

プレストレス木床版 (P. S. L. T) を使用 した「2ヒンジボックスカルバート橋」 について (625)

森林整備課 須藤 晟

秋田大学の協力を得て、間伐材を使用した「プレストレス木床版を使用した2ヒンジボックスカルバート橋」として実行し去る11月15日完成しております。

プレストレス木床版は日本では初めての例であり、ボックスカルバート橋台は世界でも初めてだと思います。

プレストレス木床版はカナダで開発されたものですが、それは木製トラス橋の床版相互を釘によって水平打ちをしていたが、交通量と重車両の増加によって床版が分離し、これを締め直すため、釘ではなく、PC鋼棒で中心を貫通させ、プレストレスすることによって、ひき板相互を積層したのが始まりとされているようです。ですから「プレストレス木床版」は補修が生んだ副産物のようなものです。

この工法がアメリカにも導入され、アメリカ道路橋設計基準に採用されています。本橋の設計は木道路橋設計示方書(案)、木構造計算基準、同解説、アメリカ道路橋設計基準によって行われています。

本橋梁の特徴は

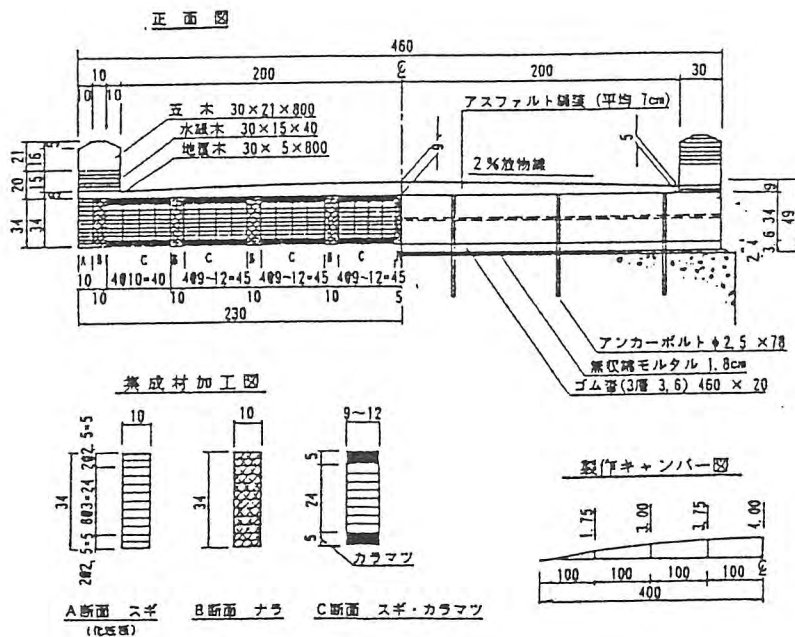
- ① 弱いスギを補強するため全高34cmのうち圧縮側5cm、引張側5cmをカラマツ材を使用しハイブリット集成材としています。
- ② 中間材としてナラ材を使用しましたので結果的に、弱いスギをカラマツとナラで囲っており1つのブロックを形成しております。
- ③ 橋梁の幅は4.0mと前の大断面集成材橋と同じであるが、地覆木の大きさを30cmとし、10cm増としました。除雪に対して配慮したのですが、現場載荷実験では、16tポンプ車をこの木橋に対して一番負担がかかる状態で乗せたとき、笠木なしのたわみ量は9mmで、笠木取り付け後のたわみ量は7mmと変化があり、地覆木と水線木が床版と一体となっており橋梁全体に強度を増しています。
- ④ キャンバーは4cmの放物線としました。計算上のたわみは死荷重(雪荷重も含む)で1.1cm、活荷重で1.3cm、計2.4cmであるので、水の貯る箇所を作らないこと等を考慮して製作キャンバーを4cmとしております。
- ⑤ 外観は美観のためスギ材の化粧板とし、取り付けはラグボルトを使用しました。

- ⑥ PC鋼棒に付帯する支圧板をかくし、今後再締め付けに必要なアンカープレートだけを見えるように加工しました。
- ⑦ 使用材料は表-1の通りですがスギは鷹巣営林署、ナラ材は秋田営林署、カラマツ材は鹿角営林署で生産したものです。
- ⑧ 塗装はスギとカラマツの桁はクレオソート注入で、ナラの桁はオイルステンだけです。直接見える笠木、水繰木、地覆木、化粧桁は外観上きれいなCCA2号で処理し、その上にオイルステンで2次塗装しました。この塗装方法は、昭和62年に架設した大断面集材を使用した坊川2号橋と同じです。6年間塗装していませんが、カビやキノコなどの発生もなく、この橋においては色もあまり変化していません。一般に、クレオソートの防腐効果は30年以上、CCAは27年以上とされていますが、CCA2号には2次塗装したので、どちらがよいか今後の経過を観察して行きたいと思います。

表-1 材料表

名称	断面(cm)	長さ(cm)	根数	単長(m)	重量(m)	材種	材積(m ³)	割合(%)
床版	460×34	800	1	12.512	12.512	スギ	8.186	59
地覆木	30×5	800	2	0.120	0.240	カラマツ	2.448	18
笠木	30×21	800	2	0.504	1.008	ナラ	3.350	23
水繰木	(40+20)15/2	30	16	0.014	0.224	計	13.984	100
計								

図-1 床版一般図



表一2 クレオソート防腐処理試験結果表

	幅 (cm)	高さ (cm)	長さ (cm)	重量 (kg)	備 考
処 理 前	b1=4.760	h1=17.685	L1=400.1	W=14.330	上空管 120~130°C 注入時 90~100°C (下空管) 2時間 14~15 kg/cm ²
	b2=4.910	h2=17.620	L2=400.1		
	b3=4.660				
	b4=4.760				
	b5=4.680				
	b6=4.800				
平均	4.782	17.653	400.1	14.330	
処 理 後	b1=4.900	h1=17.775	L1=400.1	W=20.448	
	b2=4.765	h2=17.815	L2=400.1		
	b3=4.805				
	b4=4.780				
	b5=4.650				
	b6=4.790				
平均	4.782	17.795	400.1	20.448	
増減	0.4%増	0.8%増	0	43%増	

この表は試験木をクレオソート防腐加工した結果であります。

クレオソート防腐処理は直径1.4m長さ23mのドラムに木材を入れ、上空管から130°Cに熱したクレオソート液を入れ14~15kg/cm²で2時間加圧注入したもので表一2の通り木材の断面では変化がありますが、長さについてはまったく差がないことがわかる。

しかしながら理論上では、例えば鷹巣の施工地では冬で-15°C 夏で35°C 50°Cの温度差があり7.6mスパンで1.3m/mの伸縮があるはずです。

実験と理論上では差があることで、完全に固定とは言いきれないこと、木材とコンクリートの合成となるので施工がむづかしい等からラーメン構造にはなじまないとの判断から、同じ固定でも回転が出来る2ヒンジボックスカルバート橋台にしました。

その有利性について説明します。

流量計算は100年確立で計算したものが表一3であります。

表一3 流 量 計 算 表

項 目	単 位	ボックスカルバート 橋台	橋台高2.1m高くした重力式橋台	橋長16.0mにした重力式橋台
排水断面	m ²	17.22	33.23	35.38
潤 辺	m	11.48	16.66	19.46
径 深	m	1.50	1.99	1.82
粗度係数		0.017	0.040	0.040
流 速	m/sec	7.708	3.955	3.727
計画流量	m ³ /sec	132.73	131.42	131.86
安全率		1.48	1.47	1.48

流速は、マンニングの公式による。

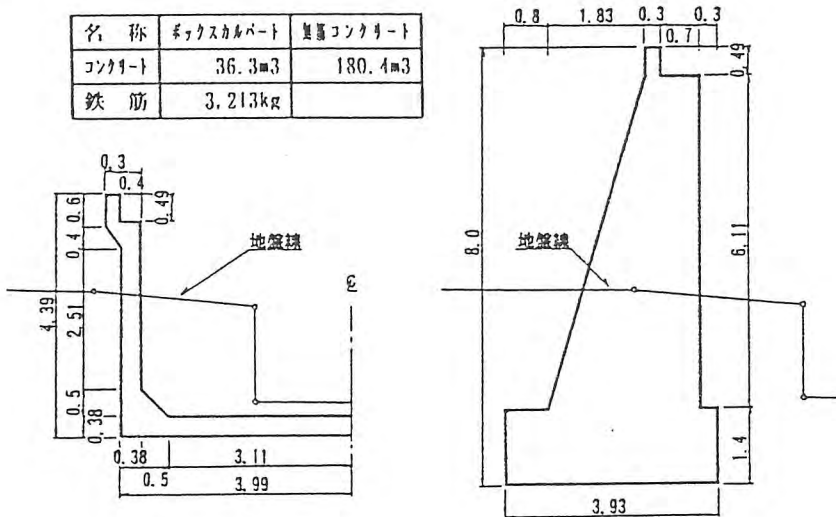
洪水流量は、流路延長3.8km 標高差0.4km 流域面積456km² により89.39 m³/sec となります。

粗度係数は0.014~0.02の中間0.017を採用し重力式橋台は現地の状況が砂利、玉石層であり0.03~0.05の中間の0.04を採用しました。

径深と粗度係数の関係から表-3のとおり安全率1.48にして逆算すれば、重力式橋台の場合、長さでは橋長で16.0mの橋が必要になり、高さを逆算すれば2.1m高くする必要があります。

現実的には、橋梁の架設経費はだいたい長さの2乗に比例することから、橋長16mの橋は不可能であり、橋高を2.1m上げた場合と今回のボックスカルバート橋台とを比較したのが図-2である。

図-2 橋台の比較



現地の地質からボックスカルバート橋台では、橋高は底部に滑動防止の突起0.3mつけても4.7mでよいが、重力式橋台では転倒、地盤反力、滑動等を考慮すれば床掘をさらに1.2m深くする必要があり橋台高8m必要であります。

これをもとに当局の設計積算方法で経費の比較をしたのが表-4であり、下部工のコンクリート関係だけでも重力式橋台半分以下で施工でき、直接工事費で約262万円有利となり工事費全体では約400万円節約できたこととなります。

表-4 経費の比較

名称	単価	単位	ボックスカルバート		無筋コンクリート	
			数量	金額	数量	金額
鉄筋コンクリート	50.194	m ³	36.3	1,822.042		
無筋コンクリート	27.259	m ³			180.4	4,917.524
鉄筋工	147.068	kg	(3.213)	472.529		
計				2,294.571		4,917.524
差額				△ 2,622.953		

今回のボックスカルバート橋台は、上部構造が木材に限られており、コンクリート橋や鋼橋には適用されず使用限範囲が限られているが、もしこれから木橋で設計する場合採用していきたいと思います。

実行について

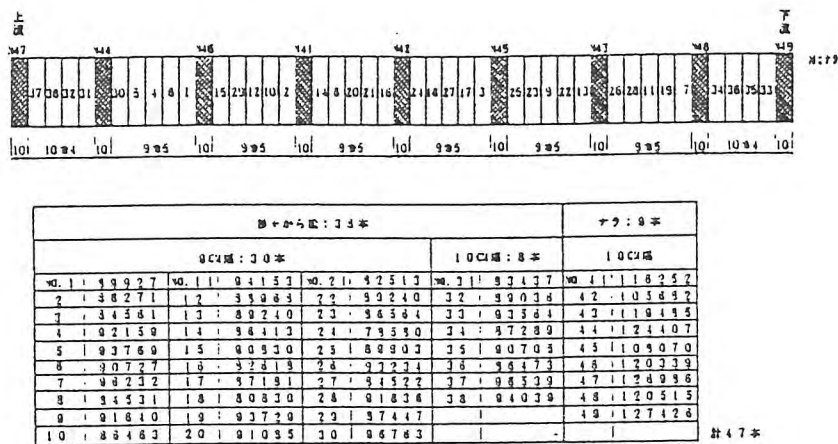
桁の架設は、10月4・5日の2日間で一応完成しました。

以下、順に報告すると次のようになります。

① 桁の配置について

集成材は49枚あるが同一産地、同一樹種であっても1つ1つ強度が違います。そこで両側に取り付ける化粧版を取った残り47枚のヤング率を全部測定し、ヤング率の高い順序に外側からユニック車で配置しました。(図-4) 理由は左右対象に配列したものであります。

図-4 主桁配置図



② プレストレッシング (緊張) について

49枚の集成材を1つの版にするため7ヶ所でP C鋼棒で締め付けて、集成材と集成材の摩擦力を利用するのが本橋の特長であります。そのための締め付け作業をプレストレッシングという。

プレストレッシングの方法は、秋田大学で1/2モデルを作成し、その実験結果から決定しましたが表-5の通りであります。

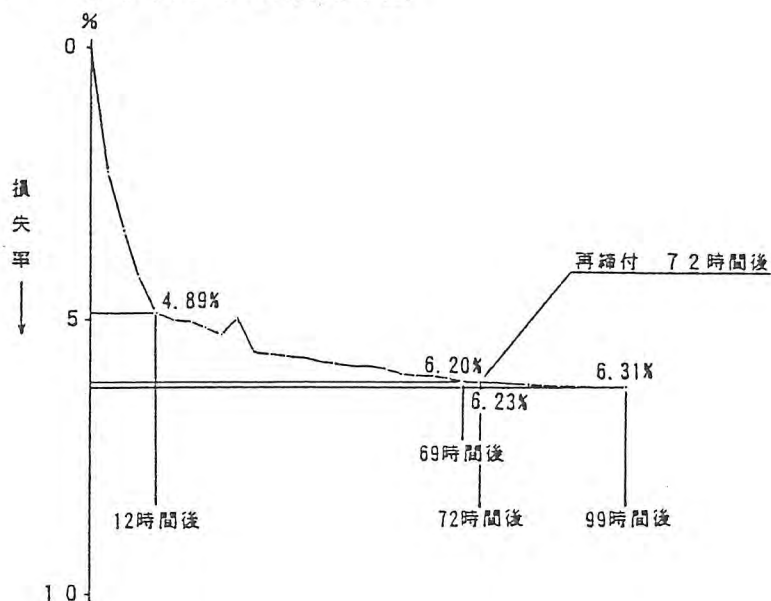
表-5 プレストレッシング計画表

日 数	月 日	曜日	1 回 目		2 回 目 (30分後)		3 回 目 (30分後)	
			張 (mm)	張 力 (tf)	張 (mm)	張 力 (tf)	張 (mm)	張 力 (tf)
初 日	10月4日	月		5.0		10.0		16.0
3日後	10月7日	木	2	16.0	2	17.0	2	18.5
42日後	11月15日	月		16.0		17.0		18.5

プレストレッシングは、木床版橋の端部から始め順に隣のP C鋼棒を締め付け、3回に分けて実行しました。3回に分けて緊張する理由は、実験結果から初め端部No.1の鋼棒から順にNo.7まで緊張した場合、No.1の鋼棒はすでに緊張力の損失が出ており、理想は設計で5tfを必要とするときでも何回も緊張を繰り返す必要があることと、時間をかけてなじみをよくすることも必要だからである。

3日後に再び緊張する理由は、これも実験結果からであるが、その結果は図-5の通りです。

図-5 プレストレス損失率図



この図は7本の中央部、NO.4の鋼棒のデータであり、5tfの緊張したときのもので、縦軸には損失率、横軸に時間経過をとり数値をプロットしたものである。

この図から分かるように、損失率は緊張後最初の12時間で約5%と急勾配で低下し、69時間まではゆっくりとした勾配、それ以降はさらにゆるやかな勾配になっている。

つまり69時間内で損失の大部分が表れているので、72時間すなわち3日間放置するのがよい結果になります。またこの時、緊張するときには、必要強度の18.5tf必要とするが、これも3回に分け、16tf、17tf、18.5tfと時間をかけて実行しました。

表-5のように16tfを緊張したとき、15tfでボルトが緩み、16tfで平均で約2m/mの差が出ており、17tfの場合は、16tfで緩みだしその差が平均して2m/mの移動、最終の18.5tfでも約2m/m移動しています。

設計の鋼棒のプレスト力は15.6tあればよいが、損失分を見込みP C鋼棒19m/mは丸棒A種1号を使用しており、緊張強さの70%であれば18.9tfであるので、安全をみて18.5tfとしたものです。

42日後の緊張の理由はカナダのオンタリオ州の基準が35～63日後となっているのでこれを参考にしたものです。緊張はそれぞれ16tf, 17tfでネジの緩みがない場合18.5t 1回で終了する場合があります, 結局1～3回緊張することになります。

③ 桁の架設について

ナラ桁1本は168kg/本であり, スギとカラマツは約103kg/本であるが, 表-1のようにクレオソート注入した場合, 重量は43%アップとなっており, これで計算すれば4.4mの桁の重量は約6.8t, 盤台のH型鋼(300×300×10×15)8m分2基で1.5t, 計8.3tある。盤台と架設の条件などから25tのクレーン車とした。

桁の緊張終了後, ただちに橋台にあらかじめあけていた穴に急結材無収縮モルタルを入れ, 盤台のH桁ごとつり上げ所定の位置に設置し, 1回の作業が終了しました。

④ 舗装について

以前に架設した大断面集成材橋においては, 雇実上に亀裂が生じている。

その条件とは全く違うが, 安全のため, 今回はRCシートを使用しました。

始めにシビルスターを塗布し, 乾燥後亀裂防止専用のRCシートを敷くものであります。基層には粗粒度アスコン20, 表層には細粒度ギャップアスコン13Fを使用しました。亀裂の面では, 今後も経過を観察して行きたい。

⑤ 実験について

今回は秋田大学のほかに岩手大学, 日本大学のスタッフが各種実験をしております。特に驚いたのは, 日本でも数台よりない振動機械での実験ですが, 川のせせらぎの音でもプレストレス木床版が振動しているとのこと。現場でもかたずをのんで見守っていました。

私どもの関係では必要強度は載荷実験で立証されましたが, PC鋼棒に歪みゲージを添付しており, その測定は1か年続けます。