【土木史研究　第14号　1994年6月　審査付論文】

碓氷峠旧線跡に残る鉄道構造物の技術的特徴と意義

Railway Structures of Former Usuipass Line, Their Engineering Significance

小西純一*、田島二郎**

by KONISHI Junichi and TAJIMA Jiro

要　旨

開通から１００年、廃止から３０年を経た、信越本線横川軽井沢間の旧線（旧碓氷線）線路敷に残る構造物の一部、５橋梁が、近代化遺産として、国の重要文化財に指定された。旧碓氷線の土木構造物は橋梁、トンネルとも、大部分が煉瓦造であることが特徴である。スパンの大きい橋梁を、アプト式急勾配鉄道ゆえに煉瓦アーチとしたのである。

本論文では17橋あった煉瓦アーチ橋を従来ほとんど紹介されることのなかったものを含めて、その形態を側面図で示すとともに、現存橋の現況調査を踏まえて、技術的あるいは意匠上の特徴を明らかにし、わが国の近代橋梁史上の地位を論じた。また、トンネルについては、現存する坑門を中心に、考察を加え、旧碓氷線の構造物の、文化財的な価値について考察した。

１．はじめに

信越本線横川軽井沢間のいわゆる碓氷線は、幹線鉄道としては異例の66.7パーミルという急勾配区間であり、1893年にアプト式歯軌条鉄道で開通した。1963年に同じ勾配の新線が開通し、粘着運転に変ったが、わずか11kmを隔てる両端の駅で、特殊機関車に付け替えたり、特殊な補助機関車を連結しなければ峠越えできない特殊区間であることに変りはなかった。直通輸送を使命とする幹線鉄道の中間にある、このような特殊区間は開通当初から隘路となる運命にあったが、様々な制約条件の下でのぎりぎりの選択であったと想像される。開通から 100年を経た現在、建設中の北陸新幹線の開通と引きかえに、特殊区間ゆえに経費のかかるこの区間の廃止の方針が打ち出されている。

一方、昨1993年、1963年に廃止となった旧線路敷に残る構造物の一部が国の重要文化財に指定された。「近代化遺産」としては秋田市の藤倉水源地水道施設とともに最初の指定となった。名称は「碓氷峠鉄道施設」１構で、煉瓦造りアーチ橋のうち、第２、第３、第４、第５、第６橋梁の５橋である。所有者も国鉄清算事業団から松井田町に移った。トンネルその他の構造物についても、今後の追加指定に向けて準備が進んでいる。

著者らはかつて、群馬県と松井田町が実施した旧碓氷線の遺構を中心とする鉄道文化財の調査に参画し、調査研究を行った。その成果は報告書にまとめられている[1]。本論文では、旧碓氷線の土木構造物の技術的特徴と意義について、その後の調査研究と現存する遺構の現地調査を踏まえて明らかにする。なお、トンネルについては、小野田らが、詳細な報告を行っているので[2]、橋梁を中心に述べることにする。

２．旧碓氷線構造物に関する資料について

本研究で参考にした構造物に関する１次的な資料はつぎのものである。

(1) 渡辺信四郎「碓氷嶺鉄道建築略歴」[3]

keywords: 構造物、煉瓦造、明治期、鉄道
* 正会員　工博　信州大学工学部社会開発工学科
（〒380 長野市若里５００）
**正会員　工博　田島橋梁構造研究所
（〒104 東京都中央区入船町3-1-5 東信入船ビル）

建設を担当した技師渡辺信四郎が1893(明治26)年8月に鉄道局長松本荘一郎に提出した報告書が、1908(明治41)年になって、帝国鉄道協会報に掲載されたものである。線路選定から、試運転まで、建設工事の詳細を系統的に記録している唯一の文献である。

(2)Pownall,C.A.W.:"The Usui Mountain Railway,Japan"[4]

建設を統括した建築師長パウナルが、母国英国の土木学会に簡単な報告をしたもの。構造物に関する記述はわずかであるが、なぜ、鉄桁ではなく煉瓦アーチにしたかについて述べ、碓氷川橋梁に言及している。後半で、アプト式と普通鉄道の優劣を、諸外国の例を引きながら論じている。

(3) 小川一真『日本鉄道紀要』[5]

1897(明治30)年頃までの鉄道構造物、建築、車両の写真集。類書はない。碓氷線関係では、第1、3、13、17橋梁、第26トンネル出口、第2橋梁付近の竣工直後の写真が掲載されている。

(4) 内田録雄『鉄道工事設計参考図面』[6]

1897(明治30)年発行の図面集である。定規之部、橋梁之部、隧道之部、停車場之部などの分冊になっており、オリジナルの図面ではなく、編者の写図で構成されている。碓氷線関係では、第1～5、13橋梁、第6、26トンネル出口、土工定規、隧道定規など、多数収録されている。

(5) 信越線(碓氷線)橋梁図面、東日本旅客鉄道高崎支社工務部施設課所蔵[7]

大正年間に作成された実測図面で、彩色されている。第11橋梁はすでにプレートガーダーとなっているが、全橋梁分が揃っている。アーチの補強状況は、この図面によって初めて明らかになる。ただ一組しか存在しない大変貴重な図面であって、構造物の方が重要文化財になった現在、所有者には、ぜひ恒久的な保存措置をお願いしたいものである。

3. 構造物の概要

旧碓氷線の主要な土木構造物としては、トンネル26か所、総延長14631.62ﾌｨｰﾄ(4459.72m)、橋梁18か所、カルバート20か所あった。他に、土構造物としては,切り土27か所,盛り土26か所である。歯軌条区間では平行する国道との平面交差はなく,立体交差の跨線道路橋が2個所あった。個々のトンネルに名前は付いておらず、碓氷第○隧道のように番号で呼ばれていた。橋梁も固有名でよばれていたものは少なく、霧積川、碓氷川、中尾川、矢ケ崎川の4橋のみであり、それらを含めてトンネル同様番号で呼ばれていた。図1に橋梁、カルバート、トンネルの位置を示す。

4. 碓氷線煉瓦アーチ一般

4.1 煉瓦アーチ橋の採用

旧線の橋梁は、開通当初に橋梁(径間15ﾌｨｰﾄ以上)と分類された18か所のうち、平地にある第18号の矢ケ崎川橋梁1か所が鉄桁であったほかは、開通当初、すべて煉瓦造りのアーチであった。当時すでに,12ftから70ftまでの標準錬鉄プレートガーダー(作錬式)と、100ftと200ftの標準的なトラス桁が揃っており、その中から適当なスパンのものを選んで組み合わせ、しかも、スパンの大きいトラス桁は、水平に架設するのが標準的な工法であったが、ここ碓氷峠区間では、水平区間にある1橋を除き、全面的に有道床軌道の煉瓦造りアーチを採用したのが特徴である。66.7パーミルという急勾配かつ、歯軌条を中央に持つ特殊な軌道構造であることから、常に坂下方向に働く大きな力[a]による軌道のふく進、桁のふく進に対処するのが鉄桁では難しいとの判断で[4]、有道床軌道にして力を分散伝達させ、橋梁に直接働かないようにしたのである。パウナルは、アプト式の先例を調査して参考にした[4]。ハルツ山鉄道やエルツベルグ鉄道では、橋梁をすべて石造アーチ橋としていること、一方、ヴィスプ・ツェルマット鉄道では鉄桁を使用しているが、歯車動輪からの圧力を軽減するため、橋梁部分は勾配を小さくしていることなどを知ったのである。

注a)(1) 勾配上に桁を据えると、桁には常に坂下方向への分力が作用する。例えば100ﾄﾝの桁が66.7ﾊﾟｰﾐﾙ勾配上にあると6.67ﾄﾝの力が働く。(2) 急勾配なのでアプト式機関車の牽引力あるいは制動力は、軌道を介して桁に常に坂下方向に作用する。この力は少なくとも列車の勾配抵抗に相当する。例えば100ﾄﾝの列車の勾配抵抗は66.7ﾊﾟｰﾐﾙ勾配上で6.67ﾄﾝである。

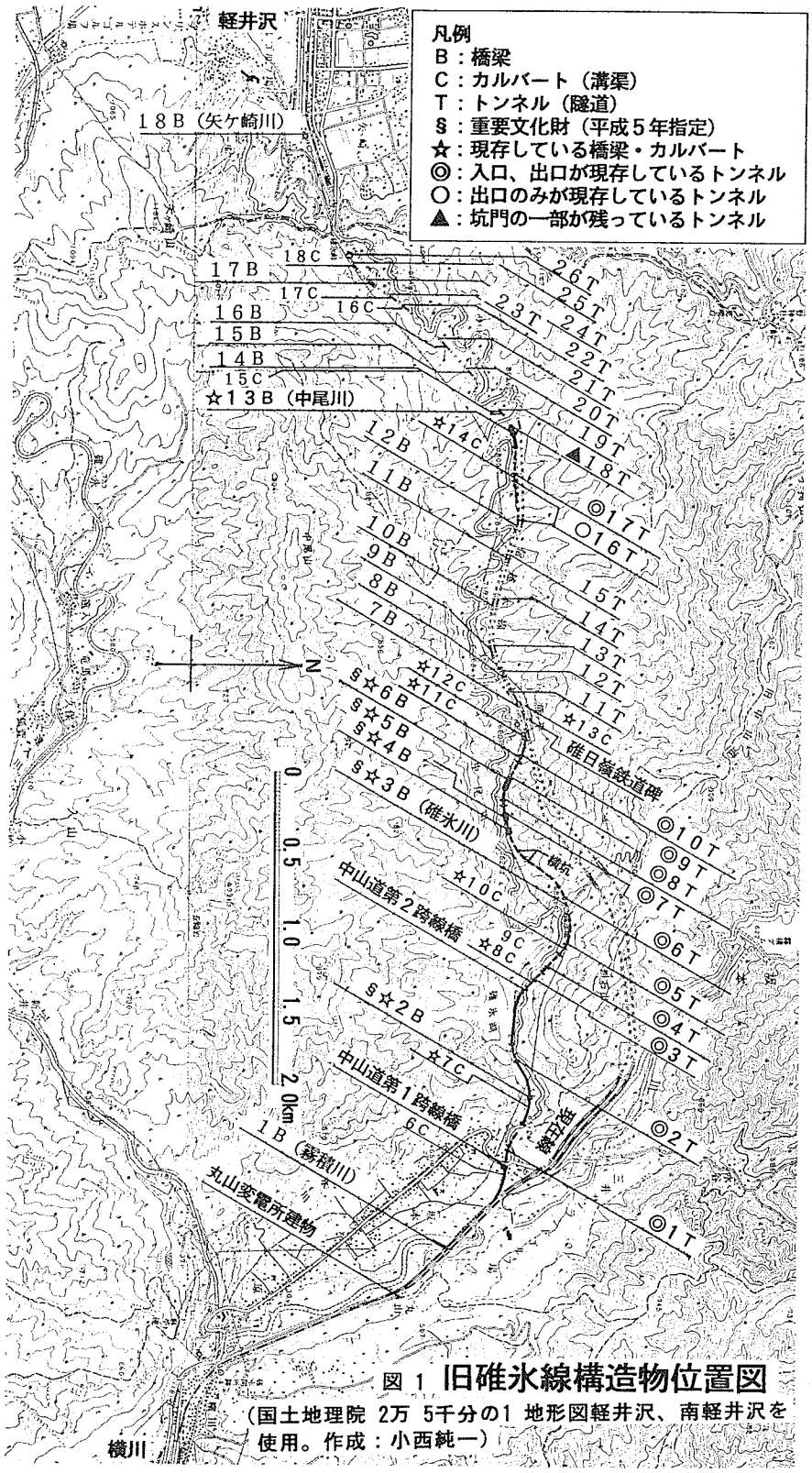

図１ 旧碓氷線構造物位置図
（国土地理院 2万 5千分の1 地形図軽井沢、南軽井沢を使用。作成：小西純一）

なお、碓氷線の橋梁の設計に関する記述は上掲の記録の中になく、示方書、設計書の類も発見されていない。

4.2 設計者

渡辺の報告書によれば[3]、『全線の工事主任は技師本間英一郎氏長野工務課長を以てこれを兼ね、橋梁の計画はパウナル氏本庁に在りて之を定む。技師吉川三次郎氏と余は本間技師を助けて他の計画及び全線の施工監督を分担し、……』(原文カタカナ、p.534)とある。また、原図を筆写したと考えられる『鉄道工事設計参考図面』所載の第３橋梁の図面[6]に Designed by C.A.W. Pownall と記入されており、さらに、第３橋梁の拱架（アーチセントル）はパウナルの設計、後述の耐震を考慮した設計変更もパウナルの意見によるものある（渡辺[3] p.492,494 ）。これらから判断すると、橋梁設計の総括責任者は、1882年来日の英国人建築師長パウナル(Charles Assheton Whately Pownall) であり、彼と彼の指導の下で働く日本人技術者チーム（古川晴一技師ら）が設計を分担したと考えてよいであろう。

4.3 基礎

アーチ橋の基礎は堅硬な岩盤にコンクリートを打って平滑面を造り、フーチングを置くものが大多数である[3]。傾斜岩盤上の第２号と第７号では杭を併用しているが、図面上では確認できない。また、第３橋梁の第２橋台では岩盤が深いため、煉瓦井筒基礎を用いた。フーチング部分は切石で、厚さ１ﾌｨｰﾄ(305mm) を１段として、橋梁により１～４段積であることが図面[3)6)7)]から読み取れる。

橋台と橋脚は第12橋梁と第17橋梁で切石積とした他は煉瓦積である。

4.4 アーチ

アーチの径間は、15ﾌｨｰﾄ(4572mm)、24ﾌｨｰﾄ(7315mm)、36ﾌｨｰﾄ(10973mm) 、60ﾌｨｰﾄ(18288mm) の４種類で、熊の平駅構内の第７号が径間15ﾌｨｰﾄの半円アーチであるほかは、中心角約 160度の欠円充腹アーチである。アーチ環の厚さは、径間によって煉瓦の層数を変えてあるので異なり、15ﾌｨｰﾄと24ﾌｨｰﾄでは煉瓦 4重で 1ﾌｨｰﾄ 6ｲﾝﾁ(457mm) 、36ﾌｨｰﾄでは煉瓦 5重で 1ﾌｨｰﾄ $10^{1/2}$ ｲﾝﾁ(572mm) 、60ﾌｨｰﾄでは煉瓦 8重で３ﾌｨｰﾄ(914mm) となっている。

煉瓦の積み方は、アーチ環は長手積み、橋台、橋脚、側壁などはイギリス積みである。ただし、高欄に限ってフランス積みとした第６橋梁の例がある。単径間のものが多いが、２、３、４、５径間のものが各１橋ずつあり、また、斜角60度の斜めアーチ(skew arch) が２橋あった。

g)耐震性向上のための設計変更点

当初は各橋梁のアーチは半円であり、拱頂と施工基面の間には 2ft(610mm) 余の厚さがあった。ところが、1891（明治24）年10月31日に濃尾地震が発生し、東海道線の木曾川橋梁や、揖斐川橋梁の煉瓦造り橋脚に、水平に亀裂が入って、ずれが生じるなど、大被害が生じた。そのため、すでに始まっていた第13橋梁の施工を中止して、急きょ当線の橋梁設計の見直しがパウナルによって行なわれた[3]。①まず、煉瓦造りの橋台・橋脚の耐震性を高めるため、中間の要所要所に直立の石柱をはさんだり、②縦煉瓦を要所要所に用いることにした。石柱がどのように配置されているのか文献の図面[3)6)7)]などには表わされておらず、全く不明であるが、縦煉瓦の方はアーチ環の各所に配置されて各層の連結を図っている様子が、渡辺の報

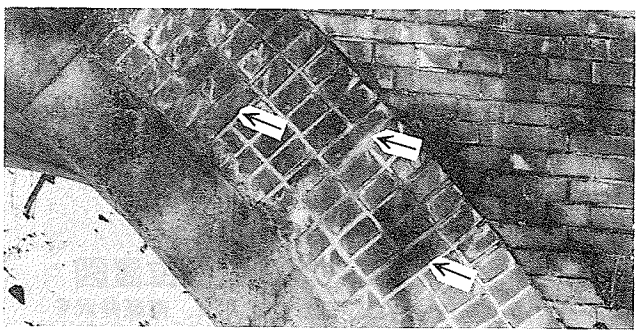

写真 1　第４橋梁アーチの縦煉瓦の一部（矢印の３か所）[1994.1]。

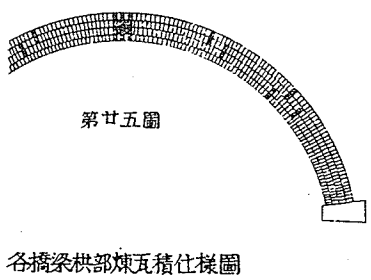

図 2　縦煉瓦の配置、黒い部分が縦煉瓦

告に示されており（図 2）、現存橋梁でも観察できる（写真 1）。また、アーチ頂部と施工基面の間の重量は耐震的に不利であるとして、③施工基面を拱頂と接しさせ、④アーチも半円から欠円に変更された。したがって、熊ノ平構内の第７橋梁が半円アーチであるのを除き、すべて中心角約 160度の欠円充腹アーチとなった。

4.5 材料[3)]

煉瓦は、トンネル用を含め、深谷煉瓦製造所より750 万個，川口煉瓦製造所より500 万個，本工事のために開設された塩沢煉瓦製造所より350 万個のほか、長野、小諸からも供給され、切石は安中、豊野、田中、離山から供給された。

目地にはセメントモルタルを使用し、部位により、すなわち、橋台・橋脚とアーチとアーチ裏込めとで配合を変え、さらにアーチでは、径間24フィート以下と36フィート以上とで配合を変えている。セメントは国産で、浅野セメント製と大阪セメント製、砂は第11橋梁以東は神流川、碓氷川下流で採取したもの、以西は千曲川、犀川で採取したものを使用した。横川または軽井沢まで鉄道、そこから碓氷馬車鉄道に積み替えて輸送した。

4.6 施工[3)]

工事は第13橋梁のみ1891（明治24）年８月に起工した他は、1892年３月から８月に相次いで起工し、1893年 3月までに竣工している。大半は請負施工だと思われるが、報告書に記述がない。最大の橋梁である第３橋梁は1892年 4月22日着工、1892年12月 5日竣工で７か月余りの工期であり、材料の輸送費を除く工費は 45987円余、使用した煉瓦 202万 8千個、セメント2720余樽であった。

工事用の輸送には国道上で営業中の碓氷馬車鉄道を全面的に活用した他、馬車も使用し、また、索道や軌道を設置した。

橋梁工事費 124,548円に対して、橋梁用品の輸送費は57,145円で、前者の 46 %に上っている。

4.7 意匠

目立って装飾性の感じられるものはないが、ピラスター、親柱、中柱、高欄、笠石、帯石、要石、隅石などを適宜組み合わせて、意匠を整えるとともに、一橋一橋ごとに変化を持たせている。表 1

表1 旧 碓 氷 線 橋 梁 一 覧 表

番号	名 称	数×径間長 フィート	橋欄長 フィート	高 さ フィート	斜角	橋台	隅石	壁柱	要石	親中柱柱	補強	現存	備考
1	霧積川	3×36.00	153.50	41.50	－	B	×	★	×	○×	×	×	
2		1×24.00	81.84	40.00	－	B	×	☆	○	×○	○	○	2回目の補強で導渠となる
3	碓氷川	4×60.00	298.75	103.00	－	B	×	★	☆×	○×	○	○	中間の壁柱・中柱は南側のみ
4		1×24.00	32.01	14.50	－	B	×	×	×	××	○	○	
5		1×36.00	51.81	29.00	－	B	×	×	×	××	○	○	
6		1×36.00	170.16	57.00	－	B	○	☆	×	○○	×	○	高欄はフランス積
7		1×15.00	31.00	15.30	－	B	×	×	×	××	○	○	半円，補強後は導渠，鎧の平積内、現用
8		1×24.00	37.00	24.00	－	B	×	×	×	○×	○	×	
9		1×36.00	61.00	22.00	－	B	×	★	×	○×	－	×	
10		1×24.00	65.00	34.00	－	B	×	☆	×	×○	－	×	
11		1×24.00	36.00	28.00	－	B	×	－	×	－－	－	×	鈑桁に取換え，さらにRCアーチとなる
12		1×24.00	43.20	26.00	60	S	×	×	×	××	○	×	
13	中尾川	5×24.00	169.75	33.00	－	B	○	★	×	○×	○	○	半径300mの曲線に沿う
14		1×24.00	34.00	19.00	－	B	×	×	×	××	－	×	
15		1×24.00	40.40	13.50	60	B	×	×	×	××	×	×	
16		1×24.00	37.00	24.00	－	B	×	×	×	××	－	×	
17		2×36.00	139.25	48.00	－	S	×	×	×	××	×	×	
18	矢ケ崎川	1×15.00	15.00	7.00	－	B	錬鉄桁					×	水平区間

数値は文献3)によるが、文献6)、文献7)の図面と異なるものがある。
長さの**単位**はフィートのまま記載した（1フィート＝0.3048メートル）。**高さ**は川底より施工基面までの高さ。
斜角：単位は度、－は直橋を表す。**橋台**：B＝煉瓦積、S＝切石；**隅石**：○＝あり、×＝なし，－＝不明；
壁柱の位置：★＝両端，☆＝中間，×＝なし，－＝不明；アーチの**要石**：○＝あり，×＝なし，－＝不明
高欄の**親柱・中柱**：○＝あり，×＝なし，－＝不明；**補強**：○＝あり，×＝なし，－＝不明
現存：○＝現存，×＝撤去

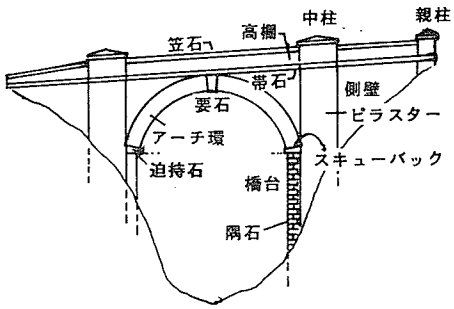

図 3　煉瓦アーチ各部名称

に各橋梁の要素の有無も示してある。現存の橋梁、カルバートを子細に観察すると、側壁とピラスターと高欄とで質の異なる煉瓦を使用したり、高欄をフランス積みにしたりして、図面には現れないテクスチュアを微妙に変化させている橋も見られる。なお、各部分の名称については、いろいろな呼び方があるが、本論文では、小野田　ら[8]の用語も参考にして図 3のようにした。

5．旧碓氷線橋梁各説

開通当初の橋梁の径間などを表 1に掲げる。以下に掲げる各橋梁の側面図は、文献3),6),7)に基づいて作図したもので、桁橋に改築された第11橋梁を除く全アーチ橋の形態、構造を概観するのに供した。なお、起点側が左右一定していないのは原図に従ったためである（文献1)から転載）。

(1) 碓氷第１橋梁（霧積川橋梁）

碓氷線最初の橋梁で、図 4に示すように、径間36ﾌｨｰﾄ(10973mm) のアーチ３連からなる。下り線改築時に撤去された。

(2) 碓氷第２橋梁＜現存、重要文化財＞

第１、第２トンネル間にある、オリジナルの径間24ﾌｨｰﾄ(7315mm)の橋梁である。川底からの高さ40ﾌｨｰﾄ(12.2m) と高く、アーチの両側，両側面にピラスターを持ち、側壁も広く、橋欄長も77ﾌｨｰﾄ(23.5m) と長い。また、アーチの頂部に要石がはめ込まれているのは他に例を見ない。小径間ながら立派な外観を持っていた。直線橋であるが、線路は半径300mの曲線となっている。図 5はその側面図である。このアーチは、明治期に，アーチ環の厚さを２倍にする補強が施され、橋台も前に出て，径間が19ﾌｨｰﾄ6in(5944mm) となった．その後、旧アーチ環の下方に新しいアーチが築造され，径間は12ﾌｨｰﾄ9in(3886mm) に縮まり、橋梁からカルバートに分類換えされた。この改造は1912（大正元）年10月 1日付けの実測図5)に記録されているのでそれ以前に行なわれたことは明らかである．図 6に改造後の姿を示す。写真 2に現況を示す。補強

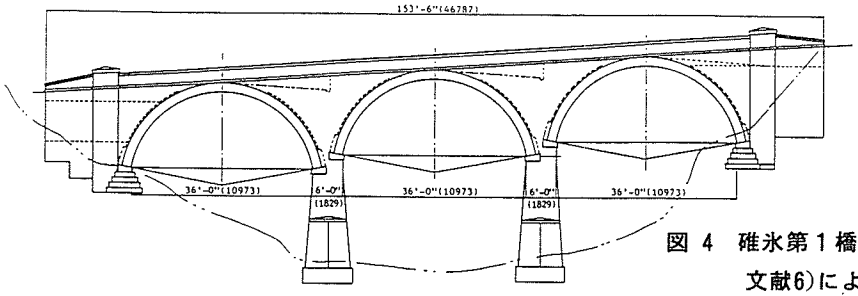

図 4　碓氷第１橋梁（霧積川橋梁）
文献6)により作図

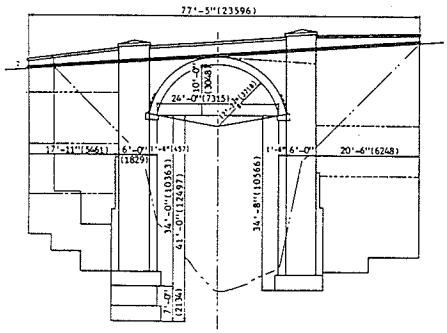

図 5　碓氷第２橋梁、文献6)により作図

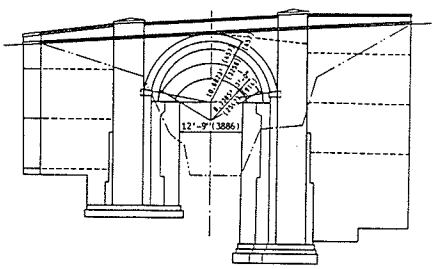

図 6　カルバートに改造後の碓氷第２橋梁、
文献7)により作図

写真 2　現在の旧第２橋梁、要石に注目[1992.4]

・改造の様子はアーチ部分を見れば一目瞭然である。第１回の補強アーチにも要石がはめ込まれている。

(3) 碓氷第３橋梁（碓氷川橋梁）＜現存、重要文化財＞

径間60ﾌｨｰﾄ(18288mm) のアーチ４連からなり、施工基面から谷底までの深さ 103ﾌｨｰﾄ(31.4m) 橋欄長 298.75ﾌｨｰﾄ(91.1m) で、わが国最大の煉瓦造アーチ橋である。開通当時の姿を図 7に示す。

横川方の第１橋台と、３本の橋脚は岩盤の上に直接基礎を置いている。軽井沢方の第２橋台だけ

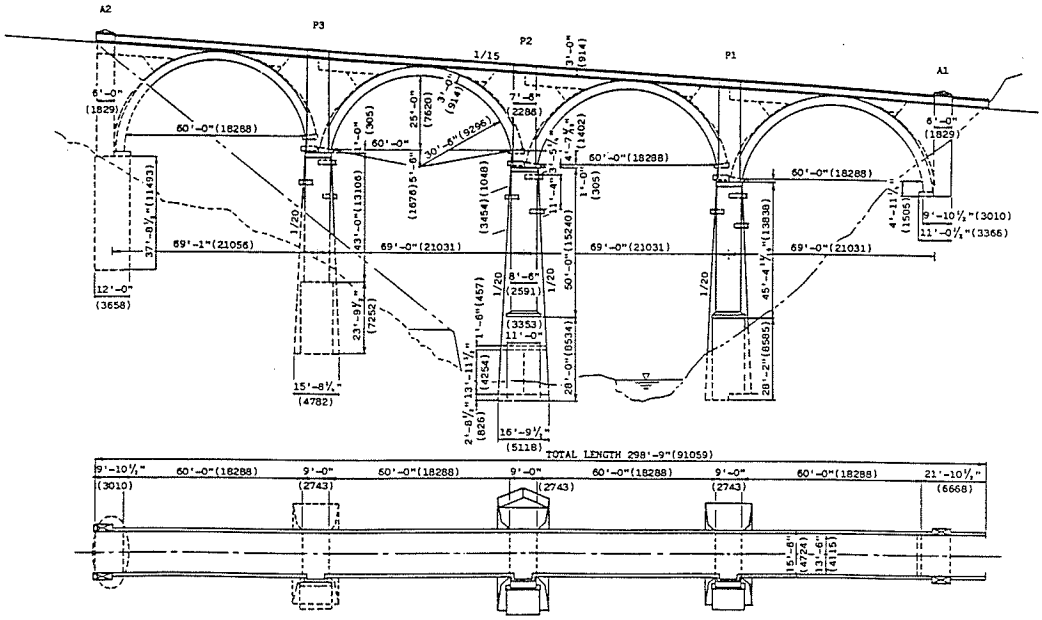

図 7　碓氷第３橋梁（碓氷川橋梁）、文献3)により作図

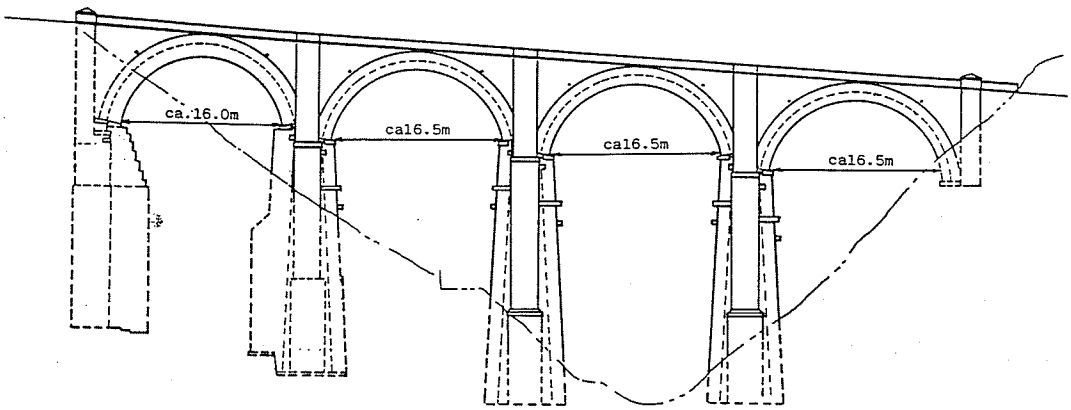

図 8　補強後の碓氷第３橋梁、文献7)により作図

は基礎岩盤が深いため、煉瓦積楕円井筒を沈めて基礎とする計画であった。そこでまず、岩盤の深さを調べるため、小井を掘削したが障害物に遭遇し、それ以上掘削できなくなったので、高さ 6ﾌｨｰﾄ幅 4ﾌｨｰﾄの坑道を横から水平に掘削して予定位置に達し、そこから穿孔して障害物を除去し、埋め戻しをしてから井筒の沈降を行なった。

アーチセントル（ Arch Centre, 拱架）は木造である。橋脚高さが 100ﾌｨｰﾄもあって、支柱を地盤から立ち上げることは困難なので橋脚に長い石を挟み、突起状として、これでセントルから来る柱を支え、セントルを降下させるためには砂箱を用いた。

開通から１年余の1894（明治27）年６月20日、東京湾北部に起こったマグニチュード 7.0の地震によって、第４アーチと第２橋台に数カ所の亀裂が生じた。そこで第３橋脚、第２橋台、第４アーチの補強工事を94年と95年に行なった。翌96年、第１－第３アーチに対しても、重量が約1.5 倍の大きい新型機関車(Class C2, 54.5ﾄﾝ) の入線を理由にアーチ、橋台、橋脚の補強を行なった[9]。その結果、アーチ環は厚くなり、橋脚は当初の２倍以上の太さとなって、開通時のすっきりした姿はすっかり損なわれてしまった。しかし、この補強工事のおかげでこのアーチはその後の機関車重量と輸送量の増大に耐え、アプトの終焉まで使命を全うした。また、補強後の姿を図 8に示す。径間は第１－第３アーチが54ﾌｨｰﾄ $1^{3/16}$ｲﾝ(16.5m) 、第４アーチが52ﾌｨｰﾄ $7^{1/2}$ ｲﾝ(16.0m) となった。なお、原図には橋脚本体と補強部を強固につなぐため、境界部に多数の石材が埋め込まれている様子が記入されている。

幸いにしてこの雄大なアーチ橋は旧国道から良く見えるところにあり、碓氷峠のシンボル的な存在となっている（写真 3）。橋脚から高欄まで立ち上がったピラスターは高欄部分が保線要員の待避所となっており、国道に面している南側にしかなく、装飾的な意味をも持たせてあることが分かる。また、ピラスター、高欄には焼過ぎ煉瓦を用いて、アーチ、側壁とは色合いを変えてある。

橋脚の上部に石の突起が出ているが、これはアーチ築造（補強）のときにアーチセントル（型枠）を支えたものである（写真 4）。

(4) 碓氷第４、第５橋梁＜現存、重要文化財＞

第６トンネルを出たところに、径間24ﾌｨｰﾄ(7315mm)の第４橋梁がある。コンクリートでアーチを補強されている（写真 5）。

岩肌も荒々しい切り通しを過ぎると、オリジナルの径間36ﾌｨｰﾄ(10973mm) の第５橋梁がある。アーチは第３橋梁と同様、煉瓦を巻き足して補強されている（写真 6）。

両橋梁とも、親柱も何もついていない、きわめて簡素なものである（図 9,10 ）。

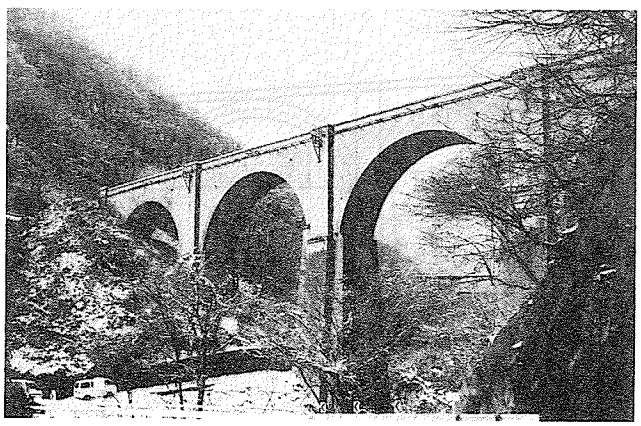

写真 3　現在の碓氷第３橋梁[1994.1]

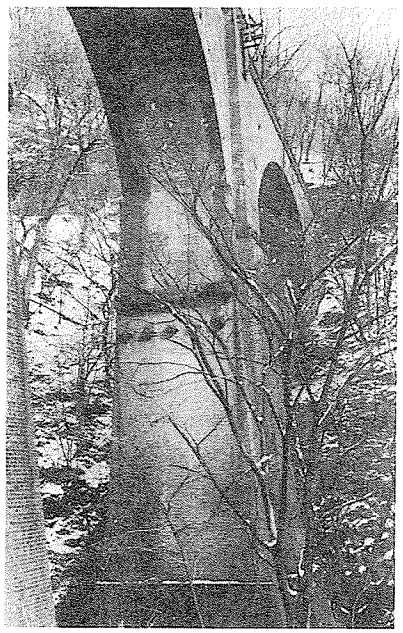

写真 4　碓氷第３橋梁の第１橋脚[1994.1]

写真 5　現在の碓氷第４橋梁[1994.1]

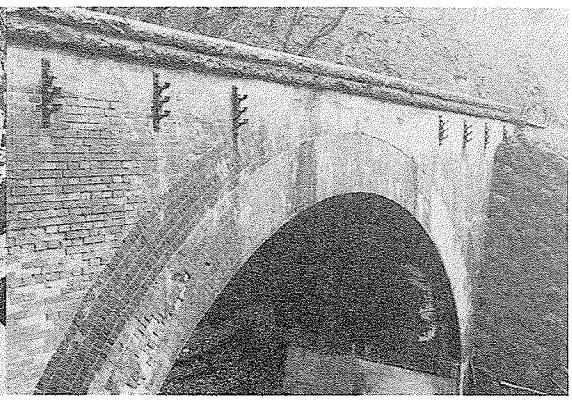

写真 6　現在の碓氷第５橋梁[1992.3]

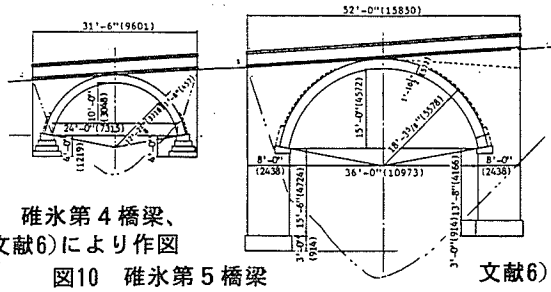

図 9　碓氷第４橋梁、
文献6)により作図

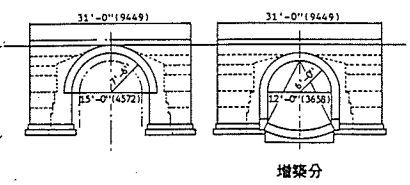

図12　碓氷第７橋梁　文献7)により作図

図10　碓氷第５橋梁　文献6)により作図

(5) 碓氷第６橋梁＜現存、重要文化財＞

カーブした短い第７、第８トンネルを抜けると、長い高欄のある碓氷第６橋梁にかかる。第５、第９橋梁と同様、径間36ﾌｨｰﾄ(10973mm) １スパンであるが、河床からの高さは57ﾌｨｰﾄ(17.4m) もあり、高い橋台と長い側壁を持つ。橋欄長は170.16ﾌｨｰﾄ(51.9m) もあって、長さと煉瓦および石積の体積では、第３橋梁に次ぐ規模のものとなっている。横川方の側壁は曲線部にかかっており、ゆるく湾曲している（図11）。国道側から見ると左右非対称で、左側にアーチが、右側に広い煉瓦の壁がそびえ立つ。高い橋台の角には隅石が配置されており、ピラスターをもつ。高欄はフランス積みとしてあり、旧碓氷線の現存橋梁、トンネル、建物などでは唯一の例である。なお、この橋は、補強された形跡がなく、原形をよく保っている（写真 7,8）。

(6) 碓氷第７橋梁（図12）

径間15ﾌｨｰﾄ(4572mm)の半円アーチで，建設当時、橋梁と分類されたアーチの中では最小である。旧熊ノ平駅構内にあり，線路は水平である。アーチ環が補強され、径間が小さくなってカルバートに分類替えされた。補強されて、現在も列車を通し

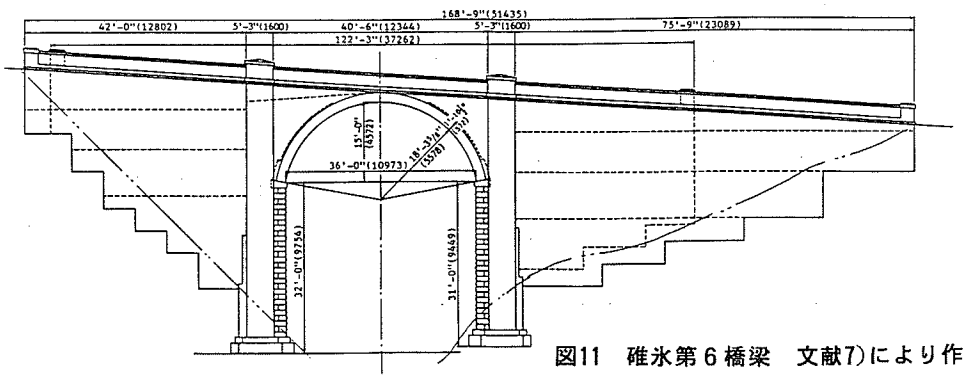

図11　碓氷第６橋梁　文献7)により作図

写真 7　現在の碓氷第６橋梁［1992.3］

写真 8　碓氷第６橋梁のフランス積高欄［1992.3］

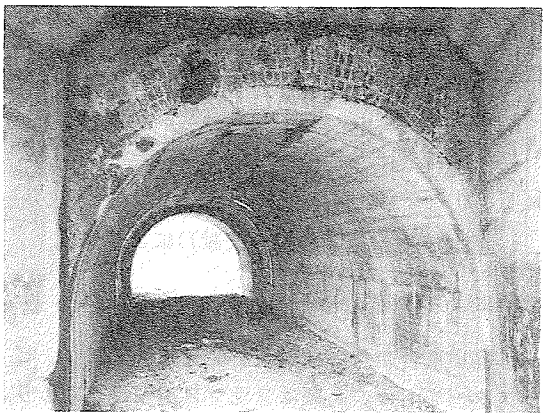

写真 9　現在の旧碓氷第７橋梁、
補強されたアーチが見える［1992.3］

ている現役であるが、コンクリートの中に埋もれて、一部分しか見ることはできない（写真 9）。

(7) 碓氷第８，９，10，14，16橋梁

第９橋梁が径間36ft(10973mm) １連，他は径間24ft(7315mm) １連のアーチである．

これらの単連アーチは、トンネルとトンネルの間の小渓谷を渡るものである。国道から見える位置にある、第８橋梁（図13）と第９橋梁（図14）は橋欄に親柱を有し、第10橋梁は川底からの高さがあり，橋欄長もやや長く、ピラスターを有する（図15）。一方、国道のかなり下にあってほとんど見えない第14～17（図18-21 ）橋梁では、親柱などはすべて省略されている。

補強されてアーチ環が厚くなり，径間が少し小さくなったものが多い．

(8) 碓氷第11橋梁

この橋梁は，明治43年(1910)に風水害による土砂崩壊で、横川方が破壊されたため、議論の末、上路鋼鈑桁に取り替えられ、アプト式区間唯一の鋼桁であった。鋼鈑桁の上に直接、鉄枕木を取り付けることはできないので、木の枕木の上に鉄枕木をかぶせた特別の枕木を考案して使用した。しかし、この鋼鈑桁は、取換え時には、パウナルの心配の通り、坂下方向への力により、坂下方向に移動し、軽井沢方橋台上のアンカーボルトは屈曲し、橋台には大きく引っ張りクラックが生じ、桁は横川方の橋台パラペットに食い込んでいたとい

３枚とも
文献7)により作図

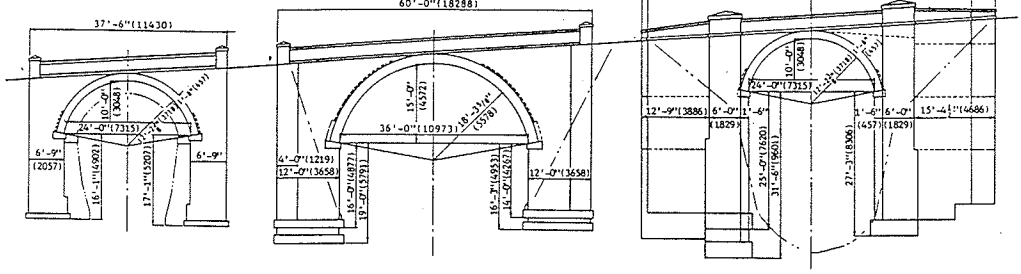

図13　碓氷第８橋梁　　図14　碓氷第９橋梁　　図15　碓氷第10橋梁

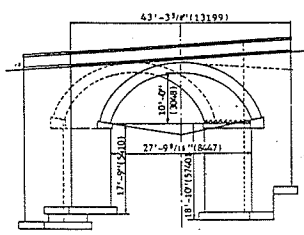

図16　碓氷第12橋梁、斜角右60度の斜橋、
文献3),7）により作図

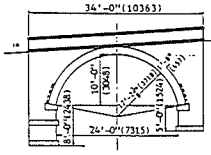

図18　碓氷第14橋梁、
文献5)により作図

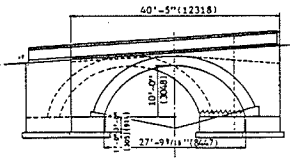

図19　碓氷第15橋梁、
斜角右60度の斜橋、
文献7)により作図

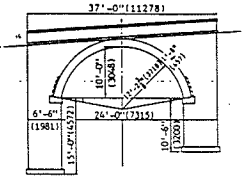

図20　碓氷第16橋梁、
文献7)により作図

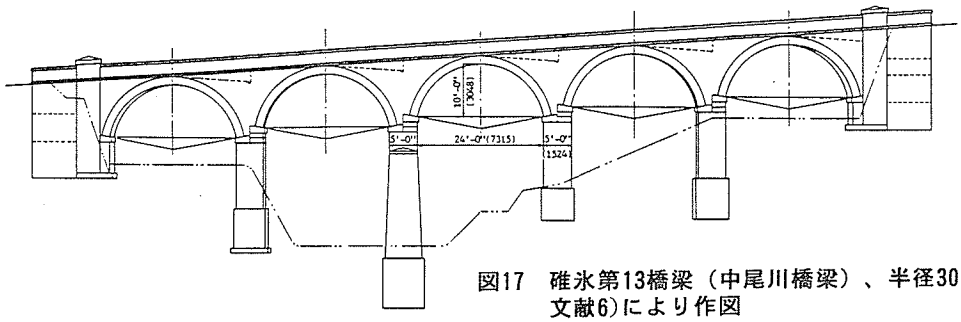

図17　碓氷第13橋梁（中尾川橋梁）、半径300mの曲線橋、
文献6)により作図

う。昭和28(1953)年に鉄筋コンクリートアーチに取り替えられた。高崎鉄道管理局の設計施工で、設計者は同局の八木富男であった[10]。このアーチは現在も下り線の碓氷第６橋梁として使用されている。

(9) 碓氷第12, 15橋梁

アーチに直角に測った径間が24ﾌｨｰﾄ(7315mm)、斜角60度の斜めアーチ（斜拱,Skew Arch）である。煉瓦は普通のものを用い、鋸歯状の切石の起拱石上にらせん状に煉瓦を畳築する。このようにすることにより、アーチ全幅の煉瓦に迫持ち効果を持たせることができる[11]（図16,19）。

(10)碓氷第13橋梁（中尾川橋梁）＜現存＞

５径間連続アーチである．径間はすべて24ﾌｨｰﾄ(7315mm)で、半径300mの曲線中にあり、平面形状は折れ線となっている。アーチ自体は円錐形ではなく、円筒形で、橋脚にテーパーが付いている。国道を跨いで建設され、両端の径間の下を国道が通っていた（図17）。建設時、各径間同時に一様の高さに煉瓦積みを行ない、アーチにひずみが生じるのを防いだという。明治24年(1891) 8月 3日に起工し、10月25日頃には第２号橋脚のスキューバック下 3、 4ﾌｨｰﾄに達していた。ところが、10月31日に濃尾地震が発生し、橋梁も大きな被害を被った。そのため、当線の橋梁も設計見直しが行われ、その間工事は一時中止された。

この橋は、第３橋梁に次いで有名であり、開通当初から多くの写真に記録されている。曲線改良のため、現下り線のルートから外れ、撤去を免れて現存しているが、現在線の保守用通路として使用中であるため、文化財指定の対象とはならなかった。南側の高欄は、失われているが、恐らく、大型の電気機関車が入線した昭和初期に撤去され

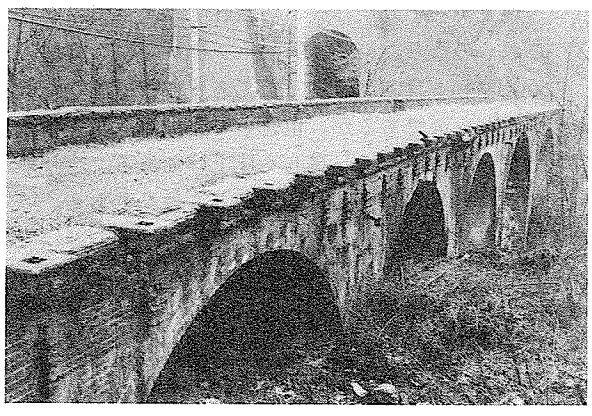

写真10　現在の碓氷第13橋梁（中尾川橋梁）
[1992. 3]

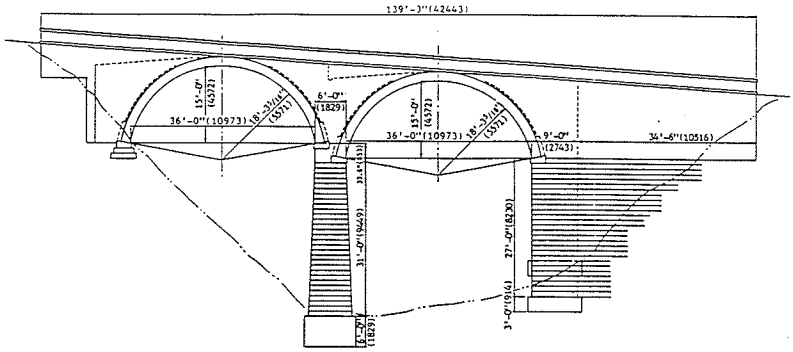

図21　碓氷第17橋梁、文献3), 7）により作図

たものと思われる。北側の高欄は残っている（写真10）。なお、高欄が撤去された橋梁は第２橋梁と本橋梁で、ともに曲線橋である。

(11)　碓氷第17橋梁

径間36ﾌｨｰﾄ(10973mm) のアーチ２連からなる。両岸の地盤は非常に硬い岩盤である。施工基面から谷底まで50ﾌｨｰﾄft(15m) 余、側壁を有し、橋欄長は139ﾌｨｰﾄ余(42.3m余）で、第13橋梁につぐ長さとなっている。横川方の橋台と橋脚が石積みとなっているのが特徴である。開通当時の姿を図21に示す。

(12)　カルバート

溝渠、暗渠あるいはコルベルトと呼ばれてきた径間15ﾌｨｰﾄ(4572mm)未満の構造物であるが、径間６ﾌｨｰﾄ(1829mm), 8ﾌｨｰﾄ(2438mm), 10ﾌｨｰﾄ(3048mm)のものは煉瓦造アーチで拱渠とも呼ばれた。橋梁と共通の構造をもつ。なお、第２、第７橋梁は、後年、補強の結果、径間が短くなり、カルバートの仲間入りをしたことは前に述べた。

煉瓦アーチカルバートが合計７橋残っている。これらのうち、第９、第10トンネル間にある第11カルバートは、半円アーチであって、径間６ﾌｨｰﾄの小さなものであるが、色合いの異なる煉瓦を巧みに配置してあって、美しく仕上げてある。当時の職人気質を窺い知ることのできる佳品である。

６．考察

6.1 各地の煉瓦アーチについて

旧碓氷線開通当時の煉瓦アーチの状況を1894（明治27）年 7月31日現在の『全国各鉄道橋梁及隧道明細表』[12] によって調べて見よう。この明細表には径間10ﾌｨｰﾄ未満のカルバートは計上されていない。代表線区として信越線を除く、官設鉄道（東海道線、敦賀線、その他支線）を調べて見ると、煉瓦アーチが39橋、81連計上されている。径間の分布をみると、12～14ﾌｨｰﾄが25橋38連、15～16ﾌｨｰﾄが12橋39連、25ﾌｨｰﾄ 1橋 3連、30ﾌｨｰﾄ 1橋 1連となっていて、15ﾌｨｰﾄクラス以下が大多数である。

もう一つ、アーチを多用した鉄道として九州鉄道を調べて見ると、煉瓦アーチが40橋、66連計上されている。径間の分布をみると、10～13ﾌｨｰﾄが 7橋 9連、15～18ﾌｨｰﾄが14橋28連、20～25ﾌｨｰﾄ14橋24連、30～33ﾌｨｰﾄ 3橋 3連、36ﾌｨｰﾄ 2橋 2連となっていて、官設鉄道より径間が大きいものが多い。

その他の鉄道ではアーチは少ない。

カルバートのような小径間のものは、明治年間に開通した線区に多数築造され、現在も多数使用中であることが、河村・小野田ら[11] によって報告されている。しかし、旧碓氷線の煉瓦アーチと径間で肩を並べる本格的なアーチ橋梁はごく少数であることが分かる。

煉瓦アーチ橋として著名なものとしては、ここ碓氷峠区間のほかには、北九州を中心とした一群[13][14]と、東京・新橋間の高架橋[15] 、それに鉄道以外で現存する京都南禅寺にある疎水の水路橋などが知られている。

九州のものでは、北九州市指定文化財となっている茶屋町橋梁（径間30ﾌｨｰﾄ）を代表例としてよく、橋脚に隅石を配しているほかは意匠要素をもたない簡素な作りである。将来の線路増設に備えて、橋梁の片側をいわゆるゲタ歯構造にしてある。実用のための凹凸なのであるが、巧まざる美がこれを装飾であるとする後世の解釈を生じさせた[14] 。

この点については小野田[13]が論じている。

東京市街線の高架橋は、今世紀初頭に、ドイツ人顧問技師フランツ・バルツァーの指導の下に設計され、建設されたもので、1909（明治42）年に最初の区間が開通した。複々線を支え、径間は 8 m と12m の欠円煉瓦造連続アーチである。鋼桁の架道橋部分を挟みながら、約2.8km 続いている。

帝都にふさわしく、ベルリン高架鉄道に範をとった大変立派なものであり、側面には円形に飾りや小さいアーチの飾りを配置して、意匠的に優れたものとなっている。

6.2 旧碓氷線橋梁の特徴と意義

これらと対比して、碓氷線のアーチの特徴をまとめると次のようになる。

1)碓氷第３橋梁は、径間、高さ、４径間であることなど、その雄大さにおいて比類ないものであり、わが国の煉瓦造りの土木構造物としては恐らく最も記念碑的なものである。

2)その他の橋梁も、径間は他線区の最大級に匹敵し、高い橋脚をもつもの、広い側壁をもつもの、多径間のもの、場所によって、意匠を整えてあることなど、他の線区にはないものが多い。

3)アプト式急勾配鉄道という特殊方式を支えるために設計され、かつ、耐震上の配慮がなされている。

4)アプト式急勾配鉄道を70年間支えてきた鉄道人の苦闘の歴史の証しである。

5)今回重要文化財に指定された５橋に第13橋梁やカルバートを並べてみると、少数ながら、規模的にも、意匠的にも変化に富んでいて、代表例が残っているといってよい。

6)優れた自然景観の中に存在するこれらの橋梁は、都会でなく、山野にある煉瓦アーチ群として、並存するトンネル群とあいまって、わが国最上級の遺産(Landmark)と考えてよかろう。

7)なお、アーチの補強については、補強が施されている橋と施されていない橋が存在していることから、第３橋梁を除いては、設計荷重の変更による組織的な補強ではなく、何らかの変状が生じたものに施していったものと考えられる。

7．トンネル

旧碓氷線のトンネルは、長野県民なら誰でも知っている『信濃の国』（現在は県歌）にも歌われてきたように、26か所あった。最長のものは第 6 号の551m、最短は第25号の33m であった。

7.1 断面

トンネルの断面はすべて同じで、アプト式機関車に適応すべく従来の幅14ﾌｨｰﾄのものから幅15ﾌｨｰﾄに広げたものである。当時、まだ標準断面定規は制定されていなかったが、これをすこし修正したものが、1894（明治27）年に隧道定規として定められ、さらに1898（明治31）年の隧道建築定規として制式化された。

7.2 掘削

掘削は頂設導坑を先進させる日本式である。覆工は２枚から５枚の煉瓦巻で、第26トンネルのようにインバート（仰拱、線路下の下向きのアーチ）を設けた場合もある。普通は側壁の煉瓦積から始めてアーチに移るのであるが、地質の悪い場合には、側壁部分の岩盤を残しておき、アーチ部分の覆工を先行させる逆巻き工法をとった。それまでのトンネルの最急勾配は25ﾊﾟｰﾐﾙであったから、66.7ﾊﾟｰﾐﾙという急勾配での工事は初めての経験であったが、急勾配ゆえの特別の工法は採らなかったようである。

7.3 横坑

工期の短縮のため、トンネルの中間に横坑から入り、掘削面を増やすことが碓氷第４，第５，第６，第16，第21の各トンネルで行われた。第４と６９３第16では竣工時に横坑を完全に塞いだが、他のトンネルではその位置の頂部に短径4ft 長径

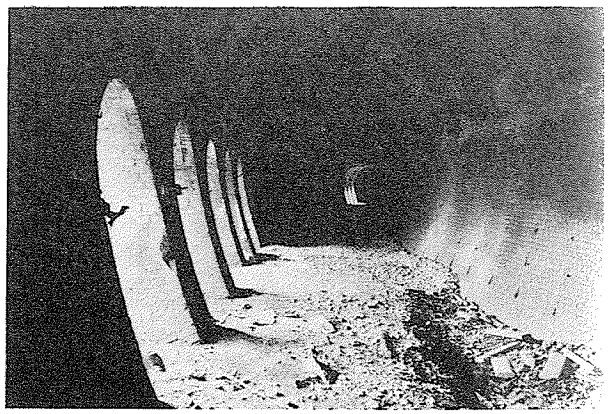

写真11　碓氷第 6トンネル中間の横孔[1992.4]

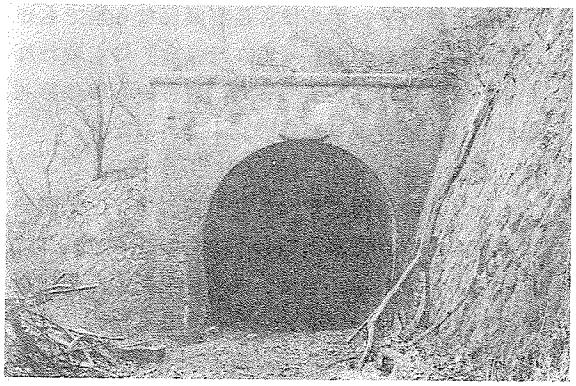

写真12　碓氷第 8トンネル入口[1992.3]

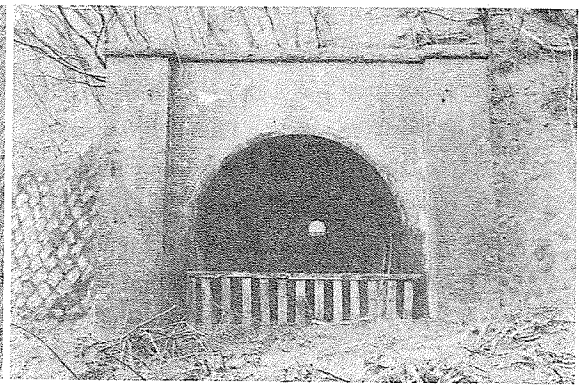

写真13　碓氷第17トンネル入口[1992.3]

6ft の楕円形の風窓を作り、蒸気機関車のばい煙の排出の用に供した．第６トンネルでは，２個所あり，さらに側壁にもアーチ形の孔を６個と３個造ってある（写真11）。

7.4 坑門の意匠

坑門は、煉瓦積の簡素なものを標準としたが（写真12、13）、意匠的な配慮の必要な所では、切石積、あるいは煉瓦と切石の組合せなども用いられ、翼壁、ピラスター、笠石、帯石、迫石、要石などを適宜組み合わせて、意匠設計を行っている。そのような場所としては、峠の入口と出口に当たる坑門、すなわち、第１トンネルの入口（切石積）と第26トンネルの出口（煉瓦と切石）、国道からよく見える所にある坑門（第１トンネル出口、煉瓦積、写真14、第３トンネル入口、切石積、写真15）、大きな構造物に接する坑門（碓氷第３橋梁に接する第５トンネル出口（切石積、写真16）と第６トンネル入口（煉瓦と切石、写真17）、最長のトンネルである第６トンネルの出口（切石積、写真18）、２番目に長い第26トンネルの入口（煉瓦積と切石）などが挙げられる。また、国道から近い第６トンネルの第２横坑にも装飾が施してある（写真19）。

7.5 煉瓦の積み方

煉瓦の積み方は、現存トンネルに見る限りは、覆工アーチは長手積み、側壁はイギリス積み、坑門もイギリス積みである。子細に観察すると、坑門付近の煉瓦を焼き過ぎ煉瓦にしたり、坑門付近の目地を覆輪目地や、山形目地など、やや凝った技法で仕上げてあるトンネルもある。また、66.7パーミルの勾配を持つ覆工と、鉛直に立つ坑門とは直角にならないので、その接続に他線区にない特徴が見られる。

7.6 旧碓氷線現存トンネル群の意義

1880年開通の逢坂山トンネル(665m)、1884年開通の柳ケ瀬トンネル(1352m) 以来、東海道線などに多くのトンネルを手掛けてきた技術者や職人たちにとって、碓氷線のトンネルは急勾配であるこ

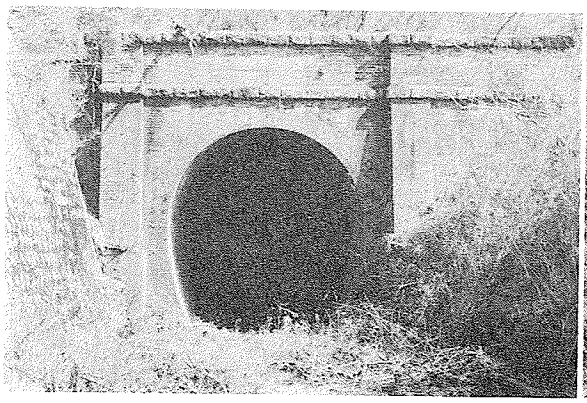

写真14　碓氷第 1トンネル出口[1992.4]

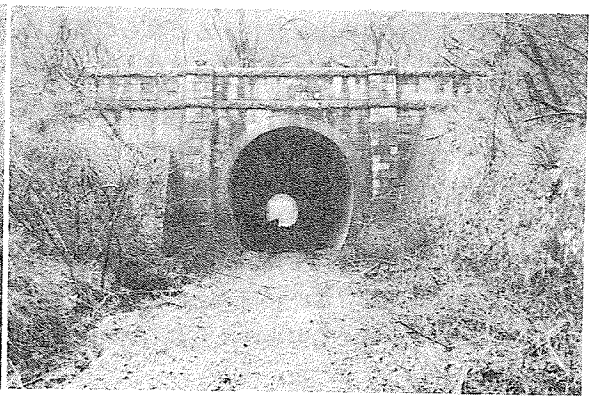

写真15　碓氷第 3トンネル入口[1992.4]

写真16　碓氷第 5トンネル出口[1994.1]

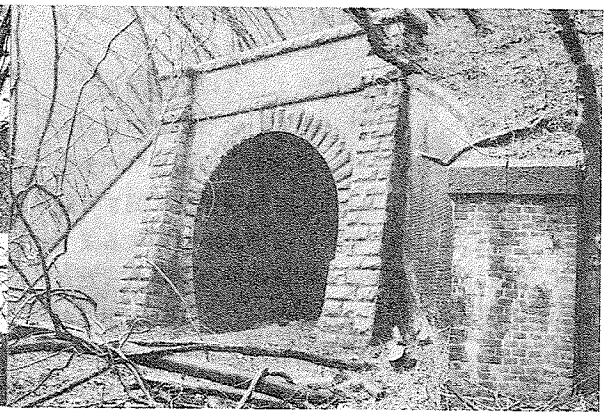

写真17　碓氷第 6トンネル入口[1992.3]

と以外は、手慣れた仕事であったに違いない。坑門の意匠設計も、同一手法の範囲内でのオーソドックスな展開と見てよい[16]。

現存する第１号～第10号、第16号出口付近、第17号の12本のトンネルは、当時のトンネル技術の典型例とみてよく、坑門の意匠も、ごく、簡素なものから、ある程度整えたものまでさまざまである。これらが短区間のなかに連続して建設されており、当時のトンネル技術を体得するための博物館として、他に例を見ないものである。

蒸気機関車による運転の時代に、煤煙による地獄の苦しみを与えたトンネルは、橋梁以上にアプト式急勾配鉄道の苦闘の証しである。

８．おわりに

本論文では、近代化遺産として国の重要文化財に指定された煉瓦アーチ橋５橋を含む旧碓氷線の橋梁とトンネルについて、文献調査と、現存構造物の現地調査に基づいて、それらの技術的特徴を述べ、現存構造物の文化財的価値について考察した。しかし、当時の示方書や設計書、あるいはその考え方などを記述した文献を発見するに至らず、

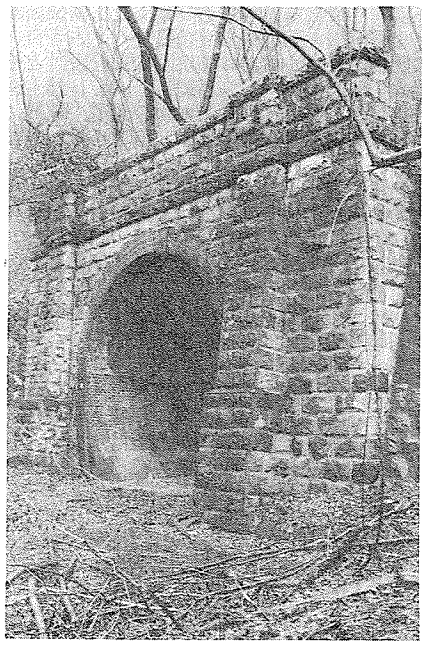

写真18　碓氷第 6トンネル出口[1992.3]

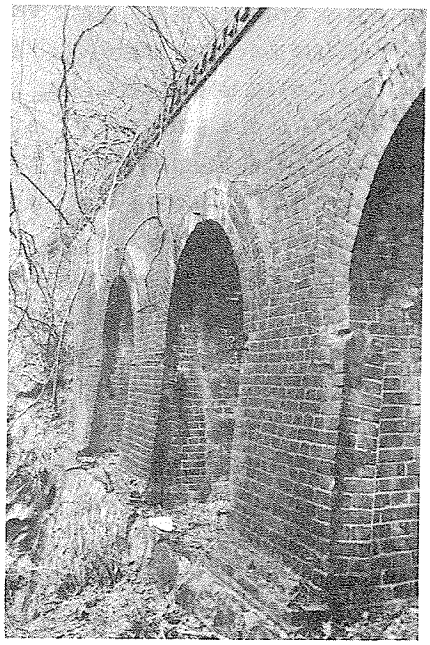

写真19　碓氷第 6トンネル中間の第１横孔[1992.3]

また、アーチ構造に関する当時の技術書の探索も果たせず、不十分な記述にとどまった。

鉄道橋梁の発達史に関しては久保田の論文[17]があり、明治時代の鉄橋と木桁についてのほとんど唯一の体系的な著作であるが、煉瓦造アーチに関する記述はない。久保田は橋梁技術に関する調査が、明治29(1896)年、パウナルが帰国するまで、橋梁技術はずっと外国人技師指導の下にあったため、技術全般を知る日本人がいないこと、記録が満足に残っていないことなどで、大変困難であったことを述べている。ただ、パウナル在任中の沿革については「パウナル往復文書」によるところが大きく、「唯一の虎の巻」だと記しているが、碓氷線に関する文書も当然含まれていたであろう。しかし、『日本国有鉄道百年史』編纂時の参考文献[18]にはなく、現存の可能性は少ないと見るべきか。

現存構造物は、失われた区間のものを含めて考えても、規模的にも、意匠的にも変化に富んでいて、旧碓氷線の代表例が残っていると考えてよい。

優れた自然景観の中に存在するこれらの橋梁は、都会でなく、山野にある煉瓦構造物群として、わが国最上級の遺産(Landmark)と考えてよかろう。

廃止されてから30年の歳月は、路盤やアーチ橋のうえに樹木を繁茂させ、冬期の凍結による構造物の損傷が進むにまかせた。本論文では、構造物の変状の実態については触れなかったが、部分的にかなり痛んだものがあるのが現状で、今後、構造物の保存修復の観点からの専門家による技術的調査と、保存修復工法の提案をまって、早急に手を加える必要があるように思う。

［なお、写真はすべて筆者撮影のものである］

謝　辞

本研究にあたり、多くの方々のお世話になった。記して感謝の意を表する。

群馬県高崎財務事務所地域振興室と松井田町には現地調査で大変便宜をはかっていただいた。国の重要文化財指定、所有権移転に向けては、松井田町教育委員会の各位が大変精力的に取り組まれて実現に導かれた。

東日本旅客鉄道高崎支社工務部施設課には、貴重な図面の閲覧をさせていただいた。八木富男氏はこの閲覧に関して、仲介の労を取って下さった。また、旧碓氷線の保守を担当された立場から、多くのことをご教示いただいた。土屋幸正氏には、パウナル論文、バルツァー論文を提供いただき、また、現地をご案内いただいた。

鉄道総合技術研究所小野田滋氏には、現地調査を共にしていただき、煉瓦造り構造物について、多くのことを教えていただいた。

文献調査にあたり、京都大学工学部土木系図書室、交通博物館、日本交通協会図書室、（株）電気車研究会にお世話になった。

参考文献

1) 『信越本線横川駅周辺鉄道文化財調査報告書』, 高崎財務事務所地域振興室・松井田町, 1990.3.
2) 小野田滋・萩原幸一・竹内定行・丸山　孝「わが国における鉄道トンネルの沿革と現状（第４報）－信越本線をめぐって－」, 土木史研究, 第13号, 1993年6月, p.255-268.
3) 渡辺信四郎「碓氷嶺鉄道建築略歴」、帝国鉄道協会会報, 第9巻, 明治41年(1908), p.465-- 539
4) Pownall, C.A.W.:"The Usui Mountain Railway, Japan", Proc. I.C.E., Vol.CXX, 1895, p.43-53
5) 小川一真『日本鉄道紀要』小川写真製版所、明治31年(1898)11月、復刻版：日本経済評論社, 1981.
6) 内田録雄『鉄道工事設計参考図面』、共益商社書店、明治30年(1897)
7) 信越線（碓氷線）橋梁図面, 大正元年－９年頃(1912-20), 東日本旅客鉄道高崎支社工務部施設課所蔵
8) 小野田滋・菊池保孝・須貝清行・古寺貞夫「近畿圏の鉄道トンネルにおける坑門の意匠設計とその特徴」、土木史研究、第13号、1993. 6.、p.1-16. 図-2
9) 逓信省公文, 私設鉄道および軌道, 第35,36,40巻
10) 八木富男『碓氷線物語』、あさを社、昭和53年(1978)
11) 河村清春・小野田滋・木村哲雄・菊池保孝「関西地方の鉄道における「斜架拱」の分布とその技法に関する研究」、土木史研究、第10号、1990.6, p.199-210
12) 鉄道局『全国各鉄道橋梁及隧道明細表』、明治27年 7月31日現在
13) 小野田滋「北九州地方の鉄道橋梁に見られるレンガ・石積みの構造的特徴に関する研究」、土木史研究、第12号、1992., p.1-12.
14) 出口　隆『九州鉄道茶屋町橋梁－そのデザインの系譜を巡って－』, 出口　隆, 平成元年(1989)１月
15) 片寄紀雄「歴史的建造物のデザイン」, 日本鉄道施設協会誌, 27-10, 1989.10. p.41-45.
16) 小野田滋・石留和雄・松岡義幸「土木史的観点から見た鉄道トンネルとその意義」、日本鉄道施設協会誌、28-12, 29-1, 29-2, 1990.12, 1991.1, 1991.2.
17) 久保田敬一「本邦鉄道橋ノ沿革ニ就テ」、土木学会誌、3-1, 1917.2, p.83-130.
18) 松島　忠「明治期鉄道土木関係資料について」、『近代土木技術の黎明期』、土木学会、1982, p.175-222. 所載