

(1) 広幅員連続合成2主桁橋の床版有効幅に関する検討

A study on effective width of continuous composite two plate girders bridge with long span slab

小幡 大輔*, 佐々木 保隆**
Daisuke OBATA and Yasutaka SASAKI

*工修 (株) 横河ブリッジ 技術本部研究所 技術開発課 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地)
**工修 (株) 横河ブリッジ 技術本部研究所 技術開発課長 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町 27 番地)

Composite two plate girders bridge with long span slab has the advantage of saving costs for bridge constructions. This type of bridge has already been constructed in Europe, and nowadays it has been planned to construct in Japan. Though, it also has some problems to be solved for practical use. The purpose of this study is to verify the methods for calculating the effective width of this type of bridge by Japanese Specifications for Highway Bridges (JSHB). The authors conducted FEM analysis with simple and two-span continuous composite bridge models, and calculate the effective widths of models from the results of FEM analysis. The effective widths calculated by JSHB are equivalent to those of FEM and the validity of the methods by JSHB is confirmed.

Key Words: effective width, two plate girders bridge, continuous composite bridge, FEM analysis

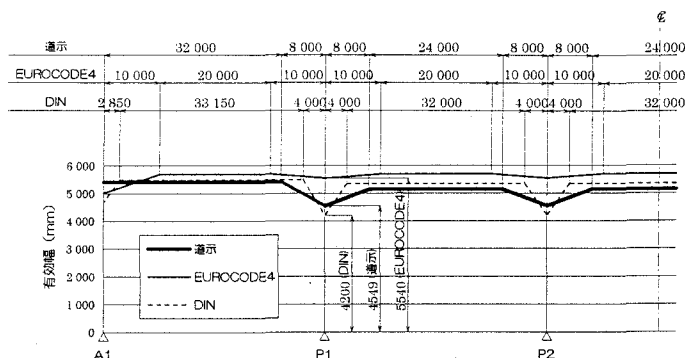
1. はじめに

近年、鋼橋の分野においては、PC 床版を用い上部構造を簡略化した広幅員 2 主桁橋の計画・建設が進められており、省力化・合理化構造を代表するものとして注目されている。しかし、この種の構造は、ヨーロッパ諸国ではすでに多くの施工実績を有するものの、その構造特性に関しては不明な点も残されており、多方面で詳細な技術的検討^{1,2)}がおこなわれている。

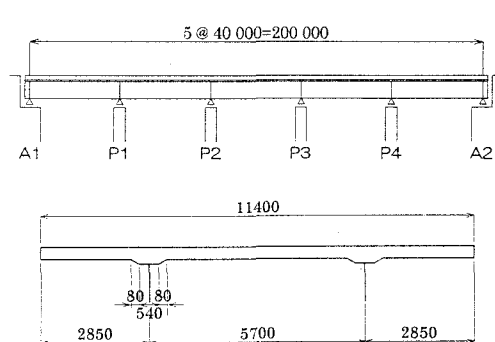
本文は、それらの研究の一つとして、広幅員 2 主桁橋の床版有効幅に着目した検討を行うものである。

従来の多主桁橋は、主桁間隔が比較的せまく、道路橋示方書³⁾（以下、道示と呼ぶ）の有効幅算定式によると、床版は概ね全幅有効となる。しかし、主桁間隔が 6m を越える広幅員 2 主桁橋は、床版支間長・床版張出し長ともに大きくなり、床版は全幅有効とはならず、とくに連続桁の中間支点部の床版有効幅は極めて小さい値となる。図-1 は、連続合成桁の床版有効幅を各国の基準（道示、EUROCODE4、DIN）別に比較したものである。図に示すように、中間支点部の床版有効幅には各基準によって様々な値が適用されている。

また、広幅員 2 主桁橋は従来の多主桁構造に比べ床版



(a) 各国基準による有効幅の算出結果



(b) 比較に用いた橋梁諸元

図-1 連続合成桁の床版有効幅の比較

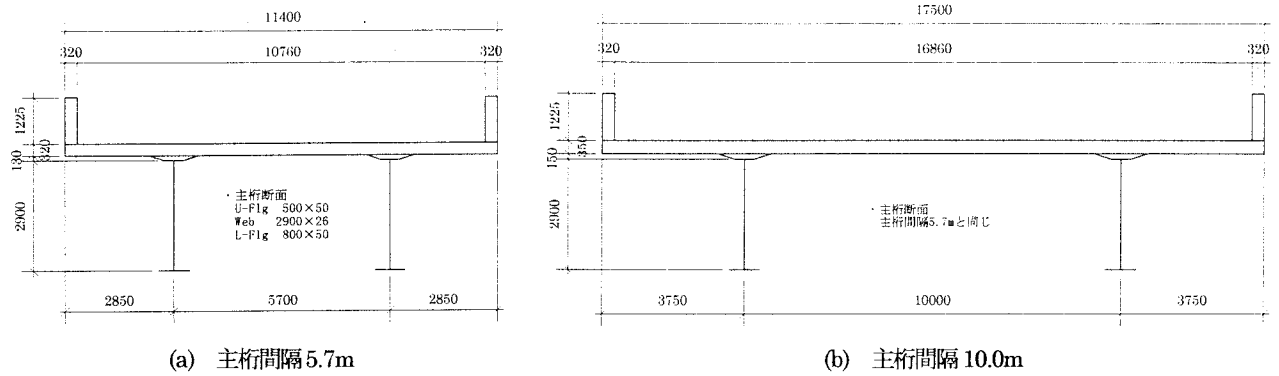
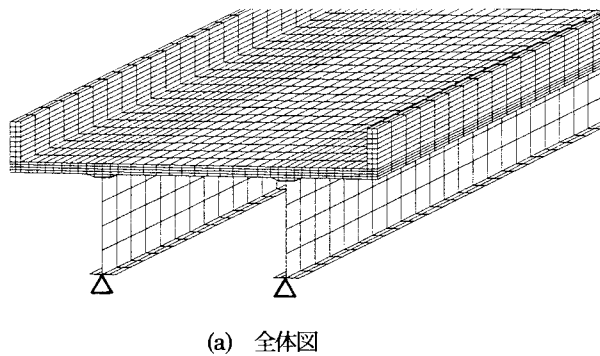


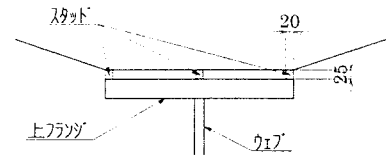
図-2 想定橋梁の断面図



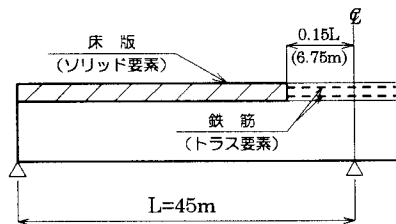
(a) 全体図

表-1 各部材の材料特性

	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	せん断弾性係数 (N/mm ²)
主桁およびスタッド	2.0×10^5	0.3	7.7×10^4
床版	3.1×10^4	0.166	1.3×10^4

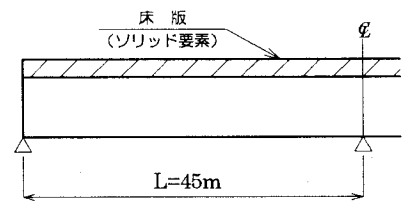


(b) 結合部詳細図



Type-A

- 鉄筋比(%)
主桁間隔 5.7m: 1.94
主桁間隔 10.0m: 1.77
- 鉄筋のヤング係数 E
 $E = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$



Type-B

(c) 連続桁モデル

図-3 FEM 解析モデル

が厚くなる。さらに、この種の橋梁に用いられる壁高欄は剛性が高く、床版の挙動に影響を及ぼす可能性がある。よって、これらの影響を考慮した床版有効幅は、道示によって算出される値とは異なることも考えられる。

そこで、本文では広幅員 2 主桁橋の床版有効幅を立体 FEM 解析から算出し、道示から算出される値と比較検討をおこなった。そして、先に示した問題点に対する道示の有効幅算定式の有効性を確認し、実務設計への情報提供をおこなうものである。

2. 想定橋梁

本検討で想定する橋梁は、支間長 45m の単純合成桁および支間長 45m+45m の二径間連続合成桁とする。想定橋梁の断面図を図-2に示す。想定橋梁は主桁間隔 5.7m および同 10.0m の広幅員 2 主桁構造とし、壁高欄の有無

による挙動の差を明らかにするため、各想定橋梁に壁高欄を取付けた構造と取付けない構造を想定する。また、簡略化のため、単純桁・連続桁ともに主桁断面は等断面とし、中間横桁や補剛材も省略する。

3. FEM 解析

3.1 概説

図-2に示す各想定橋梁の立体 FEM 解析をおこない、床版に作用する橋軸方向の垂直応力（以下、床版応力と呼ぶ）とその分布形状を求める。

荷重は集中荷重と等分布荷重を載荷する。集中荷重は単純桁の支間中央部の主桁部に載荷し、各主桁に対して 100 kN ずつの計 200kN を載荷する。等分布荷重は、主桁 1 本あたりの自重 (10.8kN/m) をそれぞれの主桁に載荷する (計 21.6kN/m)。

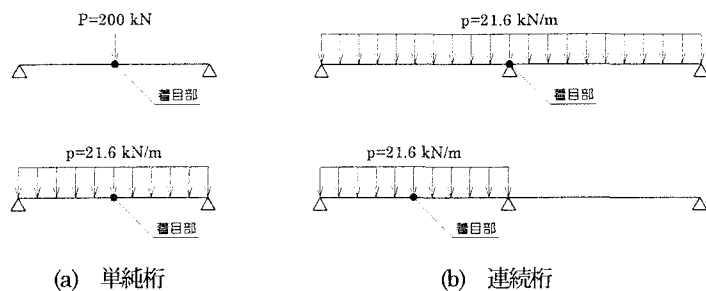


図-4 着目部および荷重状態

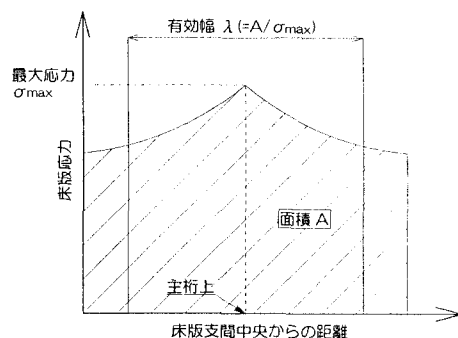
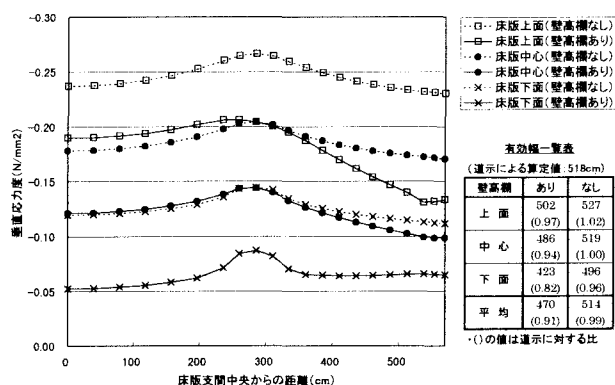
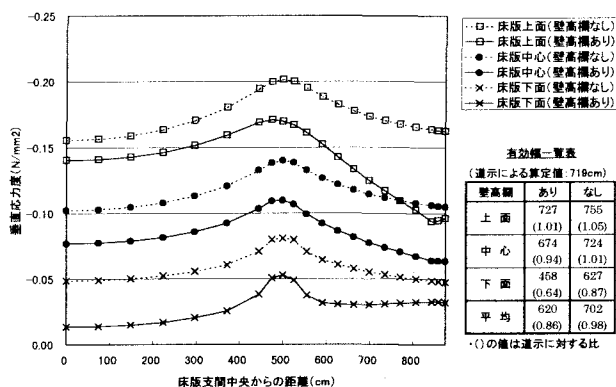


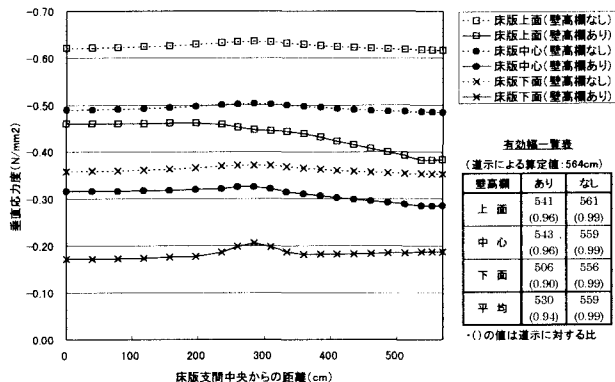
図-5 有効幅の算出方法



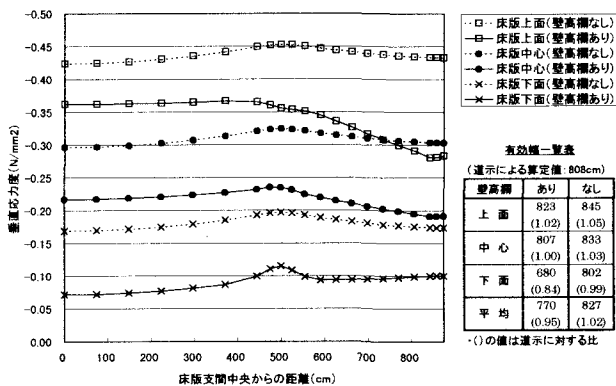
(a) 主桁間隔 5.7m (集中荷重)



(b) 主桁間隔 10.0m (集中荷重)



(c) 主桁間隔 5.7m (等分布荷重)



(d) 主桁間隔 10.0m (等分布荷重)

図-6 床版応力の分布

3.2 解析モデル

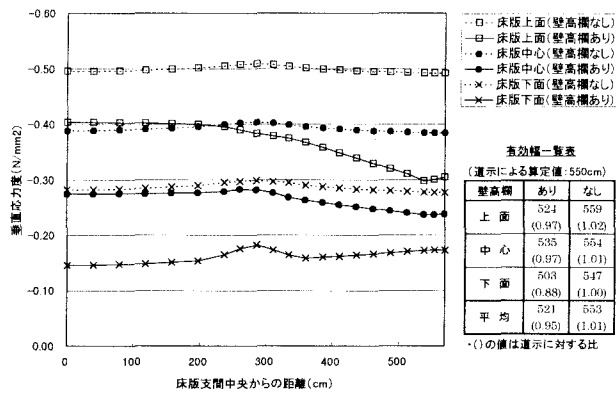
解析モデルを図-3(a)に示す。床版はソリッド要素に、主桁はシェル要素にそれぞれモデル化する。スタッドはシェル要素にモデル化し、図-3(b)に示すように床版と主桁を合成する。各部材の材料特性を表-1に示す。

また、図-3(c)に示すように、連続桁は中間支点付近のモデル化によって2タイプに分ける。Type-A は中間支点付近の床版がひび割れた状態を想定したモデルで、床版内に橋軸方向鉄筋に相当するトラス要素を配置し、その範囲の床版の剛性を極めて小さくした（一般部床版の10万分の1）。なお、鉄筋の断面積はD22を125mmピ

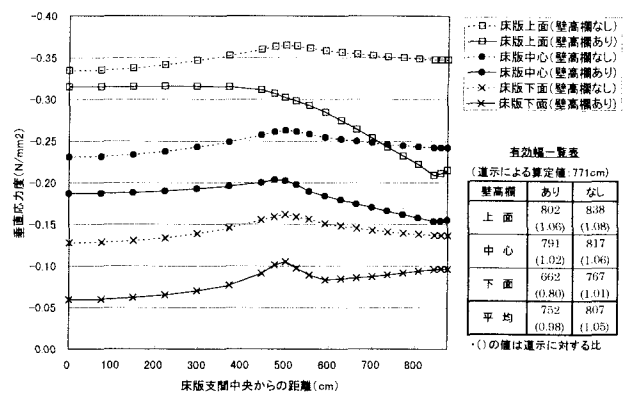
ッチで上下に配置したときの鉄筋比と等しくなるように決定した。Type-B では中間支点付近の床版も一般部と同一とした。

3.3 着目部および荷重状態

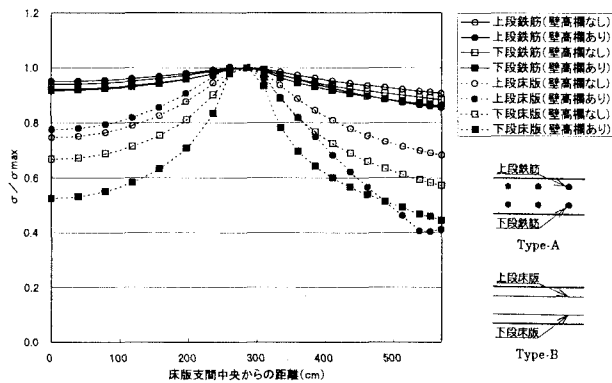
単純桁では支間中央部、連続桁では中間支点部と側径間中央部に着目し、床版応力の分布形状を求めた。とくに連続桁においては、中間支点部に着目する場合は等分布荷重を全長にわたり荷重し、側径間中央部に着目する場合は、着目する側の一径間のみに等分布荷重を荷重した。着目部および荷重状態を図-4に示す。



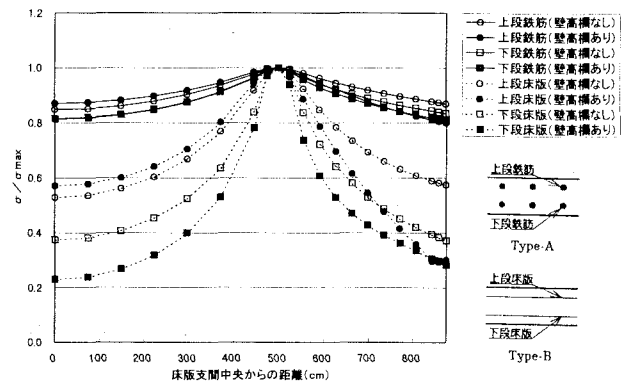
(a) 主桁間隔 5.7m (側径間中央部)



(b) 主桁間隔 10.0m (側径間中央部)



(c) 主桁間隔 5.7m (中間支点部)



(d) 主桁間隔 10.0m (中間支点部)

図-7 床版応力の分布

表-2 連続桁中間支点部の有効幅

主桁間隔	5.7m (道示による算定値: 418cm)				10.0m (道示による算定値: 527cm)			
解析モデル	Type-A		Type-B		Type-A		Type-B	
壁高欄	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし
上 段	539 (1.29)	545 (1.30)	434 (1.04)	471 (1.13)	793 (1.50)	799 (1.52)	581 (1.10)	618 (1.17)
下 段	531 (1.27)	537 (1.28)	370 (0.89)	431 (1.03)	771 (1.46)	777 (1.47)	408 (0.77)	499 (0.95)
平 均	535 (1.28)	541 (1.29)	402 (0.96)	451 (1.08)	782 (1.48)	788 (1.50)	495 (0.94)	559 (1.06)

・()の値は道示に対する比を表す。

4. 有効幅の算出方法

床版有効幅は FEM 解析より得られる床版応力の分布形状より算出する。具体的には、図-5に示すように、縦軸と横軸および応力分布の曲線で囲まれる面積 A を最大応力 $\sigma_{\max}$ で除することにより算出する。

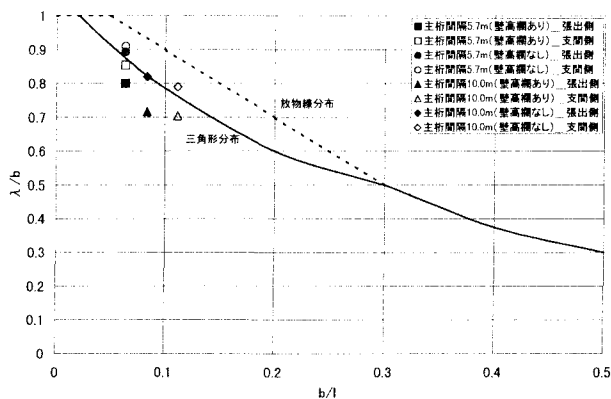
5. 解析結果および考察

5.1 単純桁

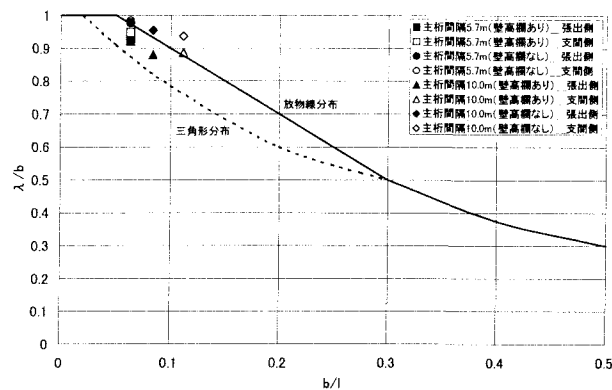
図-6(a)~(d)に、単純桁の支間中央部における床版応力の分布、ならびに道示より算出した有効幅と応力分布より算出した有効幅の一覧を示す。なお、道示の算定式^{4),5)}

は、有効幅を算出する場所の曲げモーメント分布形状によって2つに分けられている。そこで、集中荷重載荷時は三角形分布、等分布荷重載荷時は放物線分布に適用する算定式を用い床版有効幅を求めた。また、表中の()内の値は、道示により算出した有効幅の値に対する比を示している。

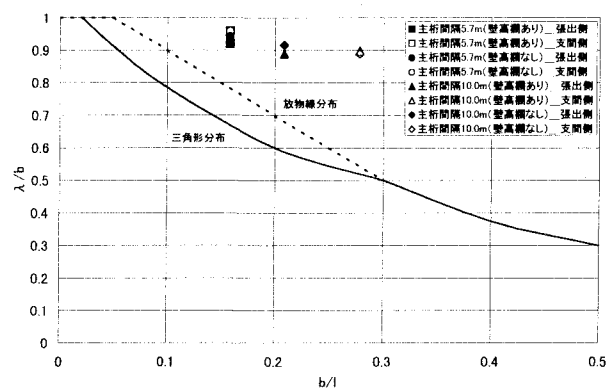
図-6に示すように、いずれのケースにおいても、壁高欄なしに比べ壁高欄ありの方が床版応力は小さいことがわかる。これは明らかに、壁高欄によって構造全体の剛性が大きくなったからと考えられる。また、壁高欄の有無によって、床版応力の分布形状が異なっていることが確認できる。壁高欄なしでは、主桁上から床版張出し側への分布形状と床版支間側への分布形状はほぼ対称で



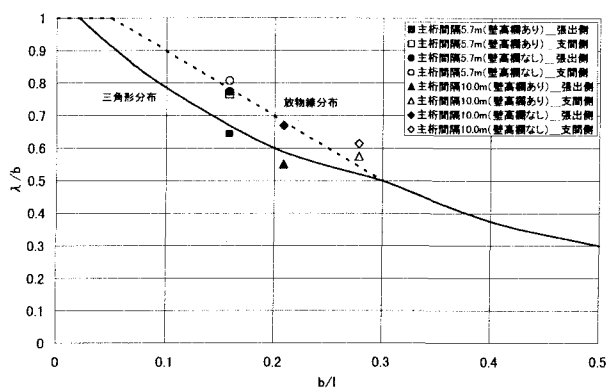
(a) 単純桁 (集中荷重)



(b) 単純桁 (等分布荷重)



(c) 連続桁 (Type-A)



(d) 連続桁 (Type-B)

図-8 片側有効幅比

あるのに対し、壁高欄ありでは、各方向への分布形状は対称ではなく、とくに床版の上面と下面において対称性が弱くなっている。これも壁高欄によって現われる床版の異方性の影響と考えられる。道示によって床版の片側有効幅を求める際には、張出し側・支間側ともに同一の算定式を用いるが、壁高欄を考慮した床版の実挙動は、張出し側と支間側とは異なる。したがって、実際の床版応力分布から算出した有効幅は、道示による算定値とは異なる可能性がある。さらに、床版下面においては、スタッドの影響により主桁上付近の床版応力勾配が大きくなり、有効幅は他の面に比べ小さくなる。このように、実際には床版応力の分布形状は床版厚方向にも変化する。

しかし、図-6内の有効幅一覧表に示すように、FEMから得られた床版有効幅は、壁高欄の有無または床版厚方向により若干変動はするものの、道示による算定値によく一致しているといえる。

5.2 連続桁

図-7(a),(b)に、Type-A の側径間中央部における床版応力の分布、ならびに道示より算出した有効幅と応力分布より算出した有効幅の一覧を示す。なお、表中の()内の値は、道示により算出した有効幅の値に対する比を示している。壁高欄および床版厚の影響を含めた床版応力性状は、単純桁の支間中央部とよく似た傾向を示している。また、応力分布より算出した床版有効幅も道示に

よる算定値によく一致している。同様の検討を Type-B に対しておこなった結果、床版応力の低下が確認されたが、床版応力性状および床版有効幅は Type-A と一致した。よって、連続桁の支間部に対する道示の算定式の有効性も確認することができる。

図-7(c),(d)に、Type-A の中間支点部における鉄筋応力ならびに Type-B の中間支点部における床版応力を、それぞれ主桁上の最大応力 σ_{max} で無次元化したものを示す。なお、床版応力の算出位置は、鉄筋の配置位置とした(図中では、上段鉄筋の位置を上段、下段鉄筋の位置を下段とそれぞれ表している)。

図-7(c),(d)に示すように、中間支点部における Type-A と Type-B の応力性状は全く異なる傾向を示すことがわかる。Type-A の鉄筋応力は、床版支間中央部および張出し部において最大応力の8~9割程度までしか減少しないのに対して、Type-B の床版応力は、主桁間隔 5.7m で4~8割、同 10.0m で2~6割までそれぞれ減少している。

表-2には、図-7(c),(d)の応力分布より算出した有効幅と道示による算定値に対する比を示している。表より、Type-B の床版応力分布から算出した有効幅は、道示による算定値に概ね一致していることがわかる。道示においては、連続桁の中間支点部の有効幅に、中間支点付近の曲げモーメント分布形状を三角形分布とし、曲げモーメントが0になる点の間の距離を等価支間長とした単純桁

の有効幅を適用している。したがって、道示による算定値は、中間支点部の床版にひび割れが生じない、つまり完全に引張応力に抵抗している状態での有効幅を評価していることになる。一方、Type-A の鉄筋の応力分布から算出した有効幅は、いずれも道示による算定値よりも大きな値となっており、主桁間隔 5.7m で道示の算定値の 3 割増、同 10.0m においては 5 割増程度となっている。実務設計においては、中間支点部では有効幅内の橋軸方向鉄筋を桁の断面に算入する仮定をとるが、中間支点部の床版の状態によって、解析より得られる有効幅の値に違いがみとめられる。

5.3 片側有効幅比

横軸をフランジ突出幅と等価支間長の比 (b/l)、縦軸を片側有効幅とフランジ突出幅の比 (λ/b) (以下、片側有効幅比と呼ぶ) として、FEM 解析結果および道示による算定値をプロットしたものを図-8 に示す。

図-8(a),(b)は、載荷荷重別の単純桁の片側有効幅比を示しており、いずれも道示による算定値を示す曲線 ((a) は三角形分布、(b) は放物線分布) 付近に分布していることがわかる。ただし、壁高欄ありの張出側の片側有効幅比が、いずれも道示の値に対して小さくなっている。これは壁高欄の影響により、床版張出し側の応力が大きく低減されたためと考えられる。

図-8(c),(d)は、連続桁の中間支点部における片側有効幅比を示しており、(c)は Type-A の鉄筋応力分布、(d)は Type-B の床版応力分布から算出した値を示している。

図-8(c)に示すように、ひび割れ状態を想定した鉄筋応力分布による片側有効幅比は、道示の算定値に対して非常に大きな値となる。また、壁高欄の有無による片側有効幅比の変化はほとんどないことがわかる。

図-8(d)からは、中間支点部の床版はひび割れないと仮定した Type-B の片側有効幅比が、ひび割れを仮定した Type-A によるものに比べ、道示の算定値に近似していることがわかる。しかし、三角形分布の算定値に対して誤差が生じているのは、有効幅を算出する際に仮定している曲げモーメント分布形状と等価支間長が、実際のものとは異なっているためと考えられる。

6. まとめ

以上、一連の立体 FEM 解析による有効幅の算出結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 単純桁の支間中央部の有効幅は、床版厚および壁高欄の影響により同じ断面内において若干変化するものの、道示による算定値にはよく一致することが判明した。よって、床版有効幅に対する床版厚・壁高欄の影響は小さく、道示による算定値は実務設計において十分な精度を有している。
- (2) 二径間連続桁橋の側径間中央部の有効幅は、道示による算定値とよく一致した。よって、連続桁橋の支間部に対する、道示の算定値の有効性を確認することができる。
- (3) 中間支点付近の床版はひび割れないと仮定したモデルから算出した中間支点部の有効幅は、道示による算定値によく一致したが、ひび割れを仮定したモデルから算出した有効幅は、道示による算定値よりも大きな値を示す結果となった。したがって、ひび割れ制御により設計される連続合成桁の中間支点部の有効幅は、両者の中間的な値を示すものと想定される。

参考文献

- 1) 高橋昭一・志村勉・橘吉宏・小西哲司：PC 床版 2 主桁橋「ホロナイ川橋」の設計および解析・試験検討，橋梁と基礎，1996 年 2 月
- 2) 田村陽司・川尻克利・大垣賀津雄・作川孝一：PC 床版連続合成 2 主桁橋「千鳥の沢川橋」の設計，橋梁と基礎，1998 年 9 月
- 3) 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編，社団法人 日本道路協会，平成 8 年 12 月
- 4) 福田武雄：フランジの有効幅について，土木技術，Vol.17, No.3, pp.5~14, 1962 年
- 5) 道路橋示方書における有効幅の改訂，道路，pp.69~76, 1972 年 11 月