

ハウ型デツキトラス垂直材の部材応力

および撓みの測定試験

— 金属抵抗線歪計による —

Sampei YAMAWAKI: On the Measurement of Stress in Vertical Members
and the Deflection at the Middle Span of a Howe-type Deck Truss
—by means of Wire Resistance Strain Gauges.—

山 脇 三 平¹⁾

試 験 目 的

軌道橋梁として従来長径間筒処にかなり数多く架設されてきたハウ型デツキトラスについて、橋梁保守に関する実地的資料をうる目的から、未だ実測された例を聞かない静・動實際荷重載荷時の主構吊ボルトの部材応力、加えてスパン中央における撓み等について、われわれの研究室で実測してえた二・三の結果について報告する。

なお本試験は、東京営林局水窪営林署管内で、昭和 27 年 10 月 16 日～27 日の間に実施したもので、同局土木課木村課長・林技官、同署吉富署長・飯塚事業課長・安藤技官（小畑運輸事業所主任）・小貫事務官をはじめ、運輸保線関係職員並びに従業員各位より多大の御協力を賜つた。ここに深謝の意を表する。

試 験 橋 梁

名称：水窪森林鉄道水窪川橋梁 測点：592～644m

トラス 1 連・方杖 1 連・単桁 6 連よりなる総長 52 m のケヤキ製の木橋で、昭和 26 年 3 月架換されたものである。このうち試験対象としたトラスの構造概要を記せば、

径間：22m,

格間数：8,

高さ：4m,

キャンバー：1/182,

全重量：16,498 kg（木材 14,592 kg，鉄材 1,906 kg）

橋台：コンクリート，

主要部材の大きさ：Fig. 1 参照。

1) 経営部作業科作業研究室

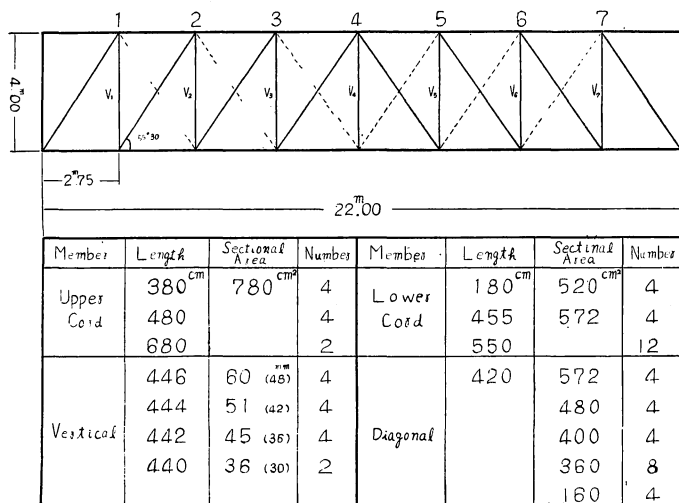


Fig. 1 Main Truss

試験荷重

Table 1. のとき5種を使用した。

Table 1. Kind of Loads

荷重の種類 Kind of loads	内 容 Contents	総重量 Total weight	分布長 Distributed length
静荷重 Statical load	I 木材貨車 4 輛連結 Four log-cars loaded with logs	24,432 kg	21.24 m
	II 木材貨車 2 輛連結 Two log-cars loaded with logs	12,384	9.08
	III 5.0 吨機関車 + 4.5 吨機関車 5.0ton locomotive and 4.5ton locomotive	9,500	4.255
動荷重 Moving load	IV 4.5吨 機関車 + 木材貨車 4 輛 4.5ton locomotive and four log-cars loaded with logs	28,932	24.465
	V 5.0 吨機関車 + 木材貨車 4 輛 5.0ton locomotive and four log-cars loaded with logs	29,432	24.335

試験方法

(1) 吊ボルト部材応力の測定

本測定には附記¹⁾の性能を有する金属抵抗線歪計および Y 社製オシログラフ (H 型振動子) を使用した。すなわちトラス上流側の各吊ボルト (V₁~V₇) の下弦材ブロック上面より 1.36m の箇処をやすりで表面仕上し、充分平滑な状態として自製の締付具で圧力約 1 kg/cm² に保つてアクチブゲージを接着し、約 1 昼夜放置した。温度補償用のダミーゲージは吊ボルト廃材を利用して、これに同様の接着操作を行い、各吊ボルト附近の下弦材上に横置した。計器は橋梁

註：ボルトの番号は、列車の下山方向に順じて仮称した。

本橋は架換の時、径間を 30 m から 22 m に縮少し、吊ボルトは旧橋の分を使用しているため、設計より太い径となつている。上表中 () 内は設計値。

左岸約 20 m 上流の岩盤上に小屋掛して設置し、各ゲージよりリード線 (延長 26~42m) を架設した。なおゲージは雨露防止の必要上、ビニール布・油紙・コモの順に三重被覆して保護した³⁾。またこれらゲージ接着中は無負荷状態に保つため、丸 2 日橋梁上の列車運行を停止した⁴⁾。なお歪計およびオシログラフの電源には附近電燈線より約 100m 引込んだ 100V 交流を使用した (Photo. 1, 2, 3 参照)。

このようにして設置を終つた歪計を用いて、各種荷重載荷時の吊ボルト部材応力を測定したが、電圧の変動にそなえ、荷重載荷後も直ちにその離脱を行い、歪計指針に検討を加えたことはいうまでもない⁵⁾。

(2) スパン中央における撓みの測定

スパン中央の下弦材外側に長さ 2 m の標尺を鉛直に取り付け、これとほぼ同高の左岸上流の計器設置箇所附近より、Y レベルを使用して、荷重載荷時の撓みを測定した。

(3) 試験荷重の測定

2 屯動力計を使用し、小畑運輸事業所備付のトラクタクレーンにより、試験荷重として使用した貨車および積載丸太を逐一秤量した。ただし、機関車は公称重量を採用した。なお各試験荷重については、その全車輪の相互間の距離を鋼卷尺にて測定し、各車輛の積載荷重はその全輪で等負荷されるものとして、輪圧分布の算定を行つた。

試 験 結 果

(1) 吊ボルトの部材応力

載荷量の $\frac{1}{2}$ を主構の片方の弦で負担するものとして、前記測定による輪圧分布より、影響線法により計算した応力 (N_c)⁶⁾ と実測応力 (N_a)⁷⁾ とを比較してえた結果は次のとおりである。

i) 静荷重 Table 2, 3, 4 に示す。

Table 2. N_a & $\frac{N_a}{N_c}$ of vertical member $V_1 \sim V_7$ under load No. I, II

		unit kg						
Load No.	Vertical member Stress	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
I	N_a	4,453	1,649	838	0	364	2,075	4,409
	$\frac{N_a}{N_c} \times 100$	117	81	87		46	103	115
II	N_a	3,563	1,732	902	0	430	2,162	3,575
	$\frac{N_a}{N_c} \times 100$	116	80	95		49	102	114

N_a : Actual stress indicated by strain-meter

N_c : Calculated stress from influence lines

Table 3. N_a & $\frac{N_a}{N_c}$ of vertical member $V_5 \sim V_7$ when the front wheel of log train (load No. V) was for a moment stopped on each panel point 1~8, in order.

unit kg

Load No.	Vertical member	Position of load* Stress	1	2	3	4	5	6	7	8
V	V_5	N_c	99	562	1,380	2,250	1,192	430	497	331
		$\frac{N_a}{N_c} \times 100$	39	79	105	104	106	62	63	59
	V_6	N_a	99	519	1,168	2,335	3,158	2,335	2,078	2,248
		$\frac{N_a}{N_c} \times 100$	39	73	88	109	100	100	93	98
	V_7	N_a	267	632	1,191	2,381	3,575	4,650	4,050	3,690
		$\frac{N_a}{N_c} \times 100$	106	89	90	110	113	107	107	103

* 荷重の先頭車輪を各格点に定置した場合

Table 4. N_a & $\frac{N_a}{N_c}$ of vertical member V_3 when the middle point between the rear wheel of fore locomotive (5.0 ton) and the front wheel of hind locomotive (4.5 ton)—load No. III—passes slowly on each panel point 0~8, in order.

unit kg

Load No.	Vertical member	Position of load* Stress	0	1	2	3	4	5	6	7	8
III	V_3	N_a	-145	-452	-612	-532	936	2,047	1,595	709	193
		$\frac{N_a}{N_c} \times 100$	78	73	51	78	63	115	137	124	118

* 前後両機関車の各後前輪間の距離の midpoint が各格点を漸進通過した場合

Table 2. は等布荷重に近い載荷を行つた場合, Table 3. は列車荷重をその進行に模して静的に載荷した場合, Table 4. は顯著に交番応力を発生する V_2 について, 集中分布荷重を使用して応力が交番する状況をしらべた場合である。

これら静荷重載荷の場合を通じて, 対材の影響を受けている吊ボルトは, かなりよくその効果を表わしているといえるが (Table 2), それでも最大応力を発生する載荷条件のあたりでは, ほとんどその効果を表わしておらず, 対材の働きを無視した計算値と等しいか, あるいは数%大きい応力を示している (Table 3)。また全く対材と関係のない吊ボルト (V , V_7) では, 実測応力は計算応力より数~十数%程度おおむね大きい値を示している。

なお Table 4. から, $N=0$ となる荷重位置を検討した結果, 実測位置は計算位置より 104cm

格点4の側に偏していた。

ii) 動荷重 Fig. 2 に示す。

列車が2 m/sec 前後の速度(この橋では最大の通過速度と思われる)で、トラスへ進入してから通過し終るまでの、各吊ボルトの部材応力の変化状況をオシログラフに撮影したものを筆写したものであるが、この図の点線は計算値を示している³⁾。

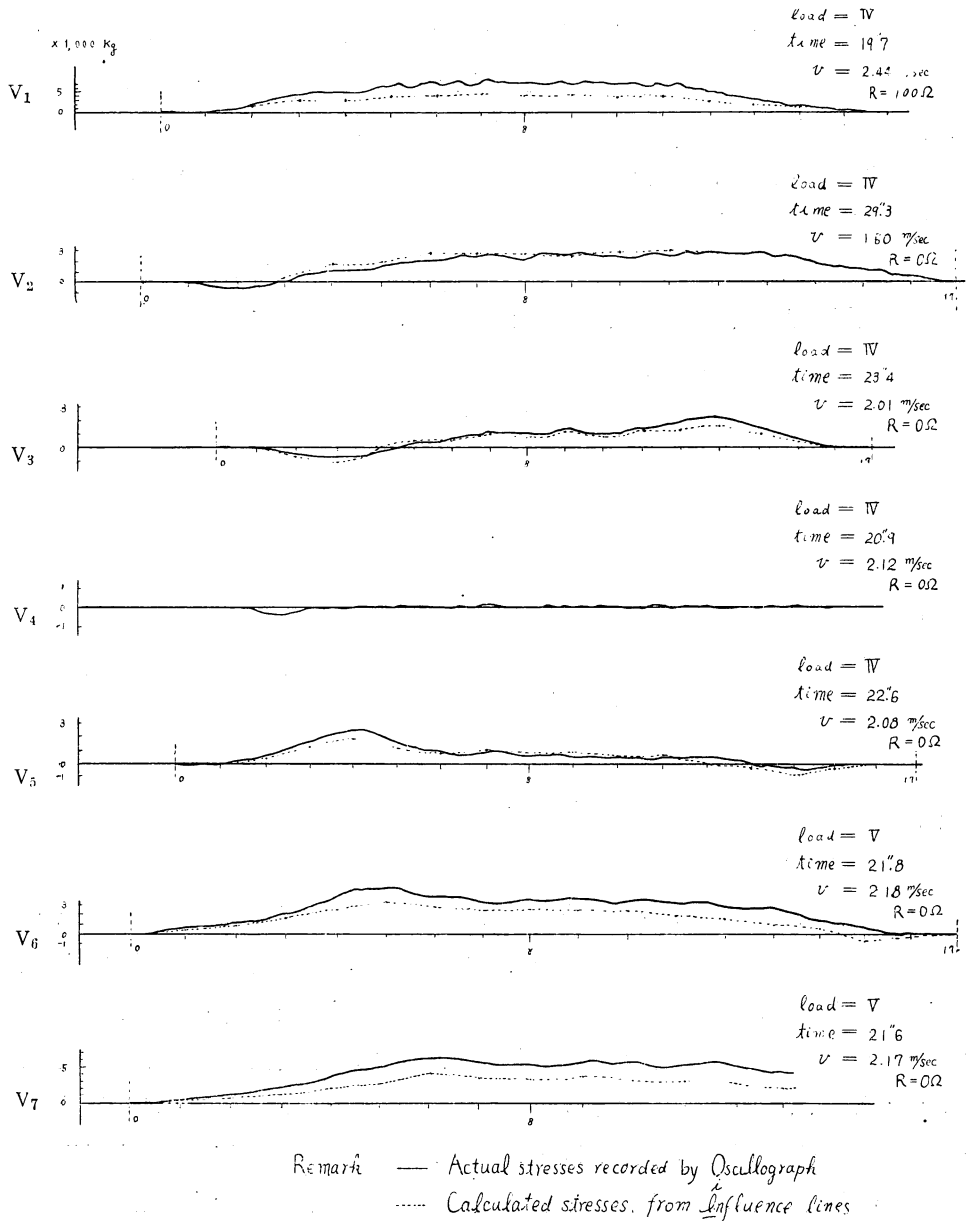


Fig. 2 Stresses of Vertical Members under Moving Loads (Log-Trains)

この動荷重の場合も、静荷重の場合と同様に、対材の影響をうける吊ボルトとしからざるものでは、実測応力と計算応力との差にかなりの開きを見せているが、総じて動的な場合は静的な場合に比べて、対材による影響は (V_4 を除いて) 計算上無視するに等しいといえる。すなわち、 $V_2 \sim V_5$ では、概して対材を無視した計算応力とほぼ等しい応力を示しているが、もつとも最大応力を発生するあたりでは、実測応力は計算応力より 10~30 %程度大きい。これに対して、 V_1 , V_7 では、列車の通過を通じて、実測応力は計算応力よりかなり大きく、最大応力を発生するあたりでは 60~90 %もの増大を示している (原因はわからないが V_6 もこれらと同じ傾向を示している)。この最大応力を示すあたりの値は、静的な場合に比べて著しく増大した値で、衝撃係数の検討上、注目に値するものといえる。

なお、圧縮力を発生するものでは、その最大値附近ではいずれも計算値より小さい。

(2) スパン中央における撓み。

荷重 I の場合、実測値の平均=11.8mm で、計算値⁹⁾の約 1.9 倍であつた。荷重 V を Table 2. と同様に載荷した場合の撓みの変化状況は Table 5. のとおりである。

Table 5. Deflection in the middle of a span under load No. V,
under the same condition as Table 3

		unit mm							
Load No.	Position of load*	1	2	3	4	5	6	7	8
	Deflection								
V	δ_c	0.5	3.0	6.3	8.0	10.5	11.0	12.0	12.0
	$\frac{\delta_n}{\delta_c} \times 100$	93	199	222	177	187	177	185	185

δ_n : Actual deflection surveyed by Y Level

δ_c : Calculated deflection from Castigliano's theory

あ と が き

以上の測定試験の結果から、大略次のことが指摘出来る。

(1) 金属抵抗線歪計をオシログラフと併用して、トラスの耐力試験に使用し、今回はゲージの都合から吊ボルトの部材応力の測定に止まつたが、本計器による木質部材の野外測定も一応可能であり¹⁰⁾、今後のこの種の測定に充分実際使用に耐えかつ有効なものと考える。

(2) 吊ボルトの部材応力の実測値は、静・動両荷重を通じて、影響線を利用した計算値と相対的にはおおむねよくその傾向を同じくしているが、両端の吊ボルト V , V_7 において動的の場合 $N_n/N_c=160 \sim 190$ %程度の値を示したことは、実測中列車の制動あるいは始動等による衝撃が極めて敏感に歪計に現われたことと考え合せて、さらに今後の衝撃係数との検討を必要とするものとする。また、 V_3 , V_5 , V_9 等交番応力を発生するものにおいて、その最大圧縮力を生ずるあたりで一様に計算値より小さい値を示したことは、トラスの保守に重要な作業

である縮上げの程度，すなわち，吊ボルトのもつ初張力あるいはキャンバーとの関係をさらに追究する必要を示しているものと考ええる。

(3) 設計上容易に推定を許さない各部材の二次応力（特に継手附近）並びに架設後経年するにつれ著しく増大の傾向を示す撓み振動については，この種の橋梁の耐力判定上必要とされる今後の主要な測定事項と考えている。

〔註〕

(1) この歪計の性能要目は次のとおりである。

歪 計 の 性 能 要 目

名 称	SMI-2 E 型 静動型歪計 (F 社製)
歪 測 定 範 囲	± 0.5 % H 型振動子に連動
感 度	1 μ cm/cm
精 度	0.2 μ cm/cm
動的測定周波数範囲	0~500 c/s 使用搬送波 3,000 c/s
電 源	交流 50, 60 c/s 80~100 V にて使用可能
ゲ - ジ	K-8 格子型 (K 社製) 標点距離=61 mm, アドバンス線 感度係数=2.09, 固有抵抗=120 Ω

(2) 被測定部材と同質の材片をアクチブゲージの近傍に熔接して，グミーゲージを接着するのが最良といわれているが，本法でも日射・通風に注意すればかなり良好な安定を保つた。

(3) 試験中 2・3 日の降雨並びに朝露の発生を見たが，本法は金属材料の防水処理法としては一応充分と思われる。なお接着の良・不良を間接的に判定するため，真空管電圧計で，ゲージと吊ボルト接着面の間の絶縁抵抗を計つた値は次のとおりである。

接 着 箇 処	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇
絶 縁 抵 抗 M Ω	30	80	90	80	65	100	60

註 試験終了後再検した時の測定値

なお同上の防水処理法で，木部に試みに接着した場合，斜材では 20~60 M Ω の値を示し，いわゆる数十 M Ω 以上を適當とする，という許容条件に大体かなつており，比較的天候に恵まれれば本法でも使用に耐えるが，上下弦材ではいずれも 10 M Ω 以下の値で，註¹⁰⁾のゲージの採用が望ましい。

(4) この種の野外試験には接着時間の短縮が必要であるが，接着剤の改良は今後にまたねばならない。

(5) この種の歪計による測定操作は，測定点に電流を流してから 20~30 分程度経過してからがよく指針の安定を示すこと，およびその後の測定は極めて短時間に行う必要のあることは注意しなければならない。

(6) 次式による。

$$N_c = \pm \sum_{m=1}^{m=n} P_m \cdot \eta_m$$

ここに、 N_c ：荷重位置 m 点の場合の計算応力 (kg) P_m ：同上の場合の各輪圧 (kg)

η_m ：各輪圧下の影響線縦距 (±)

ただし対材の動きは無視した。

(7) 次式による。

$$N_a = \pm \varepsilon_m \cdot E_s \cdot A$$

ここに、 N_a ：荷重位置 m 点の場合の実測応力 (kg) ε_m ：同上の場合の歪計によるよみ

(±) E_s ：2100,000 kg/cm² A ：吊ボルトの断面積 (cm²)

(8) この場合、列車のトラスへの進入および通過完了のタイムマークを試みたが、自製の装置が破損したため使用出来なかつたので、通過時間の測定から列車の格間速度を算定し、列車を格間距離づつ進行させた時の荷重分布により計算した。

(9) Castigliano の定理に基く次式による。

$$\delta_c = \frac{1}{E_w} \left\{ \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{U_{ai} \cdot U_{1i} \cdot l_{ui}}{A_u} + \frac{L_{ai} \cdot L_{1i} \cdot l_{ei}}{A_e} + \frac{D_{ai} \cdot D_{1i} \cdot l_{di}}{A_{di}} \right\} \right. \\ \left. + \frac{1}{E_s} \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{V_{ai} \cdot V_{1i} \cdot l_{vi}}{A_{vi}} \right\} \right\}$$

ここに、 δ_c ：撓みの計算値 (cm) $U_{ai}, L_{ai}, D_{ai}, V_{ai}$ ：上弦・下弦・斜・垂直材の

部材応力(kg)——実荷重を載荷した場合。 $U_{1i}, L_{1i}, D_{1i}, V_{1i}$ ：同上——単

位荷重を載荷した場合。 $l_{ui}, l_{ei}, l_{di}, l_{vi}$ ：同上各部材の部材長 (cm)。

A_u, A_e, A_{di}, A_{vi} ：同上各部材の断面積 (cm²)。 E_s ：(7) に同じ。

E_w ：100,000 kg/cm²。

(10) この場合、ベークライト板あるいは金属板にゲージをベークライト接着剤で焼きつけたものを(市販にある)、部材にとりつけて使用すれば、間接測定になるけれども、防水処理は容易となり、木質部材でも湿潤箇所の応力測定も一応可能とされている。

終りに、御指導並びに御高閣を賜つた当场作業科長本多三雄技官並びに作業研究室長東京大学森林利用学教室藤林誠教授に対し深甚なる謝意を表するとともに、準備或いは測定に多大の御協力をえた小笠原重助および三村和男両助手に対し深謝の意を表する。

Résumé

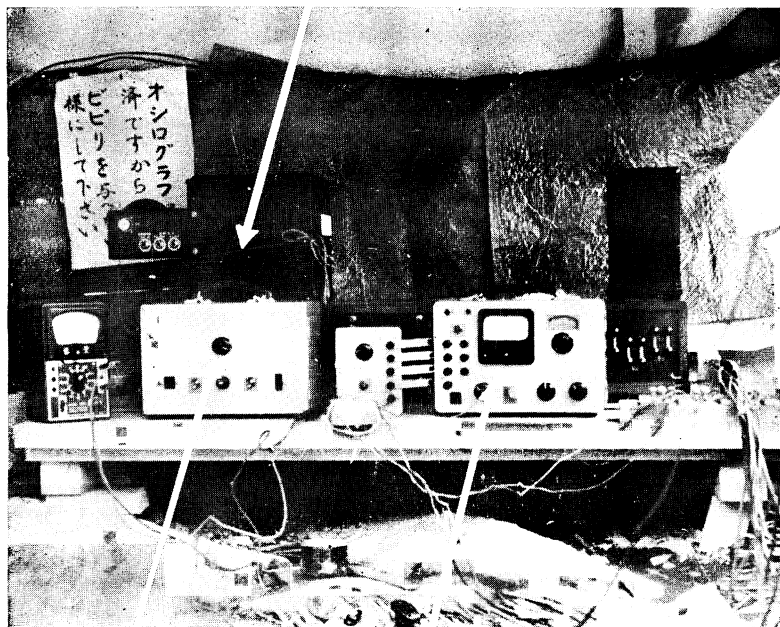
We measured member stresses of vertical members and deflections in the middle of a span under statical or moving loads (log trains) at Misakubogawa wooden bridge—Howe type deck truss—built on the Misakubo Forest Railroad.

Structures of this truss are shown in Fig. 1, and contents of test load used by us are shown in Table 1. A Strain-meter connected to wire resistance strain gauges by lead wire and an electromagnetic oscillograph were set as shown in Photo 1~3 for this test.

Results obtained by these methods are shown in Table 2~5 and Fig. 2.

We think that some suggestions obtained from these results will be applicable in the investigation of the value of the coefficient of impact which is unreliably assumed in designing bridges of this kind.

Oscillograph

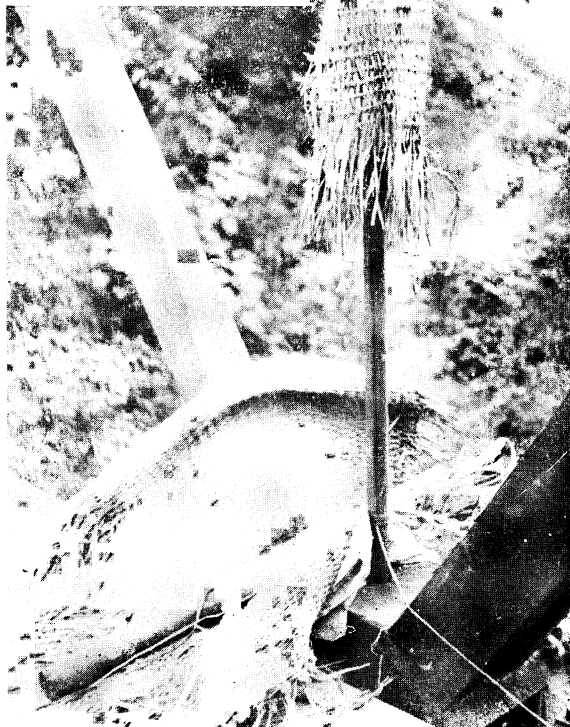
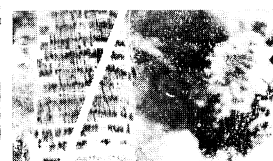


Power Source

Strain Indicator

Photo. 1 Strain meter & Oscillograph

Active Gauge



Dummy gauge

Photo. 2. Active and Dummy Gauges

100 V A. C.



Lead Wire

Meter-Camp

Photo. 3. Howe Truss & Meter Camp

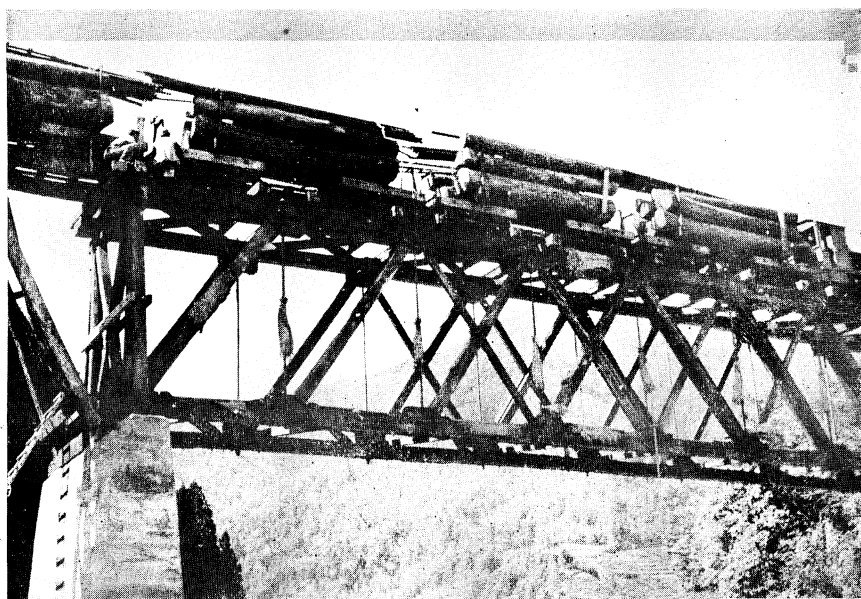


Photo. 4 Test Loading