

## かりこぼうず大橋の計画・設計

### The design and plan of Karikobozu-Bridge

○廣田武聖\* 入江達雄\*\* 久留島卓郎\*\*\*

TAKENORI Hirota, TATSUO Irie and TAKURO Kurushima

\* (株)建設技術研究所 (〒810-0041 福岡市中央区大名 2-4-12)

\*\* 博(工学) (株)建設技術研究所 (〒810-0041 福岡市中央区大名 2-4-12)

\*\*\* 工修 (株)建設技術研究所 (〒810-0041 福岡市中央区大名 2-4-12)

**ABSTRACT** In recent years of bridge planning, the type of bridge structure is usually determined by total amount of construction cost that is the sum of initial and maintenance costs. In most cases, this idea provides self-assertion to the constructed bridge because it does not concerns peripheral environment and adjacent structures. This paper presents the design and plan of a long-span timber highway bridge build in a steep topography of a village, where forestry is its local industry. This bridge makes use of local timbers and will help the village revitalization after its completion.

**Keywords :** 木道路橋、キングポストトラス、杉集成材、強度試験、PC鋼棒

*timber road bridge, king-post truss, glued laminated timber of cedar,*

*strength experiment, steel bar for prestressed concrete*

### 1. はじめに

近年の橋梁計画は、初期コストやある程度の維持管理費を加えた費用の大小で橋梁形式が決定されるケースがほとんどである。このような考え方で構築された橋梁は、周辺景観や隣接構造物に気兼ねすることなく、各々自己主張を行なっているケースが多い。このため、完成後は周辺環境との調和に欠けた形状を有するが多く、それがゆえに周辺に新たに審美性に欠けた別の構造物が建設され、景観に気配りのない風景が再現されることになる。

本橋の建設地点は、2級河川一つ瀬川の上流にあり西米良村の地場産業である林業の振興及び温泉・キャンプ場への県内外客移送ルートとして、急峻なスギ山に囲まれた位置にある。

そうした中、地域のランドマークとなるべくかつ原風景を損なわぬよう木材による橋梁を考え、周辺環境に納まる構造形式を選定し、かつ資材の地場調達を図ったものである。

銘々された「かりこぼうず」とは、西米良村に古くから伝承されている森林の精霊であり、住処を一つ瀬川とする河童に似た伝説上の村のイメージキャラクターである。米良地方の山々で獵をするとき、獲物を狩り出して追う役目をする狩子から生まれたもので、山の神・水の神として崇められており、地域住民にとっても、非常に親しみのある橋名が名付けられた。

また、左岸側橋詰には川の駅「百菜館」の休憩施設が併設(計画)されており、橋名と相まって観光名所となることが期待されている。



図-1 かりこぼうず

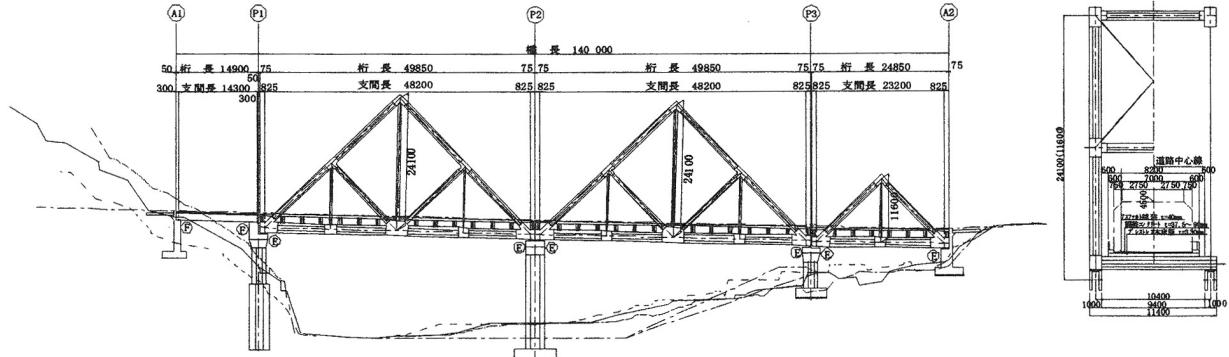


図-2 橋梁一般図

## 2. 橋梁概要

本橋の橋梁諸元を表-1に、全体図を図-2に示す。最大支間長が48.2mと木道路橋としては国内最大クラスとなる橋梁である。

上部工は4径間構造であるが全て単純構造であり、起点側から単純桁橋1連、キングポストトラス橋2連及び最終径間に小振りのトラス橋を抱えている。

イメージとして、「百菜館」に隣接する小振りのトラス橋が「かりこぼうず」で、中央径間の2連がその両親の3人家族であることが容易に推察できる。

## 3. 計画の基本方針

本橋は、橋長140mで道路橋としては日本一のスパンを有するキングポストトラス橋であり、かつ外国産材の使用ではなく全て県内産材を用いた。基本コンセプトは以下の通りで、学識経験者による「木橋技術基準検討委員会」及び「新村所大橋建設技術委員会」を立上げ、適切な設計・施工に反映されるよう配慮した。

- ① 本橋を県の名所となるよう計画し、木橋の技術水準の向上を図る。
- ② 素材は県内スギ材を使用したものとし、スギ原木生産国内第1位の県林業の活性化を図る。
- ③ 構造特性を満たすべく、設計施工上の問題点を具体的に示し適切な対策を行なう。
- ④ 県内スギ材の材料特性を確定するために、構造部位に見合った材料試験を行い採用する部材を検討する。
- ⑤ 維持管理にあたっては、採用する木材に対し適切な方法を検討する。

表-1 橋梁諸元

路線名	ふるさと林道小山重線
道路規格	第3種第4級
設計速度	V=30km/h
橋の重要度	A種（重要度が標準的な橋）
活荷重	A活荷重
橋長	140.0m (15.0+50.0+50.0+25.0m)
支間長	14.3+48.2+48.2+23.2m
有効幅員	7.0m
斜角	A1:86°, P1~A2:90.00°
縦断線形	2.500%
平面線形	R=40~A=32~R=∞
横断勾配	6.0~1.50%
上部工形式	単純桁橋、単純キングポストトラス橋×3連
下部工形式	逆T式橋台、円形張出橋脚
基礎工形式	直接基礎、深礎杭基礎
使用木材	スギ構造用集成材(E75-F240)

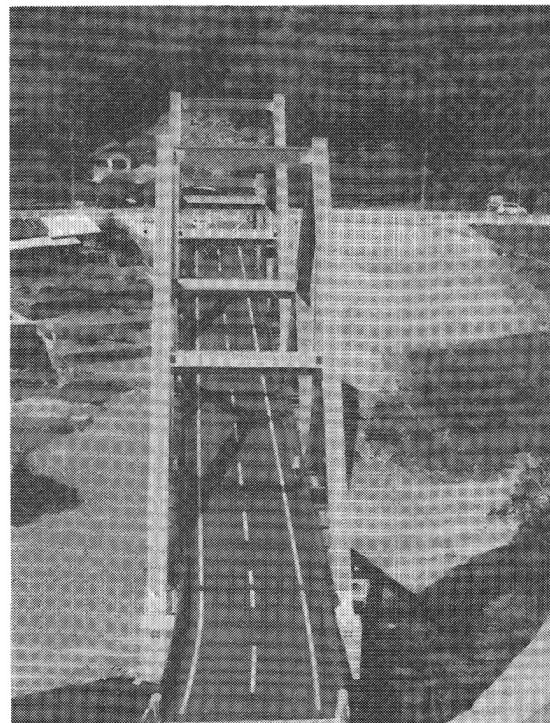


写真-1 現況写真

## 4. 設計検討

### 4-1. 橋梁形式選定

本橋では、主構造部材として県産スギ集成材を用いることがある。構造用集成材の製作可能な部材の高さは 2.0m であり、以下の理由により主径間部の上部工形式を選定した。

- ・ 桁橋では桁高が 3m を有し超え製作が不可能である。
- ・ 箱桁形式は、設計断面が活荷重たわみで決定され経済的な断面を得る事ができない。
- ・ フィーレンディール橋は、木部材のみでは支点部のせん断力を満足しなく鋼部材等を用いたハイブリッド断面等の採用を余儀なくされる。
- ・ 斜張橋も同様にハイブリッド構造であり、立地条件にそぐわない。

このことから、集成材製作可能な形式としては、トラス形式とアーチ形式に制約されるが、下路式アーチ形式（ローゼ橋）では弦材や吊材を適切な間隔に設けることに断面力を小さくすることができる反面、構造上弱点となるジョイント数が多くなる。

ジョイント数が最も少ないトラス形式（キングポストトラス橋）は、主構（部材高 1.8m）には軸力しか発生せず木材の特性を發揮でき、また輸送上も問題なくかつ周辺の米良三山のイメージとマッチすることより採用するものとした。

### 4-2. 上弦材角度

ジョイント角度・発生断面力・輸送部材長及び建築限界からその角度が決定される。本橋では、建築限界から決まる最小角度  $35^\circ$  とジョイントが直角となる最大角度  $45^\circ$  を表-2 のように比較検討し、構造性に優れ周辺地山の傾斜角度とほぼ一致する角度  $45^\circ$  を選定した。

### 4-3. 格点構造二次力

本橋はトラス部材寸法が 1000mm を超え、自重作用及び剛な部材剛度となり一般的なジョイント部でのピン結合と捉えるか否かが問題となる。従って、ジョイント部での拘束条件を実状に合うであろう数ケースでモデル化を行い設計に反映させた。これは、木部材と鋼ジョイントの重ね部分 (750mm) の並進移動を固定し回転を拘束しないもので、並進移動拘束幅を変化させ、はり要素やソリッド要素によりモデル化を行い、最大応力度発生位置や応力分布図を一般的なピン結合と比較し、安全側の軸力や付加曲げモーメントを用いることとした。

### 4-4. 下弦材軸力に対する検討

トラス下弦材はトラス構造による軸力のほか、床組から伝達される曲げに対しても十分な耐力を有することが必要であり、木構造にあっては非常に厳しい荷重条件となる。

従って、下弦材の箱型断面内部に PC 鋼棒を配置（外からは見えない）することにより、軸力に対しては PC 鋼棒が担い、曲げに対して箱型木断面が抵抗する構造と採用した。

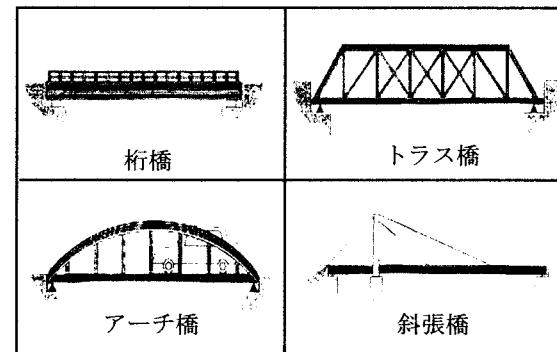


図-3 木橋の代表的形式

表-2 上弦材角度

評価項目	斜角 $45^\circ$	斜角 $35^\circ$
構造性	上弦材軸力比	1.00
	接合角度	$90^\circ$
	下部工反力	1.05
	建築限界	十分な余裕
経済性	斜材・弦材材料費はややアップ	材料費は相対的に安価
施工性	輸送・架設可能な部材高	同左
景観	米良三山のイメージ創出	扁平形状で審美性欠如
評価	◎	-

## 5. 構造解析

### 5-1. 解析モデル

図-4にキングポストトラス橋の構造図を示す。本橋梁の構造解析モデルの特徴は、全体を三角形のトラスと考え、荷重を主に上弦材で抵抗させ、そのとき支点に生じる水平力を下弦材に配置されたPC鋼棒(SBPR φ23)により抵抗させる構造としているところにある。下弦材のPC鋼棒がトラス部材の軸力をすべて担い、木部材が橋面荷重を支

える床組の荷重のみを支えている。そのため、下弦材は木部材とPC鋼棒部材に分けてモデル化した。鉛直材にPC鋼棒(SBPR φ32)を用いているのは、木材のクリープ変形に対して再緊張することにより形状管理ができるように配慮したためである。また、下弦材に対しても鉛直材により支間が短くなるため下弦材に生じる最大断面力が低減される。以下に解析ステップを説明する。

#### STEP-1(前死荷重)……架設ベント設置中の荷重

- ①床版、横桁、下弦材の前死荷重に対して下弦材(木部材)は、両支点でベント支持、中間点で鉛直材支持される連続梁として考え、格点の接合条件を剛結とする。下弦材(木部材)には、曲げモーメントとせん断力、鉛直材と下弦材(PC鋼材)には引張力、上弦材と斜材には圧縮力が作用する。
- ②上弦材、斜材、鉛直材自重の前死荷重に対しては、上弦材とPC鋼棒によるトラス部材で抵抗する。PC鋼棒には引張力、上弦材には圧縮力が作用する。

#### STEP-2(後死荷重+活荷重)……構造系が完成となって生じる荷重

STEP-1の後、下弦材支点部の鋼部材と木部材を結合させ一体構造とする。その後ベント撤去を行い、舗装・調整コンクリート・高欄等の後死荷重と活荷重に対して全体のトラス構造として抵抗する。

### 5-2. 主構断面

中央径間L=50m部の主構の応力一覧を表-3に示す。主鋼の幅は1000mmと一定にし、高さを断面力に応じ変化させ、上弦材は1050mm、下弦材は1830mm、斜材は800mmとした。また、上横支材・下横支材及び横桁は表内寸法とした。

## 6. 県産スギ集成材の強度試験

地場産木材調達の観点から、本橋は県産スギ材を用いることにしており、天然材では橋梁断面寸法が確保できないこと、資源保護の立場から木材の有効利用を図ること、材料のバラツキや歪み及び防火性能等を改善することから集成材を用いた。しかし、県産スギ集成材の橋梁に供する各種試験は、今までに特に行なわれておらず、ここでその強度や安全性を証明することにより、集成材の需要拡大を図ることを考えなければならない。本橋トラスの上弦材には圧縮力、下弦材には引張力に加えて曲げ力が作用するため、その強度特性を把握すべく静的載荷試験(圧縮試験、引張試験、単純曲げ試験、引張曲げ試験、及び疲労試験)を行なった。

宮崎県には飫肥スギという全国でも秋田スギ、吉野スギと並んで構造用材として優れたスギが産出される。一般に素材としては、以下のことが判明している。

- ・気乾比重：吉野スギよりやや小さく秋田スギと同等である
  - ・強度：同上
  - ・ヤング率：吉野スギ、秋田スギの約3/4であるが弾力性に富み衝撃抵抗が大きい
- 以下に県産スギ集成材の実験結果を示す。

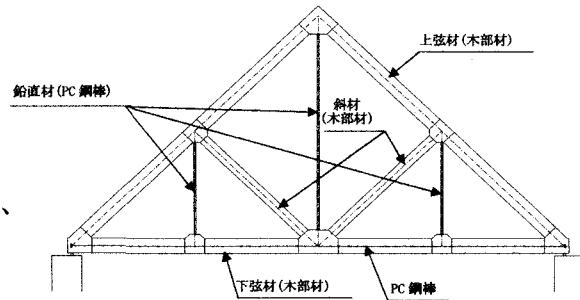


図-4 トラス構造図

表-3 主構応力度表

		上弦材		下弦材		斜材	
断面図							
作用力	軸力 (kN)	-1338.6	-933.6	598.1	372.1	-429.8	-278.8
	曲げモーメント (kN·m)	0.0	668.5	924.9	1256.9	0.0	550.6
	せん断力 (kN)	0.0	-35.4	41.9	44.5	0.0	35.1
部材長 (cm)		17,041(有効座屈長 3864)	12,050(有効座屈長 3472)	17,041(有効座屈長 3864)			
応力度	軸応力度 (N/mm²)	2.28<3.50	0.84<5.00	0.58<5.00	0.80<2.50		
	曲げ応力度 (N/mm²)	0.00<7.60	4.28<7.40	6.38<7.40	0.00<7.80		
	合成応力度	0.65<1.00	0.75<1.00	0.98<1.00	0.32<1.00		
	せん断応力 (N/mm²)	-	0.09<0.90	-	-		
		上横支材		下横支材		横桁	
断面図							
作用力	軸力 (kN)	-115.9	-244.1	-	-	1005.1	
	曲げモーメント (kN·m)	-14.9	-	-	-	366.3	
	せん断力 (kN)	0.0	-	-	-	-	
部材長 (cm)		9,400	9,400	-	-	-	
応力度	軸応力度 (N/mm²)	0.28<2.60	-	-	-	-	
	曲げ応力度 (N/mm²)	0.19<7.80	-	-	-	6.99<7.22	
	合成応力度	0.13<1.00	0.63<1.00	-	-	-	
	せん断応力 (N/mm²)	0.00<0.90	-	-	-	0.75<0.90	

## (1) 弹性係数

異等級集成材の基準値 7.5kN/mm を十分に満足する。

## (2) 静的圧縮強度

長期許容応力度の 5 倍程度の強度を有する。

## (3) 静的引張強度

鋼ジョイントと集成材をボルト接合しているが、設計応力度の 4.5 倍以上の耐力を有する。また、ボルトの耐荷力はボルト許容せん断力の 3 倍程度まで耐えられる。

## (4) 静的曲げ試験

せん断破壊するケースもあったが、全般に設計曲

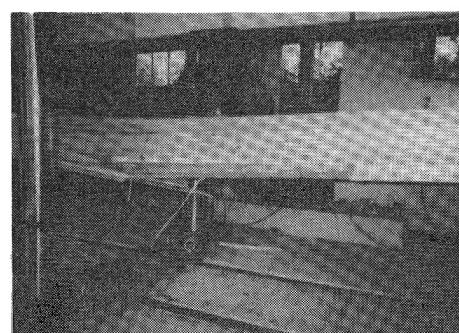


写真-2 曲げ破壊実験状況

げ応力度の3.5倍以上の耐力を有する。

⑤ 静的引張曲げ試験

せん断破壊が一部に生じたが、軸力と曲げが同時に作用する長期許容耐力に対し1.65倍以上は十分に耐えうる。

⑥ 疲労試験

設計強度以下の作用荷重であれば、集成材の形状変動は見られない。また、鋼ジョイントからの集成材の引抜けは、初期の段階に見られるがボルトと集成材ボルト孔の隙間がないように施工を丹念に行えば問題はない。

また、防腐剤の種類(乾式・湿式)によらず、曲げ強度やヤング係数も設計上必要な値以上となることを確認した。

## 7. 今後の課題

集成材の問題点として以下の点があげられる。接合ボルト径と母材ボルト孔の隙間には、初期負荷時に接点部で変位は生じるため二次的な応力が発生する。そのため、遅延型樹脂のコーティング等密着性と施工性を向上させる接合方法の開発が必要である。

曲げ問題では、曲げが最大となる点に付設された鋼ジョイントと集成材間の挙動の解明が必要となる。

維持管理に関しては、木材のクリープ変形・活荷重による各部位の常時動態観測及び防蟻・防錆・防火等の維持管理マニュアルの作成が必要であると考えている。

## 8. あとがき

本橋は県産スギ材を大量に使用した国内最大級の木道路橋であるが、これを一般的なPC橋や鋼橋で計画すれば経済性面からだけでは木橋に比べはるかに有利であることは否めない。しかし、このような橋梁では村の観光誘致の姿勢に応じた形式及び周辺施設となり得ない。初期の投資額は大きくとも、それに見合うまたはそれ以上の効果を見込める橋梁形式を選定することも施策上有効であると考えられ、それが自然破壊を伴わず地域の持つ固有の風景と新たな橋梁の風景が一体化され、「ふるさとの風景」として自然になじむ構造であれば後世に禍根を残さないものと考えられる。

本橋を計画・設計するにあたり、宮崎県職員の方々、設計施工管理委員会の各委員のご指導及び地元住民の方々のご協力に対し、ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 「木質構造設計基準・同解説」、日本建築学会、1996. 4
- 2) 「木橋設計施工の手引き 木橋づくり新時代」、(財)日本住宅木材技術センター、1995. 1
- 3) 「大断面木造建築物接合部設計マニュアル」、(財)日本住宅木材技術センター、1996. 3
- 4) 「大断面木造建築物設計施工マニュアル」、日本建築センター、1988
- 5) 「木橋設計・施工ハンドブック」、(財)国土開発技術センター、1998
- 6) 「近代木橋の時代」、薄木征三、龍源社、1995. 3