

鋼道路橋の疲労設計のための実応力比に関する研究

鈴木 博 之*

Study on Stress Reduction Factor for Fatigue Design of Highway Bridges

Hiroyuki SUZUKI

It is well-known that calculated stress in design of bridges does not agree to actual occurring stress in members. Therefore, it is planning that the difference between these stresses is corrected by stress reduction factor for accurate evaluation of stress in fatigue design of bridges. Stress reduction factor is defined as the ratio of actual stress to calculated stress. This paper describes the relation between stress reduction factor of highway bridges and span, clear width and design stress on the basis of data on 75 girder bridges.

1. はじめに

橋梁の部材の疲労に関する近年の活発な研究によって、これらの部材の疲労強度がかなり明らかになってきた。その結果、部材の疲労強度の精度に比べて応力の精度が必ずしも十分とは言えないことが指摘されている^{1)・2)・3)}。このため、実橋における応力測定をもとに、実測応力度を計算応力度で除した値を実応力比あるいは構造解析係数と定義し、これを用いて応力の精度を上げることが考えられている。

鉄道橋においては既にこの考え方が取り入れられており、構造解析係数として0.85が用いられている¹⁾。道路橋においても構造解析に関する係数を用いる考え方が、「既設橋梁の安全性照査に関する一試案」に示されているが、計算応力度と実応力度の差によって生じる余裕を考慮するための係数は明示されていない⁴⁾。

本稿では、道路橋の支間、幅員ならびに計算応力度と実応力比(実測値/計算値)の関係を既往の実測データを用いて分析し、プレートガーダー橋の疲労設計における実応力比として妥当な値を設定することを試みる。

2. 調査データ

本稿において調査したデータは、建設省土木研究所が応力測定を実施した30橋²⁾、東京都が応力測定を実施した46橋のうちの35橋⁶⁾、大阪市が応力測定を実施した1橋⁷⁾、日本道路公

*建設工学科(土木工学専攻)

団の1橋⁸⁾，首都高速道路公団の3橋，阪神高速道路公団の5橋のデータである^{9)，10)，11)，12)}．
今回の対象は支間中央の主桁下フランジであり，この部位の応力を調査した．

建設省土木研究所と東京都のデータについては文献2)，6)を参照されたい．建設省土木研究所の実測値は総重量20 tの荷重車を静的に載荷して得られたものであり，計算値は格子桁理論により求められたものである．東京都の実測値の多くは，総重量約20 tの荷重車を40 km/h程度で単独走行させた動的な載荷試験結果であり，一部(4橋だけ)には静的に載荷して得られたものも含まれている．一方，計算値は格子計算により求められたものである．

大阪市が実施した応力測定の対象橋梁の基本データを表1に示す．本橋は3本主桁の単純合成I桁橋であり，設計に使用した示方書は昭和39年版の道路橋示方書である．本橋における応力の実測値，計算値ならびに(実測値/計算値)を表2に示す．実測値は荷重車を静的に載荷して得られた結果であり，計算値は格子解析により求められたものである．

日本道路公団が実施した応力測定の対象橋梁の基本データを表3に示す．対象橋梁は5本主桁の単純合成I桁橋であり，設計に使用した示方書は記述されていなかった．表3の橋梁における応力の実測値，計算値ならびに(実測値/計算値)を表4に示す．表4の実測値は総重量20 tの荷重車を定速走行させたときに測定されたものであり，計算値は格子解析により求められたものである．

首都高速道路公団が実施した応力測定の対象橋梁の基本データを表5に示す．いずれも単純合成I桁橋であり，設計に使用した示方書は昭和39年版である．表5の橋梁における応力の実測値，計算値ならびに(実測値/計算値)を表6に示す．表6の実測値は総重量20 tの荷重車を静的に載荷して得られたものであり，計算値は格子解析により求められたものである．

表1 大阪市の橋梁基本データ

橋梁No.	構造形式	支間長(m)	幅員(m)	主桁本数	適用示方書
1	単純合成I桁	19.4	7.5	3	昭39年

表2 大阪市の応力測定結果

橋梁No. 1	主桁 No.	実測値	計算値	実測値/計算値
		(kg/cm ²)		(%)
	G 1	8	33	—
	G 2	101	134	75
	G 3	63	68	93

表3 日本道路公団の橋梁基本データ

橋梁No.	構造形式	支間長(m)	幅員(m)	主桁本数	適用示方書
1	単純合成I桁	47.3	12.6	5	

表4 日本道路公団の応力測定結果

橋梁No. 1	主桁No.	走行車線載荷			追越車線載荷		
		実測値	計算値	実測値/計算値	実測値	計算値	実測値/計算値
		(kg/cm ²)		(%)	(kg/cm ²)		(%)
	G 1	44.1	40.9	108	130.2	212.9	61
	G 2	73.5	177.4	41	84.0	126.7	66
	G 3	63.0	106.5	59	31.5	-12.7	—

表5 首都高速道路公団の橋梁基本データ

橋梁No.	構造形式	支間長(m)	幅員(m)	主桁本数	適用示方書
1	単純合成I桁	35.0	16.5	6	昭39年
2	〃	39.4	16.5	5	〃
3	〃	20.0	8.2	3	〃

表6 首都高速道路公団の応力測定結果

表 3 各部荷重道路公団の能力測定結果

橋梁 No. 1	主桁No.	縦桁増設前					
		走行車線載荷			追越車線載荷		
		実測値	計算値	実測値／計算値	実測値	計算値	実測値／計算値
		(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)		
G 1	181	282	64	92	125	74	
G 2	132	218	64	109	161	68	
G 3	107	127	84	103	152	68	
G 4	111	127	87	103	152	68	
G 5	145	218	67	111	161	69	
G 6	187	282	66	97	125	78	
橋梁 No. 2	主桁No.	縦桁増設後					
		走行車線載荷			追越車線載荷		
		実測値	計算値	実測値／計算値	実測値	計算値	実測値／計算値
		(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)		
	G 1	168	282	60	101	125	81
	G 2	141	218	65	111	161	69
	G 3	97	127	76	105	152	69
	G 4	99	127	78	109	152	72
	G 5	145	218	67	116	161	72
	G 6	170	282	60	101	125	81
橋梁 No. 3	主桁No.	縦桁増設前			縦桁増設後		
		実測値	計算値	実測値／計算値	実測値	計算値	実測値／計算値
		(kg/cm ²)	(%)	(kg/cm ²)	(%)		
		G 1	276	379	73	214	369
	G 2	117	172	68	100	185	54

阪神高速道路公団が実施した応力測定の対象橋梁の基本データを表7に示す。単純合成I桁橋が3橋、連続鋼床版箱桁橋が2橋である。設計に使用した示方書は、橋梁No. 1が昭和31年版の道路橋示方書で、橋梁No. 2, 3, 4が昭和39年版、橋梁No. 5が平成2年版である。しかし、橋梁No. 1の設計に使用された示方書は昭和31年版改正案であり、この改正案に従って昭和39年版の示方書が制定されているので、実質的には昭和39年版である。これらの橋梁における応力の実測値、計算値ならびに(実測値/計算値)を表8に示す。橋梁No. 3においては(実測値/計算値)だけが与えられている。表8の実測値のうち、橋梁No. 1～3は荷重車の静的載荷試験結果であり、橋梁No. 4, 5は荷重車を単独走行させた動的載荷試験結果である。一方、計算値は橋梁No. 2だけが立体FEM解析で求められており、他は格子解析で求められたものである。

表7 阪神高速道路公団の橋梁基本データ

橋梁No.	構造形式	支間長(m)	幅員(m)	主桁本数	適用示方書
1	単純合成I桁	28.73	7.5	3	昭31年*
2	〃	26.9	17.6	5	昭39年
3	〃	28.4	17.6	5	〃
4	連続鋼床版箱桁	54.46+78.105+54.309	9.5	1	〃
5	〃	54.5+72.0+54.5	20.25	2	平2年

*これは昭和31年版改正案を用いたものであり、この改正案に従って昭和39年版の示方書が制定されているので、実質的には昭和39年版である。

表8 阪神高速道路公団の応力測定結果

橋梁 No. 1	主桁No.	載荷ケース 1			載荷ケース 2		
		実測値	計算値	実測値／計算値 (%)	実測値	計算値	実測値／計算値 (%)
		(kg/cm ²)			(kg/cm ²)		
	G 1	99	133	74	153	252	61
	G 2	134	170	79	118	151	78
	G 3	95	131	73	—	—	—
橋梁 No. 2	主桁No.	載荷ケース 1			載荷ケース 2		
		実測値	計算値	実測値／計算値 (%)	実測値	計算値	実測値／計算値 (%)
		(kg/cm ²)			(kg/cm ²)		
	G 1	141	229	62	128	200	64
	G 2	86	145	59	90	139	65
	G 3	38	65	58	44	76	58
	主桁No.	載荷ケース 3			載荷ケース 4		
		実測値	計算値	実測値／計算値 (%)	実測値	計算値	実測値／計算値 (%)
		(kg/cm ²)			(kg/cm ²)		
	G 1	105	170	62	59	99	60
	G 2	97	134	72	86	111	77
	G 3	59	86	69	84	103	82
橋梁 No. 3	主桁 No.	載荷ケース 1	載荷ケース 2	載荷ケース 3	載荷ケース 4	載荷ケース 5	
		実測値 計算値 (%)	実測値 計算値 (%)	実測値 計算値 (%)	実測値 計算値 (%)	実測値 計算値 (%)	
	G 4	74	69	70	75	78	
	G 5	64	62	71	62	62	
橋梁 No. 4	主桁 No.	実測値	計算値	実測値／計算値			
		(kg/cm ²)		(%)			
		143	158	91			
橋梁 No. 5	主桁 No.	実測値	計算値	実測値／計算値			
		(kg/cm ²)		(%)			
			67	97	69		

3. 分析結果および考察

3. 1 実応力比と支間の関係

建設省土木研究所が実施した応力測定結果の実応力比(実測値／計算値)と支間の関係を図1に示す。この図には1つの橋梁で計算応力度が最大となる主桁に関するデータだけがプロットされている。以下の図においても同様である。図1より、建設省土木研究所が実施した応力測定の対象橋梁は支間が15～40m程度であり、構造形式によらず実応力比は1を越えていないことがわかる。

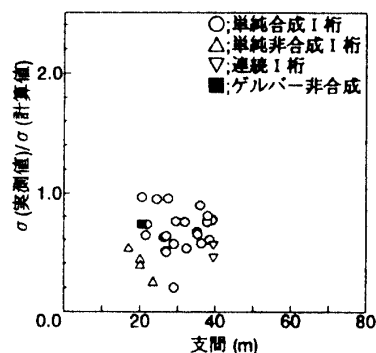
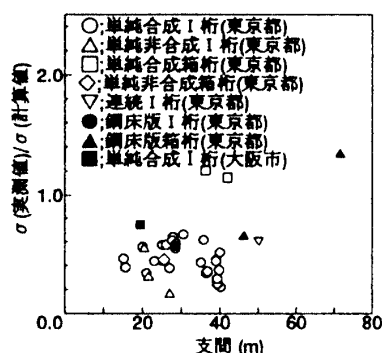
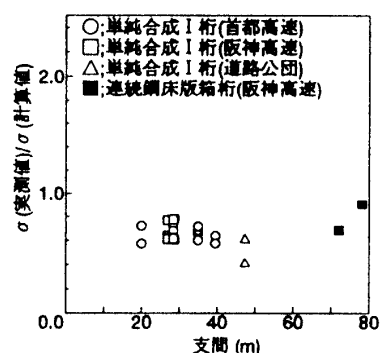
図1 実応力比と支間の関係
(建土研)図2 実応力比と支間の関係
(東京都, 大阪市)図3 実応力比と支間の関係
(3公団)

図2に東京都ならびに大阪市が実施した応力測定結果の実応力比(実測値/計算値)と支間の関係を示す。図2より、東京都ならびに大阪市が実施した応力測定の対象橋梁は支間が15～70m程度であることがわかる。また、単純合成箱桁橋および鋼床版箱桁橋で実応力比が1を越えるものが認められる。

日本道路公団、首都高速道路公団および阪神高速道路公団が実施した応力測定結果の実応力比(実測値/計算値)と支間の関係を図3に示す。図3より、3公団のデータは支間が20～80m程度の橋梁に関するものであり、いずれの橋梁においても実応力比は1を越えていないことがわかる。

図1～3より、実応力比(実測値/計算値)と支間の間に有意な相関があるとは言えないように思われる。

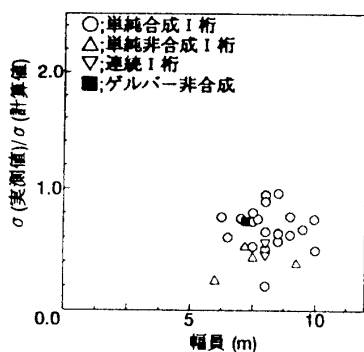
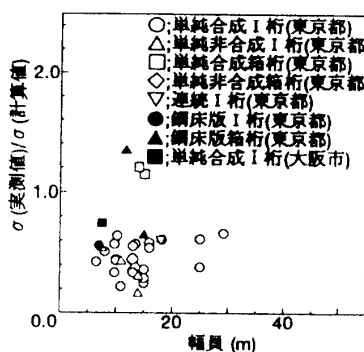
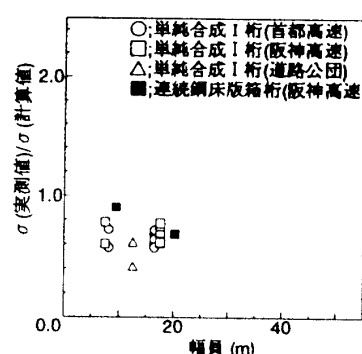
3.2 実応力比と幅員の関係

建設省土木研究所のデータにおける実応力比(実測値/計算値)と幅員の関係を図4に示す。図4より、応力測定の対象橋梁は幅員が約6～10mであることがわかる。この幅員は後述の東京都、大阪市、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団のデータに比べると比較的狭い範囲に限定されているが、それでも実応力比と幅員の間に有意な相関は認められない。

図5に東京都および大阪市の応力測定結果の実応力比(実測値/計算値)と幅員の関係を示す。この図より、東京都および大阪市が実施した応力測定の対象橋梁の幅員は5～30m程度の範囲にあることがわかる。また、実応力比(実測値/計算値)が1を越えているデータを除くと、幅員によらず実応力比はほぼ一定である。

日本道路公団、首都高速道路公団および阪神高速道路公団の応力測定結果の実応力比(実測値/計算値)と幅員の関係を図6に示す。3公団のデータとも幅員がおおよそ8～20mの橋梁に関するものであり、実応力比の最大は阪神高速道路公団の連続鋼床版箱桁橋の0.91である。

以上の結果から、実応力比(実測値/計算値)と幅員の間に有意な相関があるとは言えないように思われる。

図4 実応力比と幅員の関係
(建土研)図5 実応力比と幅員の関係
(東京都, 大阪市)図6 実応力比と幅員の関係
(3公団)

3. 3 実応力比(実測値/計算値)と計算応力度の関係

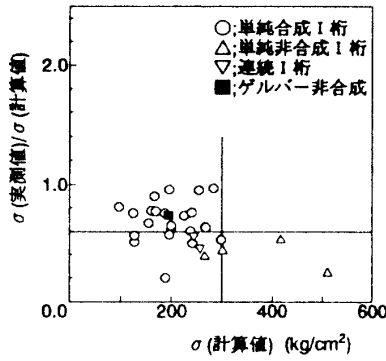
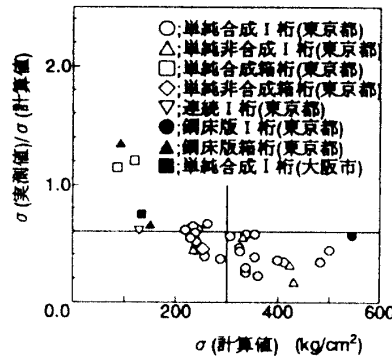
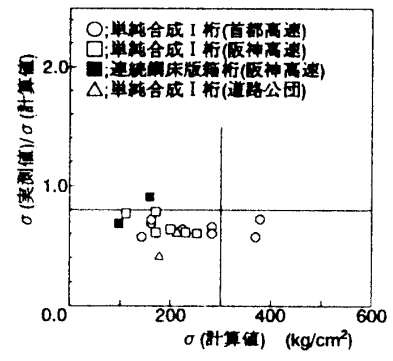
3. 3. 1 構造形式による分類

建設省土木研究所の応力測定結果を実応力比(実測値/計算値)と計算応力度の関係で整理したものを図7に示す。この図は文献2)のデータを文献13)にならってプロットしたものである。一般に、計算応力度が大きくなるにつれて実応力比は低下する傾向があるといわれているが、この図からは必ずしも計算応力度が増加するにつれて実応力比が低下するとは言えない。図中の実線については後述する。

図8に東京都および大阪市の応力測定結果の実応力比(実測値/計算値)と計算応力度の関係を示す。この図より、データ数の多い単純合成I桁橋ならびに単純非合成I桁橋については計算応力度によらず実応力比を0.8とみなすことも可能であるように思われる。また、図7と同様に、図8においても計算応力度が増加するにつれて実応力比が低下するとは言えない。

ここで、文献13)と同様に、主桁下フランジの継手として荷重非伝達型の非仕上げのすみ肉溶接を考える。JSSC疲労設計指針(案)ではこの継手はE等級であり、200万回疲労強度は80MPa、変動応力下の応力範囲の打ち切り限界は29MPa(300kg/cm²)となっている³⁾。図7、8には σ (計算値)=300kg/cm²の線を示した。打ち切り限界300kg/cm²を越えるデータに基づくと、単純合成I桁橋ならびに単純非合成I桁橋に関する実応力比(実測値/計算値)をおよそ0.6と見積もることができそうである。単純非合成I桁橋については図7に示す建設省土木研究所の結果に一致する。鋼床版I桁橋については、たった1橋のデータであり、実応力比を単純合成I桁橋、単純非合成I桁橋と同じ0.6とみなすことは早計であり、今後のデータの蓄積を待たなければならない。

日本道路公団、首都高速道路公団および阪神高速道路公団の応力測定結果を実応力比(実測値/計算値)と計算応力度の関係で整理したものを図9に示す。図にはJSSC疲労設計指針(案)におけるE等級の継手に関する変動応力下の応力範囲の打ち切り限界300kg/cm²の線も示した。変動応力下の応力範囲の打ち切り限界300kg/cm²を越えるデータは首都高速道路公団の2点だけであり、実応力比(実測値/計算値)を見積もるにはデータ数が少なすぎると言わざるを得ない。しかしながら、図9において、実応力比が1に近い阪神高速道路公団のデータは連続鋼床版箱桁橋に関する


図7 実応力比と計算応力度
の関係(建土研)

図8 実応力比と計算応力度
の関係(東京都, 大阪市)

図9 実応力比と計算応力度
の関係(3公団)

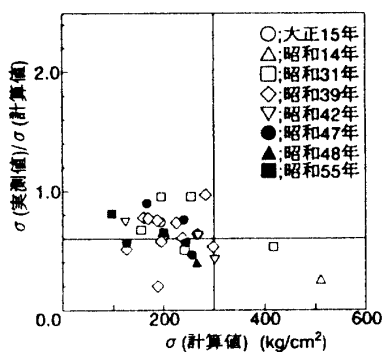
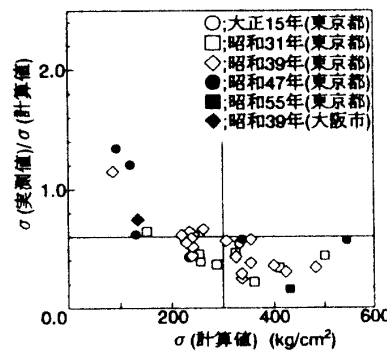
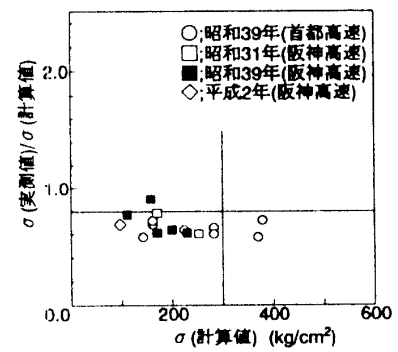
るものであり、高速道路の単純合成I桁橋においては、実応力比(実測値/計算値)は計算応力度によらずほぼ一定であり、0.8とみなすことも可能であるようである。

以上より、一般道の単純合成I桁橋および単純非合成I桁橋においては、実応力比(実測値/計算値)をおよそ0.6と見積もっても良いように思われる。また、高速道路の単純合成I桁橋においては、実応力比(実測値/計算値)は計算応力度によらず、ほぼ一定であり、0.8とみなすことも可能であるように思われる。

3.3.2 適用示方書による分類

建設省土木研究所が実施した応力測定の対象橋梁を設計に用いた示方書の年度によって分類し、実応力比(実測値/計算値)と計算応力度の関係を調査した。結果を図10に示す。前述のように荷重非伝達型の非仕上げのすみ肉溶接を考えた場合の変動応力下の応力範囲の打ち切り限界300kg/cm²を越えるデータは昭和14年と昭和31年の示方書に基づいたものであることがわかる。

東京都および大阪市の応力測定の対象橋梁を適用示方書の年度によって分類し、実応力比(実測値/計算値)と計算応力度の関係を調査した。結果を図11に示す。図10と同様に変動応力下の応力範囲の打ち切り限界300kg/cm²を越えるデータを見てみると、大正15年、昭和31年、昭和39年、昭和47年、昭和55年のデータを含んでいることがわかる。したがって、この図と図8から、大正15年から昭和55年までの示方書に基づいた単純合成I桁橋ならびに単純非


図10 実応力比と計算応力度
の関係(建土研)

図11 実応力比と計算応力度
の関係(東京都, 大阪市)

図12 実応力比と計算応力度
の関係(3公団)

合成 I 桁橋については実応力比を 0.6 とみなしても良いように思われる。

首都高速道路公団および阪神高速道路公団のデータを適用示方書の年度によって分類し、実応力比(実測値/計算値)と計算応力度の関係を調査した。結果を図 12 に示す。図 12 に昭和 31 年版の示方書を適用したデータがあるが、これは昭和 31 年版改正案を用いたものであり、この改正案に従って昭和 39 年版の示方書が制定されているので、実質的にはこのデータは昭和 39 年版である。したがって、首都高速道路公団および阪神高速道路公団の応力測定対象橋梁に適用された示方書は、1 橋(平成 2 年版)を除いて、すべて昭和 39 年版である。

4. まとめ

本稿では、プレートガーダー橋主桁下フランジの実応力比(実測値/計算値)について検討した。主な結果は以下の通りである。

- 1) 支間と実応力比の間に有意な相関は認められなかった。
- 2) 幅員と実応力比の間にも有意な相関は認められなかった。
- 3) 一般道に架かる大正 15 年から昭和 55 年までの示方書に基づいた単純合成 I 桁橋および単純非合成 I 桁橋の主桁下フランジにおける荷重非伝達型の非仕上げのすみ肉溶接を考えた場合、実応力比は建設省土木研究所と東京都のデータからほぼ 0.6 とみなして良いものと判断された。
- 4) 高速道路の橋梁に関しては、荷重非伝達型の非仕上げのすみ肉溶接を考えた場合、実応力比の目安を得るにはデータ数が必ずしも十分とは言えなかったが、単純合成 I 桁橋の実応力比は計算応力度によらずほぼ一定であり、0.8 とみなすことも可能であるようであった。

参 考 文 献

- 1) 鉄道総合技術研究所編；鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，丸善，平成4年10月。
- 2) 建設省土木研究所；既設橋梁の耐久性評価・耐久性向上技術に関する調査研究。
- 3) 日本鋼構造協会編；鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技報堂出版，1993年4月。
- 4) 既設橋梁の安全性照査に関する一試案，土木技術資料26-12，1984。
- 5) 坂野昌弘，藤野陽三，長井正嗣，三上市蔵；300年耐用鋼道路橋の疲労設計法，鋼構造年次論文報告集，第2巻，pp.643～650，1994年11月。
- 6) 高木千太郎，藤本吉一，森 康晴；東京都における既設橋梁の実応力測定と応力実態，橋梁と基礎，pp.19～23，1992年7月。
- 7) 関西道路研究会；疲労小委員会報告書，平成元年3月。
- 8) C. MIKI, T. TOYOFUKU, Y. YOSHIMURA and J. MURAKOSHI; STRESS REDUCTION FACTOR FOR FATIGUE ASSESSMENT OF HIGHWAY BRIDGES, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng. 1-8, pp. 125～133, 1987. 10.
- 9) 阪神高速道路公団，(財)阪神高速道路管理技術センター；阪神高速道路旧梅田入路構造物に関する調査研究報告書，平成4年3月。
- 10) 阪神高速道路公団 保全施設部，(株)横河ブリッジ；単純合成 I 桁橋の耐荷力，耐久性に関する検討資料，阪神高速道路 管理技術センター委員会資料。
- 11) 禮場侍郎，一ノ谷康宏；プレートガーダ橋の横桁取付部の主桁腹板の局部応力の実測，高田機工技報，No. 3, pp. 19～23, 1987年1月。
- 12) 阪神高速道路公団；疲労設計荷重に着目した荷重実態調査業務概要報告書，平成6年3月。
- 13) 藤原 稔，村越 潤，鹿嶋久義；鋼プレートガーダー橋における応力測定結果に関する報告，構造工学論文集 Vol.37A, pp. 1181～1188, 1991年3月。

(平成 7 年11月22日受理)