

ハイブリッド型近代木歩道橋の剛性評価に関する一考察

Rigid Evaluation of Modern Timber Pedestrian Bridge with Hybrid type

○石松和哉* 本田秀行**

ISHIMATSU Kazuya and HONDA Hideyuki

*金沢工業大学大学院工学研究科環境土木工学専攻(〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1)

**金沢工業大学 環境・建築学部 環境土木工学科(〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1)

ABSTRACT When structural rigidity of bridge is investigated, it is important to know the physical property of material composited as bridge member. As the composited members are same material, there are few problems on evaluation of structural rigidity. However, structural rigidity of the members with hybrid type which composited by glulam timber and steel plate as different materials, has been not known well and difficult to evaluate the physical property in cross-sectional. In this study, to evaluate structural rigidity of the hybrid type girder, the structural rigidity equation is estimated. Furthermore, the structural analysis of modern timber pedestrian bridge with hybrid type is done using three-dimensional FEM, and then the accuracy of the structural rigidity equation is investigated.

Keywords : ハイブリッド構造 剛性換算式 近代木歩道橋

hybrid structure, rigid conversion formula, modern timber pedestrian bridge

1. まえがき

近代木橋はスパンの長大化と多形式化、また技術の向上により新形式の開発が行われ目覚ましい発展を遂げている。しかしながら、近代木橋の設計法、構造特性、設計係数、維持管理等には未知な点が多々存在していることも事実である。それらを検討するために、近年十数橋ではあるが徐々に木歩道橋、木車道橋に対しての静的実験や動的实验が行われ、研究が始められている。

本研究ではハイブリッド型近代木歩道橋の剛性評価に関する研究を行っている。ハイブリッド構造とは、集成材と鋼板を組み合わせた構造であるため、木材と鋼材の有する剛性を考慮した断面諸量の適切で合理的な算定を行う必要がある。そこで、ハイブリッド構造としての断面諸量を算出するために、剛性換算式を検討している。その妥当性を検証するために、ハイブリッド型構造断面を採用している八丁平つなぎ橋を対象にして構造解析を行い、その結果に検討を加えている。

2. 対象橋梁

本橋は室蘭市中島北港線を跨ぎ、八丁平4丁目と5丁目を結ぶ歩道橋である。本橋は集成材と鋼板とのハイブリッド型構造断面を採用している。集成材にはから松 E105-F300 を、主要鋼材には、メンテナンスを考慮し耐侯性鋼材を使用している。主桁には大断面集成材を使用し、集成材の上部に鋼床版の仕口板を、下部には補剛鋼板を挿入し、接合している。また、床版にはコンクリート床版に比較して軽量の鋼床版を採用しているため、上部工の死荷重を軽減させるとともに、降雪や雨水から主要部材である集成材を保護している。

本橋は、写真-1 示すように、集成材が木材断面として露出するため周辺景観との調和が図れ、鋼材で補強することにより長支間を可能にしている。さらに循環資源である木材を使用しているため、リサイクルが可能な橋梁である。なお、本橋の橋面舗装には廃タイヤリサイクルゴムチップからなるゴム舗装を採用している。図-1、図-2 に本橋の側面図と断面図を、表-1 に設計概要¹⁾を示す。

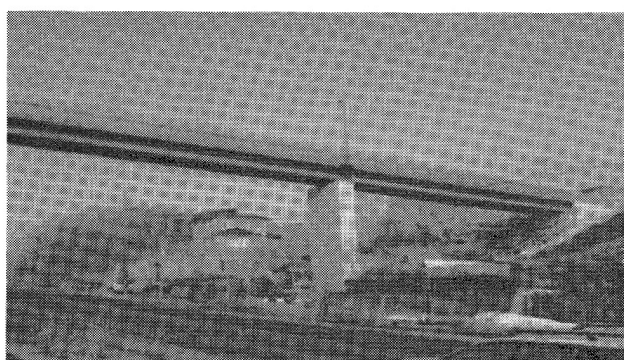


写真-1 八丁平つなぎ橋

表-1 設計概要

完工年月	平成14年4月
橋種	歩道橋
橋梁形式	3径間連続桁橋 (鋼補剛木桁橋)
橋長	70m
桁長	69.7m
支間長	19m+27m+23m=69m
幅員	歩道3.0m+地覆2×0.4m
支承	積層ゴム
集成材	から松, E105-F300
鋼材	SMA400AW他

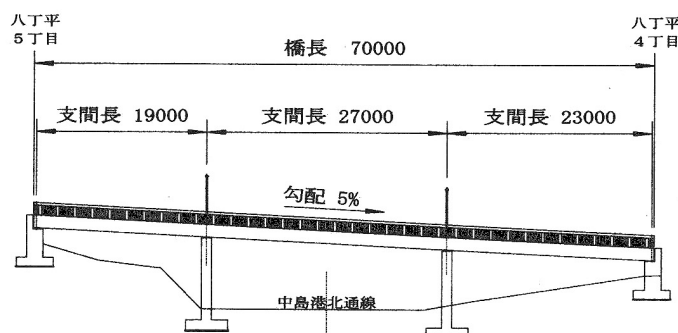


図-1 側面図

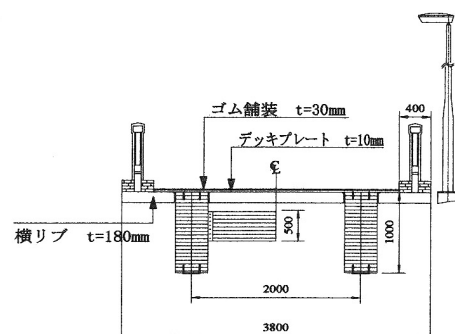


図-2 断面図

3. 剛性換算式

部材の剛性を算定する上で、その断面諸量は重要な物理量である。材料が単一であれば断面諸量の算出に問題は少ない。しかし、異種材料の組み合わせである複合材料であれば、各々の断面諸量に対する剛性を考慮した上で断面諸量を導かなければならない。そこで、本研究では、合成

桁の合成断面に作られた式をハイブリッド構造に適用できるような次式に示す剛性換算式²⁾を検討した。

式(1)、(2)に、ハイブリッド構造の曲げ剛性に関する換算式を示す。

換算断面積 (A_v)

$$A_v = A_t + \frac{1}{n} \times A_s \quad \dots (1)$$

ここに、 A_v は換算断面積、 A_t は木材の断面積、 A_s は鋼材の断面積、 n はヤング係数比である。なお、ヤング係数比は、木材のヤング係数 E_t に対する鋼のヤング係数 E_s の比とした $n=E_s/E_t$ である。

断面2次モーメント (I_v)

$$I_v = I_t + \frac{1}{n} (I_{s1} + I_{s2}) + A_t d_t^2 + \frac{1}{n} (A_{s1} d_{s1}^2 + A_{s2} d_{s2}^2) \quad \dots (2)$$

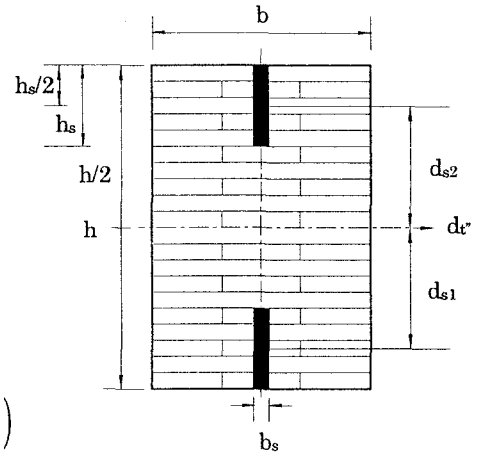


図-3 ハイブリッド構造断面

ここに、 A_{s1}, A_{s2} :鋼材の断面積、 A_t :総断面積、 n :ヤング係数比、 d_{s1}, d_{s2} :合成断面の図心軸との距離と鋼材断面の図心軸との距離、 d_t :合成断面の図心軸と総断面の図心軸との距離、 I_{s1}, I_{s2} :鋼材断面のその図心軸に関する断面2次モーメント、 I_t :総断面のその図心軸に関する断面2次モーメント、 I_v :木材に換算した断面2次モーメントである。

4. 物性値の決定

鋼材やコンクリートなどはヤング係数、単位体積重量は決定しているが、集成材の場合は同じ種類の木を使用しても木目の違いや含水率の違いという影響などで強度は少なからず変わってくる。さらに、集成材に鋼板が挿入されているハイブリッド構造の場合は、単位体積重量、ヤング係数が一定値として推定できないため、これらの物性値を決定することが困難である。そのため、確定された単位体積重量の値ではないが、集成材の平均的な値と鋼材の値を使用して算定を行い、それを基に決定した。

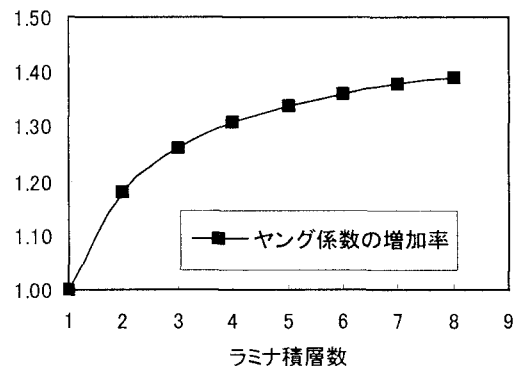


図-4 ラミナ積層数とヤング係数の増加率

また、ヤング係数も変わってくるために決定が困難である。いま、図-4のラミナ積層数とヤング係数の増加率の関係をみると、積層数が増えていくとヤング係数が増加していき1.4倍程度に収束していくことが分かる。それを基にラミナのヤング係数を1.5倍程度した値を集成材の物性値として使用した。

本解析では積層ゴム支承のばね定数の値は、端支点では 1.00×10^4 kN/m、中央支点では

2.46*10⁴ kN/m を使用した。

5. 解析結果

解析には MSC/NASTRAN を用いて 3次元構造解析モデルを作成した。また、解析を行う際に、断面諸量を求めるために、上述した式 (1) と式 (2) の剛性換算式を使用した。実験値³⁾ と解析結果を表-2~5 に示す。また、5次振動までの解析振動モードを図-5 に示す。

表-2~5 の解析値は、単位体積当りの重量 ρ 、ヤング係数 E 、ヤング係数比 n を 22~18 の間で変化をさせて解析した結果を示す。

表-2 実験値と解析値

$E : \text{tf/m}^2, \rho : \text{t/m}^3$

振動次数	振動モード	実験値 (Hz)	固有振動数			
			解析値 (Hz)			
			n=22	n=22	n=22	n=22
			$E=1.47*10^6$ $\rho=0.0816$	$E=1.26*10^6$ $\rho=0.09$	$E=1.15*10^6$ $\rho=0.0816$	$E=7.95*10^5$ $\rho=0.0700$
1	鉛直曲げ1次振動	4.39	4.66	4.36	4.41	4.16
2	水平1次振動	-	5.57	5.05	5.01	4.26
3	鉛直曲げ2次振動	6.23	6.88	6.42	6.48	6.03
4	ねじれ1次振動	-	8.25	7.71	7.62	6.43
5	鉛直曲げ3次振動	7.83	9.51	8.87	8.94	8.28

表-3 実験値と解析値

$E : \text{tf/m}^2, \rho : \text{t/m}^3$

振動次数	振動モード	実験値 (Hz)	固有振動数			
			解析値 (Hz)			
			n=20	n=20	n=20	n=20
			$E=1.20*10^6$ $\rho=0.1000$	$E=1.15*10^6$ $\rho=0.1000$	$E=1.15*10^6$ $\rho=0.0900$	$E=1.15*10^6$ $\rho=0.0816$
1	鉛直曲げ1次振動	4.39	4.09	4.05	4.17	4.35
2	水平1次振動	-	4.62	4.52	4.69	4.84
3	鉛直曲げ2次振動	6.23	6.01	5.93	6.13	6.37
4	ねじれ1次振動	-	6.96	6.84	6.99	7.20
5	鉛直曲げ3次振動	7.83	8.29	8.18	8.45	8.79

表-4 実験値と解析値

$E : \text{tf/m}^2, \rho : \text{t/m}^3$

振動次数	振動モード	実験値 (Hz)	固有振動数			
			解析値 (Hz)			
			n=20	n=20	n=20	n=20
			$E=1.15*10^6$ $\rho=0.0700$	$E=9.00*10^5$ $\rho=0.0700$	$E=8.00*10^5$ $\rho=0.0700$	$E=7.65*10^5$ $\rho=0.0700$
1	鉛直曲げ1次振動	4.39	4.58	4.30	4.17	4.16
2	水平1次振動	-	5.08	4.52	4.27	4.26
3	鉛直曲げ2次振動	6.23	6.71	6.25	6.04	6.03
4	ねじれ1次振動	-	7.48	6.76	6.44	6.43
5	鉛直曲げ3次振動	7.83	9.25	8.60	8.30	8.28

表-5 実験値と解析値

$E : \text{tf/m}^2, \rho : \text{t/m}^3$

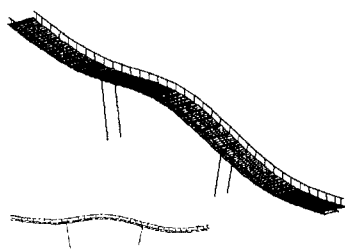
振動次数	振動モード	固有振動数				
		実験値 (Hz)	解析値 (Hz)			
			n=19	n=19	n=18	n=18
			$E=1.15 \times 10^6$	$E=1.05 \times 10^6$	$E=1.15 \times 10^6$	$E=1.15 \times 10^6$
	$\rho=0.0900$	$\rho=0.0700$	$\rho=0.0900$	$\rho=0.0900$		
1	鉛直曲げ1次振動	4.39	4.17	4.59	4.24	4.21
2	水平1次振動	-	4.65	5.00	4.64	4.63
3	鉛直曲げ2次振動	6.23	6.13	6.71	6.21	6.17
4	ねじれ1次振動	-	6.94	7.62	7.01	6.96
5	鉛直曲げ3次振動	7.83	8.45	9.25	8.55	8.51

表2~5よりヤング係数比 n を22~18の間で、ヤング係数 $E=1.47 \times 10^6 \sim 7.95 \times 10^5 \text{ tf/m}^2$ の間で、単位体積重量も $0.07 \sim 0.09 \text{ t/m}^3$ の間で変え解析を行っていくと、鉛直曲げ1次振動と鉛直曲げ2次振動の実験値と解析値は比較的一致している結果もある。しかし、鉛直曲げ3次振動では実験値と解析値に差異が生じた。部材が単一であれば断面諸量の算出には問題が少ないが、異種材料の組み合わせである複合材料の場合では、個々の断面諸量に対する剛性を考慮した上で断面諸量を求める必要がある。両者の差異は本橋をモデル化する際に構造用大断面集成材の物性値の確定が困難であったことに起因する影響だと考えられる。

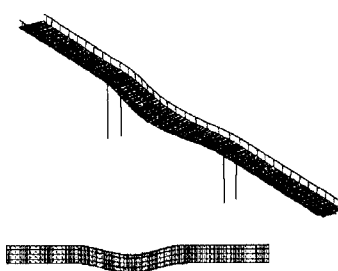
また、解析を行った際に水平1次振動より鉛直曲げ1次振動の方が先に出現しているのは、床版の下部に高さ180mm、厚さ9mmの横リブの鋼板を約400mm間隔で設置されているために水平振動に対する剛性が高いためと考えられる。

ヤング係数比を変えると換算断面、換算断面2次モーメントの値が変わってくるため、ヤング係数比 $n=22$ と 20 をみると、同じヤング係数と単位体積重量の場合でも変化していることがわかる。しかし、同じヤング係数比でヤング係数や単位体積重量が変化すると解析値に大きく影響してくることもわかる。また、表-5のヤング係数比 $n=18$ のとき、ヤング係数、単位体積重量は同じであるが、解析値は異なった値が得られた。これは、横桁、地覆に関してもヤング係数と単位体積重量を変えているために差異のある値になったものと考えられる。このため、主桁部分だけではなく横桁や地覆など集成材が使われている部材でもヤング係数、単位体積重量を変えていくということも必要になると考えられる。

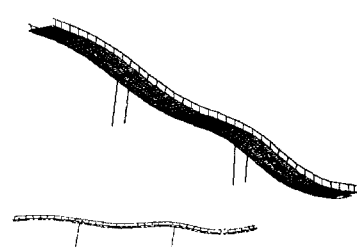
本解析の結果から、 $n=20, E=1.15 \times 10^6 \text{ tf/m}^2, \rho=0.0816 \text{ t/m}^3$ の場合に実験値に近い固有振動数と振動モードが得られた。



鉛直曲げ1次振動



水平1次振動



鉛直曲げ2次振動

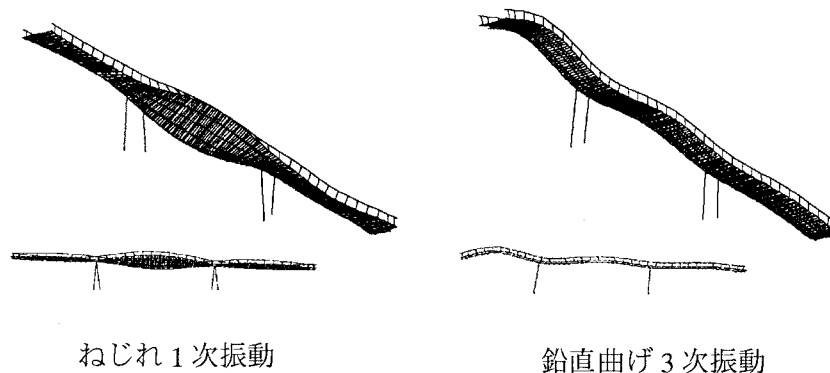


図-5 解析振動モード

6. あとがき

本研究では、ハイブリッド型構造断面の剛性評価に関して確立されていない中で、合成桁の合成断面の式より算出された剛性換算式の妥当性を検証するために、ハイブリッド型構造断面を採用した八丁平つなぎ橋について解析を行った。その結果、実験値と解析値が比較的一致する値を一応得ることができた。しかし、より精度の高い解析結果が得られなかったのは、剛性評価の部分以外にも考えられる。すなわち、解析を行う際に、剛性換算式より断面諸量を求めることは剛性評価には重要なことであるが、ヤング係数、単位体積重量の物性値の算定も少なからず影響してくることに起因していると考えられる。以上のことが明確になれば形状係数を考慮することもなく剛性評価が出来ると考えられる。

本研究で検討された剛性換算式は現在、坊中橋、八丁平つなぎ橋の2橋でしか適用していないため、これからハイブリッド型構造断面を採用している橋梁について実橋実験が行われ、実験値と解析値の比較し、剛性換算式の確立を課題としていく必要がある。

参考文献

- 1) 八丁平土地区画整理事業「八丁平つなぎ橋」設計計画書、(株)日本製鋼所 室蘭製作所。
- 2) ふるさと林道緊急整備事業米代線「坊中橋」実験報告書、金沢工業大学環境土木工学科橋梁工学研究室、平成15年4月。
- 3) 奥野寛人・岸徳光・小室雅人・巽治・小枝日出夫：鋼補剛木歩道橋の固有振動特性評価、土木学会第58回年次学術講演会概要集、I-754、平成15年9月。