

集成材を主構造とした坊川林道橋の防腐処理と架設

PRESSURE PRESERVATIVE TREATMENT AND ERECTION OF BOUKAWA FOREST ROAD BRIDGE USING GLUED LAMINATED TIMBER

薄木 征三*・長谷部 薫**

By Seizou USUKI and Kaoru HASEBE

Boukawa bridge is located at the Boukawa forest road in Takanosu District Forest Office, Akita. This bridge is glued laminated grillage girder bridge with laminated deck panels and steel cross beam. In this bridge, water-borne preservative treatment were provided to main girders, deck panels and curb. The bridge elements were pressure-impregnated of 2% solution CCA 1. The present paper is concerned with the influence of pressure-impregnated preservative treatment and asphalt pavement on the strengths for glued laminated timbers. Through the tests, the effect of pressure treatment on bonding strength is small and negligible, and also any deterioration of strength properties are hardly recognized in the impregnated glued laminated timbers.

Keywords: glued laminated bridges, preservative treatments, bonding strength, erection

1. ま え が き

集成材橋 (Glued laminated timber bridge) は自然環境にさらされながら裸使用されなければならないので、防腐防虫処理等の保存措置を講じなければならない。防腐剤として使われる化学薬品に関する規準は、木構造設計規準・同解説¹⁾に定められており、日本工業規格によるクレオソート油、フェノール類・無機ふっ化系木材防腐剤、クロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤 (CCA 1号, CCA 2号) など5種類が集成材の防腐剤として認められている。

防腐処理を行う場合には、薬剤の防腐効力、浸透性、鉄類に対する腐食性、防腐処理剤の火気の危険性、人体への影響、使用箇所の条件などを考慮して処理方法を決定しなければならない。同規準に各種防腐剤の特徴が示されているが、屋外で使用する場合には加圧注入処理することが望ましいとされている。

しかしながら、防腐薬剤の加圧注入によって木材の強度の変化、接着性能の低下が起こる可能性があり、さらに水溶性薬剤の加圧注入処理材は、乾燥に伴う狂いや割

れなどの傷害が起こる可能性がある。文献2)は、接着積層後のスギ集成材に硫酸銅の5%水溶液、CCA 1号、同2号の2%水溶液を加圧注入した場合の、注入操作と薬剤の浸透性、木材と接着層が受ける損傷について論じている。

これによると、浸透性が中程度のスギ材については、辺材率にもよるが接着積層後の集成材でも30分程度の前排気と10 kg/cm²で2時間程度の加圧操作で、辺材部のすべてと心材部の一部に浸透することが認められている。また、加圧注入処理による木材と接着層の強度低下や劣化については、いずれの水溶性防腐剤ともに実用上問題にならない程度であると報告されている。

一方、古くはわが国において「木道路橋設計示方書案」³⁾があったが、この中では集成材は当然のことながら木材の防腐についても触れられていない。しかしながら昨今の解体中の木道路橋の床版にはクレオソートが圧力注入されているものも散見され、往時の鉄道線の枕木の防腐と類似の処理がなされていたと思われる。

これらクレオソート処理は油性であるゆえ防湿効果も高いのであるが、防腐処理後塗装することはできず、人と接触するおそれのある部材には、人の皮膚への刺激性ゆえ一般に適用できないとされている^{4),5)}。

秋田営林局土木課で架設した坊川林道橋は、集成材を

* 正会員 工博 秋田大学教授 鉾山学部土木工学科
(〒010 秋田市手形学園町1-1)

** 正会員 工修 秋田大学助手 鉾山学部土木工学科 (同上)

主桁と床版とした、鋼トラス横桁を有する格子桁橋であり、設計荷重は道路橋示方書⁶⁾のTL-14を用いている。保存措置として、実橋で使用したすべての集成材に対し、上述の事柄をふまえ、経費上も安価であるCCA1号で加圧注入防腐処理を行っている。

本報告では、圧力注入による防腐処理の木部の強度に及ぼす影響、桁と床版を結合するラグボルトの引き抜き耐力に及ぼす影響およびアスファルト舗装による集成材床版パネルへの影響について検討を行った。さらに、本橋の架設に要した日数はわずか2日間であったが、桁の架設から舗装までの現地における架設手順について報告する。

2. 集成材製作

坊川林道橋の一般図は図-1に示すとおりである。

樹齢71年の秋田杉を使用し、2.5 cm厚のひき板はJASに準じて年輪幅6 mm以下で集中節径比は1/8以下とした。

ひき板の含水率が15%以内になるまで人工乾燥室で

乾燥させ、養生後プレーナー荒仕上げ加工を行う。次に、ひき板1枚ごとのヤング係数を考慮して各集成材ごとにひき板の配置を定め、写真-1に示すようにローラーでひき板にレゾルシノール樹脂接着剤を塗布し接着積層する。ひき板の長さ方向の接着(縦継ぎ)はフィンガージョイントとした。主桁は、2.5×20 cm断面で長さ6 mのひき板21層を接着積層し、設計に基づき2 cmのキャンパーをつけて8 kg/cm²で17時間加圧圧縮した。床版パネルは、写真-2に示すように2.5×12.5 cm断面で

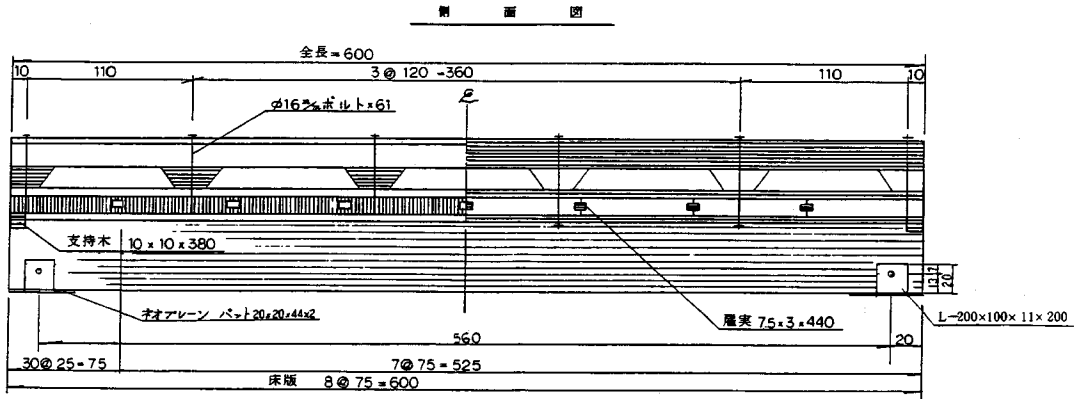
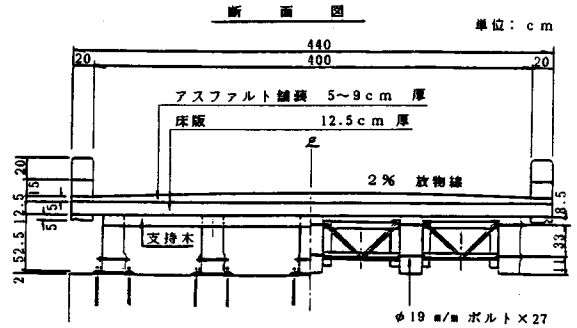


図-1 坊川林道橋の一般図

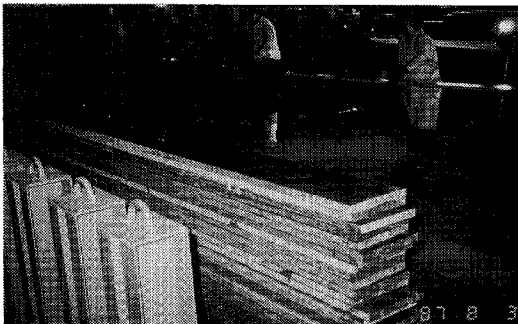


写真-1 ひき板の接着積層



写真-2 接着積層後の加圧

長さ4mのひき板30層を接着積層し、7 kg/cm²で17時間加圧した。笠木、地覆木、水線木および支持木も2.5 cm厚のひき板を接着積層した集成材を用いている。

接着圧締後10日目に仕上げを行い、防汚処理後45日にオイルステインで塗装した。主桁中央部の横桁取付けボルト孔φ19、支承部のボルト孔φ19および床版パネルのラグボルト孔φ11は防汚処理する前に穿孔した。

3. 防汚処理

実橋で使用したすべての集成材に対し、接着積層後加圧注入防汚処理を行った。注入薬剤は、JIS K 1554に規定するCCA 1号の2%水溶液を用い、図-2に示すように前排気400 mmHg (53.3 kPa)で1時間、加圧は10 kg/cm² (980 kPa)で2時間および後排気400 mmHg (53.3 kPa)で1時間加圧注入を行った。写真-3は、注入後防汚工場の注入釜から集成材を取り出すところを示している。注入後50日間屋内で風乾させた。

図-3は、防汚前後の主桁の切断片の単位重量ρの変化を示したものである。防汚後5週間で防汚前の単位重量とはほぼ等しい値となっている。なお、防汚前と防汚直後の体積比は1.045で、重量比は1.849であった。

防汚前と防汚後41日に非破壊曲げ試験を行い、繊維平行方向のヤング係数E_∥を測定した。支間中央に集中

荷重を作用させたときの荷重と載荷点における変位の関係を図-4に示す。図中の実線は防汚前の結果で、破線が防汚後の変位曲線である。防汚前後の桁の断面寸法とヤング係数を表-1に示しているが、ヤング係数は防汚後の値が防汚前に比べてわずかながら大きい(0.95%)

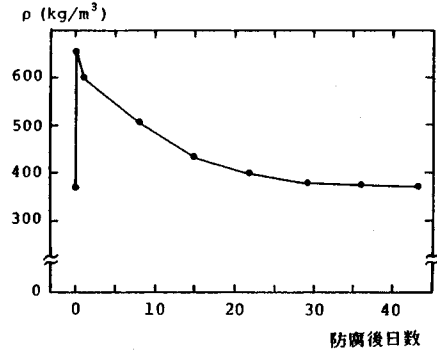


図-3 防汚前後の単位重量ρの変化

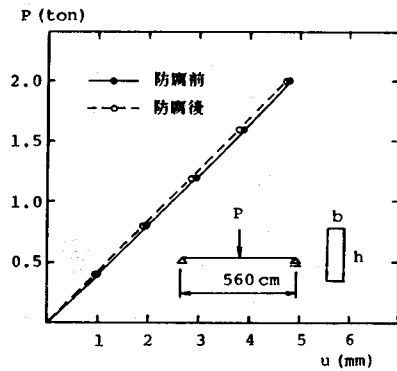


図-4 防汚前後の荷重-変位図

表-1 防汚前後のヤング係数E_∥

	幅 b (cm)	高さ h (cm)	ヤング係数 (kg/cm ²)
防汚前	20.2	52.86	73731
防汚後	20.2	53.15	74433

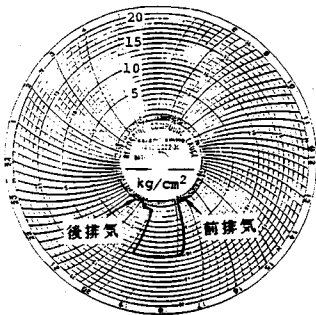


図-2 加圧注入記録

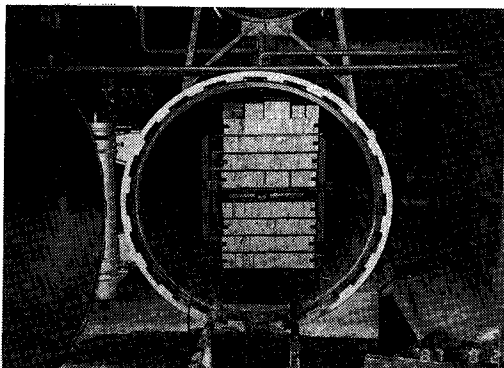


写真-3 集成材の防汚処理

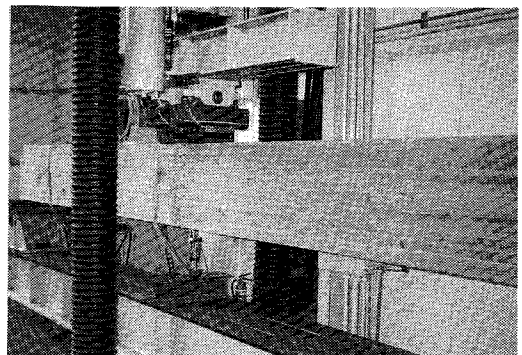
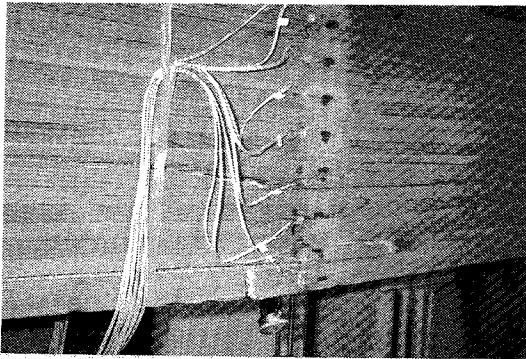


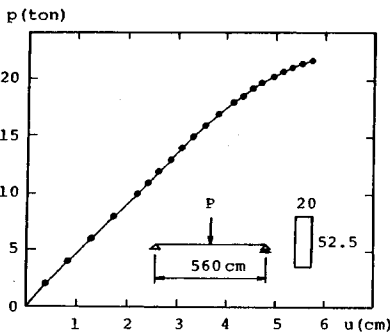
写真-4 主桁の曲げ試験

値となっている。

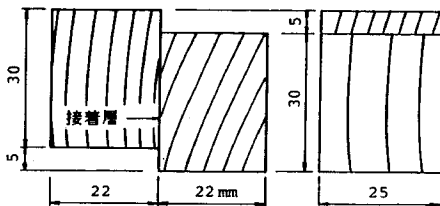
防腐後 41 日目に 1 本余分に製作した主桁の曲げ破壊試験を行い、曲げ強さを求めた。写真—4 に示すように実橋と同じ支間 ($L=5.6\text{ m}$) とし、支間中央に集中荷重を作用させた。写真—5 は破壊後の桁を示しており、載荷点付近の引張側から曲げ破壊を生じている。図—5 は荷重 P と載荷点における垂直変位 u の関係を示したものである。JAS によると針葉樹のスギの場合、曲げ強さは 1 級で 345 kg/cm^2 (33.8 MPa) 以上と規定されており、集成材の積層方向の辺長が 45 cm 超から 60 cm 以下の場合、この値に寸法係数 0.93 を乗じた値となるので 321 kg/cm^2 (31.5 MPa) 以上あればよい。図より、破壊荷重 $P = 21.65\text{ t}$ 時の曲げ強さは JAS に従い弾性限内での断面係数を用いると 321 kg/cm^2 であり、たまたまと思われるが JAS の規定値と等しい値となってい



写真—5 主桁の曲げ破壊



図—5 荷重-変位曲線



図—6 ブロックせん断試験片

る。防腐前の集成材の曲げ破壊試験を行っていないので防腐前後の比較はできないが、設計値は許容曲げ応力度 115 kg/cm^2 に寸法係数 0.93 を乗じた 107 kg/cm^2 で安全率は 3 となっている。

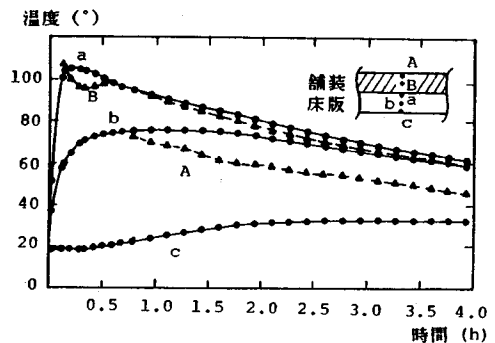
破壊試験後、集成材の接着強さを調べるために JAS に従いブロックせん断試験を行った。供試体は実橋で用いた各主桁の切断片を用い、両側からそれぞれ 5 個ずつ積層方向の接着層について図—6 に示す試験片を作製した。各桁に対し、10 個の試験片のせん断強さの平均値を表—2 に示す。JAS によるとスギの場合、ブロックせん断強さは 55 kg/cm^2 (5.4 MPa) 以上と規定されている。表より、No.2 桁のせん断強さが最小となっているが、JAS で規定されている値より 36% 大きな値となっており、接着強さに及ぼす防腐の影響は小さいことが認められた。なお、せん断破壊は接着層ではなく離れを起こすことなく 90~100% の木部破断であった。

4. 床版に及ぼすアスファルト舗装の影響

集成材床版に 7 cm のアスファルト舗装する場合の、

表—2 ブロックせん断試験結果

桁 No	せん断強さ (kg/cm ²)	標準偏差 (kg/cm ²)	変動係数
1	91	9.2	0.101
2	75	12.1	0.161
3	92	8.5	0.092
4	84	4.6	0.055
5	86	6.0	0.070



図—7 舗装後の温度変化



写真—6 集成材の温度測定

床版に及ぼす影響を調べるために、6.9×42.5 cm断面で長さ250 cmの集成材床版パネルを用い、実橋と同じ7 cm厚のアスファルト舗装を行った。図-7は、図中の舗装部A、Bおよび木部a、b、c点における舗装後の温度変化を示したものである。温度の測定は、写真-6と7に示すように各点に取り付けたセンサーで行った。舗装面近くのa点の温度は、舗装直後105°Cまで上昇するが、以後1時間に約10°Cの割合で徐々に低下している。

舗装を行う前後に集成材床版パネルの曲げ試験を行い、木部に及ぼす温度の影響を調べた。支間200 cmとし、支間中央に集中荷重を作用させたときの荷重と載荷点における変位の関係を図-8に示す。図中の実線は舗装前の結果で、破線が舗装後5時間の変位曲線である。図中に舗装前後のヤング係数を示しているが、舗装後の E_p の低下は0.87%にすぎない。なお、AITC⁷⁾によると20°C~66°Cの範囲で温度が上昇し高温状態が長く続



写真-7 アスファルトの温度測定

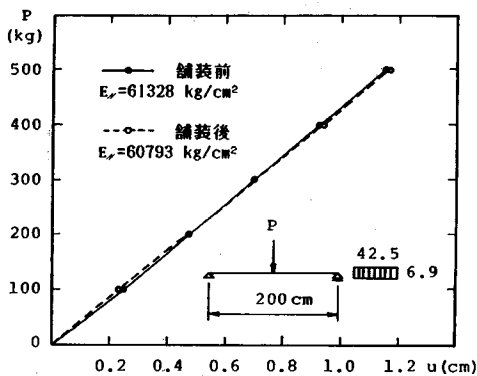


図-8 舗装前後の荷重-変位図

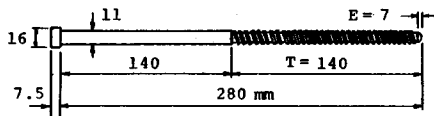


図-9 ラグボルト寸法

いた場合、かつ最大設計荷重が同時に作用するとき設計値の減少を考慮すべきであるとされている。

5. ラグボルト引き抜き試験

実橋で用いたラグボルトは、図-9に示すようにAITCで与えられている標準寸法に合わせて作製した。実橋で用いた秋田杉の密度0.371の場合、AITCによるとラグボルト1本の摩擦耐力の設計値はボルト径 ϕ 11 mmに対して $P=39 \text{ kg/cm}$ であり、ラグボルト1本の引き抜き耐力の設計値は⁷⁾

$$P' = P(T - E) = 520 \text{ kg}$$

となる(図-9参照)。

ラグボルトの引き抜き耐力を調べるために、防錆処理する前の実橋桁の切断片と防錆処理した3本の桁の切断片を用い、写真-8に示すようにラグボルトの引き抜き試験を行った。ラグボルトを打ち込む前に電気ドリルで先孔(リードホール)をあけ、打ち込みにはインパクトレンチを用いた。先孔は6 mmと8 mmの2種類とし、各桁に対する引き抜き耐力を表-3に示す。AITCによると、密度が大きほど引き抜き耐力の設計値が大きくなるので、表中の防錆処理した試験片の密度は防錆前の値を用い、防錆前の設計値を示している。防錆前の試験片による引き抜き試験の結果、先孔6 mmで設計値の3.9倍、8 mmの先孔に対しては3.7倍の引き抜き耐力

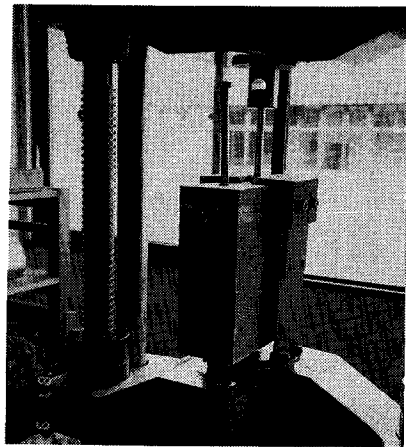


写真-8 ラグボルト引き抜き試験

表-3 ラグボルト引き抜き試験結果

	引き抜き耐力 (kg)		密度	設計値 (kg)
	先孔 6 mm	先孔 8 mm		
防錆前	2005	1920	0.371	520
防錆後	1735	1765	0.396	573
"	1500	1660	0.393	567
"	1635	1265	0.388	556
		(湿潤状態)		
		(湿潤状態)		

となっており、先孔8mmの引き抜き耐力は6mmと比べて4%程度の減少となっている。防腐処理した試験片については、表中の湿潤状態のデータを除くと設計値の約3倍の値が得られている。

以上のことより、ラグボルトの打ち込みやすさ、打ち込み後のボルト周辺木部のひびわれを考慮し、実橋のラグボルト打ち込みは8mmの先孔で行うことにした。

6. 架 設

架設手順は、最初に主桁の設置を行い、次に横桁、支持木、床版パネル、笠木・水縁木・地覆木を据え付け、最後にアスファルト舗装を行った。横桁、ラグボルト等の金物はすべて亜鉛メッキを行い防錆処理を施してい

る。

写真-9は主桁を設置しているところを示しており、布バンドで主桁を保護しユニックを用いて垂直に吊り上げている。主桁の設置後、写真-10に示すように主桁を貫通する上下2本の $\phi 19$ ボルトで鋼トラスの横桁を取り付けた。桁端部に用いた支持木は、主桁に8mmの先孔を開けた後、先孔にクレオソートを注入し防腐処理を行ってから $\phi 11$ のラグボルトで取り付けた。

床版を設置する前に主桁の上部にコールトールを塗布し、床版からの万が一の水もれに備えている。次に布バンドを用いて床版パネルを主桁上にセットした。支点側の床版パネル1枚を所定位置にセットし、主桁に8mmの先孔を開けた後、先孔にクレオソートを注入して防腐処理を行い、写真-11に示すようにインパクトレンチを

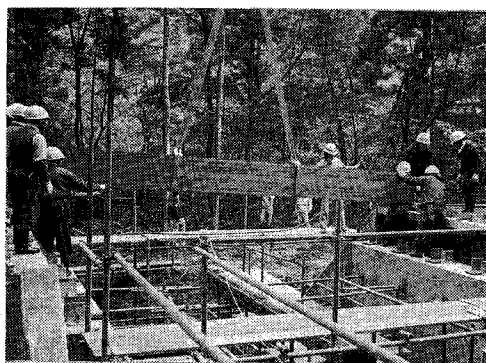


写真-9 主桁の設置



写真-12 床版パネルのほぞ組み

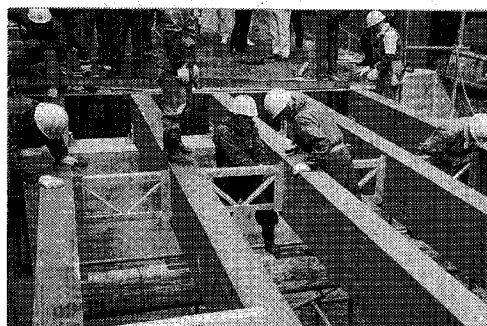


写真-10 鋼トラス横桁の設置



写真-13 笠木と床版のボルト結合

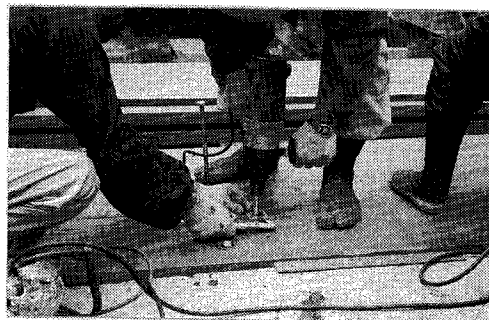


写真-11 主桁と床版パネルの結合

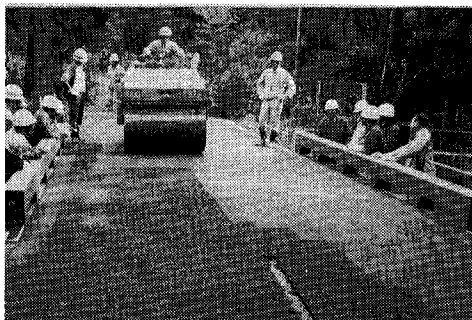


写真-14 アスファルト舗装

用いてラグボルトで締め付けた。次に、米松製やとい実（ほぞ）に接着剤を塗布し、2枚目の床版パネル間に挿入した。床版パネル間のほぞ組みは、写真-12に示すように油圧ジャッキを用いて行った。上記の手順に従い床版パネルを1枚ずつ取り付けた。

笠木と水繰木を $\phi 5$ の丸鋼でほぞ組みし、写真-13に示すように地覆木上にセットしてから床版を貫通する $\phi 16$ ボルトで締め付けた。最後に、床版上にタックコートをし写真-14に示すように7cm厚のアスファルト舗装を行った。

以上のような施工法により、2日間で架設することができた。2種類の現場実験^{8),9)}を行ったので、架設に要した日数は実質1日間であった。

7. あとがき

集成材を主桁と床版とした格子桁橋の建設において、製作から架設まで種々の実験を行った。本稿では、圧力注入による防腐処理の影響、アスファルト舗装による集成材床版パネルへの影響、およびラグボルトの引き抜き耐力について検討を行った。

得られた結果をまとめると以下ようになる。

(1) 圧力注入して防腐処理した材料の乾燥状態は、5週間風乾するとほぼ防腐処理前の密度となった。防腐前後のヤング係数値は、6週間の乾燥後ではほぼ等しい値であった。また、ブロックせん断試験によるせん断強さの低下はみられなかった。

(2) 集成材床版パネルにアスファルト舗装すると、舗装直後舗装面近くの木部で約100°Cまで上昇するが、曲げ試験の結果、床版の変位に及ぼすアスファルト舗装による温度の影響は僅少であった。

(3) ラグボルトの引き抜き試験の結果、ラグボルト径 $\phi 11$ に対し先孔6mmと8mmではほぼ等しい引き抜

き耐力であった。また、防腐処理材の引き抜き耐力は無処理材より低下するが、設計値の約3倍の値が得られた。

集成材からなる、主桁と床版パネルを用いた自動車の通行が可能な桁橋としては本橋はわが国初の試みといえるが、その後の経過を観察中である。一般の道路橋への利用は困難と思われるが、今後は林道橋のほか景観が重視される歩道橋や自転車道橋、さらに仮橋への利用が考えられよう。今後これらの架設を通してさらに設計資料が追加されることが望まれる。

最後に、実験にあたって御世話を戴いた秋田営林局土木課長 相模正芳氏（現・林野庁基盤整備課）、同課技官 須藤 晟氏ならびに秋田県工業技術センター関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本建築学会：木構造設計規準・同解説，1973.
- 2) 中村嘉明：スギ集成材への防腐剤の加圧注入，奈良林試研報，No. 8，pp. 29～34，1979.
- 3) 福田武雄，土木学会監修：木構造学，壮文社，1949.
- 4) 薄木征三：アメリカ・カナダで見直されてきた木造橋，林業技術，No. 531，6月号，pp. 13～18，1986.
- 5) Gutkowski, R. and Williamson, T. : Timber Bridges : State-of-the-Art, Jour. of the Struct. Engrg., ASCE, Vol. 109, No. 9, pp. 2175～2191, 1983.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，1980.
- 7) American Institute of Timber Construction : Timber Construction Manual, 3rd edition, Englewood, Colo., 1985.
- 8) 長谷部薫・薄木征三：集成材を主桁とした格子桁の解析と実験的研究，土木学会論文集，第397号/VI-9，pp. 85～94，1988.
- 9) 長谷部薫・薄木征三：集成材格子桁橋の合成作用に関する解析と実験，土木学会論文集，第403号/VI-10，pp. 269～272，1989.

(1988. 12. 12・受付)