

コッター式継手を用いた 橋梁用プレキャスト PC 床版の開発

鬘 谷 亮 太・渡 邊 輝 康

我が国の高速道路は、老朽化や経年劣化に伴うリスクの増加が懸念されており、最新の技術で更新させることが急務となっている。コッター式継手を用いた橋梁用プレキャスト PC 床版（コッター床版）は、橋梁床版取替工事の急速施工、省力化を目的に開発された技術であり、床版を架設した後、機械式継手であるコッター式継手で連結し、専用目地材を注入して床版同士を接合する工法である。

本稿では、コッター床版の概要、特長について示すとともに、各種の性能試験を実施した結果よりこの性能を評価する。

キーワード：橋梁、床版取替、コッター式継手、急速施工、省力化、生産性向上

1. はじめに

我が国の高速道路は、供用から 30 年以上経過した延長が約 4 割を占め、橋梁床版では、経過年数の増加に伴う老朽化、凍結防止剤や飛来塩分による塩害、重交通による疲労などの影響による著しい変状が顕在化してきているため、最新の技術で更新させることが急務となっている。

このような現状から、NEXCO3 社では、「高速道路リニューアルプロジェクト」が進められているが、高耐久性に配慮した構造へ更新するとともに、通行規制に伴う社会的影響を軽減し、利用者の利便性をできる限り損なわない工法が求められている。

これらを踏まえ、急速施工、省力化、高品質化、取替性の改善など生産性の向上を目的に、コッター式継手を用いた橋梁用プレキャスト PC 床版（以下、コッター床版と称す）の開発を進めている。本工法は、図

—1 に示すように、床版を架設した後、機械式継手であるコッター式継手で連結し、専用目地材を注入して床版同士を接合する工法である。

コッター床版工法は急速施工に優れることに加え、輪荷重走行疲労試験により 100 年相当の耐久性を有すること、ひび割れ抵抗性にも優れることを確認している。

2. コッター床版の概要

(1) コッター式継手

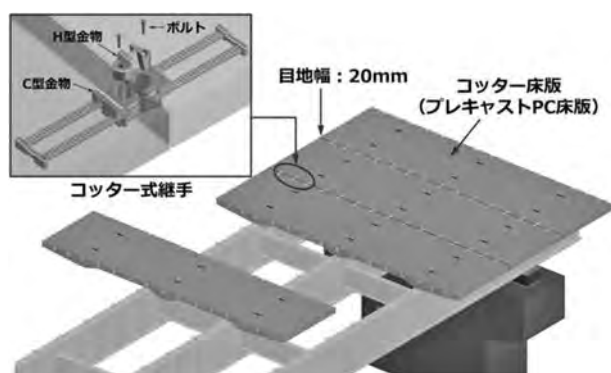
コッター式継手は、シールドセグメントの継手として開発されたもので、現在では、空港用床版や道路用床版、橋梁の延長床版にも広く採用されている技術である。本開発は、これを橋梁床版用の継手として応用するものである。

写真—1 に示すように、コッター式継手は、H 型金物と C 型金物から構成される。C 型金物は、プレキャスト工場で予め床版に埋め込まれ現地に搬入される。H 型金物は、現地で C 型金物内に挿入し、ボルトで締め付けて床版を連結する部材である。

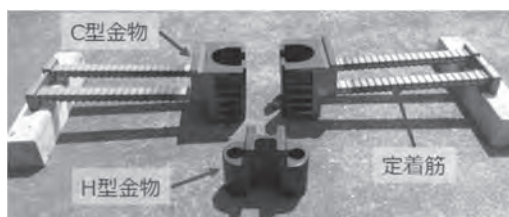
(2) コッター式継手の材質

コッター式継手の材質は铸造性に優れ、耐候性鋼と同等の腐食抵抗性を有する球状黒鉛鑄鉄（FCD600-3）である。

継手金物の腐食抵抗性は、塩害による損傷の進行に大きな影響を及ぼすが、その腐食抵抗性に関する既往



図—1 コッター床版工法の概要



(C型金物にH型金物を挿入した状態)



写真-1 コッター式継手

の研究について記す（資料提供：国立材料物質研究機構：NIMS）^{1), 2)}。

試験では、塩害環境の異なる3地点（筑波、銚子、宮古島）において、複数の鋼材（低炭素鋼、耐候性鋼、球状黒鉛鋳鉄）の腐食量の経時変化を測定している。試験結果（代表例として宮古島）を図-2に示す。図より、一般的な低炭素鋼（SS400）は、最も腐食の進行が速いが、球状黒鉛鋳鉄（FCD）は、腐食抵抗

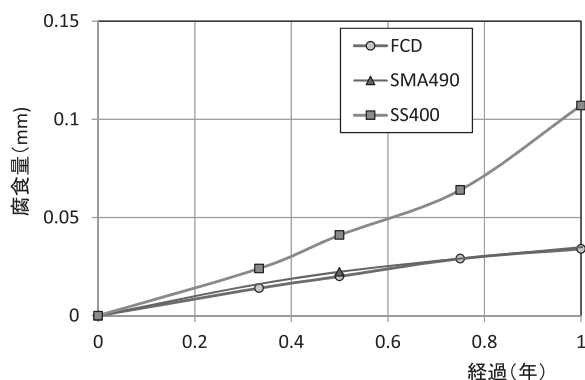


図-2 腐食量経時変化（宮古島）

性に優れる耐候性鋼（SMA490）と同等の腐食速度を示す。このように、コッター式継手は、腐食抵抗性に優れた鋼材を採用している。

(3) コッター床版の製作方法

床版製作方法は、床版内にC型金物を設置する以外は、通常のPC床版の製作方法と同様であり、C型金物は、専用治具を用いて型枠内に配置する。

(4) コッター床版の施工方法

コッター床版の施工フローを写真-2に示す。目地幅20mmを確保して床版を設置し、完了後、H型金物で床版同士を連結する。ボルトの締め付けは電動レンチ（仮締め）とトルクレンチ（本締め）を用い、予め床版に埋め込んだC型金物とH型金物を堅固に一体化させる（STEP3）。その後、充てん性能に優れた専用目地材（フロー23cm程度）をハンドミキサーで現地練りして、目地部および開口部に充てんする（STEP4）。

3. コッター床版の特長

在来工法（ループ継手）と比較しながらコッター床版の特長を以下に記す（図-3）。

(1) 工程短縮効果

後述する輪荷重走行疲労試験における床版組立作業の実績を基に橋梁延長100m当たりの施工日数を比較したものを表-1に示す。

床版架設から床版接合までの日数は、在来工法で34.5日、コッター床版工法で19.1日となり、5割程度

STEP 1 床版荷下し



STEP 2 H型金物セット



STEP 3 ボルト締め付け

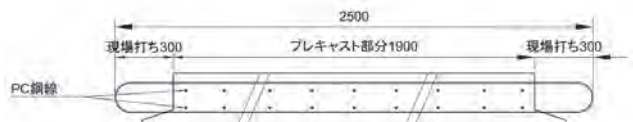


STEP 4 目地材注入



写真-2 コッター床版の施工方法

●在来工法（ループ継手）



●コッター床版工法

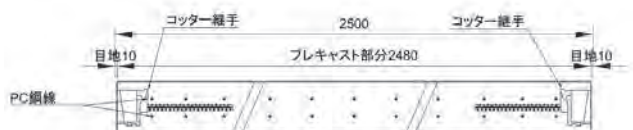


図-3 橋軸方向の床版寸法の比較

表-1 延長100m当たり施工日数比較

	床版架設工 床版調整工	床版接合工	合 計
在来工法 ※1	16.6日	17.9日	34.5日
コッター床版工法 ※2	9.4日	9.7日	19.1日
	43%低減	46%低減	45%低減

※1 橋梁架設工事の積算（平成27年度版）による

※2 輪荷重走行疲労試験の試験体組立実績による

低減できることが試算されている。

(2) 省力化効果

同様に、橋梁延長10m当たりの人員数を比較したものを表-2に示す。

床版架設から床版接合までの人員数は、在来工法で18.0人、コッター床版工法で7.3人となり、6割程度低減できることが試算されている。

このように、本工法では、継手部分の鉄筋・型枠の設置作業およびコンクリート打設が不要であり、熟練

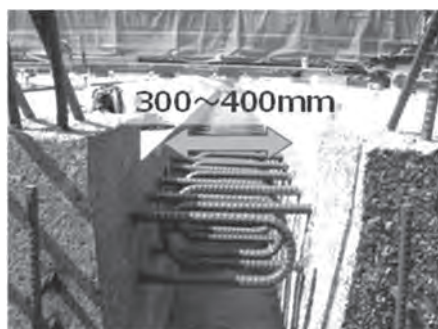
表-2 延長10m当たり人員数比較

	床版架設工 床版調整工	床版接合工	合 計
在来工法 ※1	10.3人	7.7人	18.0人
コッター床版工法 ※2	3.8人	3.5人	7.3人
	63%低減	55%低減	59%低減

※1 橋梁架設工事の積算（平成27年度版）による

※2 輪荷重走行疲労試験の試験体組立実績による

●在来工法



工を必要としない単純な作業で、床版同士を接合できる工法となっている。

(3) 橋梁床版全体の品質向上

写真-3に継手部分（現場打ち部分）の比較を示す。

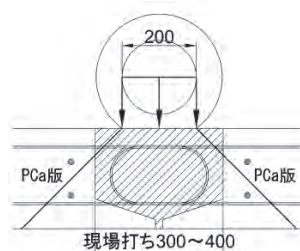
在来工法は、床版端部より鉄筋を突出させ、これを重ね合わせて（重ね継手）、コンクリートを打設するため、通常300～400mm程度の現場打ち部分を設ける。この現場打ち部分が製品の約20%を占めるが、この部分は、プレストレスが導入されないことから、プレキャスト部分に比べ品質低下のリスクが懸念される。

一方、コッター床版は機械的に連結するため、端部に鉄筋が突出しない。このため、現場打ち部（目地部）の幅は20mmであり、プレキャスト部分を広くでき、品質の向上に寄与する。すなわち、図-4に示すように継手直上に輪荷重が载荷された際、在来工法（ループ継手）に比べて、コッター床版はプレストレスが導入された品質の高いプレキャスト部分が荷重の大半を受け持つ。このため、間詰め部分の荷重負担割合を低減でき、耐久性や安全性の面でも有利である。

(4) 取替性の向上

コッター床版の継手部は、鉄筋を重ねた構造ではないため、写真-4に示すようにコンクリートカッターでH型金物を含めて目地部を切断し、C型金物を再

●在来工法



●コッター床版工法

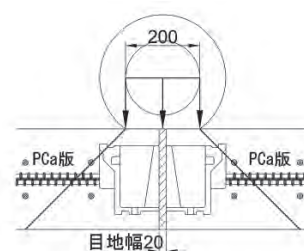


図-4 荷重分担の比較

●コッター床版工法

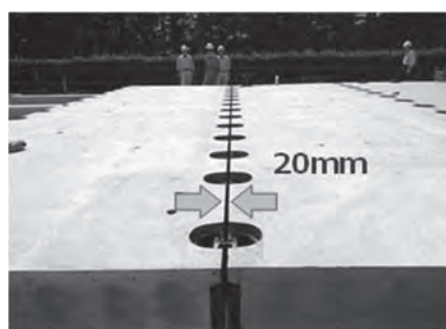


写真-3 継手部分（現場打ち部分）の比較



写真4 床版切断状況 (1m/分程度)

利用することで、床版1枚単位の部分的な取替が可能である。

4. 性能試験結果^{3), 4)}

(1) 定点疲労試験

(a) 試験概要

コッター床版の曲げ疲労抵抗性を把握するために、定点疲労試験を実施した。

図5に試験体の概要図を示す。2枚の試験用床版を、コッター式継手2個で連結し、目地材で接合し定点疲労試験を行った。

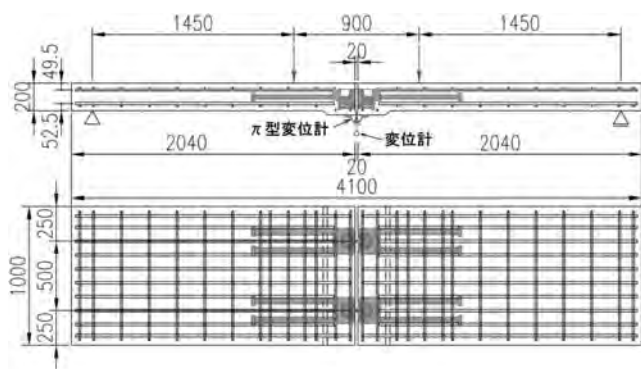


図5 定点疲労試験概要

試験体および継手は、支間長3mの床版を想定した。上限荷重は、設計断面力となる $P_{max} = 49.8 \text{ kN}$ とした。また、下限荷重は、疲労試験機制限値である $P_{min} = 10 \text{ kN}$ とした。繰返し载荷の周期は2.5 Hz、载荷回数は200万回とし、繰返し载荷の $1, 1 \times 10^3, 1 \times 10^4, 1 \times 10^5, 1 \times 10^6, 2 \times 10^6$ 回目において静的に上限荷重まで単調载荷した。試験時の圧縮強度はプレキャスト部で約 63 N/mm^2 、目地材で約 72 N/mm^2 であった。

(b) 経時変化

载荷回数と支間中央（目地）の水平変位量との関係

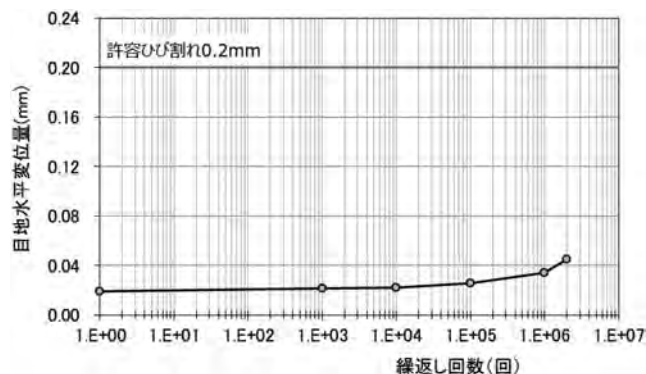


図6 载荷回数-目地水平変位量関係図

を図6に示す。図より、水平変位量は緩やかに増加するものの許容値0.2mmに対して0.04mmと低い値に留まる。試験中の目視確認でも、ひび割れはプレキャスト部分で生じたが、目地部には発生しなかった。

(c) 静的载荷試験

定点疲労試験後の曲げ耐力を確認するため、200万回载荷後の試験体に対して、破壊まで静的に単調载荷した。

曲げと支間中央（目地）での変位量との関係を図7に示す。図には、設計断面力、供試体と鉄筋の材料強度を用いて算出したプレキャスト部分の耐力も併せて示す。図より、プレキャスト部分の耐力付近で勾配が緩やかとなり、その後変位が大きく増加して最大値 (154 kNm) を示した。また、破壊は目地部でなくプレキャスト部分で生じた。これより、コッター床版は、200万回の繰返し载荷を経ても、十分な耐力と靱性を有すること、目地部はプレキャスト部分より高い耐力を有することが確認できた。

目地部のひずみ分布を調べるため、図8に示す位置でひずみの計測を行った。測定結果を図9に示す。図より、ほぼ平面保持が成立しており、コッター床版の目地部分は200万回の繰返し载荷を経ても、目地材を圧縮材、継手金物を複数の分割された鉄筋として設計が可能であり、疲労耐久性が高いことが確認できた。

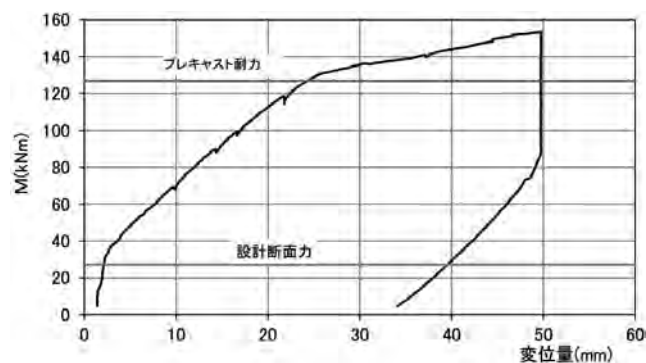
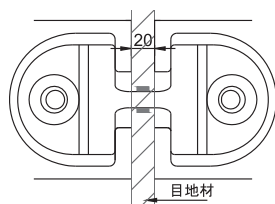
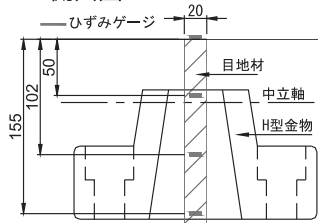


図7 荷重-変位量関係図

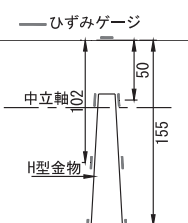
●平面図



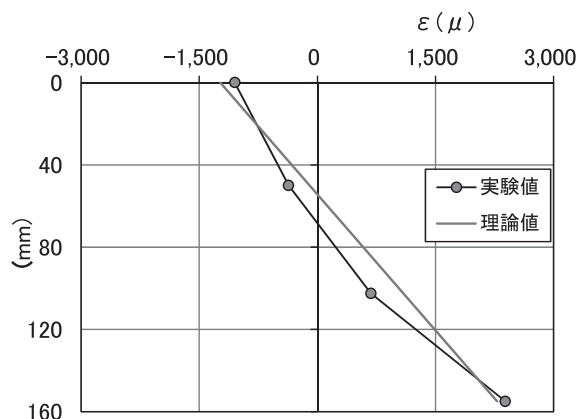
●側面図



●断面図



図—8 ひずみ測定位置



図—9 目地部ひずみ分布 (プレキャスト版降伏時)

(2) 押抜きせん断試験

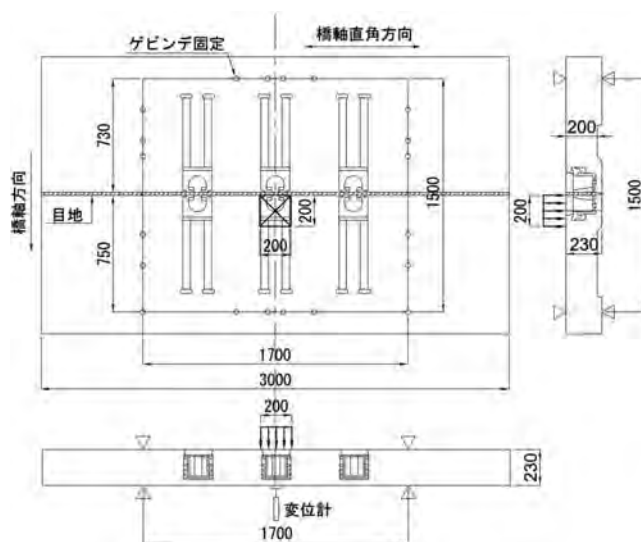
(a) 試験概要

コッター床版の押抜きせん断耐力を把握するため、2枚のプレキャスト版をコッター継手3個で連結し、目地材で接合した試験体に対して載荷試験を行った(図—10)。試験体には実橋に合わせ橋軸直角方向のみPC鋼線を配置した(1方向PC)。また、せん断破壊先行とするため、支持条件は4辺固定とし、載荷寸法は輪荷重載荷の最小幅(20 cm × 20 cm)とした。荷重載荷は、破壊までの単調載荷とした。試験時における圧縮強度は、プレキャスト部で約 75 N/mm²、目地材で約 63 N/mm²であった。

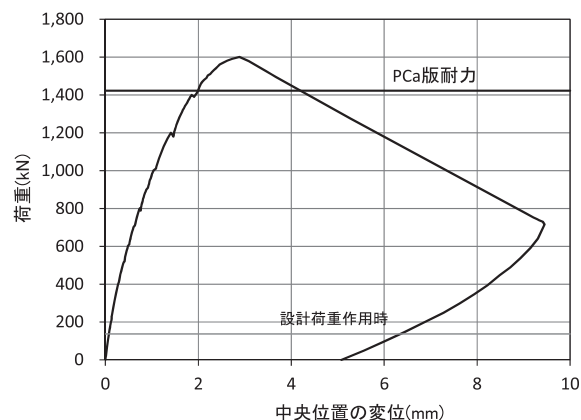
(b) 押抜きせん断破壊形状

荷重と試験体中央の変位との関係を図—11に示す。図より最大値は 1,600 kN に達し、プレキャスト版の耐力(1,423 kN)を上回る耐力を有することがわかる。

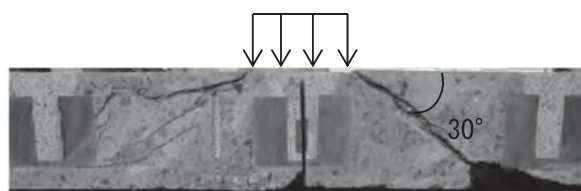
試験体には写真—5, 6に示すようにひび割れが発生した。橋軸直角方向の分散角度は設定通り 30°程度であったが、橋軸方向はこれより緩やかである。これ



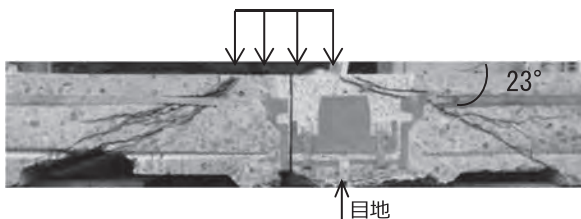
図—10 押抜きせん断試験概要



図—11 荷重—支間中央変位との関係図



写真—5 橋軸直角方向のひび割れ



写真—6 橋軸方向のひび割れ

は、橋軸方向のひび割れがコッター継手を包絡するように進行したため、耐力増加の要因になったと考えられる。

以上より、コッター床版の目地部周辺は、十分な押抜きせん断耐力を有することが確認できた。

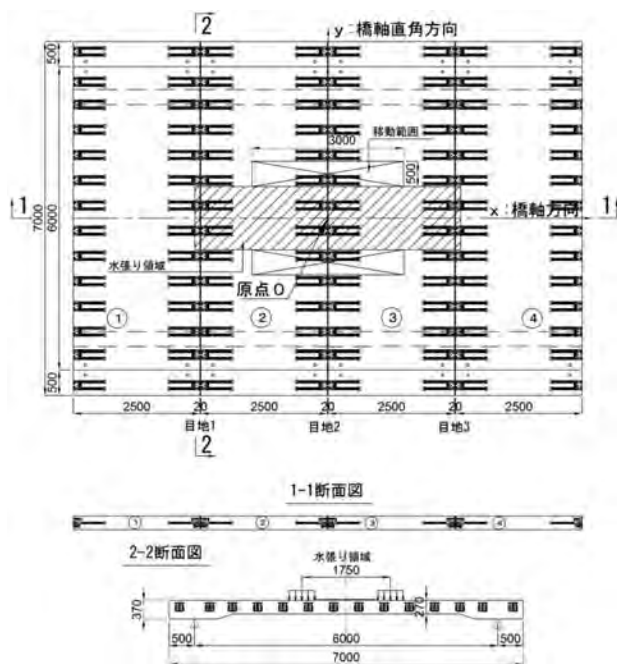
(3) 輪荷重走行疲労試験

(a) 試験概要

コッター床版の性能確認の最終段階として、輪荷重走行疲労試験を実施した(写真—7, 図—12)。コッター床版の試験体は、幅2.5mの床版を目地20mmを設けて4枚並べ、H型金物で連結し、目地材を充てんして接合した。

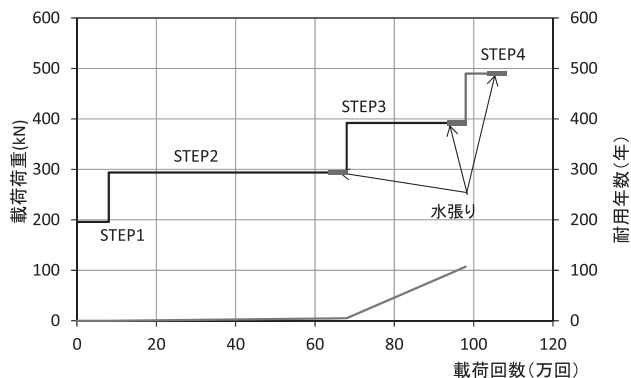


写真—7 輪荷重走行疲労試験状況 (NEXCO 総研所有試験機)

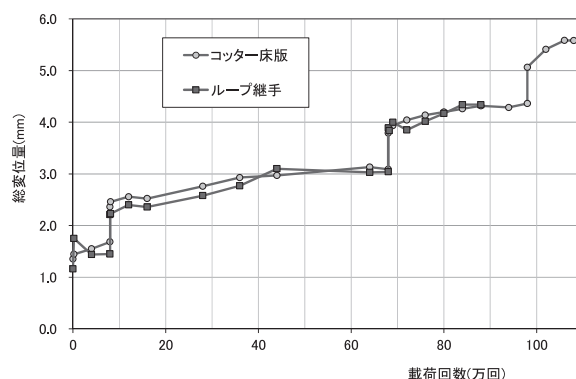


図—12 輪荷重走行疲労試験概要

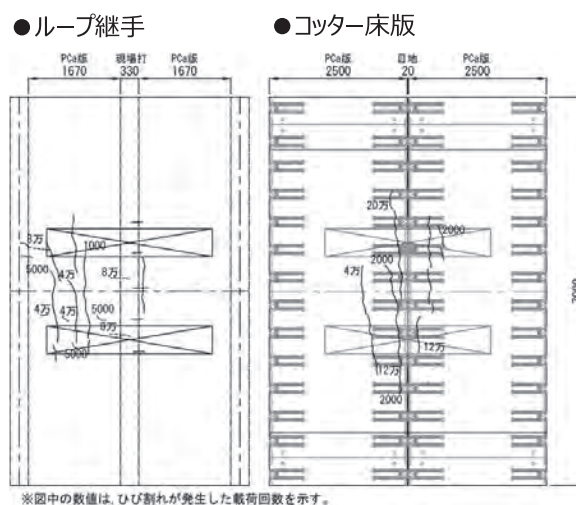
荷重 STEP は、「設計要領」⁵⁾に基づき目標耐用年数100年以上となるSTEP3までの98万回に加え、独自にSTEP4として水張り状態で試験機最大荷重(490kN)を10万回荷重した(図—13)。床版の性能評価項目は、「変位」,「ひび割れ幅」,「鋼材ひずみ」および「貫通ひび割れ」とし、コッター床版が在来工法(ループ継手)と同等の性能を有することを確認した。



図—13 荷重 STEP



図—14 荷重回数—総変位量関係図



※図中の数値は、ひび割れが発生した荷重回数を示す。

図—15 ひび割れ状況 (STEP3 終了時)

(b) 総変位量

目地部の直上に荷重した際の目地部(支間中央)における荷重回数と総変位量との関係を図—14に示す。図より、コッター床版はループ継手と同様な挙動を示すことがわかる。

(c) ひび割れ状況

床版下面のひび割れ状況の比較(STEP3 終了時: コッター床版30万回, ループ継手20万回)を図—15に示す。コッター床版は、ループ継手と同様にプレキャスト部分で橋軸直角方向に0.08mmのひび割れ

れが生じた。またループ継手はSTEP2 (294 kN) で打継ぎ目にひび割れ (0.03 mm) が生じているが、コッター床版は最終STEP4 (490 kN) 完了まで目地には橋軸、橋軸直角いずれの方向にもひび割れは生じなかった。これよりコッター床版は、ひび割れ耐久性に優れることがわかる。

(d) 鋼材ひずみ

試験中、H型金物下端のひずみを測定したが、僅かな値 (22μ) しか発生しなかった。これは、目地部にひび割れが無く全断面有効となるため、鋼材の引張ひずみが低く抑えられたと考えられる。このことから、継手金物の安全性が確認できた。

(e) 貫通ひび割れ

載荷STEPに応じて、試験体上に水を張った状態で試験を実施した。試験中および試験完了後に床版下面を調査したが、プレキャスト部分および目地部に漏水は確認できなかった。また試験完了後にひび割れ深さをコア抜きにより確認した結果、版厚 270 mm に対してひび割れ深さは 124 ~ 157 mm 程度であり、ひび割れは貫通していないことを確認した。

5. おわりに

本稿では、新しい橋梁用床版の継手構造として、コッター床版工法について述べた。本工法は、工程短縮、省力化の面で在来工法に比べ優れており、建設現場の生産性向上に大きく寄与できるものと考えられる。また、プレキャスト部分 (プレストレス導入部分) を多くできることから品質向上も期待でき、さらに取替性も兼ねており、維持管理面においても配慮されたもの

である。

本工法に対する各種の性能確認試験では、在来工法と同等の疲労耐久性を有するとともに、100年相当の耐久性を有すること、ひび割れ抵抗性に優れた目地構造であることを確認した。

今後は、曲線橋や縦横断勾配の変化への対応、橋軸直角方向継手の開発など継手構造の改良を進め、施工実績を蓄積していきたいと考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 篠原：構造材料データシート 腐食データシート No.3A, (独物質・材料研究機構編)
- 2) 桑原：球状黒鉛鑄鉄の腐食機構の基礎的研究, 横浜国立大学大学院工学府高信頼性鑄物イノベーション寄附講座, 2014.3
- 3) 渡邊・浅見：コッター式継手を有する橋梁用床版 (コッター床版) の性能確認試験 (その1), 土木学会第72回年次学術講演会, 2017.9
- 4) 宮川・渡邊・松本：コッター式継手を有する橋梁用床版 (コッター床版) の性能確認試験 (その2), 土木学会第72回年次学術講演会, 2017.9
- 5) 高速道路総合技術研究所：設計要領 第二集 橋梁保全編 (平成29年7月)

【筆者紹介】

髯谷 亮太 (かつらや りょうた)

(株)熊谷組

土木事業本部 橋梁イノベーション事業部
事業部長



渡邊 輝康 (わたなべ てるやす)

(株)熊谷組

土木事業本部 橋梁イノベーション事業部
技術部長

