

報 告

世界最大級の支間を有する

車道木橋（かりこぼうず大橋）の施工

有村 英樹* 中山 晋一** 木村 正*** 林 久智**** 木場 和義***** 細田 直久*****

かりこぼうず大橋は、林道小山重線の開設に伴って建設される木橋であり、架設位置は宮崎県児湯郡西米良村となる。橋梁規模が橋長で 140.0m、最大支間長が 48.2m と車道木橋では日本最大となり、さらに同形式の木橋としてフィンランドにピハンタサルミ橋があるが支間長はこれよりも大きく、世界最大級の支間を有する車道木橋となる。以下に本橋の製作・架設について報告する。

キーワード：車道木橋，木 - 鋼部材連結部，張力管理，動態観測システム

まえがき

本橋は単純桁 1 連とキングポストトラス橋 3 連からなる車道木橋である。木橋が採用された理由としては、道路の目的がふるさと林道であることや、宮崎県はスギ材の原木出荷量が日本一であることが大きく影響している。また、橋梁形式の選定にあたっては計画当初から多くの検討がなされ、最終的には森林資源が豊富な宮崎県と架橋地である西米良村を表現し、環境面に配慮した橋梁とすべく「米良三山」をイメージしたキングポストトラス橋 3 連が採用された^{1),2)}。

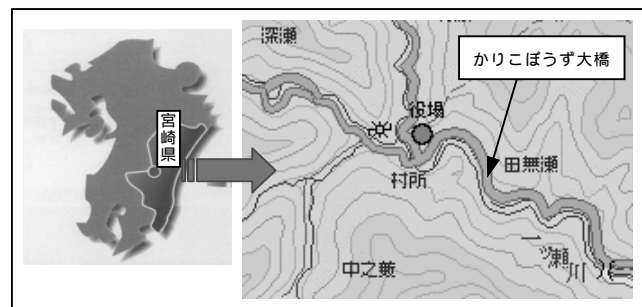


図-1 位置図

使用材料：木部材：構造用集成材
 (宮崎県産スギ集成材 等級：JAS E75-F240)
 鋼部材：SM490Y, SM400, SS400
 木材使用体積：1330m³，鋼重：305ton
 本橋の位置図を図-1，一般図を図-2 に示す。

1. 工事概要

本工事の概要は次の通りである。

- 工事箇所：宮崎県児湯郡西米良村大字村所
- 形式：単純桁（木橋）：15m-----1 連
- キングポストトラス（木橋）：50m---2 連
- キングポストトラス（木橋）：25m---1 連
- 道路規格：第 3 種 第 5 級
- 荷重：A 活荷重
- 橋長：140.000m
- 支間割：14.3+48.2+48.2+23.2m
- 有効幅員：(車道部) 7.000m

2. 構造的特徴

本橋の構造的特徴を列記する。

主構造部材において、高い剛性が必要となる格点部以外は全て集成材を使用している。トラス橋の木床版は、幅 150mm の集成材を橋軸方向に並べて配置しており、一体化させることを目的として橋軸直角方向に PC 鋼棒でプレストレスを導入するプレストレス集成材床版を採用している。

* 技術研究室係長 ** 橋梁部生産情報課長 *** 工事部次長 **** 工事部大阪工事一課課長
 ***** 技術研究室課長 ***** 橋梁部大阪設計課課長

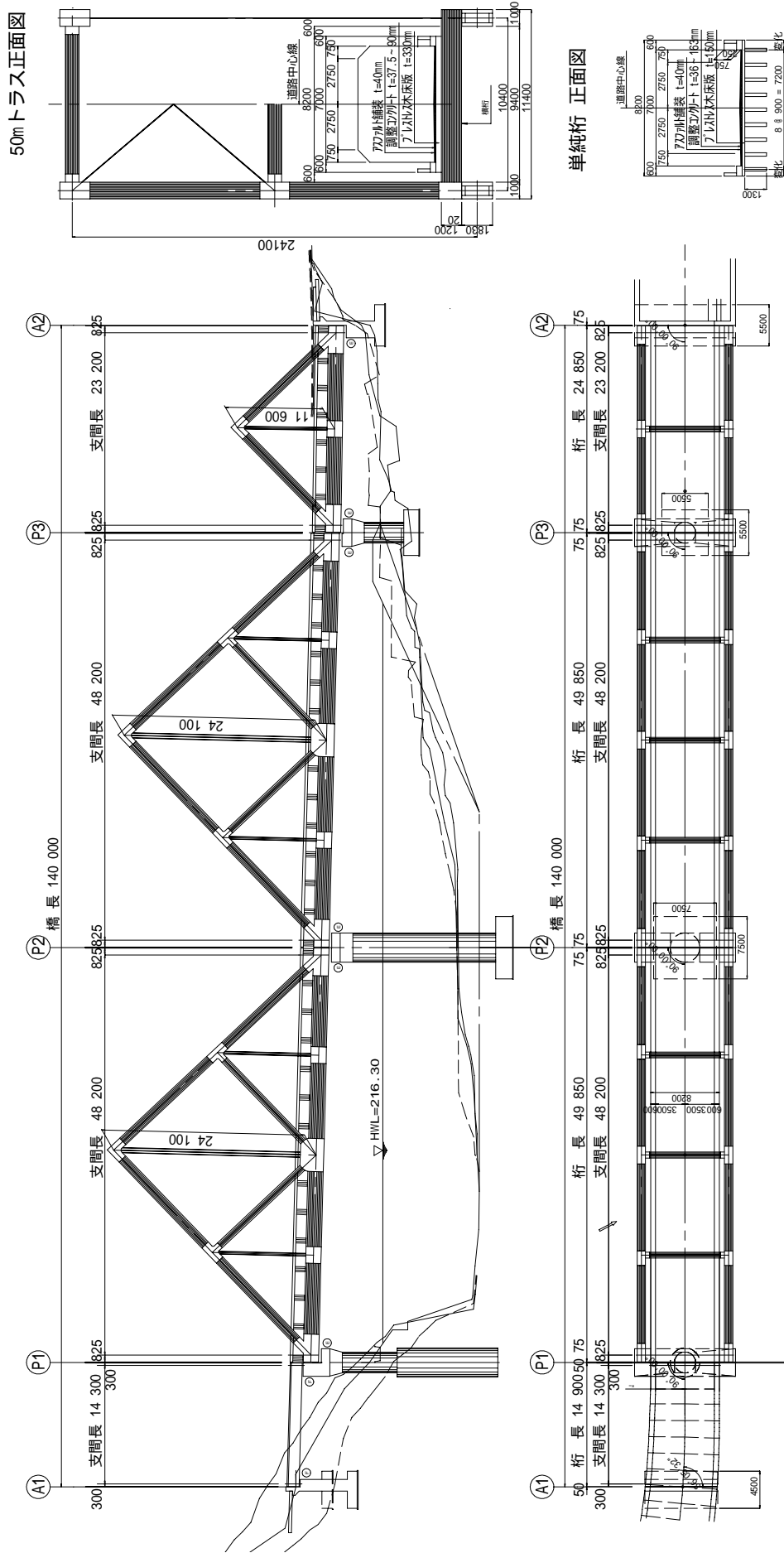


図-2 一般図



写真-1 製造工程および仮組状況

4. 連結部充填施工試験

(1) 木 - 鋼部材連結部の構造

本橋の連結部の構造は、図-3 に示すように鋼板で木部材を覆い、ボルトで固定する「添え板鋼板タイプ」と呼ばれる接合形式であり、当初、木口部にのみシール材を充填することにより、木部材の防腐対策を講じることとしていた。

木部材のボルト孔部の大きさは、ボルト径 24mm に対しボルト孔径 26mm であり、わずかに隙間（片側 1mm）がある状態である。

既往の実験的研究⁵⁾では、接合部のボルトとボルト孔との隙間に充填材（エポキシ系接着剤）を注入したボルト接合は、長期的な接合性能に優れていることが報告されている。

このため、本橋の連結部についても、変動荷重による将来的な連結部の性能低下を防ぐため、ボルト孔部に充填材を注入することにより連結部の防腐効果を高めるとともに、連結部の耐久性能の

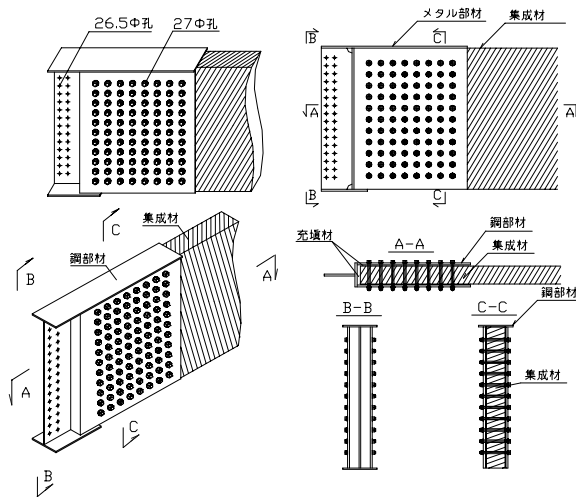


図-3 木 - 鋼部材連結部構造

向上を図ることとした。

連結部は鋼板で覆われる構造であることから、充填材の注入は不可視部の施工となるため、確実に施工することを目的とし、予備試験と充填材注入施工確認試験を実施した。

曲げモーメントと引張軸力が作用する下弦材には集成材の引張力応力度を低減させるため、内部に PC 鋼棒を配置しプレストレスを導入した。

集成材は防腐・防蟻のため薬剤としてナフテン酸亜鉛を加圧注入し、表面保護として工場製作段階において有機溶剤系塗料の 2 回塗りを施している。また、雨水等による腐食を防ぐため、木部材の上面と木床版の端面には銅板による水切り材を配置している。

3. 構造用集成材

(1) 構造用集成材の概要

集成材とは木材を製材し、挽いた板(ラミナ材)をその繊維方向に平行して積層接着した一般材である。このうち構造用耐力部材として使用する集成材を構造用集成材と呼び、さらに断面寸法の短辺が 15cm 以上、断面積 300cm² 以上の集成材は大断面構造用集成材として区分される。規格は JAS (日本農林規格) で定められており、ラミナ材の断面構成、強度等級、断面寸法、使用環境等により分類される^{3),4)}。

JAS で規定される構造用集成材の強度等級は曲げヤング係数(E)と曲げ強度(F)の組合せで示され、E75-F240 のように表示する。断面構成と強度等級を合わせると 48 種類の等級が存在する。

構造用集成材の強度保証は、ラミナの強度等級区分と等級区分されたラミナの構成を指定することで行う。このうち、ラミナの品質(強度)が同一なものを「同一等級構成集成材」、同一でないものを「異等級構成集成材」と呼ぶ。本橋では宮崎県産のスギ材で E75-F240 を使用しており、ラミ

表-1 ラミナの断面構成

集成材の構成等級	異等級対象 E75-F240
最外層	L90
外層	L80
中間層	L70
内層	L50
	L50
	L50
	L50
中間層	L70
外層	L80
最外層	L90

ナの構成を表-1 に示す。なお、L は曲げヤング係数が $\geq 10000 \text{ tf/cm}^2$ 以上であることを示す。

(2) 集成材の仕様

本橋で使用した集成材の仕様を以下に示す。

集成材材料：スギの構造用集成材 (E75-F240) を使用。(宮崎県産スギ材)

単位重量：W = 4.1 kN/m³

許容応力度：表-2 に示す。

表-2 集成材の許容応力度

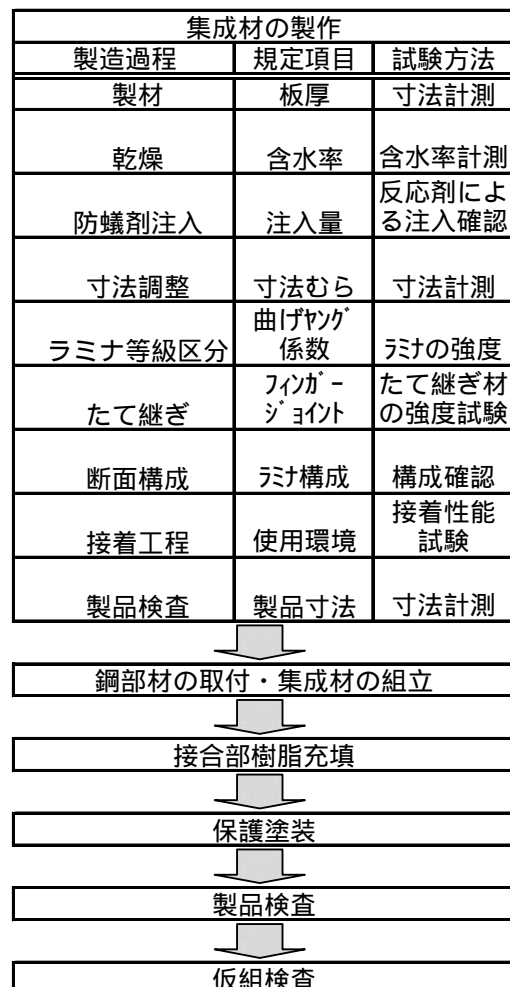
強度特性	ヤング係数	許容応力度(N/mm ²)			
		fc	ft	fb	fs
E75-F240	7.5X10 ³	6.0	5.0	8.0	0.9

fc:縦圧縮, ft:縦引張, fb:曲げ, fs:せん断

(3) 製造工程

JAS では製造工程段階毎に品質管理に関する規定を設けており、本橋においても規定に従った。本橋での製造工程と規定項目、試験方法を表-3 に、製造工程のうち、代表的な項目を写真-1 に示す。

表-3 製造工程



(2) 予備試験

1) 試験の目的

充填材注入施工確認試験に先立ち、充填材の選定を行う必要があるため、小型の試験体を製作し、予備試験を行うこととした。

充填材に要求される性能として 強度 耐久性 木材との相性 経済性 充填性 施工性等が挙げられる。

これらの要求性能を満足しうる充填材を市販のものより3種類選び、最適な充填材を選択するために予備試験を行った。表-4に3種類の充填材(ケース No.1~3)の諸元を示す。

表-4 充填材の諸元

充填材種別		エポキシ系樹脂		
ケースNo		1	2	3(4)
圧縮強度	(N/mm ²)	69	88	89
粘性	(PaS/20)	9	2	0.1
可使用時間	(min/20)	65	70	100

2) 試験方法

予備試験の試験体を図-4に示す。添え板鋼板に相当するものとして、充填材の注入状況が目視できるようにアクリル板でモデル化する。集成材の板厚(ボルト締付け方向厚さ)は本試験の部材と同じ210mmとし、ボルトの径および孔径もそれぞれM24および26 孔径とする。試験体数はそれぞれの充填材に対して各1体である。

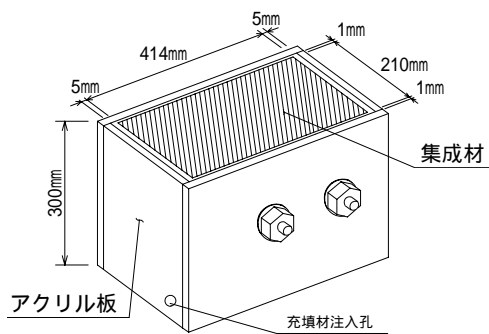


図-4 予備試験体

なお、試験ケース No.4 は、あらかじめガーゼにより被覆したボルトに低発泡性ウレタン樹脂を塗布し、このボルト2本を挿入したものに対して、木口部にエポキシ系樹脂を充填した。

充填材の注入はアクリル板に設けた注入孔より行い、充填材が集成材の上面に達するまで連続して行う。充填材注入の状況を写真-2に示す。

3) 予備試験結果

充填材注入の施工性は各ケースとも良好であった。ボルト部への充填状況はケース1,2ともボルト孔部に密実に充填されていたが、ケース3,4ではボルト軸の1/2高さより上側に空隙が見られた。一例として、試験体ボルト部周辺の解体状況を写真-3に示す。

ケース3,4ともに超低粘度型の充填材であるため、注入完了後にボルト孔表面から充填材が集成材に浸透したことにより、空隙が残ったものと考えられる。

以上の結果より、充填材注入の施工性および充填性に着目して、ケース1およびケース2の2種類を選定した。そして、実物大の供試体を対象にした充填材注入施工確認試験により、この2種類の比較検討を行うものとした。

(3) 充填材注入施工確認試験

1) 試験の目的

充填材注入の実施工法の手順を確立すること、予備試験で選定した2種類の充填材の絞り込みのため、下弦材ウェブを対象とした実物大モデル(1,830x210x1,100mm)を集材材で製作した。連結部の添え板鋼板と木部材との隙間の充填進行状況を目視により確認するため、添え板鋼板のモデル化は予備試験と同様に透明なアクリル板とした。

2) 試験方法

木部材とアクリル板との間には隙間を確保することを目的として、ボルト間の木部材表面にスベ



写真-2 予備試験状況



写真-3 試験体解体状況

ーサーとして薄いアルミテープ（幅 20mm，長さ 50mm，厚さ 1mm）を貼付することとした。

本試験体に対して，充填材の注入を可使用時間内に 1 回で行うことは困難であるため，注入する部分を 4 つのブロックに分割し，2 種類の充填材を注入することとする。分割する方法として，側面および木口面をアルミテープ（厚さ 1mm）とゴム線（2mm）で，仕切るものとする。そして，下側からブロック番号を設定した（写真-4）。

なお，注入パイプは木口面側に設置し，木口面と反対側のアクリル板の端部に空気抜き兼充填材注入確認用のパイプを各ブロックに設置する。

充填材の注入は，まずブロック にケース 2 の充填材を注入した。そして，ブロック の注入が完了した後，ブロック にケース 1 の充填材を注入した。ケース 1 の充填材は粘性が高いため注入に時間を要し，可使用時間内にブロック の全体に

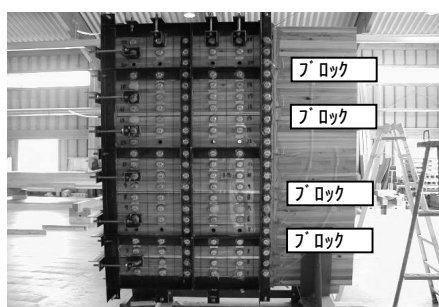


写真-4 実物大試験体

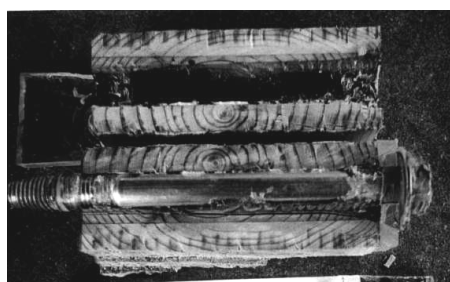


写真-5 ボルト部解体状況



写真-6 実施工状況

充填することができなかった。そのため，以後のブロック および にはケース 2 の充填材を注入した。

3) 試験結果

充填材注入施工確認試験の結果，ケース 2 の充填状態について，気泡群が数箇所に残ってはいるものの，部材連結部の部材軸方向の強度に関しては問題ないものと判断した。ボルト部解体状況を写真-5 に示す。

実施工では，試験結果に基づき集成材へのスペーサーの設置，仕切り板を用いた分割施工等を行うこととし，ボルト部からの充填材の漏出を防止するためボルトキャップの設置を行うこととした。実施工の状況を写真-6 に示す。

5. 架設計画

(1) 施工要領

架設工法は下記の施工条件を考慮して選定した。

河川内使用は湯水期のみ可能である。

水質汚濁等河川への影響を最小限とする。

河川流水部河床は砂岩頁岩互層である。

河川高水敷を架設ヤードとして整備の上，既設道路と架設ヤードまでの間にコンクリート舗装に

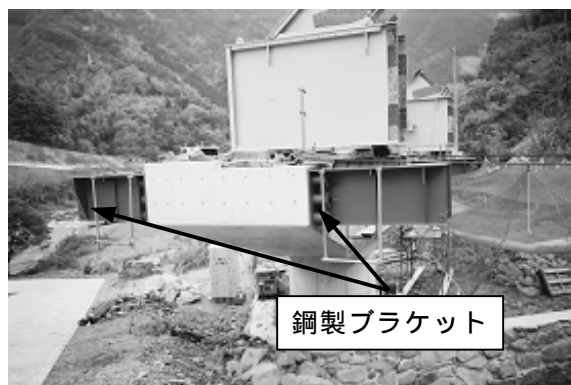


写真-7 鋼製ブラケットの設置



写真-8 下弦材の架設

よる工事用道路を造成した上で、大型油圧トラッククレーンを搬入して、ベントを用いた定点架設とした。架設計画図を図-5に示す。また、50mトラスの架設ステップを図-6に示す。

て行い、端支点部は河川への影響を少なくするため、橋脚上部に取り付けた剛製ブラケットにて行った。設置状況を写真-7に示す。下弦材は端支点および支間中央部の鋼部材架設後に、ヤードにて木部材・PC鋼棒・中間部鋼部材等の地組立を行い、専用吊り治具にて架設を行った。下弦材架設状況を写真-8に示す。

(2) 鋼製ブラケットの設置，下弦材の架設，プレストレス木床版の施工
 鋼部材仮支持は，支間中央部のみベント設備に

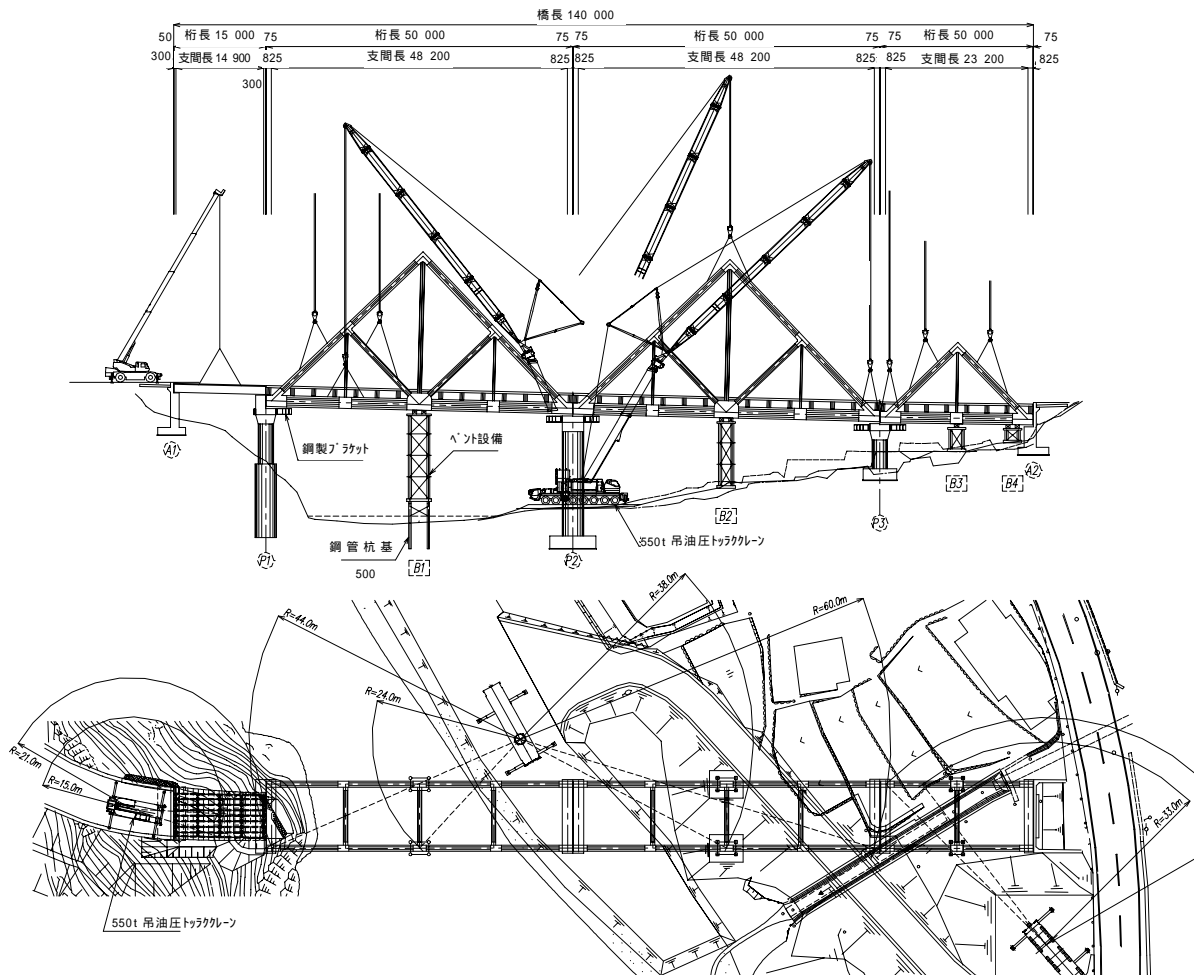
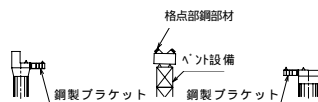
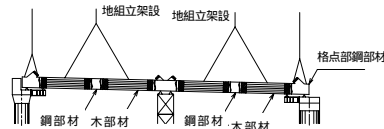


図-5 架設計画図

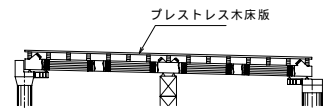
ステップ-1 ベント架設，鋼製ブラケット設置
 格点部材架設



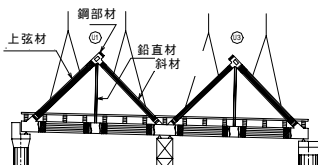
ステップ-2 支点上鋼部材，下弦材（鋼部材）架設



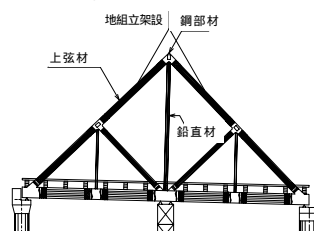
ステップ-3 横桁（木部材）・木床架設



ステップ-4 下段上弦材架設，鉛直材（PC鋼棒）設置



ステップ-5 下段上弦材架設，鉛直材（PC鋼棒）設置，下弦材内PC鋼棒緊張



ステップ-6 高欄・水切り鋼板設置，橋面工施工

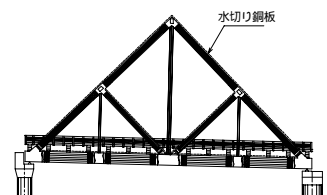


図-6 架設ステップ図

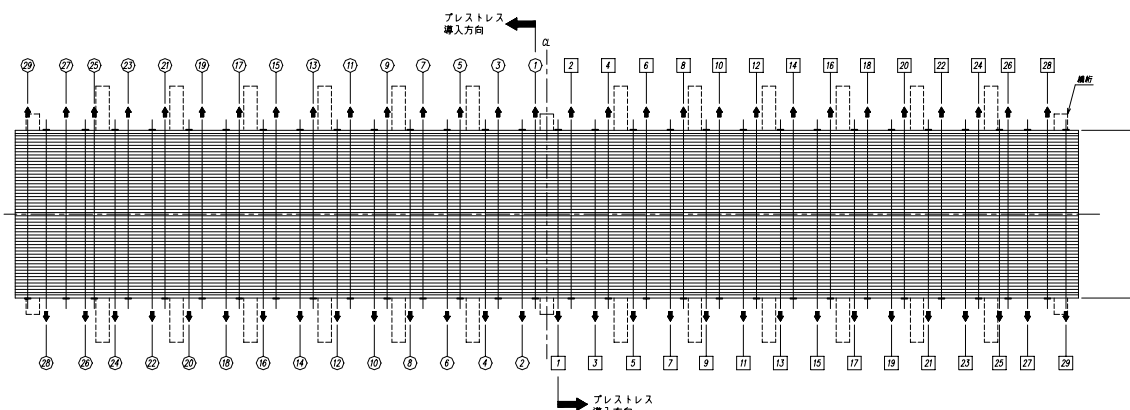


図-7 木床版プレストレス導入順序

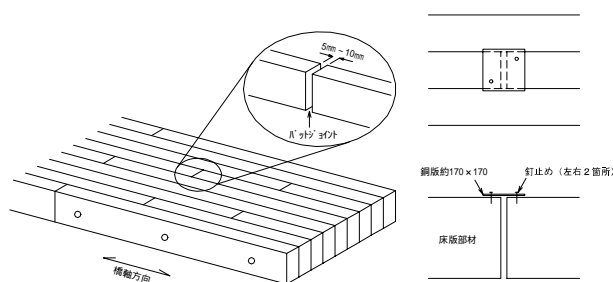


図-8 パットジョイント

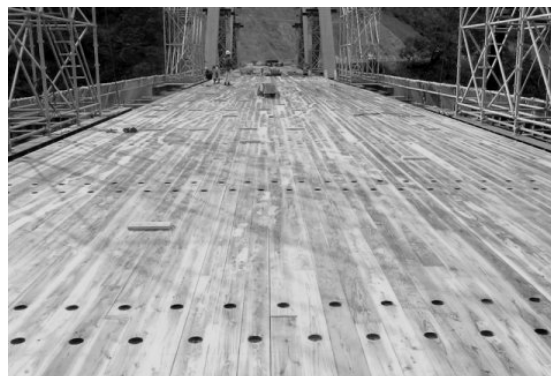


写真-9 木床版設置状況

本橋の床版は、横桁上に集成材（断面寸法 150 × 300mm）53 本を橋軸直角方向に並列配置し、橋軸直角方向にプレストレスを導入したプレストレス木床版である。床版部材には 50mm の横締め孔を設け、PC 鋼棒（26mm B 種 1 号 SBPR930/1080）を 610 ~ 1120mm ピッチに配置して一様にプレストレスを導入した。1 本当たりのプレストレス導入量は 12.2tf で、集成材のクリープ・乾燥収縮の影響を考慮し、導入作業は初期プレストレス導入、1 週間後に再プレストレス導入、さらに 1 週間後に最終プレストレス導入と 3 回に分けて行い、中央から両端部に向かって、緊張方向を交互に所定の緊張力を導入した(図-7)。また、床版部材のパットジョイント（縦継ぎ）は図-8 に示す様に銅板を用いて全箇所について塞ぎ処理を行った。写真-9 に木床版設置状況を示す。

(3) 上弦材の架設

上弦材の架設については、中央にベント設備を設置し、左右の木部材を架設した後、格点部の鋼部材の架設を行った。下段上弦材の架設状況を写真-10 に示す。



写真-10 下段上弦材の架設

上段部の弦材は木部材 2 本と鋼部材をヤードにて“く”の字状に地組立を行い、間隔保持材兼用の吊り治具にて吊り上げ・架設を行った。

(4) 水切り銅板の施工

構造上最も重要な部材である上・下弦材および横桁については、雨水に直接曝されないよう下地板、ゴムシート、銅板で覆い(図-9)雨水が浸透しないようきめ細かい耐久性向上のための措置を講じた。特に上弦材には銅板一枚一枚をかしめ合

わせる特殊な加工を行った。写真-11 に上弦材水切り銅板の設置状況を示す。

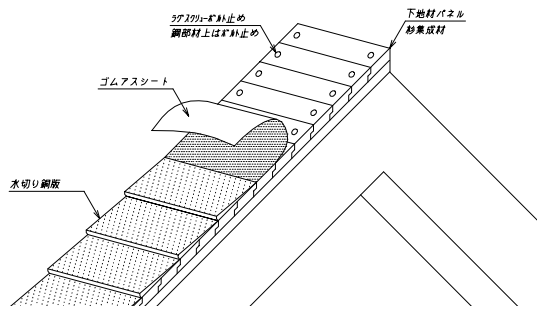


図-9 上弦材水切り銅板の構造



写真-12 イメージアップ看板



写真-11 上弦材水切り銅板設置状況

(5) イメージアップ

現場のイメージアップとして、橋梁本体と同じ仕様の集成材を利用し、写真-12 に示すイメージアップ看板の設置を行った。看板各所には、橋梁本体で使用している構造、部材を再現し、小さな説明板を設けることにより、地元住民ならびに工事中に多数開催された見学会で、多くの関心を集めたことと思われる。またこの看板は工事竣工後も橋梁説明板へと書き換え、本橋の脇に設置されている。

6. PC 鋼棒張力管理

(1) 概要

本橋は、鉛直材と、集成材の負担を低減させるために下弦材内部とに PC 鋼棒を配置しており、PC 鋼棒の緊張力が構造物の安全性を大きく左右することになる。このため、ベント開放前に下弦材 PC 鋼棒にプレストレス導入を実施した後、ベント開放後の前死荷重時と橋面工施工後の後死荷重時に形状管理と併せて PC 鋼棒の張力計測・調整を行うものとした。

(2) PC 鋼棒諸元および配置

本橋の PC 鋼棒の諸元を表-5, PC 鋼棒の配置・番号を図-10 に示す。

表-5 PC 鋼棒諸元

PC 鋼棒構成	23(下弦材)	32(鉛直材)
単位重量	3.26 kg/m	6.31 kg/m
断面積	415.5mm ²	804.2mm ²
断面2次モーメント	1.3E-8 m ⁴	5.1E-8 m ⁴
弾性係数	200000 kg/mm ²	200000 kg/mm ²

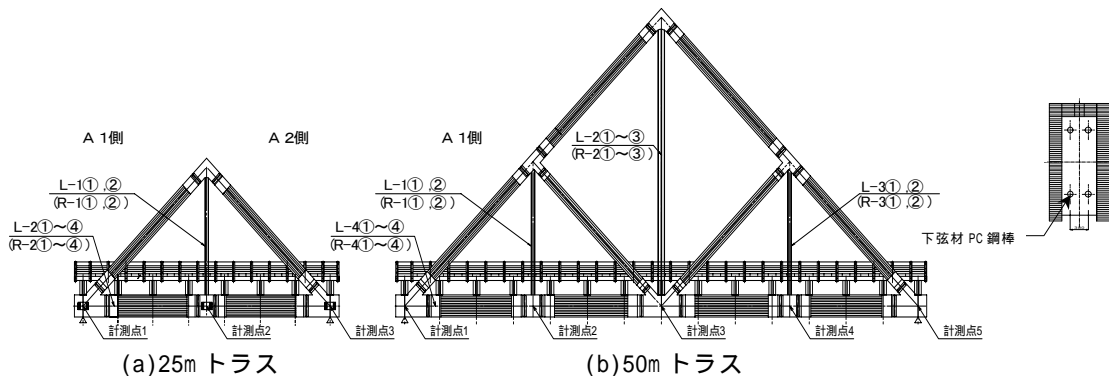


図-10 PC 鋼棒の配置および形状計測点

(3) 計測方法

PC 鋼棒の張力は、ジャッキ反力と PC 鋼棒の伸びを計測して求めるジャッキ法により実施した。

ニールセン橋や斜張橋のように振動法での計測が考えられるが、PC 鋼棒はジョイント部としてカプラーを用いていることや、下弦材は形状保持材による多点支持状態のため正確な振動数が得られないことから、ジャッキ法による張力計測を行うものとした(図-11(a))。

ジャッキ法は、PC 鋼棒の端部に設置したジャッキにより一定間隔の張力を導入し、同時に各張力状態での PC 鋼棒の変位(伸び)を計測し、張力-変位をプロットしたグラフより変位ゼロ時の張力を外挿して算出する。ジャッキ荷重と変位の関係の 1 例を図-11(b)に示す。

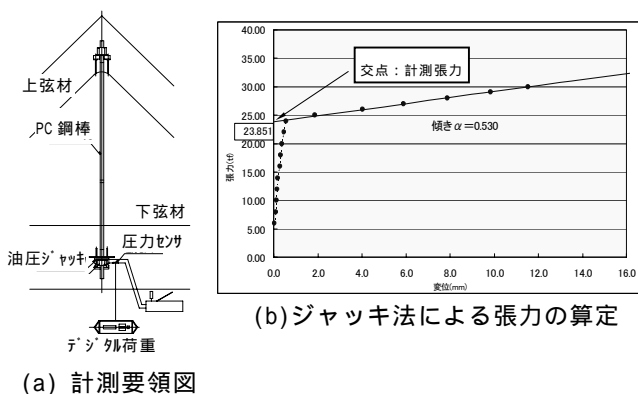


図-11 張力計測方法

(4) 管理目標値

PC 鋼棒張力の管理目標値を表-6に示す。管理目標値は構造全体の安全性と全体形状の確保を目的とし、各種誤差解析を行い、各部材の応力度および変形量より決定した。

表-6 管理目標値

(a) PC 鋼棒張力 (単位: kN)

1) 50m トラス

	PC鋼棒 番号	設計値		誤差解析許容値	
		前死荷重 (STEP-1)	後死荷重 (STEP-2)	引張(+)	圧縮(-)
下弦材	L(R)-4	123.56	127.03	50.0	-25.0
鉛直材	L(R)-2	213.15	263.99	30.0	-30.0
	L(R)-1,3	106.39	138.24	40.0	-20.0

2) 25m トラス (単位: kN)

	PC鋼棒 番号	設計値		誤差解析許容値	
		前死荷重 (STEP-1)	後死荷重 (STEP-2)	引張(+)	圧縮(-)
下弦材	L(R)-2	41.22	41.80	150.0	-40.0
鉛直材	L(R)-1	112.57	164.89	65.0	-40.0

(b) 形状計測 (単位: mm)

	対象	上限値	下限値
50mトラス	下弦材	25.0	-50.0
		格点部	12.5

(5) 計測結果

張力について 50m トラス(P1-P2)では後死荷重段階で 1 回、50m トラス(P2-P3)では前死荷重段階で 1 回の調整を行い全 PC 鋼棒で許容範囲内に張力誤差を収めることができた。なお、25m トラス(P2-A2)では前死、後死とも調整は省略することができた。

形状については、最終的な主桁の形状計測の結果、最大でも-15.0mm(50m トラス(P2-P3): R 側主構の計測点 2)であり、全ての計測点で管理値を満足した(図-12)。

よって、本橋の張力管理は張力・形状とも目的を十分に達成することができたと判断した。

7. 動態観測システム

(1) 観測システムの概要

木材は、材料的には鋼と同等以上の耐久性を有しているが、雨水等の浸入により腐朽が進行し強度が低下するという弱点を有しており、適切な維持管理が必要である。

また、車道木橋の実績が少ないことから、スギ構造用集成材のクリープ現象の評価や、繰り返し荷重の作用による動的影響の評価(疲労性)についてのデータ収集が望まれてきた。

このため、これまで建設された車道木橋においては、実橋を対象とした構造的実験データ、および主要部材の応力状態に対する気象条件の影響と時間的変化に着目したデータが収集されている⁶⁾。

これらによると、気象条件および時間的変化に対する各部材の挙動はほぼ予測された範囲内であり、比較的短期な実績からは、定期的な点検が実施されれば予測外の挙動が発生することは少ないと考えられる。

木橋の維持管理においては、部材外面の損傷や劣化の早期発見、および補修が重要であるが、さらに内部劣化の把握・評価も重要となる。本橋においても損傷・劣化の早期発見・補修を目的として、定期的な点検の実施が計画されているが、目視を主体とした点検では内部劣化を早期の段階で把握することは難しい。格点部や木部材の内部劣化は、構造の剛性低下につながると考えられることから、変形や固有振動数の変化を検出することは有効な方法と考えられる。

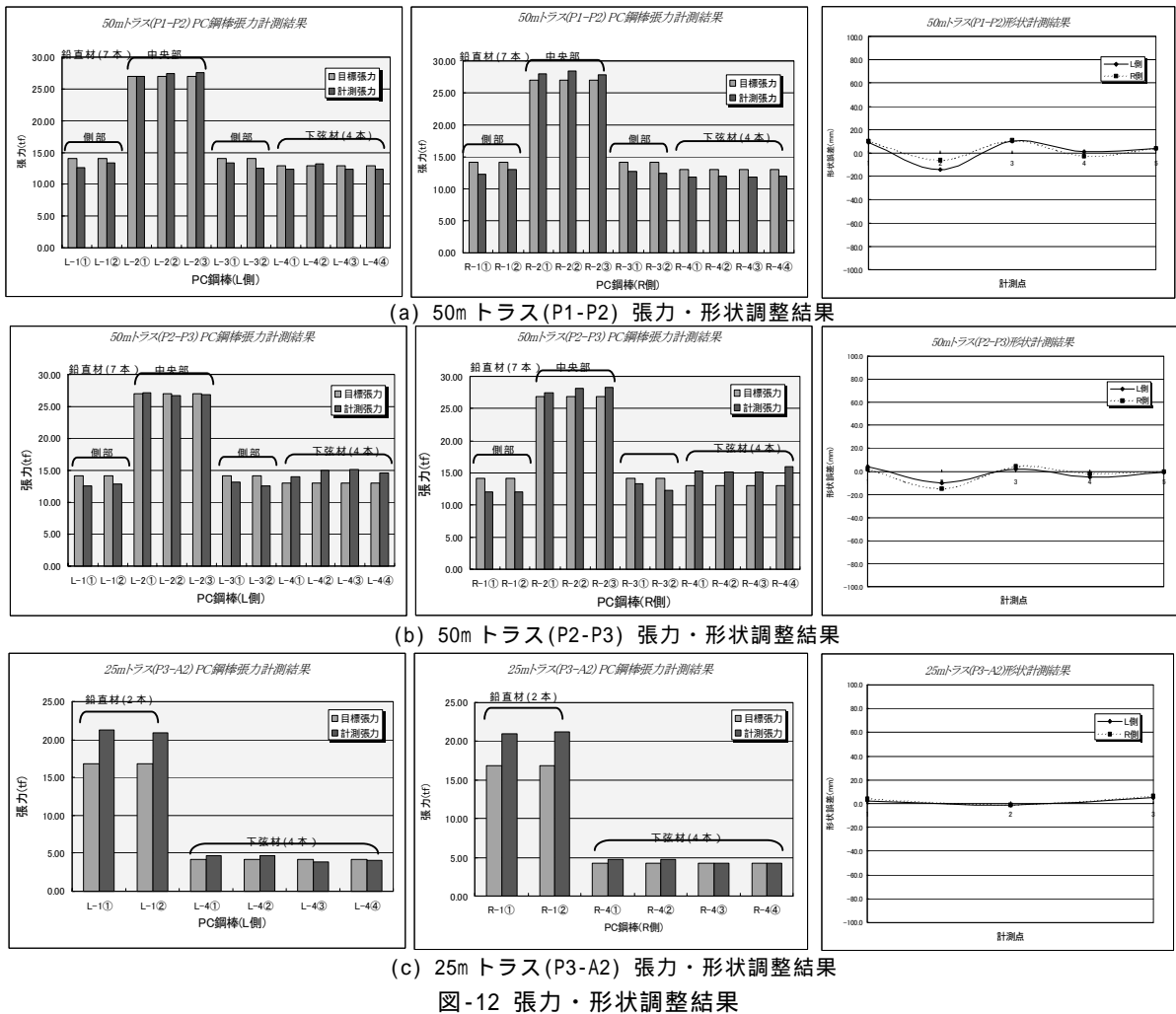


図-12 張力・形状調整結果

以上から、定期的な点検を補足して構造の安全性を確保することを目的として、供用中の橋梁の状態を連続的に観測する動態観測が計画された。ここでは、本橋に設置した動態観測システムの概要を紹介する。

(2) 観測システムの特徴

動態観測システムの概要を図-13 に示す。観測システムの構成においては、次の観測条件を考慮して、株式会社共和電業の無線データ処理システムを使用した。検討条件を下記に示す。

位置関係：橋梁の観測点から観測場所まで直線距離で 200m～300m あり、無線データ収録が望ましい。

観測項目：動的データである振動加速度を観測対象とすることから、高速なサンプリングが必要である。

橋梁側の電源：橋梁側の観測機器用に、商用電源設備を設置するのは難しい。

以上から、本観測システムは以下の特徴を有する。観測点からのデータ転送には、無線(2.4GHz 帯スペクトラム拡散方式)を利用する。

橋梁側の観測機器用の電源として、太陽電池とバッテリーを使用する。

動的データの観測を目的として、サンプリング間隔を 0.01 秒間に 1 回のデータ収集とする。

観測場所から離れた管理場所で、観測状況をモニタリングできる。

(3) 観測内容

観測項目と内容を表-7 に、観測点の配置を図-14 にそれぞれ示す。

観測項目は 構造の安全性を評価する目的から、橋梁のたわみ変形と固有振動数としている。これらは、通行車両や気象環境の影響を受けることが予測される。

このため、観測時間帯の設定や気象データの考慮、また初期の観測結果に基づいた季節的・時間的变化の特徴等を考慮した評価することを目的とし、供用後年数が経過した時点で初期値からの実質的な変化量を推定することで、構造の安全性を判定できると考えている。

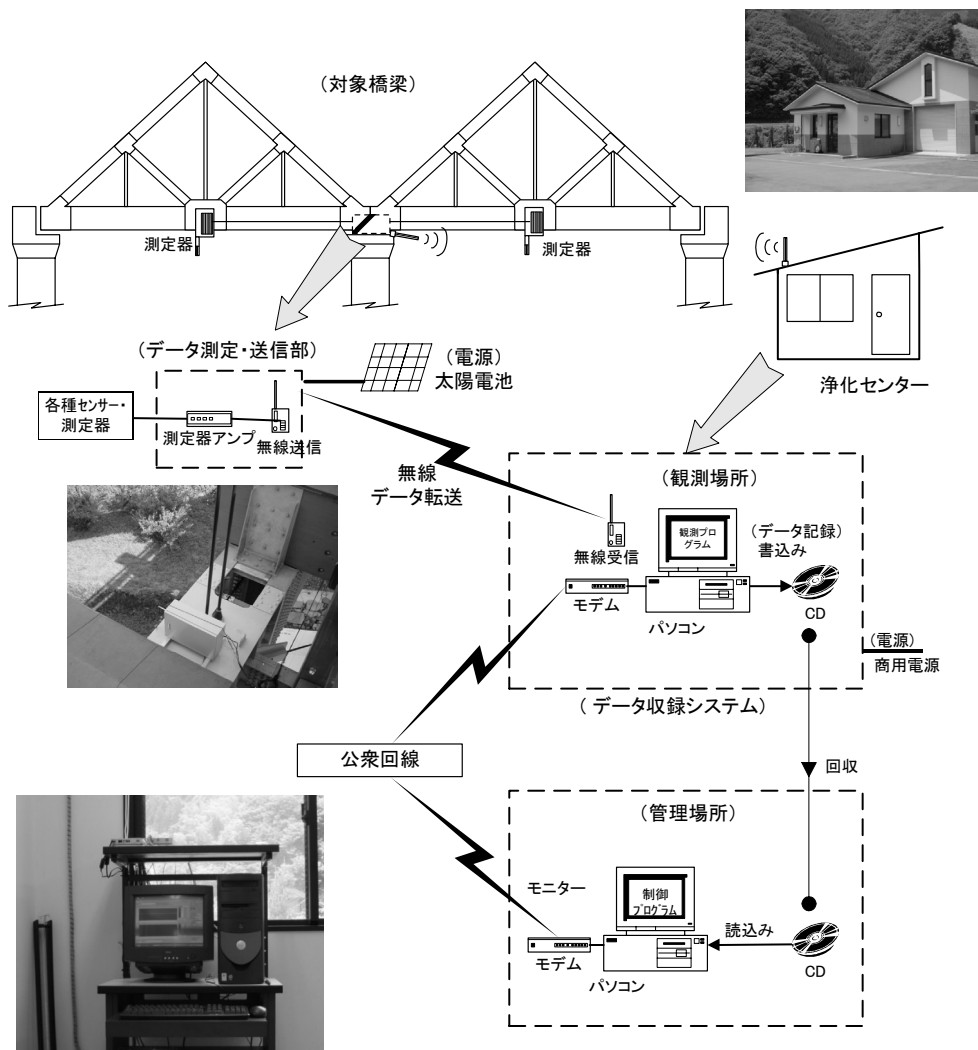


図-13 動態観測システムの概要

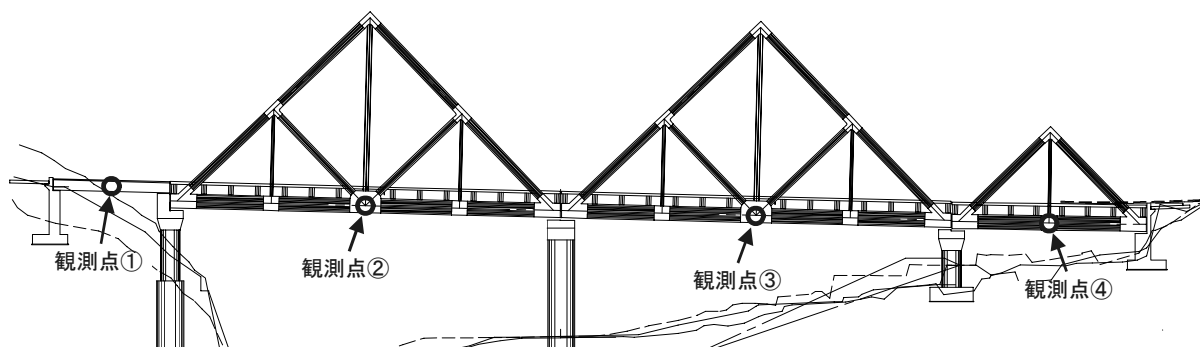


図-14 観測点の配置

表-7 観測項目と内容

観測項目	内容	観測位置
たわみ変形	・桁または下弦材の変位を観測 ・温度差が少ない早朝に観測実施	各橋の支間中央：観測点 ~ 観測点 : G6 桁(床版中心) 観測点 ~ : 上流側下弦材
固有振動数	・車両による橋梁の振動を観測 ・車両通行がある日中に観測実施	

あとがき

製作・架設とも非常に難度の高い橋梁であったが無事に工事竣工を迎えることができた(写真-13)。自然豊かな場所に架設された本橋が新たなランドマークになり、利用者に愛されることを期待する。

なお、完成直後に本橋の構造特性の把握と初期値の収集のため、静的・動的載荷試験を実施し、初期剛性の評価、振動特性の把握を行った(写真-14)。さらに半年後に定期点検と併せ、再度載荷試験を実施した⁷⁾。

本橋の製作・架設にあたり、ご指導いただいた宮崎県の方々、また製作当初から技術指導していただいた宮崎県林務部により発足された建設技術委員会の委員である京都大学 小松教授、宮崎大学 中澤教授、今井教授、熊本大学 渡辺先生ならびに木材利用技術センター 飯村部長の方々をはじめとし、多くの関係者の方々のご指導、ご協力がなければ本橋の完成はなかった。紙面をもって感謝の意を表します。



写真-13 完成写真



写真-14 載荷試験状況

参考文献

- 1) 廣田武聖・入江達雄・久留島卓郎：かりこぼうず大橋の計画・設計，土木学会鋼構造委員会 木橋技術小委員会，第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp.15-20，2003.7.
- 2) 宮崎県林務部森林土木課・かりこぼうず大橋建設技術委員会：平成15年度木橋技術研修会テキスト「県産スギを利用した長大車道橋：木造車道橋かりこぼうず大橋」，pp.4-9，2003.5.
- 3) 社団法人日本農林規格協会：集成材 構造用集成材，pp.25-27，2000.8.
- 4) 土木学会鋼構造委員会 木橋技術小委員会：木橋技術に関する講習会テキスト・シンポジウム論文報告集，第1編，pp.11-14，2001.7.
- 5) 村田忠・瀬崎満弘：スギ集成材接合部における動的載荷試験(第1報)-引張圧縮繰返しによる接合部挙動-，木科学情報 Vol.5，No.4，pp.68-69，1998.
- 6) 例えば，佐々木貴信・薄木征三・寺田寿：鋼・集成材ハイブリッド木橋の載荷実験とモニタリング，土木学会鋼構造委員会 木橋技術小委員会，木橋技術に関する講習会テキスト・シンポジウム論文報告集，第1編，pp.11-14，2001.7
- 7) 池田拓郎・今井富士夫・中澤隆雄・飯村豊・林久智・宮里順・木場和義・入江達雄：かりこぼうず大橋の静的・動的性状，土木学会鋼構造委員会 木橋技術小委員会，第2回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集，pp.29-34，2003.7.