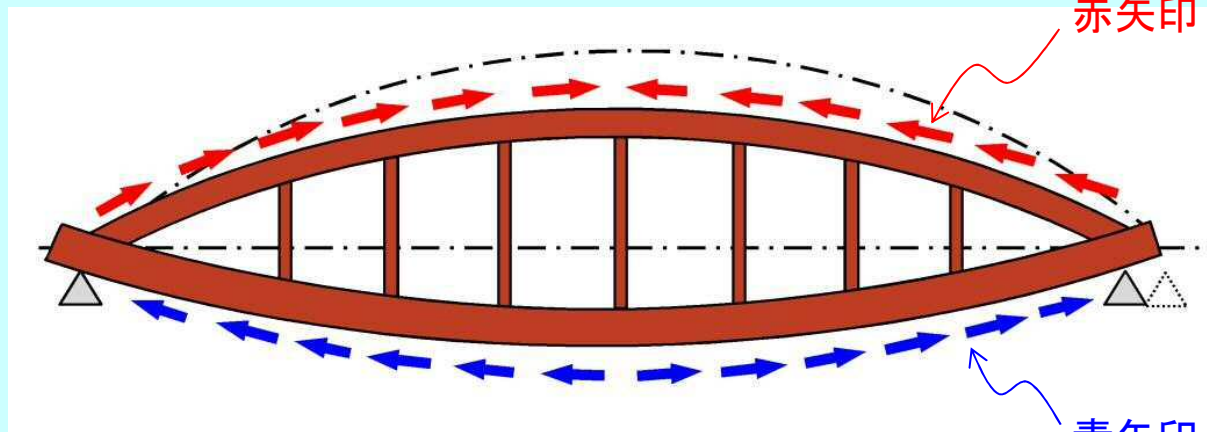


上路アーチ橋の非対称荷重によるたわみ



下路アーチ橋の床版打込み順序

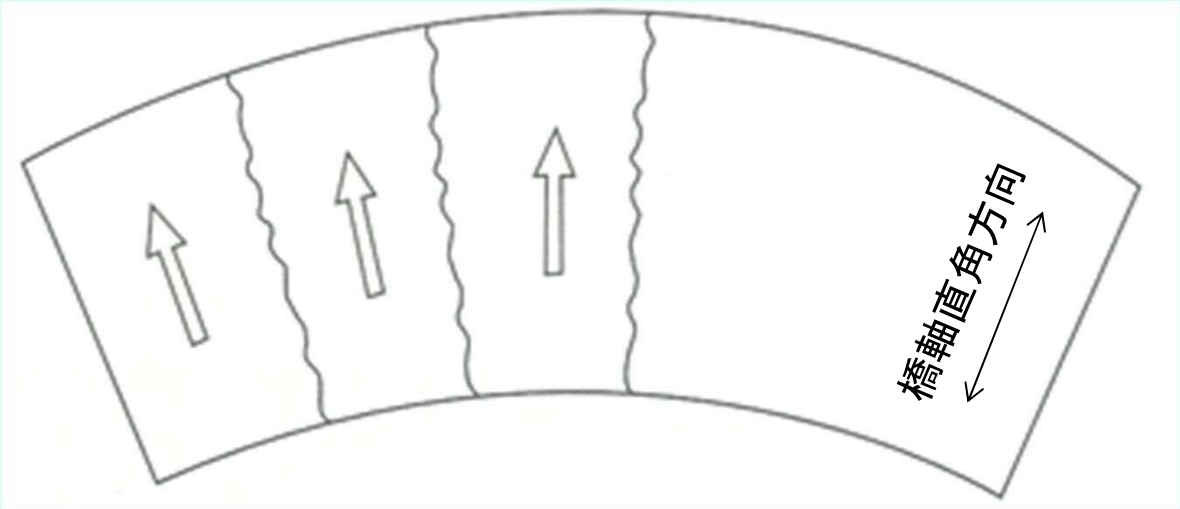
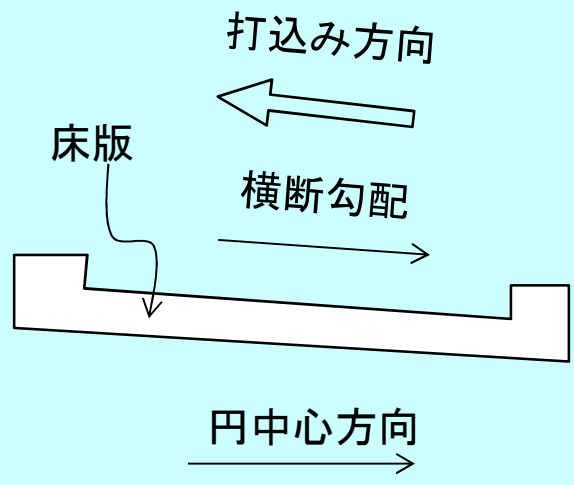
補剛桁のたわみ



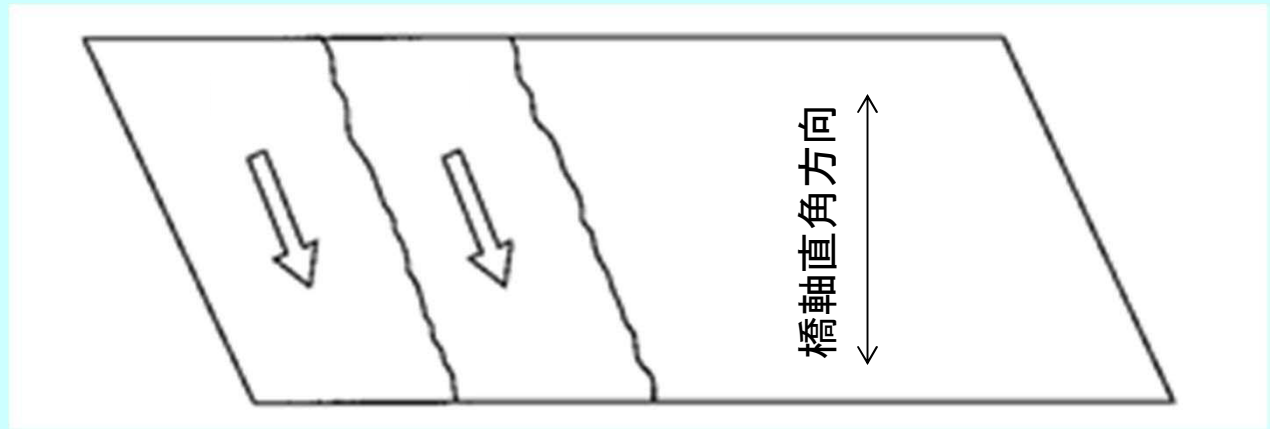
赤矢印: 圧縮

青矢印: 引張

下路アーチ橋の構造特性



曲線橋の床版打込み方向



斜橋の床版打込み方向

## 施工中のひび割れ



沈下ひび割れ

### 【対策】

- ・十分な人員配置
- ・余裕を持った  
施工スケジュール



プラスチック収縮ひび割れ

### 【対策】

- ・膜養生剤の使用
- ・遮光設備の設置
- ・風防設備の設置

# 施工計画(1日のコンクリート施工量)

以下の条件に基づいて決定

- ・気象条件
- ・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
- ・作業員の人員配置など

標準的な1日当りのコンクリート打込み量の目安

⇒ 100~150m<sup>3</sup>/日

- <設定条件>
- ・打込み作業時間=5時間
  - ・コンクリートポンプ1台当りの吐出量=20~30m<sup>3</sup>/h



作業指揮者: 1名

筒先管理者: 2~3名

バイブレータ担当: 6名(締固め・配線持ち) × 3

仕上げ担当: 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名必要**

コンクリート打設人員配置図の一例  
(1日当たり150m<sup>3</sup>のコンクリートを施工する場合)



- ・コンクリート打込み量： 150m<sup>3</sup>
- ・コンクリートポンプの標準打込み量： 20～30m<sup>3</sup>/h（時間当たり打込み量： 30m<sup>3</sup>/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 <sup>3</sup>													
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 <sup>3</sup>													
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														■	

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

# 運搬・打込み(スランプの確保)

## 運搬時間とスランプ低下量の目安

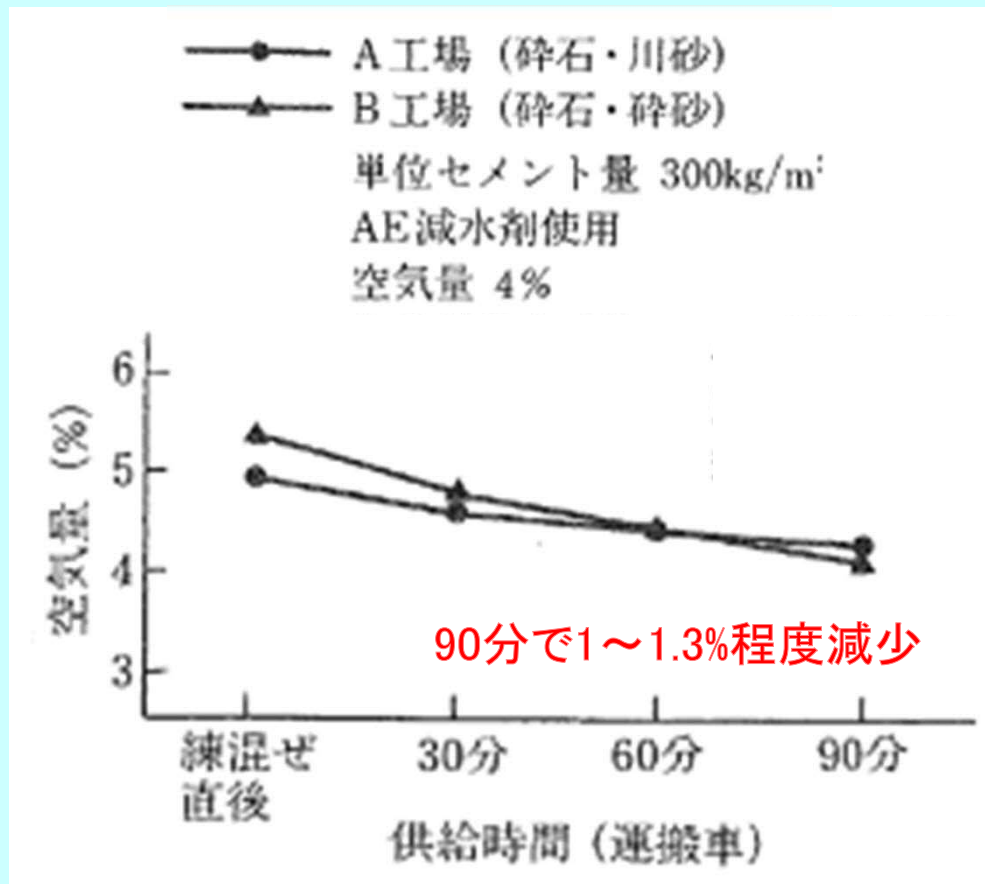
標準期(春、秋)	運搬時間30分当たり1.0cm程度
冬期	運搬時間60分までで1.0~1.5cm程度
夏期	運搬時間30分当たり1.5cm程度

## 施工条件に応じたスランプ低下の目安(抜粋)

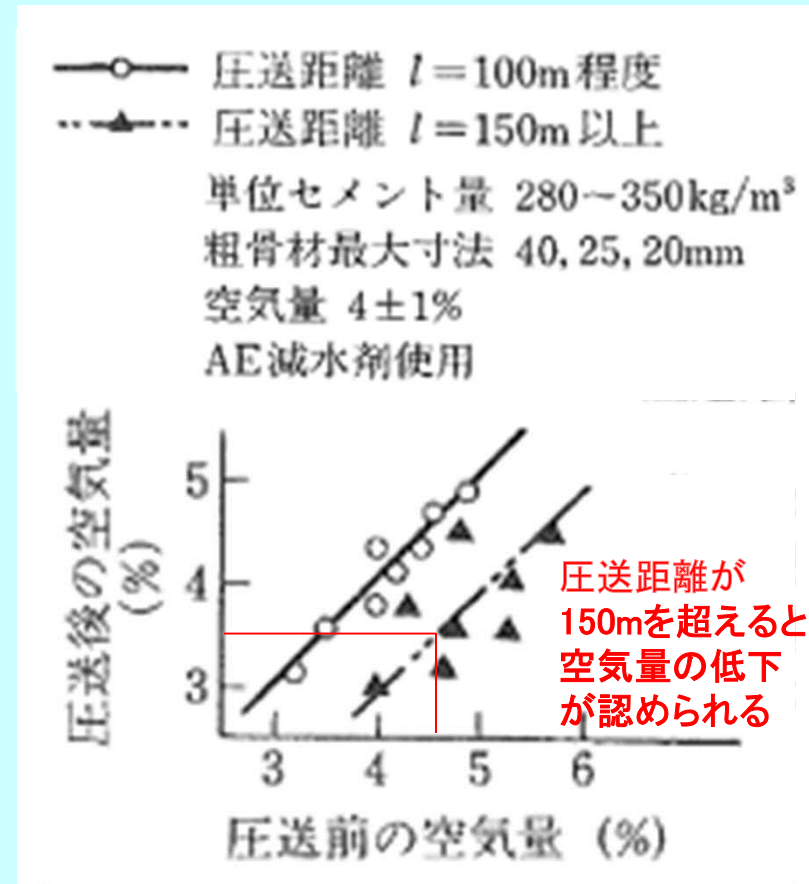
圧送条件	打込み時のスランプ低下量	
水平換算距離	最小スランプ12cm未満	最小スランプ12cm以上
50m未満	補正なし	補正なし
50m以上150m未満*	0.5~1.0cm	0.5~1.0cm
150m以上300m未満*	1.5~2.0cm	1.5cm

\* テーパー管を使用し、100A(4B)以下の配管を接続した場合

# 運搬・打込み(空気量の確保)



空気量の経時変化測定例



圧送前後における空気量変化の測定例

# かぶり確保

主桁上に設けた  
定規用鉄筋  
(検測棒)

橋軸方向  
↙ ↘



床版厚検測棒  
(桁間部の  
鉄筋に固定)

橋軸直方向  
← →

定規用鉄筋(検測棒)等の施工事例

工場にて溶接



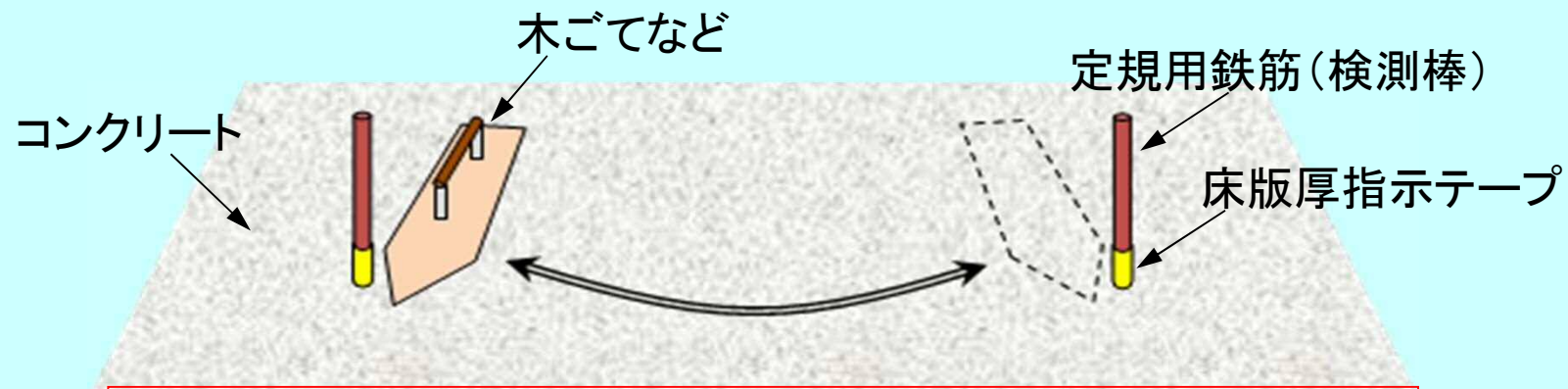
かぶりを確保する支保工取付け用吊金具の例



# 仕上げ精度、平坦性確保



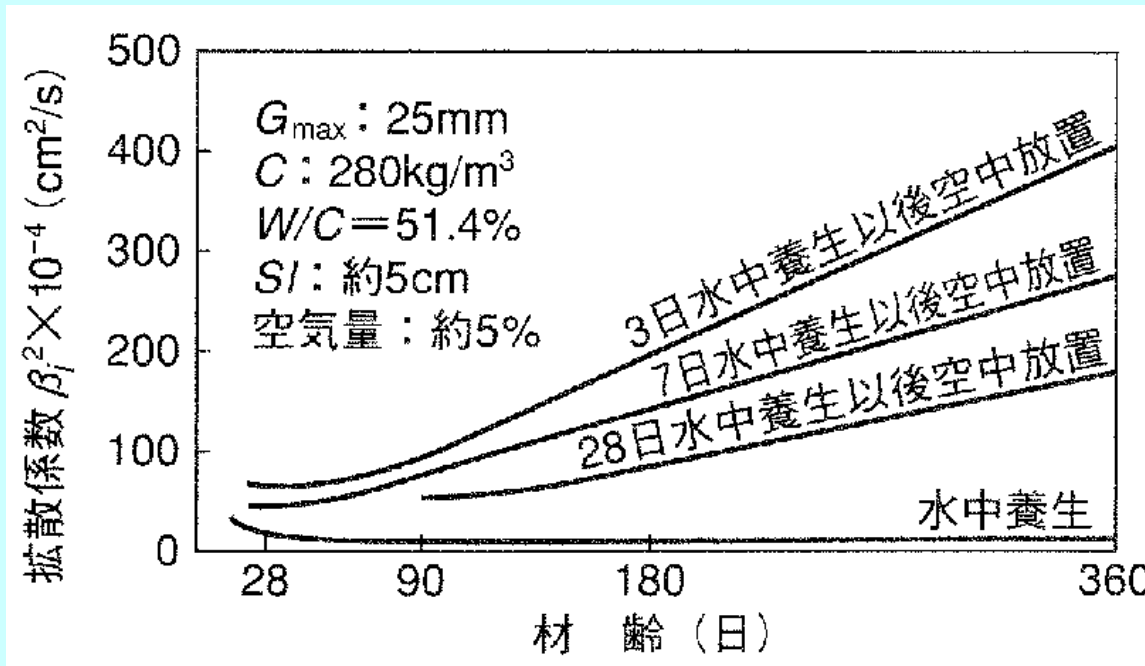
床版上面での滞水の事例



作業員の手が届く程度(2~3m程度)に定規用鉄筋(検測棒)等を配置

定規用鉄筋(検測棒)等による平坦性向上の例

# 養生期間の確保



養生期間が長いほど  
拡散係数が低下する

↓  
水密性が向上する

湿潤養生期間とコンクリートの水密性

# 打継目の一体化



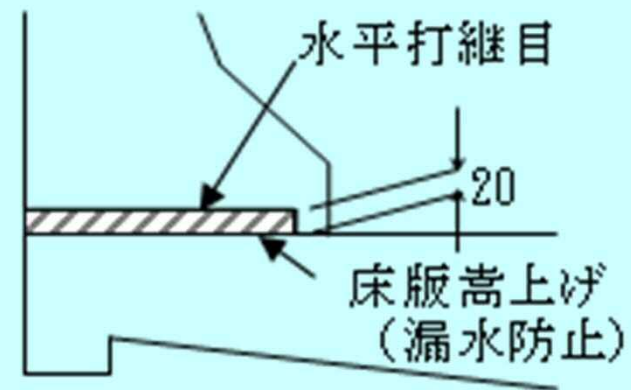
せき板設置・凝結遅延剤塗布状況



高圧水によるレイトンス処理状況



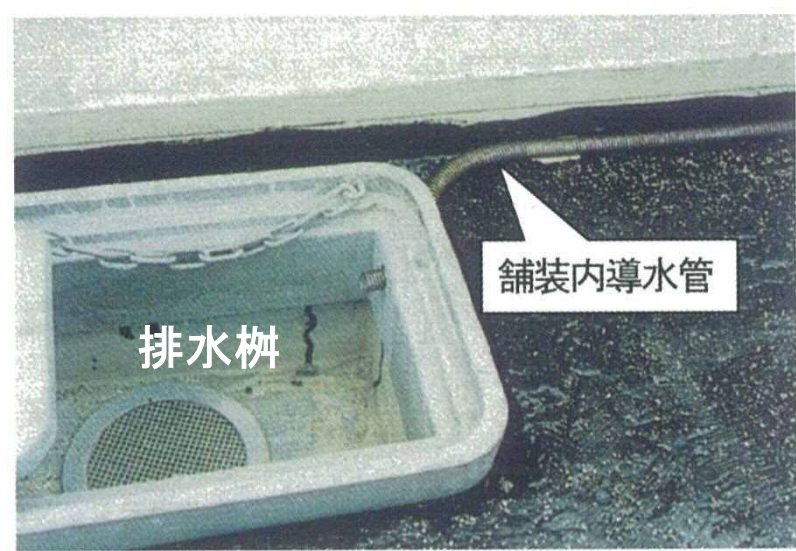
打継目処理後の状況



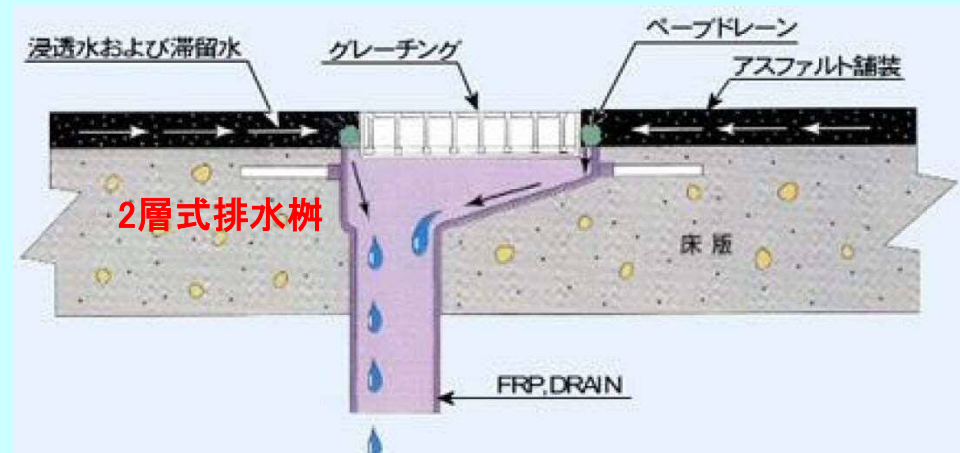
壁高欄との水平打継目



# 橋面排水計画



舗装内導水管



2層式排水柵構造例

# 鋼橋RC床版施工手順書について

【 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 <sup>3</sup> )		施工面積 (m <sup>2</sup> )	
施工段階	チェック項目						記述	確認
	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。（チェック運用者が監理技術者にも確認）						—	

# 『ロハスの橋』 プロジェクト





# プロジェクトの目的

## RC床版の高耐久化(耐凍害性、耐塩害性、耐疲労)の実証・ 確認および、そのための耐久性評価方法の検討

橋建協は日本大学 岩城教授とRC床版の耐久性の評価方法の確立を目的に、2014年6月より実物大模型実験を実施(太平洋セメント株式会社、スリーエムジャパン株式会社、三井住友建設株式会社、BASFジャパン株式会社もこの試験に参加)。フライアッシュ(FA)添加のコンクリートの施工性についても確認。

供試体番号	コンクリート品質	水セメント比	空気量	備考
No. 1 標準仕様	標準品質	55%以下	4.5%	標準品質
No. 2 低品質仕様	低品質	65%以下	3.0%	粗悪な品質
No. 3 高耐久仕様	高耐久品質	45%以下	6.0%	膨張材添加
No. 4 最上級仕様	高耐久品質+FA	45%以下	6.0%	膨張材+FA添加
No. 5 封緘養生仕様	標準品質	55%以下	4.5%	保水テープ°封緘養生
No. 6 機械仕上げ仕様	標準品質	55%以下	4.5%	表面仕上げ機

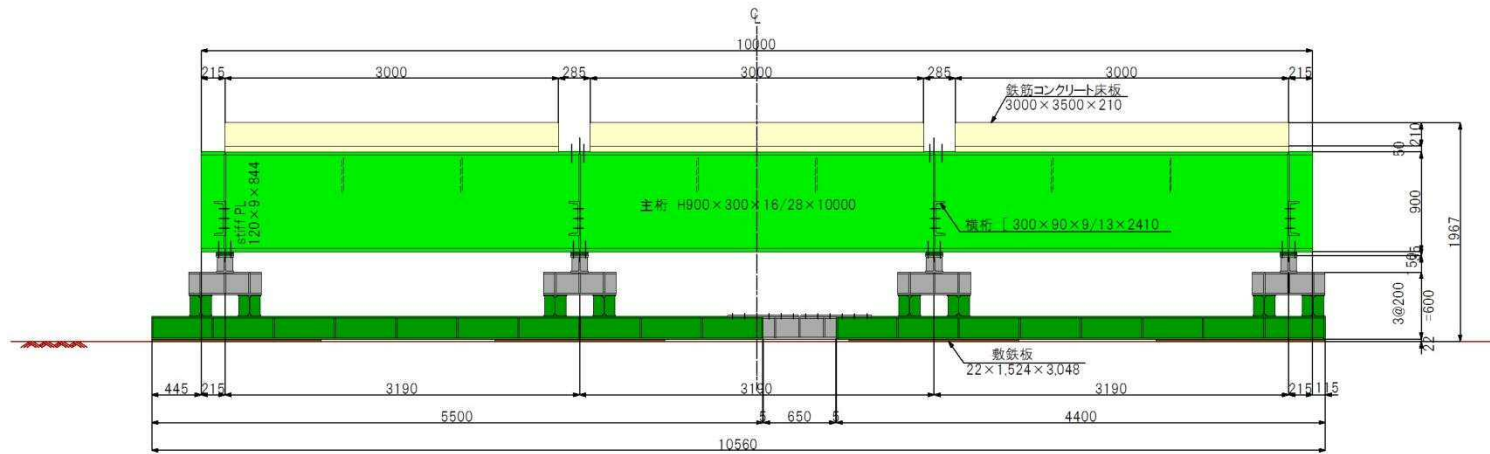
# 試験体概要

# 実物大試験体一般図

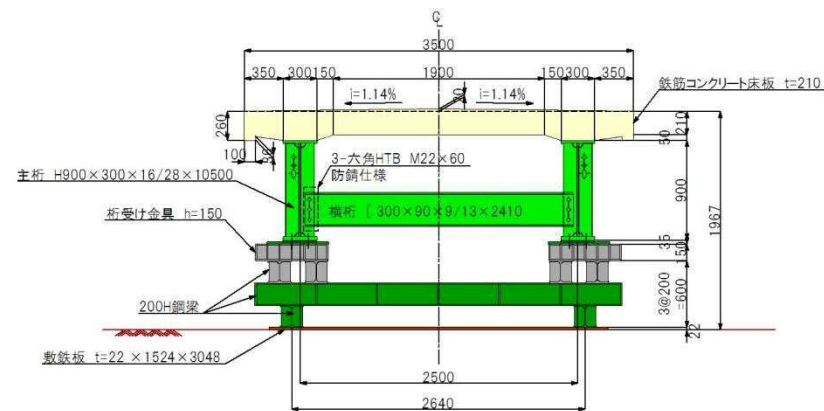
長期耐久性床版 実物大供試体 一般図

$\Sigma = 2$ 連

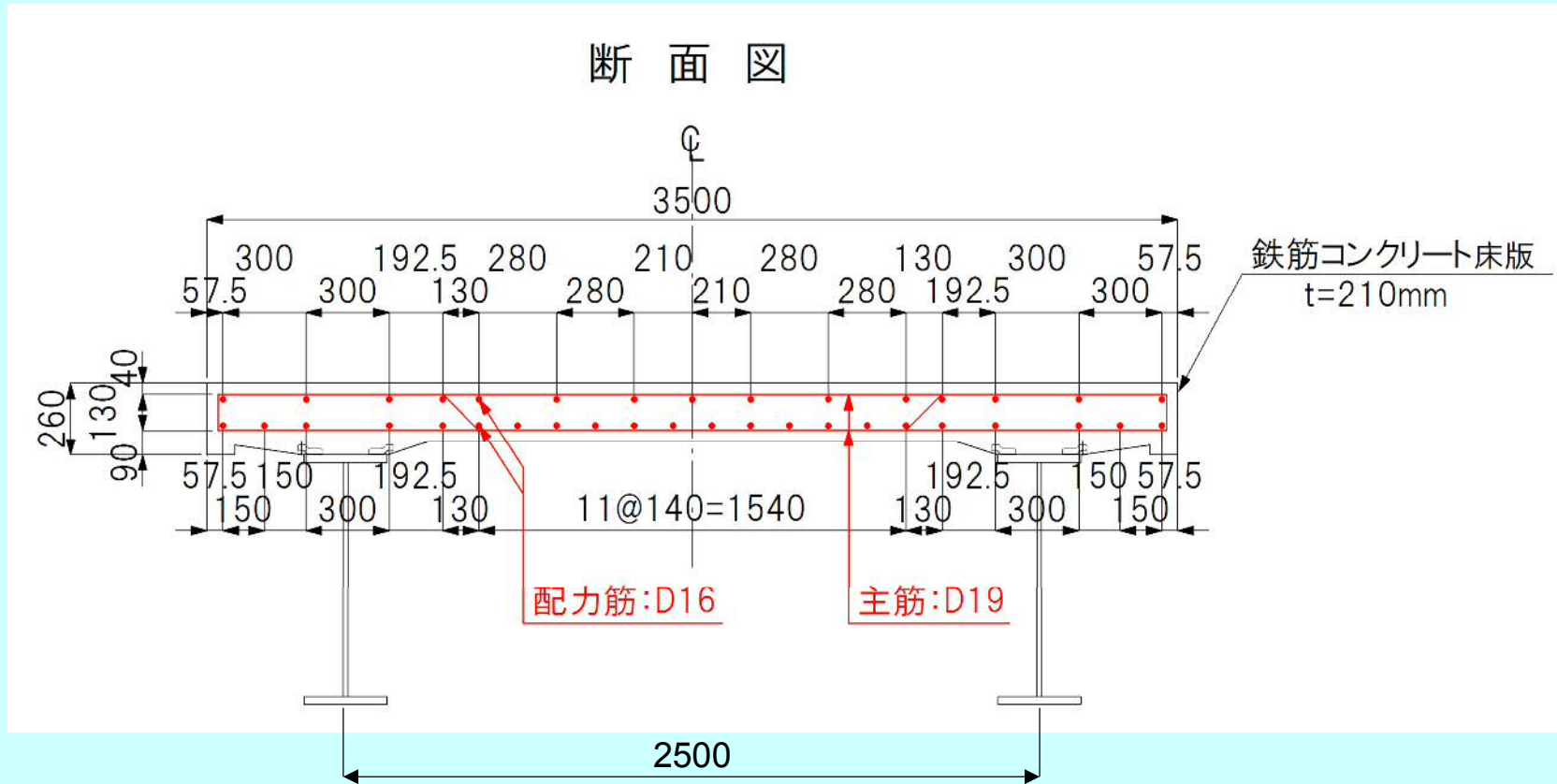
側面図



断面図



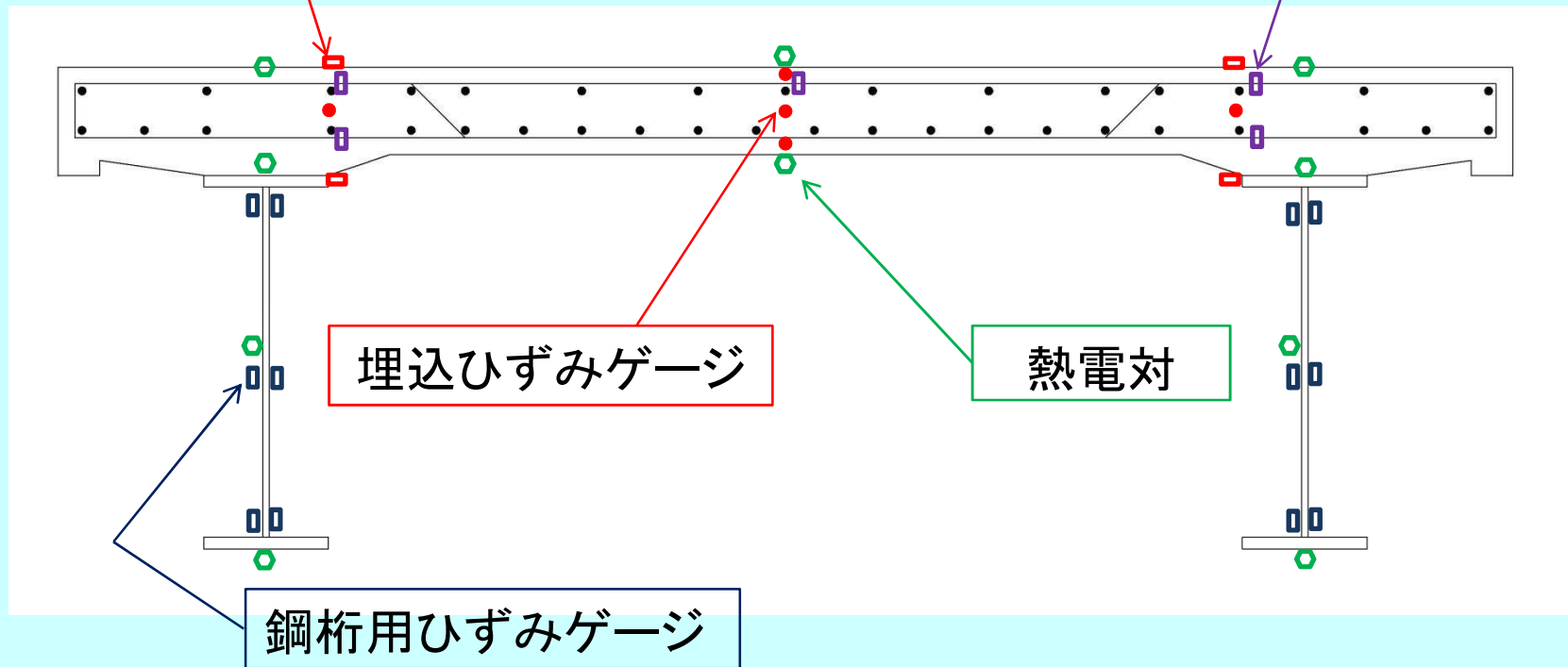
# 配筋図



## 計測装置配置図

コンクリート表面用ひずみゲージ

鉄筋用ひずみゲージ





# 型枠組立



型枠組立状況



型枠組立完了

## 鉄筋組立



鉄筋組立状況



鉄筋組立完了



# コンクリート打設



コンクリート打設状況



コンクリート打設状況

# 締固め

後追いバイブレータ



バイブレータ挿入定規



荒仕上げ状況



# 仕上げ 被膜養生剤散布



噴霧器による散布



被膜養生剤

# 仕上げ トロウエル仕上げ



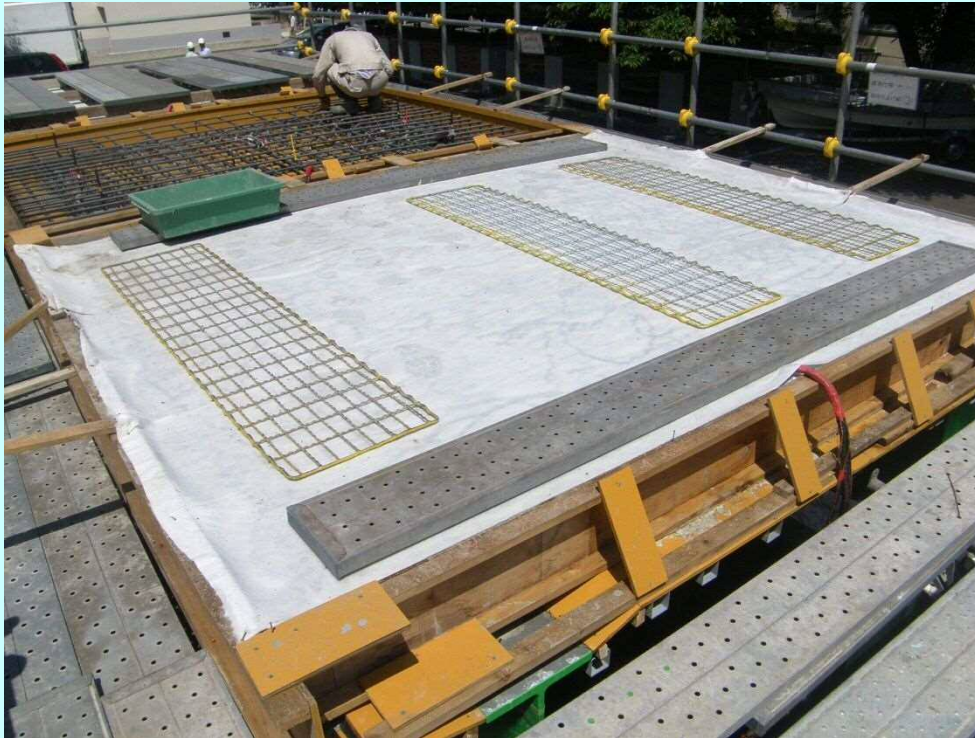


# 仕上げ 金ゴテ仕上げ



金ゴテ仕上げ完了



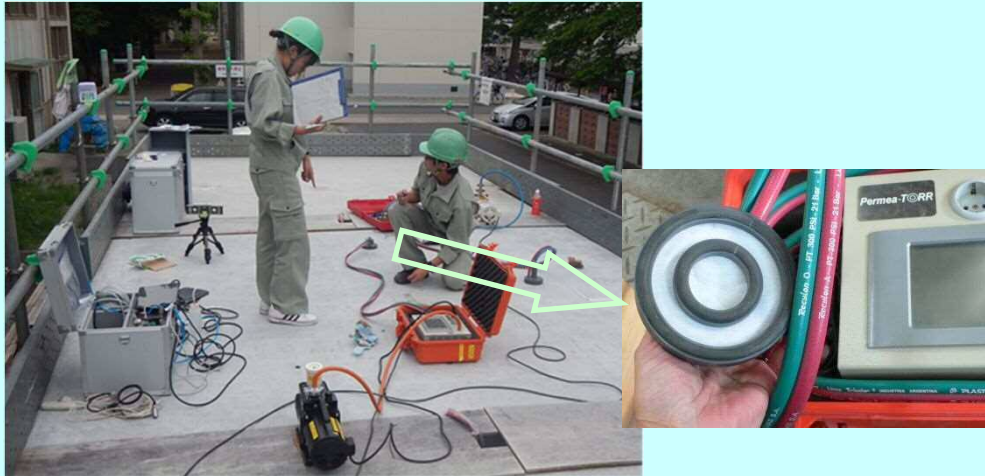


## 養生

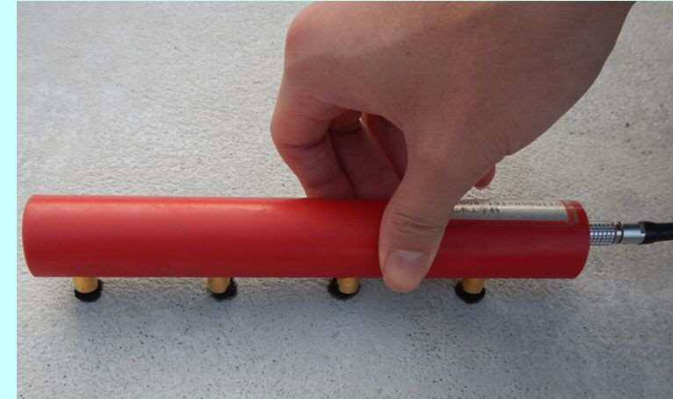
内部ひずみ、表面ひずみの計測に加え、トレント法(透気性試験)、SWAT(透水性試験)等の計測を実施。

本年6月まで暴露試験を実施。  
引き続き凍結融解促進試験等も実施中。

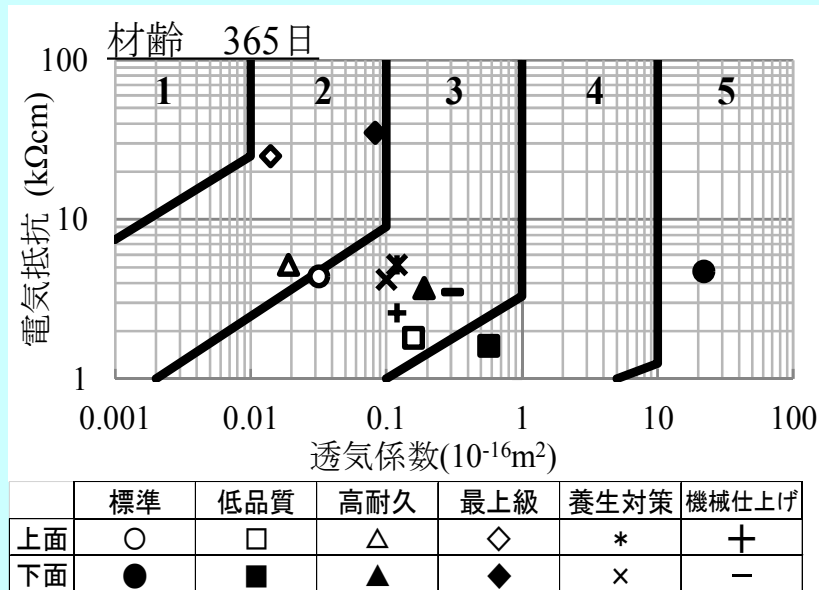
# 暴露試験の相対比較の結果



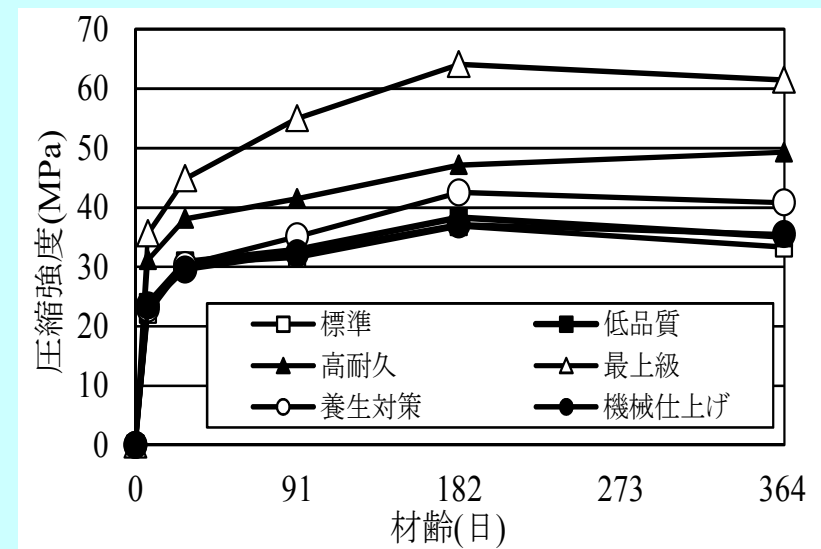
床版上面での表層透気試験状況とチャンバー部



床版上面での  
電気抵抗測定状況



1年間暴露後の透気係数



各試験体の圧縮強度発現状況

# まとめ

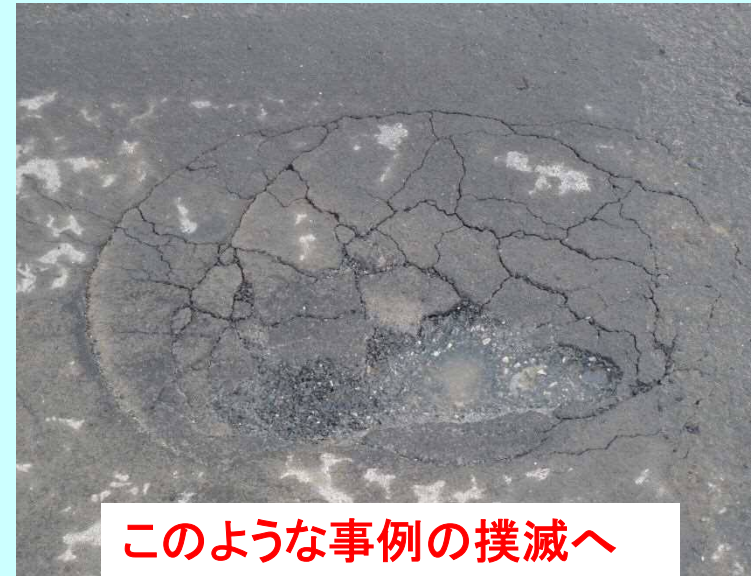
- ・寒冷地における鋼橋RC床版の耐久性向上

- ・鋼橋RC床版施工手順書
- ・耐久性の実証確認実験
- ・耐久性評価方法の検討



- ・鋼橋としての耐久性の向上とL.C.C.削減

施工時の留意事項は一般環境の床版施工にも共通で、PC・合成床版に応用可能



このような事例の撲滅へ

補足

## 橋建協のコンクリート技術への取組

床版施工面積(実績)  
協会内部集計表から

H16～H25年分集計値

365万m<sup>2</sup>

(鋼コンクリート合成床版  
+PC床版の集計値)

集計当初からの合計は

582万m<sup>2</sup>

橋建協加盟会社が有するコンクリート関連資格者数

資 格	日本橋梁建設協会加盟 会社の資格保有者総数 (人)
コンクリート技士 <sup>*1</sup>	1,124
コンクリート主任技士 <sup>*1</sup>	133
コンクリート診断士 <sup>*1</sup>	182
PC技士 <sup>*2</sup>	796

<sup>\*1</sup> 公益社団法人日本コンクリート工学会が認定する資格

<sup>\*2</sup> 社団法人プレストレストコンクリート工学会が認定する資格

平成27年7月31日現在

ご清聴ありがとうございました



一般  
社団法人

日本橋梁建設協会

Japan Bridge Association Inc.