

プレキャストリブを用いた既設 PC 床版拡幅技術

山田 雅彦*1・左東 有次*2・岸田 政彦*3・石原 陽介*4

既設橋梁の機能を向上・改善させるために、新設ランプの設置や、車道拡幅・路肩拡幅を目的とした工事においては、既設床版に対して新しい床版を接続する必要がある。しかし、PC 床版では横締め PC 鋼材が配置されているので、新旧の床版を一体化するためには、横締め PC 鋼材との接続が望まれるが、これは構造的、施工的にも難しい。そこで、横締め PC 鋼材と接続せずに新旧床版を一体化する拡幅技術が必要となる。このような背景のなか、設計基準強度が 100 N/mm² の高強度コンクリートを使用したプレキャスト (PCa) リブおよび PC 板を用い、1 車線程度の拡幅を想定した床版拡幅技術を考案した。本稿では、考案した拡幅技術について性能確認試験を実施し、その構造成立性を検証した結果について報告する。

キーワード：PCa リブ、PC 合成床版、高強度コンクリート

1. はじめに

既設橋梁の機能を向上・改善させるために、新設ランプの設置や、車道拡幅・路肩拡幅を目的とした工事においては、既設床版に対して新しい床版を接続する必要がある。従来は、床版拡幅のために車両進行方向に縦目地を設け、新旧床版を分離構造にすることで対応していたが、供用後の経年劣化の影響により目地部に段差などが生じる例が多く、走行性への安全面の配慮（とくに 2 輪車）から、縦目地を設けずに新旧床版を一体化する必要がある。新旧の床版を一体化するためには、横締め PC 鋼材と新設床版の PC 鋼材との接続が望ましいが、構造的、施工的にも困難であるため、横締め PC 鋼材と接続せずに新旧床版を一体化する拡幅技術が求められていた。このような背景のなか、設計基準強度が 100 N/mm² の高強度コンクリートを使用したプレキャスト (PCa) リブおよび PC 板を用いて、PC 合成床版を構築し、図 - 1 に示す 1 車線程度 (拡幅長：2.5 m) の拡幅を想定した既設 PC 床版の拡幅技術を開発した。

2. 拡幅技術概要

本技術は PCa リブおよび PC 合成床版を用いて拡幅する。主な特徴を以下に述べる。

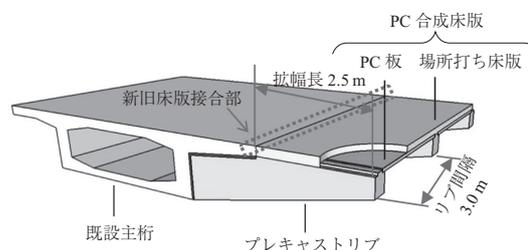


図 - 1 拡幅構造概要

2.1 高強度の PCa リブを接合した片持ち梁構造

工場製作の高強度 (設計基準強度：100 N/mm² 程度) コンクリートを適用した PCa リブを、PC 鋼材により既設主桁のウェブに一体化させる。また、PCa リブに高強度コンクリートを使用することで、部材寸法を縮小し、軽量化を図ることが可能となる。

2.2 PC 合成床版構造

リブ間の橋軸方向に高強度コンクリートを使用した PC 板 (設計基準強度：100 N/mm²、厚さ 70 mm) を型枠代わりに設置し、PC 板上に配筋後、現場打ちコンクリートを打設することで PC 合成床版 (場所打ち床版部コンクリートの設計基準強度：40 N/mm²) を構築する。PC 板、PC 合成床版の設計については、「道路橋 PC 合成床版工法 設計



*1 Masahiko YAMADA

(株) 富士ピー・エス
技術本部



*2 Yuji SATO

(株) 富士ピー・エス
技術本部



*3 Masahiko KISHIDA

首都高速道路 (株)
技術部 技術推進課



*4 Yosuke ISHIHARA

首都高速道路 (株)
技術部 技術推進課

施工便覧」¹⁾、および「合成床版用プレキャスト板 設計・製造便覧」²⁾に準じた。拡幅部の場所打ち床版は橋軸直角方向をリブで支えることで、床版厚を薄くでき、軽量化が図れる。また、PC板は高強度コンクリートを使用することで板厚を薄くでき、さらなる軽量化が図ることができる。

2.3 新旧床版接合部にプレストレスを導入する構造

本構造は1次ケーブルと2次ケーブルを用いてPCaリブおよび場所打ち床版(PC合成床版)を構築する。1次ケーブルは、PCaリブ設置のための架設ケーブルであり、2次ケーブルは、PC合成床版施工後に緊張するケーブルである。図-2に示すようにPCaリブと場所打ち床版はU形ジベル筋で接合した合成構造とし、図-3のように2次ケーブルを緊張することで、ジベル筋を介してプレストレスを新設の床版に伝達し、新旧床版接合部に圧縮応力を伝達する機構を構成する。ジベル筋の算出方法は、「コンクリート橋の設計・施工の省力化に関する共同研究報告書(Ⅱ)-PC合成げた橋(PC合成床版タイプ)に関する研究-」³⁾に示されている算出式に準拠した。

3. 試設計

3.1 概要

試設計は、前述した拡幅構造の計算上の構造成立性を検証し、それで得た知見を試験体の計画に反映させるために実施した。試設計で考慮する施工ステップの概要を図-4に示す。まず、既設箱桁ウェブにケーブル孔を削孔したのちに、PCaリブを設置し、既設箱桁の空隙部に無収縮モルタルを充填する。そのうち、1次ケーブルとしてPC鋼より線(1S28.6)を箱桁ウェブからPCaリブまで設置・緊張し、一体化を図る。次に、PC板を敷設し、配筋後に場所打ちコンクリートを打設し、拡幅部合成床版を構築する。最後に、PCaリブ上面と既設箱桁床版下面の空隙部に無収縮モルタルを充填し、2次ケーブルの設置・緊張を行う。

試設計では、フレーム解析におけるPCaリブの設計と、これと並行して、PC合成床版の設計を行い、おのこの構造寸法を確定した。構造寸法確定後、3次元FEM解析を実施し、フレーム解析結果の妥当性を確認するとともに、フレーム解析では評価し難い新旧打継目部やPCaリブと合成床版の接合付近の応力状態などの評価を行った。

3.2 FEM解析による構造成立性の確認

本構造は、拡幅長を2.5mとし、道路橋示方書Ⅲ 6.6.7の解説に示されているプレストレスの分布(33度40分)を考慮して、リブ間隔は3.0mを基本とした。新旧床版接合部は、引張応力を許容するPC構造とし、既設床版と新設床版を鉄筋で接続するため、活荷重作用時(設計荷重時)における引張応力度の制限値を -1.2 N/mm^2 (道路橋示方書Ⅲ表-3.2.3の設計基準強度 40 N/mm^2 に対する曲げ引張応力度)とした。フレーム解析において、上記の施工ステップを考慮した計算を実施して構造を決定したのち、FEM解析を実施して活荷重作用時の応力状態の確認を行った。なお、死荷重時に新旧床版接合断面に導入する2次ケーブルのプレストレス導入量は 1.0 N/mm^2 とした。図-5にリブ間に衝撃を考慮した輪荷重である140kNを載荷した場

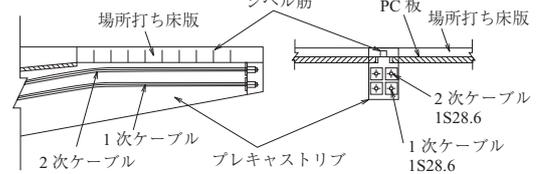


図-2 PCaリブの接合

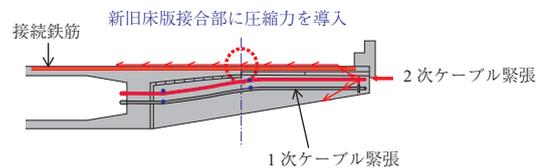


図-3 プレストレスの導入概念図

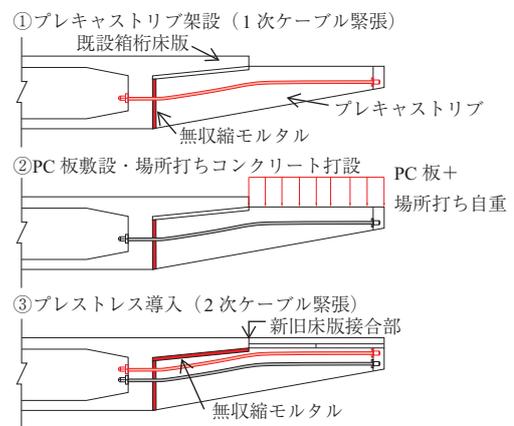


図-4 施工ステップ

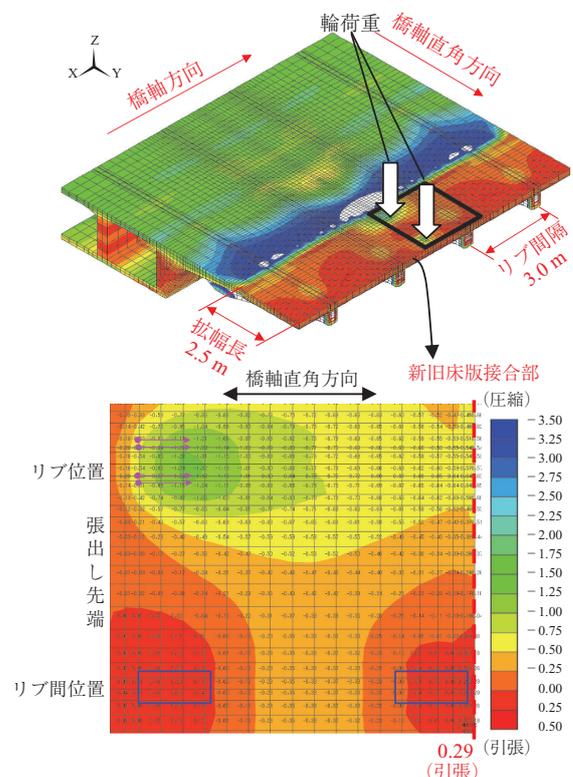


図-5 FEM解析結果(下面)

合の床版下面の FEM 解析結果を示す。新旧床版接合部に発生する橋軸直角方向応力（死荷重+プレストレス+活荷重）の最大値は -0.29 N/mm^2 となり、活荷重作用時における引張応力度の制限値を下回ったことから、本拡幅構造は十分成立し得るものと判断できた。

4. 3 辺固定版載荷試験

4.1 試験概要

PCa リブを用いた本拡幅技術は、橋軸方向の床版は連続構造であり、直角方向は、PCa リブで支持された新旧床版で接続される構造である。したがって、新旧床版接合部は 3 辺で支持された状態となるため、図 - 6 に示す試験体を用いて 3 辺固定版載荷試験を行い、輪荷重が作用した場合の新旧床版接合部の耐荷力を確認した。

本拡幅構造においては、新旧床版接合部に圧縮応力を与えるため、2 次ケーブルによりプレストレスを導入する。本試験においては、プレストレス量は、フレーム解析・FEM 解析を行い、拡幅長 2.5 m を想定した場合の張出し床版構造としての曲げ作用（死荷重時および設計荷重時）により、新旧床版接合部の上縁引張応力が制限値を満足する範囲とした。さらに上記の条件を満足するように、プレストレス量を 0.25 N/mm^2 、 0.5 N/mm^2 、 1.0 N/mm^2 、 2.0 N/mm^2 と変化させ、新旧床版接合部を模した 2 面せん断試験を行い⁴⁾、接合部におけるせん断伝達耐力が、設計値以上を満足することを確認したうえで、 1.0 N/mm^2 に決定した。

載荷試験は、道路橋示方書で示されている活荷重の等分布荷重の載荷面（ $200 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ ）を考慮し、新旧床版接合部に漸増載荷した。衝撃を考慮した設計活荷重である 140 kN 載荷時（以下、設計荷重時とする）および 350 kN （ $140 \text{ kN} \times 2.5$ ）載荷時（以下、設計終局荷重時とする）の、試験体の状態（ひび割れの有無・新旧接合面の開きの有無）を確認したうえで、最大荷重まで載荷を行った。プレストレスの導入には PC 鋼棒（B 種 2 号：鋼材径 26 mm）を使用し、新旧床版接合部でプレストレス分布が重なるように配置した。

4.2 試験結果

図 - 7 に載荷試験の載荷直下での荷重 - 変位関係を、図 - 8 に新旧床版接合部の荷重 - 床版下面の目開き幅の関係を示す。変位（たわみ）については、設計荷重時まで傾きに変化が見られず弾性域であり、FEM 解析値とはほぼ一致していることが確認できた。目開き量については、設計荷重時に実測値 0.01 mm が計測されているが、これはコンクリートの弾性変形によるひずみ分が測定されたものと考えられる。

そこで目開き計測位置近傍のコンクリートひずみから変形量を計算したところ 0.01 mm となり、計算結果と実測値が一致した。ひずみ分を補正した結果から設計荷重時には目開きしていないことが確認できた。設計終局荷重時でも荷重 - 変位および荷重 - 目開き幅の傾きに大きな変化は見られなかった。これは、新旧床版接合部に導入したプレストレスにより、新旧床版接合部下面の引張応力の発生を抑制した効果が表れたものと考えられる。その後も載荷を

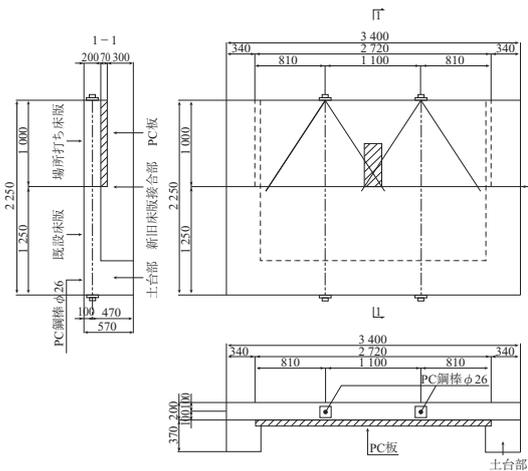


図 - 6 試験体概要

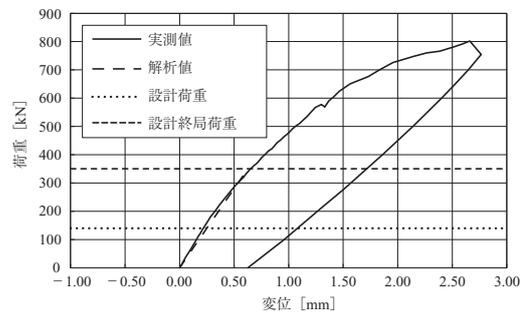


図 - 7 載荷直下での変位（たわみ）量

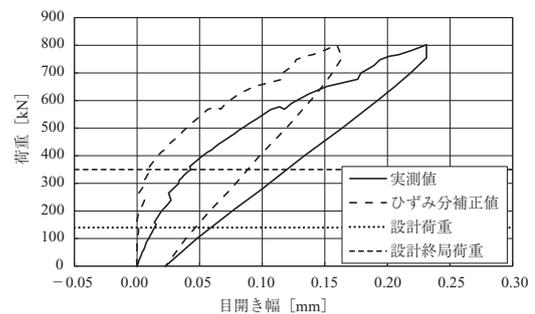


図 - 8 新旧床版接合部の目開き幅

続けると、 577 kN 載荷時に既設床版下面の橋軸直角方向に微細なひび割れが観察され、荷重 - 変位・荷重 - 目開き幅の関係に変化が現われたが、場所打ち部および PC 板には変状がないことを確認した。最大荷重 800 kN まで載荷したところ、新旧床版接合部の目開き幅は 0.23 mm 程度となり、PC 板の縁端部の目地モルタルはひび割れが生じたものの、既設部の床版下面に発生したひび割れは特に進展せず、場所打ち床版と PC 板の接合部に変状は認められなかった。

5. 定点疲労載荷試験

5.1 試験概要

PCa リブ間隔 3.0 m 、拡幅長 2.5 m の実橋レベルの試験体（図 - 9）を用いて試験を行った。試験体は、実施工と同様に、PCa リブ組立て（1 次ケーブル緊張）、PC 板設置、場所打ち床版打設（2 次ケーブル緊張）の順番で組立てた。

疲労試験（200万回の定点荷重）は主に新旧床版接合部に着目し、PC板と場所打ち床版の接合部、PCaリブと場所打ち床版の接合部、既設部とPCaリブの接合部についても疲労耐久性を確認した。疲労試験は、設計活荷重140kNを3Hzピッチで200万回繰り返し荷重した。活荷重の荷重は等分布荷重の荷重面（200mm×500mm）とし、新旧床版接合部に荷重した。測定は静的荷重で、たわみ・目開き量を計測し、設計荷重時の試験体の状態（ひび割れ発生の有無・新旧床版接合部の目開きの有無・PCaリブと無収縮モルタルの界面の目開きの有無）を目視で確認した。そのうち、荷重試験機を張出し先端部へと移動し、設計荷重時、設計終局荷重時の試験体の状態を確認し、最大荷重まで荷重を行った。

5.2 試験結果

(1) 疲労試験結果

疲労試験では、新旧床版接合部の目開きがないことを目視で確認した。PC板・PCaリブ・場所打ち床版・既設部の各接合部についても同様であった。図-10に新旧床版接合部の目開き幅の計測結果を示す。200万回の荷重後も新旧床版接合部下面に目開き幅に変化がないことを確認した。新旧床版接合部に導入したプレストレスが有効に作用したと考えられる。200万回荷重終了後に試験体を目視により確認したが、新旧床版接合部およびPC板・PCaリブ・場所打ち床版にひび割れなどの変状は認められなかった。

(2) 静的荷重試験結果

疲労試験の終了後に、荷重試験機を張出し先端部に移動して静的荷重試験を行った。床版のたわみの実測値と解析値を図-11に示す。荷重点直下の床版のたわみの測定結果からは、480kN荷重時に傾きの変化が確認できる。このときに新旧床版接合部上縁にひび割れが目視で確認された。さらに、荷重を続けたところ、530kN荷重時に荷重位置周辺の床版上面にひび割れが確認されたため、荷重を終了したが、終局荷重350kNの1.5倍以上の耐荷力を有していることが確認できた。また、試験体をモデル化した線形FEM解析において線形範囲内の挙動は比較的良好に推定できた。

6. おわりに

本提案構造の確立にあたり、試設計、3辺固定版荷重試験および定点疲労荷重試験を実施し、下記の結果を得た。

- (1) 基本条件（リブ間隔3.0m、拡幅長2.5m）で構造計算により構造成立性を確認した。
- (2) 3辺固定版荷重試験の結果、新旧床版接合部に1.0N/mm²の圧縮応力を導入することで、設計荷重時荷重時の新旧床版接合部に目開きが発生しないことが確認できた。また、設計終局荷重時でも試験体は破壊することなく、場所打ち床版とPC板の接合部は健全であった。
- (3) 疲労荷重試験の結果、活荷重140kNの200万回荷重後においても、各接合部の疲労耐久性は問題なかった。
- (4) 疲労試験後の張出し先端部の静的荷重では、拡幅構造は設計終局荷重350kN荷重時においても健全性を保っており、同荷重の1.5倍程度（530kN）の耐荷力を有し

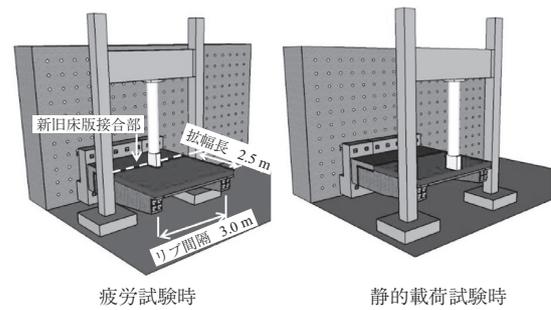


図-9 試験体概要

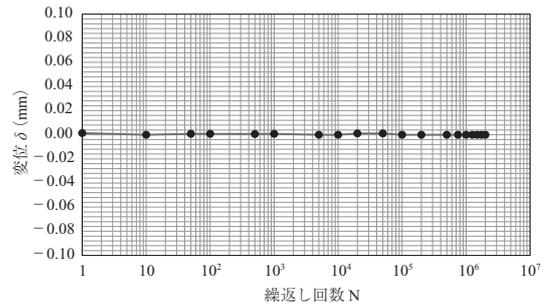


図-10 目開き幅計測結果（新旧床版接合部下縁）

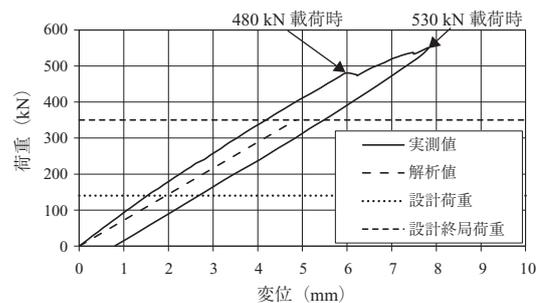


図-11 荷重点直下のたわみ

ていた。

以上の結果より、既設の横締めPC鋼材と接続せずに新旧床版を一体化する拡幅技術の基本構造を確立することができた。

最後に、本研究の実施にあたり、東京工業大学の二羽淳一郎教授に多大な御協力・御助言を賜りました。また、定点疲労荷重試験の実施にあたっては、大阪工業大学の八幡工学実験場を利用させていただきました。ここに深い感謝の意を表します。

参考文献

- 1) PC合成床版協会：道路橋PC合成床版工法 設計施工便覧，2006
- 2) プレストレストコンクリート建設業協会：合成床版用プレキャスト板 設計・製造便覧，2004
- 3) 土木研究所：コンクリート橋の設計・施工の省力化に関する共同研究報告書（Ⅱ）-PC合成げた橋（PC合成床版タイプ）に関する研究-，1998
- 4) Junichiro Niwa, Fakhruddin, Koji Matsumoto, Yuji Sato, Masahiko Yamada, Takahiro Yamauchi：Experimental study on shear behavior of the interface between old and new deck slabs, Engineering Structures, vol.126, pp.278-291, 2016

【2017年1月6日受付】