

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

The state of the art and problems for the design of steel-concrete composite slabs

高須賀丈広¹, 久保圭吾², 碓山晴久³, 田村一美⁴, 岸雅之⁵, 高林和生⁶

Takehiro TAKASUKA, Keigo KUBO, Haruhisa IKARIYAMA, Kazumi TAMURA,

Tadayuki KISHI and Kazuo TAKABAYASHI

- ¹工修 川鉄橋梁鉄構(株) 橋梁事業本部 技術部 開発技術室 (〒111-0051 東京都台東区蔵前2-17-4)
²(株) 宮地鐵工所 設計部 設計グループ (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3番地)
³(株) 東京鐵骨橋梁 技術本部 技術開発部 技術開発課 (〒108-0023 東京都港区芝浦4-18-32)
⁴工博 三菱重工業(株) 技術本部 広島研究所 鉄構・土木研究室 (〒733-8642 広島市中区江波沖町5-1)
⁵片山ストラテック(株) 橋梁事業部 技術本部 設計部 技術課 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島6-2-21)
⁶工修 松尾橋梁(株) 設計部 設計第2課 (〒590-0977 大阪府堺市大浜西町3番地)

As steel-concrete composite slabs have high strength, durability and economical advantages, recently in Japan, those slabs have adopted in the long slab span, such as the 2 main girder bridges.

There are many kinds of those slabs, but there are no design manuals which have structural characteristics of all types. Therefore general design methods of those structures are thought as difficult. Besides, if it is able to be omitted from haunch, we will improve constructive labors of steel-concrete composite slabs. But there are few examples which examined the abbreviation possibility of this structure after carrying out stress-verification.. Furthermore, there are few reports for a bottom plate, in case of contribution of the main girder action.

This paper deals with present the state of the art and problems on the design and structure of steel-concrete composite slabs.

Key words: steel-concrete composite slab, design methods, shear connector, haunch, bottom plate

1. はじめに

建設コスト削減を達成するため鋼橋の分野では少補剛・少部材設計によって、2主桁橋、逆π形箱桁橋、細幅箱桁橋等、従来と比較し合理化された橋梁が数多く建設されている。本橋梁形式を採用する場合は主桁本数の削減により、一般的に床版支間長が鉄筋コンクリート床版(以下RC床版と称す)の適用範囲を超えることが多くなるが、そのような場合においても従来と同等以上の耐荷力、耐久性が床版に要求される。その要求性能を満足する床版形式の1つとして鋼・コンクリート合成床版(以下合成床版と称す)が近年開発され、当該橋梁形式に適用される事例が増加している。

合成床版の主な特長をまとめると以下のとおりとなる。

- ①長支間床版対応のプレストレストコンクリート床版と同等の高い耐荷力、耐久性を有する。
- ②鋼とコンクリートの合成効果により床版厚を薄くできることから死荷重が軽減し、下部工・主桁の合理的な設計が可能となる。
- ③鋼板パネルを架設時の主桁形状保持材として機能させることが可能である。
- ④底鋼板がコンクリート打ち込み時の型枠機能を兼用するため型枠・足場の設置が不要となり、工期短縮が可

能となる。

合成床版は、ずれ止め形式や鋼板パネルの補剛方法などの構造詳細による違いにより、現在十数種類存在し、これらは開発会社が独自で研究・開発を行ってきたため、設計法が体系的に整理されていないのが現状である。また、本床版形式においてもRC床版と同様にハンチを設け、主桁近傍の負曲げ領域における床版上面の引張応力度ならびにずれ止め付近の局部応力を緩和すること¹⁾としているが、施工性の向上を目的として、応力検討を実施のうえハンチを設けない構造の適用性を検討した事例²⁾は少なく、当該構造の改善が望まれている。さらに、鋼板パネルを主桁の一部として機能させる場合の底鋼板の有効性については主桁-底鋼板の連結方法、架設工法・架設手順等の諸条件によって変化するが、それらを踏まえて体系的に整理された資料は現状少ないと考えられる。そこで、本稿では「土木学会鋼構造委員会道路橋床版の合理化検討小委員会」内に設置されたコンクリート系床版分科会合成床版WGの活動の中間報告という位置付けで、合成床版に関する構造と設計法について紹介するとともに上記検討課題を整理し、今後の活動方針について報告する。

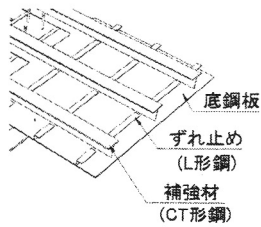


図-2.8 L形鋼とCT形鋼を使用



図-2.9 T形リブタイプ

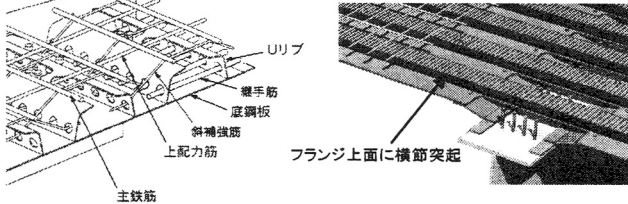


図-2.10 U形断面リブタイプ

図-2.11 突起付きT形鋼タイプ

形鋼タイプの合成床版は、形鋼が底鋼板の補剛材として機能するため、鋼板パネル単体での面外剛性が高い構造であると考えられる。

(4) 組立ジベル

ここで、組立ジベルという名称で分類した合成床版は、平鋼または鉄筋の曲げ加工等を行って組立て、この組立部材を底鋼板に取り付けて合成構造にするものと定義した。組立ジベルの種類としては、平鋼を曲げてトラス型に加工し、上弦材を取付けたタイプ(図-2.12 参照)とトラス型に鉄筋を組立てたタイプ(図-2.13, 図-2.14 参照)、Uボルトと鉄筋および平鋼を組立てたタイプ(図-2.15 参照)があり、Uボルトを使用した合成床版では、底鋼板に縞鋼板を使用している。

トラス型鉄筋ジベルの合成床版は、トラス型鉄筋を底鋼板に溶接するタイプ(図-2.13 参照)と、板バネで底鋼板に取り付けるタイプ(図-2.14 参照)がある。

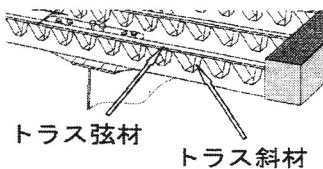


図-2.12 平鋼曲げ加工タイプ



図-2.13 トラス型鉄筋タイプ
(底鋼板に溶接)

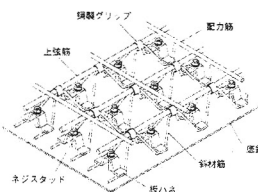


図-2.14 トラス型鉄筋タイプ
(底鋼板に板バネで取付け)

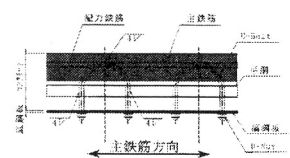


図-2.15 Uボルトタイプ

上記4タイプの合成床版は、組立ジベル部材全体(図-2.15 に示すUボルトタイプでは縞鋼板も含む)がコン

クリートと一体化する合成構造と考えられるため、付着型のずれ止め構造であるとも言え、鋼板パネルも組立ジベル部材によって補剛されている。

3. ハンチの構造

道路橋の支持桁部とコンクリート床版の結合部には、ハンチを設けるのが一般的である。このため、合成床版においてハンチを設ける場合、主桁上の底鋼板を連続させ、別のハンチ板を底鋼板に取り付ける構造(図-3.1(a) 参照)、主桁上は補剛リブのみを連続させ、底鋼板をハンチ形状に折り曲げる構造(図-3.1(b) 参照)などが一般的に用いられている。しかし、このようなハンチ部の構造は、合成床版の加工度を増すことから、ハンチを設けない構造の方が施工性、経済性の面で、より合理的となることが考えられる。また、ハンチを省略した場合、主桁上での橋軸方向底鋼板のハンチ部断面欠損が少なくなり、底鋼板を連続合成桁の桁断面に算入する場合、鋼板の有効断面積が増える利点もある。

ただし、ハンチを設けない場合でも、横断勾配の調整、主桁添接部との干渉を避けるための高さ調整は必要であり、主桁との取り合い部の構造は、止水パッキンによる構造(図-3.1(c) 参照)、支持金具による構造(図-3.1(d) 参照)等を用いることが考えられる。

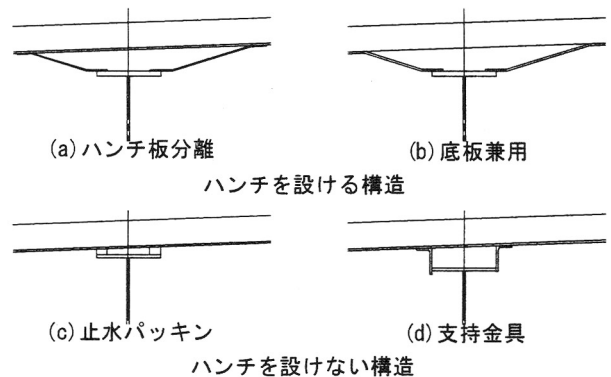


図-3.1 合成床版のハンチ部構造

3.1 ハンチによる応力緩和

ハンチを設ける理由の1つに、ずれ止め付近の局部応力を低減させることが挙げられる¹⁾。合成床版の場合、ずれ止め付近の局部応力に対しては、底鋼板を有していることから、コンクリートの欠け落ち等の懸念はないが、ずれ止め付近のせん断補強については検討が必要と思われる。通常、合成床版は補剛リブを有しており、RC床版のようにスタッド付近にせん断補強筋を配置するのは困難である。しかし、ハンチを設けないタイプや、ハンチ板分離タイプの場合、底鋼板が主桁上で連続しており、スタッドが底鋼板を貫通する構造となるため、この底鋼板がせん断補強を兼用できると考えられる。一方、底板兼用タイプの場合でも、一般的に補剛リブが主桁上で連続しており、これをせん断補強とすることも考えられる。

しかし、いずれも定量的な評価がなされておらず、RC床版でも仕様規定となっているため、評価手法の確立が望まれる。

3.2 ハンチを省略するための条件

ハンチは、床版作用による主桁付近の床版コンクリートに生じる引張応力を減少させてひび割れが発生するのを防ぐことにも寄与する¹⁾。このため、主桁上の断面計算において、ハンチを設けない断面での応力照査を満足する必要がある。一般的に合成床版では、橋軸直角方向に床版剛性を変化させないことから、主桁上での断面力が、片持部(図-3.2の②断面)、中桁負曲げ部(図-3.2の③断面)で同程度となることが望ましい。したがって、主桁間隔と片持部長さのバランスを調整し、主桁配置を最適とすることで、床版の合理的な設計が可能となる。

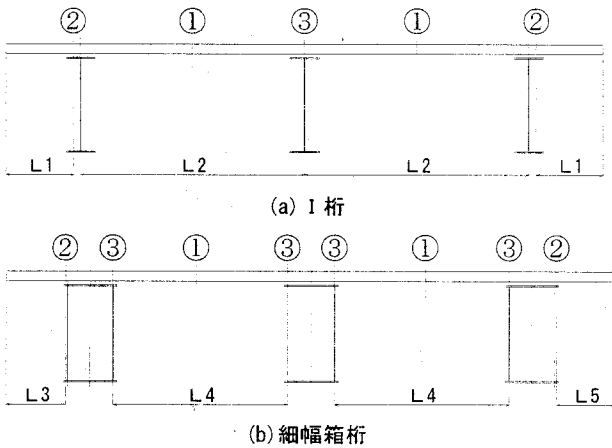


図-3.2 床版の断面力照査位置

3.3 ハンチを省略した場合の検討事例

床版支間、張出長さの決定に当たり、片持部と中桁負曲げ部の曲げモーメントが同等となるように床版支間、張出長を決定した実橋の検討例を示す(図-3.3参照)。ハンチを設けない構造の設計にあたっては、支点上の負曲げ領域の鉄筋応力度などについて(図-3.3のA部など)、FEM解析により詳細に検討した。表3.1に、解析に使用した有限要素一覧を示す。また、結果の一例として図-3.4に、文献3)による設計曲げモーメントとFEM解析値(荷重は図3.3を、照査部位は同図のA部を参照)の比較を示す。本結果から、FEM解析値は文献3)から算出した曲げモーメントより小さいことが分かる。

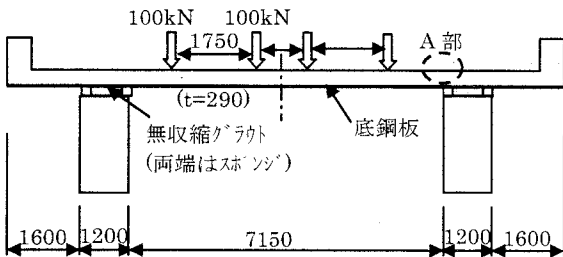


図-3.3 ハンチ無し構造の実例

表3.1 FEM解析に使用した要素一覧

名称	要素
コンクリート	ソリッド
底鋼板	シェル
無収縮モルタル	ソリッド
主桁上のスタッド	ビーム
主桁	シェル

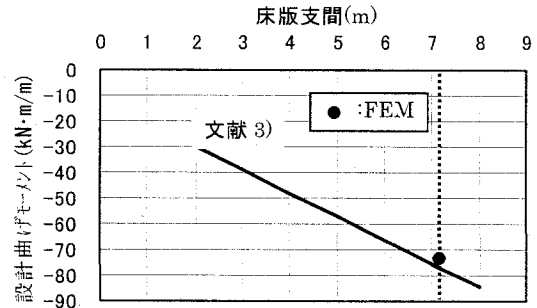


図-3.4 設計曲げモーメントの比較

4. 合成床版における底鋼板の機能

4.1 底鋼板の機能とその特長

合成床版における底鋼板には、以下に示すとおり大きく分けて3つの機能がある。

①型枠としての機能

コンクリート打ち込み時における型枠としての機能

②床組みとしての機能

いわゆる床版としての機能(RC床版における下側鉄筋の機能)

③主桁としての機能

主桁の一部としての機能(主桁抵抗断面機能)

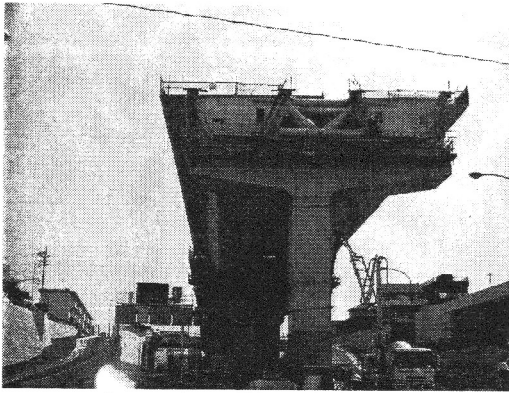
底鋼板は①に示すとおり、コンクリート打ち込み時には型枠として機能するため、合成床版では従来の床版形式で必要となる型枠の構築、解体が不要である。また、底鋼板の接合を上面側からのみで施工できる場合には足場が不要となるメリットを有する。

また②に示すとおり、底鋼板は床組み作用に対する強度部材としての機能も有する。この場合、RC床版における下側鉄筋の代わりとして底鋼板を床版最下面に配置することとなるため、計算上有効ではないかぶりコンクリートが不要となること、それにより所要の耐荷力を得るための床版厚を低減できること等のメリットが生じる。

さらに、③に示すとおり底鋼板が主桁作用断面力に対する抵抗断面として機能する場合は、主桁断面の合理化に寄与する。その機能を積極的に利用することを目的として、近年、鋼桁架設時・コンクリート打ち込み時等における主桁補強材として合成床版を活用する事例が増加している(写真-4.1(a)~(b)参照)。

しかしながら、底鋼板の機能が比較的解明されている床組み機能とは対照的に主桁の一部として底鋼板が機能する場合については、設計上解決しなければならない課題が存在する。

そこで次節において、底鋼板が主桁の一部として機能

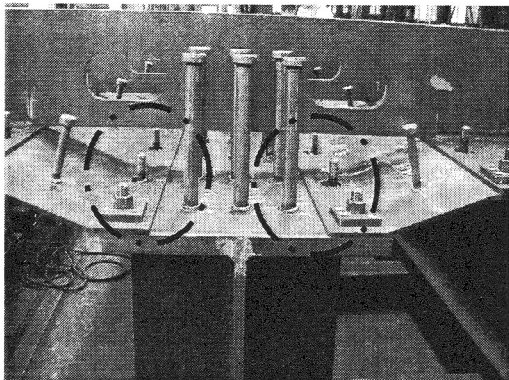


(a) 逆π形箱桁の補強材

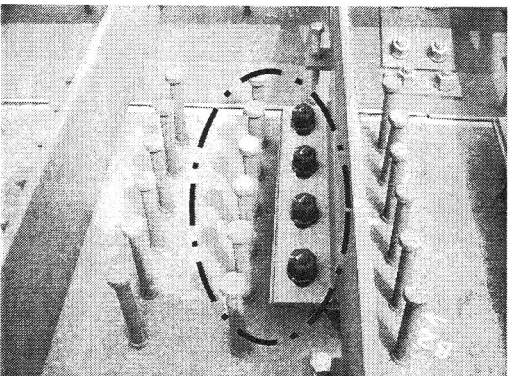


(b) 送り出し架設の補強材

写真-4.1 底鋼板を主桁の一部として活用する事例



(a) 「柔」な連結方法の例（スタッドボルト連結）



(b) 「剛」な連結方法の例（高力ボルト連結）

写真-4.2 底鋼板－主桁連結法の事例

する場合の課題とその原因について、特に合成前の状態に着目して具体的に述べる。

4.2 底鋼板が主桁の一部として機能する場合の課題とその原因

底鋼板が主桁の一部として機能する場合の課題は種々あるが、その原因は、以下に示す不確定要素が底鋼板の機能（有効性）に対して影響を及ぼすことにある。

①底鋼板（ハンチプレート含む）と主桁の連結方法

底鋼板を主桁断面に考慮しない場合、主桁と底鋼板の連結方法には、写真-4.2(a)に示すようなスタッドボルトによる「柔」な構造を採用することが多く、一方、当該部材を主桁断面として積極的に活用する場合は、写真-4.2(b)に示すとおり、底鋼板を高力ボルト（もしくは溶接）による「剛」な構造を採用することが多い。したがって、主桁と底鋼板の結合状態によって、底鋼板の有効性に違いが生じることとなる。

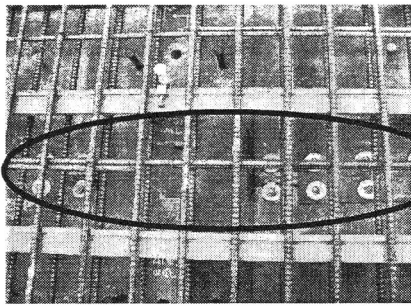
また、主桁と底鋼板を「柔」な連結とした場合、コンクリートの打ち込み手順等、架設時の荷重のバランスによって主桁と底鋼板（ハンチプレート含む）連結部（写真4.2(a)の印部）に滑りを生じる時期が場所ごとに相違するため、当該部材の有効性が橋梁区間全長に亘って架設段階ごとで変化することとなる。

②鋼板パネル間の継手強度

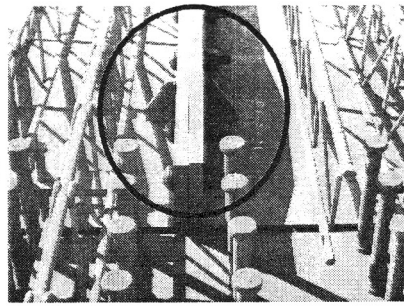
鋼板パネル同士の連結方法には写真-4.3(a)～(c)に示すとおり、スタッドボルトによる接合、引張ボルト接合、高力ボルトの一面摩擦接合がある。引張ボルト接合や高力ボルトの一面摩擦接合を採用する場合は、継手強度分（高力ボルトの強度分）は底鋼板を考慮できるが、継手形式によって当該部材の有効性が相違することとなる。一方、スタッドボルトによる接合を採用する場合は、設計上、底鋼板を有効断面として考慮できないが、実際には、スタッドボルトによる締め付け力によって、高力ボルトによる摩擦力より小さい一面摩擦接合のような状態になっていることが想定され、継手鋼板が滑るまで底鋼板の一部が有効に機能する可能性もある。

このように、底鋼板の有効性の評価は不確定要素が多いため難しく、そのことに起因して実施工においては以下に示す2つの課題を生じる可能性がある。

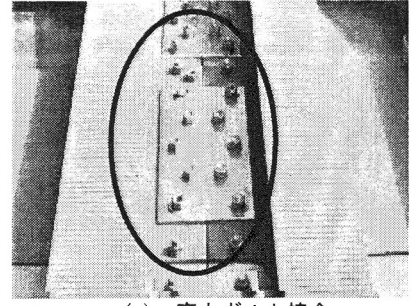
- a) 特に合成前の状態において、主桁のたわみやねじりに対する剛性が底鋼板の有効性によって変化するため、実橋の変形挙動を解析的に再現できない可能性がある。
- b) 予想以上に底鋼板が有効に機能する場合は、設計で想定した以上の応力度が当該部材に生じることとなり、耐荷力設計の結果が必ずしも安全側の評価を与えない可能性がある。



(a) スタッドボルトによる接合



(b) 引張ボルト接合



(c) 高力ボルト接合

写真-4.3 鋼板パネルの接合方法

a)の問題に対して文献4)では、主桁と底鋼板を「柔」な連結(スタッドボルト)とした場合と「剛」な連結(パネル端部のみを主桁と溶接)とした場合の合成前の挙動に相違が認められないことが報告されているが、底鋼板の有効板厚の定量的評価はなされていない。一方、合成後荷重に対するものとして文献5)では、連続合成桁の負曲げモーメント領域において、主桁と底鋼板を「柔」な連結(スタッドボルト)とした場合でも底鋼板が全厚有効に評価できることが報告されている。

一方、b)の問題に対して詳細に報告された事例は少ないが、例えば、文献6)では、底鋼板の有効性を考慮する場合は合成後の荷重に対して板厚3mmを仮定している。

5. おわりに

本稿では鋼コンクリート合成床版に関する構造および設計法の現状と課題について事例を交えて述べてきた。それらを踏まえ、今後本WGで取り組む具体的な内容は以下のとおりとする。

(1) 合成床版の設計法に関して

十数種類存在する合成床版の特徴の1つであるずれ止めの考え方および鋼板パネルの補剛方法について紹介したが、鋼板パネル間継手の設計方法等、各床版で相違していることは多い。また、各合成床版は開発会社が独自で研究開発を行ってきたという経緯から、設計手法に関する特徴的な相違が体系的にまとめられていないのが現状である。

以上のことを踏まえ今後は、各合成床版の設計方法を体系的にまとめ、設計を実施する際に参考となる資料の作成を目指す。

(2) ハンチ構造に関して

合成床版においてハンチを設けない構造を採用する場合の利点、課題について述べたが、今後は曲げモーメントおよびせん断力によって主桁近傍に生じる内部応力を検証のうえ、ハンチを設けない構造の適用性を床版支間長との関係から整理し、合成床版を設計する際に参考となる資料の作成を目指す。

(3) 底鋼板の有効性に関して

主桁の一部として機能する場合の底鋼板の有効性は、底鋼板(ハンチプレート含む)と主桁の連結方法、架設

条件や底鋼板の継手強度等によって相違するが、それら諸条件を踏まえて検討された事例は少ないと考えられる。

そこで、当該部材の有効性について、上記諸条件を踏まえて事例調査・検討を実施し、合成床版を有する橋梁を設計する際に参考となる資料の作成を目指す。

【参考文献】

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，pp.252-253，2002.3
- 2) 小松原昭則，石崎茂，久保圭吾，松井繁之：長支間FRP合成床版の静的載荷試験，土木学会第57回年次学術講演会，pp.231-232，2002.9
- 3) 社団法人 土木学会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 平成9年版，pp.89-91，1997.9
- 4) 高田和彦，永田淳，名取暢，清田鍊次：合成床版底版の架設時補強材としての有効性に関する検討，横河ブリッジグループ技報，No.28，pp.62-71，1999.1
- 5) 木水隆夫，新井恵一，春日井俊博，永田淳，長井正嗣：連続合成桁における合成床版のひび割れ性状に関する実験，構造工学論文集，Vol48A，pp.1417-1428，2002.3
- 6) 福岡北九州高速道路公社：合成床版底鋼板の主桁断面として有効性，福岡高速5号線 第503工区(堤～野芥)高架橋上下部工新設工事，2005.3