

鋼橋におけるPC床版の合理的断面形状に関する解析的研究

Analytical Study on Rational Cross Section Configuration for PC-slab of Steel Bridge

本間淳史*, 河西龍彦**, 林 暢彦***, 和内博樹****, 松井繁之*****

Atsushi Homma, Tatsuhiko Kasai, Nobuhiko Hayashi, Hiroki Wauchi, Shigeyuki Matsui

- * 工修 日本道路公団静岡建設局, 静岡工事事務所, 構造工事長 (〒420-0804 静岡県静岡市竜南 1-26-20)
- ** (株)宮地鐵工所, 設計部, 設計一課長 (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通り 3)
- *** 工修 (株)宮地鐵工所, 設計部, 設計一課 (〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通り 3)
- **** (株)CRCソリューションズ, 建設システム事業部 (〒136-8581 東京都江東区南砂 2-7-5)
- ***** 工博 大阪大学大学院, 工学研究科教授 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1)

In the New Tomei Expressway, two plate girder system bridges using wide-span PC-slabs are adopted in many places. Because the existing design method is not available to those wide span slabs, a new design method is desired to develop. Also, it seems to be appropriate to adopt an arch-shape bottom configuration from a rational prestressing and to reduce the weight of bridge. In this study, difference of the cross section configuration was investigated theoretically. As expected, the arch-shape cross section was proved to be one of the most appropriate sections.

Key Words : PC slab, slab thickness, arch-shape configuration, FEM analysis

1. はじめに

現在, 公共事業における初期コストおよびライフサイクルコストの縮減, ならびに施工の合理化・省力化の推進といった要求に応える鋼橋形式として, 橋軸直角方向にプレストレスを導入した耐久性の高いプレストレストコンクリート床版(以下, PC床版という)を鋼2主桁橋に組み合わせた橋梁形式に関する研究が活発に進められているところである。

筆者らは, JH静岡建設局が建設する第二東名高速道路(以下, 第二東名という)の約18mという広幅員橋にこのようなPC床版鋼2主桁橋形式を採用するため, 国内では例を見ない長支間場所打ちPC床版の技術開発に取り組んだ。

図-1に本研究の対象となった「第二東名藁科川橋」の断面図を示す。床版支間長は11m, 床版厚は床版支間中央で360mm, 主桁上で530mmとして, 主桁間の床版下面をアーチ形状としていることに特徴がある。

このような床版は, その床版支間長が長いだけでなく, その形状も道路橋示方書¹⁾(以下, 道示という)の適用範囲外と考えられるため, 設計段階で様々な技術検討を行った^{2)~4)}。そしてその成果を「長支間場所打ちPC床版の設計・施工マニュアル」^{5)~7)}として取りまとめた。

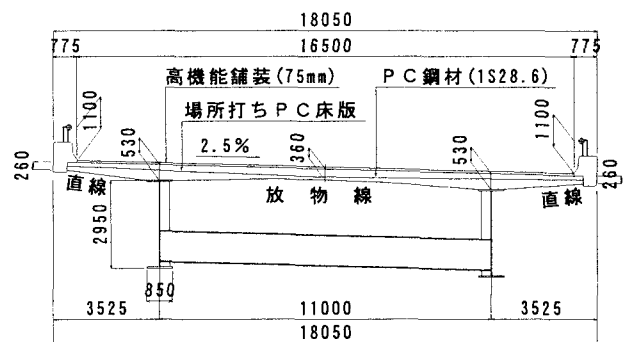


図-1 第二東名藁科川橋の断面図 (mm)

本文では, このような床版形状を採用した経緯と, 長支間床版を有する2主桁橋をモデルに床版下面アーチ形状に関して行った解析的検討結果を報告する。

2. 藁科川橋で採用した床版形状

2.1 下面アーチ形状の採用

床版支間長11mの長支間場所打ちPC床版の計画にあたっては, これと同等以上規模の長支間床版鋼2主桁橋の施工実績を有するフランスやドイツでの工事事例(表-1)を参考にした。

フランスでは1985年にSETRA(フランス運輸省道路研究所)から「鋼・コンクリート合成2主桁橋の

設計指針」が、またドイツ連邦運輸省からは1994年に「道路建設に関する回覧（ARS）」⁸⁾の中で広幅員PC床版の設計資料がそれぞれ発行され、本構造の研究に大きく参考となる技術の蓄積が行われていた。

従来の床版は、道示の規定をもとに床版支間長に応じた一定の床版厚を定め、主桁上でハンチを設けて主桁と接合する方法が一般的である。一方、海外実績を調査して目に付くのが床版下面を曲線変化させてアーチ形状にしている点であった。（図-2）

床版下面をアーチ形状にすることにより、以下のような利点が想定されたことから、本橋でもこれを採用することとした。

- ①ハンチによる断面急変部がなくなることにより応力伝達が滑らかとなり、アーチ形状とすることにより主桁近傍の床版のせん断耐力も増加するため、床版の疲労耐久性が高まる。
- ②アーチ効果により、床版に作用する曲げモーメントの低減を期待できる。
- ③PC鋼材配置が直線に近づくため、施工性が改善され、摩擦損失や二次力による床版の反りを低減できる。

表-1 長支間床版（鋼2主桁橋）の海外事例

橋梁名	総幅員	床版支間長	床版厚		所在国
			支間中央	主桁上	
ソナム川橋	19.0m	10.5m	250mm	350mm	フランス
オピタル高架橋	22.6	12.6	340	440	フランス
ヴォルメ川橋	19.0	9.6	320	430	ドイツ
フラマト橋	20.0	10.0	250	420	スイス

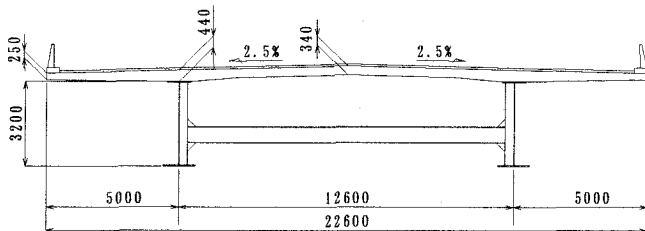


図-2 オピタル高架橋（フランス）の床版形状（mm）

2.2 床版厚の決定方法

床版厚は、ドイツ連邦運輸省の資料（ARS）⁸⁾を参考に検討を加えた結果、以下のように決定した。

- ・主桁上の床版厚は、張出し床版における輪荷重載荷位置（ $L_j=2.5\text{m}$ ）からARS図表における適用推奨床版厚を読み取り、530mmとした。（図-3）
- ・床版支間中央の床版厚は、主桁上の床版厚との比が1.0:1.5となるように、360mmとした。
- ・張出し床版の版端厚は、横締めPC鋼材の定着具寸法および風荷重等を考慮して、260mmとした。

ここで、図-3に示される路肩形状「Kap9」とは、ARS図表に示されるいくつかの路肩形状の中から選択した第二東名に最も近いものである。

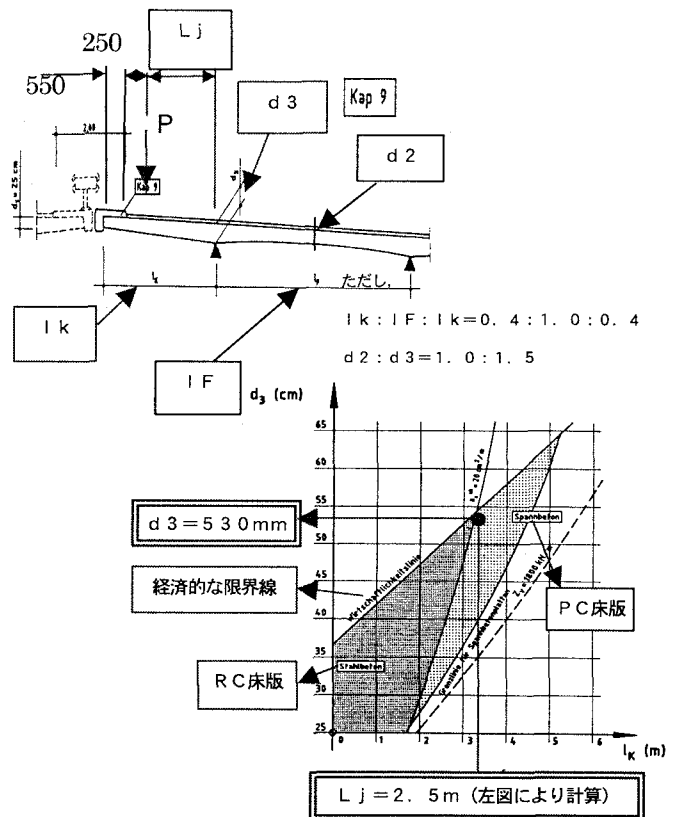


図-3 ARS図表⁸⁾による床版厚の決定

3. 下面アーチ形状に関するFEM解析検討

3.1 検討の目的

このようにして決定した床版形状や設計思想の妥当性については、実物大の模型を用いたプレストレス導入度確認試験、1年間の長期計測による乾燥収縮・クリープ等の影響の確認試験、そして設計終局状態まで行った静的荷重試験によって確認³⁾している。

しかしながら、今回のように床版下面をアーチ形状とした構造と、これまで一般的に用いられてきた「一定の床版厚+ハンチ」の優位差は必ずしも明らかになっていないので、これを解析的に検証することを本検討の目的とした。

3.2 検討の対象とした床版形状

本検討で比較対象とした床版形状を図-4に示す。「現行モデル」は藁科川橋で採用した床版下面をアーチ形状とした構造であり、モデルA～モデルCは従来の「一定の床版厚+ハンチ」形状の構造である。

ここで、モデルA～モデルCは本検討の目的より以下のように設定した。

モデルA：床版厚一定部の床版厚を藁科川橋における床版支間中央の床版厚（360mm）と同じとし、かつ主桁上の床版厚も藁科川橋と同じ（530mm）とし、1:5のハンチですり付けた形状。（ハンチ厚=170mm）

モデルB：主桁上の床版厚は530mmのままとし、

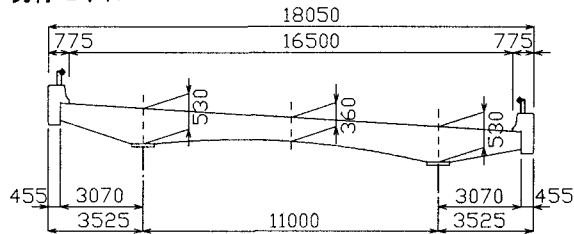
床版の断面積を「現行モデル」と同一とするため、ハンチ厚を 120mm、一定部の床版厚を 410mm としたモデル。

ちなみに、このモデルBの床版厚は、道示Ⅲ 7.3.2を床版支間長 11m にそのまま適用したと仮定した場合の床版厚（連続版の場合で、 $30 \times (L=11m) + 110$ ） $\times 0.9 = 396mm \rightarrow 400mm$ ）にも近い。

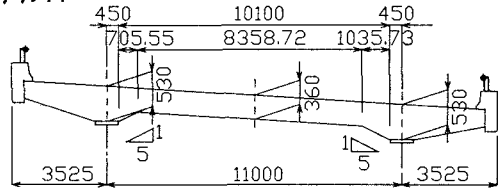
モデルC：主桁上の床版厚は 530mm のままとし、ハンチ厚を最小の 80mm、一定部の床版厚を 450mm とした形状で、ハンチ部の局部応力に着目した比較用モデル。

なお、何れのモデルも張出し部の床版形状は藁科川橋と同一としている。

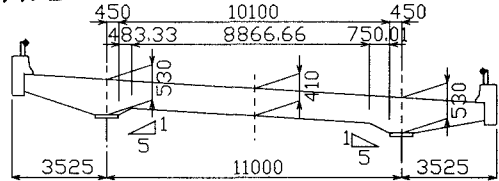
現行モデル



モデルA



モデルB



モデルC

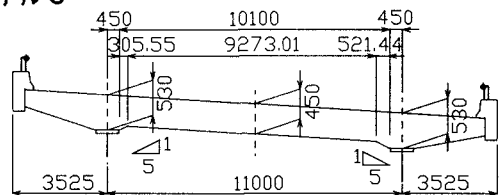


図-4 比較対象とした床版形状

3. 3 FEM解析の概要

(1) FEM解析モデル

FEM解析には藁科川橋で床版の設計曲げモーメントの検討^{2), 3)}に使用したのと同じ立体モデルを使用し、解析ソフトにはMSC.Nastran を用いた。

モデルの概要を図-5に示す。モデルの幅は壁高欄を除く床版全幅、モデルの長さは横桁間隔5パネル分（約 30m）とし、両端の主桁下フランジを単純支持し

た。床版には Solid 要素を用いて床版形状を忠実に再現し、主桁や横桁などの鋼桁には Shell 要素を用いている。床版と主桁とのずれ止め（スタッド）はモデル化せず、床版と鋼桁（主桁）の結合部を節点共有で処理している。なお、本検討においては、断面形状の違いを明確にするために、プレストレス力は考慮しないこととした。

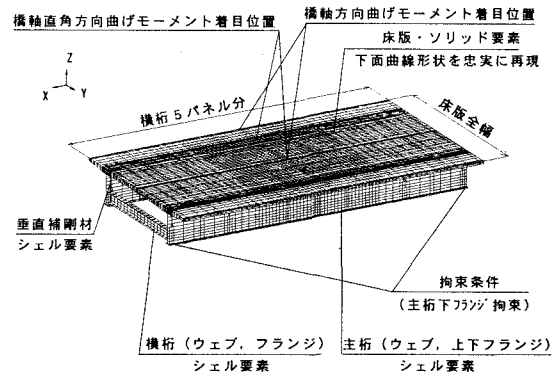
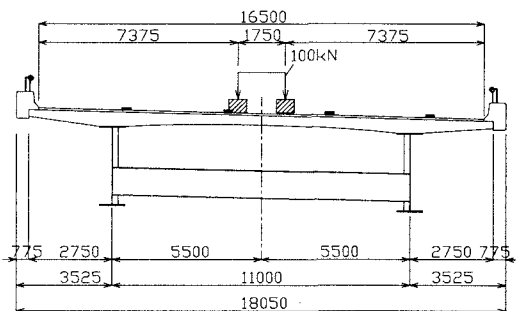


図-5 FEM解析モデル（現行モデル）

(2) 荷重

考慮した荷重は道示に示されるB活荷重のT荷重で、これをモデル中央に載荷した。載荷ケースは図-6に示す2ケースとした。

・ T荷重1組（中央）



・ T荷重4組（満載）

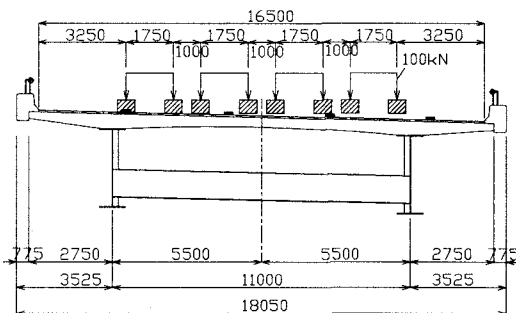


図-6 T荷重の載荷要領

3. 4 FEM解析結果

(1) 橋軸直角方向応力度の発生状況

T荷重4組のケースにおけるモデル中央位置の床版の主応力矢線図ならびに橋軸直角方向応力分布を図-7～図-10に、せん断応力分布を図-11～図-14に示す。

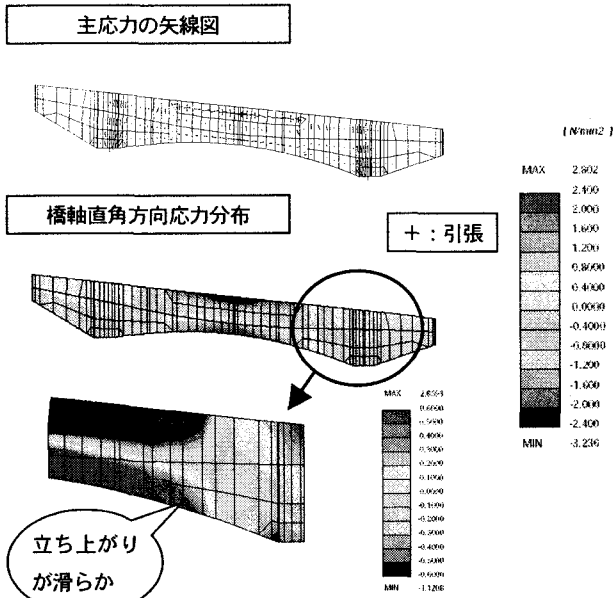


図-7 現行モデル (下面アーチ, 床版厚 360mm)

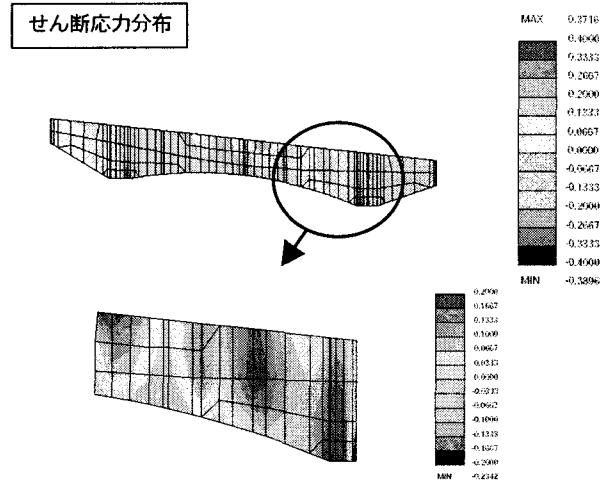


図-11 現行モデル (下面アーチ, 床版厚 360mm)

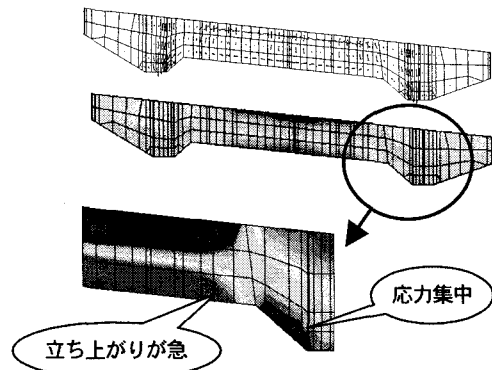


図-8 モデルA (ハンチ 170mm, 床版厚 360mm)

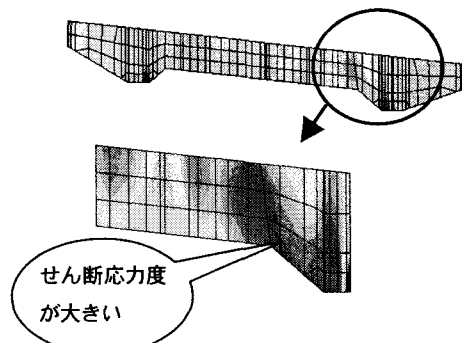


図-12 モデルA (ハンチ 170mm, 床版厚 360mm)

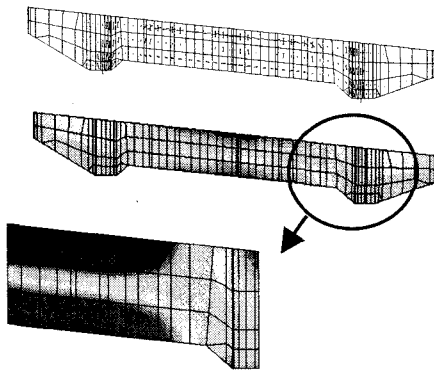


図-9 モデルB (ハンチ 120mm, 床版厚 410mm)

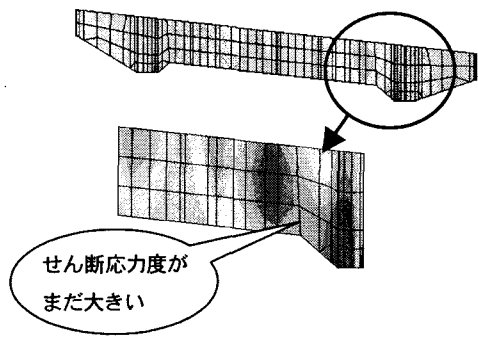


図-13 モデルB (ハンチ 120mm, 床版厚 410mm)

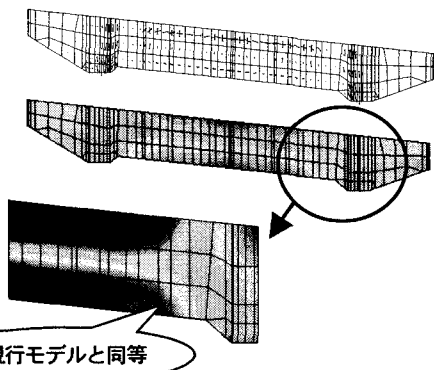


図-10 モデルC (ハンチ 80mm, 床版厚 450mm)

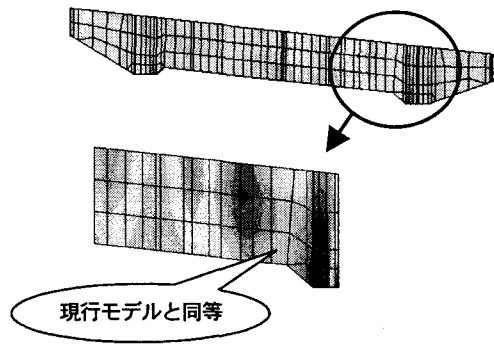


図-14 モデルC (ハンチ 80mm, 床版厚 450mm)

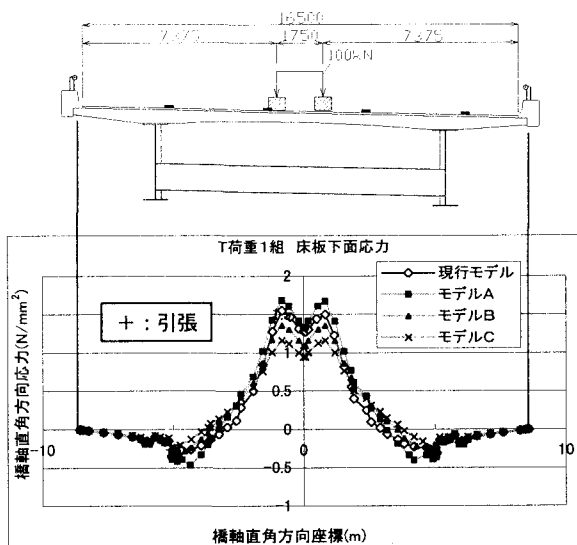


図-15 橋軸直角方向応力 (T荷重1組, 床版下面)

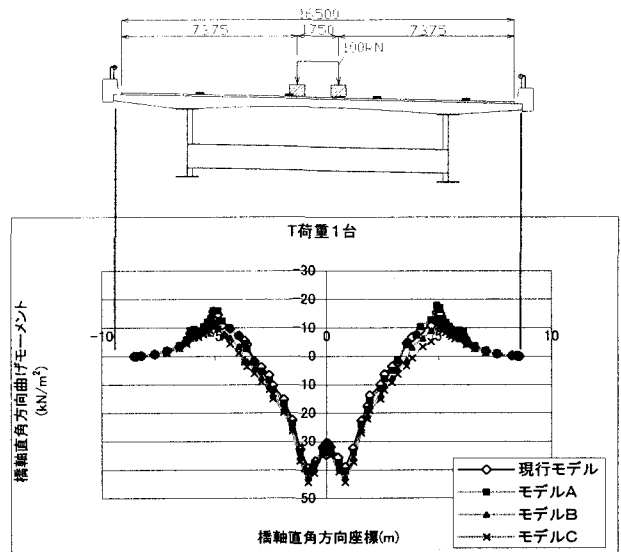


図-17 曲げモーメント比較 (T荷重1組) (kN·m)

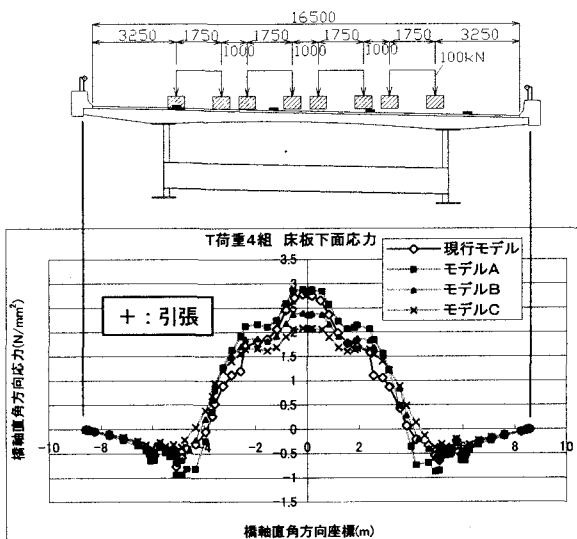


図-16 橋軸直角方向応力 (T荷重4組, 床版下面)

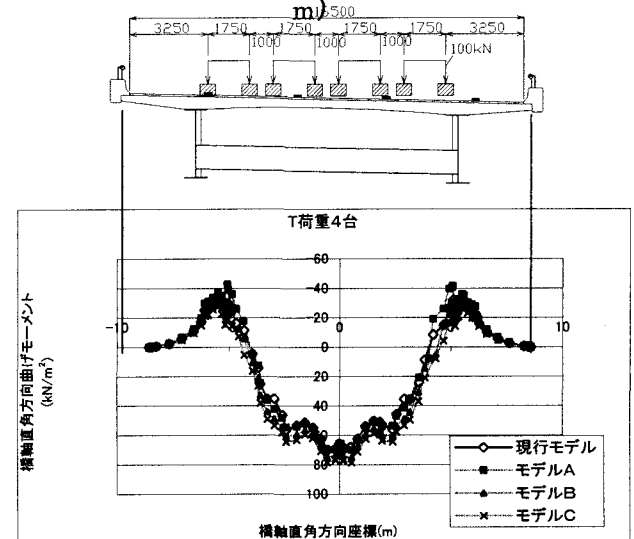


図-18 曲げモーメント比較 (T荷重4組) (kN·m)

また、床版下面の橋軸直角方向応力の発生状況を図-15、図-16に示す。

(2) 床版の橋軸直角方向曲げモーメント

FEM解析より得られた床版上面と床版下面の橋軸直角方向応力度を床版厚で割り戻す形で計算した、T荷重によって床版に作用する橋軸直角方向の曲げモーメントを図-17、図-18、に示す。

また床版支間中央部における正の曲げモーメントの具体値を比較して表-2に示す。

表-2 曲げモーメントの比較 (kN·m)

	T荷重4組		T荷重1組	
	曲げモーメント	各モデル/現行モデル	曲げモーメント	各モデル/現行モデル
現行モデル	70.4	1	39.2	1
モデルA	70.1	1.00	40.4	1.03
モデルB	75.1	1.07	42.7	1.09
モデルC	78.4	1.11	44.3	1.13

3.5 解析結果のまとめと考察

(1) 橋軸直角方向応力度の発生状況

床版支間中央部の橋軸直角方向応力度は、現行モデルに比べ、モデルAで若干増加し、モデルBおよびモデルCは小さくなった。

主桁ハンチ部では、モデルAにおいて局所的な応力集中が見られた。また床版下面の応力分布に着目すると現行モデルにおける滑らかな立ち上がりと比べ、モデルAおよびモデルBは急な立ち上りを示した。

(2) せん断応力度の発生状況

モデルA、モデルBでは主桁ハンチ部におけるせん断応力度が大きく、モデルCは現行モデルとほぼ等価であった。

(3) 床版の橋軸直角方向曲げモーメント

T荷重によって床版支間中央部の床版に作用する橋

軸直角方向の曲げモーメントについては、モデルAが現行モデルとほぼ同値となったが、モデルB、モデルCは正曲げの範囲が若干広くなっており、約10%支間中央の値が大きくなった。

(4) PCケーブル配置

曲げモーメントの計算結果より、死荷重+活荷重の断面力に対して各々の断面形状におけるPCケーブル配置を試算した結果を図-19に示す。

床版支間中央位置におけるPCケーブルの偏心量は、モデルAは現行モデルと同じであったが、モデルB、モデルCは現行モデルより偏心量が大きくなった。

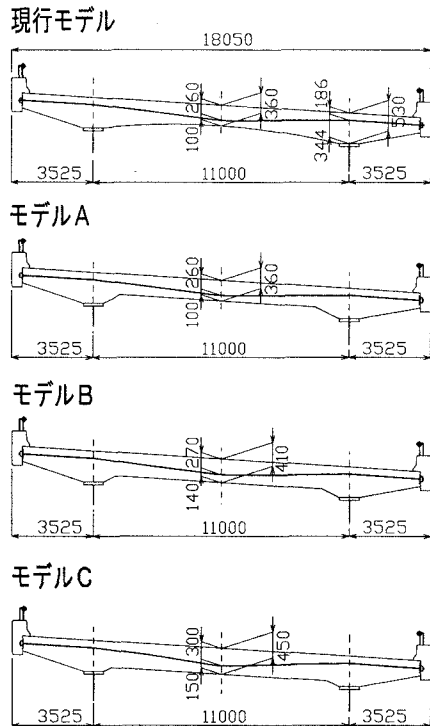


図-19 PCケーブル配置の試算結果

(5) まとめと考察

- ・モデルAは、床版の断面積はもっとも小さく、PCケーブルの偏心量も現行モデルと同等だが、主桁ハンチ部において局部的な応力集中が見られ、せん断応力も大きい。
- ・モデルBは、床版の断面積は現行モデルと同等だが、PCケーブルの偏心量が現行モデルより若干大きくなり、主桁ハンチ部のせん断応力も大きい。
- ・モデルCは、主桁ハンチ部のせん断応力等が現行モデルと同等になるが、床版の断面積が大きく、PCケーブルの偏心量も大きくなる。

以上より、藁科川橋のような床版支間長11mという長支間場所打ちPC床版の場合においては、これまで一般的に用いられてきた「一定の床版厚+ハンチ」という床版形状に比べ床版下面をアーチ形状とする優位性(2.1で述べた①~③の理由)が解析的に検証されたと考えられる。

4. 現場施工

床版下面をアーチ形状とすることは現場施工性に劣るのではないかと懸念があった。しかしながら、移動式型枠支保工を使用した藁科川橋、固定式型枠支保工を用いた中之沢橋、駒瀬川橋ともに、特に問題なく順調に施工が進んでいる。従来はハンチの高さで調整してきたキャンバーに関する解析誤差、鋼桁の製作および架設の出来形誤差への対応についても、これらの精度を何れも厳しく管理することで対処できた。

5. おわりに

藁科川橋では長支間床版ということもあって床版の形状を根本から見直した。その結果、床版下面をアーチとする床版形状を採用することに至ったが、本文で述べたように、この形状に優位性があることがわかったため、今後はこの形状の適用範囲拡大に取り組んでいきたいと考えている。

このとき、PCケーブルをより合理的に配置する(より直線配置に近づける)ためには床版厚の決定方法を見直す必要性もあり得ること、また、道示の適用範囲を超える長支間床版を含む床版の設計曲げモーメント式を確立することが今後の検討課題と考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説, 2002.3
- 2) 猪熊康夫・本間淳史・丸山勝・河西龍彦:長支間場所打ちPCの設計と施工計画(第二東名高速道路藁科川橋):土木学会第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.1~6, 2000.10
- 3) 本間淳史・長谷俊彦・榎原和成・中村和己・上原正・河西龍彦:長支間場所打ちPC床版の設計と施工-第二東名高速道路藁科川橋-, 橋梁と基礎, pp.2~10, 2002.10
- 4) 河西龍彦・本間淳史・上原正・松井繁之:鋼2主桁橋長支間場所打ちPC床版の合理的施工法に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第10巻, pp.173~180, 2002.11
- 5) (財)高速道路技術センター:平成13年度第二東名高速道路長支間場所打ちPC床版の設計施工に関する技術検討報告書, 2002.3
- 6) 寺田典生・本間淳史・河西龍彦・松井繁之:長支間場所打ちPC床版の設計・施工マニュアル(上), 橋梁と基礎, pp.21~28, 2002.11
- 7) 寺田典生・本間淳史・河西龍彦・松井繁之:長支間場所打ちPC床版の設計・施工マニュアル(下), 橋梁と基礎, pp.29~38, 2002.12
- 8) 道路建設に関する回覧ARS, Verkehrsblatt-Dokument Nr.B5255-Vers.1994.11