# 繰り返し荷重を受ける鉄道下路桁用合成床版に関する実験的研究

Experimental study on a composite deck for the railway through girder with cyclic load

後藤貴士\*,吉田直人\*,山田正人\*,工藤伸司\*\*,谷口望\*\*\* Takashi Goto, Naoto Yoshida, Masato Yamada, Shinji Kudo, Nozomu Taniguchi

\*東日本旅客鉄道 東京工事事務所 工事管理室(〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6) \*\*東日本旅客鉄道 建設工事部 構造技術センター(〒151-8578 東京都渋谷区代々木 2-2-2) \*\*\*鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部(研究当時:東日本旅客鉄道)(〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)

In the city, the long span and thin slab are demanded for the bridge. In this study, the composite slab is shown for the floor group of through truss bridges. Design technique to control concrete cracking of the composite slab is used for these bridges; the repeated-load examination that simulated a train moving load was performed, in the composite slabs tension, for examination of the durability. As a result, it was confirmed that outbreak and development of the big damage did not occur by durability.

Key Words: Composite slab, Crack control, Cyclic loading test キーワード: 合成床版, ひび割れ制御, 繰り返し載荷試験

# 1.はじめに

都市内の鉄道橋梁建設においては、そのほとんどが狭 隘な空間での施工であり、施工手法や環境対策に多くの 制限が課せられている、その結果、長スパン化や床組構 造の薄型化が要求されているが、本研究では、長スパン 化が可能な下路トラス橋床組に底鋼板を有する合成床 版を配置し(図-1)、また、軌道構造としてコンクリー ト直結式軌道(図-2)を用いる構造を提案する、本構 造の主な利点は以下の通り考えられる、

床組構造を薄型化できるため, レール レベルから床版下面の高さを従来橋の6割程度 (1000mm→600mm程度)に抑えることができる. 床組に合成床版を使用しているため剛性向上,高耐 久性が期待できる.また,橋梁全体でのねじれ剛性 も向上するため,曲線トラス橋に有効活用できる. 底鋼板型合成床版を使用するため,型枠が不要であ り,コンクリート剥落の心配がなく,開床式床組に 比べて騒音が低減できる.

今回提案する橋梁に類似するものとしては,下路アー チに RC 床版を合成させた Domitz 橋 (ドイツ)<sup>1)</sup>があ り,日本の鉄道橋では下路トラスに SRC 床版を合成し た鴨川橋梁2)がある.これらの橋梁は,いずれも引張力 を受ける部材でありながら、RC(SRC)床版を積極的に 合成させ,ひび割れ制御設計を行っている.これらの床 版では目地構造を用いていないが,これは,目地構造と すると応力集中等により構造の弱点となることが指摘 されていることや3),また,ずれ止めを用いなくてもコ ンクリートと鋼材との付着により合成し4),目地を設け てもひび割れが生じてしまうことが理由である.鴨川橋 梁の設計においては,橋軸直角方向については横桁およ び有効幅範囲内のコンクリートを SRC 桁として設計し ている.今回提案する構造では,この横桁の高さをさら に低く抑える効果を最大限にするため,横桁のピッチを 狭くする必要があり,結果として,合成床版の底鋼板リ ブの機能を拡張したもののようになっている.なお,従 来の検討においては,このひび割れ制御設計の基礎デー タを得るべく,SRC 床版の軸引張試験5)や,軸力・鉛直 力を同時に静的載荷する試験6)が行なわれているが、繰 り返し載荷時の挙動確認は行われていないのが現状で ある.

底鋼板を有する合成床版は,道路橋に対しては研究が 多く行われてきており,近年では実構造に活用されてい る事例も多い.この構造の特徴としては高耐久性や経済 性に優れていることとされており<sup>7)</sup>,検討手法としては 主に輪荷重走行試験<sup>8)</sup>が行われている.この輪荷重走行



底鋼板(兼,埋設型枠)

図 - 1 合成床版を用いた下路トラス橋モデル概要



図-2 コンクリート直結式軌道の例(本検討供試体)

試験による床版の損傷形態は,移動載荷のない定点疲労 載荷の結果と異なることが知られている<sup>8)</sup>.鉄道橋にお いても,連続合成桁の床版として合成床版が使用された 松尾線路橋<sup>9)</sup>などがある.しかし,鉄道橋においては, 軌道構造が比較的重厚な事例が多く,輪荷重に相当する ような状況での試験は行われていないのが現状である.

今回提案する構造としては,既存の合成床版と比べて も構造上大きな差はないものの,リブの大きさはやや大 きいと考えられる.これは前述のように,SRC床版の横 桁としての機能を持たせているためであるが,合成床版 としては鋼とコンクリートとのずれ止めの機能もある ため,この点からすると,横桁のピッチを広く取ると局 所的にずれ止めの機能が劣り,合成効果が低下する可能 性がある.また,既存の合成床版の検討では,連続合成 桁を対象に負曲げ状態での載荷試験<sup>10)</sup>は見られるもの の,下路トラス橋の径間中央部のように軸引張状態での 載荷試験は少ない.

さらに,今回提案する構造では,RC 床版に直接アン カーを埋め込むコンクリート直結軌道(図-2)を用い ることとしている.これにより,軌道構造の厚さを大幅 に低減できることになる.この軌道構造は,軌道構造の 分野では従来から研究されており,PC 版上等で使用さ れた実績もある.しかしながら,軌道構造と床版とを一 体で検討した事例は少なく,本構造のようにひび割れを

表 1 打設コンクリートの配合・強度

配合	<sub>28</sub> =36-15-20
28日圧縮強度	48.1(kN/mm <sup>2</sup> )
28日割裂引張強度	3.18(kN/mm <sup>2</sup> )
膨張材	デンカCSA#20

許容した床版上に設置した事例は特に少ないといえる. また,直結軌道のように,非常に薄型の軌道締結装置で は,道路橋の輪荷重に近い挙動になることも予想され, さらには,軌道構造のアンカーと床版横桁の配置も干渉 する可能性もあるため,床版構造と軌道構造の相互作用 についての検討が必要であると考えた.

合成トラス,合成床版,軌道構造の各分野ではそれぞ れ研究が進んでいるが,本提案構造の開発には,複合的 な研究が必要不可欠であることが分かる.そこで,本研 究では,合成床版に下路トラスを再現した軸引張力を与 え,同時に,コンクリート直結軌道から伝わる応力を再 現した鉛直荷重を載荷する試験を行なった.この試験の 静的載荷部分については,著者らは以前から実施,報 告<sup>6)</sup>しており,今回は,列車移動荷重を模擬した繰り返 し載荷試験について報告することとした.試験結果は理 論値と比較することにより,応力集中などの傾向や構造 上の弱点を調査するとともに,繰り返し載荷時のひび割 れ進展状況および床版の耐久性を検討した.なお,本検 討では,引張軸力の作用する特性から,主として橋軸方 向のはり挙動に対して検討を行なっている.

## 2.供試体の概要

供試体および載荷試験機の概要を図 3(a)~(d)に示す. 供試体の設定では、 締結装置アンカーが横桁と干渉する ため,締結装置間隔の制限値をもとに横桁3本(締結装 置4個)を想定し 橋軸方向のスパンを2500mmとした. 床版厚については,想定構造の実物大の250mmとし, 実物大の締結装置(コンクリート直結式)を設置できる ようにした.また供試体の幅については,締結装置タイ プレートの幅(440mm)からほぼ 45 度の角度で荷重の 影響が広がることを考慮すると, 底鋼板については約 940mm 程度の幅で荷重が分布することから、供試体床版 の幅を1000mmとした.下弦材断面は,実物のトラス橋 梁2)を参考に,床版断面積との比率より,溝型鋼(380 ×100×10.5×16)を2本配置した. 横桁は, 締結装置 間に 500mm ピッチで設置することを想定し,実物の横 桁支持式トラス橋の横桁の剛性と同程度で,かつ,横桁 上フランジから床版上面までのかぶりが 100mm を確保 できるように、CT型鋼(300×150×6.5×9)を用いた. 底鋼板は,CT 型鋼の溶接等に配慮して,板厚 9mm を 使用し,下弦材,横桁,底鋼板の各接触部は溶接により 固定されている.床版内鉄筋については,実物のトラス



図 3 供試体図・計測位置図(単位:mm)

<u> 鉛直4 鉛直3 鉛直2 鉛直1</u>



図 4 載荷装置の概要(単位:mm)



図 5 軸力アクチュエータ設置状況



図 6 鉛直アクチュエータ設置状況



(sin 波形を1/4 周期の位相差で連動させる)

12 「/ 「床」ノ込し凹奴と単川町1町里り/224	表 - 2	燥り返し回数と載荷荷重の設定
----------------------------	-------	----------------

載荷回数	水平軸力荷重 H(kN)	鉛直荷重() P(kN)
1 ~ 200万回	2000	85
200万回 ~ 600万回	3000	100

鉛直アクチュエータ1本あたりの荷重振幅を示す.

橋梁<sup>2)</sup>を参考に,コンクリートとの鉄筋比が1%程度<sup>1)</sup> となるように,D19(上段),D10(下段)を配置した. なお,D10鉄筋については,横桁ウェブに孔(30)を 設けて横桁を貫通させる構造とし,各鉄筋と鋼部材とは 溶接を行っていない.底鋼板や下弦材とコンクリートと の接触面については,摩擦力や横桁がずれ止めとしても 機能することを期待して,横桁以外のずれ止めは設置し ていない,床版コンクリートの配合,28日強度について, 表1に示す.コンクリート強度は,呼び強度よりも十 分大きな値となっている.なお,コンクリートには,収 縮対策として脑張材(20kg/m<sup>3</sup>)を添加している.

供試体のひずみ計測は,図 3(a),(b)のようにA~C,B', C'の各断面を設定し,底鋼板(a-1~a-3),軸方向鉄筋(b-1 ~b-5),下弦材(c-1~e-2)にひずみゲージを設置し,変 位計についてはA,C,C'断面に3箇所ずつ鉛直方向変 位を測定するために設置した.

載荷にあたっては,鉛直載荷用には125kNアクチュエ -タ4本を締結装置上のダミーレール上に設置している (図-3(d),図-4(a)).軸力載荷用には2000kNアクチ ュエータ2本を溝型鋼高さ方向の中心位置に設置し(図 -4(b),図-5),供試体の境界条件は,鉛直荷重に対し て単純支持の桁になるように支点を配置し,軸力を伝え る反力壁は床版の回転および伸びを拘束しないように, 反力壁下部に硬質ゴム,テフロン板を敷いた.また軸力 を載荷するアクチュエータについて床版の回転の影響 を受けないように,それぞれ反力壁との間にピンを設置している.

## 3. 載荷試験概要

鉛直荷重の載荷にあたっては,列車荷重が床版上を移 動する状況を再現するために,鉛直荷重用の4本のアク チュエータを連動制御させる手法とした.4本のアクチ ュエータの連動のイメージを図 - 7 に示す.鉛直荷重は 図 - 7 のように, それぞれ同じ振幅・周期に保たれた sin 波を 1/4 周期の位相差でそれぞれ載荷させ ,列車が「鉛直 1」から「鉛直 4」に移動する状況を模擬している.載荷回 数としては、「鉛直1」の荷重がピークになった点から、 「鉛直4」の荷重がピークになった点までを1サイクル(1 回)と考えることとした.床版に作用する鉛直荷重とし ては, sin 波を使用することから,「鉛直1」から「鉛直4」 までの間での合計でアクチュエータの載荷荷重の約2倍 (図-7ではPの2倍)が常に作用していることとなる. なお,この連動制御を厳密に行うために,載荷部のダミ ーレールは締結装置ごとに分断された状態としている (図-6).

載荷の荷重値については, 表 - 2 に示すように設定した.水平軸力については,同様なトラス橋<sup>2)</sup>において床版部の設計がひび割れ幅で決定していることから,供試体のひび割れ幅が,静的載荷試験の計測値<sup>6)</sup>で約0.3mmとなる3000 kNを最終的な荷重とし,200万回までの初期の繰り返し載荷では,実際の列車通過時を想定し使用性を考慮したひび割れ幅が約0.2mmとなる2000 kNを用いることとした.

200 万回までの鉛直荷重については,実際の設計列車 荷重(EA17)の片輪重である85kNを想定し,締結装置 から伝わる鉛直力が実物と同等となるように設定した. なお,この鉛直荷重85kNについては,先述のsin波に よる載荷の場合,床版の軸方向に生じる曲げ応力度が, 実際のトラス橋<sup>2)</sup>の列車荷重による曲げ応力度設計値と, 引張側で同等,圧縮側で約2倍となるように設定されて いる.このように引張側と圧縮側で差異が生じる理由は, 本供試体と対象のトラス橋<sup>2)</sup>とでは,床版の中立軸の位 置が異なるためである.

繰り返し回数と200万回以降の鉛直荷重の設定にあたっては,コンクリート床版の引張鉄筋の疲労に対する検討理論<sup>11)</sup>を用いて,実際の橋梁の耐用年数100年間に相当する繰り返し回数を想定し,これと等価となるように200万回から600万回までの鉛直荷重を100kNと設定した.この検討にあたっては,鋼部材の疲労限界<sup>11)</sup> および床版コンクリートの押し抜きせん断の疲労限界<sup>11)</sup>および床版コンクリートの押し抜きせん断の疲労限界<sup>11)</sup>についても算出したが,本構造では引張鉄筋の疲労によって限界値が決定している.これらの応答値の算出に当たっては,実際の列車(E231系列車)の荷重を用



<sup>「</sup>幅」と「深」は横桁下面にできた空隙の幅と深さを示す.



図-9 床版中央(A断面)における鉛直変位の挙動

いている.なお,繰り返し回数の算出には,前述のとおり,供試体には2倍の鉛直荷重が作用するものとした.

載荷手順としては,水平軸力導入を先に行い,軸力を 一定に保った後,鉛直荷重の繰り返し載荷試験を開始す ることとし,繰り返し載荷の速度は,共振に配慮しなが ら5Hzまでの範囲とした.繰り返し載荷の間にも,軸力 を保った状態で静的に鉛直載荷試験を合計21回行なっ ている.静的載荷における鉛直荷重は,繰り返し載荷を 行なっている鉛直荷重(85kNまたは100kN)を1本ず つ床版に載荷し,ひずみ,変位,ひび割れ幅を測定して いる.

# 4.試験結果

#### 4.1 ひび割れの発生状況

600 万回載荷試験後のひび割れ状況を図 - 8 に示す. 図 - 8(a)は,床版上面のひび割れ状況である.ひび割れ のうち,青線は,鉛直荷重を載荷する前の,軸力導入時 に生じたひび割れであり,赤線は600 万回の繰り返し載 荷の間に新たに進展・発生したひび割れである.ひび割 れについては,締結装置部よりも締結装置間の横桁上に 多く生じている様子が分かる.これは,横桁上フランジ のコンクリートのかぶりが薄いために生じていると考 えられる.また,繰り返し載荷後においても,新たなひ び割れの発生は少なく,スパン中央付近の締結装置付近 にはひび割れがあまり生じなかった.

図 - 8(b)~(d)は,試験終了後に,床版内部の損傷状態 を調査する目的で,床版をワイヤーソーで切断した結果 である.切断面は,図 - 8(a)に示した , , である. ひび割れは,床版上面と同様に横桁上部に集中している 様子が分かる.また,横桁上においても上フランジ端部 から床版上面に伸びるひび割れと横桁上フランジの上 にある軸直角方向鉄筋を貫通するひび割れが多く見ら れ,横桁フランジ端部とこのフランジ上の鉄筋がひび割 れを誘発していることが推測される.また,床版中央の - 断面においては,横桁上フランジより水平もしく は底鋼板方向に伸びるひび割れも見られる.このひび割 れは, 断面以外の部分では見られていない.締結装置 部のひび割れは,床版上面からは余り見られなかったが, 内部では,締結装置アンカーから底鋼板まで達するひび 割れが生じた.このひび割れは,支点に近い締結装置部 に生じており,横桁にひび割れが集中しない場合に生じ るひび割れであると考えられる.なお,横桁上フランジ と締結装置アンカーについては,両者の距離が短く,干 渉によりひび割れが生じると考えられていたが,この部 分を結ぶひび割れは生じていなかった.

図 - 8(b) ~ (d)には,横桁上フランジ下面に生じた隙間 の状況も示している.この隙間は,床版コンクリートを 打設した際に,空気が混入し,結果として未充填部とな ったものである.この未充填部は,応力集中等により構 造上の弱点となることが予想されるが,ひび割れの発生 状況には影響を与えていない結果となっている.

#### 4.2 変位・ひび割れ幅の測定結果

図 - 9は,床版中央A断面の変位(3本の変位計の平 均値)を示している.なお,変位は下方向を正とした. また , 測定結果は , 「鉛直 2」に静的載荷した際と「鉛直 3」に静的載荷した際の両方を示しているが,両者の値は 載荷位置が異なるものの,床版の対象性から同じ理論値 となっている.測定結果は,床版の曲げ剛性にコンクリ ート断面を考慮したいわゆる「合成」と,コンクリート断 面を無視した「鋼+鉄筋」の計算結果の間となっている. これは、軸力によりコンクリートにひび割れが生じた後 も、ある程度の剛性の寄与(テンションスティフニング) があることを示している.この剛性の寄与は,試験初期 のうちは比較的変動があるものの,5万回以降はあまり 変化がない.また,軸力と鉛直荷重が増加してもこの効 果は続いて見られており、テンションスティフニング効 果は消滅しないと考えられる.この図-9の傾向は,連 続合成桁中間支点部の載荷試験の結果と類似してい  $\mathbf{3}^{(12)}$ .

図 - 10は、全ての鉛直荷重が作用せずに、水平軸力の みが作用している状態におけるひび割れ幅の計測結果 である.ひび割れ幅は、図 - 8(a)に示した、「測定点 - 1 ~6」をひび割れの代表点とし、マイクロスコープと画像 解析処理によりひび割れ幅を算出したものである.ひび 割れ幅の計算値は、合成桁<sup>12)</sup>およびSRC 床版<sup>5)</sup>の設計 で一般的に用いられている収縮 150 µ と、最大ひび割れ 間隔 500mm(横桁間隔)を用いて計算しており、軸力の みを純粋に作用する場合(偏心なし)と床版の中立軸と 軸力作用位置のずれ量から曲げ(そり)が発生するとし たもの(偏心考慮)の2通りを示している.ひび割れ幅 の測定結果は、大きくばらついており、横桁上のひび割

























れでは計算値を超えるひび割れ幅も見られる.これは, 後述する鉄筋のひずみの値から考えて,横桁上に生じた 応力集中の影響で,その周辺部のひずみの積分値である ひび割れ幅も大きくなっているためと考えられる.した がって,本結果から,横桁上の剛性(軸方向鉄筋)が不 足していることが考えられる.しかし,ひび割れ幅は, 試験初期のうちは増加する傾向が見られるものの,繰り 返し回数が進むにつれ,変位の挙動と同様に安定し,急 激に増加する傾向は見られていない.

## 4.3 鋼部材のひずみの測定結果

図 - 11 は,床版中央 A 断面の底鋼板下面および下弦 材下面のひずみであり,「鉛直 2」を静的載荷した際の増 分量を示している.計算値は,図 - 9 と同様,「鋼+鉄筋」 断面による結果と,「合成」断面の結果を示している.測 定結果は,下弦材については「合成」と「鋼+鉄筋」との算 定値の間になっているものの,底鋼板については「合成」 よりもさらに小さい値となっている.これは,静的載荷 時の挙動の報告<sup>6</sup>の通り底鋼板については横桁直下は, 横桁直上での応力集中の影響で,小さなひずみ値となっ ていると考えられる.繰り返し載荷の影響では,下弦材 については,2種類の計算値の間で推移しており,やは り急激な変化も見られない.また,底鋼板下面について は,「合成」断面で計算した結果よりもさらに小さい値と なっているが,繰り返し数が進んでも,増加する傾向は 見られない.

図 - 12 は, 締結装置直下(横桁間)の B'断面の底鋼 板下面および下弦材下面のひずみの増分量である.こち らは,図 - 11 と異なり,下弦材と底鋼板ともに計算値の うち「鋼+鉄筋」とほぼ一致している.これは,静的載荷 時の挙動<sup>6)</sup>と同様であるが,横桁部と横桁間では床版の 挙動が異なり,応力が平均化していると考えられる.ま た,繰り返し回数が進んだ場合でも,鋼部材に生じるひ ずみは,大きく変動しない結果となっている.

図 - 13 は, A 断面, B'断面の中立軸位置の変化を示し ている.中立軸は,下弦材上・下面(計測位置 c,e)から 算出した.計算値は,「鋼+鉄筋」と「合成」はほぼ同様な 値となっている.ここでは,計算値に剛性を下弦材のみ と仮定した場合の中立軸(「下弦材のみ」)も示している. 中立軸の位置は,繰り返し回数の影響はほとんど受けず, 同様な値となっている.

## 4.4 鉄筋のひずみの測定結果

図 - 14 は,床版中央A 断面の床版上段鉄筋のひずみ であり,「鉛直3」を静的載荷した際の増分量を示してい る.計算値は,図-9と同様,「鋼+鉄筋」断面による結 果と,「合成」断面の結果を示している.測定結果は,理 論値よりもかなり大きな値を示している.これは,ひび 割れがこの部分に集中しており,結果として鉄筋に応力 集中が生じていることを示している<sup>6)</sup>.しかし,ここで 特徴的なことは,繰り返し回数が初期のうちには,ひず みが減少していることである.また,この部位について は,繰り返し載荷中にひび割れが急激に増加していない こと(図-8(a)),鋼部材のひずみが大きく変化していな いことから考えて,ひび割れが増加したことによる分散 効果ではなく,ひび割れ付近の鉄筋の付着力が低下する ことにより,応力集中の平均化が起こっているものと考 えられる.しかし,応力集中の平均化がある程度進むも のの,計算値から考えると未だ大きな値であり,設計に おいてはこの応力集中の影響も考慮すべきであると言 える.

図 - 15 は,床版 B 断面の床版上段鉄筋のひずみであ る.測定結果は,図 - 14 とは逆に理論値よりもかなり小 さい値を示している.これも,締結装置部(横桁間)は 横桁部にひび割れがこの部分に集中し,結果としてこの 部分には大きな応力が発生していないことを示してい る<sup>6)</sup>.また,繰り返し回数との関係においても,ほぼ安 定しており,急激にひずみが増加する傾向は見られてい ない.この結果より,下弦材に対する床版の剛性寄与の 割合は,繰り返し載荷によってほとんど変化しないこと が分かる.

# 5. まとめ

本検討では,底鋼板型の合成床版を下路形式の鉄道橋 に採用した際を想定し,実際の同形式の橋梁と同等な応 力を想定した繰り返し載荷試験を行い,従来の静的載荷 試験結果<sup>6)</sup>と併せて,耐久性に関する検討を行なったも のである.本検討より得られた結果を以下に示す.

- 1.耐用年数の範囲で繰り返し載荷を行なった場合も, ひび割れや床版内部の損傷は進むことなく,床版に 生じる挙動は,大きな変化は生じない結果となった.
- 2.床版鉄筋のうち,横桁上に生じる応力集中については,繰り返し載荷を行うとある程度緩和される傾向がある.しかし,ある程度の繰り返し数(本試験では100万回程度)になると傾向は安定してしまい,応力集中を完全に緩和するまでには至らない.
- 3.床版上のひび割れは横桁上部に集中するが,横桁上 フランジ端部と横桁上部の軸直角方向鉄筋が,この ひび割れを誘発していると考えられる.また,この 結果として,上記2.項の鉄筋の応力集中が生じる.
- 4 . 締結装置部は,繰り返し鉛直載荷を行なっても,損 傷は大きく進展しない結果となった.これは,締結 装置部間の横桁部にひび割れが集中したためと考 えられる.

上記結果から,本床版構造を従来の同形式のトラスに 用い,同等な応力レベルを想定した状況で耐久性を検討 した場合,大きな損傷の発生や進展が生じないことを確 認し,耐用年数内での疲労耐久性が確認できた.しかし, 水平軸力のみが作用している状態での計測では,横桁上 において計算値(0.2mm)を超えるひび割れ幅が見られ た.一方,ひび割れ制御を想定した床版では,雨水等の 浸透により大きく耐久性を損なう事例も報告されてお り,防水工の設置方法について課題が残っている.

## 謝辞

本研究の実施にあたっては,新日本製鐵(株)木下雅敬 氏,および,日鐵環境エンジニアリング(株)の各担当 の方々に多大なご協力を得ました.記して謝意を表しま す.

# 参考文献

- 1) 奥井義昭: (海外文献紹介)鉄筋コンクリート床版 が引張り材として主構作用に寄与する合成タイド アーチ,橋梁と基礎, 2003-9, pp.44-47, 2003.
- 2)西村康之,下野一行,紀伊昌幸,矢島秀治:奈良線 鴨川橋梁の設計と施工 SRC床版の採用により 低い床高と鋼重の低減を可能にした鉄道鋼トラス 橋,橋梁と基礎,2000-11,pp.9-18,2000.
- 3) 複合構造物の性能照査指針(案), 土木学会, 構造 工学シリーズ11, p.93, 2002.
- 4)藤原良憲,鈴木喜弥,池田学,谷口望:鋼鉄道橋に おける非合成部材の合成効果に関する実橋測定,構 造工学論文集 Vol.53A,土木学会,2007.
- 5)谷口望,西田寿生,村田清満,矢島秀治,依田照彦: 鋼繊維補強合成床版の軸引張挙動に関する簡易解 析,コンクリート工学論文集,コンクリート工学協 会,第13巻第3号,2002.
- 6)谷口望,吉田直人,後藤貴士,柳沼謙一,工藤伸司: 鉄道下路桁用合成床版の開発に関する基礎実験,構造工学論文集 Vol.53A,土木学会,2007.
- 7)高須賀丈広,久保圭吾,碇山晴久,田村一美,岸雅 之,高林和生:鋼・コンクリート合成床版の構造お よび設計法の現状と課題,第5回道路橋床版シンポ ジウム講演論文集,土木学会,pp.217-222,2006.
- 8)松井繁之:床版研究の変遷と輪荷重走行試験機の役割,第5回道路橋床版シンポジウム講演論文集,土 木学会, pp.1-12,2006.
- 9)谷口望,相原修司,池田学,八巻康博,藤原良憲, 鈴木喜弥,木下哲龍:連続合成桁における中間支点 部の活荷重応答に関する実橋測定,構造工学論文集 Vol.51A,土木学会, pp.1449-1457, 2005.
- 10)林暢彦,佐藤徹,内田智文,吉川直志,福井正章,

松井繁之: T 形リブを用いた鋼・コンクリート合成 床版の中間支点部輪荷重走行試験,第5回道路橋床 版シンポジウム講演論文集,土木学会, pp.191-196,2004.

- 11)国土交通省(監修),鉄道総合技術研究所(編): 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物,丸善,2006.
- 12)神谷崇,谷口望,碇山晴久,依田照彦:繰り返し荷 重を受ける連続合成桁中間支点部のひび割れ挙動 に関する実験的研究 土木学会論文集 A, Vol.63 No.1, 土木学会, pp.25-34, 2007.

(2007年9月18日受付)