

設計荷重の組合せに関する意識調査とその解析的検討

SURVEY AND ANALYSIS ON DESIGN LOAD COMBINATIONS

古田 均*¹ 川谷 充郎*² 廣瀬 彰則*³ 神原 康樹*⁴ 酒井 甚一郎*⁵

By Hitoshi FURUTA, Mitsuo KAWATANI, Akinori HIROSE, Yasuki KANBARA and Jin-ichiro SAKAI

In the design of bridge structures, it is quite important to estimate the combination effects of various loads such as dead load, traffic load, temperature load, wind load and earthquake load. In this paper, we conducted a survey on design load combination, in which several questionnaires were distributed among experienced engineers working for governmental offices, consultants and bridge fabricators. The results show that the bridge design specification may be indefinite for the design of some elements or members of plate girder bridges, e.g., cross beams and sway bracings. Therefore, we attempted here to examine the safety of the end sway bracings and to estimate the effects of load combination through the 3-dimensional FEM analysis of an existing plate girder bridge. In the analysis, the real traffic load is generated by the Monte Carlo simulation, in which two kinds of loading data measured at different points are used.

1. まえがき

鋼道路橋設計について、現行の許容応力度設計法と外国の一部で採用している限界状態設計法に関する議論が活発である。^{1) - 3)} さらに各種限界状態を対象に具体的な設計フォーマットの荷重係数に対する検討も行われている。^{4)・5)} これらの過程で、許容応力度設計法の問題点について、責任ある設計実務者の生の声に基づいて焦点を絞ることの重要性が認識されて来た。そこで、一般の鋼橋設計担当者を対象とした『設計荷重ならびに鋼橋の限界状態に関するアンケート調査』を実施した。これは、対象を支間80m以下の鋼鈑桁橋または鋼箱桁橋に限定して、設計荷重およびその組合せに関して問題となっている諸点を抽出し、さらに安全性・使用性という観点からの限界状態に対する関係技術者の意識について調査を試みたものである。

本論文では、そのアンケートのうち、各部材の設計に関与する荷重組合せケースと、それに対する設計者の問題意識についての調査結果について明らかにする。その結果より、断面決定の荷重ケースが多岐にわたり、かつそれについて多くの設計者が疑問に感じている部材として、支点对傾構を取り上げる。さらに、その支点对傾構に焦点を合わせて実橋をモデルに主荷重および横荷重を対象とした荷重シミュレーションおよ

-
- * 1 工博 京都大学助教授 工学部土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)
 - * 2 工博 大阪大学助教授 工学部土木工学科 (〒565 吹田市山田丘2-1)
 - * 3 中央復建コンサルタンツ(株) 第三設計部 (〒532 大阪市淀川区東三国3-5-26)
 - * 4 工修 駒井鉄工(株) 大阪橋梁技術部 (〒555 大阪市西淀川区中島2-5-1)
 - * 5 工修 日立造船(株) 鉄構設計部 (〒554 大阪市此花区桜島1-3-40)

び立体解析を実施した結果について報告するものである。

2. 調査対象および回答状況

調査の対象とした技術者所属団体は、表－1に示す通りであり、有効回答率は67％、エンジニアリング会社（工事会社）を除く有効回答率は82％であった。また、寄せられた回答データ数は 133橋、実設計についての回答は 129橋となった。それらのデータ数を構造形式に分類すると表－2および図－1に示す通りとなる。

表－1 アンケート調査対象団体と回答状況（団体）

	官 庁 ・ 公 団	橋梁専門 メーカー	建 設 コンサルタント	造 船 ・ 重機工業	エンジニア ギ ン ー グ 会 社	鉄工マ ーカ	合 計
回答 なし	4	3	1	1	8	1	18
白紙 回答	—	—	1	—	7	—	8
有効 回答	(9) 6	(67) 19	(28) 9	(16) 8	(3) 3	(10) 7	(133) 52

注：（ ）内は回答データ数を示す。

表－2 データの構造形式分類（橋）



図－1 回答データの構造形式分類

3. アンケート結果の分析

回収された実設計データ 129橋分について、その構造形式別分類はさきに示した通りであるが、さらに種々の項目に着目した分析を加える。

3. 1 構造寸法および設計条件に関する分析

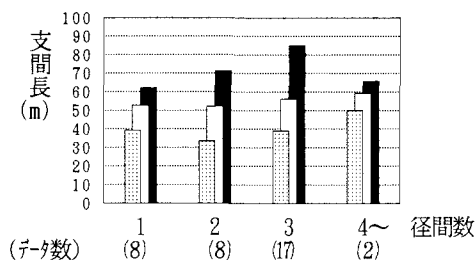
(1) 径間数ごとの支間長の分布

構造形式別に径間数ごとの実橋データ数をまとめると表－3に掲げられるようになる。データ数の多い構造形式について、径間数ごとに支間長の分布を図示すると、図－2のようになる。なお図－2において連続桁の場合は最大支間長について整理したものである。

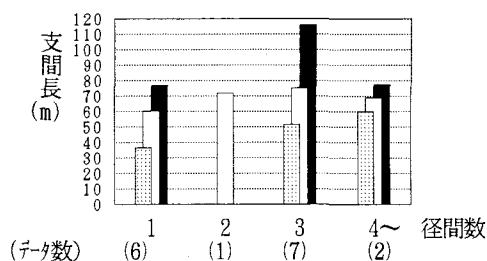
① 表－3および図－2より、箱桁、鉄桁ともに単純桁について、合成桁の有利な支間に非合成桁が多用されているようであるが、これは本アンケートの対象橋梁を最近5年間に以内に設計されたものと限定したため、一時期床版補修の困難さから合成桁が敬遠されていた背景によるものと思われる。

表-3. 径間数分類

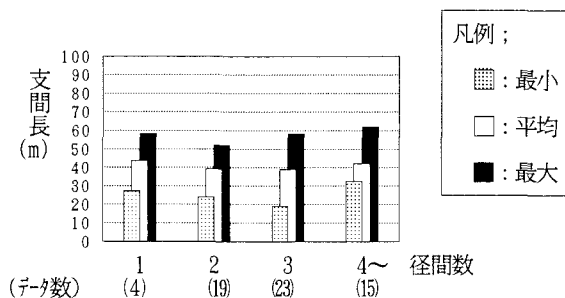
径 間 数	箱 桁					鈑 桁					合 計
	1	2	3	4～	小計	1	2	3	4～	小計	
非合成桁	8	8	17	2	35	4	19	23	15	61	96
合 成 桁	2	1	—	—	3	6	1	1	—	8	11
鋼 床 版	6	1	7	2	16	3	1	2	—	6	22
合 計	16	10	24	4	54	13	21	26	15	75	129



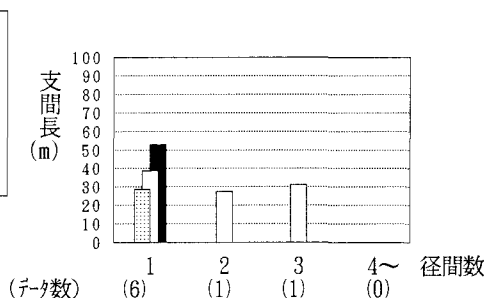
(1) 非合成箱桁 (35橋)



(2) 鋼床版箱桁 (16橋)



(3) 非合成鈑桁 (61橋)



(4) 合成鈑桁 (8橋)

図-2. 径間数と支間長の分布

② 3径間連続桁について支間長の最小値と最大値の差が大きく、個別データを分析すると、中央径間を大きくできる力学的メリットを活かしているものが多いようである。

(2) 設計活荷重による分類

道路橋設計活荷重としては現在一般的な1等橋に対応するTL-20荷重の他、2等橋を対象としたTL-14あるいは特定の路線に架かる橋の設計荷重としてTT-43荷重があるが、得られた実橋データを設計活荷重について分類すると表-4のようになる。

表-4 設計活荷重による分類

	箱 桁				鈑 桁				合 計
	TT-43	TL-20	TL-14	小 計	TT-43	TL-20	TL-14	小 計	
非合成1)	17	17	—	34	40	19	2	61	95
合 成	—	3	—	3	2	6	—	8	11
鋼 床 版	8	8	—	16	1	3	2	6	22

1) 設計荷重無回答1橋あり

3. 2 各部材の断面決定荷重ケース

各部材の設計に際して“考慮した”荷重ケースあるいは照査項目、およびそれらの内“断面決定に関与した”ものについてアンケート調査を実施した。データ数の多い構造形式について、各部材毎の断面決定荷重ケースの一覧を表－5(1)～(4)に掲げる。表中、荷重ケースの記号はそれぞれ次の荷重ケースおよび照査項目を示している。

- ① 死 荷 重

② 死荷重＋活荷重

③ 主荷重＋主荷重に相当する特殊荷重
＋温度変化の影響

④ 主荷重＋主荷重に相当する特殊荷重＋風荷重

⑤ 主荷重＋主荷重に相当する特殊荷重
＋温度変化の影響＋風荷重

⑥ 主荷重＋主荷重に相当する特殊荷重＋制動荷重

⑦ 主荷重＋主荷重に相当する特殊荷重＋衝突荷重

⑧ 風荷重のみ

⑨ 制動荷重のみ

⑩ 活荷重および衝撃以外の主荷重
＋地震の影響＋温度変化の影響

⑪ 施 工 荷 重

(a) た わ み

(b) 細 長 比

(c) 座 屈

(d) 寸 法 制 限

(e) 必 要 剛 度

(f) 降 伏

(g) 疲 労

表 5－(1) 非合成箱桁

(全35橋)

荷重ケース 設備+部材		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
主 桁	フランジ	1	33												1				
	腹 板		11									1			23				
	水平補剛材		3									1				2	31		
	垂直補剛材		4												1	2	30		
分配 横桁	上フランジ		28													2	3		
	腹 板		25												6	2	1		
	下フランジ		28													2	3		
支点 横桁	上フランジ		30		1											1			
	腹 板		24		1										6	1			
	下フランジ		29		2											1			
横 構									1										
ダイヤフラム			28								1					1	25		
床 版	(中間部)	1	33																
	(張出し部)	1	18		3			11	1										
	縦 リ ブ		11										1		1				
	横 リ ブ		2														3		

表 5 - (2) 鋼床版箱桁

(全 16 橋)

荷重ケース 設置部材		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
主 桁	フランジ	1	13	1	1							1	1		1	1	1		
	腹 板	1	8	1	1										5	2			
	水平補剛材		1	1								1			1		13		
	垂直補剛材		3	1								1			1		12		
分配 横桁	上フランジ		8													1	2		
	腹 板		5												3	1	3		
	下フランジ		9									1				1	2		
支点 横桁	上フランジ		8		1											1	2		
	腹 板		5		1										2	1	2		
	下フランジ		8		1							1				1	2		
横 構																			
ダイヤフラム			11	1	1												13		
床 版	(中間部)		7	1															
	(張出し部)		7	1															
	縦 リ ブ		15	1															
	横 リ ブ		14	1													1		

表 5 - (3) 非合成鉄桁

(全 61 橋)

荷重ケース 設置部材		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
主 桁	フランジ		61									1	1		3	2	1		
	腹 板		17	1											40	5			
	水平補剛材		1												1	4	55		
	垂直補剛材		1												2	5	55		
分配 横桁	上フランジ		50						1					1		2	6		
	腹 板		44						1					1	6	2	5		
	下フランジ		49		1				1					1		2	6		
支点 横桁	上フランジ		49		2				1		3		2		1	1	2		
	腹 板		11		29	1			2		12				2	1	2		
	下フランジ		9		24	1			5		14			3	1	1	2		
横 構			3	1					46		17	1		2	1				
ダイヤフラム																			
床 版	(中間部)	3	56																
	(張出し部)	2	30		10			17	1										
	縦 リ ブ																		
	横 リ ブ																		

表5-(4) 合成鉄桁

(全 8 橋)

設計部材		荷重ケース																	
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
主 桁	フランジ	1	8																
	腹板		4												4				
	水平補剛材																8		
	垂直補剛材																8		
分配 横桁	上フランジ		7														1		
	腹板		7														1		
	下フランジ		7														1		
支点 横桁	上フランジ		7		1														
	腹板		1		6						1								
	下フランジ		2		5						1								
横 構									6		2								
ダイヤフラム																			
床 版	(中間部)		8																
	(張出し部)		3		2			4											
	縦 リ ブ																		
	横 リ ブ																		

- ① 全般的に主桁のフランジは死・活荷重すなわち主荷重載荷時にて、また腹板は主荷重および座屈で決定されている。
- ② 補剛材では、必要剛度にて決定されているケースが大半であり、各国示方書間での必要剛度の差も踏まえて、終局強度の評価が問題となろう。
- ③ 鉄桁の支点横桁については、決定される荷重ケースが多岐にわたっており、荷重の組合せが問題となろう。
- ④ 疲労が断面決定に関与したケースはなく、表に示していないが設計上考慮されているケースとして、鉄筋コンクリート床版に2例、鋼床版に5例、主桁垂直補剛材、分配横桁上フランジに各1例のみと少数であった。回答者が“疲労”について照査を行っているという認識を持っているかどうかを表れているのではないだろうか。

3. 3 断面決定ケースに対する問題意識

前節の断面決定荷重ケースについて、設計者がどのような問題意識を持っているのかについて調査した。断面決定ケースについて、“他にも検討すべき荷重ケースがあった”あるいは“安全率に疑問があった”など設計者が問題を感じた場合の数をまとめて表-6に掲げる。表中、断面決定ケースの数が10以上で、かつ妥当でないと考えている割合が20%以上の場合を網かけで示した。この表から横桁、主桁腹板の座屈、床版、横構等の設計について多くの設計者が疑問を抱いていることがうかがえる。特に支点横桁については、前節にも示したように断面決定荷重ケースが多岐にわたり、かつそれらについて設計者の多くが疑問を投げかけていることが浮かび上がってきた。

表－6 妥当以外の回答数／断面決定数

荷重ケース 設置部材		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
主桁	フランジ	14/123										1/2	1/2		1/5	1/3			
	腹板	7/44	1/2												18/77	2/8			
	水平補剛材	2/6														1/6	7/114		
	垂直補剛材	2/9														1/7	9/113		
分配横桁	上フランジ	22/101														2/5	1/12		
	腹板	18/88													4/16	1/5	2/10		
	下フランジ	21/101			1/1											2/5	1/12		
支点横桁	上フランジ	25/101			1/5						1/4		1/2						
	腹板	10/47			9/38	1/1					4/14				1/10				
	下フランジ	10/54			7/33	1/1			1/5		6/16								
横構									27/53		9/19	1/1			1/1				
ダイヤフラム			9/44														8/41		
床版	(中間部)		15/108	1/2															
	(張出し部)	1/3	16/60	1/2	1/16			9/33											
	縦リブ		7/33																
	横リブ		2/22														1/5		

この結果を踏まえ、ここでは支点横桁（端対傾構）に焦点を合わせて、１）現行設計法と立体解析による場合との差、２）実荷重によるシミュレーションとの比較、さらに３）横荷重との組み合わせの影響について評価すべく、以下に解析的検討を行う。

４． 実橋モデルによる設計荷重の解析的検討

４．１ 対象橋梁と解析方法

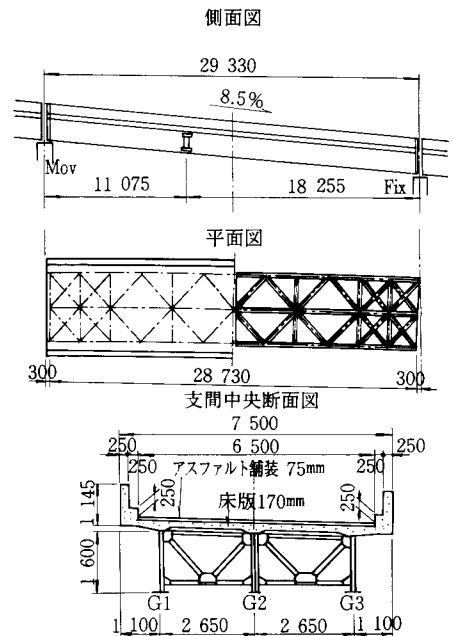
解析の対象としては、図－３に示す阪神高速道路・梅田入路の一部である鋼単純合成 I 桁橋を選定した。本橋については先に実験報告⁶⁾がなされており、載荷実験ならびに薄肉シェル要素で置き換えた立体 F E M 解析結果の対比が示されている。

(１) 解析モデル

解析にあたっては、実橋における R C 床版および R C 壁高欄の剛性のみならず、それらの有する厚みの影響が大であると考え、線形解析を対象として総結点数 1742 に及ぶ 3 次元ソリッド要素を有する立体 F E M モデルを構築した。表－７に各部材毎の適用要素、また図－４にモデル図を示す。

(２) 解析モデルの検証

設定した立体 F E M モデルの合理性を検証するため、文献⁶⁾に示される実測結果および F E M 解析結果との比較を、支間の中央付近に試験車（全重量 20 t f）を載荷した場合を対象として実施した。試験車の諸元を表－８、載荷状況を図－５に示す。



図－３ 対象橋梁一般図

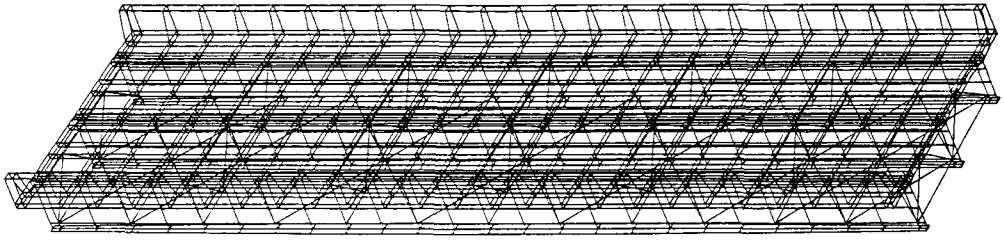


図-4 立体FEMモデル図

表-7 適用要素

部 位	要素の種類	要素数
主 桁 ウェブ	薄肉シェル要素	312
主 桁 フランジ	薄肉シェル要素	312
床版、高欄・地覆	三次元ソリッド要素	572
対傾構、横構	三次元梁要素	106
垂直補剛材	三次元梁要素	300

表-8 試験車の諸元

部 位	第1軸	第2軸	第3軸
軸 距 (m)	3.25		1.30
軸 重 (tf)	5.0	7.5	7.5

支間中央位置における各主桁のたわみ量と応力変動について比較を行った結果、本モデルによる解析結果は、実測値と薄肉シェル要素による立体FEM解析値との間に納まり、図-6および図-7に示す通り実測値に極めて近い値を得ることが実証された。

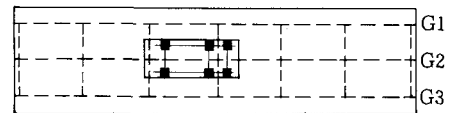


図-5 試験車載荷状況

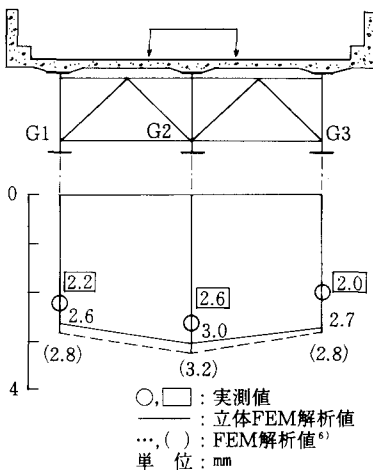


図-6 主桁たわみ量の変化

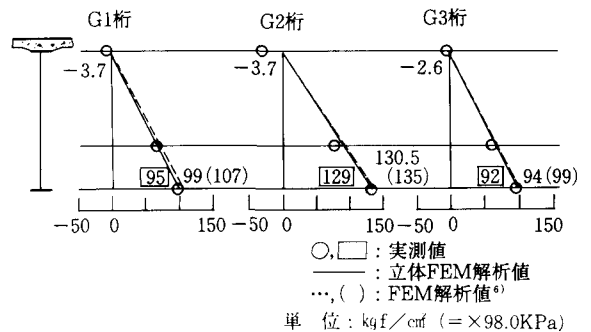


図-7 主桁応力分布の変化

4. 2 荷重

今回対象とした荷重は、死荷重、活荷重、地震荷重、風荷重である。このうち特に活荷重について詳細な検討を行った。

(1) 活荷重モデル

活荷重モデルを作成する場合には、まず実測交通荷重データを調査し、構造物の終局限界状態、または疲労限界状態を正確に評価できる荷重モデルを作成することが重要である。しかし、実測荷重データは今のところあまり蓄積がなく、基準となるデータは現状では求められていない。したがって著者らは構造物の限界状態を決定するには、まず実際の荷重体系を明確にすることが先決問題であると考え、表-9に示す2種のデータを基準荷重モデルとして採用した。ここで、選定した荷重はそれぞれ①都市高速を代表するモデル⁷⁾、②一般国道を代表するモデル⁸⁾に対応している。

荷重特性を決定する主要因としては、一つには車種別車両重量分布があり、重量の分布形状と各車種の軸重比があげられる。また、一つには車種別車両混入率があり、特に疲労には大型車混入率の影響が大きく、ここで選定した2種のデータはそれぞれ異なった大型車混入率を持っている。選定したモデルは、実測データの最大重量の記録を参考にし、車種別重量に最大最小制限値を設定している。その範囲は車種別重量分布特性値の中の総重量特性値のデータを用い、 $\mu \pm 3\sigma$ 程度の値を参考にそれぞれの最大最小値制限として設定した。①の都市高速道路型では、大型車混入率が約17%で最大重量は60tf、②の一般国道型は、大型車混入率は約20%と多く、最大重量は70tfとした。

表-9 基準荷重モデル

① 都市高速道路型(車種数=12) … 阪神高速道路・芦屋集約料金所での測定値

車種分類	総重量特性値			混入率 (%)	軸 数	軸 重 比 (固定軸重比方式)			
	分布形	μ (tf)	σ (tf)			第1軸	第2軸	第3軸	第4軸
1 乗用車類	LN	1.31	0.34	65.04	2	0.527	0.473	-----	-----
2 中型車類	LN	5.11	3.01	18.14	2	0.419	0.581	-----	-----
3 大型車類・2軸(空車)	N	7.36	1.90	1.52	2	0.489	0.511	-----	-----
4 “ (積載車)	LN	14.05	2.32	1.13	2	0.313	0.687	-----	-----
5 “ (過積載車)	EXP	23.14	3.14	0.01	2	0.238	0.762	-----	-----
6 大型車類・タンデム軸(空車)	N	11.21	1.89	1.80	3	0.436	0.206	0.358	-----
7 “ (積載車)	LN	19.77	3.18	6.19	3	0.262	0.270	0.468	-----
8 “ (過積載車)	EXP	32.24	2.24	0.05	3	0.180	0.300	0.520	-----
9 大型車類・タンデム軸(空車)	N	11.21	1.89	2.32	3	0.236	0.255	0.509	-----
10 “ (積載車)	LN	19.77	3.18	1.40	3	0.179	0.193	0.828	-----
11 トレーラ(空車)	N	14.60	3.50	0.94	4	0.359	0.300	0.155	0.186
12 “ (積載車)	LN	26.98	8.63	1.46	4	0.189	0.325	0.221	0.265

(発生時間：24時間、車線数：1車線)

② 一般国道型(車種数=8) … 建設省の測定値

車種分類	総重量特性値			混入率 (%)	軸 数	軸 重 算 定 式		
	分布形	μ (tf)	σ (tf)			第1群	第2群	第3群
1 乗用車類	LN	1.30	0.36	55.1	2	0.501W + 0.03	0.499W - 0.03	-----
2 小型トラック類	LN	3.60	1.35	12.4	2	0.231W + 0.76	0.769W - 0.76	-----
3 中型トラック類	LN	6.20	2.50	13.1	2	0.182W + 1.38	0.818W - 1.38	-----
4 大型トラック類	LN	17.00	6.30	10.3	3	0.109W + 3.22	0.891W - 3.22	-----
5 大型ダンプ、ミキサ類	LN	20.00	9.80	3.0	3	0.081W + 3.60	0.919W - 3.60	-----
6 タンクローリ類	LN	16.00	7.00	1.7	2	0.107W + 3.01	0.893W - 3.01	-----
7 セミトレーラ類	LN	30.00	12.00	3.4	4	0.024W + 4.19	0.360W + 0.70	0.616W - 4.89
8 大型バス類	LN	13.80	2.40	1.0	2	0.376W - 0.464	0.624W + 0.464	-----

(発生時間：24時間、車線数：1車線)

活荷重のモデルとしての自動車荷重列は、この①、②の基準荷重モデルに対して、それぞれ2車線独立に、軸間・輪距は各車種ごとに固定としてモンテカルロシミュレーションを用いて発生させた。

(2) 活荷重シミュレーション

対象とした橋梁が高速道路橋であることから、先ず①の荷重モデルを用いて計算を行い、それと比較するために②の荷重モデルを用いて計算を行った。この場合、自動車荷重列の載荷については以下の条件によっている。

- ・ 走行速度
平均値： $\mu_v = 61.2 \text{ (km/h)}$ ，標準偏差： $\sigma_v = 0$ （固定値）
- ・ 走行位置
平均値： $\mu_b = 0.66 \cdot B \text{ (m)}$ ，標準偏差： $\sigma_b = 0.048$ （正規分布）
ここに、走行位置は各車線ごとに右側レーンマークから左輪までの距離で表す。
 B ：車線幅（m）
- ・ 車間距離
平均値： $\mu_d = 102.0 \text{ (m)}$ ，標準偏差： $\sigma_d = 102.0$ （指数分布）

今回の計算では最大応力に注目しているので、効率化シミュレーション法^{9)・10)}を用いて、着目点（端対傾構）の最大応力値を求めている。

(3) その他の荷重

死荷重は3次元FEMモデルの各要素に単位重量を乗じて求め、風荷重としては比較的頻度の高い季節風の観測データに基づく20m/sをもとに算定した。風荷重を比較的生起頻度の高い、小さめの値に設定したのは、活荷重の極値と組み合わせることに配慮したためである。なお、地震荷重としては橋軸直角方向に設計震度0.20を作用させた。

4. 3 解析結果と考察

解析結果の一例として15時間の通常走行状態を想定し、1車線につき9000台の車を走らせた場合の1回のシミュレーション結果を表-10に示す。①の荷重モデルと②の荷重モデルの結果を比較すると、表-10から明らかなように、②の荷重モデルの方が大きな軸力が発生している。

表-10 シミュレーション解析・立体解析による斜材軸力

CASE	荷 重	軸 力 max(tf)		軸 力 min(tf)	
		衝撃 1.252	衝撃 1.390	衝撃 1.252	衝撃 1.390
	死	- 0.798	- 0.798	- 0.798	- 0.798
	① 活（都市高速）	1.731	1.922	- 3.165	- 3.514
	② 活（一般国道）	2.379	2.641	- 4.316	- 4.792
	風（20m/s）	0.614	0.614	- 0.614	- 0.614
	地	5.400	5.400	- 5.400	- 5.400
1	死+活（都市高速）	0.933	1.124	- 3.963	- 4.312
1	死+活（一般国道）	1.581	1.843	- 5.114	- 5.590
2	死+風	- 0.184	- 0.184	- 1.412	- 1.412
3	死+地	4.602	4.602	- 6.198	- 6.198
4	死+活（都市高速）+地	6.333	6.524	- 9.363	- 9.712
4	死+活（一般国道）+地	6.981	7.243	-10.514	-10.990
5	死+活（都市高速）+風+地	6.947	7.138	- 9.977	-10.326
5	死+活（一般国道）+風+地	7.595	7.857	-11.128	-11.604

この3次元有限要素法を用いたシミュレーション結果の特徴的な点は、引張力と圧縮力が生じていることである。表-11に示すように通常の設計で用いられている簡易計算法では、端対傾構の真上に輪荷重を作用させるのみであるので、圧縮力しか考慮していない。ところが3次元立体解析では引張力が生じている。これは、荷重載荷位置によってねじれ変形の影響によるものである。図-8には②の荷重モデルにおける最大・最小軸力発生時の載荷状態を示す。

表-11 現行設計法による斜材軸力

CASE	荷 重	軸 力 max(tf)	軸 力 min(tf)
	死	- 0.725	- 0.725
	活	0.000	-11.129
	風 (40m/s)	4.755	- 4.755
	地	7.018	- 7.018
1	死+活	- 0.725	-11.854
2	死+風	4.030	- 5.480
3	死+地	6.293	- 7.743

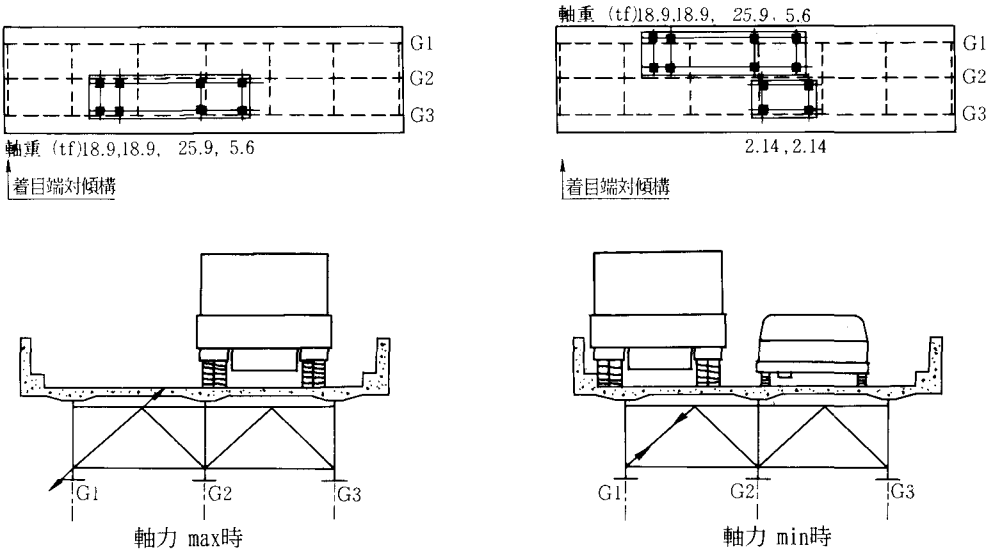


図-8 最大・最小軸力発生時の載荷状態

いま、簡易計算と同じく床版に対する衝撃係数を 1.390 とすると、圧縮力については簡易計算値 -11.129 tf に対し、立体解析値は①の荷重モデルで -3.514tf、②の荷重モデルでは -4.792tf と小さめの値を示しており、簡易計算式が安全側の値を与えることがわかる。これに対し、引張力についてはその絶対値は圧縮力の約55%に過ぎないが、②の荷重モデルを用いると、引張力の最大値は 2.641tf であり、これに死荷重、地震荷重の影響を加えると 7.243tf となる。これを応力に換算すると 425kgf/cm² (41.6MPa) となって、特に問題となるほどの大きさではないが、応力の正負が交番することから疲労現象の一因となっているとも考えられる。ただし、この差は連続した山と谷との差ではないので、各々の波形間にこれだけの差があるわけではないが、シミュレーションの走行状態を変化させ、回数を増やすとこの差はもっと大きくなる可能性があると思われる。

5. 結 論

本研究では、荷重の組合せ問題に着目してアンケート調査を行い、その結果について解析的な検討を行った。以下に得られた主な結論を示す。

- 1) アンケート調査結果より全般的に主桁のフランジは主荷重によって決定され、腹板は主荷重および座屈で決定されていることがわかる。
- 2) アンケート結果より、鈑桁の支点横桁については、決定される荷重組合せが多岐にわたっており、かつそれについて多くの設計者が疑問を抱いていることにより、もう少し詳細な検討が必要であることがわかる。
- 3) 2) の疑問に対する検討を行うため、既存鈑桁橋を対象にソリッド要素を有する3次元有限要素法を用いて解析を行った。実橋を対象とした載荷実験値と比較した結果、応力はほとんど完全に一致し、変位もかなり満足のゆく解が得られた。
- 4) 3) の3次元有限要素モデルを用い、モンテカルロシミュレーションを用いることにより、端対傾構には引張力、圧縮力が作用することがわかった。通常の簡易計算法では圧縮力のみを照査しか行っていないが、1回のシミュレーション結果に於いて生じる引張力は圧縮力の約55%に及んでおり注意が必要である。
- 5) 今回の計算には、衝撃係数の取り方等に問題があるものの、活荷重に対しては詳細な検討を行った。しかしながら、荷重列の発生を増やし、またシミュレーション回数を増加させることによりさらに大きな軸力が生じることも考えられる。今後、地震荷重や風荷重を実際的なモデルで表現し、より実状に即した形で荷重の組合せ問題を扱う必要があろう。

謝 辞

本研究は、土木学会関西支部の調査研究委員会「鋼橋の終局強度・疲労設計法委員会（平成元年度・2年度）」における荷重分科会活動の一環として行ったものである。本委員会の委員長 福本嘸士大阪大学教授ならびに幹事長 松井繁之同助教授をはじめとする、貴重な御意見を賜った各委員に対し深く感謝致します。また解析モデルの対象橋梁に関する資料を提供して頂いた阪神高速道路公団各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 西野文雄・佐藤尚次・長谷川彰夫：許容応力度法の内容と問題点（上），（下）－限界状態設計法および安全性照査の観点から見て－橋梁と基礎，Vol.17, No.12, pp. 10－17, 1983.12, Vol.18, No.1, pp. 52－55, 1984.1.
- 2) 西野文雄・長谷川彰夫・佐藤尚次：限界状態設計法に対する一解釈，橋梁と基礎 Vol.23, No.3, pp. 34－39, 1989.3
- 3) 佐伯彰一：道路橋示方書雑感，土木技術資料，Vol.32, No.6, pp. 25－26, 1990.6.
- 4) 土木学会関西支部共同研究グループ報告書，限界状態設計法による合成桁橋の設計法に関する研究，昭和63年5月.
- 5) 北沢正彦・久保雅邦・白木渡・亀田弘行：鋼製橋脚における荷重組合せの解析と荷重係数の試算，構造工学論文集，Vol.33A, pp.761－773, 1987.3.
- 6) 尾下里治・鈴木巖・林秀侃・名取暢：鋼I桁橋の立体挙動特性に関する実験報告，土木学会第45回年次学術講演会講演概要集，I－327，1990.9.
- 7) 阪神高速道路公団・（財）阪神高速道路管理技術センター：阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究，阪神高速道路公団設計荷重（HDL）委員会報告書，昭和61年12月.
- 8) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室：限界状態設計法における設計荷重に関する検討，土木研究所資料，第2539号，昭和63年1月.
- 9) 高田和彦・藤野陽三：道路橋最大活荷重評価のためのコンピュータシミュレーションの効率化，構造工学論文集，Vol.32A, pp.551－559, 1986.3.
- 10) 久保雅邦・亀田弘行：着目点載荷と渋滞荷重列の組合せによる道路橋の最大活荷重特性の解析，土木学会論文集，第393号／I－10, pp.285－294, 1988.10.

（1990年10月12日受付）