

Br. 73-01



道路事業調査費
大規模特殊事業計画調査
橋に関する試験調査
材料構造調査

土 木 研 究 所 資 料

第 8 7 1 号

新四ッ木橋鋼床版の載荷実験

昭和 48 年 8 月

建 設 省 土 木 研 究 所
構造橋梁部橋梁研究室

目 次

まえがき	1
1. 実験の目的	2
2. 新四ツ木橋の概要	2
3. 実験方法	5
4. 実験結果およびその考察	9
5. あとがき	18
参考文献	18

ま え が き

橋梁研究室では、道路橋の疲労設計の資料を得るため、実橋の鋼床版について一連の実交通下での応力頻度の測定をおこなっている。応力頻度の測定結果の解析には、重量既知の車両を載荷した場合の応力の測定結果があれば、非常に有効である。関東地方建設局首都国道工事々務所管内の新四ツ木橋の鋼床版についても、応力頻度の測定をおこなう予定であるが、開通前の昭和48年3月20日に既知のトラック荷重を載荷して、鋼床版の応力測定を実施した。本報告書は、この実験結果に関するものである。

橋梁研究室	室 長	国 広 哲 男
//	研 究 員	井 上 啓 一
//	長期見学者	大 冢 雄 右

1. 実験の目的

今回の実験の目的は次の3項目である。

- (1) 一般に鋼床版の設計に用いられる直交異方性版理論による計算応力と実測応力とを比較することによって、計算方法の精度を確認すること。鋼床版の設計法としては、参考文献 1) 及び 2) に示すような実用的な設計法が提案されているが、これらの方法は基本的にはいずれも Pelican - Esslinger の考え方³⁾にもとづいた直交異方性版理論によるものである。
- (2) 鋼床版に実際に生ずる応力の値とその応力を生ぜしめる載荷車両の重量との関係を見出すこと。この関係は、後日供用開始後におこなう実交通下での応力頻度の測定から得られる結果の解析に当って、測定値と橋梁上を通過する車両重量との関連をつける上でなくてはならないものである。
- (3) 橋面上を車両が走行するときの衝撃の影響がどの程度あるかを知ること。

2. 新四ツ木橋の概要

この実験を行なった新四ツ木橋は、東京都葛飾区四ツ木において、国道6号線が荒川をわたる位置に架設された橋で、 $66.000m + 66.000m$ の二径間連続箱げた2連と、図-1に示すような $66.500m + 83.000m + 66.500m$ の三径間連続箱げた1連よりなる。幅員構成は、図-2に示すごとく $3.3m$ の歩道と約 $13.200m$ の車道よりなり、床版は開リブの鋼床版で、鋼床版に用いられた鋼材はSMA50Aである。本橋は、昭和48年3月に竣工し、4月より供用が開始されている。

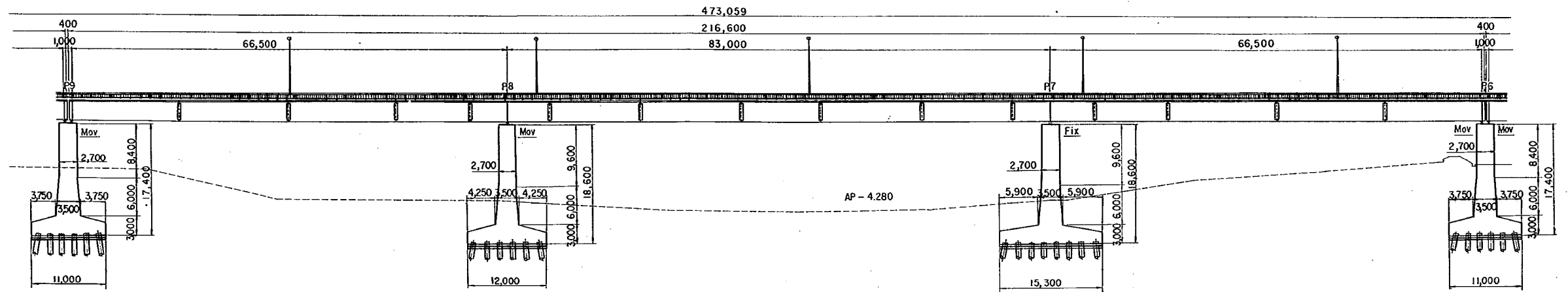


図-1 三径間連続箱げた部の側面

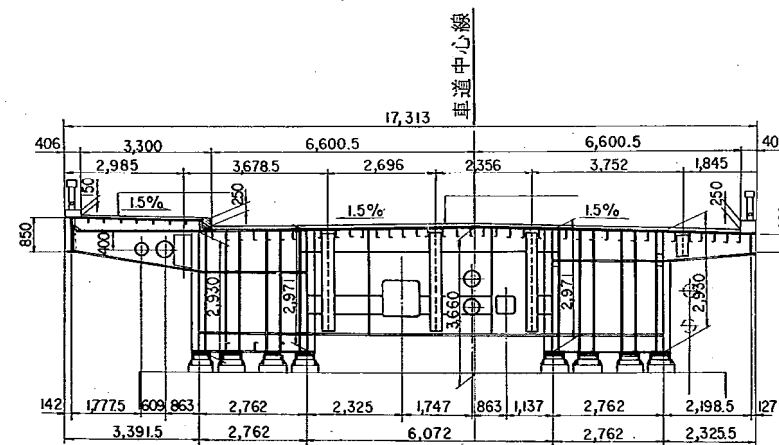


図-2 三径間連続箱げた部の断面

3. 実験方法

3.1 載荷方法

載荷に用いたトラックの諸元を図-3に示す。

載荷の種類は静的載荷及び動的載荷の2種類であり、載荷の順序は表-1に示すとおりである。静的載荷においては一つの後輪（図-4に示す歩道寄りの車輪）の中心が表-1の載荷点

表-1 載荷試験順序

	載荷状態 の番号	試験種別	載 荷 点	走行速度
ゲ ー ジ 1 6 の 測 定	A-1	静 的	ゲージ 5上	0
	" 2	"	" 6上	0
	" 3	"	" 3上	0
	" 4	動 的	" 5上	20km/h
	" 5	"	" 5上	"
	" 6	"	" 6上	"
	" 7	"	" 3上	"
	" 8	"	" 5上	40km/h
	" 9	"	" 6上	"
	" 10	"	" 3上	"
	" 11	"	" 5上	60km/h
	" 12	"	" 6上	"
	" 13	"	" 3上	"
ゲ ー ジ 4 9 の 測 定	B-1	静 的	ゲージ 5上	0
	" 2	"	" 6上	"
	" 3	"	" 3上	"
	" 4	動 的	" 5上	20km/h
	" 5	"	" 6上	"
	" 6	"	" 3上	"
	" 7	"	" 5上	40km/h
	" 8	"	" 6上	"
	" 9	"	" 3上	"

の欄に示す位置にくるようにトラックを載荷した。また動的載荷においては歩道寄りの後輪が表-1の載荷点の欄に示す位置を通行するように、20、40、60、km/hの速度でトラックを走行させた。なお、図-3に示す車輪の接地面積および輪荷重は実測したものである。写真-1にその状況を示す。

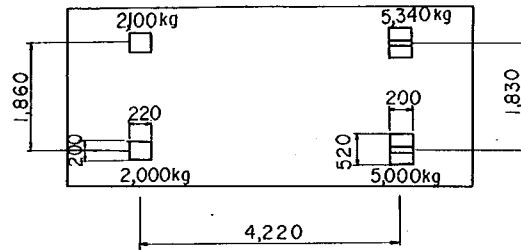


図-3 トラックの諸元



写真-1 輪荷重の測定

3.2 測定方法

測定は、ひずみについて行ない、測定の対象とした部材はすべて縦リブである。ひずみ測定に用いた抵抗線ひずみゲージは図-4に示す断面（縦リブの支間中央断面及び支点上の断面）における縦リブのフランジ下縁に貼付した。載荷によるひずみはデータレコーダによって記録した。抵抗線歪ゲージの取り付け位置の詳細及び歪ゲージの番号を図-4に示す。

測定器の関係上1回の載荷で6点しか測点がとれないので同じ載荷を2回おこない、1回目にはゲージ1～6の測定を、2回目にはゲージ4～9の測定を行なった。

なお、測定の対象とした縦リブは、図-1に示すP6よりP7側に向って、14番目の横リブ間（P6より2.4975m）の縦リブ中心の位置である。写真-2に静的載荷の状況を示す。

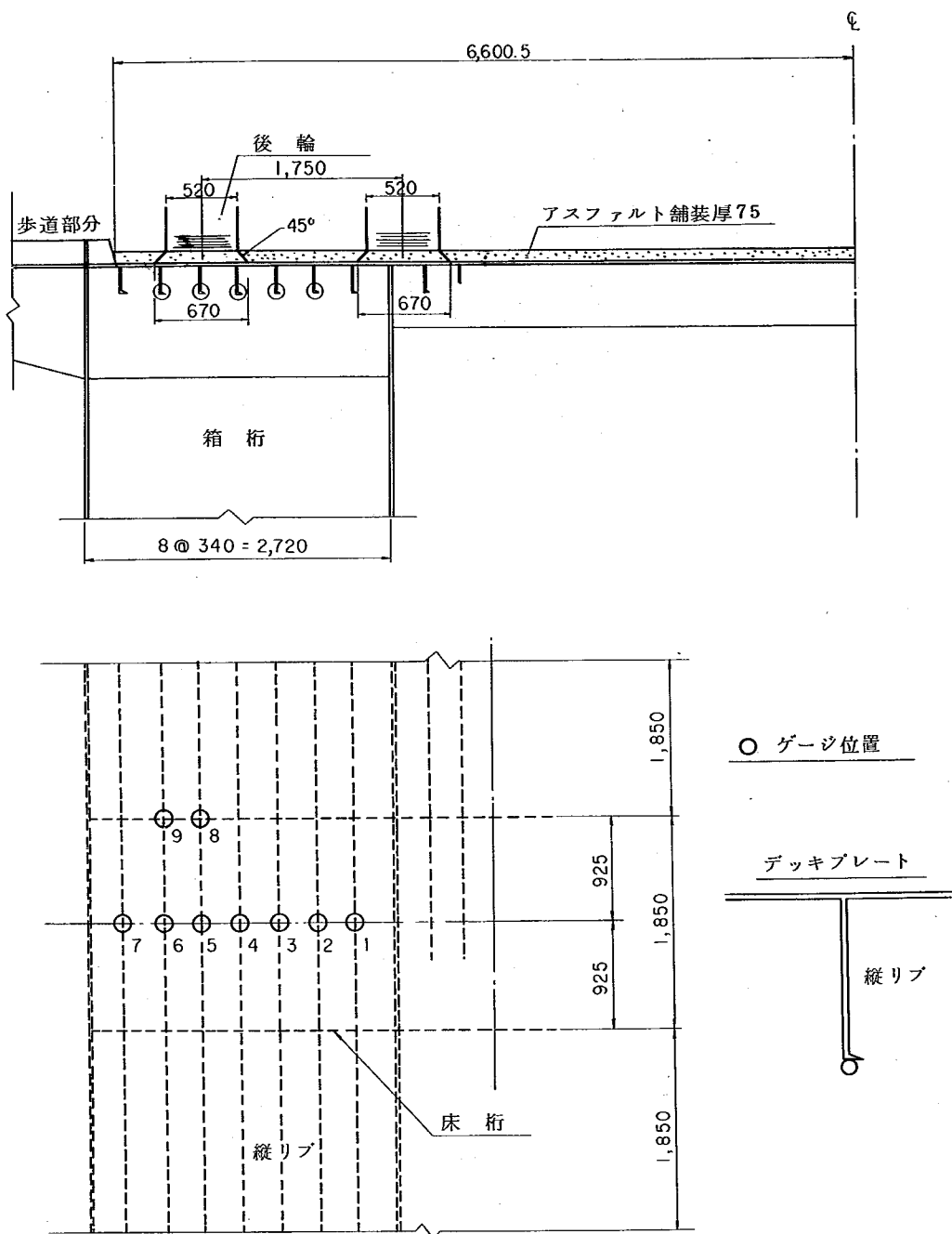


図 - 4 ひずみの測定位置



写真-2 載荷状況

4. 実験結果およびその考察

4.1 実験結果

実験値を表-2.1, 2.2にそれぞれ示す。

表-2.1 応力の実測値と計算値の比較

載荷位置 ゲージ 番号	G 5						G 6						G 3					
	計 算 値		走行速度 (km/h)				計 算 値		走行速度 (km/h)				計 算 値		走行速度 (km/h)			
	荷重分布を考慮	荷重分布を考慮しない	0	20	40	60	荷重分布を考慮	荷重分布を考慮しない	0	20	40	60	荷重分布を考慮	荷重分布を考慮しない	0	20	40	60
G1	-1	4	12	55	-29	0	363	444	195	250	204	187	-20	-61	0	0	0	-32
G2	6	16	25	13	0	0	41	9	63	90	69	44	158	167	137	176	118	189
G3	-20	-61	17	17	41	36	-6	18	17	0	0	-17	378	494	176	244	218	246
G4	158	167	153	153	323	279	-19	-62	27	38	65	69	158	167	75	210	227	210
G5	378	494	271	353	323	361	155	167	149	216	273	349	-20	-61	13	57	57	46
G6	158	167	153	176	65	130	378	494	344	344	323	323	6	16	0	0	0	0

(単位 Kg/cm)

表-2.2 応力の実測値と計算値の比較

載荷位置 ゲージ 番号	G 5						G 6						G 3					
	計 算 値		走行速度 (km/h)				計 算 値		走行速度 (km/h)				計 算 値		走行速度 (km/h)			
	荷重分布を考慮	荷重分布を考慮しない	0	20	40	60	荷重分布を考慮	荷重分布を考慮しない	0	20	40	60	荷重分布を考慮	荷重分布を考慮しない	0	20	40	60
G4	158	167	137	267	227		-19	-62	61	65	82		158	167	65	179	162	
G5	378	494	269	118	187		155	167	116	328	328		-20	-61	23	0	0	
G6	158	167	65	361	338		378	494	252	300	269		6	16	0	0	0	
G7	-20	-61	0	-21	-42		155	167	38	78	69		-1	4	0	0	-32	
G8	-183	-230	-168	-181	-191		-82	-83	-57	-130	-130		4	31	2	-39	-40	
G9	-78	-83	-65	-69	-90		-183	-262	-181	-195	-183		0	-8	0	-57	-46	

(単位 Kg/cm)

4.2 計算値

(1) 計算の仮定および手順

計算は Pelican-Esslinger の考え方に基づいた直交異方性版理論によって行なった。すなわちデッキプレート荷重分配効果を考慮して着目する縦リブへの反力を求め、縦リブが横桁に支持された連続梁と考えて着目点の応力を求めた。なお、本計算は横桁のたわみ性を考慮せずに縦リブを剛支承上の無限連続梁として行なった。舗装の荷重分布効果については、図-4に示すように舗装厚の部分で45°に分布するとして、荷重分布を考

慮したものと、荷重分布を考慮しないものの二種類の計算を行なった。計算手順を簡単に示すと以下のとおりである。

i) 縦リブの R_0/P を求める。

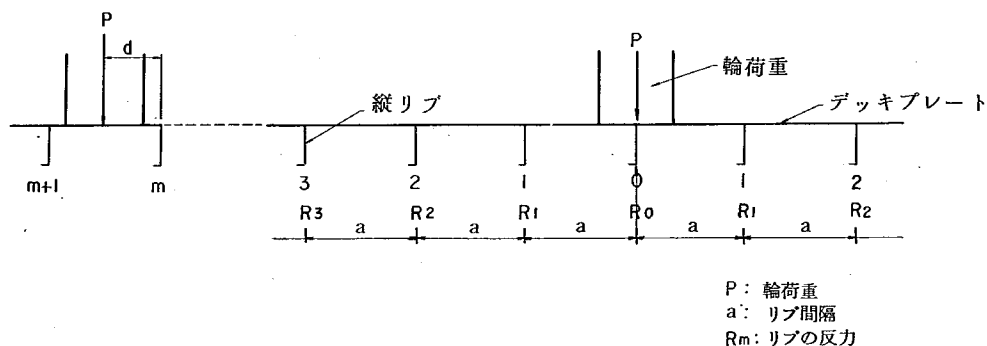


図 - 5 輪荷重 P と反力 R_m

図 - 5 に示すような状態でそれぞれの縦リブに生じる反力 R_m を求める。

ii) 輪荷重が位置する縦リブを剛支承上の連続梁として着目点の曲げモーメント M を求める。

iii) 着目する縦リブ 1 本当りの曲げモーメント M_m は次式で計算される。

$$M_m = M \times \frac{R_m}{P}$$

道路橋示方書の考え方によると、鋼床版の場合には、舗装による荷重の分布の影響は考えないことになっているが、ここでは舗装による荷重分布の影響を考慮した場合と、考慮しない場合との計算結果を比較する目的で、両者の場合について計算値を求めた。

(2) アスファルト舗装による荷重分布を考えた場合の計算例

今、A-3 の載荷状態（後輪の載荷位置はゲージ 3 上）を考える（図 - 6 参照）

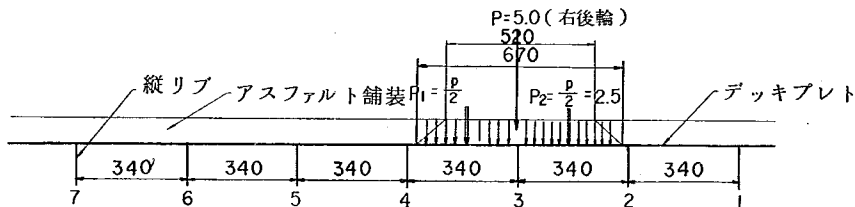


図 - 6 載荷状態 A-3

床版上には 7.5 cm のアスファルト舗装が行なわれており、このアスファルト舗装は荷重分だけを考え、その剛性は無視する。

i) 図-6の縦リブ1~7の R_m/P を求める。

図-5において、荷重が0-1パネルの支点0にあるときの R_0/P の一般式は次のようになる。

$$R_0/P = \left[1 - 0.732 \left(\frac{f}{a} \right)^2 + 0.2990 \left(\frac{f}{a} \right)^3 \right]$$

ここに f : 荷重の分布幅

a : 縦リブ間隔

荷重が任意のパネル $(m)-(m+1)$ の任意の点にあるときの R_0/P の一般式は次のようになる。

$$R_0/P = \left[-0.8038 \frac{d}{a} + 1.3923 \left(\frac{d}{a} \right)^2 - 0.5885 \left(\frac{d}{a} \right)^3 + \left(\frac{f}{a} \right)^2 \left(0.1160 - 0.1471 \frac{d}{a} \right) \right] (-0.2679)^{m-1}$$

d : 輪荷重の中心位置の支点 m からの距離

鋼床版に作用する輪荷重 P を図-6に示すように P_1 および P_2 にわけて考え、上式を用いて、図-6の縦リブ1~7における反力を計算すると、 P_1 に対して次のとおり縦リブへの反力が求められる。

$${}_1R_1 = 0.0534$$

$${}_1R_2 = -0.1995$$

$${}_1R_3 = 1.438$$

$${}_1R_4 = 1.401$$

$${}_1R_5 = -0.215$$

$${}_1R_6 = 0.0576$$

$${}_1R_7 = -0.0154$$

P_2 に対しても、以下同様に縦リブへの反力の計算をおこなうと次が得られる。

$${}_2R_1 = -0.215$$

$${}_2R_2 = 1.401$$

$${}_2R_3 = 1.438$$

$${}_2R_4 = -0.1995$$

$${}_2R_5 = 0.0534$$

⋮
⋮
⋮

したがって、 $P (=P_1 + P_2)$ による縦リブの反力の合計 R_m/P は、各縦リブについて次式で求められる。

$$\frac{R_m}{P} = ({}_1R_m + {}_2R_m) / P$$

ここに ${}_1R_m$: P_1 に対する縦リブの反力

${}_2R_m$: P_2 に対する縦リブの反力

また前輪に対しても同様に計算を行なう。その結果、前輪及び後輪による各縦リブへの反力 $\frac{R_m}{P}$ は次のようになる。

表 - 3 A - 3 の R_m / P の計算結果

載荷状態 の 番 号	車輪 種 別	縦リブ						
		1	2	3	4	5	6	7
A - 3	後 輪	-0.0323	0.2402	0.5752	0.2402	-0.0323	0.0087	-0.0023
	前 輪	-0.0159	0.0925	0.8425	0.0925	-0.0159	0.0043	-0.0012

ii) 剛支承上の連続梁として曲げモーメントを求める。

a) 支間中央の曲げモーメント

図 - 7 (a) に示すように、荷重が 0 - 0 パネルの支間中央 C 点にある場合、C 点の曲げモーメント M_c は、荷重を分布荷重としてあつかい次式により求めることができる。

$$\frac{M_c}{s P} = 0.178 - 0.2500 \frac{c}{s} + 0.1057 \left(\frac{c}{s} \right)^2$$

ここに M_c : リブ支間中央における曲げモーメント

s : 縦リブ支間

$2c$: 縦リブ方向の車輪幅

また、図 - 7 (a) に示すごとく、荷重が 0 - 0 パネル以外の支間 $m - (m + 1)$ にある場合、C 点の曲げモーメント M_c は、荷重を集中荷重におきかえて次式を用いて求めることができる。

$$\frac{M_c}{s P} = [-0.1830 \frac{y}{s} + 0.3170 \left(\frac{y}{s} \right)^2 - 0.1340 \left(\frac{y}{s} \right)^3] (-0.2679)^m$$

ここに M_c : リブ支間中央における曲げモーメント

s : 縦リブ支間

$2c$: 縦リブ方向の車輪幅

y : 支点 m から集中荷重までの距離

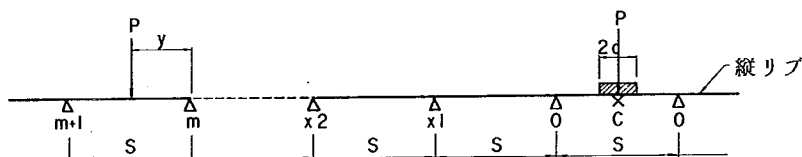


図 - 7 (a) M_c 計算の説明図

b) 支点上の曲げモーメント

図-7(b)に示すように、荷重が0-1パネルの任意の点にあるとき、支点Sの曲げモーメント M_s は、荷重を分布荷重としてあつかい次式を用いて求めることができる。

$$\frac{M_s}{sP} = -0.5 \frac{d}{S} + 0.8660 \left(\frac{d}{S}\right)^2 - 0.3660 \left(\frac{d}{S}\right)^3 + \left(\frac{c}{S}\right)^2 \\ \times (0.2887 - 0.3660 \frac{d}{S})$$

ここに M_s : 縦リブ支点上における曲げモーメント

S : 縦リブ支間

2c : 縦リブ方向の車輪幅

d : 支点0から荷重載荷点までの距離

また、図-7(b)に示すごとく、荷重が0-1パネル以外の支間 $m-(m+1)$ にある場合、荷重を集中荷重におきかえて、次式を用いて曲げモーメント M_s を求めることができる。

$$\frac{M_s}{sP} = \left\{ -0.5 \frac{y}{S} + 0.8660 \left(\frac{y}{S}\right)^2 - 0.3660 \left(\frac{y}{S}\right)^3 \right\} (-0.2679)^m$$

ここに M_s : 縦リブの支点上における曲げモーメント

S : 縦リブ支間

y : 支点 m から集中荷重までの距離

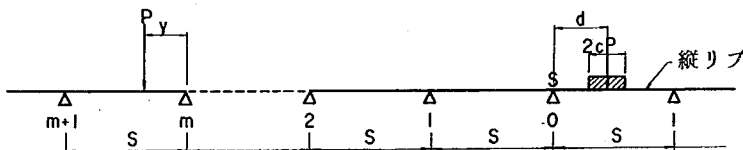


図-7(b) M_s 計算の説明図

そこで、図-8に示す載荷状態について上式を用いて曲げモーメントを求めると、次のようになる。

後輪に対して

$$M_c = 1.369 \text{ t m}$$

$$M_s = -0.725 \text{ t m}$$

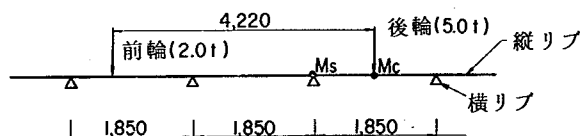


図-8 載荷状態

前輪に対して

$$M_c = 0.0134 \text{ t m}$$

$$M_s = 0.0366 \text{ t m}$$

この曲げモーメント M_c , M_s に対し、それぞれのリブ1本当りの曲げモーメントは、

$M_m = M \times \frac{R_m}{P}$ より求められる。その結果を表-4に示す。

表-4 曲げモーメントの計算結果

着目点 \ 縦リブ	1	2	3	4	5	6	7
支間中央	-0.0444	0.3300	0.7987	0.3300	-0.0444	0.0120	-0.0031
支点上	0.0228	-0.1709	-0.3861	-0.1709	0.0228	-0.0061	0.0017

(t · m)

これらの結果から、各縦リブのモーメント図は、図-9のようになる。

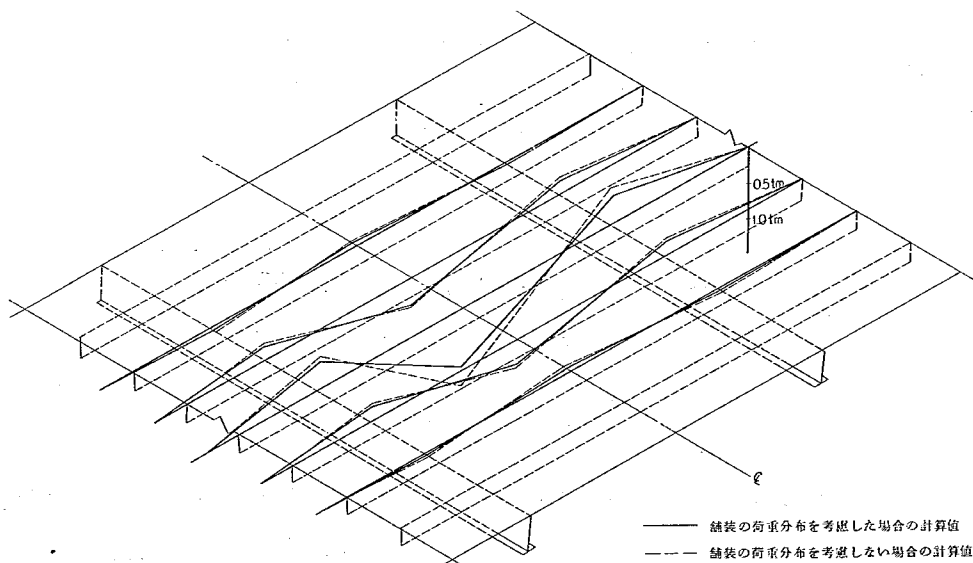


図-9 各縦リブのモーメント図 A-3の場合

(3) アスファルト舗装の荷重分布を考えない場合の計算例

計算の手順は、4.2(2)とまったく同様である。

ここで計算される荷重状態は、アスファルト舗装による荷重分布を考慮しないので図-10のようになる。

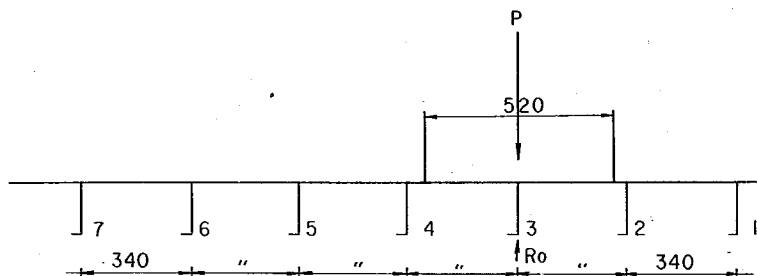


図-10 荷重状態A-3

- i) デッキプレートから縦リブに伝わる反力を求め R_m / P を算定すると表-5のようになる。

表-5 R_m / P の計算結果

荷重状態 の番号	縦リブ 車輪種別	1	2	3	4	5	6	7
A-3	後輪	-0.0885	0.2409	0.7056	0.2409	-0.0885	0.0237	-0.0063
	前輪	0.0006	0.0387	0.9443	0.0387	-0.0089	0.0024	-0.0006

- ii) 次に着目する縦リブ1本当りの曲げモーメントは表-6のようになる。

表-6 曲げモーメントの計算結果

着目点	縦リブ	1	2	3	4	5	6	7
支間中央		-0.1291	0.3517	1.0415	0.3517	-0.1291	0.0346	-0.0092
支点上		0.0651	-0.1759	-0.4847	-0.1759	0.0648	-0.0173	0.0046

この結果を図-9に示し、舗装の荷重分布を考慮した場合との比較を行なった。ここに、実線が舗装の荷重分布を考慮したときの曲げモーメントの分布で、破線は舗装の荷重分布を考慮しないときの曲げモーメントの分布である。

4.3 考 察

実験に際して、後輪を正しく所定の位置に載荷させることがむずかしいので、実際の載荷位置は多少所定の位置よりずれていると思われるところもある。そこで橋軸直角方向への載荷位置のずれの影響を少なくするように、ある載荷状態のときの同じ断面内にある各縦リブ（各ゲージ）の応力度の合計で計算値と実測値を比較した。鋼床版の場合には、夏季に直射日光をうける場合には非常に温度があがるので、道路橋示方書鋼橋編⁴⁾では舗装による荷重分布を考えないことになっている。しかしこの実験を行なったのは、まえがきに述べた如く3月20日で、鋼床版上の舗装の温度は大気のとあまりかわりがなかったので、ここでは舗装による荷重分布を考えた場合と考えない場合の両方について計算を行なった。その結果が表-7、図-11である（G3に載荷した場合測点G7、G8については、値が小さく精度に問題があるので無視した）。これによれば、静的載荷では、舗装による荷重分布を考えた場合の計算値に対して61%~93%、舗装による荷重分布を考えない場合56%~80%、速度20km/hでは、同様にそれぞれの計算値に対して97%~125%と88%~142%、40km/hでは同様に91%~

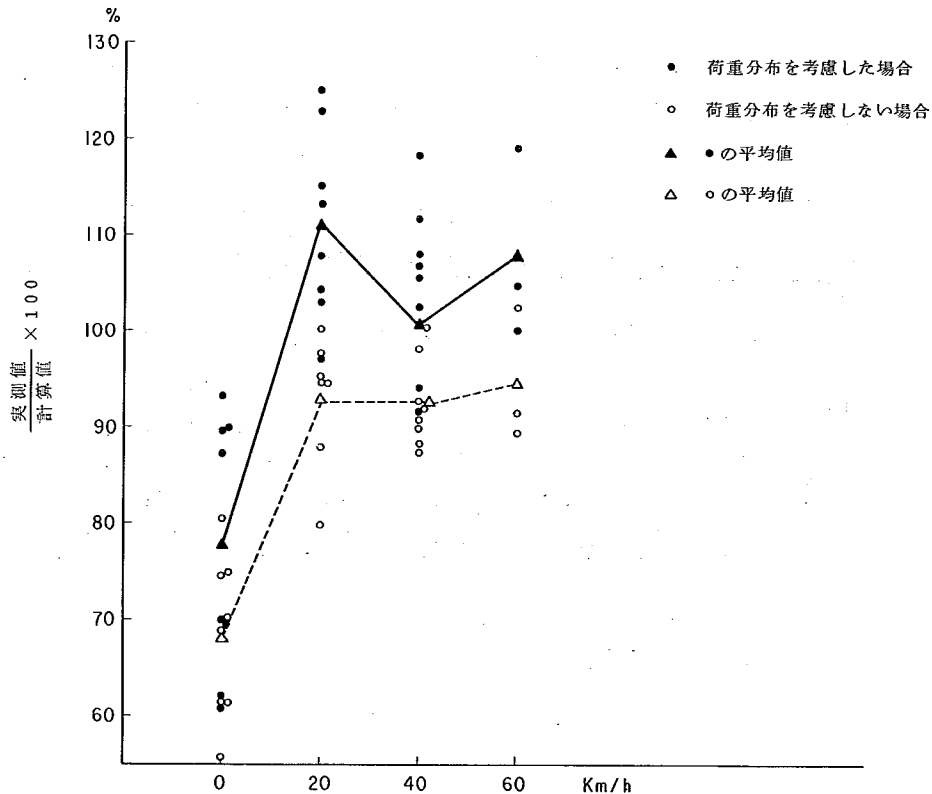


図-11 $\frac{\text{実測値}}{\text{計算値}}$ と車両速度との関係

118%と86%～103%, 60km/hでは, 100%～119%と89%～102%である。これからわかるように, 静的載荷では舗装による荷重分布を考えた場合でも, 平均して78%であり, 舗装との合成作用などがあるために, 実測値は計算より小さくなったのではないと思われる。

表-7 応力の $\frac{\text{実測値}}{\text{計算値}}$

km/h		0		20		40		60	
載荷位置	舗装による荷重分布	有	無	有	無	有	無	有	無
G 5	支間中央	0.932	0.803	1.131	0.974	1.067	0.919	1.189	1.023
G 6	"	0.872	0.744	1.029	0.877	1.024	0.873	1.047	0.893
G 3	"	0.609	0.556	1.042	0.951	0.940	0.858	1.001	0.913
G 5	"	0.699	0.613	1.077	0.945	1.055	0.925		
	支点上	0.895	0.745	0.970	0.798	1.080	0.899		
G 6	支間中央	0.696	0.611	1.151	1.010	1.116	0.980		
	支点上	0.897	0.688	1.230	0.944	1.183	0.907		
G 3	支間中央	0.619	0.700	1.253	—	0.914	1.033		
平均		0.777	0.683	1.110	0.928	1.047	0.924	1.079	0.943

速度が20km/h, 40km/h, 60km/hで走行した場合には, それぞれ平均して実測値は荷重分布を考えた場合の計算値の111%, 105%, 108%, 荷重分布を考えない場合の93%, 92%, 94%となり, 見かけ上はもっとも速度の低い20km/hの場合がもっとも大きな実測値を示している。しかしながら, これらの値は上述したごとく, 載荷位置のずれ, 測定誤差などが入っているので, きわめて大ざっぱな値と解釈すべきであり, 上記程度の値ならここで用いた図-3のようなトラック荷重では速度による差はあまりなく, 走行しておれば応力の $\frac{\text{実験値}}{\text{計算値}}$ は110% (荷重分布を考えた場合), 93% (荷重分布を考えない場合) 程度と考えられる。以上のように, 舗装による荷重分布の有無について, ここではいずれとも判断ができない。橋面上を通過する交通が二軸車であると仮定すれば上述の結果を用いて大ざっぱではあるが, 以後行う実交通下での鋼床版の応力測定結果と橋面上の交通車両とを結びつけることができる。

舗装による合成作用のある場合については, ここでは計算を行なわなかったが, 静的載荷の場合には実測値が計算値の78%であったことから, いくらか舗装の合成効果があるのではないと思われる。しかしながら, 鋼床版と舗装との付着, 舗装の温度上昇にともなう流動化などの問題があり, 設計で舗装の合成効果を考えるのは危険であろう。

静的載荷と走行状態での実測値同志の応力度の比を衝撃の影響だとすると, 衝撃の影響は

0.7に近い値を示した場合もあるが各速度ごとの平均として表-8のようになり、0.37程度であることがいえる。このように現行の設計法での衝撃係数0.4をこえている場合もあるが静的載荷時の設計計算自身が、前述の如くかなり安全側になっており走行試験時の実測値は、い

表-8 各速度における見かけの衝撃係数

速 度 (km/h)	20	40	60	平 均
衝 撃 係 数 ($\frac{\text{その速度の実測値}}{\text{静止状態での実測値}}$)	0.39	0.36	0.37	0.37

ずれも静的載荷時の計算値の140%以下にあるから、現在の設計計算法は安全であることがわかる。しかしながら、設計計算がさらに進歩して厳密な計算ができ、計算値が実測値と一致した場合には衝撃係数について検討しなければならないであろう。

特殊車両通行許可限度算定要領では、徐行の場合に主げたについては衝撃の影響を $\frac{1}{2}$ にしているが、床組、床版については、徐行という条件でも衝撃の影響は減じないで検討をおこなっている。今回の実験からは、床組、床版のように直接に輪荷重をうける部材には、徐行の場合でも衝撃の影響はかなり大きくなることが示され、特殊車両許可限度算定要領における考え方は、おおむね正しいといえる。いずれにしても、衝撃という大きな問題に対して答を出すには、ここでの実測値は数が少なく、ばらつきも多いことから、さらに実橋での計測をかさね、より信頼性の高い値をもとめていく必要がある。

なお、この荷重による主げた応力はわずかであるので、ここでは無視できるものとして検討を加えた。

5. あとがき

本橋については後日、実交通下での応力測定を行ない、疲労に対する検討を行なう予定である。本実験に際し、御協力いただいた首都国道工事事務所、四ツ木出張所の方々に感謝したい。

参 考 文 献

- 1) Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges; AISC 1963
(訳 直交異方性鋼床版橋設計便覧 土木研究所資料 第399号 昭和43年7月)

2) 国広哲男, 藤原 稔: 直交異方性版理論による鋼床版実用設計法.

土木研究所報告 137号の1 昭和44年8月

3) W. Pelican, M. Esslinger

"Die Stahlfahrbahn, Berechnung und Konstruktion. M.A.N Forschungsheft
Nr. 7, 1957 "

4) 道路橋示方書, 同解説 昭和48年2月 日本道路協会

新四ツ木橋鋼床版の載荷実験

土木研究所資料第 871号

昭和 48年8月(1973)

国広哲男・井上啓一・大冢雄石

建設省土木研究所橋梁研究室

キーワード 鋼床版 載荷試験 衝撃

要 旨

国道 6 号線の新四ツ木橋の鋼床版部分を対象として重量既知のトラック荷重による載荷試験を行ない

- 1) 直交異方性版理論による計算値と実測値の比較
 - 2) 鋼床版に生ずる応力と載荷車両の重量との関係
 - 3) 橋面上を車両が通過するときの衝撃の影響
- の 3 点について検討を行なった結果を述べたものである。



郵便はがき

十円切手
をはって
下さい

2 8 0 - □ □

千葉県千葉市穴川

四丁目十二番五二号

建設省土木研究所

橋梁研究室

御中

No. 6

No. 6

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 871 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印