

STEAM教育に適したブリッジコンテストの 設計に関する基礎的研究

Fundamental design of effective bridge contest for STEAM education

鈴木太陽¹⁾, 車谷麻緒²⁾

Taiyo Suzuki and Mao Kurumatani

- 1) 茨城大学大学院 理工学研究科 都市システム工学専攻 (〒 316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1,
E-mail: 24nm822h@vc.ibaraki.ac.jp)
- 2) 茨城大学大学院 理工学研究科 都市システム工学専攻 (〒 316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1,
E-mail: mao.kurumatani.jp@vc.ibaraki.ac.jp)

In the field of civil engineering STEAM education, bridge contests serve as an effective educational approach. This study aims to enhance the educational effectiveness of bridge contests by investigating the selection of appropriate materials for the competition and analyzing the relationship between the load-bearing capacity and the self-weight of the bridges.

Key Words : Bridge Contest, Pasta, Structure, Internal Force, Variability

1. はじめに

昨今の国内では、いわゆる「理科離れ」、「理工系離れ」が進んでいる。この問題は、建設業にも影響しており、深刻な人材不足に陥っている。インフラの整備は、経済活動の活性化と国民生活の豊かさに直結することであり、建設技術者の不足は国力の低下につながるといえる。すなわち、建設技術者の減少とは切実な社会問題であり、担い手の確保は重要な課題である。

こうした問題に対し、文部科学省ではSTEAM教育に力を入れている。STEAM教育とは、Science（科学）、Technology（技術）、Engineering（工学・ものづくり）、Mathematics（数学）の分野を横断的に学習するSTEM教育に、新たにArt（芸術・リベラルアーツ）の分野を取り入れた教育理念を指す[1]。STEAM教育の例として、近年ではコンテスト形式も多く、ロボットコンテスト、プログラミングコンテストなどが存在するが、建設分野のSTEAM教育としては、ブリッジコンテストが挙げられる。

ブリッジコンテストとは、指定の材料と条件のもと、参加者が橋梁模型を作成し、どれほど荷重に耐えられるかを競うコンテストである。耐荷重量以外にも、美しさという評価基準を取り入れ、実施しているコンテストも存在する。

こうしたコンテストの利点として、通常の座学のようにただ聞いているだけではなく、自らの手で作業することが挙げられる。受動的ではなく能動的に学習し、楽しみながら構造に触れ、学ぶことができるため、教育的効果が高いとされている。

ブリッジコンテストに関して、国内では大学や工業高等専門学校建設系学科、海外では大学等にて、実施事例などが報告されている。

しかしながら、使用されている材料や結果の評価方法に

ついては、それぞれ独自のものであり、十分に検討が行われていない。

そこで本研究では、より教育的効果の高いブリッジコンテストを行うため、コンテストに適した材料の選定の検討、およびコンテストの評価方法である、ブリッジの耐荷重量と自重の関係に関して、調査を行う。

2. ブリッジコンテストに適した材料の選定

(1) ブリッジコンテストに適した材料の条件

ブリッジコンテストに適している材料の条件として、参加者の公平性のため、材料特性のばらつきが小さいことが挙げられる。またその他に、ブリッジが、十分すぎる重量に耐えるとなると、試験自体が複雑化してしまい、望ましくないため、1本では脆いが、組み合わせて構造とすることで、一定の強度を持つ必要がある。また、コンテストをより気軽に開催するため、身近で手に入りやすい材料であることが望ましい。

以上のことを踏まえ、本研究ではヒノキ角材、パルサ角材、乾燥パスタを対象とし、ブリッジコンテストに最適な材料の選定について検討する。

(2) 材料選定のための三点曲げ試験

1辺当たり1 mm、2 mmのヒノキ角材、2 mm、3 mmのパルサ角材、直径1.7 mmのパスタを対象に三点曲げ試験を行った。各材料30本に対して、3点曲げ試験を行い、たわみから材料の剛性を測定した。

各材料の、たわみの変動係数を図-1に示す。これを見ると、パスタの剛性のばらつきは、木材に比べて非常に少ないことがわかり、ブリッジコンテストに適した材料であるといえる。

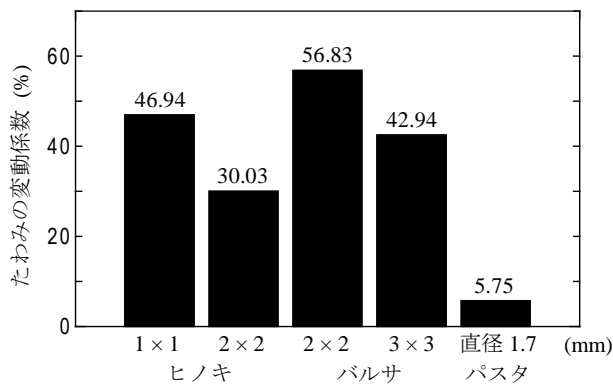


図-1 たわみの変動係数

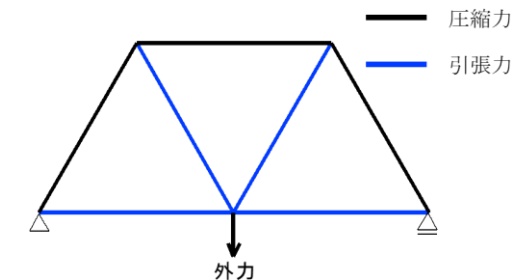


図-2 トラスに外力がかかる際の部材にかかる力

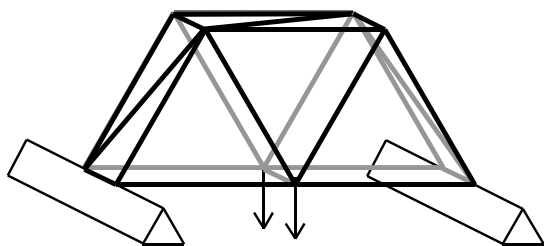


図-3 耐荷力試験概要図

3. パターン別耐荷力試験結果

図-2に示すように、トラス型のブリッジは、どの部材に応力が生じるか、計算することができ、第3章と同様の外力が作用した際の、ブリッジに働く引張と圧縮の力を確認できる。パスタのような柱状の部材は、引張の力に強度を発現するが、圧縮の力に弱い。すなわち、圧縮の力が働く部材のみを補強することにより、自重を抑えながらも、耐荷重量を大きくすることができると考えられる。

そこで本章では、図-3に示すような耐荷力試験を、図-4から図-6に示すブリッジに対して行う。同じ構造でありながらも、各部材の強度が異なるブリッジを作成し、計算結果と試験結果を、比較する。強度を大きくする部材には、直径1.93 mmのパスタを使用し、ブリッジを作成した。これらの各パターン10個のブリッジに対して試験を実施し、耐荷重量と自重の関係を検討する。

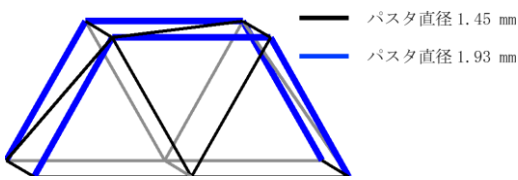


図-4 パターン1の概略図

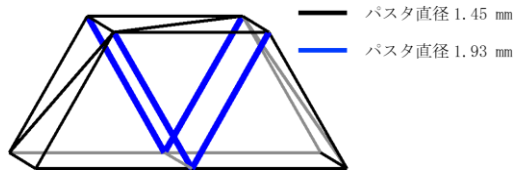


図-5 パターン2の概略図

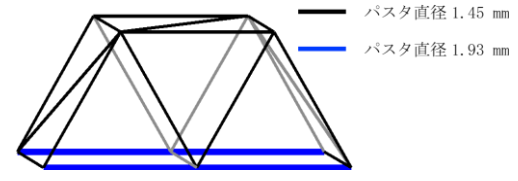


図-6 パターン3の概略図

表-1 二次元トラス形状における変位量

補強なし	パターン 1	パターン 2	パターン 3
1	0.762	0.842	0.960

表-2 各パターンの二次元トラスの変位量

	平均自重	平均耐荷重量	平均耐荷重量/自重
補強なし	6.79	648.5	95.50
パターン 1	8.21	1390	169.3
パターン 2	7.89	668.5	84.73
パターン 3	7.85	667.0	84.99

(1) 計算上での各パターンの変位量

表-1に、二次元のトラス形状を対象とし、カスティリアノの定理を用いて、補強していないブリッジの変位量を1とした時の、各パターンでの変位量を求めた結果を示した。これを見ると、それぞれのブリッジは、補強していないものに比べて、変位量が少なく、すなわち剛性が増加していることがわかる。なかでもパターン1においては、圧縮の力がかかる部材を補強しているため、計算上では、変位量が最も少ないことが確認できる。

(2) 耐荷力試験結果

それぞれのパターンに対し、耐荷力試験を行った。ブリッジコンテストに関して報告されている、吉田らの研究[2]では、コンテストの評価式として、橋の最大耐荷重量を、橋の自重で除した値を得点として使用することが、適当であると述べている。本研究においても、同様に得点を、最大耐荷重量を自重で除した値とし、比較検討を行う。表-2に、試験結果を示す。これを見ると、計算結果にて、変位量が少ないパターンでは、試験結果においても耐荷重量が大きいことが確認でき、計算上のものと、傾向が一致していることが確認できる。

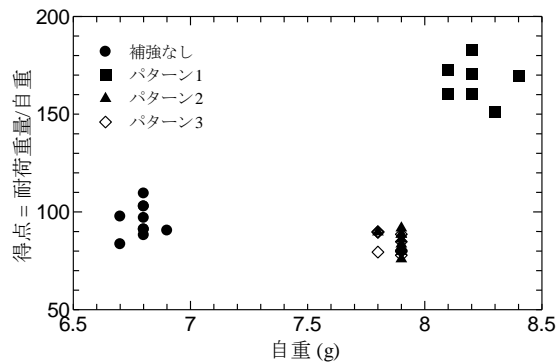


図-7 各パターンの得点と自重の関係

また図-7に、各パターンの、自重と得点の関係を示す。これを見ると、パターン1のように、圧縮の力が作用する部材のみを補強することで、自重の増加を抑えながらも、得点の上昇につながっていることがわかる。対して、パターン2、3においては、引張の力がかかる部材を補強しており、耐荷重量は多少増加しているが、自重も増加しているため、得点の値は、補強していないブリッジに比べて減少していることが確認できる。

本章の結果より、パターン1のように、理論上優れた構造は、ブリッジコンテストにおいても、優れた結果を示すことが確認できた。参加者が、構造への興味関心、学びを得ることが重要な目的の一つである、ブリッジコンテストにおいて、このような、構造を理解した創意工夫を行うことが、評価につながることは望ましいことである。

4. ブリッジの自重と得点の関係の調査

吉田らの研究[2]では、ブリッジの自重と最大耐荷重量の関係について、実際のコンテストの結果を用いて言及されており、異なる構造のブリッジを用いて比較しているため、十分に検討が行われていない。

そこで本章では、各部材それぞれの本数が異なるパスタブリッジを作成し、同じ構造でありながらも自重のみが異なるブリッジの、自重と得点の関係を検討する。

(1) 耐荷力試験概要

パスタの直径や、各部材の本数を変えることにより、ブリッジの自重を変える。具体的には、パスタの直径を1.45 mm, 1.70 mm, 1.93 mmを使用、各部材の本数を1本から3本にし、耐荷力試験を実施した。1つのパターンあたり10個のブリッジを対象に、試験を実施し、自重と得点の関係を検討する。

(2) 耐荷力試験結果

パスタの直径や各部材の本数を変えた各パターンのブリッジ10体の結果を図-8に示す。縦軸に得点を、横軸にブリッジの自重とした。それぞれの点を横軸で見ると密集していることがわかり、各パターンのブリッジの自重は、ばらつきが少ないことがわかる。また、各パスタの直径ごとに見ると、自重が大きくなると、得点も大きくなる傾向が確認できる。

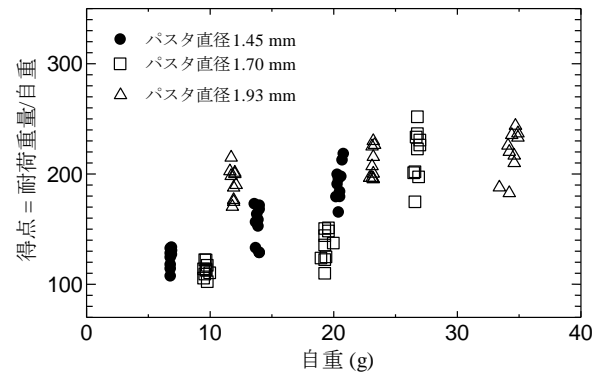


図-8 得点と自重の関係

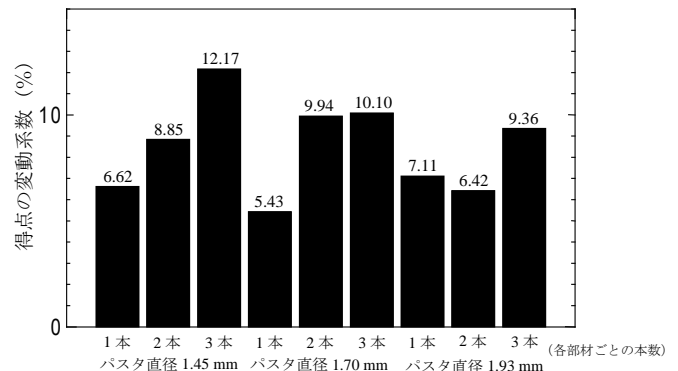


図-9 各パターンの得点の変動係数

図-9に得点の変動係数をまとめたグラフを示す。各部材の本数が多いものほど、得点の変動係数は大きく、ばらつきが大きい傾向がみられる。一方で、各部材が1本や2本のブリッジにおいては、部材から破壊されるケースが多く見られた。

強度や剛性が高すぎると、脆性的に破壊する傾向は、現実にも見られる現象である。接合部の強度に限界があり、部材を単純に太くすればよいわけではないことを学ばせる仕組みとして、この傾向はコンテストに必要であると考えられる。

(3) 各部材3本以上での耐荷力試験

図-8より、異なる直径のパスタを使用した際の、自重と得点の関係には、関連性を見出すことができない。そのため、各部材の本数のみを変更することで、自重に違いを持たせる。直径1.45 mmのパスタを使用し、作成する、各部材4本、5本のブリッジに対し、同様の耐荷力試験を行った。(2)節で得られた結果と比較したものを、図-10に示す。これを見ると、各部材が4本、5本の結果は、3本のものに比べ、得点にさほど差がないことがわかる。

コンテストにおいては、構造が同じであれば、得点も同じになることが望ましい。しかし、各部材1本や2本のブリッジと、3本以上のブリッジの得点には差が生まれている。部材の強度が小さい場合、同様の構造であったとしても、得点が同じになることは難しいという可能性が考えられる。

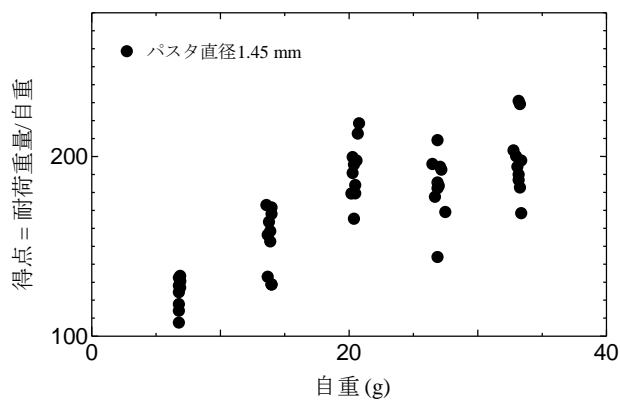


図-10 1種類のみのパスタを使用した際の得点と自重の関係

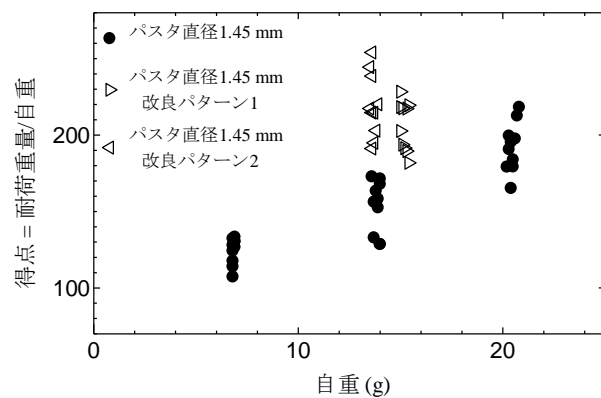


図-13 得点と自重の関係

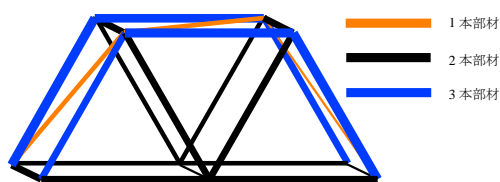


図-11 パターン4の概略図

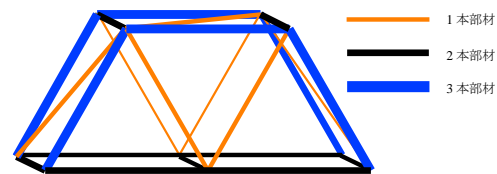


図-12 パターン5の概略図

(4) 各部材の本数が異なるブリッジ

図-11, 図-12 に各部材の本数が異なるブリッジを示す。パターン4では、圧縮の力が作用する、外側の部材を3本にすることで、補強している。またパターン5では、引張の力がかかる部材を1本にすることで、自重をさらに小さくしている。

同様に、パターン4, パターン5に対し、耐荷力試験を行った。(2)節にて得られたものと、比較した結果を図-13に示す。これを見ると、同程度の自重のブリッジに比べ、得点が高いことがわかる。パターン5のブリッジの耐荷重量は、パターン4のものと同程度であるが、自重が軽量なため、得点が大きくなっている。また、これらの得点の平均はどちらも、同様の太さのパスタを、各部材に3本使用したブリッジの、得点平均よりも大きいものである。

本節の結果より、創意工夫を行うことで、評価につながることが確認できた。

5. 結論

本研究では、教育的効果の高いブリッジコンテストを構築するため、材料の選定と耐荷力試験について、検討した。これよりパスタがブリッジコンテストの材料として優れていることが確認できた。また耐荷力試験では各部材の本数や、ブリッジの自重と得点の関係について考察した。

参考文献

- [1] 文部科学省初等中等教育局教育課程課, STEAM教育等の教科等横断的な学習の推進について
- [2] 吉田雅穂, 高橋佳代: 学校教育におけるブリッジコンテストの実施方法と評価方法に関する研究, 高専教育, 第26号, pp.345-350. 2002.3