

形鋼多主 1 桁橋の立体挙動の解明に関する研究

建設構造研究室 高田晃子
指導教官 長井正嗣
岩崎英治

1. 研究の背景及び目的

近年、橋梁建設コストの削減に向けた取り組みが各機関で活発に行われている。特に、日本道路公団(JH)を中心として、従来の橋構造をシンプル化し、かつ鋼桁とコンクリート床版を合成させた合成構造の復活によるコストダウン対策が行われている。前者の取り組みは、横方向補剛部材をシンプル化しても、構造上問題のないことがソリッドやシェル要素を用いた立体 FEM 解析で明らかにされる¹⁾とともに、1部材が大型化し、鋼重量が多少増加しても、小型の部材数を削減し、工数増に伴う人件費が削減できる点をねらったものである。合成構造の復活への取り組みは、耐久性の高いプレストレス(1方向)コンクリート床版を用い、輪荷重を鋼桁に伝達する床版作用のみでなく主構造(桁作用)としての機能をあわせ期待し、一層の経済性の達成を意図したものである。具体的には、主桁本数を最少 2 本とし、中間横方向補剛材(横桁、対傾構、横構)を小型の横桁のみとした、あるいは省略した合成 2 主桁橋の建設例が増加しつつある。

さて、合成 2 主桁橋はスパンが 30m~80m の範囲で経済性が発揮できるとされ、PC 橋とともに多用されている。一方、スパンが 30m 以下になると、PC 橋梁が経済的であるとされ多用されている。例えば、スパン 30m 以下の市場に目を向けると、90%が PC 橋梁であり、10%が鋼系橋梁という状況にある。したがって、このスパン領域においても、より経済的な鋼系橋梁を提供することは公共事業費の縮減を達成する上でも極めて重要である。

以上のような状況より、本研究では、スパン 30m 以下の領域での競争力のある鋼系橋梁として、製鉄所で製造される形鋼を主桁とし、主桁間に中間横桁をまったく設けないシンプル化された合成桁橋を提案する。このような取り組みは、海外では実例があるものの、我が国では実績がなく、その挙動について十分調査検討しておく必要がある。特に、荷重分配が床版によっ

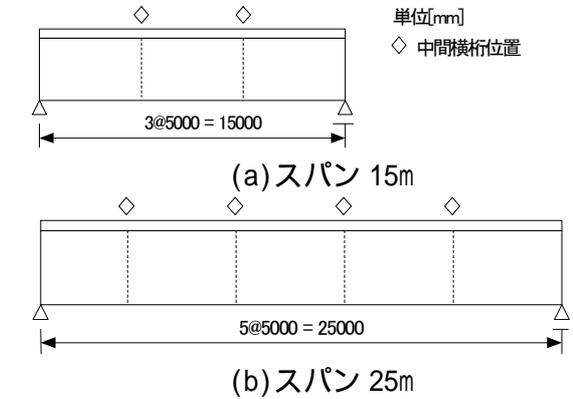


図 1 側面

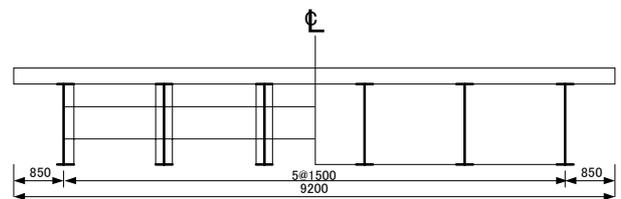


図 2 断面

てなされることから、床版に対して、設計では考えていない余分な負荷を与えていないかを明らかにする必要がある。あわせて、床版の荷重分配を再現する格子モデルの構築が必要となる。本研究では試設計したスパン 15m, 25m の橋モデルを対象に 3 次元 FEM 立体解析により鉛直荷重作用下での種々の挙動を明らかにし、本形式が実用に十分供することを明らかにする。

2. 解析方法及びモデル

(1) 解析モデル

本研究では型鋼を用いた合成 6 主 1 桁橋を対象とし、モデル化している。図 1 にスパン 15m, 25m の単純合成桁モデルの側面を示すが、図中の ◇印は中間横桁は、道路橋示方書(以下道示)に従い 5,000mm 間隔で配置し、端部に主桁高と同じ高さを持つ端横桁を配置している。図 2 に橋の断面を示すが、スパン 15m, 25m モデルともに主桁の配置は共通である。

表 1 材料定数

名称	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	28000	0.167
鋼材	200000	0.3

(2)計算パラメータ

計算パラメータを以下に示す.床版厚は道示に従い,最小厚 200mm と床版厚の効果もみるため,220mm も検討対象とする.

- (a)スパン 15m,25m
- (b)幅員 9.2m
- (c)床版厚 200mm,220mm

構造パラメータとして上記パラメータに対し3通りのモデルを用いる.

- (A)床版+鋼桁モデル -モデル A
- (B)中間横桁+鋼桁モデル -モデル B
- (C)床版+中間横桁+鋼桁モデル -モデル C

(3)材料定数

指定した材料定数を表 1 に示す.

(4)境界条件

本研究では計算モデルの両端支点を単純桁として支持する.また,床版作用による曲げモーメントを明らかにする際には,主桁下端で鉛直方向を連続支持とする.

(5)荷重

荷重は以下の活荷重を載荷する.

()単位集中荷重

すべての構造モデルを対象として主桁上に載荷を行う.また,載荷位置は横桁位置とする.

()L 荷重

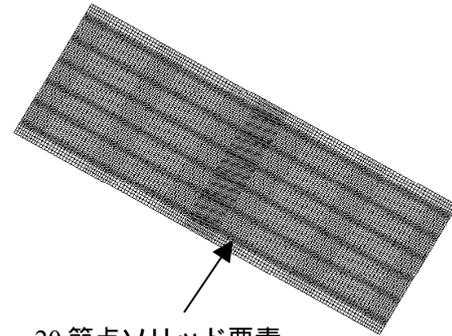
構造モデル(A)(C)を対象として対称載荷及び,偏載載荷を行う.

()T 荷重

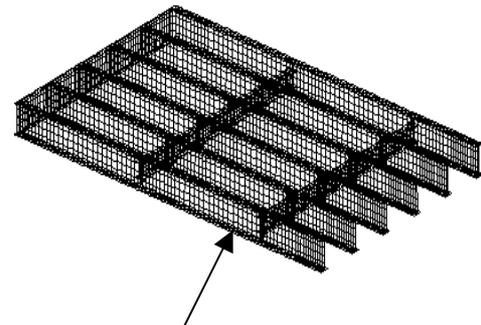
構造モデル(A)(C)を対象として偏載載荷を行う.本研究で扱うモデルにおいては,対称載荷と偏載載荷の車輪位置の差異が小さいため車 3 台の場合は偏載載荷のみを行う.また,主桁間隔が狭いことから床版中央に車輪荷重が作用する 2 台載荷も扱う.

3.要素分割

解析には汎用 FEM 解析プログラム DIANA を使用する.単純合成桁の床版部分を 20 節点ソ



20 節点ソリッド要素
(a) 床版



8 節点シェル要素
(b) 鋼桁(スパン 1/2)

図 3 要素分割状況

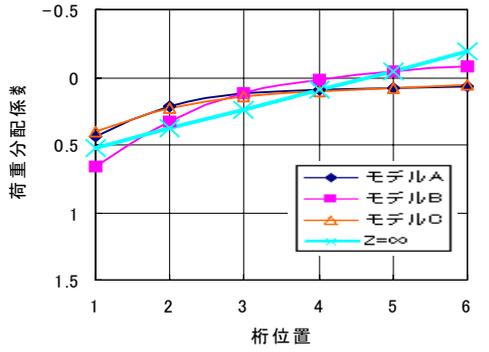
リッド要素,鋼桁は 8 節点シェル要素を用いてモデル化している.図 3 に要素分割状況を示す.

4.解析結果

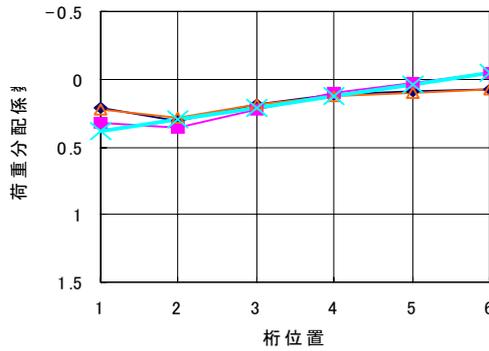
スパン 15m で床版厚 200mm モデルの結果のみについて説明するが,スパン 25m モデルでも同様の結果が得られている.また,床版厚 220mm のケースにおいても大きな差異は生じていない.

(1)荷重分配係数

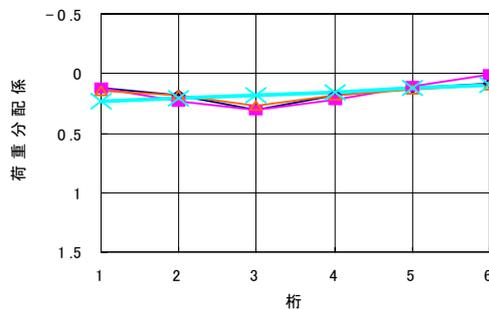
図 4 にスパン中央の下フランジ応力から評価した荷重分配係数を示す.図中,×印は曲げ剛度 $Z=$ の場合の値である.図より,合成桁モデル A と C の荷重分配係数の比較では,各桁ともほぼ同様の傾向を示す.また,最大値の差異が 10%前後で比較的近い値にあり,中間横桁が荷重分配に及ぼす影響はあまり大きくないことがわかる.また,床版のない鋼桁モデル B の荷重分配係数も合成桁モデルと大きな差異は見られず, $Z=$ の場合の値に近い.これは,



(a) G1 桁



(b) G2 桁



(c) G3 桁

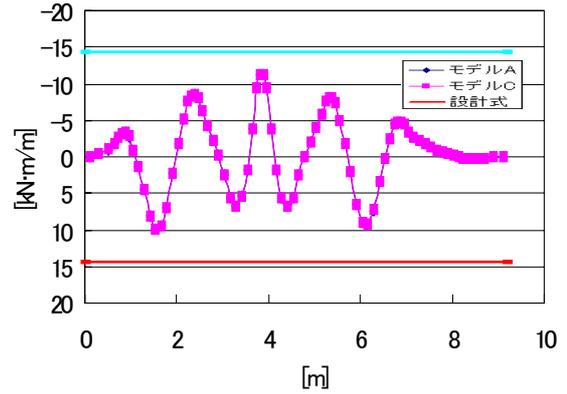
図4 荷重分配係数

このモデルでの Z 値が約 23 と比較的大きいためである。

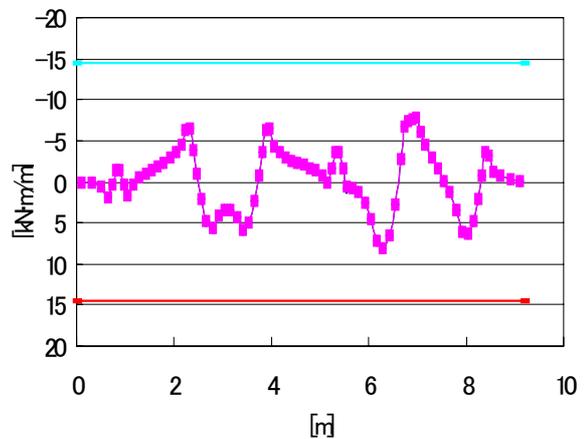
これらの係数を用いて、L 荷重作用時の荷重分担を計算すると、モデル C が 1.0 として、モデル A が 0.98 モデル B が 1.12 となり、床版に分配効果を期待しない場合、断面力を約 12% 程度大きめに評価することになり、不経済な設計を行っていることになる。

(2) T 荷重載荷

図 5 に T 荷重載荷時の主鉄筋方向の床版曲



(a) T 荷重 2 組載荷

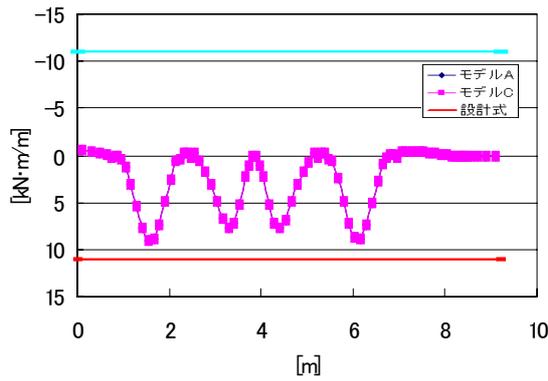


(b) T 荷重 3 組載荷

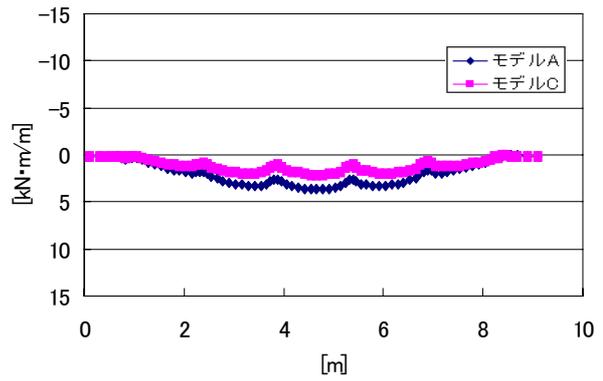
図5 主筋方向曲げモーメント

げモーメントを示す。図中の横線が設計値である。これより、合成桁モデル A(横桁無し)、C(横桁あり)での発生曲げモーメントはほぼ等しいことがわかる。すなわち、中間横桁の影響を受けていないことがわかる。また、最大曲げモーメントは約 11.5kNm/m で、設計曲げモーメントの約 80%となり、設計式は 10~15%安全側に設定されていることを考えると、設計式は多少安全側ではあるが、本形式に適用してよいと言える。車両 3 台の場合、最大曲げモーメントは 2 台載荷の場合より小さく、主桁間隔が狭い場合、車両台数よりも載荷位置の影響を強く受けることがわかる。

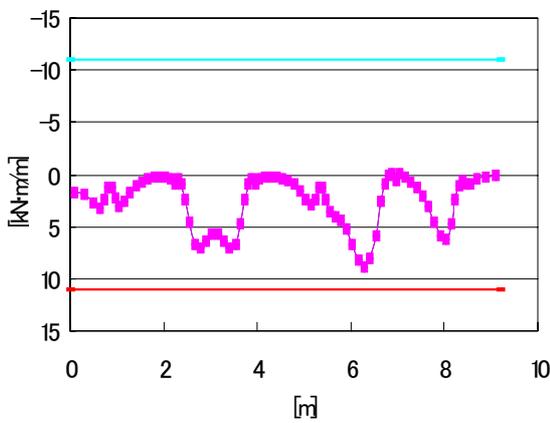
図 6 に配力鉄筋方向の床版曲げモーメントを示す。また、表 4.6 に曲げモーメントの値を示す。配力筋方向曲げモーメントの場合、主筋方向曲げモーメントと同じく、合成桁モデル A、C の差異は小さく、中間横桁の有無の影



(a) T 荷重 2 組載荷

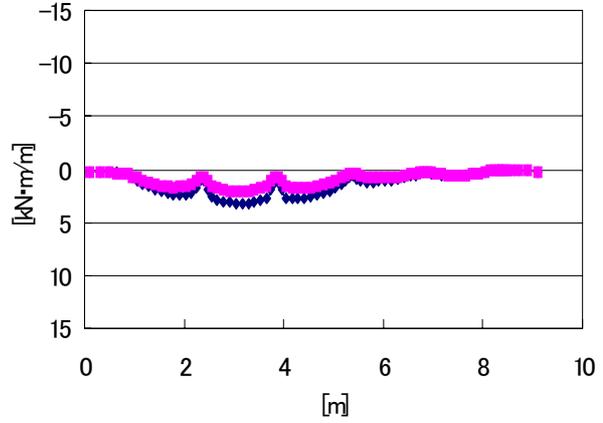


(a) L 荷重対称載荷



(b) T 荷重 3 組載荷

図 6 配力鉄筋方向曲げモーメント



(b) L 荷重偏載載荷

図 7 L 荷重による曲げモーメント

響が小さい。また、最大モーメントは約 9kNm/m で、設計値が約 15%程度安全側と言える。設計式が 10~15%程度安全側に設定されていることを考えると、配力筋方向の曲げモーメント評価用の設計式は妥当と言える。

(3) L 荷重載荷

図 7 に L 荷重載荷時の床版曲げモーメントを示す。着目位置は、スパン中央である。これより、モデル A(中間横桁無し)はモデル C(中間横桁有り)に対して、1.5~1.8 倍の値となっている。しかしながら、絶対値は最大 4.6kN·m/m で設計曲げモーメント(表 4.7 参照)14.4kN·m/m に比べて 30%程度と小さい。よって、T 荷重による曲げモーメントを加えてもほぼ道示の値に等しいことから、L 荷重載荷時の作用分担モーメントを直接重ね合わせても、設計可能であると言える。

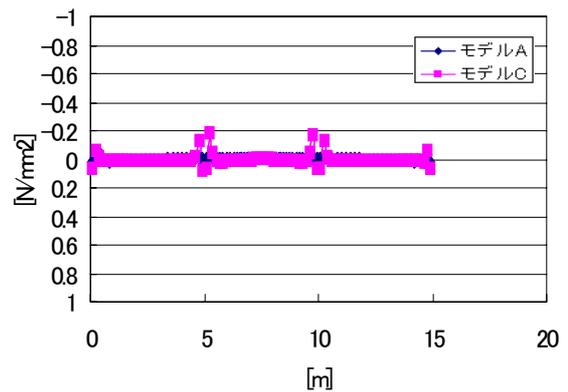


図 8 下フランジ面内曲げ応力(G1 桁)

図 8 に L 荷重を対称載荷した場合の主桁下フランジ(G1)の面内応力を示す。図より合成桁モデル A(横桁無し)の場合、下フランジには横曲げモーメントがほとんど発生していないことがわかる。一方、モデル C では、中間横桁

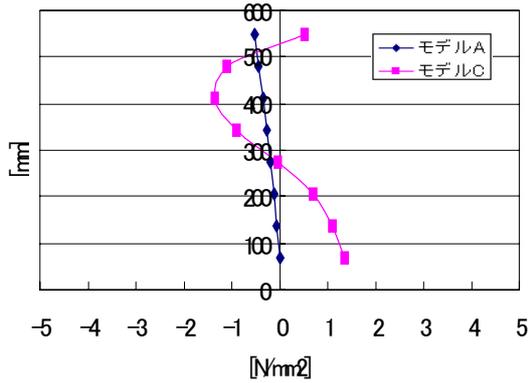


図9 腹板のいた曲げ応力(G1 桁)

位置でモーメントが局部的に発生しているものの、その絶対値は極めて小さい。これより、中間横桁を持たないモデルでは、鉛直荷重に対して設計では考慮しない 2 次応力がほとんど発生しないことがわかる。

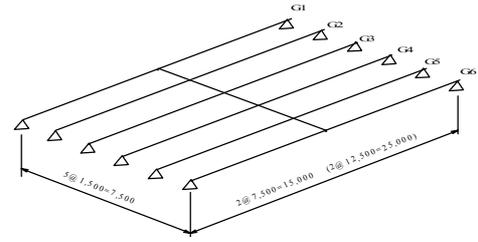
図 9 に、L 荷重対称載荷の場合の腹板（横桁位置）の板曲げ応力を示す。これらより、合成桁モデル A(中間横桁無し)の応力分布がスムーズでかつ、最大 1N/mm^2 と小さい値であることがわかる。なお、モデル C の場合でも最大 4N/mm^2 と小さい。

5. 格子桁モデルの提案

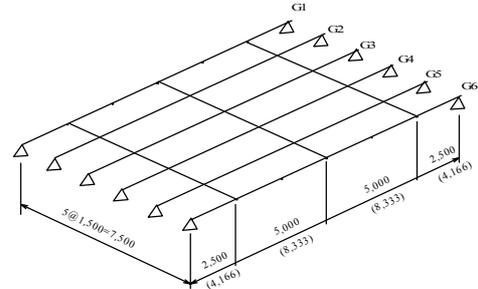
格子解析を用いる場合、連続体である床版を分割（離散化）する以外に方法はない。そこで、離散化し、格子モデルで解析した際に FEM 解と近い値を与えるモデルの提案を行う。

まず、床版を一本の梁とみなしたモデルを考える。この場合の横梁の曲げ剛性の評価にあたり、スパン長と版厚を用いて断面 2 次モーメント (I_{c0}) を算出する。そして、横梁はスパンの中央に配置する。このように、連続体である床版を徐々に短冊上に分割したモデルを作成し、格子解析を行う。図 10 に格子モデルを示す。

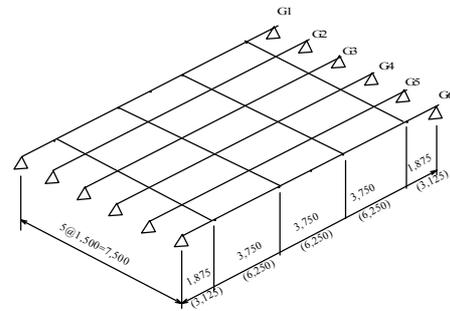
図 11 にスパン 15m モデルの結果を示す。図中の印が FEM 解である。Case-A は $Z =$ の状態に分布を示しているが、FEM 解と多少異なった分布となる。床版を細かく分割していったケース B ~ E はほぼ同様の分布状態を示すが、FEM 解とは若干の相違が生じている。FEM 解が case-A に比べて、更に荷重分配性状が優



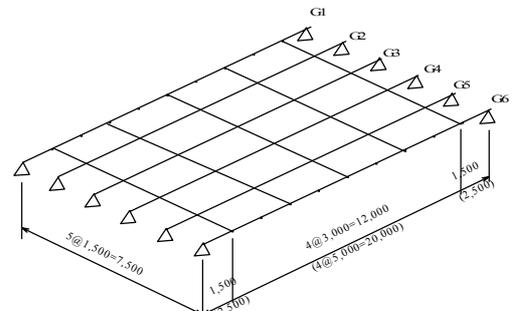
(a) CASE-A



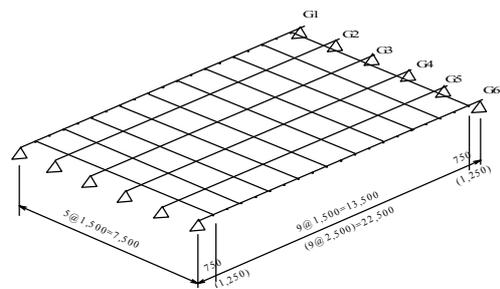
(b) CASE-B



(c) CASE-C



(d) CASE-D



(e) CASE-E

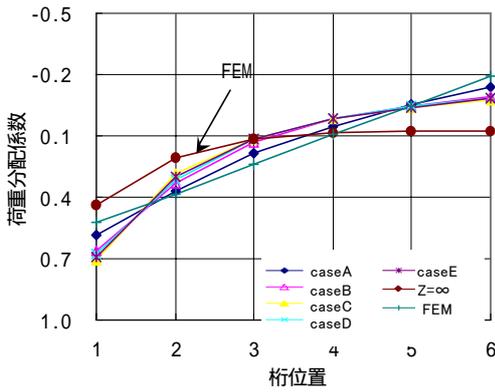
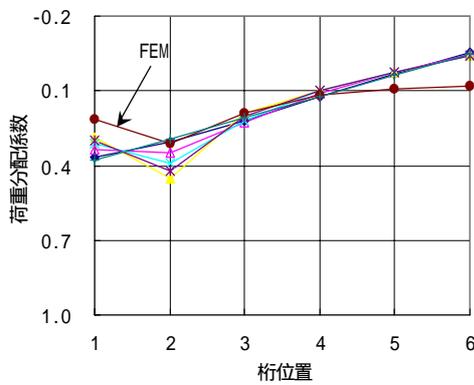
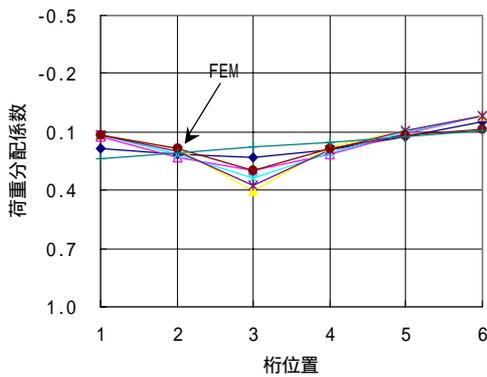


図 10 格子モデル
(a) G1 桁



(b) G2 桁



(c) G3 桁

図 11 格子解析との比較

れた分布を示しているが、この状態を再現するには、今後、主桁のねじれ剛性を考慮する必要があると考えられる。

6. 結言

本研究で得られた主要な成果を要約すると次のようになる。

- (1) 荷重分配性能に与える中間横桁の効果は極めて小さい。
- (2) T 荷重による床版の主鉄筋及び配力筋方向曲げモーメントに与える中間横桁の影響は極めて小さく、また、設計にあたり、現行道路橋示方書で得られる値は多小安全側で利用できる
- (3) L 荷重載荷時の荷重分配に關与する主鉄筋方向の床版曲げモーメントは小さい
- (4) 中間横桁の無いモデルの 2 次応力(主桁の下フランジ面内応力や腹板曲げ応力)は極めて小さく、横桁がある場合に比べてスムーズな分布を示す。
- (5) 床版の荷重分配効果を表す格子モデルを検討したが、高い精度を得るためには、主桁のねじれ剛性を考慮する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 長井正嗣, 吉田康治, 藤野陽三: シンプルな構造システムを持つ形鋼多主 I 桁橋の立体力学挙動, 構造工学論文集, 土木学会, vol. 43A, pp114-1151, 1997
- 2) 新日本製鐵(株): PANEL-HBB[H 形橋梁のニューモデル], 2003
- 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編, 鋼橋編, 丸善, 2003
- 4) Frits C. de Witte and Pier Nauta 編: DIANA User's manual Element Library, TNO Building and Construction Research, 1998
- 5) Frits C. de Witte and Pier Nauta 編: DIANA User's manual Linear Static Analysis, TNO Building and Construction Research, 1998
- 6) Frits C. de Witte and Pier Nauta 編: DIANA User's manual Nonlinear Analysis, TNO Building and Construction Research, 1998