

井川刎橋の歴史とその構造解析*

The History and Structural Analysis of Ikawa Hanebashi (Cantilever Bridge)

武部 健一**、松村 博***

by Kenichi TAKEBE, Hiroshi MATSUMURA

Abstract

Ikawa Hanebashi was a cantilever bridge built over the upper reaches of Oi River which had lasted through its repeated repairs and reconstructions many times from the beginning of the Edo era until the early period in the Meiji era. The span of this bridge, which continued to get little by little longer every time it was reconstructed, finally reached 55-ken (about 100m). It was longest among the cantilever bridges in Japan. In this paper, We studied the history of this cantilever bridge and restored the structure based on historical materials. In addition, by calculating the safety of the structure, we confirmed that this bridge was possible to realize from the viewpoint of engineering. We also considered about the origin of its technology and others.

1. 井川刎橋とは

井川刎橋とは、静岡県の大井川の上流に公儀普請（幕府直轄）によって近世を通じて繰り返し架けられ続けた木橋である。橋長はおよそ 40～55 間(73～100m)と記録される大橋である。その架橋地点は現在の静岡市葵区井川に位置し、その跡地は 1957（昭和 32）年に完成した井川ダム湖の底に沈んでいる。大井川は南アルプスの南部で、静岡・長野・山梨 3 県がその境を接する地点にほぼ近い間ノ岳の南斜面に源を発し、赤石・白根両山脈の間を南下して太平洋側の駿河湾に注ぐ、幹線延長約 160km の河川で、流域面積は 1,280 km²と延長に比較して小さく、上流・中流域では深い峡谷を形成している。

井川刎橋が存在した旧井川郷は、このような大井川本流の上流部に属してはいたが、古くから人が居住し、古文書に「笹山金山株金上納は、享禄 4 年(1531)12 月 22 日に始まり云々」とあるように¹⁾、中世戦国期から金山の開発・発掘が行われており、近世江戸期に入ってから、金鉱は枯渇しても山林に良質な木材が産することや茶の生産などから、外界との交流も盛んであった。しかし、井川郷は大井川のこれより下流に九拾九折の接岨峽^{せつそ}があり、大井川沿いに交通路を求めることが困難で、そのため大井川の右岸に位置する井川七ヶ村は大井川を左岸側に渡し、そこから大日峠を越えて静岡の駿府城下に達する経路（府中道）を取る必要があった。そのために架けられたのが井川刎橋である。いつごろ架けられ始

めたかに対しては明確な文書記録はないが、『井川村誌』は「家康駿府在城」の慶長年間としている²⁾。家康が大御所として在城したのは 1607（慶長 12）年から没年の 1616（元和 2）年である。本橋は公儀御普請（幕府の工事）として 13 年ごとに架け換えられたとされ、1883（明治 16）年に鉄線の吊橋に架け換えられて³⁾、その歴史を閉じた（図 - 1）。



図-1 井川刎橋関係図

2. 井川刎橋の研究史

刎橋とは木造橋梁の形式の一つであり、深い峡谷に架け渡す場合など、中間に橋脚を立てることが著しく困難な場合に採用される形式の一つである。井川刎橋も大井

*keyword : 刎橋、構造、江戸期、
**フェロー会員 工博 道路文化研究所
(〒157-0067 東京都世田谷区喜多見 9-14-15)
***正会員 (株)ニュージェック

川上流のこのような条件下に架けられたものであるが、その橋長は後述するように最大でほぼ 100m に達したと記録されている。これは日本でこれまで知られている刎橋の規模をかなり上回っている。明治期以前の刎橋としてこれまで知られているものとしては、甲斐の猿橋（山梨県大月市）が最も有名であるが、その全長は 16 間 (29m) である⁴⁾。これに続いては、愛本橋（富山県黒部市）が日本で最も規模の大きいものとして知られているが、それでもその全長 206 尺 (62.4m)、支間長 150 尺 (45.5m) となっている⁵⁾。その他の地方で見られるものも、江戸期においてはほぼこれと同程度か、それを下回るもので、井川刎橋の規模に達した記録はない。1869（明治 2）年に架けられた天竜橋（長野県飯田市）は全長 87.28m とされているが、架橋後、数年で洪水のため流出した⁶⁾。

このように井川刎橋は、橋梁史上で極めて特異な存在であるにもかかわらず、橋梁史上あるいは土木史上ではほとんど取上げられることがなかった。土木史として最初に取上げたのは『静岡県の土木史』（1985〈昭和 60〉年刊）であり、1825（文政 8 年）に架けられた橋は長さ 55 間 (100m) で、工事の延べ人員 41,466 人であったことを報じている⁷⁾。これは『井川村誌』⁸⁾を元にした記述と思われる。これを受けて、土木学会中部支部編『国造りの歴史 中部の土木史』（1986〈昭和 61〉年刊）⁹⁾がほぼ同様な記事を載せており、井川刎橋の模型写真を添えている。この模型は、後述の『史料編年井川村史』の編者である宮本勉氏（故人）の作成にかかるものと見られる。

さらに、2008（平成 20）年の第 28 回土木史研究講演集で、山根巖氏が明治期の近代的木造吊橋の論文¹⁰⁾中で、かなり詳細に井川刎橋の歴史を説いている。これらはいずれも『井川村誌』¹¹⁾を基本文献としたものであるが、山根論文で紹介されたように、本橋については地元関係者によってかなり詳細に研究が進められている。

地元井川の出身で刎橋大工を先祖に持つ機械技術者の大村善之氏は、1814（文化 11）年に幕府の学者桑原藤泰が調査した記録として橋長 50 間 (90m) の井川刎橋の構造記録があることに着目して、幾つかの仮定を置いて構造図を再現し、それに基づき各部材の反力を計算して、本刎橋の構造が十分な強度を有していると 2002（平成 14）年に発表した¹²⁾。現在、大村氏がその構造計算に用いた刎橋の模型が地元の寺院（龍泉院）に寄贈されている。同じく井川に関係の深い地域歴史家の曾根満氏（静岡市在住）は、それ以前から井川刎橋の歴史研究を進めていたが、大村氏の技術的検討を踏まえて、著書『大井川に橋はあった～井川刎橋の解明～』を 2006（平成 18）年に公刊し¹³⁾、その歴史と構造について明らかにした。

本稿は、以上の先学の諸文献を基本としつつ、井川刎橋の歴史を吟味し、あわせて井川刎橋の刎橋の構造を土木学的見地から再検討して構造再現とその構造計算を

行い、それに基づいて井川刎橋の実存性を確認し、同刎橋の意義をより確かにすることを意図するものである。

3. 井川刎橋の歴史と構造の変遷

井川刎橋は地元では大井川大橋あるいは井川大橋、下井川刎橋、または単に猿橋（佐留橋）と呼ばれ、井川郷右岸側の弁天（弁才天）から左岸側の銀葉沢に架け渡されていた。井川ダムから直線距離にしておよそ 1.5km ほど上流に位置する。

猿橋とは一般に江戸時代には刎橋の代名詞でもあった。下井川刎橋という名称は、大井川のこれよりさらに 7km ほど上流で井川郷の北端にある田代と小河内の間に同じような形式の橋が同時にあったからである。この橋の形状は、片側からは通常の刎橋が突き出し、反対側からは河原から梯子をかけるという片刎橋というべき形をしており、これを上井川橋と言った。この橋もまた、猿橋、小刎橋などと呼ばれた。架橋の歴史としては、上井川橋のほうが古いとされる。

江戸時代、大井川には橋が架けられず、徳川幕府によって徒渉かちわたししか許されていなかったことがよく知られており、その理由として主に軍事的・政治的目的（川を要害と見なす）が強調されてきたが、松村は架橋とその維持の技術的困難性や経済的理由が要因であったことを指摘した¹⁴⁾。ただ、これは五街道の一つとしての東海道に関連した下流域の道筋に関してであった。

ここでは本稿の主題である下井川刎橋（本稿でいう井川刎橋）に的を絞って考察を進めよう。これは府中道と呼ばれる井川と駿河府中（現静岡市葵区城内）を結ぶ道筋に架かるものであった。公儀普請の橋であり、初めて架けられた時期は、前述のように慶長年間であるといわれ、定期的あるいは必要に応じて架け換えや修理が頻繁に行われた。

『井川村誌』は、井川刎橋の「掛け替えおよび修理一覧表」を表している¹⁵⁾。これによると、最初の架橋を家康の駿府入城の 1607（慶長 12）年以降として、最後の修理の 1867（慶応 3）年を含めて 24 回の架け換えまたは修理を記録し、そのうち 13 回を架け換えとしている。刎橋の存続期間を家康入府の 1607 年から新設鉄線吊橋の完成時の 1883 年までとすると、その存続年数は 276 年となるので、記録上からは修理または架け換えの 1 回あたりの存続年数は 11 年、架け換えのみを数えれば 19.7 年となる。本稿冒頭の 1 項に、13 年ごとの架け換えと記したが、『井川村誌』の記録に基づく計算では、架け換えの期間はこれよりほぼ 50% 長い、これは記録の漏れもあると思われる節もあり、後に検討するように、ほぼ基準値の 13 年に近い期間において架け換えが行われたと思われる。

架け換えには村人総出で石切や大木の伐採から架設までの工事に従事し、公儀御用普請として扶持米が支払われた¹⁶⁾。この用材は近在の幕府御林から切り出された。

井川刎橋の構造、特にその長さは時代が下がるごとに増加している。地元に残る古文書を整理した宮本勉編著『史料編年井川村史』には、数多くの刎橋関係の史料がある。その一つとして1669（寛文9）年、当時この地域を支配していた海野家の家老、青木市左衛門の口上書に、「和田村の下の大井川に刎橋がある。長さ40間(73m)、深さは橋から下へ9尋(1尋は5尺として14m)、それぞれに2刎ずつ両側で4刎、中央の桁の長さは13尋(20m)以上で、それを4本並べ、橋木の上に横木を渡し、粗朶を敷き、藤で締め付けてある（以上、現代文に意識）」と記されている¹⁷⁾。橋長についてはこの40間を始めとして、以後45間、47間、50間、53間と長さを増し、1825（文政8）年には55間(100m)に達した、と『井川村誌』は記す¹⁸⁾。この橋長については、1974（昭和49）年発行の上記村誌より古い1912（大正元）年発行の『安倍郡井川村誌』¹⁹⁾には、「天正年中刎橋一名猿橋トモイフ。井川ニ架ス。長サ七十五間幅二間云々」とある。75間とは136mを意味するが、裏付け資料が示されておらず、後年の著作である前記『井川村誌』がこれを採用していないのは、その信憑性に疑いを持ったためであろう。ところで、この『安倍郡井川村誌』には、刎橋のすぐあとの鉄線橋の項に「井川大日山間ノ鉄線釣橋」について記し、「これは明治15年12月5日に起工して翌16年1月14日に竣工したものだが、その原因は刎橋が明治5年の台風による水害で大破し、橋の延長が伸びたので、それに代るものとして橋長60間(109m)の鉄線釣橋が作られた（現代文に意識）」としている。その場所は刎橋より500mほど下流である²⁰⁾。

もともと刎橋の架橋位置については、代官所も気にかけていて、1699（元禄12）年7月には刎橋大破の検分に来た菅谷又七郎（代官所のものか）らの弁才天（現架橋場所）以外に適地はないのかとの問いに答えて、他には見当たらないと答えた話もある²¹⁾。したがって、時代は下がるが、橋長を60間程度またはそれ以上にする必要が生じたならば、刎橋の架橋位置を鉄線橋の位置へ移動すればよいのであるから、明治まで弁才天から動かなかったのは、橋長が55間以上にはならなかった証左とも言えるのではないか。以上の経緯から、橋長75間はここでも取上げないこととする。

4. 井川刎橋の見聞記録

井川刎橋の構造に関しての記述は、江戸期のこの地方の地誌に見られる。編年順で言えば、始めに『駿河記』（桑原藤泰著、1820〈文政3〉年）²²⁾、つづいて『駿河国新風土記』（新庄道雄著、1834〈天保5〉年）²³⁾、さらに『駿河志料』（中村高平著、1861〈文久元〉年）²⁴⁾の3資料である。これら3地誌の著者はいずれも駿河国の学者である。1810（文化7）年、幕府による各国地誌の集大成事業が着手され、その一環として駿河国の場合

は同年に駿府奉行服部久左衛門定勝が目付から転任して来た時から分担地区を定めて始まったが、この事業は2年後に奉行の服部が松前奉行へ転出のため頓挫した。この事業に加わっていた桑原藤泰はのちに『駿河記』を、同じく新庄道雄がこれに遅れて『駿河国新風土記』をそれぞれ編集することになる。なお、桑原藤泰（号は黙齋）には、『駿河記』を纏める前に記した旅行記の一つに『浜つづら』があり、その中に井川刎橋の詳しい記述が見られる²⁵⁾。

「橋詰に立止て橋の刎渡せるさまを見るに、大木を角取りたるを十本、兩岸より元を地中にうづめ、大岩ども敷て根をかため、其上に枕木を三通許並て、又拾本めんどり羽に継出して大岩を以て押とし、又枕木を並て、其上に元口三尺十六間通たる大木を、元口を岸のほうへ向け、末口を川表へ出して三本枕木の上に継出し、根元を杵木にて挟、是に重ねるに猿滑の枝を以て蔓となして、下の十本の刎木にからみ付たり。彼の大木の末口の方に枕木を置いて、両方より差出たる上に三本細丸太を掛渡し、蔓にてからみ付たり。其上に割木を一尺間に敷並、蔓にて梁木にからみ付て匳朶をまばらに敷て、又上に割木を一尺間に蔓にてかき付たるなり。橋長五十間、元の方は幅五間許、夫より三間許、真中十間許の間は九尺斗もあるべし。実にたぐひなき橋なり。これは公の御普請所にて十三年目に懸替えるとなむ。しかるに一年おくれけるゆゑ、橋大に損じて、中間はたるみて、今にも落たえむさまにて、戦々恐々たり。よくもなんなく打渡しけると舌ふるひしておそろしあへり。案内の庄屋、打笑いつつ申は、里人は荷負て幾度が往来すれ少しも恐なし。云々」

上の橋梁構造の内容はほぼそのまま『駿河記』にも記述されている。橋の構造は、概略でいうと橋長は50間(91m)で、3層の刎木を両側から刎ね出し、下2層は各10本、最上層は3本で、その両先端間に3本の中間桁を置き、歩きやすいように粗朶などを敷く。

先の1669（寛文9）年の青木市左衛門の口上書では、刎木が2層であったものが、1820（文政3）年の『駿河記』では3層になっている。また、橋幅は元のほうで5間(9.1m)ほど、中央の10間(18m)ほどの区間では9尺(2.7m)ほど、と記載している。

以後の『駿河国新風土記』（1834〈天保5〉年）と『駿河志料』（1861〈文久元〉年）の記述は、ほとんど『駿河記』を下敷きにしたものとなっている。ただ、『駿河国新風土記』では橋長を55間(100m)、橋幅を2間(3.6m)としていることが注目される。ところがこれより後の『駿河志料』では、刎橋の記述はほとんど『駿河記』の丸写しで、橋の長さも50間としたままで、『新風土記』の記述を見ていない疑いがある。ただ、「匳朶割木を薄く敷は雪を漏んがためなり」とし、これに加えて、「此一郷の地は米穀不毛の地にて、七ヶ村ともに大井川岸巖石の地に居住し、其山裾に畑あり、往時は税

貢も金納なりしが（此地は往昔沙金を取り地なる故、金納なりしか）延宝四辰年（1676）諸星庄兵衛縣令の時、毎村に誌す如く高に定められ、永定免となれり。皆畑の地なり」と新たな記述もあるから、何らかの別資料も参照したのであろう。

井川刳橋の見聞記としては、幕末から明治期に在日し、日本全国を旅行したイギリス外交官アーネスト・サトウ（Ernest Mason Satow）の日記²⁶⁾を逸するわけには行かない。サトウは1881（明治14）年8月6日に井川を訪れている。中部山岳地方の旅である

「川に架かる刳橋まで急降下して行く。この橋は岸からできるだけ先まで突き出された3層の梁でできていて、下の層には7本、真中には6本、そして一番上は3本の梁木が組まれている。下と真中の層の基部は土中に埋め込まれ、大きな石の重みで押さえられている。最下層と中間層の上に交差させた梁を置き、中間層と最上層を強化している。その先は、3層の梁の上には割丸太が何本も敷かれ、その上を大量の柴が覆う。そしてさらに割丸太が載せてある。橋の中央部はその最上層梁の先端に桁を何本か渡したものに過ぎない。渡る際には足元に注意を払うことが必要で、従って40フィート(12m)の眼下でごうごうと狭窄部を奔る川を眼にすることになる。これは少し勇気のいることで、荷物持ちの人夫は足運びに非常に注意していることが見て取れた。傘を持つとき時などには、先に傘を反対側に思い切って投げておいてから四つんばいになって渡りたいと思う気持ちに駆られることだろう。」（下線部は日記の原文²⁷⁾を参照して修正）

これによれば、この時の刳橋の刳木は3層で、下層が7本、中間が6本、最上層が3本よりなり、その上に細長い丸太の桁を乗せた構造であると推測できる。これは『駿河記』などの「下2層は各10本」より下2層の刳木の数が少なくなっている。このことは明治になって官費普請が廃止されて地元負担になったため、1876（明治9）年に大洪水で大きな損害を蒙った刳橋の復旧が十分にできず、仮補修の橋となっていたためと考えられる。その後、鉄線による吊橋に架け替えることとなり、1882（明治15）年に起工し、翌年1月に完成した。

5. 井川刳橋の絵画資料

井川刳橋の復元の参考にした絵図について述べる。この刳橋を主題に描かれたものが3枚ある。先に見聞記録として紹介した『駿河記』の絵図だけを編集した『駿河記 絵図集成』²⁸⁾（図-2）、同じく前掲の『駿河志料』²⁹⁾（図-3）および国立公文書館所蔵の『諸国名橋』³⁰⁾（図-4）に載せられた3枚である。この3枚はほぼ同じ構図で、構図や図中の人物の配置などから見ても、一つのオリジナルから模写された可能性が高い。図-2、3は書籍の出版年代や著者がはっきりしており、判断し易いが、図-4は作者、年代とも不明で、前後関係の判定が難しい。制作順とし

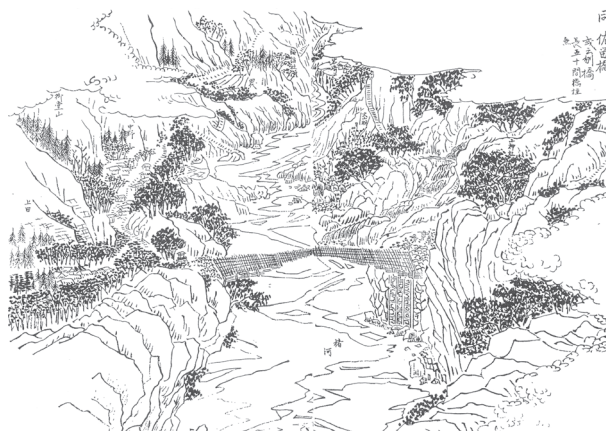


図-2 佐留橋（『駿河記 絵図集成』より）

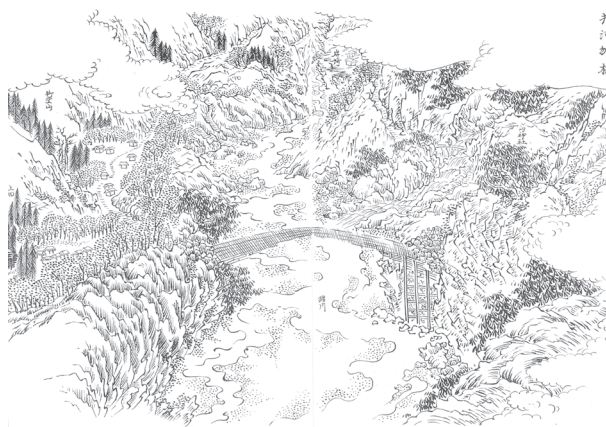


図-3 井川刳橋（『駿河志料』より）

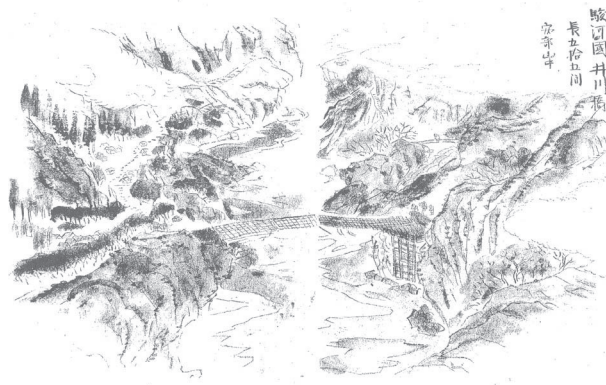


図-4 駿河国井川橋（『諸国名橋』より）

ては図-2が最も古く、『浜つづら』、『駿河記』の編者である桑原藤泰が1814（文化11）年に現地踏査を行ったときに描いたと考えられており、オリジナル性は高い。これには「佐留橋 或云刳橋 長五十間 柱無」と注釈があり、地名・施設名が8箇所ほど書き込まれている。この絵は架橋地のやや下流から上流に向けて描かれたものである。

『駿河志料』所載の図-3は、橋杭が橋の横に沿って立てられているように描かれており、橋端の石積もずいぶん盛り上がっていて、道路面を整えたようには見えず、橋の構造を理解して描いたとは思えない。おそらく、現地を見ずに、図-2の絵の内容を十分に理解しないままに引き写したものであると考えられ、したがって、史料価値は低い。図-2、3の2枚

は墨書で木版印刷である。

最後の図-4 (『諸国名橋』所載) は肉筆画で、左岸側の橋台部に若干の独自の表現も見られるが、製作年代、筆者も分からないため、史料としては使いづらい。しかし表題に「駿河国 井川橋 長五拾五間 安倍山中」とあり、資料的に橋長 55 間が知られる 1820 (文政 3) 年以降に描かれたものと位置付けられる。この絵が前 2 者ともっとも異なる大きな特徴として、『諸国名橋』は単独の草紙絵本で、あらかじめ綴じられた白紙本に、次々と各地の橋を彩色で描いていったものである。その作成者や作成時期などは一切知られておらず、単に幕末期に描かれたものと推定されているに過ぎない。『諸国名橋』の井川刳橋の意義は、この橋が何らかの形で恐らくは江戸在住の画家に知られ、名橋の仲間入りしたことであろう。

以上の検討により、以下の構造検討では図-2 を参考にして進めることにした。

6. 井川刳橋の構造復元とその工学的解析

(1) 元禄 12 年の「目録」の検討と 47 間構造の復元

往時の井川刳橋の全体を復元しうる最も詳しい資料は次に示す 1699 (元禄 12) 年の『御普請目録』である³¹⁾。この資料は井川七ヶ村から担当の代官へ提出された刳橋架け換え工事の申請書である。「下書」とあるのは、この工事が公儀御普請であり、したがって所轄の代官所から江戸の奉行に差し出すのが正式の申請書になり、その下書きを実際の工事に当たる地元の村が代行する形を取っているからで、各部の材料寸法などは当時の橋の実態を示しているものと考えられる。以下にその全文を示す。

「此下書ヲ以指上候

元禄十二年卯ノ十一月」

駿州安部郡井川新刳橋御普請目録

一 橋西東間数四十七間

東方

一 橋台坪数百廿坪 地行よりそこへ

壺丈掘込

掘候而石地行迄取立申候

此人足九千六百人

一 地行より高さ壺丈五尺石掛ヶ積立

此人足壺万四千四百人

一 逆木八本 長さ七間八間迄 廻り八尺九尺廻り

此人足八百人 但シ杣取出し人足ともニ

一 逆木上之枕木長六間 廻り六尺

此人足百人 右同断

一 逆木持つく八本 長四間廻り六尺廻り

此人足四百人 右同断

一 本刳木八本 長拾六間廻り壺丈壺尺廻り

此人足千六百人 右同断

一 橋杭八本 長八間廻り九尺より壺丈まで

此人足九百六拾人 右同断

一 貫木三本 長六間はゞ壺尺貳寸 こば八寸

此人足貳百人 右同断

一 次之刳木三本 長拾六間 廻り九尺廻りより八尺まで

此三本上田村大井葉沢村森中野村御堂ニ有り

此人足五百人 右同断

一 枕木貳本 長六間はゞ壺尺四寸 こば八寸

此人足百五十人 右同断

一 まな板壺枚 長八尺はゞ壺尺六寸 こば六寸

此人足廿人 右同断

一 浦柱四本 長六尺七寸角

此人足四人 右同断

一 足代木藤綱山取打手間ともニ

此人足千六百人

一 見桁貳本 長拾六間廻り七尺八尺廻り

此貳本ハ田代村諏訪森同村葉師森

此人足三百人 右同断

一 荷置人足三千五百人 手間

一 わく三組

此人足貳千百人 但シ材木杣取山出シ人足ともニ

一 わく荷置人足千人

西方目録

一 石卦ヶ坪数 七十坪

此人足壺万五千人 但シ壺坪二百五拾人宛

一 本刳木四本 長拾三間廻り九尺壺丈廻り

此人足六百人 但シ杣取出シ人足

一 本刳木四本ハ古木用申候

一 橋杭八本 長四間廻り九尺壺丈廻り

此人足八百人 右同断

一 貫木三本 長六間はゞ壺尺貳寸 こば八寸

此人足貳百人 右同断

一 枕木貳本、長六間壺尺四寸、こば八寸

此人足百人 右同断

一 まな板壺枚 長八尺はゞ壺尺六寸 こば六寸

此人足廿人

一 わく柱四本 長六尺七寸角

此人足四人

一 次之刳木壺本 長拾六間 廻り八尺

此壺本ハ田代村諏訪森ニ有り

□(破れ)六拾□(破れ)

一 次之刳木貳本ハ古木用申候

一 逆木八本ハ古木用申候

一 逆木上之枕木壺本ハ古木用申候

一 逆木持つく八本 長八尺九尺廻り五尺六尺

- 此人足百人 但シ杣取山出シともニ
- 一 古橋ほくし人足八百人
□(破れ)木拾五本引人足四百人
- 一 荷置人足 千五百人
- 一 石引藤綱山取打手間ともニ
此人足千三百人
- 一 足代木藤綱山取打手間ともニ
此人足千六百人
- 一 橋掛人足 千五百人
- 一 大工人足手間 貳百人
- 一 そた人足 八百人
- 人足合五万三千九百六十人

七千八百十八人(上の書き換え)³²⁾

元禄十二年

卯十月晦日七ヶ村寄合刳橋註文下書

	井川上田村	名主	市左衛門
	葉沢村	同	兵太夫
	中野村	同	七太夫
	岩崎村	同	市左衛門
	上坂本	利兵衛	
御奉行様	小河内	弥右衛門	
	田代村	太郎左衛門	

この『目録』を基本にして、前記『浜つづら』や『駿河記』などの記述や絵画資料などを参考にしながら、復元を試みたのが図-5である。

まず『目録』に列挙された各部材の役割などを順次検討していくことにする。

・本刳木：「もとはねぎ」と読むと思われる。橋全体を基部で支える、最も力のかかる場所に配置される刳木で、両方とも8本からなっている。

東方ー 長さ16間(1間=6尺として29m)、元口廻り1丈1尺(径106cm)

西方ー 長さ13間(24m)、元口廻り9~10尺(径87~96cm)

「廻り」の寸法は元口、すなわち最大径の円周の値であると解釈した。

・次之刳木：本刳木の上に乗せられ、桁を支える役割を果たした部材である。両方とも3本よりなり、長さ16間(29m)、元口廻り8~9尺(径77~87cm)。岸に近くなるほど間隔が広くなるように配置されたと考えられる。また、陸側の端部は、藤蔓などで下の本刳木に結わえつけられ、固定されたと考えられる。

・枕木：本刳木と次之刳木の「ずれ」を防止するために両方に切り込みを入れて固定された部材であると考えられる。この枕木では長6間(10.9m)、幅1尺4寸(42cm)、こば(木端?一高さ)8寸(24cm)の角材を2本ずつ使うことになっているが、曲げに対する部材間のせん断力の伝達に効果が高くなるように、本刳木の先端と次之刳木の後端に近い位置に入れられたと考えた。刳木は岸に向かってやや広がるように配置されたと考えられるが、その範囲はこの部材の長さ6間以内となる。

・逆木：「さかぎ」と読むのであろう。逆とは元口と末口を逆にすなわち元口を川側に配置するという意味に解釈した。本刳木の下に置いて、本刳木を支え、並べ易くするためと橋杭と一体となって石積の基礎部を安定させる役割を持つ部材であると考えた。なお、西側の逆木の寸法は不明である。

・逆木上之枕木：本刳木を支える役割を持つ部材と考えた。長6間(10.9m)であるから、8本の本刳木がこの範囲に納まらなければならない。杭の上に置き、その上に逆木を並べた方が、作業がし易いと思われるが、「上之」と

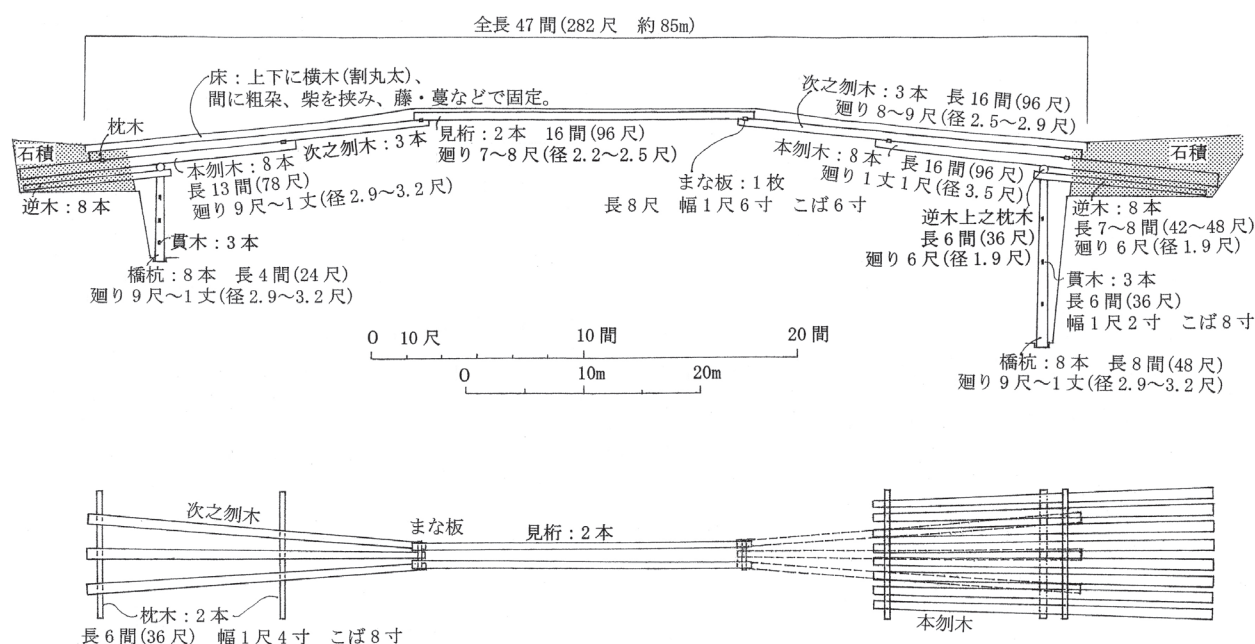


図-5 井川刳橋推定復元図：橋長47間(元禄12年『目録』を基にして復元)(作図：松村)

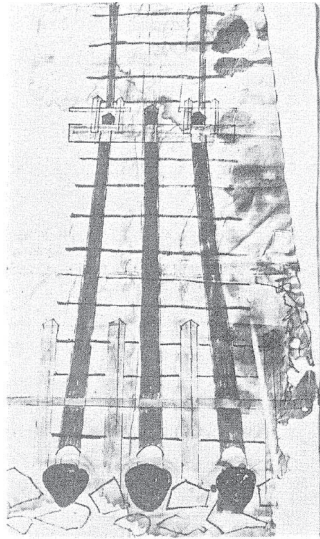


図-6 刎橋組立絵図³³⁾

いう表現を尊重して逆木の上に置かれたと解釈した。

- ・逆木持つく：役割は不明である。逆木の下に並べて、安定を良くする役割を持つ部材と考えられるが、縦方向か横方向かもわからない。東と西で寸法が違っているので、縦方向の部材かも知れない。
- ・橋杭：逆木を介して本刎木の支点となる柱であると考えた。本数が同じであるため逆木 1 本ずつを支えたと解釈した。
- ・貫木：橋杭 8 本を横に貫通するように、3 本が入れられたのであろう。
- ・見桁：橋中央に配された桁のことでありと考えられる。長 16 間(29m)、元口廻り 7~8 尺(径 68~77 cm)の太い木材を 2 本配置することになっている。
- ・まな板：次之刎木の先端に置いて、桁を乗せる部材であると考えた。刎木と桁に噛み合わせて互いのずれを少なくするように加工されていたのであろう。長 8 尺(2.4m)であるから、桁がこの範囲に置かれたとすると、橋の中央部の幅員は 8 尺程度ということになる。
- ・足代木：橋の床は、刎木や桁の上に細い横木を並べて、その上に亀杓(そだ、粗杓)、柴などを敷き並べて、その上にさらに横木を並べて、互いを藤蔓などで固定して整えられたと考えられる。その細い横木を足代木と言ったと判断した。
- ・橋台石積：刎木などを設置するために左右岸に石積が築かれた。東側では地山を掘って平らな面が整えられ、その上に 1 丈 5 尺(4.5m)の高さに石が積まれ、上面の広さは 120 坪(約 20m 四方)にもなった。その中に刎木などが埋め込まれた。そして西側では 70 坪(約 15m 四方)ほどの面が整えられた。

上記の木組の状態をよく表していると考えられるのが図-6 である。この図の描かれた年代ははっきりしないが、桁が 2 本であることから判断して、元禄 12 年に近い年代であったかも知れない。

元禄 12 年に申請された工事願は、元禄 15 年に実現さ

れたと考えられる。申請書である『目録』では、従事者の人数を 57,818 人としているが、実施工事で支給された扶持米の量は 40,883 人分と約 70%に圧縮されている³⁴⁾。その分をどう工夫したのか、その対応はわからないので、復元にはこの材料の寸法をそのまま利用した。

当時の橋の長さがどの距離を指したのかは明確ではないが、構造部材つまり刎木の端から端までを測ったものや橋柱間隔つまりスパンではなく、横木と粗杓で整えられた床の範囲、つまり今日の定義であるパラペット前面間距離に近いものと考えた(図-5、7の全長の範囲)。

また、前述の「佐留橋」などの絵を見ると、勾配はそれほど大きくはなく、甲斐の猿橋の例³⁵⁾や図-14などを参考にして刎木の勾配はおおよそ 1/10 と仮定した。

床の構造は、200 年にわたってほとんど同じであったと考えられる。『浜つづら』などの記述にあるように、桁や刎木の上に割木を横方向に(1 尺間隔で)並べて蔓で主部材に結びつけ、その上に粗杓を敷く、その上に(1 尺間隔で)割木を敷いて、蔓でしっかり固定して橋面が整えられた。粗杓の量は、桁の上は薄く、刎木の上は高さ調整のために厚くしたのであろう。そして前述のように『駿河志料』に「粗杓割木を薄く敷くのは、雪を漏らそうとするためだ」とあり、中央部の粗杓の量は薄かったと考えられる。

(2) 元禄 12 年構造(47 間)復元の部材応力の検証

上で推定復元した主要部材の安全性を確かめるために、以下のような簡易計算を行った。各部材の断面が変化していることを考慮して断面力を計算すべきであるが、断面も荷重も不明確であるため、目安をつけるための簡略な計算に留めた。刎木の勾配を 1/10 としたため垂直分力への影響は少なく、かつ安全側にみて水平部材とした。

各部材の配置、特に刎ね出し長も不明であるため、中央の桁の支点間距離を 28m、次之刎木の刎ね出し長を全長の約 3 分の 1 の 10m (桁との重なりは 1m)、東方の本刎木の刎ね出し長を全長の約 2 分の 1 の 14.5m と仮定した。また各部材の断面形は円断面とし、各部材の末口の寸法は、径では元口の約 70% (断面積では約 50%) と仮定し、対象断面の面積はその比例で求めた。

a) 荷重条件

死荷重：木材の単位重量=600 kg/m³

床荷重=50 kg/m²(桁上) 100 kg/m²(刎木上)

分布は、桁上では幅 8 尺、刎木上では中で 3 間(5.4m)、端部で 5 間(9.1m)とする。

雪荷重は道路橋設計示方書を参考に刎木上は 100 kg/m²とし、桁上は雪が溜まりにくいと考え、50 kg/m²とする。

活荷重：1 人を体重+荷物で 100 kg とした。

b) 桁の曲げ応力

木材の自重、床荷重、人(5 人が 1 列で桁に乗ったと仮定)、雪荷重を全て等分布に換算し、幅員 8 尺(2.4m)、

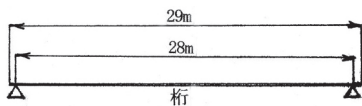


図-7 47 間刎橋の桁の応力計算モデル

長さ 28m (仮定支点間距離) に载荷した。2 本の桁の形状は、円断面で平均径 62 cm の等断面と仮定すると、

自重 $600 \times \pi (0.62)^2 / 4 = 181 \text{ kg/m} \cdot \text{本}$

床 $50 \text{ kg/m}^2 \times 2.4 / 2 = 60 \text{ kg/m} \cdot \text{本}$

雪 $50 \text{ kg/m}^2 \times 2.4 / 2 = 60 \text{ kg/m} \cdot \text{本}$

人 $100 \text{ kg} \times 5 \text{ 人} / 28\text{m} / 2 = 9 \text{ kg/m} \cdot \text{本}$

桁の曲げモーメント $= q l^2 / 8$

死荷重のみ $(181 + 60) \times (28)^2 / 8 = 23600 \text{ kg m}$

死活荷重 $(181 + 60 + 60 + 9) \times (28)^2 / 8 = 30300 \text{ kg m}$

断面係数 (円断面) $W = \pi d^3 / 32 = 23400 \text{ cm}^3$

応力 $\sigma = M / W$

死荷重のみ $2360000 / 23400 = 100 \text{ kg/cm}^2$

死活荷重 $3030000 / 23400 = 129 \text{ kg/cm}^2$

最大曲げ応力は約 130 kg/cm^2 で、橋本体のみでは約 100 kg/cm^2 となる。針葉樹の曲げ強度は $500 \sim 800 \text{ kg/cm}^2$ ほどであるから³⁶⁾、かなりの安全率は確保されることになる。

c) 次の刎木の曲げ応力

桁との重なりがあるから、跳ね出し長を 9.5m とする。

・桁の荷重 P_2

死活荷重 $310 \times 14 \times 2 / 3 = 2890 \text{ kg}$

死荷重のみ $241 \times 14 \times 2 / 3 = 2240 \text{ kg}$

まな板 $130 / 3 = 40 \text{ kg}$

・刎木自重 P_1

刎木断面 元口: 82 cm , 末口 57.4 cm , $1/3$ 点径: 65.6 cm

自重 $600 \times \pi \times ((0.574)^2 + (0.656)^2 / 2) / 4 \times 10 = 1790 \text{ kg}$

仮想作用点 先端 (末口) と固定点 (刎出し点) の断面平均点とすると、

$$10 \times (57.4)^2 / ((57.4)^2 + (65.6)^2) = 4.34\text{m}$$

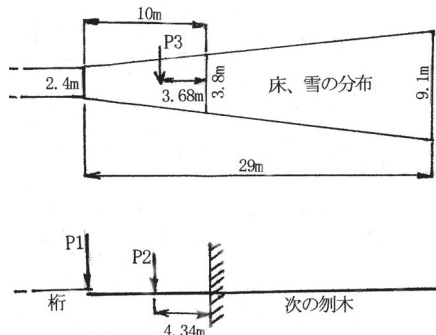


図-8 47 間刎橋の次の刎木の応力計算モデル

・床、雪荷重 P_3

幅: 先端部 2.4m 、固定部 3.8m

床 $100 \text{ kg/m}^2 \times ((2.4 + 3.8) / 2) \times 9.5 = 2945 \text{ kg}$

雪 上に同じ

刎木 1 本当たり $2945 \text{ kg} / 3 = 982 \text{ kg}$

仮想作用点 $9.5 \times 2.4 / (2.4 + 3.8) = 3.68\text{m}$

・刎木固定点の曲げモーメント

死活荷重

$$M = P_1 \times l_1 + P_2 \times l_2 + P_3 \times l_3$$

$$= 1790 \times 4.34 + (2890 + 40) \times 9.5 + (980 + 980) \times 3.68$$

$$= 43400 \text{ kg m}$$

死荷重のみ

$$M = 1790 \times 4.33 + (2240 + 40) \times 9.5 + 980 \times 3.68$$

$$= 33000 \text{ kg m}$$

・刎木の最大曲げ応力

$$\text{断面係数 (円断面)} \quad W = \pi d^3 / 32 = 27700 \text{ cm}^3$$

$$\text{死活荷重} \quad M / W = 4280000 / 27700 = 154 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{死荷重のみ} \quad M / W = 3300000 / 27700 = 119 \text{ kg/cm}^2$$

最大曲げ応力は約 150 kg/cm^2 (橋本体のみでは約 120 kg/cm^2) となる。

d) 本刎木 (東方) の曲げ応力

刎出し基部をその中間点としたから、径は約 90 cm となる。雪荷重は床上、つまり次の刎木の上のみに乗ったと仮定する。

・次の刎木先端からの荷重 P_1

$$\text{死活荷重} \quad (1790 + 2930 + 1960) \times 3 / 8 = 2505 \text{ kg}$$

$$\text{死荷重のみ} \quad (1790 + 2280 + 980) \times 3 / 8 = 1890 \text{ kg}$$

・本刎木上の次の刎木の自重 P_2

$$600 \times \pi \times ((0.656)^2 + (0.782)^2) / 2 / 4 \times 3 / 8 = 1334 \text{ kg}$$

仮想作用点

$$(0.656)^2 / ((0.656)^2 + (0.782)^2) \times 14.5 = 5.98\text{m}$$

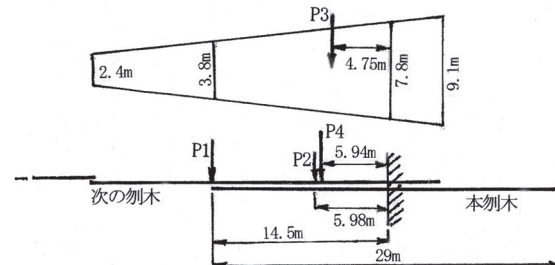


図-9 47 間刎橋の本刎木の応力計算モデル

・床、雪荷重 (次の刎木の上) P_3

$$\text{床} : (3.8 + 7.8) / 2 \times 14.5 \times 0.1 / 8 = 1.05\text{t}$$

雪: 上に同じ

$$\text{仮想作用点} \quad 3.8 / (3.8 + 7.8) \times 14.5 = 4.75\text{m}$$

・本刎木の自重 P_4

$$600 \times \pi \times ((0.75)^2 + (0.9)^2) / 2 / 4 \times 14.5 = 4680 \text{ kg}$$

$$\text{仮想作用点} \quad (0.75)^2 / ((0.75)^2 + (0.9)^2) \times 14.5 = 5.94\text{m}$$

・本刎木固定点の曲げモーメント

死活荷重

$$M = P_1 \times l_1 + P_2 \times l_2 + P_3 \times l_3 + P_4 \times l_4$$

$$= 2505 \times 14.5 + 1334 \times 5.98 + 2100 \times 4.75 + 4680 \times 5.94$$

$$= 82100 \text{ kg m}$$

死荷重のみ

$$M = 1890 \times 14.5 + 1334 \times 5.98 + 1050 \times 4.75 + 4680 \times 5.94$$

$$= 68200 \text{ kg m}$$

・ 刳木の最大曲げ応力

$$\text{断面係数 (円断面)} \quad W = \pi d^3 / 32 = 71500 \text{ cm}^3$$

$$\text{死活荷重} \quad M/W = 8210000 / 71500 = 115 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{死荷重のみ} \quad M/W = 6820000 / 71500 = 95 \text{ kg/cm}^2$$

枕木直上の曲げ応力は約 120 kg/cm² (橋本体のみでは 95 kg/cm²) となる。

このように刳橋の主要部材にはかなり大きな曲げ応力が生じていたことになり、木材の経年劣化などを考えるとそれほど余裕のある設計ではなかったことになる。

(3) 55 間刳橋構造の復元と部材応力の検証

時代が下がるにしたがって橋長が長くなることは既述したが、その構造の変遷を表 1 に示す。構造復元に用いた 1699 (元禄 12) 年の橋長 47 間から、文献上では、1815 (文化 12) 年に 50 間(91m)、さらに 1825 (文政 8) 年に 55 間(100m)になっている。なお表 1 では 1861 (文久元) 年に橋長が再び 50 間に戻っていることになるが、これは『駿河記』を下敷きにした『駿河志料』によるものであり、年次としては信頼するに足りない。

55 間になったとされる文政 8 年の架け換え時の目論見書の一部が『井川村誌』³⁷⁾に紹介されており、その主要木材は次のようである。

- ・ 西之方土台枕木：母 1 本 長 10 間(18m) 末口 2 尺 7 寸(82cm)
- ・ 東西逆木：母 10 本 長 11 間(20m) 末口 1 尺 5 寸(45cm)
- ・ 笠木：母 1 本 長 16 間(29m) 末口 1 尺 7 寸(52cm)
- ・ 東西二ノ刳木：母 5 本 長 16 間 末口 1 尺 4 寸(42cm)

cm)

各々の本数は取り替える部材の数で、総本数ではない。この内、笠木がどの部材に当たるのかよく分からないが、他の部材より大きいことから、本刳木にあたると推定した。そして、逆木が東西とも 11 間で、元禄 12 年の西側の逆木が東側と同じ長さであると考え、両岸より 3 ～4 間ずつ突き出されたことになり、刳木や桁の構造が同じであるとしても、ほぼ 55 間の長さが確保されることになる。また、橋台石積は、

・ 東側：長 10 間(18m) 平均高さ 5 間(9m) 横 10 間

・ 西側：長 6 間半(12m) 平均高 8 尺(2.4m) 横 7 間(13m) となっており、東側は元禄 12 年よりもかなり高くなっている。大村善之氏は、『浜つづら』の記述に基づいて全長 90m (50 間) の場合の刳橋の構造復元を試み、精密な強度計算を行っている³⁸⁾。大村氏は、刳木を 3 段とし、上の刳木を『浜つづら』によって 16 間(29m)としている。他は、中、下段の刳木の長さを 10 間(18m)と仮定、各部材を架設していくとき、自重による回転モーメントによって落下しない範囲で刳ね出し長さが決められたものとして、刳木の元口、末口間の断面変化も考慮して各部材の断面力を計算し、安全率を確認している。こうして橋長 90m の刳橋が成り立つことを証明している。この場合には、中央の桁は 7m となっている。

本稿では、先に示した文政 8 年の架け換え時の記録を基本とし、そのほか 4. 井川刳橋の見聞記録で見た『浜つづら』などの史料、更に上記の大村氏の検討などを参照して、橋長が 55 間になった時の橋の構造を推定し、その構造力学的可能性を検討した。ただこれらの資料に

表 1 井川刳橋の規模と構造の変遷 (1 間=6 尺、1 尋=5 尺で換算)

年代	長さ	幅	高さ (深さ)	部材			文献(文書)
				刳木	桁	橋杭、橋面	
寛文 9 年 (1669)	40 間 (73m)		9 尋 (14m)	一方 2 刳ねづつ	長 13 尋 (20m) 以上		「青木市左衛門 口上之覚控」 史料編年井川村史第 2
元禄 12 年 (1699)	47 間 (85m)	8 尺弱(2.4m)		逆木: 8 本長 7 ～ 8 間 廻り 8 ～ 9 尺 (2.4 ～ 2.7m) 本刳木: 8 本長 16 間 廻り 1 丈 1 尺(3.3m) 次之刳木: 3 本長 16 間 廻り 8 ～ 9 尺	2 本、長 16 間 (29m) 廻り 7 ～ 8 尺 (2.1 ～ 2.4m)	東西共: 橋杭 8 本、貫木 3 本、 枕木 2 本、まな板 1 枚 床材か: 足代木、藤綱	「駿州安部郡井川 新刳橋御普請目録」 史料編年井川村史第 2 及び静岡市史近世史料四
文化 12 年 (1815)	50 間 (91m)	元の方 5 間許 夫より 3 間許 真中 10 間許の間 9 尺(2.7m) 斗		下: 角取り大木 10 本 中: 10 本めんどり羽に継出し 上: 元口 3 尺 長 16 間 3 本	細丸太 3 本	床: 割木を 1 尺間に敷き並べ、粗 梁をまばらに敷き、その上に割 木を 1 尺ごとに敷き並べ、蔓で 橋にかきつけ	浜つづら・安倍記 及び駿河記 (桑原藤泰)
文政 8 年 (1825)	55 間 (100m)	1 間(1.8m)		逆木: 母長 11 間(20m) 末口 1 尺 5 寸(45cm) 笠木: 長 16 間(29m) 末口 1 尺 7 寸(52cm) 二ノ刳木: 母長 16 間 末口 1 尺 4 寸(42cm)			井川村誌
	55 間 (100m)						諸国名橋 駿河国井川橋
天保 5 年 (1834)	55 間 (100m)	2 間(3.6m)			細丸太を 3 本	床: 割木をしき並べ、粗梁を敷 き、その上に割木を蔓にてから みつけて	駿河国新風土記 (新庄道雄)
文久元年 (1861)	50 間 (91m)	9 尺(2.7m) 許		下: 角なる大木 10 本 中: 10 本刳ね出し 上: 元口 3 尺 長 16 間 3 本	細木 3 本 投渡し	床: 割木を 1 尺間にからみ付 け、粗梁をうすく敷き、割り木 を 1 尺間許に敷き並べて	駿河志料(中村高平)
明治 14 年 (1881)			40ft (12m)	下の層 7 本、真中に 6 本 上層 3 本	3 本の 細長い丸太	床: 割木を並べ、柴を敷き、そ の上に割丸太を載せる	日本旅行日記 及び 明治日本旅行案内 (アーネスト・サトウ)

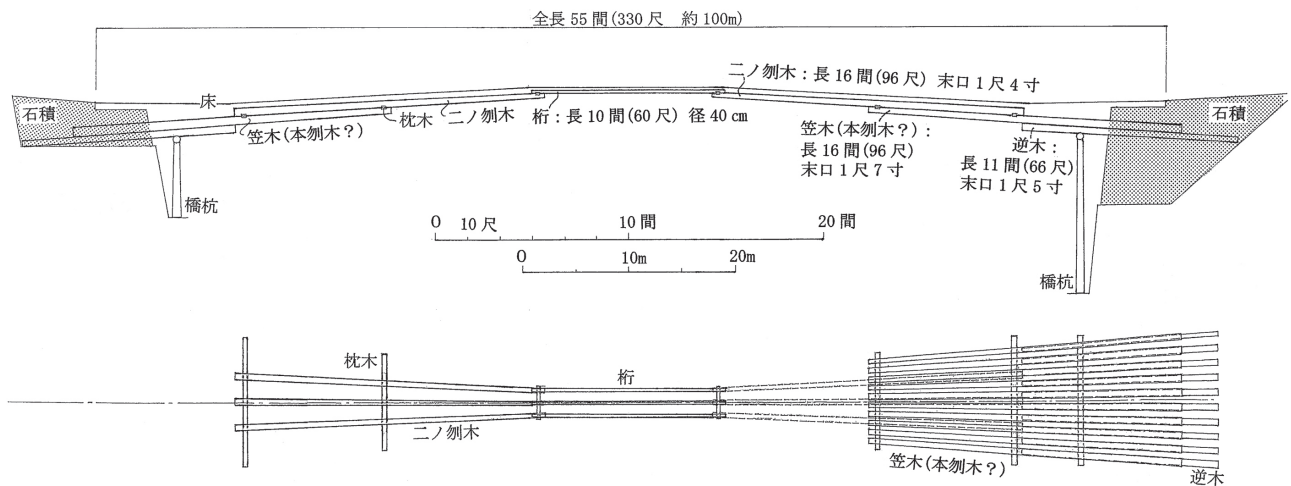


図-10 井川刎橋推定復元図：橋長 55 間（作図：松村）

挙げられた数値をすべて整合性をもって組み合わせることは難しい。

まず、元禄年間の架け換え時点の構造がほぼ踏襲され、橋長が長くなった分は最下段の逆木の寸法を長くして、西側の刎木を東側と同じ 16 間にすると、その分を川側に突き出すことによって必要な長さは確保されたと推定した。この場合、桁には元禄 12 年の『目録』とほぼ同じ寸法の木材が使われたことが前提になる。そして次之刎木や本刎木の刎ね出し量をほぼ同じと仮定すれば構造的にも成り立つことになる。

一方、前述の『浜つづら、安倍記』に、幅は「真中十間許の間は九尺斗」、「三本細丸太を掛渡し」とあることから、中央の桁を、長さ 10 間に細い丸太を 3 本並べたと考え、桁長を 10 間(18m)とする構造形を考えることもできる。ここではそれを採用し、それに文政 8 年の『目録』にある部材寸法も組み合わせて、長さ 55 間の刎橋の復元を試みたのが図-10である。

これについても図-5に対してと同じように主要部材の曲げ応力の簡易計算を行った。载荷の条件や部材の物理条件はすべて同じとした。

a) 中央の桁

桁長 10 間(18m)で、等断面の円断面の部材が 3 本並べられたと仮定。橋幅を 9 尺とすると、桁 1 本あたりの幅は 3 尺(0.9m)となる。

・死荷重

床：50 kg × 0.91 = 45.5 kg/m

桁：φ40 と仮定。

$$600 \times \pi \times (0.4)^2 / 4 = 75.4 \text{ kg/m}$$

・活荷重

人：100 kg の人が 5 人乗ったとする。

$$100 \times 5 / 3 / 17 = 9.8 \text{ kg/m}$$

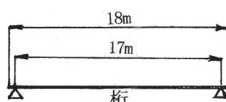


図-11 55 間刎橋の桁の応力計算モデル

$$\text{雪：} 50 \times 0.91 = 45.5 \text{ kg/m}$$

$$\text{・桁の曲げモーメント} = ql^2/8$$

$$\text{死荷重のみ} \quad (45.5 + 75.4) \times (17)^2 / 8 = 4370 \text{ kg m}$$

$$\text{死活荷重} \quad (45.5 + 75.4 + 45.5 + 9.8) \times (17)^2 / 8 = 6365 \text{ kg m}$$

$$\text{断面係数(円断面)} \quad W = \pi d^3 / 32 = 6280 \text{ cm}^3$$

$$\text{応力} \sigma = M/W$$

$$\text{死荷重のみ} \quad 437000 / 6280 = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{死活荷重} \quad 636500 / 6280 = 101 \text{ kg/cm}^2$$

曲げ応力が 100 kg/cm² となる径を逆算すると、約 40 cm となる。なお、床の目を粗くして雪が溜まりにくい構造にすれば、径 30 cm ほどの木材でも持たないわけではない。

b) 二ノ刎木（次之刎木）の曲げ応力

二ノ刎木（次之刎木）の刎ね出しは 16 間(29m)の 1/2、14.5m と仮定する。もう少し刎ね出しは可能であるが、安全側に考えて 1/2 とした。断面は、『浜つづら』に元口が 3 尺(91 cm)とあり、文政 8 年の『目録』に末口 1 尺 4 寸(42 cm)とあって、これをそのまま適用するのはかなり不自然であるが、他に根拠もないことからこの値を適用して、中間点の径を 2 尺 2 寸(67 cm)とする。

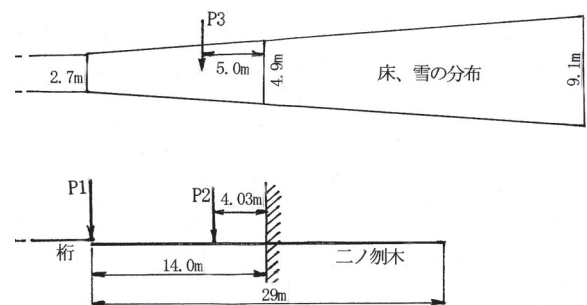


図-12 55 間刎橋の二ノ刎木の応力計算モデル

・桁の荷重 P₂

$$\text{死活荷重} \quad 176 \times 17 / 2 = 1496 \text{ kg}$$

$$\text{死荷重のみ} \quad 121 \times 17 / 2 = 1029 \text{ kg}$$

$$\text{まな板} \quad 130 / 3 = 43 \text{ kg}$$

・刎木自重 P₁

刳木断面 元口:90 cm, 末口 42 cm, 1/2 点径: 67 cm
 自重 $600 \times \pi \times ((0.42)^2 + (0.67)^2 / 2) / 4 \times 10 = 2130 \text{ kg}$
 仮想作用点 先端(末口)と固定点(刳出し点)の断面平均点とすると、 $14.5 \times (42)^2 / ((42)^2 + (67)^2) = 4.03 \text{ m}$

・床、雪荷重 P_3

幅: 先端部 2.4m、固定部 3.8m

床 $100 \text{ kg/m}^2 \times ((2.73 + 4.91) / 2) \times 14 = 5350 \text{ kg}$

雪 上に同じ

刳木 1 本当たり $5350 \text{ kg} / 3 = 1780 \text{ kg}$

仮想作用点 $14 \times 2.73 / (2.73 + 4.91) = 5.0 \text{ m}$

・刳木固定点の曲げモーメント

死活荷重

$$\begin{aligned} M &= P_1 \times l_1 + P_2 \times l_2 + P_3 \times l_3 \\ &= (1500 + 40) \times 14 + 2130 \times 4.03 + (1780 + 1780) \times 5.0 \\ &= 47900 \text{ kg m} \end{aligned}$$

死荷重のみ

$$\begin{aligned} M &= 2130 \times 4.03 + (1030 + 40) \times 14 + 1780 \times 5 \\ &= 32500 \text{ kg m} \end{aligned}$$

・刳木の最大曲げ応力

断面係数(円断面) $W = \pi d^3 / 32 = 29100 \text{ cm}^3$

死活荷重 $M/W = 4794000 / 29100 = 165 \text{ kg/cm}^2$

死荷重のみ $M/W = 3250000 / 29100 = 112 \text{ kg/cm}^2$

最大曲げ応力は約 165 kg/cm^2 (橋本体のみでは約 110 kg/cm^2) となる。

c) 本刳木の曲げ応力

笠木(本刳木)の末口は 1 尺 7 寸(52 cm)とあるが、元口は記述がないため、二ノ刳木と同じ断面変化であったと仮定して、元口を 3.6 尺とし、中間点の刳ね出し基部の径を 2.65 尺(80 cm)とする。本数は 10 本。

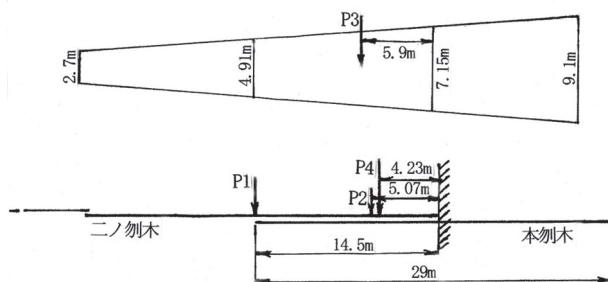


図-13 55間刳橋の本刳木の応力計算モデル

・次の刳木先端からの荷重 P_1

死活荷重 $(2130 + 1540 + 3560) \times 3 / 10 = 2170 \text{ kg}$

死荷重のみ $(2130 + 1070 + 1780) \times 3 / 10 = 1490 \text{ kg}$

・本刳木上の次の刳木の自重 P_2

$600 \times \pi \times ((0.667)^2 + (0.909)^2) / 2 / 4 \times 14.5 \times 3 / 10 = 1302 \text{ kg}$

仮想作用点

$$(0.667)^2 / ((0.667)^2 + (0.909)^2) \times 14.5 = 5.07 \text{ m}$$

・床、雪荷重(次の刳木の上) P_3

床: $(4.91 + 7.15) / 2 \times 14.5 \times 0.1 / 10 = 0.874 \text{ t}$

雪: 上に同じ

仮想作用点 $4.91 / (4.91 + 7.15) \times 14.5 = 5.9 \text{ m}$

・本刳木の自重 P_4

$600 \times \pi \times ((0.515)^2 + (0.803)^2) / 2 / 4 \times 14.5 = 3110 \text{ kg}$

仮想作用点 $(0.515)^2 / ((0.515)^2 + (0.803)^2) \times 14.5 = 4.23 \text{ m}$

・本刳木固定点の曲げモーメント

死活荷重

$$\begin{aligned} M &= P_1 \times l_1 + P_2 \times l_2 + P_3 \times l_3 + P_4 \times l_4 \\ &= 2170 \times 14.5 + 1302 \times 5.07 + 1748 \times 5.9 + 3110 \times 4.23 \\ &= 61500 \text{ kg m} \end{aligned}$$

死荷重のみ

$$\begin{aligned} M &= 1490 \times 14.5 + 1302 \times 5.07 + 874 \times 5.9 + 3110 \times 4.23 \\ &= 46500 \text{ kg m} \end{aligned}$$

・刳木の最大曲げ応力

断面係数(円断面) $W = \pi (80.3)^3 / 32 = 50800 \text{ cm}^3$

死活荷重 $M/W = 6150000 / 50800 = 121 \text{ kg/cm}^2$

死荷重のみ $M/W = 4650000 / 50800 = 92 \text{ kg/cm}^2$

最大曲げ応力は約 120 kg/cm^2 (橋本体のみでは約 90 kg/cm^2) となる。

かなり強引な仮定をおいたが、以上の計算は、橋長 55 間(約 100m)の刳橋も成り立つ根拠になると思われる。ただ、『井川村誌』³⁹⁾では、文政 8 年の刳橋の幅を 1 間(1.8m)としており、全容が公開されていない文書が存在が想定される。

時代と共に橋が長くなった要因として『井川村誌』では、木材の乱伐が氾濫を呼んだためであると説明されているが、その説明は十分ではない。

橋長 55 間の文政 8 年には、東側の石積の高さが 5 間(9m)と橋長 47 間の元禄 12 年の 1 丈 5 尺(4.5m)より高くなっている。そして元禄 12 年の橋では、その橋杭長が 8 間(15m)となっており、この橋の高さは橋長 40 間の寛文 9 年の橋の高さ 9 尋(14m)よりかなり高くなっているはずであるから、橋が長くなるほど橋は高くなったと言える。これは、洪水時の橋の安全性を高めるために、橋杭の位置をできるだけ川岸に近づけるようにするなど改良した結果、刳木を設置する位置を高くしたため、それにしがつて橋長も長くなったと考えることができる。

そうすると、明治期にアーネスト・サトウが渡った刳橋は、高さが 40 フィート(12m)ほどであったから、橋長も寛文 9 年の 40 間より短くなっていたことになる。

井川刳橋の構造上の特異性のひとつに高欄(手すり)がないことがあげられる。橋を渡る人々は常にかかなり危険で不安定な状態にあった。従ってやむを得ずこの橋を使用せねば生活の成り立たない地元民は別として、一般の旅行者には耐え難いことは見聞記にも表れているところであり、旅人の多く通る街道の橋としては容認されない形状である。これは高欄を備えようとする、構造が複雑になり、この規模の刳橋ではその設置は極めて困難であることに起因している。

したがって、本橋が存在しえたのは、通行者の安全を

十分に確保する設備を備えなかったためとも言えるのではなからうか。

7. 架け換え工事の手順と技術的系譜

井川刎橋の架け換え工事は江戸時代を通じて、幕府の事業として行われた。主要な木材は幕府の御用林から伐り出され、木材調達と現場工事にかかる労力は井川七ヶ村が提供したが、その代償は扶持米として支給された。その手順を簡単に述べる。

- ・工事の申請：橋が老朽化すると、村の代表者が集まって、申請書下書を作り、担当の代官(その場所は駿府、島田、中泉と時代によって異なる)に提出する。

- ・工事の決定と扶持米の通知：代官所では手代などの担当者が現地を^{にんく}検分して、工事の規模、内容を把握する。そして、人工に見合った扶持米の量を試算して、江戸の勘定方の決裁を仰いだ上で地元へ通知する。この間、かなりの時間を要している。許可される間には、仮橋を地元負担で架けることも多かった。

- ・木材の伐り出し、運搬：橋に用いられる大きな木材は、主として西側で架橋地より上流の幕府御用林から伐り出され、大井川に落とし込んで搬送した、といわれている。従って用材は無料である。元禄 12 年の『目録』では西側より東側の方が大きな木材が使用されることになっているが、西側には地形上、刎木を埋め込む安定した石積が築きにくい事情があったと考えられる。

- ・工事時期：川を渡して大きな材料を運んだり、川中での作業もあったから、工事は主として渇水期、冬場に行われたと思われる。現場での工期はおおよそ 1~2 ヶ月であった。

- ・橋の架設の方法：刎木の定位置への設置や桁の架け渡しなど、重量が 5 トンを越えるような木材をどのように扱ったのか、全く分かっていない。急峻な現地で、ほとんど人力に頼っての工事は危険で、専門的な作業が要求されたと考えられるが、その実態は不明である。

- ・使用木材：詳しい記述はないが、古くは檜が使われていたと思われる。1672 (寛文 12) 年には代官所から「もっと細い木を使うように」とか「檜は大切な御用木であるから、刎橋にはひばや草まきなど他の木材を使うように」という指示が何度かあったが、村側はそれでは具合が悪い理由を申し立てている⁴⁰⁾。従って 1699 (元禄 12) 年の『目録』では、おそらく檜が使われることになっていたのであろう。しかし、時代が下ると、適した檜が近くでは手に入りにくくなってきたようで、1825 (文政 8 年) の『目録』では主要部材に榎が当てられており、このときまでに樹種が変わっていたのであろうか。

- ・技術の担い手とその技術的系譜：橋の工事は地元の大工棟梁すなわち刎橋大工の指導によって行われた。刎橋大工には、井川七ヶ村の家・倉の建築および修理の仕事の独占権が与えられ、世襲制で引き継がれていた。井川

刎橋の構造復元と強度計算を試みた大村善之氏の先祖は、刎橋大工 2 軒のうちの 1 軒である。大村氏は、その技術的系譜は、井川に比較的近い甲州の猿橋より信州の諏訪ではないかと推測している。それは井川を支配した安倍氏が諏訪の出身であること、および信州の梓川に架けられた雑炊橋⁴¹⁾の構造が井川刎橋に酷似していると考えられるからである。下図は 1793 (寛政 5) 年の文書を基にして復元されたものである⁴²⁾。

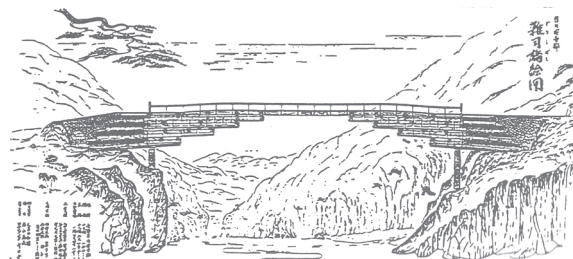


図 - 14 雑炊橋(雑炊橋)復元絵図、1987 年久保田和男氏作図

8. 工事の周期、規模および経費

本稿 3. に井川刎橋架け換えの概略を述べ、『安倍紀行』などの地誌類では、刎橋は 13 年ごとに架け換えられるとしているが、実際には平均周期は 19.7 年つまりおよそ 20 年であることを述べた。これを『井川村誌』の年表⁴³⁾によってももう少し具体的に見てみよう。架設年次が明らかなのは最初の架設から数えて 3 回目の 1672 (寛文 12) 年であり、それ以後の次の架け換えまでの経過年数は、30、12、25、19、12、11、12、26、8、5、20 年(以後は明治の鉄線橋への架け換え)となっている。これをみると、基準の 13 年よりやや短い場合と、ほぼこれの倍数に近いものも多く、これらは中間の架け換えの資料が欠落していることをうかがわせる。また後年のかなり短く架け替えが続くのは大洪水のためとされている。したがって、ほぼ基準どおりに架け換えが実施されたと見られる。

このほぼ 12~13 年ごとの架け換えにおいて、米換算で 200~300 石の出費があり、その間に 1、2 度の修復工事があり、50~100 石程度の支出があった。これだけの支出を代官所が認め、さらに中央の勘定方に認めさせるには、地元と代官所双方の努力がなくてはならない。

工事の規模は代官所から支給された扶持米の量でおおよその推定がつく。木材の切り出し、運搬、架設などは全て人工で換算されて、米で支給されている。この間に現金での換算はまったくなされていない。これらの作業が全て地元で完結していたものと考えられる。ただ問題は、与えられた扶持米の量が、地元の人が提供した労働量に見合うものであったかどうかという点である。

先に本稿 4.(1)で 1699 (元禄 12) 年の工事申請が 1702 (元禄 15 年) に許可されて実施され、その際に申請扶持米がおおよそ 70%にカットされたことを示した。さらに、1771 (明和 8) 年に井川七ヶ村から島田代官、岩

松直右衛門⁴⁴⁾に提出された文書⁴⁵⁾では、「今回の普請では出勤人数を五万人と見積もっていたが、江戸の役所で一万人減らして許可された。しかしさらに超過米を返すことを誓約するように求められて迷惑している」旨を訴えている。この場合も 20% のカットである。このように、地元の代官所が必要経費に相当する米の量を確保できたかどうかは疑問があるが、刎橋は地元にとって不可欠のものであったから、扶持米の量が少ないとしても仕事は井川七ヶ村がやむなく実施したものと考えられる。

さらに、井川七ヶ村の中では橋に近い三ヶ村と橋から遠い四ヶ村とでは橋の必要性に対する温度差が大きかった。このため、たとえ数字の上で平等に扶持米が分配されたとしても、刎橋利用のメリットの少ない三ヶ村の不平等感はぬぐえなかったのであろう。江戸時代後期になると、その不満が顕在化するようになり、両地域の間に争論が発生するようになった。そして明治に入ると、刎橋の再建を目指すグループから奥の四ヶ村が離脱することになり、刎橋の終焉を早めることになった⁴⁶⁾。

9. 刎橋存続の理由

井川刎橋が、いわゆる公儀橋として存続した理由については、地元の必要性と幕府にとっての必要性の両面から検討する必要がある。

地元にとっての必要性については、当時の中泉代官、近山六左衛門に提出した、1686（貞享 3）年の「井川刎橋懸替につき井川七ヶ村惣百姓願書控」⁴⁷⁾に、

- ・井川七ヶ村は川の西と東に入会の作場をもっているが、大水のときでも出入りが可能となる。
- ・往来の者はもちろん、島田代官所管轄の和泉村で出水のときには、百姓だけでなく、代官所の御役人も難儀をしたが、刎橋があったため諸事飯米人足を自由に手に入れることができた。
- ・以前から諸役を勤めてきたが、最近は金山も繁盛しており、管内連絡や人足役などの御用も刎橋がないと勤めるのが難しい。

などの理由が上げられ、また、橋の日常の維持管理は地元が行っているとしている。

同文書には、「請橋まきすのこぶどうやたなのような小普請は地元負担で年に 2、3 度ずつ行っているが、代官所には届出はしていない」としている。請橋以下が何を意味するかはよく分からないが、刎木や桁を固定している蔓や床の横木などを束ねている蔓などは劣化が早く、数年周期で取り替える必要があったため、それらの補修は地元負担で行っていたのであろう。それは地元にとってこの刎橋が必要であったためである。

井川へ渡ることが幕府にとって必要であった理由としては、茶壺、金山、木材、巢鷹、街道などのキーワードがある。曽根満氏は「下井川刎橋の家康による架橋（追認）は茶壺運搬の安全確保が目的である」と断定し、後世の存続理由として「大権現様の認可」を根拠として、

井川の村々も一致団結して幕府と交渉し、一度得た権益を「あの手、この手」の理由を付して守ってきた結果であると説明している⁴⁸⁾。

しかし、この理由だけで長年にわたって代官が中央の勘定方を説得して多額の支出を続けさせたとするのは不十分であるように思われる。茶壺は家康の時代で終り、金山もその価値が高かったのは江戸時代の前期で終わっている。また、幕府の全国支配において、井川から甲州や信州への街道が重要であったとは考えにくい。

一つ注目したいのは、1686（貞享 3）年に交わされた、いわゆる井川の殿様と呼ばれる海野弥兵衛に宛てた当時の中泉代官、近山六左衛門の手代、阿部弥五郎衛門の書簡の内容である。海野氏は、古くから井川を支配していた安倍氏の一族だが、互いに反目した争いがあり、安倍氏が徳川氏の関東移封に従って去った後の支配を、身分は郷士ながら、実質的に任された。その書簡の一つ⁴⁹⁾の中で、阿部は「井川刎橋の修復については、七ヶ村からの願の通り、人足扶持も下し置かれることになり、木材も目論見通りに下されるように証文を発行する。去年から御公儀では本街道以外の橋の普請には扶持米は下されず、百姓の自力で行うという方針になった。このため今度の訴えは適わないと思っていたが、六左衛門が再三申し上げた上に、橋の模型を江戸に持って行って御覧にいられて、御頭（勘定奉行）に詳しく説明をした結果、願がかなった。そのことを七ヶ村の名主や百姓にありがたく思うように伝えてほしい」と述べている。ここでは刎橋存続のために支配の代官が模型を持って江戸へ説明に出かけるなど、大きな尽力をしていることが注目される。この文書の注書きとして、編集者は村方の努力を「金山の繁栄」のためとしている。確かにこの時期はまだ金山の繁栄していた時代に属するが、その後なお 150 年以上、公儀普請として存続しえた合理的な理由が現段階では見出せていない。

10. 今後の検討課題

(1) 『井川村誌』で示されたように刎橋の橋長が 40 間からしだいに伸ばされ、55 間に達したと考えられているが、その時期は必ずしも明確ではない。『井川村誌』では 55 間には 1825（文政 8）年に初めてなつたとされているが、井川中野村の庄屋海野家からその時の支配代官（赴任地は駿府、島田、中泉）宛に提出された村の明細帳⁵⁰⁾には、それ以前の 1738（元文 3）年、1780（安永 9）年、さらに 1805（文化 2）年のものでも「刎橋 長 55 間 幅 1 間」とある。これは橋長 50 間と記す『駿河記』より古い。橋長がどの長さを測ったものかは明確ではないとしても、その記述の信頼度も含めて検討する余地は残されている。また、橋の中央の幅もこれまで見たように 1 間（1.8m）、9 尺（2.7m）、2 間（3.6m）とさまざまな数値が現れている。

(2) 当時の刎橋の構造を確実に推定、復元するには、

使用木材の寸法が多く記載されている文献が必要であり、埋もれた文献の発見・公開が望まれる。また普請に際して作られた絵図、仕様帳、由緒書などが見つければ、もっと具体的な議論が可能となるだろう。

(3) 井川刳橋が公儀橋として長年にわたって存続した理由については、井川の有力者と代官との関係も含めて、なお不十分なままになっている。これらの状況が解明されれば、より明確な井川刳橋像を描くことが可能となるだろう。

謝辞

本稿の執筆に対しては、この問題についてこれまで深く研究され、我々の研究に対しても快く資料を提供され、ご教示を頂いた曾根満、大村善之両氏と地元井川地区の関係者の皆様、ならびに土木史の分野で始めて詳細に紹介し、関係資料を提供された山根巖氏に深甚な敬意と感謝を捧げるものである。

参考文献

- 1) 武市光章『大井川物語』竹田印刷、1967年1月 p138
- 2) 井川村編集委員会編『井川村誌』1974年3月、p149
- 3) 山根巖「我が国における明治期の近代的木造吊橋の展開（その6）」『土木史研究 講演集』Vol. 28、土木学会、2008年6月、p167
- 4) 松村博『日本百名橋』1998年8月、p71
- 5) 前掲4) p79
- 6) 榊原彰、中島孝満、小林雄二郎、久保田努、小西純一「信濃国・まぼろしの刳橋―長野県における刳橋の架設およびその構造に関する考察―」土木史研究 第15号、土木学会、1995年6月、p164, 168
- 7) 五月会編・発行『静岡県の土木史』、1985年、p295
- 8) 前掲2) p152
- 9) 土木学会中部支部編『国造りの歴史 中部の土木史』名古屋大学出版会、1986年2月、p65
- 10) 前掲3) p167
- 11) 前掲2)
- 12) 大村善之『「井川刳橋」の力学検証と考察』私家版、2002年11月
- 13) 曾根満『大井川に橋はあった～井川刳橋の解明～』静岡教育出版社、2006年4月
- 14) 松村博『大井川に橋がなかった理由』創元社、2001年12月、p169
- 15) 前掲2) pp. 54～155
- 16) 前掲2) p152
- 17) 宮本勉編著『史料編年 井川村史 第2巻』名著出版、1975年5月、p129
- 18) 前掲2) p149
- 19) 『安倍郡井川村誌』第6章（ページ不記載）1912年、
- 20) 前掲2) p160
- 21) 前掲17)p515
- 22) 『駿河記 校訂本』、校訂：足立鉄太郎、発行：加藤弘造、1932年4月
- 23) 『修訂 駿河国新風土記 上・下』国書刊行会、1975年6月
- 24) 『駿河志料 第1編、第2編』静岡郷土研究会、1930年7月
- 25) 宮本勉編、桑原藤泰原著『浜つづら 全』私家版、1995年4月、p214。なお、同書中に「安倍紀行」と「安倍記」があつて、井川刳橋について似たような記述があるが、これは「安倍記」から引用した。また、同書には『波摩都豆羅 安倍紀行』志豆波多会、1933年、など異本が多い。
- 26) アーネスト・サトウ著、庄田元男訳『日本旅行日記 1』平凡社、1992年1月、pp519～521。同刳橋は、アーネスト・サトウ編著、庄田元男訳『明治日本旅行案内 中』平凡社、1996年11月、p257 にも紹介されている。
- 27) Satow Papers (コピー版)、横浜開港資料館
- 28) 宮本勉編『駿河記 絵図集成』1998年5月、pp60～61。ただし本図は、よりオリジナルに近いと思われる宮本勉編、桑原藤泰『濱つづら 全』1995年4月、pp334～335 所載の図を元に作成した。
- 29) 『駿河志料 第1編、第9編』静岡郷土研究会、1931年10月
- 30) 『諸国名橋』内閣文庫、国立公文書館蔵
- 31) 前掲17) pp519～521（同じ資料が前掲12) および『静岡市史 近世史料四』1997年4月、にもあり、若干の字句の相違があるが、これらも参照して、適宜取り入れた）
- 32) 目録の人工合計値 57,818 人となっているが、各項目別の人工を合計すると 57,718 人なり、上記目録の数字より 100 人少ない。これは西方の次之刳木の人工 □(破れ)六拾□(破れ)を百六拾人と理解すると計算が合う。
- 33) 前掲13) p596、及び『静岡市史近世史料 四』口絵、1979年4月
- 34) 前掲2) p154
- 35) 『猿橋架替修理工事報告書』大月市、1984年10月
- 36) 宇都宮寿夫『木橋の設計と施工』1956年、pp10～12
- 37) 前掲2) pp151～152
- 38) 前掲12)
- 39) 前掲2) p155
- 40) 前掲2) pp136～139
- 41) 前掲6) pp160～162
- 42) 前掲6) p160
- 43) 前掲2) pp154～155
- 44) 西沢淳三郎編『江戸幕府代官履歴辞典』岩田書店、2001年、p80。以下、代官の所在地名は同書および『静岡県史通史編 3近世一』1996年、による。
- 45) 『静岡市史近世史料二』1977年4月、pp460～461 および
- 46) 前掲13) pp108～114
- 47) 前掲17) pp275～276
- 48) 前掲13) pp192～193
- 49) 前掲17) pp289～290
- 50) 『静岡市史近世史料一』1974年4月 pp82～938、及び『静岡市史近世史料二』1975年4月 pp466～468 & pp474～477