

土木工学導入教育としてのバルサブリッジコンテストと評価基準

福島工業高等専門学校 正会員 根岸 嘉和

福島高専では、将来のモノづくり人材の育成教育として「福島県中学生ブリッジデザインコンテスト」¹⁾を実施している。ここではその概要と評価基準の検討経緯を示し、土木工学導入教育としての意義について考える。

1. ブリッジコンテスト実施概要と性能評価式

(1) 平成20年度以前

課題：平面トラス模型を1日で制作・競技実施。

内容：バルサ角材 3mm×3mm×900mm の2本以内から切り出した部材を、0.3mm厚のプラバンから切り取ったガセットプレートを介して瞬間接着剤で接合し、図-1(上)に示すような長さ450mmの平面トラス構造を設計・製作。スリットにはさみ横倒れさせない状態で上部中央1点载荷による崩壊荷重を測定し、下記の評価式による比強度 S を競う。

評価式：
$$S = P / W \quad (1)$$

S ：比強度， P ：崩壊荷重， W ：模型重量

(2) 平成21年度以降（24年度の例）

課題：立体トラス模型を3回の講座で制作・競技実施

内容：バルサ角材（寸法mm）2×2×900を4本以内、3×3×900（あるいは3×6×900（3×3材の2倍長に換算））を4本以内で、かつ合計7本以内から切り出した部材を、ホットボンドで接合し、図-1(下)に示すような長さ450mm・幅80mmの下弦载荷の立体トラス橋模型を、少ない材料（バルサ体積 V ・総重量 W ）で設計・製作。2本の下弦材のスパンを3等分する4点に分割载荷した崩壊荷重 P ，立体トラス橋模型に内接する最大直方体の横断面積の広さを評価する橋の路線有効断面積 A を測定して、下記の評価式によるトラス橋模型の性能 S とデザイン D の総合評価 T を競う。

評価式：
$$T = S + D = P \cdot \sqrt{A} / (V \cdot W) + D \quad (2)$$

T ：総合評価点（100点満点）

S ：性能評価点（最高点を70点として換算）

D ：デザイン評価点（審査員2名合計30点満点）

P ：崩壊荷重強度， A ：路線有効断面積，

V ：バルサ材総体積， W ：模型重量

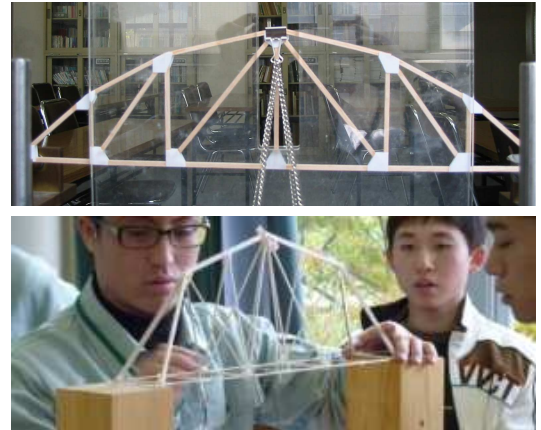


図-1 平成20年度以前(上)・以降(下)の課題：模型と試験

ここでは、橋模型の要求性能を土木構造物に要求される「用・強・美と経済性」にすぐれていることとし、それらを総合的にバランスよく評価する評価基準を目指して改良を重ね、評価式(2)に至った。

2. 立体バルサブリッジの利点、意義と問題点

利点：バルサ材をホットボンド接合した橋模型にデジタル手秤で载荷する課題の利点は次のようである。

- ① 手軽な製作・加工が可能
- ② 小さい荷重での強度実験が可能
- ③ 変形・荷重観察により、崩壊させずに順次強化が可能

意義：従来実施していた平面トラスの課題から、現在の立体トラスにした理由と意義を以下に示す。

- ① 平面トラスの実験は、図-1(上)のようにして横（トラス面外）方向への倒れを止めているため、一旦横倒れや振れが生じた後では、スリット板との接触面に摩擦拘束力が生じ、実際よりも高い強度を示す。
- ② トラス模型の強度が、局部挙動（圧縮材の座屈、引張材の破断、および接合部の抜け・はがれ）と、全体挙動（構造の横倒れ）に支配されていることと、後者の横倒れの防止対策の工夫が、構造の強度を大きく左右することは、立体構造のみで学べる。

キーワード：土木工学導入教育 バルサブリッジコンテスト 性能評価基準 立体トラス模型

〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾30 福島工業高等専門学校 建設環境工学科 Tel 0246-46-0831

問題点：本課題には、反面、次のような問題がある。

- ① 材料強度のバラツキの大きさ
- ② 部材の種類別総延長計測の煩雑さ
- ③ 力学挙動の原理の難しさ

3. 競技規則・性能評価基準の検討経緯

(1) 3mm×6mm 材使用の経緯と効果

当初は設計・製作の簡単化のために 2mm×2mm 材と 3mm×3mm 材を引張材と圧縮材に使い分けることだけを想定した材料制限としていたが、要望により 3mm×6mm 材の使用を認め、2 倍長分の 3mm×3mm 材に換算することとした。この結果、最も厳しい条件下の圧縮部材に 3mm×6mm 材を用いて、全体の強度を増大させることができ、さらには長方形断面を縦長に使うか横長に使うかで、座屈防止の中間支材の配置が変わる等、構造検討と考察の必要性が生じ、複雑にはなったが、より深い工夫の可能性が生まれてコンテストの高度化が図られた。

(2) 路線有効断面を性能評価式に組込む趣旨

本橋模型の強度は、圧縮材の座屈や引張材の破断のような材料の局部挙動以前に、模型全体が側方へ倒れる横倒れ挙動によって決まる場合が多い。この横倒れ強度は、上弦材の横方向の繋ぎ方で分類した 図-2 に代表例を示すような下記の 3 型式で大きく異なる。

- ① 平行主構面型式：路線断面が長方形で、有効面積 A を最も広く取れるが、横倒れに対しては最も弱い。
- ② 合掌主構面型式：路線断面が三角形で、 A は最も狭くなるが、横倒れに対しては安定であり最も強い。
- ③ 構傾斜主構面型式：路線断面が上記①・②の中間の台形となり、有効面積 A と横倒れ強度特性も中間的。このように、各型式の路線有効横断面積と横倒れ強度の大小には、相反する関係が存在する。

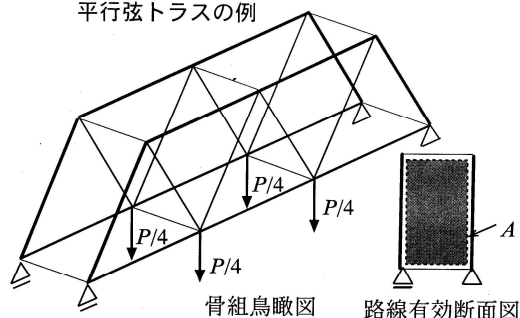
また、要所に各種横繋ぎ部材を挿入したときの全体強度・局部強度の上昇と、それによる路線有効横断面積の減少との間にも、類似の相反する関係がある。

そこで、構造強度と路線有効断面積が相殺してバランスすることで、ある形式だけが圧倒的に有利・不利にならないようにする狙いをもって路線有効断面積 A の $1/2$ 乗を性能評価値に乗ずる形で取入れたものである。

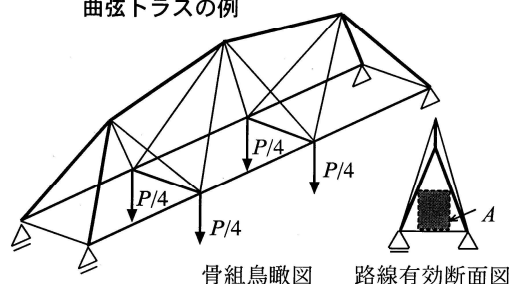
(3) 比強度算定式の変遷経緯

本橋模型では、バルサ材重量がホットボンド重量に比して小さいことから、模型の崩壊荷重 P を重量 W で

① 平行主構面型式トラス橋モデル 平行弦トラスの例



② 合掌主構面型式トラス橋モデル 曲弦トラスの例



③ 傾斜主構面型式トラス橋モデル 屋根トラスの例

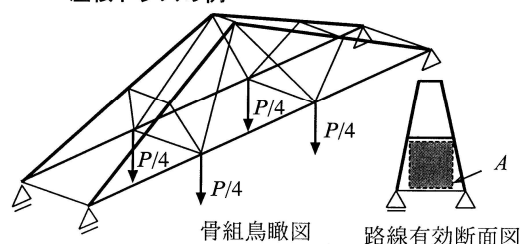


図-2 代表的な立体トラス橋模型の骨組と路線有効断面積 A

割った一般的な「比強度 P/W 」では妥当な性能評価ができない。また重量を抑えるためにホットボンドが不足の模型は、接合部の抜け・剥がれで、本来の構造特性としての崩壊様式に至る前に崩壊し、「構造の形と強度について学ぶ」というコンテストの目的が達成できない。

そこでこれまでは、橋模型の崩壊荷重 P を材料の総体積 V で割った値を「比強度 P/V 」として用いてきた。

しかしながら、重量には材料体積以上のバラツキがあり、ホットボンドを過剰に用いたものも見られたため、「接合部の木組みを工夫した構造とすることで、強度を確保しつつ必要十分なホットボンド量を減らす」という意識を持たせる狙いをもって、今年度は性能評価値として、模型の崩壊荷重 P を材料体積 V と模型重量 W の積で割った値を「比強度 $P/(V \cdot W)$ 」とすることとした。

【参考文献】1) ものづくりプラントキャンパス・プログラム：平成 23 年度事業報告書、アカデミア・コンソーシアムふくしま、2012、3。