室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

ワーレン・トラス橋の模型実験について

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 室蘭工業大学
	公開日: 2014-05-28
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 中村, 作太郎, 番匠, 勲, 志村, 政雄
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3167

ワーレン・トラス橋の模型実験について

中村作太郎・番匠　勲・志村政雄

On the Experiment of the Warren Truss Bridge Models

Sakutaro Nakamura, Isao Bansho and Masao Shimura

Abstract

This paper is written regarding the fact that the present writers loaded concentrically by use of a Amsler type compression tester on the centre of some models (span length, about $l \fallingdotseq 80$ cm) of the deck Warren truss bridge and the through one, and that they measured the stress and the deflection within the limits of backling or elastic failure of the models, and explained the influcences of the deformation of the truss and the rigidity of its panel points by comparing with the theoretical values.

1. 緒　　言

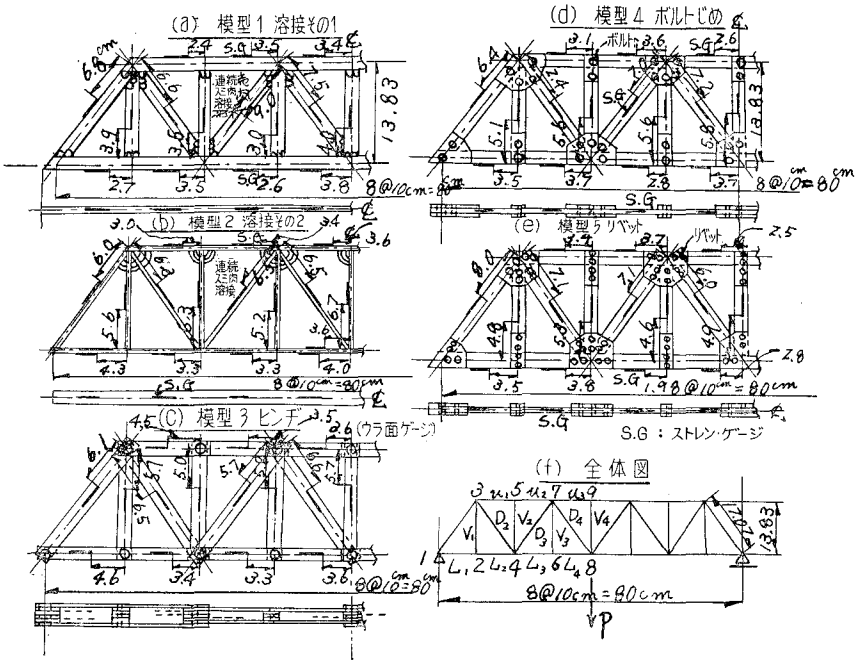
第1図のような下路式のワーレン・トラス橋の模型5種類[1] (溶接結合2種類，ピン結合1種類，ボールト締め結合1種類，リベット結合1種類，支間 $l=80$ cm. 高さ $h=13.83$ cm) と第2図のような上路式のワーレン・トラス橋の模型2種類 (溶接結合1種類，ピン結合1種類，支間 $l=79.8$ cm，高さ $h=18.0$ cm) について，それぞれ下弦材および上弦材の中央点に，最大力量 20 t および 150 t のアムスラー式圧縮試験機を用いて載荷し，荷重の増加にともなう部材応力およびタワミの変化状況を抵抗線歪測定器，ダイアルゲージおよび特殊歪測定器などによって測定し，理論計算値と比較吟味した。

尚，何れの模型共，座屈または弾性破壊するまで荷重を増加し，その極限状態附近の現象を精密に観測し，部材の変形および応力の変化状態を明かならしめた。

2. 模 型 製 作

A. 下路式ワーレン・トラス橋の模型

第1図の通り，5種類の模型すなわち，溶接結合その1 (部材の断面を縦に用いたもの，上下弦材共 0.6 cm×1.8 cm 1枚，垂直材，斜材共 0.3 cm×1.8 cm 1枚使用する。(a) 図参照)，溶接結合その2 (部材の断面を平に用いたもの，上下弦材共 1.8 cm×0.6 cm 1枚，垂直材，斜材共 1.8 cm×0.3 cm 1枚使用する。(b) 図参照)，ピン結合 (部材を2枚合せにしたもの，上下弦材共 0.3 cm×1.8 cm 2枚，垂直材，斜材共 0.3 cm×1.8 cm 1枚使用する。ボールトの径 6 mm, (c) 図



第1図　下路式ワーレン・トラス橋の模型図

参照)，ボールト締め結合（ガセットプレートを当ててビスナットにて接合したもの，上下弦材共 0.6 cm×1.8 cm 1枚，垂直材，斜材共 0.3 cm×1.8 cm 1枚使用する。ビスナット径 3 mm，(d) 図参照)，リベット結合（ガセットプレートを当てて一つの接合に2本ずつのリベットを使用する。上下弦材共 0.6 cm×1.8 cm 1枚，垂直材，斜材共 0.3 cm×1.8 cm 1枚使用し，リベット径 3 mm とする）などの模型を構造用平鋼を用いて本学土木工学教室の手で製作した。

B.　上路式ワーレン・トラス橋の模型

第2図の通り，2種類の模型すなわち，溶接結合（上下弦材共，箱形断面 0.6 cm×4.2 cm 2枚，0.6 cm×2.2 cm 2枚使用，垂直材，斜材共 0.6 cm×2.2 cm 1枚使用，(a), (b), (c) 図参照）とピン結合（上下弦材共箱形断面 0.6 cm×4.2 cm 2枚，0.6 cm×2.2 cm 2枚使用，垂直材，斜材共 0.6 cm×2.2 cm 1枚使用し，ボールトの径 8 mm を用いた。(d), (e), (f) 図参照）の模型を構造用平鋼を用い，函館ドック室蘭製作所に依頼して作製した。

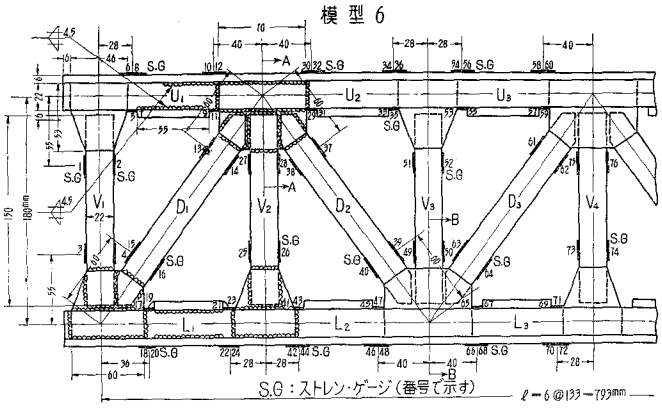
3.　実 験 装 置

A.　下路式ワーレン・トラス橋の模型実験

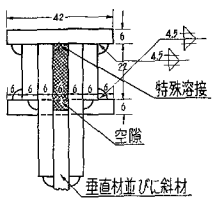
i.　Strain Gage

K-13-1, Gage Length 31 mm Gage Resist. 602.2±0.2 Ω, Gage Factor 2.11±1%

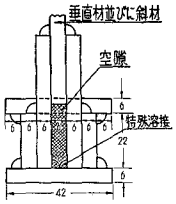
以上の条件を持った Strain Gage を各模型について，部材の約中央部に1枚づつ計16枚，



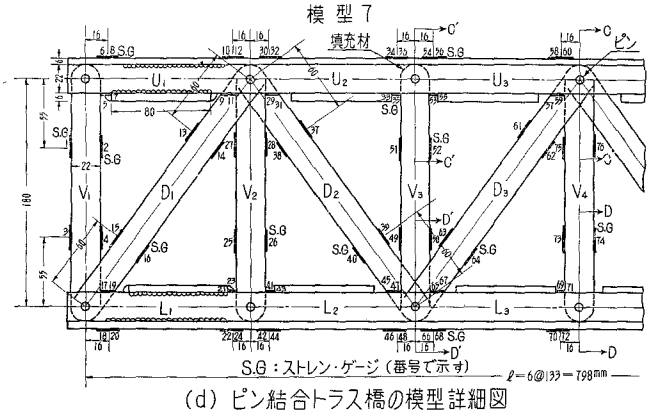
(a) 溶接結合トラス橋の模型詳細図



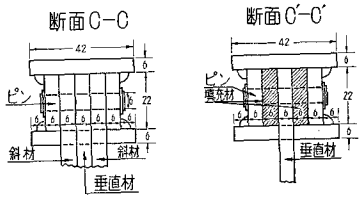
(b) 上弦材断面A－A
（溶接トラス）



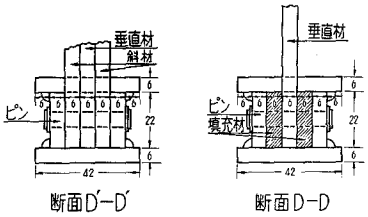
(c) 下弦材断面B－B
（溶接トラス）



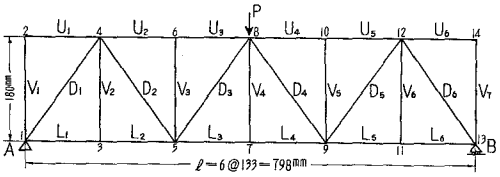
(d) ピン結合トラス橋の模型詳細図



(e) 上弦材格点断面取付の図
（ピン結合トラス）



(f) 下弦材格点断面取付の図
（ピン結合トラス）



(g) トラス橋の模型6および7の一般寸法図

第 2 図　上路式ワーレン・トラス橋の模型図

合計 80 枚を使用した。

ii. Strain Meter

SM-4 J 抵抗線歪測定器を使用する。

iii. スイッチボックス

24 点スイッチボックスを使用し，各模型 16 点あるから一度に一つの模型の測定が出来る。

iv. ダイアルゲージ

中央部のタワミの測定のためまたはキヤリブレーション曲線作成のために使用する。精度…1/100 mm。

v. 特殊歪測定器

ダイアルゲージをすえられない模型の時に，中央部のタワミ測定のために使用する。これは予め，ダイアルゲージを使ってキヤリブレーション曲線を画いてそのグラフよりタワミを換算して値を求める。

vi. アムスラー式圧縮試験機

20 t のアムスラー式圧縮試験機を使用し，座屈または弾性破壊するまで測定した。

B. 上路式ワーレン・トラス橋の模型実験

i. Strain Gage

K-19-1, Gage Length 3 mm, Gage Resist. 120.0±0.3 Ω, Gage Factor 2.09±1.5%

以上の条件を持った Strain Gage を二つの各模型について上下弦材では一部材につき 8 枚ずつ，垂直材，斜材では一部につき 4 枚ずつ計 76 枚使用した。

ii. Strain Meter

SM-4 J 抵抗線歪測定器を使用する。

iii. スイッチボックス

24 点スイッチボックス 3 個と 6 点スイッチボックス 1 個を使用し，76 点測定した。

iv. ダイアルゲージ

中央点のタワミの測定のために使用する。精度…1/100 mm。

v. アムスラー式圧縮試験機

150 t のアムスラー式圧縮試験機を使用し座屈または弾性破壊するまで測定した。

4. 試 験 方 法

A. 下路式ワーレン・トラス橋の模型実験

i. 試 験 準 備

a). 5 個の模型各々に左右対称であるから片側にだけ 16 枚ずつストレーンゲージを第 1 図の通りはる。

b). ゲージにターミナルおよびリード線を接続する。このリード線を24点スイッチボックスに接続し，タミーゲージには実験を行なわない模型のゲージを使用する。

c). 初平衡調整を行なう。スイッチボックスの A_1, $A_2 \cdots A_n$ を順次スイッチ 1, 2, 3…n と切換えて一点毎に調整する。先ず A_1 の初調整を例として記述すると，スイッチボックスのスイッチを1にする。インジケーターのダイアルを0にし，Range 500 にして Sen. Min. から少し右に廻わすとメーターが振れるからスイッチボックスの A_1 の例にある平衡調整ネジをドライバーで静かに廻し，メーター0になるようにし，Max. で0になるようにする。この時 Range 500 で振れ過ぎる場合は，Range 1500, 5000, 15000 などの感度の低い処で0にして順次感度をあげ Range 500 Sen. Max. でダイアル0にしてメーター0になるようにする。以下順次ダイアルを切換えて同様の方法を繰返えして初調整を行なう。

d). 全部の調整が終ったら，測定準備完了である。

ii. 測定方法

a). 集中荷重は，20 t のアムスラー式圧縮試験機によって下弦材の中央点にかける。

b). 初荷重を 50 kg とし，以下 50 kg ずつ順次増して行き，50 kg 毎に測定値を記録する。部材応力の測定の最終荷重を 350 kg とし，別に破壊荷重を測定し破壊状態を観測記録した。また，中央点には特殊歪測定器を取りつけ，破壊するまで 50 kg 毎にタワミ値を測定する。

B. 上路式ワーレン・トラス橋の模型実験

i. 実試準備

a). 2個の模型各々に76枚ずつストレンゲージを第2図の通りはる。

b). ゲージにターミナルおよびリード線を接続する。このリード線を24点スイッチボックス3個と6点スイッチボックスに接続し，タミーゲージには実験を行なわない模型のゲージを使用する。その他下路式ワーレン・トラス橋の模型の場合と同じ。

ii. 測定方法

a). 集中荷重は 150 t アムスラー式圧縮試験機によって上弦材の中央点にかける。

b). 初荷重を 500 kg とし，以下 500 kg ずつ荷重を順次増して行き，500 kg 毎に測定値を記録する。荷重は破壊するまで続け，部材応力および中央点のタワミを測定した。タワミ測定にはダイアルゲージを下弦材中央点にとりつけ，破壊するまでの各荷重毎の変形状態を明らかならしめた。

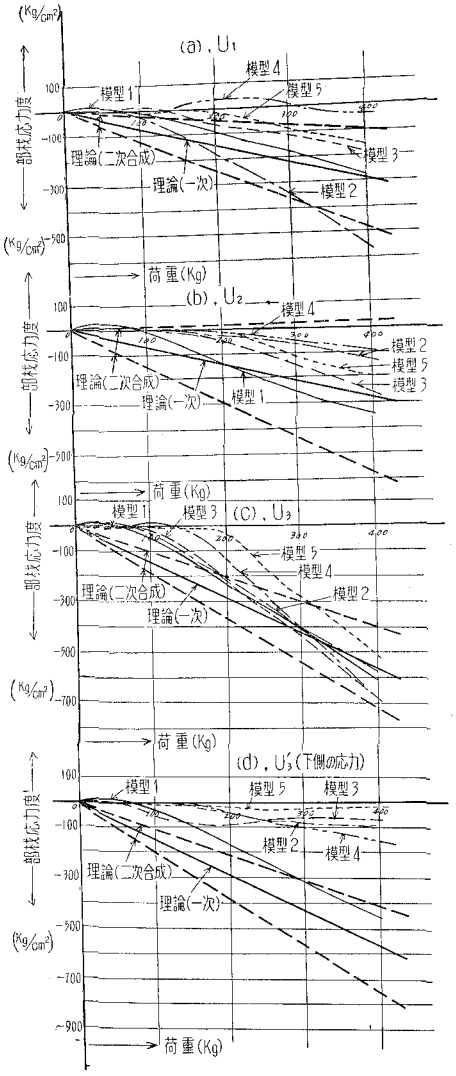
その他，下路ワーレン・トラス橋の模型の場合と同じ要領で測定する。

5. 実験結果と理論計算値との比較

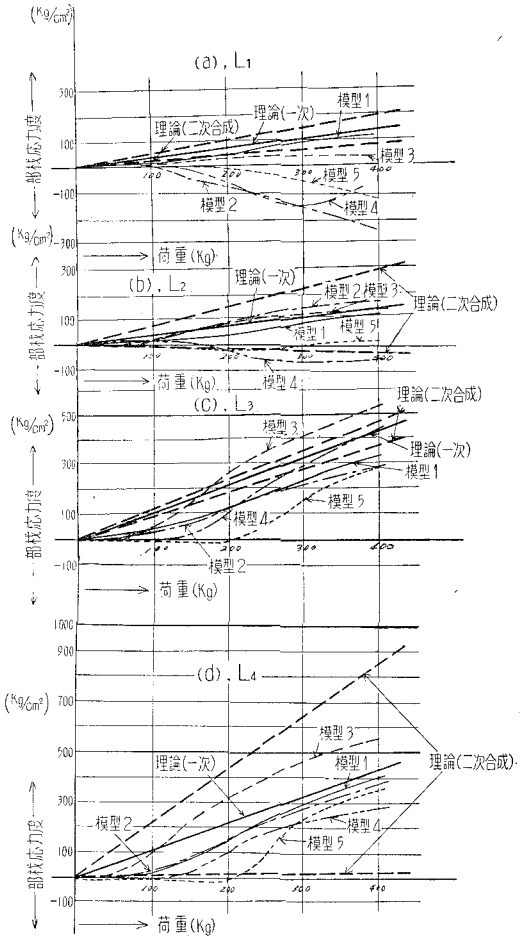
下路式および上路式のワーレン・トラス橋の模型何れについても，節点を完全な鉸結と仮定した従来の単純トラス橋の解法による一次応力の計算と節点を完全な剛結と仮定した二次応

力並びに合成応力の計算を行ない実験値と比較吟味した。更に何れの模型についても従来の単純トラス橋としてのタワミ計算を行ない実験値との差異を明かならしめた。また特に上路式ワーレン・トラス橋の模型については，節点剛性の影響を考慮した厳密計算法[2),3)] 並びに測定の結果得た実験応力による計算法によってタワミを算出し，ダイアルゲージによって測った値と比較検討した。尚参考のため，各種模型の諸数値を比較表示すれば第1表の通りとなる。

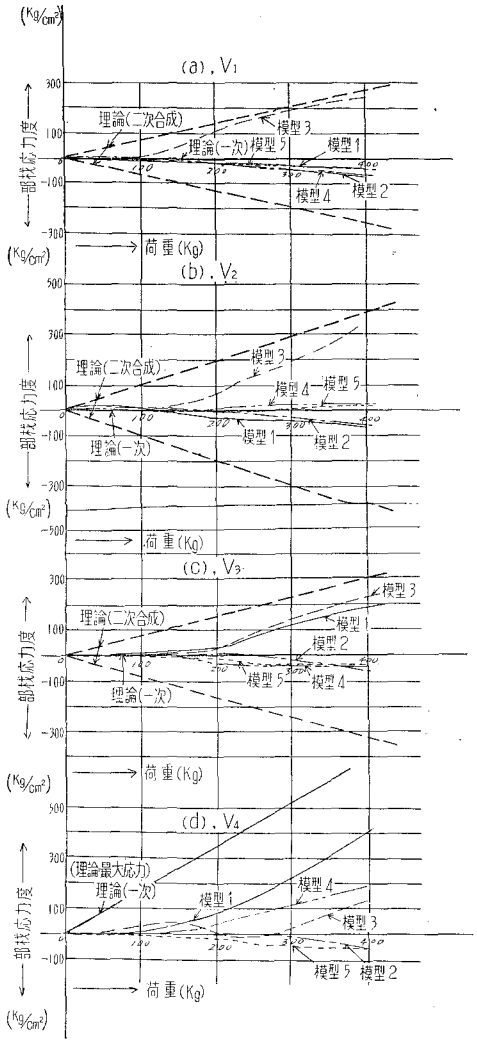
A.　下路ワーレン・トラス橋の模型における部材応力・タワミの比較（第3図～第7図参照）



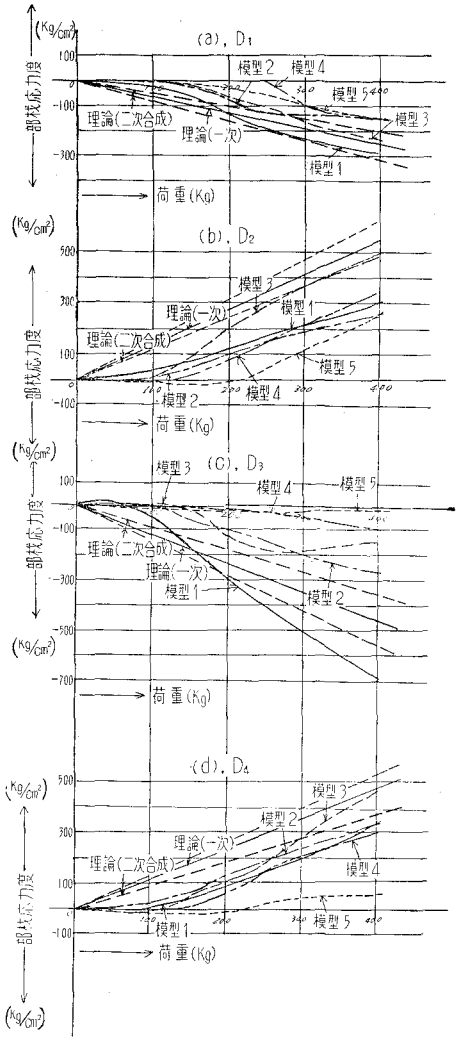
第3図　上弦材の荷重・応力度曲線
（各模型の比較）U_1～U_3 および
U_3'（U_3 部材の下側の応力）



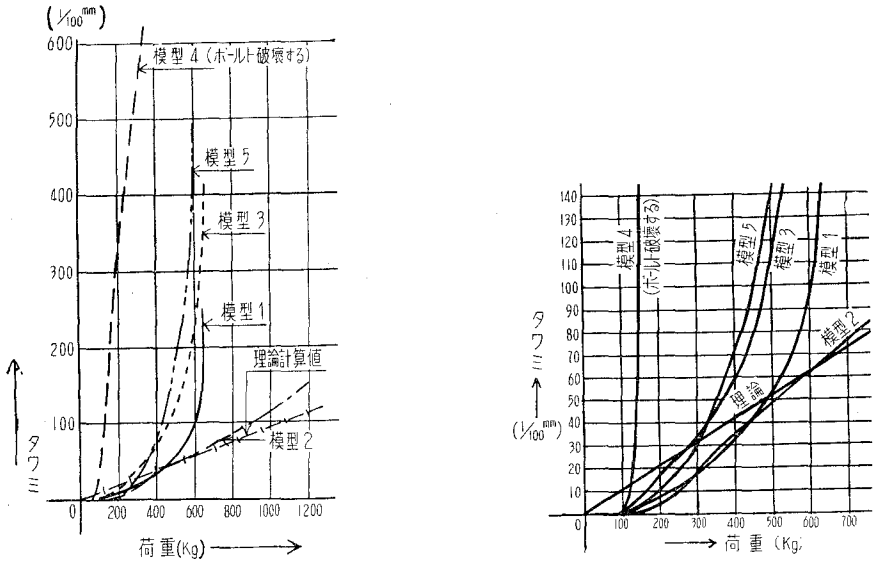
第4図　下弦材の荷重・応力度曲線
（各模型の比較）L_1～L_4



第5図　鉛直材の荷重・応力度曲線
(各模型の比較) V_1～V_4



第6図　斜材の荷重・応力度曲線
(各模型の比較) D_1～D_4



(a)　荷重範囲 0～破壊荷重の全体図　　(b)　荷重範囲 0～500 kg 付近の拡大図

第 7 図　荷重―タワミ（下弦材中央点）図

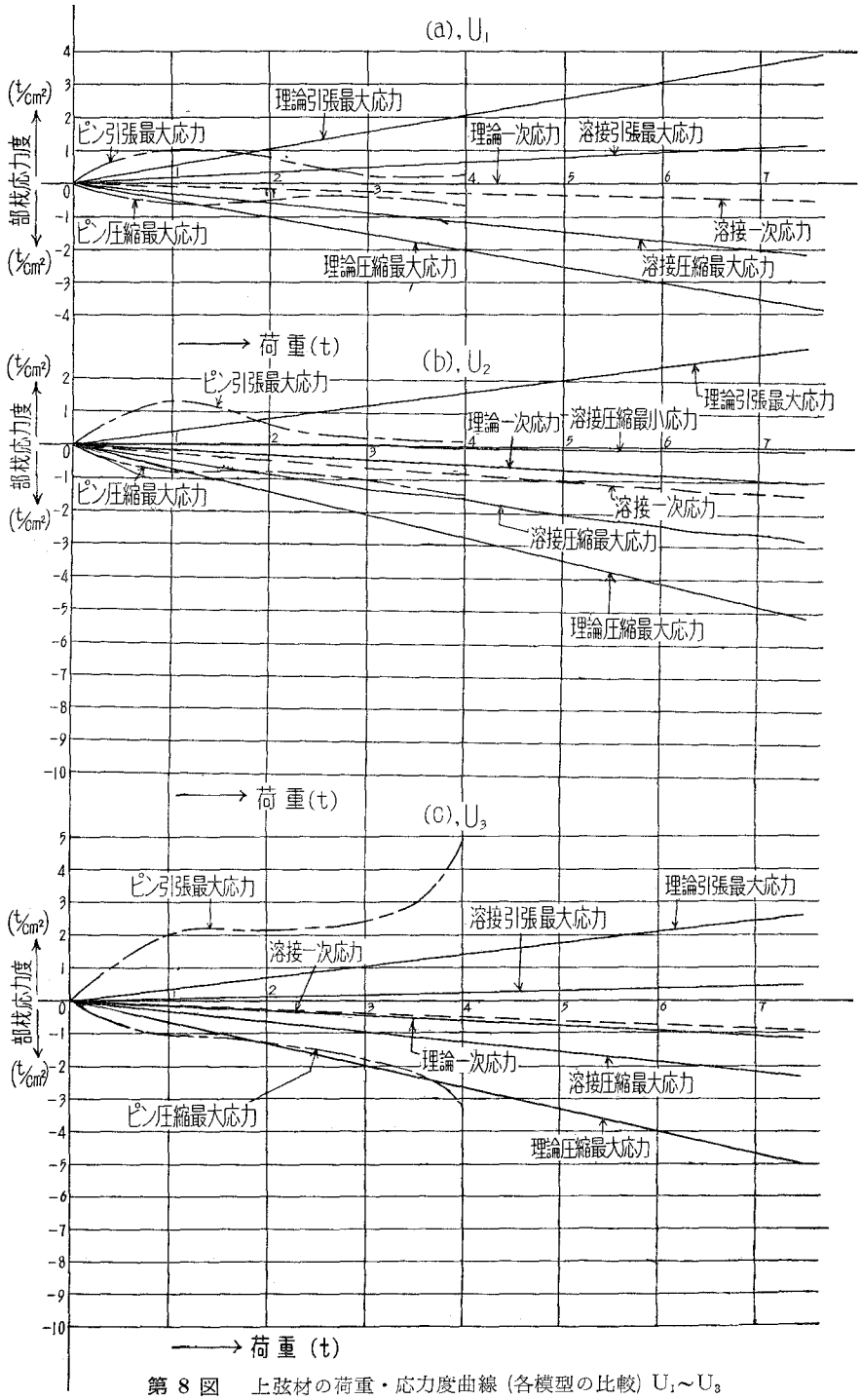
第 1 表　ワーレン・トラス橋の各種模型の部材寸法に関する諸数値表

模型 ＼ 部材		上弦材 断面積 (cm²)		上弦材 部材長 (cm)	下弦材 断面積 (cm²)		下弦材 部材長 (cm)	鉛直材 断面積 (cm²)		鉛直材 部材長 (cm)
下路式	模型 1（溶接 No. 1）	0.60×1.80	1.08	10.0	0.60×1.80	1.08	10.0	0.30×1.80	0.54	13.83
	模型 2（溶接 No. 2）	1.80×0.60	〃	〃	1.80×0.60	〃	〃	1.80×0.30	〃	〃
	模型 3（ピン）	2×0.30×1.80	〃	〃	2×0.30×1.80	〃	〃	0.30×1.80	〃	〃
	模型 4（ボールト）	0.60×1.80	〃	〃	0.60×1.80	〃	〃	0.30×1.80	〃	〃
	模型 5（リベット）	0.60×1.80	〃	〃	0.60×1.80	〃	〃	0.30×1.80	〃	〃
上路式	模型 6（溶接）	2×0.60×4.20 2×0.60×2.20	7.68	13.3	2×0.60×4.20 2×0.60×2.20	7.68	13.3	0.60×2.20	1.32	18.0
	模型 7（ピン）	2×0.60×4.20 2×0.60×2.20	〃	〃	2×0.60×4.20 2×0.60×2.20	〃	〃	0.60×2.20	〃	〃

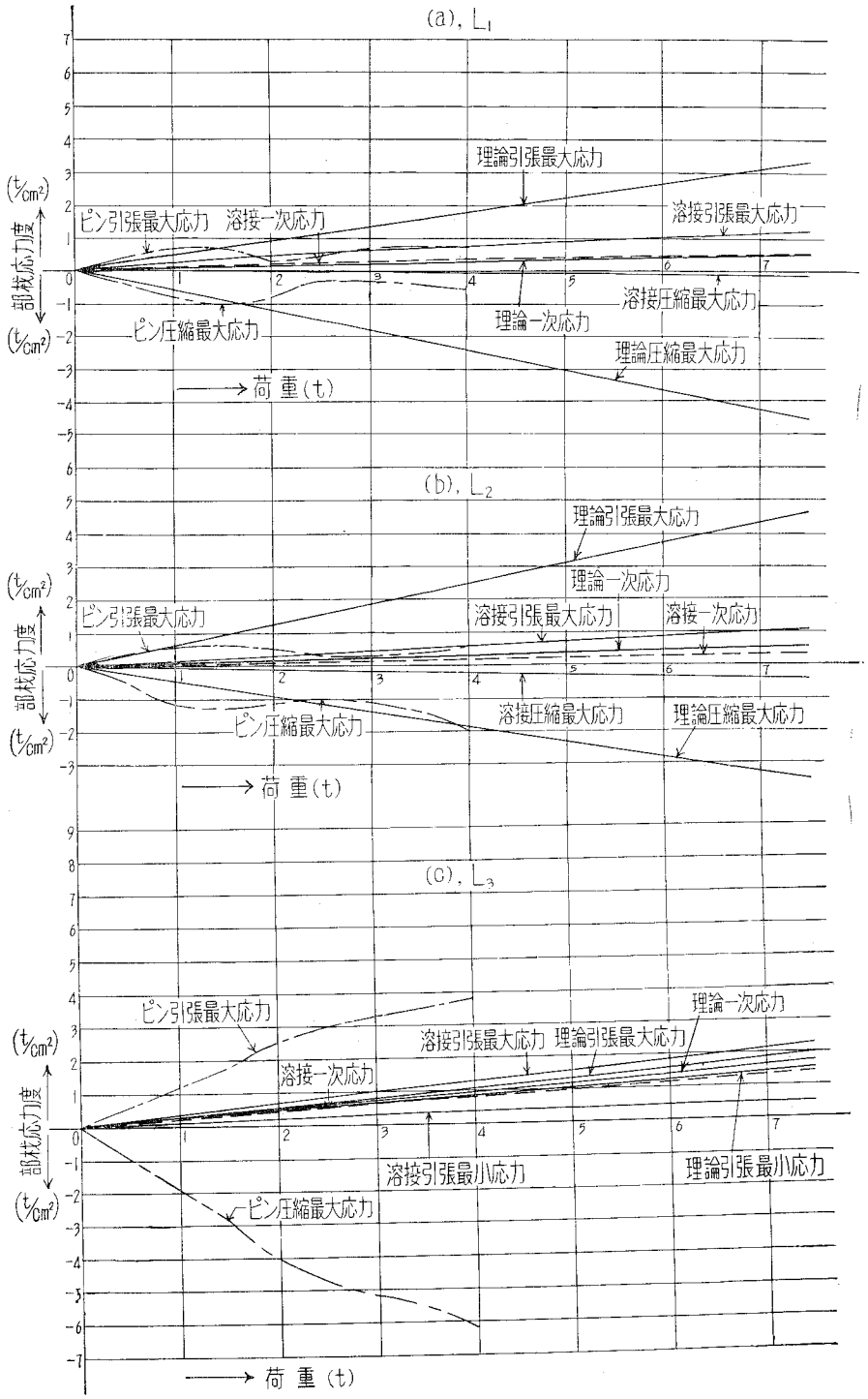
模型 ＼ 部材		斜材 断面積 (cm²)		斜材 部材長 (cm)	端斜材 断面積 (cm²)		端斜材 部材長 (cm)
下路式	模型 1（溶接 No. 1）	0.30×1.80	0.54	17.068	0.60×1.80	1.080	17.067
	模型 2（溶接 No. 2）	1.80×0.30	〃	〃	1.80×0.60	〃	〃
	模型 3（ピン）	0.30×1.80	〃	〃	2×0.30×1.80	〃	〃
	模型 4（ボールト）	0.30×1.80	〃	〃	0.60×1.80	〃	〃
	模型 5（リベット）	0.30×1.80	〃	〃	0.60×1.80	〃	〃
上路式	模型 6（溶接）	0.60×2.20	1.32	22.38			
	模型 7（ピン）	0.60×2.20	〃	〃			

（注）　模型 1, 2, 4, 5 では各部材共矩形単断面であり，模型 3 では，上弦材，下弦材，端斜材だけ矩形の複断面を用いた。また，模型 6, 7 では，上弦材，下弦材共箱形断面とした。

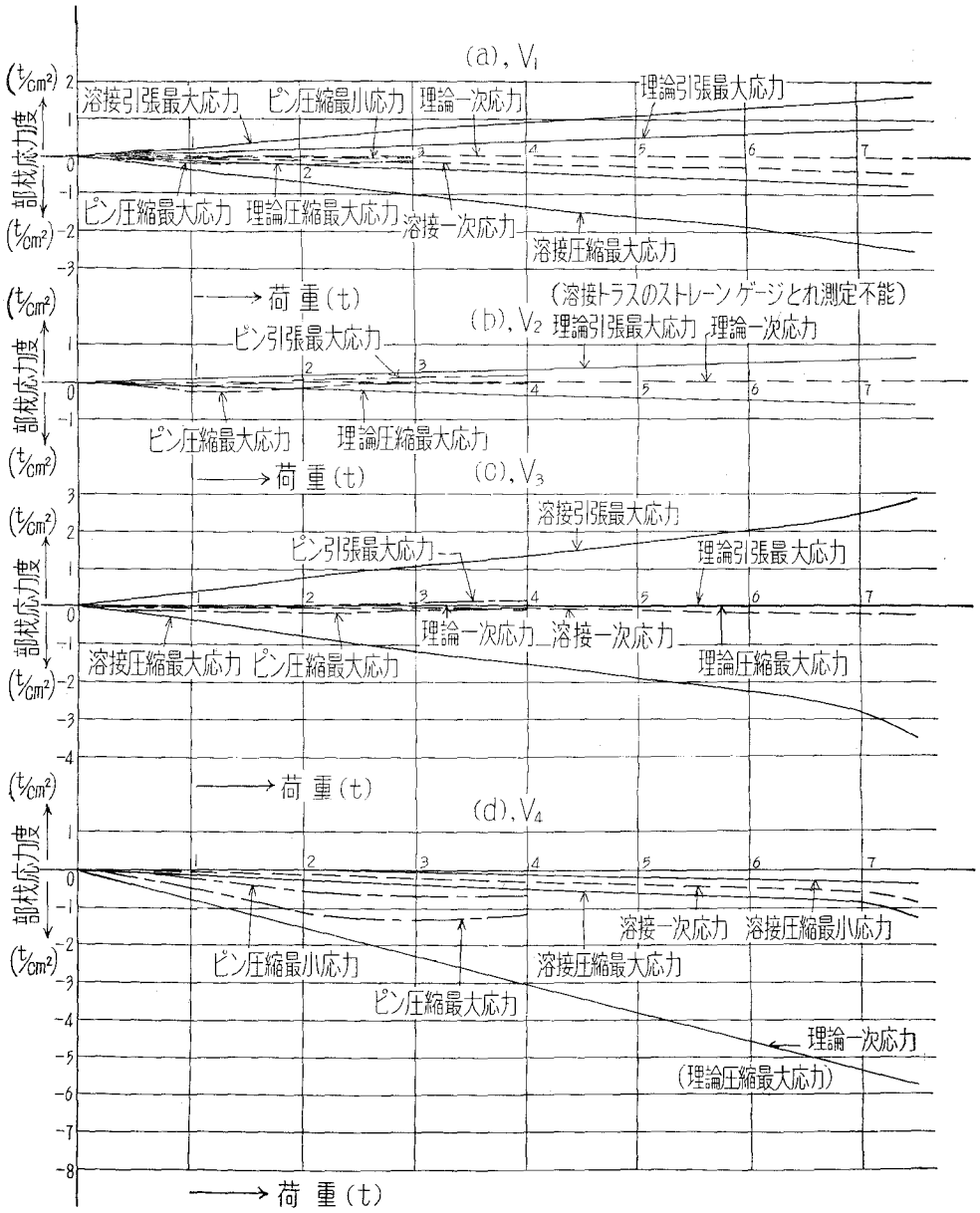
B.　上路式ワーレン・トラス橋の模型における部材応力・タワミの比較（第8図～第12図参照）



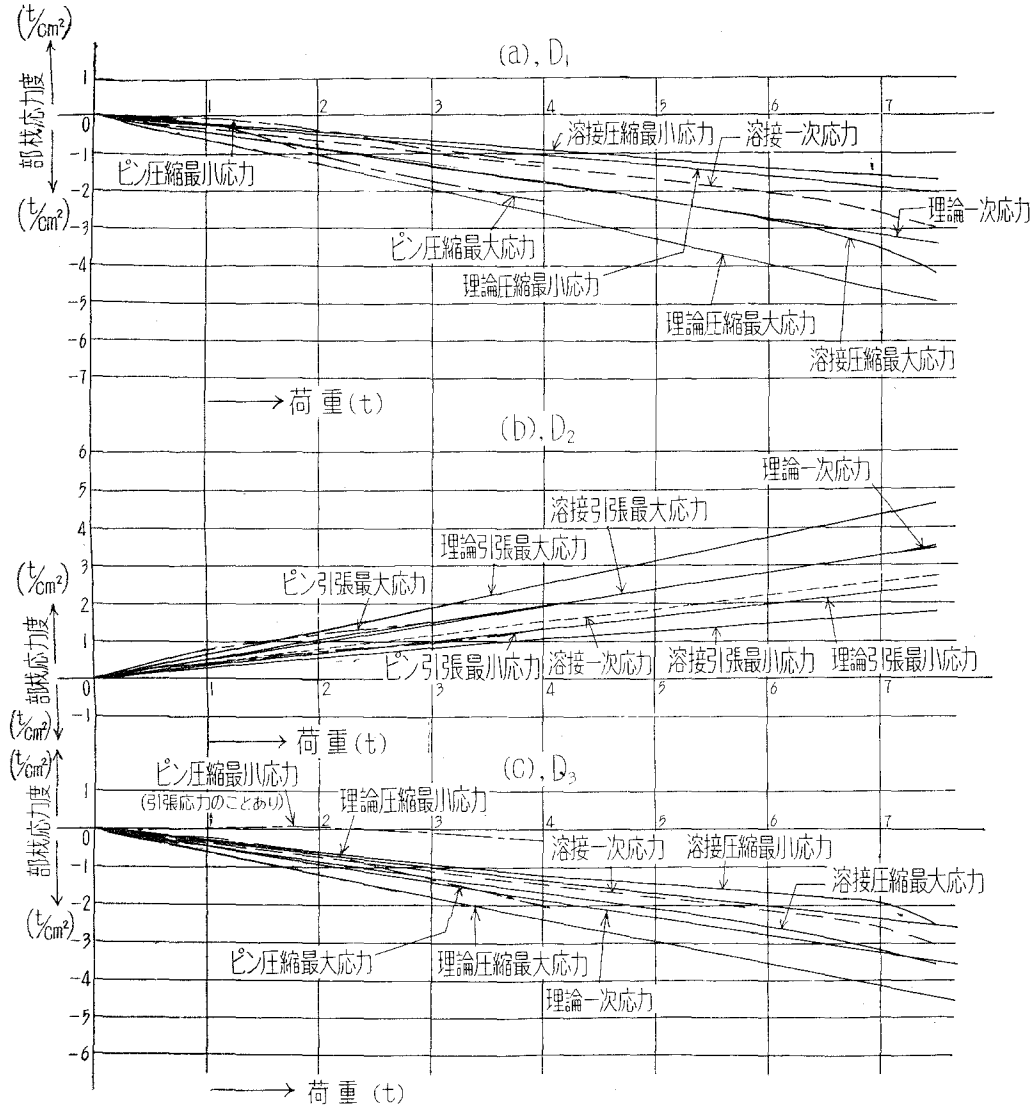
第 8 図　上弦材の荷重・応力度曲線（各模型の比較）U_1～U_3



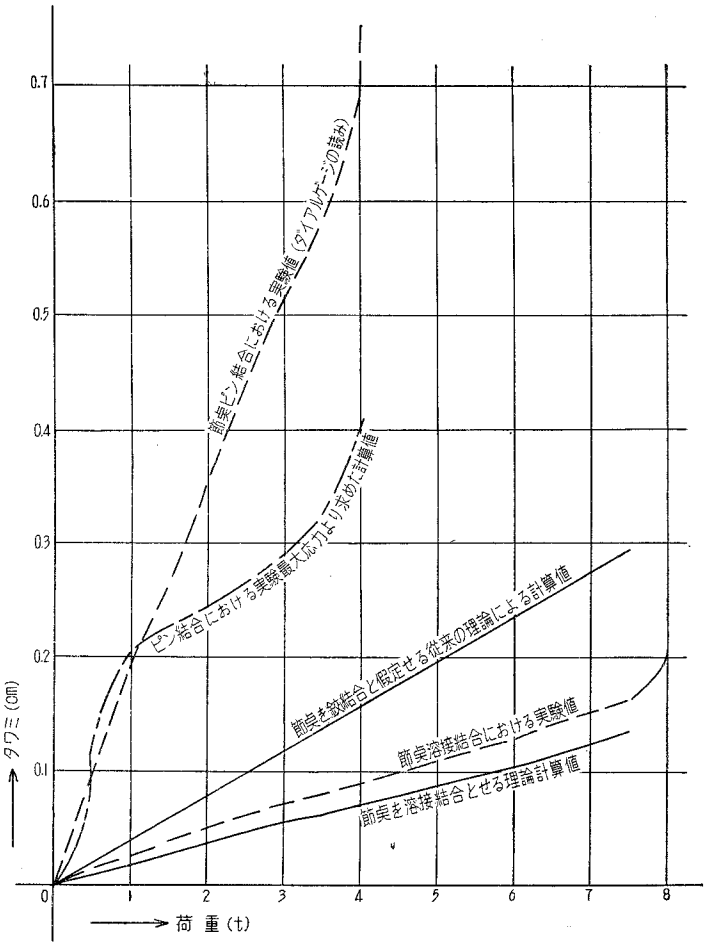
第 9 図　下弦材の荷重・応力度曲線（各模型の比較）$L_1 \sim L_3$



第10図　鉛直材の荷重・応力度曲線（各模型の比較）V_1～V_4



第11図　斜材の荷重・応力度曲線（各模型の比較）$D_1 \sim D_3$



第12図　荷重—タワミ（下弦材中央点）曲線図

6. 考　　察

A. 下路式ワーレン・トラス橋の模型

i. 部材応力

何れの模型も弾性限度以内と考察される 0～400 kg の範囲の荷重について部材応力を測定せるもので，これ以上の荷重については変形が大きくなって部材応力のばらつき，増大が激しく，理論計算値とは著しく離れて行く傾向にある事が確かめられた。

a). 模型 1（溶接結合その 1）

この模型の荷重応力曲線は腹材などにおける 2, 3 の例外を除き，節点を剛結と仮定し二次応力を考慮した最大，最小の合成応力曲線の中間附近に存在する傾向にあった。すなわち，理

論計算による一次応力に可成り接近する模様が認められた。しかし詳細に観測すると荷重の小さい0～150 kg の範囲では実験値の方が遙かに小さくなっているようであり，また荷重150～400 kg の範囲では，実験値が段々と理論値に接近する傾向にあった。

b). 模型2 (溶接結合その2)

多少の例外を除き，模型1と同様，実験値は理論計算に可成り接近しているが詳細に観察すれば少しく実験値の方が小さくなる傾向にあった。これらは模型1，模型2共節点が溶接結合なるため節点剛性が増加し，変形による部材応力のばらつきと増大が防止される結果であると思われる。

c). 模型3 (ピン結合)

この模型においては実験値の方が理論計算値よりも大きく出ている部材が可成りある点，特に荷重の増大につれてばらつきが多く，変形による応力が加算されて来る傾向のある事などは注目に価すると思う。

d). 模型4 (ボールト締め結合)

大部分の部材応力実験値が模型5同様理論計算値よりも小さく出ている。しかし，荷重の増大につれてばらつきが多く不規則な荷重応力曲線を示す部材が可成りあるのは，荷重の300 kg 附近でボールト破壊を起した部材があった事に起因していると考える。

e). 模型5 (リベット結合)

大部分の部材においては，実験値が理論計算値より小さく出ている。これはリベット結合のため，節点の剛性が幾分増加されたためと考える。しかし不規則な荷重応力曲線も多少見られ，節点の結合が溶接よりも充分ではない事を示していた。

以上を総合すると，ピン結合の模型3が最も荷重の増減によって不安定な応力状態を示し著しく部材応力が大きく出る傾向があり変形の影響が顕著に現われたものと考える事が出来る。また，模型4 (ボールト) と模型5 (リベット) は節点剛性に多少の差異はあっても，その他の条件は殆んど同じであるため似かよった実験曲線となっているものと判断する事が出来る。模型1と模型2は節点が溶接のため節点モーメントによる縁端二次応力は増加するが部材中間部の応力は安定性を保ち，荷重の増加によっても余りばらつきが見られず好ましい状態であった。しかも中間の部材応力は理論計算値に比べ少しく小さくなりタワミの減少にも役立つものと考えられる。

ii. タワミと座屈現象[4]について

模型1 (溶接その1)，模型2 (溶接その2) は共に，荷重が400～450 kg 以下では実験タワミの方が理論タワミ値よりも遙かに小さく，節点剛性の利き目が有効に働いているものと考察された。しかし，模型1の方は500～600 kg 以上の荷重になると急激にタワミ出し，横座屈現象を呈した。これに対し模型2の方は，1000 kg の荷重附近まで理論タワミ曲線に沿って少しず

つタワミの増大を示し，1200 kg 附近の荷重によって座屈した。(垂直材が長柱の座屈現象を呈した) 模型 3 (ピン), 模型 4 (ボールト), 模型 5 (リベット) は共に荷重の増大にともなって著しいタワミをともない座屈した。すなわち，模型 3 は 650 kg で上弦材 U_3 の局部座屈を起し模型 4 は 350 kg でボールトが破損し横振れ座屈現象を呈した。次に，模型 5 も 600 kg で矢張り横振れ座屈を起したが，この模型は特にリベット結合であるため節点剛性の効果が現われ，100～250 kg 程度の小さな荷重の範囲では実験タワミ値が理論タワミ値よりも幾分小さくなっていた。いま，300 kg の荷重のもとにおける節点剛性の影響を考慮せる厳密タワミ計算法によって求めたタワミを実験値と比較して見ると，模型 1 では理論計算値 0.025 cm に対し実験タワミ値 0.019 cm，模型 3 では理論計算値 0.031 cm に対し実験タワミ値 0.033 cm，模型 5 では理論計算値 0.0289 cm に対し実験タワミ値 0.029 cm となり，厳密タワミ計算法は従来の計算法よりも遙かに合理的であり将来性ある事を示した。またタワミの結果より見て，節点の溶接結合は剛性増加の上において頗る役立ち，今後に期待される処が多い。

B. 上路式ワーレン・トラス橋の模型

i. 部 材 応 力

a). 模型 6 (溶接結合)

節点を剛結と仮定せる理論によって部材応力を計算し実験値と比較すれば，最大合成応力では 2, 3 の例外を除き理論計算値の方が相当に大きく，一次応力だけでは，理論計算値に可成り接近して来る傾向のある事がわかった。何れにしても理論値の方が大なる事はタワミの比較より見ても明かなところである。

b). 模型 7 (ピン結合)

節点をピンと仮定せる理論計算値との比較の結果，殆んどの部材で理論値よりも実験値の方が大きく出ている。これはタワミにおいても如実に表われているところである。

次に，溶接結合の模型 6 とピン結合の模型 7 を比較して見ると，溶接結合の場合の方が規則正しい荷重応力曲線の形状を示し，ピン結合の場合の荷重応力度曲線は可成り不規則な形状を呈し，変形による応力の不安定性を示している。特に荷重の載荷点附近の部材においてこの傾向が著しい。例えば，U_3, L_3, D_3, V_4 などの部材では部材応力が著しく大きくなっており，これは局部的な応力集中によって剛性に乏しいピン結合の部材が変形量を増大し，偏心モーメントなどの影響を受けて著しく大きな応力状態となるのだと判断する事が出来る。

ii. タ ワ ミ

a). 模型 6 (溶接結合)

従来の理論計算値，節点剛性の影響を考慮せるトラス橋の厳密タワミ計算値，ダイアルゲージの読みより得たタワミの実験値の三つの場合を比較して見ると，従来の理論計算値は実験値よりも可成り大きく，厳密タワミ計算値は実験値よりも少しく小さくなっている。しかしそ

の曲線の形は非常に実験曲線に似かよっているので，係数の取り方如何によってはもっと近接させる事が出来ると思う。以上のタワミの結果より判断して，溶接結合はトラス橋の剛性増加上非常に役立つ事がわかった。

b). 模型7（ピン結合）

ダイアルゲージの読みによる実験タワミは従来の理論計算値よりも遙かに大きく，ピン結合トラスの計算方法に対し検討の余地を与えるものである。実験より求めた部材応力を使用して厳密にタワミを計算して見ると矢張り従来の理論計算値よりは遙かにタワミの値が大きくなり，荷重が1t位までは実験値と大差なかった。何れにしてもピン結合トラスのような変形の大きなトラス橋では，変形を考慮に入れた厳密計算方法によってタワミを計算すべきであると思う。

二つの模型のタワミを比較すると，ピン結合トラスに対し溶接結合トラスでは著しいタワミの減少を見，溶接結合が剛性増加上非常に役立ち，ピン結合は橋梁の結合方法として甚だ好ましくないと云う事が今更ながら再確認させられた。

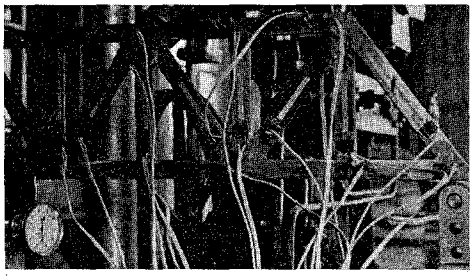
iii. 座屈または弾性破壊現象について[4)]

模型6（溶接結合）は模型7（ピン結合）に比べ，その破壊荷重も遙かに大きく，ピン結合トラスの模型が4tで破壊したのに対し，溶接結合トラスの模型では8tまで荷重を増して漸く破壊した。何れの模型も，斜材 D_1，続いて D_3 が破壊した。そこで，ピン結合トラス模型の斜材 D_1 について，両端鉸結合単一材に関する Tetmejer 氏および J. B. Johnson 氏の公式を用いて座屈応力度 σ_k を計算すると，模型材料の弾性限度 3.74 t/cm² を用い，$\sigma_k=4.2$ t/cm² を得た。これよりトラス中央点の載荷座屈荷重 P_k を求めると，$P_k=8.92$ t となり，実験における破壊荷重 $P_k=4.0$ t に比べ，約120% 大きくなった。また D_1 部材が座屈する時の部材応力は実験の結果 $\sigma=2{,}336$ kg/cm² であり，素材の弾性限度 $\sigma=3{,}740$ kg/cm² 以下であり，単純なる圧縮応力によって破壊したものとも考えられない。破壊荷重のときの変形状況より見ても横捩り座屈を起したものと考えられ，変形を考慮したトラス全体としての座屈応力度の計算をやって見る必要があると思う。尚座屈現象を調べる実験においては横変形を生じた側面にも数箇所ストレーンゲージをはって見る必要があったように思う。

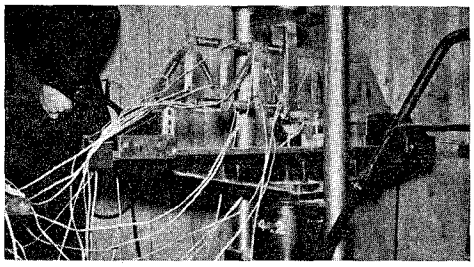
尚，模型実験中の状況および座屈後における変形状況の一部を示せば，写真1，2の通りになる。

また，上路式ワーレン・トラス橋の模型に使用した構造用軟鋼（SS 41 に準ずる）の降伏点応力度および破壊応力を5本づつの素材（規格寸法のもの）につき，万能試験機により試験した結果，平均値が次のよにになったので参考のため掲載する。

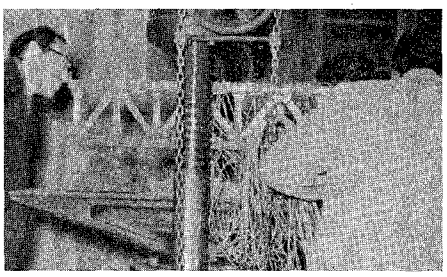
引張降伏点応力度	平均 約 2,920 kg/cm²	引張破壊応力度	平均 約 4,480 kg/cm²
圧縮降伏点応力度	平均 約 3,740 kg/cm²	圧縮破壊応力度	平均 約 8,150 kg/cm²



(a)　模型1 (溶接，下路式ワーレン)



(b)　模型3 (ピン，下路式ワーレン)



(c)　模型6 (溶接，上路式ワーレン)

写真 1　模 型 実 験 中 の 状 況

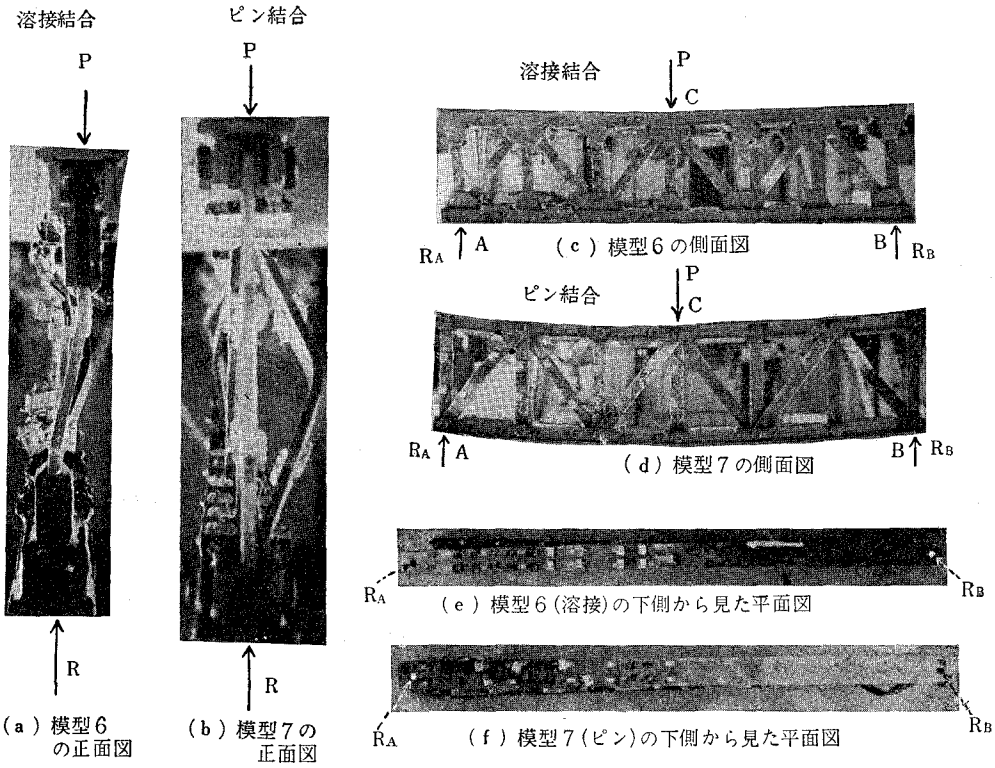


写真 2　模型6および7の座屈後における変形状況

これに対し，破壊時における応力度の特に大きな部材を2, 3あげれば，ピン結合では，L_3, U_3, D_1, D_3 などであり，溶接結合では，D_2, D_1, U_1, D_3 などであった。これを見ると，ピン結合トラスでは荷重点付近の弦材に局部応力集中の影響が現われたものと考えられ，また何れの模型も，斜材に可成りの応力度が生じた事は，横捩り座屈による変形と合せ考える時，妥当なものと領ける次第である。しかし，最大の応力度は横変形を起した D_1 部材の側面（ストレーン・ゲージをはらなかった）に生じたのではないかと推察される。

7. 結　　言

本研究を総合すると，トラス橋の溶接結合はタワミを減少させ，トラス全体としての剛度を増す上において他の何れの結合方法よりも力学的に安定性があり，優れているものと思う。温度脆性その他に関する溶接工学上の研究技術の進歩と相俟って，極めて将来性ある結合方法であると考える。ピン結合トラスはタワミが荷重と共に著しく増大し，部材応力も極めて不安定で大きくなり，結合方法としては甚だ好ましくないと思う。リベット結合はその中間的存在になるわけであるが，ガセットプレートを相当大きくし，リベットの数を増せば，溶接に準ずる結合方法となる。ただし，何れの結合方法を用いても，各部材の断面形は，箱形または円形のような，任意の中立軸に関し，等しい慣性モーメントを有するような断面が望ましいと考える。それから，部材応力，タワミ，座屈荷重，破壊応力度などに関する計算は，当然節点剛性の影響と変形を考慮に入れた厳密解法によるべきであると思う。

尚，本研究は文部省科学研究交付金を受けた研究の一部にして心から謝意を表すると共に研究に協力下さった室蘭工業大学土木工学科卒業生，工藤一行，近江英樹，岡野拓雄，柳生雅規，松下慶一の諸君と図面のトレースを手伝って頂いた本学土木工学教室渡部公治君に感謝するほか，研究に御支援，御援助下さった北大工学部，今俊三教授，酒井忠明教授，東大工学部奥村敏恵教授，国鉄技術研究所，北海道開発局土木試験所，函館ドック株式会社室蘭製作所，本学土木工学教室の教職員各位に対し心から御礼を申し上げる次第である。

（昭和37年4月30日受理）

文　　献

1) 中村作太郎・番匠勲・志村政雄：土木学会第16回年次学術講演会講演概要，**II-53**, 119, 120 (1961).
2) 中村作太郎・番匠勲：土木学会北海道支部技術資料，**No. 18**, 14～25 (1962).
3) 中村作太郎：室蘭工業大学研究報告，**3-3**. 73～89 (1960).
4) 長柱研究委員会：弾性安定要覧，2版，101～258 (東京，1960).