

(13) プレキャスト複合床版に関する一検討

谷 慎太郎¹・河金 甲²・Melissa HALIM³

¹正会員 極東興和株式会社 広島支店技術部 (〒732-0052 広島県広島市東区光町2丁目6-31)

E-mail:tani@kkn.co.jp

²正会員 極東興和株式会社 営業本部技術企画部 (〒732-0052 広島県広島市東区光町2丁目6-31)

E-mail:kawakane@kkn.co.jp

³正会員 極東興和株式会社 営業本部技術企画部 (〒732-0052 広島県広島市東区光町2丁目6-31)

E-mail:melissa@kkn.co.jp

これからの社会インフラの整備において、老朽構造物の更新に関わる橋梁床版の架替えや地域活性化を目的とした鉄道駅等の機能改善に伴うペデストリアンデッキの増築などが見込まれる。これらの事業に際して、軽量化や部材厚の縮小化が可能となる鋼とコンクリートの複合床版を活用することで合理的な構造物の構築・更新が期待できる。一方、現状および今後の社会的課題に配慮すると、工事のスピード化による社会的影響の軽減や建設労働者の不足・高齢化に対する施工の合理化が重要となり、床版部材のプレキャスト化が有用と考えられる。本稿では、I形鋼格子床版を基本として軽量化を図ったプレキャスト複合床版の構造を提案し、その構造に対して実施した基礎実験の結果について報告する。

Key Words : composite slab, pre-cast, lightweight, I-beam grid slab, perfobond rib shear connector

1. はじめに

今後の社会インフラ整備においては、膨大な量となる既存構造物に対する合理的な維持管理・更新が課題となる。代表的な既存インフラの更新として、高速道路における橋梁の床版取替えの計画・事業化が行われており、それらの多くは、既存のRC床版をプレキャスト床版へ取り替えるものである。また、河川や道路改修および災害復旧等において、河川等の護岸部に張出構造の床版を設け、道路拡幅を行う事例もある。さらに、地域活性化を支える施策の一つとして、多くの人が集まる鉄道駅等の交通結節点において、利便化を図るための設備改善が行われており、その事業において、ペデストリアンデッキの増築等が行われている。

一方、今後の人口動向を鑑みると、建設労働者の減少や高齢化が深刻化しており、また、前述した事業は、供用中の構造物に対する維持管理であることや市街地での施工または短期間での施工が求められる工事となる場合が多く、それらの特性より社会環境への影響を考えると、建設現場における作業が最小限となりさらなる合理化・スピード化が可能となる技術・工法が求められる。

このような社会背景のもと、筆者らは、軽量化および現場施工の省力化が図れるプレキャスト複合床版の検討に着手した。

本稿では、提案する複合床版の基本構造概要および構造特性の把握と開発課題の抽出を目的とした静的載荷試験の結果について報告する。

2. 基本構造概要

(1) 基本コンセプト

既設床版の取替えを行う場合や既存構造物の改築において、既設構造物またはそれに近接して建設される基礎・支持構造の耐荷性および設置スペースから決まる構造物の大きさを考慮すると、新規構築する床版は、寸法や重量の制限が付与されることが多く軽量化の必要性が高い。また、軽量化した床版を採用することで、現場作業の省力化にも繋がると考え、鋼とコンクリートの複合構造に着目した。

これまでに、数多くの複合版が開発・実用化されており、各々適用性や長所を有している。既存の複合版の代表例としては、以下の構造等がある¹⁻³⁾。

- ・鋼板コンクリート合成版
- ・鋼コンクリートサンドイッチ合成版
- ・I形鋼格子床版

図-1に各構造の概要図を示す。これらの構造の多くは、全版厚をコンクリートで構成されるものであり、複合構

造としての力学的特性を考慮すれば、コンクリート部材厚を全版厚の半分程度とする等、さらなる軽量化が可能と考えられる。また、多くの構造において、現場施工にてコンクリートを打設するものであり、プレキャスト化による合理化が図れると考えられる。さらに、いずれの構造もコンクリートの下面もしくは上下面が鋼板で覆われているため、建設後の供用期間中にコンクリートの状況を目視確認できず、維持管理性に関して改善の余地があると考えられる。

これらの既存構造における課題を踏まえた上で、図-2に示すI形鋼格子床版構造を基本としたプレキャスト複合床版の検討に着手している。

提案する構造は、工場製作時の工夫により、既存構造において型枠兼用として設置されるコンクリートを覆う鋼板（底鋼板）を不要とすることができる。なお、本構造におけるコンクリートと鋼の接合は、接合部のディテールの簡素化が図れる孔あき鋼板ジベルを採用する方針である。

(2) 提案構造の特徴

本提案構造が有する従来の複合版と比較した場合の主な特徴としては、図-3に示す以下の3つの点がある。

- ・コンクリート部材厚は全版厚の半分程度である。
- ・コンクリート下面には底鋼板を設置しない。
- ・孔あき鋼板ジベルによるコンクリートと鋼の接合。

ここで、コンクリート部材厚を薄くすることにより、図-4に示すように部材中立軸はコンクリート部材内となり、版に正の曲げモーメントが作用した場合、孔あき鋼板ジベルは支間方向に引張応力が作用した状態でずれ止め機能を要求されることとなる。また、底鋼板を設置しないことも考慮すると、ジベル周辺のコンクリートの拘束度は比較的小さくなると考えられる。一方、既往の研究成果では、孔あき鋼板ジベルの破壊機構やずれ耐力は、孔あき鋼板ジベル孔周辺のコンクリートの拘束状態に大きく依存することが報告されている^{3~5)}。このことより、本構造に孔あき鋼板ジベルを採用する際

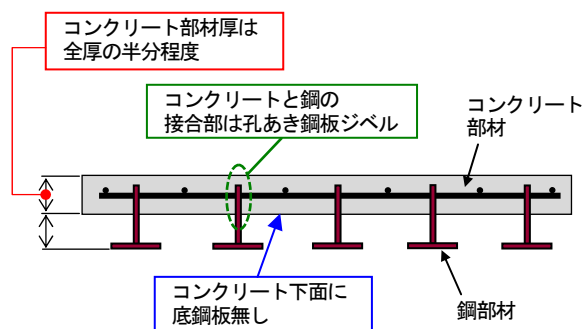


図-3 提案する複合版の特徴

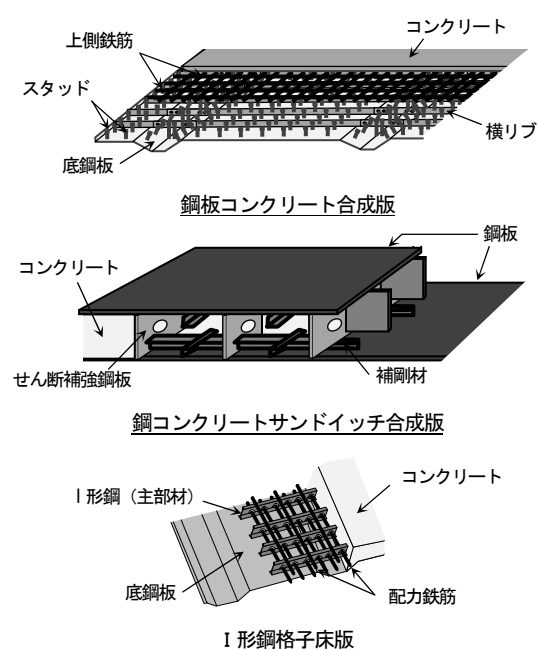


図-1 既存の複合版例

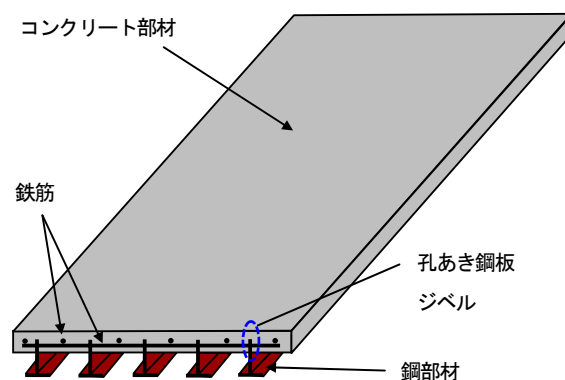


図-2 提案する複合版の模式図

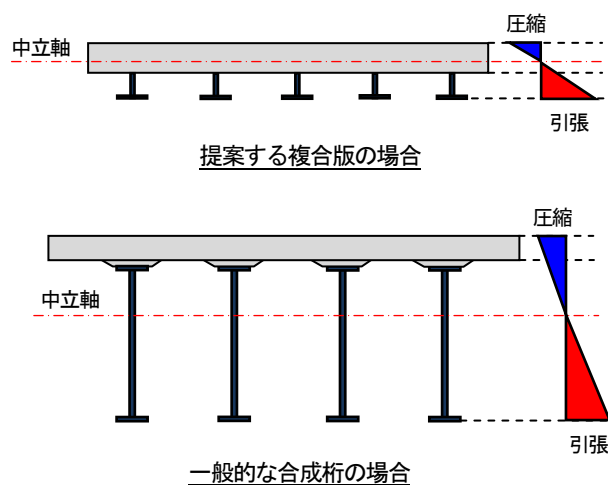


図-4 部材高と中立軸位置の関係

には、その拘束状態を踏まえた孔あき鋼板ジベルのずれ挙動を解明することが重要となる。本稿の報告では、ジベルのずれ挙動や耐力に関する詳細な検討には及んでおらず、今後の検討課題と考えている。

3. 静的載荷試験

(1) 実験概要

本実験では、提案する複合版の耐荷性能の把握や細部における課題を抽出すること等を目的とし、実物大相当の形状寸法を有する供試体を製作して、静的曲げ載荷試験を実施した。

(2) 実験供試体

供試体は使用する鋼材が異なる2種類を製作した。表-1に供試体一覧を図-5に供試体寸法を示す。ここで、鋼材を2種類用いた理由としては、形鋼を使用することを前提とした上で、部材形状が断面的に対称となり構造的に安定すると考えられるI形鋼を使用した場合（供試体1）と部材製作における鋼材切断加工が不要となる山形

鋼を使用した場合（供試体2）について、載荷に伴う挙動・耐荷性状の相異を確認するためである。

両供試体とも、コンクリート部材幅は鋼部材を2列配置できる640mmとし、その厚さは全版厚の半分程度となる100mmとした。コンクリート部材内には、支間方向および支間直角方向の2方向に、RC部材としての最小鉄筋量程度となるD13鉄筋を300mm間隔で各1段配置した。コンクリートと鋼の接合構造は、孔あき鋼板ジベルとし、鋼材に直径30mmの孔を300mm間隔で設け、前述したコンクリート部材内に配置する支間直角方向鉄筋D13（以下、貫通鉄筋と呼ぶ）をジベル孔内に配置した。この要領において、複合構造標準示方書に基づいたずれ耐力は、計算上の鋼材の降伏荷重相当の載荷時にずれ止めに作用する力以上を確保している¹⁾。

供試体の製作は、あらかじめ上下を逆にした状態で型枠内に鉄筋および鋼部材を組み立て、コンクリートを打設した。所定の強度に達した後、型枠を取り外し、上下を反転させて荷重載荷を行った。

(3) 載荷方法

1000kNアムスラー試験機を用いて、2点集中載荷による曲げ載荷試験を行った。載荷は荷重制御で行い、試験

表-1 供試体一覧

供試体名	供試体寸法 (mm)	鋼材	コンクリート	鉄筋
供試体1	幅640×高さ205 ×長さ4000	I形鋼 (SS400) [1200×100×7×10]	設計基準強度50N/mm ² (載荷試験時58.6N/mm ²)	SD295A
供試体2	幅640×高さ230 ×長さ4000	不等辺不等厚山形鋼 (KA) [L200×90×9×14]	設計基準強度50N/mm ² (載荷試験時54.5N/mm ²)	SD295A

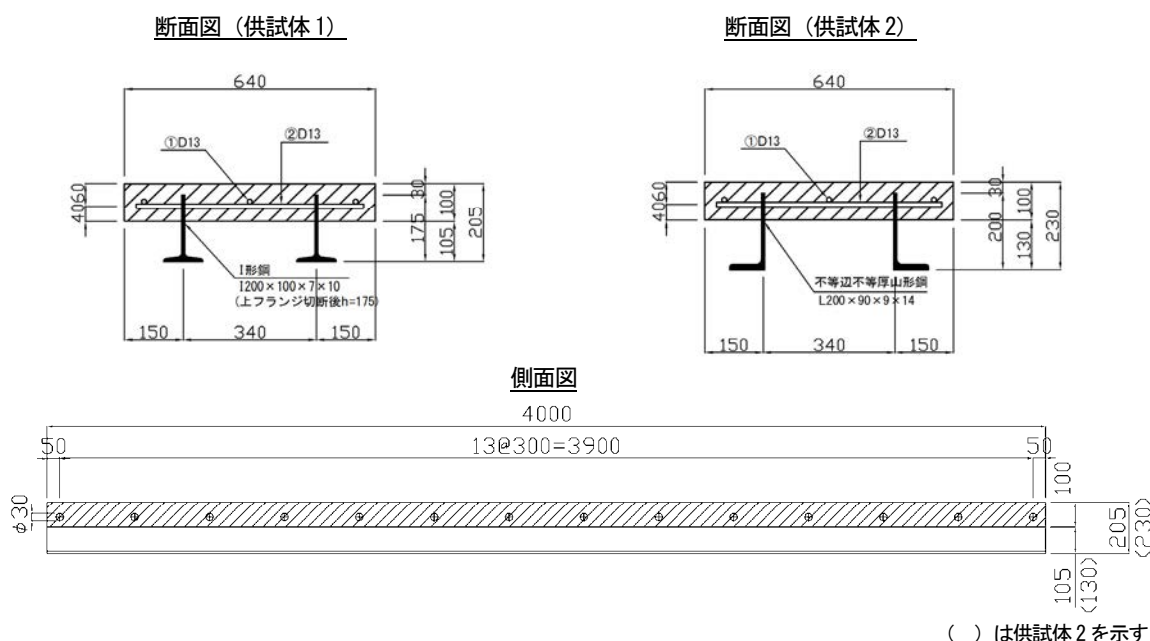


図-5 供試体寸法

機と2点荷重用鋼製治具の間に設置したロードセルを使用し荷重値を計測した。供試体の計測項目としては、主要箇所の変位およびコンクリート・鋼材・貫通鉄筋のひずみとした。図-6に荷重要領・計測箇所、写真-1に荷重試験状況を示す。



写真-1 荷重試験状況

(4) 実験結果

a) 荷重と変位の関係

図-7に荷重-変位関係を示す。なお、図-7に示す変位は、支間中央の変位から支点部の変位を差し引いた供試体のたわみを示している。

ここで、供試体1と供試体2では、異なる種類の形鋼を使用している都合上、部材高さ等が異なっており、両者

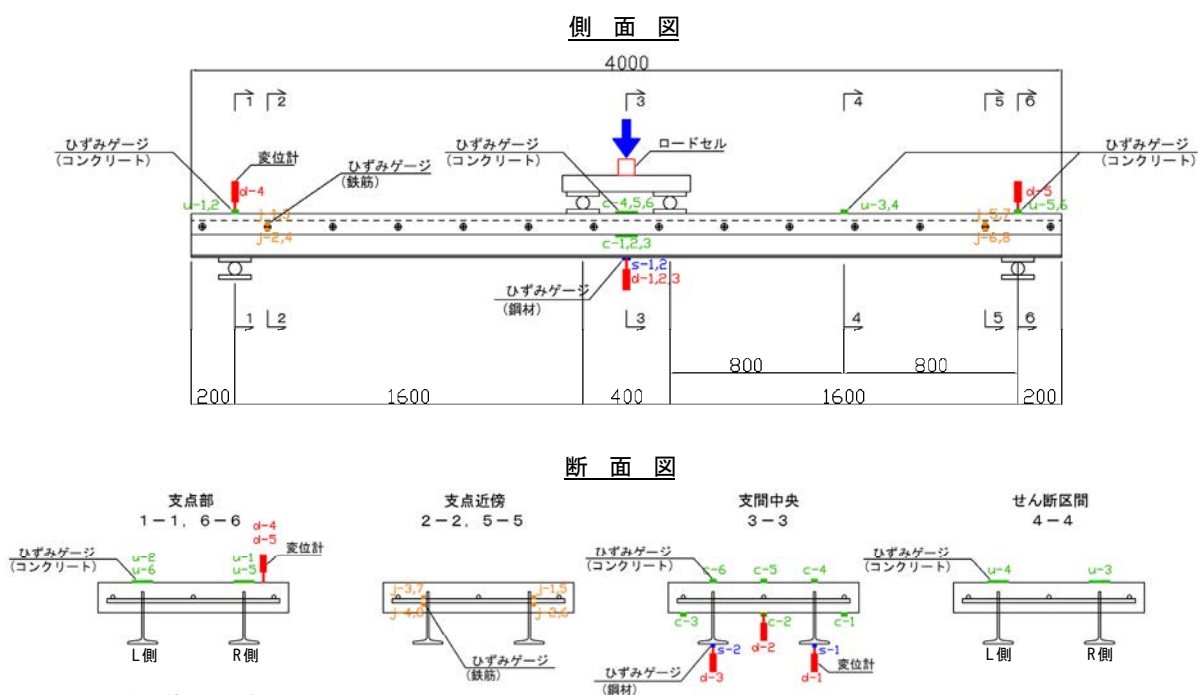


図-6 荷重要領および計測箇所

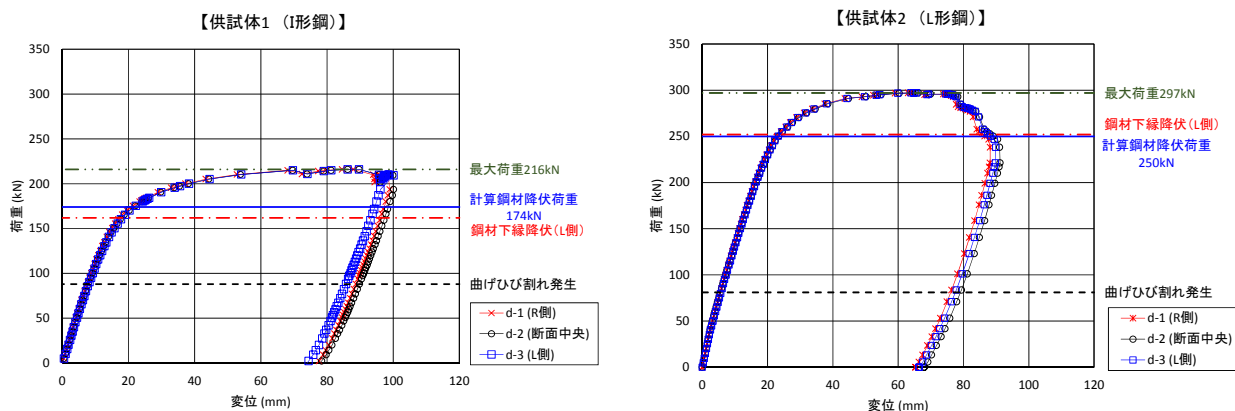


図-7 荷重-変位関係

が有する耐荷力に相異がある。全断面有効とした梁理論により求めた鋼材降伏荷重の計算値は、供試体1が174kN、供試体2が250kNであり、4割程度異なる。試験における鋼材降伏荷重は、供試体1が160kN程度、供試体2が250kN程度であり、試験結果と計算値の差は両供試体とも10%未満であった。ここで、試験結果の鋼材降伏荷重は、支間中央下縁で計測したひずみと荷重の関係をもとに、荷重増加に対するひずみの増加が顕著に大きくなり始めた時点とした値で、L・R側のうち小さい値を示す。試験の最大荷重は、供試体1が216kN、供試体2が297kNであり、鋼材降伏荷重の計算値と比較して6～7割程度高い値であった。試験最大荷重において、両供試体とも上縁コンクリートが圧壊した。

支間中央における変位は、L・R側の鋼部材の下端および断面中央のコンクリート部材下縁の3箇所を計測しているが、供試体1・2ともこの3箇所の荷重-変位関係は、最大荷重に至るまで一致しており、一体性が確保できていることがわかる。

b) 支間中央のコンクリート・鋼材のひずみ

支間中央のコンクリート（上縁）と鋼材（下縁）のひずみについて、図-8に供試体1、図-9に供試体2の計測結

果を示す。なお、ひずみの符号は、圧縮側を負、引張側を正で表している。

供試体1について、荷重が160kN程度の時点でコンクリート（C-4～C-6）およびL側の鋼材（S-2）のひずみが急激に増加し始め、支間中央位置における鋼材降伏が生じたと考える。R側の鋼材のひずみ（S-1）については、L側よりも遅れて荷重が210kN程度でひずみが急激に増加しており、左右の鋼材における降伏荷重が異なっている。なお、載荷初期の弾性挙動の範囲では、両者のひずみは同程度となっており、供試体の設置誤差や載荷装置に起因する偏載荷の影響は少ないと考えられる。また、L側の鋼材ひずみ（S-2）について、110kN程度の載荷時点で、ひずみが減少し、その後160kN程度の載荷まで線形性を保った挙動を示している。この要因については、現時点で解明できていないが、計測箇所以外において110kN程度時点で局所的な降伏が生じた可能性が考えられる。

供試体2について、荷重が250kN程度の時点でコンクリート（C-4～C-6）およびR側の鋼材（S-1）のひずみが急激に増加し始め、支間中央位置における鋼材降伏が生じたと考えられる。L側の鋼材ひずみ（S-2）については、

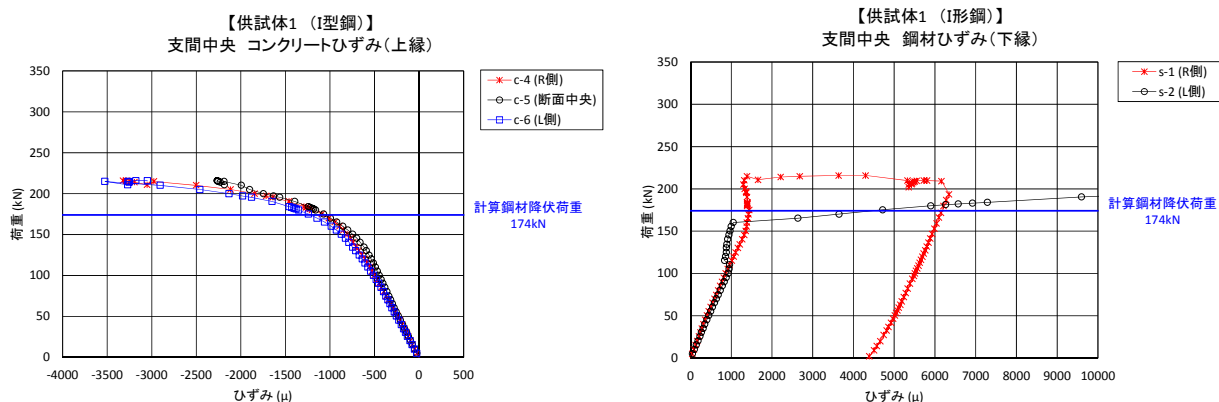


図-8 支間中央上下縁ひずみ（供試体1）

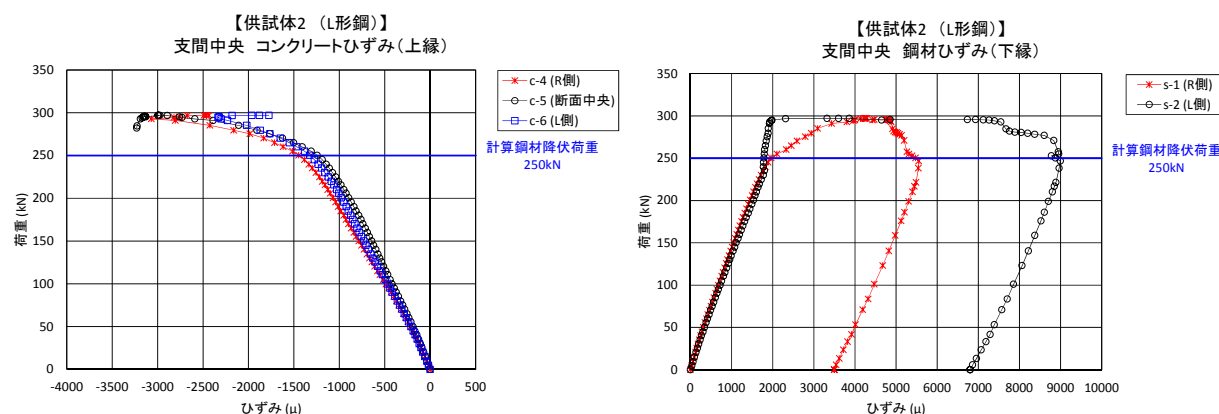


図-9 支間中央上下縁ひずみ（供試体2）

230kN程度の荷重時点で、ひずみがわずかに減少し、その後290kN程度の荷重まで線形性を保った挙動を示している。このことについては、供試体1と同様に、計測箇所以外において230kN程度時点で降伏に至っていた可能性が考えられる。

支間中央のコンクリート下縁のひずみについて、図-10に計測結果を示す。

供試体1・2とも、荷重直後から引張ひずみが発生しており、部材中立軸がコンクリート内（コンクリート下縁側は引張領域）であることがわかる。両者とも、荷重が80kN程度前後の時点で、荷重-ひずみ関係の傾きが変化しており、その時点で支間中央位置にひび割れが発生し

たことを示している。供試体2においては、荷重が40kNの時点でL側（C-1）の荷重-ひずみ曲線の傾きがわずかに変化し、その後断面中心（C-2）の傾きもばらついていく。ただし、40kN荷重時点でのひずみは 50μ 程度であり、テストピースの圧縮試験結果から求めた引張強度（ひずみ換算）は 100μ 程度であったことから、その時点ではまだひび割れは発生していなかったと推定できる。

c) 支間直交ひずみ（コンクリート上縁・貫通鉄筋）

供試体1における支間直交に着目した計測結果について、コンクリート上縁ひずみを図-11に、貫通鉄筋ひずみを図-12に示す。

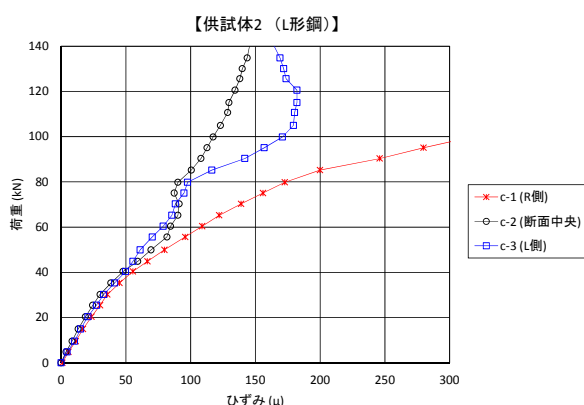
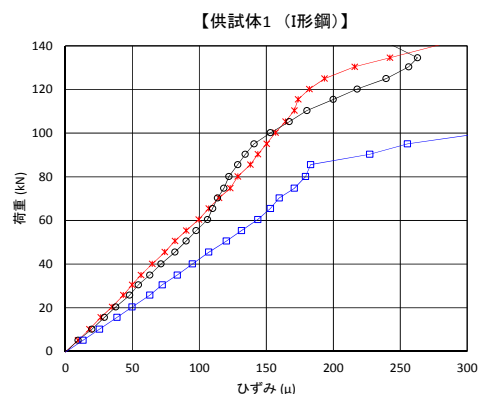


図-10 支間中央コンクリート下縁ひずみ

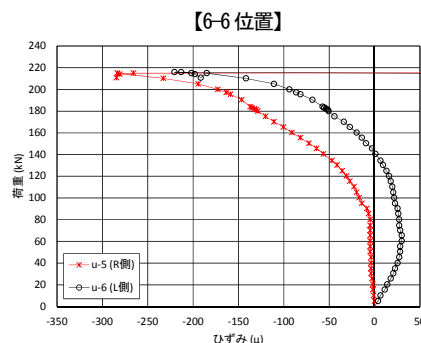
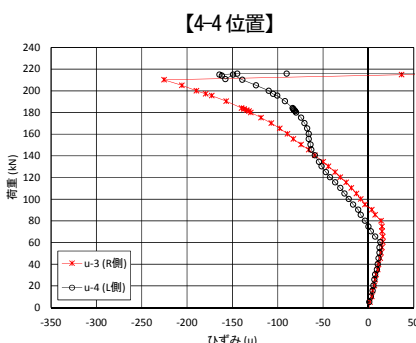
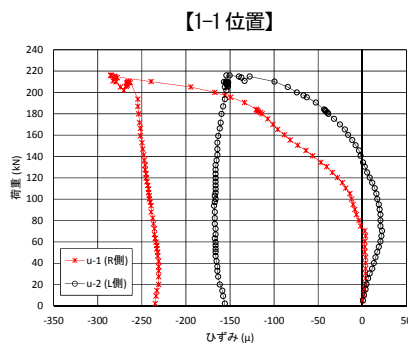


図-11 コンクリート上縁支間直交ひずみ（供試体1）

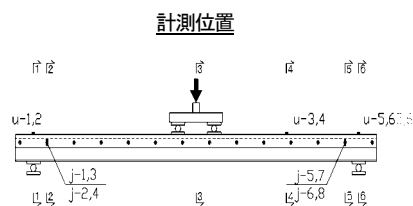
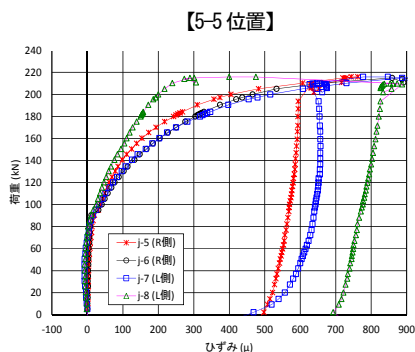
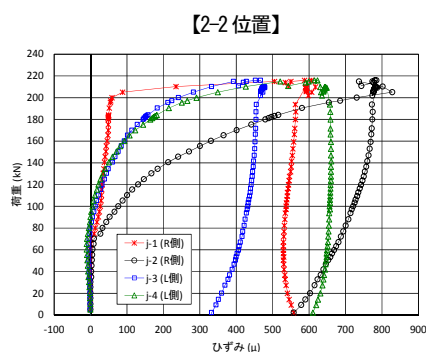


図-12 貫通鉄筋ひずみ（供試体1）

コンクリート上縁の支間直交ひずみは、載荷直後から概ね引張側に発生し、60～80kN載荷時点で圧縮側に反転した。u-1およびu-5については、載荷直後から80kN載荷時まで引張ひずみの発生はわずかであるが、その後から圧縮ひずみが発生している。また、貫通鉄筋ひずみについては、全箇所において80kN前後の載荷時より顕著な引張ひずみの発生が生じている。これらのことから、コンクリート上縁の支間直交ひずみや貫通鉄筋ひずみの変曲点である60～80kN載荷時点で、ジベル孔内のコンクリートにひび割れが発生したことが考えられる。供試体外観においては、最大荷重の直前において、写真-2に示すコンクリート上縁に鋼材（ジベル鋼板）に沿ったひび割れが発生した。

このひび割れに関連して、既往の研究における孔あき鋼板ジベルの押し抜き試験にて、ジベル鋼板に平行なひび割れが発生する破壊形態が確認されている⁹⁾。これは、孔あき鋼板ジベルにずれ力が作用すると、孔内コンクリートには、その周辺のコンクリートを割裂させようとする押し広げ力が発生し、ずれ力の増加に伴い孔内コンクリートにひび割れが発生した後、ジベル鋼板先端からかぶりコンクリートにひび割れが進展するものである。

本供試体は、ジベル鋼板上のかぶりコンクリートは30mmと薄く、また、貫通鉄筋は配置しているものの、上縁付近のかぶり部分には鉄筋を配置しておらず、さらに、コンクリート下面には底鋼板を配置していない。このように、孔内コンクリートに発生する押し広げ力に対する拘束影響が非常に小さい状況であることから、コンクリート上縁に発生したひび割れは、ジベル孔内のコンクリートのひび割れがジベル鋼板に沿って進展し、表面化したものとする。

本構造を歩道床版および道路橋床版等の実構造に適用する場合、ひび割れ発生荷重の程度によっては、使用性および耐久性に対する課題となる。本実験の支間における道路橋示方書⁷⁾に準じた群集荷重（5.0kN/m²）および活荷重（T荷重：100kN）相当の曲げモーメントを発生させるための載荷荷重は、群集荷重相当で6.5kN、活荷重相当で68.5kNである。ひび割れ発生荷重が最大荷重の直前（200kN程度以上）であったことを踏まえると、現時点においては、使用性において問題は無いと考える。

d) コンクリートとジベル鋼板のずれ

写真-3に示すように、供試体1、2とも、最大荷重の直前において、供試体端部でコンクリートとジベル鋼板のずれを確認した。試験終了後にずれ量を測定したところ、供試体1については1～2mm、供試体2については2～3mmであり、供試体2のずれ量が若干大きい結果であった。これは、孔あき鋼板ジベルのずれ耐力は同じ設定（孔径・孔間隔・貫通鉄筋量・コンクリート部材形状は同等）としていることに対し、曲げ耐力は供試体2の方が

供試体支間中央位置

ジベル鋼板に沿ったひび割れ

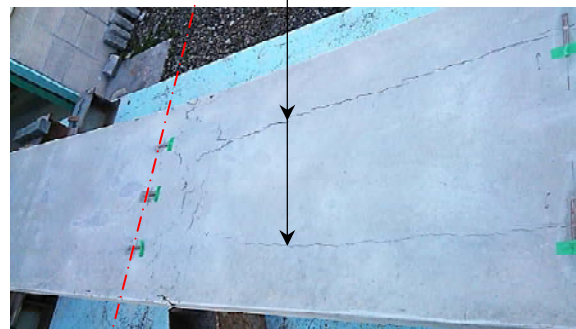


写真-2 コンクリート上面ひび割れ



供試体1



供試体2

写真-3 コンクリートとジベル鋼板のずれ

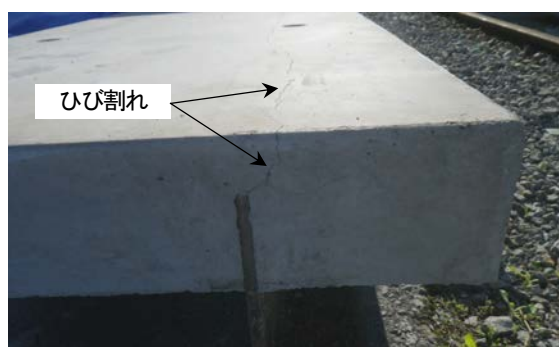


写真-4 ジベル鋼板上端からのひび割れ

大きく試験最大荷重が大きかったため、両者の試験終了後のずれ量に差が生じたものと考えられる。また、写真-4に示すように、ジベル鋼板の上端からコンクリート上縁に向かって、ひび割れが発生しており、前述したコンクリート上縁のジベル鋼板に沿ったひび割れに繋がっていた。この外観状況は、既往の研究成果⁹⁾において示されるジベル鋼板に平行なひび割れが発生するジベルの破壊形態と酷似している。このことから、本供試体の孔あき鋼板ジベルは、コンクリートの破壊により終局に至っていると考えられる。

4. 結論

本検討では、軽量化および現場施工の省力化が図れるプレキャスト複合床版の検討として、実物大相当の供試体を用いた静的載荷試験を行った。本実験から得られた知見・考察を以下に示す。

- 1) 今回実施した静的載荷試験の範囲において、提案する複合床版は、道路橋示方書における群集荷重および活荷重に対する耐荷性能を有している。
- 2) 本提案構造において、版幅640mm、かつ、偏りのない荷重に対しては、全断面有効とした梁理論により部材耐力を概ね評価できる。
- 3) 鋼部材にI形鋼を使用した供試体と不等辺不等厚山形鋼を使用した供試体について、静的載荷試験における両者の挙動等に有意な差はなかった。
- 4) ジベル鋼板に沿ってコンクリート上縁に発生したひび割れについて、本実験の範囲では、現在想定す

る設計荷重（群集荷重・活荷重）に対して大きな安全率を有していた。ただし、このひび割れは孔あき鋼板ジベルのずれ挙動・耐力に関係するため、実構造における孔周辺のコンクリートの拘束状態を適切に評価したずれ耐力の設定が課題となる。

- 5) 本提案構造の孔あき鋼板ジベルは、コンクリートの破壊によりずれ耐力が決定していると考えられる。

謝辞：本稿の実験を行うにあたり、広島大学 藤井堅教授および(株)ダイクレより、ご協力とご指導を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：2009年制定 複合構造標準示方書，2009.
- 2) 土木学会：複合構造物の性能照査例-複合構造物の性能照査指針(案)に基づく，pp.139-164，2006.
- 3) 古川祐輔，藤井堅，道菅裕一，山口詩織：孔あき鋼板ジベルの押し抜き試験における各種パラメータのずれ耐力への影響，第9回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，pp.58-65，2011
- 4) 中島章典，橋本昌利，小関聡一郎，鈴木康夫：拘束度の高い押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルの強度評価，第9回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，pp.49-57，2011
- 5) 平陽兵，浅沼大寿，一宮利通，大窪一正，古市耕輔：拘束効果を考慮した孔あき鋼板ジベルの耐力評価法，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.1225-1230，2013
- 6) 藤井堅，岩崎初美，深田和宏，豊田正，藤村伸智：孔あき鋼板ジベルの終局ずれ挙動とコンクリート拘束因子，土木学会論文集 A，Vol.64 No.2，pp.502-512，2008.6
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，pp.284-285，2012.

STUDY ON COMPOSITE PRECAST SLAB

Shintaro TANI, Hajime KAWAKANE and Melissa HALIM

For the infrastructure maintenance, rapid replacement of bridge decks is becoming increasingly important in high traffic areas due to public intolerance to extended bridge closure. Prefabricated panel systems are advantageous in improving the quality and speed of bridge deck replacement.

This study presents a new lightweight slab system. The newly developed system includes steel beam or grid, and precast concrete. The purpose of the system is to provide a high quality lightweight deck slab that can be built rapidly for new construction or for rehabilitation. Rapid construction reduces the traffic destruction and annoyance that users may encounter.

Over the past several years, many strategies have been developed to combat the shortcomings of traditional methods of deck replacement. A popular method is to incorporate prefabricated elements to achieve economy through reduced onsite construction time and labor.

In this report, as a result of structure summary and fundamental experiment of structure for the composite slab systems consists of steel grid and precast concrete.