

ステンレス鉄筋を用いた プレキャスト PC 床版の接合部における検討

田尻 丈晴*¹・吉川 卓*²

This report is about a four-span continuous plate girder with RC floor slab that has been in service for 38 years since its start in 1981. The Chuo-Expressway with this bridge passes through a snowy cold region, so a large amount of anti-freezing agent (NaCl) is sprayed on it, and the RC floor slab is deteriorated due to chloride and frost attack. The method of removing the deteriorated RC floor slab and replacing it with the precast PC floor slab was selected as the repair method. However, in carrying out the work, it is necessary to reduce socio-economic loss due to traffic congestion as much as possible, so it is not possible to carry out the work at once. Therefore, the repair work was decided to divide into two areas. That is, two spans first, and then replace the remaining two spans at half-year interval. In this method, some structure for temporarily connecting joint existing and new floor slabs is required. This paper introduces existing a renewal method of concrete floor slab considering secondary work on expressway bridge.

Key words : Renewal, concrete floor slab joint, stainless bar

1. はじめに

開通（1981 年）後，38 年が経過した 4 径間連続鋼桁の RC 床版取替工におけるプレキャスト PC 床版接合部構造の調査および課題について記述する。この橋は，積雪寒冷地を通過するため，凍結防止剤（NaCl）の散布による RC 床版の劣化が顕在化していた。そこで，劣化した RC 床版を撤去し，プレキャスト PC 床版に取り替える床版取替工を実施することとした。しかし，工事実施では，交通渋滞などの社会的影響を可能なかぎり低減する必要があるため，4 径間連続桁を 2 径間ごとの 2 分割施工とする検討を行った。分割施工を実施するにあたり，既存の RC 床版と新設する PC 床版との接合部にステンレス鉄筋を用いた構造での耐力を評価するとともに，橋梁の長期耐久性能の向上に着目した対策および新たな課題とその対策について記述する。

2. 分割施工時の接合位置の検討

当該施工箇所は，民家および公共施設（保育園）が近接し，県道ならびに天竜川水系普通河川を跨ぐ周辺環境である。そこで，これらの諸条件を比較検討し，合理的かつ安全性に配慮した接合位置を定めた。

以下に交差条件等を整理する。

- a) 民家最近接区間 ⇒ P1 ～ P2 間
- b) 保育施設位置 ⇒ P2 ～ P3 間
- c) 天竜川水系上野川 ⇒ P2 ～ P3 間
- d) 県道諏訪辰野線 ⇒ P2 ～ P3 間

以上の条件を総合的に勘案し，分割施工時の床版接合位置を P1 橋脚と P2 橋脚間の P2 橋脚近傍とした。接合位置の決定理由は，1 期施工時ではサイクル作業に慣れていないこと，また「10 月～11 月」施工では日照時間が短く作業効率が落ちること，以上から 1 期施工と 2 期施工の延長を「4 対 6」程度に分割した位置に設定した。図 - 1 に，

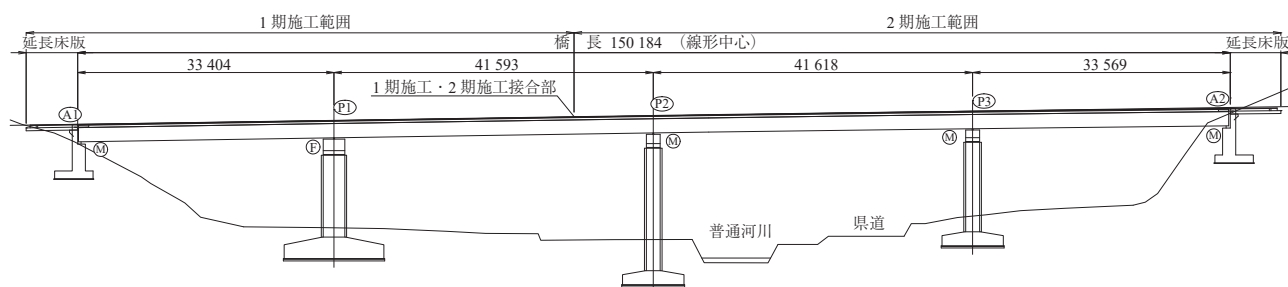


図 - 1 橋梁一般図および分割施工時の接合位置

*¹ Takeharu TAJIRI : 中日本高速技術マーケティング(株) 技術部

*² Taku YOSHIKAWA : オリエンタル白石(株) 技術本部 技術部

橋梁一般図と分割施工時の接合位置関係を示す。なお、現場での床版施工における分割施工の詳細事項については第4章にて述べる。

3. 接合部の構造の検討

3.1 先行する工事事例から本工事への適用

分割施工の計画に先立ち、2012年に施工された中央自動車道上長房橋の床版半断面補強工事¹⁾を参考に計画の詳細を検討した。先行工事による細部構造は、新設床版との継手にはエンドバンド鉄筋を用いた「エンドバンド継手^{2,3)}」、既設RC床版との継手にはエンドバンド鉄筋の一端をU字形に加工し半円形フックにより定着させる構造とした。また、上長房橋では、接合部のコンクリートにドライミックス方式のFacetコンクリート⁴⁾が採用されているが、当該工事での作業タイムテーブルを検討した結果、材齢24時間で40 N/mm²以上の強度を必要としないことから、早強コンクリートを採用することとした。接合部の細部構造を図-2に示す。

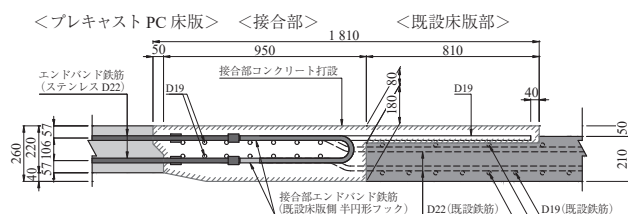


図-2 接合部の細部構造

3.2 接合部に採用する鉄筋の塩害耐久性照査

当該施工区間は、長野県の南部(上伊那郡辰野町)に位置しており、冬季の最低気温および降雪の関係から凍結防止剤散布による塩害の影響が顕著であった。辰野観測局の厳冬期(2015年12月から2016年3月末)の気温および路温(橋面)のデータによると、最低気温は-14.1℃、最低路温は-12.0℃であり、氷点下を記録した合計日数は気温で100日、路温で88日であった(図-3)。また、当該区間の凍結防止剤散布量については、2010年から2016年(7年間)平均約17 t/kmであった(表-1)。

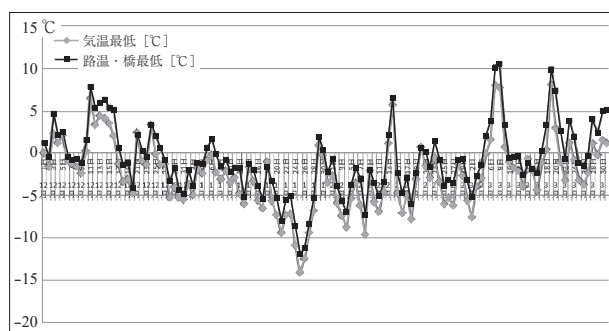
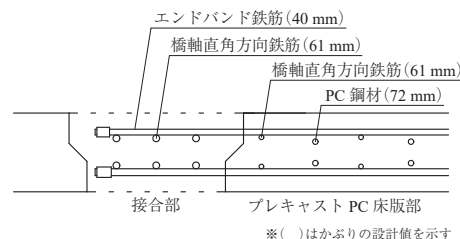


図-3 辰野町の最低気温および最低路温の変化

表-1 凍結防止剤の平均散布量

年度	管理延長(km)	NaCl		CaCl ₂		合計	
		t	t/km	t	t/km	t	t/km
2010	47.2	1 622.0	17.2	0.0	0.0	1 622.0	17.2
2011	47.2	1 261.0	13.4	0.0	0.0	1 261.0	13.4
2012	47.2	1 885.0	20.0	2.1	0.0	1 887.1	20.0
2013	47.2	1 185.5	12.6	30.0	0.3	1 215.5	12.9
2014	47.2	2 232.0	23.6	2.5	0.0	2 234.5	23.7
2015	47.2	1 164.0	12.3	0.0	0.0	1 164.0	12.3
2016	47.2	1 808.5	19.2	11.9	0.1	1 820.4	19.3
平均		1 594.0	16.9	6.6	0.1	1 600.6	17.0

そこで、凍結防止剤散布に伴う塩害に対する耐久性を照査^{5,6)}した。耐久性の照査は、塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対し、式(1)にて行った。なお、当該橋梁は、冬季の環境条件(凍結融解作用および塩害)がきわめて厳しいため、鉄筋は普通鉄筋とエポキシ樹脂塗装鉄筋、コンクリートは早強ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末、それぞれの組み合わせに対して照査した。図-4にプレキャストPC床版および接合部の鉄筋ならびにPC鋼材のかぶり詳細図を示す。



※()はかぶりの設計値を示す

図-4 鉄筋およびPC鋼材かぶり詳細図

$$\gamma_i \cdot C_d / C_{lim} \leq 1.0 \quad (1)$$

ここに、 γ_i ：構造物係数(ここでは、1.1とする)

C_{lim} ：鋼材腐食発生限界濃度(kg/m³)

C_d ：鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値(kg/m³)

鋼材腐食発生限界濃度(C_{lim})は、早強ポルトランドセメントおよび高炉スラグ微粉末(#6000の50%置換)を用いた場合のそれぞれについて、式(2)ならびに式(3)により算出した。

$$C_{lim} = -2.2 (W/C) + 2.6 \quad (2)$$

$$C_{lim} = -2.6 (W/C) + 3.1 \quad (3)$$

ここに、 W/C ：コンクリートの水セメント比

ただし、 $0.30 \leq W/C \leq 0.55$

また、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値は、式(4)および式(5)により、誤差関数 $\text{erf}(s)$ を用いて計算した。なお、式(4)および式(5)は、それぞれ、普通鉄筋並びにエポキシ樹脂塗装鉄筋における各変数を代入する。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \text{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2 \sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right) + C_i \quad (4)$$

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \text{erf} \left(\frac{0.1}{2 \sqrt{t}} \left(\frac{c_d}{\sqrt{D_d}} + \frac{c_{ep}}{\sqrt{D_{epd}}} \right) \right) \right) + C_i \quad (5)$$

ここに、 C_0 ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

c_d ：耐久性照査に用いるかぶりの設計値 (mm)

c_{ep} ：エポキシ樹脂塗装の厚さの期待値 (mm)
(ここでは、 $220\ \mu\text{m}$ とする)

D_{epd} ：エポキシ樹脂塗装内への塩化物イオンの侵入を拡散現象とみなした場合の塩化物イオンに対する見かけの拡散係数の設計用値 ($\text{cm}^2/\text{年}$) ここでは、 $2.0 \times 10^{-6}\ \text{cm}^2/\text{年}$ とする

t ：塩化物イオンの侵入に対する耐用年数
(ここでは、100 年とする)

γ_{cl} ： C_d のばらつきを考慮した安全係数
(ここでは、1.3 とする)

D_d ：塩化物イオンに対する設計拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

C_i ：初期塩化物イオン濃度 ($0.30\ \text{kg}/\text{m}^3$ とする)

鉄筋の照査は、プレキャスト PC 床版部、接合部および壁高欄部の部位ごとに実施した。なお、コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (C_0) は、塩分調査による十分なデータ量が確保されていないため、表 - 1 に示す当区間における凍結防止剤の平均散布量より求めた値 (W_s ：年間あたりの凍結防止剤散布量) に対して次に示す方法により算出した。

床版部：「 $10\ \text{t}/\text{m}^3$ 」以上の場合³⁾ $C_0 = 5.0\ \text{kg}/\text{m}^3$

壁高欄：式 (6)⁴⁾ により算出

$$C_0 = 0.286 \times W_s \quad (6)$$

ここに、 W_s ：年間あたりの凍結防止剤散布量
= (対象区間の 1 シーズン合計散布量) /
(管理延長 $\times 2$)

表 - 2 に、プレキャスト PC 床版、接合部および壁高欄部の部位ごとの照査結果を示す。プレキャスト PC 床版部については、高炉スラグ微粉末 #6000 の 50 % 置換を使用し、エンドバンド鉄筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋、橋軸直角方向鉄筋および PC 鋼材は無塗装とした。また、接合部および壁高欄部については、全ての鉄筋をエポキシ樹脂塗装鉄筋とし、コンクリートはプレキャスト PC 床版部に合わせて高炉スラグ微粉末 #6000 の 50 % 置換を使用した。

表 - 2 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食の照査結果

プレキャスト PC 床版部

鋼材		エンドバンド鉄筋		直角方向筋		PC 鋼材
種別		エポキシ鉄筋	普通鉄筋	エポキシ鉄筋	普通鉄筋	通常鋼材
早強ボルトランドセメント	式 (I) の値	0.46	2.08	0.34	1.53	1.22
	判定	OK	NG	OK	NG	NG
高炉スラグ微粉末 #6000 の 50 % 置換	式 (I) の値	0.16	0.30	0.17	0.47	0.31
	判定	OK	OK	OK	OK	OK

接合部

鋼材		エンドバンド鉄筋		直角方向筋	
種別		エポキシ鉄筋	普通鉄筋	エポキシ鉄筋	普通鉄筋
早強ボルトランドセメント	式 (I) の値	0.81	3.16	0.63	2.66
	判定	OK	NG	OK	NG
高炉スラグ微粉末 #6000 の 50 % 置換	式 (I) の値	0.65	2.57	0.49	2.10
	判定	OK	NG	OK	NG

壁高欄部

鋼材		外周鉄筋	
種別		エポキシ鉄筋	普通鉄筋
早強ボルトランドセメント	式 (I) の値	0.53	2.34
	判定	OK	NG
高炉スラグ微粉末 #6000 の 50 % 置換	式 (I) の値	0.27	1.02
	判定	OK	NG

太枠

：採用した組合せ

3.3 分割施工における接合部の鉄筋耐力照査

分割施工（新設するプレキャスト PC 床版と既存の RC 床版を一時的に接合）における接合部は、冬季および繁忙期（12 月から翌年 5 月）約 6 ヶ月間を一般供用させる必要あった（第 4 章）。また、2 期施工の開始時には、第 1 期に施工された接合部コンクリートをウォータージェット工法（以下「WJ」という）で除去する必要がある。一方、「WJ」による除去では、エポキシ樹脂で塗装された鉄筋の被覆部を破損するリスクがあった。そのため、分割施工における接合部の鉄筋には、ステンレス鋼を採用することとした。そこで、ステンレス鋼を用いた継手構造（SLJ スラブのエンドバンド鉄筋にステンレス鋼を用いた継手構造）について、プレキャスト PC 床版への適用を確認するため、性能を照査した。照査は、ステンレス鉄筋にステンレス鋼管を圧着した鉄筋（以下「ステンレスエンドバンド鉄筋」という）を用いて、圧着試験および引張試験によりエンドバンド鉄筋としての性能を確認した。

(1) 圧着試験

圧着試験は、鋼管の圧着による圧着後の鋼管形状および外観を確認し、圧着後の鋼管の圧着径および圧着長が基準値内であることならびに鋼管の外観にキズ等がないことを確認した。ステンレス鋼管の圧着は、専用の圧着機にて行った（写真 - 1）。



写真 - 1 圧着試験の状況

(2) 引張試験

引張試験は、鋼管の圧着強さを確認するもので、圧着後の鋼管の圧着強さが鉄筋の降伏強度である $345\ \text{N}/\text{mm}^2$ 以上（SLJ スラブに用いるエンドバンド鉄筋を保証する強度）であることを確認した。ステンレスエンドバンド鉄筋の引張試験は、万能引張試験機（2 000 kN）にて専用の治具を用いて行った（写真 - 2）。測定は、降伏および破壊時（最大の荷重、鉄筋の応力度が $345\ \text{N}/\text{mm}^2$ 時の鋼管およびその後の荷重状況、破壊時の鋼管の状況を確認した。

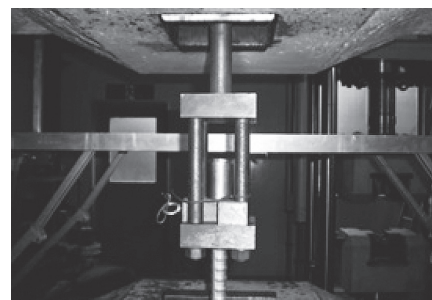


写真 - 2 引張試験の状況

(3) 試験片の作成

試験片は、D16、D19、D22 とし、各 3 本ずつとした。ステンレス鉄筋は、SUS304N2 (JIS G 4322) とし SD390 を使用した。これは、SD345 のステンレス鉄筋の調達が困難であったこと、また、SLJ スラブに用いるエンドバンド鉄筋の保証する強度が 345 N/mm^2 以上であり、SD345 と同等以上と判断したものである。また、ステンレス鋼管は SUS304TP (JIS G 3459) とした。これは、通常のエンドバンド鉄筋の鋼管の素地強度以上 (370 N/mm^2 以上) の鋼管を選定した。選定したステンレス鋼管の素地強度は 520 N/mm^2 以上である。図 - 5 にステンレスエンドバンド鉄筋の形状寸法を示す。

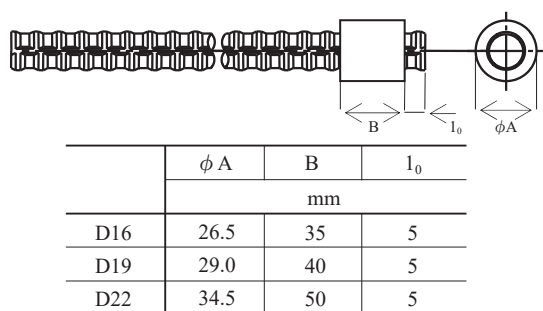


図 - 5 ステンレスエンドバンド鉄筋の形状寸法

(4) 試験結果

1) 圧着試験

圧着後の鋼管の圧着径、圧着長および外観状況を表 - 3 に示す。また、試験を実施したステンレスエンドバンド鉄筋の状況を写真 - 3 に示す。圧着試験の結果、各径のステンレスエンドバンド鉄筋は、すべての項目において基準値を満足した。

表 - 3 鋼管の圧着径、圧着長および外観状況

径	No.	圧着径	圧着長	外観状況
		(最小) φ A	(平均値) B	
		mm		
D16	1	26.2	35.6	無
	2	26.3	35.9	無
	3	26.3	36.5	無
	基準値 (mm)	26.0 ～ 27.0	32.0 ～ 38.0	キズ等が無い
	判定	OK	OK	OK
D19	1	28.9	40.3	無
	2	28.8	40.2	無
	3	28.8	40.1	無
	基準値 (mm)	28.5 ～ 29.5	37.0 ～ 43.0	キズ等が無い
	判定	OK	OK	OK
D22	1	34.4	50.1	無
	2	34.4	50.1	無
	3	34.2	50.2	無
	基準値 (mm)	34.0 ～ 35.0	47.0 ～ 53.0	キズ等が無い
	判定	OK	OK	OK



写真 - 3 ステンレスエンドバンド鉄筋 (D16, D19, D22)

2) 引張試験

引張試験の結果を表 - 4 に示す。また、引張試験終了後のステンレスエンドバンド鉄筋の状況を写真 - 4 に示す。ここで、降伏応力度は、引張試験においてステンレス鉄筋 (SD390) が降伏に達したときの荷重から算出した応力度を示す。また、最大応力度は、引張試験において最大荷重 (鋼管の拔出しが始まったと推察されるとき荷重) から算出した応力度を示す。なお、ステンレスエンドバンド鉄筋の保証する応力度 (345 N/mm^2) における鋼管の状況は、目視およびその後の荷重状況 (荷重示度の目視確認) で確認した。

D22 の No.1 供試体は、ステンレス鉄筋が降伏に達する前に鋼管の拔出しにより引張試験が終了したため、降伏に達したときの鋼管の状況を確認することができなかった。しかしながら、鋼管の拔出しが始まったと推察される最大荷重時の応力度が 364 N/mm^2 であるため、基準値である 345 N/mm^2 に達したときの鋼管の状況は拔出しが無く、その後の荷重が上昇したものと推察できる。D22 の No.2, 3 の降伏応力度は、基準値である 345 N/mm^2 に達し、鋼管の拔出しが無いことを確認した時点での応力度を示している。

結果、引張試験における破壊時形態は、すべての供試体で「鋼管 (エンドバンド) の拔出し」となり、母材の破断は確認されなかった。

表 - 4 引張試験結果

径	No.	降伏応力度 (荷重)	最大応力度 (荷重)	鋼管の状況・荷重状況	
		N/mm ² (kN)		345 N/mm ² 時	破壊時
D16	1	412 (82.0)	550 (109.3)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	2	414 (82.4)	531 (105.6)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	3	418 (83.2)	550 (109.3)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	基準値	345 N/mm ² 以上	—	拔出し無・荷重上昇	—
	判定	OK	—	OK	—
D19	1	446 (128.0)	555 (159.1)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	2	446 (128.0)	594 (170.3)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	3	446 (128.0)	588 (168.6)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	基準値	345 N/mm ² 以上	—	拔出し無・荷重上昇	—
	判定	OK	—	OK	—
D22	1	—	364 (141.0)	(拔出し無・荷重上昇)	鋼管の拔出し
	2	348 (135.0)	392 (152.0)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	3	348 (135.0)	397 (154.0)	拔出し無・荷重上昇	鋼管の拔出し
	基準値	345 N/mm ² 以上	—	拔出し無・荷重上昇	—
	判定	OK	—	OK	—

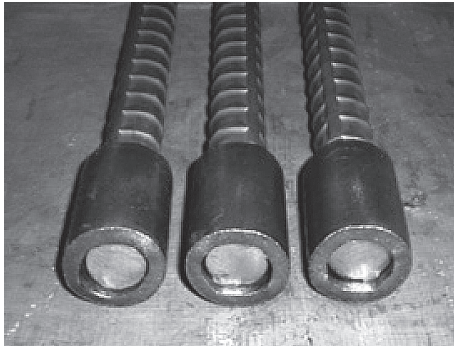


写真 - 4 引張試験終了後のステンレスエンドバンド鉄筋の状況 (D22)

(5) 評価

引張試験の結果より、各径のステンレスエンドバンド鉄筋は、SLJスラブに用いる通常のエンドバンド鉄筋の保証する強度 (345 N/mm² 以上) を有している。よって、圧着試験および引張試験の結果より、ステンレスエンドバンド鉄筋は、通常のエンドバンド鉄筋と同等の性能を有しており、SLJスラブの機能を有することが確認できた。

3.4 ステンレス鉄筋を採用した場合の鋼材腐食照査

ステンレス鉄筋を接合部に採用した場合における鋼材の腐食照査 (本編 3.2) の結果では、高炉スラグ微粉末 6000 の 50 % 置換において、式 (1) にて「 $\gamma_i \cdot C_d / C_{lim} = 1.1 \times 5.14 / 15 = 0.38$ 」となり、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた照査による場合と同等以上の耐久性を有する結果となった。

なお、 C_{lim} は、土木学会、ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針 (案) により「 $C_{lim} = 15$ 」と設定した。

4. 床版取替における分割施工の検討⁷⁾

4.1 床版取替における施工の条件

当該施工区間は、3.2 で述べたとおり冬季の気温低下や降雪量、または行楽シーズンにおける交通量増加の関係から施工時期に制限があった。また、以下に列举する諸条件を満足する必要があった。

- 床版取替工事における過去の施工実績 (2 車線 1 種 3 級幅員の場合) では、床版撤去から架設の施工は、昼夜連続 (2 交代制) で、12 ~ 16 m/日 (1 枚 $L = 2 \text{ m} : 6 \sim 8 \text{ 枚/日}$) である。本施工では、2 章で述べたとおり周辺住環境の関係から夜間施工制約を考慮して 4 枚/日とした。
- 冬季の凍結防止剤散布の影響は、橋梁上部工構造のみならず、上部工伸縮装置からの漏水により支承および下部構造の劣化を顕在化させている。そのため、長期保全の観点から桁端部における延長床版工を提案し床版取替と併せて施工することとした。また、保全事業の効率化の観点では、鋼橋の F11T 高力ボルト取替工について、床版取替と併せて実施することとした。
- 全体施工日数は、1 期あたり 60 日間とした。これは、秋季は 9 月行楽シーズン後 (10 月) から 12 月降雪時

期前まで (11 月末) の 60 日間、春季は 5 月の行楽シーズン後 (5 月中旬) から 7 月中旬までの 60 日間とした。

4.2 床版取替における必要日数の検討

施工条件を考慮した床版取替における必要作業日数を算出した。以下に床版取替全体を一括施工とした場合の作業日数を作業ステップごとに算出して整理した (表 - 5)。

表 - 5 一括施工時の作業ステップと日数

作業ステップ	日数
a) 準備 (交通規制設置、舗装撤去)	6
b) 既設付属物および壁高欄等の撤去	15
c) 床版撤去および架設 (日中のみ)	18
d) 壁高欄設置 (配筋 ~ Co 打設)	10
e) 延長床版設置 (掘削 ~ PC 緊張) ※ 2 箇所分	20
f) 伸縮装置設置 (本体設置・Co 打設) ※ 2 箇所分	10
g) 床版防水工および舗装・付属物	7
h) 交通開放 (交通規制材撤去等)	3
計	89

一括施工時では、約 90 日間を要することが分かった。よって、当該橋梁の床版取替は、2 期の分割施工を実施することとした。表 - 6 に、分割施工時の 1 期あたり施工日数を整理する。

表 - 6 分割施工時の作業ステップと日数

作業ステップ	日数
a) 準備 (交通規制設置、舗装撤去)	4
b) 既設付属物および壁高欄等の撤去	8
c) 接合部の設置または WJ 撤去*	4
d) 床版撤去および架設 (日中のみ)	9
e) 壁高欄設置 (配筋 ~ Co 打設)	7
f) 延長床版設置 (掘削 ~ PC 緊張) ※ 1 箇所分	10
g) 伸縮装置設置 (本体設置・Co 打設) ※ 1 箇所分	5
h) 床版防水工および舗装・付属物	7
i) 交通開放 (交通規制材撤去等)	3
計	57

※ 1 期施工時には設置する日数、2 期施工時には WJ にて撤去する日数を示す。

4.3 分割施工時の検討

床版取替における分割施工時の施工フローを図 - 6 に示す。また、施工ステップごとの留意事項を以下に列举する。

- 交通規制は、対面通行規制方式で実施するための準備等日数 (規制開始時に先頭固定規制にて渡線と呼ばれる部分を切り替える作業等を含む) を加味する (図 - 7)。また、高速道路本線からの資材受け入れ等の計画について、資材車両等の低速走行に伴う渋滞発生を抑制するため、交通量の増える土日祝祭日の入場および退場を避ける計画とする。
- 床版撤去では、舗装部および壁高欄 (地覆含む) を事前に切削機ならびにカッター等を用いて撤去し、1 づ

ロックあたり床版撤去重量の低減による効率化を図る。

- c) 床版取替えに併せて鋼桁に使用されていた「F11T 高力ボルト」のうち、床版取替え後に取り替えの困難な上フランジ部分のボルト交換を実施する（写真 - 5）。
- d) SLJ スラブによる架設により橋軸直角方向鉄筋の同時施工（エンドバンド鉄筋の隙間に仮配置）を可能とし作業の効率化を図る。なお、架設機械は、既設鋼桁の応力照査より、160t 吊りトラッククレーンを使用する（写真 - 6）。
- e) 床版の間詰めコンクリート施工は、全体工程と資材搬入日（上記 a）の影響を考慮した日程）を勘案して、数日間サイクルで施工する計画とする。
- f) 壁高欄施工は、事前にブロック配筋することで作業効率を図る。また、地覆部分をプレキャスト化して工場製作することで品質の向上と施工期間の短縮を図る計画とする。
- g) 延長床版の施工は、橋台の土工部における掘削が必要であるため、床版取替え時の資材搬入サイクルに影響を及ぼさない計画とする（写真 - 7）。
- h) 1 期施工完了時の既設床版との接合部は、一般供用に支障を与えない構造とする。また、2 期施工時の撤去作業について、合理的かつ周辺住環境への騒音など影響を低減する対策を立案する。なお、騒音低減対策の詳細については、4.5 に記述する。
- i) 接合部における長期耐久性向上を目的として、接合部付近の舗装および床版防水工の細部構造を検討する。写真 - 8 には、舗装表面強化材の塗布状況を示す。また、図 - 8 には、床版防水工の構成を示す。

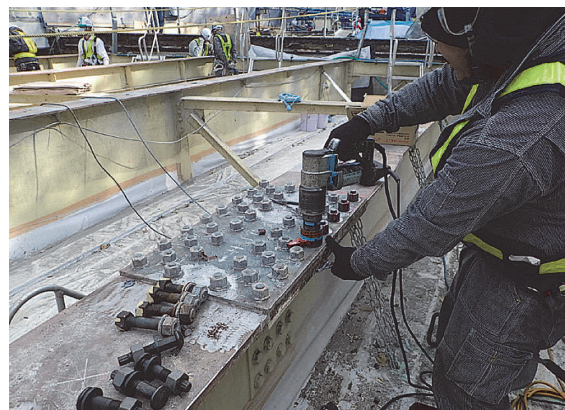


写真 - 5 F11T ボルトの交換作業



写真 - 6 SLJ スラブの架設



写真 - 7 延長床版の設置状況

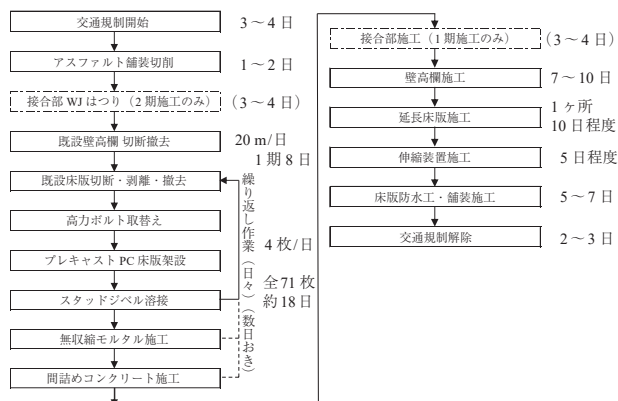


図 - 6 床版取替えにおける分割施工時の施工フロー

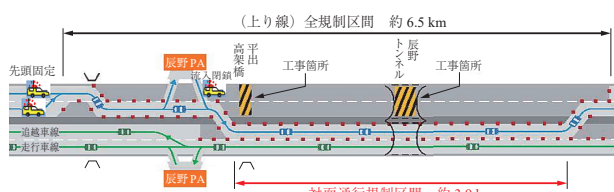


図 - 7 対面通行規制への切り替えに伴う先頭固定規制



写真 - 8 舗装表面強化材の塗布状況

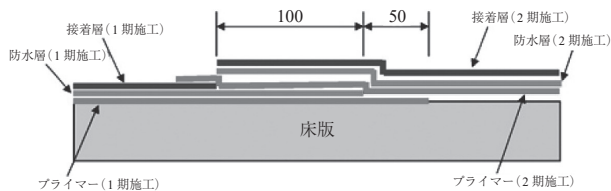


図 - 8 接合部の防水工構成

4.4 接合部の施工ステップ

(1) 1 期 施 工

1期施工では、既設RC床版のコンクリートをはつり、プレキャストPC床版との接合構造に必要な所定の鉄筋ラップ長を確保した。その後、接合部の鉄筋組立てを行い、型枠を組み立てコンクリートを打設した。1期施工ステップを図 - 9 に示す。

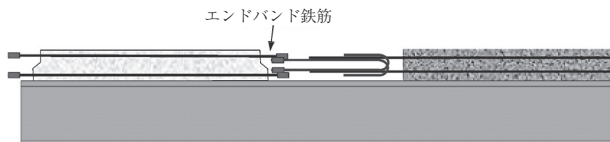
【ステップ1】既設床版撤去完了



【ステップ2】既設床版の接合部鉄筋はつり出し



【ステップ3】接合部の鉄筋配筋



【ステップ4】接合部のコンクリート打設

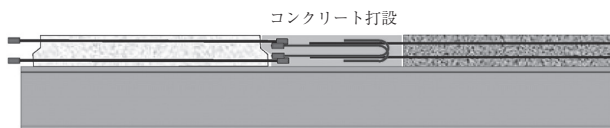


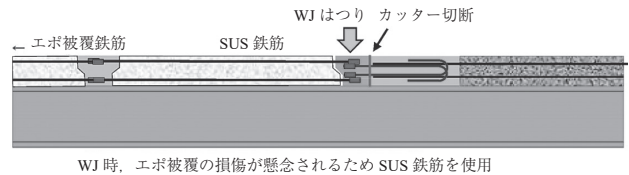
図 - 9 分割施工（1期施工）施工ステップ

(2) 2 期 施 工

2期施工では、接合部コンクリートのうち1期施工最終プレキャストPC床のエンドバンド鉄筋が配置されている範囲のコンクリートは「WJはつり」にて、また既設床版部のコンクリートは「通常のプロック撤去」（コンクリートカッターで切断しクレーンにて揚重）にて除去し、施工の効率化およびコスト縮減を図った。また、2期施工におけるプレキャストPC床版の設置では、周辺施設（保育園）および交差道路（県道）との近接施工となるため、騒音および飛散防止などの対策強化を図った。

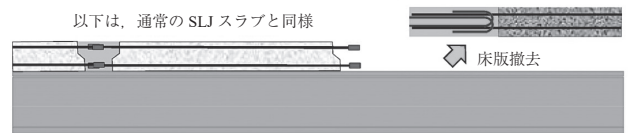
なお、騒音および飛散防止の対策については、4.5 に詳細を記述する。2期施工ステップを図 - 10 に示す。

【ステップ1】開始時の接合部コンクリートはつり

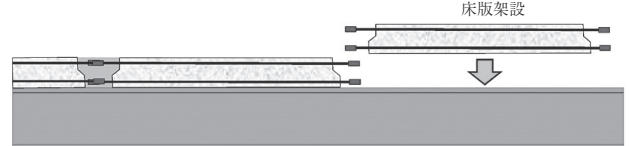


WJ時、エポ被覆の損傷が懸念されるため SUS 鉄筋を使用

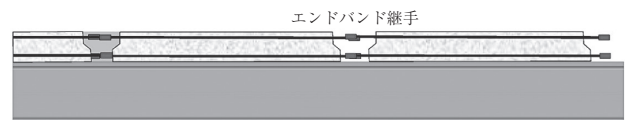
【ステップ2】接合部および既設床版撤去



【ステップ3】新設プレキャストPC床版設置



【ステップ4】間詰め部の鉄筋配筋



【ステップ5】間詰め部のコンクリート打設

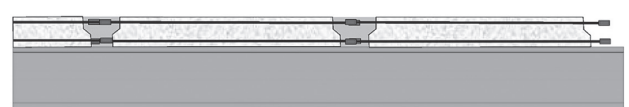


図 - 10 分割施工（2期施工）施工ステップ

4.5 接合部の施工における検討

接合部の施工では、接合部の品質確保、施工の効率化および周辺住環境に配慮した計画とすることが条件となる。以下に接合部の施工における検討事項を記述する。

(1) 既設鉄筋との接合における検討

当地区における既設の鉄筋コンクリート床版は、塩害などの影響による劣化が顕在化していることが既往の調査および先行工事により明らかとなっている。本橋梁の既設床版においても内部鉄筋の腐食や断面欠損が顕在化していることが予想された。そこで、不測の事態に備え、設計上の接合構造と同等以上の性能を確保するため、予備の鉄筋（2期施工開始までの間の一時的な対応）を設置する計画とした。幸いながら、今回の接合部付近における既設鉄筋は、ほぼ健全な状態であったため、設計計画どおりの鉄筋設置により施工を実施することができた（写真 - 9）。



写真 - 9 1期施工完了時の鉄筋配置状況

(2) 2期施工時におけるコンクリート除去の検討

2期施工時におけるコンクリート除去では、WJ工法により1期施工鉄筋をはつり出す必要がある。そのため、第3章で記述したとおり、WJはつりによる水圧によりエポキシ樹脂塗装鉄筋の被覆部損傷を回避するため、ステンレス鉄筋を採用した。課題は、ステンレス鉄筋を用いた場合のコンクリートのWJはつりは、過去の実績がなく、付着コンクリート除去性能（目視により残存するコンクリート等成分がないか）を確認する必要がある。そこで、工事全体工程を勘案しつつ、先行して部分的な現地はつり性能試験により能力等を確認した。結果、通常の鉄筋コンクリート構造物におけるはつり作業と同等な施工を確認できた（写真 - 10）。

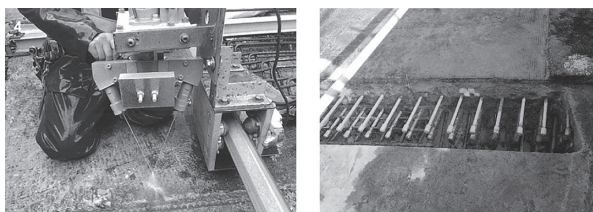


写真 - 10 WJ工法の例とステンレス鉄筋はつり試験状況

(3) WJはつり時における騒音抑制の検討

WJはつり時の騒音抑制では、泥水やコンクリート片の飛散防止対策を備えた防音施設（シート囲い養生：写真 - 11）のほか、WJはつり深さを制限し最深部のコンクリート断面を残す方法により抑制効果を検証した（図 - 11）。これは、最深部を残すことでWJ工法特有な高周波レベル

の音源を橋梁下空間へ直接的に広げないことによる低減効果を期待したものである。また、この方法により床版下面への汚水の飛散が抑制でき、また汚水の回収が容易となり、周辺環境の改善ならびに施工効率化が図られた。

なお、深さ方向のWJはつり制御については、写真 - 10に示すコリジョンジェットノズル⁸⁾を用いた工法など、施工機械の選定に配慮が必要である。



写真 - 11 WJはつり時の騒音抑制対策の状況

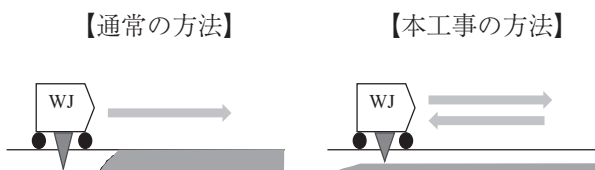


図 - 11 WJはつり方向のイメージ図

4.6 曲線桁でのプレキャスト PC 床版割付け

工期短縮に対する課題では、床版架設の更なる効率アップが求められる。とくに曲線橋では、床版架設時の位置調整に必要な時間短縮を視野に入れたプレキャスト PC 床版ブロックの割付けおよび架設工法を検討することで工期短縮が図られると思われる。また、工事騒音低減や飛散防止など更なる技術開発により、昼夜連続施工を検討していくことが必要と考える。本工事の床版架設は、昼間限定の施工実績として、平均架設能率は、1期施工では1日あたり4枚、2期施工では1日あたり6枚であった。参考として、図 - 12にプレキャスト PC 床版ブロック割付けを示す。

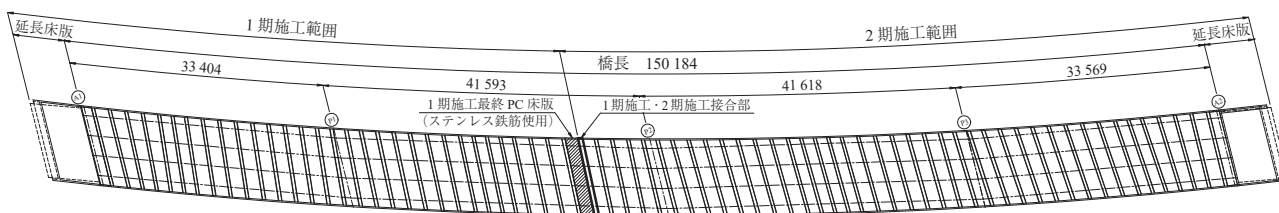


図 - 12 プレキャスト PC 床版のブロック割付図

5. おわりに

本工事が完了し約2年が経過した現在、コンクリート床版の接合部に走行快適性の低下や構造上の変状など、不具合事象の確認はされていない(写真-12)。過去の事例では、橋梁部の表層舗装における打継ぎ(床版接合部付近)の早期変状(ポットホール発生)が生じる場合が報告されており、本工事の懸案であった。その懸案を克服するため、設計計画段階から過去事例の情報収集や保全関連データ分析などの検討を行い、弱点部を改良することで求める構造の性能を満足することができた。また、本接合部の構造については、塩害環境の厳しい当該地区における長期耐久性を十分満足すると考察する。ここで、完成後に上空より撮影した「写真-13」左側が、本工事の2分割施工を実施した車線(中央道上り線)である。

なお、今回の工事にあたり、24時間体制で交通渋滞や事故の監視を行い、対面交通規制の社会的影響を最小限に抑えることができ、さらに無事故・無災害で工事を完成することができた。関係者の皆様に感謝を申し上げるとともに、本工事での検討結果が今後のプロジェクト事業発展に寄与することを期待する。



写真-12 接合部の完成状況



写真-13 工事完成状況

参考文献

- 1) 田中, 加藤, 浦野, 永吉: 集中工事における半断面施工による補強工事 - 中央自動車道上長房橋(上り線) -, コンクリート工学, Vol.53, No.2, pp.197-204, 2015.2
- 2) 阿部, 澤田, 大谷, 原: 新しいRC接合構造を用いたプレキャストPC床版に関する研究, プレストレストコンクリート, Vol.50, No.1, pp.45-53, 2008.1
- 3) 福永, 今村, 二井谷, 角本, 原: 機械式定着を併用した重ね継手を有するプレキャストPC床版の輪荷重走行疲労試験, 土木構造・材料論文集, 第28号, pp.28-46, 2012.12.
- 4) 国土交通省: 新技術情報提供システム NETIS 登録番号 KT-120115-VE
- 5) 中日本高速道路(株): 既設鋼橋の床版取替えに関する設計方針(案), 2007.4
- 6) 中日本高速道路(株): 壁高欄の塩害に対する耐久性照査方法(案), 2007.4
- 7) 吉川, 田尻, 松村, 穴山: 社会的影響の低減に着目した床版取替えの施工 - 中央自動車道 平出高架橋 -, 第28回プレ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, 2019.11
- 8) 田尻, 萩原, 崎谷, 武知, 吉川: 外ケーブルを用いたPC連続合成桁橋の大規模な補強工事 - 中央自動車道 沢底川橋 -, 橋梁と基礎, Vol.51, pp.5-11, 2017.5

【2020年3月6日受付】



刊行物案内

更新用プレキャスト PC 床版技術指針

平成28年3月

定価 8,147 円(税込)／送料 300 円

会員特価 6,000 円(税込)／送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会