

# 底鋼板に面外曲率をもつ鋼・コンクリート合成床版

中川知和(工博)\*・埴 洋二\*・山田岳史(工博)\*・岡本安弘\*\*

\*技術開発本部・機械研究所 \*\*都市環境カンパニー・構造技術部

## Steel Plate-concrete Composite Slab with a Curved Bottom Plate

Dr. Tomokazu Nakagawa・Yoji Hanawa・Dr. Takeshi Yamada・Yasuhiro Okamoto

A new steel plate-concrete composite slab for road bridges is presented in this paper. This new slab design has a curved bottom plate, which allows for the effective use of the membrane force during the concrete casting. In this report the basic behavior of the slab in the concrete casting stage is analytically studied. The new slab design is demonstrated successfully in an 8m slab span bridge with no rib on the bottom plate. Results of a 1/4 model casting test are also shown.

まえがき = 昨今の公共事業費の縮小により、道路橋においても大幅なコスト削減が求められている。鋼橋においては、主にその経済性から、大断面の主桁をもちい、主桁本数を減らした少数主桁橋が多く建設されている。

この少数主桁が可能になった一つの理由は、長支間用床版の導入であった。当初から、プレストレストコンクリート床版が多くもちいられているが、少数主桁橋梁のさらなる合理化を図っていくことを考えると、より合理的で安価な床版が求められることになる。

鋼・コンクリート合成床版は長支間用床版には有力な候補であると考えられている。これまで、多くの合成床版が提案され、高い強度と耐久性を有することが知られている<sup>1), 2)</sup>。さらに、底鋼板をもちいるものは、架設時にコンクリート型枠としての役割も果たすので、型枠や足場の設置およびその解体作業を省略することが可能で、工期を短縮することができる。ところが、現場での作業を減らすことができるが、工場での加工費が高くていってしまうので、より経済的な合成床版の開発が望まれている。

そこで当社は、鋼部材が単なる曲げ部材として設計されていた合成床版の架設段階において、底鋼板の張力を有効利用することにより、工場でのリブ加工を減らし、かつ従来どおり現場でのコンクリート型枠に係わる作業が省略できる合成床版の開発をおこなっている。

本報告では、本床版の考え方、コンクリート打設時の基本的な特性の解析的検討結果および、1/4モデルの打設試験結果について報告する。

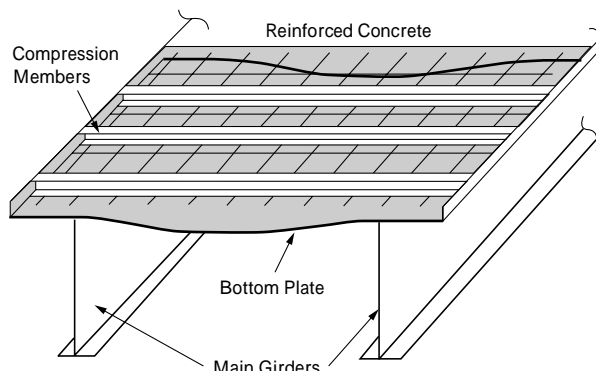
### 1. コンクリート打設時の曲面底鋼板の考え方

第1図に本床版の構造を示す。本床版の最大の特徴は、底鋼板が下方に曲率をもっていることである。そして、主桁間を渡すように底鋼板に溶接などで設置されているリブをなくしている。その代わりに、コンクリート打設により底鋼板に生じる張力を支える圧縮材を導入した。

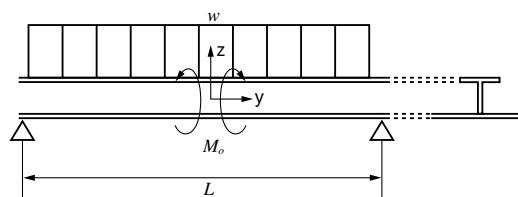
コンクリート打設時の力学を考える。第2図に典型的な平坦な底鋼板にT字のリブを有する床版の力学モデルを示す。前述のとおり、コンクリート打設時には、底鋼板とリブとは、型枠およびその支持機構の役割を果

たすことで工期短縮を図っている。そのためには、鋼板がこの時点で作用する自重をすべて受け持つ必要がある。従来の合成床版においては、鋼部は主桁を支持点(線)とする単純支持版であるため、自重によって生じる床版支間中央部の最大モーメント  $M_0$  に耐える十分な曲げ剛性を確保するために、リブを配置する必要があった。

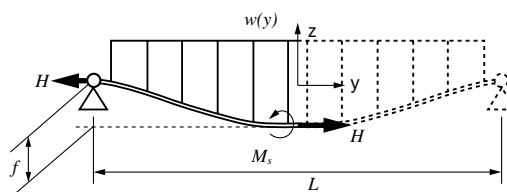
第3図に本床版の力学モデルを示す。この場合も、



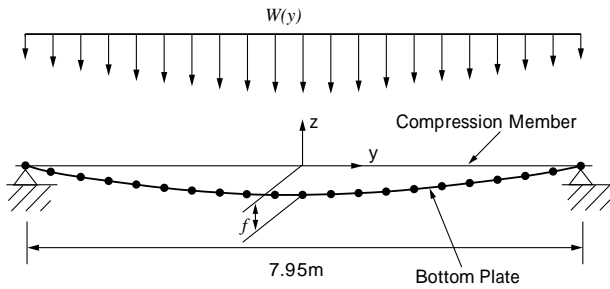
第1図 底鋼板に曲率をもつ合成床版  
Fig. 1 Composite slab with curved bottom plate



第2図 典型的な合成床版のコンクリート打設時の力学モデル  
Fig. 2 Dynamic model of the bottom plate of typical composite slab during casting



第3図 本合成床版のコンクリート打設時の力学モデル  
Fig. 3 Dynamic model of the bottom plate of proposed composite slab during casting



第4図 二次元有限要素モデル  
Fig. 4 Two dimensional finite element model

作用する自重を受け持たなければならないが、両端が固定されているため、底鋼板内に膜力が発生して、外力モーメントに対抗する。床版支間中央部でのモーメントの釣り合いは以下ようになる。

$$M_0 = Hf + M_s \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $H$  は鋼板に作用する膜力の水平成分、 $f$  はサグ(懸垂量)、 $M_s$  は鋼板の曲げモーメントである。

曲面底板の考え方は、自重を膜力により支持して、リブを省略するというものであり、これは式(1)の右辺における第1項を生かそうというものである。

## 2. コンクリート打設時の底鋼板の2次元パラメータスタディ

### 2.1 二次元解析

本節では、コンクリート打設時に底鋼板に生じる応力やたわみに対する、初期サグ(変形前のサグ)、圧縮材間隔の影響を二次元有限要素法解析により検討した。

第4図に解析モデルを、また、第1表に解析例を示す。ここでは、初期の鋼板形状をサグ量 $f$ の放物線にとった。床版は20の梁要素で、圧縮材は1の梁要素でモデル化した。解析では有限変位を考慮したが、床版コンクリート上面は水平であるとして、鋼板とその水平面の間に存在するコンクリートの重量に相当する分布荷重を、鋼板の変形に応じて逐次変更しながら載荷する解析をおこなった。その他の諸量を以下に示す。

- $L = 7.95$  : 床版支間 m
- $A_t = A_{200H}/l_t$  : 圧縮材の平均断面積  $m^2$   
 $l_t$  は圧縮材の間隔
- $A_{200H} = 6.35E-3$  : 200H鋼の断面積  $m^2$
- $t_{c0} = 300$  : 支点上のコンクリート厚 mm
- $t_s = 8$  : 鋼板厚 mm
- $E_s = 206$  : 鋼のヤング率 GPa
- $r_c = 2.500$  : コンクリート密度  $kg/m^3$

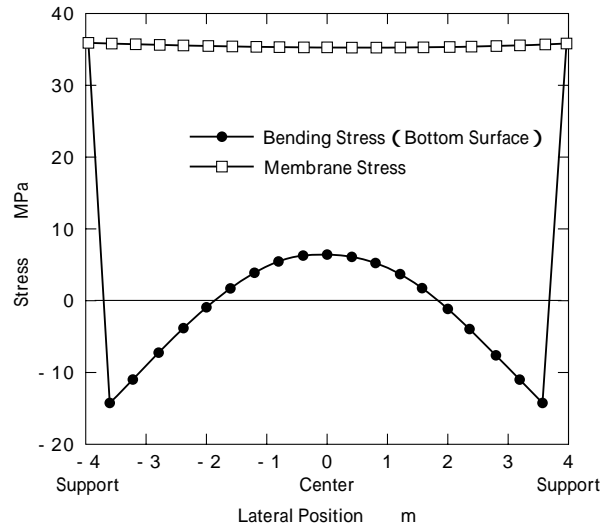
### 2.2 結果

第5図に、初期の鋼板サグ量が $L/20$ の場合の鋼板の膜応力と曲げ応力を示した。支間中央付近に注目すると、膜応力のほうが曲げ応力よりも十分に大きい。むしろ、支点付近において局部応力が発生している。この応力に関しては、初期形状変更などで回避できるものと考えられる。モーメントで見ると、このケースでは前節の式(1)の右辺の第2項は第1項の僅か0.3%であり、ほとんどの荷重が膜力により支持されていることが確認された。

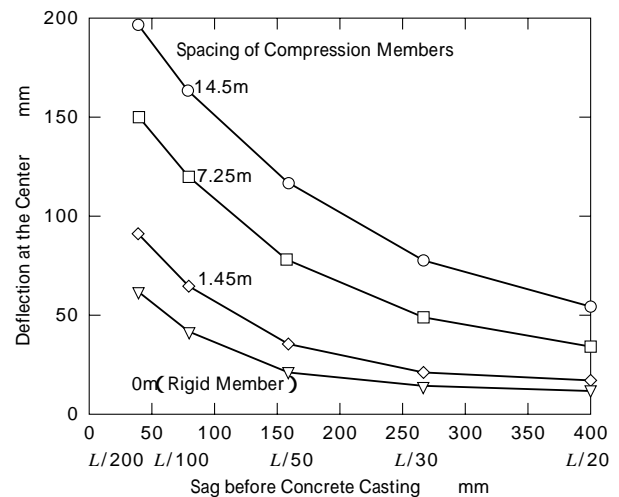
第6図、第7図は、初期サグと圧縮材間隔の、コン

第1表 二次元解析例  
Table 1 Two dimensional analysis cases

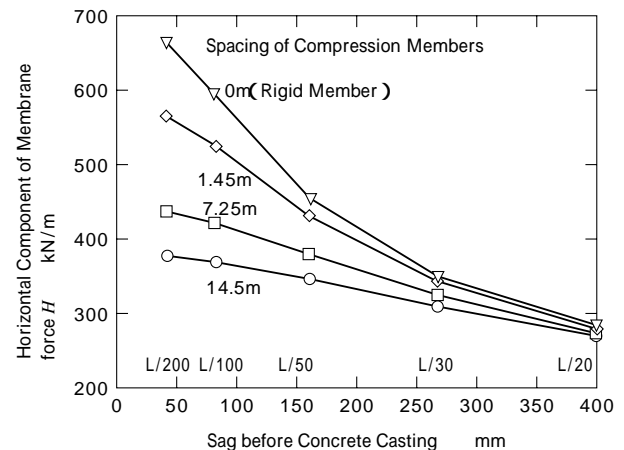
Parameters	Cases
Sag before Concrete Casting $f$	$L/200, L/100, L/50, L/30, L/20$
Spacing of Compression Members(200H) $l_t$	14.5m, 7.25m, 1.45m, 0m



第5図 床鋼板の曲げ応力と膜応力  
Fig. 5 Bending and membrane stresses of bottom plate



第6図 コンクリート荷重下での底鋼板中央部のたわみ  
Fig. 6 Deflection of bottom plate at the center under concrete load



第7図 コンクリート荷重下での床鋼板の膜力水平成分  
Fig. 7 Horizontal component of membrane force of bottom plate under concrete load

クリート打設による支間中央部のたわみおよび生ずる膜力に対する影響をパラメータスタディした結果である。この図より、初期サグが大きくなるほど、たわみは小さくなって施工性が良くなり、さらに膜力も低減され、圧縮材間隔の影響も小さくなるという、底鋼板・圧縮材の設計上有利になることがわかる。しかし、サグが増えるにしたがい床版重量が増加することに注意しなければならない。

### 3. 三次元解析によるコンクリート打設検討

#### 3.1 試設計

前節でのパラメータスタディにもとづいて、長さ 20 m、主桁間隔 8.4 m の 2 主桁橋およびそれに設置する本形式の床版の試設計をおこなった。前節で、サグが増えるにしたがい曲面底鋼板の優位性が発揮できることがわかったので、若干床版重量が大きくなるが、初期サグ量の設計を約  $L/20$  でおこなった。

第 8 図に断面図を示す。主構造では、主桁高が 1.7 m、上下フランジ幅 550 mm、厚さ 34 mm となった。床版側では、圧縮材として、200H の形鋼を 1 m 間隔で配置することにした。

#### 3.2 三次元コンクリート打設解析

第 9 図に本床版の底鋼板と圧縮材、主構造の有限要素モデルを示す。対称性を考慮して、1/4 モデルとした。要素はすべて 4 節点シェル要素をもちいた。このモデルにコンクリート重量を載荷した解析をおこない、主桁の影響、三次元的効果の検討をおこなった。

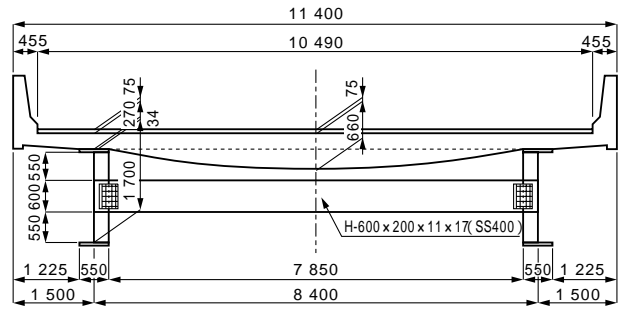
第 10 図は床版支間中央の橋軸方向位置に対する、底鋼板の橋軸直角方向曲げ応力および膜応力を示している。底鋼板が横桁で支持されている端点を除いて、三次元的影響は小さく、二次元解析結果の第 5 図とほぼ同じ結果であった。床版のみのたわみを調べても、端点以外はほぼ二次元的な挙動をしていることがわかった。

いっぽう、底鋼板の主桁上フランジへの定着点付近の橋軸直角方向応力を示す第 11 図では、圧縮材付近の局所的な力の伝達が原因で、膜応力場所により 60 MPa 程度のばらつきがあって、第 5 図の結果とは異なり、曲げ応力は小さい値を示した。

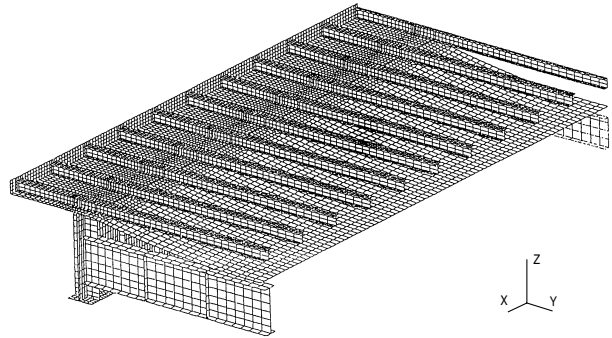
次に、コンクリート打設にともなう主桁上フランジの水平移動量を調べると、最大 1.4 mm 程度であり、底鋼板膜力はほぼすべて圧縮材が受け持ち、主桁には、悪影響を与えないことが確認できた。

### 4. コンクリート打設試験

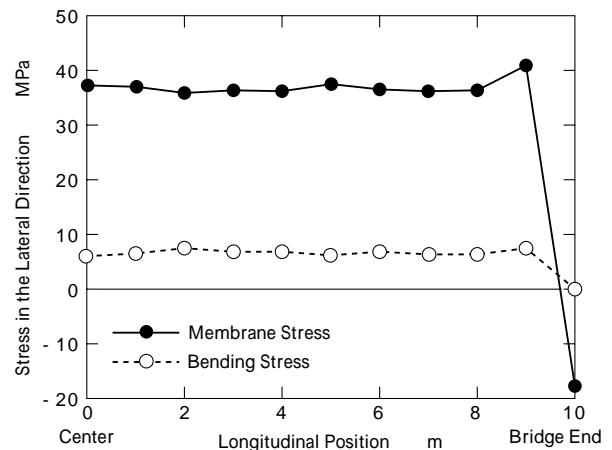
第 12 図に打設試験でもちいた供試体の概要を示す。本供試体は前述の三次元解析モデルのほぼ 1/4 モデルで、底鋼板、圧縮材および主桁からなり、床版支間は 2.0 m、鋼板厚さは 2.3 mm である。また、前述までの解析モデルでは圧縮材を底鋼板より上に配置したのに対し、本供試体では、本床版の基本的構造特性を容易に把握できるようにコンクリート中には異材をできるだけ配置しないこととし、圧縮材を底鋼板よりも下に配置している。打設試験は、工場製作された鋼殻に、写真 1 の



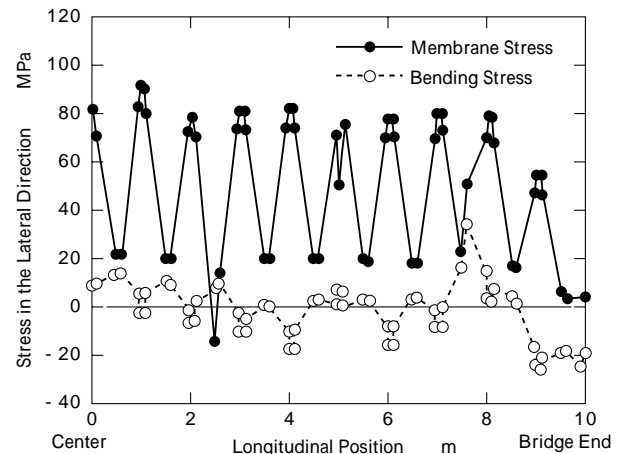
第 8 図 試設計された床版および主構造の断面  
Fig. 8 Cross section of designed slab and main structure



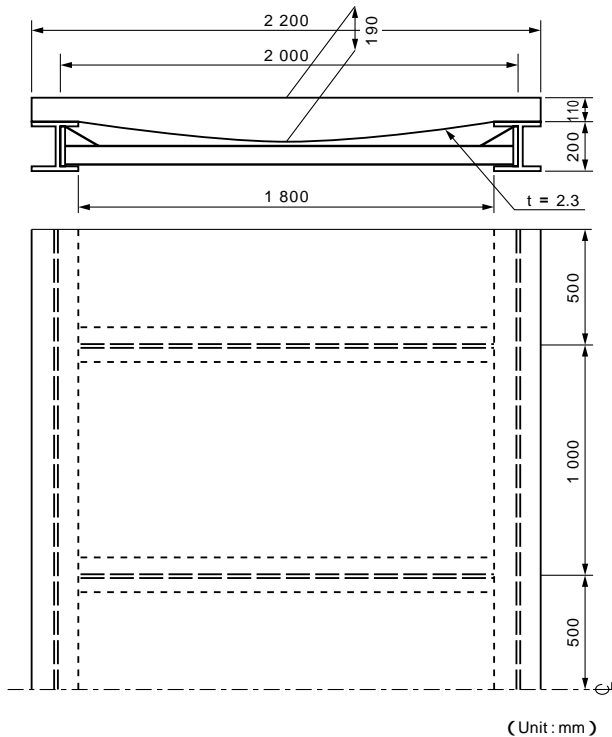
第 9 図 コンクリート打設解析のための三次元有限要素モデル  
Fig. 9 Three dimensional finite element model for concrete casting



第10図 床版支間中央部での曲げ応力、膜応力  
Fig. 10 Bending and membrane stress along the center line



第11図 主桁定着点付近の底鋼板の曲げ応力、膜応力  
Fig. 11 Bending and membrane stress of the bottom plate at the connection to the girder



第12図 床版供試体の概要  
Fig. 12 General view of slab specimen

とおりフレッシュコンクリートをポンプによって圧送し、実橋の床版打設の現場に可能な限り近い状態の中でおこなわれた。

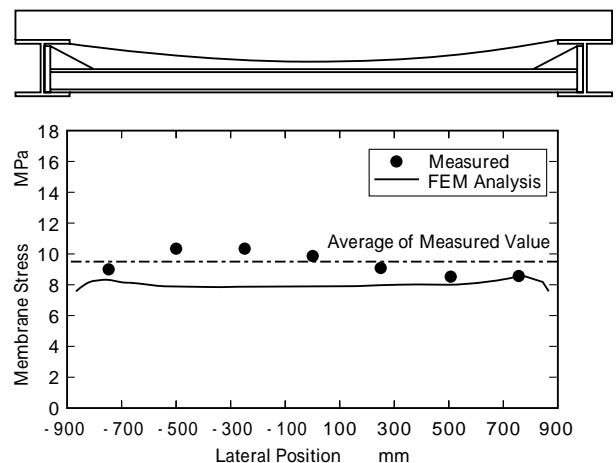
第13図にコンクリート打設によって発生した鋼板膜応力を示す。図中、●が実測値、一点鎖線が実測値の平均値、実線が二次元有限要素解析による結果である。この結果、有限要素解析による解析値が若干実測値よりも下回っているものの、施工現場と同程度の条件の中で、コンクリート打設をおこなった状況を考慮すれば、解析値と実測値はほぼ一致すると判断して差し支えないものと考えられる。さらに、これらの解析値と実測値より判断して、底鋼板は期待どおりの膜応力を発揮し、打設荷重に抵抗していることが判明した。

なお、本打設試験は供試体製作途中のコンクリート打設時の挙動を把握するためにおこなったもので、完成後には本床版の使用状態での構造特性を把握するため、静的破壊試験および疲労試験を予定している。

むすび=底鋼板に曲率を有する床版のコンクリート打設時の挙動と基本的な性質について、解析的に検討をおこなった。本床版で鋼板膜力を十分利用することが可能で



写真1 打設試験の状況  
Photo 1 Casting test



第13図 底鋼板の膜応力分布  
Fig. 13 Membrane stresses of the bottom skin plate

あり、コンクリートの打設時の応力レベルではリブなしで8m床版支間でも設計できることがわかった。さらに、解析的検討を追証するために、1/4モデルの供試体により打設試験をおこなった。試験結果は解析結果とほぼ一致し、底鋼板は期待どおりの膜応力を発揮し、打設荷重に抵抗していることが判明した。

なお、本研究にあたり、非常に有益なご指導を賜りました大阪大学大学院工学研究科松井繁之教授に心から謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) H. Nakai et al. : Structural Engineering International, (1998) p.30.
- 2) 土木学会鋼構造物設計指針, PART B 合成構造, (1997), p.71.