

PC 合成桁橋のコッター床版による床版取替工事 —東北自動車道 陣場橋床版修繕工事—

高瀬忍*1 吉松慎哉*2 加来千恵子*2 庄司啓明*1 尾花英俊*1

PC 合成桁橋の床版修繕工事は、従来、既存床版を撤去した後、新たに場所打ち床版を施工していたが、本工事は、工期短縮と品質向上を目的に、コッター式継手を用いたプレキャスト PC 床版（以下、コッター床版）による床版取替工法を採用した。PC 合成桁橋のプレキャスト PC 床版による床版取替工事は、国内では実績が極めて少なく、当該工事が 3 例目となる。

本報では、設計概要、施工報告の他、導入を進めているコッター床版品質管理システム（KIS-C）の適用結果について報告する。

キーワード：PC 合成桁、床版取替、プレキャスト床版、コッター床版

1. はじめに

東北自動車道 十和田 IC～碓ヶ関 IC 間は、1986 年の供用開始から 30 年以上が経過しており、その間、経年劣化や車両の大型化による影響、冬期の凍結防止剤散布による塩害や凍結融解の繰り返しなどにより老朽化が加速している。そこで、全国的に実施されている高速道路リニューアルプロジェクトの一環として、東北自動車道 陣場橋（上り線）の床版取替工事を実施した。本工事では、コッター床版を用いることで、安全・安心をさらに長期にわたり確保し、長寿命化を図ることを目的とした。

本報は、実績が少ない床版取替工事のため、本工事で検討した既設 PC 桁とコッター床版との接合部（以下、接合部）の構造についての設計方法と施工方法、及び導入を進めているコッター床版品質管理システム（KIS-C）について報告する。

主要工種：コンクリート構造物取壊し工 82m³

ウォータージェット工法 21m³

プレキャスト PC 床版架設工 11 枚

プレキャスト壁高欄設置工 70.7m 26BL

橋面防水工 294m²

橋面舗装工 282m²

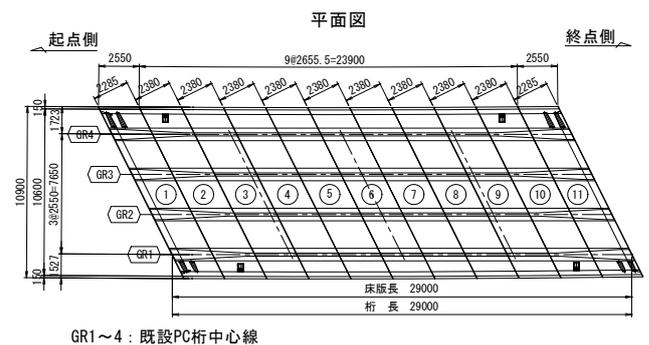


Fig. 1 床版割付平面図

2. 工事概要

工事全体の概要を Table 1 に示す。本工事は、Fig. 1 と Fig. 2 に示すような幅 2.360m（標準版）、長さ 11.771m～11.863m のコッター床版を橋梁の斜角なりに 11 枚製作し架設した（Photo. 9 参照）。このように、床版の 99% をプレキャスト化することで工期短縮と品質向上を図った。

Table 1 工事概要

工事名	東北自動車道 陣場橋床版修繕工事		
工事場所	秋田県鹿角市十和田毛馬内字南陣場地内		
発注者	東日本高速道路株式会社 東北支社		
施工	株式会社熊谷組 東北支店		
工期	2021年12月15日～2024年2月22日（800日間）		
上部工形式	PC単純合成桁橋		
橋長	29.070m	有効幅員	9.250m

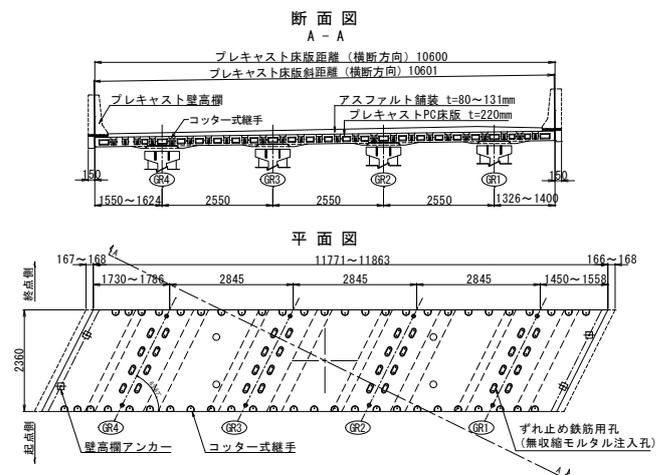


Fig. 2 構造一般図

*1 東北支店 土木部 陣場橋作業所
*2 土木事業本部 橋梁イノベーション事業部

3. 設計概要

PC合成桁橋は、桁と床版が一体となった合成断面で荷重に抵抗する構造形式であるので、コッター床版による床版取替後も桁と床版が完全剛結合とする必要がある。道路橋示方書Ⅲ(H24)¹⁾では、「桁と床版との付着が確保されるように、接合面のせん断応力度を算出し、許容せん断応力度を超えないことを照査する・・・(後略)」とある。このため、本橋は、桁とコッター床版の隙間に充填する無収縮モルタルにより桁と床版の付着を確保し、桁と床版の接合面に生じるせん断力に対して安全となるように設計した。

3. 1 桁と床版の接合部の構造

桁と床版の接合部の構造をFig.3に示す。

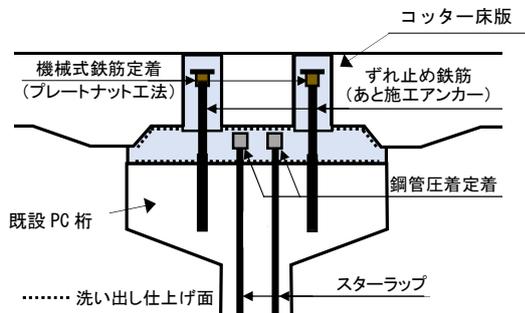


Fig. 3 桁と床版の接合部

3. 1. 1 桁と床版の付着確保

道路橋示方書Ⅲ(H24)の桁と床版の接合面のコンクリートの許容せん断応力度を算出するための付着係数は、洗い出し仕上げした場合を標準として想定している。このため、コッター床版の桁との接合面は、脱型後に洗い出し仕上げとし(Photo.1)、桁上フランジは、ウォータージェットによる洗い出し仕上げとした。これにより無収縮モルタルによる桁と床版の付着を確保することにした。

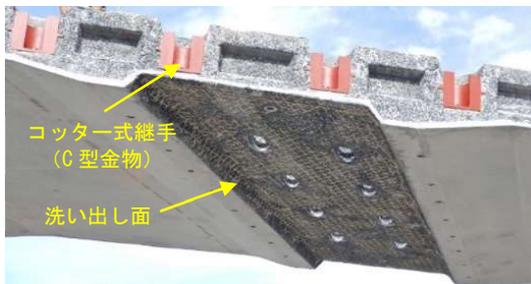


Photo. 1 コッター床版の接合面の洗い出し仕上げ

3. 1. 2 ずれ止め鉄筋

既設橋では、スターラップと上フランジ筋は、場所打ち床版上縁まで伸ばして、ずれ止め鉄筋として転用していたが、施工性を考慮して桁上フランジ上面で切断することとした。床版取替後は、新たに桁上フランジにあと施工

アンカーを打ち込み、桁と床版のずれ止め鉄筋とした。また、後述の設計方法で示すように、あと施工アンカーには引抜き力が作用するため、あと施工アンカーの上端は、プレートナット工法による機械式鉄筋定着とした。

3. 1. 3 スターラップの定着

切断したスターラップは、道路橋示方書Ⅲ(H24)のトラス理論によるせん断照査を満足させるため、トラス理論の圧縮弦材の範囲内となる桁上フランジと床版の間に鋼管圧着定着工法²⁾による機械式鉄筋定着とした。

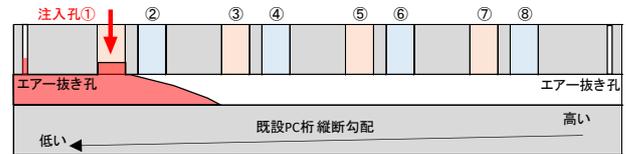
3. 2 桁と床版の合成構造の確認試験

無収縮モルタル充填による桁と床版の合成構造を確認するために実施した試験方法について述べる。

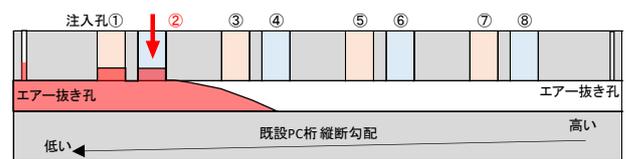
3. 2. 1 無収縮モルタルの充填性確認試験

充填した無収縮モルタルに、気泡などの空隙があると付着を確保することができないので、無収縮モルタルの充填性確認試験を行った。試験方法は、コッター床版と桁の接合面をモデル化した試験体を用いて、工事と同じ材料と手順で無収縮モルタル($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)を充填した(Fig.4, Photo.2)。試験の結果、Photo.3に示すように試験体を切断した断面および側面で、コンクリート版と無収縮モルタルの接合面には空隙などの隙間を目視で確認できなかったため、充填性は良好であった。

STEP-1: 注入孔①より無収縮モルタルを注入



STEP-2: 注入孔②より無収縮モルタルの立ち上がりを確認後、注入孔②より注入



※以降、注入孔③～⑧と順次繰り返し

※既設PC桁中心線に対して①③⑤⑦が床版左側、②④⑥⑧が床版右側

※無収縮モルタル注入孔①～⑧は、ずれ止め鉄筋用孔を使用

(Fig.2 構造一般図のうち、平面図参照)

Fig. 4 無収縮モルタルの充填性確認試験



Photo. 2 充填性試験状況

Photo. 3 切断面での充填確認

3. 2. 2 付着性能確認試験

無収縮モルタルと床版および桁の付着性能は、接合面の接着強度とせん断強度で評価した。供試体は、前述の無

収縮モルタルの充填性確認試験の試験体から Fig. 5 に示すように直径 100mm の円柱コアを採取して製作した。

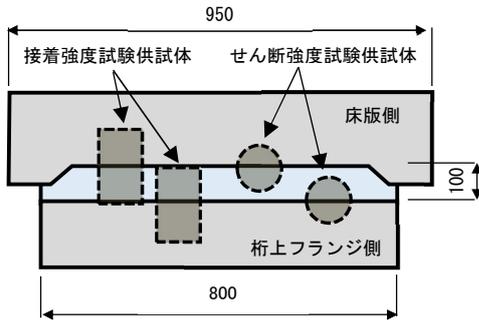


Fig. 5 供試体のコア削孔位置

(1) 接着強度試験

接着強度試験は、【NEXCO 試験方法 試験法 422-2004 (付着性能試験方法)】³⁾ に準じて試験を行った。接着面の接着強度の基準値は、構造物施工管理要領⁴⁾の断面修復の性能照査に規定されているコンクリートとの付着性の要求性能の基準値 1.5N/mm² 以上とした。試験の結果、接合面の接着強度は、基準値以上であった (Table 2)。

Table 2 接着強度試験結果

供試体タイプ	床版側モデル		桁側モデル		
	パイプの有無	なし	あり	なし	あり
接着強度 (N/mm ²)	①	1.77	1.87	2.03	2.25
	②	2.11	1.75	1.98	2.12
	③	2.11	1.65	1.82	1.97
平均		2.00	1.76	1.94	2.11
基準値		$\sigma_{ca} = 1.50$ 以上			

(2) せん断強度試験

接合面のせん断強度試験は、接合面をせん断破壊面とすることが容易にできる高野らの研究⁵⁾に準じて実施した。Fig. 6 に示す円柱供試体による一面せん断試験方法を採用した。一面せん断強度試験は、ダイヤモンドカッターで、接合面まで上下 2 本の水平方向の切込みを入れ、一軸圧縮試験機で荷重 (圧縮) を載荷し、破壊面で破壊する荷重を破壊面の面積で除して求めた。

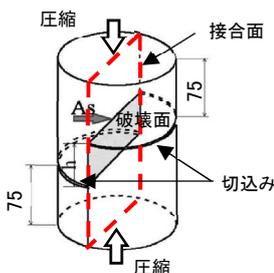


Fig. 6 一面せん断強度試験の供試体

道路橋示方書Ⅲ (H24) で規定されている接合面におけるコンクリートの許容せん断応力度と比較するため、コ

ンクリート標準示方書 設計編⁶⁾に基づいてせん断強度の試験値から設計強度を求めた。試験の結果、コンクリートの許容せん断応力度 ($\tau_{ba} = 0.03 \cdot \sigma_{ck} = 1.5 \text{ N/mm}^2$) 以上のせん断強度を確認した (Table 3)。

Table 3 せん断強度試験結果

供試体の種類	パイプの有無	せん断強度 (N/mm ²)		
		試験値の平均 (τ_m)	特性値 (τ_k)	設計強度 (τ_d)
床版側モデル	なし	5.25	4.06	3.12
	あり	5.79	5.60	4.30
桁側モデル	なし	6.41	5.91	4.55
	あり	5.70	5.01	3.85

3. 3 コッター床版の設計方法

3. 3. 1 断面力の算出方法

コッター床版と桁は、充填する無収縮モルタルによって付着し、完全剛結合となるので、床版合成後の死荷重による断面力は、Fig. 7 に示す桁と床版を一体化した連続ラーメン構造のフレーム解析により算出した。この場合、Fig. 8 に示すようにラーメン隅角部の剛域を考慮し、床版支点部の検討位置は剛域端部とした。

床版合成前の床版自重とプレストレス 2 次力による断面力は、連続梁から連続ラーメン構造への構造系変化による不静定 2 次力を考慮した。

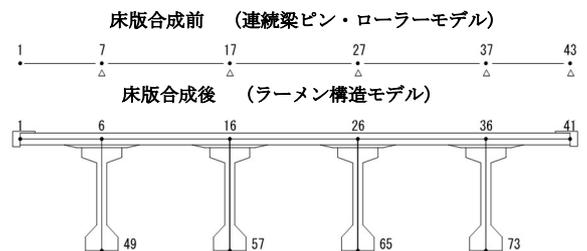


Fig. 7 フレーム解析モデル

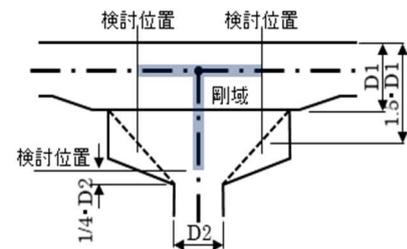


Fig. 8 ラーメン隅角部の剛域

3. 3. 2 あと施工アンカーの設計方法

床版取替後に配置するあと施工アンカーの鉄筋量は、道路橋示方書Ⅲ (H24) で規定されている接合面の用心鉄筋として、桁と床版の接合面の面積の 0.2% 以上とすること以外に、桁と床版の接合面に生じる曲げモーメントに対して、以下の方法により求めた必要鉄筋量以上を配置した。

1) あと施工アンカーの引抜き力 (T) とコンクリート支圧

力 (C) の釣合い式による方法

2) 接合面を鉄筋コンクリート断面として設計する方法

4. 施工方法

床版取替工事は、高速道路の上下線を対面通行規制で行う。本工事を場所打ち床版による床版打替え工法で施工した場合、規制期間は 100 日間と試算されていたが、コッター床版を用いることでこれを 50 日間に短縮した。ここでは、その施工方法について述べる。

4. 1 施工手順

本工事の施工フローを Fig.9 に示す。工程短縮を図るため、中央分離帯規制時に既設床版の撤去などの先行施工を実施した。

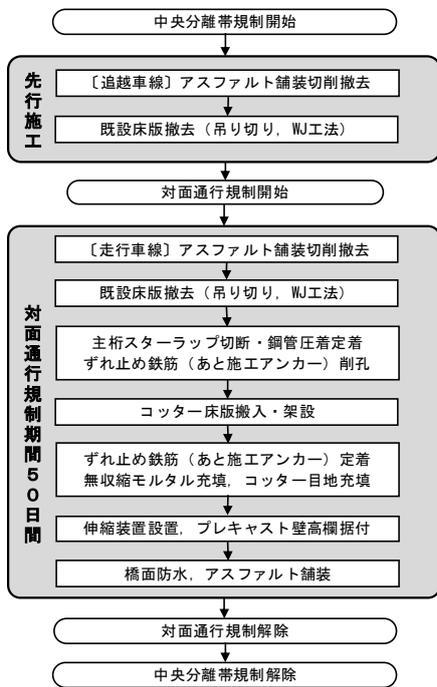


Fig.9 施工フロー

4. 2 既設床版の撤去

本橋は、PC 単純合成桁橋のため、既設床版撤去後の施工中の断面では、揚重機のアウトリガー反力が載荷されると荷重超過となる。このため揚重機を全て橋台背面に設置して施工を行った。

既設床版撤去は、工程短縮を図るため橋台背面の両側に 100t ラフタークレーン (以下、100tRC) を設置して作業を行った (Photo.4)。

撤去方法は、Fig.10 に示すように主桁間および張出部の床版については、100tRC による吊り切りによる方法とし (Photo.5 (1))、主桁上部の床版についてはウォータージェット工法 (以下、WJ 工法) による方法を用いた (Photo.5 (2))。

なお、吊り切り撤去のブロック寸法は、100tRC の作業能力より 1 ブロック当り 6t (吊台具含む) 以下とし、橋

軸方向の切断長さを、中間床版で 5m 以下、壁高欄で 3.5m 以下とした。



Photo.4 既設床版撤去状況

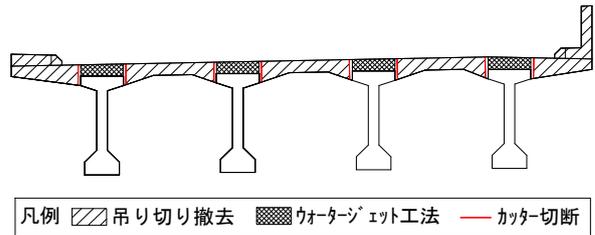


Fig.10 既設床版撤去図



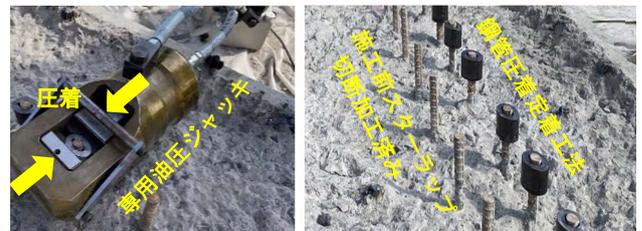
(1) 床版吊り切り (2) WJ 工法

Photo.5 既設床版の撤去方法

4. 3 接合部の施工方法

4. 3. 1 スターラップの機械式鉄筋定着

既設床版の撤去後にスターラップ (D16) を所定の高さで切断した。ここでは、フック定着の代わりに、鋼管圧着定着工法を採用した。本工法は、鋼管 ($\phi 40 \times t10$ $L=35\text{mm}$) を Photo.6 (1) に示す専用油圧ジャッキで圧着し、機械式鉄筋定着 (Photo.6 (2)) とするものである。



(1) 専用油圧ジャッキ (2) 鋼管圧着定着工法

Photo.6 スターラップの機械式鉄筋定着

4. 3. 2 ずれ止め鉄筋の配置

スターラップを桁上フランジ上側で切断したため、桁

と床版のずれ止め鉄筋(D19)は、あと施工アンカーとし、Photo.7に示すように、床版の箱抜きに2本ずつ配置した。

あと施工アンカーは、床版架設の作業性を考慮して床版架設後に設置した(Photo.8(2))。ただし、削孔は、工程短縮のため床版架設前に桁上フランジにマーキングし、桁の埋め込まれた鉄筋に干渉しない位置で所定の定着深さを確保して行った(Photo.8(1))。

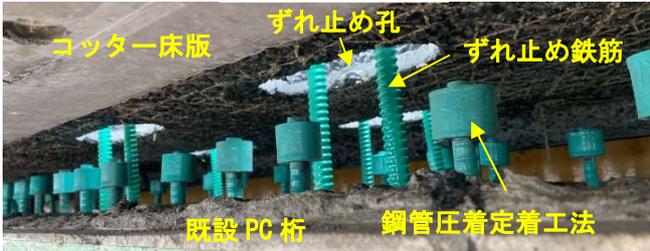


Photo. 7 ずれ止め鉄筋施工完了



(1) 削孔状況 (2) 鉄筋挿入・エポキシ樹脂注入
Photo. 8 あと施工アンカーの施工状況

4. 4 コッター床版の施工

4. 4. 1 コッター床版の架設

床版架設は、220t オールテレーンクレーン(以下、220tATC)を使用した。Fig. 11に示すように、220tATCは、橋台背面に設置し、設置方向は車両進行方向とした。床版架設は、進行方向手前のA2橋台側から行った。A2橋台側からの床版架設は、クレーン車の運転席越しの施工とな

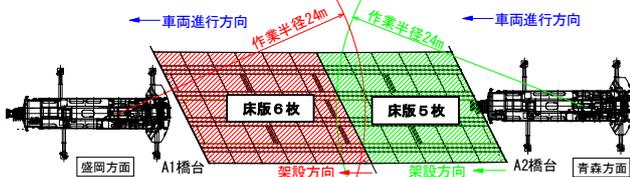


Fig. 11 床版架設平面図



Photo. 9 コッター床版架設状況

るため、作業半径の中心が橋梁本体から離れる。そのため、A2橋台側は5枚、A1橋台側は6枚の床版を架設することとした。コッター床版の架設状況をPhoto.9に示す。

4. 4. 2 コッター床版の連結

コッター床版の連結は、床版を所定の位置に据付後、Photo.10に示すように、予め床版内に埋め込まれたC型金物にH型金物を落とし込む⁷⁾。次にPhoto.11に示すように、ボルト2本を所定のトルク(150N・m)で締付けることでH型金物が隣同士の版を引き寄せ、床版を一体化させる。コッター式継手は目地1列当たり25個配置した⁸⁾。

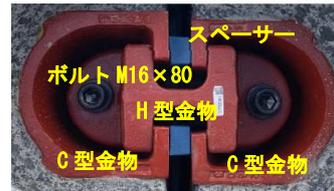


Photo. 10 コッター式継手の配置



Photo. 11 ボルト締付け

4. 4. 3 無収縮モルタルの充填

コッター床版架設後、桁とコッター床版との隙間に無収縮モルタルを充填し(Photo.12)、桁と床版を完全剛結合とした。本工事は、無収縮モルタルの付着性能が構造上重要な要素となるので、一般的に使用されている無収縮モルタルの止め型枠用のソールスポンジは使用せず、Photo.13に示すように木製型枠を使用し、脱枠後に充填状況の確認を目視で行った。なお、無収縮モルタルの付着効果を高めるため床版架設直前に吸水調整材を桁とコッター床版の接合面に塗布している。



Photo. 12 無収縮モルタル充填



Photo. 13 型枠組立状況

4. 4. 4 コッター床版目地の施工

無収縮モルタル充填完了後、コッター床版継手目地(t=20mm)の充填を行った。床版架設前に目地底面に型枠用スポンジ(巾10mm×厚25mm)を貼り付けることで、目地下面の型枠を不要とした。使用する目地材は、剥落防止を目的とした有機短繊維入りの専用材料を使用する。

目地材の吸水防止と接着力増強のため、充填前に吸水防止剤を床版継手面に塗布する。充填作業は、Photo.14に示すようにコッター式継手部から行った。充填完了後は、コテ仕上げを行う前に高機能仕上げ補助・初期塗膜養生剤を塗布することで、目地材の品質向上を図った。



Photo. 14 目地材充填



Photo. 17 床版取替完了

4. 5 壁高欄の施工

4. 5. 1 壁高欄の据付

工程短縮のため壁高欄は、プレキャスト製品を使用した。本工事では、コッター床版同様 1 ブロック毎に取替可能な EMC 壁高欄を採用し、床版と同じ割付とした。EMC 壁高欄は、Fig. 12 に示すように予め床版に埋め込まれたアンカーボルト (M20) で固定し、壁高欄同士は Fig. 13 に示す連結ボルト (M16×2 本) で固定する構造となっている。据付は、A1, A2 橋台背面に 70t ラフタークレーンを設置して行った (Photo. 15)。

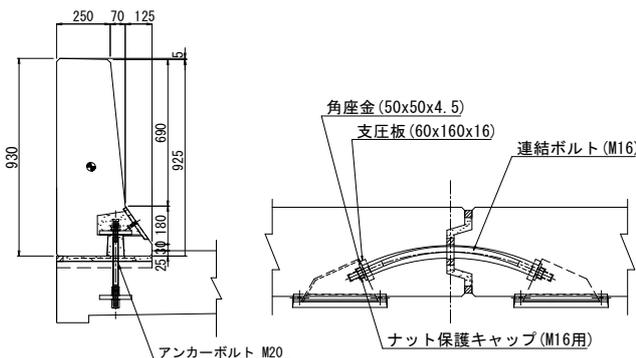


Fig. 12 壁高欄断面図

Fig. 13 連結部詳細図

4. 5. 2 壁高欄の目地の施工

最初に、壁高欄と床版との水平目地に無収縮モルタルを充填する (Photo. 16)。無収縮モルタル硬化後、アンカーボルト (M20) を締付けて床版と固定する。次に、壁高欄の縦目地に無収縮モルタルを充填した後、連結ボルト (M16) を締付けて壁高欄を一体化させる。最後にアンカーボルト及び連結ボルト部の開口部を無収縮モルタルで充填して完了となる。Photo. 17 に完了写真を示す。



Photo. 15 壁高欄据付



Photo. 16 無収縮モルタル充填

5. コッター床版品質管理システム

5. 1 概要

コッター床版品質管理システム (KIS-C: Kumagaigumi Information System for Cotter Slab) は、コッター床版に使用する各種部材の製造工場 (コッター式継手製造工場, コッター床版製造工場) と施工現場の間で、Fig. 14 に示すように製品の流れに合わせて情報共有することで、施工全体の最適化を図るサプライチェーンマネジメントシステムである。

KIS-C の導入効果は、以下のとおりである。

- 1) サプライチェーンマネジメントによる製造工場と施工現場間の連携強化、施工全体の最適化を図ることができる。
- 2) 部材の製造番号と品質管理情報を紐づけることでトレーサビリティ管理が可能となり、維持管理において製造品質の信頼性が向上する。
- 3) クラウドを活用することで、品質管理情報を一元管理することができる。
- 4) CIM を活用することで、製造工場と施工現場間の迅速な情報共有、合意形成の迅速化が可能となる。

5. 2 陣場橋床版修繕工事における運用

本工事における、KIS-C の運用について報告する。

(1) 品質管理情報の一元化

これまで製造工場では、製造時の品質管理資料を紙で作成し提出していた。本工事では、製造工場が指定されたクラウド上に品質管理情報を電子データとして保存することで、紙でのやり取りをなくした。施工現場では、クラウドを介して、この品質管理情報を閲覧またはダウンロードすることができ、その日に納入される部材の品質確認等に利用した。このように情報を一元管理することで、リアルタイムの情報共有を可能とした。

(2) 締付けボルトのトルク値管理

コッター式継手の施工時の品質確認は、締付けボルトのトルク値により行う。

KIS-C では、トルクレンチで計測したトルク値は、タブレットを通じてクラウド上に自動保存される。このため、従来のように野帳への記録やデータの再入力が必要とな

り、人為的ミス無くすとともに、業務の効率化を図った。締付けボルトのトルク値管理の状況を Photo. 18 に示す。

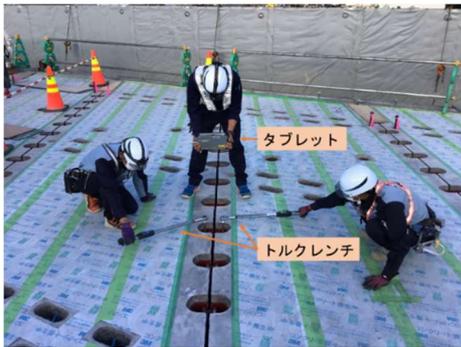


Photo. 18 締付けボルトのトルク値管理状況

(3) トレーサビリティ管理

Fig. 15 に示すように、タブレットによる写真撮影により、コッター式継手の位置情報と製造番号を記録する。コッター式継手の C 型金物は刻印された製造番号をリストから選択し、H 型金物は QR コードから製造番号を読み取る。これにより、全てのコッター式継手は、位置情報とともに製造番号に対応する品質管理情報が紐づけられる。その結果、コッター式継手の製造から工事完了までの品質情報が追跡できるようになり、維持管理業務の効率化、トレーサビリティ管理に役立てることができる。

(4) 情報管理方法

コッター床版とコッター式継手は、KIS-C の情報管理画面において Fig. 16 のように模式図で表示される。情報管理画面上で確認したいコッター床版またはコッター式継手を選択すると、その部材の品質管理情報を閲覧および出力することができる。

KIS-C は、ネット環境さえ整ってれば、時間、場所を問わず使用できるため、屋外での作業中や立会検査時にも必要な資料を閲覧することができ、検査業務の効率化も図ることができる。

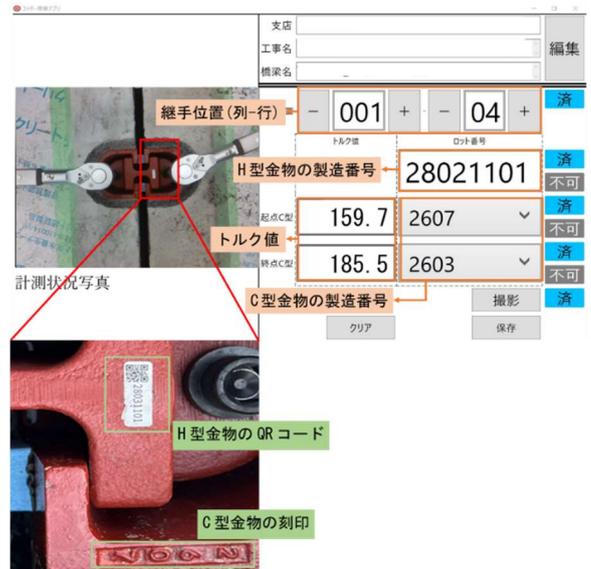


Fig. 15 タブレット画面 (締付けトルク値管理)

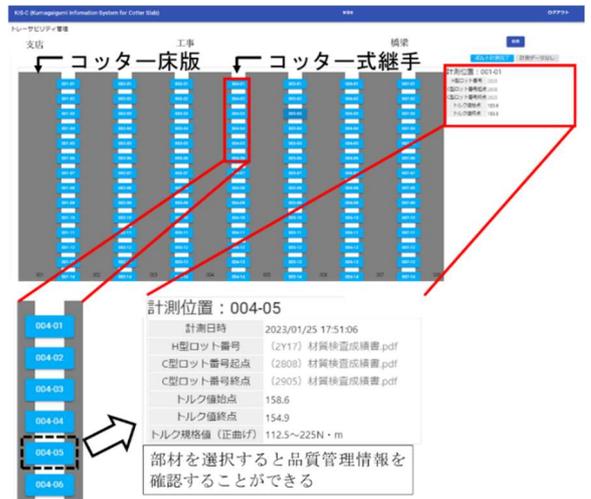


Fig. 16 KIS-C 管理画面

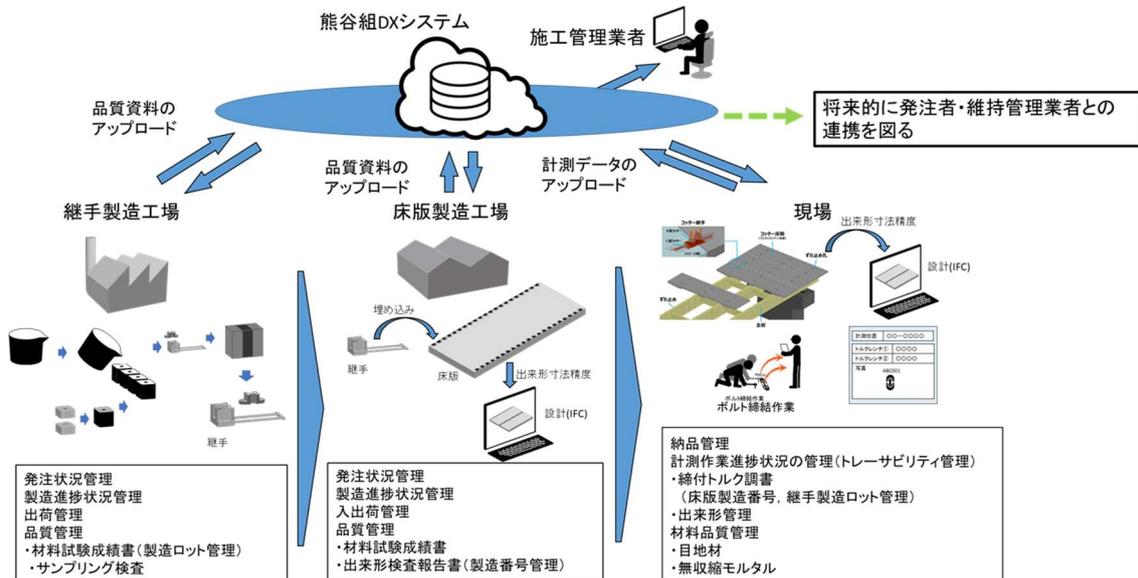


Fig. 14 KIS-C システム構成

5. 3 導入効果

本工事で KIS-C を導入した結果、以下の効果を確認した。

- 1) クラウドを活用したことで、各部材の品質管理情報を一元管理することができ、紙による書類管理や書類作成の煩雑さが解消された。
- 2) 締付けボルトのトルク値計測、データ整理および調書作成は、1 日施工量（床版取替 6 枚）あたり、従来では約 90 分を要していたが、KIS-C を導入することで、約 45 分に短縮することができ、50%程度の省力化を図ることができた。

6. まとめ

本報では、PC 合成桁橋におけるコッター床版の施工報告を主題とし、以下を確認することができた。

- 1) PC 合成桁橋への適用
既設桁とプレキャストPC床版の接続部に無収縮モルタルを充填することで、所定の付着力以上を確保し、桁と床版が一体となった合成構造とすることができた。
- 2) 工程短縮
コッター床版を採用することで、場所打ち床版と比較して、規制期間を100日から50日と大幅に短縮できた。
- 3) コッター床版の品質管理
品質管理情報をクラウド上で一元管理するとともに、部材のトレーサビリティを可能とした。

謝辞

本工事において、発注者の皆様をはじめ、協力業者の方々、当社土木 DX 推進部のご支援・ご協力を得て、無事故無災害で竣工を迎えることができ、ここに深く感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編, p. 259, 2012. 4
- 2) 学校法人金沢工業大学, 中日本高速道路株式会社, オリエンタル白石株式会社: 特許 6845456, コンクリート橋のプレキャスト床版への取替方法, 登録日 2021. 3. 2
- 3) 東日本高速道路株式会社: NEXCO 試験方法 第 4 編 構造関係試験方法, pp. 26-28, 2020. 7
- 4) 東日本高速道路株式会社: 構造物施工管理要領, pp. III-38-III-40, 2020. 7
- 5) 高野真希子ほか: コンクリートの実用せん断強度の定式化と RC はりのせん断圧縮破壊強度算定への適用性, 日本大学生産工学部研究報告 A, 第 36 巻第 1 号, pp. 41-47, 2003. 6
- 6) 土木学会: コンクリート標準示方書 設計編, pp. 36-37, 2017
- 7) 髯谷亮太, 町屋孝浩, 高瀬忍, 尾花英俊, 川辰克世: 「コッター床版工法」による橋梁床版取替工事—NEXCO 東日本 高速道路リニューアルプロジェクト—, 熊谷組技術研究報告, 第 79 号, p. 42, 2021. 2
- 8) 高瀬忍, 庄司啓明, 永根史規, 田中清治: PC 単純合成桁橋における床版取替工事の施工, 令和 4 年度土木学会東北支部技術発表会

Slab replacement work with cotter slabs in PC composite girder: Tohoku Expressway, Jinba Bridge slab repair work

Shinobu TAKASE, Shinya YOSHIMATSU, Chieko KAKU, Hiroaki SHOJI and Hidetoshi OBANA

Abstract

In conventional slab repair work for PC composite girders, new cast-in-place slabs are installed after removing existing slabs. However, to shorten the process, we adopted slab replacement work using precast PC slabs with cotter type joints (“cotter slabs” hereinafter). The track record for slab repair work with precast PC slabs for PC composite girders is quite limited in Japan; this work marked the third case in Japan. This paper reports on the design summary, construction method, and application results of the newly introduced Kumagaigumi Information System for Cotter Slab (KIS-C).

Keywords:

PC composite girder, slab replacement, precast slab, cotter slab
