

I形鋼合成床版の開発と宮山高架橋への適用

Development of I-Shape Steel Composite Slab and It's Adoption to Miyayama Viaduct

櫻井 信彰* Nobuaki SAKURAI
技術開発研究所 構造商品開発室
シニアマネージャー

玉置 正和 Masakazu TAMAKI
日鉄トビーブリッジ 技術本部 工事部

抄 録

近年多用されている鋼・コンクリート合成床版は、道路橋示方書に仕様規定が明記されていないため、道路橋示方書の要求性能を満足する設計検証を行う必要がある。そこで、この度開発した鋼・コンクリート合成床版「NS スラブ」については、耐久性、使用性を満足するための連続桁中間支点部のひび割れ性能や疲労耐久性に関する実験、I形鋼断続すみ肉溶接部の疲労耐久性の実験などを行った。結果として、1年の開発期間で首都圏中央連絡自動車道・宮山高架橋へ提案し、採用に至らしめた。

Abstract

In recent years, steel-concrete composite slabs are adopted to many bridges. But they are not specified in "Specification for Highway Bridges" in Japan. So it is necessary to do verification the design to satisfy required performance of "Specification for Highway Bridges" in Japan. Therefore the authors carried out a static test and a wheel-tracking test for the slab on an intermediate support of continuous girders, and a fatigue test for welding between I-shape steel and floor plate, to ensure the endurance and the serviceability. As a result, the author could developed a new I-shape steel composite slab "NS Slab" within a year, and succeeded in adopting it to Miyayama viaduct.

1 緒言

近年、道路橋は社会情勢により、単に経済性に富むだけではなく高耐久性を有する必要があることなどから、プレストレストコンクリート構造や鋼・コンクリート合成構造からなる高耐久性床版を用いた合理化桁橋が主流となっている。

鋼・コンクリート合成床版(以下、合成床版)は、道路橋示方書¹⁾(以下、道示)に仕様規定が明記されていないことから、要求性能を満足する検証が必要であるが、国土交通省・関東地方整備局の「設計のガイドライン(案)」²⁾などが制定され、合成床版に要求される性能・品質が明示されたことから、急速に採用が増えつつある背景がある。

そこで、平成19年度に開発を開始し、1年程度で市場投入することを目途として、I形鋼合成床版

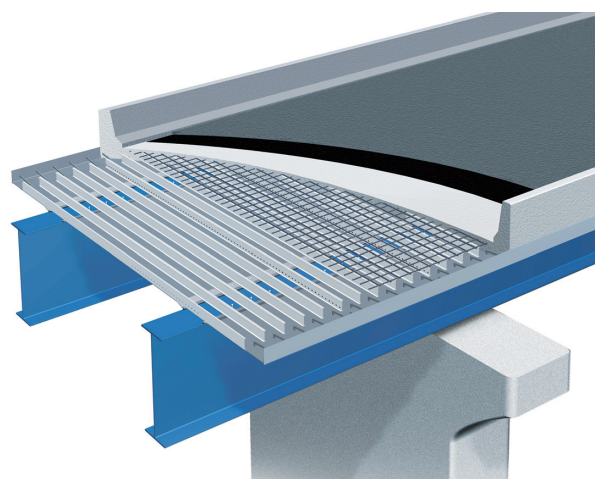


図1 NSスラブ概念図
Fig. 1 Outline drawing of the NS-Slab

「NSスラブ」を商品化した。その概念図を図1に示す。NSスラブは、以下のような特徴をもった構造

* 〒293-0011 千葉県富津市新富20-1 Tel : 0439-80-4441

である。

- ①すみ肉溶接されたI形鋼のみを有するため、疲労耐久性の問題となる個所が少ない。
 - ②床版用I形鋼は上フランジ突出長が小さく、下側に30%程度の勾配があり、どんな縦断勾配でもコンクリートの充填不良の可能性が少ない。
 - ③一般部の継手は、HTB引張接合で床版下面の作業がなく、配筋作業もスペーサー不要で、施工性が良く、品質が安定している。
 - ④パネルの剛性が高く平坦なため、パネル架設後鉄板養生などで重機を載せての施工も可能である。
- NSスラブの採用にあたって、次章に示す要求性能をすべて満足するための検証を提示する必要があるが、ここでは、連続桁中間支点部におけるひび割れ性能や疲労耐久性などの検証事例を示す。

さらに、その結果として圏央道の宮山高架橋へ初採用された工事事例を紹介する。

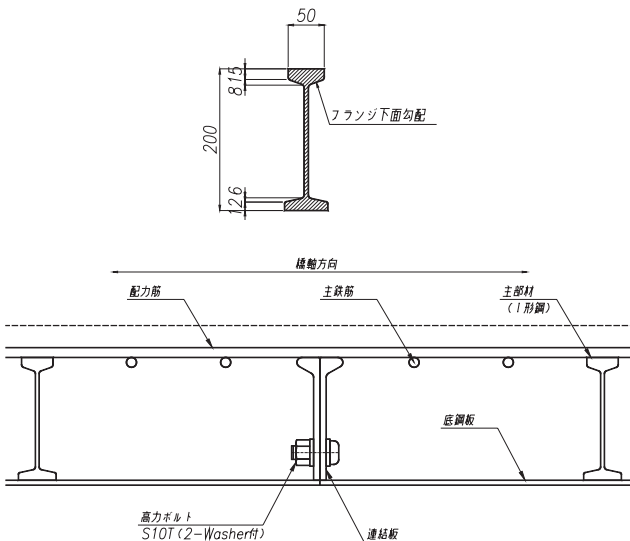


図2 I形鋼および引張継手
Fig. 2 I-shape steel and tension joint

2 道路橋示方書の要求性能

道路橋床版に要求される性能とは、道示I1.5の「設計の基本」に示される構造物の安全性、耐久性、使用目的との適合性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性である。

国土交通省・関東地方整備局では、その道示の要求性能を検証するためのガイドライン(案)を制定しており、合成床版を含む工事においては、特記仕様書において要求性能を満足する資料の提出が義務付

けられている。

以下に、各要求性能とその概要を示す。

①構造物の安全性

道示に準拠した設計を採用する(曲げモーメントの考え方など)場合、まず、平面保持など道示適用の前提条件の確認をするほか、作用荷重に対して許容応力度以内か、曲げ・せん断耐力は十分余裕があるか、ずれ止めの性能は十分か、施工時の荷重に対して十分な安全性があるかの確認を行う。

②耐久性

耐久性照査としては、構造耐久性と材料耐久性の双方が要求される。

構造耐久性は、供用期間に想定される輪荷重の繰返しに対して、一般部・継手部・ずれ止めなどの各部位が十分な疲労耐久性を有しているかを検証することに加えて、想定される劣化状態を受けた場合にも十分な安全性を有しているかを検証する。

材料耐久性は、提案する床版構造に応じた防錆・防食計画を行っているかを検証する。

③使用目的との適合性

使用性に関しては、合成床版がRC床版やPC床版に比して薄いことから、荷重伝達の際に問題ないか、変形が大きくないか、応力集中はおきないかの確認を行う。また、連続桁中間支点部でひび割れ制御の設計を行う場合は、そのひび割れ幅が問題ないかの確認を行う。

④維持管理の容易さ

維持管理性能としては、提案床版構造の破壊メカニズムを妥当な方法で推定した上で、その劣化状態に対してどう点検で発見するか、劣化が確認された場合どう性能回復するかが検証課題となる。

⑤施工品質の確保

施工品質の確保では、設計で想定した性能を発揮するための品質管理の項目・方法などについて資料を準備する。合成床版構造では一般的に、コンクリートの充填性能確認と溶接部の品質確保が対象となる。

⑥橋の立体的機能の確保

合成床版を用いる合理化桁橋では、従来形式鉄

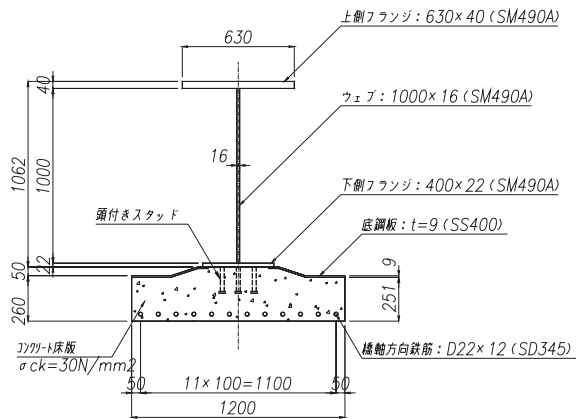


図3 供試体断面図
Fig. 3 Cross section of the specimen

桁の対傾構や横構といった二次部材が省略されているため、常時および施工時に、橋の立体的な剛性が確保されているかの検証が必要となる。

⑦荷重分配機能

床版に主桁の荷重分配機能を負担させる場合は、その影響を適切に考慮した検証を行うことになる。しかし、非合成桁においても、床版が後死荷重及び活荷重に対して、荷重分配機能を分担しているためその応力度を把握する検証をするのが一般的である。

⑧横荷重抵抗機能

従来形式鉄桁においては、風や地震のような横荷重に対して、床版と対傾構・横構が半分ずつ負担のような考え方があったが、高耐久性床版を有する合理化桁橋では、床版が負担することになるため、その影響を検証する。

3 NS スラブの設計検証

NSスラブに関して、前章に示した検証資料をすべて準備したのであるが、ここでは紙面の都合上、新たに実験によって検証したものを数例挙げる。

3.1. 連続桁中間支点部負曲げ実験

耐久性、使用目的との適合性の要求性能に対して、連続桁中間支点部の実物大供試体を用いて、ひび割れ性能に関して検証した³⁾。

実験は、図3に示す断面の床版支間6mを想定した中間支点部の10m分の供試体を、図4、5に示すように反転して中央部に荷重した。



図4 静的荷重試験状況
Fig. 4 Static loading test



図5 動的荷重試験状況
Fig. 5 Dynamic loading test

その結果、図6、7に示すようにRC床版と同等のひび割れ間隔、最大ひび割れ幅でひび割れが発生した。動的荷重した場合は、ひび割れ間隔、最大ひび割れ幅ともさらに小さくなって、本床版構造は、RC構造のひび割れ制御の考え方を準用できることが検証できた。

3.2. 中間支点部輪荷重走行試験

耐久性、維持管理の容易さの検証として、連続桁中間支点部を想定した供試体で輪荷重走行試験を行い、合わせて床版コンクリートの部分損傷個所の打換え前後の比較を行った⁴⁾。

著者の検討する合成床版構造は、図8の土研方式での輪荷重走行試験後の供試体切断面に示すように、水平ひび割れに伴う重ねり化型という破壊パターンであることが推定されている。

したがって、疲労損傷を受けて、床版の活荷重によるたわみが増大した場合、上記のような損傷が考えられ、当該個所のコンクリートを部分打換えすることで性能回復を図ることになる。

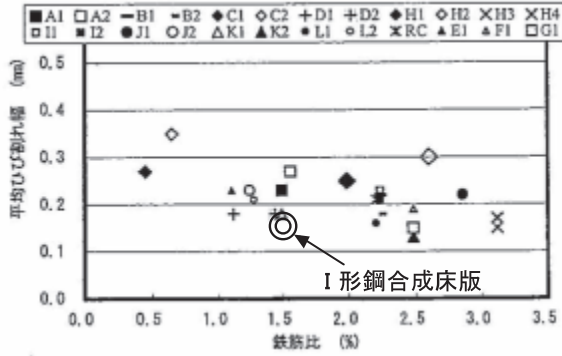


図6 鉄筋比-平均ひび割れ幅関係
Fig. 6 Relation of crack width to reinforcement ratio



図8 輪荷重走行試験後の供試体切断状況
Fig. 8 Cutting plane of the specimen after wheel tracking test

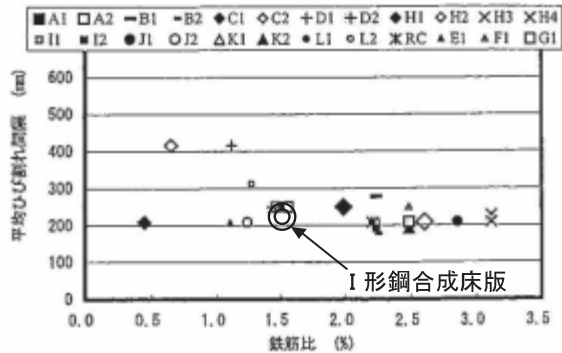


図7 鉄筋比-平均ひび割れ間隔関係
Fig. 7 Relation of crack interval to reinforcement ratio

そこで、主桁系の負曲げを受けて梁状化しやすい中間支点を想定した輪荷重走行試験をするとともに、その個所での打換えの影響を検討することとして、図9に示す供試体で実験を行った。

輪荷重走行試験は、大阪工業大学所有の自走式輪荷重走行試験機を用い、荷重の載荷パターンと走行回数は、図10に示すように、ある試算で50年供用後(24万回走行)に損傷を起こしたと想定して、活荷重分だけ中間支点的ジャッキアップ量を減じて、床版コンクリートを部分打換えし、コンクリート打換え後50年供用分の走行を繰り返すものとした。

床版コンクリートの打換えは、図11に示すように水平ひび割れ箇所のみを取り除くかぶりコンクリート打換えと、床版全厚打換えの2パターンとした。

輪荷重走行試験は、2万回走行毎に走行を止め、供試体中央部で、静的載荷を行うが、供試体中央での走行回数-変位関係を図12に、当該個所での底鋼板床版支間方向の走行回数-ひずみ関係を図13に示す。

変位、ひずみとも、床版打換え前後でほとんど変

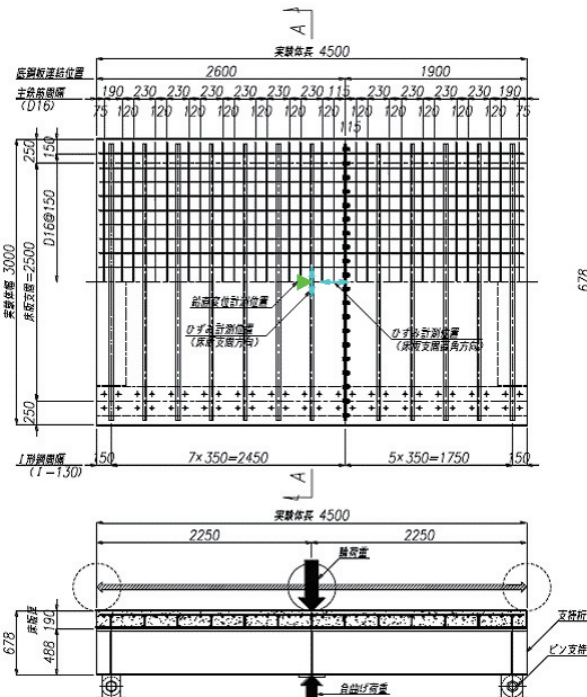


図9 輪荷重走行試験供試体図
Fig. 9 General view of the specimen

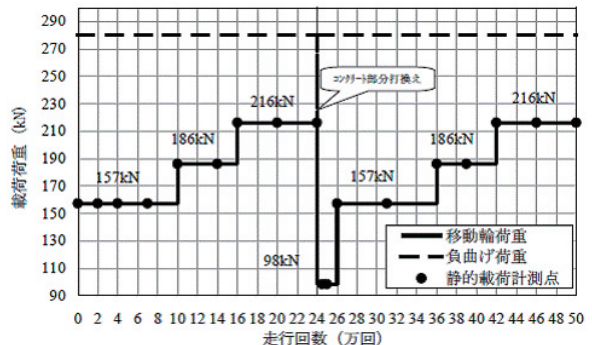


図10 載荷荷重と走行回数
Fig. 10 Load pattern and the number of traveling

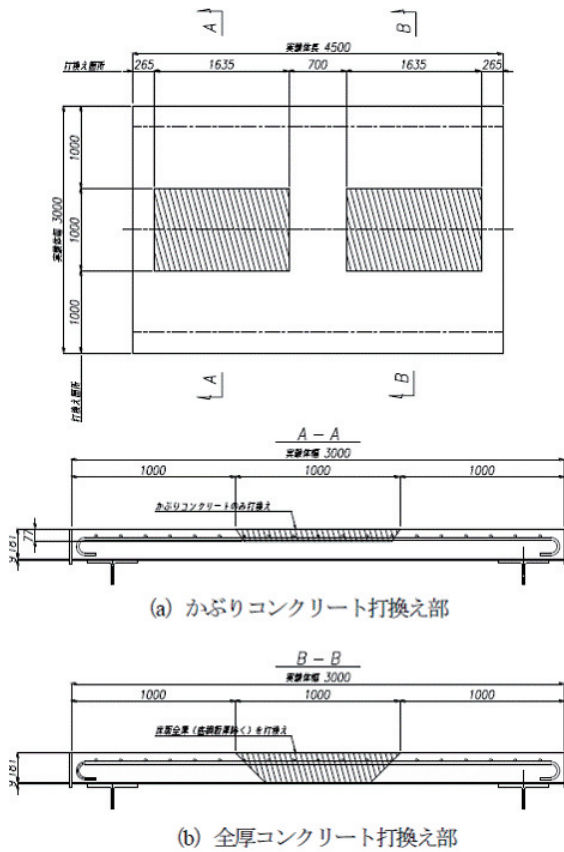


図11 床版打換え要領図
Fig. 11 Replacement pattern of concrete

わらず、かつ24万回の走行で増加していないことから、中間支点負曲げ部における疲労耐久性および床版コンクリート打換えによる性能回復も問題ないことを検証できた。

3.3. I形鋼溶接部疲労試験

NSスラブでは、主部材であるI形鋼と底鋼板を断続すみ肉溶接で接合されており、鋼道路橋の疲労設計指針⁵⁾(以下、疲労指針)で規定される表1に示す疲労強度等級を設定しているが、これは本来、板同士の接合のものであり、本提案構造のような幅をもった部材のものではない。

したがって、耐久性の検証の一つとして、主鉄筋方向(図14)、配力筋方向(図15)の供試体を作成して疲労試験を行った。

主鉄筋方向、配力鉄筋方向それぞれの疲労試験結果を疲労指針の各疲労強度等級のS-N線図にプロットしたものを図16, 17に示す。実験の結果、両方向とも、対象とするS-N線に対して十分な安全

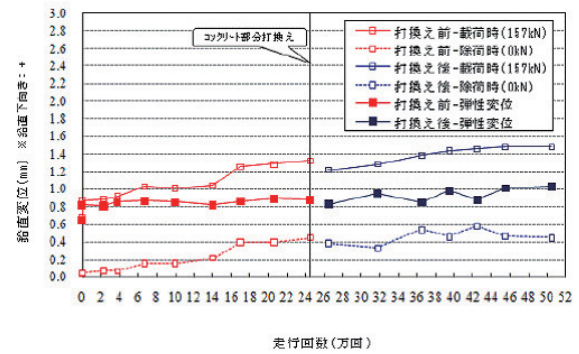


図12 走行回数-変位関係
Fig. 12 Relation of displace to the number of traveling

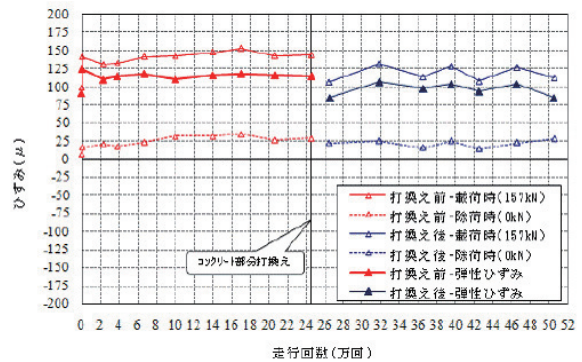


図13 走行回数-ひずみ関係
Fig. 13 Relation of strain to the number of traveling

表1 想定する疲労強度等級
Table 1 Expected fatigue strength grade

照査部位	『鋼道路橋の疲労照査指針』より想定		
	継手の種類	強度等級 ($\Delta\sigma_f$ N/mm ²)	一定振幅 打切り限界 ($\Delta\sigma_{ce}$ N/mm ²)
底鋼板とI形鋼の断続すみ肉溶接(主鉄筋方向)	(c)縦方向溶接継手 5.断続するすみ肉溶接	E (80)	62
底鋼板とI形鋼の断続すみ肉溶接(配力筋方向)	(e)荷重伝達型十字溶接継手 2.(1)4)溶接の止終端を含む継手	F (65)	46

性を有することが検証された。

3.4. 実物大施工実験

本工事は、初採用の工事であり、これまで実験などで検証してきたものに比べ、長支間で大きなI形鋼を使用するため、実物大の施工実験を行い、コンクリート充填性能などの施工品質確保の検証を行った。

宮山高架橋と同じ6m支間の供試体を作成し、設計曲げモーメント相当のコンクリート板を載荷し

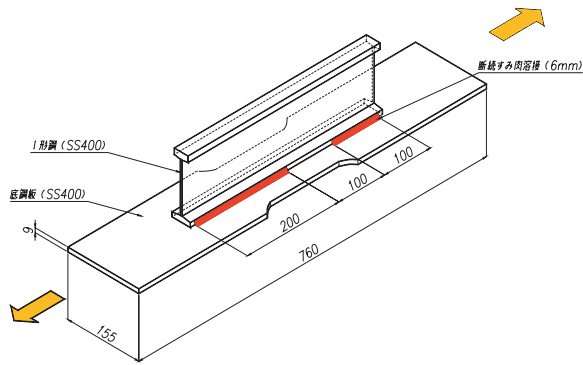


図14 主鉄筋方向供試体図
Fig. 14 Specimen of main reinforcement direction

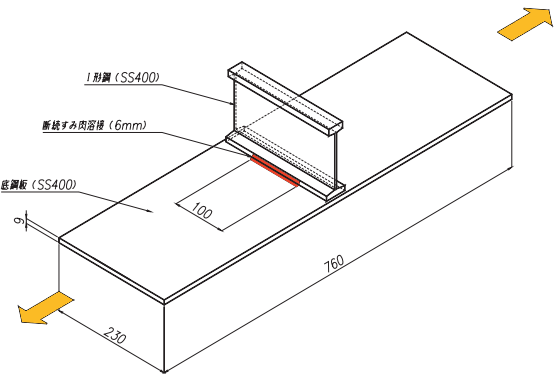


図15 配力鉄筋方向供試体図
Fig. 15 Specimen of transverse direction

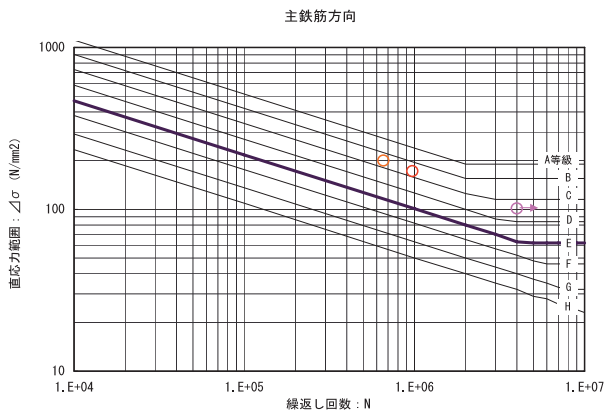


図16 疲労実験結果(主鉄筋方向)
Fig. 16 Result of the fatigue test (Main reinforcement direction)

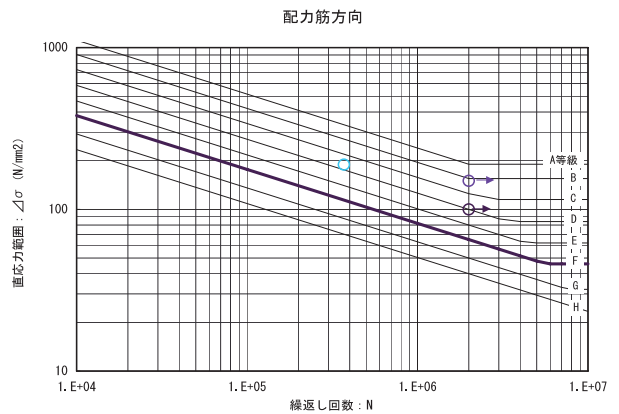


図17 疲労実験結果(配力鉄筋方向)
Fig. 17 Result of the fatigue test (Transverse direction)



図18 実物大施工実験
Fig. 18 Full-scale construction test



図19 供試体切断状況
Fig. 19 Cutting plane of the specimen

て、変形・ひずみ分布を計測(図18)するとともに、実験終了後、切断して充填状況の確認を行った(図19)。

その結果、変形・ひずみは設計想定通りであり、主桁接合部付近で、I形鋼と底鋼板に隙間ができるような充填困難と思われるハンチ部などにおいても、十分な充填度を確認できた。

4 宮山高架橋における施工

初採用された宮山高架橋とは、いわゆる圏央道の一部を形成するさがみ縦貫道の東名高速道路と新湘南バイパス間の高架橋である。

工事概要を表2に、断面図を図20、平面図を図21に示す。橋梁は、1,500m程度の大きな曲線半径を

表2 工事概要

Table 2 Work summary

工事名	さがみ縦貫宮山高架橋上部(その3)工事
工事場所	神奈川県高座郡寒川町宮山地先
工期	平成20年1月22日～平成22年9月17日(970日間)
発注者	国土交通省 関東地方整備局 横浜国道事務所
請負者	日鉄ブリッジ株式会社
設計条件	道路規格 第1種第3級B規格(設計速度80km/h)
	構造形式 鋼7径間連続非合成2主鈹桁:2連
	床版形式 鋼・コンクリート合成床版(NSスラブ)
	橋長 311.5m
	支間長 41.244+41.121×3+49.581+49.000+48.100m(CL上)
	縦断線形 下り線/2.00%~0.400% 上り線/0.70%
	平面線形 R=1,300~1,700m A=900
	横断勾配 2.50%~3.50%
	有効幅員 下り線/9.600~10.875m
	上り線/9.660~10.910
	活荷重 B活荷重

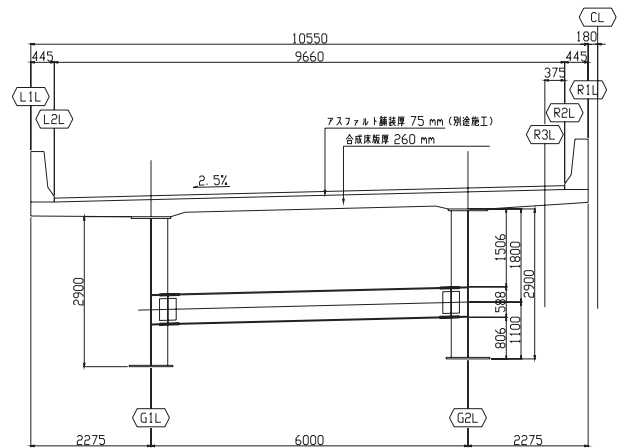


図20 断面図

Fig. 20 Cross section of the bridge

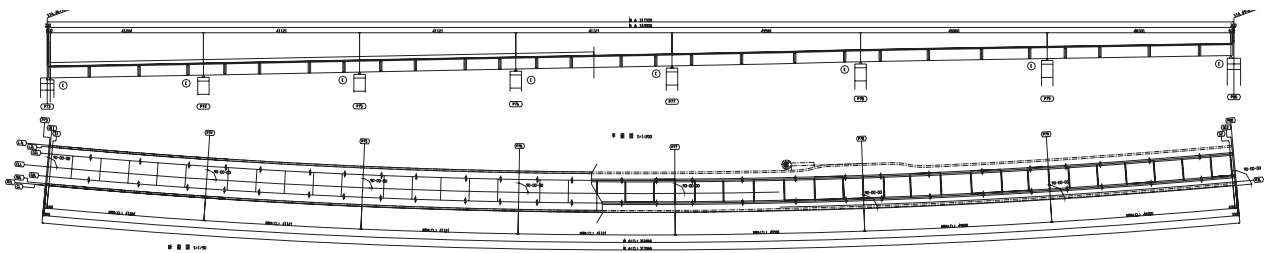


図21 平面図

Fig. 21 Plane view of Miyayama viaduct

有するものの、幅員は一定で床版支間は6mと、合理化少主鈹桁としては一般的な設計条件となっている。

現場工事の推移を図22～27に示す。

他社の合成床版は、パネル継手部が摩擦接合となっており、各継手部において平面方向の誤差補正が可能な構造となっているが、NSスラブは床版下面の添接、塗装作業をなくし、かつ長期防食上の弱点をなくすため、引張継手接合(図23)を用いている。そのため、継手部での誤差補正ができない。したがって、製作・据付誤差による出来形不良を防ぐように、製作段階でのパネルの出来形および継手部の通りを厳格管理して、現場施工に備えた。

現場でのパネル設置は、支間中央から支点部へ振り分けて行ったが、最終落込みパネル間の誤差を計測したところ最大値で17mmであった。この誤差は17パネル分(架設延長:40m程度)の累積で、1パネル当たりに換算すると1mmとなる。よって、精度良く製作・据付が行われたと考えている。なお、落込みパネル間の誤差補正方法については、当該パネルを摩擦接合とし、後製作とする計画とした。落

込みパネル設置前の状況を図24に示す。

配力鉄筋はI形鋼の上に直接配設するだけである(図25)。コンクリート打設は、埋設部材がI形鋼と上面鉄筋のみであるため、スムーズであった(図26)。

5 結言

以上、疲労耐久性能および供用性能の確認を元に、宮山高架橋への適用状況について報告した。

今後は、このスタッドや孔あきジベルを介さない合成構造を一般化し、様々な用途の合成構造への適用を目指してゆきたいと考える。

最後に、本件の採用にあたって、技術指導頂いた大阪工業大学の松井教授、粘り強く前向きにご指導、叱咤激励頂いた関東地方整備局・横浜国道事務所の江波戸係長(当時)をはじめとする発注者の方々に感謝の意を表してここに記します。



図22 床版パネル架設状況
Fig. 22 Erection of a floor panel



図25 鉄筋配筋状況
Fig. 25 Arrangement of reinforcement



図23 引張継手接合
Fig. 23 Tension joint



図26 コンクリート打設状況
Fig. 26 Concrete casting



図24 中間支点落込みパネル箇所
Fig. 24 Adjust panel at an intermediate support



図27 完成写真
Fig. 27 General view of finished work

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説, (社)日本道路協会, 2002. 3
- 2) 設計のガイドライン(案), 国土交通省 関東地方整備局, 2005. 3.
- 3) 櫻井・藤川・水上・松井・長井: 形鋼橋梁の構造合理化に関する研究, 土木学会論文集, No. 794/I-72, 67-86, 2005. 7.
- 4) 櫻井・中山・松井: 連続合成桁中間支点部における合

- 成床版の動的載荷試験, 第6回道路橋床版シンポジウム論文報告集, 2008. 6.
- 5) 櫻井・中山・古市・松井: 局部損傷を受けた鋼・コンクリート合成床版の部分打換え後の疲労耐久性評価に関する実験的検討, 構造工学論文集, Vol. 56A, 2010. 3.
- 6) 鋼道路橋の疲労設計指針, (社)日本道路協会, 2002. 3.