

錦帯橋のアーチ形状に関する基礎的研究

錦帯橋 形状 構造
 カテナリー 懸垂線 設計

正会員 松塚 展門

1. はじめに

山口県東部、錦川の下流、岩国市の錦見地区と横山地区に架かる錦帯橋は1673年に創建され、今日までその構造と美しさを継承されている。その技術の高さは今日でも世界有数のものとして紹介されている。(文献1) 現在の錦帯橋は台風災害のため全面的に再建され1953年に竣工したものである。(図-1) 岩国市は詳細な調査の結果木造部の全面架け替えを実施することを決定した。当該工事は今秋より3回の冬季渇水期を利用して行われる。平成の架け替えに、いささかでも貢献したいと思う。

筆者は錦帯橋の木造部の形状を決定しているアーチ形状に着目し、基礎的研究を行ってきた。その結果、この形状はカテナリー(懸垂線)であるとの結論にいたったのでここに報告する。

2. 従来の錦帯橋のアーチ形状の認識

錦帯橋のアーチ形状に関する研究は、大野の報告があり(文献2)、今日まで、多くの研究者がこれを踏襲している。それは図-2に示すごとく、3つの円弧で近似させたアーチとしてとらえたものである。また、佐藤、青木等は、その形状は円形であるが、アーチの軸線は、ほぼ放物線形である、と言う表現を用いている。(文献3)

また、錦帯橋のアーチ構造の各部についての詳細にわたる設計コンセプトの研究は今日まで皆無といえる。

3. 従来の錦帯橋のアーチ形状の認識の問題点

錦帯橋の寸法形状の伝承は縮尺された図面も存在するが、主たる手法は木製の型板を用いて行われてきた。今日、多くの型板が残されてきている。しかし、実際の工事の段階では、数十年の歳月が木製の型板にかなりの変形を発生させている。図-3の様に幾層にも積み重ね、たばねられた桁の状況からすると、全体では大きな誤差になってくる。

従って最近の架け替えでは従来のアーチに近似させた原寸図を新たに作成してきた。1673年創建時の錦帯橋の図面は今日存在していない。錦帯橋の最古の図面は1699年の橋の中央部(第3橋)の側面図である。

創建当時、錦帯橋のアーチ部分の設計、施工責任者の児玉九郎右衛門が実際に錦帯橋の設計をしたとき、3つの円弧でアーチを決定したとは、あまりに簡単すぎる。さらに、錦帯橋の普遍的な構造美は単純な3つの円弧によるアーチによって説明するには問題がある。またアーチが先に存在してその後、これを近似するために3つの円弧を用いたとすることは出来るが、そのアーチをいかに決定したかという決め手にはならない。

4. 錦帯橋のアーチ形状を決定する新たな考え

4-1 カテナリー(懸垂線)の発見

江戸時代初期の技術だけで錦帯橋のデザインを完璧に実行できるシステムの検証にかかる。1スパンが約35mである錦帯橋の原寸図あるいは縮尺図をコンパス等にて描くことは、確かに簡単ではある、しかし、3つの円弧を連続的につなげる方法には無数の組み合わせがありアーチそのものを決定づけた手法とは言い難い。

結論から言うと、スパンとライズとが決定されると1つに決定されるカテナリー(懸垂線)を上下逆に用いたカーブに到達したと考えられる。すなわち、鎖もしくはロープ状のものを離れた2点間に垂らしたときの形状である。今日では、その線材が伸びないと見なされるときカテナリーになることが良く知られている。

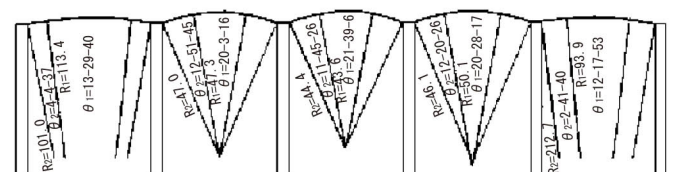


図-2 3つの円弧で近似されたアーチ

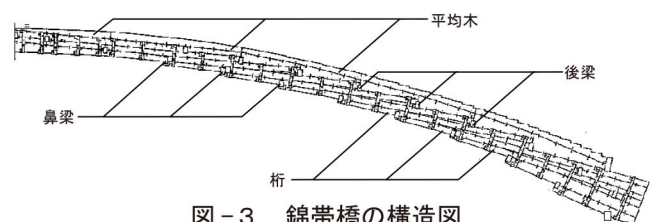


図-3 錦帯橋の構造図

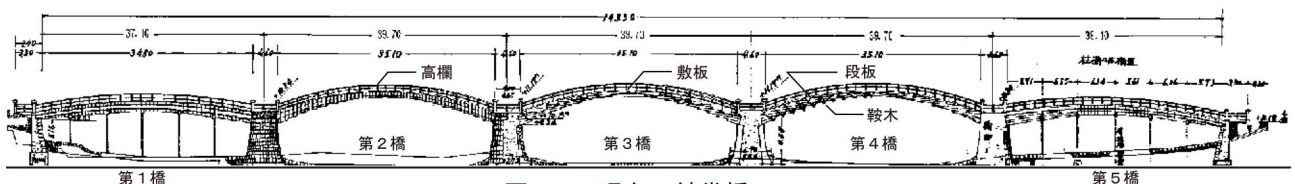


図-1 現在の錦帯橋

江戸時代の技術者にとってもロープの引っ張りに対する力の流れを、上下逆にしたとき、仮にそのような状態が仮定出来るとすれば、容易に圧縮力のみを受ける曲線としてこの形状が認識されたはずである。これが、普遍的な錦帯橋のアーチ形状の発見である。

しかるに今日まで錦帯橋のアーチ形状についてのこのような見解が、なぜなされていなかったか、と言う点については推論の域を出ないが、あまりに伝来の型板にこだわりすぎたためと考えられる。

4-2 1699年の錦帯橋とカテナリー

写真-1は、1699年の錦帯橋の図面を上下逆さまにし両端から細いチェーンをぶら下げている実験の写真である。高欄の上端沿いのカーブ、平均木上端を結ぶカーブ、鞍木の先端を結ぶカーブ等々、錦帯橋の意匠的、構造的な多くの形状の流れが、このカテナリーによって配置されていることが分かる。

保存されている原図は縮尺が1/10のものであるが、実験はこれを1/20相当のものに縮尺したもので実施している。

4-3 1953年の錦帯橋とカテナリー

今日の錦帯橋は1953年に完成したものである。この写真を撮影し、同様に上下を逆にして細いチェーンをぶら下げた実験をしたものが写真-2である。これも同様に各部のカーブがカテナリーに支配された形状になっている事が分かる。

図-4は現第3橋の測量点とカテナリーを示したものであるが極めて良く一致している。また図-5は3円弧とカテナリーを示したものであるが近似曲線としてはかなりの精度である。

5. 錦帯橋のデザインとカテナリー

カテナリーに基づき、順次せり出しながら束ねられた11本の桁は主として鼻梁を基軸につなぎ合わせられ大まかなアーチを形成し、平均木でもう一度、敷板、段板カテナリーに基づいた成形をして橋の踏面を整えている。さらに、手すりである高欄上端をカテナリーで整え全体を実に優美で力学的な形状に仕上げている。鼻梁は1スパンのカテナリーの1/21のピッチで配置され化粧材の錨棧は1/42のピッチで配置されている。後梁の位置は各所とも錨棧と錨棧の中間と後梁の位置を決めるカテナリーの交点となっている。

6. おわりに

錦帯橋の優美な構造美を決めるアーチ形状について研究した結果、これがカテナリーであることを明らかにした。また、従来明確でなかった、錦帯橋の各構造部材のデザインやその配置についても基本コンセプトが明らかになった。児玉九郎右衛門の偉業を出来るだけ多くの世界の人々に伝えたい。錦帯橋を創造するだけの能力を持って今後の伝承に勤しみたいものである。

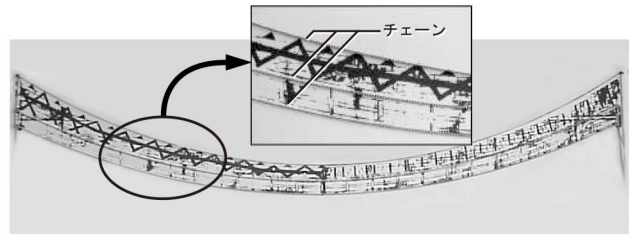


写真-1 1699年の錦帯橋の構造図とカテナリー

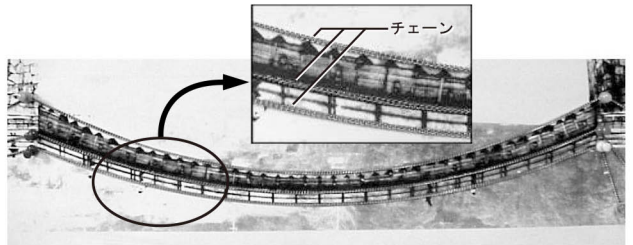


写真-2 1953年の錦帯橋の写真とカテナリー

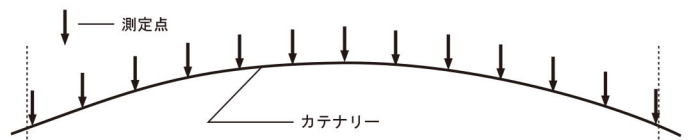


図-4 測定点とカテナリー

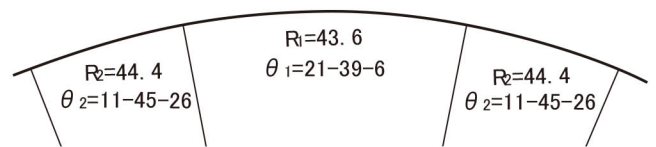


図-5 3円弧とカテナリー

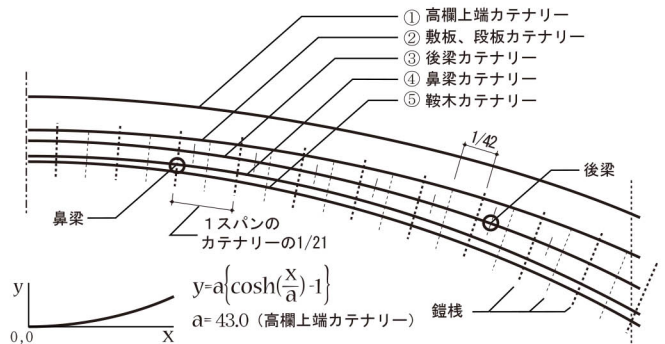


図-6 錦帯橋の基準カテナリーモデル図

謝辞

本研究を進めるに当たっては、吉川家、岩国市の多大なご協力を頂いた。また東工大教授和田 章先生には終始ご指導を頂いた、ここに深甚なる感謝の意を表したい。

『参考文献』

1. RICHARD J. DIETRICH : FASZINATION BRUCKEN , Verlag Georg D. W. Callwey GmbH & Co. , 1998年
2. 大野唯糊 : 錦帯橋の沿革と構造, 土木学会誌 , 1936年5月
3. 佐藤武夫, 青木楠男 : 錦帯橋の再建, 錦帯橋史, 1953年12月
4. 太田静六 : 岩国錦帯橋の源流と成立過程 日本建築学会論文報告集 第273号 , 1978年11月