

旭高架橋橋脚上面ひび割れ及び表面保護用型枠うきに関する調査検討委員会
(第2回委員会)

議事次第

1. 日 時 平成21年1月29日(木) 15:00~17:00
2. 場 所 国土交通省 関東地方整備局 常陸河川国道事務所 第1会議室

3. 議事次第
(開 会)

挨拶

(議 事)

1. 第1回委員会の質疑について
2. 詳細調査の結果について
3. 原因の検討について
4. 保全対策の検討について

(閉 会)

旭高架橋橋脚上面ひび割れ及び表面保護用型枠うきに関する調査検討委員会
第2回委員会 議事概要

1. 日 時：平成21年1月29日（木）15：00～17：00
2. 場 所：国土交通省 関東地方整備局 常陸河川国道事務所 第1会議室
3. 出席者：別紙のとおり
4. 議事概要

(1) 第1回委員会の質疑について

- 事務局より第1回委員会の質疑に対する回答、表面保護用型枠の基本性能に関するヒアリング調査結果、使用実績調査結果、施工方法・手順及び施工時期について説明
- 審議結果
 - ・ 施工業者、型枠メーカーの見解（ヒアリング結果）について以下の内容を確認した。
 - ◇ 橋脚上面のひび割れ、型枠のうき・剥離の要因のひとつとして、躯体コンクリートの乾燥収縮・自己収縮が考えられる。
 - ◇ 躯体コンクリートの乾燥収縮・自己収縮の影響は、型枠の設計・施工段階では特に想定していなかった。
 - ◇ 型枠と躯体コンクリートの線膨張係数は同等であり、温度変化に対しては追従する構造と考えた。
 - ◇ 竣工検査時には、橋脚上面には特に異常は認められなかった。

(2) 詳細調査の結果について

- 事務局よりP9橋脚の詳細調査結果として、型枠内側の躯体コンクリートの損傷状況、橋脚の出来形寸法、躯体コンクリートの塩分含有量について説明
- 審議結果
 - ・ 詳細調査箇所は、上面のひび割れと側面のひび割れとが貫通していたことを確認した。
 - ・ 橋脚上面の橋軸直角方向の寸法が竣工時の出来形に比べて22mm小さいことを確認した。
 - ・ 橋脚躯体コンクリートの表面から20mmの深さまで、塩分含有量が大きくなっていることを確認した。

(3) 原因の検討について

- 事務局より橋脚の損傷パターン、損傷要因に対する検討結果について説明
- 審議結果
 - ・ 橋脚の損傷パターン、損傷要因の整理方針について了承された。
 - ・ 損傷要因の整理内容に対して、以下の意見が出されたことから、これらについて追加検討を加え、次回委員会において議論する。
 - ◇ 型枠の損傷原因については、目地の構造と躯体コンクリートの挙動（乾燥収縮等）を関連付けて損傷メカニズムを整理するのがよい。
 - ◇ 型枠セパレーター位置からの錆汁については、型枠のひび割れや浮きの直接的な原因でなければ、別途整理を行うのがよい。

(4) 保全対策の検討について

- 事務局より補修・補強対策の基本方針について説明
- 審議結果
 - ・ 補修・補強対策の基本方針について了承された。
 - ・ 補修・補強対策の基本的な考え方として以下の意見が出されたことから、これらについて検討を行った上で次回委員会において議論する。
 - ◇ 橋脚上面の大きなひび割れについては、塩分浸透抑制対策だけでなく、ひび割れの拡大防止のための補修対策の必要性についても検討を行うのがよい。
 - ◇ 保全対策後も、躯体の乾燥収縮の進行が型枠に影響を与える可能性があるため、型枠の経過観察の方法等についても検討を行うのがよい。

以 上

旭高架橋橋脚上面ひび割れ及び表面保護用型枠うきに関する調査検討委員会

第2回委員会 出席者名簿

<委員>

茨城大学工学部都市システム工学科	教授	横山 功一
〃	〃	福澤 公夫
国土政策技術総合研究所道路研究部		
道路構造物管理研究室	室長	玉越 隆史
(独) 土木研究所		
構造物メンテナンス研究センター	上席研究員	中谷 昌一
〃	〃	運上 茂樹
関東地方整備局道路部道路工事課	課長補佐	村刺 徹雄(代理)
〃 道路部道路管理課	課長	柏樹 重暢
〃 常陸河川国道事務所	所長	梅田 和男

<第2回委員会資料 概要版>

—資料目次—

1. 第1回委員会の質疑について.....	1
2. 詳細調査の結果について.....	7
3. 原因の検討について.....	11
4. 保全対策の検討について.....	16

1. 第1回委員会の質疑について

1-1. 第1回委員会の議事概要

旭高架橋橋脚上面ひび割れ及び表面保護用型枠うきに関する調査検討委員会
(第1回委員会)
議事概要

1. 日 時：平成20年12月12日（金）10：00～12：30
2. 場 所：国土交通省 関東地方整備局 常陸河川国道事務所 第1会議室
3. 出席者：出席者名簿のとおり
4. 議事概要
 - (1) 委員会設立趣意書（案）及び規約（案）について
 - 事務局より委員会設立趣意書（案）及び規約（案）について説明
 - 審議結果
 - ・ 委員会設立趣意書（案）及び規約（案）について了承された。
 - (2) 委員長選出
 - 委員からの推薦により委員長として茨城大学の横山教授が選出された。
 - 審議結果
 - ・ 委員長は横山教授で了承された。
 - (3) 委員会運営方針（案）について
 - 事務局より委員会運営方針（案）について説明
 - 審議結果
 - ・ 委員会運営方針（案）について了承された。
 - (4) 橋梁概要及び橋脚の損傷状況、応急処置の状況、橋梁設計及び施工状況、今後の詳細調査
 - 事務局より橋梁概要及び橋脚の損傷状況、応急処置の状況、橋梁設計及び施工状況、今後の詳細調査について説明
 - 審議結果
 - ・ P9橋脚上面ひび割れについて、ひび割れ確認以降、定期的に監視しているが、応急処理前及び処理後もひび割れの進展は認められないことを報告した。
 - ・ 以下の意見が出されたことから、これらについて調査・整理を行った上で、次回委員会において議論する。
 - ・ 塩害対策において、型枠の構造や設計から期待される性能について整理を行う。
 - ・ 型枠施工時の施工方法の詳細とその影響について確認を行う。
 - ・ 型枠に生じたひび割れのパターン・傾向性とひび割れ発生原因について整理を行う。
 - ・ 施工状況について時間経過と事実関係について整理を行う。
 - ・ 本橋設計時のFEM解析結果等を参考に、橋脚の沓座部の応力状態について確認を行う。
 - ・ 今後の詳細調査について了解を得た。

以 上

1-2. 第1回委員会の質疑に対する回答

- ◇ 第1回委員会の質疑内容を以下の11項目に分類し、キーワードを抽出。
- ◇ 第1回委員会にて出た質問のうち、事務局が明確な回答をできなかったものについては、再調査（資料収集、ヒアリング）を実施し、p3に整理。
- ◇ 各委員から頂いた具体的なご意見は、第2回委員会資料及び今後の各種検討に反映。

損傷状況

(1) ひび割れの進展、現状

Q: ひび割れ、型枠うきなど当初の緊急点検以降、幅が広がっているところはないか。

A: 経過観察を実施しているが、進展は見られない。

(2) 損傷状況

Q: P9橋脚の「沓座モルタル浮き」とは、どのような状態なのか。

A: ハンマーで叩くと濁音⇒浮いていると判断。ひび割れはない。

追加調査

(3) 型枠の基本性能、構造

Q: 型枠の基本性能、構造について再確認が必要。

<キーワード: 型枠の各部材(セパレーター、インサートアンカー)の役割と機能、塩害対策としての性能、目地の処理方法、乾燥収縮・自己収縮への対策、曲線部への適用>

A: 不明な点について再確認する。 ⇒ p3~p4

(4) 型枠の実績調査

Q: 他の適用事例、損傷の有無などはどうなっているか。

<キーワード: PC構造物への適用性(クリープへの追従)と目地構造、本四架橋の事例・損傷の有無等>

A: 実績を調査する。 ⇒ p5

(5) 施工方法、手順等

Q: 施工時に物理的に力が加わる構造となっていないか。どのように型枠(フレーム)をセットするのか。

<キーワード: コンクリートの側圧、型枠の設置(組み立て)方法>

A: 施工手順、方法を再整理する。 ⇒ p4

損傷パターン分類

(6) 損傷パターンの整理、要因抽出

Q: 型枠のひび割れ、目地の損傷など、それぞれ損傷の種類も複数あり、性質ごとに分類、時間経過を示し、複数の要因を検討したほうがよい。

<キーワード: 型枠中央のひび割れ、1型枠に2,3本の縦ひび割れと応力、複数の型枠に連続するひび割れ、インサートを通るひび割れ、角45度のひび割れ、錆び汁が発生しているひび割れ等>

A: 損傷パターンを整理する。 ⇒ p11~p13

要因分析

(7) 型枠のひび割れの要因

Q: 型枠のひび割れの損傷傾向と要因について、どのように考えられているか。追加で調査、分析が必要。

<キーワード: 曲線部の型枠のひび割れが多い理由、型枠のひび割れの発生箇所と傾向、躯体コンクリートと型枠の剛性の違い>

A: 損傷の傾向、要因分析を実施する。 ⇒ p7~p15

(8) 橋脚上面ひび割れの要因

Q: 橋脚上面ひび割れの損傷傾向と要因についてどのように考えているか。追加で調査、分析が必要。

<キーワード: ひび割れが山側に集中する理由、沓座の構造と発生する応力、型鋼(フレーム)の脱型時期、竣工時のひび割れ確認の有無、施工工程表、詳細設計のFEM解析結果>

A: 損傷の傾向、要因分析を実施する。 ⇒ p7~p15

要因追究(調査・解析)

(9) 詳細調査

Q: 今後の調査に対するご意見

<キーワード: 健全な型枠を破壊してまで付着力の確認をすべきではない、うきが生じている箇所の塩化物イオン量調査、早期補修対策>

A: ご意見を踏まえ、詳細調査を実施する。 ⇒ p7~p10, p16

(10) 地震による影響

Q: 地震の影響は考えられるか。

<キーワード: 地震に対する照査、配筋>

A: 詳細設計計算書及び構造図、配筋図を確認済み。

保全対策

(11) 目標性能と損傷、補修対策

Q: 型枠の目標性能を確保するためには補修が必要か。特に目地と塩害対策。

<キーワード: 塩害対策のための目地補修(エポキシ樹脂)、セパレーターの材質、橋脚の鉄筋=普通鋼材、磨耗対策>

A: ご意見を踏まえ、補修方針を検討する。 ⇒ p16

1-3. 具体的な質問内容と回答

- 第1回の質疑にて未回答のものに対する回答を以下に示す。
- 質問内容については、施工業者、型枠メーカーにヒアリングを実施。
※表左欄の“項目”は、p2で11項目に分類したタイトルに対応。

項目	【第1回委員会で未回答の質問内容】	ヒアリング結果		第1回委員会の質問に対する回答 及び事務局の対応方針	
		施工業者による回答	型枠メーカーによる回答		
(3) 型枠の基本性能、構造	Q: 型枠の基本的な性能と考え方、施工方法等についての確認が必要。 ・コンクリートのクリープ変形、自己収縮、乾燥収縮に対する追従性、界面の付着等の考え方。 ・曲線部へ適用時の設置、施工方法 等	●基本性能に関する調査（ヒアリング、資料整理）を実施。 ⇒「1-4. (1) 表面保護用型枠の基本性能及び適用に関する考え方」参照		●過去の実績より、目地部の損傷が塩害対策として問題となった事例はない。 ●塩害対策として目地の要求性能を整理。⇒「1-4. (1) 表面保護用型枠の基本性能及び適用に関する考え方」参照	
	Q: 端面にもエポキシ樹脂を塗布しているのでしょうか。面取りの部分のみでしょうか。また、目地の隙間が1.0mmとなっていますが、ひび割れ幅として考えると1.0mmは大きな値だと考えられます。	・端面にエポキシ樹脂は塗布せず、ドライな状態での組立接合となっている。 ・組立上の目地はほとんど隙間がない。 ・打設時のトロ漏れ等も少しだけであった。	・これまで目地部から腐食因子等が浸入して構造物を劣化させた例は報告されておられません。		●適用部位（曲線部、直線部）によって設計、施工方法の違いはない。 ●過去に PC 構造に用いられた事例では、目地処理にエポキシ樹脂を用いている。
(4) 型枠の実績調査	Q: PC 構造に適用した場合も今回と同様のエポキシ樹脂によって目地処理を施すのでしょうか。	・PC 構造のどの部位に型枠を使用するか、周辺環境などによる判断が必要。 ・ヤング係数・線膨張係数の差を適切に設計に反映する必要があり、その結果として目地が必要であれば目地を設ける。目地部は追従性のある部材が好ましい。	・エポキシ樹脂を使用して差し支えないと思います。	●旭高架橋橋脚と類似する条件の橋梁や損傷が報告されている構造物について実績調査を実施。 ⇒「1-4. (2) 使用実績調査結果」参照	
	Q: 死荷重反力の影響、弾性収縮等により躯体コンクリートは多少なりとも変形しますが、それに対して型枠はほとんど変形しない。いずれ、はがれるようにも考えられますが、本来の性能として長期的に問題ないのでしょうか。（過去の実績等）	・実績判断はしかねる。	・躯体の大きさと比較して断面的には非常に小さく、また弾性変形して追随しますので、長期的にも問題ないと思います。北陸道や JR 中央線の桁（10年以上）等使用しておりますが、問題はありません。		●施工性の問題が残るが、タイル貼りも有効だという意見もある。
	Q: 本州四国連絡橋等での実績と経過状況はどのようになっているのでしょうか。	—	・特に問題はありません。		
	Q: 建築で使用するタイルのように、1枚1枚独立して貼付けを行ったほうがよいということはないでしょうか。	・この型枠の本来の使い方は、コンクリート本体の体積変化の影響を受けない、打設時残留応力の影響を受けない状態での使用である、対象とする構造によってはタイル貼りも有効である。	・施工の合理化を図る上では、困難かと思えます。		●施工業者へのヒアリング結果では、施工中に型枠、目地のひび割れは確認されていない。
(5) 施工方法、手順等	Q: 施工時に位置を合わせるために、強制的に固定、叩き込みのレベルではなく、多少なりとも力を加えている可能性はないのでしょうか。	・強制的に固定、叩き込みのレベルである。	—		
(7) 型枠のひび割れの要因	Q: コンクリート打設時に、曲線部（テーパ部）の型枠にズレ（コンクリートの側圧による型枠の広がり）、目地のひび割れ等が発生していなかったでしょうか。	・打設時には、特にひびわれ等は発生していない。	—		
(8) 橋脚上面ひび割れの要因	Q: 各施工段階において損傷、ひび割れの発生は見受けられなかったでしょうか。また、工程表を作成しておいたほうがよい。	・ひびわれ等は発生していない。	—		

1-4. ヒアリング調査及び情報収集整理

(1) 表面保護用型枠の基本性能及び適用に関する考え方（ヒアリング結果）

委員会のご意見：型枠の基本性能、構造について再確認が必要。

<キーワード：型枠の各部材（セパレーター、インサートアンカー）の役割と機能、塩害対策としての性能、目地の処理方法、乾燥収縮・自己収縮への対策、曲線部への適用>

施工業者、型枠メーカーの意見	
【型枠の躯体コンクリートへの付着性能】	<ul style="list-style-type: none"> ● 型枠の付着は型枠裏面の骨材による目粗しで確保。（1枚当たり約8kgの骨材：経験値）。 【型枠メーカー見解】 ● アンカーボルトはフェールセーフ機能【型枠メーカー見解】
【セパレータの機能】	<ul style="list-style-type: none"> ● コンクリート打設時に生じる側圧に対する型枠保持のためセパレータを設置。【施工業者見解】 ● 曲線部にセパレータを適用した事例もあるが、本橋脚では曲線かつテーパがついているラップ状ため、セパレータの配置が困難であったため、セパレータを設置していない。【型枠メーカー見解】
【施工時の型枠の固定方法】	<ul style="list-style-type: none"> ● 直線部型枠は型枠外側の型鋼（フレーム）とセパレーターによって固定。曲線部は型鋼（フレーム）によって外側から固定しているのみ。両曲線部の型鋼をPC鋼材にて連結固定。縦横両方、型鋼にて固定。【施工業者見解】 ● コンクリートの側圧も型鋼で支える。【施工業者見解】 ● 曲線部への適用事例はあるが、<u>曲線部と直線部にて設計、施工方法に違いはない。</u>【型枠メーカー見解】
【型枠の追従性】	<ul style="list-style-type: none"> ● 躯体コンクリートの弾性変形、自己収縮、乾燥収縮などの変形に対する<u>追従性、目地構造の考え方は特に定められていない。</u>【型枠メーカー見解】
【施工時に型枠に作用する外力】	<ul style="list-style-type: none"> ● 位置合わせや微調整のための叩き込みレベルであり、型枠を損傷させるほどの外力は与えていない。【施工業者見解】
【温度変化（線膨張係数）】	<ul style="list-style-type: none"> ● 躯体コンクリートと型枠の線膨張係数は約10%異なるが、<u>変形量の差は誤差の範囲</u>だと考えられる。（躯体コンクリートの線膨張係数にもバラツキがあるため、実際のコンクリートの誤差は必ずしも10%とは限らない。）【型枠メーカー見解】
【メンテナンス】	<ul style="list-style-type: none"> ● 20年間使用している構造物において<u>目地の補修が必要となる損傷が発生した事例はない。</u>【型枠メーカー見解】
【塩害対策】	<ul style="list-style-type: none"> ● 塩害に対する目地（エポキシ樹脂）の性能：これまでに磨耗対策として使用している実構造物において、目地の損傷により<u>塩害が発生した事例はない。</u>【型枠メーカー見解】

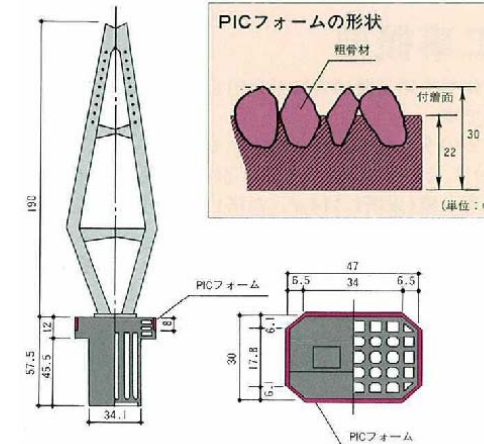
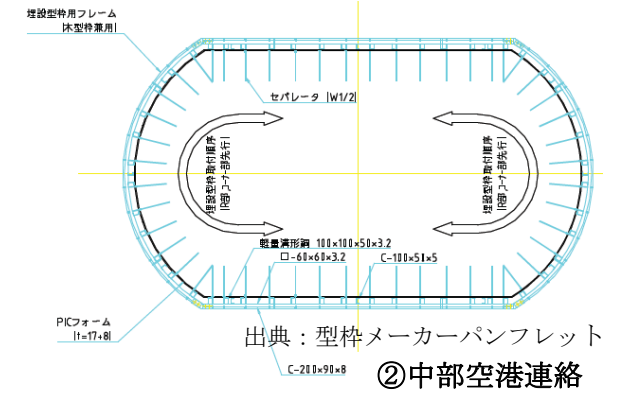
(2) 表面保護用型枠（旭高架橋と同製品）の使用実績調査結果

旭高架橋橋脚の損傷（橋脚上面ひび割れ、型枠の損傷）の要因追究、今後の補修対策を検討するため、以下の観点から、同じ条件に当てはまる構造物についてその概要を調査した。

実績の検索条件		目的
旭高架橋橋脚と類似する設計条件・周辺環境にある構造物		本橋梁と類似する構造物において、設計、施工方法の違いがないか確認し、橋脚の損傷要因の追究材料とする。
条件 1	海上（橋梁）、塩害環境	・塩害対策に対する目地の施工、処理方法の違いはないか確認
条件 2	磨耗対策かつ石等の衝撃を受ける環境	・玉石などの衝撃を受ける環境における損傷状況及び補修対策の確認
条件 3	曲線部への適用	・本橋脚と曲線部における設計、施工方法の違い、配慮事項等を確認。
条件 4	旭高架橋と同じように型枠で密閉され、コンクリートを打設した状態にある構造物	・密閉状態におけるコンクリートの自己収縮・乾燥収縮の影響の有無を確認。

◇ 現時点で確認できた実績のみを用いて整理した結果を以下に示す。なお、実績に関する情報は型枠メーカーの情報提供を元に作成したものである。

◇ 「親不知高架橋」については、NEXCO へのヒアリング結果。



出典：型枠メーカーパンフレット
③名港中央大橋

出典：型枠メーカーパンフレット
③名港中央大橋



出典：コンクリート工学 2008/10

④親不知 IC の立地状況



提供：NEXCO 東日本

④親不知

表_表面保護用型枠の実績表

主な使用目的	名称	主な使用構造物、部位	施工開始	現状 (補修の有無)	該当条件				報告されている損傷(情報元)
					条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	
磨耗対策	長崎国道 57 号高架橋下部工工事	橋脚防護工	H7.5	無		●	●		
	水無川橋災害復旧下部工工事	橋脚防護工	H8.12	無		●	●		
磨耗・塩害対策	甌 1・2 号橋脚	海中橋脚干満帯	S63.10	無	●	●			
塩害対策	明石海峡大橋下部工 2P, 3P	海中橋脚気中部	H3.8	無	●		●		
	名港中央大橋東（下部工）工事	海中橋脚干満帯	H4.5	有	●				型枠の剥離(型枠メーカーの情報)
	来島大橋 1A, 2P, 5P, 7A, 8P	海洋橋脚・気中部・アンカレッジ	H6.3	無	●			●	
	中部空港連絡 B (東・西) 橋脚	海洋橋脚	H14.7	無	●		●	●	
補修	磨耗対策	親不知高架橋	H10.5	無	●	●	●		型枠の欠損(Nexco からの情報)

■: 旭高架橋に類似する条件を有する橋梁、 ■: 旭高架橋と類似する損傷を有する橋梁

総括（ヒアリング調査）

◇ 曲線部への適用例：「長崎国道 57 号高架橋」、「①水無川橋」、「明石海峡大橋下部工」、「②中部空港連絡 B 橋脚」、「④親不知高架橋」

⇒ 橋脚規模は旭高架橋よりも大きい、いずれも曲線部の型枠はセパレーターで固定。(型枠メーカーヒアリングの結果)

◇ 玉石の影響を受ける橋脚に欠損、磨耗の損傷が確認されているが、曲線部に限定するわけではない。(④親不知高架橋：NEXCO 担当者より)



事務局撮影

⑤旭高架橋

(3) 施工方法・手順及び施工時期（ヒアリング結果）

施工業者へのヒアリングを実施。ヒアリングの結果を踏まえ、施工方法・手順、施工時期についてヒアリングの結果を以下に示す。

なお、損傷状況については、工事区に関係なく発生していることから、代表して北工事区（P9 橋脚～P14 橋脚間）を例に整理を行った。

施工業者の意見

【躯体コンクリート
打設・締固め】

- コンクリートの打設・締固めは適切であったと思う。【施工業者見解】
- **型枠は面タッチ。目地に特別な処理を施すことなく、コンクリートを打設**
⇒打設時のトロ漏れ等も少しだけあり。

【目地の施工】

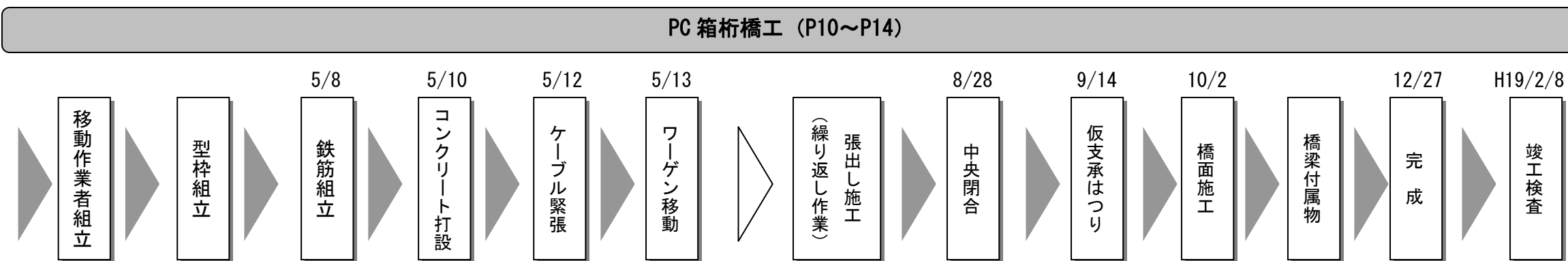
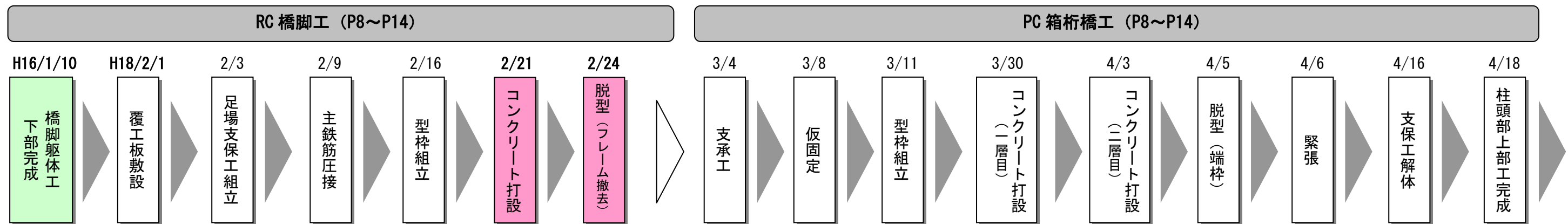
- 目地処理（面取部へのエポキシ樹脂コーティング）は、脱型（フレーム撤去）後に実施。
- 型枠面タッチ部は、樹脂等で接着処理されていない。

【仮固定及び本支承への
荷重移行】

- 仮支承から本支承へ荷重の移行は中央径間閉合後である。仮支承と本支承の荷重分担は不明。【施工業者見解】
- 仮支承のコンクリートを静的破碎材を用いてひび割れを入れた後、ブレーカーにて撤去。
- 仮支承から本支承への荷重の移行は、仮支承の破碎に伴って徐々に移行する。

【施工工程、時期】

<概略工程>



工事名	日産ハイパス旭高架上部(北工区)工事				
打設月日	平成18年2月21日				
試験月日	平成18年2月24日				
配合	40-3-20H	施工箇所	P9 橋脚部		
圧縮強度	No	質量 kg	荷重 KN	強度 N/mm ²	備 考
	1	3.67	283	36.0	AM
	2	3.67	288	36.7	標準
	3	3.66	285	36.3	236.3
	4	3.68	290	36.9	1PM
	5	3.69	288	36.7	標準
6	3.69	291	37.1	236.9	
立会者					



P9 支承完成時の状況（橋脚躯体には損傷なし）



P14 支承完成時の状況（橋脚躯体には損傷なし）

2/24 : 脱型後のコンクリート強度試験

2. 詳細調査の結果について

2-1. 詳細調査結果の総括

【詳細調査（P9 橋脚）の概要】

詳細調査は、損傷が最も大きいP9 橋脚を対象とし、損傷要因追及のための基礎資料を得ることを目的に、①型枠内側の損傷状況調査、②橋脚の出来形寸法測定、③躯体コンクリートの塩分含有量試験を実施した。

【調査結果の概要】

詳細調査内容	調査結果の概要
型枠内側の損傷状況調査	<ul style="list-style-type: none">● 橋脚側面のひび割れ発生状況 ⇒ 橋脚側面にもひび割れが発生しており、橋脚上面のひび割れと連続していることが確認された。● 型枠裏面の付着状況 ⇒ 側面に発生したひび割れの上部では型枠と躯体が付着していたが、下部では剥離していることが確認された。
橋脚の出来形寸法測定	<ul style="list-style-type: none">● 橋脚上面の橋軸直角方向寸法 ⇒ 設計寸法と比べて 22mm 小さい。● 橋脚上面の橋軸方向寸法 ⇒ 設計寸法と比べて 5mm 大きい。
躯体コンクリートの塩分含有量試験	<ul style="list-style-type: none">● コア採取部（P9 橋脚上面付近）の塩分含有量結果 ⇒ 躯体表面から 20mm までの範囲の塩化物イオン濃度が高い。● 塩化物浸透予測結果 ⇒ 鉄筋純かぶり位置における塩化物イオン量発錆限界（1.2kg/m³）に達するまで 65 年を要する。

2-2. 型枠内側の躯体コンクリートの損傷状況

- 橋脚側面のひびわれ発生状況 ⇒ 橋脚上面のひびわれとの貫通が認められた。
- 型枠裏面の付着状況 ⇒ 橋脚側面のひびわれの上部では型枠と躯体コンクリートが密着していたが、ひびわれの下部では剥離が生じ、7~10mm程度の隙間が認められた。

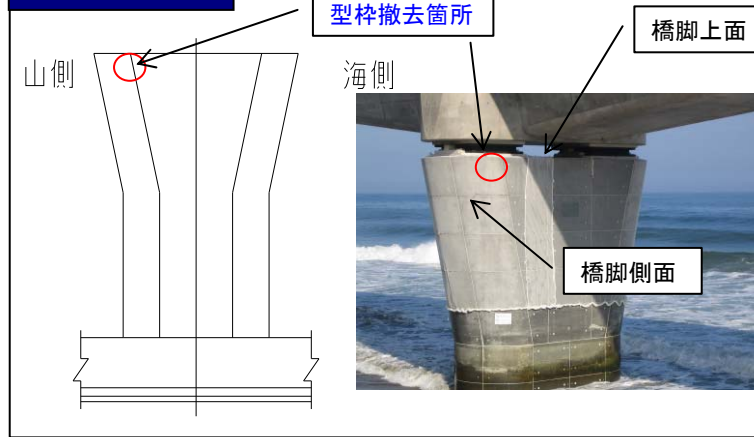
目的

P9橋脚上面付近（山側）の浮き型枠を撤去し、躯体露出面の状況を観察し、橋脚上面ひび割れの貫通状況、ジャンカ等の有無、型枠との付着状況を確認し、損傷要因を追及するための基礎資料を得ることを目的とする。

調査概要

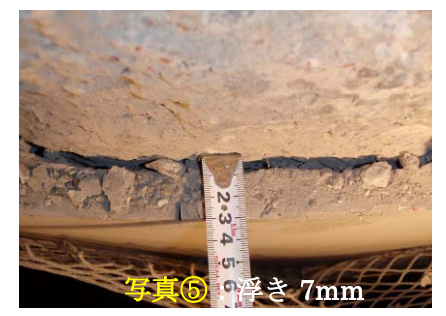
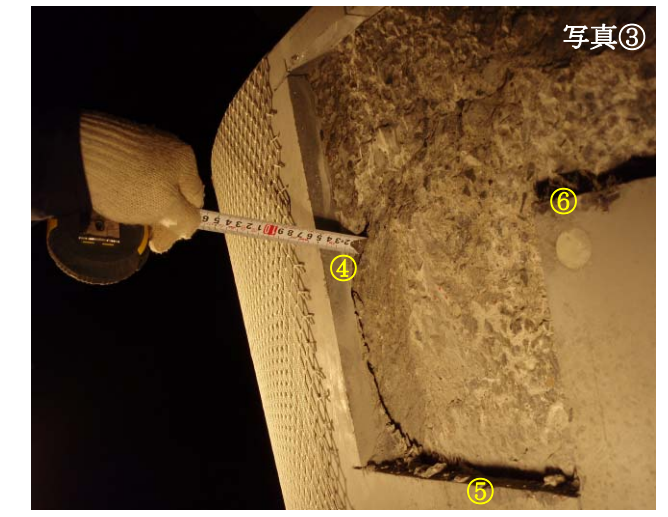
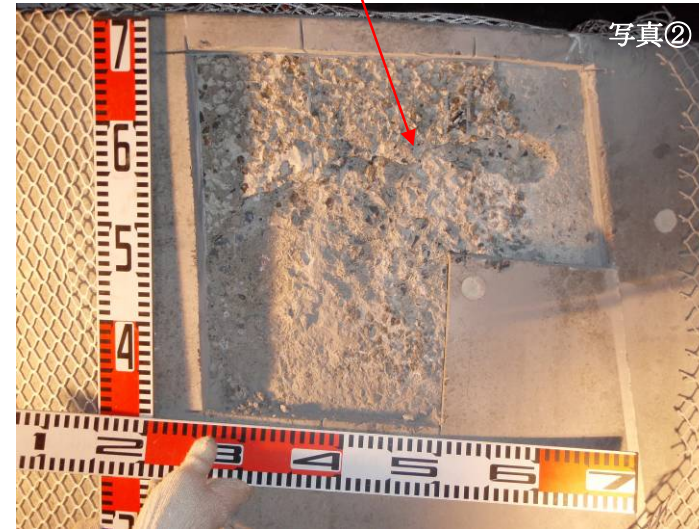
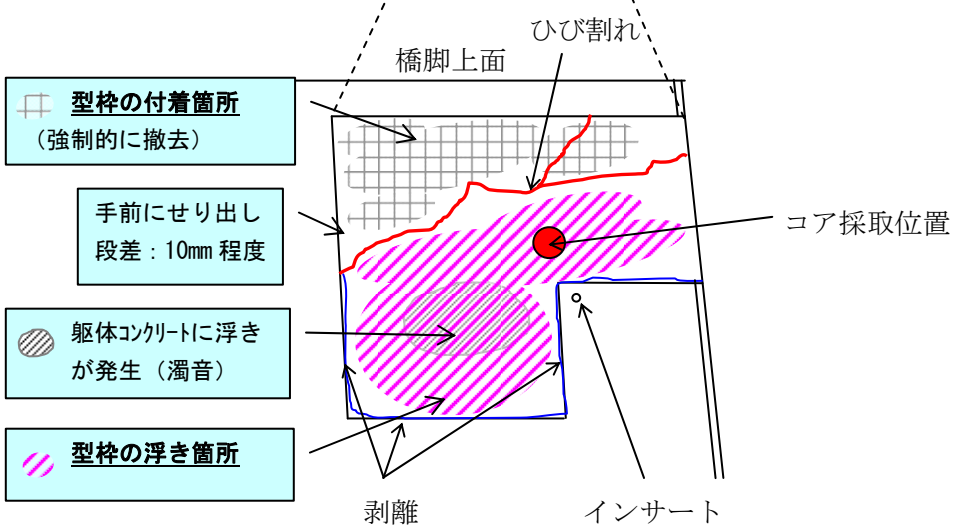
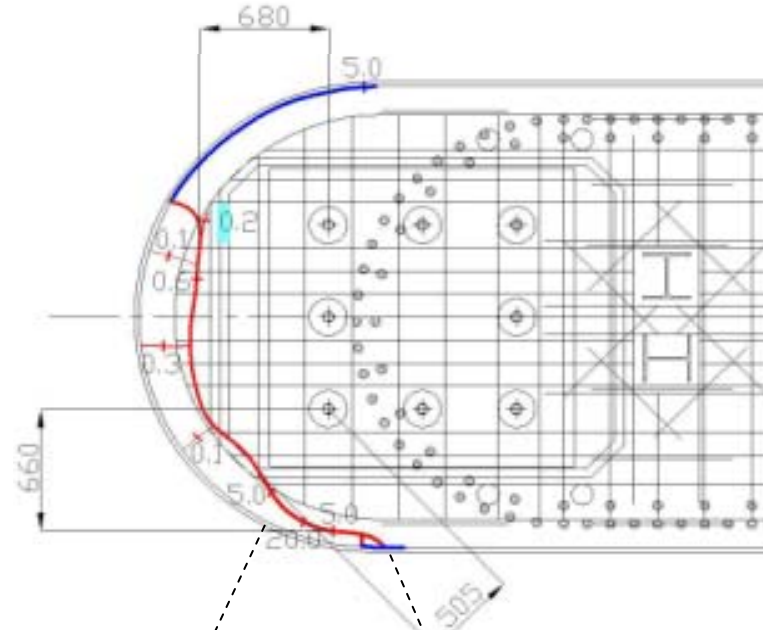
- 調査日時 : 2008年12月19日
- 対象橋脚 : P9橋脚
- 型枠撤去位置 : 曲線部、橋脚上面付近（右図参照）
- 調査概要 : 型枠撤去（電動カッター、パール）→外観変状調査
塩化物イオン量調査（コア採取：1箇所）

型枠撤去位置



調査結果

- 橋脚上面のひび割れの側面への貫通が認められた。
- 撤去箇所のひびわれを境にして、上部では型枠と躯体コンクリートが密着していたが、下部では剥離が生じ7~10mm程度の隙間が認められた。
- 躯体露出面にはジャンカ等のコンクリート打設不良は認められなかった。



2-3. 橋脚の出来形寸法

- 橋軸直角方向寸法 ⇒ 橋脚上面の橋軸直角方向幅が設計寸法及び出来形寸法よりも 22mm 縮小しており、橋脚の下部にいくにしたがって縮小量は減少している。
- 橋軸方向寸法 ⇒ 橋脚上面の中心部における橋軸方向幅は、設計寸法より 5mm 大きく（竣工時出来形寸法とは同じ）、その下部では 5~15mm 大きくなり、太鼓状に膨らんだ形になっている。
- 平面（橋脚断面）寸法 ⇒ 曲線部において型枠の剥離が生じているため、直線部と曲線部の境界位置での橋軸方向幅は、当初設計寸法より海側で 79mm、山側で 28mm 大きくなっており、橋脚の下部にいくにしたがって減少傾向にある。

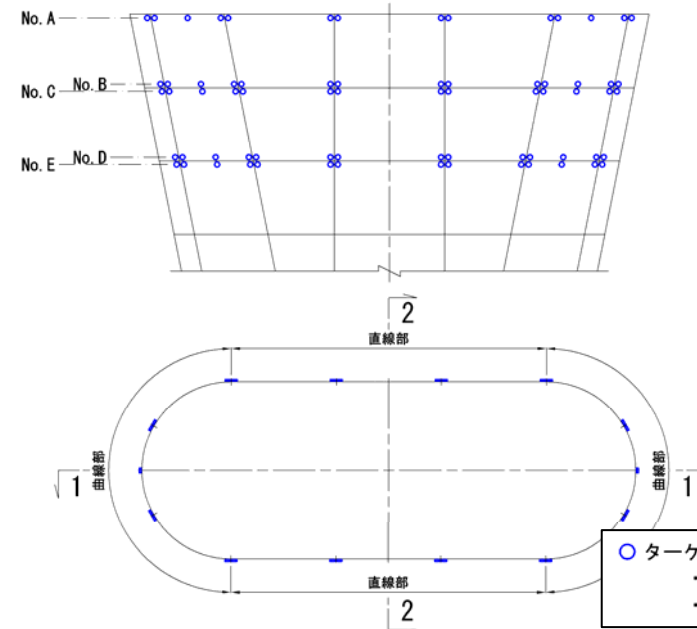
目的

P9 橋脚上部テーパ部分付近において、構造物外形寸法を精度よく計測し、当初の設計寸法と現状の寸法を比較することで反り戻りによる変形の有無や施工時の締め付けによる変形の有無等を推定し、損傷要因を推定するための資料を得ることを目的とする。

調査概要

- 調査日時：2009年1月11日 20:30~2:00
- 対象橋脚：P9 橋脚
- 測定範囲：橋脚上面から3断面型枠の上部まで
 - ・乾燥収縮・自己収縮による影響が大きいと思われる橋脚上部付近の形状把握のため上段~3段目型枠の範囲とした。
 - ・山側と海側の形状の特徴と全体的な変形を把握するために外周を計測した。
- 測定方法：デジタル写真撮影（測定誤差：0.3mm 以下）

計測用ターゲット配置図



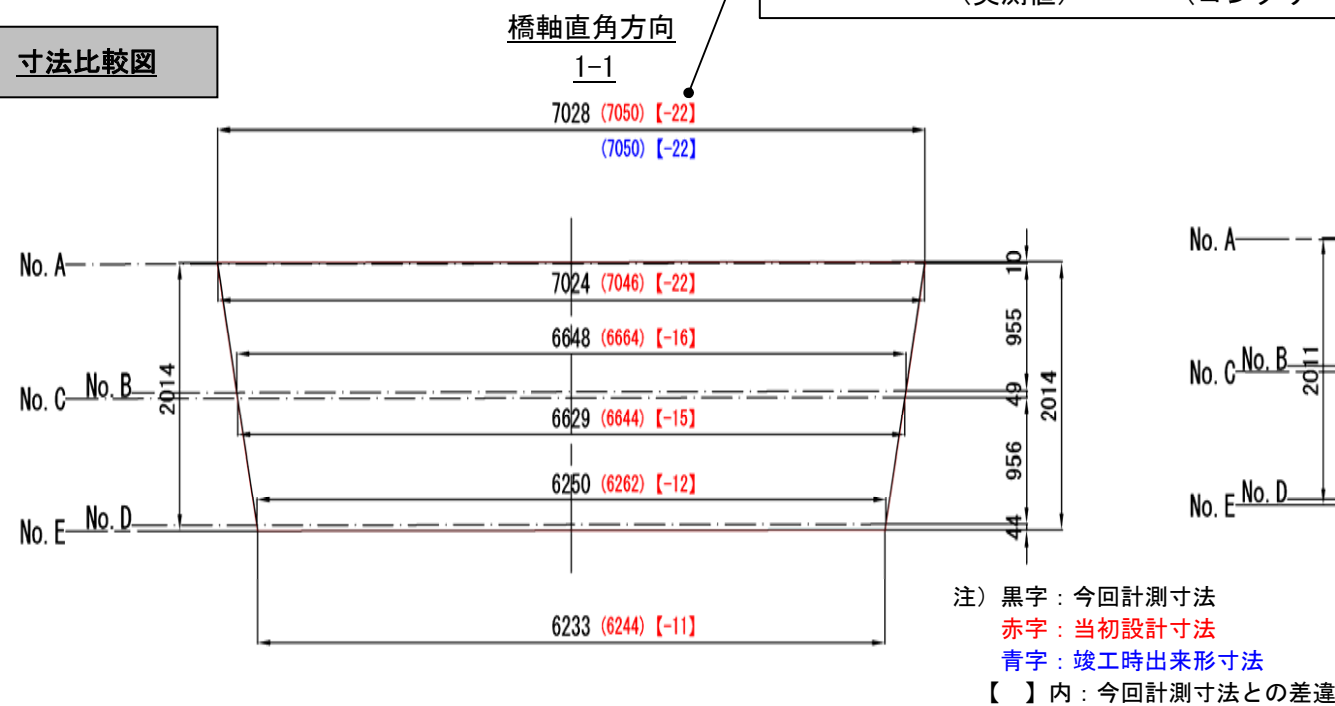
- ターゲット設置箇所数
- ・直線部：型枠1枚につき 4箇所（上2箇所、下2箇所）
- ・曲線部：型枠1枚につき 6箇所（上3箇所、下3箇所）



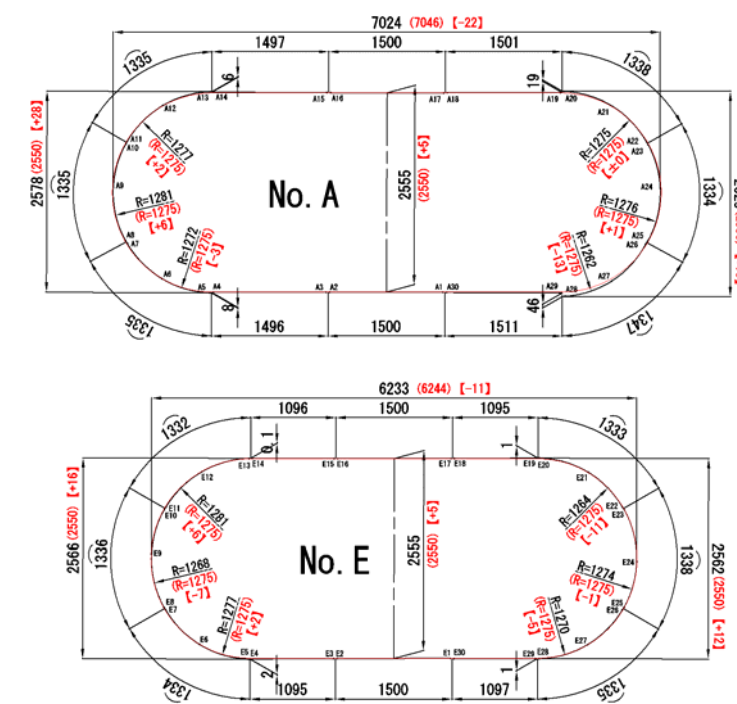
使用カメラ(キャノン EOS 5D)

計測結果

寸法比較図



平面（橋脚断面）寸法



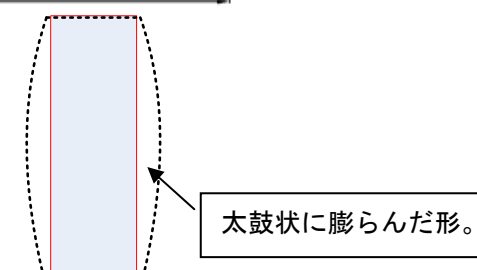
イメージ図

計測寸法と設計寸法との比較

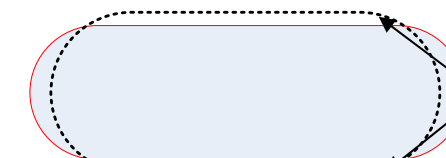
※実際の変化率とは異なります。



橋脚の下部にいくにしたがって縮小量は減少



太鼓状に膨らんだ形。



直線部と曲線部の境界位置での橋軸方向幅が大きくなっている。

2-4. 躯体コンクリートの塩分含有量

- コア採取部分（P9橋脚上部付近）については、表面から20mmまでの範囲の塩分濃度が高くなっている。
- 塩化物浸透予測の結果、鉄筋純かぶり位置において塩化物イオン量が発錆限界（1.2kg/m³）達するまで65年を要する。

目的

波の飛来の影響で浮き型枠の内部に塩分が付着し、躯体内に塩化物が浸透することで塩害の影響が懸念されることから、健全性の確認のため塩分含有量試験を行った。

試験概要

■ 浮き型枠撤去調査で躯体露出面においてコア（φ50mm）を採取し、10mm単位のスライスで深さ70mmまでの範囲における塩化物イオン量の試験を行った。

【試験方法】

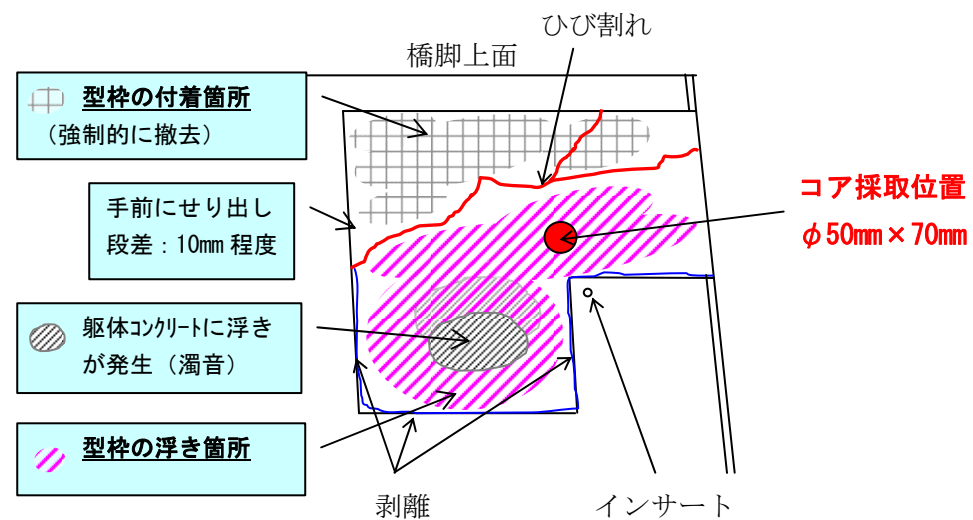
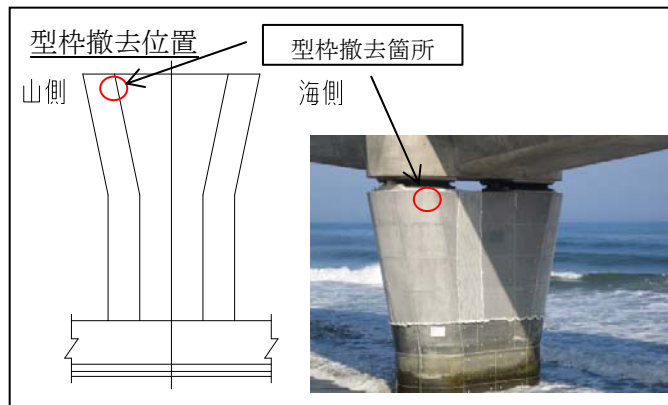
1. 見掛け密度

JIS A1107(2002)「コンクリートからのコア採取方法及び圧縮強度試験方法」による。質量は気乾状態で測定し、体積は水中法により測定し、算出した。

2. 塩化物量試験

JIS A1154(2003)「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」により、電位差滴定法で分析した。試料は供試体の表面から70mmまでの所定位置をスライスし、乾燥・粉碎した。

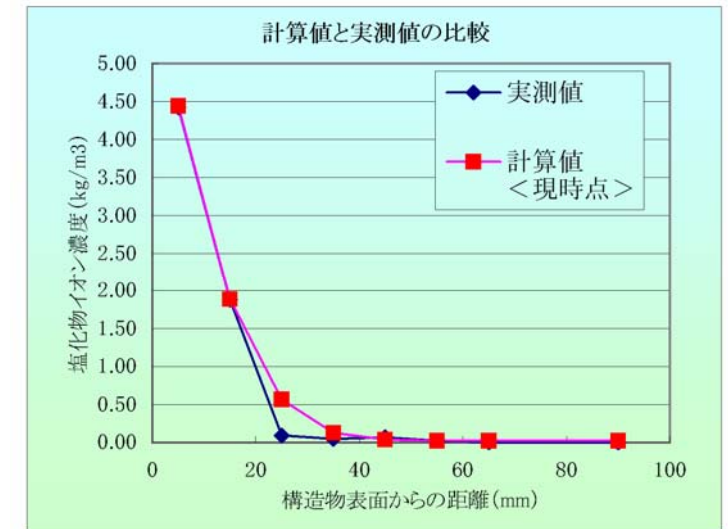
コア採取位置



試験結果

【試験結果】

試料採取位置 (mm)	見掛け密度 (kg/m ³)	全塩分量	
		Cl ⁻ (%)	Cl ⁻ (kg/m ³)
0-10	2290	0.193	4.420
10-20	2290	0.082	1.878
20-30	2290	0.004	0.092
30-40	2290	0.002	0.046
40-50	2290	0.003	0.069
50-60	2290	0.001	0.023
60-70	2290	0.000	0.000



※ (仮定) 竣工から本調査までの期間を塩分の浸透期間とした場合、約3年となる。
(竣工 2006年 → 調査 2009年)

【塩化物浸透予測：フィックの拡散方程式】

$$C_d = \gamma_{cl} \times C_0 \left(1 - \text{erf} \left(0.1 \times c / \sqrt{2Dd \times t} \right) \right)$$

ここに、

C_d : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値

C_0 : コンクリート表面における想定塩化物イオン濃度 (kg/m³)

c : 設計かぶり

t : 塩化物イオンの侵入に対する耐用年数 (年)

γ_{cl} : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d のばらつきを考慮した安全係数

Dd : 塩化物イオンに対する設計拡散係数 (cm²/年)

なお、 $\text{erf}(s)$ は、誤差関数であり、 $\text{erf}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta$ で表される。

調査時点の深さごとの塩化物含有量と竣工時からの経過年数から現時点の計算値が近似するようにフィッティングし設計拡散係数 Dd を求め、鉄筋かぶり位置での塩化物浸透の将来予測を行う。

【照査結果】

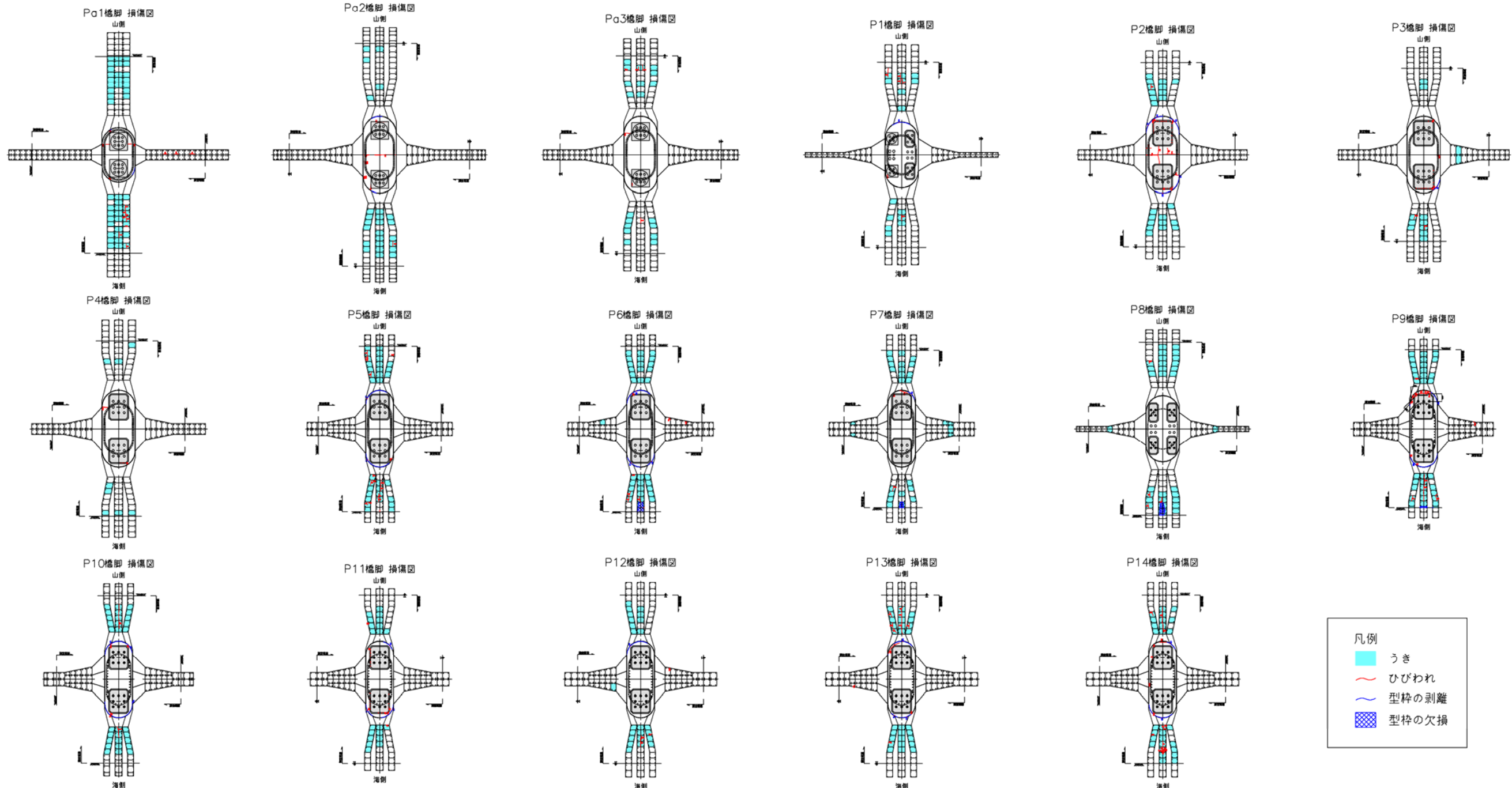
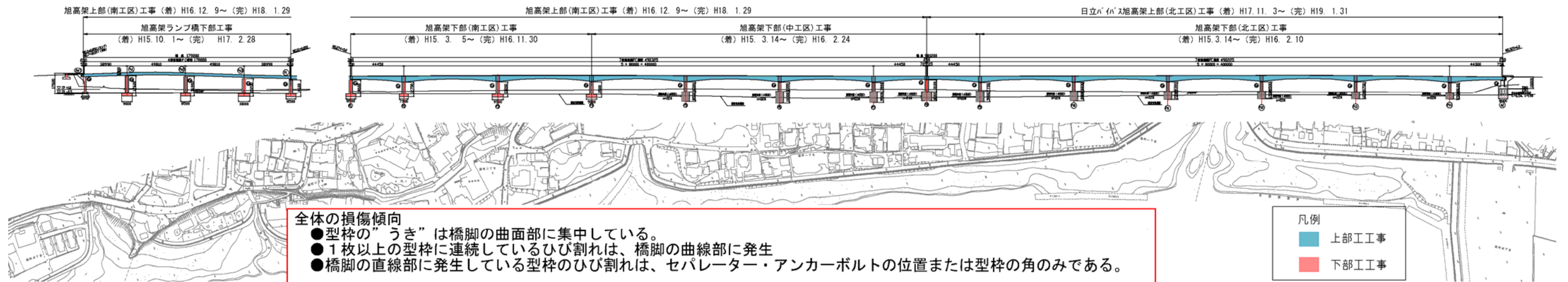
鉄筋位置（純かぶり90mm）で塩化物イオン量が発錆限界（1.2kg/m³）となるまでの耐用年数：

$t = 65$ 年（西暦2074年）

3. 原因の検討について

3-1. 旭高架橋橋脚の損傷状況

側面図



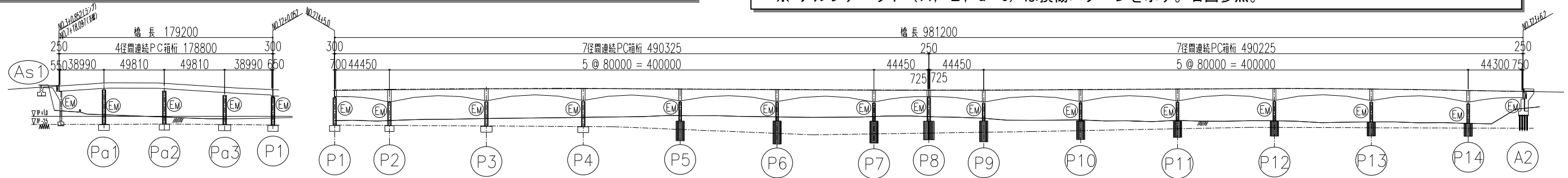
3-2. 橋脚の損傷状況（総括）

(1) 橋脚別にみた損傷パターン

- 全ての橋脚において、“うき”が発生している。
- P9橋脚の損傷状況が最も激しく、P4橋脚の損傷が最も軽微である。

(下表の補足説明)

- ※●：左欄に示す損傷が発生していることを表す。○：●印のうち、更に損傷パターンごとに分類したもの。
- ※ ：特徴的な損傷、 ：損傷が軽微な橋脚。
- ※ アルファベット (A, B, a~e) は損傷パターンを示す。右図参照。

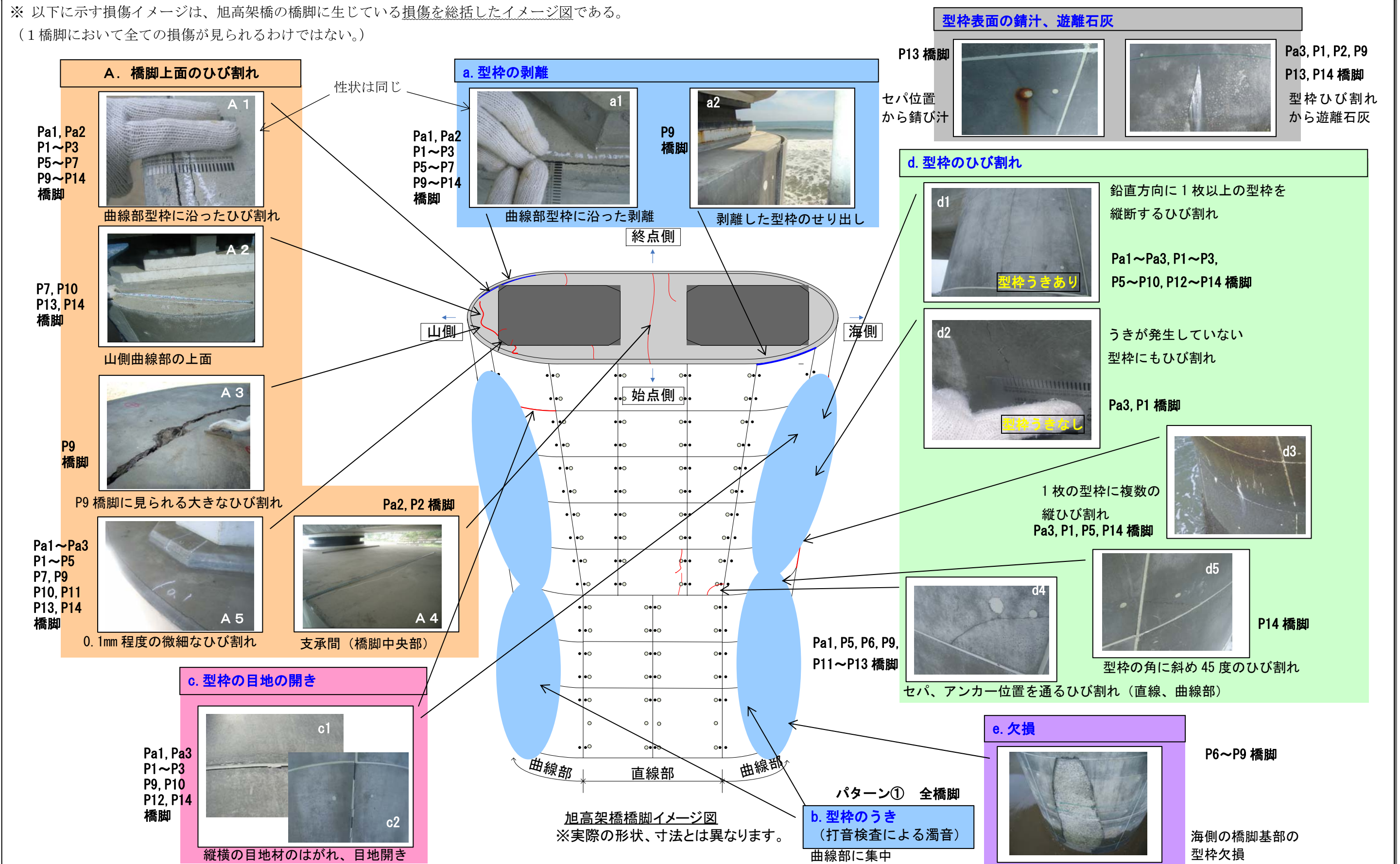


種別	ランプ				本線														
	橋脚名	Pa1	Pa2	Pa3	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	
損傷概要	A. 橋脚上面のひび割れ	ひび割れ(躯体)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
		A1	○	○		○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○	
		A2										○						○	○
		A3																	
		A4		○															
	A5	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○	○	○		○	○	
	B. 表面保護用型枠の損傷	a. 剥離	●	●		●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		a1	○	○		○	○	○		○	○	○		○	○	○	○	○	○
		a2												○					
		b. うき	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		c. 目地の開き	●		●	●	●	●						●	●		●		●
		c1	○		○	○	○	○									○		○
		c2												○	○		○		
		d. ひび割れ	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
		d1	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		d2			○	○													
		d3			○	○					○								○
		d4	○								○	○		○		○	○	○	
		d5																	○
		e. 欠損										●	●	●	●				
施工		上部工事	旭高架上部(南工区)工事 (着) H16. 12. 9 ~ (完) H18. 1. 29											日立パイン旭高架上部(北工区)工事 (着) H17. 11. 3 ~ (完) H19. 1. 31					
	下部工事	旭高架ランプ橋下部工事 (着) H15. 10. 1 ~ (完) H17. 2. 28			旭高架下部(南工区)工事 (着) H15. 3. 5 ~ (完) H16. 11. 30				旭高架下部(中工区)工事 (着) H15. 3. 14 ~ (完) H16. 2. 24				旭高架下部(北工区)工事 (着) H15. 3. 14 ~ (完) H16. 2. 10						
設計	詳細設計業務 (着) H12 ~ (完) H13. 3 ⇒ 修正設計[H14道示による] (着) H14. 8. 8 ~ (完) H15. 3. 25																		

(2) 橋脚の損傷パターン (総括)

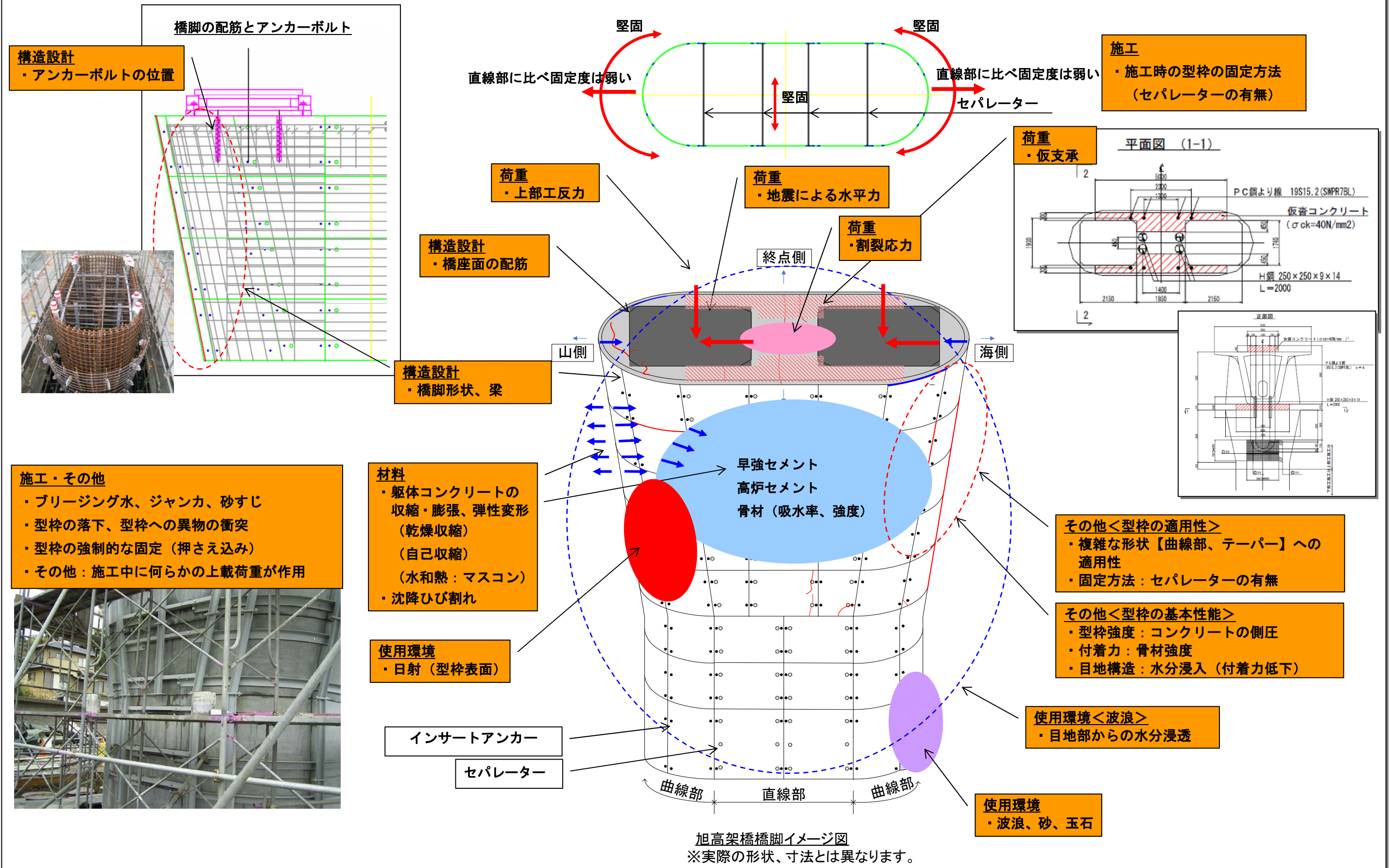
- 損傷は「A. 橋脚上面のひび割れ」と「B. 表面保護用型枠の損傷」に大別される。
- 「B. 表面保護用型枠の損傷」は a. 剥離、b. うき、c. 目地の開き、d. ひび割れ、e. 欠損に分類される。

※ 以下に示す損傷イメージは、旭高架橋の橋脚に生じている損傷を総括したイメージ図である。
 (1 橋脚において全ての損傷が見られるわけではない。)



3-3. 想定される橋脚の損傷要因

●想定される要因のキーワードを以下に示す。



3-4. 橋脚の損傷要因の整理

(1) 橋脚の損傷要因の抽出及び一次評価

- ◇ 橋脚上面のひび割れとして考えられる要因を抽出するため、「ひび割れ調査、補修・補強指針/JCI」を参考に要因を列挙。
- ◇ さらに、第1回委員会での審議内容、ヒアリング結果等を踏まえ、橋脚上面ひび割れの要因、表面保護用型枠の損傷要因を追記。

表_想定される橋脚の損傷要因一覧

大分類	中分類	小分類	要 因	ひび割れの特徴	可能性	理 由	備 考	
材 料	使用材料	セメント	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ひび割れ	なし	該当するひび割れ性状なし	H18.1セメント試験成績表より凝結始発1h-55min (45min以上) 凝結終結2h-57min (10h以下)	
			セメントの水和熱	マスコンにおいて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				
			セメントの異常膨張	局所的な放射線状のひび割れ	なし	該当するひび割れ性状なし		
		骨 材	骨材に含まれている泥分	網目状のひび割れ	なし	該当するひび割れ性状なし	細骨材の粘土塊量0.5% (1.0%以下) 品質規格値内	
			低品質な骨材	ポップアウト状のひび割れ	なし	該当するひび割れ性状なし	H18.1骨材試験成績表よりアルカリシリカ反応抑制対策方法Aが無害	
			反応性骨材 (アルカリ骨材反応)	亀甲状のひび割れ	なし	該当するひび割れ性状なし	乾燥収縮に影響する可能性あり	
	コンクリート		吸水率	(2次的要因)				
			コンクリート中の塩化物	錆汁を伴ったひび割れの発生	なし			
			コンクリートの沈下・ブリーディング	鉄筋等に沿ったひび割れ、セバの下側				
			コンクリートの乾燥収縮	ひび割れの発生状況は多様				
施 工	コンクリート	練混ぜ	混和材料の不均一な分散	部分的に網目状	なし	該当するひび割れ性状なし		
		運 搬	長時間の練混ぜ	全面網目状	なし	該当するひび割れ性状なし		
		打込み	ポンプ圧送時の配合の変更	規則性のある貫通ひび割れ				
		締固め	不適当な打込み順序	規則性のない表層ひび割れ				
			急速な打込み	規則性のない貫通ひび割れ				
		養生	不十分な締固め	規則性のない貫通ひび割れ				
		打継ぎ	硬化前の振動や載荷	規則性のない貫通ひび割れ				
	鋼材	鋼材配置	初期養生中の急激な乾燥	初期養生中の急激な乾燥	細かいひび割れ、スケーリング	なし	該当するひび割れ性状なし	
			初期凍害	初期凍害	細かいひび割れ、スケーリング	なし	該当するひび割れ性状なし	
		鋼材の乱れ	鋼材の乱れ	規則性のない貫通ひび割れ				
	型 枠	型 枠	かぶり (厚さ) の不足	かぶり (厚さ) の不足	規則性のある表層ひび割れ			
			型枠のはらみ	型枠のはらみ	規則性のない表層ひび割れ			
		支保工	漏水 (型枠からの、路盤への)	型枠の早期除去	規則性のある表層ひび割れ			
	その他	コールドジョイント	支保工の沈下	支保工の沈下	規則性のある表層ひび割れ			
不適当な打継ぎ処理			打ち継ぎ部に沿った貫通ひび割れ					
P Cグラウト		グラウト充填不良	グラウト充填不良	PC鋼材の腐食にともなうひび割れ	なし	最終的にPC鋼材は除去。	該当しない	
		荷重・外力	強制的な型枠の組立 (反り返り)	型枠の変形				
使用 環境	物理的	温度・湿度	環境温度・湿度の変化	環境温度・湿度の変化	なし	建築物の内外温度差、煙突等		
			部材両面の温度・湿度の差	部材両面の温度・湿度の差	なし	該当する環境条件、ひび割れ性状なし		
		凍結融解の繰り返し	凍結融解の繰り返し	細かいひび割れ、スケーリング	なし	火災はない		
	科学的	化学作用	火災	火災	なし	火災はない		
			表面加熱	表面加熱	なし	火災はない		
			衝撃	玉石、砂、波浪	すりへり、ひび割れ、破損			
構 造 ・ 外 力	荷重	長期的な荷重	酸・塩類の化学作用	酸・塩類の化学作用	なし	該当する環境条件にない		
			中性化による内部鋼材のさび	中性化による内部鋼材のさび	なし	該当するひび割れ性状なし		
	短期的な荷重	塩化物の浸透による内部鋼材のさび	塩化物の浸透による内部鋼材のさび	鋼材に沿ったひび割れ	なし	該当するひび割れ性状なし	型枠 (セバ部の錆汁) が該当	
		設計荷重以内の長期的な荷重	設計荷重以内の長期的な荷重	錆汁を伴ったひび割れの発生				
	構造設計	設計荷重を越える長期的な荷重	設計荷重を越える長期的な荷重	部材、部位によって多様なひび割れ				
		設計荷重を越える短期的な荷重	設計荷重を越える短期的な荷重	亀甲状のひび割れ	なし	主に床版に発生するひび割れのため該当なし		
そ の 他	適用性	線膨張係数	断面・鋼材量不足	断面・鋼材量不足	なし		耐震基準を満足	
			アンカーボルトの位置、支承縁端距離	アンカーボルトの位置、支承縁端距離	なし		設計基準を満足	
	支持条件	凍上	構造物の不同沈下	構造物の不同沈下	主にラーメン等、斜め45° 方向にひび割れ	なし	該当するひび割れ性状なし	
			凍上	凍上	地盤が凍結・膨張 (冷蔵倉庫等)	なし	該当する環境条件にない	
そ の 他	型枠 基本性能	物理定数	複雑な形状への型枠の適用性	複雑な形状への型枠の適用性	(2次的要因)		ひび割れ以外に型枠のうき、剥離等の要因	
			線膨張係数	線膨張係数				
	コンクリート	アンカーボルト	剛性 (弾性変形性能)	剛性 (弾性変形性能)				
			型枠のインサートアンカー不足	型枠のインサートアンカー不足				
	物理的	水分の浸透圧	施工に起因する2次的要因	施工に起因する2次的要因				
			型枠と躯体コンクリートの付着疲労	型枠と躯体コンクリートの付着疲労				
その他	基本性能	目地部から水分の浸入、浸透圧の作用	目地部から水分の浸入、浸透圧の作用					
		目粗しの不足	目粗しの不足					

＜検討の流れ＞

①一般的に想定されるひび割れ発生原因
出典:「ひび割れ調査、補修・補強指針/JCI」

②要因の追加

- ◇委員会審議結果、ご意見
- ◇施工業者、メーカーヒアリング
- ◇損傷調査 (点検結果)
- ◇損傷パターンの分類結果
- ◇周辺、使用環境

4. 保全対策の検討について

4-1. 補修・補強対策の基本方針

表_損傷箇所に対する補修内容の考え方(案)

損傷状況		要求性能	現状放置による躯体への影響	補修内容の考え方
損傷部位	損傷状況			
橋脚上面	ひび割れ	◇耐震性能及び耐荷性能の確保 【新設時】 ・L1、L2地震動に対する耐震性能の確保 ・死活荷重に対する耐荷性能の確保	<ul style="list-style-type: none"> 耐震性能、耐荷性能に対して現状では問題ない。 塩害の進行 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食による性能低下(ひび割れ箇所からの塩分の浸透) 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れからの塩分浸透を抑制するための補修
		◇塩害による鉄筋腐食の防止 【新設時】 ・鉄筋かぶり(90mm以上)確保+樹脂塗装鉄筋		
表面保護用 型枠	剥離	◇塩害による鉄筋腐食の防止 【新設時】 ・鉄筋かぶり(90mm以上)確保+埋設型枠 ◇耐摩耗性の確保 【新設時】 ・鉄筋かぶり+埋設型枠=100mm以上確保	<ul style="list-style-type: none"> 塩害の進行 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食による性能低下 型枠の脱落 ⇒ 第三者被害 	<ul style="list-style-type: none"> 剥離箇所の密着と塩分浸透を抑制するための補修 型枠と躯体との一体性を高めるための補修
	ひび割れ		<ul style="list-style-type: none"> ひび割れの進行 ⇒ 貫通による塩分の浸透 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食による性能低下 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れからの塩分浸透を抑制するための補修
	目地の開き		<ul style="list-style-type: none"> 目地開口の進行 ⇒ 開口部からの塩分の浸透 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食による性能低下 	<ul style="list-style-type: none"> 目地部からの塩分浸透を抑制するための補修
	うき		<ul style="list-style-type: none"> 塩害の進行 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食による性能低下 躯体の剥離、脱落 ⇒ 第三者被害 	<ul style="list-style-type: none"> うき箇所の密着と塩分浸透を抑制するための補修 型枠と躯体との一体性を高めるための補修
	欠損		<ul style="list-style-type: none"> 欠損範囲の拡大 塩害の進行 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食による性能低下 	<ul style="list-style-type: none"> 欠損部の断面を回復するための補修 波浪や玉石による耐摩耗性を確保するための補修
	ひび割れ部の遊離石灰流出		<ul style="list-style-type: none"> ひび割れの進行 ⇒ 貫通による塩分の浸透 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食による性能低下 	<ul style="list-style-type: none"> ひび割れからの塩分浸透を抑制するための補修
セパレーター	錆汁発生	◇型枠固定の補助	<ul style="list-style-type: none"> 塩害の進行 ⇒ セパレーターの腐食の進行 ⇒ 躯体内の鉄筋腐食への影響 	<ul style="list-style-type: none"> 腐食部位の防食性確保のための補修