

構造工学における数値解析法シンポジウム論文集  
第 11 卷

Proceedings of Symposium on  
Computational Methods in Structural Engineering  
and Related Fields  
Volume, 11

昭和62年7月

日本鋼構造協会

# I型並列合成桁橋の対傾構部材力の簡易解析手法

Simplified Analysis Method for Sway Bracing Members

in Composite-Beam Bridges

○増田陳紀<sup>1)</sup> 西脇威夫<sup>2)</sup> 皆川勝<sup>3)</sup> 街道浩<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

現在、構造解析に有限要素法などの数値解析手法を用いることは極く一般的ではあるが、理想化された実験用模型構造の挙動あるいは構造物を構成する一次部材の挙動などの解析ではなく、実構造物の二次部材の挙動を解析しようとする場合、必要精度と経済性との兼ね合いでどのようなモデル化とすべきか判断が困難となることがある。例えば、I型並列合成桁橋において、主桁に取り付けられた垂直補剛材と上フランジとの溶接部近傍に生ずるきれつ<sup>1)</sup> (図1参照)との関連で、溶接部近傍の局部応力評価のための第一段階として対傾構部材力の解析が必要となることがあるが、主要部材の設計を目的として行われている床版の有効幅を考慮した通常の格子桁解析では十分な精度の結果が得られない。一方、床版も主桁も板要素でモデル化して詳細な解析を行なおうとすると対傾構を骨組要素でモデル化したとしても相当な計算費用を必要とすることになる<sup>2)</sup>。

本論文では、上記の橋梁構造を対象に比較的簡略に対傾構部材力の解析を行なうことのできるモデル化の方法とそれを用いた対傾構部材力の解析方法を提案する。すなわち、構造的には奇異に感じられるが、格子桁モデルとは逆に床版を主体としてこれを板要素<sup>3)</sup>でモデル化し、主桁は板に取り付けられた補剛材として取り扱い、これを偏心骨組要素<sup>4)</sup>でモデル化する。さらに二本の主桁間の対傾構は平面骨組構造としてとらえ、対応する剛性行列を、床版をモデル化した板要素の節点自由度のみを残して縮約しこれを対傾構要素<sup>5)</sup>とする。このようにして橋梁全体を補剛材付の板として2次元的にモデル化する方法が提案する方法である。この方法は対傾構の部材力に及ぼす載荷車両の位置の影響および床版の変形の効果を容易に取り込むことができ、かつ床版および主桁をともに板要素でモデル化する場合に比較して大幅に自由度を減じることができる。対傾構の部材力は、床版の変位が得られたのち、これを前述の平面骨組に強制変位として与え骨組解析を行なうことにより得られる。

## 2. 対象構造とそのモデル化

本論文で対象とする橋梁構造は、我が国の高速道路における橋梁構造として代表的な、図2に示すようなトラス形式の対傾構を有する多主桁多径間連続合成桁橋である(図の例は実在する四本主桁三径間

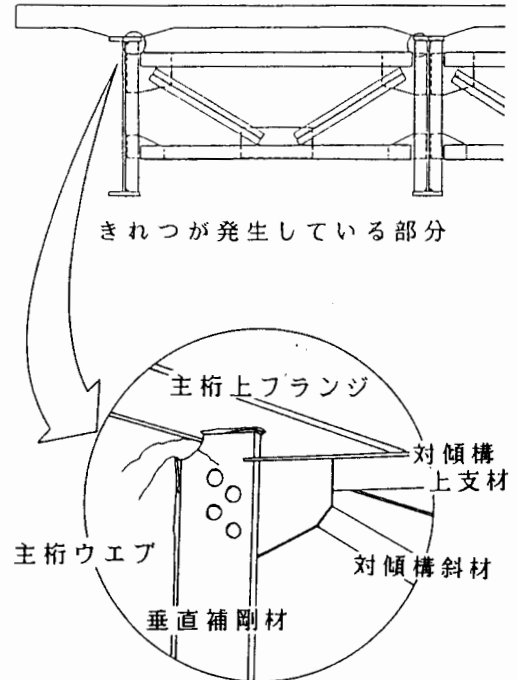


図1 垂直補剛材と上フランジとの溶接部近傍に生ずるきれつの様式

1) 武蔵工業大学工学部・助教授 2) 同・教授 3) 同・助手 4) 大日本コンサルタント

世田谷区玉堤一丁目 28-1 武蔵工業大学工学部 (〒158)

連続桁橋〔6〕)。初期に架設されたこの形式の橋梁において早いものでは供用開始後数年で床版の疲労損傷が発生したため、種々の床版補強対策が講じられた。図2の例では図3に示すような縦桁の増設およびそれに伴う対傾構部材の新設が行われている。

本論文では1.はじめに述べたように、主桁および対傾構を偏心補剛材とみなし、上記の橋梁全体構造を図4に示すような補剛板としてモデル化する。すなわち、応力仮定のハイブリッド法により誘導された1節点6自由度(面内二方向の変位、面内回転、面外たわみ、および面外二方向のたわみ角)計18自由度を有する三角形薄板要素〔3〕により床版をモデル化し(図6に示す要素分割図中の矩形要素は三角形要素を組合せた要素である)、主桁および縦桁は、床版の中立面上に設けた節点変位を用い、初等はり理論にしたがう変位場を直接表して剛性行列を誘導した1節点6自由度計12自由度の偏心骨組要素〔4〕によりモデル化する。さらに、対傾構は、主桁を断面変形が生じない偏心骨組要素でモデル化することに対応させ、主桁位置に剛体棒が配置されているものと仮定し、図5に示すような剛体棒を有する平面骨組構造でモデル化する。

3. 対傾構要素および対傾構の部材力  
 対傾構要素の節点(図5中*i*、*j*点あるいは*i*、*j*、*k*点)は主桁を表す偏心骨組要素の対傾構面での節点に一致させる。平面骨組の剛性行列を節点

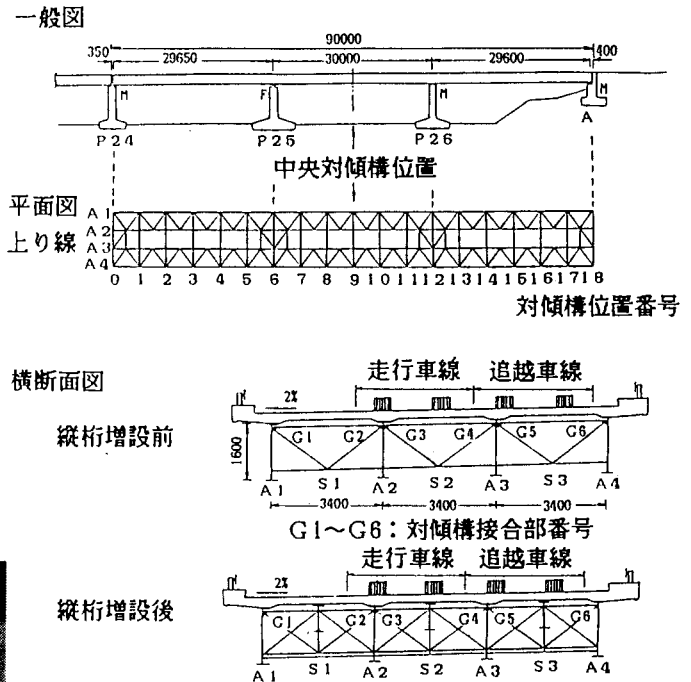
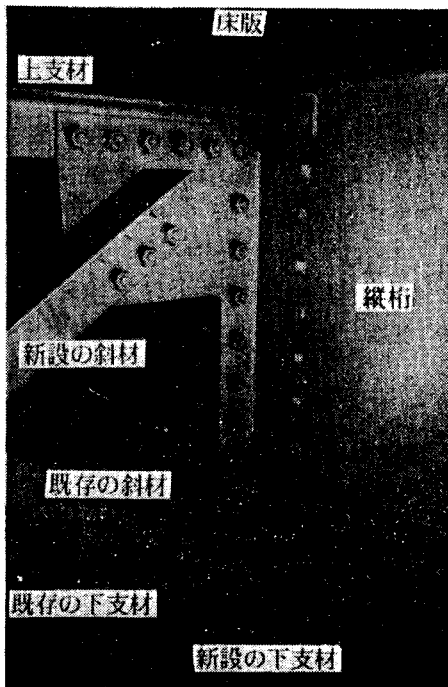


図2 対象橋梁構造(トラス形式対傾構を有する多主桁多径間連続合成桁橋〔6〕)

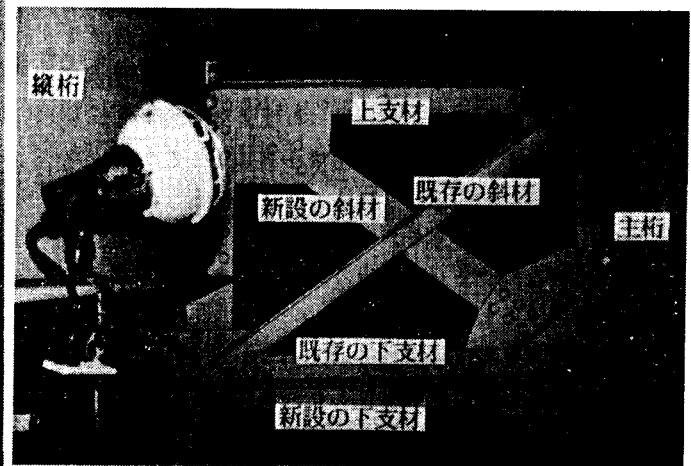


図3 対傾構の構造

$i$ 、 $j$  (あるいは節点  $i$ 、 $j$ 、 $k$ ) の自由度のみを残し床版面内の2節点計6自由度 (あるいは3節点計9自由度) に縮約して得られる剛性行列を対傾構要素剛性行列とする。

以上に述べた各構成要素を用いて橋梁全体を補剛板としてモデル化し、与えられた荷重条件に対し図7に示すような拘束条件の下で解析を行えば床版の変位が得られる。床版の変位を対傾構をモデル化した平面骨組構造の節点  $i$ 、 $j$  (補強後の対傾構要素では  $i$ 、 $j$ 、 $k$ ) に強制変位として与え骨組構造解析を行えば、対傾構を構成する各部材の部材力を求めることができる。

4. 実橋に対する計算結果と実測値の比較

床版ひび割れ損傷の補修対策の一環としての縦桁増設などの補強が行われた前後における床版たわみと対傾構部材力が測定されている実橋梁 (図2) を対象に解析を行い、実測値 [6] と解析値の比較により本解析法の精度を検討する。解析対象橋梁は、床版の補強の目的で主桁のそれの1/10程度の断面二次モーメントを有する縦桁の増設と、それに伴う対傾構斜材および下支材の補強が施されている (図3)。この橋梁の主桁本数、主桁間隔、垂直補剛材の上端ギャップの長さおよび床版のひび割れ対策としての補強の形式などは、我が国の代表的な高速道路において多く用いられているものである。

部材力の実測値は中央径間の中央に位置する対傾構各部材にひずみゲージを貼付して、走行車線に規定の重量を有するトラックを走行させたときのひずみを読み取り、これより求めたものである。たわみについては当該対傾構が取り付けられている主桁および縦桁 (縦桁増設前の測定では縦桁増設を行なう予定位置の床版) のたわみが測定されている。

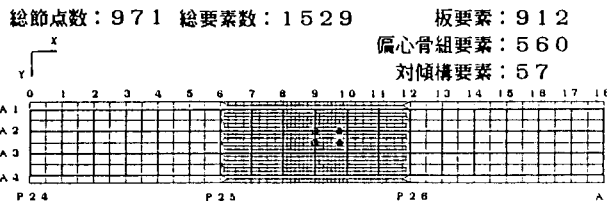


図6 解析対象の要素分割図

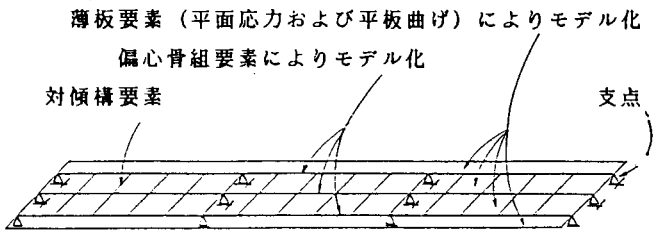
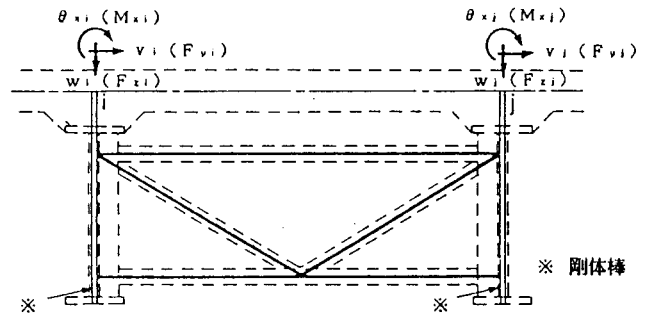
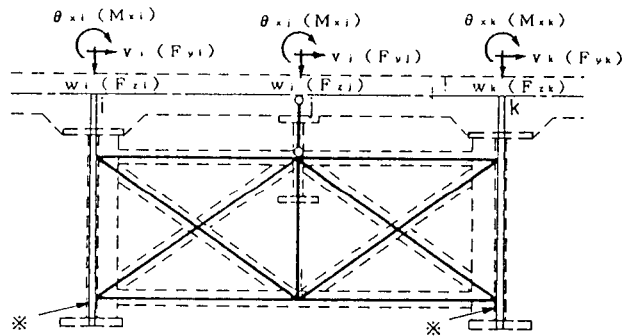


図4 橋梁全体構造のモデル化



(a) 補強前の対傾構モデル



(b) 補強後の対傾構モデル

図5 対傾構のモデル化

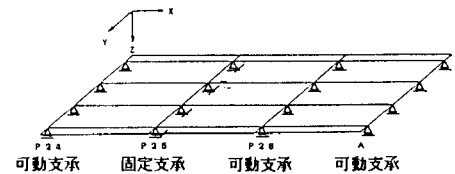


図7 拘束条件

解析対象(図2)を図6のように要素分割する。太線は主桁要素および対傾構要素を配置した位置を示す。図中のA<sub>i</sub>は主桁の番号、数字は対傾構の番号、また、P24などは橋脚の番号、Aは橋台を表す。荷重は、道路橋示方書[7]に規定されているT-20荷重を想定しその後輪(各8tonf(78.4kN)計16tonf(156.8kN))を中央径間の中央の対傾構位置(図6において○で示した位置)に、前輪(各2tonf(19.6kN)計4tonf(39.2kN))を同図の●の位置に載荷する。これは、部分的に等分割とした床版要素の寸法のため、示方書に規定されているT-20荷重の車輪間隔に対して、前後車輪間隔で6%、左右車輪間隔で3%それぞれ短い載荷条件となっている。拘束条件は、実橋梁に対応させ、図7のように橋脚P24、26および橋台Aの支承位置はY、Z方向、橋脚P25の支承位置はX、Y、Z方向の変位を拘束する。

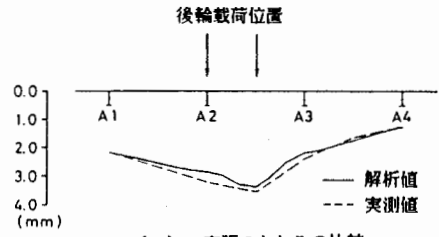
1) 補強前の全体構造解析結果

後輪載荷位置である図6の第9番対傾構の位置における床版のたわみ、および対傾構の軸力、の実測値と解析値を比較してそれぞれ図8(a)および(b)に示す。たわみについては最大のたわみで両者の差は0.2mm

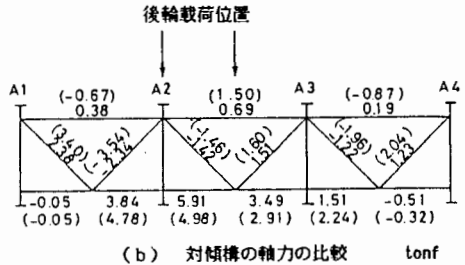
(約6%)であり、両者は非常に良く一致している。左右の上支材の軸力に関しては実測値は圧縮力、解析値は引張力を示すくらい違っているものの他の部材の軸力では解析値は実測値に近い値を示している。軸力の絶対値が最大となっている部材の軸力の両者間での差は0.93tonf(9.1kN:実測値の約16%)である。左右の上支材の軸力における解析値と実測値の違いは、解析モデルでは主桁を断面変形を生じない偏心骨組要素で表しているのに対応させ、対傾構要素の主桁部分を剛体棒として取り扱っているために主桁の面外変形を表すことができないことに起因するものと考えられる。ただし、図8の場合には、左右の上支材の軸力は他の部材の軸力と比較しかなり小さく、上支材軸力の局部応力への影響は比較的小さいと考えられる。

2) 補強後の全体構造解析結果

同様の結果を図9(a)および(b)に示す。全体的に解析値は実測値に良く一致しており、最大のたわみに関して両者の差は0.2mm(実測値の約9%)程度である。軸力についても、主桁A2と縦桁S2間の下支材に生ずる最大軸力に関して両者の差は0.69tonf(6.8kN:実測値の約10%)である。



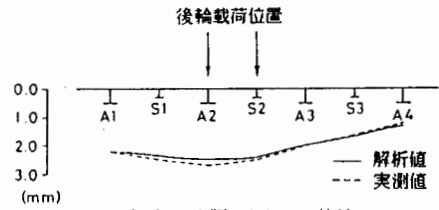
(a) 床版のたわみの比較



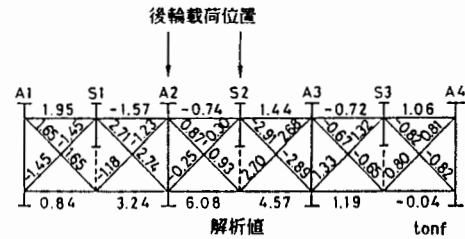
(b) 対傾構の軸力の比較 tonf

( ) 中の数値は実測値を示す  
 軸力は引張を正、圧縮を負とする

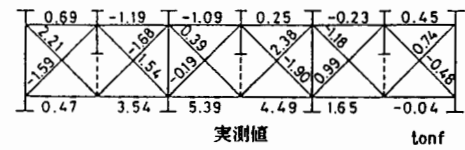
図8 補強前の実測値と解析値の比較



(a) 床版のたわみの比較



解析値 tonf



実測値 tonf  
 (b) 対傾構の軸力の比較  
 軸力は引張を正、圧縮を負とする

図9 補強後の実測値と解析値の比較

以上のように、補強前および補強後の構造に前述の解析方法を用いて求めた解析値と実測値は良く一致している。橋梁の全体構造を薄板要素を用いて3次元的にモデル化して詳細解析を行った従来の研究結果では、実測値と解析値の差は床版の最大たわみで34%程度、対傾構の斜材の軸力で100%程度である。この研究で取り上げた構造は本論文で解析を行っているものとは同じではないので、上記の数値をそのまま比較することは必ずしも正当な評価とはならないかもしれないが、本解析方法は比較的簡易な解析方法にも拘わらず床版のたわみおよび対傾構の部材力を精度良く評価することができる解析手法であることが分る。

### 5. 解の収束性

本解析方法は上述のようにかなり簡易な解析方法ではあるが、連続桁の全径間を対象とした解析となっているため、例えばパソコンなどで解析を行おうとすると、容量的に問題となる場合が予想される。より簡略な方法として、はり理論による連続はりの支点モーメントを外力として用い、中央径間のみを対象に解析することも考えられるが、ここでは、要素分割の細かさの程度を変えた幾つかの計算を行いその外挿として収束解を評価する可能性について検討する。

本来有限要素解の収束性は一律な要素分割様式の下で要素寸法を小さくした場合の解の挙動により議論されるが、ここでは、図10に示すように注目する構造部分(中央径間中央対傾構)近傍のみについて一律な要素分割様式を採用し、両側径間については全て同一の粗い要素分割を用いて得られる計算結果より解の収束性を議論する。

このような場合にも近似解の収束解に対する差Eと要素最小寸法hとの間に、Pを収束率、Cを定数として式(1)の関係が成り立つものとする。

$$\log E = P \cdot \log h + \log C \quad (1)$$

$$\frac{\log(S-S_1) - \log(S-S_2)}{\log h_1 - \log h_2} = \frac{\log(S-S_1) - \log(S-S_3)}{\log h_1 - \log h_3} \quad (2)$$

いま、図10(a)、(b)、(c)の要素最小寸法を $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ とし、着目する解の近似解を $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、収束解をSとすると、式(2)より収束解Sが求まる。

上記の手法を4.1)補強前の全体構造解析結果において対象とした問題に対して適用し、床版の最大たわみと対傾構斜材G4(図2参照)の軸力とについて収束解を求めた結果を図10の要素分割様式とは異なる分割様式を用いた4.1)の

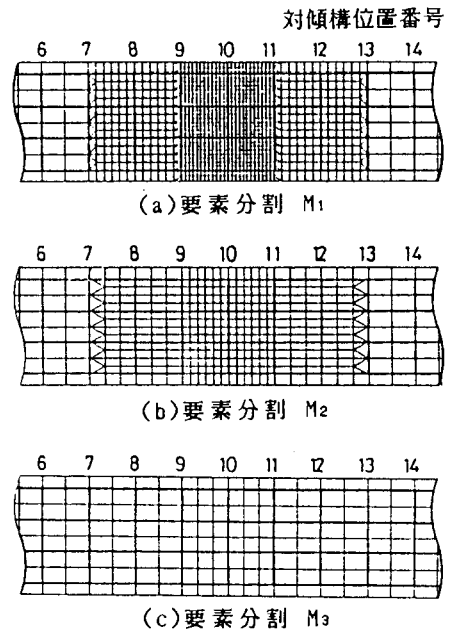


図10 中央径間中央部の分割様式を一律とした三通りの要素分割

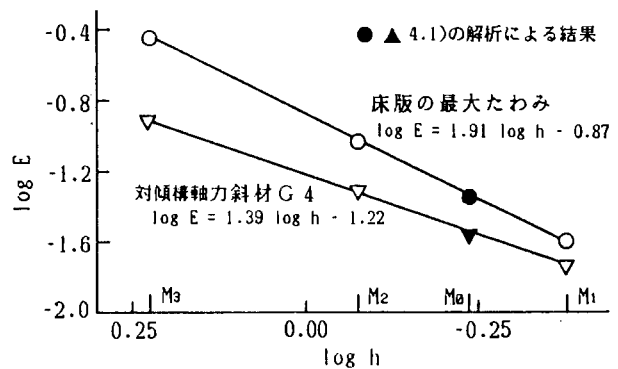


図11 解の収束性

計算結果と併せて図11に示す。4.1)の結果は分割様式が異なるにも拘わらずこれらの4点はほぼ一つの直線上に乗っており、注目する構造部分のみについて要素分割様式を統一して幾つかの分割で計算を行い、収束解を外挿する方法の可能性が確認されたといえる。

## 6. おわりに

本論文では、I型並列合成桁橋において二次部材である対傾構に生ずる部材力の評価のための比較的簡易な解析法を提案し、さらにこの解析方法の精度を実測値との比較を通じて確認した。また、パソコンでの計算を目標とした、粗い要素分割による計算結果の外挿による収束解の評価の可能性を示した。これらの結果は以下のようにまとめられる。

- 1)提案する解析方法は全体構造の3次元有限要素解析を必要とせず、橋梁全体を偏心補剛材付の板として解析すればよく、床版上の輪荷重の載荷位置や床版の厚さなどの対傾構部材力への影響についても容易に評価することができる。
- 2)実測値が得られている橋梁についての、解析値と実測値との比較の結果、対傾構の最大軸力に関し解析値は実測値と10~20%以内で一致する。また、床版の最大たわみに関しては、実測値に対する差は10%以内である。
- 3)注目する構造部分(中央径間中央対傾構)近傍のみについて一様な要素分割様式を採用し、両側径間については全て同一の粗い要素分割を用いて得られる三通りの計算結果より、外挿して収束解を評価することが可能である。

本研究の遂行に際し、貴重な測定データの提供など多大のご協力を頂きました竹之内博行氏を始めとする(社)日本建設機械化協会建設機械化研究所の皆様にご感謝の意を表します。なお、本研究は文部省科学研究費の援助を受けて行われたこと、本論文中の計算は武蔵工業大学情報処理センターFACOM M-360および東京大学大型計算機センターHITAC M-682/M-680Hを用いて行ったことを付記する。

## 〔参考文献〕

- [1]鋼構造委員会疲労変状調査小委員会:鋼橋の疲労変状調査、土木学会論文集、第368号/I-5、pp.1-12、1986-4.
- [2]阪神高速道路公団・川崎重工業:合成I桁の主桁及び横桁の取合部検討業務報告概要(その2)、1985-3.
- [3]吉田裕・雨宮栄一郎・増田陳紀:立体構造解析のための薄板有限要素、土木学会論文報告集、第211号、pp.19-28、1973-3.
- [4]増田陳紀・西脇威夫・皆川勝・早坂茂紀:有限要素法による補剛パネルの耐荷力評価に関する研究、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、第10巻、pp.371-376、1986-7.
- [5]西脇威夫・三木千寿・増田陳紀:I型並列橋梁の局部応力状態の簡易解析法、昭和59-60年度科学研究費補助金(総合研究(A)代表者埼玉大学田島二郎)研究成果報告書、-鋼橋の寿命予測と維持管理に関する研究 第5章-、pp.167-184、1986-3.
- [6]建設機械化研究所:昭和60年度構造物変状対策工検討報告書、1986-3.

SIMPLIFIED ANALYSIS METHOD FOR SWAY BRACING MEMBERS  
IN COMPOSITE-BEAM BRIDGES

Nobutoshi Masuda 1 , Takeo Nishiwaki 2,  
Masaru Minagawa 3 and Hiroshi Kaidou 4

SUMMARY

A simple analysis method is presented for calculation of forces in sway bracing members as components of composite-beam bridges. The purpose of the development of this method is its application to evaluation of effects of structural types and loading conditions on fatigue crack growth in the region of web gaps.

Floors are modeled by 3-D plate elements, and main girders by originally introduced offset beam elements with six DOF per each node. Sway bracings are considered as plane frames, but contractions are made leaving only those DOF as plate elements have. Thus an entire bridge is modeled as a stiffened plate.

Calculated results show that maximum axial forces in sway bracing members coincide with maximum error of less than 20% with those obtained by measurements in a bridge at service.

---

1.M.JSCE, Assoc. Prof., 2.M.JSCE, Prof., 3.M.JSCE, Research Assoc.,  
Dept. of Civil Eng., Musashi Inst. of Tech., Setagaya-ku, Tokyo 158.  
4.M.JSCE, Engineer, Dainihon Consultant Co. Ltd., Taitou-ku, Tokyo 158.