

疲労に着目したプレートガーダー橋二次部材取合部の応力測定結果について

A Stress Measurement near Junction Parts of Secondary Members
in Plate Girder Bridges Devoting Fatigue中井 博^{*}・黒山泰弘^{**}・栄羽憲作^{***}・丹生光則^{****}・明橋克良^{*****}By Hiroshi NAKAI, Yasuhiro KUROYAMA, Kensaku EIHA
Mitsunori NIBU and Katsuyoshi AKEHASHI

In recent years, the fatigue damages of steel highway bridges have been reported frequently. To investigate the stress level in the structural members in steel bridge, a series of experimental studies on an actual plate girder bridge and analytical studies by using F.E.M. are carried out. Firstly, the static loading tests were conducted on the highway bridge and the structural members such as web plate, web gap plates and vertical stiffeners with high stress level were selected. Then, the histograms of stress for these members under the actual traffic flows were observed about 24 hours. Besides, numerous analyses by using grillage theory, F.E.M. throughout the bridge and zoomed F.E.M. for the structural members were executed and their results were compared with the test results.

1. まえがき

わが国において、従来、鋼橋の疲労に関する検討は鉄道橋のみに限って行われ、道路橋においては鋼床版やケーブルなど特定の部材を除いて検討の対象外とされてきた。しかしながら、近年の橋梁構造物の大型化、材料の品質の向上に伴う軽量化および交通車両の走行頻度ならびに重量の増大などの結果、鋼道路橋においても疲労が原因と考えられる損傷事例が増加しつつある。

その主な事例は土木学会の鋼構造委員会の報告¹⁾にまとめられているが、その他の文献にも同様な内容の損傷事例が数多く報告されてきている^{2)~5)}。高速道路の歴史の古い米国における損傷事例は、J.W. Fisherが精力的に分類・整理し、事例集としてまとめており⁶⁾、その要約や和訳も刊行されてきている^{7)~8)}。また、最近、三木らは、損傷事例のデータベース化を図るべく検討を進めている⁹⁾。

一方、これらの損傷事例が報告された時期とあい前後して、現場における実測や数値計算をもとにし、その補修・補強対策法や疲労設計法確立に向けた調査研究が多く報告されるようになってきている^{10)~19)}。ところが、疲労損傷を被りやすい構造詳細部の実働応力の計測結果や疲労損傷を検討するに当たって基礎となる交通荷重に関するデータ^{20)~22)}は、未だ十分に整っているとはいえず、今後も収集の努力を続けていく必要がある。

* 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

** 工修 (財)大阪市土木技術協会 技術部 (〒530 大阪市北区西天満 5-14-10)

*** (株)日本工業試験所 (〒553 大阪市福島区鷺州2-12-17)

**** J I P エンジニアリング(株) (〒550 大阪市西区江戸堀1-3-13)

***** 工修 大阪市立大学助手 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

大学、官庁、および民間の共同研究グループである関西道路研究会・道路橋調査研究委員会においても、昭和60年から、鋼橋の疲労に関する小委員会を発足させ、疲労損傷事例とその対策に関するアンケート調査を始めとして文献調査、各国設計基準の調査²³⁾ および損傷実態調査などを実施してきた。

本研究は、その調査研究の一環として、プレートガーダー橋の2次部材やその取合部の疲労に着目して現地実測を行い、実働応力の大きさを把握するとともに、数値計算結果と比較し、今後、鋼道路橋の疲労に関する研究に供し得る資料を作成しようとしたものである。

2. 検討対象橋梁と検討内容の概要

検討の対象とした橋梁は、昭和45年に完成の合成桁橋で、大阪市の中心部に位置し、市街地の東西を結ぶ幹線道路の一部をなす高架橋である。その概要を図-1に示す。この路線の交通量は約17,000台/24時間もあり、2車線で時間交通量のピークは1,100台で、また大型車混入率は約7%である。

検討項目とその目的は、表-1に示すとおりである。

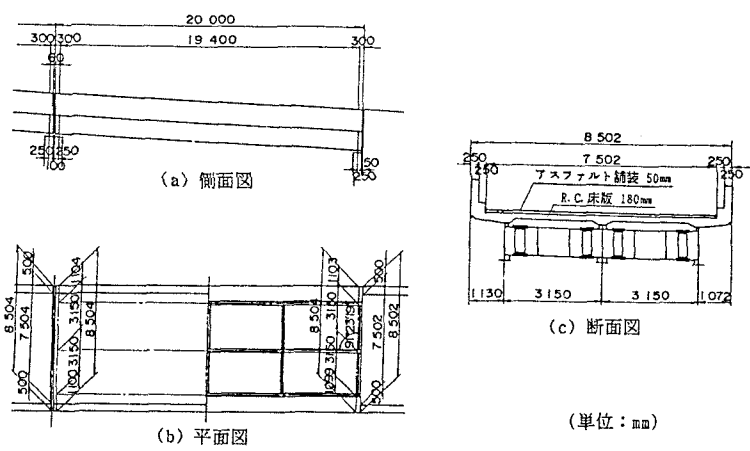


図-1 実験橋の一般図

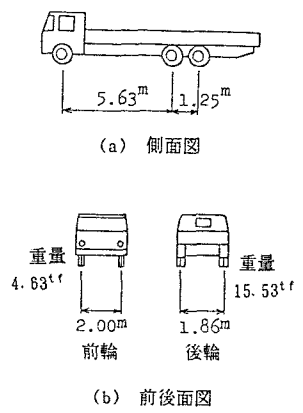


図-2 試験車の寸法と重量

表-1 検討項目

検討項目	目 的
静的載荷実験	- 橋梁全体のたわみ、および、応力を計測し、数値計算モデルの検討に提供する。 - 疲労損傷が起こりやすいと予想される部材の発生応力レベルを把握する。
応力頻度測定	上記で得られた高レベルの応力が発生する部材の応力頻度を実測し、構造詳細部の疲労の検討に供し得る基礎データとする。
全体解析	- 静的載荷実験結果と比較し、詳細解析モデルを決定する。 - 局部応力の数値解析を行うためのデータを提供する。
局部の応力解析	二次部材各部の局部応力をズームアップ手法によりF.E.M.解析し、応力頻度測定結果と比較して、この種の問題への適応性を検討する。

まず、図-2に示すような寸法諸元および重量をもつ試験車を、図-3に示す位置に静的に載荷した。そのときの主桁のたわみ、および、ひずみを図-4に示す位置で測定した。その後、静的載荷実験の結果得られたひずみの測定値が大きく、疲労損傷が起こりやすいと推定される部材を選び、24時間連続してひずみの頻度分布の測定を行った。選定したポイントは、図-4に示した21, 22, 33, 34, 66, 67, 73, 76, 80, 81, 83, 85, 89の合計13点である。ただし、当初、3軸ゲージ（ゲージ長2mm）としていたものは、動的ストレインメーター

の点数の制約上、静的載荷時の最大主応力方向に単軸ゲージ（ゲージ長2mm）として貼りかえた。

つぎに、静的載荷実験結果の妥当性を検討するため、橋梁全体を格子桁理論（GRID/GRIDD²⁴）ならびにF. E. M.（NASTRAN²⁵）を用いて解析した。そして、主桁のたわみ、および、応力については、格子桁モデルによる値と比較してみた。また、構造詳細部の応力については、全橋F. E. M. モデル解析の値をインプットデータとして、再度、構造詳細部についてズームアップしたF. E. M. 解析（COSMOS/M²⁶）を行い、静的載荷実験結果と比較した。

3. 試験車による静的載荷実験結果

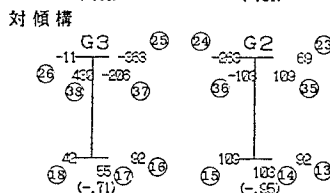
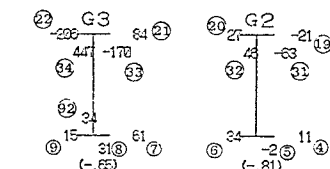
3. 1 静的載荷実験結果

静的載荷実験の各載荷ケースに対し、たわみはスパン $l/2$ および $l/4$ 点の各主桁位置の6点、また鋼桁のひずみは図-4に示した約90点について測定した。一例として、載荷ケースIV④⑤の測定結果を図-5に示す。また、いわゆるウェブギャップ板とその周辺、ならびに、中央の横桁とその隣の対傾構の中間に位置する主桁垂直補剛材におけるひずみの測定結果の一例を図-6に示す。

既往の文献にも示されているように、ウェブギャップ板のスカラップ近傍や主桁ウェブとの取付部

で高いレベルの応力の発生がみられる。また、上フランジのいわゆる首振りの結果生じる主桁腹板の面外曲げ応力が比較的高い応力レベルとなっている。

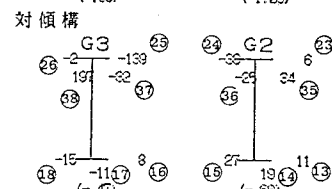
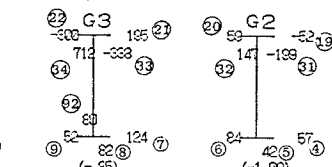
中央横桁



数値は応力値 (kgf/cm²)、() はたわみ値 (mm)、○は図-4のゲージ番号を示す

(a) 載荷ケースIV④

中央横桁



(b) 載荷ケースIV⑤

図-5 主桁のたわみ、および、応力の測定結果

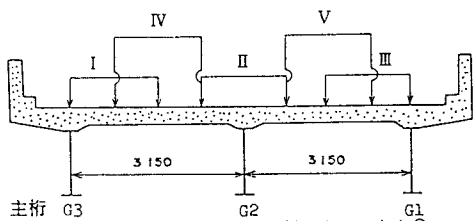


図-3 試験車の走行位置（図中の番号で示す）

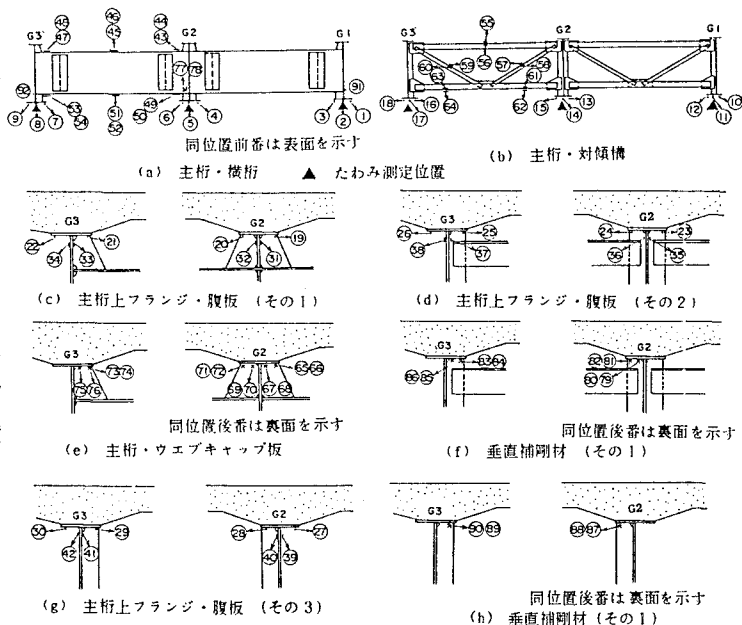


図-4 ひずみ、および、たわみの測定点

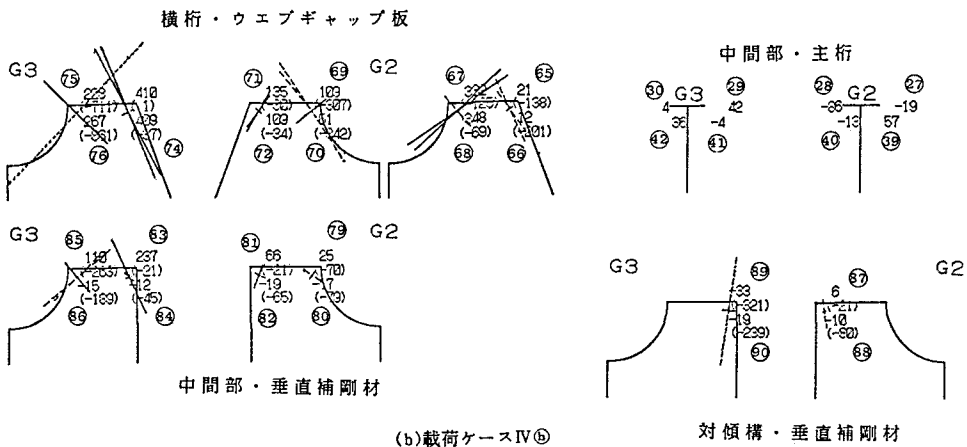
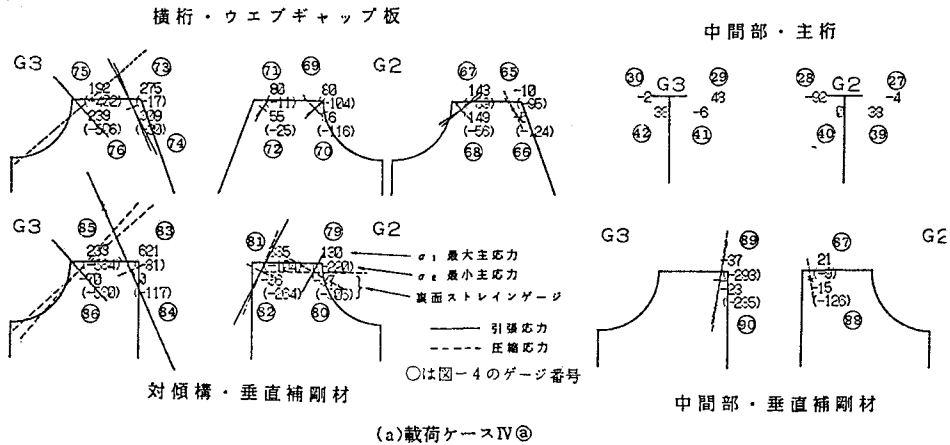


図-6 二次部材の応力の測定結果

3. 2 格子桁解析による評価

主桁のたわみ、および、応力度の測定値の妥当性を検討するため、格子桁とみなして解析(GRID/GRIDD²⁴)した。解析モデルを図-7に示す。

なお、隣接する擁壁と目地を介して接しており、それによる弾性拘束の影響が現れたので、これをバネ定数Kを持つ沈下バネとしてモデルに取り込んだ。このバネ定数を種々変化させて見たところ、 $K=6000\text{tf/m}$ (58.8MN/m) 程度とすると、測定値と

の傾向が比較よく一致することがわかったので、以下このバネ定数を用いて解析することとした。

まず、図-8は、たわみの実測値と解析値とを比較したものである。たわみの実測値と計算値との比を全体にわたり平均すれば、載荷ケースIV③で90%、また、載荷ケースIV⑤で83%であった。

つぎに、下フランジの応力の実測値と解析値とを比較したものを、表-2に示す。応力が 50kgf/cm^2 (4.9

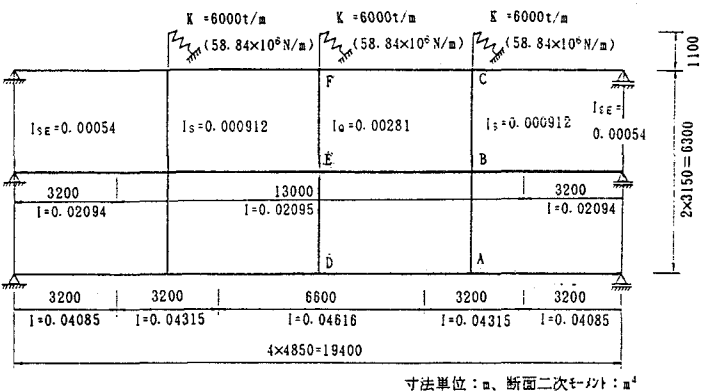


図-7 格子桁による解析モデル

MPa)以上と比較的大きく応力が出ているものについての実測値と計算値との比の平均値は、載荷ケースIV④で79%、また載荷ケースIV⑤で77%であった。

以上のように、主桁のたわみや応力の実測値については、今まで数多く報告されているように、格子桁理論によって良好に評価できることがわかった。

4. 一般交通流下における応力頻度測定結果

応力頻度の測定は、前述のように、合計13点について行った。しかし、文献23)で示唆されているような主桁と横桁との取付部の応力(図-4の77,78番)は、実測によるとかなり小さかったので、今回は測定の対象外とした。

ところで、一般交通流のもとにおいては、各部材に発生する応力が不規則な変動応力として得られる。そこで、これらのある一定応力の振幅を持つ統計量の集団として取り扱う。この振幅の大きさに応じてクラス分けする方法の一つに、雨だれ法²⁷⁾がある。今回の実測結果では、この方法を用いて測定結果を応力頻度として整理した。

数値処理のフローチャートと測定機材の構成とを、それぞれ図-9および図-10に示す。このようにして測定された応力頻度を片対数グラフにプロットして整理したものが、図-11である。これらの図から、ウェッジギャップ板、主桁ウェッジの面外曲げ応力および垂直補剛材において、高いレベルの応力が発生していることがわかる。

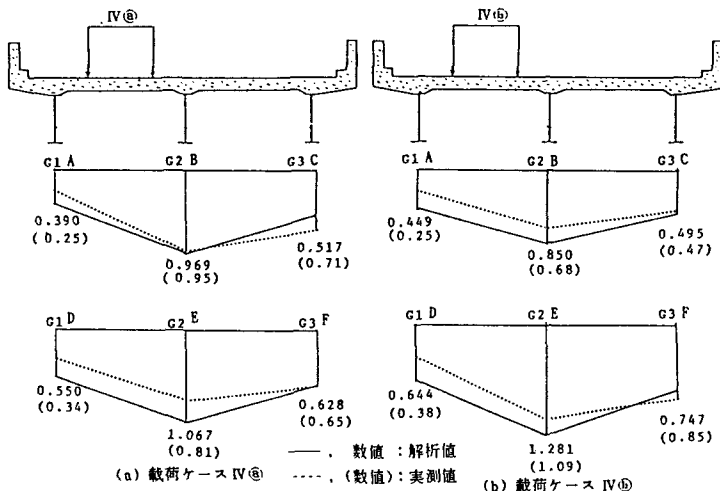


図-8 試験車による実測たわみと格子桁解析モデルによる解析結果の比較

表-2 下フランジの実測応力と格子桁モデルによる解析結果との比較

測定位置	載荷ケース IV④			載荷ケース IV⑤		
	実測値 T (kgf/cm ²)	解析値 C (kgf/cm ²)	T/C (%)	実測値 T (kgf/cm ²)	解析値 C (kgf/cm ²)	T/C (%)
A	3.2	4.8	67	3.6	5.7	63
B	1.4	4.2	—	6.1	10.6	58
C	3.6	4.5	80	8.6	7.6	113
D	8	3.3	—	5	3.5	—
E	10.1	13.4	75	1.9	4.3	—
F	6.3	6.8	93	—6	2.8	—

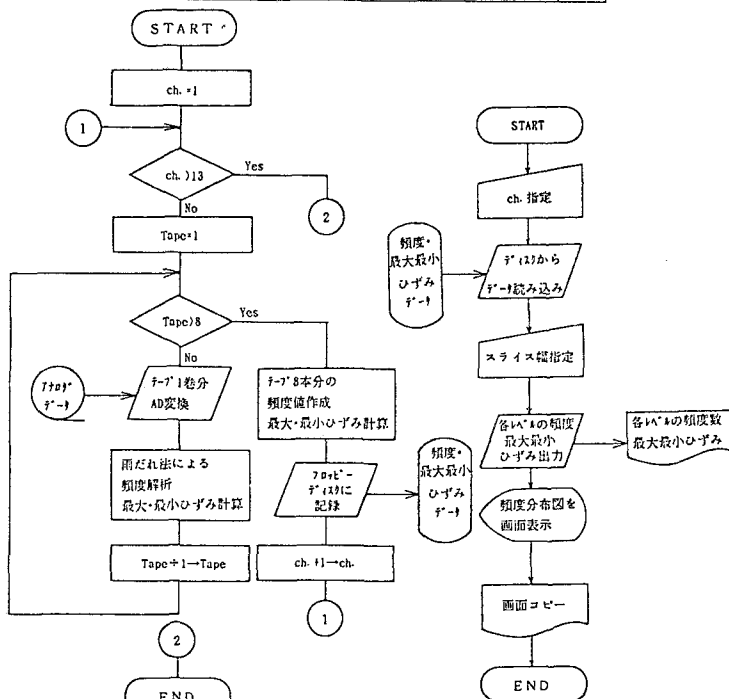


図-9 数値処理のフローチャート

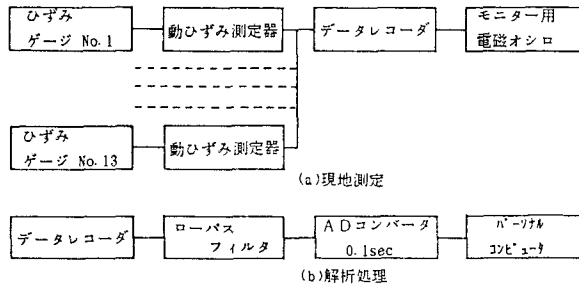


図-10 測定機材の構成

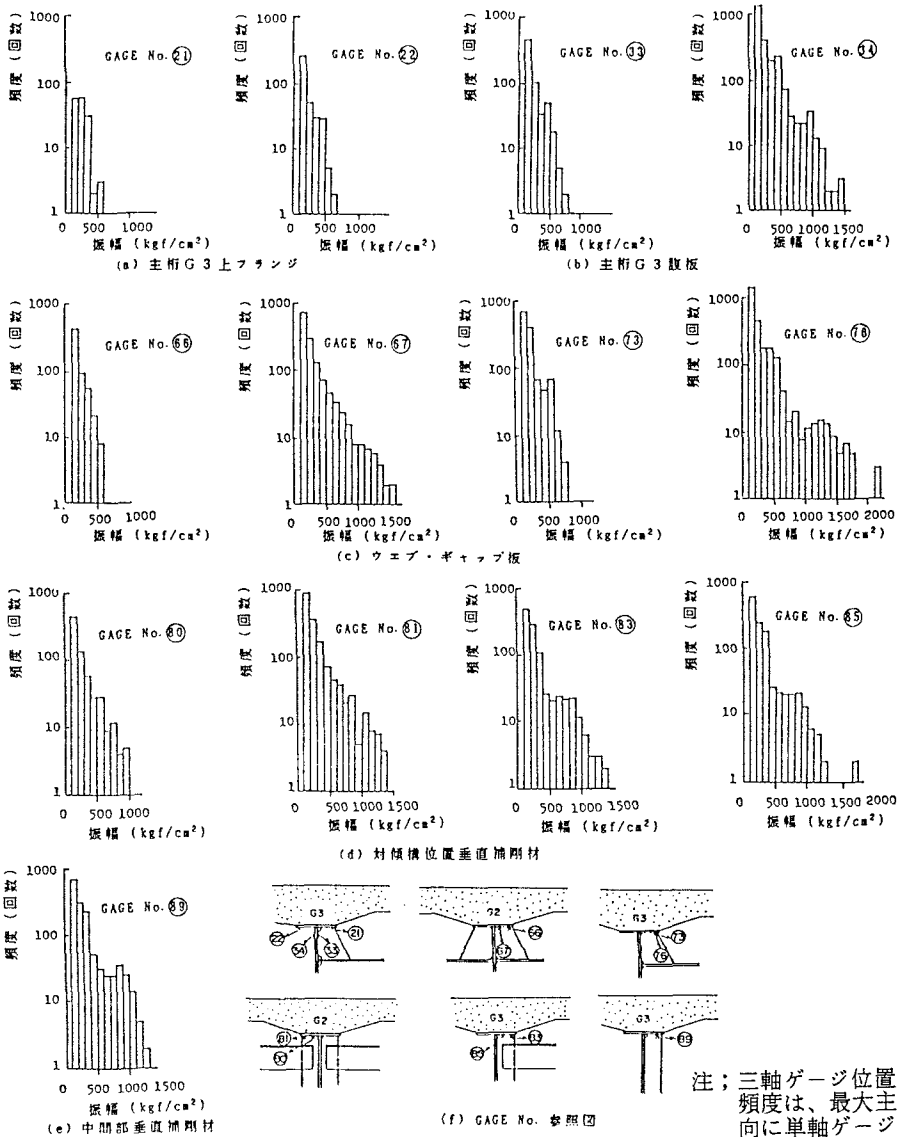


図-11 応力頻度分布図

5. 二次部材取合部の応力解析結果

5. 1 橋梁全体のF. E. M. 解析

二次部材取合部に発生する応力は、各部材に作用する断面力による応力集中はもちろん、各部材の変位や床版の回転が起因して発生するものと考えられる²⁸⁾。これらの局部応力の発生メカニズムを検討するためには、前述の格子桁理論を用いた解析をしても、説明がほとんど不可能に近い。

そこで、図-12(a)に示す橋梁全体のF. E. M. 解析 (NASTRAN²⁵⁾) モデルを作成し、試験車に相当する荷重 (載荷ケースIV④および⑤) を載荷させて解析を試みた。この全体F. E. M. 解析のモデル化において、床版は、曲げ荷重に関して鋼とコンクリートとのヤング係数比を $n=10$ としてコンクリートの引張部分を無視し、圧縮荷重に関しては、 $n=7$ としてコンクリートの全断面を考慮している。また、ウェブギャップ板について

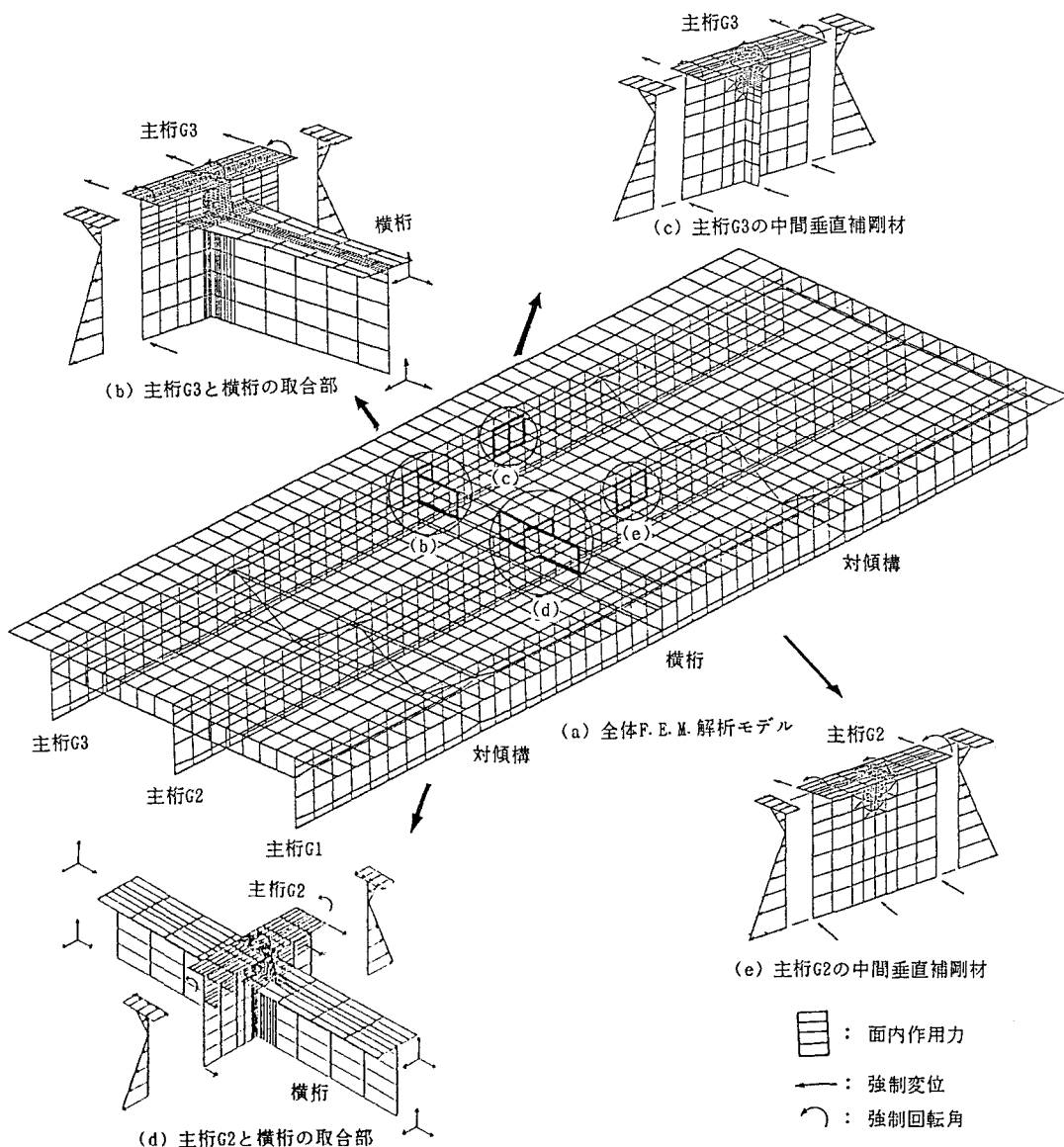


図-12 全体およびブリーミングしたF. E. M. 解析モデル

は、主桁フランジと横桁フランジ間に、梁要素を設け、曲げ挙動のみを考慮している。

これらの結果は、要素分割が粗いため平均的な応力しか出ていず、実測でみられたような局部応力を再現していないように思われる。しかし、主桁や横桁の応力は、かなり良好に評価されている。そのほか、主桁や横桁には、3次元的な変位、とりわけ相当な回転角が発生しており、これらはブーミングを行うに当たって考慮しなければならないことがわかった。

5. 2 ブーミング手法による局部応力の解析

上述の3. の実測結果で示した応力集中現象が起こっている部材、すなわち

- i) ウェブギャップ板 (直応力)
- ii) 腹板 (面外曲げ応力)
- iii) 中間垂直補剛板 (直応力)

の細部の応力をより詳しく調べるため、図-12(b)~(e)に示すように、部分解析モデルとしてブーミングアップして、F. E. M. 解析 (COSMOS/M²⁶) を行った。その際、先に行った全体F. E. M. 解析結果を参考にして、以下のような条件を部分モデルに与えた。

- i) 主桁の面内作用力は、腹板およびフランジに作用する面内力として載荷する。
- ii) 床版の回転は、フランジにおける各節点に、回転角を与えて考慮する。
- iii) 主桁および横桁面内外には、対応する強制変位を与える。

上記のようにモデル化して得られた2次部材取合部の応力を、実測値とともに表-3~4に示す。

これらの表から、解析結果は、主桁G2におけるウェブギャップ板のスカラップ近傍で、実測結果よりやや小さめの値を示しており、その他の部位では、同程度または少し大きめの応力値を示しており、F. E. M. 解析結果はまだ改善の余地を残していると思われる。しかし、各取合部の全体の挙動および応力集中現象を明確にとらえており、ブーミングによる解析の妥当性を示している。さらに、腹板の桁深さ方向の垂直応力、ウェブギャップ板および垂直補剛材の等価応力のコンターを、図-13に示す。

表-3 主桁と横桁との取合部の局部応力

(a) 主桁G2と横桁との取合部

部材	測点	実測応力 (kgf/cm ²)	解析結果 (kgf/cm ²)	参 照 図
上フランジ	19	-53	-434	
	20	59	472	
腹板	31	-200	-104	
	32	147	123	
ウェブギャップ板	65	149	173	
	66	207	213	
	67	409	161	
	68	387	161	
	69	374	143	
	70	370	143	
	71	152	152	
	72	129	150	

(b) 主桁G3と横桁との取合部

部材	測点	実測応力 (kgf/cm ²)	解析結果 (kgf/cm ²)	参 照 図
上フランジ	21	195	678	
	22	-300	-74	
腹板	33	-338	-374	
	34	712	371	
ウェブ板	73	409	896	
	74	429	915	
	75	849	905	
	76	1021	905	

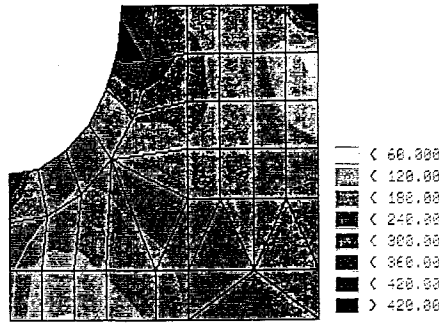
表-4 主桁中間部の垂直補剛材に発生する局部応力

(a) 主桁G3中間部の垂直補剛材

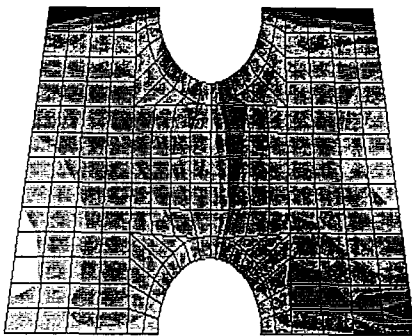
部材	測点	実測応力 (kgf/cm ²)	解析結果 (kgf/cm ²)	参 照 図
上フランジ	29	48	73	
	30	-2	-45	
腹板	41	-6	-4	
	42	38	39	
垂直補剛材	89	277	151	
	90	224	143	

(b) 主桁G2中間部の垂直補剛材

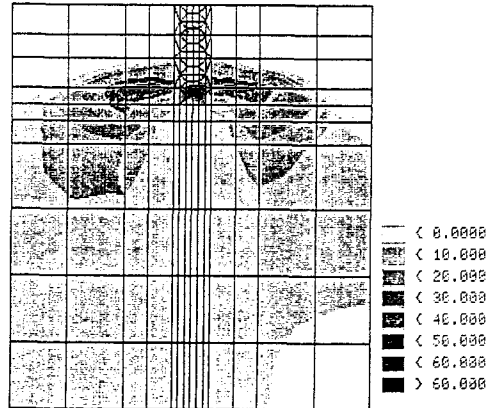
部材	測点	実測応力 (kgf/cm ²)	解析結果 (kgf/cm ²)	参 照 図
上フランジ	27	-4	6	
	28	-92	-60	
腹板	39	38	28	
	40	0	-2	
垂直補剛材	87	26	159	
	88	119	168	



(a) 主桁G2中間垂直補剛材の等価応力



(b) 主桁G2ウェブギャップ板の等価応力



(c) 主桁G2腹板の桁深さ方向の応力

図-13 二次部材取合部の応力分布

6. 実験橋の疲労寿命の推定

以上は、あくまで重量約20tf(196kN)の試験車による結果を示したものである。しかし、実際の交通流のもとでは、前述のヒストグラムのようになり、かなり大きな応力が発生している。これは、交通荷重の重量が、文献20)～22)で指摘されているように、T-20やL-20の2～3倍とかなり大きいことに起因しているためであると思われる。

そこで、実測で得られたヒストグラムを用いて、マイナーの被害則が適用できるとして、累積疲労被害Dを次式で計算してみた。

$$D = \sum \frac{n_i}{(\Delta \sigma_i / 10^6)^{-m}}$$

ここに、 n_i ：応力範囲 $\Delta \sigma_i$ の頻度(回)、 m 、 C ：S-N線図からもとまる定数。

そして、 m および C については、既往の文献や欧米諸国の設計基準^{29)～33)}を参考に、 $m=3$ 、 $C=5.26$ (腹板に関して)、5.07(ウェブギャップ板および垂直補剛材に関して)と仮定した。また、500kgf/cm²(49MPa)以下の応力については無視した。

その結果、腹板では $D=1.97 \times 10^{-5}$ 、ウェブギャップ板および垂直補剛材では、 $D=1.90 \times 10^{-4} \sim 6.88 \times 10^{-5}$ となった。この交通量が今後も続くことと仮定すれば、前者では140年であまり問題はなさそうであるが、後者では、14～50年で疲労被害が発生することになる。今後、重荷重を受けるこの種の鋼道路橋は、注意深く点検のうえ、維持管理してゆく必要があると考えられる。

6. まとめ

本報告は、最近、増加しつつある鋼道路橋の疲労損傷に対して、大阪市内に架かる合成桁橋を対象に現地実測とF.E.M.解析をもとに検討したものである。ここで得られた結果は、以下のようにまとめることができる。

- 1) 重量約20tf(196kN)の試験車による静的載荷実験を行った。そして、橋梁全体にわたる格子桁解析を行い、主桁のたわみ、および、応力度の測定値の妥当性を検討した。その結果、今まで数多く報告されているように、格子桁理論により、主桁のたわみや全体的な応力を良好に評価できることがわかった。しかし、二次部材の応力については説明が不可能であった。
- 2) 一方、これらの実測結果では既往の文献でも明らかなように、ウェブギャップ板には高い応力が発生し、スカーラップ近傍では800kgf/cm²(78MPa)を超える値が得られた。そして、腹板においても面外曲げ応力が700kgf/cm²(69MPa)程度発生していた。また、横桁と対傾構との中間部に取付けられた垂直補剛材のスカーラップ近傍や主桁ウェブにも同様、応力集中する傾向がみられた。
- 3) さらに、24時間にわたる応力頻度計測から得られた各部材の最大応力振幅は、①ウェブギャップ板周辺のウェブ:1600kgf/cm²(157MPa)、②ウェブギャップ板:1900kgf/cm²(186MPa)、③対傾構取付け部の垂直補剛材:1900kgf/cm²(186MPa)、④横桁と対傾構との中間の垂直補剛材:1700kgf/cm²(167MPa)である。これらの応力は静的載荷実験(車両重量約20tf(196kN))で得られた応力の2倍以上であり、既往の荷重測定結果でも明らかなように、40tf(392kN)を超える重量車が通行していたものと考えられる。
- 4) 二次部材取合部のこのような応力集中現象を明らかにするため、まず橋梁全体のF.E.M.解析モデルを作成し、試験車に相当する荷重を載荷させて解析を行った。つぎに、この結果を参考に、二次部材取合部をズームアップして、さらに細部のF.E.M.解析を行った。このようなズーム解析により、二次部材取合部に発生する応力を的確に把握できることがわかった。
- 5) 実測で得られたヒストグラムを用い、マイナーの被害則が適用できるとして疲労被害Dを計算すると、最も厳しいと思われるウェブギャップ板や垂直補剛材では14～50年で疲労被害が発生する結果となった。種々の仮定のもとであるが、本橋は非常に厳しい状況下におかれていると判断できる。

謝辞 本研究を行うに当たり、関西道路研究会・道路橋調査研究委員長の神戸大学西村昭教授に種々御助言を賜った。また、同疲労小委員会のメンバーである大阪大学 堀川浩甫教授、同・松井繁行助教授および金沢大学 梶川康男教授には、実測の際に種々な御指導をいただいた。さらに、現場実験には、同小委員会の多数の方々の御協力を得た。これらを付記して関係各位に深甚の謝意を表する。

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年4月
- 2) 西川和廣：道路橋における疲労問題と補修・補強、橋梁と基礎、Vol.17、No.8、pp.19～23、1983年8月
- 3) 西川和廣：既設道路橋の疲労に対する耐荷力判定の試み、第16回日本道路会議特定課題論文集、pp.285～287、1985年10月
- 4) 西川和廣：プレートガーダー橋の疲労損傷例、道路、第533巻、pp.58～63、1985年7月
- 5) 堀川浩甫：橋梁の損傷と補修、溶接学会誌、第52巻、7号、pp.13～22、1983年7月
- 6) John. W. Fisher : FATIGUE AND FRACTURE IN STEEL BRIDGES, Case Studies, Jhon Wiley & Sons, 1984
- 7) John. W. Fisher, 三木千寿：米国の溶接橋梁に生じた疲労被害例、橋梁と基礎、Vol.16、No.10、pp.18～24、1982年10月

- 8) John. W. Fisher著、阿部英彦、三木千寿訳監修：鋼橋の疲労と破壊、建設図書、昭和61年9月
- 9) 三木千寿、坂野昌弘、館石和雄、福岡良典：鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析、土木学会論文集、第392号、I-9、pp. 403～410、1988年4月
- 10) 建設省土木研究所：疲労損傷を受けた合成H形鋼橋の応力頻度測定、土木研究所資料、第2344号、昭和61年3月
- 11) 建設省土木研究所：既設橋梁の耐久性評価・向上技術に関する調査研究、土木研究所資料、第2420号、昭和61年11月
- 12) 阪神高速道路公団・（社）日本橋梁建設業協会：鋼桁切欠部の健全度に関する調査研究報告書、昭和58年3月
- 13) 大阪大学溶接工学研究所・日本鉄塔工業(株)：合成I桁橋における主桁と横桁の取合部の疲労強度に関する検討、昭和61年3月
- 14) 中井博、北田俊行、石崎浩、明橋克良：曲線プレートガーダーの疲労実験、土木学会土木学会第43回年次学術講演会講演概要集、I-144、1988年10月
- 15) 前田幸雄、大倉一郎：プレートガーダーウェブの初期たわみと疲労亀裂発生との相関に関する研究、土木学会論文報告集、第319号、pp. 1～11、1982年3月
- 16) 前田幸雄、大倉一郎：薄板の面外変形の起因する疲労亀裂に与える初期たわみの影響、土木学会論文報告集、第329号、pp. 1～11、1983年1月
- 17) 竹名興英、川上博道、伊藤文夫、三木千寿：ウェブガセット溶接継手の応力解析と疲労寿命予測、土木学会論文集、第392号、I-9、pp. 345～350、1988年4月
- 18) 増田陣紀、三木千寿、西脇威夫、皆川勝：合成I桁橋の対傾構部材力に及ぼす床版損傷補修対策の影響、構造工学論文集、Vol. 34A、pp. 375～383、1988年3月
- 19) 三木千寿、竹之内博行、森猛、大川征治：主桁と対傾構との取合部の疲労損傷に対する補修方法の提案、構造工学論文集、Vol. 34A、pp. 543～550、1988年3月
- 20) 阪神高速道路公団・設計荷重委員会：阪神高速道路公団における活荷重評価のための解析
- 21) 大阪市土木局・長大橋技術研究会：旧阪堺大橋の調査研究報告書、昭和62年3月
- 22) 三木千寿、村越潤、半田利博、吉村洋司：走行車両の重量測定、橋梁と基礎、Vol. 21、No. 4、pp. 41～45、1987年4月
- 23) 北田俊行、芦原栄治、鯨島能章、田中俊彦、山中和明：各国示方書による鋼道路橋の疲労設計のケーススタディ、土木学会第43回年次学術講演会講演概要集、I-146、1988年10月
- 24) GRID/GRIDD：JIP USER'S GUIDE, 1982年4月
- 25) MSC/NASTRAN USER'S MANUAL, 1985年11月
- 26) (株)横河技術情報：COSMOS/M(バージョン1.5)、1988年1月
- 27) 小西一郎編：鋼橋基礎編I、丸善、昭和52年7月
- 28) 北沢正彦、大西俊之、川北司郎、林秀侃：鋼I桁主桁と横桁あるいは対傾構との取合部の疲労損傷とその対策、阪神高速道路公団・技報、第6号、pp. 122～134、1986年3月
- 29) AASHTO: Standard Specifications for Highway Bridges, 13th Ed., 1983
- 30) Swiss Society of Engineering and Architects: Sia 161, Steel Structures, 1979
- 31) BSI: BS5400, Steel, concrete and composite bridges, part 10, Code of practice for fatigue, 1980
- 32) ECCS: Eurocode 3, Common Unified Code of Practice for Steel, Draft, 1983
- 33) ECCS: T G 6, Recommendations for the Fatigue of Steel Structures, 1985

(1988年10月12日受付)