

土木学会橋梁模型コンテストにおける 設計プロセスと設計発想

張 加順¹・関 文夫²

¹学生会員 日本大学大学院理工学研究科土木工学専攻（〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14, E-mail:cska14012@g.nihon-u.ac.jp）
²正会員 工博 日本大学理工学部土木工学科（〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14, E-mail:seki@civil.cst.nihon-u.ac.jp）

2014年土木学会全国大会の際、橋梁模型コンテストに参加した。このコンテストを対象とすることから、構造、造形、材料、技術、審査員評価を含めたコンセプトualな設計理念を示し、コンセプトualな設計プロセス及び設計発想を実施した。支給材料の基礎実験や強度確認試験を経て、構造と造形を同時に考えることから美しい橋を生み出した。ここでは、このプロセスの具体的な流れと構造と造形に基づいた設計発想について報告する。

キーワード:橋梁模型コンテスト、設計プロセス、コンペ戦略、構造、造形

1. はじめに

2014年土木学会全国大会の際、土木学会関西支部、日刊建設工業新聞社、近畿建設協会が主催する橋梁模型コンテストに学生だけではなく、社会人、企業、専門家が参加した。一般の土木構造物の設計は、現地条件、設計条件、コスト条件等を基に適当な構造を選択し、設計の手引き等のマニュアルを主体とした設計手法が行われているが多い。しかし、模型コンテストは、企画概要、採点基準に基づいて審査が行われている。この視点は、模型コンテストの設計においては、審査員の視点、造形、実現性、技術性等を含めたコンセプトualな考え方が重要であると考えられる。

ここでは、土木全国大会橋梁模型コンテストを対象とすることから、コンペティションの設計プロセスを示し、設計に生じる多く制限条件を含めて、最初から最終構造決定に至るまでのコンペティション設計方法を紹介したものである。

2. 橋梁模型コンテストの概要

(1) 企画概要

- 最大スパン:1000mm
- 路面幅:100mm
- 形式:自由
- 載荷実験:1分間の荷重載荷(250N)に耐えること
たわみ量は50mm以下

(2) 支給材料

表-1 支給材料

種類	仕様	数量
角棒(ヒノキ)	10mm×10mm×900mm	10本
	5mm×5mm×900mm	10本
平板(バalsa)	100mm×3mm×600mm	8枚
平板(アガチス)	100mm×3mm×600mm	2枚
竹ひご	φ1.8mm×900mm	30本
風糸	25m巻	1巻
針金	30番	5m
接着剤	土木用ボンド	180g
	アロンアルファ土木用	4g

設計条件の一つとしては、主催者から表-1に示すような材料が支給させた。

(3) 審査

a) 採点基準

表-2 採点項目

評価項目	評価観点	細部の配点内容	配点
デザイン性	橋の形式及びアイデアなどに工夫	コンセプトの表現 アイデア 実用性	50点
技術度	構造体としての合理性	材料の強度特性を生かし多部材の使い方及び構造形式になっているか	30点
完成度	仕上がり具合	接合部等仕上りの美しさ	20点
経済性	使用材料は経済的	最小重量30点 支給材全重量0点 作品重量により比例配分する	30点
載荷実験	載荷実験をクリアできるか	重量25kgの載荷荷重に与えられるか たわみは50mm以下であるか	25点
合計点			155点

b) 審査委員

審査委員は、学識者、橋梁に関係する者15～20名で構成する。

3. コンペティション設計のプロセス

図-1に設計のプロセスとコンテストでの必要な分析項目を示す。図-1のコンテスト設計プロセスのフローは基本設計条件・構造作業と検討・コンセプトの決定・基本構造と造形発想・形の洗練と最終構造決定プロセスである。その内のコンセプトの決定・基本構造と造形発想の設計プロセスで行っていることは、重要な項目である。ここでは、理想とする橋梁の設計プロセスを基準として設計を行っていく。

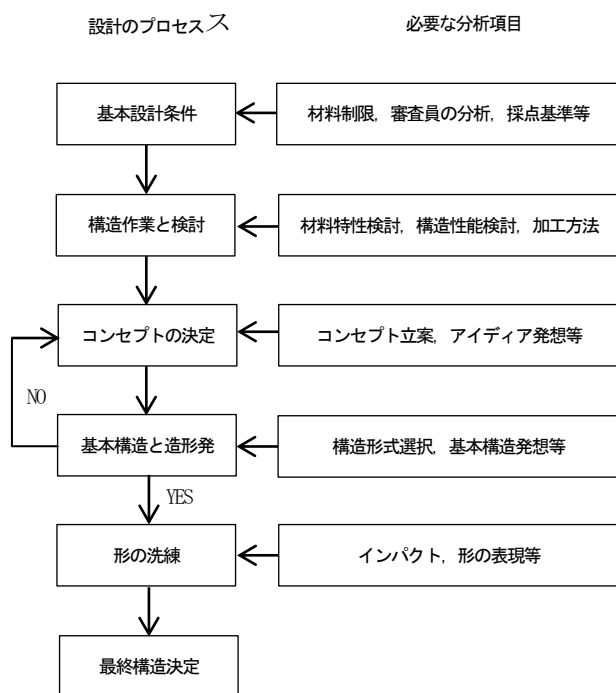


図-1 設計プロセスの分析項目

4. 材料検討

(1) 引張材の検討

構造形式の可能性を探るためには、引張りに対する強度を持っている材料の伸び率、引張り強度等の材料特性を把握することが重要である。支給された針金、風糸、竹ひごの材料特性を引張り実験で調査した。結果については、図-2に示すように、1本の竹ひごの材料物性は、ひずみが小さく、引張材として利用でき、竹ひご、針金はひずみが大きく、補強材料としては不適切であることがわかった。

(2) 曲げ破壊強度

スパン1000mm、耐荷荷重250Nを耐えるために、プレートガーター(梁)模型を使用し、曲げ圧縮強度と曲げ引張り強度を確めた。ヒノキ角棒は、圧縮材として、ウェブに2種類のバルサ材とアガチス材(写真-1)を用いて、曲げ破壊実験を行った。供試体は、両端が支持された単純梁としての弾性係数の算定となる。

実験結果は、250N付近でどちらの材料も非線形の特徴を示した。ここでは、载荷の最初の時、構造の断面が箱型断面であるため、線形の特徴が示したが、载荷荷重が約250Nになる時、模型底板の部材の切り目にある接着剤が切れ、箱型断面構造の機能が失い、底板がないII型断面構造の機能を再構築するものである。これは非線形に成なる起因であると考えられる。(図-3、表-3)。

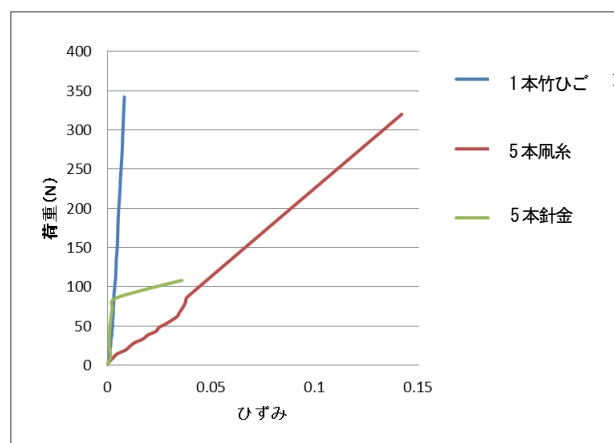


図-2 引張り実験の結果



写真-1 曲げ破壊実験の供試体

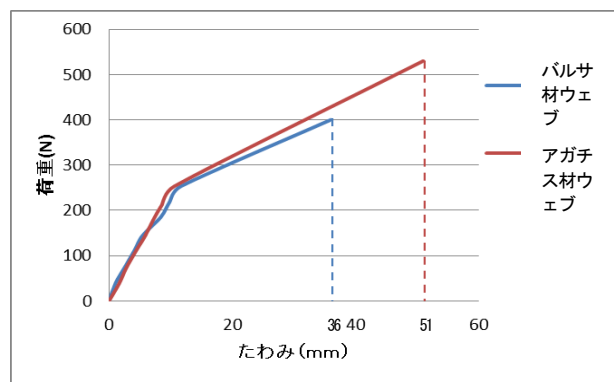


図-3 曲げ破壊実験結果の比較

表-3 曲げ破壊実験の結果

検討項目	バルサ	アガチス
終局荷重	400N	530N
たわみ	51mm	36mm
自重	325g	481g
曲げ弾性係数	525N/mm ²	525N/mm ²

5. 基本構造の検討

桁高が減少しながら、梁の剛性も減少することで、桁高と梁の耐荷力の関係を曲げ破壊実験で検討した(図-4)。最大スパンは1000mmを条件として、桁高を78mm(TYPE1)、68mm(TYPE2)、58mm(TYPE3)とパラメータとして実験を行った。TYPE1は梁自身がたわみを抑える剛性を十分に持つため、自立ができるが、軽量化、美的に配慮すると、デメリットがある。TYPE2は、自立できる剛性を持たないので、変位拘束するため、プレストレスを導入することが必要にある。TYPE3は、桁高が58mmとして、梁の曲げ圧縮耐力が極めて減らしたことで、梁の床板に曲げ圧縮破壊が発生した。従って、床板に対しては曲げ圧縮を抵抗するための圧縮補強が重要であると考えられる。それでは、軽量化の観点より不利である。桁高を減らしかつ単純梁構造は、梁剛性が失い、張弦梁へ変遷する。張弦梁は、ケーブルで梁全体の剛性を保持するため、巨大な初期張力が発生する。この初期張力を持つため、ケーブルの定着体、テンションの方向等の技術が重要である。限定の時間内に、このような技術の開発ができないため、張弦梁を諦めた。

支給材料、技術能力等の加減から、「梁構造+プレストレス」という構造を基本構造として決定した。

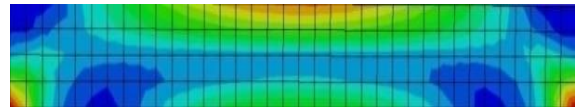
ウェブは、床板と低版を繋がる部材であって、構造

全体に提供する剛性が少ないことが日本の新東名高速道路に架かる橋から見える。したがって、ウェブの造形創出することは、軽量化の実現のキーであると考えられる。

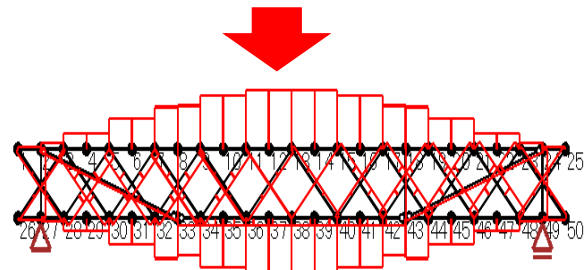
6. デザインの概要

(1) デザインコンセプト

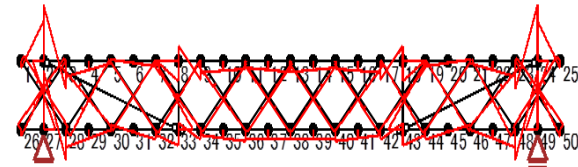
シンプルな梁構造を解析による検討からM(曲げモーメント)をN(軸力)に変換して、梁性の自重を削ぎ落とし、究極の構造体へダイエットすることを構造



単純梁の応力分布図 (FEM 解析)



クロスウェブ構造の軸力図 (骨組解析)



クロスウェブ構造の曲げモーメント図 (骨組解析)

図-5 曲げモーメントを軸力にシフト

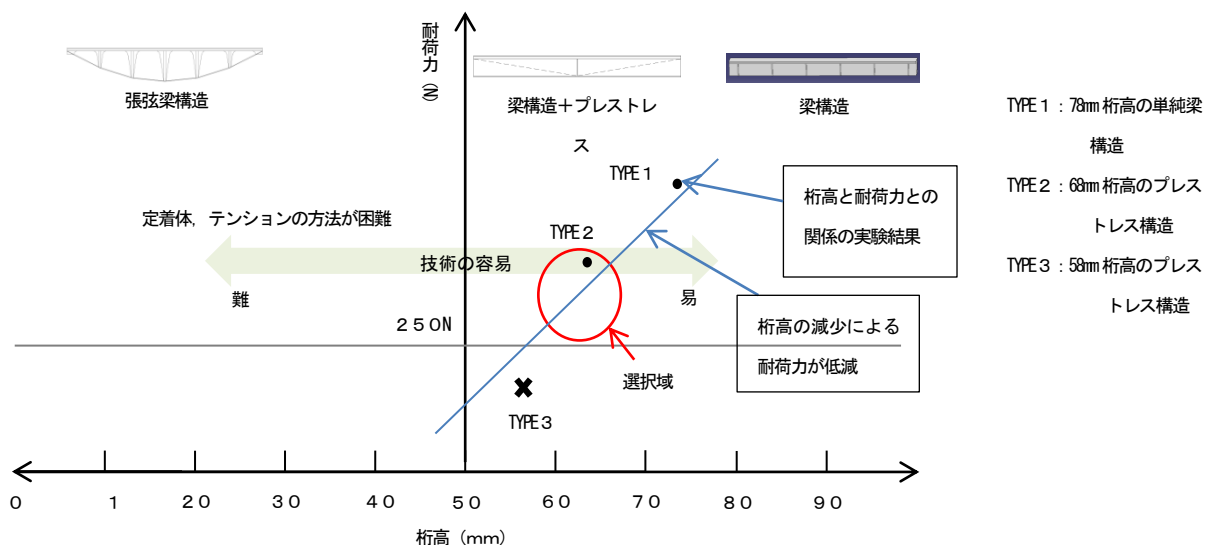


図-4 最大スパン 1000mm の梁の耐荷力と桁高と技術的動向の考え方

発想のコンセプトとした(図-5)。

梁理論から梁のトラス理論に導き、軽量化を図り、フォルム全体を美しい造形へ導く。具体的には、ウェブをトラスにシフトして圧縮部材と引張部材をそれぞれ適した材料で対応させ、クロスを美しく見せる為に交差の角度を45°に構成し、交錯しないように配慮した。

梁構造の荷重によるたわみを最大限に抑えるために竹を用いたプレストレス構造を追加した。プレストレスを導入するための定着体や緊張方法は独自に開発したもので、プレストレスにより剛性を保ちつつ変位拘束することに成功した。また、局所的な斜め引張応力に対処するために、ウェブの一部をせん断補強パネルを設置している。

(2) コンペ戦略

今回で、前述したデザインコンセプトに基づいて、構造性能を満たす上に、造形理論をしたがって、造形に美しさを与えられる美的(美しさ)、軽量化を現実するため、材料の使用量を減らす経済性(軽さ)、1分間で25kg荷重載荷に耐える耐荷性(強さ)の3つの視点から、デザイン案を作成した

構造の洗練された造形は、もはや単なる梁材ではなく、リズムから美しさを引き出した。

7. 形の洗練

(1) 造形の発想

構造を発想するにあたって、バタフライウェブ構造とダブルワーレントラス構造を基に、両方の利点を引き出し進化させたクロスウェブ構造を考えた。この観点は、梁構造の剛性を保持し、トラス構造の軸力挙動(曲げモーメントを軸力にシフト)を有した構造としたものである。

(2) 材料特性を生かした部材の適合

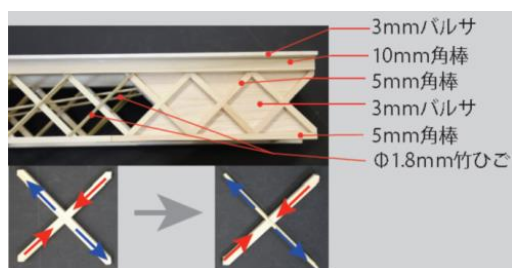


写真-2 各部材に使用する材料

床板は主に圧縮に強い角棒(□10mm)を路面には軽いバalsa材(t=3mm)を使用した。ウェブ構造には、

圧縮部材に角棒(□5mm)、引張部材が竹ひご(φ1.8mm)をダブルで使用した。さらにウェブ端部付近には、せん断力が集中するため、角棒(□5mm)にバalsa材(t=3mm)をせん断補強材パネルとして使用した。ウェブ引張材には、角棒(□5mm)を、トラスウェブには、変位を拘束するためにプレストレス材として竹ひごを使用した。(写真-2)

(3) クロスウェブの造形の洗練

クロスウェブは、圧縮材に角棒(□5mm)を使用し、引張材は軽量化のために、4種類のスタディモデル(モデルA:圧縮-角棒□5mm、引張-角棒□5mm。モデルB:竹ひご片面並び(隙間なし)。モデルC:竹ひご片面並び(隙間あり)。モデルD:ダブル竹ひご両面並び。写真-3)を作成した。視線入射角による造形の見え方を検討した。最終的には、端部にモデルA、主径間にモデルDが採用された。



写真-3 4種類のスタディモデル

8. デザイン現実するための技術的工夫

(1) プレストレス力の導入システムの開発

a) 緊張システムの開発

緊張では、緊張材に竹ひごを使用することを決めたが、この材料に緊張力を与える方法、定着する方法が難しかった。

最終的には、プレストレス材は偏心配置し、両端が定着されることで、緊張されるため外ケーブルディビュータを利用して、プレストレスの緊張が実現できた(写真-5)。

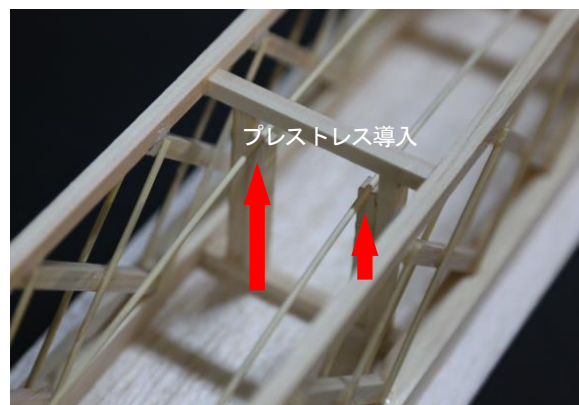


写真-5 プレストレス導入方法

b) 定着体の開発

構造にプレストレス力を導入する際、プレストレス部材に初期張力が存在し、載荷する時、構造のたわみを抑えるため、プレストレス部材に作用させる引張力が巨大になることで、プレストレス構造の定着体が大切である。

定着体は、支給させた材料を利用して、写真-4に示すような順番で開発した。

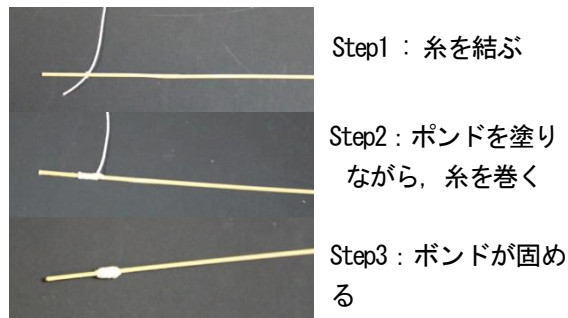


写真-4 定着体製作の順番

(2) 軽量化の戦い

究極な軽量化を追求するため、桁高を最大限に減らす(50mm)ことと床板圧縮材を半分削減することの二つを提案した(図-6)。実際の模型を製作し、載荷実験で検討を行った。結果は、床板圧縮材を半分減らした模型では、210N載荷する時、曲げ圧縮破壊が発生したので、250N耐荷する必要な梁剛性を持っていないことが解った。一方、桁高が50mmまで減らした模型は、310N載荷しても破壊しなかったため、軽量化が実現できた。

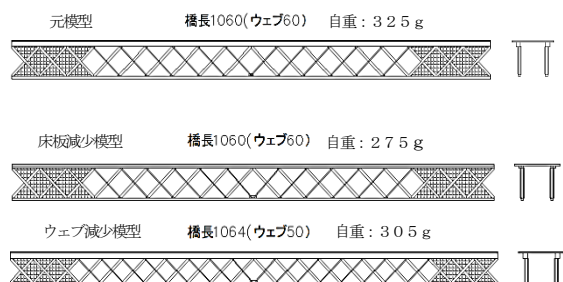


図-6 軽量化のための模型の形と自重

8. 設計プロセスで得られたもの

コンペの設計プロセスは、一般設計プロセスに比較して、設計手法とプロセスのフローが同じである。しかし、コンペの設計では、材料特性の検討、造形の洗練、コンペ戦略に注目すると、一般設計と異なる。

本文は、コンセプチュアルな設計理念を橋梁模型コ

ンテストに実践し、基本設計条件・構造作業と検討・コンセプトの決定・基本構造と造形発想・形の洗練・最終構造決定があるコンセプチュアルな設計プロセスを体験できた。この設計プロセスに基づいて構造を創出した結果、美しさを与える造形に洗練することができた。橋梁模型の設計を行って、最終決定した作品は写真-6に示す。

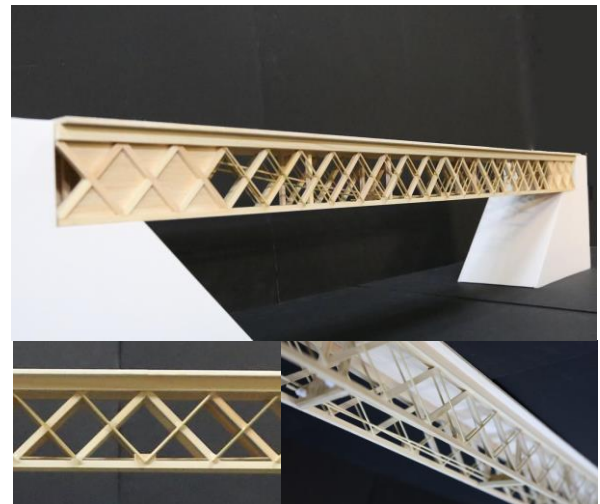


写真-6 橋梁コンテストの作品

9. まとめ

コンテストの審査結果は、残念ながら入選外である。コンペ戦略の中で、軽量化と実用化という着眼では高得点を得られたが、デザインの評価が想定外であった。この結果は、審査員についての調査が不足であることから、審査の視点が明確に把握できなかったことが敗因であると反省している。

しかし、一連のプロセスを体験できたことから、橋梁の構造コンペティションの取り組み方や、模型製作、ポスターデザインとデザインに関するトレーニングができ、良い機会となったと感じている。今後もクリエイティブなコンペティションがあれば是非参加したいと考えている。

参考文献

- 1) 関 文夫：コンクリート土木構造物のコンセプチュアルデザインとデザインプロセス，pp. 3, 2004
- 2) 前田 滝作：木製クロスウェブ構造歩道橋の設計と製作に関する研究，土木学会論文集，No. 69/V-104，pp. 207-208, 2014
- 3) 寺川 成宣：コンペティションにおける橋の構造と造形に関する考案，日本大学理工学部土木工学科平成23年度学部卒業研究論文