

デザインから架設まで、模型を通じて橋梁製作の過程を探ろう

社会環境工学科 3年 岡部 翔平 担当教員：葛西 昭

1. はじめに

鋼橋は、吊橋や斜張橋のような長大橋から、一般的な都市高速などで見られる高架橋の類まで幅広く利用されており、橋梁工学を学ぶ者にとっては、実際の現場での教育が最重要である。しかし、現状の授業では、これを体験することは非常に難しい。構造力学や構造工学、そして、さらに橋梁工学といった座学での教科を学ぶものの、それらがどのような状況で利用されているか実感がわからないのが現状である。そのような中、本助成金の申請があり、かつ、全国では、鋼橋模型製作大会(JSBC)と称して橋梁模型のデザイン・架設を競う全国大会が開催されていることもあったため、この機会を利用し、生きた構造力学および橋梁工学を学ぶことを目標とした。本稿では、この全国大会への参加を通じて、種々学ぶことができた構造力学および橋梁工学について報告する。

鋼橋模型製作大会(JSBC)は、3年前より開催されている全国規模の大会である。鋼橋模型をデザイン・設計することから取組み、解析、架設作業について学生自身の力によって、全てを実施することが特徴である。座学や簡単な実験など、とにかく受け身になりがちであるが、このJSBCを通じて、自らがこのものづくりには欠かせない一連の工程を小さいものながら経験することができる点に特徴がある。2012年度は、この大会に学部3年生の一部有志を含めた研究室メンバーを中心としてチーム構成した。

2. チームの結成

4月よりチームを結成し、全国大会へ向けての準備を開始した。図-1は計画の概念フローである。後ほど述べるが、この計画でも、タイトなスケジュールとなっている。

さて、チーム名は熊本にちなみ KMMT 工務店とした。このような取り組みでは、結束力を高めるため、チームユニフォームが重要である。今回は、ポロシャツにチーム名などをプリントし、チーム全体で着ることとした。

3. 模型の設計と製作および載荷試験

3.1 模型のデザイン

まずは、簡単にJSBCのルールを確認しておく。

- ・【模型サイズ】橋長4m、高さ60cm、幅60cm以内

- ・【チーム構成】4-6人
- ・【審査項目】架設時間(30分以内)、美観、プレゼンテーション、たわみ(6mmになるべく近づける)、総重量等

これらのルールは3年間で少しずつ変化はあるものの大きくは変わっていない。故に出場チームの中には経験が豊富なチームもあり、年々、趣向を凝らした作品が増えつつある。熊本大学からのチームは、過去2大会の美観部門に関して、第1回は第1位、第2回(エキシビジョンマッチ)は第2位という成績を残している。今年で3回目となるが、美観部門第1位を奪還すべくコンセプトを入念に考えた。図-2は研究室で行ったデザイン案に関する検討風景である。実際の橋梁ではどのような形式があり得るのかを教員から聞きながら、いくつかの案を徐々に1案に絞り込んでいった。その結果、橋梁形式として、これまでの大会ではあまり目にする事のなかった「中路アーチ橋」を取り上げた。デザインコンセプトは、熊本のランドマークの1つである阿蘇の壮大な外輪山(カルデラ)をイメージした。そのため、阿蘇の山々をイメージした三角形トラス構造を主体とし、中央部にくぼみをもたせているかのごとくデザインした。

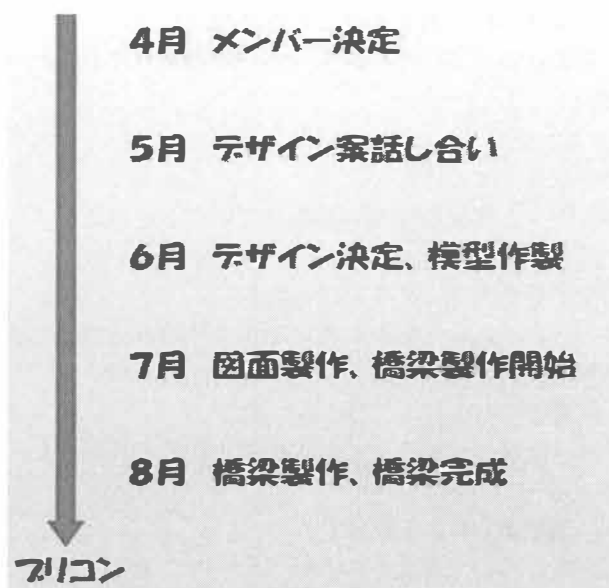


図-1 本番までの計画



図-2 デザイン案検討風景

3.2 模型の製作

デザイン案を策定した後は、具体的な断面の決定を行った。断面は、製作をスムーズに行わせるため、形鋼を利用することとした。また、一部プレートを加工して利用することとした。これは、なるべく、橋梁の総重量を抑える観点からである。また、今回は大会レギュレーションにより、支間中央点と支間 1/4 点にそれぞれ 200kgf, 100kgf の荷重を載荷することになっているため、これらを考慮しながら、支間中央点のたわみを 6mm 近くにすべく、数値解析法を用いて断面寸法を算定した。いわゆる詳細解析に相当する。このとき、これまでに学んだ構造力学および橋梁工学の知識を利用することとなった。例えば、支間中央の上弦材は、一般に圧縮力が作用する。圧縮力が作用する部材には、座屈が生じる可能性があるため、自動的に大きな断面を必要とする。また、支点部では、大きな応力が発生することが判明したため、いくつかの部材を導入して応力を小さくするよう試行錯誤した。これらは、精度こそ、実務レベルとは言いきれないが、おおよそ近いことを経験することができたのは、非常に有り難かった。解析モデル概念図を図-3 に示す。

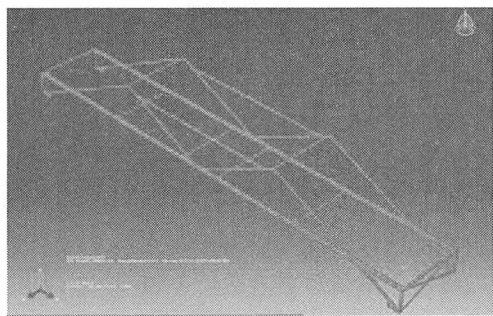


図-3 解析モデル

続いて、材料を発注した。材料の発注にあたっては、詳細設計時に工夫したとおり、形鋼を利用しているため、形鋼リストから発注することとなった。実際は、形鋼リストにあるからといって、すぐに部材が手に入るわけではなく、生産量の少ないものは手に入らないケースもある。従って、この時点で発注できる形鋼から、再度、計算をし直すことも重要であった。

さて、製作にあたっては、技術職員の手助けをもらいながら、部材の切断、ボール盤による穴あけ、部材同士の溶接、グラインダーによる仕上げ等の作業があった。これらは、安全講習や技術指導を受ける必要があった。この作業の際には、ものくり工房の職員の方々、そして、工学部の技術職員の方々にご指導をいただいた。この場を持って厚く御礼申し上げる。何回かの練習を行いながら、最終的には自分たちの作業のみで材料から、各部材の取り出し、および、加工を行うことができた。特に溶接に際しては、TIG 溶接など専門的な内容の細部にわたってまで触れることができ、座学では味わえないものづくりへの実感を味わうことができた。土木鋼構造物では、現在、最終仕上げを除いて機械式で溶接することが多いと聞く。できれば、このような実務における現場を視察したいと思う。これは今後に期待したい。図-4 は製作途中における写真である。図面通りに仕上げるため、部材の接合部や穴あけの位置など細部に注意を払いつつ作成を行った。

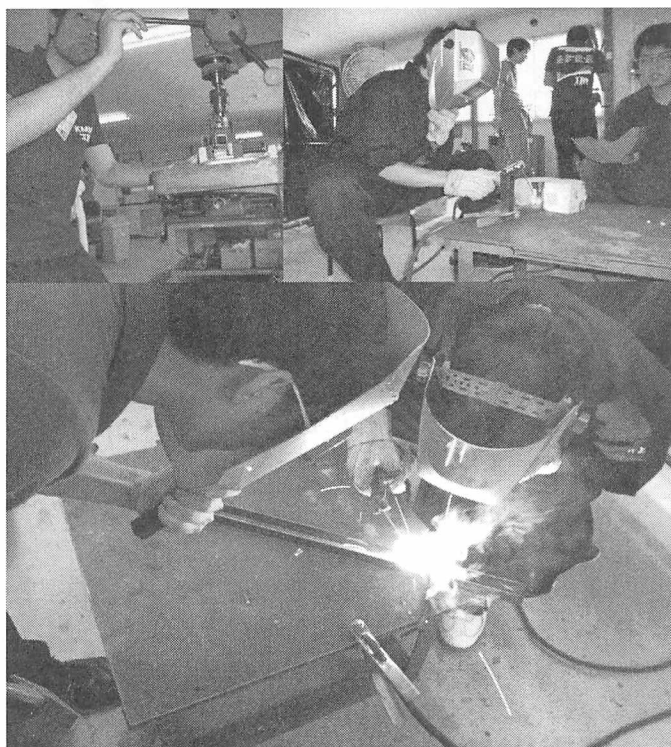


図-4 部材の加工風景

なお、今年の特徴として、橋長が 3m から 4m に変更になったため、基本的には総重量は増えるが、その増加を極力抑えるために図-5 に示すように所要の強度を維持しつつ部材の肉抜きを行った。この肉抜きは構造力学におけるトラス効果を応用したもので、部材に応力の働いていない箇所については、なるべくそぎ落とすことを考えた。しかし、現状では、そもそもミニチュアであるため、この肉抜きは思うようにはできず、結果としては、あまり、見栄えの良いものとはならなかった。次年度も参加するようであれば、この点は大きな反省材料となる。

製作過程の最後は、設計計算とのずれの補正である。数値解析は、現在では、かなり高精度に実施することができる。しかし、境界条件の設定や部材の局所部分までのモデル化をするには、まだ、我々には技量が少なかった。従って、どうしても、製作後載荷試験を行う中で、解析の結果とは異なる結果が生じてしまう。すなわち、目標であった支間中央のたわみ 6mm を達成することはできず、部材接合部の見直し、溶接箇所などの変更を何回かに渡って行った。何をやったら、どう変わるかをその場で考えながら、また、何人かで行っている作業であるので、その指示をどのように出すかも考える必要があり、この過程の中で問題解決能力が培われたと感じた。

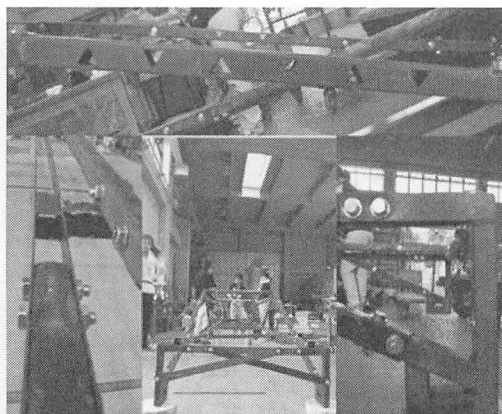


図-5 製作における工夫点

3.3 架設作業

審査項目の 1 つである架設作業について、模型製作終了後、どのような手順で作業を行えば手際よく架設作業が行えるかを検討し、架設時間の短縮のため、何度も架設練習を行った。図-6 はその作業の一風景であるが、試行錯誤を繰り返しながら手順の検討を行った。



図-6 架設作業風景

なお、架設中にボルトや工具を落とす、川と想定された 1.6m の区間に侵入する等の行為をした場合、ペナルティが課されるため注意が必要である。模型の制作だけでなく、架設のスピード、正確性まで求められることが、この大会の面白い点の 1 つである。

3.4 載荷試験

載荷試験では、図-7 に示すように支間中央点と支間 1/4 点に 60cm 幅でそれぞれ 200kgf, 100kgf の荷重を載荷して支間中央点のたわみを測定した。本番前に試験を行った結果 7.44mm であった。

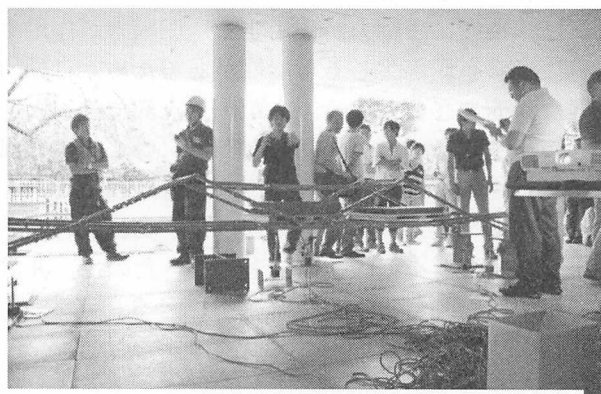


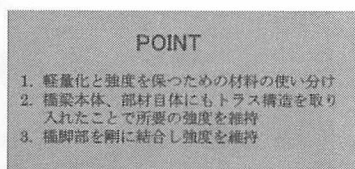
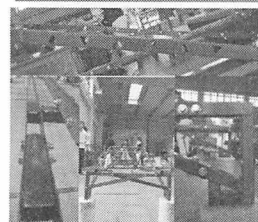
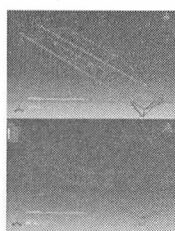
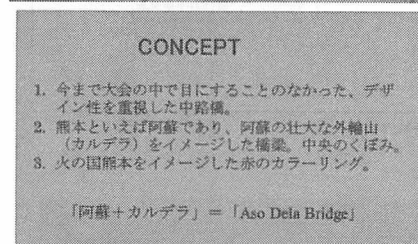
図-7 載荷試験

3.5 プレゼンテーション

プレゼンテーションにおいては、各チームがそれぞれの製作した橋梁に関して、そのデザインのコンセプトや構造に関してプレゼンテーションを行った(図-8)。これは、美観部門に大きな影響を与える。プレゼンテーションの際に使用したポスターを図-9に示す。



図-8 プレゼンテーションの様子



Kumamoto University

図-9 プレゼンテーションポスター

4. ブリッジコンペティション参加の意義

ブリッジコンペティションは、学生自身が橋梁の設計、製作と架設を行い、ものづくりの真の楽しさを経験するものである。また、同じ分野で学ぶ全国の学生との交流し、何を考え学んでいるか、将来の展望などを語ること。他大学の学生の作製した橋梁を見て学ぶことができることも大きな魅力の1つである。図-10は他大学の学生との交流の風景の一部である。他大学の作製した橋梁の1部を図-11にていくつか紹介する。第3回目の大会ということもあり、各大学が工夫を凝らした構造やデザインのを製作しており、強い刺激を受けた。自分たちでは、考え付くことのできない発想を他大学の作品やプレゼンテーションから学ぶことができたことも、大会に参加したことによる大きな収穫の1つであった。また、毎年この大会に参加している私たちも、さらなる質の向上を目指さなければならないということを再認識することもできたことは、次回参加および上位入賞につながると思われる。

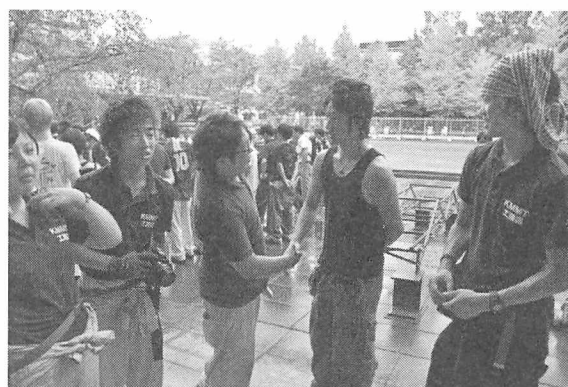


図-10 学生同士の交流

5. 大会結果

競技大会は8月31日から9月1日にかけて東京都市大学で行われた。この大会には14大学から15チームが参加し、それぞれ独自の橋梁模型の性能を競った。熊本大学の競技成績は、架設時間25.47分、重量39.5kg、載荷時のたわみが11.69mmであった。熊本大学の競技成績は架設部門で6位、構造部門で10位、美観部門で6位となり、総合(架設+構造+プレゼンテーション)で10位という結果となった。

大会としては今回が第3回であり、過去2大会の成績を大きく下回った。要因として、橋長の3mから4mへの変更や集中載荷から偏心載荷への変更などがあり、新ルールに適應できなかったことがあげられる。しかし、出場したことに意義があると思われる。他大学の橋梁模型、チームワークやプレゼンテーション等を見ることができ、自分たちが考えることのなかった橋の

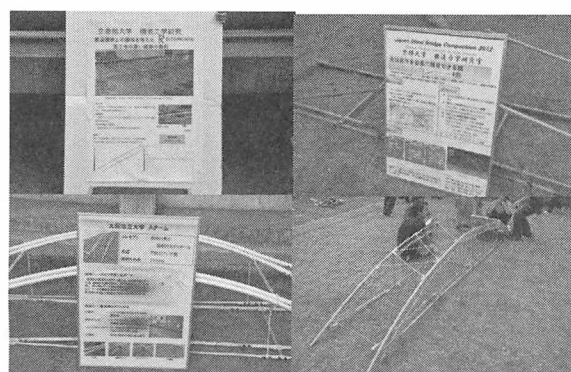


図-11 他大学の作品

デザインや架設方法を知ることができたことはよい学びの場になった。また、多くの大学が学部4年生や大学院生によってチームを構成していたのに対し、熊本大学は学部3,4年生によってチームを構成した。競技においては3年生が頑張ったことは次回の大会へ向けてよい影響を与えらると思われる。ブリッジコンペティションを通して、橋梁構造についての知識や理解が深まっただけでなく、長期間の製作活動や大会を通してチーム一丸となって目標に向かう姿勢を学ぶことができ、様々な人との親睦も深まった。

6. 工学部夢科学探検への参加

工学部夢科学探検へ来場された方に橋梁について興味を持って頂くため、製作した橋梁模型を再度組み立てて展示した(図-12はパンフレット)

ただ展示するだけではなく、300kgfの载荷に鋼橋が耐えられたことを証明するために、おもりの载荷や来場者の方々に乗ってもらった。なお、子供の来場が多いことが予想されたため、安全性を考慮し300kgf相当のペットボトルによるおもりを準備した(図-13)。



図-13 設置会場

具体的には、変位計を用いて支間中央部の鉛直変位と時間の関係を可視化し、橋の上に乗ったり揺れたりすることでどの程度たわむかを体感してもらった(図-14)。また、橋の形式や種類をまとめたスライドショーを展示し、橋に興味を持ってもらうようにした。模型を展示したことにより、子供たちは普段触れることがない鋼材に触れることができ良い経験になったのではないだろうか。自分たちも、来場者の方々から質問を受けて、回答をすることにより専門知識がどの程度身についているかなど再確認することができた。



図-12 パンフレット



図-14 揺れの体験

7. 今後の大会への参加に向けて

今大会の反省点としては、载荷を行った結果、解析時の結果よりもたわみが大きくなってしまったため、早い段階から実際に载荷試験を行い、対策をとること。また、実際の载荷試験時のたわみを解析の結果により近づけるため数値解析の際にディテールにこだわる必要があること。構造上、部材数が多く架設に時間がかかってしまったため、さらなる時間短縮を行うために、部材数を減らすこと。が主に挙げられる。今年度の反省を生かし次の大会では、上位入賞を目指していきたい。

8. プロジェクトの達成度評価

本プロジェクトは、「鋼橋模型のデザイン、設計、数値解析、製作および架設作業といった実務における橋の施工に即した体験を模擬的に行う」ということで、ものづくりの必要性和楽しさを知ることがこのプロジェクトの主な目的として掲げていた。全員が協力し、楽しみつつ、鋼橋模型を作製し、結果を残すことができたため当初の目的は達成されたのではないかと考える。次に、本プロジェクトの目標として掲げていた「学生自らのアイデア故に、これまでの常識にとらわれない創造的かつ夢のような橋の製作」、という点においても、大会の中で初となる中路橋を設計、製作した、という点において達成されたのではないかと考える。しかし、唯一昨年度の成績を超えるという目標を達成することができなかった。これについては、前章に挙げた、反省点を生かし次年度の大会で達成したい。

9. まとめ

3回目のブリッジコンペティションへの参加となったが、過去2年の利点も残しつつ新しい技術を取り入れていかなければならないと感じた大会であった。他大学の作品には、スパンが長くなったことから、構造力学に忠実な部材数の少ないシンプルなデザインの作品が多く見られた。また、载荷試験を行った結果、解析時の結果よりもたわみが大きくなってしまった。そこで、数値解析の時点からディテールにこだわる必要があると思った。力のかかり具合により、断面寸法を部材ごとに変え、最適な断面寸法で製作することが必要である。今回、鋼橋の製作と設計の実施、ブリッジコンペティションと夢科学探検に参加して、構造工学等の授業で学んだ基礎知識の重要性を学んだ。また、座学では学べないような設計・製作技術や多くの知識を習得することができた。

今後は、この学んだ経験を卒業研究や修士での研究あるいは就職等に生かすと共に後輩へと伝えたい。今回は、すべての部門において精度を高くするという目標を持って臨みたいと思う。また、他大学のチームを見て学んだことや今回の反省を活かしてよりよい模型を作りたいと思う。



図-15 大会を終えての集合写真