

コッター式継手を用いた橋梁用プレキャストPC床版の設計・施工技術（コッター床版工法）の開発

土木事業本部 橋梁イノベーション事業部 渡邊輝康

● はじめに

熊谷組、ガイアート、オリエンタル白石、ジオスターは、劣化損傷した道路橋 RC 床版の取替として、コッター式継手を用いて接合部幅を 20mm まで削減した橋梁用プレキャスト PC 床版の設計・施工技術（以下、コッター床版工法と記す）を開発し、高速道路等で施工実績を積み重ねてきた。

本稿ではコッター床版工法の概要を報告する。

● 工法の概要

(1) 概要

コッター床版工法は、パネルを20mmの間隔（目地）を設けて架設し、機械式継手であるコッター式継手で締結した後、耐久性の高い専用目地材を充填してパネル同士を接合する工法である（Fig.1）。ここでコッター式継手は、定着筋を有するC型金物（以下、「C型金物」という）とH型金物で構成される（Photo.1）。C型金物は、PC板（パネル）製造工場において間隔50cmでパネルに埋め込まれ現地に搬入される。H型金物は、パネル架設後に向かい合うC型金物凹部内に挿入し、ボルトで締付け押し込み嵌合してパネルを締結する部材である。

(2) 設計

コッター式継手の材質は、鋳造性が良く耐候性鋼と同等の腐食抵抗性を有する球状黒鉛鋳鉄（FCD600-3）を採用した（Photo.2, Fig.2¹⁾）。

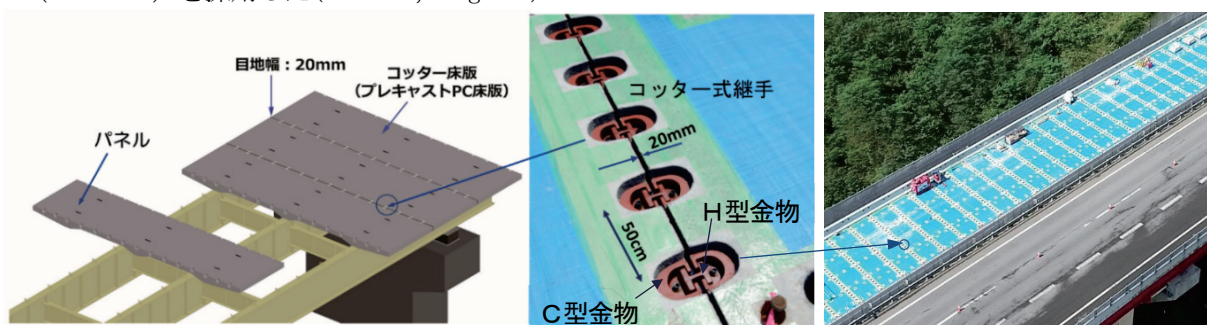


Fig.1 コッター床版工法概要

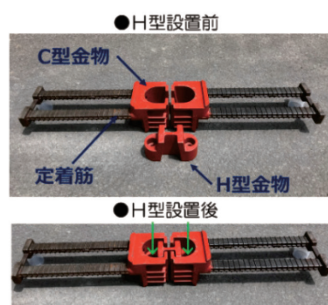


Photo.1 コッター式継手



Photo.2 継手鋳造状況

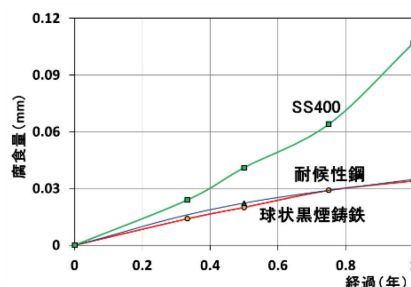


Fig.2 腐食量の比較 (宮古島)

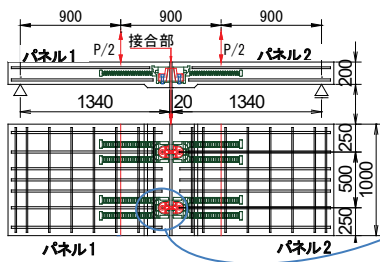
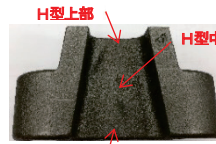
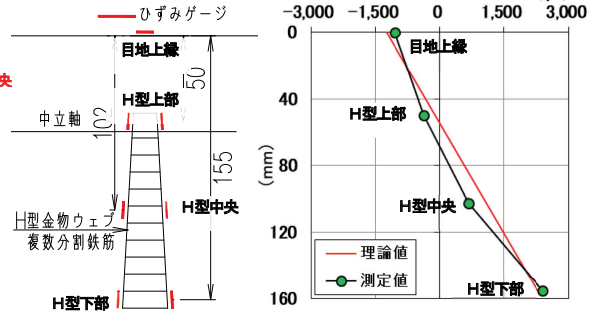


Fig. 3 曲げ試験



●H型ウェブ
ひずみ測定位置

(左図) 測定位置



(右図) 測定結果

Fig. 4 接合部ひずみ分布

また、接合部の設計法は以下の実験を通じて決定した。Fig. 3に示すように2枚のパネルを2個のコッター式継手で締結し、目地材を充填して接合した試験体に単純支持、2点載荷した曲げ試験を行った。なお、圧縮強度はパネル 63N/mm^2 、目地 72N/mm^2 であった。その際、Fig. 4（左図）に示すように目地上縁と連結材であるH型金物ウェブ（上、中、下）のひずみを測定した。この接合部のひずみ分布を（右図）に示す。図より測定値は理論値と同じくほぼ線形を保ち、鉄筋コンクリートと同様に“平面保持”が成立する。これにより、（左図）に示すように接合部は目地材を圧縮抵抗材、H型金物のウェブを複數に分割された鉄筋と見立てたRC断面として設計することとした²⁾。

(3) 製造, 施工手順

コッター床版工法はPhoto. 3に示す手順で製造、施工する。まず工場内で雌方のC型金物を埋め込み突起の無い直方体でパネルを製造する(STEP1)。次に現地で先に架設したパネルにスペーサーを取付け(STEP2)、これを定規にして20mmの間隔（目地）を設け、橋軸および直角方向に微調整できる引寄せ治具（Photo. 4）を用いて後続パネルを架設する(STEP3)。その後向かい合うC型金物凹部内に雄方のH型金物を挿入(STEP4)、ボルト締付けで締結（嵌合：STEP5, 6）、最後に専用目地材を充填(STEP8)しパネル同士を接合する。なお、パネルの接合はトルクレンチ、ハンドミキサー等の汎用機械で施工できる。

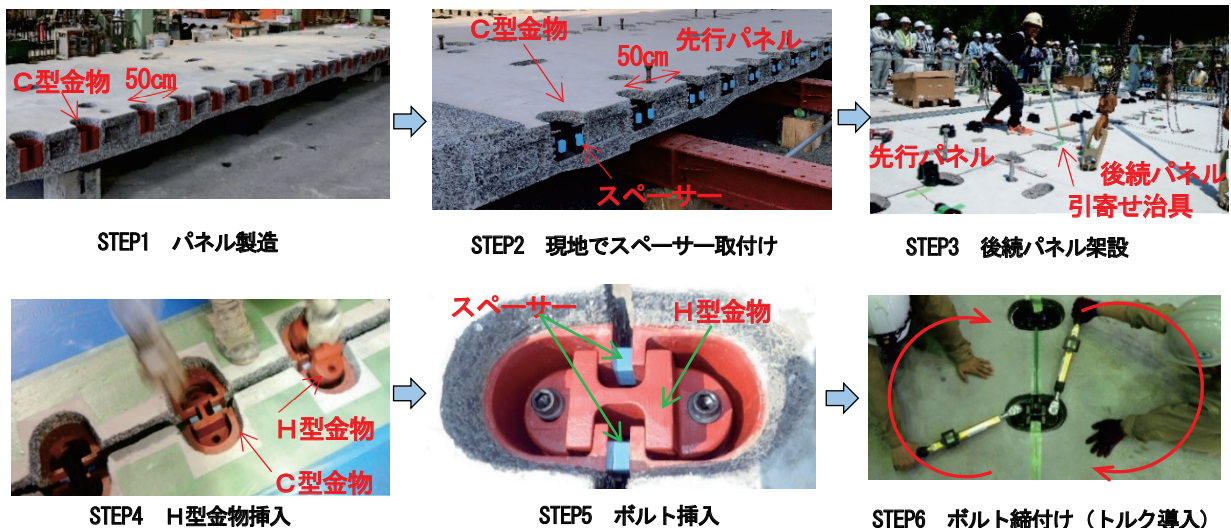


Photo. 3 コッター床版工法施工手順（その1）



STEP7 床版と鋼桁との接合



STEP8 目地材充填

Photo.3 コッター床版工法施工手順 (その2)



Photo.4 引寄せ治具

(4) 接合原理

Fig. 5に示す継手断面図を用いてコッター床版工法の接合原理を説明する。なお、STEP番号はPhoto. 3に合わせている。STEP4に示すようにコッター式継手のC型金物、H型金物の接触面は傾斜を有する。このためSTEP6に示すようにボルトで締付けることでH型金物は押込まれるが、スペーサーが支持点となるためパネルは移動すること無く堅固に締結される。その後、専用目地材を充填し接合が完了する。なお、H型金物に生じる締結力Hは、Fig. 6に示す力の釣合いモデルより次式で表される。

$$H = \frac{M_t}{KD} \times \frac{(1 - \mu \tan \theta)}{(\mu + \tan \theta)}$$

ここに、Mt：締付けトルク、K：トルク係数、D：ボルト径、θ：傾斜角、μ：摩擦係数、N：ボルト軸力=Mt / (K×D)、P：反力

誘導した理論値と計測値の比較をFig. 7に示す。図より、理論値と計測値は高い相関 (決定係数：R²=0.99) を有し、現地では締付けトルクを管理すれば、H型金物に所要の締結力を導入可能である。また、同図よりパネルの摩擦抵抗抗力(20kN)を超えた大きな締結力(148kN)が導入できる。

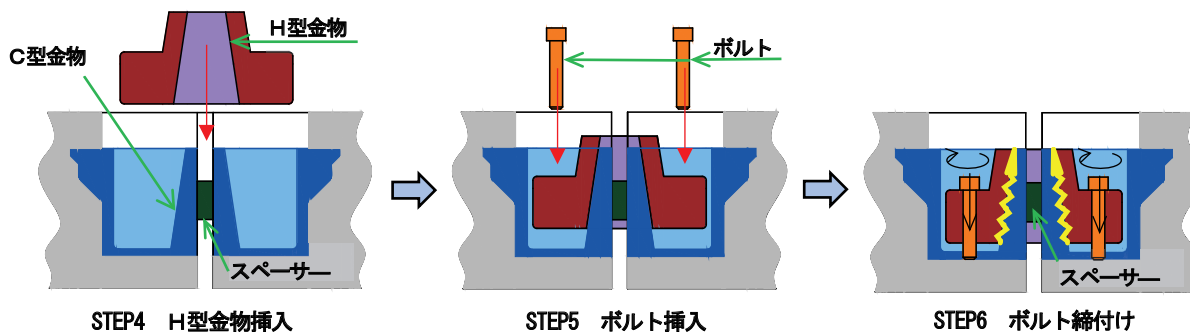


Fig. 5 コッター床版工法接合原理

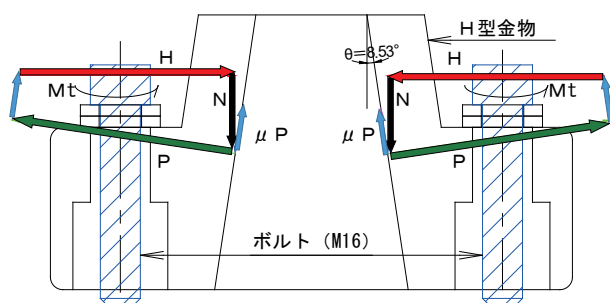


Fig. 6 継手締結時の力の釣合いモデル

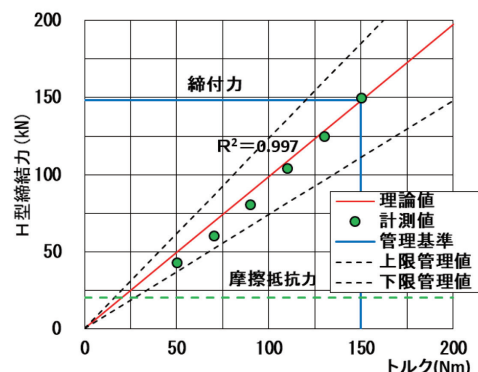


Fig. 7 理論値と計測値の比較

(5) 専用目地材の開発

取替用 PC 床版の接合部もパネルと同様に高い耐久性が求められる。これはコッター床版も同様であり、耐久性に加え、狭い接合部（目地幅 20mm）での充填性等良好な作業性を有する目地材を開発した。

1) 材料の種類

目地材は、床版接合用の現場打ちコンクリート（早強セメントの 50%を高炉スラグ微粉末 6000 に置換し、膨張材を 20kg/m³混和）に改良を加えた通常施工型（対面交通規制等工期の長い工事用）と、速硬性材料を用いた急速施工型（夜間通行止め・日中交通開放する工事用）の 2 タイプを開発した。また、それぞれに耐久性向上を目的に 7 号砕石(max5mm)と、短繊維（ポリプロピレン 0.1vol%）等を添加した。

2) 強度発現特性

材齢と圧縮強度の関係を Fig. 8 に示す。通常施工型は現場打ちコンクリートと同様な硬化傾向を示し、急速施工型は 1 時間強度で 30N/mm²以上を確保できる。

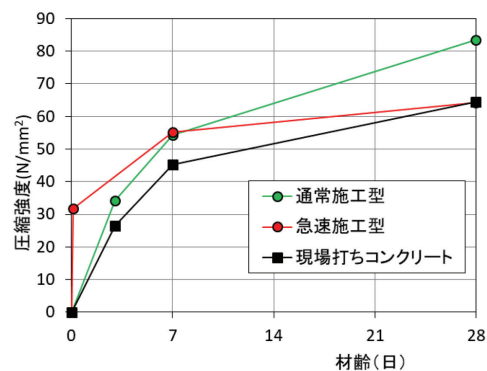


Fig. 8 材齢と圧縮強度の関係

3) 充填性

Photo. 5 に示すようにいずれもフロー値（JHS313）は 200mm 以上、かつブリーディングも生じない。特に通常施工型は、練混ぜ 1 時間後でもフロー値の低下は少ない。また、Photo. 6 に示す試験体の切断観察でも接合部に加え継手の隅々まで目地材が充填されることを確認した。

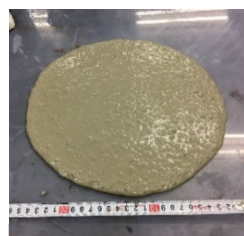


Photo. 5 フロー試験 (JHS313)



Photo. 6 切断観察 (充填性確認)

4) 収縮抵抗性

長さ変化試験（JIA A 1129）結果を Fig. 9 に示す。いずれのタイプも現場打ちコンクリートより収縮ひずみ ϵ を 40%低減した。

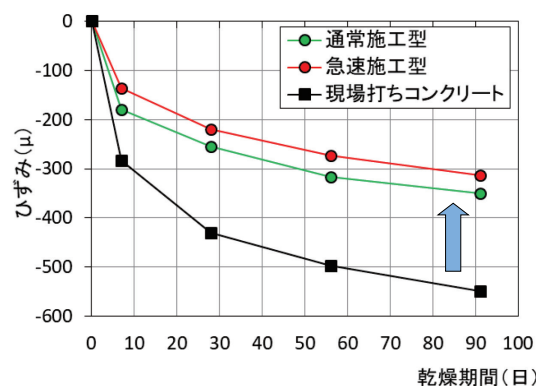


Fig. 9 乾燥期間と長さ変化の関係

5) 塩害抵抗性

電気泳動試験（JSCE-G571-2013）結果を Fig. 10 に示す。現場打ちコンクリートに比べ実効拡散係数を通常施工型で 35%，急速施工型で 99%低減した。

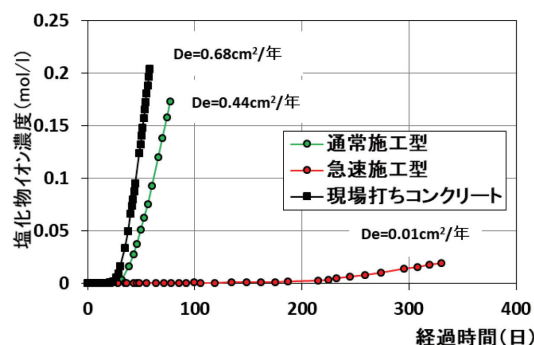


Fig. 10 陽極における経過時間と塩化物イオン濃度の関係

6) 耐凍害性

凍結融解試験（JIS A 1148）結果を Fig. 11 に示す。

相対動弾性係数はいずれも土木学会基準（60%）を満足する。また質量減少率はいずれも 0%であった。

7) アルカリ骨材反応対策

骨材はアルカリシリカ反応性試験で無害と確認された7号砕石を絶対乾燥状態で袋詰めして現地に搬入する。

8) 剥落防止対策

Photo. 7 に示す剥落防止効果（（社）日本鉄道施設協会「合成繊維の添加による剥落防止効果（打撃試験）」：打撃回数比8以上）が確認された短繊維を混和（0.1vol%）するとともに、Fig. 12 に示すように目地幅を下端で絞り込むことで物理的に剥落防止を図っている。

9) 疲労抵抗性

Photo. 8 に示す輪荷重走行試験（2016年実施、耐用年数100年相当）や、Photo. 9 に示す試験施工（中国自動車道）³⁾でも接合部にひび割れは生じていない。

10) 施工性

①荷姿（Photo. 10）：全ての材料を計量袋詰めで現地搬入する。特に通常施工型は全ての材料を混合袋詰めする。このため、サイロ等新たな貯蔵設備は不要である。②使用機械（Photo. 11）：床版合成工（無収縮モルタル）で使用する汎用型ハンドミキサーで練混ぜでき、新たな機械は不要である。③練混ぜ：プレミックスした粉体・骨材に所定の水量を添加するだけで簡単に製造できる。また現地では練混ぜ時間の管理のみで高品質な性能を確保できる。④充填作業：接合部幅が従来工法に比べ狭く打設数量が少ない。

このため、Photo. 12 に示すようにポンプ車、配管等の設備は不要であり、また充填性が良くバイブレータも不要である。

(6) 既存技術との違い

取替用のパネルは、運搬の際、道路交通法の制約より製品幅が2.5m以内に制限される。ここで、従来

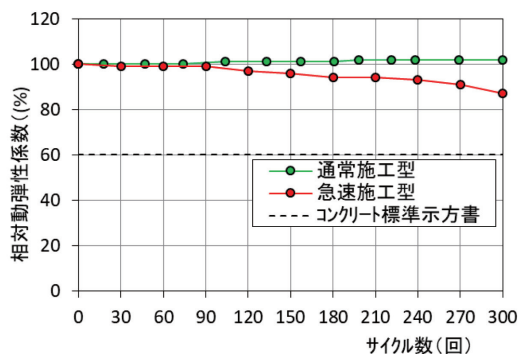


Fig. 11 サイクル数と相対動弾性係数の関係



Photo. 7 短繊維 (ポリプロピレン)

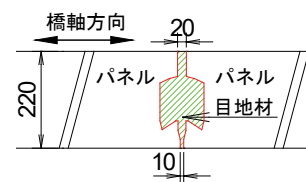


Fig. 12 目地形状による剥落防止対策



Photo. 8 輪荷重走行試験



Photo. 9 試験施工



Photo. 10 荷姿 (通常型)



Photo. 11 練混ぜ状況



●従来工法



●コッター床版工法

Photo. 12 接合部作業の比較

工法(ループ継手)と比較しながらコッター床版工法の特長を以下に記す(Table 1, Fig. 13, Photo. 13, 14).

1) 従来工法の課題

従来工法ではパネル同士の接合は突出した鉄筋の重ね継手となるため、パネルは鉄筋が突出した状態で製造される。このため、300~400mm程度の接合部が床版面積の約20%を占め、その分パネル部分が狭くなる。またこの接合部は現場打ちであることや、プレストレスが導入されないことから、RC床版と同様に耐久性に十分な配慮が必要である。加えて、接合には鉄筋・型枠・支保工・コンクリート打込み作業が必要であり、工程短縮、省人化の阻害要因となる。

2) コッター床版工法の特長

本工法の場合、前述のように鉄筋等の突出がない直方体でパネルが製造される。そしてパネル同士を機械的に締結するため、接合部の幅は20mmで済みパネル部分が床版面積の99%を占める。また接合には鉄筋・型枠・支保工・コンクリート打込み作業が無く、安全かつ簡便なボルト締付け・目地材充填作業で完了する。

Table 1 従来工法とコッター床版工法の比較

	従来工法 (ループ継手)	コッター床版工法
継手原理	重ね継手	機械式継手
接合部幅	300~400mm	20mm
パネル部分	狭い	広い
鉄筋・型枠・支保工	必要	不要

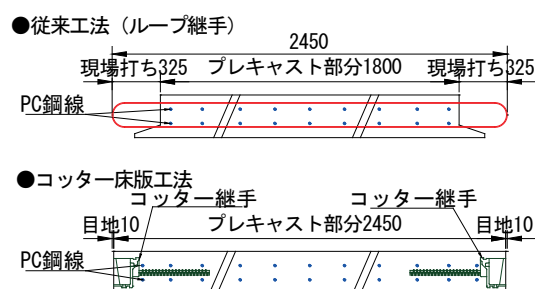


Fig. 13 橋軸方向の床版寸法の比較

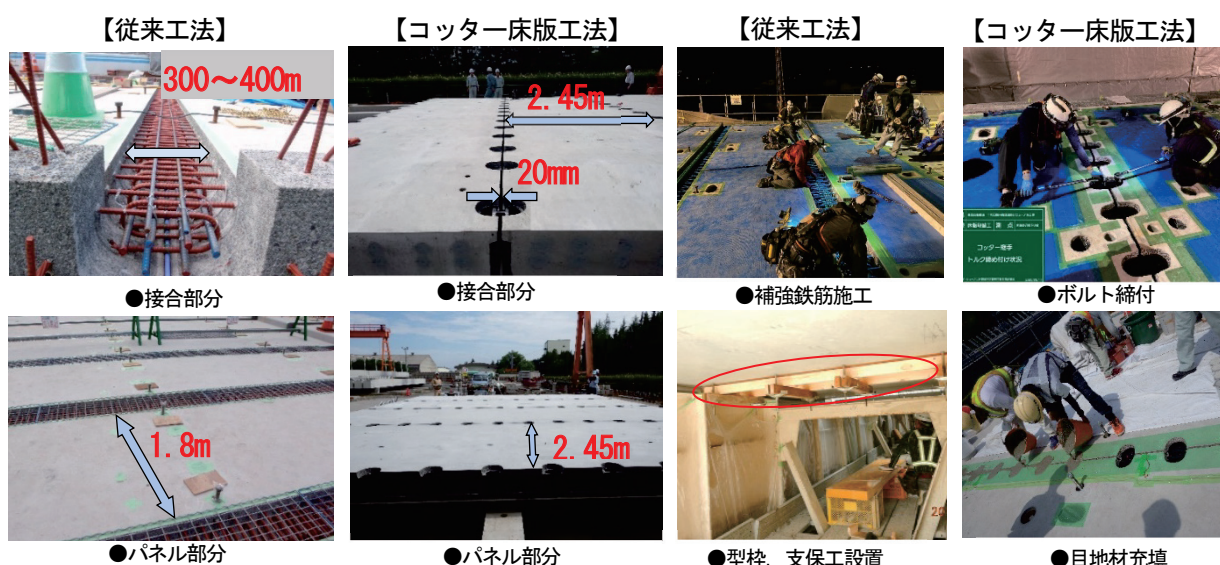


Photo. 13 接合部分とパネル部分の比較

Photo. 14 作業工程の比較

3) コッター床版工法の効果

i) 工程短縮

現地作業は鉄筋、型枠、支保工作業が無く、ボルト締付けと目地材充填の軽作業で済むため、床版設置期間を46%低減できる (Fig. 14).

ii) 省人化、熟練工不要

同様に、人員数は従来工法に対して60%低減でき、また熟練工が不要である (Fig. 15).

iii) 安全性向上

コッター床版工法の施工は、災害発生頻度の高い鉄筋、型枠、支保工作業が無く、軽作業で済むため、労働災害リスクの低減が可能である。加えて、鉄筋、型枠、支保工の仮置き場が不要で現場内が片付き、開口部が少なく資材運搬も容易になる等、狭隘な橋面での作業環境が大きく改善される (Photo. 15).

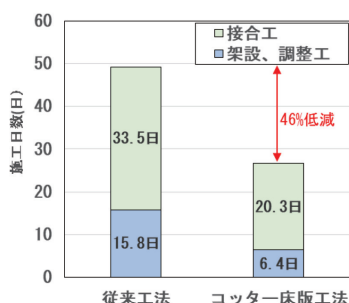


Fig. 14 施工日数の比較

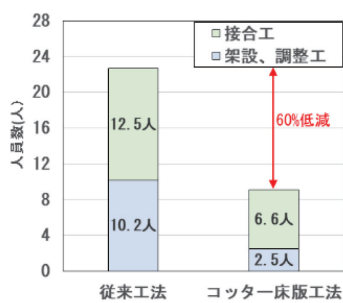


Fig. 15 人員数の比較



Photo. 15 コッター床版工法作業環境

iv) 品質向上

床版面積の99%をプレキャスト化できることは、現場打ちRC接合部に比べ高い品質管理が可能な工場製造で、プレストレスが導入されたパネルの割合が高いことを意味する。また、Fig. 16に示すようにパネルが長いため、従来工法より接合部の数を13%少なくできる。さらに、接合部幅が狭いため、Fig. 17に示すように輪荷重に対して従来工法に比べ荷重の大半をパネル部分で負担し、接合部の負担が少ない。加えて、Fig. 9に記したように目地材の収縮特性(40%低減)と併せて、従来工法に比べ接合部の橋軸方向収縮量 δ の低減が可能である。同様に、橋軸直角方向についても収縮を抑制できるため、Photo. 16に示すような従来工法に生じ易い橋軸方向のひび割れリスクを抑制できる。このようにコッター床版は、より安定した品質の確保、耐力、耐久性の向上に寄与する。

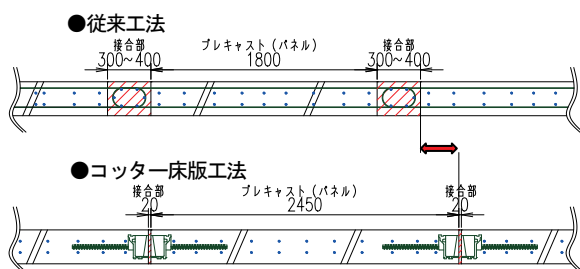


Fig. 16 橋軸方向の床版長さの比較

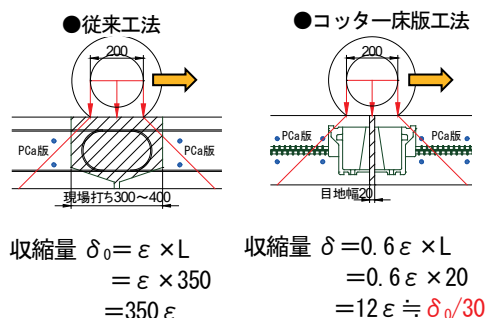


Fig. 17 橋軸方向収縮量の比較

v) SDGs への対応

目地材充填に際し型枠が不要なため廃棄物を大幅に削減できることから、地球環境にも配慮している。

vi) 維持管理性

コッター床版工法は維持管理の面にも配慮している。

Fig. 18 に示すように将来事故等で床版の一部に損傷が生じた場合でも、鉄筋の突出が無いいため、損傷したパネルの接合部でH型金物を含めてコッター切断し、新しいパネルと置き換え接合することで、容易に床版の部分的な取替が可能である。

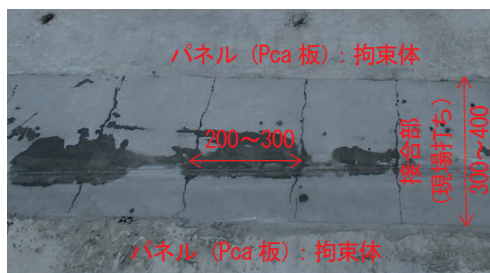


Photo. 16 従来工法橋軸方向ひび割れ

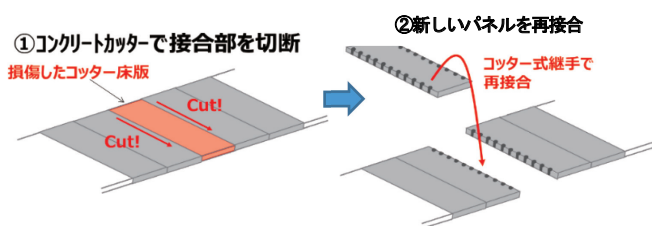


Fig. 18 コッター床版工法取替概要

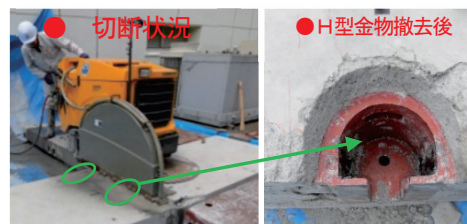


Photo. 17 取替性確認試験

● 施工実績

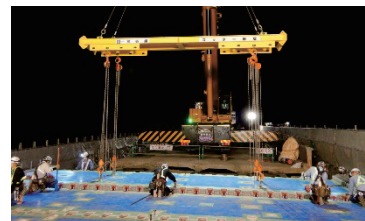
福島県の灰作橋の他、秋田県の東北自動車道で実績を積んでいる (Photo18, 19)。1時間弱で5枚の設置可能である。



Photo. 18 灰作橋施工



Photo. 19 東北自動車道 床版取替工事



● 今後の予定

今後も各種合理化や大都市対応型コッター床版の開発を図る予定である。また、橋梁分野以外のコッター式継手の適用を図る予定である。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) (データ提供)。
- 2) 渡邊輝康, 大本晋士郎, 浅見恭輔, 渡瀬博, 下中村圭太: コッター継手を有する橋梁用床版 (コッター床版) の性能確認試験, 土木学会第 73 回年次学術講演会, pp. 713~714, 2018 年 8 月。
- 3) 渡邊輝康, 佐溝純一, 杉本浩, 松井隆行, 中村明治, 福島夏樹: コッター床版の試験施工に関する報告, 第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp. 195~200, 2018 年 11 月。