

ブリッジコンテスト用ジュラルミン製ブリッジの製作

山形大学工学部技術部

○機器分析技術室 佐竹忠昭

機械技術室 鈴木健一

1. はじめに

機械システム工学科 構造力性工学講座では3年後期実験として最強ブリッジコンテストを実施している。トラス構造を有するバルサ材ブリッジの設計製作の後、Fig.1 に示すような装置を使用し破壊荷重を測定する。その後、理論値と実測値との差および自重を考慮したブリッジの強度を競うものである。しかしながら、バルサ材ブリッジの場合、材料が不均一であることやピンではなく接着剤により部材を結合していることに起因して各部材に作用する荷重を測定することは困難である。このため、理論値と各部材に作用する荷重との比較ができない状況にある。

そこで、各部材に作用する荷重が測定可能で理論値との比較検討が可能な金属製ブリッジの製作依頼を受け、ジュラルミン製ブリッジを設計製作したので紹介する。



Fig.1 ブリッジコンテスト風景

2. トラスとは

鉄塔、橋梁、クレーンなどの構造は、いくつかの部材 (member) を組み合わせて作られている。このような構造物を骨組構造 (framework) と呼ぶ。中でもその部材がすべて両端で他の部材とピンで結合されている骨組構造をトラス (truss) といい、各結合点を節点 (joint) と呼ぶ。

3. ブリッジの設計製作

3.1 材料

材料には加工性が良く軽量なジュラルミンを使用した。厚さ 8.5mm の板材から角材を採取し部材材料として使用した。

3.2 ブリッジの基本構成

ブリッジの様式は最も基本的なワーレントラスとした。バルサ材ブリッジのレギュ

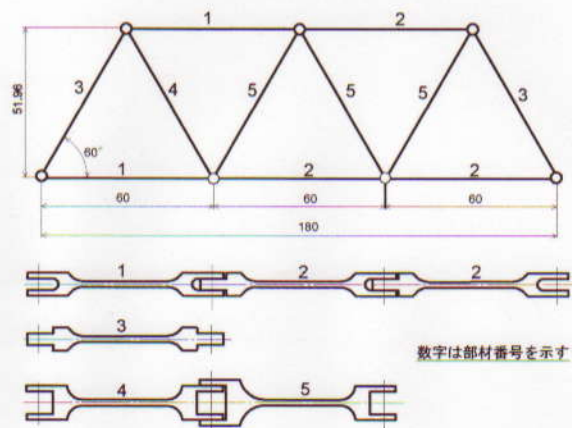


Fig.2 ジュラルミン製ブリッジの基本構成と部材の組合せ

レーションが全長 500mm、最大幅 80mm、最大高さ 100mm となっているが、Fig.2 に示したように加工の容易さを考慮して節点

間を 60mm とした。このため、ブリッジの大きさは全長 180mm、全高 51.96mm となる。幅はバランスを考え、部材中心間で 68mm とした。図中の番号は部材番号を示している。

3.3 部材の厚さ

実験では各部材に作用する荷重を測定し、理論値との比較検討をしなければならない。このため、各部材にひずみゲージを貼り付けひずみを検出することとした。この時、各部材に作用する荷重は測定ひずみに部材の弾性係数と断面積を乗じた値となる。ブリッジへの負荷には引張試験機を使用することとし、安全性と実用性を考慮して負荷荷重は数百 N とした。Fig.2 に示したブリッジの上部中央に 490N を負荷したとすると後述の理論計算より部材 3 には 141.5N の圧縮荷重が作用することとなる。検出するひずみ ϵ を 100×10^{-6} 、ジュラルミンの弾性係数 E を 70GPa と仮定すると、部材の断面積 A は 20.2mm^2 と得られる。部材の幅は 8.5mm であることから、厚さは 2.4mm となる。検出ひずみはより大きい方が測定精度が高くなる。このため部材厚さを 2mm と決定した。

3.4 節点の接合法

Fig.2 に示したブリッジでは、2～4本の部材が一つのピンで接合される。この時、荷重点が部材中心線上からずれた場合には部材に曲げ応力が作用し、部材表裏で符号の異なるひずみが検出されることになる。そこで、部材の接合法として、Fig.2 下部に示したように部材端部に幅の異なる溝をつけ、各部材が順次組み合わさるようすることで各部材の荷重点が部材の中心線上に位置するようにした。

3.5 部品図

上記条件に基づき設計した各部材の部品図を Fig.3 に示した。図中部品⑥～⑧は連結棒である。連結棒のひずみを部材に比較して小さくするため材料には鋼材（弾性係数 $E=210\text{GPa}$ ）を使用した。また、連結棒

と部材の固定は連結棒端部のねじ（M4）により行った。

3.5 加工と組立

部材の加工には汎用フライス盤と NC フライス盤を使用した。特に、厚さ 2mm の薄肉部は部材の固定が困難であることから治具を使用して加工を行った。Fig.4 に部材 1～3 の加工に使用した治具を示した。中央部に部材を固定した後、2 枚刃のエンドミルを使用して加工を行った。

部材どうしを 60° 傾けて組み合わせる場合、接触部が生じた。この際には手仕上げにより余分な部分を削りながら組立を行った。組立後、ひずみを測定する部材の表裏にひずみゲージを貼り付けた。これは、部材の平均ひずみを測定するためである。Fig.5(a)にはブリッジの全体像を(b)には部材の組合せの様子を示した。

4. 理論計算と実測値の比較検討

製作終了後、ブリッジに作用する荷重の理論計算と実測値の比較を行い、製作したブリッジが実験に使用可能かを検討した。理論計算は Fig.6 に示したブリッジについて行った。トラスの各部材に働く荷重を求めるには、ふつう節点法と切断法を用いる。本稿では節点法により各部材に働く荷重を算出した。

トラスの場合、各部材がピンの周りに自由に回転できるため、部材に働くモーメントを考慮する必要がない。このため、節点法では各節点ごとに水平方向と鉛直方向の力のつり合い条件を考えて、部材に働く荷重を求める。Fig.6 の上部中央に荷重 P が働くとし、対称性を考慮して節点 A,C,E に働く力の釣合い方程式を Table1 に示した。 $P=392\text{N}$ として Table1 の式を解き、結果を理論荷重として Table2 に示した。

ひずみの測定に際しては、引張試験機を圧縮試験機として利用し、ブリッジ上部中央に 392N を負荷した。この際、製作した負荷用治具を使用した。各部材表裏のひずみを静ひずみ計により測定し、平均値を Table2 に示した。この時、部材に作用する

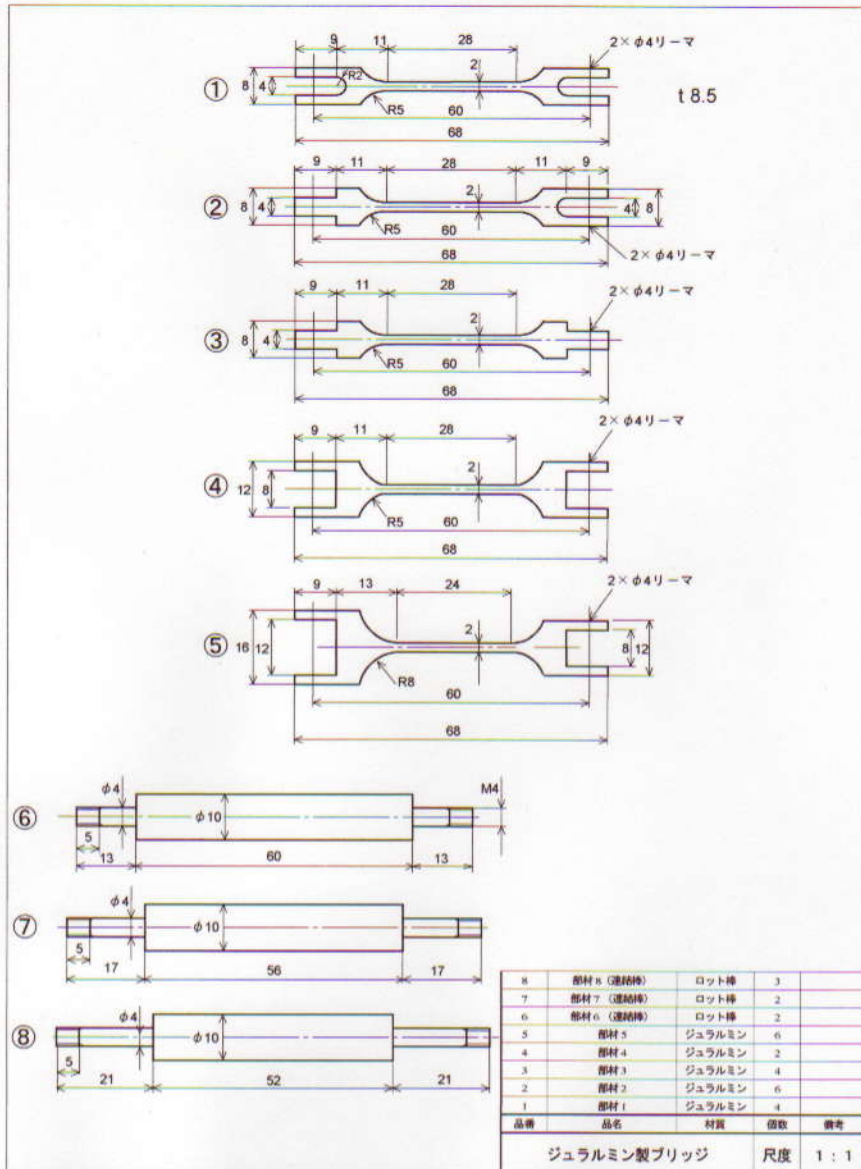


Fig.3 ジュラルミン製ブリッジの部品図



Fig.4 薄肉部加工用治具

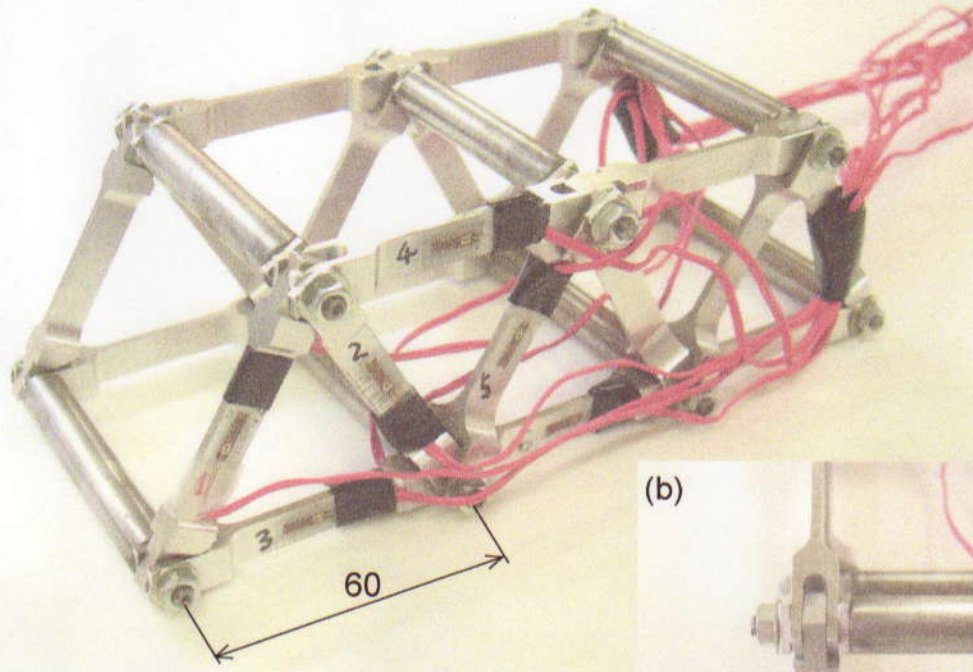
荷重はひずみに実測した弾性係 $E = 76\text{GPa}$ と部材断面積を乗じて求めた。理論値と実測値を比較すると、実測値が2～12%大きい値となっている。この結果について

では、部材と連結棒の固定条件、部材の精度、負荷の条件等が関与する考えられるが、理論値に対する誤差が約10%以内となっていることから、学生実験用には十分利用可能と判断した。

5. まとめ

学生実験用ジュラルミン製ブリッジを設計製作し、その使用可能性について検討した。学生が、ジュラルミン製ブリッジを使用した実験を通してトラス構造をより詳しく理解することを期待したい。

(a)



(b)

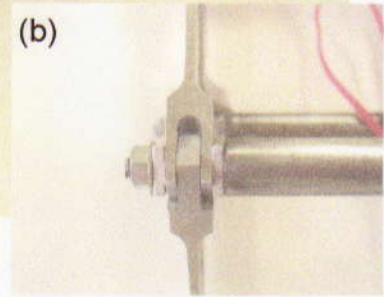


Fig.5 ジュラルミン製ブリッジ, (a)全体像, (b)部材組合せの様子

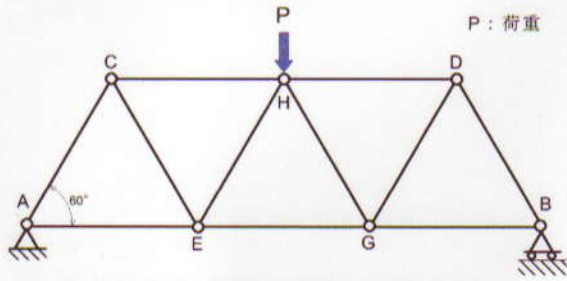


Fig.6 理論計算に用いたブリッジ

Table2 理論荷重と測定荷重

部材	理論荷重(N)	測定ひずみ ϵ (表裏の平均値 $\times 10^{-6}$)	測定荷重(N) ($\epsilon \times E \times A$)
F _{AC}	-112.7	-96	-121.5
F _{AE}	56.8	50	63.7
F _{CE}	112.7	94	118.6
F _{CH}	-112.7	-98	-124.5
F _{EH}	-112.7	-91	-115.6
F _{EG}	169.5	140	177.4

弾性係数 $E = 76 \text{ GPa}$
部材断面積 $A = 17 \text{ mm}^2$

Table1 接点に働く力の釣り合い

節 点	水平分力	鉛直分力
A	$F_{AC} \cos 60^\circ + F_{AE} = 0$	$F_{AC} \sin 60^\circ + P/2 = 0$
C	$-F_{AC} \cos 60^\circ + F_{CE} \cos 60^\circ + F_{CH} = 0$	$-F_{AC} \sin 60^\circ - F_{CE} \sin 60^\circ = 0$
E	$-F_{CE} \cos 60^\circ - F_{AE} + F_{EH} \cos 60^\circ + F_{EG} = 0$	$F_{CE} \sin 60^\circ + F_{EH} \sin 60^\circ = 0$

謝 辞

ご指導いただいた本学 武田武信 教授、黒田充紀 教授、岡崎勝利 助手に感謝申し上げます。また、設計製作に当たり、いろいろ相談いただいた塩野 功 技術専門職員、加工にご協力いただいた下竹悠史、井元 滝 技術員に感謝致します。

参考文献

- 1) 入江敏博, 山田 元 “工業力学”, (1995) 理工学社.