

合成床版を横桁で支持する2主鈹桁橋の提案 — 第二東名高速道路 須津川橋（下り線） —

Proposing the 2-Main-Girder Bridge with a Composite Deck Slab Supported by Cross Beams in Consideration of Durability — Sudogawa Bridge(down line) of the 2nd Tomei Expressway —

川村 暁人*¹ 栗田 繁実*² 生駒 元*³ 永山 弘久*⁴
Akito KAWAMURA Shigemi KURITA Motoshi IKOMA Hirohisa NAGAYAMA

Summary

Targetting bridges planned to have wider widths, proposing the 2-main-girder bridge with a composite slab supported by cross beams in consideration of durability. The structural 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 are also reported.

キーワード：合成床板、幅員拡張、横桁上段配置、2主鈹桁橋

1. まえがき

須津川橋は中日本高速道路(株)が建設を進める静岡県内の第二東名高速道路の一部で、基本計画時は片側3車線の場所打ちPC床版2主鈹桁で計画されていた。しかしながらコスト縮減等を鑑み、片側2車線で暫定供用する方針となったため、詳細設計において将来の3車線化も考慮した幾つかの上部工構造形式を比較検討し、その中から構造的、拡張時の施工性、経済性に優れた「合成床

版を横桁で支持する2主鈹桁橋」を提案した(図-1,2)。本形式の合成床版はロビンソン型を基本構造とし、将来の幅員拡張も考慮して主たる床版支間を橋軸方向としている。また、横桁を上段配置としハンチや下側鉄筋を省略するなど従来の合成床版に対して構造の簡素化も図っている。ここでは、本形式の構造の特徴と設計概要について報告する。

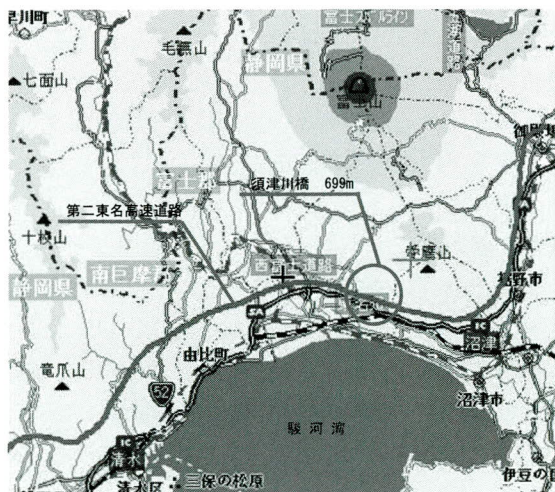


図-1 位置図

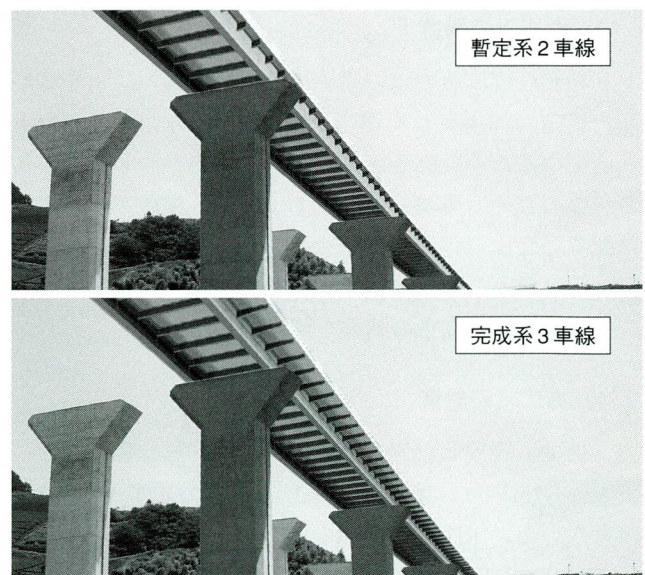


図-2 パース図

*¹生産本部設計部設計一課
*²生産本部保全部保全技術課

*³生産本部設計部設計一課課長代理
*⁴生産本部設計部次長

2. 橋梁概要

須津川橋の構造一般図を図-3に示し、設計条件を表-1, 2に示す。

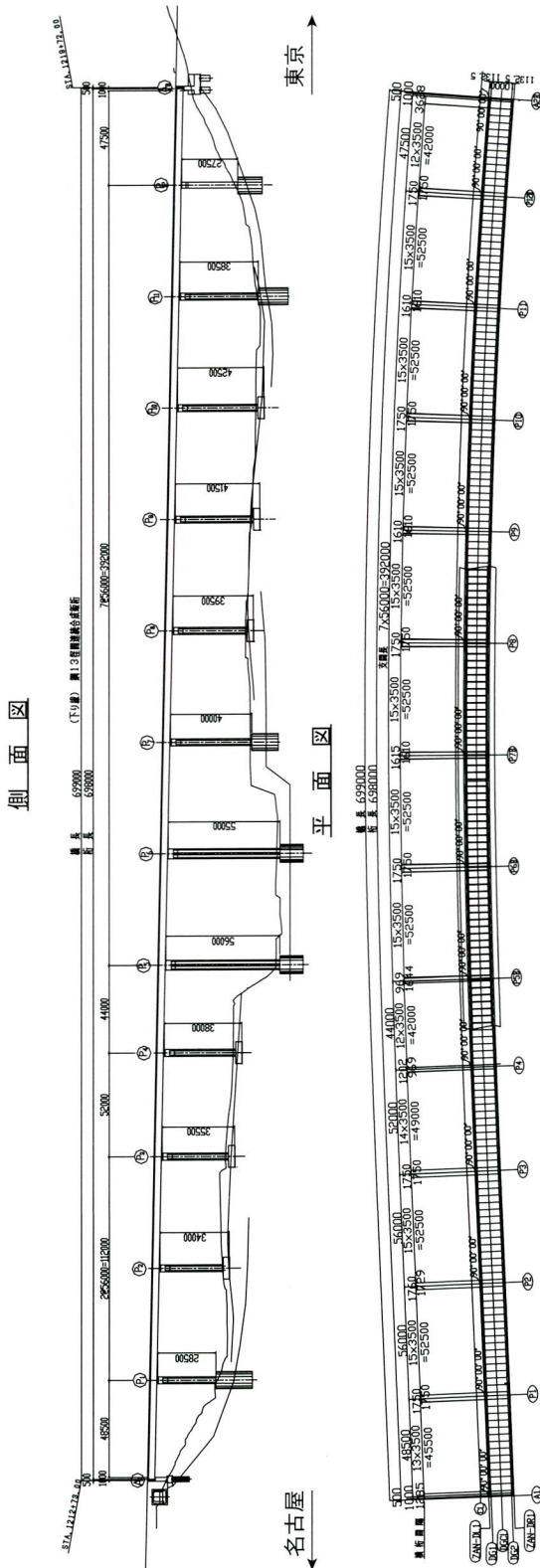


図-3 須津川橋 一般図

表-2 構造諸元

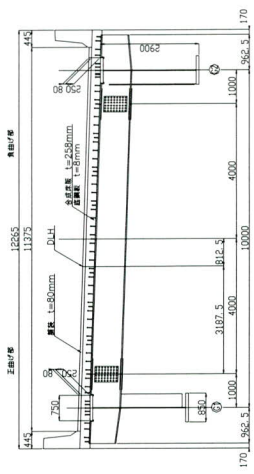
断面形状 (鉄桁) 1型断面	
桁高	2900mm
主桁間隔	10m
橋桁間隔	最大3.5m
張出し長	暫定系 1.1325m
床版厚	完成系 3.715 m
	258mm (底鋼板厚8mm含む)
	床版 36N/mm ²
	壁高欄 30N/mm ²
	支点上巻き立て 30N/mm ²
	下部工 30N/mm ²
コンクリート	

表-1 橋梁諸元

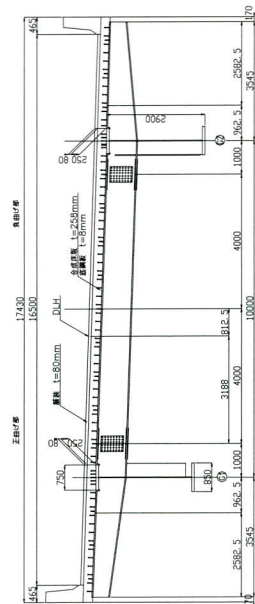
工事名	第二東名高速道路 須津川橋 (鋼上郡工) 下り線工事	
工事箇所	(自) 静岡県 富士市 比奈 (STA. 1203+31.40)	(至) 静岡県 富士市 中里 (STA. 1219+81.00)
橋長	699m	
橋梁形式	鋼13径間連続合成鉄桁橋	
道路規格	第1種第1級 設計規格A 設計速度120km/h	
荷重	日活荷重	
有効幅員	暫定系 11.375m	完成系 16.500m
支間長	48.5+2@56.0+52.0+44.0+7@56.0+47.5	
平面線形	A=1000m~R=4000m	
縦断勾配	2.00% 直線勾配	
横断勾配	2.608% ~ 3.00%	
施工者	(株) 宮地鐵工所・瀧上工業 (株) 共同企業体	

断面図

暫定系



完成系



3. 構造形式の比較検討

(1) 比較検討の条件検討

以下の条件を基に、構造形式の比較検討を行った。

- ・有効幅員は、暫定系11.625m（2車線）、完成系16.500m（3車線）とする。（図-4）
- ・下部工が完成しているため、橋長、橋梁支間、支承位置等の道路線形は基本計画から変更しない。
- ・鋼桁、床版、支承は、完成系荷重を考慮して決定する。
- ・主桁は非合成として試算する。

(2) 比較対象とした構造形式

比較対象とした構造形式を表-3に示す。

①案：基本計画（場所打ちPC床版2主鉄桁（図-4））

②案，③案：暫定系PC床版

①案の基本計画で必要なPC鋼材は1S28.6ctc500mmとなる。一方、②案，③案の暫定系の張出し部のみカットした構造（図-5）では、死荷重による正曲げモーメントが卓越するため必要なPC鋼材が1S28.6ctc278mmと密になる。また、将来幅員拡幅時に必要となるPC鋼材の継手構造の耐久性が現時点で確認されていないことから、暫定系PC床版案については、張出し部を②案のPC床版で施工した場合と、③案のRC床版とし鋼製ブラケットで床版を支持する場合について検討した。

④案：RC床版+縦桁構造形式案

暫定系および完成系の床版をRC床版とし、主桁間に配置した縦桁で床版を支持する構造である。完成系の床版張り出し部は、側縦桁およびブラケットを設けて、床版を支持する構造とした（図-6）。

⑤案：合成床版を横桁で支持する構造形式案

本案は、主桁および3.5m間隔で上段配置された横桁、ブラケットで支持された合成床版を暫定系、完成系ともに使用する形式で、本工事で初めて提案する構造形式である（図-7）。合成床版はハンチや下側鉄筋を省略し簡

素化を図った構造とした。

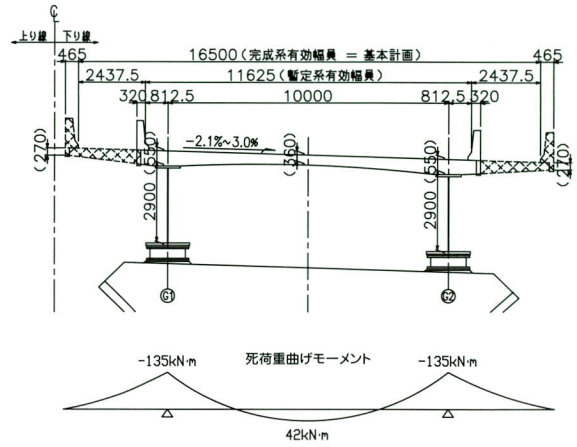


図-4 ①案 基本計画

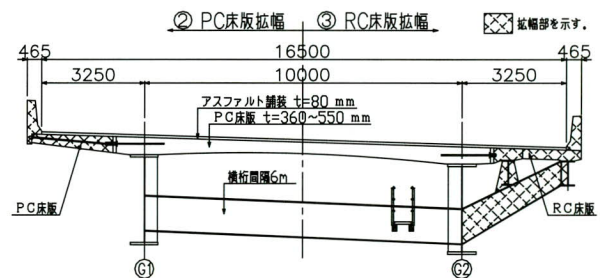
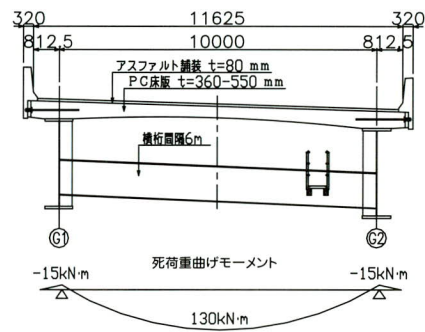


図-5 ②案、③案 暫定系PC床版案

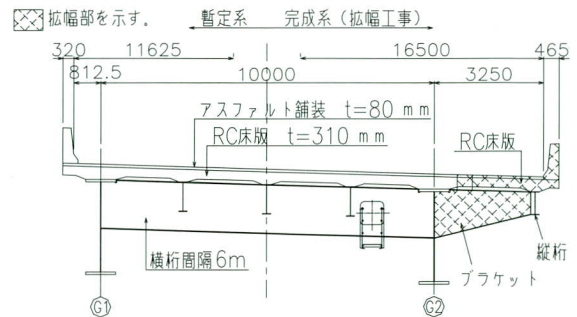


図-6 ④案 RC床版+縦桁構造形式案

表-3 比較対象構造形式

構造形式案	暫定系床版	完成系床版
①案 基本計画	—	PC床版
②案 暫定系PC床版案	PC床版	PC床版
③案	PC床版	RC床版
④案 RC床版+縦桁構造形式案	RC床版	RC床版
⑤案 床版を横桁で支持する構造形式案	合成床版	合成床版

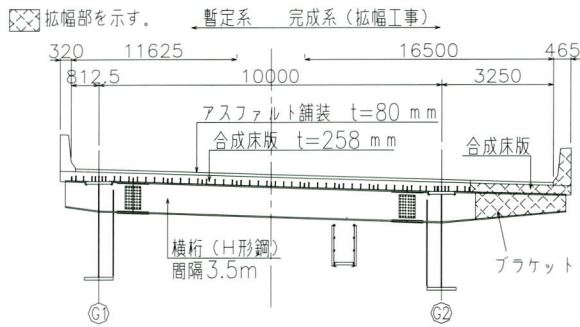


図-7 ⑤案 合成床版を横桁で支持する構造形式案

(3) 比較検討結果

1) 構造的性

②案、③案の暫定系PC床版案は、暫定系に必要なPC鋼材量が完成系の2倍程度となるため合理的ではない。また、②案のPC床版案は拡幅時にPC鋼材を接続する継手構造の耐久性が確認されていないなどの問題がある。③案、④案は拡幅時に現場でブラケットの仕口加工が必要となる。これに対し⑤案は、暫定系においても床版の支持桁として必要となる短いブラケットを設置しておくことで将来の仕口加工が不要となり構造に無駄がないと考えられる。また、後述するとおり⑤案の床版の設計曲げモーメントは橋軸方向が支配的となるため、橋軸直角方向への幅員拡幅による床版の曲げモーメントへの影響は小さいと考えられる。

2) 拡幅時の施工性

②案、③案の暫定系PC床版案、④案のRC床版+縦桁案に比べ、⑤案は底鋼板がコンクリート型枠となり、足場省略や現場工期の短縮なども可能となり施工性に優れている。また⑤案は、暫定系ブラケットが拡幅ブラケットの仕口となり、最も施工性に優れている。

3) 経済性

鋼桁重量は、①、②案と比較して拡幅時に側縦桁およびブラケットを必要とする③～⑤案が大きくなる(図-8)。中でも、⑤案は、横桁間隔が3.5mと密に配置されるため鋼桁重量が最大となるが、横桁で支持された合成床版を採用することで、床版厚を薄くすることができ、最大支点反力は最小となる(図-9)。⑤案は横桁を床版との合成断面として設計することで横桁にH形鋼を採用することが可能となり、大型材片数を減らすことができる(図-10)。小型材片数は、拡幅時に縦桁および

ブラケットを設けるタイプの③～⑤案が多くなる(図-11)。床版単価は②、③案では、PC鋼材が密な配置となるため、基本計画と比較して割高となる。一方、⑤案で用いる合成床版は、構造の簡素化によりPC床版よりコストダウンが図れた(図-12)。暫定系時における上部工概略工事費用は、⑤案が全体死荷重(支点反力)の軽減と床版のコストダウンにより、基本計画に対して約16%有利な結果となった(図-13)。

4) まとめ

以上の構造比較検討の結果から、⑤案の「合成床版を横桁で支持する構造形式案」が暫定系および完成系でも経済的で、かつ最も施工性の良い構造形式であることがわかった。そこで須津川橋では「合成床版を横桁で支持する構造形式」を提案することにした。

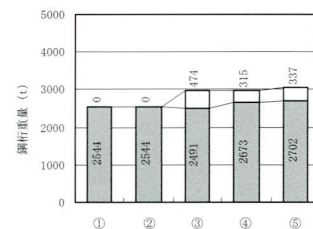


図-8 鋼桁重量比較結果

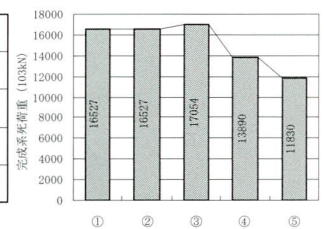


図-9 最大支点反力比較結果

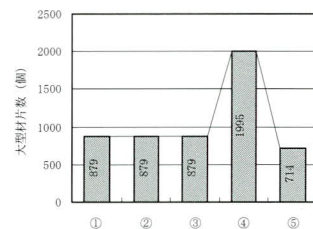


図-10 大型材片数比較結果

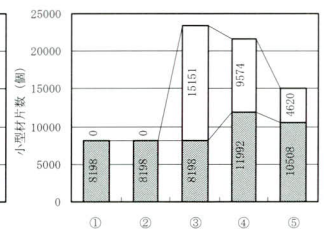


図-11 小型材片数比較結果

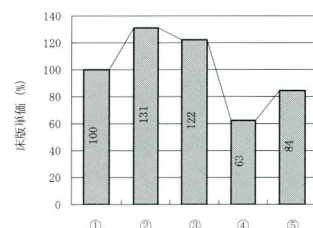


図-12 床版単価比較結果

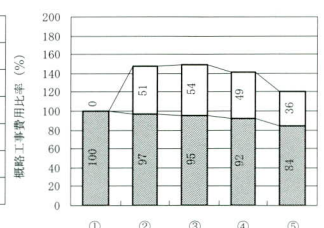


図-13 工事費用比較結果

■ 暫定系 □ 拡幅工事

4. 提案する構造形式のコンセプト

須津川橋で提案する「合成床版を横桁で支持する2主鈹桁橋」のコンセプトを以下に示す。

- ① 主鈹桁および上段配置された横桁で支持された合成床版を有し、構造的、耐久性、将来の拡幅性、経済性に優れた2主鈹桁橋。
- ② 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-14, 15に、拡幅時の施工ステップを図-16に、拡幅工事計画概要を図-17に示す。

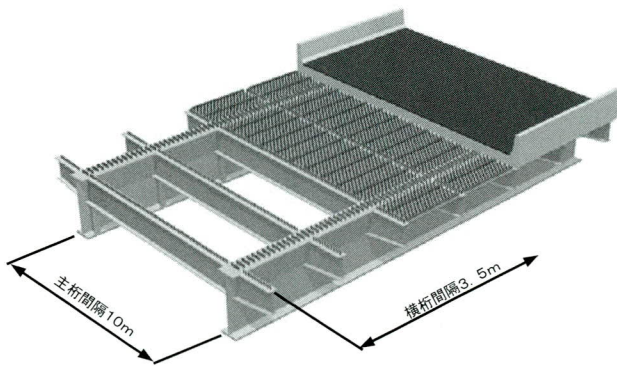


図-14 合成床版を横桁で支持する2主鈹桁橋（暫定系）

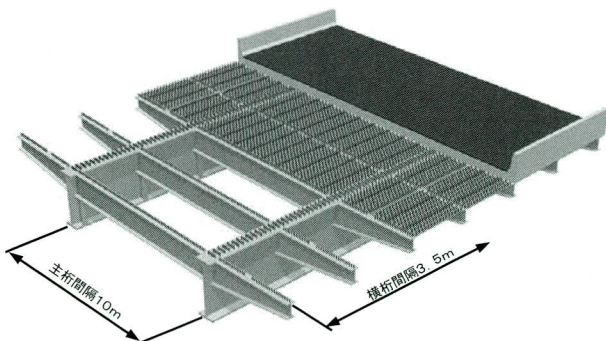


図-15 合成床版を横桁で支持する2主鈹桁橋（完成系）

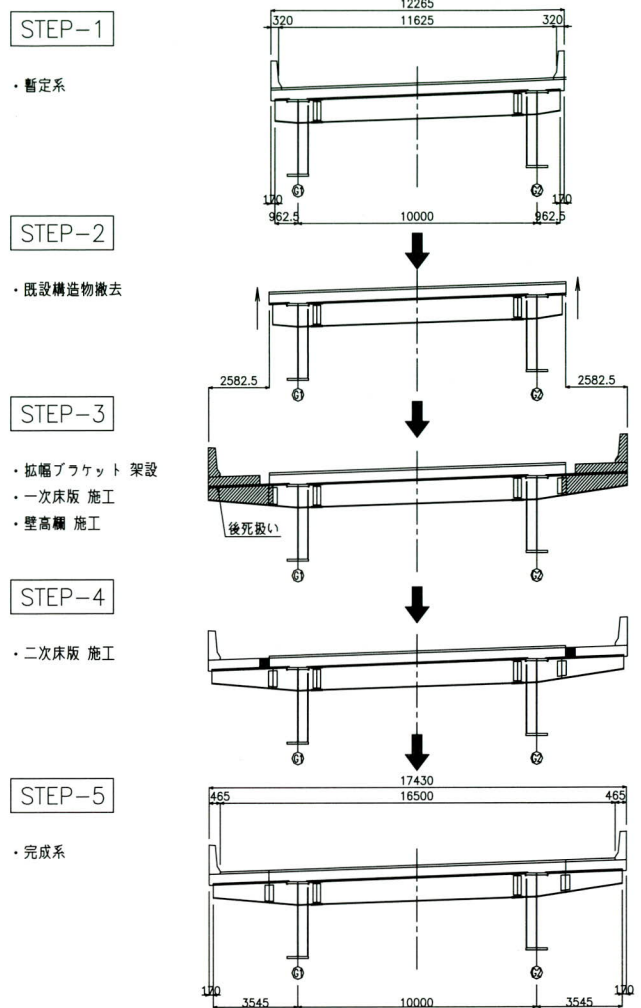


図-16 施工ステップ

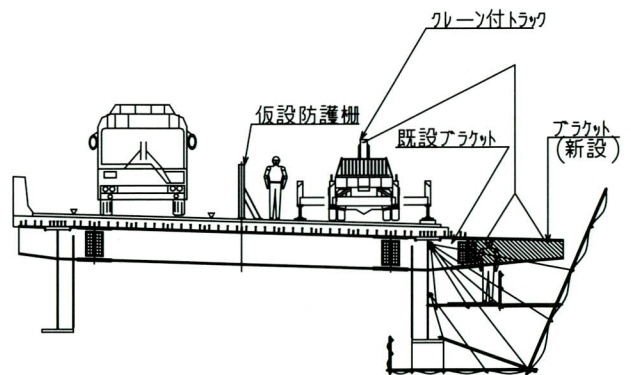


図-17 拡幅工事計画概要

5. 構造概要

(1) 構造概要

主桁間隔は基本計画と同じ10mとし、横桁間隔は合成床版の底鋼板を一枚板とすることを考慮し、輸送上の制限から最大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-18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。

①床版厚

本構造形式の床版は、コンクリート厚を250mmと仮定し、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わみとを検証した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-4に示す。コンクリートの縁応力度の制限値は、曲げ強度(=0.42×fck^{2/3}、fck³=30N/mm²)とし、活荷重たわみの制限値はL/2000とした。表-4に示すとおりFEM解析結果は制限値以下となった。

表-4 FEM結果と制限値

	FEM結果	制限値
コンクリートの縁応力度(N/mm ²)	3.74	4.06
活荷重たわみ(mm)	2.19	5.00

②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に直接支持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、橋軸方向の構造的な連続性を確保するため、高力ボルト摩擦接合とした(図-19)。従って、床版の設計においては、橋軸方向、橋軸直角方向とも底鋼板を有効として設計するものとした。但し、橋軸直角方向の主桁上のみ底鋼板が不連続となるため、ここについてはRC床版として設計するものとした。

③底鋼板厚、ずれ止め

床版作用によるずれ止めは、底鋼板上の頭付きスタッドで抵抗し、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φ16ctc250mmとした。また横桁の桁作用によるずれ止めは、底鋼板と横桁とを止めている高力ボルトと横桁上のスタッドで抵抗するものとした(図-19)。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 B⁴⁾(以下、PART B)に準拠し50N/mm²とした。

④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とたわみの低減を目的としており、その配置は1m

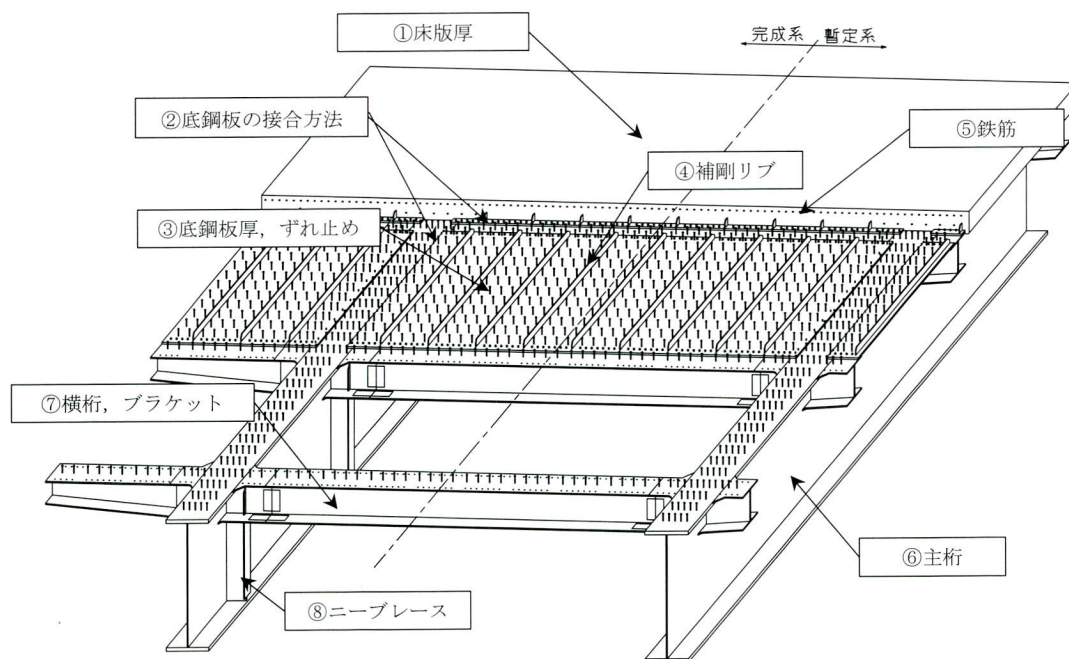
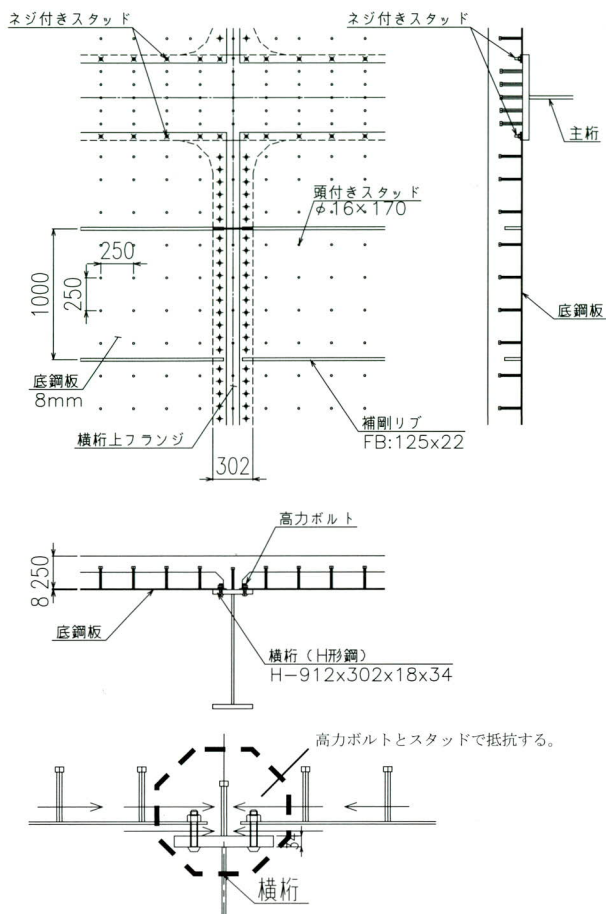


図-18 横桁で支持された合成床版の構造概要



図一十九 底鋼板と主桁・横桁上フランジの接合方法

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 (FB 125×22)とした。ただし、補強リブは合成後の抵抗断面としては期待しないものとした。

⑤鉄筋

底鋼板が橋軸方向、橋軸直角方向ともに床版断面として有効に抵抗すると考えられる部位は、下側鉄筋を省略することにした。具体的には、底鋼板が不連続となる橋軸直角方向の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。また、本床版はその辺長比より橋軸方向が主たる床版支間となるため、床版作用は橋軸方向が支配的となる。従って、特に中間支点付近は床版作用と主桁作用の足し合わせにより橋軸方向の鉄筋量が増加するのでその設計には注意を要する。

⑥主桁

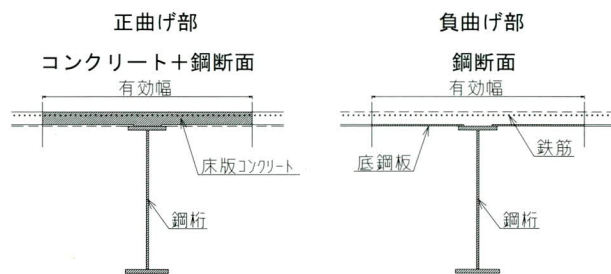
連続合成桁設計を採用した。

⑦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

として設計した。横桁断面にはH型鋼 912×302×18×34を使用した。図一二十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+上側鉄筋+底鋼板

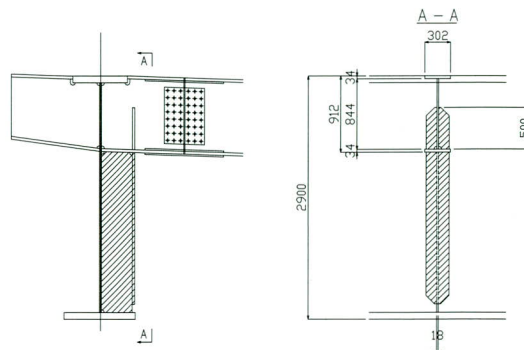
底鋼板は、有効幅内の底鋼板を全断面有効として設計した。ただし橋軸直角方向の主桁上のみ、底鋼板が不連続なため、底鋼板を抵抗断面としては考慮していない。本構造形式では、横桁が床組として機能するため、上フランジ仕口部については、二軸応力状態の照査により仕口幅を決定した。



図一二十 横桁、ブラケットの抵抗断面の考え方

⑧ニーブレース

中間支点上付近の下フランジが圧縮の範囲において、横桁を上段配置にしたことによる主桁の横倒れ座屈に抵抗できるように、格点部をニーブレース構造とした(図一二十一)。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ないものとした。また、ニーブレースの必要剛度は鋼道路橋設計便覧に準拠して算出することとしたが、横桁間隔である3.5mを圧縮フランジの固定点間距離と仮定すると、その必要剛度がかなり大きくなるため、固定点間距離を2×3.5m=7.0mと仮定した。従って主桁下フランジの許容応力度の低減に関しては、有効座屈長を7.0mとして設計を行った。



図一二十一 ニーブレースの構造

(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の4辺で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⁵⁾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、算出にあたっては、「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。

1) 解析モデル

図-22に暫定系の解析モデルを示す。また、表-5に使用要素を示す。モデル化の長さは、正曲げモーメントの範囲とし横桁間を1パネルとして10パネル分の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。

表-5 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	—	〃

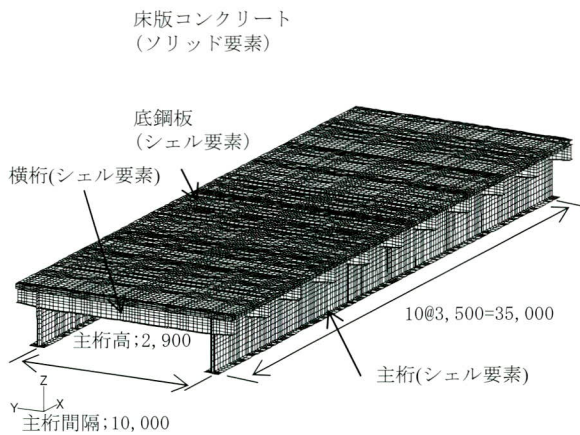


図-22 解析モデル

2) 載荷荷重

死荷重については、前死荷重は考慮せず、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、拡幅施工時のステップに合わせ、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荷重を考慮した。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

TT-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。

3) 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(MI)を設計曲げモーメントとする。

$$M_L = M_0 \times K$$

M_0 : 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

$i = 20/(50+L)$: 衝撃係数

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-23に示す。この分布から床版が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。ここで求めた曲げモーメントは、PART-Bの合成床版の設計曲げモーメント式では床版支間5.7mに相当し、床版支間5.7mから逆算した合成床版の床版厚は25cmとなるため、このことから本床版の床版厚が従来の合成床版相当の床版厚と同等であることが推察される。

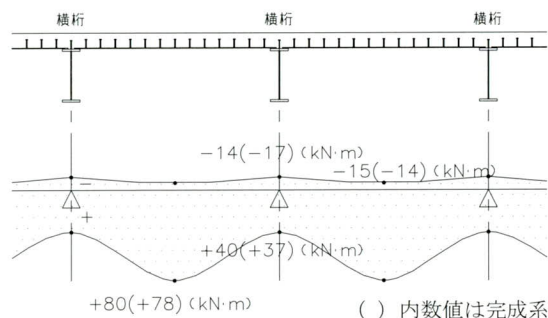
横桁間中央の橋軸直角方向設計曲げモーメントを図-24に示す。暫定系で最大曲げモーメントは47kN・mと橋軸方向曲げモーメントの最大値80kN・mと比較して半分

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。

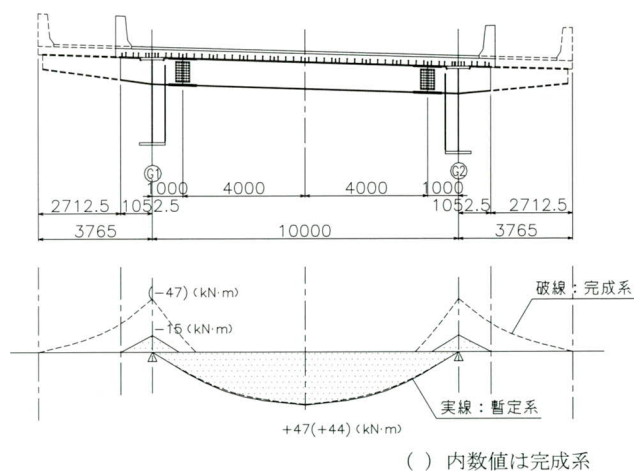
また、暫定系と完成系の比較を表一6に示すが、橋軸方向、橋軸直角方向とも設計曲げモーメントは暫定系、完成系でほとんど変化がない。このことは、本合成床版の設計曲げモーメントは主桁間隔の影響をほとんど受けないため、本形式は広幅員に適しており、将来の拡幅性にも優れていることを示している。

表一6 設計曲げモーメント (単位: kN・m)

	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
①暫定系	80	40	47	-15
②完成系	78	37	44	-47
②/①	0.975	0.925	0.936	3.133



図一23 橋軸直角方向曲げモーメント分布



図一24 橋軸直角方向曲げモーメント分布

6. あとがき

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主鉄桁橋」の構造の特徴と設計概要について述べた。また、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。

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：須津川橋の設計を進めるにあたり、中日本高速道路株式会社横浜支社、同富士工事事務所、高速道路技術センター「合成床版を横桁で支持する鋼橋形式に関する技術検討委員会」（委員長：松井繁之大阪大学大学院教授）のご指導を賜りました。誌面を借りてこれらの関係各位に厚く御礼を申し上げます。

<参考文献>

- 1) 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) 土木学会：鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物，pp.94, 平成9年版
- 5) 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.

2005.11.7 受付