

鋼少數主桁橋の簡易解析手法の開発

Simplified Analysis of Rationalized Plate Girder Bridges

岩崎 祐次

Yuji IWASAKI

川田工業株式会社技術部東京技術部
次長

街道 浩

Hiroshi KAIDO

川田工業株式会社技術部東京技術部
設計二課係長

本摩 敦

Atsushi HOMMA

川田工業株式会社技術部
CAD開発プロジェクト

This paper presents a simple analysis method for calculations of deformation and stresses of rationalized plate girder bridges. Reinforced concrete slabs and main girders are modeled by plate and offset beam elements, while cross beams are considered as plane frames consisting of shear stud parts, vertical stiffener parts and cross beam parts.

Calculated results show that deformation of slabs and main girders, and stresses of cross beam and vertical stiffeners coincide with those obtained by the measurements of loading tests on a half size model of a rationalized three girder steel bridge.

Furthermore, this analysis method is applied to the half size model of a rationalized two girder steel bridge.
Key words : rationalized plate girder bridges, simplified analysis, cross beam element, shear stud

1. はじめに

わが国の高速道路において、2主桁橋を含めた鋼少數主桁橋の建設が進められている。これらの橋梁は、設計・製作・架設・維持管理の合理化、省力化を目指しており、長支間のプレストレストコンクリート床版（以下、PC床版と略す）や大断面の主桁を有することが特徴である。また、横繋ぎ材として形鋼を集成した対傾構の代わりに比較的スレンダーなI型断面の横桁を用いるとともに、横方向荷重に抵抗する部材として用いられてきた横構を省略している。

最近、この種の橋梁を対象としてFEM解析を用いた数値解析による研究¹⁾⁻¹²⁾や、縮尺模型による実験的な研究¹³⁾⁻¹⁶⁾がさかんに行われておる、その立体挙動、局所変形挙動、主桁-横桁取り合い部の挙動などについての研究が進められている。

著者らは、東海大橋高架橋を対象として、図1および表1に示す3主桁橋の1/2模型に関する実験的な検討を実施し、その変形性状および各部の応力状態についての検討、確認を行い、その結果を文献17)に報告した。本報告は、その成果をもとに実験結果と整合性をもった解析方法の検討結果について述べるものである。

ここで提案する解析手法は、設計技術者が計画検討や設計照査などに簡便に利用できることを念頭に置いてい

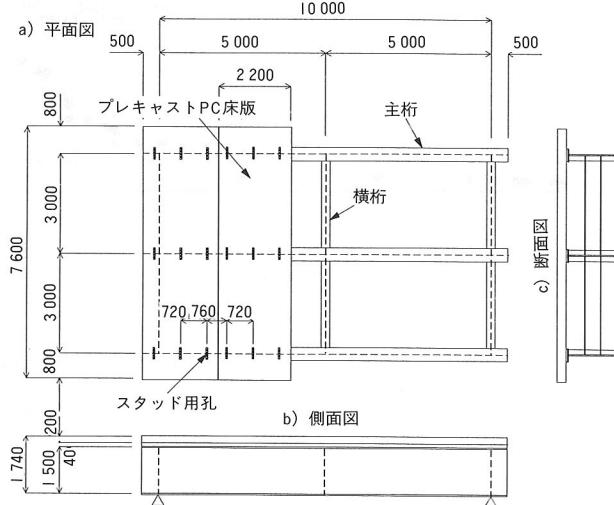


図1 試験体一般図 (mm)

表1 試験体構造諸元

		単位	部材寸法
主 桁	主桁支間	m	10.0
	上下フランジ	mm	350×25
	ウェブ	mm	1 450×9
	垂直補剛材	mm	160×16
床 版	床版支間	m	3.0
	床版厚	cm	20.0
	ハンチ	mm	4.0
横 桁	サイズ	mm	フランジ：200×12 ウェブ：420×9
	剛性	cm ⁴	28 825

る。つまり、橋梁の構造解析に一般的に用いられている格子解析程度のデータ量および計算量により鋼少主桁橋の解析が実施できることを目標としている。

また、解析手法の簡便さとともに、実験結果に整合した十分な精度を有しているかどうかを、主桁および床版のたわみ、横桁の応力、横桁を取り付けた垂直補剛材上端の応力を対象に、実測値と解析値とを比較、確認している。

さらに本報告では、ここで提案する解析手法を2主桁橋の1/2模型に適用し、その有効性についても検証している。

2. 解析手法の概要

ここで述べる解析手法は著者らの一部が文献18)において提案したI型並列橋の解析手法を鋼少主桁橋に拡張したものである。

具体的には図2に示すように、床版を薄板要素でモデル化し、主桁を床版に取り付けられた偏心骨組要素としてモデル化している。また、一般に鋼少主桁橋の横繋ぎ材として採用されることの多いスレンダーな横桁については、図3に示すような平面骨組構造からなる横桁要素としてモデル化する。横桁要素は図中に示すように、スタッド部、垂直補剛材部および横桁部から構成されている。

本解析手法は、このようなモデル化を採用しているため、要素分割は床版部分に関してのみ行えばよく、文献1)~12)において用いられているような橋梁全体にわたり板要素でモデル化する解析方法と比較して、データ量および計算量に関して有利な解析方法であることが分かる。

ここで、図3に示す横桁要素を構成するそれぞれの部材について、その有効断面の設定方法を説明する。

(1) スタッド部

スタッド部の有効断面は、床版を主桁に定着する部分(以下、スタッド部と略す)については、文献19)を参考にして、図4に示すようにスタッドの頂部から橋軸および橋軸直角方向に45°の有効幅を考え、有効となるコンクリートの面積の平均を有効断面とする。この部分に関して鋼部材とコンクリートとのヤング係数比を $n=7$ とし、以下のように部材剛性を算出した。

- ・断面積 : 35cm²
- ・断面2次モーメント : 1 062cm⁴

(2) 垂直補剛材部

垂直補剛材部の有効断面は、図5に示すように垂直補剛材および主桁ウェブからなるT字部ないし十字部を有効断面としている。主桁ウェブの有効幅については、道路橋示方書²⁰⁾に示されている荷重集中点の補剛材の腹板

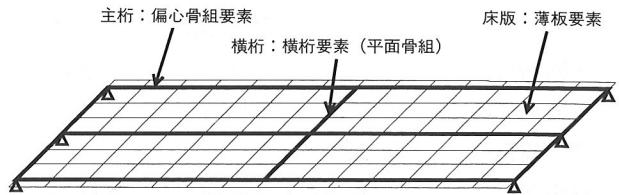


図2 解析概念図

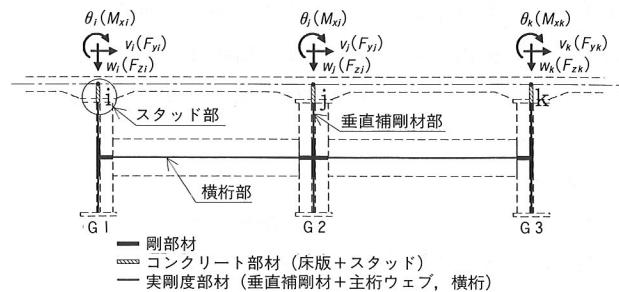


図3 横桁要素

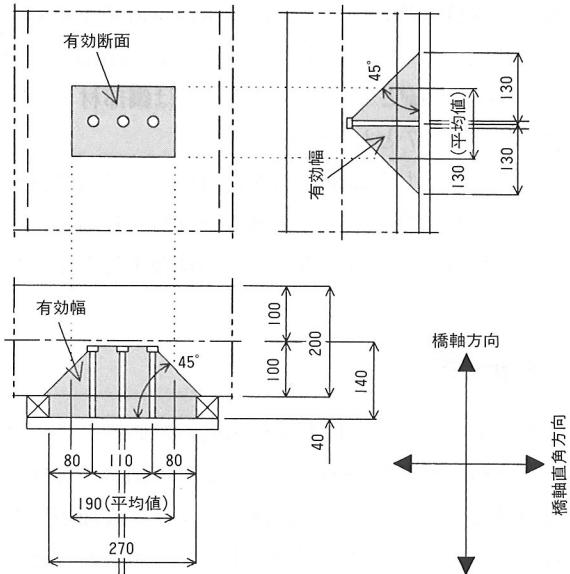


図4 スタッド部の有効断面 (mm)

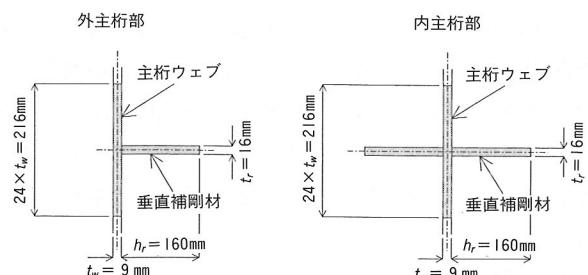


図5 垂直補剛材部の有効断面

の有効幅を参考にして、主桁ウェブの板厚の24倍とした。ただし、垂直補剛材部の断面の回転中心が主桁のウェブ中心であることから、主桁ウェブの有効幅の取り方による断面2次モーメントに及ぼす影響は小さい。部材剛性は以下のとおりである。

	外主桁部	内主桁部
・断面積	: 45cm^2	71cm^2
・断面2次モーメント	: 2375cm^4	4749cm^4

(3) 横桁部

横桁部については全断面を有効断面とし、部材剛性を以下のとおりとした。ただし、垂直補剛材部と横桁部の交差部は断面設定が困難であることから、垂直補剛材部においては横桁が取り付く区間、横桁部においては主桁ウェブの板厚および垂直補剛材の幅の区間を剛な部材として取り扱っている。

・断面積	: 86cm^2
・断面2次モーメント	: 28825cm^4

図1に示す3主桁橋の試験体の解析に用いた構造モデルの平面図を図6に示す。この要素分割では節点数は357、要素数は383（床版要素320、主桁要素60、横桁要素3）である。支持条件については、端横桁位置を支承線として、単純支持とした。なお、ヤング係数は鋼部材に関して $2.1 \times 10^6 \text{kN}/\text{cm}^2$ とし、床版については鋼部材とのヤング係数比を $n = 7$ としている。

なお、対象とした試験体は非合成桁として設計されているが、実験結果からその挙動は合成桁に近いものと判断し、解析に際しては床版と主桁の結合条件を完全合成とした。

3. 解析結果

解析結果のうち、主桁および床版のたわみ、横桁の応力、垂直補剛材上端の応力について、実測値と解析値の比較検討を行った。ここで、横桁および垂直補剛材上端の応力については、はり理論を用いて発生断面力を断面係数で除して算出している。

(1) 主桁および床版のたわみ

主桁、床版のたわみの比較を図7に示す。荷重は主桁支間中央における主桁G2～G3間に中央に載荷し、その大きさは10.0tfである。解析値は主桁G3においてやや小さい値を示すものの両者はよく一致していることが分かる。なお、実験値はゴム支承の計算上の変形を差し引いた値である。

(2) 横桁の応力

主桁支間中央の横桁について、部材軸方向の垂直応力の比較を表2に示す。荷重は主桁支間中央の主桁G2上ないしG3上に10.0tfを載荷している。横桁の外主桁に近いC1、C4位置において、解析値がやや大きい値を示し、発生応力の小さい箇所においては実測値と解析値の符号が逆転している。この原因は、上述したように垂直補剛材部と横桁部の交差部に剛部材を用いているが、この条件が実際の構造よりも固定度を高くしているものと考えられる。しかし、全体的傾向はよく一致しており、

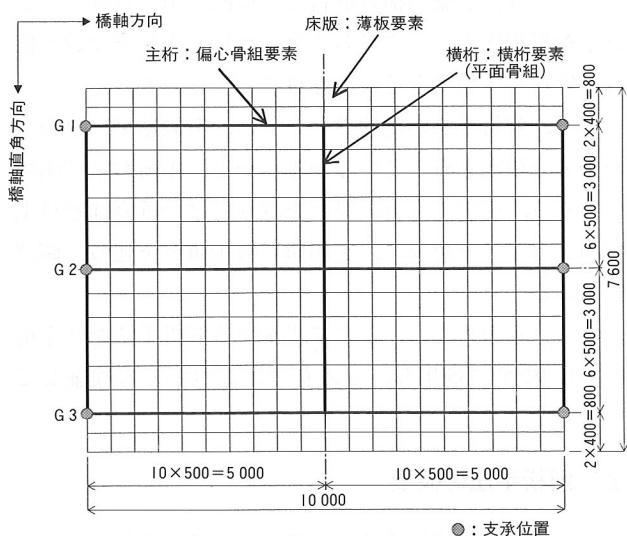


図6 要素分割図 (mm)

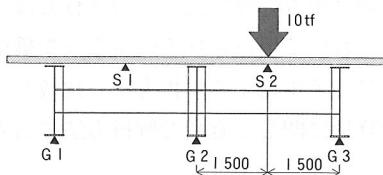
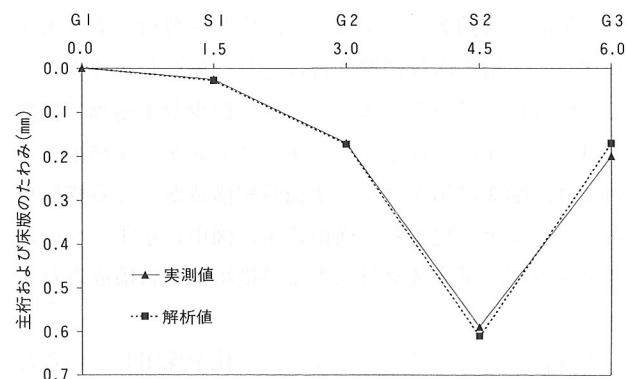
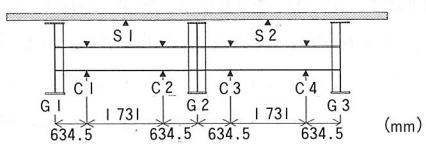


図7 主桁および床版のたわみ

表2 横桁の垂直応力の比較

		C1 kgf/cm ²	C2 kgf/cm ²	C3 kgf/cm ²	C4 kgf/cm ²
G2 上載荷	実測値	上フランジ 5.3	-45.2	-42.0	5.3
		下フランジ 2.1	55.7	56.7	1.1
	解析値	上フランジ 23.7	-31.3	-31.3	23.7
		下フランジ -6.7	48.4	48.4	-6.7
G3 上載荷	実測値	上フランジ -5.3	21.0	18.9	-10.5
		下フランジ -1.1	-29.4	-24.2	1.1
	解析値	上フランジ -12.3	15.8	16.9	-12.4
		下フランジ 3.2	-24.8	-25.7	3.6



最大応力が発生している箇所における両者の差は2割程度である。

(3) 垂直補剛材上端の応力

主桁支間中央の横桁を取り付けた垂直補剛材上端の垂直応力（鉛直方向）の比較を表3に示す。荷重は主桁支間中央における主桁G2上ないし主桁G2～G3間の中央に10.0tfを載荷している。主桁G2上載荷では実測値と解析値の差があるものの、発生応力の比較的大きいS2上載荷では両者はよく一致し、最大応力が発生している箇所における両者の差は2割程度である。

ここで、垂直補剛材上端の上部には主桁上フランジと床版との接触面があることから、図8に示す引張応力が作用する部分は、作用曲げモーメントに対して抵抗しないものと仮定して応力を算出した。

以上に示した実測値と解析値との比較により、本解析手法は実測値に整合した十分な精度を有していることが確認できた。

4. 2主桁橋への適用

ここでは、提案する解析手法を文献14)に報告されている2主桁橋の室内実験に用いられた1/2模型に適用する。この模型は主桁支間が10.0m、床版支間が3.0m、床版厚が19.0cmであり、床版には場所打ちのPC床版が用いられている。また、横桁の形式は3主桁橋の場合とほぼ同様であり、2.5m間隔に配置されている。

(1) 構造モデル

構造モデルの平面図は図9に示すとおりである。この要素分割では節点数は231、要素数は245（床版要素200、主桁要素40、横桁要素5）である。支持条件については、端横桁位置を支承線として、単純支持としている。

2主桁橋の場合の横桁要素は図10に示すとおりであり、基本的構造は3主桁橋の横桁要素と同様である。なお、横桁要素のそれぞれの部材の有効断面は次のように設定する。

スタッド部の有効断面は、3主桁橋の場合と同様な方法で算出する。ただし、床版が場所打ちPC床版であることから、前述したプレキャストPC床版のようにスタッドの溶植範囲がスタッド用孔に限定されることはない。このため、図11に示すように、広範囲に多数のスタッド（群スタッド）を溶植することが可能となり、断面剛性は以下のようにプレキャストPC床版の場合に比較し断面積で10倍程度、断面2次モーメントで45倍程度となる。

- ・断面積 : 371cm²
- ・断面2次モーメント : 49 524cm⁴

垂直補剛材部の有効断面は、3主桁橋の外主桁部と同様にT字部を有効断面として算出する。主桁ウェブの板厚が10mm、垂直補剛材の断面が200mm×16mmであること

表3 垂直補剛材の垂直応力の比較

	実測値	V 1	V 2	V 3	V 4
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²
G2上載荷	実測値	-18.9	-33.6	-50.4	-29.4
	解析値	-58.8	-18.0	-18.0	-58.8
S2上載荷	実測値	2.1	56.7	-138.6	-147.0
	解析値	—	—	-141.4	-173.0

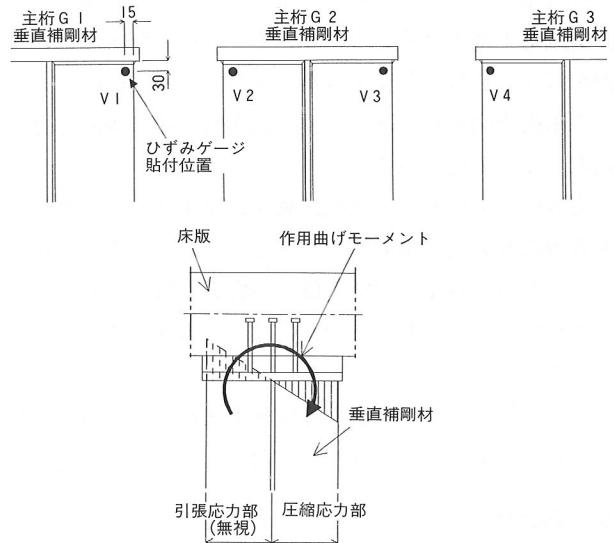


図8 垂直補剛材上端部の応力分布の仮定

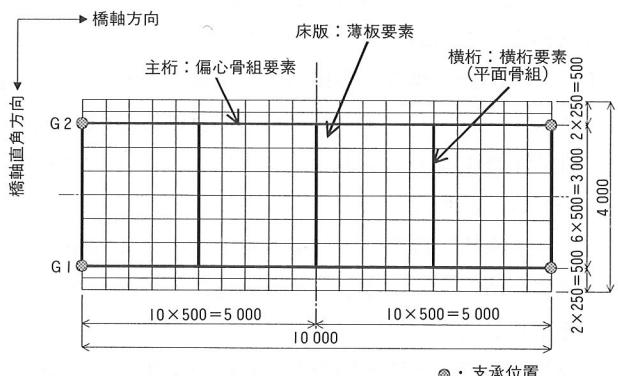


図9 2主桁橋の要素分割図 (mm)

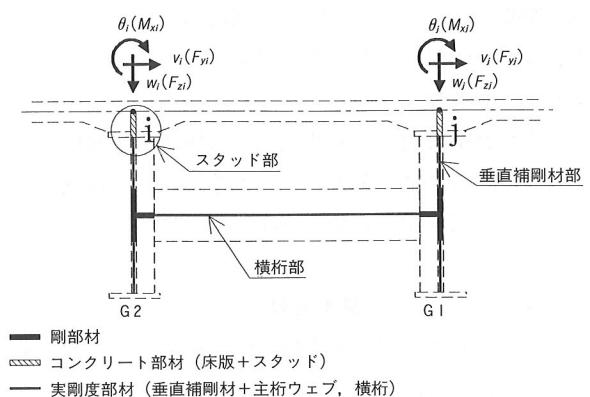


図10 2主桁橋の横桁要素

から、部材剛性は以下のとおりである。

- ・断面積 : 56cm^2
- ・断面2次モーメント : 4597cm^4

横桁部については、3主桁橋の場合と同様に全断面を有効断面とし、部材剛性を以下のとおりとした。

- ・断面積 : 102cm^2
- ・断面2次モーメント : 21700cm^4

(2) 解析結果

解析結果のうち、主桁支間中央の横桁を取り付けた垂直補剛材上端の垂直応力に着目し実測値と解析値との比較を行う。比較する荷重載荷位置は、主桁支間中央における床版支間中央であり、垂直補剛材上端の垂直応力が最大となる箇所である。

実測値と解析値との比較は表4に示すとおりであり、両者の鉛直方向の垂直応力がよく一致していると判断できる。なお、表4には実測値の主応力を付記するが、絶対値が最大の主応力の方向はほぼ鉛直方向であることが分かる。

以上の結果から、提案する解析手法が2主桁橋に関しても有効であることが確認できた。

5. おわりに

本報告は、鋼少主桁の解析方法として、データ量および計算量に関して簡便であり、かつ実験結果に整合し十分な精度を有する解析手法を提案した。以上の検討により得られた結論は次のとおりである。

① 3主桁橋の場合、主桁および床版のたわみは実測値とよく一致する。また、横桁の部材軸方向の応力、垂直補剛材上端の鉛直方向の応力については、実測値との差は2割程度である。

② 2主桁橋の場合、垂直補剛材上端の鉛直方向の応力は実測値とよく一致し、2主桁橋にも拡張できることを確認した。

なお、本解析手法は鋼少主桁橋の全体的な挙動を評価することを目的としたものであり、各部位の局部的な応力や変形などの把握を前提にしたものではない。このため、細部の応力や変形に関する検討については、別途詳細な解析が必要であることを付記する。

最後に、本文をまとめにあたり、多大なるご指導を賜った日本道路公団名古屋建設局名古屋工事事務所の皆様方、ならびに東京工業大学・三木千壽教授、武藏工業大学・増田陳紀教授に心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 酒井秀昭・橋 吉宏・志村 勉・小西哲司：水平荷重を受けるPC床版2主桁橋の挙動について、土木学会第48回年次学術講演会, I-512, pp.1172~1173, 1993-9.

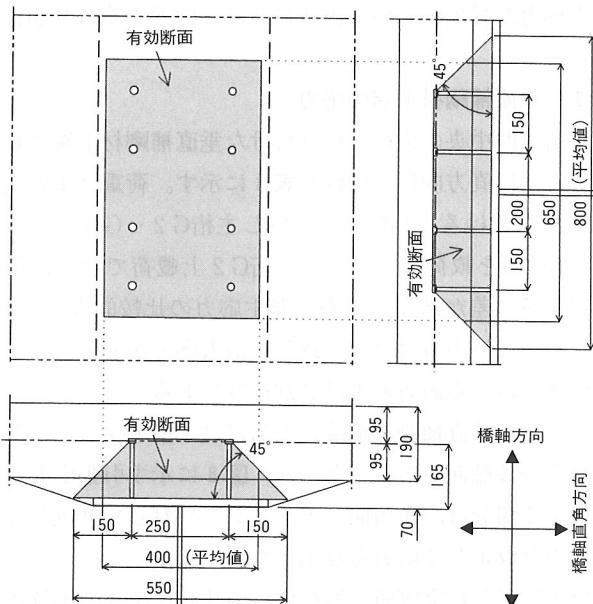


図11 2主桁橋のスタッド部の有効断面 (mm)

表4 2主桁橋の垂直補剛材の垂直応力の比較

		V1の垂直応力		主応力	
		鉛直	水平	最大	最小
		kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²
S1上載荷	実測値	-273.0	63.0	-15.0	-282.0
	解析値	-276.6	—	—	—

主桁 G2
垂直補剛材
G1
G2
1500
1500

主桁 G1
垂直補剛材
ひずみゲージ貼付位置
30
V1

- 2) 坂井藤一・八部順一・大垣賀津雄・橋本靖智・友田富雄：合成2主桁橋の立体挙動に関する研究、構造工学論文集, Vol.41A, pp.945~954, 1995-3.
- 3) 宮川 力・池田 茂・中西芳郎：2主桁橋の架設時全体横倒れ座屈に対する検討、土木学会第50回年次学術講演会, I-53, pp.106~107, 1995-9.
- 4) 高橋昭一・鈴木 隆・橋 吉宏・志村 勉・平野健二：2主桁橋の横構省略に関する考察、土木学会第50回年次学術講演会, I-107, pp.214~215, 1995-9.
- 5) 関沢弘一・堀 重雄・遠藤誠治：2主桁橋の活荷重による首振り挙動のFEM解析、土木学会第50回年次学術講演会, I-278, pp.556~557, 1995-9.
- 6) 本田晃英・中山康士・長井正嗣・吉田康治：2主桁橋の横補剛材をパラメータとした力学特性、土木学会第50回年次学術講演会, I-279, pp.558~559, 1995-9.
- 7) 坂井藤一・八部順一・磯江 曜・大垣賀津雄・友田富雄・橋本靖智：合成2主桁橋の横桁位置に関する解析

- 的検討, 土木学会第50回年次学術講演会, I-302, pp.604~605, 1995-9.
- 8) 小西拓洋・紫桃孝一郎・藤本泰弘: 鋼二主桁橋の設計, 土木学会第50回年次学術講演会, I-310, pp.620~621, 1995-9.
- 9) 緒方紀夫・岩立次郎・佐々木保隆・濱田 仁: 広幅員合成2主桁橋の水平方向荷重に対する横方向部材の影響に関する検討, 土木学会第50回年次学術講演会, I-317, pp.634~635, 1995-9.
- 10) 緒方紀夫・佐々木保隆・中須 誠・濱田 仁: 広幅員2主桁橋の活荷重に対する構造検討, 土木学会第50回年次学術講演会, I-320, pp.640~641, 1995-9.
- 11) 長井正嗣・吉田康治: 合成2主I桁橋の横補剛材をパラメータとした2次応力に関する検討, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.1061~1072, 1996-3.
- 12) 坂井藤一・八部順一・大垣賀津雄・橋本靖智: 合成2主桁橋の横桁配置に関する研究, 橋梁と基礎, Vol.31, No. 3, pp.31~38, 1997-3.
- 13) 高橋昭一・鈴木 隆・橋 吉宏・森下弘行・志村 勉・三木千壽: 2主桁橋(ホロナイ川橋)の横桁取付構造に関する実験的研究, 土木学会第50回年次学術講演会, I-291, pp.582~583, 1995-9.
- 14) 高橋昭一・鈴木 隆・橋 吉宏・伊藤博章・志村 勉・三木千壽: 1/2スケール模型を用いた2主桁橋の立
- 体挙動に関する実験的研究, 土木学会第50回年次学術講演会, I-292, pp.584~585, 1995-9.
- 15) 角 昌隆・檜作正登・街道 浩・熊谷洋司・西垣義彦・三木千壽: 第二東名神における少数主桁橋のスタッドと垂直補剛材上端部の応力性状に関する検討, 土木学会第51回年次学術講演会, I-A278, pp.556~557, 1996-9.
- 16) 森山陽一・村山 陽・慶 甲秀・長谷川正和・北山耕造・三木千壽: 第二東名神における少数主桁橋の垂直補剛材下端の構造詳細に関する検討, 土木学会第51回年次学術講演会, I-A279, pp.558~559, 1996-9.
- 17) 岩崎祐次・街道 浩・本摩 敦: 少数主桁橋の中間横桁の構造および確認試験, 川田技報, Vol.16, pp.22~27, 1997-1.
- 18) MASUDA, N., MIKI, C., KASHIWAGI, H., KAI-DOH, H : ANALYSES OF SWAY BRACING MEMBERS IN COMPOSITE-GIRDER BRIDGES, *Proc. of JSCE* No.386/I-8, pp.115~124, October 1987.
- 19) PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE : *PCI DESIGN HANDBOOK*, FOURTH EDITION, pp. 6-7 ~ 6-14, 1992.
- 20) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II鋼橋編, 丸善, p.270, 1996-12.