

I型並列合成桁橋の主桁対傾構取合部局部応力の解析

Analysis of Local Stresses at Girder-Sway bracing Connections
in Composite I-girder Bridges

○増田陳紀¹⁾ 西脇威夫²⁾ 皆川 勝³⁾

1. はじめに

近年、国内外において、I型並列合成桁橋の主桁と対傾構との取合部に亀裂が生じたとの報告が相次いでなされている^{1)・2)}。著者らは、対傾構が取り付けられた垂直補剛材の主桁上フランジとの溶接部近傍における亀裂発生³⁾の報告が多い³⁾ことに着目し、亀裂発生³⁾の機構解明を最終目標にこの部分の局部応力を評価する第一段階として、対傾構部材力を解析する簡易解析手法を昨年の本シンポジウムなどにおいて報告した^{4)・5)}。本論文では、第二段階として第一段階での解析結果に基づいてズームング手法を用いて、局部応力そのものを評価する過程およびその結果を実橋での測定結果との対比を交えて報告し、提案する方法の適用性ならびに今後の課題を考察する。

なお、本論文では、第一段階の対傾構部材力の解析段階においても、対傾構要素と同様の考え方により構構要素をも導入し、より実際に近いモデル化が行えるように改良を加えている。

2. 解析対象橋梁と主桁対傾構取合部の構造詳細

本論文で対象とする橋梁は、図1に示すようなトラス形式対傾構を有する多主桁多径間連続合成桁橋である。この橋梁形式は、わが国の高速道路橋として代表的なものの一つであり、また図に示される諸元も一般的なものである。対傾構の主桁への取り付けは、図2に示すようにガセットプレートを用い垂直補剛材を介一般図

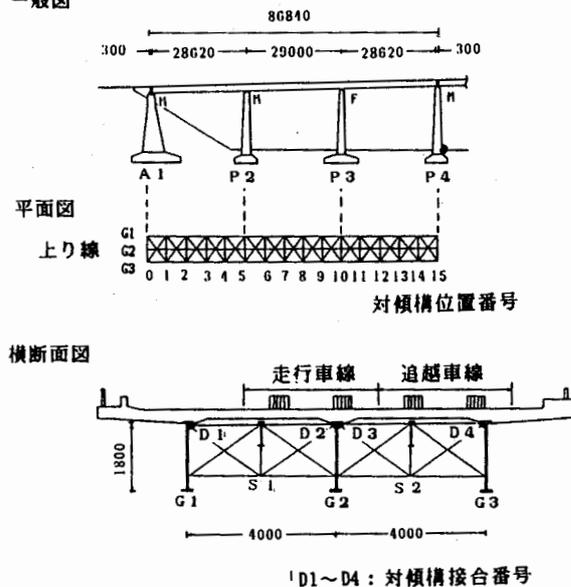


図1 解析対象橋梁の例(トラス形式対傾構を有する多主桁多径間連続合成桁橋)

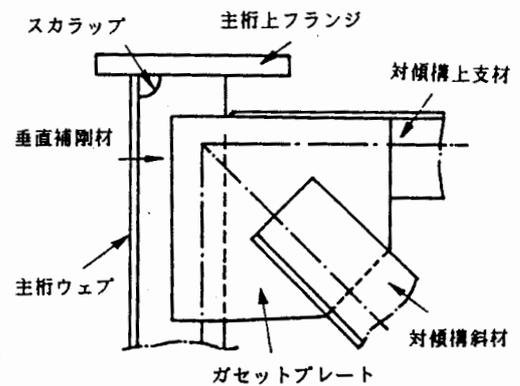


図2 主桁対傾構取合部の構造詳細(垂直補剛材上端部)

1) 武蔵工業大学工学部・助教授・工博, 2) 同・教授・工博, 3) 同・助手・工博
〒158 東京都世田谷区玉堤1丁目28番1号

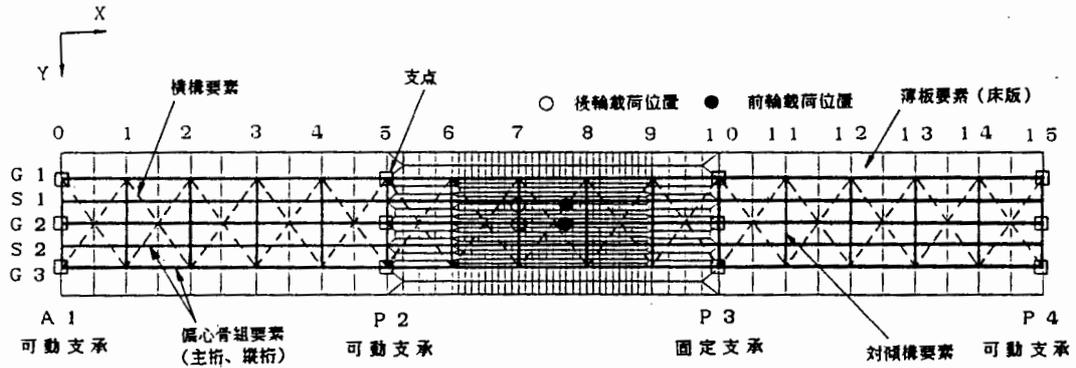
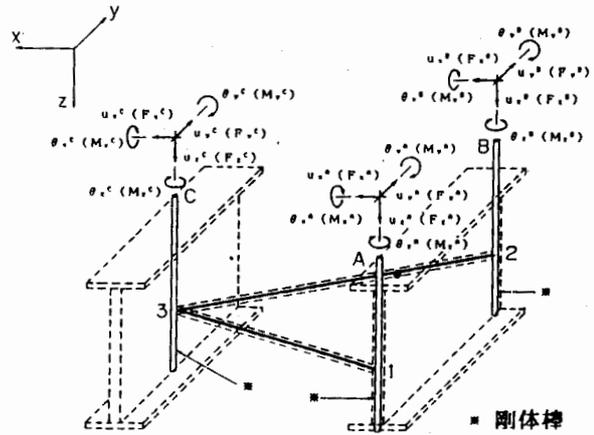


図3 橋梁全体構造のモデル化

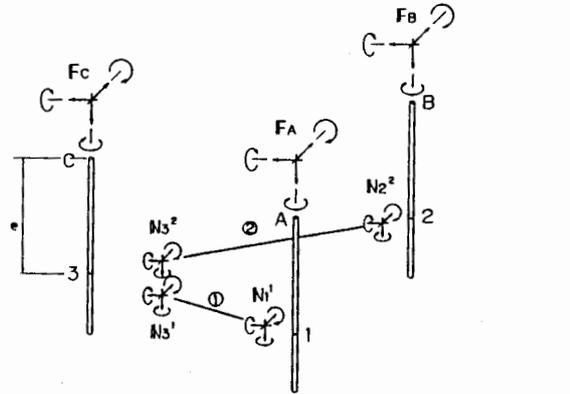
して行われている場合が多く、対傾構支材、斜材、ガセットプレートおよび垂直補剛材は、同一鉛直面内には配置されず、互いに板厚分だけ偏心し垂直補剛材に局部的な面外曲げが生ずる一因ともなっている。本論文で注目する部分は、主桁上フランジとガセットプレート間のウェブギャップ部分である。

3. 解析方法

文献[4]において提案した対傾構部材力を解析する簡易解析手法では、床版を板要素でモデル化し、主桁および縦桁を板に取り付けられた補剛材として取扱い、これを偏心骨組要素でモデル化する。さらに、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とする。このようにして橋梁上部構造全体を補剛材付の板として2次元的にモデル化する。本論文では、対傾構要素と同様の考え方により横構要素をも導入し、局部応力に着目する構造部分を含む床版、主桁、対傾構および横構部材からなる部分構造を切り出し、これを3次元板要素によりモデル化し、切断面に第一段階の計算によって得られた床版、主桁、対傾構および横構部材の断面力を作用させて詳細解析を行う。



(a) 節点変位



A, B, C: 横構要素の節点、
床版上の節点に一致

(b) 節点力

図4 横構モデル

1) 偏心補剛材付き板としての橋梁上部全体構造のモデル化

すなわち、図1に示す橋梁の中央径間中央の対傾構部材材を求める場合には、橋梁上部構造全体が図3に示すような偏心補剛材付き板としてモデル化される。本対象橋梁の場合下横構が配置されており、これは図3においては破線で表わされている。横構要素の誘導は対傾構要素の誘導⁴⁾と全く同様の過程により行われる。ただし、対傾構が平面骨組構造としてとらえられ、その剛性行列を縮約して対傾構要素が導かれるのに対し、横構は主桁部分に配置される仮想的な剛体棒と組み合わされて最も簡単な立体骨組としてとらえられ、その剛性行列が縮約されて横構要素が与えられることになる。横構要素の節点力および節点変位は、図4に示される通りであり、1節点6自由度で3節点、計18自由度を有する。

2) 薄板要素を用いた3次元部分構造モデルによる局部応力の解析

橋梁上部構造全体が3-1)に述べた方法によりモデル化され解析されると、各節点の変位とともに床版、主桁(および縦桁)、対傾構および横構各部材の断面力が求まる。注目する主桁対傾構取合部の応力は、その注目する部分を含む部分構造を切り出して、図5に示すように3次元板要素によりモデル化し、その切り出された各切断面に、全体解析の結果得られた断面力を節点力として載荷し、さらにもともとその部分構造に作用する外力を負荷して解析を行うことにより得られる。

全体構造ではなく部分構造を取り出した場合には、床版ハンチ部などについては、本来3次元固体として取り扱うべきかもしれないが、ここでは手持ちの板要素のみでモデル化することを考えている。したがって、例えば主桁上フランジと床版部分とを一枚の板として取り扱うことになり、曲げ剛性および面内剛性が等価となるような換算断面の導入などを行う。部材断面力の部分構造モデルの各節点の配分方法としては例えば文献[6]の方法が考えられるが、ここでは断面力より初等はり理論に基づいて得られる応力に板厚を乗じた分布荷重を考え、これを等価節点力に置き直して載荷する。また、垂直補剛材とガセットプレート、ガセットプレートと対傾構各部材との接合部分については、板厚分の偏心を考慮するため剛な棒部材を配置する。図6に部分構造の要素分割の一例を示す。

以上の解析の流れをまとめると図7に示す通りである。

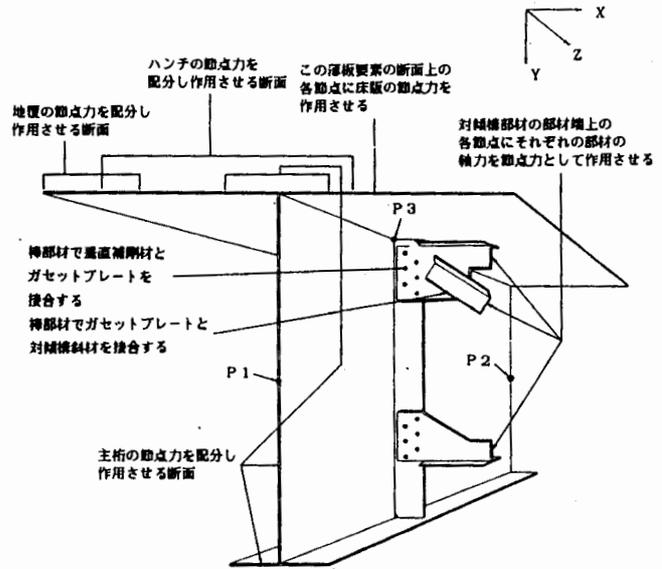


図5 3次元部分構造モデル

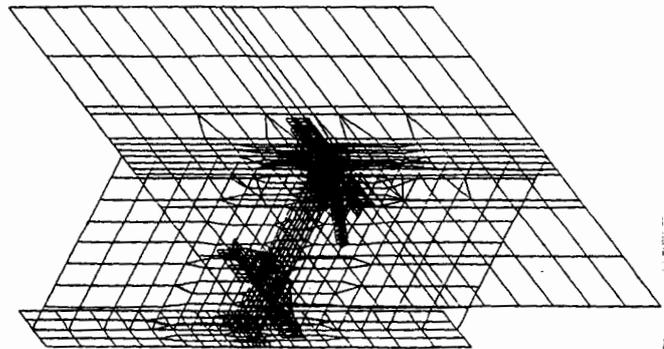


図6 部分構造の要素分割図

4. 全体構造の解析結果と

実測値の比較

解析対象として示した図1の三本主桁橋の中央径間中央の対傾構番号7の対傾構位置走行車線上に、道路橋示方書⁷⁾に規定される20ton車を載荷した際の同対傾構位置の床版のたわみおよび対傾構の部材力を解析し(図3参照)、実測値⁹⁾とを比較してそれぞれ図8および図9に示す。

1) 床版のたわみ

床版のたわみの解析値は実測値のほぼ75%程度である。図中には参考のため横構を考慮しない場合の結果も示してあるが、横構を考慮した場合よりたわみ量は最大で約5%程大きく生ずる程度である。なお、対象の実橋においては床版のひび割れが著しく、剛性低下を生じているものと思われるが、明確なデータが得られていないため解析ではこの点を考慮に入れていない。

2) 対傾構の軸力

上支材および斜材については、実測値で軸力の絶対値が最大となっているD1斜材に関して、解析値と実測値との差は2%程度である。また、下支材については、縦桁S1と主桁G2との間の絶対値の大きな軸力について、解析値と実測値の差は8%程度である。また、床版のたわみとは異なり、対傾構軸力、特に下支材の軸力に対しては、横構の考慮の有無は大きな影響を与えることが図より読みとれる。

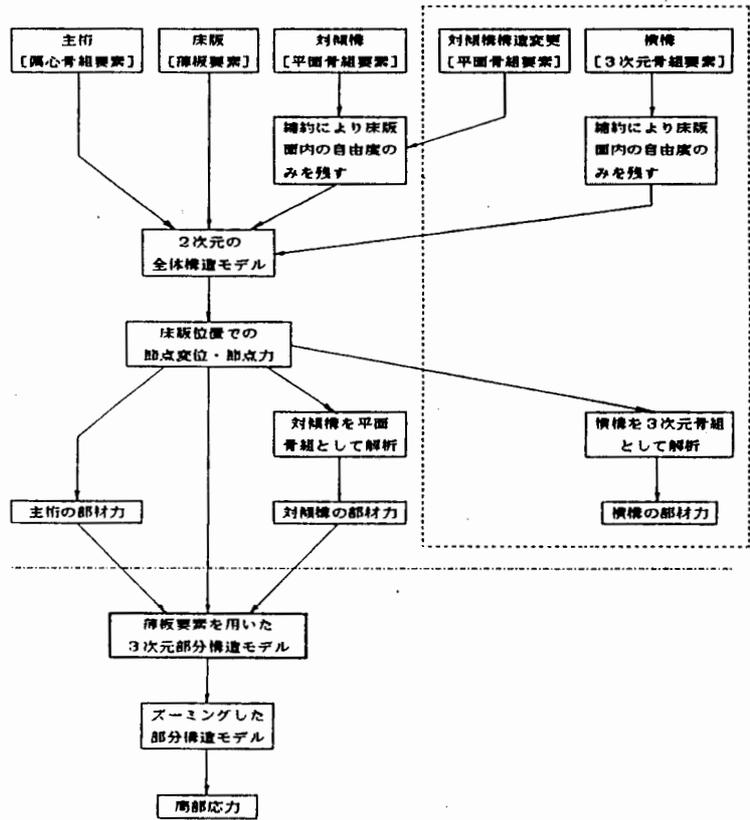


図7 I型並列合成桁の主桁対傾構取合部における局部応力評価の流れ

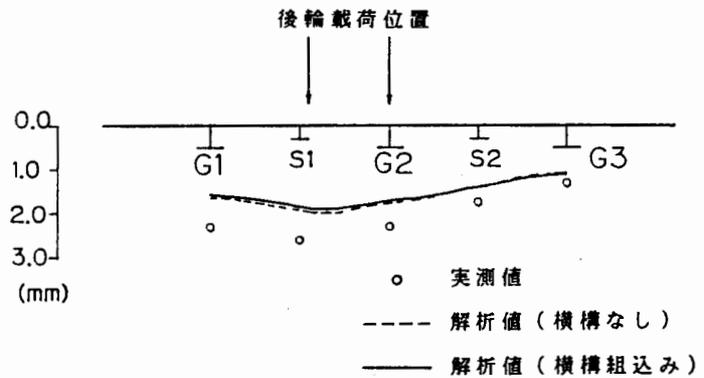


図8 床版のたわみ：解析値と実測値の比較

5. 主桁対傾構取合部局部応力の

計算結果および考察

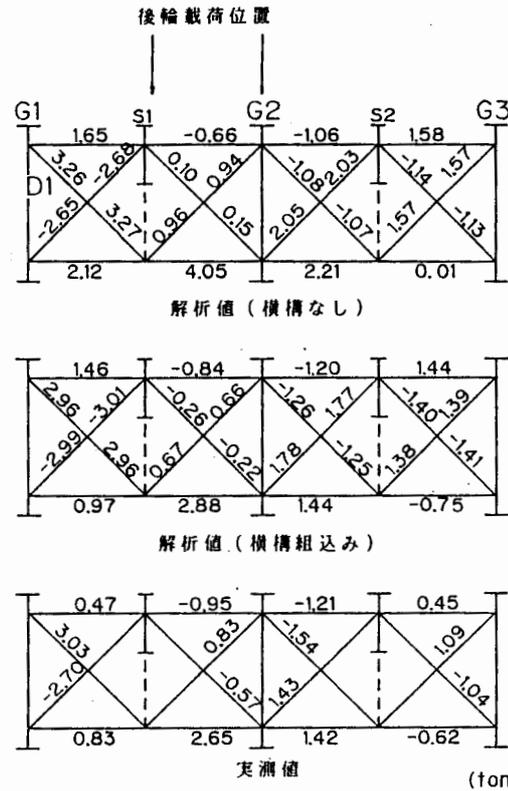
局部応力の計算結果の一例を 図10に示す。この計算例は、文献[4]で取り上げた四本主桁橋の場合に対するもので、走行車線に20ton車を載荷したときの走行車線側外側に付けられた垂直補剛材上端部の応力分布を示している。実橋は下横構を有するが、この問題に対する全体解析においてはこれを無視している。計算結果と実測結果とで、応力分布の全体的傾向は比較的類似しているといえるが、絶対値はオーダー的には合っているものの、大きさそのものは100%を超える差を生じている部分もある。したがって、横構の考慮、部分構造モデルのモデル化、断面力の節点力としての配分方法の吟味などをさらに検討することが必要と考えられる。

6. おわりに

以上に、複雑な構造詳細を有するI型並列合成桁橋の主桁対傾構取合部の応力を解析する方法を提案した。横構をも考慮することにより、橋梁上部構造全体を補剛板として解析する簡易解析方法は、床版変形および対傾構部材力を十分精度よく評価し得ることが明らかとなった。局部応力そのものについては、全体解析結果に基づいて、部分構造を3次元板構造としてモデル化し詳細解析することにより、評価する過程を示した。数値計算の結果は、その基本的な考え方がほぼ妥当であることを示しており、部分構造のモデル化の方法の改良により、より信頼し得る解が得られるものと考えている。

本研究の遂行に際し、貴重なデータの使用を許可いただきました(社)建設機械化研究所の竹之内博行氏に感謝の意を表します。また、小園淳、鹿島昭治、窪野徹、水沢克彦の諸氏には、卒業研究の一貫として計算の実行、図面の作成等多大な協力をいただきました。厚くお礼申し上げます。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費の



軸力は引張を正、圧縮を負とする
 図9 対傾構の軸力：解析値と実測値の比較

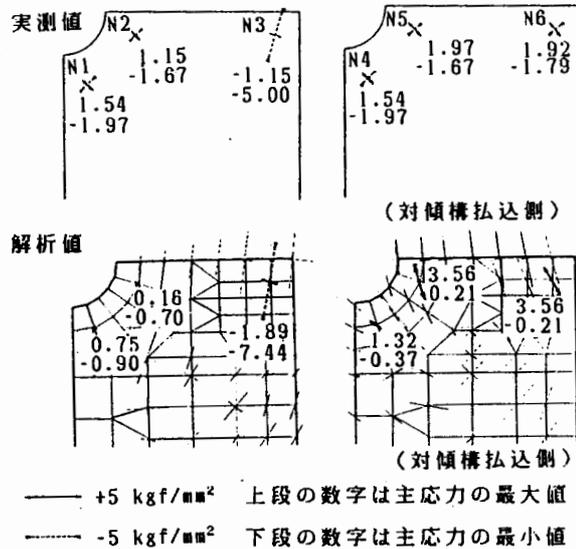


図10 垂直補剛材上端部の主応力：
 解析値と実測値の比較

援助を得て行われたことおよび本論文中のすべての計算は、東京大学大型計算機センター-HITACH-682H/M-680Hおよび武蔵工業大学情報処理センター-FACOM M-360を用いて行ったことを付記します。

参考文献

- 1) 三木千尋・Fisher, J.W.: 海外の橋梁における疲労問題と補修・補強, 橋梁と基礎, pp.30-34, 1983-8.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 増田陳紀・西脇威夫・皆川 勝・街道浩: I型並列合成桁橋の対傾構部材力の簡易解析手法, 構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, 第11巻, pp.199-204, 1987-7.
- 5) Masuda, N, Miki, C, Kashiwagi, H and Kaidoh, H: Analysis of sway bracing members in composite-girder bridges, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.4, No.2, 331s-340s, October 1987.
- 6) 吉田裕・高橋昇・増田陳紀: 有限要素法による部分構造の解析に際して断面力で与えられる境界条件の一処理法, 土木学会論文報告集, 第252号, pp.1-10, 1976-8.
- 7) 日本道路橋協会: 道路橋示方書・同解説, 丸善, pp.8-17, 1980-2.

<付録> 横構要素剛性行列

図4に示した横構要素の剛性方程式は次式によって与えられる。

$$\{F\} = [K] \{u\} \quad (A. 1)$$

ここに

$$\{F\}^T = (\langle F_a \rangle \langle F_b \rangle \langle F_c \rangle) \quad (A. 2)$$

$$\{u\}^T = (\langle u_a \rangle \langle u_b \rangle \langle u_c \rangle) \quad (A. 3)$$

$$\langle F_a \rangle^T = \langle F_x^a \quad F_y^a \quad F_z^a \quad M_x^a \quad M_y^a \quad M_z^a \rangle \quad (A. 4)$$

$$\langle u_a \rangle^T = \langle u_x^a \quad u_y^a \quad u_z^a \quad \theta_x^a \quad \theta_y^a \quad \theta_z^a \rangle \quad (A. 5)$$

であり、 $\{F_b\}$, $\{F_c\}$, $\{u_b\}$, $\{u_c\}$ も同様に定義されるものである。また、

$$[K] = [T]^T [K \square] [T] \quad (A. 6)$$

である。ただし、 $[K \square]$ は図4の横構で構成される骨組構造(節点1, 2, 3で構成される構造)の横構座標系で表わされた剛性行列であり、

$$[T] = [I] + e [L] \quad (A. 7)$$

$$[L] = \begin{bmatrix} [\lambda] & & \\ & [\lambda] & \\ & & [\lambda] \end{bmatrix}, \quad [\lambda] = \begin{bmatrix} [0] & [\alpha] \\ & [0] \end{bmatrix}, \quad [\alpha] = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (A. 8), (A. 9), (A. 10)$$

である。なお、 $[I]$ は18行18列の単位行列、 $[0]$ は3行3列の零行列である。

ANALYSIS OF LOCAL STRESSES AT GIRDER-SWAY BRACING CONNECTIONS
IN COMPOSITE I-GIRDER BRIDGES

Nobutoshi MASUDA 1, Takeo NISHIWAKI 2, and Masaru MINAGAWA 3

SUMMARY

Recently, it is frequently reported in both Japan and other countries that cracks are generated at girder-sway bracing connections in composite I-girder bridges.

The authors presented in 1987 a simple analysis method for sway bracing member forces as a first step to evaluate local stresses induced at the connections which will reveal the mechanism of crack generation. The idea to take this first step is based on the facts that cracks generated at the weldings between upper flanges of main girders and vertical stiffeners are discovered almost limitedly on those stiffeners to which are attached sway bracings, and that local stresses which cause cracks are considered due to sway bracing member forces.

In this paper, as the second step, a trial process to evaluate local stresses themselves by using the results of the first step analysis is presented together with some numerical results in comparison with measurements on an actual bridge.

The process can be described as the following. Firstly, a partial structure including the part where local stresses should be evaluated is cut out from the whole structure. Secondly, the partial structure, consist of decks, main girders, sway bracing members, stiffeners and gussets, is modelled with three dimensional plate elements, and loaded on cut sections by those sectional forces of decks, main girders and sway bracing members which have been obtained through the first step analysis.

1. Associ. Prof., 2. Prof., 3. Research Associ.
Dept. Civil Eng., Musashi Inst. of Tech., Tokyo, Japan