

構造設計製図でのブリッジコンテストの試み

松田 浩*・崎山 毅*・山口 浩平**
三浦 昌弘**・山口 栄輝***An Attempt of Bridge Model Contest in Class of
the Design of Civil Engineering

by

Hiroshi MATSUDA*, Takeshi SAKIYAMA*, Kohei YAMAGUCHI**
Masahiro MIURA** and Eiki YAMAGUCHI***

The bridge contest is briskly held at many universities in the north America for many years. In Japan, from 1995 or 96, the bridge contest is held at Kyushu Institute of Technology, Kyushu University and Tokyo Institute of Technology. The object of the bridge contest is to build a bridge from the materials provided while conforming to a few specifications. Also in Nagasaki University, the bridge model contest is held from 1995 in class of the Design of Civil Engineering (3rd grade) in Department of Structural Engineering. This report shows the results of the bridge contest held in the Department of Structural Engineering in Nagasaki University.

1. まえがき

工学部では平成7年度よりティーチングアシスタント制度が設けられ、構造工学科でも、構造力学演習、構造工学実験、構造設計製図Bなどの授業に大学院修士課程の学生がティーチングアシスタントとして実験・演習の補助を行っている。構造設計製図B（学部3年生対象、必修）では、これまで、学生各人に異なる設計条件を与えて合成桁橋梁の設計・製図を課してきたが、ティーチングアシスタントとして補助者が得られたのを機に、設計（合成桁橋）、製図（Hビーム橋）に加え、トラス橋の設計・製作を課すことにした。

最近、高専、大学の機械系の学生によるロボットコンテストがテレビで放映され、子供達にも人気が高く好評を呈している。高校生の理工系離れが報道され、各方面で理工系離れを阻むための種々の努力がなされているが、ロボットコンテストもその一つだと考えられる。

一方、バドュー大学、テキサス大学オースチン校をはじめ北アメリカの多くの大学では、長年にわたり、ブリッジコンテストが盛んに行われている。ブリッジコンテストは、一定のルールのもとで、参加者が自由に橋梁模型の設計・製作を行い、その強度を競い合うものである。一連の作業を通して、楽しみながら工学的センスや創造性を高めることができるため、教育的見地からも高く評価されている。最近では、AISC（アメリカ鋼構造協会）が中心となった全米大会[1]や高校生を対象とした大会も催されている。

日本の大学でも、九州工業大学は平成7年度より学生実験[2][3]で、九州大学では平成8年度より設計製図で、東京工業大学では平成8年度より学生実験で、ブリッジコンテストが実施されている。熊本大学でも平成9年度から実施されることになっている。

長崎大学工学部構造工学科でも、平成7年度より構造設計製図Bの一項目（トラス橋の設計・製作）を通

平成9年4月25日受理

*構造工学科 (Department of Structural Engineering)

**大学院修士課程構造工学専攻 (Graduate Student, Department of Structural Engineering)

***九州工業大学工学部建設社会工学科 (Department of Civil Engineering, Kyushu Institute of Technology)

してブリッジコンテストを実施したので、ここに紹介したい。なお、設計・製作条件は九州工業大学、九州大学、東京工業大学、長崎大学ともすべて同じ条件である。

2. コンテストの条件

トラス構造物を製作し、鉛直荷重を作用させ、トラス構造物の破壊性状を観察し、トラスの力学的特性を理解させることを目的に、以下のような条件を与えた。

(1) 使用材料および器具

バルサ 5 mm 角棒 (定尺 900 mm), 接着剤, 載荷板, カッター, 紙やすり

バルサ材は強度のバラツキが大きいので、概ね物性は以下の値を用いて設計すること。

引張強度 250 kgf/cm²

圧縮強度 100 kgf/cm²

(2) 供試体条件

すべての橋 (模型) は以下の条件で製作すること (図 1 参照)。

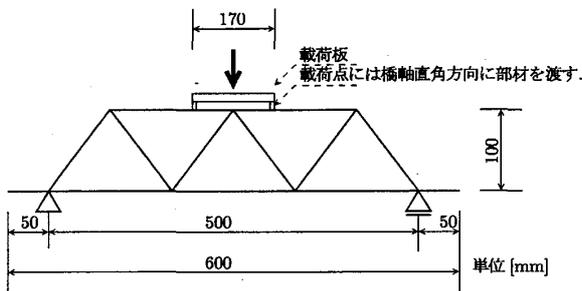


図 1 模型例

- 橋の重量と許容最大荷重の比を最大限にするような橋を製作する。
- トラス構造を基本とし、アーチ構造にしてはならない。
- 支間は 500 mm とし、支点外側に 50 mm ずつ余裕を設け、橋長を 600 mm とする。
- 橋の幅は、最大 80 mm 以内とする。
- 支点上部から上までの最大高さは 100 mm 以内とする。
- 支点上部から下までの最大深さは 100 mm 以内とする。
- 載荷点は、載荷板の範囲内で何点でも自由に決めてよい。
- 載荷板が橋の床上で静止できるようにしなければならない。

- 橋の端支点部は平らでなければならない。
- 美的に優れた橋を製作すること。

(4) 実験概要および結果の整理

- 5～6 人で 1 組のチームを作る。
- 実験当日までに、上記条件に従ってどのような橋を製作するか検討し、レポート用紙に詳細に設計図 (製作図) を書いておく。そして、レポート用紙に製作する橋を 2 次元的に解析し、どの部材が圧縮か引張りか図示する。また、なぜその形状を選んだのかという理由と、どの部分から破壊すると思うかを合わせて記述しておく。
- 設計図に従って橋を製作する。
- 後日、接着剤が乾いてから橋の重量を測定する。そして、載荷装置にセットし徐々に荷重をかけて破壊する。
- トラス模型の耐荷力に対する重量効率はこの式に従う。(橋の重量は 1.5 乗することに注意)

$$\text{重量効率 } [A] = \frac{[\text{耐荷力}]}{[\text{重量}]^{1.5}} \quad (1)$$

- レポート用紙に考察を書き、提出する。

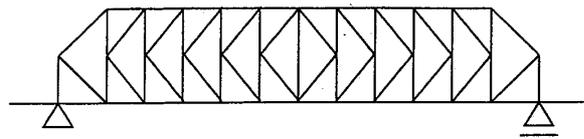
(5) 製作上の注意

- 載荷点部や支点部の圧壊を防ぐため、部材に補強材を付けるとよい。
- 断面において、ねじれが生じにくくするような補強材を付けるとよい。
- 接着材は適所適量に気をつけて使用すること。引張部には多めに接着剤をつける。

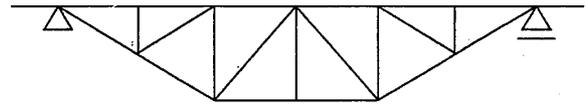
式(1)において分母を 1.5 乗しているのは、橋梁の重さにも十分に配慮させ、極度に重い橋の製作を抑えるためであり、パデュー大学のコンテスト条件 [4] に準じている。

また、これらの条件は、載荷装置の物理的制約や講義という限られた時間内で製作するといった制約などから決定した。この決定に際しては、文献 [4] 以外にも、テキサス大学オースチン校のコンテスト条件 [5] を参照した。

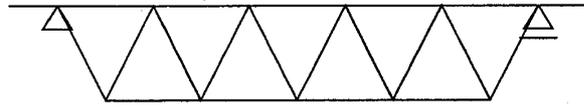
製作に際しては詳細な設計図と、その設計を採用した理由および破壊性状の予測を記したレポートを製作日までに提出することを義務づけている。なお、このレポートでは、各部材に生じる軸力の計算も要求している。バルサ材は非常に軽い材料であるため、接着剤



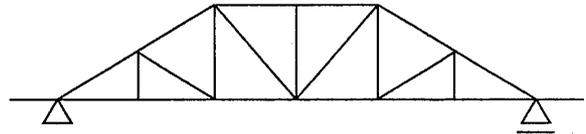
H8-1



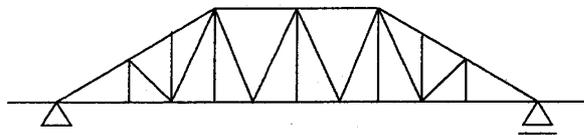
H8-8



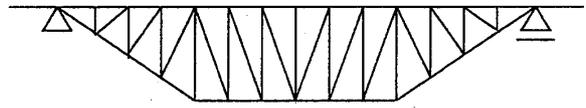
H8-2



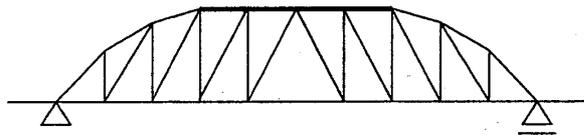
H8-9



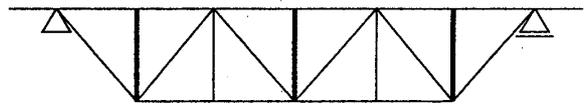
H8-3



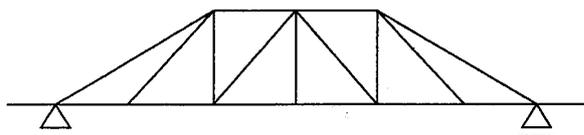
H8-10



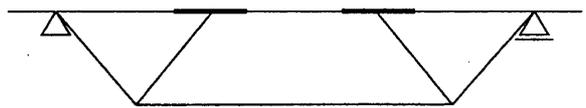
H8-4



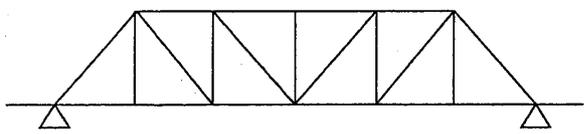
H7-2



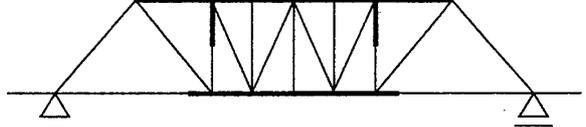
H8-5



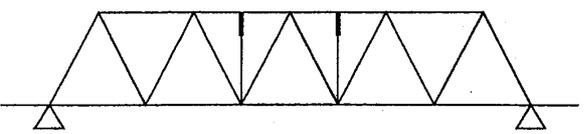
H7-4



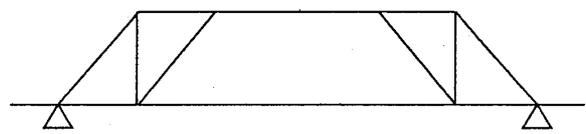
H8-6



H7-11



H8-7



H7-12

図2 トラス橋製作例

の重さも無視できない。良いA値を得るためには、部材に作用する軸力の符号や大きさに応じて接着剤の使用量を調整することが重要であり、設計時のみならず、橋梁模型製作時においても、軸力分布図は大きな役割を果たす。

3. 判定条件

模型の優劣は、次式で判定することとした。

$$GG=0.2 \times AE + 0.2 \times SS + 0.6 \times LW$$

ここに、AE：美的評価（＝[得票数] / [最大得票数]）、SS：構造上の印象や概念に対する評価（＝[得票数] / [最大得票数]）、LW：耐荷力の重量効率の評価（＝[A値] / [最大A値]）である。

載荷実験の前に、各グループごとに製作した模型に対して、

1. その形状を選んだ理由
2. 破壊する部分

3. 美的および構造上の評価・PR

を発表させ、学生全員に上記の美的評価および構造上の印象や概念に対する評価を付けさせている。ただし、自分の班以外のグループの中から選ぶことを条件としている。評価はAE、SSは[得票数] / [最大得票数]として、またLWは[A値] / [最大A値]として表した。

4. 実験結果および判定結果

平成7年度および平成8年度に製作された橋梁模型のうち14例を図2に示す。

トラスには多種多様の形式があるが、図2からわかるように、構造形式としてはワーレントラス、ハウトラス形式の橋が最も多かった。しかし、美観を重視してKトラス形式（H8-1）や曲弦プラット形式（H8-4）の橋もあった。また、構造解析を行った結果、部材力が0となる部材を取り去った構造形式もみられた（H7-4、H7-12）。現実の橋梁では移動荷重が載荷するの

表-1 実験結果および判定結果

グループ	AE(20)	SS(20)	重量(g)	耐荷力(g)	A値	LW(60)	合計
H8-1	8	3	17.5	10733	147	44	55
H8-2	1	3	20.0	7563	85	25	29
H8-3	7	1	17.0	11394	163	48	56
H8-4	6	0	18.0	8424	110	33	39
H8-5	2	1	26.0	10845	82	24	28
H8-6	4	2	17.5	3245	44	13	19
H8-7	4	1	16.0	6727	105	31	36
H8-8	20	14	23.5	15263	134	40	74
H8-9	6	20	26.0	11819	89	26	52
H8-10	5	3	16.0	9772	153	45	53
H8-11	9	12	21.5	5653	57	17	38
H8-12	0	1	15.5	12318	202	60	61
H9-1	20	3	32.0	7240	40	12	35
H9-2	0	0	22.0	11600	112	32	32
H9-3	3	8	36.0	19600	91	26	37
H9-4	13	0	33.0	10400	55	16	28
H9-5	3	5	21.0	19100	198	57	65
H9-6	0	0	32.0	12700	70	20	20
H9-7	2	12	34.0	21700	109	32	46
H9-8	2	2	29.0	16800	108	31	35
H9-9	0	1	21.0	20000	208	60	61
H9-10	10	20	29.0	8280	53	15	46

AE: 美的評価, SS: 構造的評価, A: 耐荷力の重量効率 LW: 耐荷力の評価

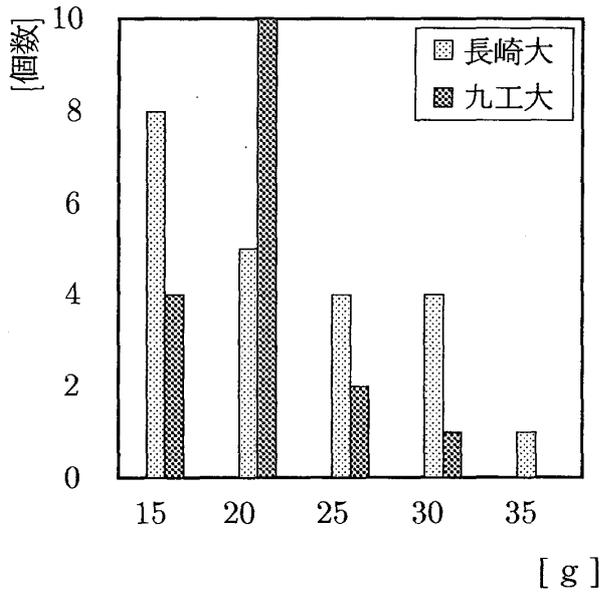


図3 重量分布図

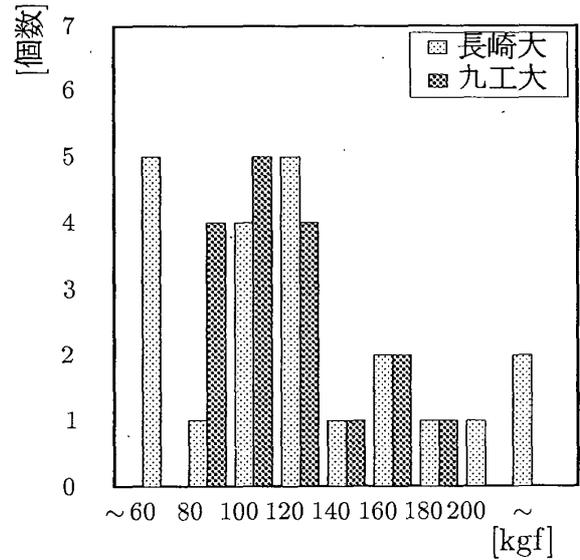


図5 重量効率 (A 値) 分布図

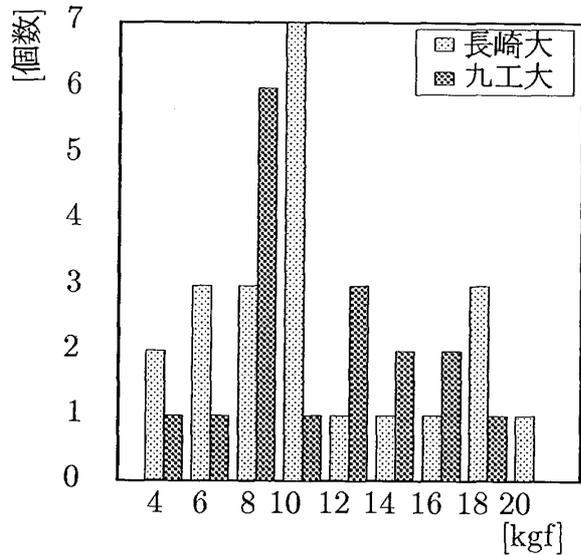


図4 耐荷力分布図

で部材力が常に0となることはないが、本実験では載荷点が固定されているため重量を軽くするには最善の策であると考えられる。一方、載荷荷重を分散させ耐荷力の増大を図り、垂直材および斜材を密に配置したもの (H8-10) や、載荷荷重を分散と重量軽減化も考慮して載荷点近傍だけ部材を密に配置したもの (H7-11) もあった。さらに、補強に際しても全断面を一樣に補強するのではなく、接合部を中心に補強するなど重量の軽減化を図った橋梁 (H8-7, H7-4, H7-11) もみられた。

実験結果および判定結果を表1に示す。平成8年度の結果に注目すると、美的評価ではハウトラスやワーレントラスではなくKトラス (20点) や曲弦トラス (13

点) の形式に評価が高い。

また、構造上の印象や概念に対する評価では、垂直材および斜材を密に配置した上路式のハウトラス形式 (20点) や補強に際して接合部を中心に補強し重量の軽減化を図った橋梁 (H8-7) の評価が高かった。

しかしながら、載荷実験結果は構造上の印象や概念に対する評価とはかなり異なる結果となった。これは、断面変形し横倒れ座屈したものや、接着剤で接合した箇所が切れることにより引き起こされる場合が多く、破壊に至る過程での製作誤差などの初期不整が大きく影響しているものと考えられる。

参考のため、九州工大で行われたブリッジコンテストの結果と長崎大学で行われ結果のグラフを図3~5に示す。いずれの大学でもトラス橋の重量、耐荷力、A値のバラツキが大きい。平成8年度の載荷実験結果では重量の軽い橋から3つが重量効率LW値も3位以内に入っていることは特筆すべきことである。また、長崎大学ではA値で200を越すトラス橋を製作できたことは、学生にとって大きな励みとなっている。特に、平成7年度に最大A値を得たL班は留年生で構成されたグループであったが、内容があり、ワープロで印刷された優れたレポートを提出している。

5. 授業内容アンケート

大学の設計製図の授業内容を学生がどのように考えているか、また今回導入したトラスの模型製作によるブリッジコンテストをどのように考えているかを調べるために、ブリッジコンテストの最後に、(a)設計 (合成桁)、(b)製図 (Hビーム)、(c)トラス橋の製作と耐力

表-2 授業内容アンケート結果

項目	やった方がよい	やらない方がよい
(a)設計	108(63, 45)	6(0, 6)
(b)製図	83(49, 34)	31(14, 17)
(c)トラス橋製作・実験	112(61, 51)	2(2, 0)

括弧内：(96年度, 97年度)

実験について、アンケート調査を行った。

アンケートの集計結果を表-2に示す。まだ2年間しか学生のアンケート調査を行っていないが、トラス橋の製作・実験の実施に関しては、高い評価を得ており、模型を製作するときの学生の態度は真摯に感じる（載荷実験時の写真を図6に示す）。また、トラス橋の製作を通じて新しい友人ができたとの声も聞こえる。学生が提出したレポートには、以下のような記述があった。

- ・班員全員で議論し、参考書を引張り出して調べたことは有益だった。
- ・横座屈防止するための方策をもっと慎重に考えるべきだった。
- ・美観2位の得票だったが、予想以上にもろくてショックだった。
- ・美観を考慮して補強しなかったが、美観を無視して補強してればよかった。
- ・実際製作する際、設計で得た数字に拘らず、誤差を考慮した設計をすべきだった。
- ・デザイン的に凝ったトラスを見て、自分達の班のトラスがありふれた形だと思った。
- ・軽量化を追求し補強もせず、バルサ材の選択に十分配慮しただけだが、LW値が1位だったことは意外だった。
- ・美観、構造ともに得票数が多かったが、皆の期待を裏切ってしまった。製作のていねいさが強度に反映することを実感した。

設計では合成桁の設計を課しており、設計断面が許容応力以内に収まるように設計するためには、クリープや乾燥収縮や温度差による応力の計算など結構面倒な計算を必要とする。それにもかかわらず、「設計はやった方がよい」との回答があるのは、構造工学科の学生が計算することを苦にしない証拠であろうか。



図6 載荷実験風景

Hビームの設計・製図では約3割の学生が製図はやらない方がよいと回答している。実社会でもCAD化がなされており、手書きの設計図を描くことはなくなってきている。しかし、図面を読むことができるようになるためにも一度くらい描いた方がよいとの判断のもと製図を課しているが、製図を描くことに興味をもてないようである。製図の図面に基づいて、実際にボール紙等での製作を課したら、製図はやらない方がよいと回答した3割の学生の興味を得ることができるのではないかと考えている。また、構造工学科に平成8年度に導入されたCADシステムを用いて製図ができるなら、実際、自分で設計した橋の図面を描くことに興味を抱くものと思っている。

6. あとがき

ティーチングアシスタント制度を活用して、長崎大学工学部構造工学科での構造設計製図Bの一項目（トラス橋の設計・製作）を通してブリッジコンテストを実施した。

学部レベルでは、与えられた教材を理解することが主となる授業が多い。これに対して、ブリッジコンテストでは、自分で考え、最善の解を模索することが要求される。このため、大半の学生はある種のとまどいを感じることになる。グループの他の学生に任せきりで積極的に参加しない学生は論外であるが、製作する時点で、深く検討せず設計してしまうグループと、あらゆる知識を導入して自分たちなりに最善の解を求めようとするグループが現れる。しかしながら、いずれのグループも、耐荷力実験時には、期待と不安をもって自分たちが製作した橋梁模型が破壊していく様子を見入っている。

工学部の学生なので、模型とはいえ、実際に「もの」を作る、それも創意工夫して（自分の頭で考えて）作ることは意義あることだと考えている。また、模型製

作を通じて、今まで以上に学生同志のコミュニケーションが図れるようになったという声も聞こえる。

この項目は、学生が能動的に関わる授業となっており、その意味で、今後とも持続していく価値は十分にあると考えている。しかしながら、まだ試行錯誤の段階であり、改善しなければならない点も多い。現在、3年生を対象としてブリッジコンテストを行っているが、1年生から大学院生まで、さらには他学科（機械システム、社会開発など）の参加者を広げたコンテストが行えたらと考えている。

最後に、ブリッジコンテストの材料費は構造工学科の予算で調達できるよう配慮して戴きました。構造工学科の先生方に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- [1] AISC: 1995 Steel Bridge-Building Competition, AISC, 1995.
- [2] 山口栄輝・稲森誠一郎・久保喜延・加藤九州男：ブリッジコンテストの試み，土木学会西部支部研究発表会，pp.30-31，1996.
- [3] 山口栄輝・稲森誠一郎・久保喜延・加藤九州男：コンテスト形式の構造工学実験，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集（共通セッション），pp.216-217，1996.
- [4] Purdue Student Chapter of ASCE: The 14th Annual Bridge Model Contest, 1995.
- [5] 春日昭夫：トラスは強し，橋梁と基礎，93-8，pp.112-113，1993.