

ハイブリッド木製トラス橋の解析

(株) 創建 正会員 ○北河 一喜
 (株) 創建 土木学会フェロー 筒井 信之
 (株) 創建 原田 敏行

1. はじめに

ハイブリッド木製トラス橋の目指すところは、木材の持つ柔らかさを生かした景観性と、間伐材を多用できる環境性、立体トラスの機能的柔軟性を併せ持つ構造として成立させることにあり、ここにその優位性を提案していくものである。

トラス構造は部材が軽量化、共通化でき、その組み合わせによって大スパン構造物が可能となる合理的な構造である。一方、間伐材は森林保全の目的で伐採され、強度自体は通常木材と変わらないため、従来は建築足場等に使用されていたが、鉄等にとって代われ需要が落ちている。しかし、グリーン購入法で間伐材が環境物品として位置づけられたことから、その利用促進が期待されている。そこで、間伐材を用いた木製立体トラス橋を成立させるべく、検討を行った。

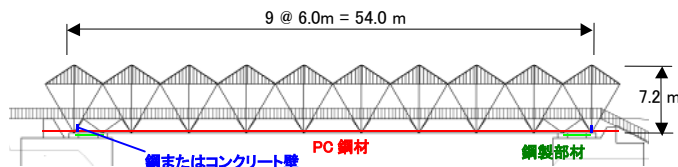


図-1 対象橋梁側面図



図-2 トラスシステム接合部構成

2. トラスシステムの概要

本研究では、格点部にボールジョイントを用いた木製立体トラス骨組に、ケーブルを併用した構造形式を提案し、3次元立体解析を行うことで本形式の可能性を検証した。また、「腐朽」という問題を抱える木材は、他材料に比べ耐久性に劣ることから、屋根により腐食の防止をしている。屋根材に応力が集中するのは不合理であるため構造材としては考慮せず、6本の上弦材に荷重を負担させる。

図-1に想定した木製トラス橋の側面図を示す。考え方は以下のとおりである。

- ・自重は木構造で支持し、活荷重はケーブルで分担する。
- ・ケーブルはプレストレスを与えるべく支点部で固定するが、端部はケーブルを延長し、橋台に定着する。
- ・経年変化により接合部の強度が機能低下した場合でも、自重を支えられるよう安全に配慮し、追加ケーブルを配置する。したがって、通常時は木製立体トラス+ケーブルの複合トラス構造であるが、機能低下によりトラス構造として機能しなくなっても、吊橋として成立しうらわば”橋梁の寿命によって構造形式が変わる橋”となる。

図-2に本トラスシステム接合部の構成を示す。本方式では接合ネジ及び接合鋼板をあらかじめ格点側に取り付けておき、長さ調整後、木製トラス材を横から払い込んで貫通ボルトで一体化する。この方式により複雑なボルト送り出し機構を省略でき、木製トラス材の長さ調整機能を併せ持つ接合システムを構成できる。

3. 許容耐力の設定

許容耐力の設定にあたっては、木材-格点部の耐力が不確定であったため、接合部としての強度試験を別途行いその結果より推定した。

図-3に引張強度試験の結果を示す。試験結果より、本トラスシステム

における引張耐力は、木材の断面積とほぼ線形関係にあることがわかった。従って、今回解析において想定した木材径 250mm での引張耐力を、試験結果から線形補完により推定し、安全率 3 で除した値を許容耐力とした。表-1に本解析における木材の材料特性を示す。

表-1 木材の材料特性

部 位	材 種	材 径	弾 性 係 数	引張耐力	許容耐力
軸 材	国産杉材	250(mm)	7.28×10^3 (MPa)	430(kN)	140 (kN)

※安全率を3とする

キーワード 木トラス橋、複合構造、間伐材

連絡先 〒456-0018 名古屋市熱田区新尾頭一丁目 10 番 1 号 株式会社 創建 TEL052-682-3848

4. 解析条件と解析モデル

図-4 に本解析で使った解析モデルを示す。軸材にはトラス要素を用い、物理定数は表-1 に示した値を用いた。また、支承条件は両端ヒンジ支承であり、解析モデルの要素数は 508 要素、節点数は 148 点である。活荷重については、今回人道橋を対象としていることから、 3.5kN/mm^2 の分布荷重を載荷した。プレストレスについては、支点上の節点に集中荷重を載荷することでモデル化した。

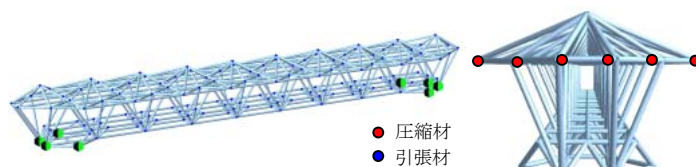


図-4 解析モデル

5. 解析結果

プレストレスを導入しない場合の解析結果を表-2、図-5 に示す。図-5 中で、部材の色が青に近いほど引張力が、赤に近いほど圧縮力が大きいことを示す。図より、支間中央の下弦材で最大引張力が、支点上の斜材で最大圧縮力が発生する結果となった。橋梁のたわみの許容値は、基準では $1/600$ 以下とされており、許容値内に収まっている。しかしながら、最大引張力・圧縮力ともに許容耐力を大きく上回る結果となった。

そこで、各断面力を低減させるため、PC ケーブルによるプレストレスを想定した解析を行った。プレストレスの導入は、図-6 に示すように、支承部の節点に集中荷重を追加することでモデル化した。結果を表-3 に示す。PC ケーブルにより、下弦材（引張側）には圧縮力が、上弦材（圧縮側）には引張力がそれぞれプレストレスとして導入され、全体として断面力の低減が見られた。プレストレス量を 1300kN としたところで、全ての荷重ケースにおいて許容耐力を満足することができた。

表-2 プレストレスを考慮しない場合の解析結果

活荷重たわみ(m)		最大引張力(kN)		最大圧縮力(kN)	
		死荷重+風荷重+活荷重時		死荷重+風荷重+活荷重時	
解析値	許容値	解析値	許容値	解析値	許容値
0.047	0.090	300	168	317	168

* 安全率3 風荷重時割増1.2

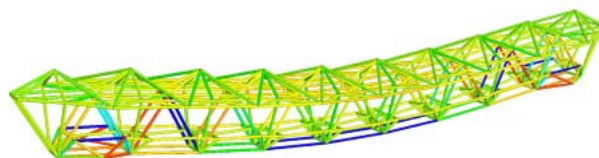


図-5 死荷重+活荷重作用時の変形と軸力状態

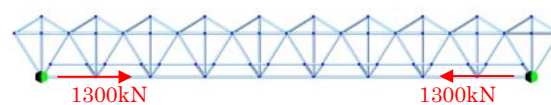


図-6 プレストレスの導入方法

6. まとめと今後の課題

本研究では、格点部にボールジョイントを用いた木トラス橋に、PC ケーブルを併用してプレストレスを導入した構造を提案し、その効果について 3 次元構造解析により検討を行った。その結果、プレストレスの導入により断面力の低減が見られ、許容値を満足することができた。

また、本システムの実用化においては、今後特にジョイント構造の応力伝達機構の解明が必要となる。図-7、図-8 にジョイント部の応力とひずみ分布を示す。端部プレートは軸部材で拘束され、曲げは抑制される。ボールジョイント、軸ボルトの強度についても問題がない。しかしながら、端部プレートは軸部材を貫通するボルトによって接続され、木材、プレートとの間にはギャップが存在するため、荷重により変形も残ると考えられる。そのため、例えば図-9 に示すようなモジュール試験体により強度試験を行い、これらの応力伝達機構を解明する必要がある。さらに、このような残留変位下で圧縮力が加わった場合の座屈耐力の確認が必要であると考えられ、さらなる安全性の確認を行っていく。

表-3 プレストレスを考慮した場合の解析結果

荷重ケース	引張側(kN)					圧縮側(kN)				
	断面力	PS	合計	許容耐力	超過量	断面力	PS	合計	許容耐力	超過量
死荷重	162	-214	-52	140	OK	-123	147	24	140	OK
死荷重+群集荷重	291	-214	109	140	OK	-229	147	-101	140	OK
死荷重+群集荷重+風荷重	300	-214	117	168	OK	-317	147	-162	168	OK

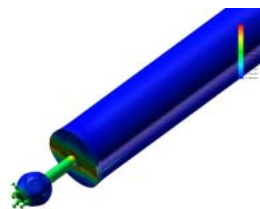


図-7 接合部の応力

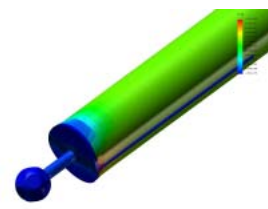


図-8 接合部のひずみ

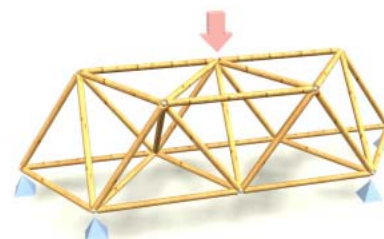


図-9 トラスモジュールでの強度試験