

# トラスドラングー桁の載荷実験

—特に、固有振動数と対数減衰率について—

岸田 政治\* 永井 重光\*\*  
 市場 悟\*\*\* 児島 弘行\*\*\*\*  
 成岡 昌夫\*\*\*\*\*

**要旨** わが国最初のトラスドラングー桁・阿保橋に対して、静的、動的な載荷試験を行ない、主構各部の応力、および下弦材のたわみを測定して、実測値と計算値とを比較した。また、起振機による加振を行ない、固有振動数、対数減衰率を測定した。

## 1. まえがき

阿保橋は、全長 294 m、幅員 6.0 m の 2 等橋で、スパン 58.995 m のトラスドラングー桁 3 連と、スパン 37.5 m の単純合成桁 3 連とよりなる。本橋の設計についてはすでに報告してある<sup>1)</sup>。このトラスドラングー桁はわが国としては最初の試みであるため、竣工後、各種の実験を行なって、性状を把握しようとした。

すなわち、① 静的載荷実験によって、トラスドラングー桁の設計に用いた計算式が十分正確な値を与えるかどうか、② 自動車走行中の振動状態はどうであるか、走行試験によって得られる固有振動数、対数減衰率はいくらか、③ 加振機による動的振動試験によって得られる固有振動数、対数減衰率はいくらか、これらが通常の鉛直吊材をもつラングー桁の場合とどのように異なるか

などの点に重点を置いて研究した。

以下、実験の結果を述べて、参考に供したいと思う。

## 2. 死荷重による主構応力の測定

死荷重応力を測定したのものとしては、わが国では、文献 2) しかないように思われるので、参考のために実験した。鋼桁の工場製作時を no stress の状態として、コンタクトゲージの鋼球をセットしておき、① 主構および床組組立直後、② コンクリート床板、その他の付加物が加わった完成状態の 2 段階において、測定長の変化をダイヤルゲージで読み取った。死荷重応力測定位置は図-1 のようである。測定結果を表-1 に示す。

鋼重のみによる応力計算においては、鋼重 780 kg/m の等分布荷重が格点荷重として作用する場合を考え、また、完成時においては、床板・舗装 1500 kg/m、地覆 225 kg/m、高欄 35 kg/m を加えて、計 2540 kg/m の等分布荷重が格点荷重として作用するものとして求めた。

測定結果は、M と N とを受ける下弦材を除いて、S のみを受ける上弦材、斜材が比較的良好な対応を示している。また、鋼重のみによる応力に比較して、完成時に

表-1 死荷重応力測定結果

部 材	測 点	鋼重による応力		完成時の応力		部 材	測 点	鋼重による応力		完成時の応力	
		計 算 値 (kg/cm <sup>2</sup> )	実 測 値 (kg/cm <sup>2</sup> )	計 算 値 (kg/cm <sup>2</sup> )	実 測 値 (kg/cm <sup>2</sup> )			計 算 値 (kg/cm <sup>2</sup> )	実 測 値 (kg/cm <sup>2</sup> )	計 算 値 (kg/cm <sup>2</sup> )	実 測 値 (kg/cm <sup>2</sup> )
下 弦 材	@U	110.2	171	358.8	587	下 弦 材	16L	39.1	143	127.4	130
	@L	192.2	27	626.0	343		16U	232.3	214	756.4	347
	10U	110.2	279	358.7	532	上 弦 材	㊶	-288.3	-309	-938.9	-1002
	10L	189.8	48	618.0	216		㊷	-293.5	-268	-955.8	-1339
	12U	101.0	95	329.0	52		㊸	-294.2	測点破損	-958.0	測点破損
	12L	196.3	209	639.2	676		㊹	-293.7	—	-956.5	—
	14U	27.0	18	88.0	193	斜 材	㊺	83.8	55	272.9	215
	14L	249.5	287	812.6	427		㊻	95.7	78	311.8	211

\* 正会員 兵庫県姫路土木出張所長

\*\* 正会員 兵庫県土木部道路課

\*\*\* 正会員 三菱重工KK技術本部神戸研究所構造研究課

\*\*\*\* 正会員 徳島大学助教授 工学部土木工学教室

\*\*\*\*\* 正会員 名古屋大学教授 工学部土木工学教室

は約3倍の応力が認められ、死荷重の仮定値がほぼ正しいことがわかる。

### 3. 静的荷重試験

荷重として、砂利を満載したダンプトラック4台(総重量75.04t)を用いて、下弦各格点に順次停止せしめ、そのたびに主構各部のひずみおよび下弦材のたわみを測定し、各部材の断面力、および、たわみの影響線を調べた。ひずみおよびたわみの測定位置は図-1に示すとおりである。ひずみの測定には電気抵抗線ひずみ計を接着し、インジケータによりひずみ変化を読み取った。たわみの測定にはインダクタンス型変位計<sup>3)</sup>を用いた。

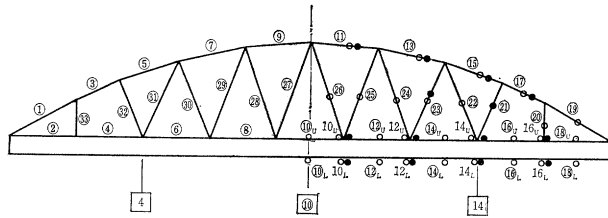
図-2は下弦材の4測定点の応力(曲げモーメントと軸方向力による応力)の影響線を、図-3は上弦材の応力の影響線を、図-4、5は垂直材、斜材の応力の影響線を示す。ほぼ満足すべき結果が得られている。図-6は、下弦材のたわみの測点におけるたわみの影響線である。たわみについては、床板、および縦桁の影響が入って、実測値は計算値よりやや小さいが、比較的よく合致している。

ここでは、紙面の都合上、多くの測点のうち、代表例のみを示して他を省略してあるが、ここに示したものと同様の結果を得ている。

以上の結果より、本橋の設計に用いた計算式(土木学会誌、第49巻、第4号、p.9参照)の妥当性が認められよう。

なお、斜材⑳の鋼桁上フランジとの結合部付近の応力を測定した結果によると、部材一般部に対し、結合部(U字板端部付近)(文献<sup>1)</sup>、p.48、図-7参照)では、約1.7倍の局部応力の発生が見られる。

図-1 応力およびたわみの測定位置



●...死荷重応力測定位置 ○...載荷試験時応力測定位置 □...たわみ測定位置

図-2 下弦材の応力の比較

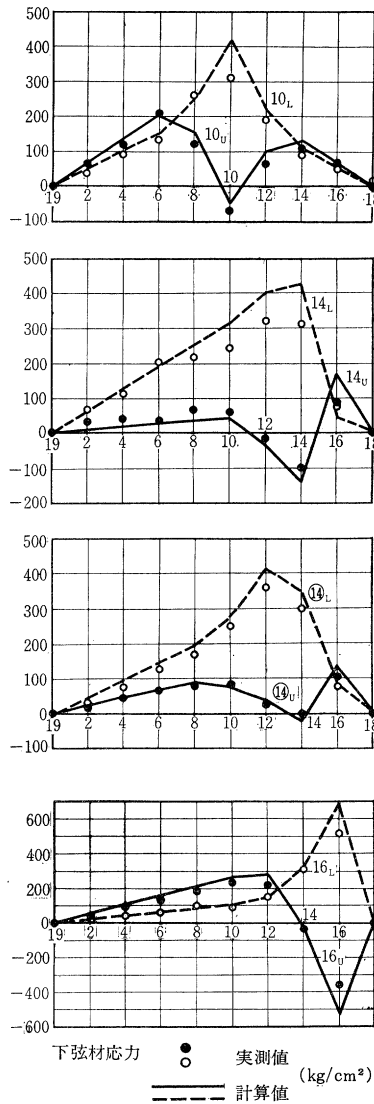


図-3 上弦材の応力の比較

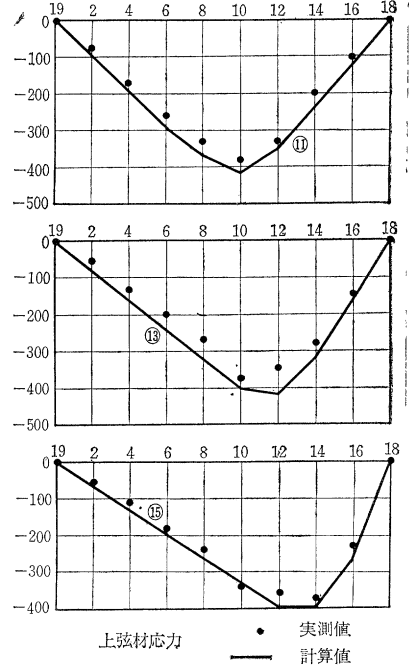
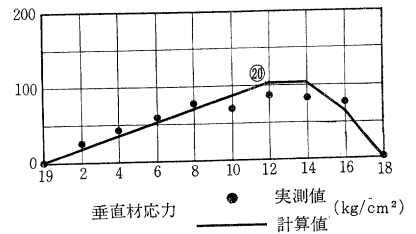


図-4 垂直材の応力の比較



### 4. 走行荷重試験および衝撃試験

走行荷重試験については、特記すべき事項がないので

省略する。たわみの測定結果から振動数を調べると、トラックが床板を通行中では平均 2.25 c.p.s. となりのスパンへ移行後では平均 2.6 c.p.s. であった。

トラック 1 台の後輪をスパンの中央点で高さ 12 cm の踏台から落下せしめ、その際のトラック後輪のスプリングおよび橋体の振動を調査した。トラック スプリングと補剛桁の振動数は、それぞれ 2.19, 2.01 c.p.s. であり、下弦材の振動数は、自動車スプリング常数による周期的外力、あるいは、自動車の自重による影響で、走行時より小さい。また、後輪落下直後から順次振幅を求め、対数減衰率を求めると  $\delta_e = 0.163$  であり、減衰係数は  $\epsilon = 0.0518$  となる。

### 5. 加振試験

加振試験においては、床板上 (スパンの中央から  $l/12$  離れた位置) に起振機 (最大起振力 5.0 t) を設置し、回転数を順次変えながら上下方向に強制振動させ、橋体の振動を N・D 式変位計 (moving coil, over damping type で、出力は加速度に比例する) により pick up し、アンプを介して、ペン オッシログラフに記録した。起振機、変位計の位置を図-7 に示す。

#### (1) 理論計算式

藤野 勉博士 (三菱重工業 K K 技術計算課長) が求め

図-7 起振機、変位計の位置

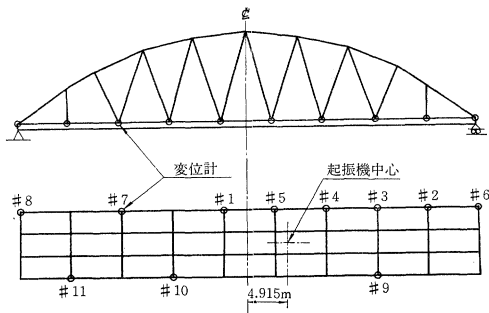


図-5 斜材の応力の比較

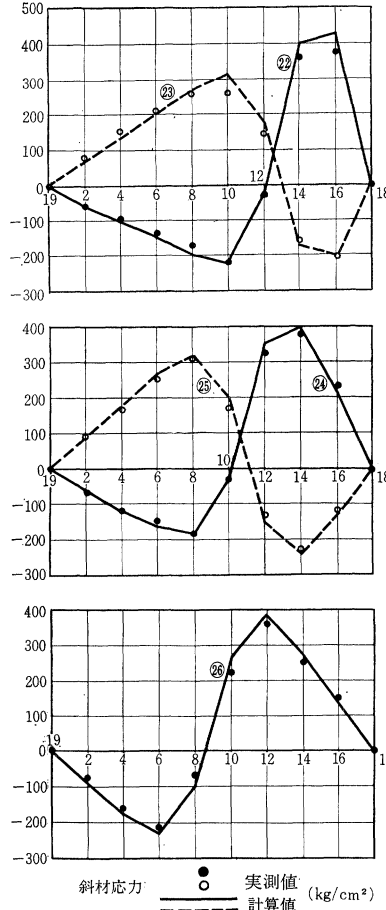
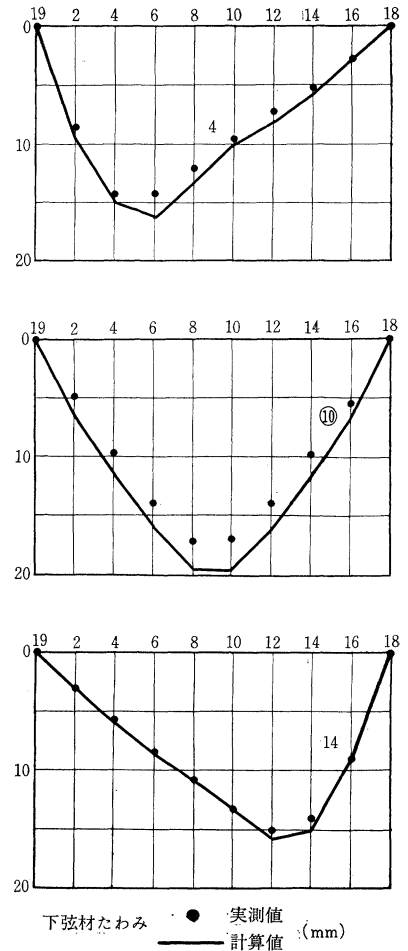


図-6 下弦材のたわみの比較



た平面構造系の一般解法によれば、自由振動の場合の任意の節点のつりあい方程式はつぎのようになる。

$$\begin{aligned}
 m_i \frac{d^2 U_i}{dt^2} &= \sum_j \{ h_{ij} (U_j - U_i) + k_{ij} (V_j - V_i) \\
 &\quad + m_{ij} (\theta_i + \theta_j) \} + X_i \\
 m_i \frac{d^2 V_i}{dt^2} &= \sum_j \{ k_{ij} (U_j - U_i) + n_{ij} (V_j - V_i) \\
 &\quad - t_{ij} (\theta_i + \theta_j) \} + Y_i \\
 I_i \frac{d^2 \theta_i}{dt^2} &= \sum_j \{ -m_{ij} (U_j - U_i) + t_{ij} (V_j - V_i) \\
 &\quad - g_{ij} \theta_i - f_{ij} \theta_j \} + M_i
 \end{aligned} \quad (a)$$

ただし、

$$\begin{aligned}
 h_{ij} &= a_{ij} \cdot c^2 \epsilon_{ij} + b_{ij} \cdot s^2 \epsilon_{ij}, \quad k_{ij} = (a_{ij} - b_{ij}) c_{ij} \cdot s_{ij}, \\
 m_{ij} &= d_{ij} \cdot s_{ij}, \quad n_{ij} = a_{ij} \cdot s^2 \epsilon_{ij} + b_{ij} \cdot c^2 \epsilon_{ij}, \\
 t_{ij} &= d_{ij} \cdot c_{ij} \\
 a_{ij} &= EA_{ij} / l_{ij}, \quad b_{ij} = 12 EI_{ij} / l_{ij}^3 (1 + 12 \epsilon_{ij}), \\
 d_{ij} &= 6 EI_{ij} / l_{ij}^2 (1 + 12 \epsilon_{ij}) \\
 f_{ij} &= 2 EI_{ij} (1 - 6 \epsilon_{ij}) / l_{ij} (1 + 12 \epsilon_{ij}), \\
 g_{ij} &= 4 EI_{ij} (1 + 3 \epsilon_{ij}) / l_{ij} (1 + 12 \epsilon_{ij}) \\
 c_{ij} &= \cos \varphi_{ij}, \quad s_{ij} = \sin \varphi_{ij}
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{ij} = EI_{ij} / GA_{ij} \cdot l^2_{ij} = (E/G) \cdot (k/l_{ij})$$

周期解を  $U_i = u_i e^{i\omega t}$ ,  $V_i = v_i e^{i\omega t}$ ,  $\Theta_i = \theta_i e^{i\omega t}$ ,  $\lambda = \omega^2$  として上式に代入すると、

$$\left. \begin{aligned} \sum_j h_{ij} \cdot u_j + (\lambda \cdot m_i - \sum_j h_{ij}) u_i + \sum_j k_{ij} \cdot v_j - v_i \sum_j k_{ij} + \sum_j m_{ij} \cdot \theta_j + \theta_i \sum_j m_{ij} + X_i &= 0 \\ \sum_j k_{ij} \cdot u_j - u_i \sum_j k_{ij} + \sum_j n_{ij} \cdot v_j + (\lambda \cdot m_i - \sum_j n_{ij}) v_i - \sum_j t_{ij} \cdot \theta_j - \theta_i \sum_j t_{ij} + Y_i &= 0 \\ - \sum_j m_{ij} u_j + u_i \sum_j m_{ij} + \sum_j t_{ij} \cdot v_j - v_i \sum_j t_{ij} - \sum_j f_{ij} \cdot \theta_j + (\lambda \cdot I_i - \sum_j g_{ij}) \theta_j + M_i &= 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

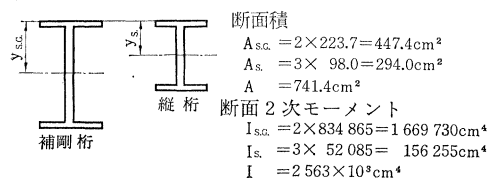
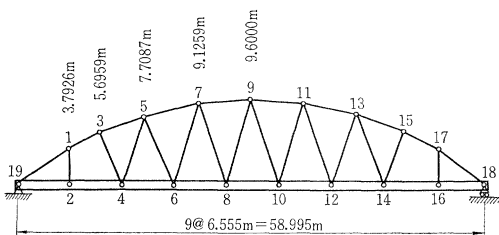
式(2)を解くことによって、固有振動数を求めることができる。

IBM 7090 に対してすでに開発されたプログラムがあるので、これを用いて、阿保橋の固有値および振動モードの計算を行なった。計算に用いた諸元は表-2 に示すとおりであり、下弦材の  $I, A$  に縦桁の値を付加してある。

Output より代表例として第1次、第2次振動におけるモードを画くと、図-8 のようになる。

表-2 計算の諸元

	断面2次モーメント	断面積	格点重量
	cm <sup>4</sup>	cm <sup>2</sup>	t
下弦材	各パネルとも 1281500	各パネルとも 370.7	格点18および19 8.325 格点2~16 16.650
上弦材		部材19~1,17~ 137.0 部材1~17 123.0	
斜材		部材1~2,16~17 51.2 その他 40.15	



## (2) 実測値と計算値との比較

試験結果から各次の振動モードにおける共振曲線を描くと、図-9 のようになる。この共振曲線より固有振動数を求めると表-3 の左欄<sup>4)</sup> のようになり、第1次、第2次振動までは、実測値と計算値とは非常によく合致しており、第3次以上になると、若干の相違が見られる。

これは、計算において各格点重量を簡単に等分したためと考えられ、この点を補正すれば、さらに実測値に近づくことが予想される。

なお、ここで、阿保橋に対し、垂直材断面積を斜材の断面積の2倍とし、他の部材の諸元をすべて同一寸法にとった通常のランガー桁について、固有振動数、振動モ

図-8 第1次振動(対称)、第2次振動(逆対称)モード

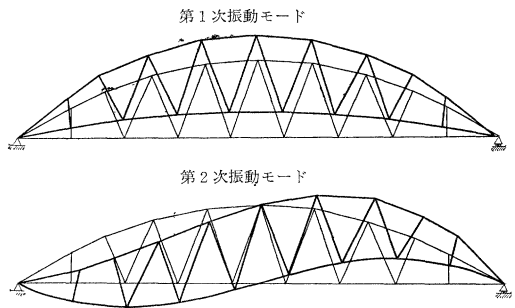


図-9 共振曲線

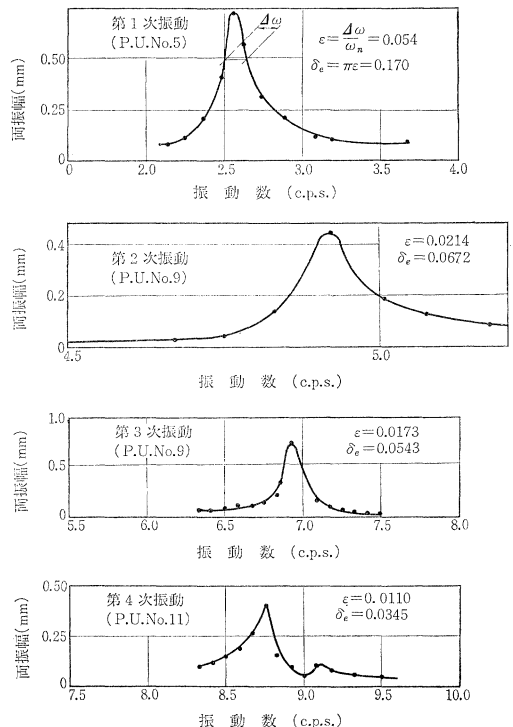


表-3 固有振動数

	阿保橋		ランガー桁	
	測定値 c.p.s.	理論計算値 c.p.s.	理論計算値 c.p.s.	理論計算値 c.p.s.
1次振動数	2.55	2.58	横振動	1.63
2	4.92	5.00	〃	2.42
3	6.92	7.59	〃	3.82
4	8.75	9.88	〃	7.69
5	9.10	8.23	縦振動	6.43
6	—	13.20	横振動	9.82

ードを比較すると、表-3の右欄、図-10の点線のようにになる。

この結果より、トラスドランガー桁はランガー桁に比較して、第1次～第3次振動で約50～100%の振動数の増加がみられ、橋体の剛性の高いことがわかる。振動モードについては、阿保橋が第1次振動一対称、第2次振動一逆対称であるのに対し、ランガー桁では全くこれと逆の振動モードを示す。

また、上に記した通常のランガー桁とトラスドランガー桁の下弦材の曲げモーメント、たわみの比較を図-11に示す。

図-11からわかるように、トラスドランガー桁の下弦材の曲げモーメントおよびたわみは、ランガー桁の場合にくらべていちじるしく減少する。トラスドランガー桁の振動性状が一般のランガー桁に比較していちじるしく相違するのは、この点に由来する。

なお、現在までに公表されている、ほぼ同一スパンのランガー桁の固有振動周期を表-4に示す<sup>5)</sup>。山城大橋の逆対称振動の  $T=0.625$  sec は

図-10 振動モード

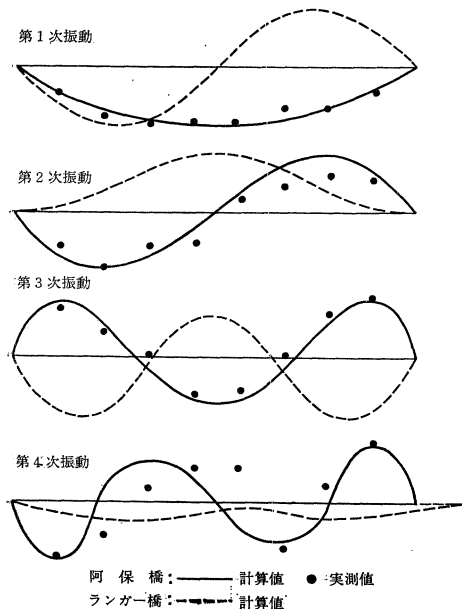


表-4 ランガー桁およびトラスドランガー桁の固有振動周期の比較

橋名	スパン (m)	拱矢 (m)	補剛 桁高 (m)	対称振動 (sec)		逆対称振動 (sec)	
				実測値	計算値	実測値	計算値
藤川橋	64.0	9.2	1.60	0.380	0.392	0.494	0.555
子飼橋	57.2	9.0	1.60	0.344	0.346	0.432	0.500
銀座橋	62.0	10.0	1.60	0.347	0.353	0.445	0.524
山城大橋	63.0	11.0	1.40	0.394	0.439	0.625	0.802
阿保橋	59.0	9.6	1.65	0.392	0.388	0.203	0.200

注:  $0.392=1/2.55$ ,  $0.203=1/4.92$

他にくらべて大きい、これは鋼材がすべて SM 50 で、他の橋にくらべて軽くなっているためである<sup>5)</sup>。阿保橋も対称振動では大差ないが、逆対称振動で通常のランガー桁のそれと全く異なる値を示す。

### (3) 減衰率

図-9のように各モードのおもな計測位置における共振曲線から対数減衰率を求め、2,3のランガー桁の実測値<sup>5)</sup>と比較すると、表-5のようになる。いちじるしい相違があることがわかる。

図-11 トラスドランガー桁と通常のランガー桁の比較

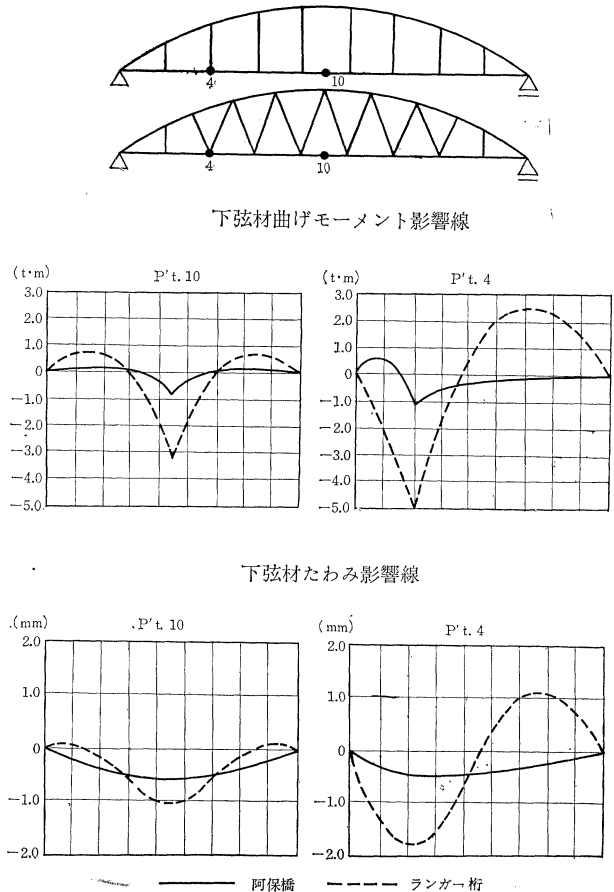


表-5 対数減衰率

モード	阿保橋			子飼橋	戸崎橋	山城大橋
	変位計 No.	減衰率	平均値			
第1次振動	1	0.176	0.168	0.07 ~0.09	0.0081	0.028
	4	0.164				
	5	0.170				
	7	0.173				
	9	0.160				
	10	0.166				
第2次振動	7	0.0660	0.0689			0.038
	9	0.0672				
	11	0.0736				
第3次振動	1	0.0550	0.0548		0.0115	
	2	0.0553				
	3	0.0553				
	9	0.0543				
	11	0.0543				
第4次振動	4	0.0396	0.0359		0.0127	
	5	0.0342				
	9	0.0355				
	11	0.0345				

6. むすび

以上の実験結果から、トラスドランガー桁に関して、つぎの結論を得る。

(1) 各種の実験から、本橋の設計に用いた計算法が十分正確な数値を与えることが確認された。

(2) 同じ断面をもつ普通のランガー桁に比較して、剛性が増大して、固有振動数が大きくなる。また、同じ程度のスパンのランガー桁と比較して、トラスドランガー桁では、対称一次振動については固有振動数は大差がないが、逆対称一次振動では大差があること、対数減衰率についても大差があり、ランガー桁形式としては、重量の点のみならず、振動の点からも、トラスドランガー桁のほうがすぐれている。

参考文献その他

- 1) 猪口・永井・戸倉・児嶋・成岡：阿保橋の設計，土木学会誌，50.6 (昭40.6)，pp. 45-49.
- 2) 橋本・立花：橋梁の死荷重応力の測定，鉄道業務研究資料，10.23 (昭28)，pp. 1-8.
- 3) 成岡・岩本：坂越橋の工事および載荷実験について，土木学会誌，41.6 (昭31.6)，pp. 15-21.
- 4) 実測結果で、第4次振動の共振曲線において、第5次振動の共振振動数(9.10 c.p.s.)が小さく見られる。他方、計算結果では、表-3に示すように、 $f_4=9.88$  c.p.s.(横振動)， $f_5=8.23$ (縦振動)となり、実測値と逆になっている。しかしここでは、実測結果を尊重して、表-3のように定めた。さらに、縦振動においても、若干横方向に振動するから、第5次振動を縦振動と推定した。
- 5) 京都府土木部道路課：山城大橋の振動試験，昭和40年3月

月刊  
コンクリート・ジャーナル  
発売中  
二〇〇円

内容見本 贈呈

法人社 日本建築学会 推薦

建築用語辞典編集委員会編  
編集委員長 東京大学名誉教授 渡辺 要

B6判一、五四〇頁 定価二、五〇〇円

建築学の全般に亘って、あらゆる用語・「ことば」をわかりやすく説明した。

用語数三、〇〇〇語、図版四、〇〇〇個。権威ある執筆者五十人が懇切に解説した。

詳細、丁寧な本文説明の他に、英・独・仏語の外国語索引を付け、付録には総図・難読語を付け、辞典としての完璧を誇るものである。

建築用語辞典

技 報 堂

東京都港区赤坂溜池5 振替口座東京10