

114 年間供用された旧大谷川トラス橋の実態と復元*

States and Restoration of Railway Truss Bridge of 114 years in age

田中 宏昌¹ ・ 関 雅樹² ・ 阿部 英彦³
野辺 武⁴ ・ 稲葉 紀昭⁵

By Hiromasa Tanaka, Masaki Seki, Hidehiko Abe
Takesi Nobe, Noriaki Inaba

The paper deals with the pin-connected railway truss bridges, which were used for as long as 114 years across Daiyagawa River. The authors present their brief history, structural features, and deterioration of structural parts which was caused by such a long service, especially wearing of pins and holes in eye bars. Also the restoration works for preservation is described.

1. まえがき

東武鉄道(株)鬼怒川線の大谷川橋梁は径間 30.48m (100 フィート)のプレートガーダー10 連から成る。これらの内、下今市方 2 連の部分には 1996 (平成 8) 年 3 月まで、同径間の 100 フィートプラットトラス 2 連が架かっていたが、老朽化のため架替えられた。大谷川橋梁前後のカーブがきつく、運転速度も制限されており、安全上の緊急性は無かったが、維持、管理上、架替えた方が有利であると判断されたためである。

これらのトラス橋は次章で述べるように 114 年間、鉄道橋として供用されてきた。供用期間として最古の鉄道橋であり、今後の保守の観点からも大変貴重な存在であることから、1999 (平成 11) 年 3 月に、東海旅客鉄道(株)は東武鉄道(株)より一連を譲り受け、(株)東京鐵骨橋梁の取手工場に保管されていた部材を東海旅客鉄道(株)三島研修センターに移設・復元(写真-1)した。

本論文は同橋梁の構造上の特徴、その変状および補修履歴、特にトラス格点におけるピンおよびアイバーピン孔の摩耗状況とその復元工事などについて考察を加えて報告する。

2. 旧大谷川トラス橋の由来

旧大谷川トラス橋のルーツについては、中川の指摘に始まり、小西、奈良、河野らの調査、研究^{1)、2)、3)、4)、5)}があるが、1881 (明治 14) 年にアメリカより輸入され、北海道・幌内鉄道(1882 (明治 15) 年開通・現函館本線)で使用されたアメリカ式としては我が国初のトラス橋である事がほぼ確定された。その証拠となる象徴は橋門構上に取付けられた紋章(写真-9 参照)が、

郁春別川橋梁を撮影した当時の写真の紋章と同じ点にある⁵⁾。

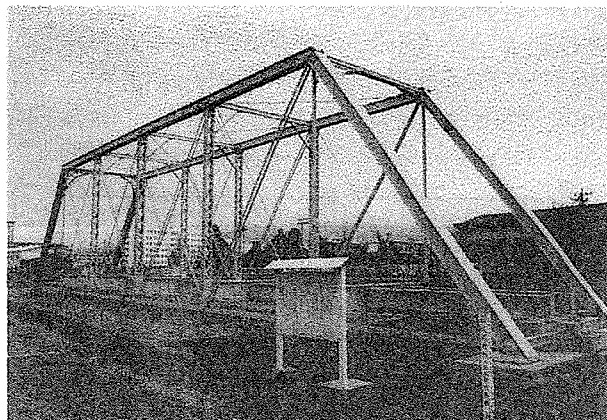


写真-1 復元された旧大谷川トラス橋

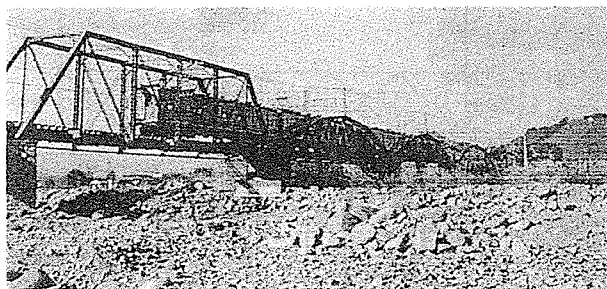


写真-2 1961 (昭和 36) 年頃の大谷川橋梁
(元東武浅草駅長、花上嘉成氏撮影)

*keyword : 旧大谷川トラス橋、旧大谷川の復元、ピンの摩耗

1.正会員 東海旅客株式会社 代表取締役 副社長

2.正会員 東海旅客株式会社 新幹線鉄道事業本部 施設部長

3.正会員 工博 足利工業大学 土木工学科教授

4.正会員 東武鉄道株式会社 取締役 建設部長

5.正会員 工博 (株)東京鐵骨橋梁 常務取締役 技術本部長 (〒108-0023 東京都港区芝浦 4 丁目 18 番 32 号)

幌内鉄道には、100 フィートのトラス橋が下幌向川橋梁と幾春別川橋梁に一連づつあり、約 34 年間使用した後、1917 (大正 6) 年撤去され、1919 (大正 8) 年に、現在の東武鉄道 (株) 鬼怒川線 (当時は下野軌道株式会社が運営) 大谷川鉄橋 2 連として転用された。その後、1996 (平成 8) 年、老朽化のため撤去され約 114 年間にわたる役目を終えた。なお現在の大谷川橋の内、大谷向方 8 連のプレートガーダーにも 1965 (昭和 40) 年まではトラス橋が架かっていたが、それらはドイツから輸入されたボーストリング形式のトラスであり、九州の鉄道から移設されたものであったが、強度不足のために架け替えられている⁶⁾ (写真-2)。

1917 (大正 6) 年に営業を開始した下野軌道は、当初現大谷向駅を起点としていたが、大谷川橋梁の架設により、現 JR 日光線今市駅に隣接して新今市駅を設け、その連絡の便を図った。その後、東武系列の翼下に入った下野電気鉄道は 1929 (昭和 4) 年に新今市駅を東武下今市駅近くの小倉臨時停車場に移設しその接続をはかった。さらに 1,067mm に改軌して、東武との直通運転を開始した⁷⁾。

3. 設計と構造上の特徴

(1) 橋梁の概要 (図-1)

この橋梁は 錬鉄製下路単純プラットトラス (ピン結合) 形式の直橋である。支間長 100ft(30,480mm)、主構中心間隔 15ft2in(4,623mm)、主構のパネルは 6@16ft8in(5,080mm)である。トラス橋は幌内鉄道および東武鉄道では狭軌軌道 3ft6in(1,067mm)単線用であったが、東武鉄道の前身である下野軌道の時代には軌間 2ft6in (762mm) で使用されていた⁷⁾。

(2) 仕様—活荷重・材料・構造⁸⁾

幌内鉄道の郁春別川橋梁他を購入するために、顧問技師クロフォード (J.Crawford) とコフロッド・アンド・セイラー (Cofrode and Saylor) との間に交わされた契約書によればその仕様・諸元は表-1 の通りである。なお材質は錬鉄であることが金属ミクロ写真、化学分析、機械的性質に関する試験およびグラインダーによる火花試験により判明している⁹⁾。

(3) 活荷重⁵⁾

注目すべきことは、初期の幌内鉄道が義経号等の軸配置 1-C 型で動輪上荷重 13.9 トンしかないのに、この橋梁の設計には非常に大きな活荷重を採用していることである。このために幌内鉄道を引き継いだ北海道炭坑鉄道が 1893(明治 26)年に動輪上荷重 36.8 トンの D 型機関車を導入してもこの橋は架替えられることなく使用された。

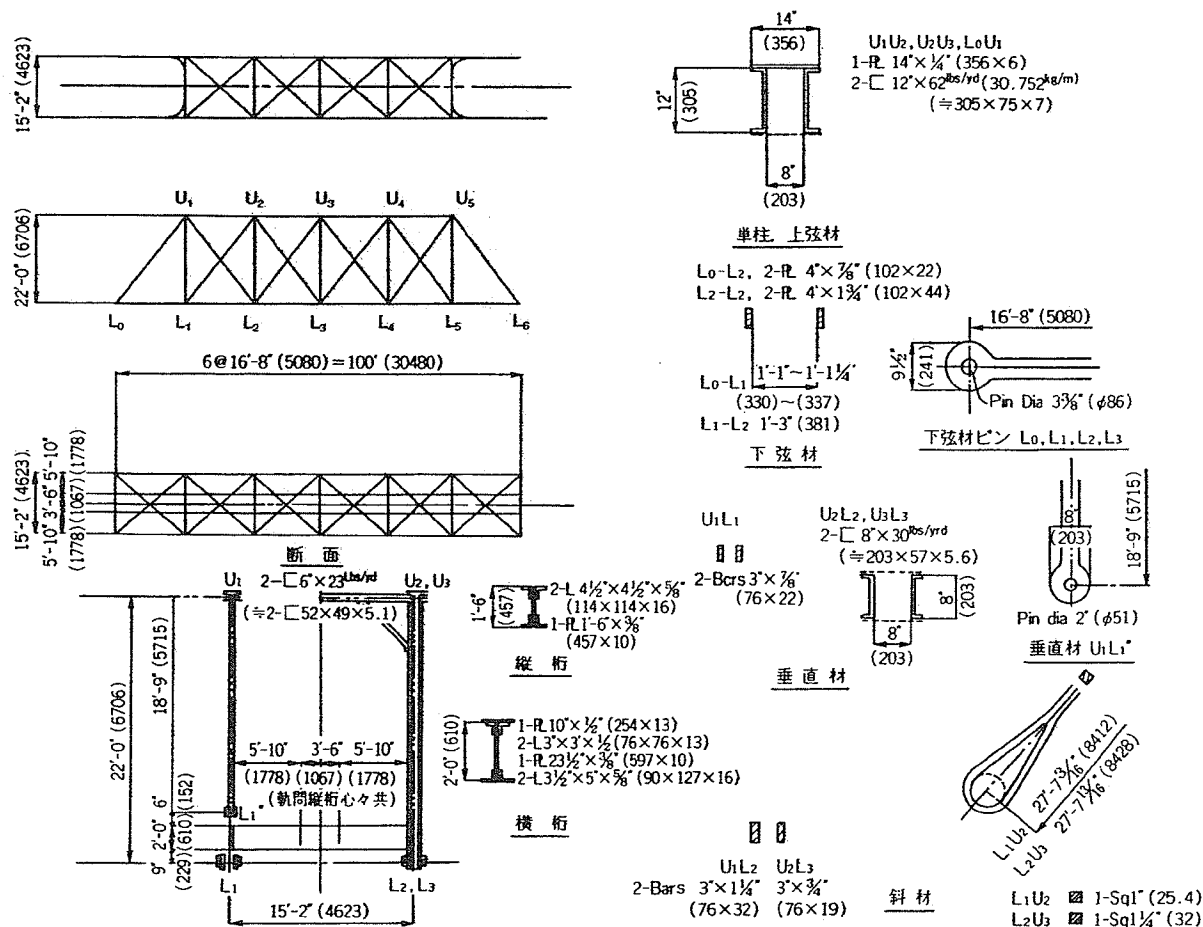


図-1 旧大谷川一般図³⁾

表-1 幌内鉄道 100ft プラットトラスの契約内容

設計活荷重	主構		3,000lbs/ft の等分布荷重 (4,464kg/m)
	床組と吊材		軸距 14ft、動輪上荷重 40t のコンソリ デーション (軸配置 1-D-0) 型機関車
材料	許容応力	引張材	10,000lbs/in ² (703kgf/cm ²)
		圧縮材	80,00lbs/in ² (562kgf/cm ²)
		ピン、リベット (せん断応力)	7,500lbs/in ² (527kgf/cm ²)
	耐力	主引張材	50,000lbs/in ² (3,515kgf/cm ²)
		それ以外	46,000lbs/in ² (3,234kgf/cm ²)
	弾性限界	主引張材	25,000lbs/in ² (1,758kgf/cm ²)
		それ以外	23,000lbs/in ² (1,617kgf/cm ²)
構造	限界	左右	14ft(4,267mm)
		上下	レール面上 18ft(5,486mm)
	横桁	リベット構造、格点にのる	
	縦桁	木製、6本、横桁にのる	
価格	\$ 2,915／一連		

(4) 構造の特徴

アメリカ式トラスの代表であり、ピン連結されたクーパー・シュナイダー型 (CS型と略称) と比べて下記のような特徴がある。

- ① 主構上弦材と門構は2溝型材とカバープレートからなるπ型断面をレーシングしているが、幅がCS型に比べ狭い。
- ② 2-溝型材をレーシングした中間垂直材の上端は、上弦材を構成する2つの溝型材の下フランジに連結山形材により僅か2本のリベットで各々 (計4本) 連結されている (写真-7 参照)。下弦材とはピン連結されている。したがって上弦材の U2、U3、U4 のピンは斜材および副斜材取付け用にある。CS型の垂直材は上弦材の溝型材相互の幅を拡げて、上弦材のピンに直接連結している。
- ③ 端部垂直材 U1-M1、U5-M5 は二枚の平板のアイバーからなり両端はピン連結されている。また吊材 M1-L1、M5-L5 は幅の広い一枚の平板のアイバーからなり、上端は M1、M5 吊りピン、下端は L1、L5 ピンに連結している。この広幅の平板には、横桁を連結する12本のボルト (写真-3) が取付けられている。CS型の端部垂直材では吊りピンが無く、中間垂直材と同じ構造にしている。
- ④ 上弦材と門構の接合は、溝型材およびその腹板に取付けた補強板同士の面タッチによる圧縮力により作用力を伝達する構造 (写真-4) としているため、溝型材のカバープレート上の板のみでリベット接合している。ピンは上弦材および門構の溝型材腹板中央に明けた半円孔にセットされ、端部垂直材および斜材を連結している。CS型では上弦材と門構をピン部付近で確実に添接して一体化している。
- ⑤ 斜材は2枚の平板のアイバーとターンバックル締め角棒副斜材とを交差させて、それぞれが格点でピン結合されている。角棒副斜材のアイバーのピン孔は上、

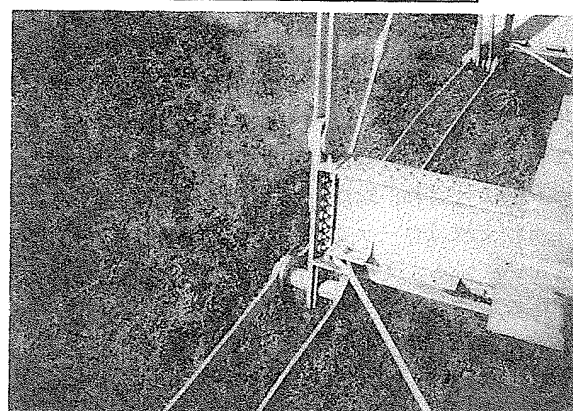


写真-3 吊り材と横桁と連結する 12 本のボルト

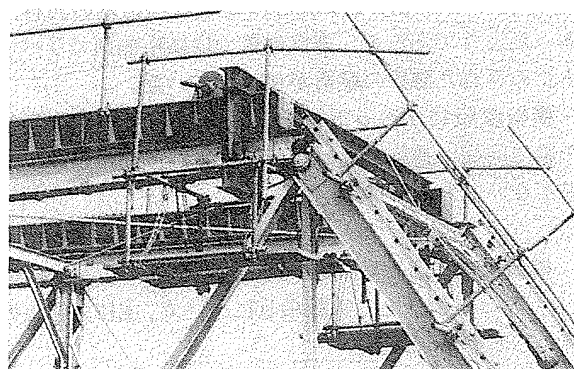


写真-4 門構と上弦材の接合箇所 (解体中)

下横構の場合と同様の独特な形状をしている。CS型では副斜材にもターンバックル付きの平板を使用している。

- ⑥ 上、下横構はターンバックル付きの丸棒で、ピンボルトで連結された珍しい構造 (写真-11 参照) である。ピンボルトは上横構はピン先端に一体加工した羽子板に、また下横構は横桁端部の下フランジに取付けられている。CS型ではガセットプレートを用いて堅固にリベット締めされている。

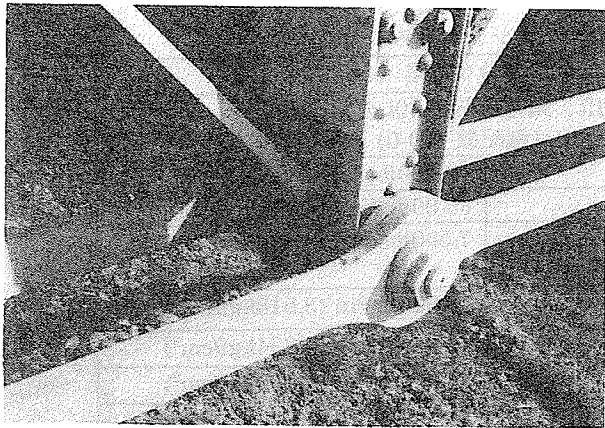


写真-5 横桁と中間垂直材を連結する4本のボルト（写真には2本）

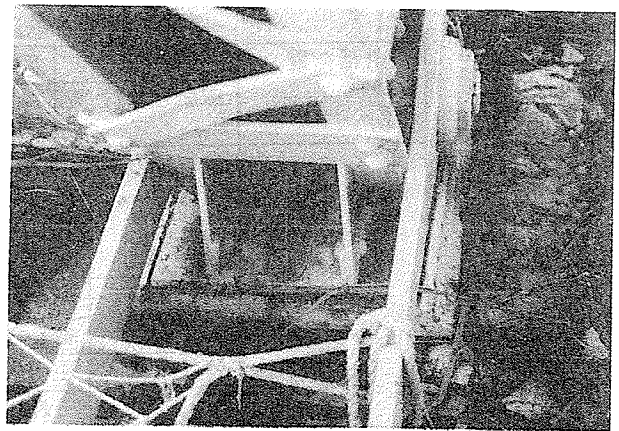


写真-6 固定支承と底板の割れ

- ⑦ 中間横桁は僅か4本のボルトで中間垂直材に取付ける（写真-5 参照）とともに、下フランジ端部を溝型材にピンを介して取付けられた折曲板で支持している。また端横桁はなく、端縦桁を直接ベースプレートを通じて橋台に載せ、可動側はスロット、固定側は丸孔を明けて一本の縦桁に2本ずつのアンカーボルトでとめている。C S型の横桁は垂直材または門構に堅固にリベット接合され、端横桁がある。
- ⑧ 可動支承はローラ支承（直径51mmのローラ8本）を用いている。支承には回転を許すべきピンがなく、主構の端柱が直接支承に乗っている。支承にはアンカーボルトが無い（写真-6）。また支承の下には鉛板を敷き、石造シュー座上面とのなじみを図っている。C S型では回転をとるため下弦材用のピンを兼用し、アンカーボルトを設けている。
- ⑨ 桁は当初の契約では横桁に載せられた木の角材であったようであるが、東武鉄道では横桁側面でリベット止めされた錬鉄の縦桁が使われていた。
- ⑩ 横桁腹版にリベット接合された縦桁用連結山形材の脇に同様の連結山形材が存在するが、使用された形跡がない（写真-10 参照）。

(5) 構造に対する考察

(4)で述べた構造上の特徴項目について、主に力学上の観点から考察を加える。

- ②について 中間垂直材には圧縮力のみ作用するため、圧縮に強い構成にし、その上端部は直接上弦材にリベット接合する構造にしたものと考えられる。
- ③について 端垂直材では引張力のみ作用するため、平板のアイバーにして上弦材のピンに連結したと推定できる。またその途中で吊りピンを設け二枚の平板を一枚の広幅の平板に変えたのは、横桁の取付けにあたり、二枚の平板では局部曲げによる力に追随しづらく、幅も不足するための処置であると考えられる。
- ④について 圧縮材同士の添接は座屈が無ければ、主に部材の面タッチで抵抗させても良いとの考え方があったと推定される。

⑥について ガセットプレートの使用が一般的でなかったものと推定される。

⑦について 4本のボルトは横桁位置のずれ止め程度に考え、本来の横桁受けは折曲板に期待したものと推定される。

⑧について 地震の影響や列車による始動、制動荷重は考慮されていなかったものと推定される。

⑩について 余分な連結山形材の存在は角材の縦桁を錬鉄の縦桁に交換するときに、スタンダードゲージ4ft8 1/2in (1435mm) に合わせた位置に設置したためと推定される。

以上の考察は推定の域を出ず、今後、当時のアメリカにおけるこの様なトラスの設計の考え方について、さらに調査、研究が必要である。なお参考までに旧大谷川橋梁とはほぼ同時期に輸入された英国系のダブルワーレントラスおよびドイツ系のボストリングトラスについて、表-2に主要な構造上の特徴の比較を示す¹⁰⁾。

(6) 供用中の変状と補修履歴

補修は以前から変状発生度に頻々に行われていたと推定できるが、その詳細は不明である。表-3に記録に残る主なものを掲げる。

a) 1963(昭和38)年の健全度調査¹¹⁾ 試験電車により応力、振動、たわみ等を測定した。主な結果は次の通りである。

- ① たわみ形は計算結果に近い。
- ② 電車通過後は完全に原形に復する。
- ③ 電車通過時各部の浮き上がりもあるが、その量は微少である。
- ④ 横方向の変位は微少である。

以降の保守管理は『建造物保守管理の標準・同解説（鋼構造物）』（鉄道総合技術研究所 昭和62年9月21日）を参考にして行われた。

b) 主な変状と補修

晩期における主な変状と補修箇所を以下に示す。

- ① 上弦材ピンのナットが脱落したので、交換した。（写真-7）
- ② 上弦材の中間垂直材取付け用の連結ボルトが緩み、度々交換したが、すべての個所で緩み最大5mm程の

表-2 トラスの構造比較^{2,3)}

	大谷川橋梁	英国系トラス	ドイツ系
架設年	1882 年	1876 年	1890 年
構造形式	平行弦プラットトラス	平行弦ワーレントラス	曲弦ボーストリングトラス
支間長	100' (30,480mm)	99' (30,175mm)	31,850mm
主構間隔	15'-2" (4,623mm)	17'-2" (5,232mm)	4,400mm
主構高さ	22' (6,706mm)	9' (2,743mm)	4,550mm
格間数	6 パネル	9 パネル	10 パネル
端柱・上弦材	π 型断面、端格点でメタルタッチ	π 型断面 端柱・下弦材と一体	II 型断面 上下面でレーシング、格点でメタルタッチ
下弦材	2 枚の平板 アイバー連結	π 型断面 上弦材と一体	2 (4) 枚の平板 アイバー連結
腹材	斜材は 2 枚の平板と角棒 端垂直材は 2 枚の平板、中間はレーシングされた [] 型	引張材は平板 圧縮材はレーシング、弦材とはアイバー連結	斜材は II 型断面 上下面でレーシング、垂直材は I 型 何れも両端にピンプレート を銲結、弦材とはピン結合
横桁	垂直材にボルト止め、下に受け有り	格間に 2 本づつ、下弦材の上に載せる。魚腹型	垂直材と下弦材に連結
縦桁	当初は木縦桁 横桁側面に桁を銲結	当初は縦枕木 双頭レール H 型縦桁を横桁に載せる	横桁側面に桁を銲結
横構	丸棒アイバーをピンボルトで主構と連結	無し	下横構は丸棒、両端でネジ止め
対傾構	簡単なニーブレス	無し	
支承	ローラー支承	平面支承	ロッカー支承

表-3 調査と補修の記録

時点	作業内容
1963(昭和 38)年	健全度調査
年月不詳	橋側歩道設置、張板
1991(平成 3)年	強度計算
1992(平成 4)年	耐震装置取り付け
1993(平成 5)年	実電車荷重で強度計算
1994(平成 6)年 6 月	小修理 (弛緩したリベット、ボルトの取り替え、変状直し)

隙間を生じ、列車通過のたびにイキをしていた。

(写真-7 参照)

- ③ 下弦材では特に下今市方トラスは曲がり、ガタが多い (写真-8)。
- ④ 副斜材が緩み列車通過のたびに振動していた。全体への影響を考慮して締め直しなどをしていない。
- ⑤ 吊り材および中間垂直材と横桁の取付け部のボルトが緩み、度々取り替えられている (写真-3、写真-4 参照)。
- ⑥ 門構の支材部リベットが緩み、ボルトに交換されていたが、そのボルトも常時締め直し、または取替えていた (写真-9)。
- ⑦ 横桁の縦桁取り付け用リベットの約 1/3 が緩み、列車通過のたびに上下に振動していたため、一部ボルトに取り替えた (写真-10)。
- ⑧ 下横構の取付け部にガタ多く、一部には亀裂があった (写真-11)。
- ⑨ 上横構取り付け部のピンボルトのナットが脱落し、ワイヤーで止めている (写真-12)。
- ⑩ 下今市方トラスの下弦材に自動車の衝突による横曲りがある。平成 4 年夏以降に発見された。
- ⑪ 大谷向方トラスの固定支承底板上に割れが生じた。撤



写真-7 上弦材と中間垂直材の取付けおよびピンのナット脱落

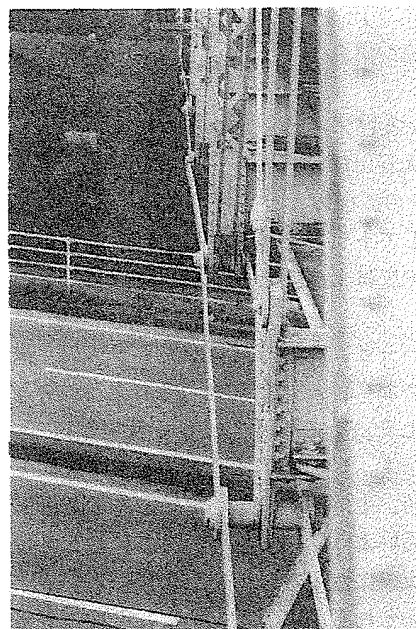


写真-8 下弦材の曲り

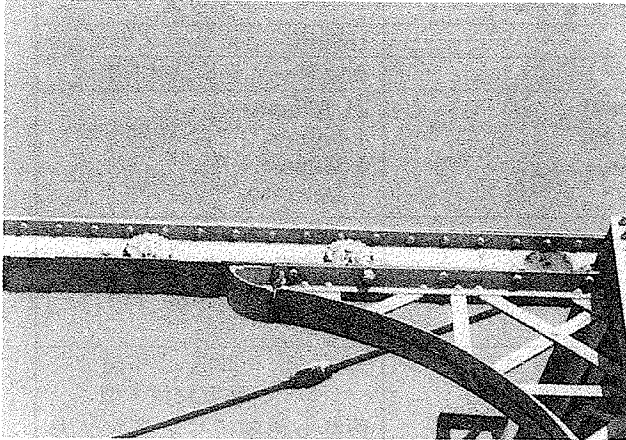


写真-9 橋門構の紋章と取り付け用ボルトの脱落および支材取り付け用リベットのボルトへの交換

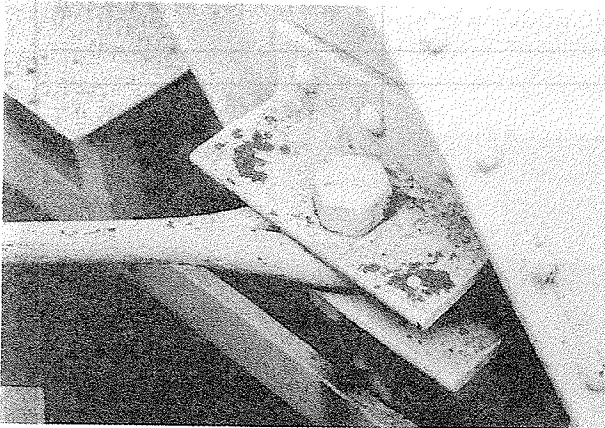


写真-11 下横構の取り付け部

去時まで補修しなかった（写真-6 参照）。

- ⑩ 下今市方トラスの下今市方橋門構にある紋章取り付けボルトが腐食し、脱落した。（写真-9 参照）

4. 復元に先立つ調査

(1) 摩耗状況

a) 格点部ピン及びアイバーピン孔の摩耗状況

図-2 に旧大谷川橋梁の各ピンの格点番号、アイバーの部材名、ピンの直径および縦桁、横桁の部材名を示す。ここでは主としてトラス上流側主構を対象に述べる。下流側主構については上流側との主な相違点についてのみ言及する。

ピン、アイバーピン孔の摩耗量は、トラス両主構について、ノギスにより図-3(1)、(2)、(3)のように各4断面について測定した。その纏めた結果を表-4(1)、4(2)および表-5 に示す。ピン、アイバー、ロッド等の主要な部材には撤去時、主構面、位置、天地方向の取り違えを防ぎ、復元し易いように、組立マークを付けたので、測定値は、ほぼ実際に使用されていた状態に近い値が得られていると考えられる。またピン、ピン孔の摩耗量の算出にあたっての摩耗量ゼロは、製作に伴う誤差が無いも

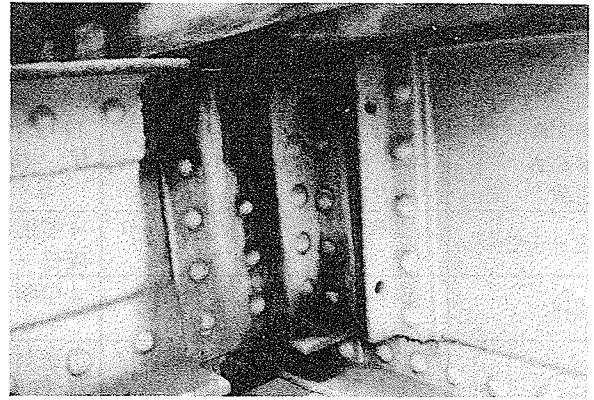


写真-10 横桁と縦桁取り付け部とのリベットの緩みおよび余分な連結山形材

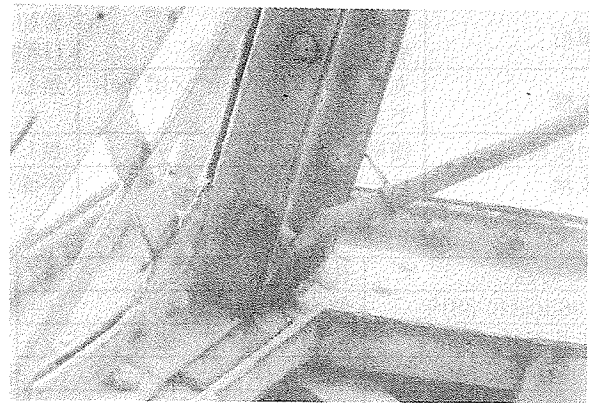


写真-12 上横構取り付け部とピンボルトのナット脱落

のとして、設計図のピン径およびアイバーのピン孔径をそのまま採用した。

上流側主構の摩耗量について次の傾向が読みとれる。ただし数値の単位は全て mm である。

- ① 一組二本の斜材アイバーの上弦材連結部におけるピン（門構の取付く端部 85.7、中央部 73φ）の平均摩耗量は、中央部より門構の取付く端部が大きい（最大差 $1.48 - 0.16 = 1.32$ ）。斜材アイバー連結部全体では 1.16、垂直材アイバーの連結部を含めると 0.76 となる。

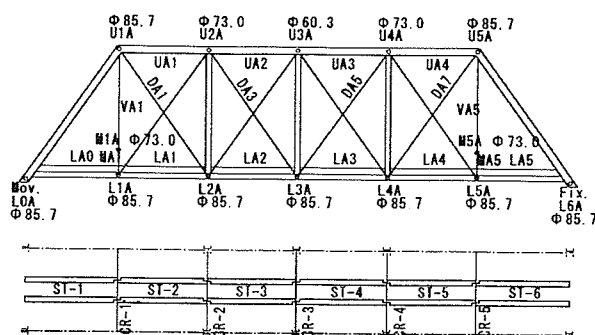
上弦材側の斜材アイバーピン孔の摩耗量はピンの摩耗量より小さく、バラツキが少ない。垂直材アイバーのピン孔を含めた全体平均摩耗量は 0.65 であった。

また上弦材ピンと斜材ピン孔を合計した摩耗量は最大 2.16 で、やはり門構の取り付け端部が大きい。

- ② 一組二本の下弦材アイバーの連結部におけるピン（85.7φ）の平均摩耗量は、L5A が他と比べて大きい（最大 1.78）。下弦材アイバー連結部全体では 1.20、斜材連結部および横桁の取付いた吊り材の連結部を含めると 1.17 で上弦材のピンより全般的に摩耗量が多い。

下弦材アイバーのピン孔の摩耗量はピンの摩耗量より小さく、バラツキが少ない。全体平均摩耗量は 0.43 であった。

また下弦材ピンと下弦材ピン孔を合計した摩耗量は



(注) : 各記号中のAは上流側主構を表す。

図-2 格点ピン番号とピン径および部材名

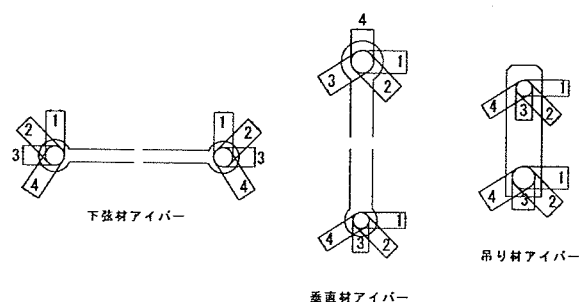


図-3(3) 各種アイバーピン孔の測定断面

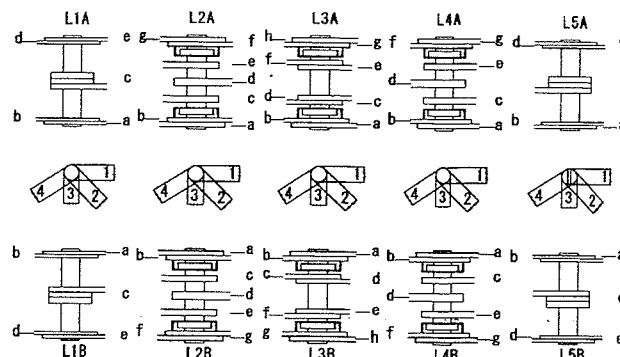


図-3(1) 各種アイバーのピン孔位置と摩耗量の測定断面 (上弦材)

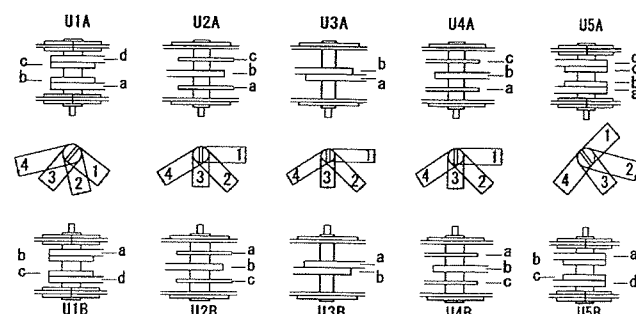


図-3(2) 同上 (下弦材)

表-4(1) 上弦材ピン・連結アイバーピン孔合計摩耗量(上流側主構)

ピン	アイバー	アイバー連結部のピン摩耗量					アイバー上端ピン孔の摩耗量					合計摩耗量
		1	2	3	4	平均摩耗量	1	2	3	4	平均摩耗量	
U1A	DA1	2.30	1.00	1.00	1.60	1.48	0.95	0.40	0.65	0.35	0.59	2.06
	VA1	1.00	0.90	0.90	0.85	0.91	0.95	0.45	0.55	0.30	0.56	1.48
U2A	DA3	0.15	0.20	0.20	0.10	0.16	1.00	0.50	0.70	0.55	0.69	0.85
U4A	DA5	0.25	0.45	0.10	0.40	0.30	0.85	0.70	0.65	0.75	0.74	1.04
U5A	DA7	2.15	1.05	1.00	1.40	1.40	1.20	0.70	0.70	0.45	0.76	2.16
	VA5	0.95	0.95	0.95	0.85	0.92	1.15	0.50	0.35	0.35	0.59	1.51
	DA平均	1.21	0.68	0.58	0.88	0.83	1.00	0.57	0.67	0.52	0.69	1.53
	VA平均	1.58	0.98	0.95	1.13	1.16	1.05	0.48	0.45	0.32	0.57	1.73
	全体平均摩耗量	1.13	0.76	0.69	0.87	0.86	1.02	0.54	0.60	0.46	0.65	1.42

(注) : (1)垂直材VA・斜材DAの摩耗量は一組二本あるVADAの平均値である。

(2)ピンUXAの摩耗量は一組二本あるVADA連結部の平均値である。

(3)斜材ロッドの摩耗量は測定不可能に付き記載していない。

表-4(2) 下弦材ピン・連結アイバーピン孔合計摩耗量(上流側主構)

ピン	アイバー	アイバー連結部のピン摩耗量					下弦材アイバーまたは斜材アイバー下端ピン孔の摩耗量					合計摩耗量
		1	2	3	4	平均摩耗量	1	2	3	4	平均摩耗量	
L1A	LA1(左)	0.75	0.95	1.05	0.85	0.90	0.75	0.05	0.35	0.40	0.39	1.29
	LA0(右)	1.05	1.10	1.05	1.05	1.06	0.85	0.25	0.10	0.25	0.36	1.43
	MA1	0.90	0.80	0.90	1.00	0.90	0.30	0.40	0.20	0.30	0.30	1.20
L2A	LA1(右)	0.95	1.05	1.00	1.15	1.04	0.55	0.15	0.40	0.35	0.36	1.40
	LA2(左)	1.00	1.05	1.05	1.05	1.04	0.70	0.35	0.20	0.25	0.38	1.41
	DA1	1.00	1.15	1.05	1.05	1.06	1.15	0.30	0.35	0.50	0.57	1.64
L3A	LA3(左)	1.15	1.00	1.00	1.00	1.04	0.45	2.15	0.25	0.25	0.77	1.81
	LA2(右)	1.00	1.05	1.00	1.00	1.01	0.50	0.25	0.30	0.45	0.37	1.39
	DA3	0.95	1.05	1.00	1.05	1.01	1.00	0.40	0.45	0.30	0.54	1.55
	DA5	1.00	1.00	1.00	1.10	1.03	1.00	0.55	0.35	0.30	0.55	1.58
L4A	LA3(右)	1.30	1.10	1.25	1.40	1.26	0.60	0.50	0.30	0.40	0.45	1.71
	LA4(左)	1.20	1.00	1.10	1.25	1.14	0.50	0.25	0.50	0.25	0.37	1.51
	DA7	1.15	1.00	1.10	1.35	1.15	0.90	0.30	0.40	0.40	0.50	1.65
L5A	LA5(左)	2.10	1.80	1.75	1.45	1.78	0.50	0.35	0.25	0.35	0.36	2.14
	LA4(右)	1.80	1.70	1.70	1.60	1.70	0.65	0.25	0.25	0.20	0.34	2.04
	MA5	83.90	84.00	84.00	84.20	1.68	86.10	86.00	86.20	86.00	0.38	2.05
	LA平均	1.23	1.18	1.20	1.18	1.20	0.61	0.45	0.29	0.31	0.42	1.62
	DA平均	1.03	1.05	1.04	1.14	1.06	1.01	0.39	0.39	0.37	0.54	1.60
	全体平均摩耗量	1.19	1.16	1.17	1.18	1.17	0.67	0.42	0.32	0.33	0.45	1.63

(注) : (1)下弦材LAXの(左)(右)とはアイバー-LAX部材の左右にあるピン孔を示す。

(2)ピンLXAの摩耗量は一組二本あるLADA連結部の平均値または横桁の取付いた一本の吊り材MAXの値である。

(3)斜材ロッドの摩耗量は測定不可能に付き記載していない。またピンLOAは測定していない。

(4)全体平均摩耗量とはピンLXAに連結された全部材に関して集計して求めた値である。

最大 2.14 で、L5A が最も大きい。

- ③ 測定断面位置による違いは、ピンではあまり見られないが、ピン孔では常にアイバーの軸方向が大きく、他の方向に比べ全体平均で最大 0.56 の差がある。
- ④ 下流側主構の摩耗量では、一組二本の下弦材アイバー連結部におけるピンの平均摩耗量が、上流側よりバラツキが少なく最大差でも $1.30-0.84=0.46$ に過ぎなかったが、①～③で述べた他の傾向はほぼ同じ傾向にあった。

表-5 は上流側主構の上・下弦材ピンおよび斜材アイバーまたは吊材アイバー・垂直アイバーの上・下端ピン孔等、同じ軸方向における摩耗量を合計して求めた総摩耗量を示す。特に垂直材アイバーのある L1～U1、L5～U5 については上記の値の他に垂直材アイバーとを連結する吊りピンの摩耗量が加算される。これらの表から次のような傾向が読みとれる。

- ① 垂直材アイバーのある L1～U1、L5～U5 では、横桁が取り付けいた吊材アイバーの吊ピンの摩耗量 (2.53) が大きく影響して、総摩耗量は最大 10.06、最小 6.24 になった。
- ② 斜材に関連した総摩耗量の平均値は 3.13 で、上・下弦材ピンの摩耗量の影響が大きい。
- ③ 下流側における総摩耗量の傾向は上流側とほぼ同じである。

以上の結果を総合すれば、次のように考察出来る。

- ① ピンの摩耗量はアイバーピン孔の摩耗量よりも大きい。
- ② ピンの摩耗量では下弦材ピンが上弦材ピンより若干大きい。

- ③ アイバーピン孔の摩耗量はピンの摩耗量に比べて小さくバラツキも少ない。測定断面位置による違いは、常に軸力の作用する部材軸方向が大きい。
- ④ 横桁が取り付けいている吊材の吊ピン摩耗量が最も大きい。やはり列車荷重および衝撃荷重が横桁を介して直接ピンに作用するためと考えられる。
- ⑤ ピンおよびアイバーを加算した総摩耗量は垂直材、吊材の取付く部材が最も大きい。

b) 摩耗量に対する二、三の考察

a)の測定結果の傾向について下記の事柄が考察された。

- ① 表-6 に東武鉄道の標準活荷重である KS-12 による各部材の軸力を表す。上記の摩耗量を部材軸力の多少との関連で見ると、活荷重および衝撃荷重による引張り応力の大きな DA1、DA7 斜材（下流側主構では DB1、DB7 斜材）のピンとアイバーピン孔による合計摩耗量は 1.64、1.65mm（下流側では 1.75、1.33 であった）で同じピンおよびピン孔径を有する下弦材の合計摩耗量と比べて大きな差が無く、軸力との相関は余り見られなかった。摩耗量に直接関連するピンとピン孔における支圧力の不均衡等による偏心曲げ、自重による曲げ、振動さらに副斜材のダブルワーレン構的な作用などが、複雑に影響したためと考えられる。なお東武鉄道時代の列車荷重はおもに電車であり、KS-9 程度に相当し、部材軸力は表-6 に示した値の約 3/4 程度に減少する。
- ② クーパー・シュナイダー型を対象にした西村の研究において、測定または推定されたピンおよびピン孔の摩耗量¹²⁾は今回測定した値より大きい。中間垂直材が

表-5 ピンおよび垂直材または斜材アイバーピン孔の総摩耗量(上流側主構)

総摩耗量 関連部材	アイバー	LXAピン 平均摩耗量	MAXアイバー 下端ピン孔	MAXアイバー 上端ピン孔	MXA吊り ピン	VAX垂直材またはDAX斜材平均摩耗量		UXB平均 摩耗量	総摩耗量
						アイバー下端 ピン孔	アイバー上端 ピン孔		
L1A～U1A	MA1,VA1	0.90	0.30	0.83	2.53	0.56	0.56	0.56	6.24
L2A～U1A	DA1	1.06				0.57	0.59	1.48	3.70
L3A～U2A	DA3	1.01				0.54	0.69	0.16	2.40
L3A～U4A	DA5	1.03				0.55	0.74	0.30	2.61
L4A～U5A	DA7	1.15				0.50	0.76	1.40	3.81
L5A～U5A	MA5,VA5	1.68	0.38	0.63	2.03	0.55	0.59	0.55	6.39
DA平均		1.06				0.54	0.69	0.83	3.13

表-6 標準活荷重による各部材の軸力

部材名		軸力(kN)				実応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)
		死荷重	活荷重	衝撃	合計		
上弦材	U1A-U2A	-166	-403	-148	-717	-72	-98
	U2A-U3A	-187	-439	-161	-787	-79	-98
下弦材	LA0	104	262	96	461	104	96
	LA1	104	262	96	461	104	96
	LA2	166	403	148	717	80	96
	LA3	166	403	148	717	80	96
垂直材	U1A-L1A	55	173	63	291	87	96
	U2A-L2A	-34	-167	-61	-263	-61	-74
端柱	LOA-U1A	-172	-434	-159	-764	-77	-83
斜材	DA1	103	283	104	490	101	96
	DA3	34	167	61	263	91	96

直接上弦材にリベット接合されているなど構造上の相違や発生応力が小さいこと等が影響したものと考えられる。

- ③ アイバーピン孔の摩耗量がピンの摩耗量よりも小さくしかもバラツキが少ないのは、ピンおよびアイバーの鍛造後の加工方法や硬さ等の違いによるものと考えられる。
- ④ M1、M5 吊りピンの摩耗量が大きいののは吊り材が一枚の平板であり、それに直接取り付けられた横桁からの曲げや列車による振動等が大きく影響したためと考えられる。

c) 可動支承板の摩耗

旧大谷川の可動支承は門構の端部に取付けられた支承板とベースプレート間に 8 本のローラーを並べ、個々のローラーを側板枠に明けた円孔に取り付けて一体化を図った構造にしている。

表-7 に図-4 の位置で測定した可動支承板の摩耗量を示す。本来 8 本あるべきローラーが下流側では 6 本に減少していた (写真-13)。無くなった 2 本の位置における摩耗量がほとんど見られないことから、相当初期に逸脱したものと考えられる。また摩耗は支承板側が多く、ベースプレートには中程度の腐食があるものの、支承板側ほどの大きな摩耗は見られなかった。そのローラ部分の摩耗量はバラツキが少なく、最大で 3.43、上、下流側支承板を合わせた平均摩耗量は 3.27 であった。このような大きな摩耗量は腐食も競合して生じた可能性がある。一旦、窪みが生じれば、可動支承としての機能は余り発揮できなかったものと考えられる。

表-7 端柱可動支承上面板の摩耗量

	測点	1	2	3	4	5	6	7	8	測点平均摩耗量
SMA	a	3.3	3.1	3.2	3.4	3.6	3.4	3.1	3.0	3.26
	b	3.6	3.0	3.0	3.3	3.2	3.5	3.2	3.0	3.23
	c	3.0	3.4	3.6	3.4	3.5	3.1	2.8	3.1	3.24
	平均摩耗量	3.3	3.2	3.3	3.4	3.4	3.3	3.0	3.0	3.24
SMB	a	3.3	3.0		3.0	3.2		3.0	3.0	3.08
	b	4.0	3.8		3.4	2.8		3.3	3.3	3.43
	c	3.5	3.5		3.7	3.6		3.0	3.2	3.42
	平均摩耗量	3.6	3.4		3.4	3.2		3.1	3.2	3.31
全体平均摩耗量		3.45	3.30		3.37	3.32		3.07	3.10	3.27

(注): SMA、SMB はそれぞれ上流側、下流側の支承板を表す。

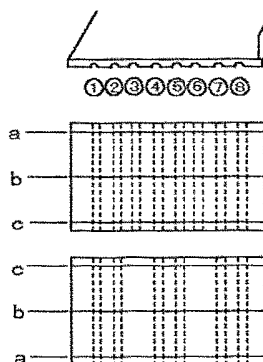


図-4 可動支承板のローラー部窪み測定位置

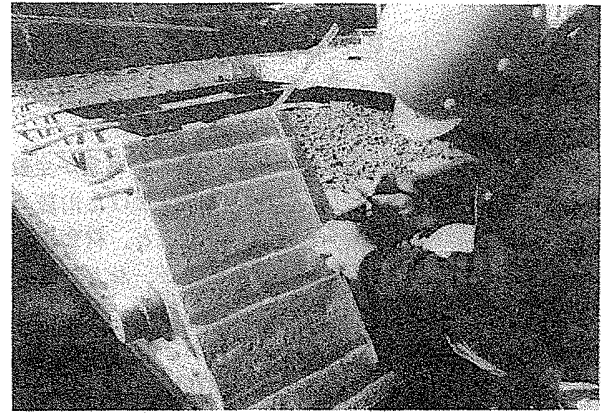


写真-13 可動ローラー支承板の窪み

(2) 変状

組立時に改めて変状箇所を調査した。その結果、写真-14 のように、上、下流側の格点 U1、U5 部において、左右 2 個の溝型材から成る上弦材と門構の面タッチ箇所割れ、または部分的な欠落が生じていた。割れは溝型材の上フランジ部および上フランジに近い腹板縁端を発生点として軸方向に進展している。欠落は溝型材の上フランジ縁端に生じている。本橋梁の上弦材と門構の接合は、簡易な接合板があるものの、基本的に両者の面タッチに期待し圧縮力のみによって作用力を伝達する構造になっている。割れおよび欠落の原因は上弦材と門構がピン連結された垂直材と斜材によって下方に引張られ、溝型材上フランジ相互に圧縮力が偏心して作用し、溝型材上部の内側 R 部下端に大きなせん断力が作用したためと考えられる。ピンの摩耗の進行に従って、増大すると考えられる。しかし、これらの割れおよび欠落は余り進展した様相がなく、機能への不都合は見られなかった。

また旧大谷川の支承部ベースプレート下面には、石造り橋脚上面との馴染みを良くして、桁からの反力を均等化し、列車衝撃荷重を緩和する目的のため、厚さ 12.7mm の鉛板が挿入されていたが、原形を留め無い程に塑性化し、ベースプレートからはみ出していた。

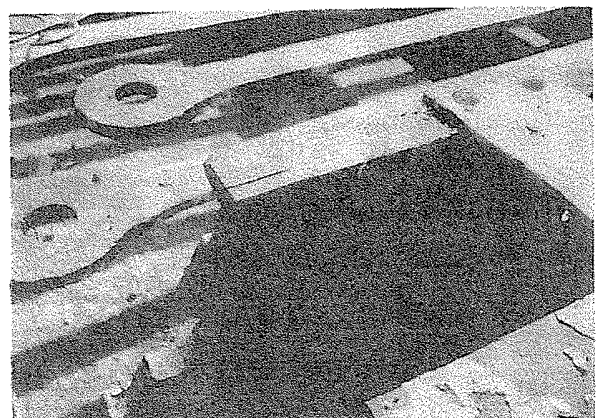


写真-14 U1 部上弦材の溝型材フランジの割れ

(3) 腐食

復元に先立ち腐食の状況を軽・中・重度に区分し、目視により調査した。表-8 に主要な部材の腐食状況を示す。次に主な特徴を述べる。

- ① 114 年間もの長期使用に拘わらず、腐食が全般的に少ない（写真-15）。大谷川地点が開けた山麓の清浄な空気など良好な環境に恵まれたこと、材質が燐分を比較的多く含有する鋳鉄であること、などが影響したものと考えられる。
- ② 縦桁と横桁を取付けた部位における縦桁腹板の膨み（写真-16）は、フィラーの介在により、上下山形フランジと連結山形に囲まれた縦桁の腹板端部が、部分的に密閉状態になり、錆による体積膨張に伴って生じたものと考えられる。
- ③ 可動ローラー支承板では、ローラーがセットされている部分に 3mm を超えるローラー形状の窪み（写真-13 参照）があるが、摩耗と腐食が競合して生じたものと考えるのが妥当であろう。

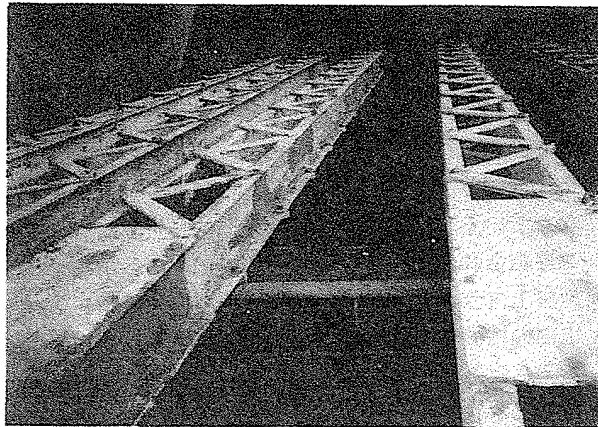


写真-15 腐食の程度

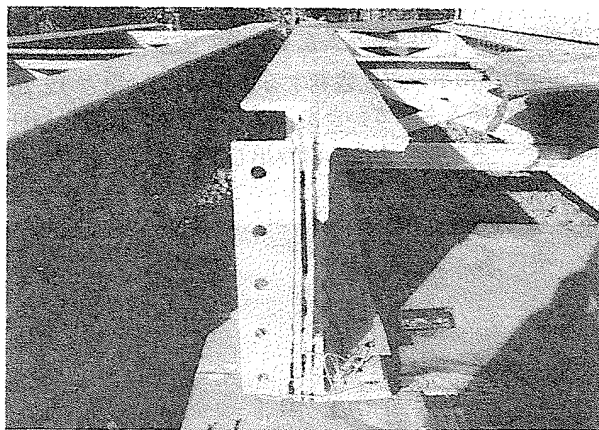


写真-16 縦桁端部腹板の膨み

表-8 主要な部材における腐食度合とその状況

部材名	場所	腐食度合	腐食状況
ピン	全て	軽	
アイバー	全て	軽	
上弦材	全て	軽	
横桁	縦桁取付け部・フィラー全て	重	・横桁取付け部・フィラーの腐食 ・腐食による取付け山形と腹板間の膨れ・横桁取付け部・フィラー部の腐食
縦桁	横桁との取付け部全て	重	
ローラー支承板	全て	重	・ローラー上部の摩耗と腐食
ベースプレート	全て	中	・ローラーに添った腐食

5. 復元工事

(1) 撤去⁹⁾

大谷川橋梁のうち下今市方の下路プラットトラス 2 連は 1996(平成 8)年 3 月 11 日と 13 日深夜 22 時から翌朝 6 時までの間に撤去し、単純プレートガーダーにそれぞれ架け替えられた。

撤去に先立ち、吊り上げ時の各部応力を照査し、許容応力を超過する下弦材には補強材を添加した（写真-4 参照）。また縦桁端部は仮支材で支え、吊り上げには吊ビームを使用した。

作業は 50 トン吊トラッククレーンによりトラス一連を一括吊り上げて、500 トン積みトレーラートラックに載せ、解体ヤードまで輸送した。新プレートガーダーは同じトラッククレーンにより撤去に引き続き、架設した。

(2) 復元再組立

東海旅客鉄道(株)の三島研修センターにおいて、平成 11 年 2 月 17 日より部材を搬入し、同日より組立を開始し、2 月 27 日までの約 11 日間で作業を完了した。

a) 工場での整備

(株)東京鉄骨橋梁、取手工場の資材置き場に仮置きされていた全部材を平面上に広げ、必要部材の本数、組立位置等の確認を、部材ごとに添付されていた部材表に従って行なうとともに組立しやすい状態に再整備した。次にピン、アイバーは錆を落として油を塗り、摩耗量等を測定した。また、その他の部材は塗装を極力、鉄の地肌が出るように丁寧にケレンした後、変状および腐食の程度を目視で判断して記録した。特にピンについては、解体撤去時のピン抜き作業で、ピン部の頭を叩いて抜いたため、ねじ径に太りや割れが生じていた（写真-17）。またピン胴は長年の摩耗で「くびれ」が生じており、そのままでは復元作業に支障を来す状態であった。ねじ部の太りはグラインダーでローマスナット径まで擦り落とした。ピンのくびれはグラインダーでテーパ状にならして仕上げることにした。ローマスナット、ボルト、ナットの表面やねじ部の浮き錆はすべて除去した。

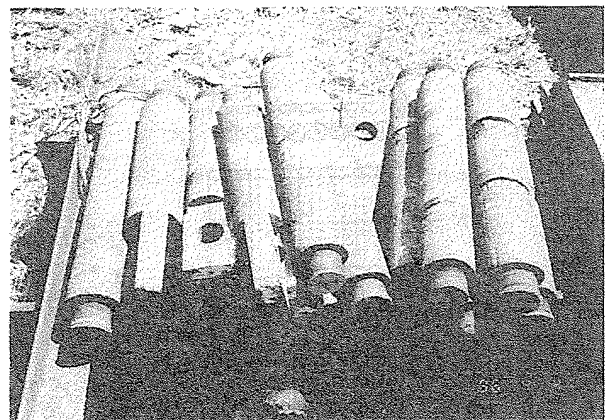


写真-17 ピンの摩耗状況

b) 設置位置

既に置いてある旧六郷川橋梁と直列にし、将来本トラス橋と連続してレール敷設が出来るように高さ、位置を調整した。基礎は幅 1500×長さ 6200×厚さ 750 の鉄筋コンクリート直接基礎を打設し、その上に端縦桁用の受台および見学者用の階段を設置した。

c) 組立架設

① 架設概要

組立順序として、地表でトラス中央部の U2-U3-U4～L2-L3-L4 部材を 1 パネルとして平組し、その全体を立て起こして、既に組立ててある同パネルに関連した横桁・縦桁からなる床組に取付ける。次に端部に向かって単材架設を行い、最終的には U1-M1-L1 および U5-M5-L5 の垂直材で閉合する。

② 平組 (写真-18)

平組架台上にトラス中央部の上弦材 U2-U3-U4 (2 格間で一本の部材) を水平に設置し、垂直材 U2-L2、U3-L3、U4-L4 を取付ける。次に下弦材 L2-L3、L3-L4 および L1-L2、L4-L5 を平置きして、斜材、ロッド材を順次セットし、ピンを差し込み、平組を終了した。上記の作業に要した日数はわずか 2 日であった。

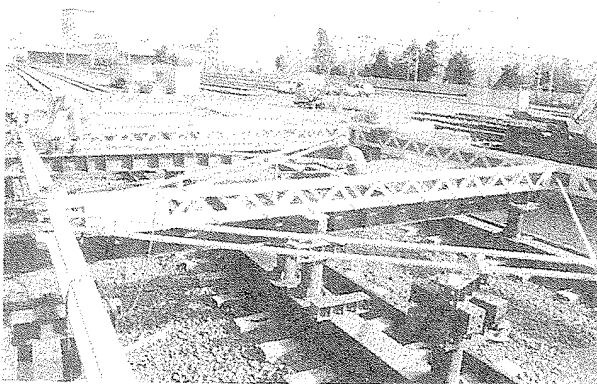


写真-18 平組

U5-L5 と斜材 U1-L2、U5-L4 を連結した状態で、格点 L1、L5 下に設けた架台に預けた。次に上弦材 U1-U2、U4-U5 を格点 U2、U4 近傍で添接して片持ち状態にしておく。一方、門構 L0-U1、L6-U5 の L0、L6 を少し下げてセットしておき、上記の垂直材と斜材を連結したピンを引き込んで門構上端のピン半円孔に預けた。この状態で L0、L6 をジャッキアップすることにより、片持ち状態の上弦材側のピン半円孔との隙間を縮めて行き、タッチさせて閉合する。さらに門構と上弦材の上フランジを添接してから、吊り材 L1-M1、L5-M5 上端のピン M1、M5 を連結する。最後に鉛板および支承を正規の位置、高さにセットし、桁全体をジャッキダウンして、据付を完了する。

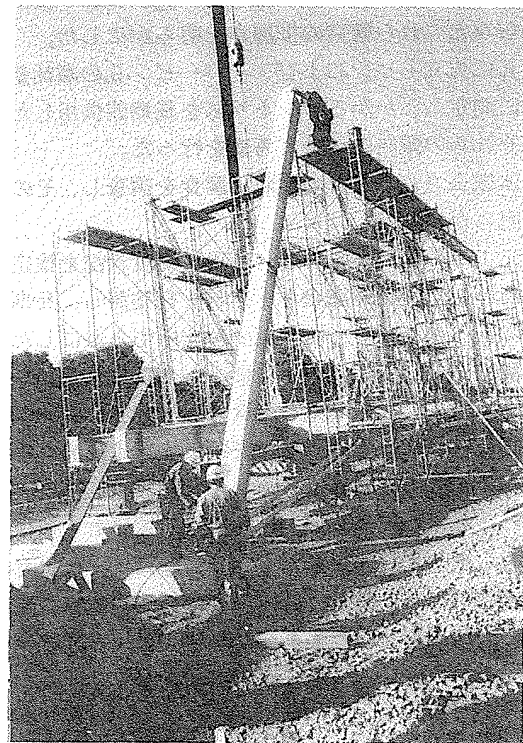


写真-19 門構の架設

c) 架設 (写真-19)

平組完了した面組トラスを 25t ラフタークレーンで根起こし吊り上げを行い、予め組み立てた床組の横桁にトラス面を取付けた。さらに、上面ストラット、上横構ロッドを取付け、中央トラスの架設を完了した。縦桁 ST-2、ST-5 を取付けた後、ピン U1、U5 により垂直材 U1-L1、

d) 復元キャンバー

キャンバーの実測値を表-9 に示す。河野氏の発見した幌内炭鉱および鉄道経営事業の報告書集第 15 回目⁵⁾に「キャンバーハ八分ノセインチトス」との記載があり、同表の初期キャンバーとして表している。キャンバー実測値は上、下流側主構でのアンバランスはあまり見られ

表-9 キャンバー実測値

位置	格点	L0	L1	L2	L3	L4	L5	L6
トラス上流側主構	計画値	942	1615	1514	1412	1310	1209	332
	実測値	939	1620	1531	1431	1328	1217	331
	キャンバー実測値	0	7	19	21	19	9	0
	初期キャンバー	0	12	22	22	22	12	0
トラス下流側主構	計画値	942	1615	1514	1412	1310	1209	332
	実測値	944	1625	1537	1433	1339	1226	345
	キャンバー実測値	0	8	17	15	21	7	0
	初期キャンバー	0	12	22	22	22	12	0

(注):(1)計画値は橋梁敷設勾配 2% の値である。

(2)初期キャンバーの形状は放物線としている。

(3)キャンバー実測値は L0、L6 格点での計画値と実測値の差を補正している。

ず、全般的に初期キャンパーより小さい値である。これはピンやアイバーの摩耗の影響が現れたものと考えられる。一般に供用中のピントラスでは摩耗によって桁が垂れ下がり、キャンパーが少なくなる傾向にある。なお吊り材部のある L1、L5 では総摩耗量が最も大きく、それがキャンパー値に影響を与える可能性は否定できないが、復元にあってピンの回転位置が元のままでないことや摩耗によるくびれをテーパー加工したこと等が影響して大きな差は生じていない。

6. まとめ

以下、本報告で得られた結論を述べる。

- (1) 旧大谷川の構造上の特徴を考察し、その力学的な意味付けを推定した。さらに供用中の変状および補修履歴からみたこれら構造の問題点を明らかにした。
- (2) 復元に先立ちピンおよびアイバーピン孔の摩耗量を詳細に測定し、かかるピントラスを長期間供用した場合のそれらの傾向について考察を行った。
- (3) 解体撤去された部材の変状、腐食を調査し、その実態を明らかにした。
- (4) 復元工事の状況を報告し、当時の架設状況を推定する一助とした。また復元キャンパーを実測し、長期間供用によるキャンパー値の減少傾向を明らかにした。

終わりに、これまで旧大谷川橋梁を大切に守られてきた東武鉄道株式会社、橋梁を東武鉄道株式会社より譲り受け、研修センターでの展示を決断された東海旅客鉄道株式会社、橋梁の撤去、解体、復元まで一貫してその工事に当たられた株式会社東京鉄骨橋梁の関係者の皆様に對し、あらためて敬意を表する。特に奈良一郎氏（元㈱東京鉄骨橋梁顧問）および藤井郁夫氏（㈱東京鉄骨橋梁常任顧問）には本論文の執筆にあたり、多くの助言、教授をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) 小西純一, 西野保行, 淵上龍雄: 「明治時代に製作された鉄道トラス橋の歴史と現状 (第4報) 米国系トラス桁その1」 第8回日本土木史研究発表会論文集 p134~137, 土木学会 1988年6月
- 2) 奈良一郎: 「歴史的な橋を訊ねて (第3回) 百歳の鉄道橋」 技術報 No31, P55~59, ㈱東京鉄骨橋梁製作所, 平成3年6月30日
- 3) 奈良一郎: 「東武鉄道大谷川橋梁 鉄道橋として供用中の最も古いトラス橋」 橋梁と基礎, 27巻8号, P163~164, 建設図書 1993年8月
- 4) 奈良一郎: 「東武鉄道大谷川橋梁の沿革(その沿革の総集)」 技術報 No38, P32~35, ㈱東京鉄骨橋梁製作所, 平成7年1月31日
- 5) 河野哲也, 今尚之, 佐藤馨一: 「幌内鉄道プラットトラスと旧大谷川橋梁に関する研究」 土木史研究第17号, P207~214, 土木学会 1997年6月
- 6) 阿部英彦: 「東武鉄道大谷川橋梁」 (土木紀行 知られ

ざる風景) 土木学会誌 1995年6月号

- 7) 小林茂: 「下野電気鉄道」 鐵道ピクトリアル通巻263号 P118~130 鐵道図書刊行会 1972年3月臨時増刊号 東武鐵道特集
- 8) 小西純一: 「幌内鉄道豊平川橋梁ほかの購入に関する文書について」 1993年11月22日
- 9) 加藤高尚: 「大谷川橋梁解体報告」 技術報 No44, P38~40, ㈱東京鉄骨橋梁製作所, 平成10年6月30日
- 10) ㈱東京鉄骨橋梁製作所: 「国内に現存する米国製最古の100ft プラットトラスについて」 平成2年9月
- 11) 星野三夫, 阿部英彦: 「大谷川橋梁の保守管理について」 土木学会第50回年次学術講演会概要集 I -131, P632~633, 平成7年9月
- 12) 西村俊夫: 「ピン結合鐵道トラス橋の変状とその対策」 鐵道技術研究報告, No.483, p16, 1965.7