(9)上段配置した横桁で合成床版を支持する2主鈑桁橋の開発

- 第二東名高速道路須津川橋下り線 -

高橋昭一1・鈴木永之2・築山有二3・永山弘久4・生駒元5・阪野崇人6

¹正会員 日本道路公団 関東第二支社(〒222-8510 横浜市港北区新横浜3-9-18) E-mail: Shouichi.Takahashi@jhnet.go.jp

²正会員 日本道路公団 関東第一支社(〒110-0014東京都台東区北上野1-10-14) E-mail: Noriyuki.Suzuki@jhnet.go.jp

³正会員 日本道路公団 関東第二支社 富士工事事務所(〒417-0061静岡県富士市伝法字大原170-1) E-mail: Yuuji.Tsukiyama@jhnet.go.jp

⁴正会員 (株)宮地鐵工所 設計部(〒290-8580千葉県市原市八幡海岸通3番地) E-mail: nagayama@miyaji-iron.com

⁵正会員 (株)宮地鐵工所 設計部(〒290-8580千葉県市原市八幡海岸通3番地) E-mail: ikoma@miyaji-iron.com

⁶正会員 瀧上工業(株)(〒351-2214 名古屋市中川区清川町2丁目1番地) E-mail: t.banno@takigami-grp.jp

将来的に幅員を拡幅し,広幅員となることが計画されている橋梁を対象に,トータルとして構造性,耐 久性,将来の拡幅性,経済性に優れた構造形式「合成床版を横桁で支持する2主鈑桁橋」を提案した.本 形式は,従来,一般的に中段または下段配置していた横桁を上段配置とし,合成床版を主桁および横桁で 2方向に支持する新しい構造形式である.ここで採用する合成床版は,従来から考案されているロビンソ ン型合成床版を基本構造とし,本構造のコンセプトに適するよう工夫している.またハンチや下段鉄筋を 省略する等構造の合理化,簡素化も目指している.本論では,提案する形式の構造概要と合成床版の疲労 耐久性を確認する目的で実施した移動載荷疲労試験の結果を合わせて報告する.

Key Words: 合成床版, 少数主桁橋, 移動載荷疲労試験, 幅員拡幅, 経済性

1. はじめに

須津川橋下り線は,日本道路公団関東第二支社が建設 を進める静岡県内の第二東名高速道路の一部である.当 初計画では,橋長699m,片側3車線,有効幅員16.5mの場 所打ち℃床版2主鈑桁橋(図-1)で計画され,下部工 (RC橋脚)まで建設が完了していた.しかしながら,コ スト縮減を鑑み,片側2車線,有効幅員11.625mで暫定供 用する方針となったため,上部工の詳細設計に先立ち, 将来の3車線化に伴う幅員拡幅も考慮した最適な構造形 式の検討を行った.その結果,幾つかの比較検討案の中 から最も優位となった「合成床版を横桁で支持する2主 鈑桁橋(図-2)」を提案することにした¹¹.本論では,



図-2 合成床版を横桁で支持する2主鈑桁橋(提案形式)

提案する構造形式の構造概要,合成床版の疲労耐久性を 確認する目的で実施した移動載荷疲労試験の結果を合わ せて報告する.

2. 提案する構造形式のコンセプト

提案する構造形式は,従来,一般的に中断または下段 配置していた横桁を上段配置とし,合成床版を主桁およ び横桁で2方向に支持する新しい構造形式である.本形 式のコンセプトを以下に示す.

- ・上段配置された横桁で支持された合成床版を有し,構造性,耐久性,将来の拡幅性,経済性に優れた2主 飯桁橋.
- ・合成床版の底鋼板を橋軸方向および橋軸直角方向の2 方向に構造部材とみなし,ハンチや下側鉄筋を省略し,床版構造の合理化,簡素化を目指す.

本構造形式のイメージを図-3,4 に,完成系拡幅時の施 エステップを図-5 に,拡幅工事計画を図-6 に示す.



図-3 合成床版を横桁で支持する2主鈑桁橋(暫定系)



図-4 合成床版を横桁で支持する2主鈑桁橋(完成系)





3. 構造概要

(1) 構造概要

主桁間隔は基本計画どおり完成時に死荷重のモーメン トバランスが良くなる 10m とし,横桁間隔は底鋼板を継 手無しの一枚板とすることを考慮し,輸送上の制限から 3.5m とした.合成床版は底鋼板と床版コンクリートの ずれ止めに頭付きスタッドを使用したロビンソン型合成 床版を基本とし,本構造のコンセプトに適するように工 夫している.図-7 に横桁で支持された合成床版の構造 図を示し,以下にその概要を述べる.



図-7 横桁で支持された合成床版の構造概要

床版厚

本構造形式の床版は,コンクリート厚を 250m とし, ドの疲労強 その妥当性についてコンクリートの縁応力度と活荷重た 下,PART B わみにて検証した²⁾.具体的に FEM 解析結果と制限値を 比較した結果を以下の表に示す.表-1 の制限値として, ^{ネジ付きスタッ} コンクリートの縁応力度では曲げ強度(=0.42×fck⁺⁽²³⁾, -----fck'=30N/m²),活荷重たわみではL/2000 とした.

表-1 FEM 解析結果と制限値 表-1 より FEM 解析結果が制限値以下であることから,

	FEM 結果	制限值	
コンクリートの縁応力度(N/mm ²)	4.00	4.06	
活荷重たわみ(mm)	4.08	5.00	

床版コンクリート厚 250mm が妥当であると考えた.

底鋼板の接合方法

床版支持位置ではハンチを省略し,底鋼板は主桁お よび横桁上フランジと直接接合する構造を採用した.主 桁上フランジとの接合方法は,厚板となる主桁上フラン ジへの孔明けを避けるためネジ付きスタッドボルト接合 とした.また,横桁上フランジと底鋼板は,橋軸方向の 連続性を確保するため,高力ボルト摩擦接合とした(図-8参照).従って,床版の設計では,底鋼板を有効とし て設計するものとしたが,橋軸直角方向の主桁上は底鋼 板が不連続となるため無効とした.

底鋼板厚 , ずれ止め

底鋼板厚とずれ止めは,頭付きスタッドをずれ止めとして使用した過去の合成床版の輪荷重走行試験結果³

を参考に,疲労耐久性を考慮して底鋼板厚は 8mm,頭付 きスタッドは 16ctc250mm とした.本合成床版のスタッ ドの疲労強度については,鋼構造物設計指針 PART B(以 下, PART B)に準拠し 50N/mm²とした.



図-8 底鋼板と主桁・横桁上フランジの取り合い

補剛リブ

補剛リブは,前死荷重により底鋼板に発生する板曲げ 応力の低減を目的としており,その配置は 1m ピッチと した.なお,補剛リブ高さは,PART B に準拠し床版厚 の 1/2 である 125mm とした.合成後では抵抗断面として は期待していない.

横桁,ブラケット

横桁およびブラケットは,床版を有効とした合成断面 として設計している.採用した横桁断面はH型鋼 912× 302×18×34 とした.図-9 に合成桁としての抵抗断面 を示す.

正曲げ部(主桁間中央付近)・・鋼桁+コンクリート

負曲げ部(主桁上付近)・・鋼桁+鉄筋+底鋼板 底鋼板は,横桁またはブラケットと高力ボルト摩擦接合 としているため,有効幅内の底鋼板は全断面有効として 設計している.スタッドについても同様である.主桁上 を設計する場合は,底鋼板と主桁との接合方法により, 底鋼板を抵抗断面としては考慮していない.本構造形式 では,横桁が床組として機能するため,上フランジ仕口 部については,二軸応力状態の照査を実施する.



図-9 横桁,ブラケットの抵抗断面の考え方

鉄筋

底鋼板が床版断面として有効に作用すると考えられ る箇所は下側鉄筋を省略することにした.すなわち, 底鋼板が不連続となる主桁上のみ上下鉄筋を配置し, RC断面として設計する方針とした.

ニーブレース

中間支点上付近の負曲げ区間において,横桁上段配置



による主桁の横倒れに抵抗できるように,格点部をニー ブレース構造とした(図-10参照).なお,ニーブレース のフランジは疲労を考慮して主桁下フランジとは溶接し ていない.ニープレスに関する必要剛度については,鋼 道路橋設計便覧に準拠して算出したが,横桁間隔である 3.5mを圧縮フランジの固定点間距離とすると,その必要 剛度がかなり大きくなるため,本橋では,有効長さ係数 として2を考慮し,許容応力度を低減して設計した.こ のニーブレースについては,今後,最適な配置に関する 検討が必要である.

(2) 床版の設計曲げモーメント

本合成床版は,前述したとおり主桁と横桁で4辺を支 持された合成床版であるが,本構造形式の設計曲げモー メントに関する研究⁴は少なく,その算出式が提案され ていないのが現状である.そこで,本工事では設計曲げ モーメントを3次元FEM解析によって算出した.なお,算 出に関しては,「長支間場所打ちPC床版の設計・施工 マニュアル(案) 日本道路公団静岡建設局」に準拠した. a)解析モデル

図-11に暫定系の解析モデルを示す.また,表-2に使 用要素を示す.モデル化の範囲は,横桁間を1パネルと



図-11 解析モデル

表-2 使用要素

部材	モデル化	要素タイプ	備考
床版(コンクリート)		ソリッド要素	
" (鉄筋)	しない	-	
" (底鋼板)		シェル要素	
主桁		シェル要素	
横桁		シェル要素	
壁高欄	しない	-	荷重のみ考慮
遮音壁	しない	-	"

して,正曲げモーメント区間である10パネル(35m)とした.壁高欄については荷重のみ考慮し,解析のモデル化は行っていないため,その剛性は考慮していない. b)載荷荷重

死荷重については,後死荷重(舗装・壁高欄・遮音壁 荷重)より載荷するものとする.完成系については,暫 定系床版に張り出し分の床版荷重を載荷させるようなス テップ解析を実施し,後死荷重については,舗装・壁高 欄・遮音壁荷重を完成系に載荷することとした.

活荷重は, B活荷重のT荷重, T-25荷重, TT-43荷重に ついて検討した.B活荷重のT荷重については,着目位置 (満載,主桁間,張出部,主桁上)に応じて載荷パターン を考慮した.橋軸方向載荷位置については,横桁上と横 桁間中央に上記T荷重を載荷した.

T荷重以外の荷重載荷ケースは以下に示すとおりとした.

T-25荷重 + TT-43荷重・・・衝撃を考慮する

Ⅲ-43荷重のみ・・・衝撃を考慮しない

T荷重以外の荷重載荷ケースは,設計曲げモーメント算 出時の割増係数(詳細については後述する)の活荷重の載 荷方法による曲げモーメント増加分(K1)を算出する際 に必要となる荷重載荷ケースである.

c)解析結果

上記FEM解析による結果に対して,以下の割増係数を 考慮した値(M_L)を設計曲げモーメントとする.

 $M_{I} = M 0 \times K$

M0:FEM解析により算出された曲げモーメント

 $K = (1+i) \times K1 \times K2 \times K3$;割増係数

$$i$$
; 衝擊係数(=20/(50+L) L=床版支間長)

K1;活荷重載荷方法による曲げモーメントの増分

K2; 異方性による曲げモーメント増分(=1.0)

K3;解析誤差等を考慮した安全率(=10%)

主桁間中央断面の橋軸方向設計曲げモーメントを図-12 に示すが,床版が3.5m間隔で配置された横桁で弾性的に 支持されていることがわかる.また,横桁の剛性が比較 的小さいことから支点となる横桁上でも大きな負曲げモ ーメントは発生していない.横桁間中央の橋軸直角方向 設計曲げモーメントを図-13に示す.暫定系で最大曲げ モーメントは47k小mと橋軸方向曲げモーメントの最大値 80 k小mと比較して半分程度となっており,支配的な床 版の支間方向が橋軸方向であることがわかる. また,暫定系と完成系の比較を表-3に示すが,橋軸方向, 橋軸直角方向とも設計曲げモーメントは暫定系,完成系 でほとんど変化がない.このことは,本合成床版の設計 曲げモーメントは主桁間隔の影響をほとんど受けないため,本形式は広幅員に適しており,将来の拡幅性にも優れていることを示している.



図-12 橋軸方向モーメント分布



()内数値は完成系

図-13 橋軸直角方向曲げモーメント分布

表-3 設計曲げモーメント一覧

(単位:kN·m)

\searrow		橋軸方向曲げモーメント		橋軸直角方向曲げモーメント	
		横桁間中央	横桁上	主桁間中央	主桁上
	暫定系	80	40	47	-15
	完成系	78	37	44	-47
	/	0.975	0.925	0.936	3.133

4. 合成床版の疲労耐久性確認試験

(1) 試験概要

a)試験目的

合成床版を横桁で支持する鋼橋形式は,本橋で初めて 採用する構造であることから,床版の疲労耐久性を確認 することを目的として移動載荷疲労試験を行った.

b)試験設備

試験は,日本道路公団が所有する移動載荷疲労試験機 を使用して実施した.

c)試験供試体

試験供試体は図-18に示すとおり実橋の横桁間3パネル をモデル化した実物大供試体としたが,試験機の制約に より主桁間隔のみ実橋の2/3スケールとした(表-4参 照).

表-4 供試体スケール比較

実橋	供試体	実橋/供試体
258mm	258mm	1.0
3,500mm	3,500mm	1.0
10,000mm	6,500mm	2/3
2.9	1.9	-
	実橋 258mm 3,500mm 10,000mm 2.9	実橋 供試体 258mm 258mm 3,500mm 3,500mm 10,000mm 6,500mm 2.9 1.9

ここで, 主桁間隔を実橋の10.0mとした場合(図-14) と供試体の6.5m(図-15)とした場合を想定して四辺固 定版の曲げモーメントを比較した.その結果を図-16お よび図-17に示すが,両者の差はほとんどなく主桁間隔 を6.5mとしても供試体は実物大相当の試験体となると判 断した.なお,コンクリートの設計基準強度は30N/mm² とした.





d)載荷位置と着目位置

本床版は,上段配置された横桁で支持されており,横 桁間中央と横桁上でその挙動や応力性状が大きく異なる ことが予想される.そこで,橋軸方向には,横桁間中央 と横桁上を完全に通過するような3mの矩形分布載荷を行 った.また,橋軸直角方向は,輪荷重による床版せん断 応力が大きくなるように主桁近傍に載荷中心を偏心させ た(図-18参照).

e)載荷パターン

移動載荷疲労試験の輪荷重載荷パターンは, 文献5) を参考に図-19に示す階段状載荷とした.





写真-1 試験供試体

(2) 試験結果

輪荷重走行位置であるL1,CL断面および横桁間中央 (P21)と横桁上(C3)に着目して計測を行ったが,い ずれも同様な傾向を示したので,CL断面とP21断面の交 点に着目した結果を示す(図-20).

a)走行回数と床版たわみの関係

図-21に走行回数と床版たわみ(載荷時計測値,除荷時 計測値)の関係を示す.計測結果より,走行回数が増す につれて残留たわみが増加する.しかし,図-22に示す とおり,載荷時床版たわみから除荷時床版たわみを引い た弾性たわみと走行回数の関係は,急激な変化はなく, 200kNに換算した結果は,70万往復走行完了までほぼ一 定であった.また,解析値と弾性たわみ(換算値)は, 良く一致していた.









図-24 底鋼板下面 橋軸方向ひずみ







b)走行回数とひずみの関係

走行回数とひずみの関係を図-23~26に示す.図-23は 床版コンクリート上面の橋軸方向ひずみ,図-24は底鋼 板下面の橋軸方向ひずみ,図-25は床版コンクリート上 面の橋軸直角方向ひずみ,図-26は底鋼板下面の橋軸直 角方向ひずみと走行回数の関係をそれぞれ示す.

弾性ひずみ(換算値)に着目すると,図-23~26のす べてにおいて,走行開始から70万往復走行終了に至るま での間,急激な変化がなく,ほぼ一定の値を示している. また,計測値と解析値はよく一致していた.これは他の 着目箇所においても同様の傾向であった.

(3) 試験のまとめ

合成床版を横桁で支持する鋼橋形式の移動載荷疲労試 験の結果,床版たわみおよび各部のひずみは,走行開始 から70万往復走行終了まで徐々に増加していくものの, 急激な変化は生じず,弾性たわみ(換算値)はほぼ一定 であった.

この結果より,本合成床版は,走行回数の増加によって剛性がほとんど低下することなく,十分な疲労耐久性有していると考えられる.

5. おわりに

本論では,将来の幅員拡幅を考慮した広幅員の橋梁に 適した「合成床版を横桁で支持する2主鈑桁橋」の開発 についてその概要を述べた.別途検討した結果,本構造 は将来の幅員拡幅に関わらず,当初から広幅員の橋梁と して計画しても経済的に従来形式と遜色のないことを試 算している.また,合成床版の採用で上部工死荷重も小 さくできることから耐震性や耐久性に優れかつ上下部工 を含めたトータルコストに優れた構造であると考えている.

本構造の今後の課題として,

- ・構造の最適化;床版厚,横桁間隔,横桁剛性
- ・横桁を上段配置する影響
- ・疲労に着目した構造詳細の検討

などが考えられるが,これらについては引き続き検討を 進め,本構造形式を確立していきたいと考えている.

謝辞:本構造形式の開発にあたり大阪大学大学院 松井 繁之教授,名古屋大学大学院 山田健太郎教授,長岡技 術科学大学 長井正嗣教授から多大なご指導を頂きまし た.ここに深謝いたします.

参考文献

- 高橋昭一,高橋章,永山弘久,生駒元,栗田繁実,阪 野崇人:将来拡幅を考慮した橋梁の構造形式検討(第二東 名高速道路須津川橋),平成17年度全国大会第60回年次 学術講演会,2005.
- 2) 横山 広, 堀川 都志雄: 道路橋合成床版の床版厚さに関す る研究,構造工学論文集 Vol.49A, 2003, 3.
- 3) 松井 繁之,吉田 聡,福田 隆正,文 兌景:鋼板・コンク リート合成床版の疲労耐久性向上に関する疲労試験,土木 学会第47回年次学術講演会,平成4年9月.
- 4) 松井 繁之,石崎茂:2方向支持された長支間道路橋 RC床 版の設計曲げモーメント式について,構造工学論文集 Vol.42A,1996,3.
- 5) 長谷,本間,宮越,川崎,新井:橋軸方向施工目地を有す るストラット付張出し床版の移動輪荷重走行試験,第三回 道路橋床版シンポジウム講演論文集,pp.193-198,2003.6

DEVELOPMENT OF 2-MAIN-GIRDER SUPPORTS COMPOSITE SLAB AT UPPER ARRANGED CROSS BEAMS The Sudogawa Bridge on Second Tomei Highway heading for Osaka

Shoichi TAKAHASHI, Noriyuki SUZUKI, Yuji TUKIYAMA, Hirohisa NAGAYAMA, Motoshi IKOMA, Takahito BANNO

Targetting bridges planned to have wider widths, proposing the 2-main-girder bridge with a composite slab supported with cross beams in consideration of durability. The structral type distinguished in price. Conventionally, the cross beams were arranged in the middle or lower parts changed into the upper parts. The main girders and cross beams support the composite slab in the 2-direction as a new structural type. This is the newly developed composite Slab. Rationalizing, simplifying the structure with omitting the haunch and lower reinforcements. The paper reports proposed structural types, comparing with the other types, the result of the moving load fatigue test for confirming the fatigue-durability are also reported.