

鋼連続開断面箱桁における鋼・コンクリート合成床版の適用について

Application of Steel-Concrete Composite Floor Slabs to Continuous Composite U-shaped Steel Girder Bridges

西川和廣¹、村山隆之²、吉崎信之³、古賀淳典⁴、田中巖頼⁵、八部順一⁶
 Kazuhiro NISHIKAWA, Takashi MURAYAMA, Nobuyuki YOSHIZAKI,
 Atsunori KOGA, Michiyori TANAKA and Junichi YABE

- ¹正会員 建設省土木研究所 構造橋梁部 橋梁研究室 (〒 305-0804 茨城県つくば市大字旭 1)
- ²正会員 福岡北九州高速道路公社 建設部 (〒 812-0055 福岡県福岡市東区東浜 2-7-53)
- ³正会員 福岡北九州高速道路公社 福岡事務所 (〒 812-0055 福岡県福岡市東区東浜 2-7-53)
- ⁴正会員 福岡北九州高速道路公社 建設部 (〒 812-0055 福岡県福岡市東区東浜 2-7-53)
- ⁵正会員 福岡北九州高速道路公社 建設部 (〒 812-0055 福岡県福岡市東区東浜 2-7-53)
- ⁶正会員 (社) 日本橋梁建設協会 床版研究委員会 (〒 104-0061 東京都中央区銀座 2-2-18)

For the project of the Fukuoka Express Way No.5, with a scheme of reducing costs for public works, the Fukuoka-Kitakyushu Express Way Public Corporation set up a work group for the purpose of studying structural technologies (workshop of researches on steel structures). At this workshop, we have continued studying and reviewing, from various aspects, the possibility of an effective use of advantages inherent in the functional characteristics of steel bridges to construct bridges excellent in durability and landscaping, at low cost.

These activities revealed that a steel girder of composite type, when used in constructing bridges, is a structurally rational solution featuring combination of a composite floor slab and a steel girder of U-shaped section structure, because of the possibility that the floor slab can be made of light weight steel panels and heavy concrete can be placed thereon, and with other advantages that the bottom steel plate of the floor slab as an embedded form, in place of its upper flange which is removed for reduction of costs, constitutes a closed section at the placement of the steel girder exhibiting an expected torsional rigidity.

This paper discusses why we employed a composite floor slab for a bridge of a steel girder of U-shaped section, and reports the findings obtained through various reviews and experiments on the application of the composite slab floor as a continuous composite girder.

Key Words: reducing cost for public works, steel-concrete composite slab, u-shaped composite steel girder bridge,

1. まえがき

福岡・北九州両都市高速道路は、供用後ほぼ20年が経過し、両都市圏における重要な路線として位置づけられている。

当公社では、コスト削減意識の徹底と事業運営の効率化を進めることを目的として、事業費のうち大きなウェイトを占める建設費や管理費等についてコスト削減の行動計画を策定し、推進している。この計画の一環として新規路線である福岡高速5号線(鋼橋部分)については、鋼橋の持つ機能を最大限に引き出しコスト削減が可能で景観及び耐久性に優れた社会資本整備を行うため、下記の①～③により「鋼開断面箱桁橋」を採用することとした。

①コスト削減について

橋梁建設費に関しては、床版は割高となるが鋼桁の重量と製作費の低減が大きく、上部工費で約10%の

コスト削減が図れる。

②景観について

基本計画断面(図-1)に比べ、鋼開断面箱桁(図-2)は逆台形の単一箱桁で横桁やブラケットがなくシンプルな構造で景観性に優れている。

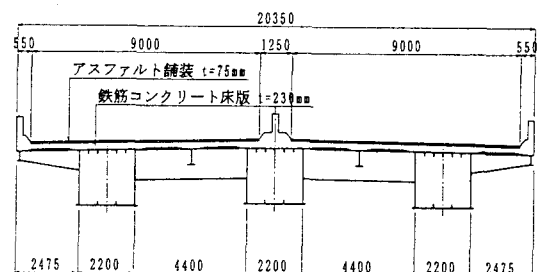


図-1 基本計画断面

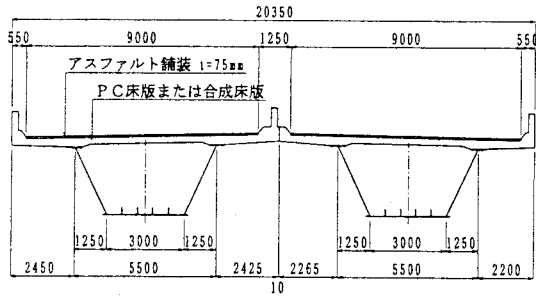


図-2 鋼開断面箱桁

③現地施工条件について

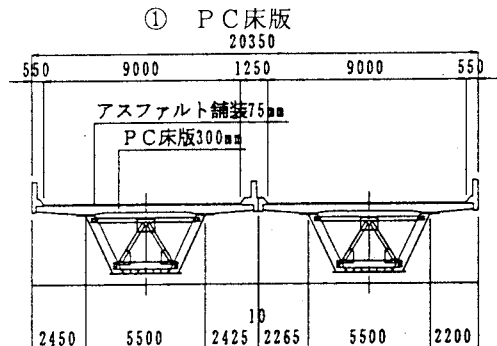
本路線が、従来の都市高架橋建設と異なるのは、平面街路と都市高速道路の二層構造のうち、街路交通供用前における高架橋施工である。従って、鋼開断面箱桁の現地における部材組立のヤードがある程度自由に確保できる状況にある。

ここでは、鋼開断面箱桁に採用する合成床版について、採用理由や適用性実験等について述べる。

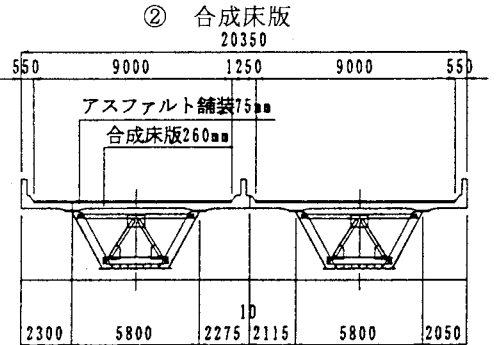
2. 床版構造

1) 床版構造の比較

鋼開断面箱桁の床版支間長は、床版張り出し長とのプロポーシオンを考慮して5.5m程度を計画しており、長支間対応の構造形式を採用しなければならない。そこで、長支間対応の構造形式であるPC床版と合成床版との比較を行った。



床版厚 $t_{req} = (4L + l_1) \times 0.9 = 29.7\text{cm}$
従って、最小板厚 $t_{req} = 30\text{cm}$ とする。



床版厚 $t_{req} = (2.5L + l_0) + 1\text{cm} = 25.5\text{cm}$
従って、最小板厚 $t_{req} = 26\text{cm}$ とする。

図-3 最小床版厚

2) 最小床版厚の決定

PC床版の最小床版厚は、「道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編」5.4.2 によるが、合成床版の最小床版厚は、道路橋示方書に算出規定がないので、「鋼構造物設計指針 Part B 合成構造物」(平成9年度 土木学会)に準じるものとする。合成床版が確実に活荷重たわみ(許容たわみ $\delta a = L/2000$)を満足するという条件を考慮し、福岡高速5号線では、実績が少ないことを考慮して1cmの余裕を見込むものとする。床版支間長は、床版張り出し長とのプロポーシオンを考慮する。PC床版の張り出し部は、ハンチ高も含めた床版厚にて設計を行うのに対し、合成床版はハンチがない床版構造もあり、床版厚のみで張り出し部の設計を行うことも考えられ、図-3に示すように床版支間長をPC床版は5.5m、合成床版は5.8mとした。

3) 床版形式比較検討結果

PC床版と合成床版を比較すると、PC床版は合成床版と比べて安価であるのに加え実績も多いが、鋼開断面箱桁に採用するには、下記のような問題点がある。

- ①床版厚さが合成床版に比べ厚くなる。
- ②箱桁内の型枠撤去が困難である。
- ③桁架設時、上横構や上支材を設置するなど補強が必要である。

しかし、プレキャスト製品を採用すれば、桁の架設前に敷設することで上記②、③の問題は解決されるが吊り荷重が重くなり不経済になる。

それに対し、合成床版の場合、底鋼板が架設時の上横構、コンクリート打設時の型枠として代用でき非常に合理的な構造となっている。以上のことを踏まえ、合成床版を採用することとした。

3. 合成桁の合成効果 (試設計)

1) 合成効果検討

非合成開断面箱桁は、従来の非合成箱桁に比べ鋼重が20～30%低減することができ、全体工事費の約10%コスト削減が図ることができる。福岡高速5号線は、プレストレスしない連続合成桁として計画されているため、さらにコスト削減を図れる可能性がある。そこで、非合成鋼開断面箱桁を合成鋼開断面箱桁にすることにより、どの程度の差があるか以下の条件をもとに試設計により比較を行った。

- ①モデル橋は、3径間連続鋼開断面箱桁及び4径間連続鋼開断面箱桁。
- ②合成鋼開断面箱桁における中間支点上の後死荷重・活荷重に対する断面力と応力度の計算は、床版のひび割れを考慮して、床版コンクリートを無視し、鉄筋のみを鋼断面に考慮した。
- ③合成鋼開断面箱桁における合成床版の乾燥収縮・クリープ及び床版と鋼桁の温度差は考慮することとし、

道路橋示方書・同解説に示す定数を採用した。

④各径間中央及び中間支点上の代表箇所、非合成・合成断面の比較を行い、その面積比より総鋼重を推定した。

⑤比較箇所の断面決定においては、上フランジの板幅・ウェブの板厚を非合成断面及び合成断面ともに同一条件とし、同材質の材料を用いることとした。

2) 比較結果

①作用断面力最大となる箇所に着目した結果より、鋼重が5～8%程度低減される可能性を見いだした。これより工事費の低減額を推察すると、工事費全体の3～5%程度の縮減効果がある。

②合成床版の乾燥収縮・クリープ及び床版と鋼桁の温度差による総応力は、200～500kgf/cm²程度である。その中で支配的な要素は、乾燥収縮及び床版と鋼桁の温度差による応力であり、クリープによる応力は小さい。

③合成床版の乾燥収縮は、コンクリート配合や混和剤を考慮することにより、応力低減を図れる可能性がある。

4. 実験

4. 1 目的

前述のように、鋼開断面箱桁橋は、経済性・景観性にも優れている構造であるが、合成床版は、実績が少なく、コンクリートと鋼版パネルの合成効果が必ずしも明確化されているとは言い難い。このような状況下で、今回、合成床版を用いた鋼開断面箱桁橋の連続合成桁化に関する検討として、立体FEM解析を実施するとともに、中間支点部の部分模型を用いて、床版構造をパラメータにした静的負曲げ荷重実験を実施するものとする。本実験により、中間支点部付近の床版、鋼桁の応力性状およびひび割れ間隔、ひび割れ幅等のデータを採取し、合成床版の底鋼板の合成効果を明確にした上で、その内容を設計に結びつける手法を検討する。

同時に、合成床版供試体とRC床版供試体を製作し、2年間の経時計測を実施することにより、無載荷状態における床版の乾燥収縮量確認を行う。また、本設計手法に基づいた実物大供試体を製作し、供用時の支点部付近負曲げ応力状態を再現し、先に実施した静的負曲げ荷重実験の妥当性検証と、輪荷重走行試験による中間支点部合成床版の耐久性に問題がないことを確認する。

ここでは、静的負曲げ荷重実験及び乾燥収縮供試体経時計測実験について記述する。

4. 2 静的負曲げ荷重実験

1) 対象部位

図-4に対象部位を示す。合成床版を用いた連続鋼開断面箱桁形式で設計中の福岡高速5号線を対象橋梁と

し、中間支点付近1.1mの部分を実験対象とした。

2) 実験内容

主として、床版に発生するひび割れ間隔及びひび割れ幅に着目し、特に実橋の中間支点部に発生する設計曲げモーメント相当の荷重段階において、以下の項目について確認する。

- ・合成床版とRC床版のひび割れ性状の比較。
- ・床版コンクリートのひび割れが合成効果、合成桁としての剛性に及ぼす影響の比較。

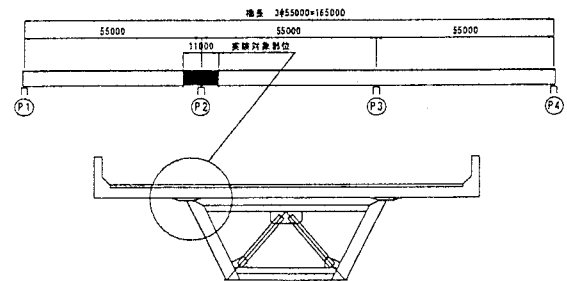


図-4 実験対象部位

3) 供試体

供試体は、中間支点部の実寸床版厚260mmを有する幅1200mmの床版と鋼桁を結合した合成桁とし、床版構造をパラメータとする。供試体の基本寸法を図-5に示す。

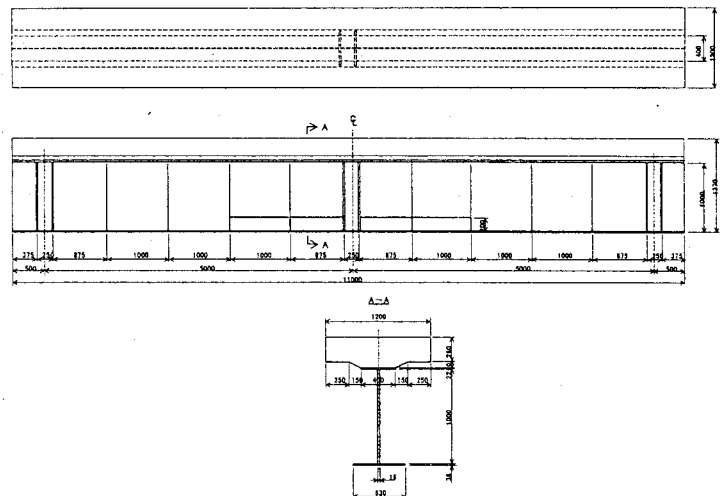


図-5 実験供試体

4) 使用材料及び各種材料試験

①コンクリート

使用する膨張コンクリートの配合条件を表-3に示す。設計基準強度は30 N/mm²とし、セメントは普通ポルトランドセメントを使用する。膨張剤は、30 kg/m³を混入する。

コンクリートの材料試験は圧縮強度及び引張強度について行う。また、強度試験とは別に、材齢7日におけるコンクリートの膨張率を確認するために、JIS A 6202「コ

ンクリート膨張剤」の参考1「膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方法・A法」に従って膨張率を計測する。

表-3 配合条件

圧縮強度 N/mm ²	スラブ cm	空気量 %	粗骨材 最大寸法 mm	単位 セメント量 kg/m ³	水セメント比 %	塩化物 含有量 kg/m ³	単位 膨張材量 kg/m ³
30	12±2.5	4.5±1.0	20	230以上	55以下	0.3以下	30程度

②鋼材

鋼桁部は、SM490 材相当の鋼材を使用する。鋼桁については各板厚ごとに、合成床版部の鋼部材については必要に応じて引張試験を行う。鉄筋の材質は、SD345 を使用する。

5) 荷重方法

実橋相当の負曲げモーメントを再現するため、供試体を上下反転した後、図-6に示すように支間 10 m となるように設置された支承上に供試体を載せ支間中央部に 1 点荷重を行う。荷重は、まず床版ひび割れ幅発生荷重まで 2~3 回荷重を繰り返した後、設計荷重レベルまで 2~3 回荷重を繰り返す、その後鋼桁上フランジもしくは下フランジが降伏するまで荷重を漸増させる(図-7)。

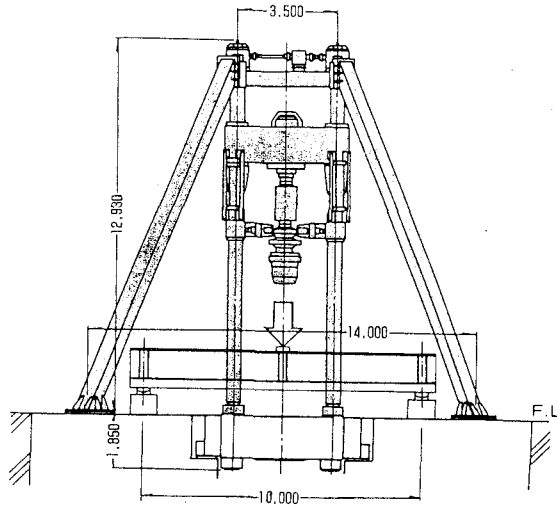


図-6 荷重方法

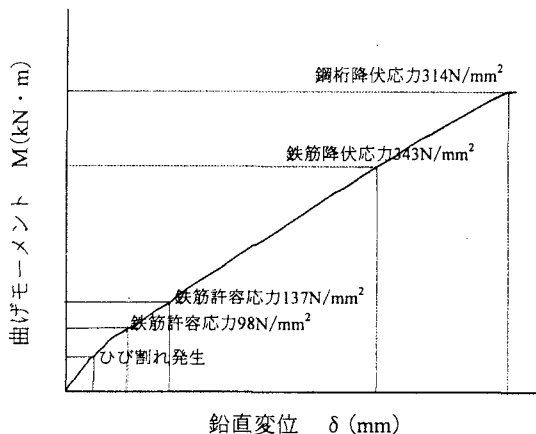


図-7 荷重曲線

6) 計測項目

実橋における主な計測項目を以下に示す。

- ①供試体鉛直方向変位
- ②底鋼板のひずみ
- ③主桁上フランジ、下フランジ及びウェブのひずみ
- ④床版ひび割れ幅
- ⑤その他、合成床版内の鉄筋、ジベル、底鋼板接合部の開閉量等

4. 3 乾燥収縮供試体経時計測実験

1) 目的

無荷状態の合成床版及びRC床版の乾燥収縮によるコンクリートひずみの経時変化を確認する。

2) 供試体

供試体は、負曲げ荷重実験と同様、中間支点部の実寸床版厚 260 mm を有する 2 m × 2 m の床版のみの供試体を製作する。

3) 使用材料及び各種材料試験

①コンクリート

膨張コンクリートの配合条件は表-3に同じとし、普通コンクリートの場合は、膨張剤を混入しないものを使用する。材料試験は、膨張コンクリートについては、負曲げ荷重実験と同様のものを使用することからその材料試験結果を代用し、普通コンクリートについては、圧縮強度試験を行う。

4) 経時計測方法

供試体は風雨の影響を受けない場所に保管する。その際、供試体と支材間の摩擦を少なくするために、テフロン板を敷く。また、計測は、コンクリート打設後より開始し、2時間ごとのインターバル自動計測を2年間行う。

5) 計測項目

- ①コンクリートのひずみ
- ②コンクリート内部温度
- ③合成床版の底鋼板ひずみ
- ④外気温

6. おわりに

静的負曲げ荷重実験および乾燥収縮供試体経時計測実験については、7/19に供試体コンクリート打設を行った。実験経過及び結果については、当日発表する。