

木製斜張橋の構造剛性に関する基礎的研究

金沢工業大学大学院 学生 ○伊藤 友彦 金沢工業大学 正 本田 秀行
 東京大学 正 藤野 陽三 三井木材工業(株) 飯村 豊

1. まえがき 用倉大橋は、新広島空港周辺の広島県立中央公園のサイクリングロード1号橋で、平成6年に開催された広島アジア大会の施設の一部として平成5年に仮設された橋梁である。構造的にはトラス補剛桁を有する2面吊り斜張橋で、中央径間77m、橋長145mの旧TL-14で設計された道路橋である。また、タワーはコンクリートであるが、トラス補剛桁等が集成材を使用した木製である点が特徴となっている。わが国ではこのような集成材を使用した長大木造橋は極めて例が少なく、世界的にも斜張橋としては初めての試みと思われる。そこで、木製橋梁の基礎的資料を得るために、本研究では金沢工業大学所有のMSC/NASTRANを用いて本橋の3次元モデルを忠実に作成し、静的解析および動的解析を実施した。その結果を基に著者ら¹⁾が計測した実験値と解析値を比較検討すると共に、本橋の構造系全体としての集成材の剛性評価に検討を加えた。

2. モデル化 解析で対象とした用倉大橋の一般図を図-1に示す。また、用倉大橋の3次元モデルを図-2に示す。この3次元モデルは、魚骨モデルに置換する前の基礎的研究として接点数498個、要素数1174個の上下弦材、斜材、垂直材、上下横構、地覆や高欄に至るまで実橋に忠実にモデル化している。なお、部材質量の算定では、鋼材部材の他にケーブル定着金具、部材接合金具やボルト本数も考慮した。また、本橋においては、トラス補剛桁の格点接合部がボルト締めしてあるため格点部は、半剛結であると思われる。したがって、解析するにあたって格点部を剛結合にしたモデルと、ピン結合にした両モデルを考えた。

3. 解析 解析においては、先に示した両モデルに対して静的および、動的解析を様々な条件で行った。

静的解析では実験状況と同様に、中央径間中央部に14tf車の前・後輪荷重をモデル載荷して静たわみを求めた。本橋は集成材のヤング係数が $E=1.1 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ で設計されているが、構造系全体としてのヤング係数を評価するために、集成材のヤング係数値を $E=1.1 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ から $3.3 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ まで変えた解析を行った。その結果を示したのが図-3である。実験値を基準にすると $E=1.5 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ 前後が構造系全体としてのヤング係数値と思われる。なお、集成材のポアソン比が静たわみに及ぼす影響は、ほとんど認められなかった。また、トラス補剛桁格点部を剛結合にしたモデルよりも、ピン結合にしたモデルの最大静たわみの方が大きい結果になった。これは、本橋が斜張橋であるため、ピン結合モデルでは、ケーブルにかかる荷重の負担率が剛結合モデルよりも大きく、その結果、桁がケーブルで引っ張られ、たわみに影響したと思われる。

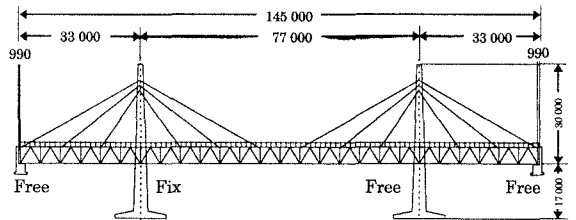


図-1 用倉大橋の一般図

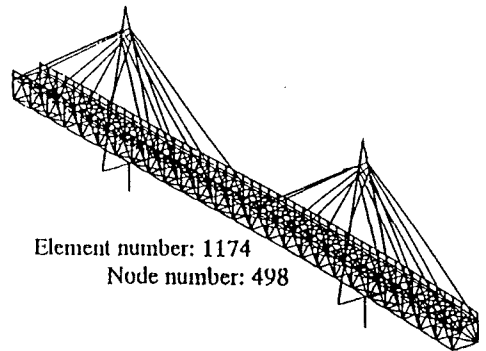


図-2 3次元構造モデル

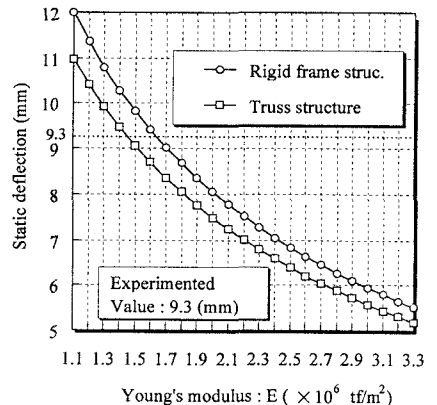
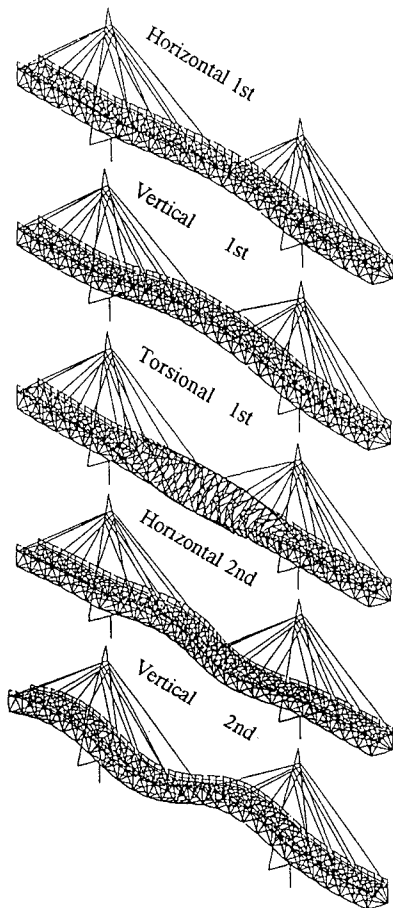


図-3 集成材のヤング係数と最大静たわみ

動的解析(固有値解析)では、静的解析で得られた結果を基に、集成材のヤング係数を $E=1.1 \sim 1.7 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ の範囲で解析を行った。さらに本橋の設計では、集成材の単位体積重量 $\rho=0.5 \text{ tf/m}^3$ が用いられているが、建築学会等では、単位体積重量を一般に $\rho=0.8 \text{ tf/m}^3$ が用いられているようである。そこで、集成材の単位体積重量として $\rho=0.5 \sim 0.8 \text{ tf/m}^3$ の範囲で両モデルについて解析を行った。その結果を表一に示す。また、比較のために実験で得られた固有振動数と振動モードの詳細を表二に示す。本解析値での固有振動数は、集成材のヤング係数の増加とともにその値が大きくなっている。また、実験値と解析値の値を比べると、振動モード鉛直1次及び2次に関しては、解析値と実験値で近い値を示している。しかし、ねじれ1次に関しては、異なった値になった。ここで、実験のねじれ1次に関する振動モードの詳細は確認できず、解析による振動モードと実験による振動モードに違いが生じていると思われる。また、本橋の支承部の境界条件は、図一に示しているが、支承部の境界条件が固有振動数に及ぼす影響を把握するために、支承部の境界条件も様々に変えた解析を試みた。その境界条件は、支承部をすべてFreeにしたもの、支承部をすべてFixにしたもの等、5通りの解析を行った。全解析において振動モードは低次の振動モードである水平・鉛直の各1次・2次・3次及び、ねじれの1次に関しては、基本的に同じモードが表れたが、高次の振動モードでは異なったモードが見られた。なお、図一に水平・鉛直の各1次・2次及び、ねじれの1次のモード図の一例を示す。以上に基づき、今回解析した木製斜張橋の剛性に関して、基礎的な資料が得られたと思われる。しかし、トラス補剛桁格点部の結合条件に関しては、まだまだ不明確な点があり、半結合という観点からさらに評価する必要がある。また、次の段階として魚骨モデル等による解析を行う必要があり、今後の検討課題としたい。



図一 振動モード例

表二 実験での固有振動数

Vibration modes	Resonance curve	Ambient Vibration	Free Vibration
Vertical 1st	2.04 (Hz)	2.21 (Hz)	2.03 (Hz)
Torsional 1st	3.98	4.09	4.12
Vertical 2nd	4.30	5.02	4.44

表一 ヤング係数の変化による固有振動数 (Hz)

Vibration modes	Rigid frame structure with lumped mass model												Truss structure with lumped mass model											
	$\rho = 0.5 \text{ (tf/m}^3\text{)}$				$\rho = 0.65 \text{ (tf/m}^3\text{)}$				$\rho = 0.8 \text{ (tf/m}^3\text{)}$				$\rho = 0.5 \text{ (tf/m}^3\text{)}$				$\rho = 0.65 \text{ (tf/m}^3\text{)}$				$\rho = 0.8 \text{ (tf/m}^3\text{)}$			
	Young's modulus of glue laminated timber : $E (\times 10^4 \text{ tf/m}^2)$												Young's modulus of glue laminated timber : $E (\times 10^4 \text{ tf/m}^2)$											
	1.1	1.3	1.5	1.7	1.1	1.3	1.5	1.7	1.1	1.3	1.5	1.7	1.1	1.3	1.5	1.7	1.1	1.3	1.5	1.7	1.1	1.3	1.5	1.7
Horizontal 1st	1.91	2.07	2.24	2.36	1.32	1.87	2.11	2.25	1.73	1.88	2.02	2.14	1.81	1.97	2.11	2.25	1.67	1.87	1.95	2.07	1.55	1.68	1.80	1.92
Vertical 1st	2.27	2.38	2.49	2.58	2.15	2.26	2.35	2.45	2.05	2.15	2.24	2.33	2.17	2.36	2.48	2.58	1.95	2.11	2.27	2.42	1.79	1.94	2.09	2.22
Torsional 1st	3.40	3.61	3.82	4.00	3.19	3.39	3.57	3.75	3.00	3.18	3.36	3.52	3.39	3.60	3.80	3.99	3.19	3.39	3.57	3.75	3.01	3.19	3.36	3.53
Horizontal 2nd	4.18	4.53	4.88	5.16	3.97	4.30	4.61	4.90	3.78	4.10	4.39	4.67												
Vertical 2nd	4.42	4.74	5.05	5.30	4.18	4.48	4.75	5.01	3.97	4.25	4.51	4.76	4.41	4.73	5.02	5.29	4.03	4.37	4.69	4.99	3.72	4.04	4.34	4.62
Horizontal 3rd	4.66	5.06	5.46	5.75	4.43	4.81	5.15	5.47	4.26	4.62	4.95	5.26												
Vertical 3rd	4.79	5.17	5.56	5.88	4.53	4.89	5.24	5.56	4.31	4.66	4.99	5.30	4.78	5.16	5.53	5.87	4.33	4.71	5.06	5.39	3.97	4.25	4.56	4.86
Horizontal 4th	4.85	5.26	5.66	5.98	4.61	5.00	5.36	5.69	4.42	4.79	5.13	5.45												
Vertical 4th	6.02	6.45	6.87	7.23	5.70	6.10	6.48	6.83	5.39	5.80	6.18	6.54	5.96	6.43	6.82	7.20	5.38	5.84	6.27	6.67	4.99	5.42	5.82	6.09
Vertical 5th	6.03	6.57	7.01	7.37	5.78	6.21	6.60	6.97	5.45	5.83	6.20	6.54	6.12	6.56	6.97	7.38	5.75	6.19	6.59	6.96	5.43	5.82	6.18	6.54

ρ = Gravity of glue laminated timber, Poisson's ratio $\nu = 0.5$

参考文献 ¹⁾ 藤野・岩本・本田・飯村他：橋梁 増刊、Vol. 30, No. 13, pp. 128~130, 1994年12月。