

伸縮式ラティストラス構造を用いた木橋の設計と施工

日本大学 学生 ○野口 大樹
 日本大学 学生 只野 翔悟
 日本大学 教授 関 文夫

1. はじめに

当大学の構造・デザイン研究室ではオープンキャンパスで高校生にもものづくりの楽しさやクリエイティブな土木の存在を認知させるため、過去に9橋の木製歩道橋を製作し、展示してきた¹⁾²⁾³⁾。本研究ではラティストラス構造の伸縮性を生かし、プレストレスを導入した構造を開発した。収納する際ラックに収める必要があるため、ウェブ材の伸縮率は収納時と施工後で約5.0倍とした。本研究は伸縮式ラティストラス構造の解析及び設計を行い、実際に木製歩道橋の製作を実施し、人を渡らせたものである。

2. デザイン選定

(1)コンセプト

木橋製作の構造発想及び造形発想は、図-1のようなコンセプトで実施している。また、本橋のコンセプトを「ラティストラス構造にプレストレスを導入し、ウェブ材が細く伸縮率の高い構造」とした。ウェブ材を伸縮式にすることで、運搬や収納を容易にし、施工時は上弦材と下弦材で形状を固定することで構造を安定させた。

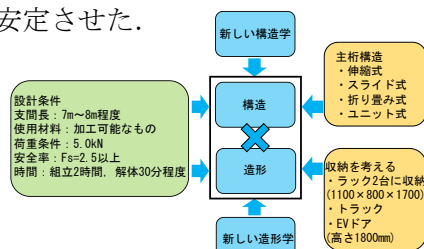


図-1 木製橋梁デザインコンセプト

(2)ラティストラス構造とは

19世紀後半の欧州では、鋼材ロールの制約からラティストラス橋が多く建設された。ラティストラス構造の特徴として座屈長が短くなる。各部材の作用力が分散化されて小さくなるため、部材を細くすることが可能となり、製作費の大幅な低減が見込める。細い部材でもトラス構造として成立することが挙げられる。

(3)造形モデル選定

ウェブ材のユニットの伸び率を数式化する。記号の定義は図-2に示す。ユニットは角度 $\theta(^{\circ})$ を変化させてもひし形を保つことから常に直角三角形である。よって斜材 $b(\text{mm})$ を定めた時、正弦定理を用い

ることで水平方向 $a(\text{mm})$ と鉛直方向 $c(\text{mm})$ が求まり、ユニットの長さ b と高さ c をそれぞれ2倍することで算出できる。複数のユニットのスパン長 $L(\text{mm})$ 及び主構高 $H(\text{mm})$ は以下の式で求まる。

$$L=2b \cdot n \cdot \cos \theta \quad \cdots(1)$$

$$H=2b \cdot m \cdot \cos \theta \cdot \tan \theta \quad \cdots(2)$$

ここに、 L :複数 n ユニットのスパン長 (mm) 、 H :主構高 (mm) 、 n :ユニットを水平方向に連結した際の個数、 m :ユニットを鉛直方向に連結した際の個数である。

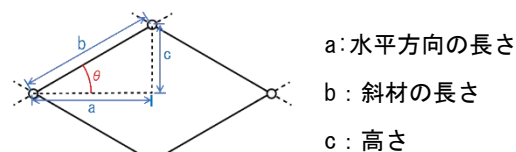


図-2 ユニットと記号の定義

3. 木橋の設計

(1)基本造形

図-3は、連結数と形状の異なる複数のユニットのスパン長と主構高の値をそれぞれ求め、整理したグラフである。横軸はスパン長で縦軸は主構高を示し、 $m=1.5$ とした。連結ユニット数 n 、角度 θ 、斜材 b により差別化している。

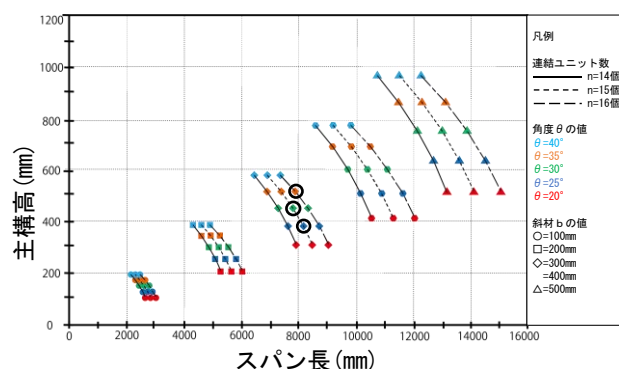


図-3 スパン長と主構高の関係

設計条件がスパン長7mから8m程度で、主構高をなるべく低い伸縮率が高い図-3に示す3つの丸枠を抽出し検討を行った。本研究では $\theta=30^{\circ}$, $b=300\text{mm}$, $n=15$ を抽出した。(図-4)

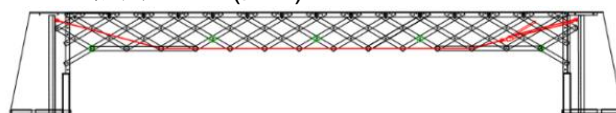


図-4 抽出した造形モデル

キーワード 木橋, ラティストラス構造, 構造設計, 構造解析, 伸縮, プレストレス

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1丁目8-14 タワースコラ11F 構造・デザイン研究室
 TEL 03-3293-3319

(2)解析モデル

解析モデルが妥当であるか検証するため、面内骨組解析プログラムソフト EzyFrame を用いて解析をした。また、解析条件を表-1 に示した。2 次元骨組み構造解析を行い、各部材での軸力の挙動や応力を把握し SPF 材の規格を決定した。下弦材のケーブルにはプレストレス(1kN)を与えた。斜材の格点の結合条件において図-5 のようになっており、引張が働く部材は一本とみなして剛結合とし、圧縮が働く部材は両端ピン結合とした。上弦材は圧縮が作用し噛合い固定化されるため剛結合とし、下弦材は木材、ワイヤーケーブルともにピン結合とした。本橋の部材は SPF 材の乙種、等級はスタンダードを用いることとし、様々な人が渡ることを考慮し、安全率を 1.1/3⁴⁾と定めた。

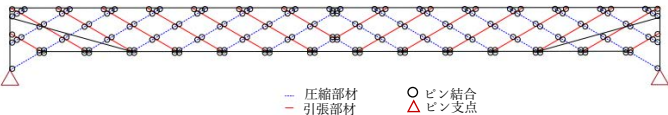


図-5 骨組み解析モデル

表-1 解析条件

スパン長		7.45m		
部材	部材名	上弦材	斜材	下弦材
	部材長	520mm	1000mm	520mm
	材料名	SPF材		鋼材ケーブル
	弾性係数	8.9×10 ³ N/mm ² 2.059×10 ³ N/mm ²		
荷重条件	自重	1.26kN		
	活荷重	中央荷重：2.5kN(中央から5点に集中荷重) 偏心荷重：2.5kN(端部から5点に集中荷重)		
支点条件		ヒンジ支点		
結合条件		ピン結合/剛結合		

(3)解析結果

解析結果より、曲げモーメントが軸力に比べ無視できるほど小さく、トラスとして成立していた。そのため、軸力による部材の応力度を求め、許容応力度と照査を行い本橋が成立するか検討する。軸力について、上弦材には圧縮力が作用したが端部にのみ一部引張力が見られ、逆に下弦材には引張力が作用したが端部には圧縮力が発生した。中央載荷時における引張力が働く部材を図-5 の赤で示した。それ以外の部材に圧縮力が発生していることを示している。SPF 材の既定の材料基準強度に安全率を考慮させ、許容応力度を算出し、解析で求めた応力度を比較し規定に収まっていることを確かめた。部材基準強度、許容応力度及び、中央載荷時と偏心載荷時における最大の軸力、応力を表-2 にまとめ、それによって生じるたわみ(表-3)をまとめた。



図-5 中央載荷時の引張部材

表-2 2次元骨組み解析の結果

中央載荷	最大軸圧縮力【kN】	上弦材	下弦材	圧縮部材	引張部材	鋼材ケーブル
	最大軸引張力【kN】	5.09	3.1	3.07	0.05	—
	最大圧縮応力度【N/mm ² 】	0.41	—	0.11	0.98	1.82
	最大引張応力度【N/mm ² 】	4.25	2.59	2.57	0.044	—
偏心載荷	最大軸圧縮力【kN】	0.34	—	0.089	0.81	58.3
	最大軸引張力【kN】	4.41	2.71	2.33	1.71	—
	最大圧縮応力度【N/mm ² 】	0.5	—	0.45	0.72	2.36
	最大引張応力度【N/mm ² 】	3.69	2.26	1.95	1.42	—
部材基準圧縮強度【N/mm ² 】		0.42	—	0.38	0.6	75.8
部材基準引張強度【N/mm ² 】		15.6	15.6	15.6	15.6	—
許容圧縮応力度【N/mm ² 】		4.8	4.8	4.8	4.8	—
許容引張応力度【N/mm ² 】		5.72	5.72	5.72	5.72	—
許容切断荷重【kN】		1.76	1.76	1.76	1.76	—
最低切断荷重【kN】		—	—	—	—	10.79

表-3 荷重を載荷した際の木橋の変位

活荷重	載荷位置	変位		
		水平方向(mm)	鉛直方向(mm)	回転変位(mrad)
中央載荷	中央部	0.00	-5.58	0.00
	端部	1.00	-0.78	1.43
偏心載荷	載荷中央部	0.69	-4.37	-0.05
	端部	1.39	-0.34	2.16

4.製作

製作手順は、まずウェブ材を引き伸ばし既定の長さで端を固定する。橋台を組み立てウェブ材の端と固定化させ上に持ち上げる。下弦材、上弦材付床版の順で取り付け、最後にプレストレスを与える。主構造の組立が過去の製作物と比べ単純化しており、橋台との接合もスムーズになっているため架設時間の短縮に繋がった。



写真-1 伸縮式ラティストラス構造

8. まとめ

伸縮式ラティストラス構造は、伸縮率が高く自由に支間長を調節できるため、多様に土木、建築構造物に適用できる。また、ラティストラス構造の造形的な可能性を発見した。

木橋の組立は 8 人の学生で 1 時間 40 分を要した。組立後 5 人の学生が同時に乗った際、座屈、割裂せん断なども起こさず、安全性も確保することができた。

今後、異なる規格のウェブ材を応用した場合の造形を今後研究していきたい。

参考文献

1) 青木真人 折り紙工学を利用した可変式立体パネルトラス構造の設計と製作,2020.2
2) 中川駿一 Square Core Truss 構造の構造解析と製作, 2021. 2
3) 小鯛功史 屈曲トラス構造のシステム開発と木橋の設計, 2022. 2
4) 内閣：建築基準法施行令 第 89 条, 内閣, 1985 年制定 2022 年最終改訂