

# 鋼橋におけるコンクリート床版の応力特性に関する研究

建設構造研究室 内藤 和彦  
指導教官 岩崎 英治

## 1. はじめに

道路橋における床版は、構造的には薄板構造であり、通行車両の輪荷重を直接受けるため、輪荷重の載荷状態、支持桁による床版の拘束状態により発生曲げモーメントは大きく影響する。このため、道路橋示方書では、種々の支持条件に対し、床版支間をパラメータとする設計曲げモーメント式が規定されている(表-1)。しかし、連続版における設計曲げモーメントは、単純版の結果をもとにして近似的に設計値を定めたもの<sup>1)</sup>であるため、実際には過大に評価している可能性があり、合理化・経済性の観点から設計曲げモーメント式の低減化を期待できる可能性がある。

また、この設計曲げモーメント式には床版支間の制約があるため、床版幅員を大きくする場合には主桁本数が多くなるが、最近では、建設コストの削減、省力化、維持管理費用の低減などの観点から、構造を合理化し、かつ主桁本数を削減した少数主桁橋が建設されている。この形式では、床版を支持する主桁間隔が4m以上になることが多いが、場合によってはこれを大きく上回る床版幅員となることも今後予想される。しかし、この場合、プレストレスを導入したとしても床版厚が大きくなり、橋梁全体として経済性を発揮できなくなる可能性がある。そのような中で、海外では、ラダー橋と呼ばれる2主桁の少数主桁橋が多く採用されており、図-1に構造例を示す。

本構造は、3~4mの間隔で横桁を上段に配置することで、主桁と横桁で床版を支持する形式である。利点としては、横桁を密に配置するため、床版の発生曲げモーメントを低減し、床版厚を薄くすることが可能となる点がある。本構造は、日本における実施例としてあまり見あたらないが、合理化対策として、床版に対する検討は既にいくつ

か報告されている<sup>3)4)</sup>。

鋼橋およびラダー橋のコンクリート床版に対して、既往の研究での解析<sup>3)4)5)6)7)</sup>より、設計曲げモーメント式と比較が行われ、設計曲げモーメント式の検討や床版に生じる応力の特性の確認が行われた。しかしながら、既往の解析で用いられたモデルは、桁の詳細を考慮しない検討となっている。

そこで、本研究では、鋼橋およびラダー橋において、詳細なFEM解析を行うことで、床版に生じる応力の特性を把握するとともに、設計曲げモーメント式の算出に関する留意点の考察する。

表-1 鋼橋の設計曲げモーメント式

床版の区分	曲げモーメントの種類	適用範囲	床版の支間および曲げモーメントの方向 (kN・m/m)			
			車道進行方向に直角の場合		車道進行方向に平行の場合	
			主鉄筋方向の曲げモーメント	配鉄筋方向の曲げモーメント	主鉄筋方向の曲げモーメント	配鉄筋方向の曲げモーメント
単純版	支間曲げモーメント	$0 < L \leq 4$	$+(0.12+0.07)P$	$+(0.10L+0.04)P$	$+(0.22L+0.08)$	$+(0.06L+0.06)P$
連続版	支間曲げモーメント	$0 < L \leq 4$	$+($ 単純版の80%)	$+($ 単純版の80%)	$+($ 単純版の80%)	$+($ 単純版と同じ)
	中間支間		—	—	$+($ 単純版の90%)	$+($ 単純版と同じ)
	支間曲げモーメント		$-($ 単純版の80%)	—	$-($ 単純版の80%)	—

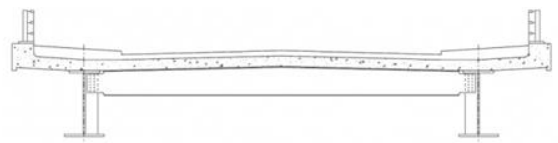


図-1 ラダー橋<sup>2)</sup>

## 2. 二次元解析による桁の詳細を考慮した床版モデルの検討

### 2.1 床版とフランジの接続状態と床版ハンチ

床版を支持する桁部には、図-2のようにハンチが設けられており、床版厚が変化している。また、床版と桁は、合成桁では密に配置されたスタッドにより結合され、非合成桁ではスラブ止めの金具が疎な間隔で結合されている。これらのスタッドやスラブ止め付近では床版と桁の上フランジは一体化しているが、スタッドやスラブ止め間隔の中間部では、床版と上フランジには、若干のズレが生じる可能性がある。したがって、床版と桁の

フランジの接続状態は、図-3 に示すような合成状態と非合成状態の中間的な状態にあると考えられおり、本研究ではハンチのモデル化方法について検討するとともに、床版と桁の合成状態と非合成状態の違いを調べる。

解析方法としては、図-4 のような2本の主桁で支持され床版の支間中央と両端に輪荷重 100kN が作用しているモデルに対して、図-5 (a) から (d) のような解析モデルによる結果を比較することにより、支点部の床版応力状態の変化を調べ、床版とハンチのモデル化および床版と上フランジの接続状態について検討する。

解析モデルについては以下の解析モデルで検討を行った。

- ・ Model-1・・・床版をモデル化
- ・ Model-2~4・・・床版と上フランジをモデル化

なお、Model-1 は梁要素でモデル化し、床版と上フランジをモデル化する場合では、床版を梁要素でモデル化する場合 (Model-2) とソリッド要素でモデル化する場合 (Model-3,4) で検討する。また、床版を梁要素でモデル化する場合では床版と上フランジを剛な梁要素で接続する方法でモデル化し、ハンチ部の板厚を考慮した検討も行い、床版をソリッド要素でモデル化する場合では、ハンチの傾斜がある場合も検討する。

床版と上フランジの接続状態については、合成状態は床版とフランジの接続面の鉛直・水平変位を拘束することで再現し、非合成状態は鉛直変位を拘束し、水平変位を拘束しないことで再現する。

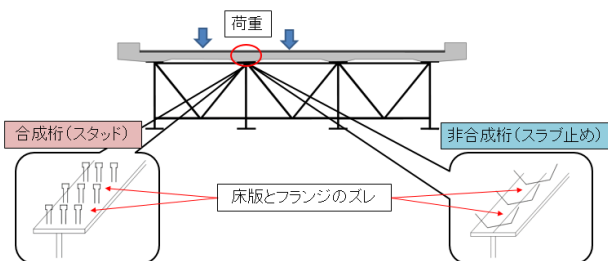


図-2 床版と桁の接続方法

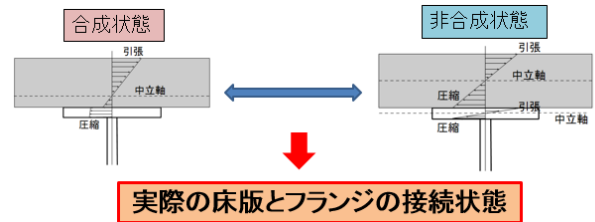


図-3 実際の床版とフランジの接続状態

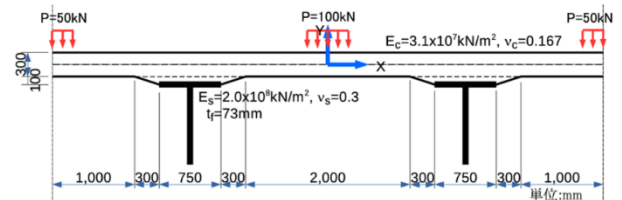


図-4 解析モデルの諸元

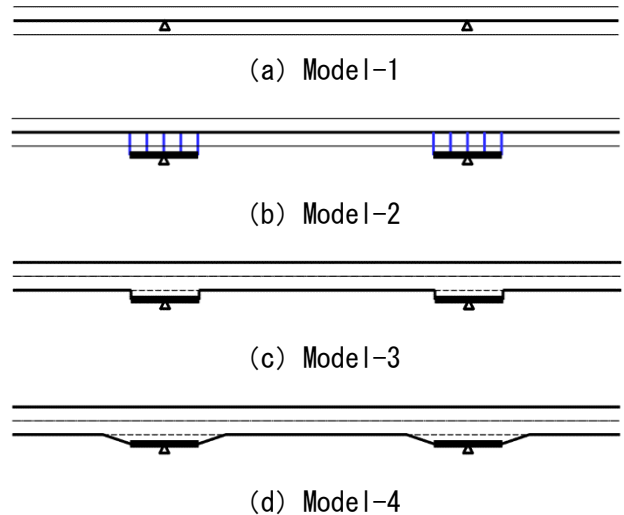
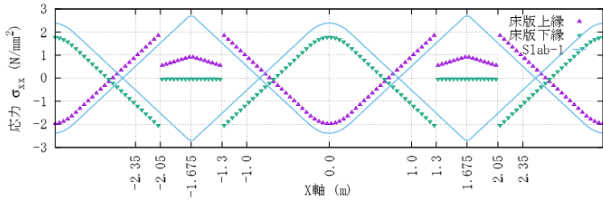


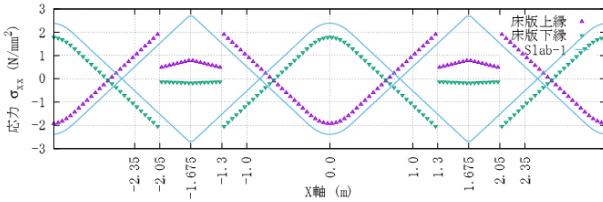
図-5 解析モデル

## 2.2 解析結果

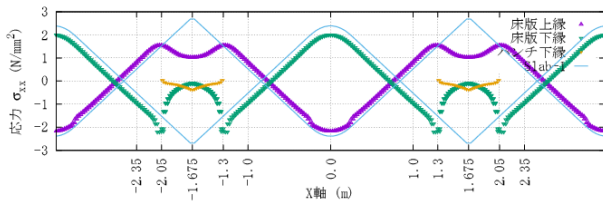
図 6, 7 に合成状態および非合成状態における各モデルの床版上下縁の応力分布を示す。なお、図には床版のみをモデル化した Model-1 の結果も併記している。図より、FEM による梁要素を用いた検討結果では、支点直上で最大となる応力分布になるが、ソリッド要素を用いた検討結果、上フランジ直上の床版の応力は低下し、ハンチ始端から上フランジ端部に最大応力が生じることが明らかになった。また、簡易なシェル要素でも床版のモデル化で可能となることが分かった。



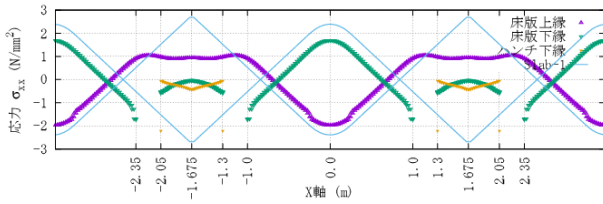
(a) Model-2



(b) Model-2 (ハンチ部の板厚変化を考慮)

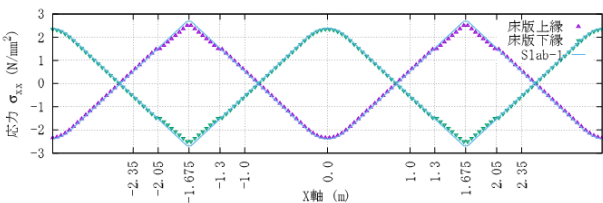


(c) Model-3

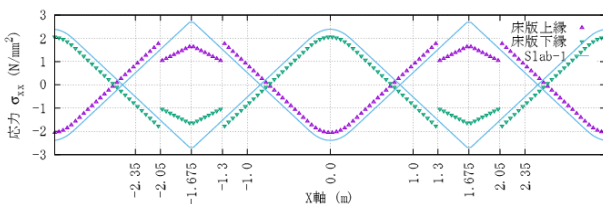


(d) Model-4

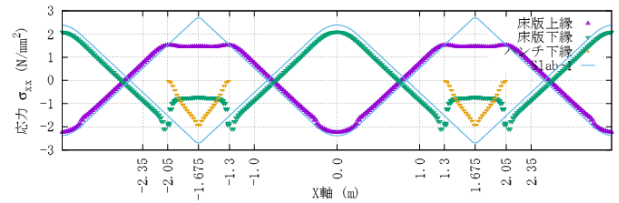
図-6 床版上下縁の応力 (合成状態)



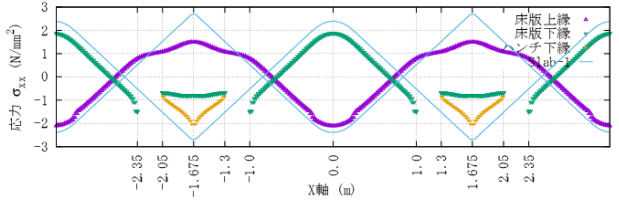
(a) Model-2



(b) Model-2 (ハンチ部の板厚変化を考慮)



(c) Model-3



(d) Model-4

図-7 床版上下縁の応力 (非合成状態)

### 3. 三次元解析による桁の詳細を考慮した床版モデルの検討

#### 3.1 解析対象橋梁

鋼橋においては、道路橋示方書の設計曲げモーメント式は、合理化・経済性の観点から設計曲げモーメント式の低減化を期待して式との比較を行う。ラダー橋においては、既往研究で提案された設計曲げモーメント式は支持部材である横桁がたわむようにして検討されたものであり、道路橋示方書の検討方法とは異なる方法で求められているため、設計曲げモーメント式との比較を行い、妥当性を検討する。

鋼橋の検討では、図-8のような多主桁により支持された床版にT荷重が作用した時の応力状態を検討する。なお、主桁間隔は2.5m, 2.65m, 2.9mとし、床版厚は、道路橋示方書で規定されている連続版の最小床版厚(30L+110(L:主桁間隔[m]))より決定している。

ラダー橋の検討では、図-9のような主桁と横桁で支持された床版の横桁間の中央にT荷重が作用した時の応力状態を検討する。なお、主桁間隔は7.5m、横桁間隔は2.5mから7mとし、床版厚は、既往研究から得られた二方向支持床版の最小版厚より決定している<sup>8)</sup>。

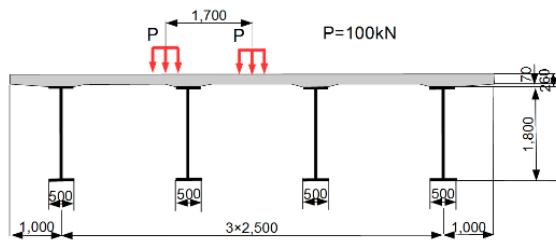


図-8 鋼多主桁橋 (4 主桁)

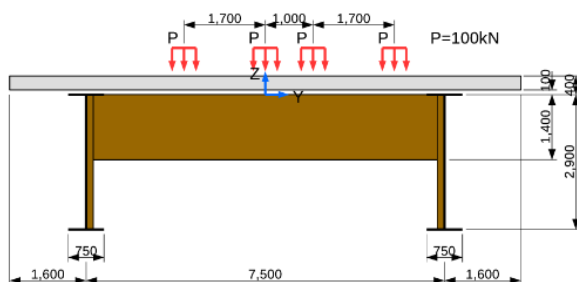


図-9 ラダー橋

### 3.2 解析方法

鋼橋とラダー橋の3次元解析では、図-8, 9の橋梁に対して以下の解析モデルでFEM解析を行い、設計曲げモーメント式との比較を行う。

- Model-1・・・床版のみをモデル化
- Model-2・・・床版と上フランジをモデル化
- Model-3・・・橋梁全体をモデル化

解析モデルは、シェル要素を用いて作成を行い、Model-3では横桁や補剛材もモデル化する。

載荷荷重については、道路橋示方書に準拠して、橋軸直角方向に後輪荷重100kNを車両間隔にしたがって無制限に整数台載荷するものとする。荷重載荷位置については、輪荷重が床版に作用した際の影響線より、床版の各着目点の曲げモーメントが最大となるように決定している。

### 4. 結果および考察

鋼橋の結果について、図-10, 11に鋼橋における支間の主桁間隔ごとの最大曲げモーメントを示す。図より、主鉄筋方向(橋軸直角方向)曲げモーメントでは、設計値から30%以上小さな値となることが分かり、合成状態と非合成では、支間部では、10%前後の違いが生じることが分かった。

また、支点曲げモーメントでも設計値の安全側なる結果となった。

ラダー橋の結果について、図-12に横桁間隔が2.5mの時の各モデルの支間曲げモーメントの分布図を示す。なお、図のX軸は主鉄筋方向(橋軸方向)を示している。図より、荷重載荷面で正の曲げモーメントが生じ、横桁部分では負の曲げモーメントが生じる結果となった。また、Model-3では荷重載荷位置の正の曲げモーメントがModel-1, 2に比べて大きくなり、逆に、横桁位置では負の曲げモーメントが小さくなっている。これは、Model-3では横桁がたわむようになっているため、このたわみが影響したと考えられる。

図-12の結果より、ラダー橋では横桁のたわみが床版の曲げモーメントに影響することが分かった。そこで、横桁剛性の違いによる床版曲げモーメントの影響を検討するために、横桁の寸法を変えることで剛性を変えて床版曲げモーメントを算出する。なお横桁間隔は3mとする。

図-13にはラダー橋における横桁間隔が3mの時の横桁剛性比ごとの最大支間曲げモーメントを示す。図より、合成状態では、設計値に比べて安全側となる結果となり、非合成状態では危険側となる結果となった。実際の床版とフランジの接続状態は、合成状態と非合成状態の中間的な状態であるため、設計値の安全側となる部分もあるが、安全側を見込んで、非合成状態を設計値とした方が良いと考える。

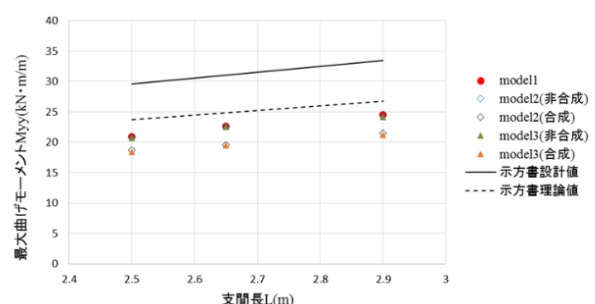


図-10 鋼橋床版の支間最大曲げモーメント(主鉄筋)

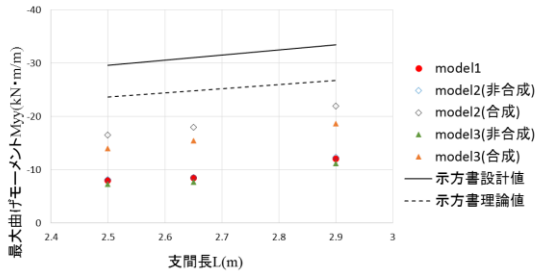
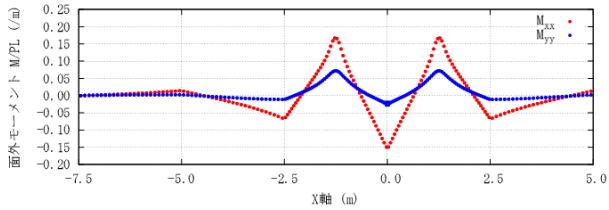
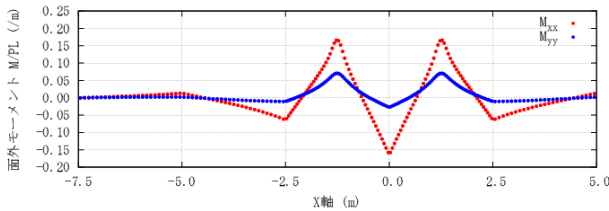


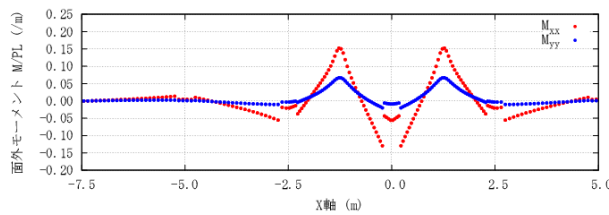
図-11 鋼橋床版の支点最大曲げモーメント



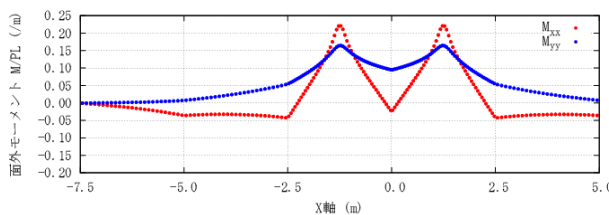
(a) Model-1



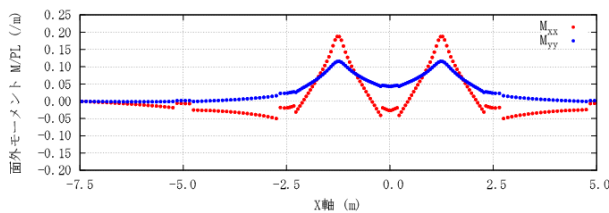
(b) Model-2 (非合成)



(c) Model-2 (合成)

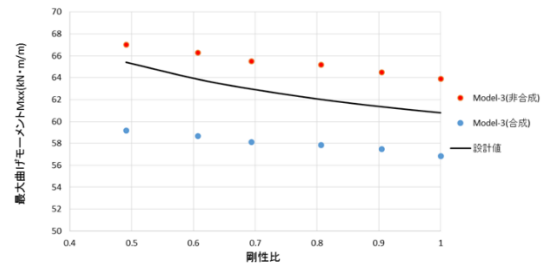


(d) Model-3 (非合成)

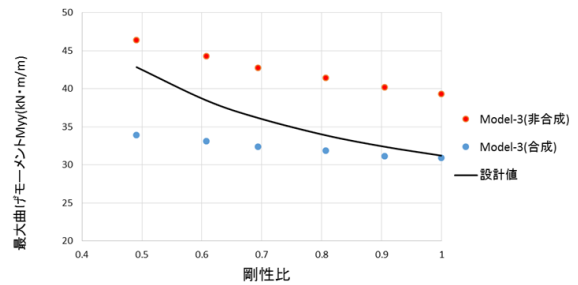


(e) Model-3 (合成)

図-12 ラダー橋床版の曲げモーメント分布図



(a) 主鉄筋方向 (橋軸方向)



(b) 配力鉄筋方向 (橋軸方向)

図-13 ラダー橋の最大曲げモーメント

## 5. まとめ

本研究では、鋼橋およびラダー橋において、FEM解析を行うことで、以下のことが明らかになった。

- ・中間支点部では上フランジ直上の床版の曲げ応力は低下し、ハンチ始端から上フランジ端部に最大曲げ応力が生じる。
- ・合成状態と非合成状態により床版の曲げ応力には、違いが生じることを明らかにした。
- ・示方書の鋼橋支間中央部の設計曲げモーメントは、設計値より30%以上小さな値になる。
- ・主桁と横桁で支持された床版のFEM解析による結果と、既往の文献で提案されている設計曲げモーメント式を比較した結果、非合成状態では危険側となる。

本研究での検討は、限られた構造諸元での検討であるので、今後、より一般的な検討、および横桁を密に配置した形式では、主桁間隔等曲げモーメントに影響するパラメータを変えて検討する必要がある。

## 【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編)・

同解説, 丸善出版株式会社, 2012.03

- 2) El Sarraf, R., Iles, D., Momtahan, A., Easey, D. & Hicks, S. (2013). Steel-concrete composite bridge design guide (pp.14-19). New Zealand Transport Agency.
- 3) 松井, 石崎: 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 , pp1031-1038, 1996.3
- 4) 松井, 江頭: 横桁支持された長支間床版の設計曲げモーメント式について, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp83-88, 1998
- 5) 宮崎, 中野, 糟谷, 島田, 加藤, 園田: 道路橋長支間床版の設計曲げモーメント式の検討, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp71-76, 1998
- 6) 前田・松井: 道路橋 RC 床版の設計曲げモーメント式に関する一考察, 土木学会論文報告集 第 252 号, pp11-22, 1976.8
- 7) 玉越, 川畑: 鋼道路橋床版の設計と留意点 一道路橋示方書改訂について一, 第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp1-8, 2003
- 8) 石崎, 松井: 2主構 1桁形式道路橋の RC 床版の最小厚規定について, 土木学会第 50 回年次学術講演会, pp334-345, 1995