

# 平成26年度 PC橋等の維持管理に関する研修会

①PC技術の最近の動向

②PC技術(コンクリート構造物)の点検要領

③アセットマネジメントに係るコンクリート橋の診断について

④橋梁維持補修の現状



(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 中国支部

# ① P C 技術の最近の動向

## (1) PC 構造物の維持管理に関する話題

- 維持管理の重要性
- PC 構造物の歴史
- PC 技術の参考図書

## (2) 各種基準類・マニュアルに関する話題

- H24 道路橋示方書（日本道路協会）
- 2012 年および 2013 年制定コンクリート標準示方書（土木学会）

## (3) 長期耐久性構造に関する話題

- プレキャスト PC 技術の推進に関して
- 温度解析事例に関して（初期ひび割れの抑制）
- 高耐久化につながる施工対応事例に関して

## (1)PC構造物の維持管理に関する話題

プレストレストコンクリート構造物の維持管理については、構築された時代での要求性能と技術水準を把握した上で、適切な維持管理方針を設定することが重要となる。

- 維持管理の重要性
- PC構造物の歴史
- PC技術の参考図書

# ■維持管理の重要性

## 事故事例-1

### アメリカ ミネアポリス高速道路崩落事故(2007年8月1日)



プレストレストコンクリート橋ではありませんが、供用中の橋梁が崩壊(ラッシュアワー時)

⇒ 診断, 処置の重要性が再認識された

## 事故事例-2

Ynys-y-Gwas橋(ヤンシーグァス橋) の落橋(1985年)



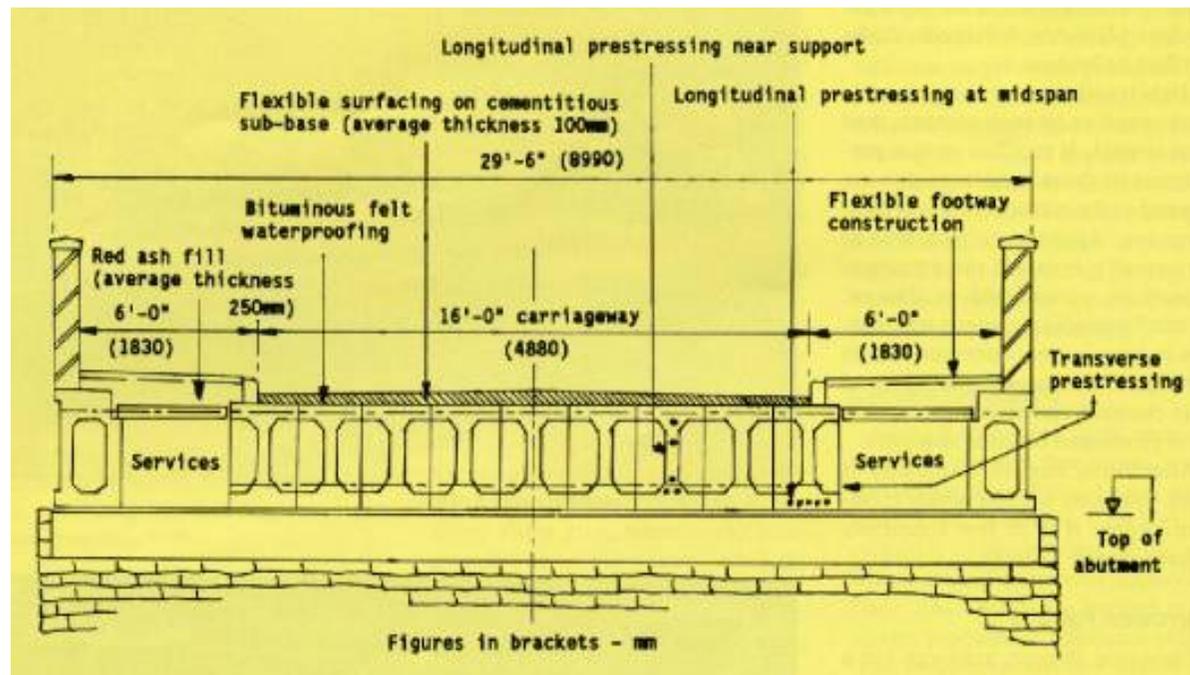
- グラウトの充填不良を起因としたPC鋼材の破断が要因と考えられている
- 英国では1992年～1996年までグラウト充填を行うポストテンション方式が禁止された

# 落橋したYnys-y-Gwas橋の概要

ポストテンション単純I桁橋(1952年竣工)

支間 18.300m 桁高さ910mm 幅610mm

8セグメント 12φ5×5ケーブル



✓英国でのポストテンション橋は1948年から始まっています

## 長期耐久性を有するプレストレストコンクリート橋



Luzancy橋(フランス, 1946年, 支間長55m)

- ・Freyssinetによるプレキャストセグメントを用いたポストテンション方式のPC橋
- ・適切な設計・施工により60年間にわたって供用されている

# ■PC構造物の歴史

## 国内でのPC技術の歩み

明治19(1886)	ジャクソン(アメリカ) プレストレス導入方法を発明
昭和 1(1926)	フレシネー(フランス) PC技術の特許取得
昭和 3(1928)	フレシネー工法 日本に特許出願
昭和14(1939)	日本でPCの研究開始(吉田宏彦福井大学教授)
昭和26(1951)	国鉄 PC枕木の発注, 実用化
昭和26(1951)	日本最初のPC橋(プレテンスラブ橋) 長生橋(七尾市)完成
昭和27(1952)	日本最初のプレテンT桁橋 泰平橋(七尾市)完成
	PC数社が創業
昭和28(1953)	日本最初のポステン桁完成 東京駅プラットホーム桁
昭和29(1954)	本格的PC橋第1号 第一大戸川橋梁(国鉄信楽線 L=30m)完成

# 初期のPCけた橋

## ● 長生橋 (日本最初のPC桁)

定着工法：プレテンション方式

完成：昭和26年(1951年)

所在地：石川県七尾市

支 間：3.86m



## ● 泰平橋

石川県七尾市

日本最初のプレテンション方式T桁橋  
完成 昭和27年(1952年)



## ● 東京駅 6,7番ホーム橋

日本最初のポストテンション方式桁橋  
完成 昭和28年(1953年)



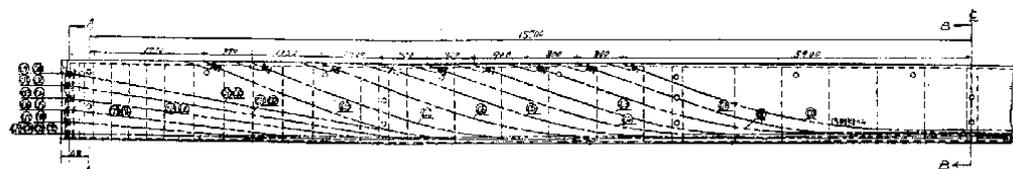
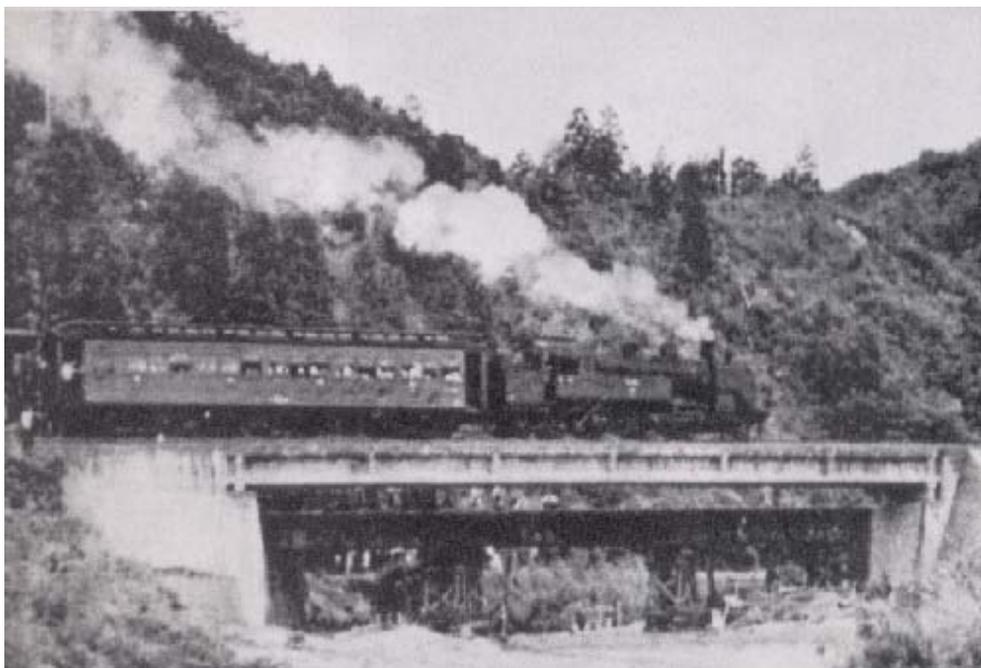
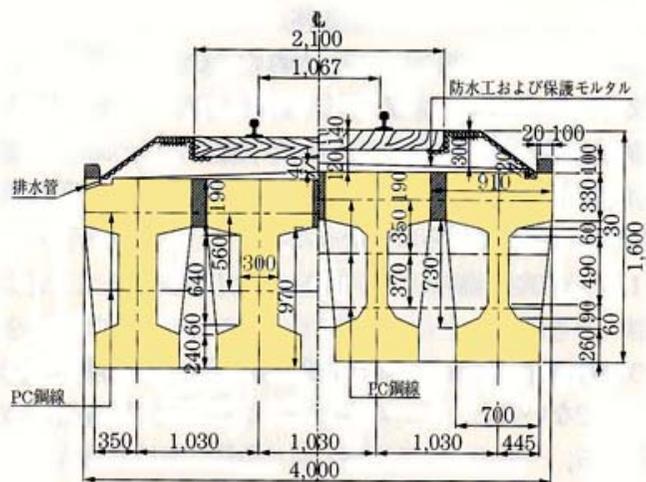
# ● 第一大戸川橋梁 (旧国鉄 信楽線)

日本最初の本格的なポストテンション方式鉄道橋

完成 : 昭和29年(1954年)

支間長 : 30m

設計 : 極東鋼弦コンクリート振興  
フランス人技師コバニコ氏



平成20年登録有形文化財(文部科学省文化審議会)



## ● 嵐山橋（神奈川県）

### 日本最初の片持ち架設工法

完成：昭和34年  
（1959年）

橋長：75m

中央支間：51.2m



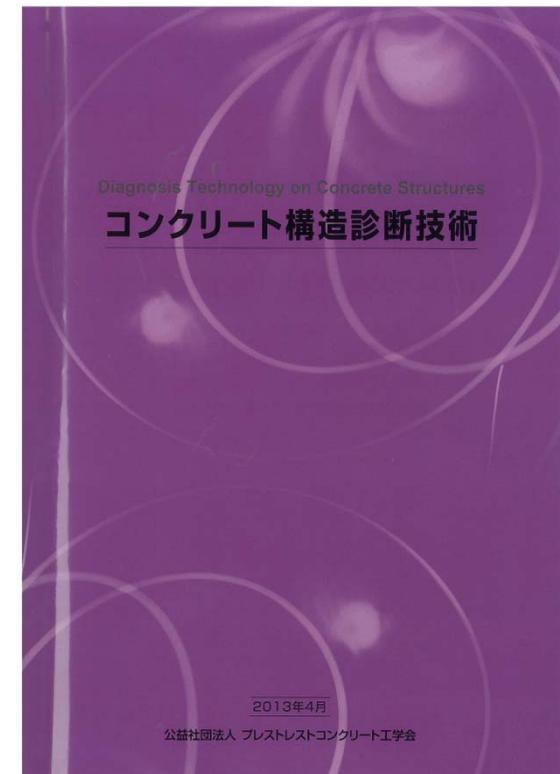
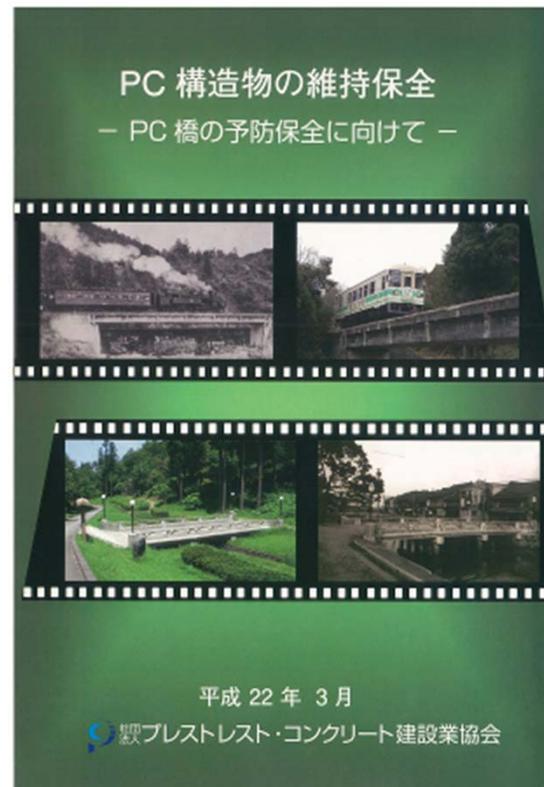
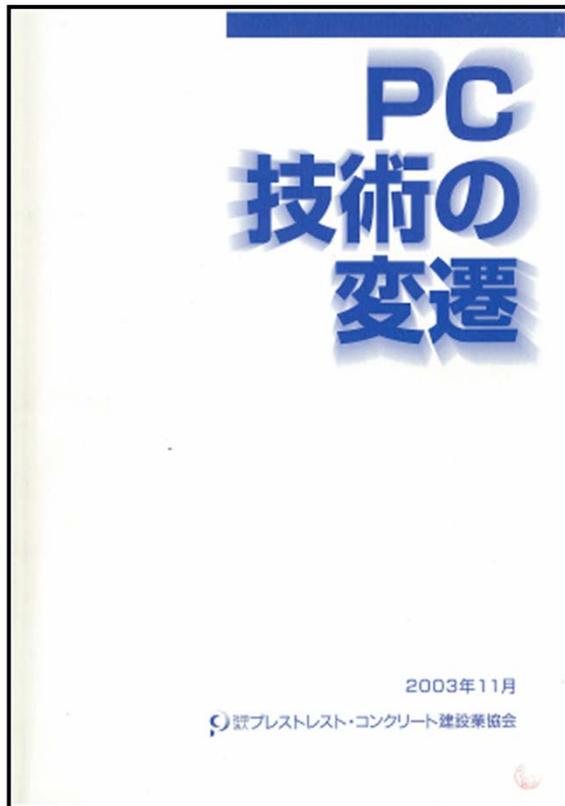
ディビダーク工法による片持ち架設  
Dyckerhoff & Widmann社による設計  
と、ドイツ人技師による現場指導が  
行われた



# ■PC技術の参考図書

※参考資料

- ①PC技術の変遷(2003年11月 PC建協)
- ②PC構造物の維持保全 -PC橋の予防保全に向けて-(2010年3月 PC建協)
- ③ コンクリート構造診断技術(毎年更新 PC工学会)  
→コンクリート構造診断士資格試験での講習会受講により入手可能



プレストレストコンクリート橋をメンテナンスする際、過去の社会情勢、規準類、材料、施工法等の施工時の状況を知る上で参考となります。

## ※参考資料

- ① 施工計画書作成の手引き(T桁橋・セグメントT桁橋編)
- ② 施工計画書作成の手引き(場所打ち編)
- ③ PC橋コンクリート施工管理の手引き(案)
- ④ PCグラウト&プレグラウト鋼材施工マニュアル(※2013年8月に改訂版を発刊)



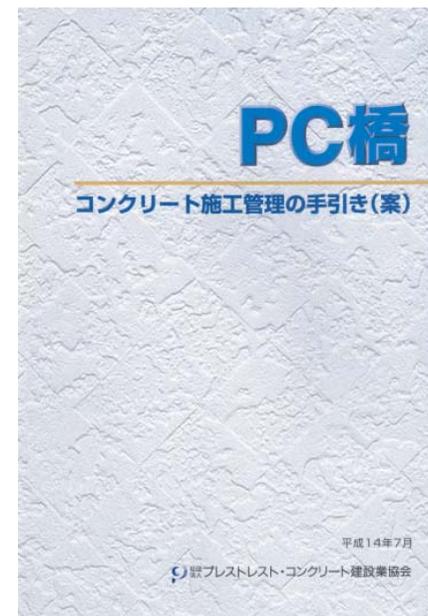
平成14年7月

☉ 鉄プレレスト・コンクリート建設業協会



平成14年3月

☉ 鉄プレレスト・コンクリート建設業協会



平成14年7月

☉ 鉄プレレスト・コンクリート建設業協会



平成25年8月

☉ 鉄プレレスト・コンクリート建設業協会

プレストレストコンクリート橋の施工計画、品質管理に関する情報として参考となります。

## (2)各種基準類・マニュアルに関する話題

■H24道路橋示方書・同解説(日本道路協会)

■2012年および2013年制定コンクリート標準示方書  
(土木学会)

# H24道路橋示方書・同解説 (日本道路協会)

# ■ H24道路橋示方書・同解説

## 【維持管理に関する事項】

### 1章 総則

#### 1.3 設計の基本理念

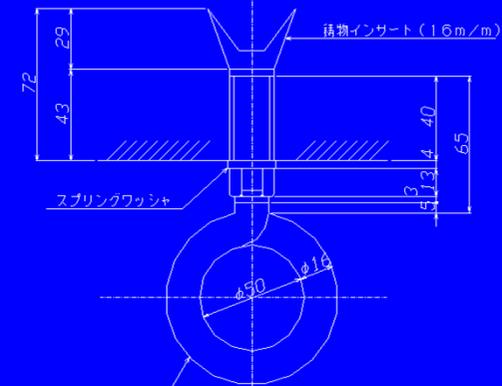
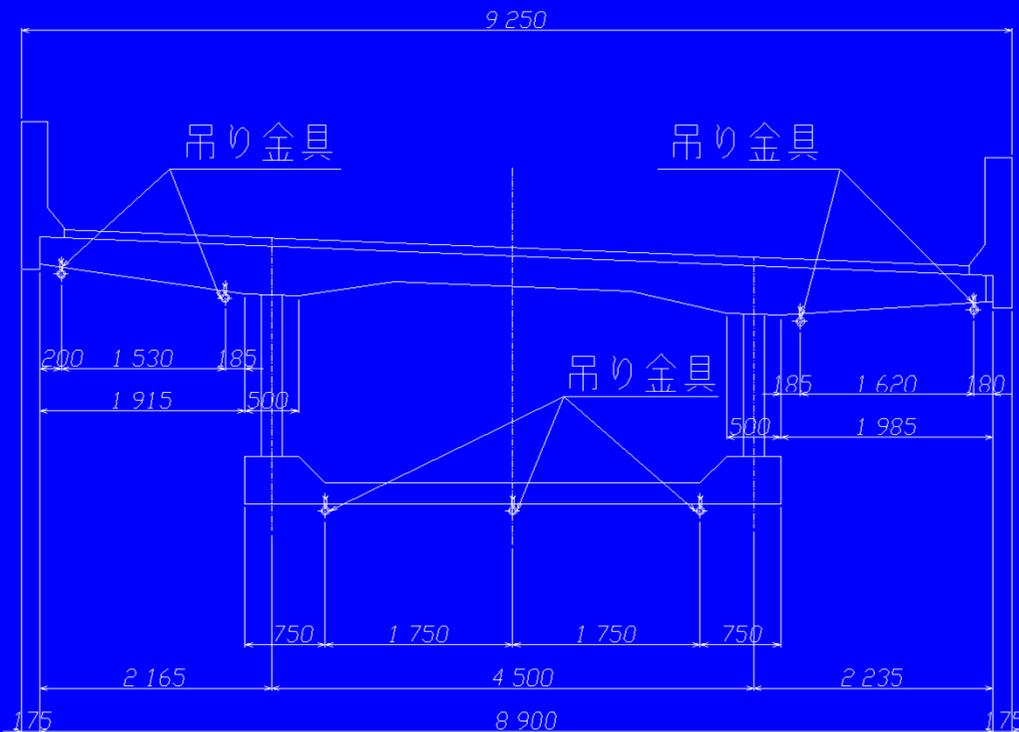
橋の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の確実性及び容易さ、環境との調和、経済性を考慮しなければならない。

- ・「維持管理の容易さ」が「維持管理の確実性と容易さ」に改められた。従来の示方書では、将来の不測の事態を考慮して、橋の中に点検が行えない部位をできるだけ少なくすることについては配慮されない可能性があった。このため、点検などの維持管理が困難な部位をできるだけ少なくするなど、維持管理ができることの確実性についても配慮すべきことが明確にされた。
- ・設計段階において、供用期間中に必要となる維持管理行為を想定し、必要な箇所すべてに対してそれが確実に行えるようになっていることにも十分な考慮がなされるように規定された。

# 新設工事の設計・施工にて配慮した 点検・維持管理上の工夫(施工事例)

## ■橋梁点検用の吊りインサートの設定

新設工事の段階にて、将来の維持管理用の足場設置のための吊り金具の設定を行う。(環付きボルトを設置可能とした)



環付ボルト(ねじ切り長65)

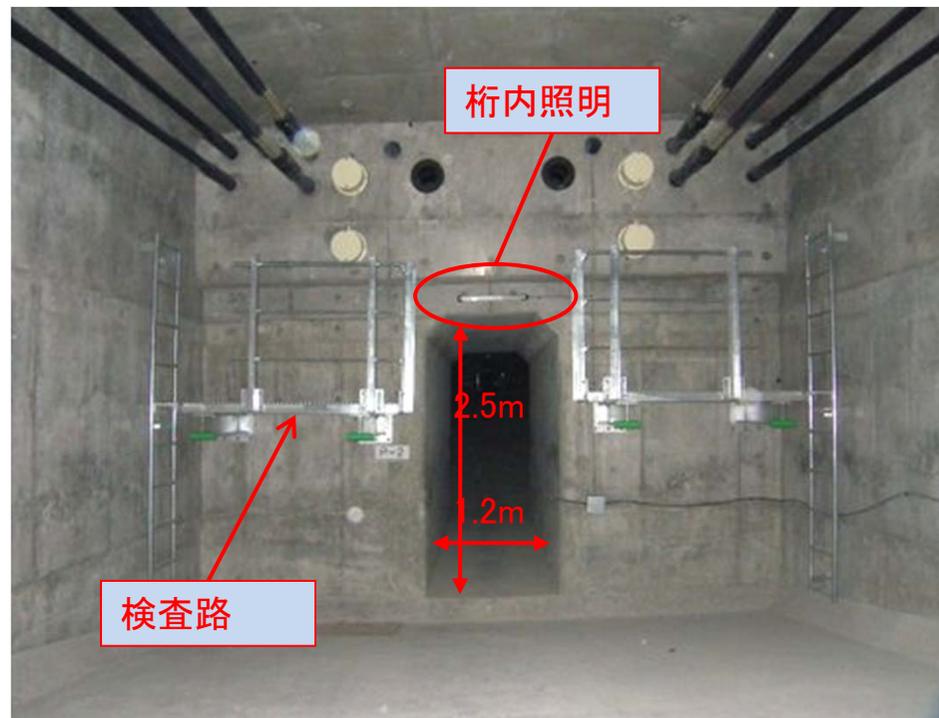
注) 環付ボルトの取付は施工範囲外

# 新設工事の設計・施工にて配慮した 点検・維持管理上の工夫(施工事例)

## ■工事概要

本橋は、内外ケーブル併用方式のPC4径間連続ラーメン箱桁橋であり、将来の維持管理性に配慮し、以下の工夫を行った。

- ・箱桁内空部に照明設備の設置
- ・外ケーブル定着部維持管理用の検査路を設置
- ・横桁マンホール寸法の大型化(点検・作業時の通行性や外ケーブル再緊張時のポンプの移動の容易性に配慮)



2012年および2013年制定  
コンクリート標準示方書  
(土木学会)

## ■2012年制定 コンクリート標準示方書

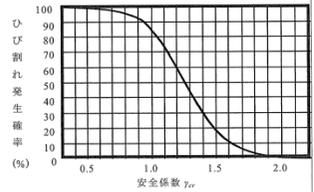
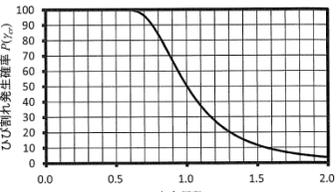
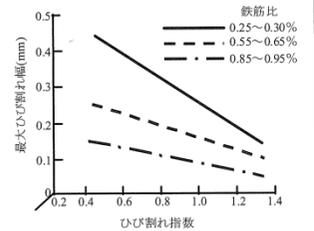
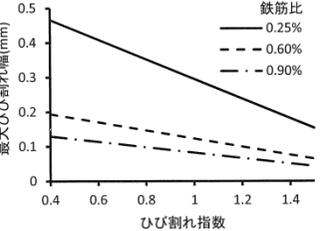
### 【設計編：温度ひび割れに対する照査に関する改訂】

- ・照査フローを見直し、「温度応力解析によるひび割れ照査」と「施工実績による照査(施工履歴データベースの活用等)」を同列に位置づけた。
  - ⇒温度ひび割れのように施工や環境の影響を敏感に受ける場合、高度な解析による評価よりも実績による評価の方の信頼性が高い場合もある。
- ・近年の実務の実態を踏まえ、「3次元有限要素法」を基本とした内容に変更した。
- ・3次元有限要素法を前提とした「安全係数(ひび割れ指数)とひび割れ発生確率の関係」を提示した。
  - ⇒JCI マスコンクリートのひび割れ制御指針改訂委員会が提案したものを採用。
- ・解析に必要な物性値の予測式等も上記改訂委員会の提案式を参考に変更した。

# 2012年制定 コンクリート標準示方書

## 【設計編：温度ひび割れに対する照査に関する改訂】

表 9.3.1 温度ひび割れに対する照査に関する変更箇所一覧

項目	2007年版	2012年版																								
コンクリートの熱膨張係数	本編 5.2.7 10×10 <sup>-6</sup> /°C	本編 5.2.7 解説 表 5.2.2 ポルトランドセメント：10×10 <sup>-6</sup> /°C 高炉セメント B種：12×10 <sup>-6</sup> /°C																								
安全係数とひび割れ発生確率の関係	本編 12 章 12.2.2 解説 図 12.2.1 	標準 6 編 2 章 図 2.1.1 																								
一般的な配筋の構造物における標準的なひび割れ発生確率と安全係数	本編 12 章 解説 表 12.2.1 <table border="1" data-bbox="436 742 750 997"> <thead> <tr> <th></th> <th>ひび割れ発生確率</th> <th>安全係数 γcr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ひび割れを防止したい場合</td> <td>5%</td> <td>1.75 以上</td> </tr> <tr> <td>ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合</td> <td>25%</td> <td>1.45 以上</td> </tr> <tr> <td>ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合</td> <td>85%</td> <td>1.0 以上</td> </tr> </tbody> </table>		ひび割れ発生確率	安全係数 γcr	ひび割れを防止したい場合	5%	1.75 以上	ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	25%	1.45 以上	ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	85%	1.0 以上	標準 6 編 2 章 表 2.1.1 <table border="1" data-bbox="772 742 1108 997"> <thead> <tr> <th>対策レベル</th> <th>ひび割れ発生確率</th> <th>安全係数 γcr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ひび割れを防止したい場合</td> <td>5%</td> <td>1.85 以上</td> </tr> <tr> <td>ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合</td> <td>15%</td> <td>1.40 以上</td> </tr> <tr> <td>ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合</td> <td>50%</td> <td>1.0 以上</td> </tr> </tbody> </table>	対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γcr	ひび割れを防止したい場合	5%	1.85 以上	ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	15%	1.40 以上	ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50%	1.0 以上
	ひび割れ発生確率	安全係数 γcr																								
ひび割れを防止したい場合	5%	1.75 以上																								
ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	25%	1.45 以上																								
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	85%	1.0 以上																								
対策レベル	ひび割れ発生確率	安全係数 γcr																								
ひび割れを防止したい場合	5%	1.85 以上																								
ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合	15%	1.40 以上																								
ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合	50%	1.0 以上																								
最大ひび割れ幅とひび割れ指数との関係	本編 12 章 解説 図 12.2.2 	標準 6 編 2 章 解説 図 2.2.1 																								
自己収縮の予測式	本編 5 章 5.2.8 $\epsilon'_{as}(t) = \gamma \epsilon'_{as\infty} [1 - \exp\{-a(t-t_s)^b\}]$ $\epsilon'_{as\infty} = 3070 \exp\{-7.2(W/C)\}$	標準 6 編 4.2 $\epsilon_{\beta,as} = -\beta \epsilon'_{as\infty} [1 - \exp\{-a(t-t_s)^b\}]$ 普通ポルトランドセメント： $\epsilon'_{as\infty} = 3070 \exp\{-7.2(W/C)\} + \epsilon'_{asT}$ $\epsilon'_{asT} = 50 [1 - \exp\{-1.2 \times 10^{-6} \times (T_{max} - 20)^2\}]$																								

・コンクリートの熱膨張係数

・ひび割れ指数とひび割れ発生確率の関係

・ひび割れ発生確率と安全係数

・最大ひび割れ幅とひび割れ指数との関係

・自己収縮の予測式

# 2012年制定 コンクリート標準示方書

## 【設計編：温度ひび割れに対する照査に関する改訂】

表 9.3.1 温度ひび割れに対する照査に関する変更箇所一覧

項目	2007年版			2012年版
	係数 $a$ 、 $b$ の値			
	$W/C$	$a$	$b$	$a = 3.7 \times \exp\{-6.8 \times (W/C)\}$ $b = 0.25 \times \exp\{2.5 \times (W/C)\}$ 高炉セメントB種： $\epsilon'_{\text{max}} = 2350 \exp\{-5.8(W/C)\} + \epsilon'_{\text{ast}}$ $\epsilon'_{\text{ast}} = 80 \left[ 1 - \exp\{-1.2 \times 10^{-6} \times (T_{\text{max}} - 20)^4\} \right]$
	0.20	1.2	0.4	
	0.23	1.5	0.4	
	0.30	0.6	0.5	
	0.40	0.1	0.7	
	0.50以上	0.03	0.8	$a = 3.7 \times \exp\{-6.8 \times (W/C)\} \times g$ $b = 0.25 \times \exp\{2.5 \times (W/C)\} \times h$ $g = 0.060T_{\text{max}} - 0.20$ $h = -0.0075T_{\text{max}} + 1.15$
	結合材に普通ポルトランドセメントのみを用いた場合の値			
コンクリートの引張強度	標準4編 4.1.1 $f_{ik}(t) = c \sqrt{f'_c(t)}$ $c=0.44$ を標準とする。			標準6編 5.1.1 $f_{ik}(t) = c_1 \cdot f'_c(t)^{c_2}$ $c_1=0.13, c_2=0.85$ を標準とする。
コンクリートの圧縮強度	標準4編 4.1.1 $f'_c(t) = \frac{t}{a+bt} d(t) f'_{ck}$ $a, b$ は、解説表 4.1.1 より求める。			標準6編 5.1.1 $f'_c(t) = \frac{t}{a+b(t-S_f)} f'_c(i)$ $a, b, S_f$ は、解説表 5.1.1 より求める。
コンクリートのヤング係数	標準4編 4.1.2 $E_c(t) = \varphi(t) \times 4.7 \times 10^3 \sqrt{f'_c(t)}$ 材齢3日まで $\varphi=0.73$ 材齢5日以降 $\varphi=1.0$ 材齢3日から5日までは直線補間してもよい。			標準6編 5.1.2 $E_c(t) = \Phi(t) \times 6.3 \times 10^3 f'_c(t)^{0.45}$ 最初のピーク温度時の有効材齢まで： $\Phi(t)=0.42$ 最高温度に達する有効材齢+1有効材齢(日)以降： $\Phi(t)=0.65$ 最高温度に達する有効材齢後の1有効材齢(日)までは直線補間する。
終局断熱温度上昇量 $Q_\infty$ および、温度上昇速度 $r$	詳細は、標準4編4章 解説表 4.2.1 による			詳細は、標準6編5章 解説表 5.2.1 による

- ・コンクリートの引張強度
- ・コンクリートの圧縮強度
- ・コンクリートの有効ヤング係数
- ・終局断熱温度上昇量および温度上昇速度

## ■2013年制定 コンクリート標準示方書

### 【維持管理編：標準 10章プレストレストコンクリート】

⇒プレストレストコンクリート構造物の維持管理の原則が新しく記載された。

#### 10章 プレストレストコンクリート

##### 10.1 総 則

(1) この章は、プレストレストコンクリート構造物に特徴的な維持管理の標準を示す。

(2) プレストレストコンクリート構造物の維持管理は、PC 構造に特有の劣化に留意して行わなければならない。

## ■PC構造に特有の劣化

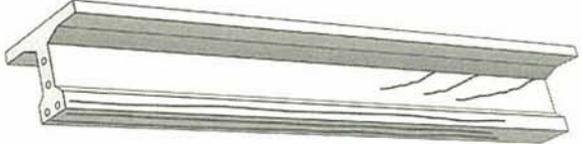
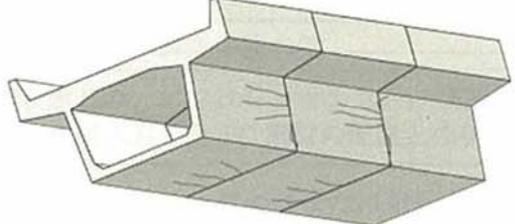
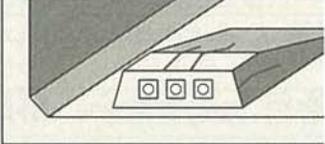
- ・PC鋼材，定着部，偏向部に関する劣化
- ・ポストテンション方式のPCグラウト充填不足等に伴うPC鋼材の腐食，破断
- ・施工目地を起点とした劣化

# ■2013年制定 コンクリート標準示方書

## 【維持管理編：標準 10章プレストレストコンクリート】

### ⇒10.3.2初期点検 解説 表 10.3.2 ひび割れに着目した点検の例

解説 表 10.3.2 ひび割れに着目した点検の例

分類	ひび割れパターンの例	ひび割れ発生要因
PC 構造特有のひび割れ	位置：PC 桁側面，下面 状況：PC ケーブルに沿ったひび割れ 	ポストテンション方式の <u>PC グラウト充填不足部分が存在するケーブル</u> では、その部分に水や塩化物イオンの侵入により、水の凍結膨張圧あるいはシーズや PC 鋼材が腐食することが原因で PC ケーブルに沿ったひび割れが生じる。
	位置：PC 桁の施工目地部近傍 状況：目地部ひび割れ・開口，目地に対して直角に生じるひび割れ 	施工目地では、 <u>新旧コンクリートのクリープ、乾燥収縮差の影響や水和熱による拘束温度応力等</u> によるひび割れが生じやすい。
	位置：PC 鋼材定着部 状況：定着部あるいはその周辺部のひび割れ 	定着具本体の <u>局部支圧応力や周辺部位への曲げ応力</u> がコンクリートの引張強度を超えることでひび割れが発生する。発生要因は、コンクリートの圧縮（支圧）強度不足，補強鉄筋不足，コンクリート部材厚不足，定着位置の不備等が考えられる。

## ■2013年制定 コンクリート標準示方書

### 【維持管理編：標準 10章プレストレストコンクリート】

#### ⇒10.6.2 補修および補強

##### 10.6.2 補修および補強

補修および補強は、所定の効果が得られるように、劣化による性能の低下やライフサイクルコスト等を考慮して工法・材料を選定しなければならない。

#### ■塩害対策

- ・断面修復工法の場合、残存断面へのプレストレス再分配が作用するため、応力超過等を十分に検討する必要がある。

#### ■防水工，排水工

- ・耐久性を維持する上で、優先して行う必要がある。
- ・桁端部は支承反力，PC鋼材定着部の重要な箇所であり、水の侵入を防ぐ予防的な対策が有効となる。

#### ■プレストレスの追加

- ・補強設計の実施では、プレストレスの減少と残存の両者に対して照査を行う必要がある。

### (3)長期耐久性構造に関する話題

高度成長期に整備された社会資本整備の老朽化，少子高齢化による労働力人口の減少，熟練技能者を含む建設労働者の減少，本格化した東北復興工事における建設資材の不足，限られた財源，地球温暖化対策などのさまざまな背景から、新設および補修工事においてPC構造物に求められる今のニーズに応える必要がある。

- プレキャストPC技術の推進
- 温度解析事例に関して(初期ひび割れの抑制)
- 高耐久化につながる施工対応事例に関して

## ■プレキャスト技術の推進

### 【背景】

- ・「災害から身を守る」という意識の急上昇
- ・「国土強靱化論」に基づいた 社会資本整備の進行
- ・高度成長期に整備された「社会資本整備の老朽化」
- ・少子高齢化による「労働人口・ 熟練技能者の減少」
- ・東北復興工事における「建設資機材の不足」

## ■現状のニーズを整理すると、

- 早く作る  
(工期短縮・急速施工)
- 丈夫で長持ちする構造物  
(高品質・高耐久)
- 安価な構造物  
(コスト縮減)
- 静かで周りを乱さない工事  
(環境負荷低減)
- 少ない労務で作る  
(省力化)
- 災害の無い工事  
(安全)

## プレキャスト化で創造する未来

プレキャスト・プレストレストコンクリート

多様なニーズにプレキャスト工法で貢献します

**High**

Speed 工期短縮・急速施工  
Quality 高品質・高耐久



**S**

Safety 安全  
Saving Labor  
合理化・省力化



**Low**

Cost コスト低減  
Impacts of Environment 環境負荷低減

一般社団法人  
プレストレスト・コンクリート建設業協会 [略称]  
JAPAN PRESTRESSED CONCRETE CONTRACTORS ASSOCIATION PC建協

プレキャスト・プレストレストコンクリート技術を推進

# 新設及びリニューアル工事にて、プレキャスト工法の活用により時代の多様なニーズに応えることが重要。

## High Speed (工期短縮・急速施工)

- 工場や現場製作ヤードで製作するため、**現場での作業が減少**し工期短縮が可能です。
- 型枠や鉄筋の形状を統一することで、作業が効率化し、**製品の急速製作が可能**です。

## High Quality (高品質・高耐久)

- 品質管理の行き届いた工場等で製作される**品質の高いコンクリート**のため、**耐久性が向上**します。
- 工場製作とすることで、**高強度コンクリート**や高流動コンクリートの適用が可能となります。



## Low Cost (コスト低減)

- 型枠設備、架設設備の転用により、**建設コストを低減**できます。
- 耐久性の向上により**ライフサイクルコストを低減**できます。

## Low Impacts of Environment (環境負荷低減)

- 現場での作業が減少し、**周辺環境への負荷を低減**できます。
- 高炉スラグなど**環境負荷低減材料を活用**できます。
- リサイクル可能な鋼製型枠使用など、**建設廃棄物を削減**できます。



## Safety (安全)

- 現場での作業が減少するため、**現場工事の安全性が向上**します。
- 大規模でも工事を全面展開する必要がなく、**安全管理が容易**です。
- あらかじめ安全設備を設置できるため、**安全設備を設置するまでの高所作業を回避**できます。

## Saving Labor (合理化・省力化)

- 機械設備を多用した製品の製作・架設により**労務を低減**できます。
- 現場条件に合わせた適切な**部分プレキャスト化により合理化**が図れます。



## To the Future (未来へ向けて)

- さらなるコンクリートの緻密化や高強度化により、**長寿命化**が図れ、**LCCO<sub>2</sub>も削減**できます。
- 副産物（フライアッシュや高炉スラグ）の有効利用により、高強度の**低炭素型コンクリート**の適用も工場製作プレキャスト部材であれば実現可能で、基準化に向けて取り組んでいます。
- プレキャストのメリット（高品質、高耐久、急速施工）を生かして、**塩害地域**や**リニューアル工事**への採用実績も積み上げています。
- **超高強度繊維補強コンクリート**を用いたプレキャスト部材の適用により、低桁高化、軽量化による上下部工合計の建設費削減が可能です。

…PC建協は  
これからも考え続けます

## PC箱桁ハーフセグメントタイプ

- フルセグメントタイプに対して、
- ・セグメント長：大 ⇒ セグメント個数の低減
  - ・架設重量：小 ⇒ 架設設備費用の低減

### コアセグメントタイプ（床版の一部を後打ちした箱形）



・ストラット付き張出床版部を後施工とした事例です。

・4主箱桁の中間床版部を後施工とした事例です。コアセグメントとすることでダブルガーダーの間を通過でき、橋面での組立・運搬による架設が可能となります。

# PC箱桁ハーフセグメントタイプ

## U形セグメントタイプ（上床版を後打ちしたU形）

### リブ付きU形セグメント



・リブ付き床版箱桁の上床版を後施工としたハーフセグメントです。全幅 17m の広幅員箱桁の軽量化を図り工場からの運搬可能な重量に抑えています。

・スパンバイスパン工法によりU形セグメントを架設後、リブを利用してPC板を敷設し、上床版を構築します。



### U桁リフティング架設工法



・1スパン分のU桁を場内で製作し、一括架設を行うことで急速施工を図ります。

## ■ 温度解析事例に関して(初期ひび割れの抑制)

### ● 2012年制定 コンクリート標準示方書

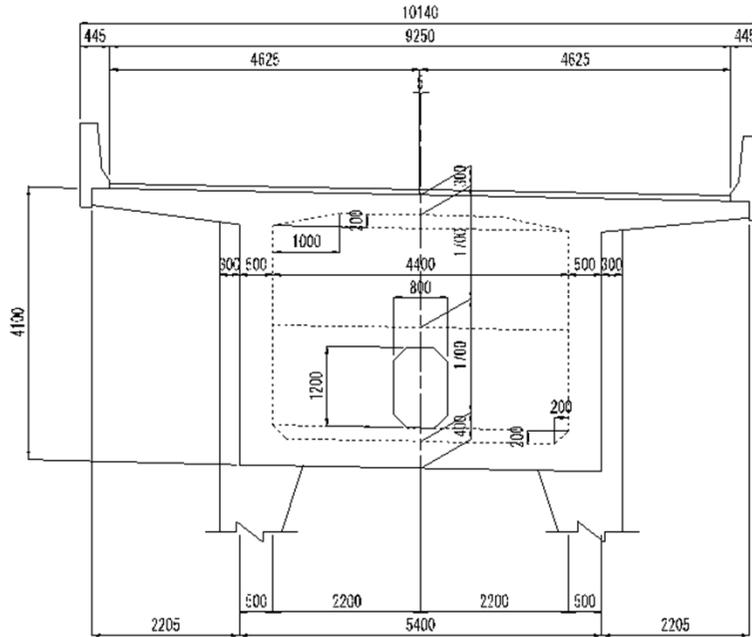
#### 【設計編: 温度ひび割れに対する照査に関する改訂】

- ・照査フローを見直し、「温度応力解析によるひび割れ照査」と「施工実績による照査(施工履歴データベースの活用等)」を同列に位置づけた。
- ・近年の実務の実態を踏まえ、「3次元有限要素法」を基本とした内容に変更された。
- ・3次元有限要素法を前提とした「安全係数(ひび割れ指数)とひび割れ発生確率の関係」及び、解析に必要な物性値の予測式等について、JCI マスコンクリートのひび割れ制御指針改訂委員会が提案したものを参考に変更された。

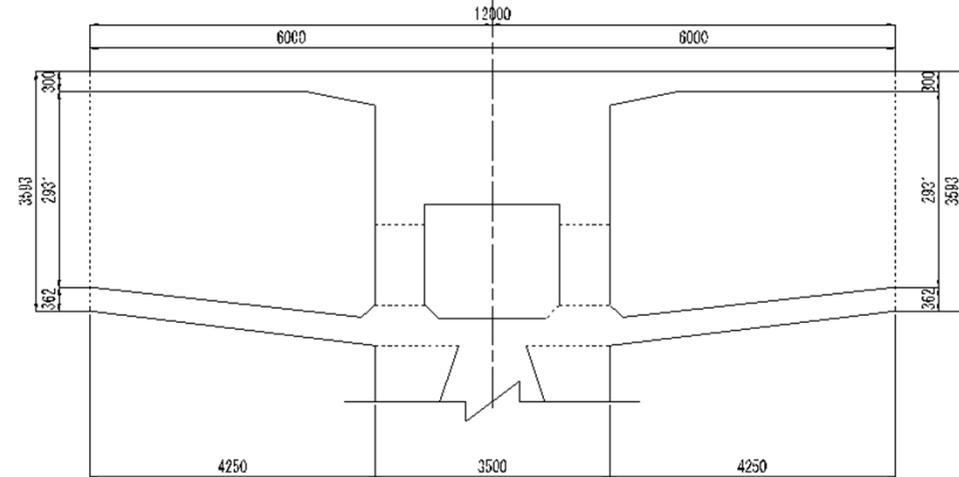
⇒施工や環境の影響を敏感に受けるため、高度な解析による評価よりも実績による評価での信頼性が高い場合がある。

# ■ 温度ひび割れ解析事例(その1)

## 【連続ラーメン橋 柱頭部の温度解析】

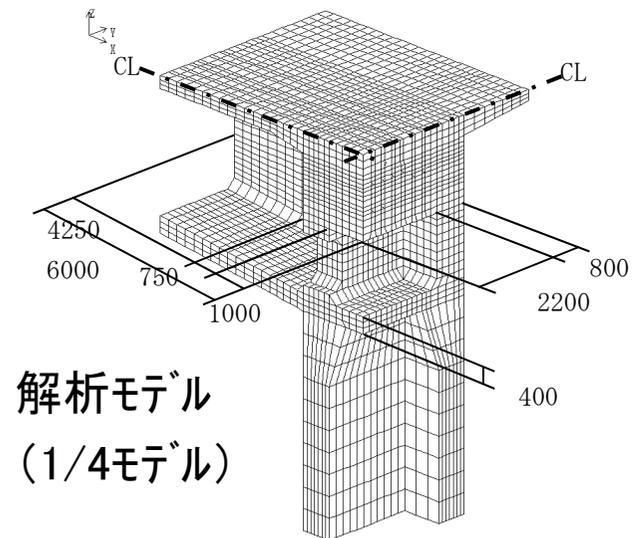


- ・桁高 : 4.1m
- ・横桁厚 : 3.5m(橋軸)



### ■ 施工条件

- ・上部エコンクリート打設分割数 : 3回
- ・コンクリート打設時期 : 7月~8月
- ・セメント種類 : 普通+膨張材  
(上床版: 早強+膨張材)

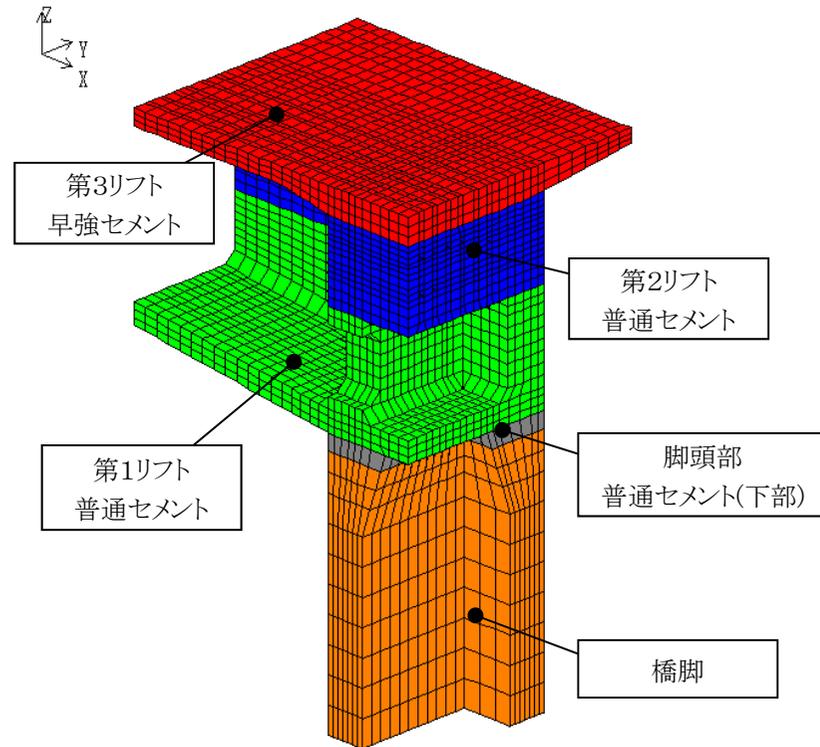


## ■ 温度解析結果

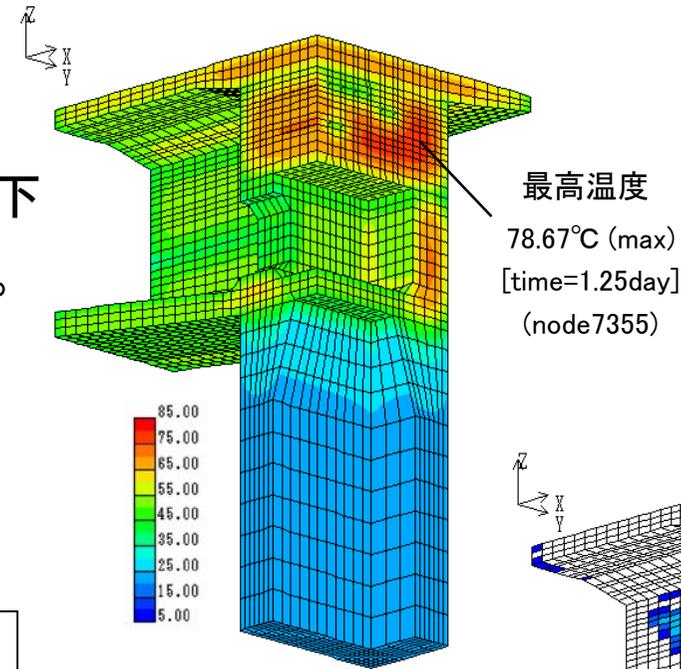
### ※ 上部横桁(第2リフト)

- ・ 最高温度 : 78.7°C
- ・ ひび割れ指数 : 0.72

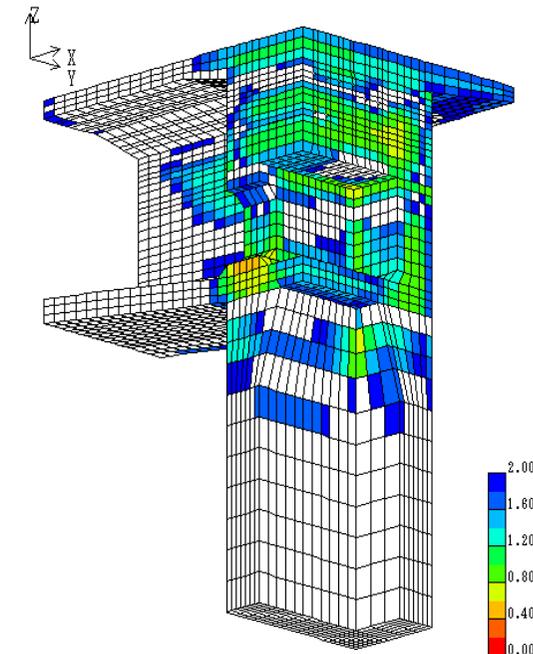
→ 最大ひび割れ幅を0.2mm以下に抑制できる鉄筋量を配置。



解析モデル(1/4モデル)

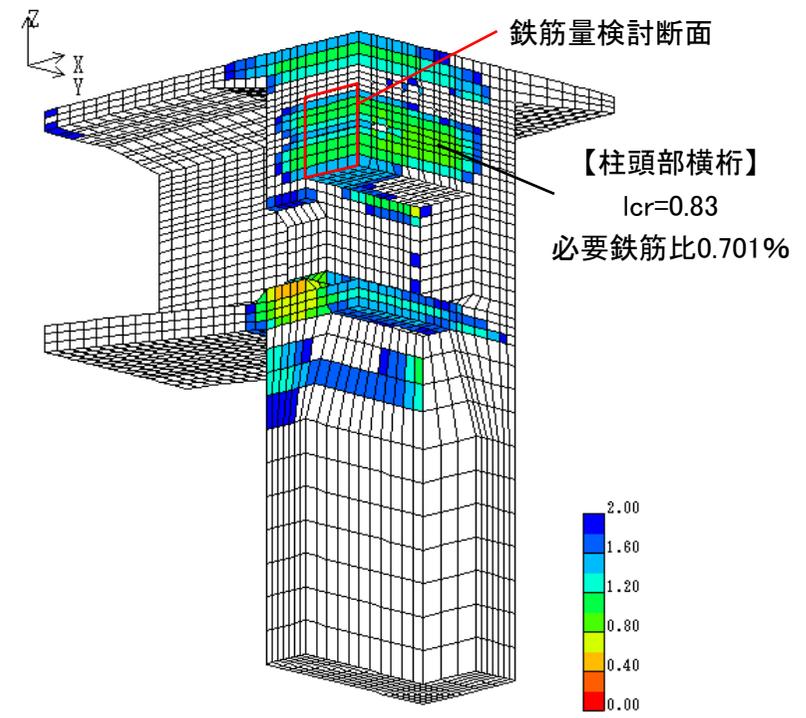
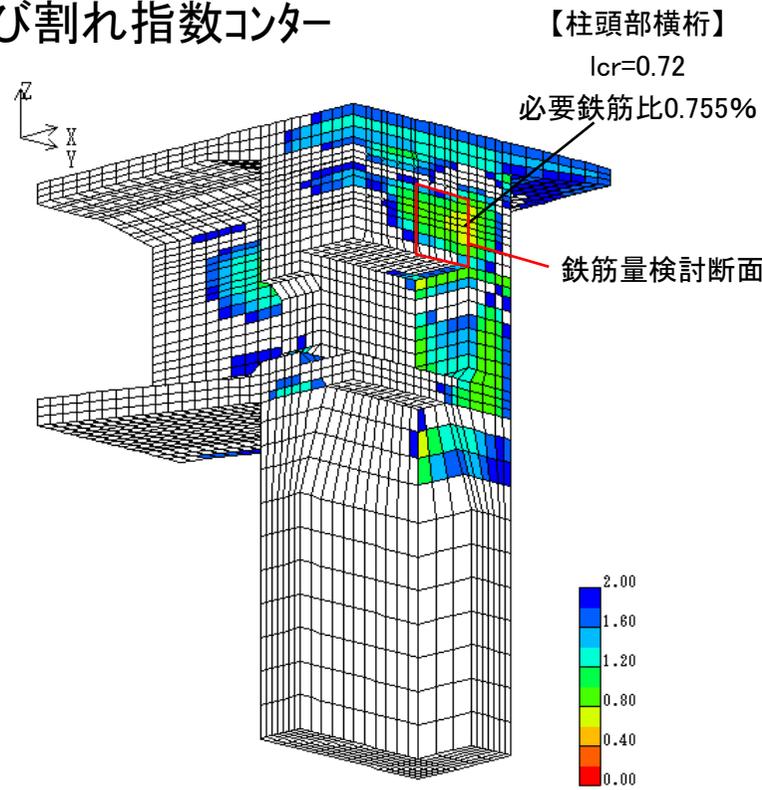


温度コンター

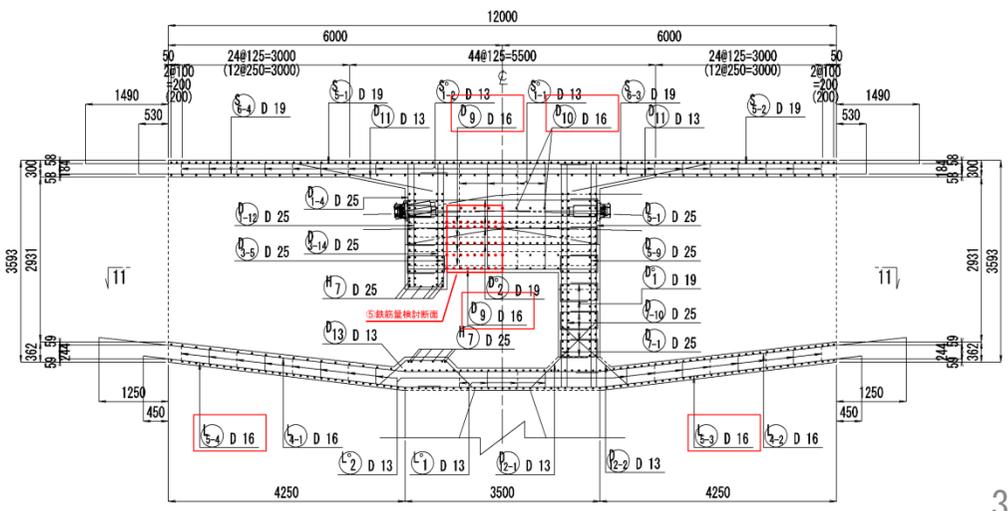
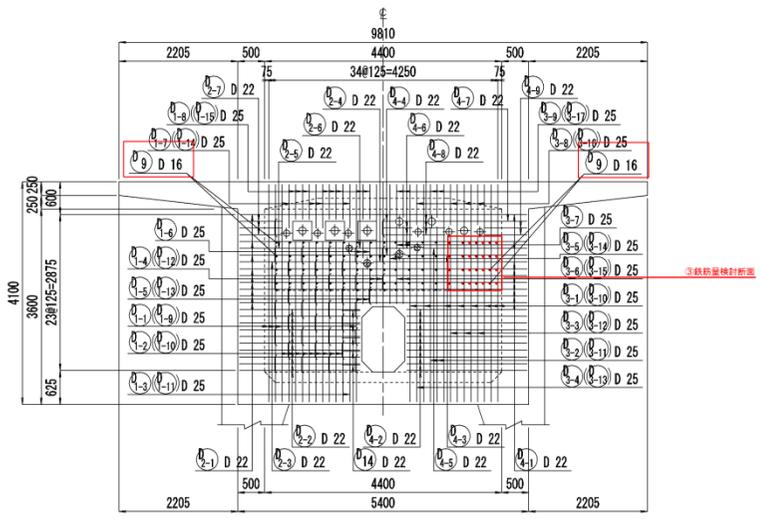


ひび割れ指数コンター

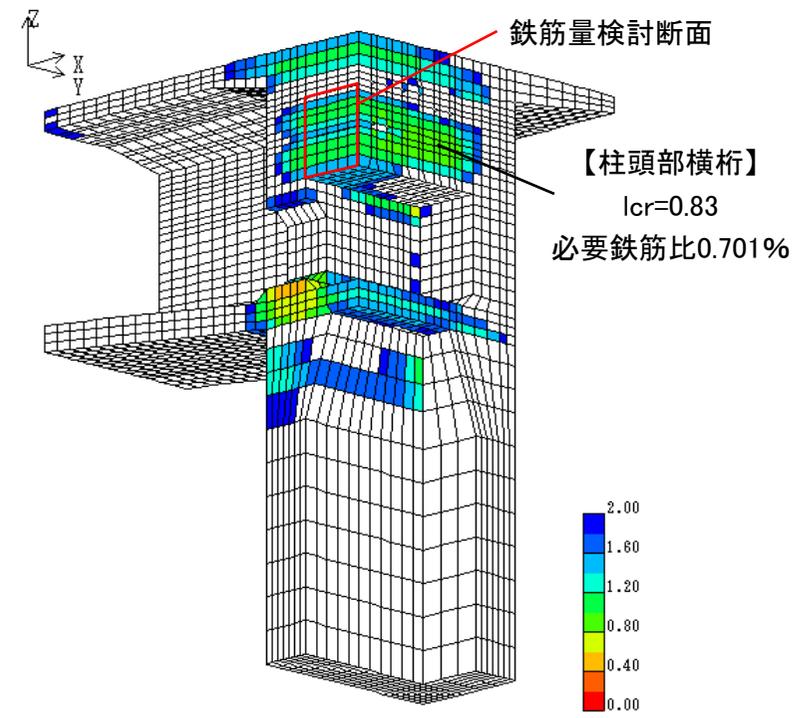
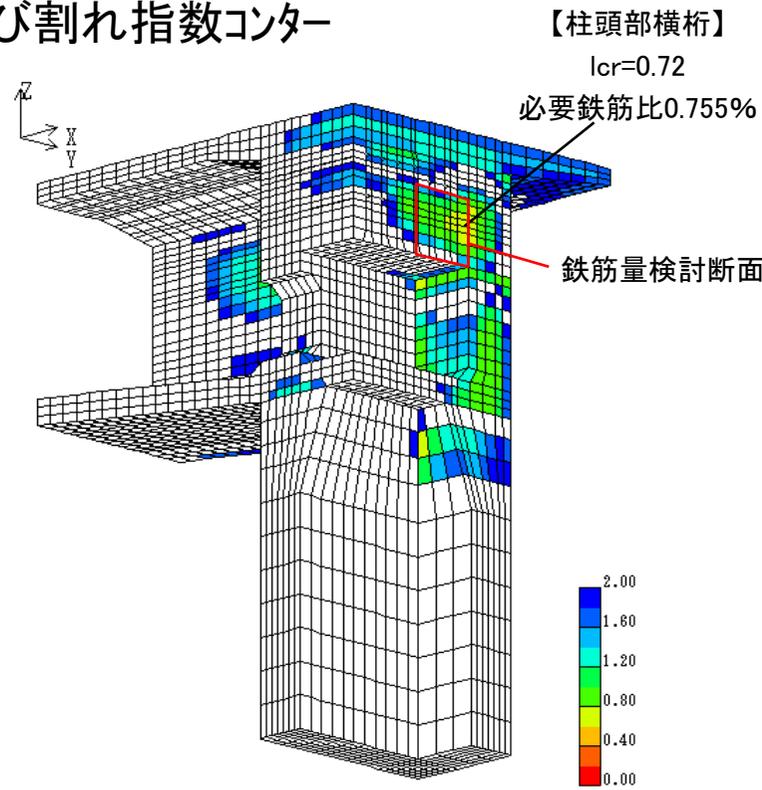
# ひび割れ指数コンター



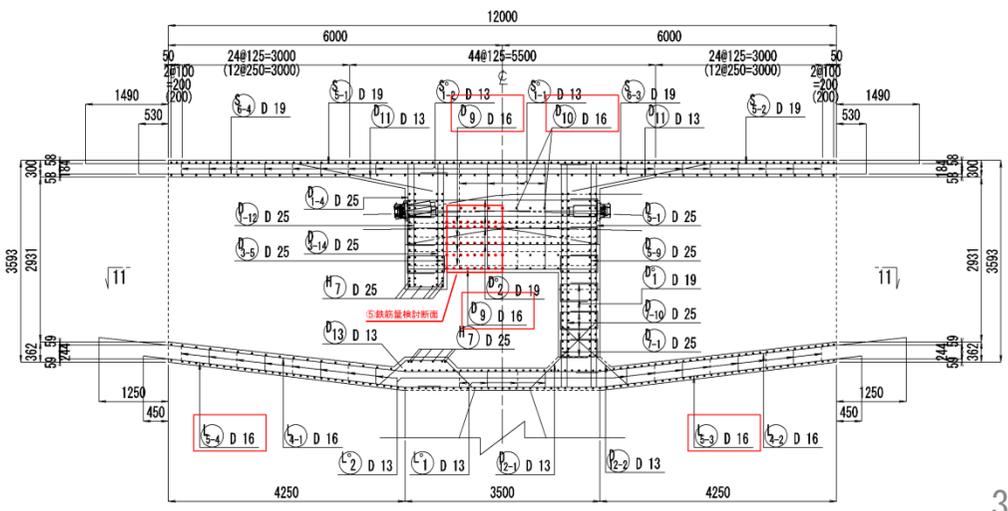
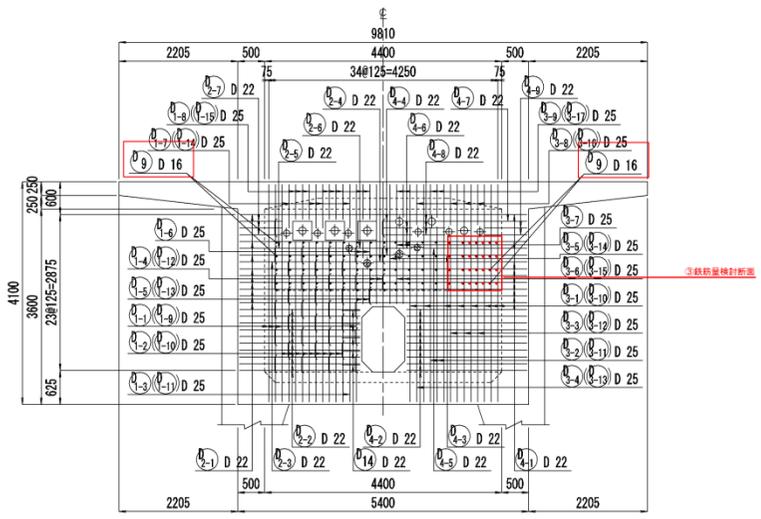
# 追加鉄筋による補強



# ひび割れ指数カウンター



# 追加鉄筋による補強



## ■現場での温度計測による検証

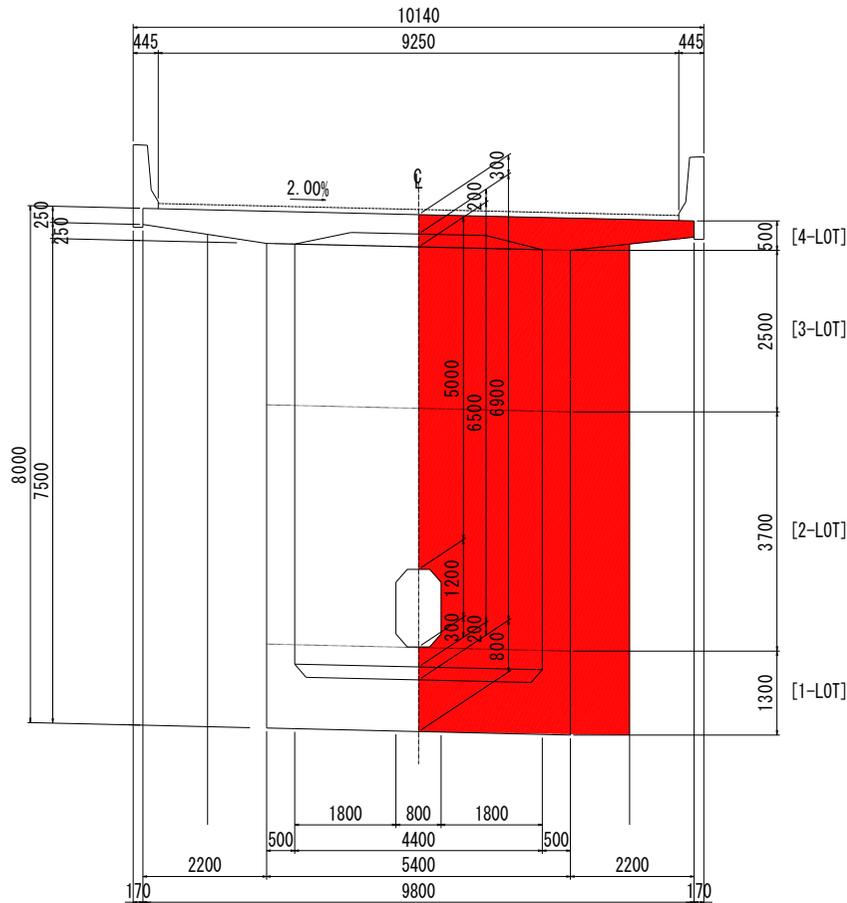
- ・最高温度発生位置などによる温度計測の実施
- ・横桁部材の内面側及び外面側での温度計測による管理を実施
  - 温度解析値と実測値による温度上昇量及び勾配差の検証
  - 養生期間の妥当性確認及び、期間延長などの判定材料
  - 部材内外の温度差発生への抑制対策(脱枠時の温度ショック防止等)



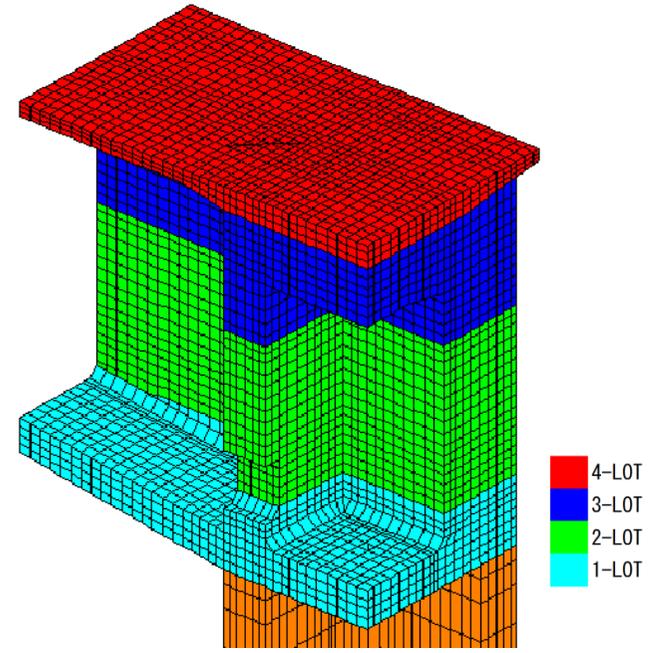
現場計測による温度履歴管理グラフ(参考例)

# ■ 温度ひび割れ解析事例(その2)

## 【連続ラーメン橋 柱頭部の温度解析】



- ・桁高 : 8.0m
- ・横桁厚 : 6.5m



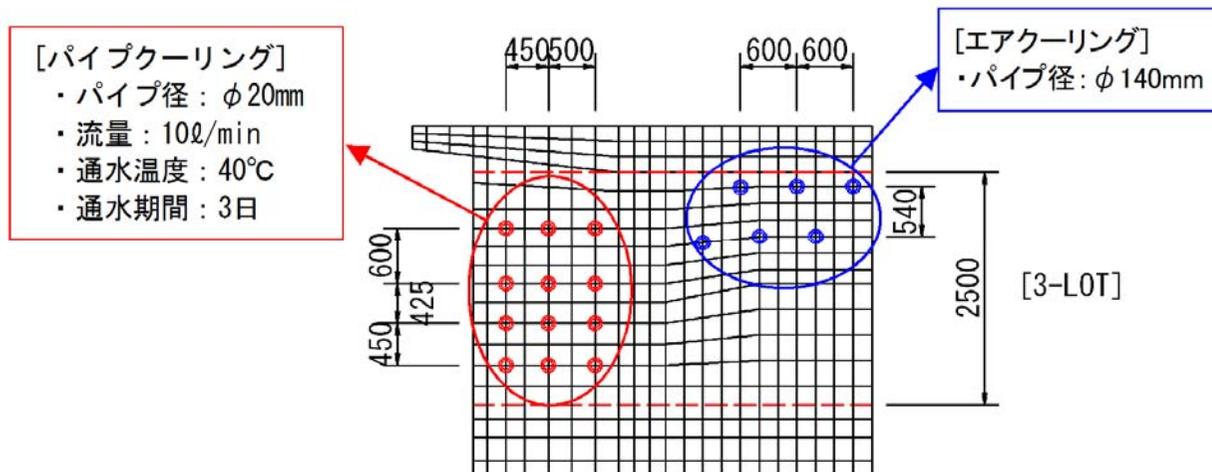
解析モデル(1/4モデル)

### ■ 施工条件

- ・上部エコンクリート打設分割数 : 4回
- ・コンクリート打設時期 : 9月～10月
- ・セメント種類 : 普通+膨張材

## ■ 温度応力抑制対策及び解析について

- ・ 温度応力が大きく生じる3-LOTにて、エアーリング及びパイプクーリングを実施し、橋脚鉄筋の配置及び外ケーブル配置の影響にて補強鉄筋の配置が困難と考えられる箇所への対応を図った。
- ・ パイプクーリングの通水温度は、注入20℃、排出60℃と想定され、その平均値の40℃で解析を行った。
- ・ コンクリート打ち込み開始温度は26℃であり、温度が40℃程度となる最初の4時間は通水温度を26℃に設定した。

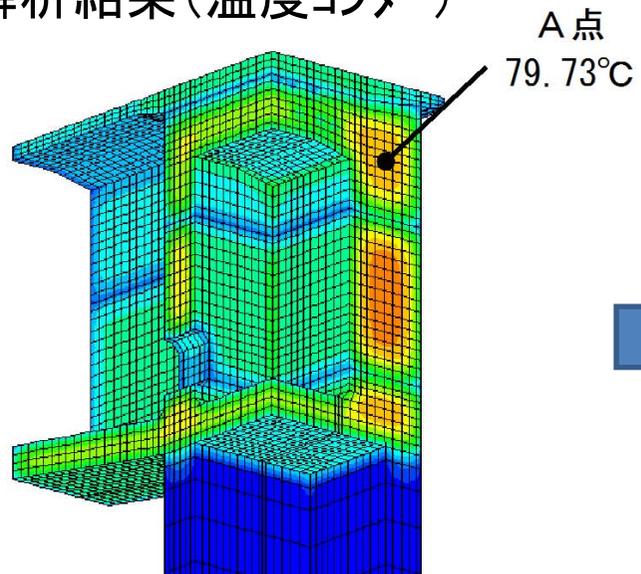


クーリングパイプ配置概要図

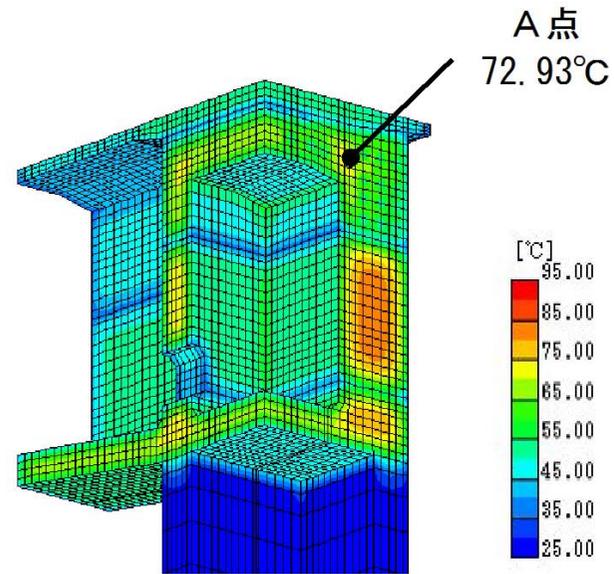


パイプクーリング状況  
(φ20mmポリエチレン管)

### ■解析結果(温度コンター)

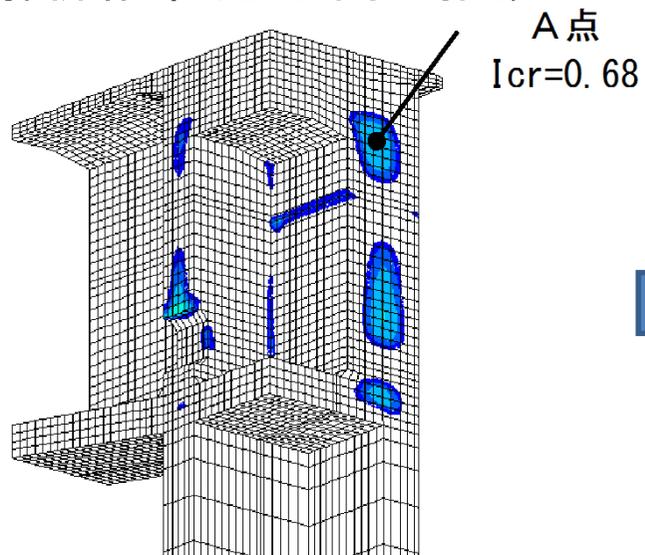


クーリング無し

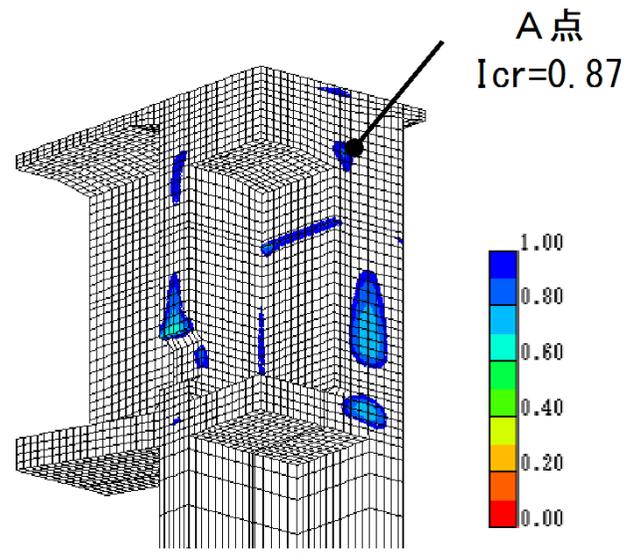


クーリング有り

### ■解析結果(ひび割れ指数コンター)



クーリング無し



クーリング有り

## ■解析結果と実施工との比較

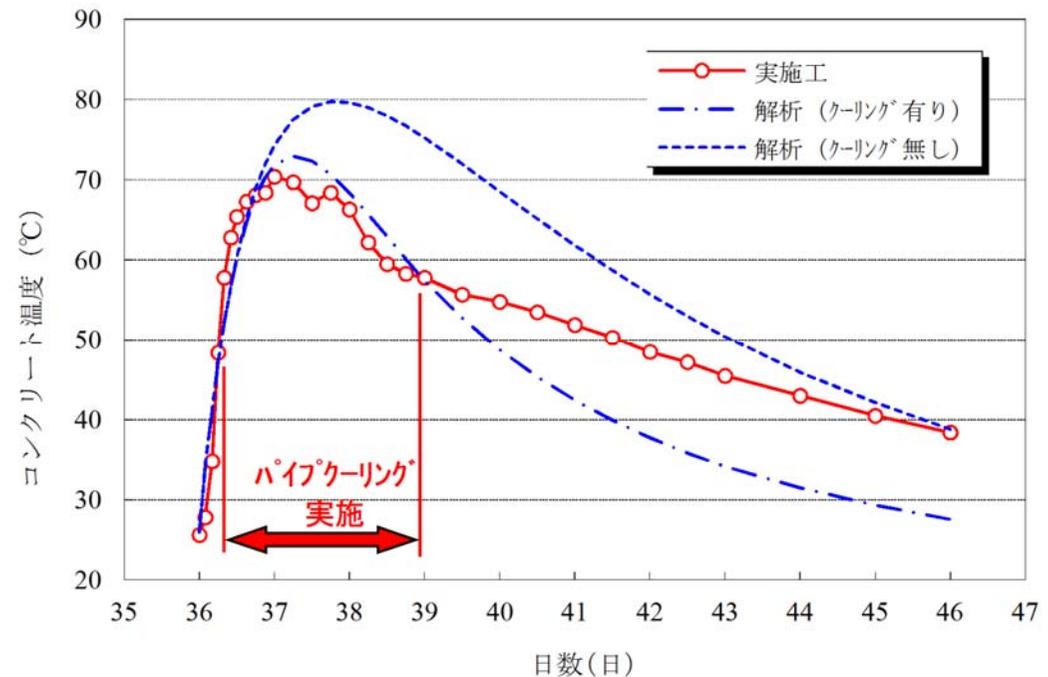
【実施工でのクーリング条件】

対 策	パイプクーリング	
パイプ材質	ポリエチレン管(一重仕様)	
パイプ径	内径φ13mm	
パイプ間隔	約500mm	
パイプ延長	約100m	
流 量	2.0~3.0MPaの高圧ポンプで送水	
クーリング水	水道水	
通水温度	入水温度	13.5℃
	排水温度	約40~45℃
通水期間	打設後3日間	

【外気温とコンクリート打込温度】

		解析条件	実施工(日平均)
外気温	9月	20.9℃	16.5℃(9/25~9/30)
	10月	14.6℃	17.4℃(10/1~10/6)
コンクリート打込温度		25.9℃	25.6℃

- 1) 実施工でのクーリングは解析結果とほぼ一致しており、解析による評価への妥当性が検証でき、ひび割れ抑制効果を確保することが可能である。
- 2) 実施工では、柱頭部支保工内の周辺温度が外気温より高くなる等の影響にて、下降勾配に変動が生じ易い(なお、緩やかな勾配は安全側)。
- 3) クーリング完了時期は、温度計測による判定が必要となる。



【コンクリート温度計測履歴】

## 【ポータルラーメン橋における温度解析の必要性について】

### ※品質確保に関する内容として

- ・下部工及び上部工との結合部形状が大断面であり、施工検討においてマスコン対策を行う必要がある。設計上の配慮にてFEMによる温度解析を行い、コンクリート配合及び打設分割数による影響を照査し、必要となる補強鉄筋等を配置する必要がある。
- ・上部工と下部工との結合部は、コンクリート配合が異なるなど、打設時期が異なり(単純梁で約3ヶ月)、打ち継ぎ目となる隅各部には新旧コンクリートの外部拘束力により、ひび割れの発生をさらに助長することが考えられる。
- ・上下部工が一体となり、活荷重, 温度変化, クリープ乾燥収縮, 導入プレストレス, 土圧の影響等に対し発生断面力に抵抗する構造であり、初期ひび割れ発生の影響がその後の挙動, 劣化因子の作用及び経年劣化にて進展し、長期耐久性の確保に悪影響を及ぼす可能性がある。

### ⇒「ポータルラーメン橋の諸課題に対する意見交換会」

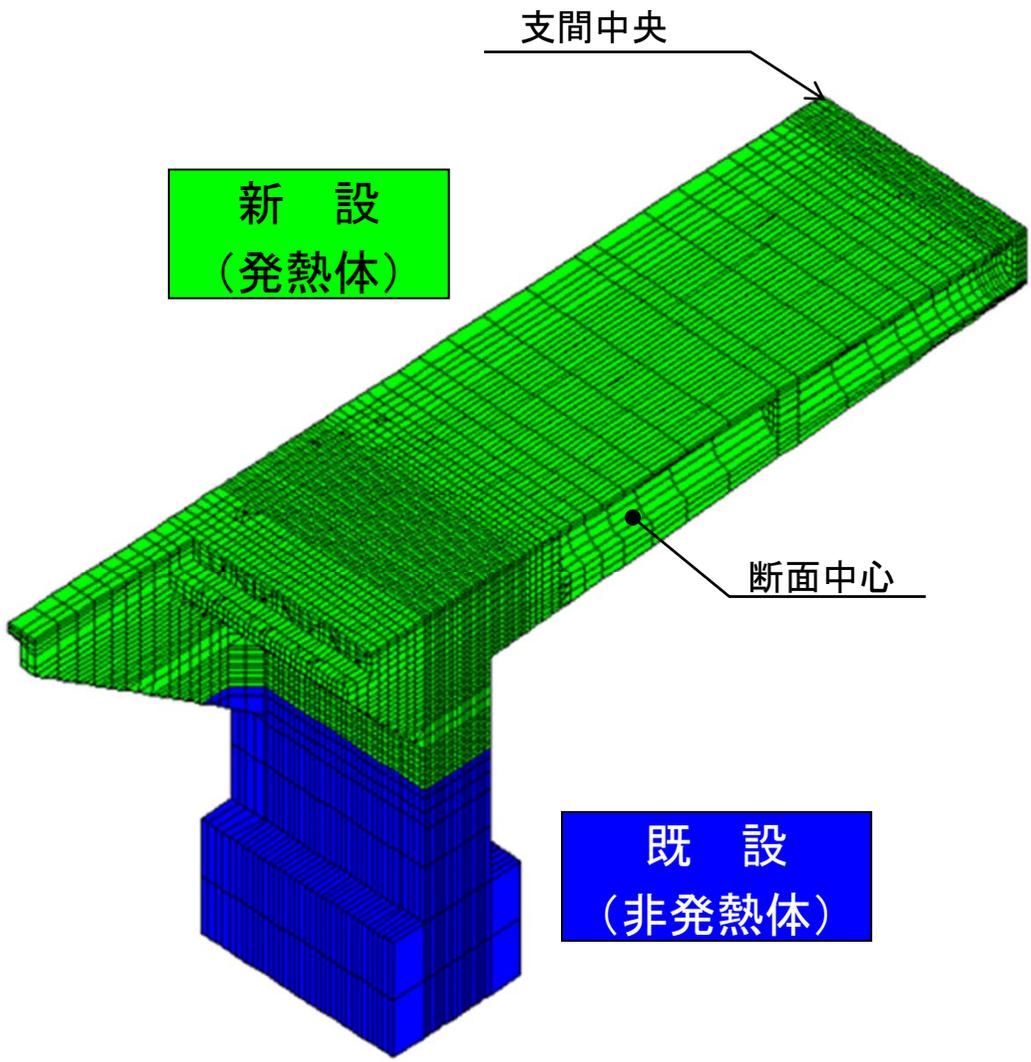
2009年10月19日に国交省中国地整とPC建協による協議が行われ、温度解析の実施などの必要性について話し合いが行われた。

※構造上の刈ッともあり、品質確保への対策が重要である。



# 解析モデル

橋軸方向および橋軸直角方向の対称性を考慮した1/4モデルにて解析



## ■ 温度条件

- ・外気温 : コンクリート打設時期の平均気温(22°C)
- ・コンクリートの打込み温度 : 外気温+5°C

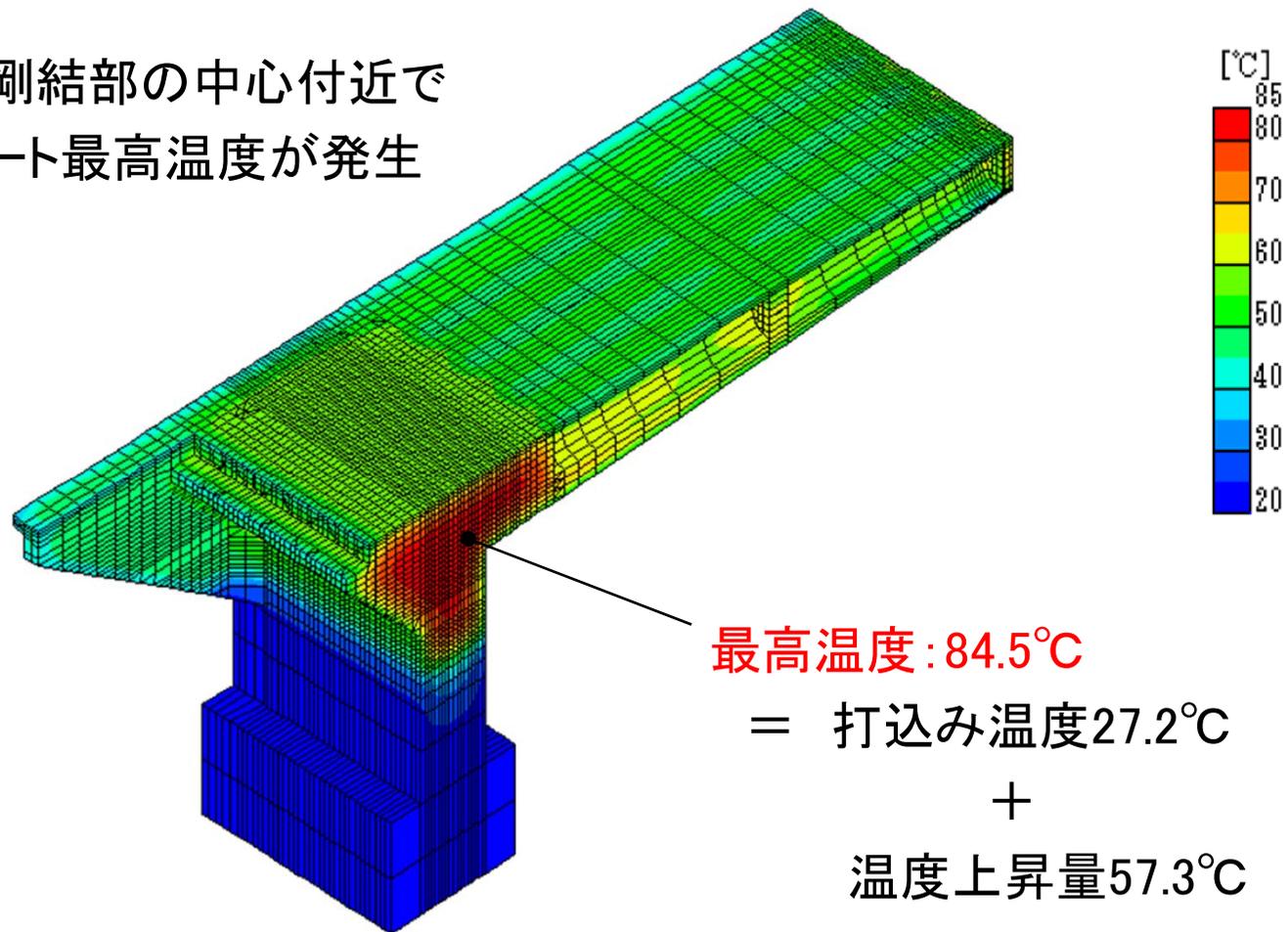
## ■ 物性値条件

	項目	単位	数値・他
	セメントの種類		普通ポルトランドセメント
	コンクリート強度	N/mm <sup>2</sup>	36
	水セメント比	%	44
	密度	kg/m <sup>3</sup>	2400
新設部	熱伝導率	W/m°C	2.7
	比熱	kJ/kg°C	1.3
	断熱温度上昇		考慮する
	自己収縮ひずみ		考慮する
	コンクリート強度	N/mm <sup>2</sup>	24
	密度	kg/m <sup>3</sup>	2400
既設橋台部	熱伝導率	W/m°C	2.7
	比熱	kJ/kg°C	1.3
	断熱温度上昇		考慮しない

## 解析結果①

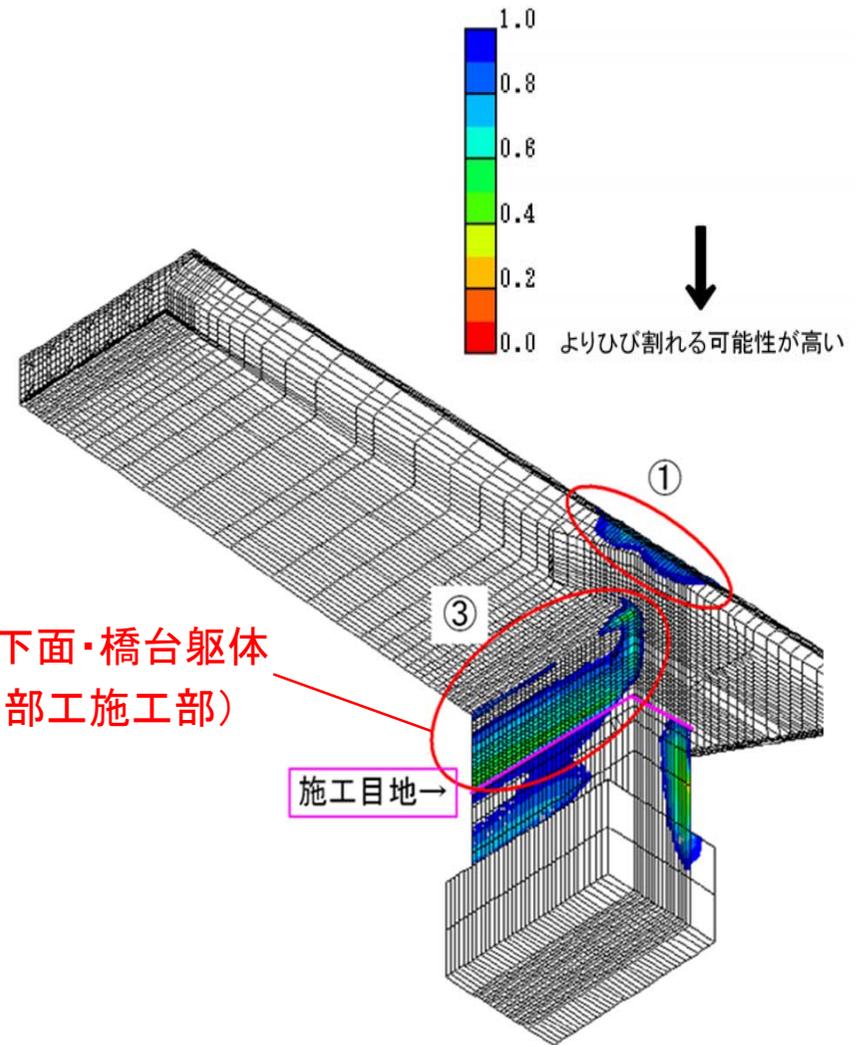
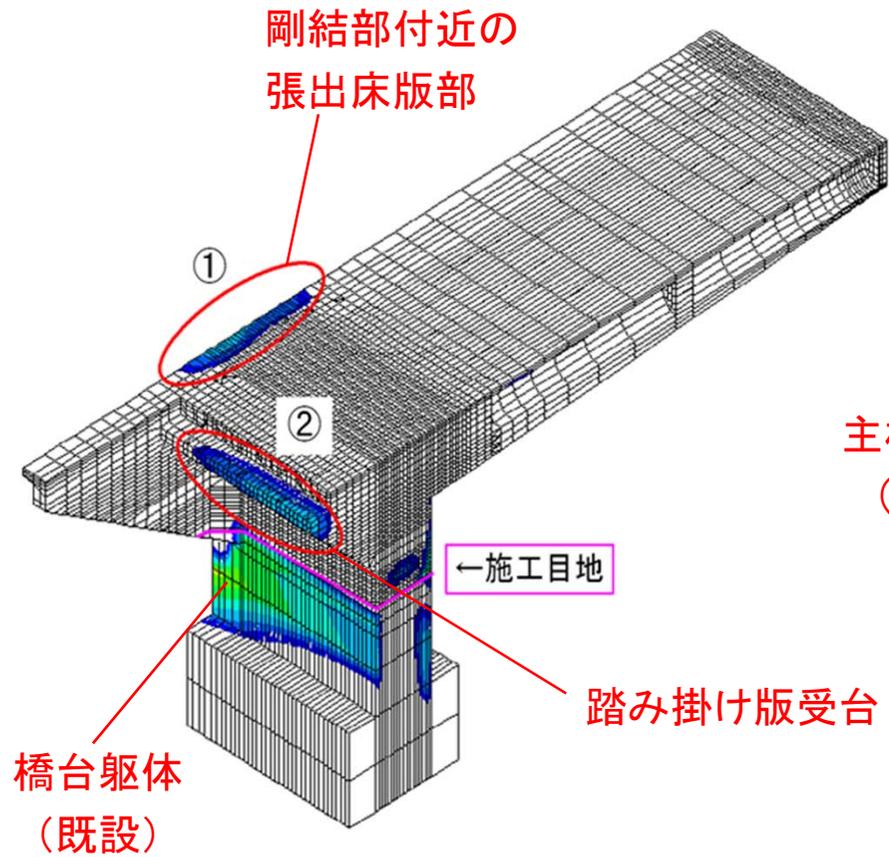
### 【コンクリート最高温度】

ラーメン剛結部の中心付近で  
コンクリート最高温度が発生



## 解析結果②

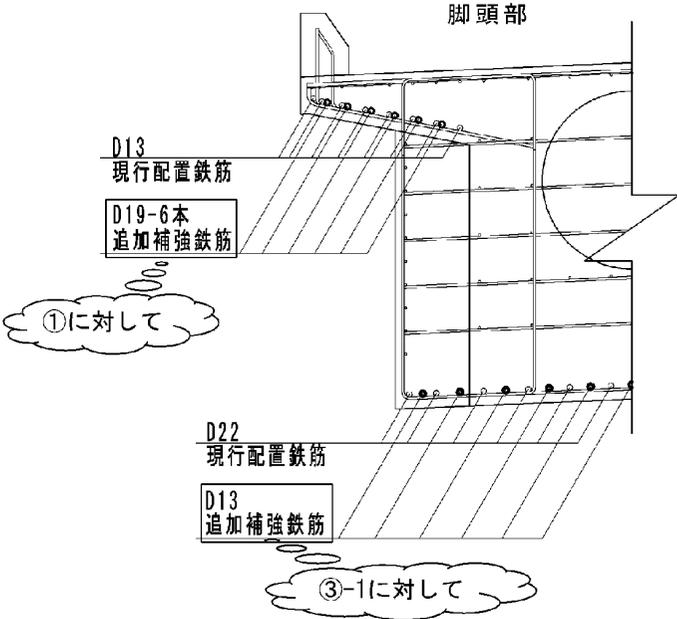
【経験最小ひび割れ指数】  
ひび割れ指数1.0以下を着色



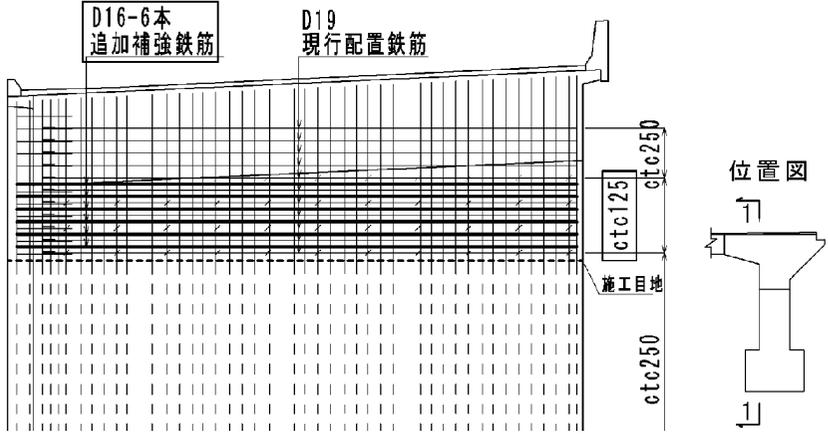
# 補強要領

経験最小ひび割れ指数が1.0を下回る箇所(上部工施工範囲)を対象とし、補強鉄筋を配置することで、有害なひび割れの発生を抑制。

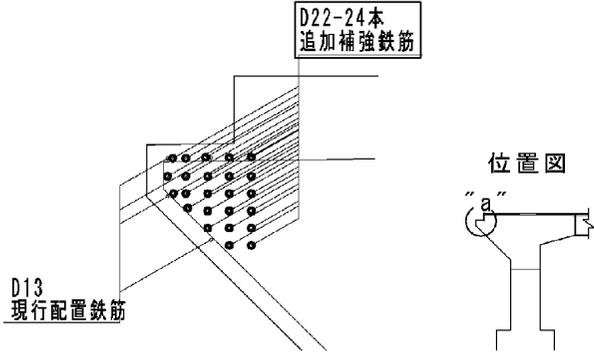
## 剛結部付近(張出床版, 主桁下面)



## 橋台躯体



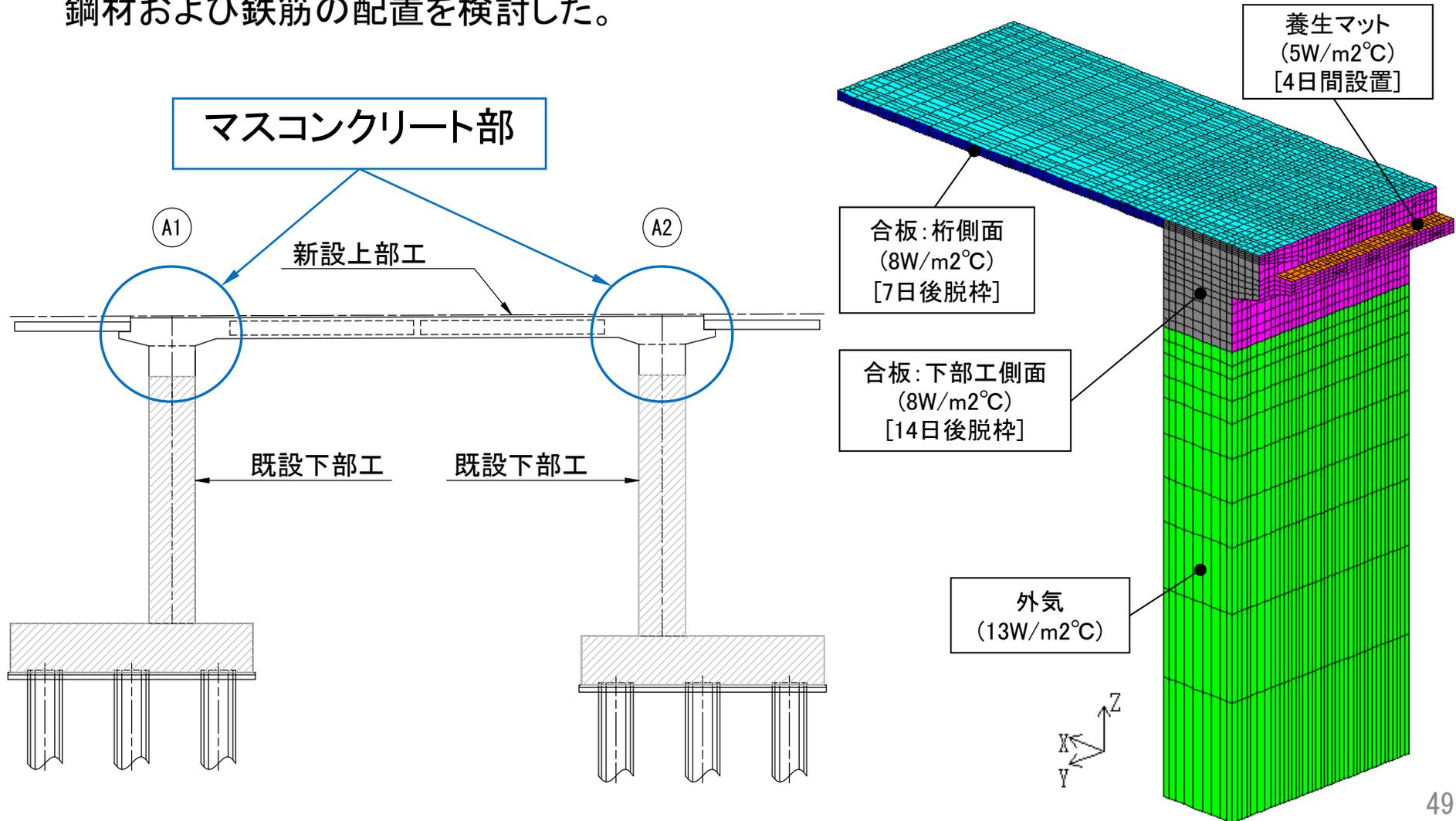
## 踏み掛け版受台



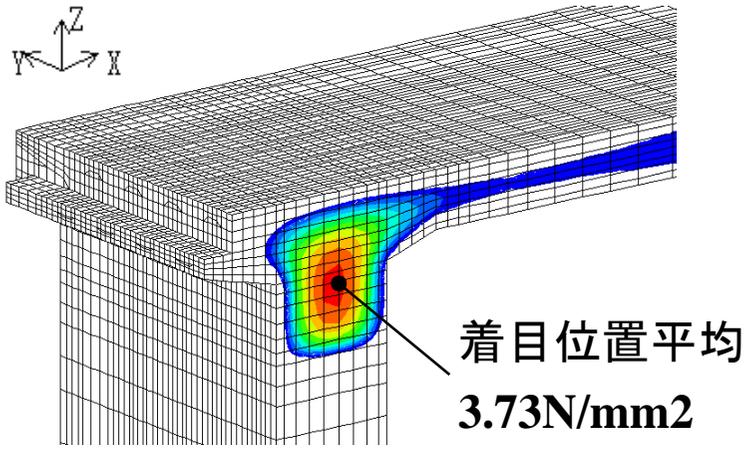
# ■ 温度ひび割れ解析事例(その4)

## 【ポータルラーメン橋の温度解析】

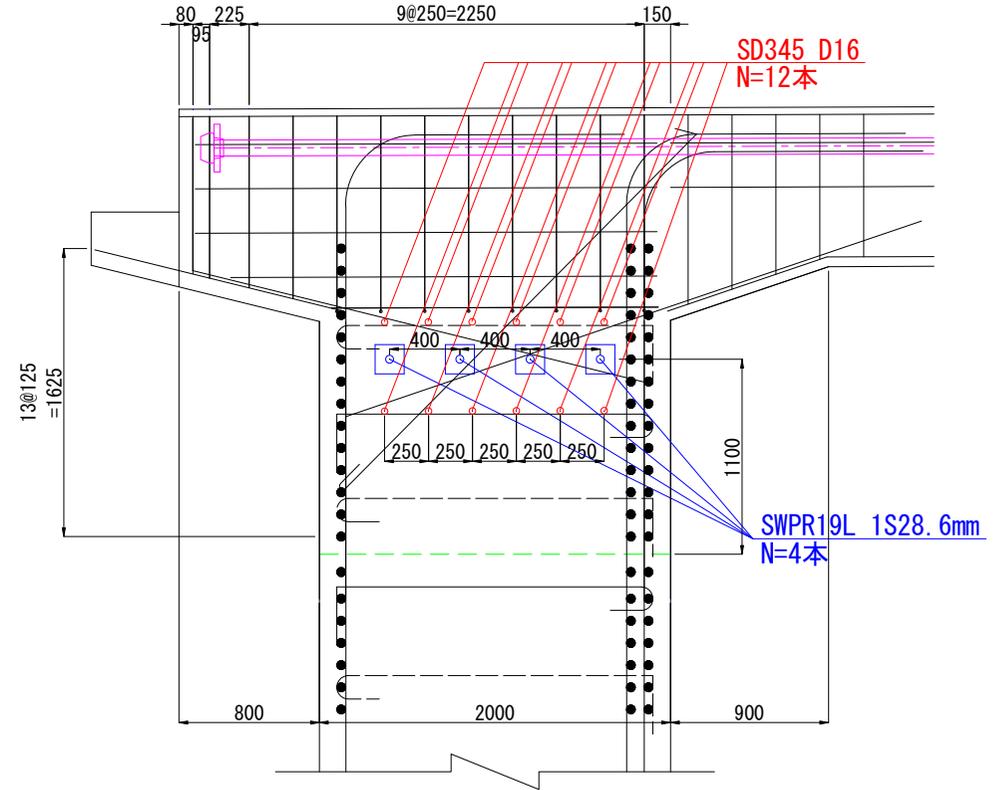
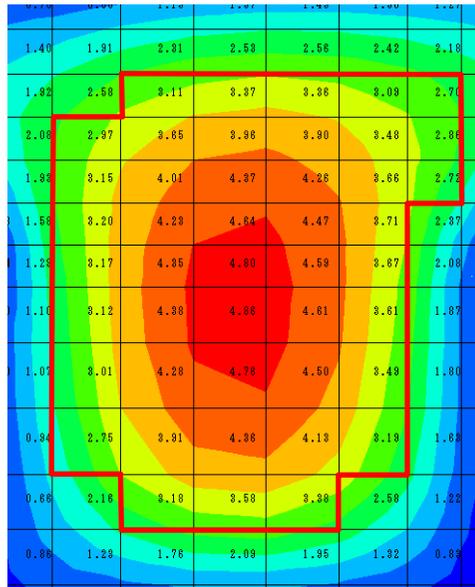
ポータルラーメン橋の端支点横桁はマスコンクリートに該当し、温度ひび割れの発生が懸念された。そのため、温度解析を用いて、ひび割れの発生可能性を把握し、補強用のPC鋼材および鉄筋の配置を検討した。



コンクリートの引張強度を超過する引張力に対して、引張力を打ち消すことのできるプレストレス量を導入することとした。また、PC鋼材の周辺には、用心鉄筋としてD16鉄筋を配置した。



<着目位置 拡大図>



着目位置平均応力	コンクリート引張強度	超過応力	着目位置面積
3.73 (N/mm <sup>2</sup> )	2.63 (N/mm <sup>2</sup> )	1.10 (N/mm <sup>2</sup> )	2176017.00 (mm <sup>2</sup> )

コンクリートの引張強度を超過する引張力	
$1.10 \times 2176017 \div 1000 =$	<b>2393.6 (kN)</b>

引張力2393.6kN / PC鋼材1本当りの緊張力600kN

⇒ **1S28.6mm 4本配置**

# ■ 高耐久化につながる施工対応事例に関して

## 【設計協議で塩害対策区分を変更した事例】



本橋は長崎県壱岐地方における場所打ち箱桁橋で海岸線から約50m離れている。  
 → 本来の塩害対策区分は I 種である。

表-5.2.2 塩害の影響地域

地域区分	地 域	海岸線からの距離	塩害の影響度合いと対策区分	
			対策区分	影響度合い
A	沖 縄 県	海上部及び海岸線から 100m まで	S	影響が激しい
		100m を超えて 300m まで	I	影響を受ける
		上記以外の範囲	II	影響を受ける
B	表 5.2.3 に示す地域	海上部及び海岸線から 100m まで	S	影響が激しい
		100m を超えて 300m まで	I	影響を受ける
		300m を超えて 500m まで	II	影響を受ける
		500m を超えて 700m まで	III	影響を受ける
C	上記以外の地域	海上部及び海岸線から 20m まで	S	影響が激しい
		20m を超えて 50m まで	I	影響を受ける
		50m を超えて 100m まで	II	影響を受ける
		100m を超えて 200m まで	III	影響を受ける

表-5.2.1 塩害の影響による最小かぶり (mm)

塩害の影響の度合い	構造 対策区分	構造		
		(1) 工場で製作されるプレストレストコンクリート構造	(2) (1) 以外のプレストレストコンクリート構造	(3) 鉄筋コンクリート構造
影響が激しい	S	70 <sup>*1</sup>		
影響を受ける	I	50	70	
	II	35	50	70
	III			50
影響を受けない		6.6.1「鋼材のかぶり」による		

<sup>\*1</sup> 塗装鉄筋の使用又はコンクリート塗装を併用



設計時の協議において塩害対策区分Sの適用を決定した。

# 設計時の協議において塩害対策区分Sの適用を決定した。

## 3.6 塩害に対する検討

### 3.6.1 対策区分

地域区分がC地域、海岸線より20~50mで対策区分Iに該当するが、河口部の感潮域であるため、対策区分Sとする(本課協議結果)。

### 3.6.2 対策方法

#### 1) 上部構造

①かぶり厚は、70mm以上とする。

表-5.2.1 塩害の影響による最小かぶり (mm)

塩害の影響の度合い	対策区分	構造		
		(1) 二場で製作されるプレストレストコンクリート構造	(2) (1)以外のプレストレストコンクリート構造	(3) 鉄筋コンクリート構造
影響が激しい	S		70 <sup>※1</sup>	
影響を受ける	I	50	70	
	II	35	50	70
	III			50
影響を受けない		5.6.1「鋼材のかぶり」による		

※1 塗装鉄筋の使用又はコンクリート塗装を併用

出典：日本道路協会「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(04.1.3)」

②併用は、塗装鉄筋・コンクリート塗装・埋設型棒が考えられるが、以下の資料を基に鉄筋は塗装鉄筋、PC鋼材はプラスチック製シース+非塗装鋼材を基本とする。

Q1：対策区分Sにおいて、かぶりに加えて併用する対策を選定する場合の留意点を教えてください。

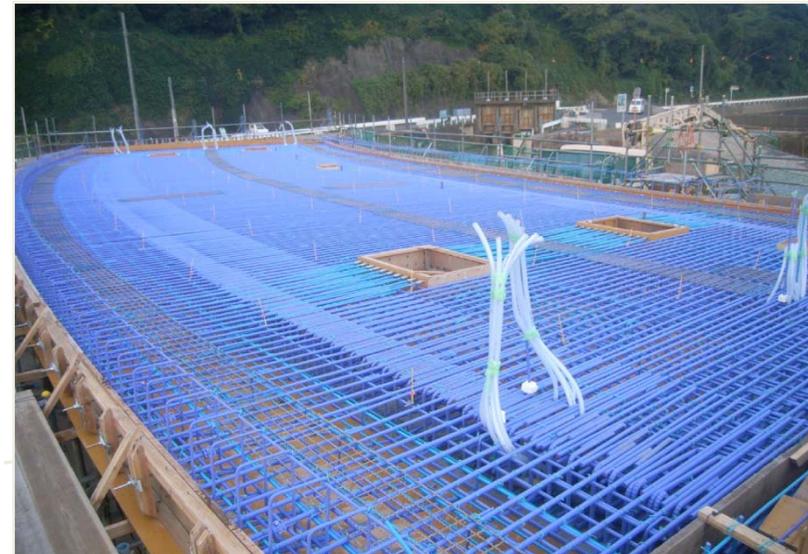
A1：対策区分Sにおいて併用する対策は、対策の耐久性や信頼性、施工性、経済性等を考慮して対応案を選定するのが望ましい。

プレストレストコンクリート橋に対する対策区分Sの併用例を、表-1に示す。ここで、プレテンション方式では、鉄筋に比べて腐食に対して敏感なPC鋼材が直接かぶりコンクリートに接していることから、併用する対策の点検や補修が容易なコンクリート表面塗装による対策としている。一方、ポストテンション方式では、PC鋼材に対しては断面内の全てのシースをプラスチック製シースとするのがよい。なお、塗装鉄筋を併用する場合は、一般に主筋の断面形状によらず断面内の全ての鉄筋を塗装鉄筋とするが、設計上の目標年数に対して鋼材腐食発生限界に達しないことを照査した場合は、その領域を非塗装鉄筋としてもよい。

表-1 プレストレストコンクリート橋の塩害対策例

対策方法	プレテンション方式	ポストテンション方式
	$\sigma_{ct} \geq 50 \text{ N/mm}^2$ (W/C=36%程度)	$\sigma_{ct} \geq 36 \text{ N/mm}^2$ (W/C=43%程度)
表面	コンクリート表面塗装 <sup>※1</sup>	塗装
PC鋼材	非塗装鋼材	プラスチック製シース+非塗装鋼材
鉄筋	非塗装鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋
かぶり	70mm	70mm

※1 コンクリート表面塗装自体の耐久性に留意すること。



筋は全

## 【高耐久・長寿命化対策について】

### ●コンクリート橋の主な劣化部位

#### ●桁端部

→伸縮装置の機能損傷による漏水に起因する劣化。

#### ●床版部

→橋面等の水の浸透による床版コンクリートの劣化。

#### ●かぶりコンクリートの劣化

→劣化したコンクリート片の剥落による第三者被害。



点検や補修が困難な場所もあり、予防保全的な対策を実施することが重要である。

## 【桁端部の劣化事例】

→橋面&伸縮からの漏水



### ①作用している力

- ・PC鋼材定着部の支圧力
- ・支承反力

### ②懸念される劣化

- ・PC定着部の腐食, 鋼材破断
- ・せん断補強筋の破断
- ・横締めPC鋼材の破断

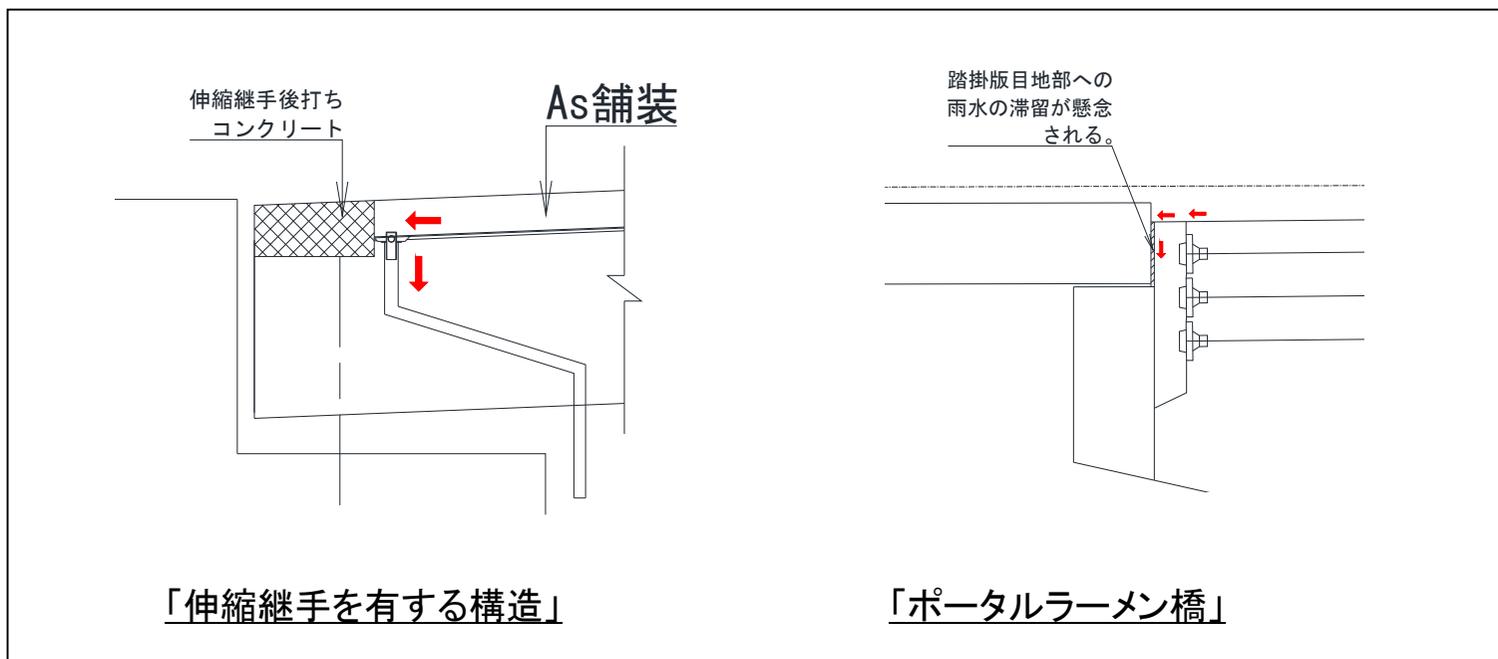
### ③予想される破壊形態

- ・PC鋼材・鉄筋破断によるせん断
- ・耐力不足(支承反力によるせん断破壊)
- ・横桁横締の破断, 突出

## 【桁端部の耐久性向上】

「伸縮継手を有する構造」の場合は、アスファルト舗装に浸透した雨水の流末処理を伸縮装置後打ちコンクリートと防水工の設置調整は可能である一方、「ポータルラーメン橋」などのジョイントレス構造では、橋梁の挙動にて直接、PC鋼材定着具の集中する桁端部に雨水が浸透・滞留しやすい構造となっている。

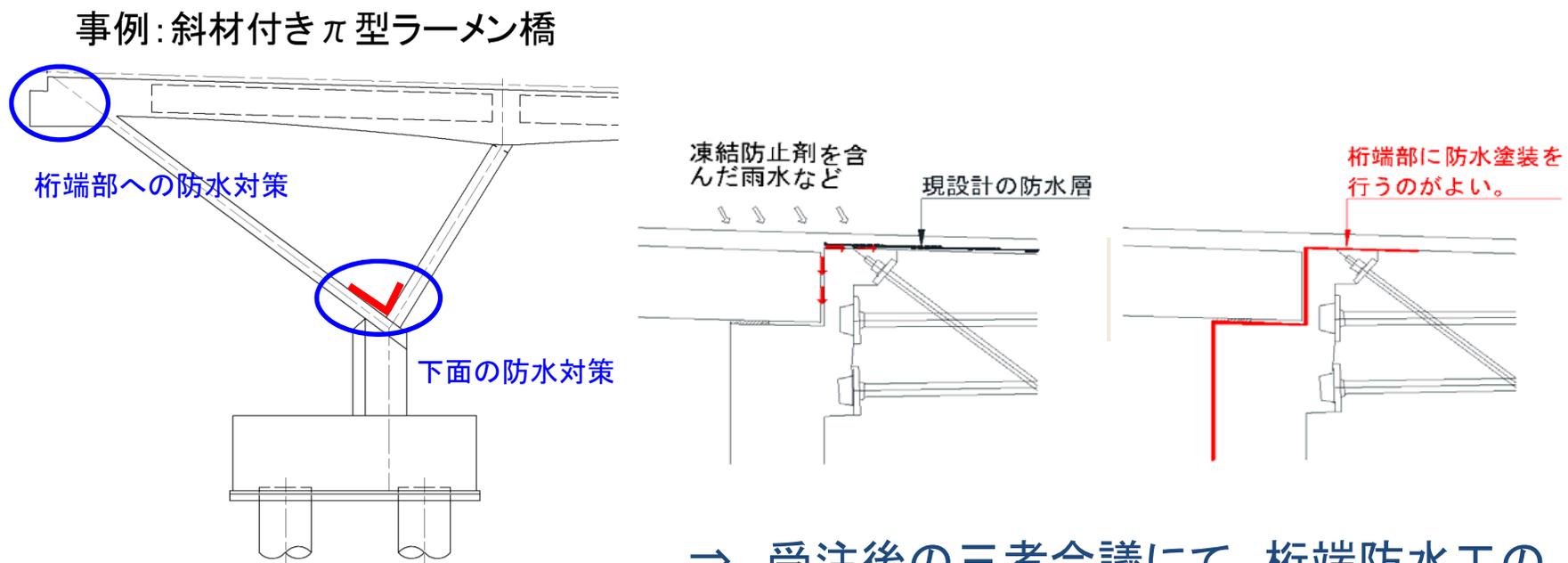
→桁端部に防水塗装など耐久性向上に向けた取り組みを行うのがよい。



## 【桁端部の耐久性向上】

PC桁の桁端部は橋面上からの水の浸入に対して、主ケーブル定着部の長期耐久性を確保することが必要である。

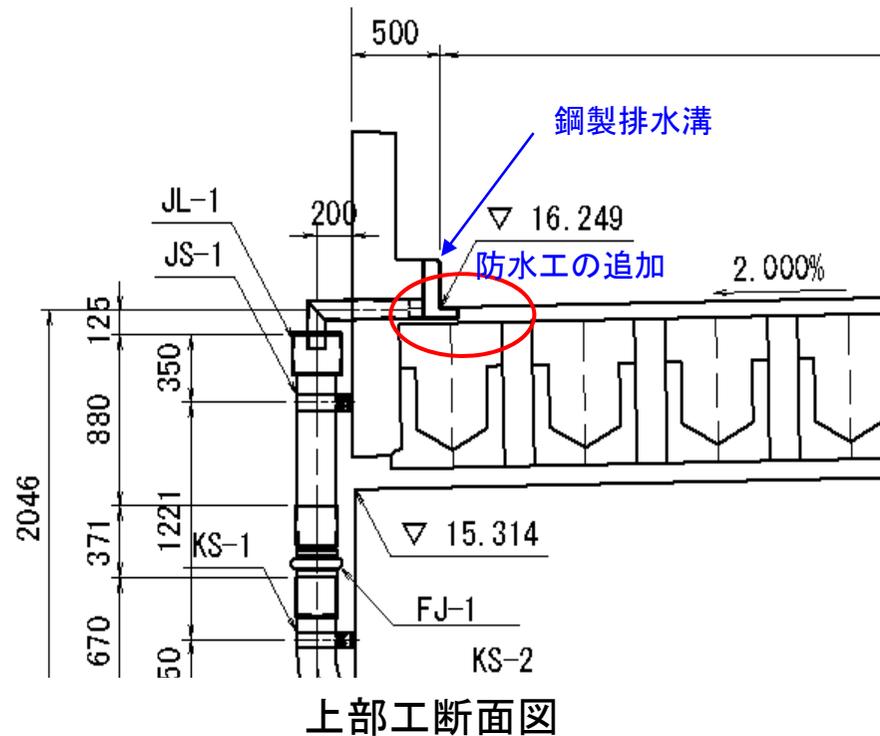
(凍結防止剤を散布する寒冷地では、特に重要。)



⇒ 受注後の三者会議にて、桁端防水工の必要性について協議して採用。

# 【鋼製排水溝下面の耐久性向上】

鋼製排水溝が設置される橋梁にて、鋼製排水溝と舗装の境界部より雨水等が浸入し、床版の耐久性に影響を及ぼす可能性がある。



防水工 施工状況(塗布)

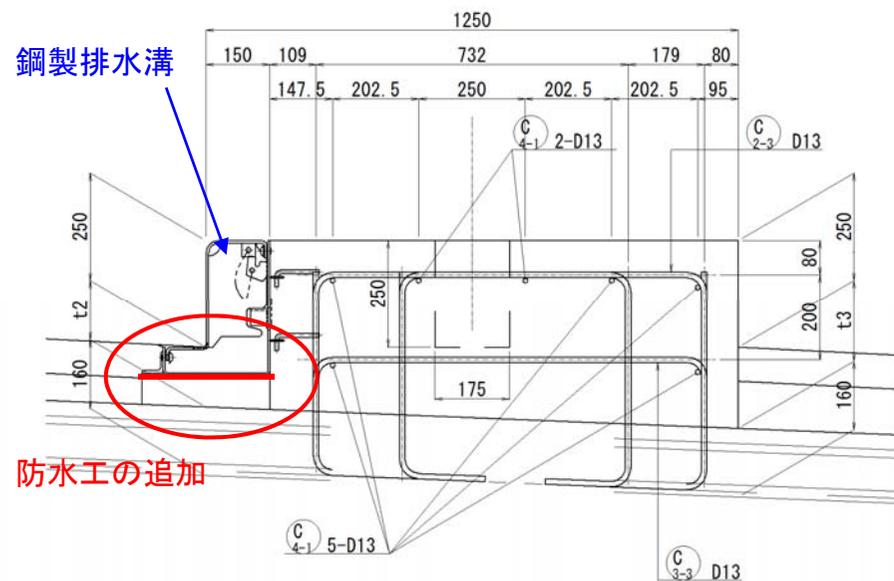


鋼製排水溝下面への防水工 完了状況

⇒ 受注後の客先協議により、鋼製排水溝下面の防水工を協議にて採用。

## 【鋼製排水溝下面の耐久性向上】

中分側地覆部に鋼製排水溝が設置される橋梁。鋼製排水溝と舗装の境界部より雨水等が浸入し、床版の耐久性に影響を及ぼす可能性がある。



中分側地覆 断面図

⇒ 受注後の客先協議により、鋼製排水溝下面の防水工を協議にて採用。



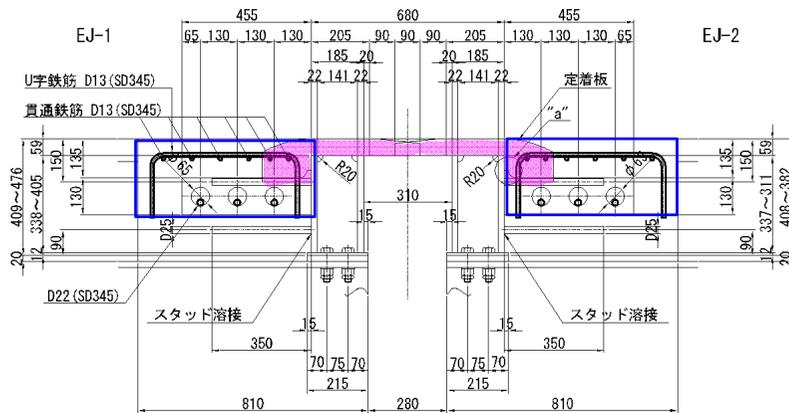
防水工 施工状況(塗布)



鋼製排水溝 取付け完了状況

# 【伸縮装置周辺の防水工対策】

寒冷地における鋼製伸縮装置には定着板が設定されるが、後打ちコンクリート表面にはかぶりの無い定着板が存在し、その部分から橋面の水分が浸透し、伸縮装置の劣化及び床版や桁端部への漏水が生じる原因となる。



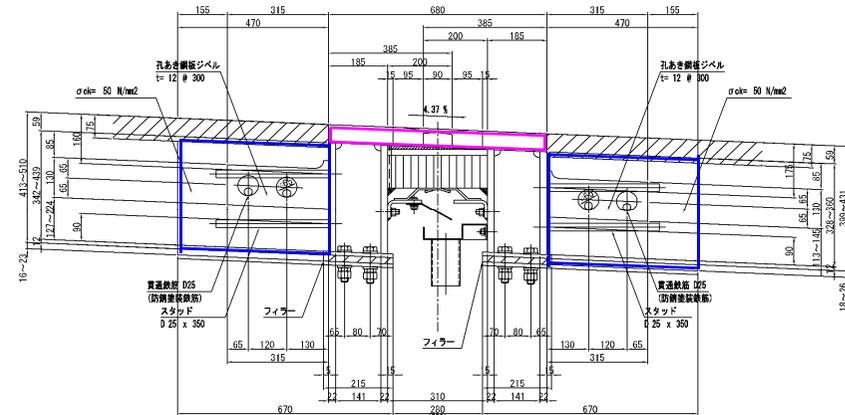
定着板有リタイプ

定着板 (ctc300)

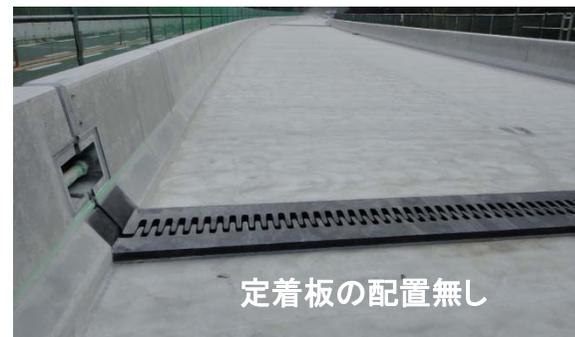


定着板 (ctc300)

・微細なクラックの発生など、劣化を生じやすい。



定着板無しタイプ



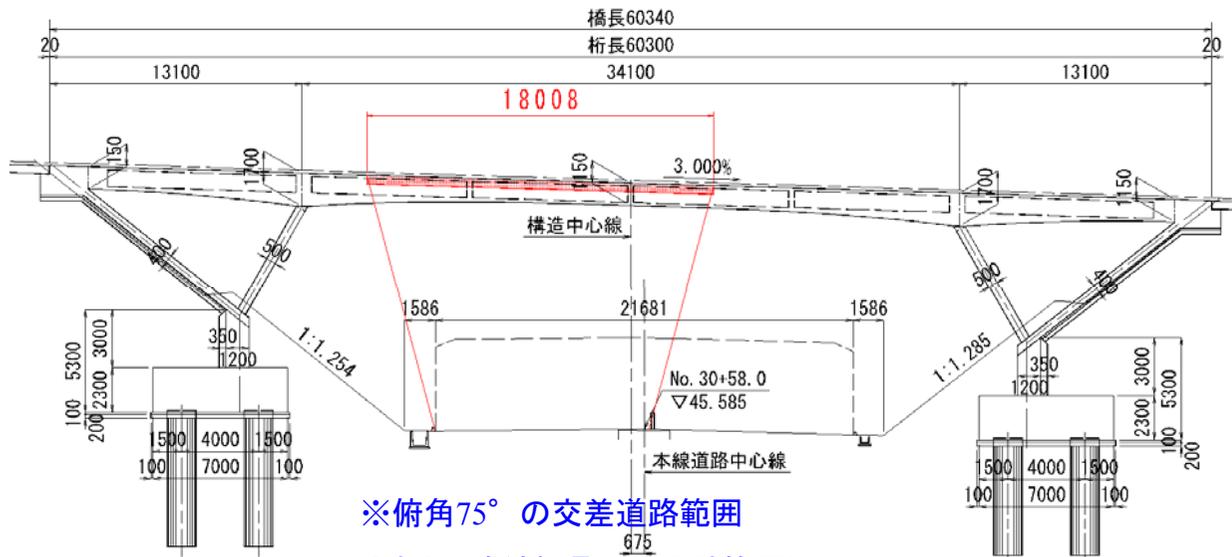
定着板の配置無し

- ・定着板が無いことで、橋面防水工を伸縮装置面まで確実に施工が可能。
- ・但し、定着板設定の有無について、道路管理者との協議を要する。

# 【剥落防止対策】

交差道路など、劣化にてコンクリート片の剥落に対する第三者被害の恐れがある橋梁については、将来の対策にて剥落防止対策が必要となる可能性が高い。

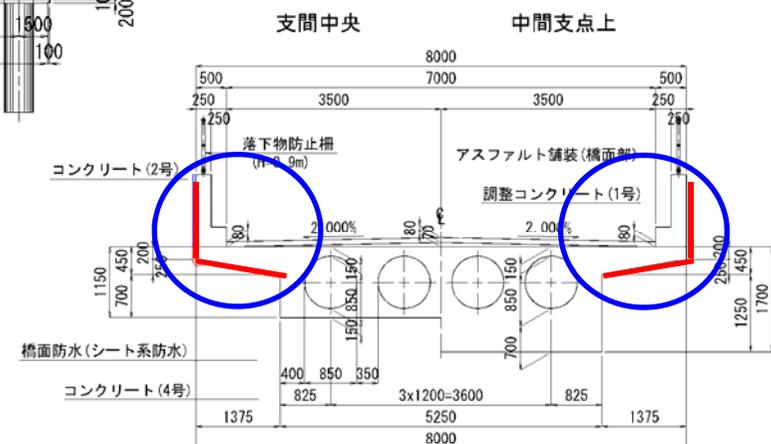
事例：斜材付きπ型ラーメン橋



※俯角75°の交差道路範囲

※但し、路線幅員での設計範囲に制限される場合がある。

⇒ 受注後の客先協議により、剥落防止対策を新設施工にて採用。



ご清聴ありがとうございました。



(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 中国支部