

構造模型を用いたインタラクティブラーニング向上の取り組みーその2

早稲田大学 学生会員 ○花木 冬芽
正会員 楊 一舟, 王 海龍, 学生会員 高柳 雅樹

1. はじめに

早稲田大学創造理工学部英語学位プログラムに設置される SHIP(Social and Human Innovation by Practical Science and Engineering)は多角的な視点から問題を解決する能力を養うべく,1~2年の学生が主体のワークショップである¹⁾.2020年度はコロナウイルスの影響により全篇オンラインで開講され,最適なトラス橋モデルの探究を行った.トラス橋とは連続的な三角形の基本構造から成る橋のことであり,部材の組み方によってコストを抑えつつ周辺環境に適合した構造を提案することができる.授業の目的は与えられた条件下で橋の安全性と経済性の側面から最適なトラス橋をデザインすることである.アルミ材で製作されたトラス橋での载荷試験より内力の計測と解析を実施した.その後,5人の学生が事前に配られた竹籤や接着剤などの材料パッケージを用いてそれぞれ製作・载荷試験を実施した.本研究では,筆頭著者の活動内容を紹介する.

2. 理論値計算による構造の検討

図1の条件下において,典型的なトラス橋(プラットトラス,ウォーレントラス)に総荷重 P が均一に橋の接点にかかると仮定し,各部材にかかる内力の理論値を求めた.図2は図1の条件を元にセクション数(基本となる三角形の構造の数)が4と6の場合における α とコストの関係(左縦軸)を折れ線グラフで, α と最大内力の関係(右縦軸)を棒グラフで表したものである.セクション数を増やすと最大内力が増えるものの角度の増加に伴いその差が減少した.更に,コストが一定(例えば,総部材長が100cm)の条件下でトラスを比較すると,プラットトラスに比べてウォーレントラスの最大内力が小さいことが分かった.以上よりウォーレントラスが当実験の目的に沿っていると判断した. α が増加するにつれて最大内力が減少した一方,コストも増加するため,適切な α を検討する必要がある.また,全ての構造において最大内力が圧縮力である事から座屈の影響も考慮した.

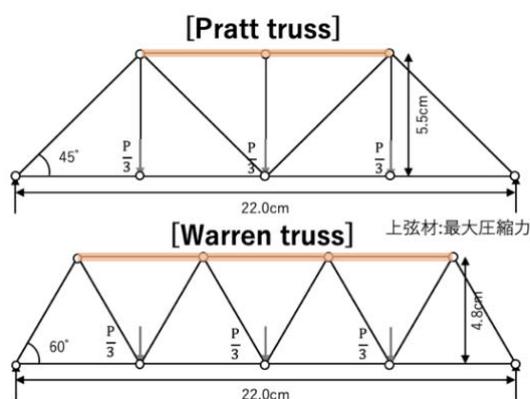


図1 トラス橋の規程寸法と最大内力

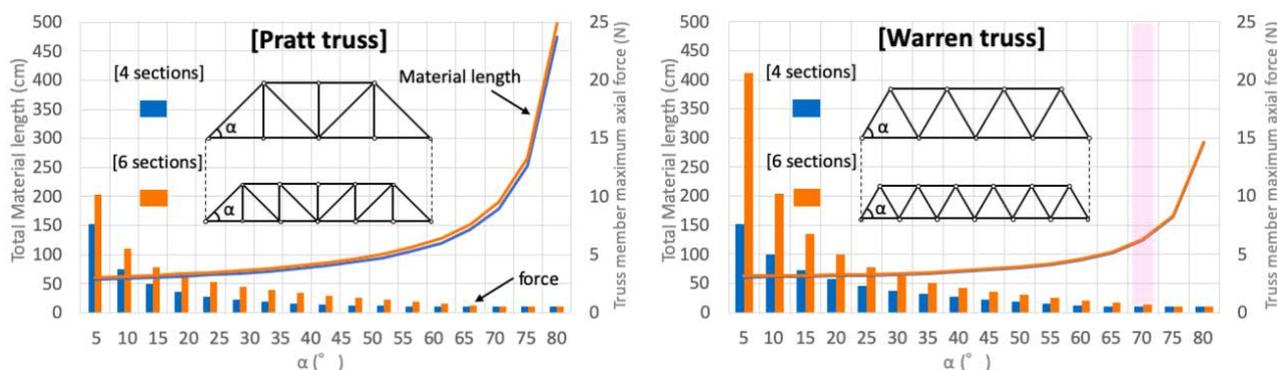


図2 セクション数、最大内力とコストの関係

キーワード 土木教育 SHIP トラス橋 インタラクティブラーニング 最適デザイン
連絡先 〒169-8885 東京都新宿区大久保 3-4-1

座屈を表すオイラーの臨界荷重 (P_{cr}) は、部材の長さの二乗に反比例する。よって、部材が短いほど座屈の影響を受けにくくなる。図3はセクション数の異なるウォーレントラス構造において、 α と最大内力のかかる部材の長さの関係を表している。セクション数の増加により、最大内力のかかる部材が短くなるため、 P_{cr} が 2.25 倍増加した。また、 α がある特定の角度を越すと最大内力のかかる部材が上弦材から斜材に変わり、その長さが長くなる。このことからプラットトラスのセクション数 6、 α が 70 度の構造が最適と考えた。

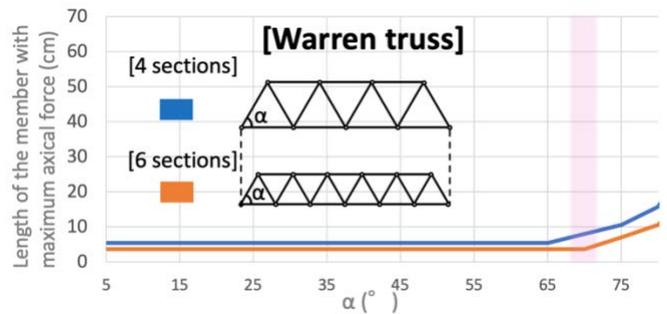


図 3 α と最大内力のかかる部材の長さの関係

3. ストロートラス橋によるプロトタイプ

上記の検討結果に沿って、まず、図4のように3種類の構造のプロトタイプをストローで行った。また、それぞれに対して载荷試験を行い、どのように変形し破壊に至るのかを観察した。この試験は洗練されたデザインの考案に役立てることが目的である。図5は荷重と橋のたわみの関係を表しており、構造1が最も強くたわみも少なかったことが分かった。理論値計算より上弦材のたわみが破壊の発端となると予想していたが、実際はねじれが主な原因であった。

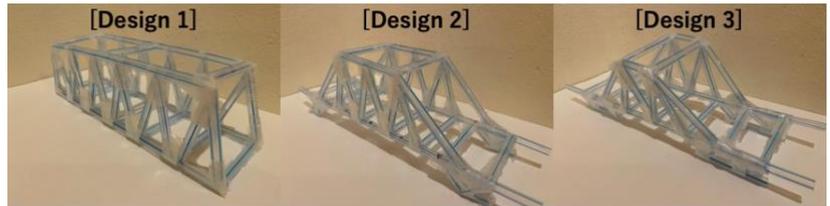


図 4 ストロートラス橋によるプロトタイプ

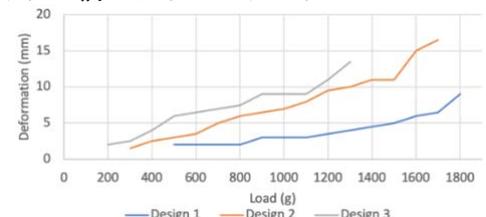


図 5 荷重とたわみの関係

4. 竹箴トラス橋による载荷試験

理論値計算とストロートラス橋の载荷試験を参考にしつつ、図6を元に竹箴で模型を製作した。下弦材と斜材のなす角(α)が70度のウォーレントラス構造を基本とし、ねじれ防止のために側面外部を斜材で補強した。载荷試験では荷重が増加するにつれて図8のように下弦材のたわみが増大し、模型は17.7kgの荷重まで耐えることができた。独自に設けた指標の Price per performance を「模型の重さ(N)/最大荷重(N)」とし、橋の最適性を評価した。プロジェクトの参加者の内、最も優れた結果となった。

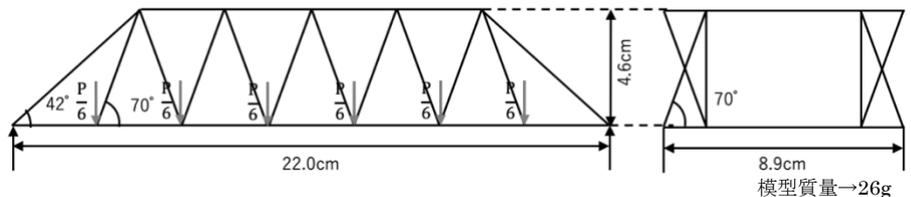


図 6 竹箴トラス橋の寸法 (左: 縦断面, 右: 横断面)

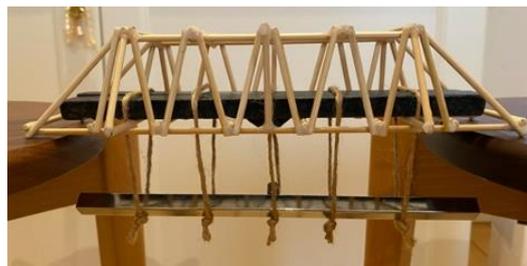


図 7 载荷試験前

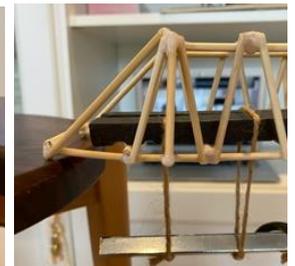


図 8 载荷試験後

5. まとめ

SHIP を通し実験を行うことによって、学生間での積極的な意見交換ができた。個人で持ち寄った構造デザインを国籍の違う学生と共有することによって新たな視点や問題に気付くことができ、洗練された構造を提案することができた。また、授業が全篇オンラインで行われたことからインタラクティブラーニングの新たな可能性が証明された。対面授業以上に学生の積極性が重要となるが、海外からの参加も可能となるため多角的なアプローチを養う新たなフィールドとなった。

謝辞: 本研究の一部は早稲田大学・持続的未來社会研究所の活動として行われた。授業の実施は、早稲田大学創造理工学部にサポートしていただいた。共著者以外に、受講生: TAKAHASHI Ryuju kevin, Zhou Xinyan, Ravathinee Techakaisri, Lin Yu Cheng もグループメンバーとして本 SHIP 活動に参加した。ここに感謝の意を評します。

参考文献: 1) 王海龍ら、「構造模型を用いたインタラクティブラーニング向上の取り組み—その1」土木学会全国大会第76回年次学術講演会, 2021. 9.