

地域連携型教育支援事業「福島県中学生ブリッジデザインコンテスト」の実施と評価基準の改良

Execution of Region Cooperation Type Education Support Program "Junior High School Student Bridge Design Contest of Fukushima Prefecture" and Improvement on the Evaluation Criterion.

根岸 嘉和

福島工業高等専門学校建設環境工学科

Yoshikazu Negishi

National Institute of Technology, Fukushima College Department of Civil Engineering

(2014年9月17日受理)

Fukushima College of Technology carries out "Junior High School Student Bridge Design Contest of Fukushima Prefecture" as a member of the Academia Consortium Fukushima (ACF). In this report, the result like the following was obtained by tracing and examination contents of the contest.

This course is easy to participate to the junior high school student, and it is comprehensible as much as possible, and it becomes a field which can be happily studied. Rule and evaluation criterion of this contest synthetically contain each requirement of the civil engineering structure, and only the specific structural system does not become advantageous, and the deep structure improvement can be drawn. The high-performance model is easy to make it, since this problem is a space truss using the balsawood, and the destruction mode and strength can be rightly measured and can learn.

This paper aims at being useful for the planning of the region cooperation education.

Key words: bridge design contest, junior high school student, Academia Consortium Fukushima, rule and evaluation criterion, region cooperation type education support program.

1. アカデミアコンソーシアムふくしまと連携事業¹⁾

アカデミア・コンソーシアムふくしま(ACFと略称)は、現在19の福島県内高等教育機関等(10大学・5短大・1高専・3テクノアカデミー)の連携組織で、平成21年度に前身の「福島県高等教育協議会(福島大学が主務担当、福島高専は平成16年度に加盟)」から改名(名称提案は福島高専)したものである。

ACFは平成21~23年度の文部科学省「大学教育充実のための戦略的大学連携支援プログラム」に採択され、「『アカデミア・コンソーシアムふくしま』の構築による広域連携型学士力向上プログラム」の12事業を展開した。その一つ「ものづくりプラントキャンパスプログラム」の主企画『福島県中学生ブ

リッジデザインコンテスト』を福島高専が担当し、ACF主務担当の福島大学「大学連携室」の教職員と大学院生の協力のもとに、福島高専「建設環境工学科」の教員の指導と本科生・専攻科生の指導補助というスタッフで実施した。

さらに昨年度からは、ACFの文部科学省「大学改革推進等補助金採択事業(大学改革推進事業)」：『ふくしまの未来を拓く「強い人材」づくり共同教育プログラム』の企画の一環として本コンテストを開催している。

2. ブリッジコンテストの企画の変遷¹⁾

2.1 ブリッジコンテストの実施形態の変遷

(1) 平成20年度以前

行事名：福島高専学校開放事業「箸で橋を創る」
 課題：バルサ平面トラスの重量比強度 (Fig.1)
 対象・期間：小・中学生・1日間

(2) 平成 21 年度

行事名：福島高専学校開放事業「福島県中学生ブリッジコンテスト」
 課題：バルサ立体トラスの材料比強度 (Fig.2)
 対象・期間：県内中学生・1日間

(3) 平成 22 年度以降

行事名：ACF 主催 (24 年度～本校共同主催)，福島県・県教委他後援，「福島県中学生ブリッジコンテスト」
 課題：バルサ立体トラスの総合性能(載荷試験を Fig.2 に，作品例を Fig.3, Fig.4 に示す)
 対象・期間：県内中学生・3日間

2.2 ブリッジコンテストの課題・内容の変化

(1) 平成 20 年度以前

課題：平面トラス構造を1日で製作・競技実施。
 内容：バルサ角材 3mm×3mm×900mm を 2 本 (計 1800mm) 以内から切った部材を，プラバン (0.3mm 厚) から切り出したガセットプレートを紹介して瞬間接着剤で接合して，Fig.1 に示すような長さ 450mm の平面トラス構造を設計・製作し，スリットにはさんで横倒れをしない状態での上部中央 1 点載荷による崩壊強度を測定し，下記評価式による平面トラス橋模型の比強度を競う。

$$\text{評価式：} \quad S = P/W \quad (1)$$

S ：比強度， P ：崩壊荷重， W ：模型重量

(2) 平成 21 年度以後 (26 年度の例)

課題：立体トラス構造を 3 回講座で製作・競技実施 (平成 21 年度は 1 日間)
 内容：バルサ角材(寸法 mm) 2×2×900 を 4 本 (3600mm) 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 (3600mm) 以内で，かつ合計 7 本 (6300mm)以内から切り出した部材を，ホットボンドで接合し，Fig.2 に示すような長さ 450mm・幅 80mm の下弦載荷の立体トラス橋模型を，できるだけ少ない材料 (材料体積 V ・総重量 W) で設計・製作し，2 本の下弦材のスペンを 3 等分する 4 点に分割載荷した崩壊荷重 P と，立体トラス橋模型に内接する最大直方体の横断面積で評価する橋の路線有効断面積 A を測定し，こ

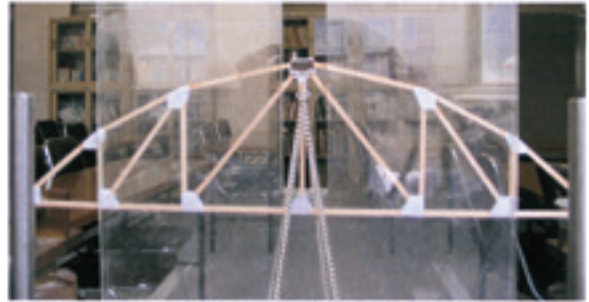


Fig.1 従前課題の平面トラス模型と載荷試験

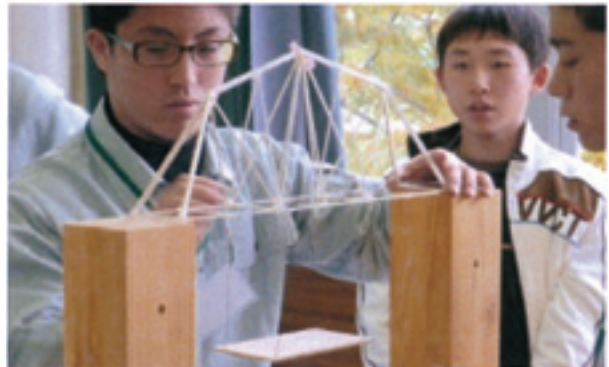


Fig.2 現行課題の立体トラス橋模型と載荷試験



Fig.3 平成 22 年度上位入賞作品

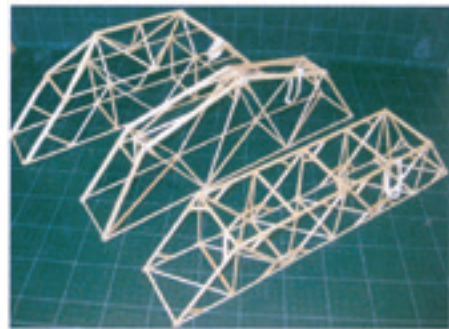


Fig.4 平成 23 年度上位入賞作品

れらを下記の式で評価するトラス橋模型の構造強度デザイン点 (設計・製作点) S と，機能美・形態美デザイン点 (意匠・景観点) 点 D の総合点 T を競う。

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

T ：総合評価点 (100 点)

S：性能評価点（最高点者を80点に換算）

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

D：デザイン評価点（審査員1名の評価10点+参加者の相互評価10点の合計20点）

すなわち、「少ない材料(V)で、軽く(W)、強く(P)、大きな物も通せる(A)、美しい(D)橋模型を作る」ことを目指し、それを評価する構造デザインコンテストである。

2.3 コンテストの案内・募集活動

下記の各種広報活動を、年度ごとの予算と必要に応じて、項目数と組合せを変えて実施している。

- ①県内全中学校に実施要項・募集案内を送付
- ②本校 HP 並びに福島大学 大学連携室 HP に実施要項・募集案内等を掲載
- ③近隣中学校を訪問し、企画紹介・参加奨励依頼
- ④県内全中学校に参加者募集の A1 ポスター数部と A4 チラシ（数部～全校生徒分の部数）を送付
- ⑤地元新聞社を回り、コンテスト実施概要・募集の記事掲載（なお例年、講座開催状況やコンテスト結果は報道記事が掲載されている。）
- ⑥福島高専「1日体験入学」でデモ実験・案内募集・申し込み受付

3. コンテストの講座内容と教本・見本

3.1 コンテストの講座内容

本コンテストは平成23年度より、「中学生の学習段階」と「コンテスト課題の専門性」を考慮して、次のような3回の講座を開講する形で実施している。

(1) 第1回目：「学んで」

コンテストの競技概要と模型規格のルールと評価基準、作り方と強度の解説を行い、試作品の設計と製作ならびに予備実験を行う。

配布した資料と器具は、全員が持ち帰り、自宅にて改良版作品の製作に当たる。

(2) 第2回目：「作って」

製作した模型の強度実験を行い、その結果に基づきコンテストに向けて、さらなる性能改善を目指して構造改良をおこなう。

資料と器具を持ち帰り、自宅にてコンテストに出場する作品の製作に当たる。

(3) 第3回目：「コンテスト」

「モノづくり講演会」（講師は外部の大学教員に依頼の場合と高専教員の場合あり）と合わせて「ブリッジデザインコンテスト」のデザイン審査と強度競技会を実施

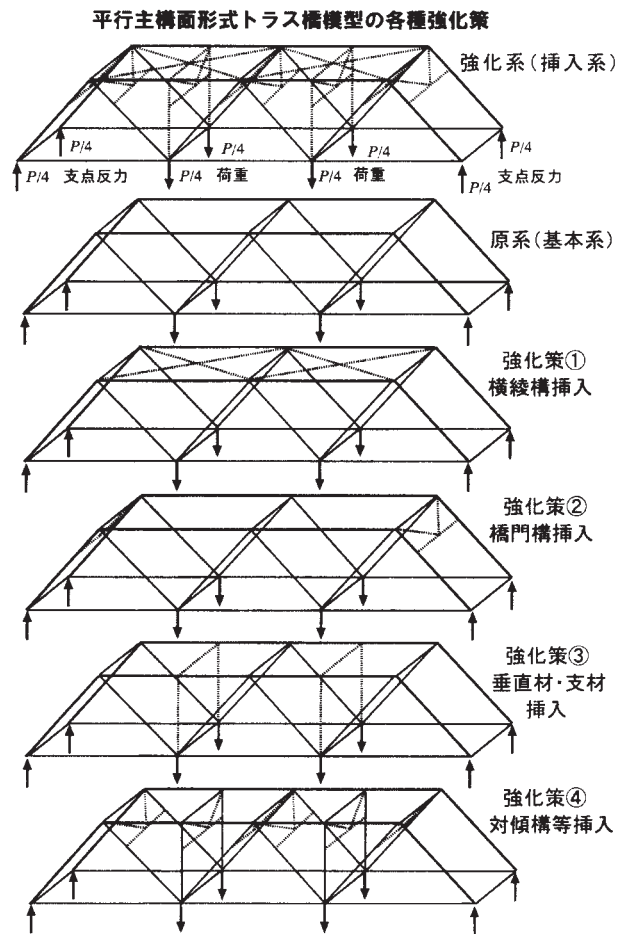


Fig.5 教本の内容例：トラス模型の強化策

し、総合評価の1位～3位までの上位入賞者ならびに各種部門優秀者を表彰。

3.2 教本（解説）・教材（見本）の整備

本コンテストの課題内容が複雑で、取り組む参加者が中学生であることを念頭に置いて、立体トラス模型の種類と特徴、模型の製作上の注意、構造の改良手法等について解説した、Fig.5に内容例を示すような教本（手引き）を作り参加者に送付して、設計・製作の参考資料としての活用を促している。

同時に、各年度の参加者から、各自のコンテスト出場作品を寄贈してもらい、破壊箇所を修復して残し、以降の参加者に提示して、設計・製作の参考に供している。

4. コンテスト課題の特長²⁾

4.1 バルサブリッジの長所・利点

本コンテストで、課題としているバルサ材をホットボンドで接合した橋模型の長所を以下に示す。

- ①手軽な製作・加工が可能：

バルサ材は簡単に工作でき、ホットボンドは短時間で手軽に、バルサ材の定着に十分な強度が得られる。

②小さい荷重での強度実験が可能：

バルサ材の強度はヒノキの工作材等に比べ著しく低いいため、デジタル手ばかりを介して、低いレベルの荷重強度を確認しながら、最大荷重を記録しつつ、手軽に載荷実験ができる。

③変形観察により崩壊させずに順次強化可能：

バルサ材は柔軟性に富んでおり、特定の部材や構造全体の変形が増加し始め、崩壊に至ることが予測された時点で載荷を止め、それらの変形を抑える構造強化策を講じて、再度載荷試験を繰り返すことで、模型を破壊せずに順次高強度化を図ることもできる。

4.2 立体骨組構造を課題とする意義

(1) 従来実施の平面トラス課題の問題点

①Fig.1のような平面トラス模型の強度実験では、面外方向への倒れを阻止するため、一旦横倒れや振れが生じると摩擦拘束力が発生し、実際よりも遥かに高い強度を示すこともある。

②トラス模型の強度を支配する崩壊要因のうち、局部破壊と強度（圧縮材の座屈、引張材の破断、および接合部の抜け・はがれ）のみしか体験できず、トラス構面の横倒れ座屈挙動が強度を支配していることを全く体験できない。

(2) 現在実施の立体トラス課題の利点

上記の平面トラス模型の問題点が解消され、

- ①模型の純粋な強度計測が可能である。
- ②トラス模型の強度が、局部挙動と全体挙動（曲げ圧縮による構造の横倒れ）に支配されていることと、トラス面内の崩壊と強度・強化策だけでなく、トラス面外方向への崩壊と強度・強化策の重要性を体験的に学ぶことができる。

4.3 立体バルサブリッジコンテストの問題点と対処

上述のような長所・利点・意義がある反面、本コンテストには以下のような問題点があり、これらへの対策を講じている。

①材料強度のバラツキ

問題：バルサ材は強度に大きなバラツキがあり、構造の全体強度に与える影響も大きい。

対処：比重のそろった規格の材料を購入するとともに総重量がそろった束を配布することで材料の均等化を図るようにしている。

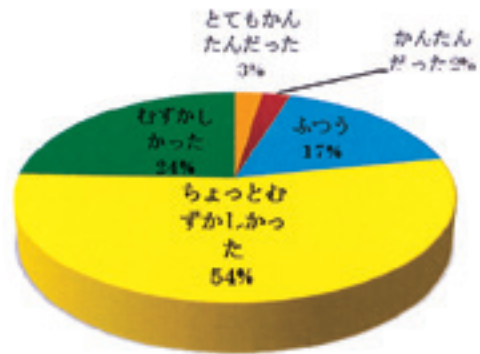


Fig.6 本コンテストの難易度

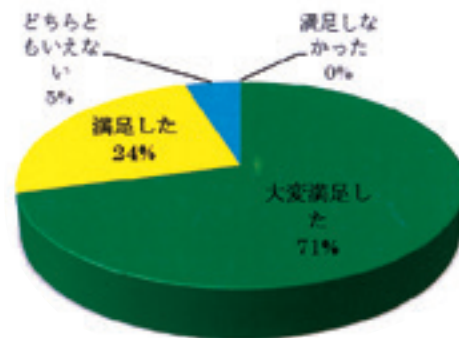


Fig.7 本コンテストの満足度

②部材計測の煩雑さ

問題：高性能な構造を作るためには適材を適所に配置する必要があり、複雑な構造になるため、総体積の計測は煩雑な作業となる。

対処：断面種ごとに、長さとお本数を計測・入力し、自動表計算により総体積を集計している。

③力学挙動の原理の難しさ

問題：構造の強さには、中学生にとって難しい原理に基づく現象が多い。

対処：教本を参照しつつ定性的な理解で製作を進め、体験的に力学的挙動や構造の強度を学習してもらえるようにしている。

4.4 参加者アンケートの結果

講座修了時に、福島高専の各種公開講座のアンケート様式に従い、参加者へのアンケート調査を実施している。これらの結果の例として、Fig.6とFig.7に参加者が56名と最も多かった平成23年度のアンケート結果の一部を示す。ここにも示されているように、例年の参加者の感想・満足度として「難しい内容であるが、楽しく勉強でき、満足した。」といった評価を得ている。

5. 模型の要求性能と評価式の変遷²⁾

5.1 立体トラス橋模型の性能評価式

橋模型の要求性能を、橋をはじめとする土木構造物に要求される性能「用・強・美」と「経済性」すなわち使用性・強度・景観性と経済性に優れていることとした。それら性能を総合的にバランスよく評価する評価式を目指して改良を重ねてきた結果、先に示した式(2)のような評価式に至ったものである。

5.2 路線有効断面の評価式への組み込み

(1) 立体トラス橋模型の路線有効断面積

下路トラス橋を路線が通過するため、自由な空間の断面積が大きいほうが高性能であるとした。

ここでは、各形式のトラス模型における自由な路線空間の断面積 A を、Fig.8 に示すように、橋軸方向から見た骨組図（正面図）の自由空間図形（太枠線の長方形・三角形・台形）に内接する長方形の最大面積（薄墨の長方形面積）とした。

(2) 有効通路断面を性能に組み込む趣旨

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。

横倒れ強度は、Fig.8 に示されている上弦材の横方向の繋ぎ方で分類した以下の3型式で大きく異なる。

- ① 平行主構面型式：主構面を平行に立ち上げ、上部を横方向の支材と横構でつなぎ、その中の空間を通路とする構造（一般的な下路トラス橋の型式）。路線空間の横断面が長方形で最も広く取れるが、横倒れに対しては不安定で最も弱い。
- ② 合掌主構面型式：主構面を内側に傾け、その上部を併合させて上弦材を1本化した構造（3弦トラスに代表される型式）。路線空間断面が三角形となり横断面は最も狭くなるが、横断面の骨組み形状も三角形で安定化するため、横倒れに対して最も強い。
- ③ 傾斜主構面型式：主構面を傾け、下支材より短い上支材で上部をつないだ構造（バスケットハンドル型の型式）。路面空間の横断面が台形となり、上記①・②の間になる。横倒れ強度特性も一般に①・②の間になる。

このように各型式の路面空間の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、要所に部材を挿入して全体強度・局部強度の上昇を図る策を講じる効果と、それによって自由路線空間の断面積が減少する犠牲との間にも、類似の相反する

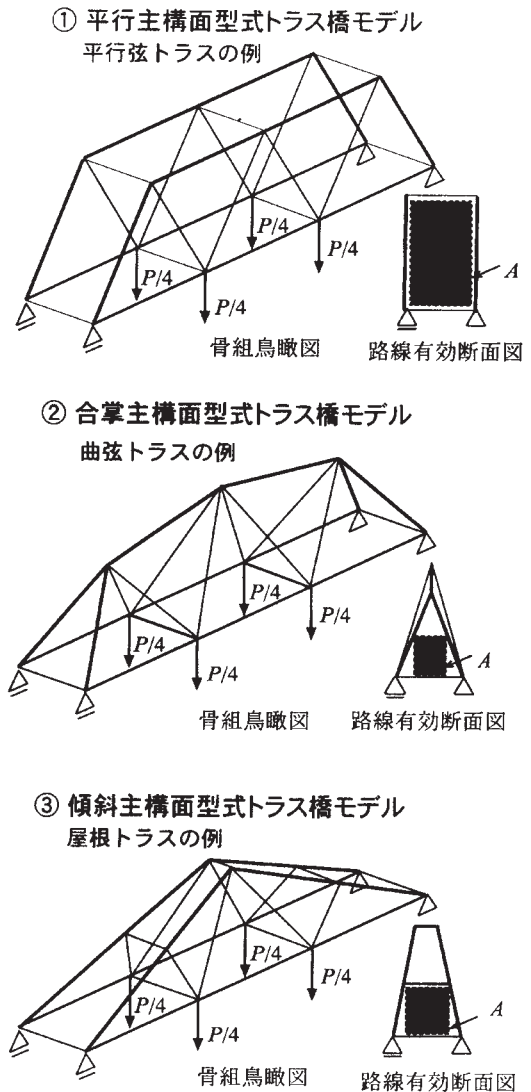


Fig.8 各種トラス橋模型の路線有効断面積

傾向がある。

そこで、構造強度と路線空間断面積が相殺してバランスすることで、橋梁本来の機能である路線空間確保と強度確保の両立を目標とし、ある形式だけが圧倒的に有利あるいは不利にならないようにする狙いをもって、自由路線空間断面積 A の $1/2$ 乗（この指数の値は影響の大きさの妥当性と、中学生にとっての解り易さから決定した）を性能評価値に乗ずる形で採り入れたものである。

5.3 3mm×6mm 材使用の経緯と効果

平成 22 年度の当初までは設計・製作の簡単化のため、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規則としていた。

平成 22 年度の模型製作中、「3×3 材を貼り合わせてもよいか？」との質問があり、これへの対処として

3mm×6mm 材の使用を1本分(900mm)の範囲で認め、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 材を用いることで、全体の強度を増大させることができ、さらには幅広方向には座屈を起こすことのない長方形断面部材を、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ってくるなど、構造上の注意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。

平成23年度の規則では、3×3材と3×6材の合計量を、3×3材換算で4本(3600mm)分まで使用可として3×6材使用の自由度を上げた。

5.4 評価式における模型重量の扱いの変遷

第1期(平成20年度以前)

本模型では、ホットボンド重量がバルサ材重量と同レベルで、模型重量はボンド量にかなり左右されることから、当初用いていた一般的な比強度すなわち模型の耐荷力 P を模型重量 W で割った「比強度 P/W 」では、必ずしも妥当な性能評価ができない。

また、重量を抑えるために、部材の接合に必要な量のホットボンドを用いないと、接合が不完全になり、骨組構造の特性を表す崩壊様式に至る前に、接合点の抜け・剥がれで崩壊してしまい、「体験的モノづくりを通して、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こともある。

第2期(平成21年度～23年度)

そこで、本ブリッジコンテストでは、部材の結合に必要な十分なホットボンドを用いさせるために、模型の耐荷力 P を模型の重量 W ではなく材料体積 V で割った値 P/V を「比強度」として用いてきた。

第3期(平成24、25年度)

しかしながら、現実の橋模型の作品をみると、重量には材料体積以上のバラつきがあり、バルサ材の強度はほぼ比重に比例していることから、「軽く・弱い材料と重く・強い材料との配布材料の有利と不利を相殺する」という狙いをもち、また強度確保のため必要以上に多量なホットボンドを用いた「雑」とも言えるものもあることから、「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った意識を持たせる」という狙いをもって、平成24年度は、性能評価式の「比強度」に、模型の耐荷を材料体積と模型重量の両方で割った値 $P/(W \cdot V)$ とした。

6. ブリッジコンテストの成果・課題・展望

(1) 成果

平成22年度は参加者31名で3年生19名の内10名、平成23年度は参加者56名で3年生44名の内19名、平成24年度は参加者25名で3年生19名の内11名、平成25年度は参加者32名で3年生28名の内16名が本校に入学しており、平成26年度は参加者27名で3年生18名であり、将来のモノづくり人材育成を目指した連携型教育支援の地域貢献に加え、本校の増募対策の取組としても機能している。

(2) 課題

地域連携型の観点から、AFC主務担当の福島大学との連携だけでなく、他のAFC加盟大学の連携協力の確立が課題であり、平成25年度は福島大学から各連携大学に支援学生の募集をかけ、福島高専・福島大学の学生と協力して、中学生への指導補助に当たってもらうこととしている。

(3) 展望

今後は、茨城県をはじめ他県の中学生にも参加を呼びかけながら、地域貢献の一環として、また入学志願者増募対策の一環として、福島高専の学校開放事業で、ACFとの共同主催の事業として継続実施するなかで、今後とも改善を加えていく方針である。

7. まとめ

本論文で、述べた事柄の要点を以下に示す。

- ①本コンテストの企画は、地域連携と地域貢献、高専のPRと入学者対策に寄与している。
- ②本講座は、中学生に参加しやすく、できるだけ分かりやすく、楽しく学べる場となっている。
- ③本課題は、高性能な模型が作りやすく、正しい崩壊様式と強度が計測・学習できるものである。
- ④本コンテストは、土木建造物の要件を総合的に含み、特定の構造系が有利にならず、奥深い構造改良を引き出せるルール・評価基準になっている。

参考文献

- 1) 根岸嘉和:アカデミアコンソーシアム主催福島県中生ブリッジデザインコンテストの実施、平成24年度日本高専学会年会講演会 講演論文集、(2012)
- 2) 根岸嘉和:工学導入教育としてのバルサブリッジコンテストの実施と評価基準、平成24年度土木学会東北支部技術研究発表会 講演論文集 (2013)