



模型トラスの応力解析

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 浜田, 恒平, 内藤, 正鄰 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3567

模型トラスの応力解析

浜田恒平・内藤正鄰

Stress Analysis of a Model (miniature) Truss

Kouhei Hamada and Masachika Naito

Abstract

The measured stress of the truss structure does not always agree to the stress calculated by the Cremona's method. For the purpose of researching into the relation, an experiment on the model truss was tried by the authors. The model truss made of equal angle steel was Warren type, span length $l=360$ cm, height $h=30$ cm. The axial force was measured by the axial force load-cell. In the measuring member, the load-cell was inserted instead of the member. The section of the load-cell was square, so axial force and bending moments were measured and calculated individually. In the members of the truss, the axial force of the upper chord member was 80~85% of the calculated value and on the lower chord member it was 75~80%. On the other members they were nearly equal. The reaction ratio of the main beam to the sub beam was 4:1.

1. 緒言

構造物、産業機械等には型鋼、パイプ等を使用したトラス構造が多く用いられている。一般に静定トラスにおける応力解析は、節点におけるつりあい条件を用いたクレモナの図解法¹⁾、節点法、その他の解法が多く用いられている。しかしこれらの解法は「構成部材は直線材で、すべて、滑節接合されている。故に曲げモーメントは生じない。せん断力は軸力にくらべて微小であるので計算上無視する。外力は節点又は支点に作用する。」等の仮定のもとで行われる。このため実際の構造物において測定された応力と上記の解法によって求めた応力とは必ずしも完全に一致しない²⁾。これは実際の構造物において接合はほとんどボルト、リベット等で行なわれ、この点が完全な滑節接合と仮定出来ないため曲げモーメントの影響が無視出来なくなる。これらの関係を調べるため等辺山型鋼を使用して簡単なワーレン型トラスの模型を製作し載荷試験を行った。ここで等辺山型鋼は重心が部材外にあるため単軸の引張又は圧縮荷重を受けた場合でも、偏心荷重となり、部材の任意の断面の応力分布は一様とはならない。そのため等辺山型鋼の単軸の引張荷重下における挙動を調べた。その結果、等辺山型鋼に直接ストレインゲージ等を用いて、軸力及び曲げを分離して測定することは困難であることがわかった。そこでこれらの型鋼に相当する断面二次モーメント、又は断面係数を持ち、正方形の断面の部材をト

ラスの測定個所に入れ、軸力及び曲げを分離して測定³⁾した。

2. 等辺山型鋼の引張試験

引張荷重下における等辺山型鋼のひずみ分布及び応力分布を調べるため次のような実験を行った。用いた型鋼は60×60×3長さ900mm、及び75×75×3長さ900mmの2種類、載荷方法は油圧式引張試験機により1~5tの範囲で行った。型鋼と試験機はピン、ユニバーサルジョイント、ボルト等を用いて固定した。

荷重位置は図1に示す型鋼の中心軸(A)及び重心軸(B)の2点で行った。ひずみ分布の測定は60×60×3の型鋼にゲージ長4mmのストレインゲージを図1に示す位置に、又応力分布は75×75×3の型鋼にゲージ長2mmの3軸ロゼットゲージを3ヶ所それぞれ接着して実験を行った。これらの測定結果の1例として、荷重位置は(A)、ユニバーサルジョイントの場合を図2に示す。これらより等辺山型鋼の重心は部材外にあるため、この点を荷重位置とすることは不可能に近いので、一般に偏心荷重となる。又型鋼に偏心荷重が加えられる場合の応力分布は

$$\sigma_x = \frac{P}{A} + \frac{Pmy}{I_x} + \frac{Pnz}{fy}$$

の式⁴⁾より算出されるが、この式は型鋼と試験機の固定条件に関係なく応力分布が定まるが、今回の測定結果とは必ずしも一致していない。又測定値より軸力と曲げモーメントを分離することは出来なかった。以上のように等辺山型鋼に単軸引張を加えた場合の応力分布は、必ずしも一様とはならず山型鋼に直接ストレインゲージ等を接着して軸力を測定することは不可能に近いと考えられる。

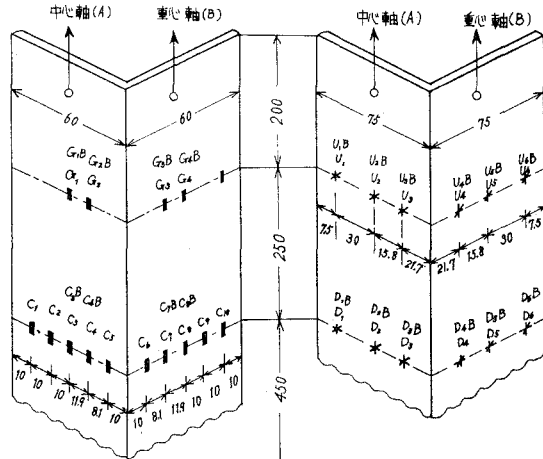


図1 荷重位置及びひずみの測定位置 (型鋼の長さℓ=900mm)

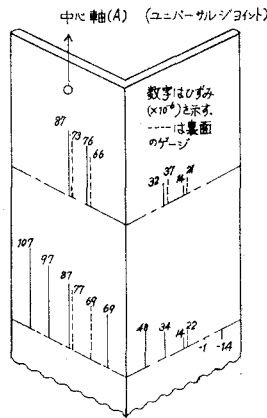


図2-1 60×60×3の型鋼におけるひずみ分布 (荷重1ton)

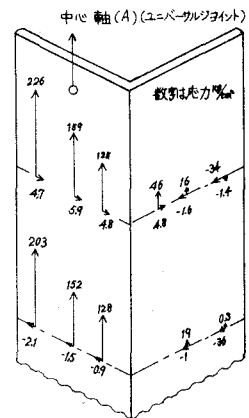


図2-2 75×75×3の型鋼における応力分布 (荷重1ton)

3. 実験装置及び方法

3.1 模型トラス

図3に示すようなトラスを設計、製作した。使用部材は主桁、補桁ともすべて、 $25 \times 25 \times 3$ mmの等辺山型鋼、ガセット板は3.2 mm厚の鋼板で共に市販の無規格品である。各部材の節点はM6×16 mmのボルトを用いたボルト結合とした。2体のトラス桁は両端を上記の型鋼を用いてボルトで225 mmの幅に結合し1体としてある。各節点におけるボルト穴の位置は型鋼の幅(25 mm)、ボルトの太さ等の関係から幅の中心軸とした。

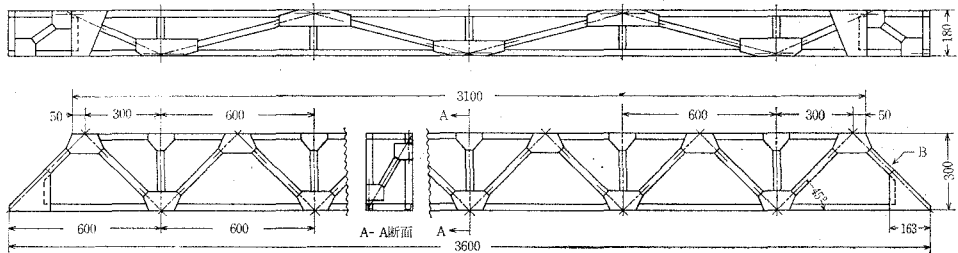


図3 模型トラス

3.2 荷重装置

模型トラスは図4に示すように、みぞ型鋼を用いた載荷台に図5に示す反力計を固定する。これは載荷時に各トラス桁が受ける反力を測定するためである。これらの反力計の上に模型トラスを置く。図6に荷重装置を示す。載荷位置は荷重装置を移動することにより変えられ、荷重は締付用ナットを廻すことにより載荷される。載荷された荷重は、あらかじめストレインゲージを接着し、荷重-ひずみの関係を検定してある締付棒のひずみを測定することにより読取ることが出来る。荷重位置は図4に示す中央荷重(A)、60 cm移動荷重(B)の2ヶ所、荷重は0~1500 kgの範囲で実験を行った。

3.3 撓み

トラスに荷重を載荷したときの動きを調べるため、下弦材の中央の撓みをダイヤルゲージ

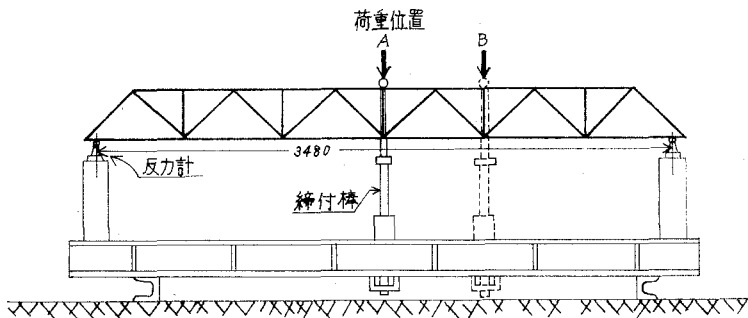


図4 荷重載荷装置

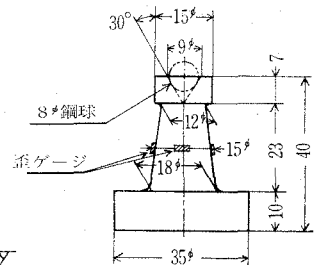


図5 反力計

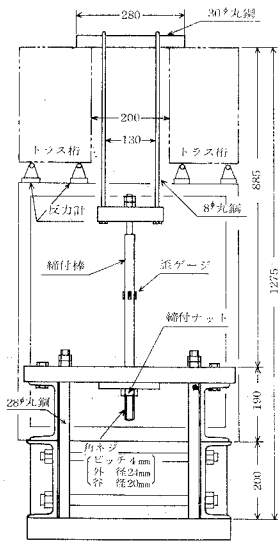


図6 載荷装置

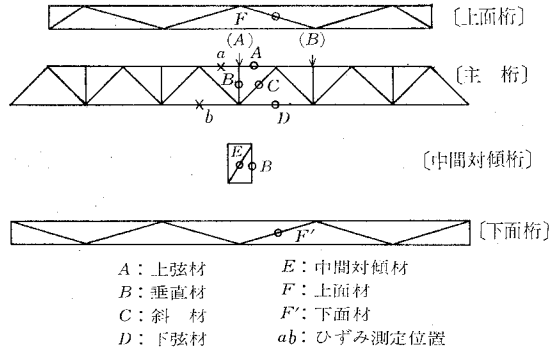


図7 軸力計の測定位置

を用いて測定した。

3.4 軸力計

軸力の測定は図7に示す7ヶ所で行うことにした。軸力計として図8に示すような断面が正方形で、かつ使用した等辺山形鋼と同じ断面係数となるように設計した。軸力計の長さは各測定位置に合わせてある。上弦材と下弦材の所には断面二次モーメントが一致するような軸力計も使用した。これらの軸力計は中央部にストレインゲージを接着し、油圧式引張試験機により軸力-ひずみの関係を検定した。軸力計はトラスに組入れることによりトラス全体の応力分布が乱れるのを最小限にするため、原則として一カ所ずつ取付けて測定を行った。ここで上弦材と下弦材は製作上それぞれ一本で作ったため軸力計を入れるには測定箇所を切断しなければならない。そこで切断の影響を調べるため図7及び図9に示す a_1 b_1 a_2 b_2 の4カ所にストレインゲージを接着し、下弦材の切断後のひずみの変化を調べた。軸力計の取付位置は等辺山形鋼の中心軸と軸力計の中心軸が一致するように取付けた。

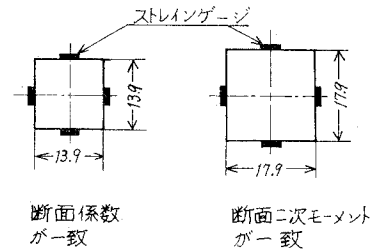


図8 軸力計断面

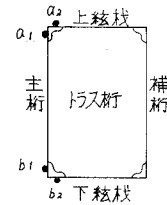


図9 ゲージ接着位置

4. 実験結果

4.1 反力

載荷位置(A), 荷重 1000 kg の時の測定された結果を表1に示すこれより主桁と補桁にかかる荷重の割合はほぼ 4:1 となった。これらの結果はクレモナの図解法の場合の応力解析に採用した。

表1 主桁と補桁の反力とその割合 (平均値)

	トラス桁1		トラス桁2		トラス全体
	主 桁	補 桁	主 桁	補 桁	合 計
反力計番号	2+6	1+5	3+7	4+8	—
圧縮荷重 (kg)	431.0	92.8	421.2	99.9	1044.5
反力受持割合 (%)	41.3	8.9	40.3	9.6	100.1

4.2 軸 力

各軸力計の測定結果として荷重位置 (A), 荷重 1000 kg の例を表 2 に示す。又上弦材と下弦材を切断して軸力計を入れた時の型鋼のひずみ変化を表 3, 撓みの結果を表 4 に示す。

表 2

	上弦材	下弦材	垂直材	斜 材	上面材	下面材	中間対傾材
クレモナの値	-1200	+1000	-400	+283	—	—	—
軸 力 (kg)	- 965	+ 755	-446	+264	-51	+14	-35
割 合 (%)	80.4	75.5	111.5	93.4	—	—	—

表 3

ゲージ の位置	a_1		a_2		b_1		b_2		つなぎの状態 (切断部)
	ひずみ $\times 10^{-6}$	割 合 (%)	ひずみ $\times 10^{-6}$	割 合 (%)	ひずみ $\times 10^{-6}$	割 合 (%)	ひずみ $\times 10^{-6}$	割 合 (%)	
測 定 値	377	100	356	100	257	100	285	100	上弦材→未切断 下弦材→ "
	332	88	343	96	213	83	216	92	上・下弦材→切断 上弦材→型鋼 下 " → "
	319	85	367	103	238	93	287	101	上・下弦材→切断 上弦材→軸力計 下 " →型鋼
	333	88	357	100	220	86	265	93	上・下弦材→切断 上弦材→型鋼 下 " →軸力計

割合とは切断前のひずみに対する割合。

表 4

測 定 個 所	撓 み 量 (mm)	トラススパンに対する撓み割合	
A (トラス桁 N, 補桁)	2.313	6.646×10^{-4}	1/1505
B (トラス桁 N, 主桁)	3.303	9.491×10^{-4}	1/1054
C (トラス桁 S, 補桁)	2.169	6.233×10^{-4}	1/1604
D (トラス桁 S, 主桁)	3.335	9.585×10^{-4}	1/1043

5. 考 察

5.1 模型トラスにおよぼす曲げの影響

主桁に荷重が載荷されるとトラス節点 AB は撓みの測定結果等からトラスと接している 30ϕ の丸棒との摩擦のため一定の幅に拘束され垂直方向に下がる。又節点 CD 間は拘束されていないので水平方向にも移動出来る。又トラス全体は反力計に対して 8ϕ の鋼球を介して接しているため水平方向には自由に移動することが出来る。以上より荷重を載荷すればトラス全体は図 10 に示すごとく節点 AB を中心に、沈下しながら捩れるように変形している。特に上弦材は下弦材にくらべて節点 AB が拘束されているため曲げの影響が大きくあらわれ、かつ曲げの方向が多側、下向であり、下弦材の内側、下向と大きく異っている。垂直材は直接荷重を受ける位置にあり、トラスに生じる捩りと節点 A および C の関係から (節点 A の外向の曲げモーメントに比べ節点 C の曲げモーメントは約 $1/5$ 程度) 外側に大きく曲げられている。斜材については荷重位置が A の場合、下弦材と同様に内側に、荷重位置が B の場合は外側にふくらんでいる。主桁と補桁の連絡の役割をしている上面材と下面材は、荷重が載荷されることによって生じた主桁と補桁の撓み量の差のためわずかに下向にふくらんでいる。又水平方向についても同様に考えられるが両材とも斜め (水平面内で) に結合されているため外側への曲げモーメントはほとんど生じていない。中間対傾材についても同様に多少の曲げモーメントが生じているがその方向は撓み量の差やガセット板の当り方等で必ずしも一定の傾向を持たない。

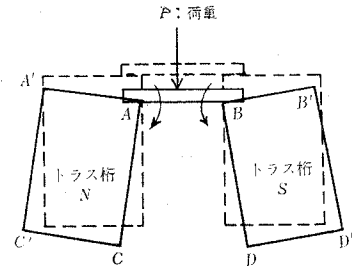


図 10 トラスの捩れ

5.2 上弦材、下弦材の切断の影響

上弦材、下弦材を切断することにより多小の影響が考えられる。測定結果より特に a_1 においていちじるしく、未切断時の $66\sim 88\%$ くらいより示さない。ただ断面二次モーメントを一致させた軸力計の場合は $85\sim 88\%$ の値を示す。他の点は $b_1 b_2 a_2$ の順で影響が少なくなる。これは切断によって上、下弦材の軸力よりむしろ曲げモーメントの一部が開放されるためと考えてよい。特に垂直方向より水平方向にその傾向が見られる。しかし a_1 点以外は、断面二次モーメントを一致させた軸力計の場合は比較的、未切断時に近似していると考えてよい。以上より各部材に働く軸力は切断により大きくは乱されないとと思われる。

5.3 部材に生じる軸力と曲げモーメント

上弦材と下弦材について曲げと軸方向のひずみの割合を図 11 に示す。上弦材には下方向にくらべて外側に大きく曲げが働いている。下向きの撓みはほとんど締付棒の縮み量で定まるが

水平方向は節点 AB の拘束、トラス桁の両端の固定の方法、固定位置、ガセット板の動き等から、又上弦材の切断により垂直方向よりも水平方向に大きい変化をしたことからこのようになることが十分考えられる。しかし他の部材にくらべてみれば垂直方向の曲げひずみはかなり大きい。軸力は本実験ではクレモナの計算値にくらべて 80~85% 程度より生じていないと思われる。下弦材は上

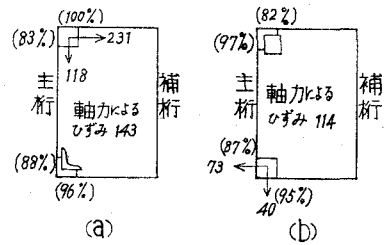


図 11 曲げと軸方向のひずみの割合

弦材にくらべて拘束がほとんど無いので締付棒によりトラスが捩りを受けるとき、自然と内側、下向に曲げられる。垂直、水平方向の曲げは軸力にくらべてあまり大きくない。軸力は上弦材と同様に計算値にくらべて 75~80% と思われる。垂直部材は荷重位置 A では直接、荷重の影響を受けている。曲げはほとんど外側方向で非常に大きな値を示している。軸力は計算値を 12% 程越えているが、これは上弦材と下弦材との間で撓み量に差があるため、その分が曲げ及び軸力として加算されるためと思われる。荷重位置 B においては上・下弦材の撓みの差はほとんどなく、わずかの軸力と曲げが生じているが、この状態の計算値は零である。斜材は直接、撓みによる力の影響は比較的少ないため、荷重位置 A においては、軸力は計算値とよく一致している。上・下面材は、わずかではあるが曲げ及び軸力が生じている。これは荷重が主桁に載荷されるためと思われる。しかし絶対値として見れば、これらの部材には、ほとんど力が作用していないと考えてよい。又中間対傾材についても同様にほとんど力が作用していないと考えてよい。

6. 結 論

以上の実験結果より構造物における等辺山型鋼には常に複雑な偏心荷重が作用していると考えられる。この模型トラスの各部材には、大なり小なりの曲げが作用していることより節点が完全な滑節結合と仮定することは出来なくなる。特に上・下弦材については大きな曲げが測定された。他の部材は曲げの作用が少ないため、ほぼクレモナの計算値と一致した。軸力を測定するため部材の一部を切断しても、ここに組入れる部材の断面二次モーメント等を考慮すれば、応力分布は大きくは乱れない。それ故、等辺山型鋼等のような部材で構成されている構造物の軸力等を測定しようとするならば、曲げや軸力を簡単に分離して測定出来る軸力計等を構造物に組入れて測定の方が容易に精度良く、応力状態を解析することが出来る。このトラス構成部材のうち、上弦材の軸力はクレモナの計算値に対して 80~85%、下弦材は 75~80% であった。又、反力は主桁と補桁にほぼ 4:1 の割合で作用していた。

最後に本研究実施に当り種々協力された、阿部 進、河野考志の両君、ならびに三橋秀信氏に深甚の謝意を表す。

(昭和 48 年 5 月 21 日受理)

文 献

- 1) たとえば鷹部屋福平：構造力学, IV. 12, 彰国社, 昭和36年.
- 2) 同上 133.
- 3) 渡辺 理：ひずみゲージとその応用. 74, 日刊工業, 昭和43年.
- 4) S. Timoshenko：材料力学, 上巻 132, コロナ社, 昭和25年.