

論文・報告

PCT 桁橋床版横締め鋼材の調査と間詰床版の耐荷力評価および下面補強工事の報告

Investigation of PC T-girder Bridge Deck Cross-tightening Steel Materials, Load Bearing Capacity Evaluation of Interfilled Deck slabs, and Report on Underside Reinforcement Work

春日井 久 *1
KASUGAI Hisashi

北野 勇一 *2
KITANO Yuichi

大久保 孝 *3
OKUBO Takashi

加藤 久明 *4
KATO Hisaaki

細木 智実 *5
HOSOKI Satomi

村瀬 登哉 *6
MURASE Toya

本稿は、竣工から 60 年近く経過した高速道路に架かる PC ポストテンション方式 4 径間連続 T 桁橋を対象に間詰床版の横締め PC 鋼材破断と PC グラウト充填不足箇所を効率的に全数削孔調査する方法を提案するとともに、その調査結果より間詰床版の耐荷力評価を行った。また、これらの調査結果より、PC 鋼材の破断箇所は緊急対応として支保工を設置し、グラウト充填不足箇所は PC グラウト再注入を実施し、間詰床版の残存耐力に応じて床版下面補強を実施した報告である。

キーワード：PCT 桁、間詰床版、横締め PC 鋼材、床版下面補強、PC グラウト再注入

1. はじめに

PCT 桁橋は、T 形の PC 桁を架設し、間詰床版や横桁の場所打ちコンクリートの施工を行った後、横方向のプレストレス導入により PC 桁を一体化させることで格子構造として挙動する多主桁橋である。本形式の PC 橋において、橋面防水工がなく PC 桁と間詰床版との目地の一体性が不十分な場合、橋面上の水が目地へ浸入することで床版の横締め PC 鋼材を腐食させることがある。特に、1970 年代以前に建設された PCT 桁橋では、PC 桁からの連結鉄筋が配置されておらず、抜落ち防止に効果的なテーパが施されていない場合もあり、横締め PC 鋼

材が腐食破断することで間詰床版の陥没に至った事例も報告されている¹⁾。今後、社会インフラを長期にわたり使い続けるためには、このような PCT 桁橋間詰床版の健全度を把握し、適切な予防保全対策を講じるかが課題である。

そこで、建設後約 60 年が経過した高速道路に架かる PCT 桁橋を対象に、間詰床版の横締め PC 鋼材破断と PC グラウト充填不足箇所を効率的に全数削孔調査する方法を提案するとともに、その調査結果より間詰床版の耐荷力評価と間詰床版の残存耐力に応じた補強方法について検討を行った。これらの調査検討結果の報告と工事施工報告である。

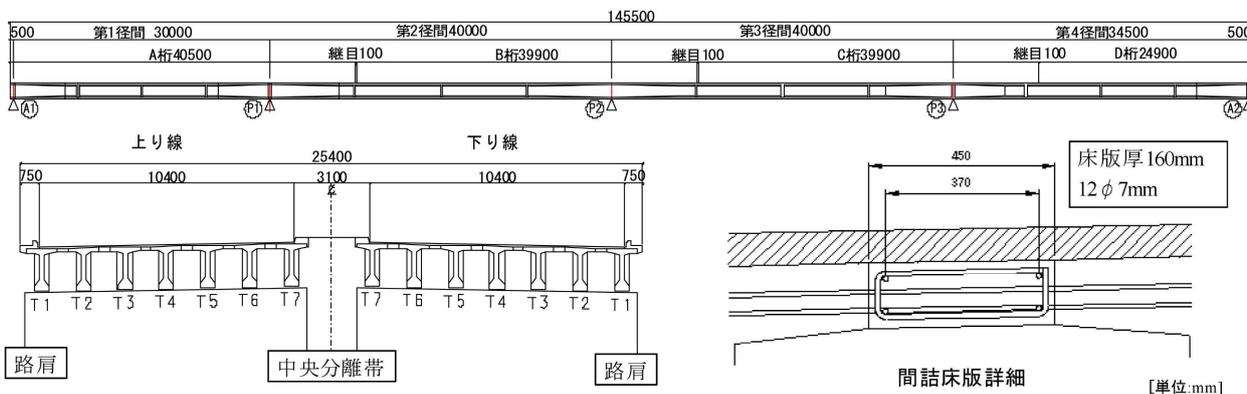


図 1 橋梁概要

*1 川田建設(株)名古屋支店技術部技術課 課長
*2 川田建設(株)技術本部技術部 担当部長
*3 川田建設(株)大阪支店技術部 部長

*4 川田建設(株)名古屋支店工務部工事課 担当工事長
*5 川田建設(株)名古屋支店技術部技術課
*6 川田建設(株)名古屋支店工務部工事課

2. 検討方法

(1) 対象橋梁

対象橋梁の概要を図 1 に示す。本橋は 1964 年に建設された橋長 145 m の PC ポストテンション方式 4 径間連続 T 桁橋である。全幅員は上下線とも 11.6 m で、7 主桁から構成され、中央分離帯側から路肩側に向かって 2% の下り勾配が付けられている。間詰床版には、横締め PC 鋼材 12φ7 mm (間隔 1 200 mm) が配置されているものの、PC 桁上フランジからの間詰鉄筋が配置されていないことに加え、フランジ部にテーパが施されていない。なお、橋面防水は、当初未施工であり、2004 年にグレード I (瀝青シートを貼り付けたものや、アスファルトコンパウンドを塗布したもの)²⁾ が施工されている。

(2) 検討内容

本橋上り線 A2 付近にて、横締め PC 鋼材の腐食と考えられるコンクリートの剥落や剝離が発見されたため、図 2 に示す手順にて検討を進めた。

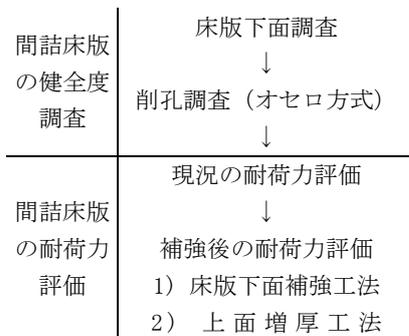


図 2 検討フロー

床版下面調査：足場設置後、床版下面の変状を目視調査した。

削孔調査：横締め PC 鋼材破断と PC グラウト充填不

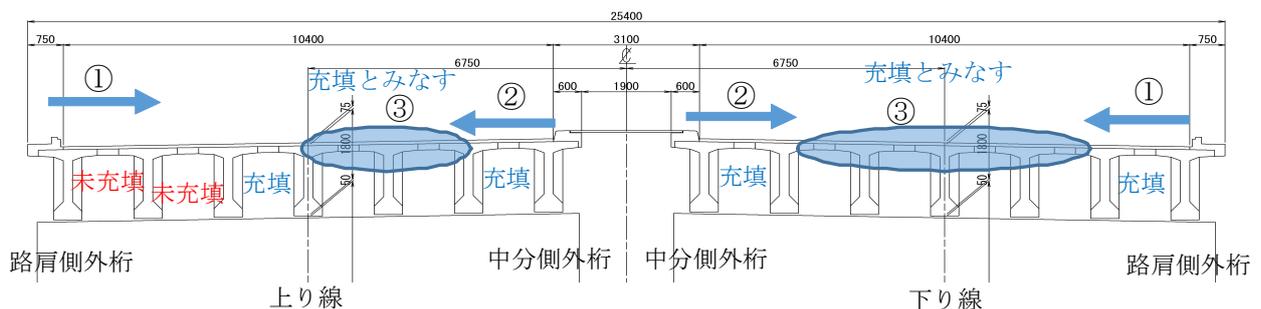


写真 1 CCD 目視調査

足箇所を効率的に全数調査する方法として、路肩と中央分離帯に一番近い外側の間詰床版 (本橋では T1-T2 間と T6-T7 間) を対象に、横締め PC 鋼材の直下から φ25mm の削孔 (写真 1) を行い、PC グラウト充填が認められるまで挟み撃ちで調査する方法 (以下、オセロ方式) で実施した。なお、オセロ方式によるグラウト調査の概要を図 3 に示す。

現況の耐荷力評価：削孔調査結果より、①破断部は PC 鋼材緊張力ゼロ、②破断した PC 鋼材で部分的に PC グラウトが充填されている場合は田所らの研究³⁾を参考に 154φ (=3 696 mm, 3 格間分) の範囲でプレストレスが線形的に回復する、③隣り合う横締め PC 鋼材のプレストレスは広がり (β=33° 40') を考慮できる、と仮定して間詰床版の曲げ耐力を求め、実荷重 (1.0D+1.4L) に対する安全度で耐荷力評価を行った。

補強後の耐荷力評価：間詰床版の抜落ち対策として、実荷重に耐えうる床版下面からの補強構造について検討を行った。また、将来的に上面増厚を実施した際の概略検討を実施した。



【オセロ方式による調査の手順】

手順 1：路肩側外桁 (①) より中桁側に向かって PC グラウト充填調査を実施する。

調査段階で PC グラウトの充填が確認された場合、調査を終了する。

手順 2：手順 1 とは反対の中分側外桁 (②) より中桁側に向かって PC グラウト充填調査を実施する。

調査段階で PC グラウトの充填が確認された場合、調査を終了する。

手順 3：③の箇所は未調査であるが、手順 1 と手順 2 の充填箇所に挟まれているため”充填”と想定できる。また、未充填箇所の分布から建設当時の PC グラウト注入方向も推定が可能である。

図 3 オセロ方式によるグラウト調査の概要



(a) 間詰床版のはく離・PC 鋼材露出 (b) 目地からの漏水 (c) 間詰床版の段差

写真 2 床版下面の状況（上り線第 4 径間 T1-T2 間 A2 付近）

表 1 オセロ方式による削孔調査の結果

路肩	N29	N28	N27	N26	N25	N24	N23	N22	N21	N20	N19	N18	N17	N16	N15	N14	N13	N12	N11	N10	N9	N8	N7	N6	N5	N4	N3	N2	N1
上り線	T1-2	5	5	5	5	1	中間横桁	1	5	0	5	0	0	1	中間横桁	2	2	1	2	2	3	中間横桁	5	5	5	3	5	5	
	T2-3	1	1	1	5	2		3	3	0	0	0	2	2		2	2	2	2	2	2		2	5	1				
	T3-4				3			1	1				2	1			1	1	1	1	2		2	2	2	1			
	T4-5				3			1	1				2	0				1		1	0		1	2	2	1			
	T5-6				2			2	1				0					0		0	0		0	2	2	1			
	T6-7	1	1	0	1	0		2	1	0	1	0	0	0		1	0	1	0	0	0		0	1	1	0	1	1	0
中央分離帯																													
下り線	T6-7	0	0	0	0	0	中間横桁	0	0	0	0	0	0	0	中間横桁	0	0	0	0	0	0	中間横桁	0	0	0	0	0	0	
	T5-6																								2				
	T4-5																								2				
	T3-4																								0				
	T2-3																												
	T1-2	1	2	2	0	0		1	2	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	1

N**は、A2側から数えた床版横締め鋼材番号を示す。T**-*は間詰床版の位置を示す。

PCグラウト充填状況： PCグラウト未充填かつ顕著な変状あり PCグラウト未充填 PCグラウト充填

PC鋼材の状況： 5 破断している 4 径が小さくなっている 3 断面欠損が目立つ 2 点状の錆が目立つ 1 薄錆である 0 錆がない

3. 間詰床版の健全度調査

(1) 床版下面調査の結果

床版下面の状態を写真 2 に示す。顕著な変状は、上り線第 4 径間 T1-T2 間のみに見られ、変状 a「間詰床版の剥落・PC 鋼材腐食」が広範囲に見られるとともに、その一部で変状 b「目地からの漏水」や変状 c「間詰床版の段差」が認められた。変状 b の箇所では、横締め PC 鋼材の露出と破断がごく一部ではあるが確認された。

(2) 削孔調査の結果

オセロ方式による削孔調査の結果を表 1 に示す。表中「5」の箇所は横締め PC 鋼材の破断が確認された箇所であり、変状 a～c が確認された部位（紫色の着色部）では横締め PC 鋼材が 9 箇所すべて破断していた。これに加え、顕著な変状が見られない部位でも 5 箇所 PC 鋼材破断が確認された。PC 鋼材の緩みが確認された N4 の T1-T2 間の 1 箇所を含め、15 箇所の間詰床版の抜落ちが危惧されたことから、緊急の仮受け支保工を設置した。

PC 鋼材と PC グラウトの状態を確認した例を図 4 に

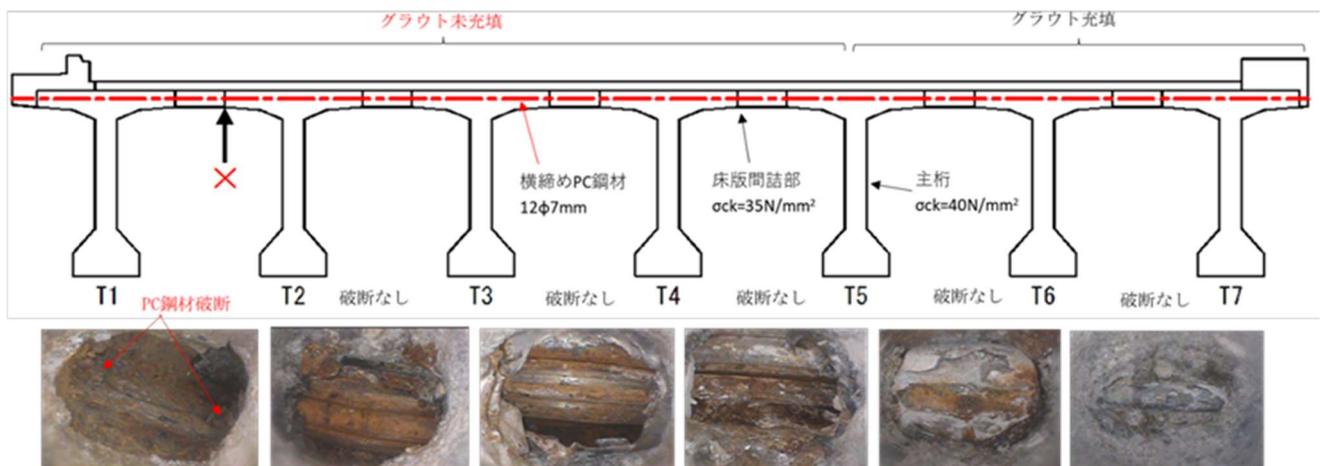


図 4 PC 鋼材と PC グラウトの状態（上り線横締め PC 鋼材 N21 の例）

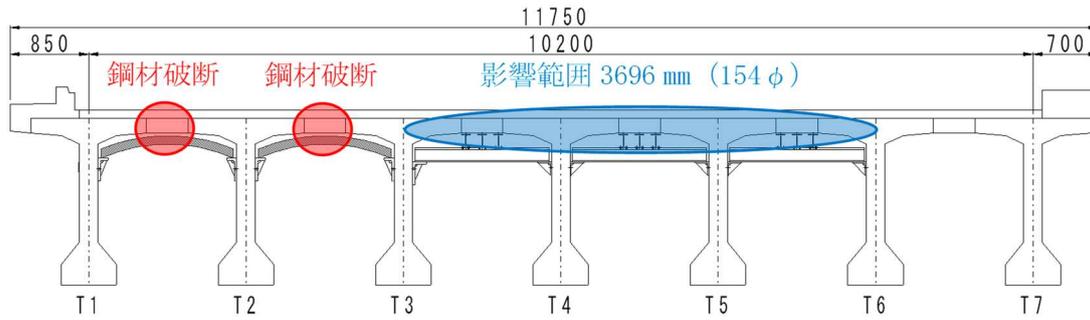


図5 破断箇所と影響範囲

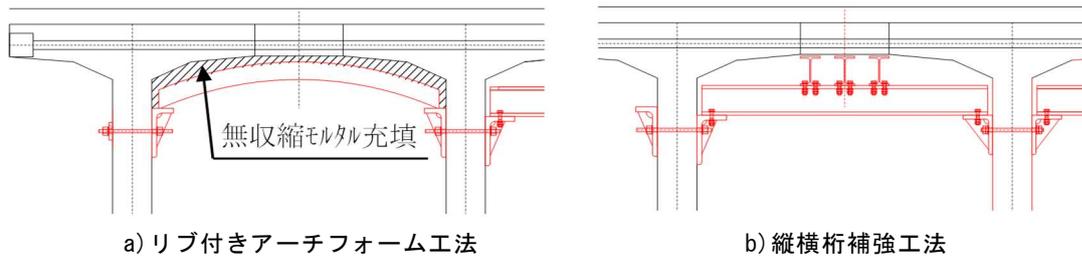


図6 床版下面補強工

示す。図示するように、今回確認された破断箇所は、いずれも PC グラウト充填不足（橙色の着色部）がある路肩（低い）側であった。一方、PC グラウト充填部（灰色の着色部）は、PC 鋼材の状態が「2:点状の錆が目立つ」以下であった。以上より、PC グラウトの防錆効果は極めて高いことが改めて実証された¹⁾。

また、PC グラウト充填不足の割合は上り線 34%，下り線 2%と大きく異なった。これは、上り線では中央分離帯（高い）側から PC グラウトを注入して路肩（低い）側へ排出したため先流れによる PC グラウト充填不足が

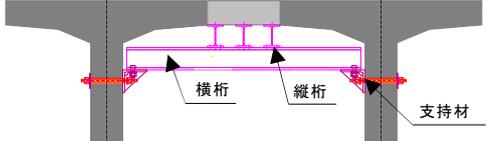
発生し、一方、下り線では路肩（低い）側から中央分離帯（高い）側に向かって PC グラウトを注入したために充填が良好であったものと推察する。なお、PC グラウト充填不足のままでは床版の耐荷力が不足するため、補強前に防錆 PC グラウト⁴⁾の再注入を実施した。

4. 間詰床版の耐荷力評価

(1) 現況の耐荷力評価

実荷重に対する安全度 (Fs) を求めた結果、破断部は Fs=0、破断部より 3 格間の箇所（以下、影響部）は

表2 床版下面補強工法の概要

	リブ付きアーチフォーム工法	縦横桁補強工法
概要	市中材料の組合せ(アーチフォーム)+無収縮 	市中材料の組合せ(鋼メッキ品) 
重量 (1箇所当たり)	<ul style="list-style-type: none"> RAF : 37kg×5 部材=186kg 支持材 : 36kg×2 部材= 72kg 無収縮モルタル : 210kg 総重量 : 468kg 	<ul style="list-style-type: none"> 横桁 : 95kg×2 部材=190kg 縦桁 : 21kg×3 部材=630kg 支持材 : 36kg×2 部材= 72kg 総重量 : 325kg
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 人力施工が可能である。 無収縮モルタル充填作業が必要である。 製作期間は1か月 	<ul style="list-style-type: none"> 横桁は揚上設備が必要であるが、それ以降の作業は人力施工が可能である。 製作期間は1か月
維持管理性	<ul style="list-style-type: none"> 補強後は不可視となり点検不可 補強部材の撤去は不可 	<ul style="list-style-type: none"> 間詰床版の点検可能 補強部材の撤去は可能
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> 補強部材はコンクリートと同等の耐久性あり 輪荷重が載荷されても無収縮モルタルにて充填されているため、たわみは生じない 	<ul style="list-style-type: none"> メッキ品を使用するため耐久性あり 輪荷重が載荷された場合に鋼材にたわみが生じる可能性がある
適用箇所	<ul style="list-style-type: none"> 破断部（横締め鋼材破断箇所） 実荷重に対する安全度が1.0未満の箇所 	<ul style="list-style-type: none"> 影響部（破断部より3格間の箇所） 実荷重に対する安全度が1.0以上

注) 1箇所当たりの重量は、補強部材の支間 1.5m、橋軸方向長さ 1.0m の標準部で算定した。

1.0<F_s<1.73(建設時)となった。なお、前述したとおり、本検討の前提条件として、PC グラウト再注入を実施することで破断部以外は横締め PC 鋼材の強度を 100 % 見込めるものとした(図 5)。

(2) 補強後の耐荷力評価

床版下面補強工法の概要を表 2 に示す。破断部は床版耐力が喪失している前提で抜け落ちに対して直接機能を果たすことを目的に「リブ付きアーチフォーム工法」(図 6 a)を採用した。本工法は人力施工が容易で製作期間も 1 か月と早い。なお、アーチ材が間詰部の代替となる床版耐力を負担し、補強部材を撤去しなくてもよい工法を選定した。一方、影響部は、万一抜け落ちた際に横桁が縦桁からの反力を支持する「縦横桁補強工法」(図 6 b)を採用した。この工法は、待ち受け構造とすることで、間詰床版の点検が可能であるとともに、将来恒久対策を実施した際には部材撤去が可能となる工法を選定した。

なお、今回採用した床版下面補強工法は、いずれも応急対策であり、将来的に恒久対策への切り替えが必要である。恒久対策としては、間詰部が抜け落ちても耐力は確保できる上面増厚工法が有効であるが、増厚量は 120 mm と算定され、橋梁構造への影響だけでなく、近接する他構造にも影響が及ぶ上、大規模な交通規制を伴う工法であるため、構造的のみならず施工性、経済性など多面的な検討が必要となることが留意点である。

5. 床版上面調査

床版下面の変状(写真 3)が生じている箇所の舗装を開削し、床版上面の変状を確認した(写真 4)。写真 3、写真 4 は上り線 P3-A2 間路肩側 N4 付近の状況であり、橋面防水の存在は確認されたものの、目地に漏水痕が見られたことから、防水機能は低下していると判断された。また、間詰床版の上筋の腐食と上面コンクリートの脆弱化(土砂化)が確認された。なお、上筋より下側の間詰床版および主桁上面はたたき点検の結果、浮き等は見られず、現時点では健全な状態であった。

6. PC グラウト再注入工

ここからは施工状況について報告する。PC グラウトは、PC 鋼材の腐食抑制効果が確認されている超低粘性型のもの^{4),5)}を使用した。PC グラウト再注入では、グラウト注入用ホースをモルタルで固定し注入するが、本橋のシーす内空隙率は、52 % (通常は 60 % 以上)と低く、再注入時に過度な圧力が掛かり、固定モルタル部分から漏れ出す可能性が懸念された。そこで、注入ホースへの負荷を計算し、ステップバイステップ方式による注入(図 7)と圧力計による注入圧管理の実施により、PC グラウトの漏れ出しによる施工トラブルを回避した。また、PC グラウト再注入時では、シーす上部での空気溜りによる

充填不足が懸念されるため、充填性を高めるために、細径チューブを設置し空気溜りの除去管理を行った。

7. 床版下面補強工

各補強工法の施工フローを図 8 に示す。

リブ付アーチフォーム工法を実施するにあたりリブ付アーチフォームと間詰め部の狭隘部への無収縮モルタル充填に特に留意する必要がある。

リブ付アーチフォーム工法における無収縮モルタル打込みにおいて、リブ付アーチフォームと間詰め部の狭隘部(最小 30 mm)へ無収縮モルタルの確実な充填を確認する必要があった(図 9)。このため、上面が透明な原寸供試体を作製し、2 種類の充填材(標準型・小間隙型)により、無収縮モルタル充填確認試験を実施した。試験施工の観察および供試体の充填結果より、確実な充填性を得るための施工順序等を整理し、現場での施工に反映した。

現場施工では、直接目視による無収縮モルタルの充填確認ができないことから、充填不良の発生を防止するため、充填検知センサーを設置(図 9)し、狭隘部への充填



写真 3 床版下面変状



写真 4 床版上面調査

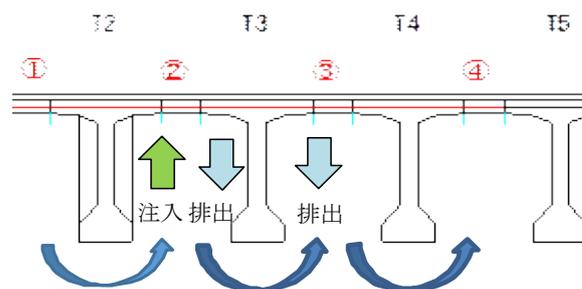


図 7 ステップバイステップ方式による注入法

【リブ付アーチフォーム工法】

設置数：15 箇所



【縦横桁補強工法】

設置数：39 箇所

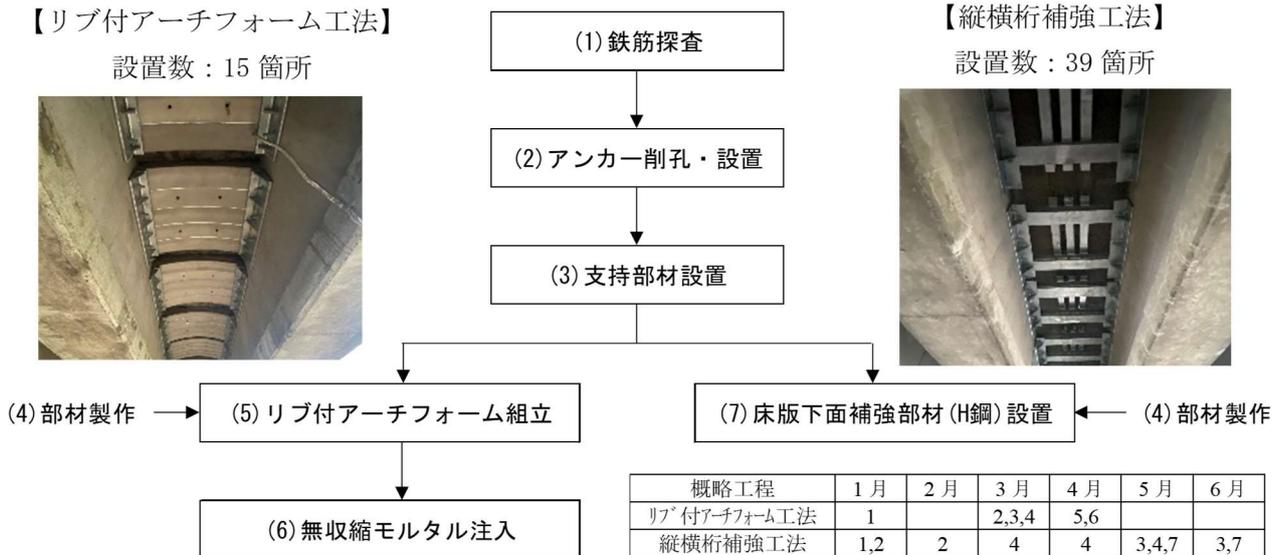


図8 床版下面補強フロー

を確認した。充填検知センサーの結果より、全ての箇所
で型枠内へのモルタル充填を確認することができた。

さらに、無収縮モルタルの材料を小隙間型に変更し型
枠内へのモルタル充填効果を高めるとともに、注入・排
出口を計画時よりも追加して施工を行った（図10）。

8. おわりに

本稿では、PCT 桁橋間詰床版で顕著な変状が確認され
た場合に、間詰床版の健全度調査と耐荷力評価を効率的
に全数実施する方法と耐荷力評価の一方法について報告
した。

補強工事では、床版横締めシース内のグラウト未充填
箇所に腐食抑制効果のある PC グラウトを注入し、適切
な再注入管理ができたことにより橋梁床版の耐久性向上
を図った。また、横締め PC 鋼材の損傷に対して残存耐
力に応じた効果的な床版下面補強対策（写真 5）が実施
できた。今後、PC 橋を長期的に維持保全するための一助
となれば幸いである。



写真5 リブ付きアーチフォーム工法による
床版下面補強の状況

参考文献

- 1) 一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協
会：PC 構造物の維持保全—PC 橋のさらなる予防保全に
向けて—, 2015.
- 2) 土木学会：床版防水性能を有する橋面舗装の開発, 舗
装工学論文集, I_69-75, 2016.1
- 3) 田所, 谷村, 渡辺, 徳永：グラウトと PC 鋼材の附着
特性に着目した鋼材破断後のプレストレスの評価, 第 19
回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジ
ウム論文集, pp.209-212, 2010.10
- 4) 川口, 織田, 丸山, 北野：再注入用防錆グラウトの適
用性と防錆性能に関する検討, 第 31 回プレストレスト
コンクリートの発展に関するシンポジウム論文集,
pp.259-262, 2022.10
- 5) 北野, 織田, 川口, 陳内：グラウト未充填橋梁の延命
化技術の開発～PC 鋼材の腐食抑制効果を向上させた
KK グラウト注入工法～, 川田技報 vol.39, 2020

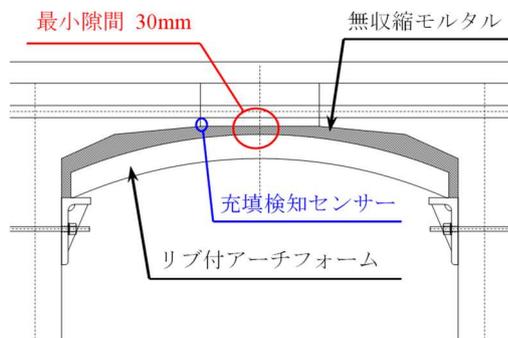


図9 無収縮モルタル充填部

- : 計画時注入・排出口
- : 施工時注入・排出口追加

図10 注入孔・排出口配置