

2節 錦帯橋の独自技術

腰原 幹雄
東京大学生産技術研究所

1. 錦帯橋の構造システム

錦帯橋の木構造について注目すべき点は、大きく3つあげられ、

- ①アーチ形状
- ②組立部材
- ③斜材(鞍木, 振れ止め)

である。

2. アーチ形状

日本の伝統木造建築は、柱の鉛直部材と梁、桁、貫といった水平部材によって構成され、格子状に部材が配置されるのが通常である。力学的には合理的であるが、筋かいに代表される斜めの部材は、日本人にあまり好まれなかったと言われている。

一方、屋根の反り、むくりにおいては滑らかな曲線が用いられている。この曲線を合理的に生産するためには、幾何学を理解して実践する必要があり、規矩術のなかには、その幾何学的な解法を記したものが多くある。

この曲線の構成方法には、次の2通りの方法がある。

- (1) 単材を用いて曲線を構成する
- (2) 複数の直線材を用いて曲線を構成する

(1)単材による曲線

単材を用いて曲線を構成する場合にも大きく2つの手法がある。

- ① 自然に曲がった材を用いる。材を曲げ加工する。
- ② 直線材から曲線材を切り抜く

民家の小屋組には、自然に曲がった部材がそのまま曲がり梁という形で用いられている。建物の内部空間(天井高)を有効に利用するためにもこの形状は有効である。また、木造船では高温で蒸した板あるいは含水率を高めた板を曲げながら骨組みに沿って取り付け曲線、曲面を構成している。

こうした曲線の作図法は規矩術の規術にあたり、曲線を幾何学的に整理するために測量術、算術も用いられるようになり、「方圓順度」に記載されている。

これと同様の方法で錦帯橋で用いられている曲線は、平均木、あるいは後詰の上面に用いられる曲線で橋板のならば曲線を滑らかにしている。

一方、伝統的な社寺建築に用いられる破風、妻飾、虹梁、蛙股、火灯窓などさまざまな部位に曲線が用いられるが、これらの部材はそれを内包するような大きな材から不要部分を切り落

とすことで曲線を構成している。こうした曲線の形状は、大工の個性の一つであり、秘伝として型板(現在で言えば雲型定規)を用いたり、墨壺を用いた墨付けで特殊な技法を用いたりして曲線が描かれた。このため、屋根の形状は幾何学的に整理をされたものではなく、視覚的に滑らかな複雑な曲線が用いられることとなる。

(2)複数の直線材による曲線

直線を用いて近似的に曲線を構成する方法もある。屋根の反りを構成するための下地となるはね木などの小屋組は、直線材で角度を少しずつ変化させながら接続することで全体的には曲線を構成することができる。複数の部材を匠に組み合わせて全体として曲線を構成するのも伝統木造建築の技術である。

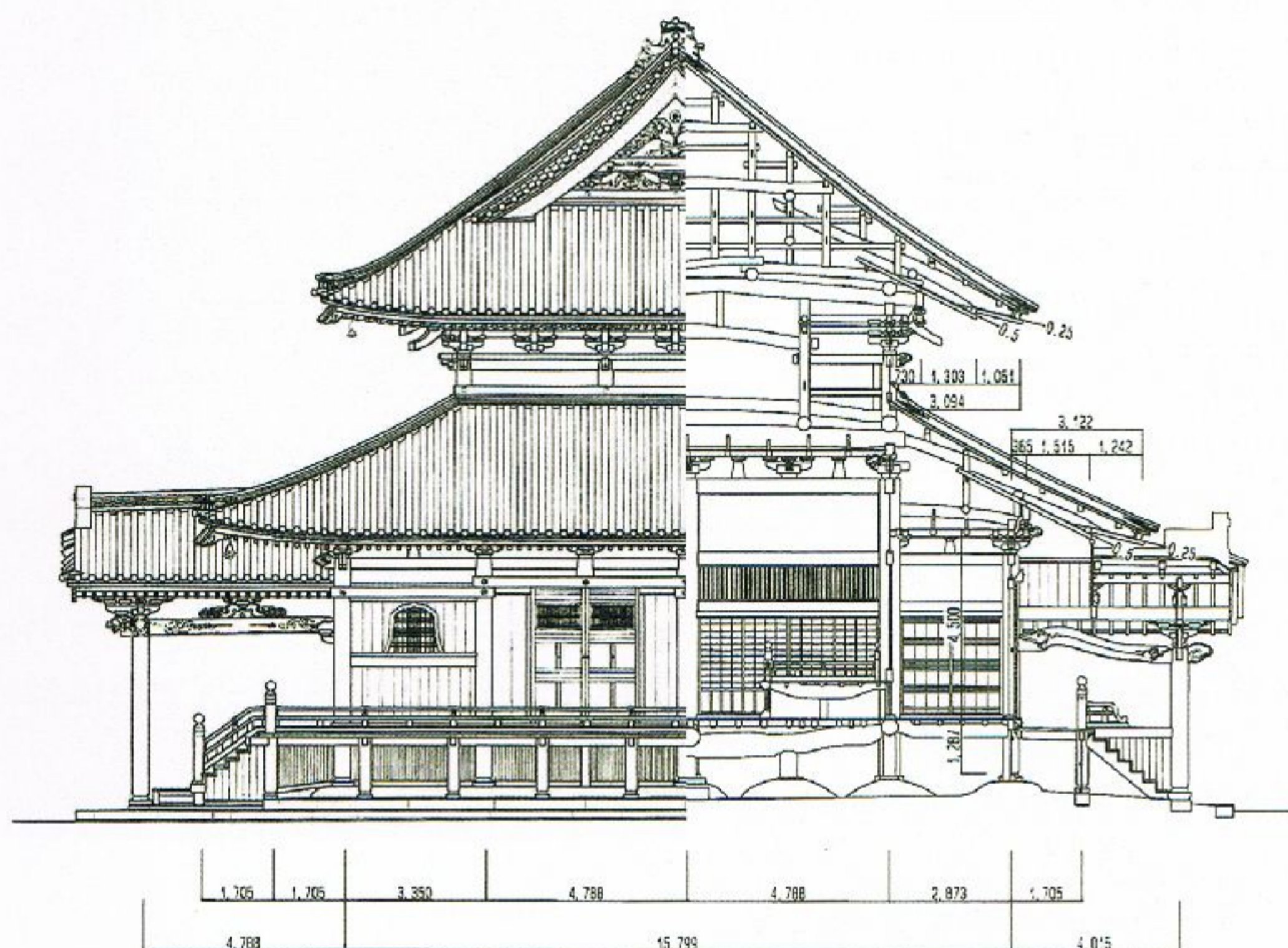


図3.2-1 国分寺金堂(1779(安永8)年/山口県, 文献1)より引用)

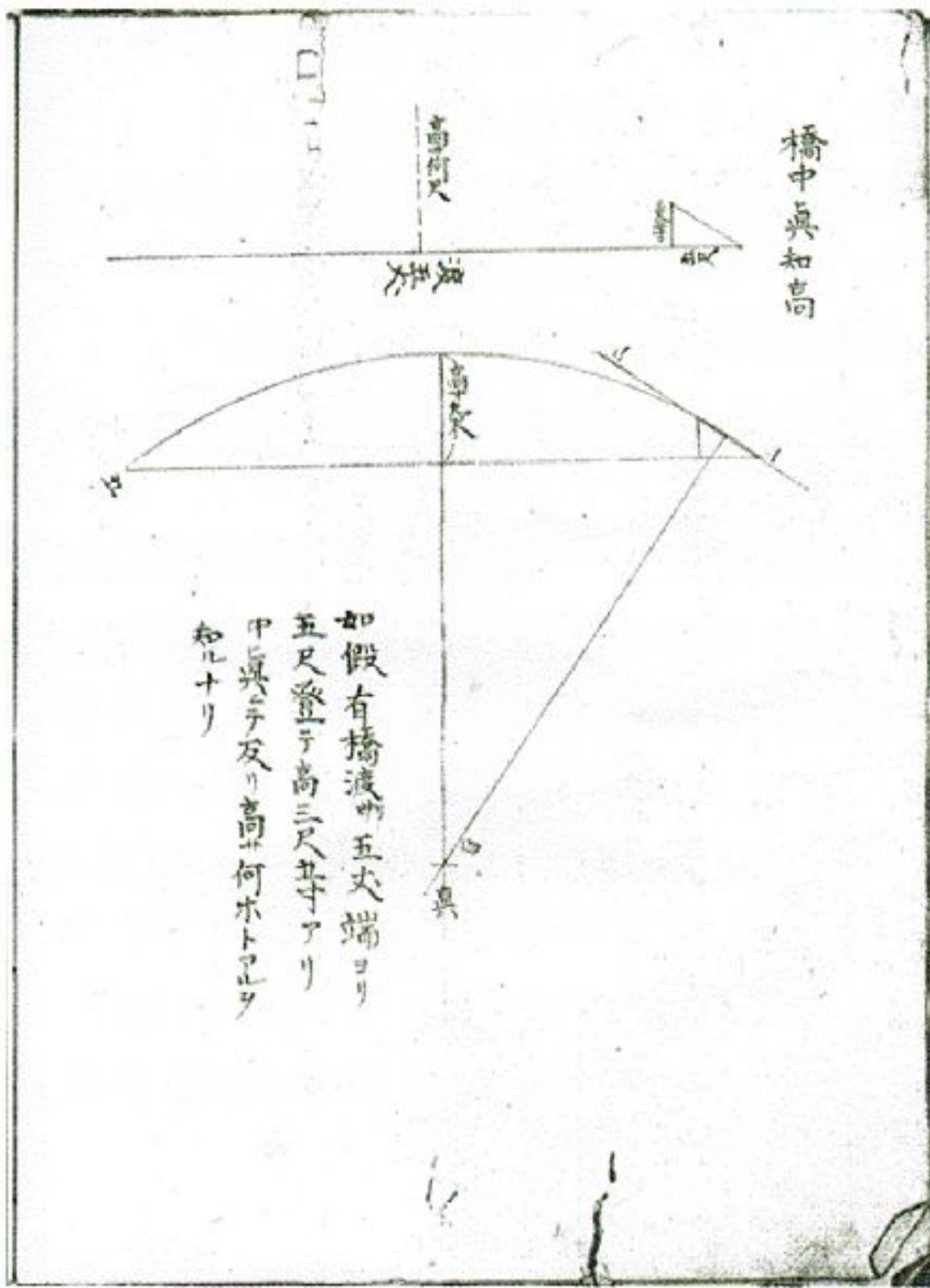
小屋組では、最終的な滑らかで微妙な曲線を描く必要はなく、大きな曲線を構成すれば十分である。江戸期に大道芸として使用された「南京玉すだれ」において、糸で結ばれた竹でさまざまな形が表現され、岩国錦帯橋も「そろばん橋」としてその形状が表現されている。同様に、中国にかかる「虹橋」は、直線材を傾けながら組み合わせて多角形を構成して曲線を作り出している。

錦帯橋でも、基本構成は直線材である桁を連続的にずらすことで、橋全体のアーチ形状を形成しているが、多角形というよりは連続的な曲線として表現されている点は他の構造システムに比べて特異である。

(3)幾何学

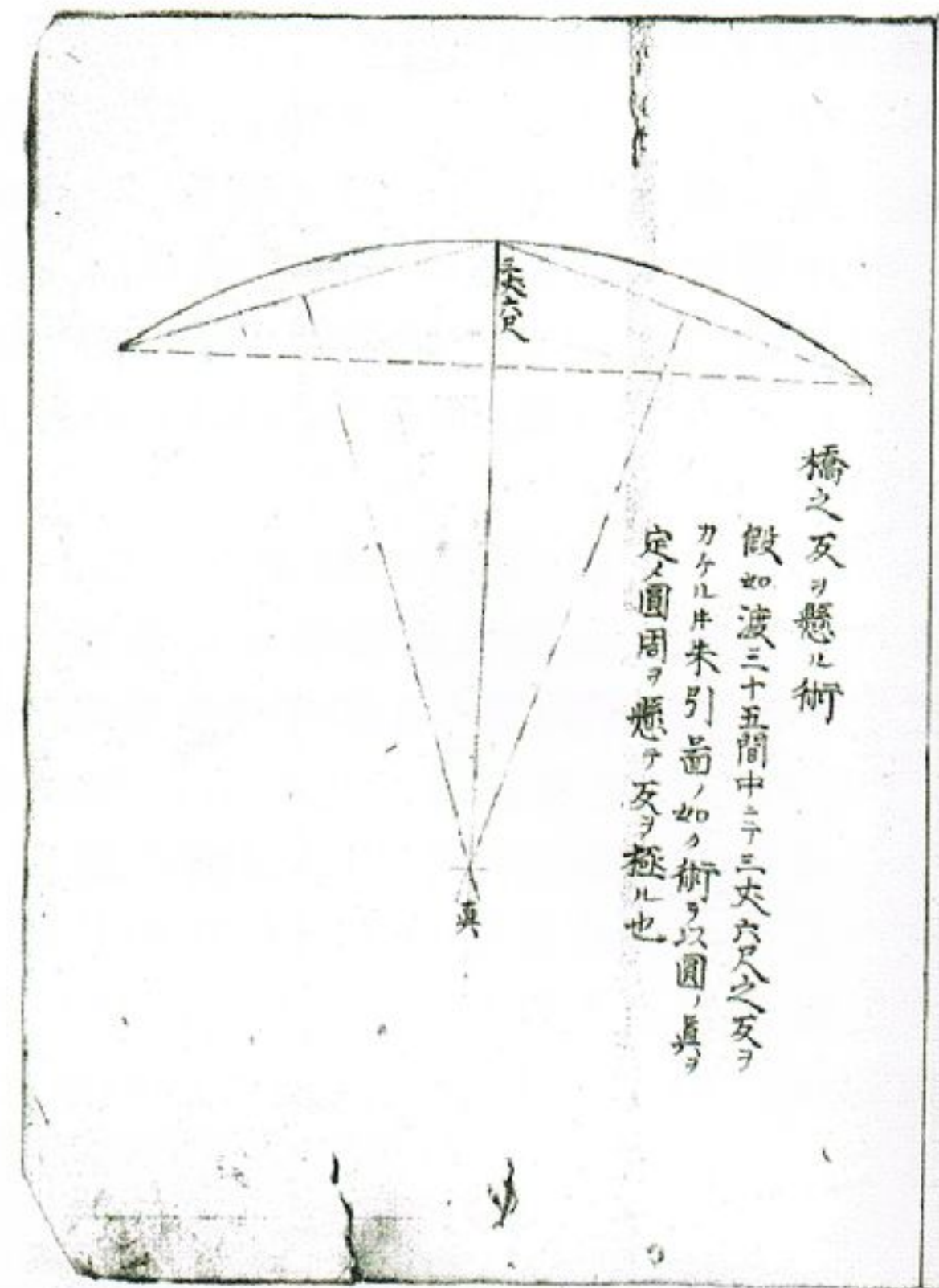
社寺建築の屋根の反りなどは、縮尺図面だけでなく原寸大の図面を用いて検討される場合が多い。図面の形状を実大に拡大するためには、幾何学、測量の技術が必要となる。

方圓順度の中には、アーチ橋の幾何学の解説が示されてる。アーチのスパンと最初の登り勾配を特定した場合のスパン中央の高さを算出する方法(図3.2-2左)、アーチのスパンと中央の高さを特定した場合の円弧の中心、半径を算出する方法(図3.2-2右)が示されている。方圓順度は1788(天明8)年の書物であり、錦帯橋創建より後の時代であるが、書物として公開される前に秘



p. 68 橋中真知高

如假有橋渡サリ 五丈端ヨリ五尺登テ高三尺五寸アリ 中真ニテ反リ高サ何ホトアルヲ知ルナリ



p. 69 橋之反ヲ懸ル術

假如渡三十五間中ニテ三丈六尺之反ヲカケル [トキ] 朱引圖ノ如ク術ヲ以圓ノ眞ヲ定メ圓周ヲ懸テ反ヲ極ル也

図3.2-2 『方圓順度』(ほうえんじゅんど)元

伝書として考え方は伝達されていた可能性は高く、こうした円弧の幾何学を理解して錦帯橋も作図された可能性は高く、原図には幾何学的に重要な点に、基点としたへらの跡が残されている。

(4) 図面、型板、陸組

曲線で構成される錦帯橋では、その形状を継承するために、これまでは幾何学整理ではなく、図面、型板、陸組という形がとられてきた。

・ 図面

錦帯橋に関する図面は12枚残されているが、いずれもアーチ形状の幾何学的な図面作成の記述はない。作図された最終的な橋スパン、中央部の橋高さが記載されているのみであり、この寸法も設計値であるのか、測量値であるのかが定かではない。平成の架替においては、幾何学的整理を行い形状を特定することとしたが、以前の架替えでは秘伝という形で継承されていたのかは定かでない。

・ 型板

図面の他に、錦帯橋の形状を伝承するものとして現寸型枠がある。この型板には、桁材の形状寸法だけでなく、切込み、錠の打込位置、寸法、柄の位置、寸法など設計図に示されない詳細な加工寸法が表示されている。この型板の保存によって、部材組み合わせの詳細を伝承することができる。

・ 陸組

図面、型板によって部材の加工が行われるが、最終的にはそれらを実際に地上で組み上げて最終的な架橋工事に入るものとしている。主要構造部分の部材の馴染みや不具合を調整するものであるが、併せて鞍木や助木、振止といった補助部材や桁巻金の寸法確認もすることができる。反橋3橋の橋脚間、傾きによる橋桁の寸法差を、中央の小棟木、大棟木を現場加工することで調整しろとして確保することで、主要部材の精度の高い加工を行うことができている。

(5) 錦帯橋のアーチ形状

過去の図面をもとに、錦帯橋のアーチ形状については、さまざまな考察がなされているが、曲率の小さい曲線においては、円弧、2次曲線とも大きな差が生じないため、その幾何学を特定するのは困難である。

平成の架替において、錦帯橋のアーチ形状については幾何学的な整理がなされた²⁾。ここでは曲線については、「規(ぶんまわし)」の使用を考慮して作図する上で最も可能性の高い円弧を採用している。

元禄図には、反橋3橋分の桁高と、これより橋中央の橋板上端までの高さおよび敷梁間距離も併記されており、この数値をもとに各橋の中央橋板下と後詰上端を結ぶ曲線(後詰上端曲線)の半径を算出すると、第2橋が137.0尺、第3橋が132.0尺、第4橋が140.5尺と求められた。このうち第3橋で求められた数値は、橋脚心々間距離に相当する。また橋脚間距離がそれほど違わないにも関わらず第3橋に比べて第2、4橋の径が大きいのが、これは第2・4橋の橋中央での高さを第3橋より低めようとする意図があったためと考えられる。

これを図示すると図3.2-3のようになり、スパンと半径を同一にするという円弧の描画方法は、「方圓順度」のアーチ橋の描画方法の中には示されていないが、最も単純な幾何学整理と考えられる。

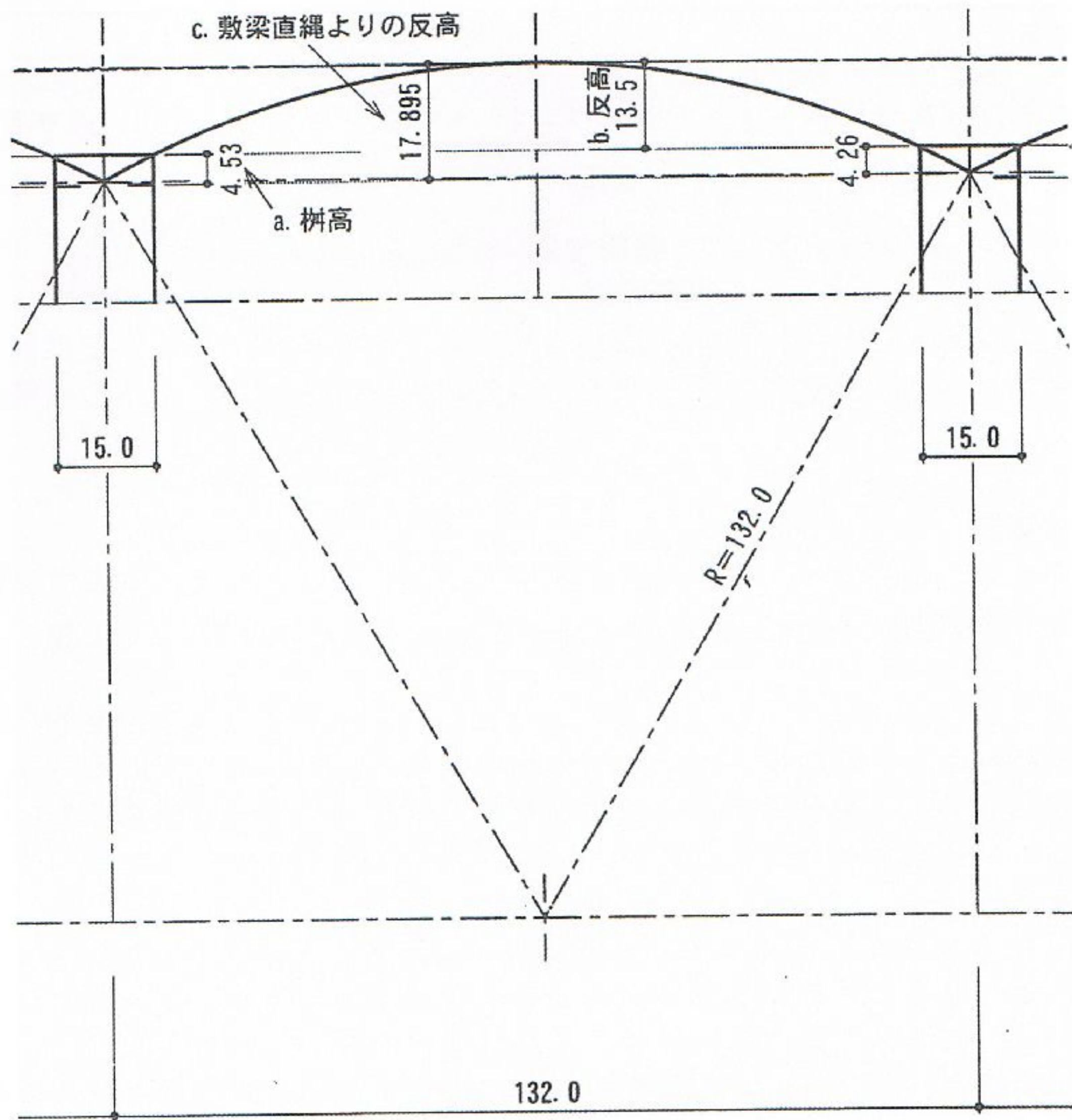


図3.2-3 錦帯橋のアーチ形状

3. 組立部材

錦帯橋を特徴づけるアーチ形状とともにそれを構成している部材自体にも、錦帯橋の特徴がみられる。6寸角の直線部材を組み合わせて1m以上のせいのある桁を構成している。

大規模な木造建築で、大断面の部材が入手できない場合には集成材として大きな部材を構成する例は伝統木造建築でも見られる。

(1)古代出雲大社(平安末期, 12世紀頃)

出雲大社は、社伝では高さ16丈(48m)あったとされており、2000(平成12)年には境内から直径1.35mの材を3本束ねた3本組の柱が3カ所で検出された。直径約1.35mの杉の柱を3本束ねた形状で、鎌倉初期の造営と推定されている。

ここでは3本の円柱が一体となるように金物で束ねられ、48mもの建築を支持していたと言われているが、構造形式の解明には至っていない。

それでも、部材を組み合わせてより大きな部材の替わりをさせるという考えは既にこのころからあったということになる。

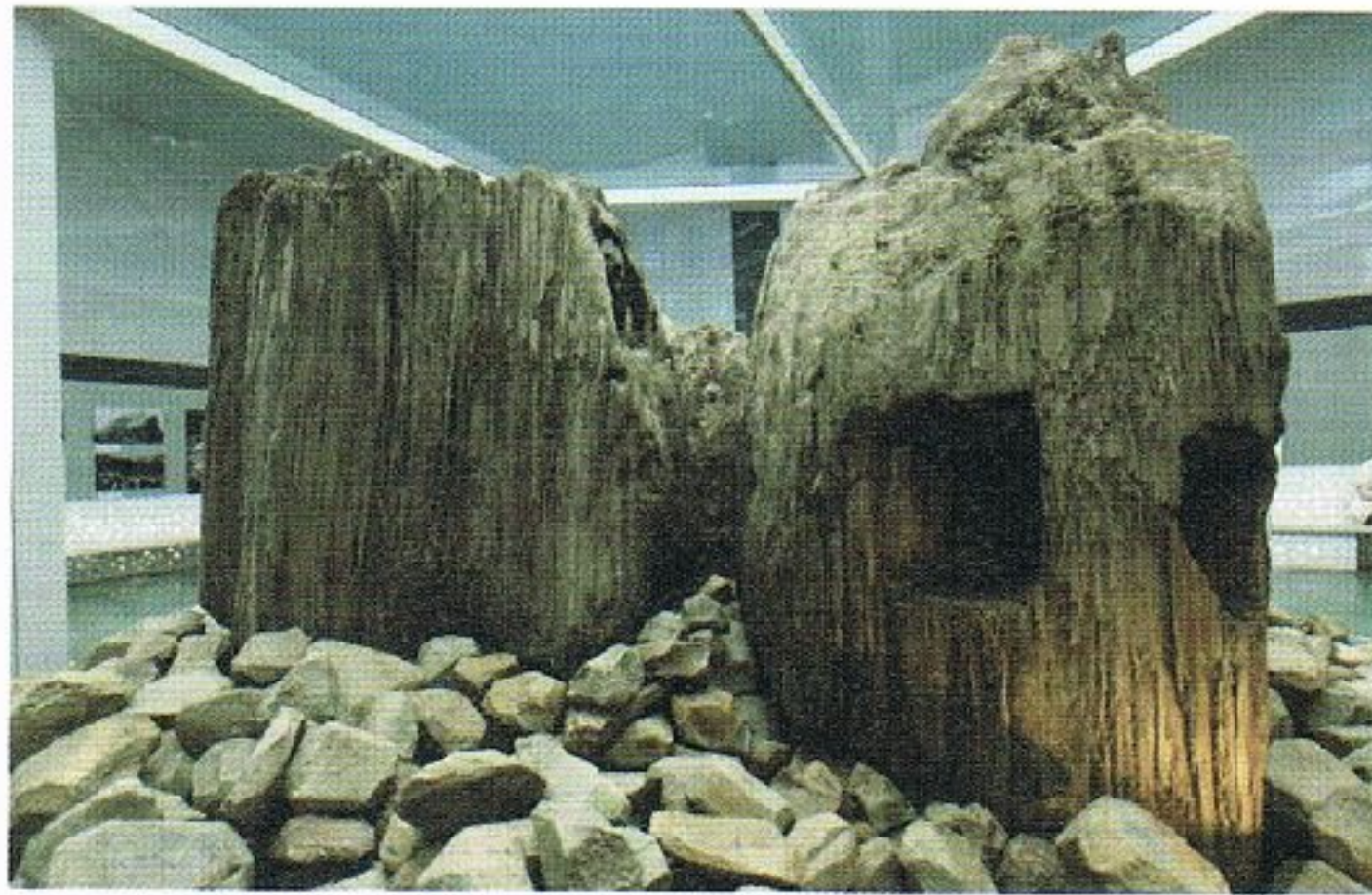


写真 3.2-1 出雲大社の組柱(著者撮影)

(2)大仏殿

平安時代にはすでに、出雲大社と並ぶ大規模木造建築として大仏殿が建設されている。現在の東大寺大仏殿は、1709(宝永6)年に再建されたもので、当時は大断面の部材の入手が困難で柱材は図3.2-4のような集成材が採用されている。それ以前の東大寺大仏殿の柱も集成材であったかは定かではないが、1602(慶長7)年に再興された方広寺の大仏殿で柱に巻かれていたという鉄製の輪が残されており、このころから大断面の木材の入手が困難になり構造的な工夫がされ始めていたと考えられる。

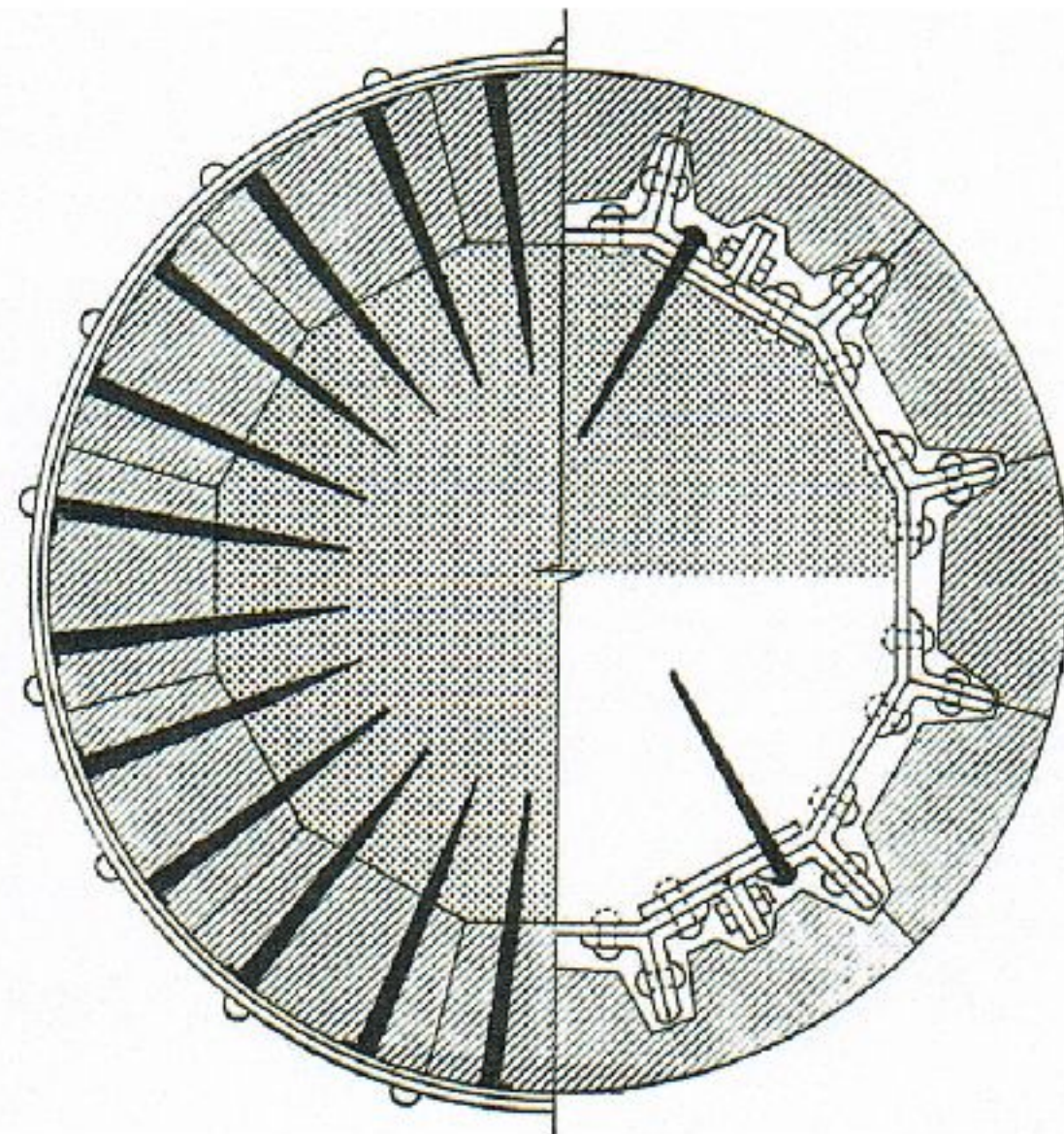


図 3.2-4 東大寺大仏殿の柱(右は明治の補強修理, 文献 3)より引用)

(3)松江城(1612(慶長17)年/島根県)

松江城の天守でも集成された柱が使用されている。「寄木柱」と呼ばれ、マツの柱の外側に板を揃えて寄せ合わせ、これを金輪で締めて太い柱を構成している。

外見(図3.2-5, 写真3.2-2)は、錦帯橋の桁と同様に銚、巻金といった部材が構成されているが、外周の部材は板状であり、正角材を組み合わせる錦帯橋とは異なる。

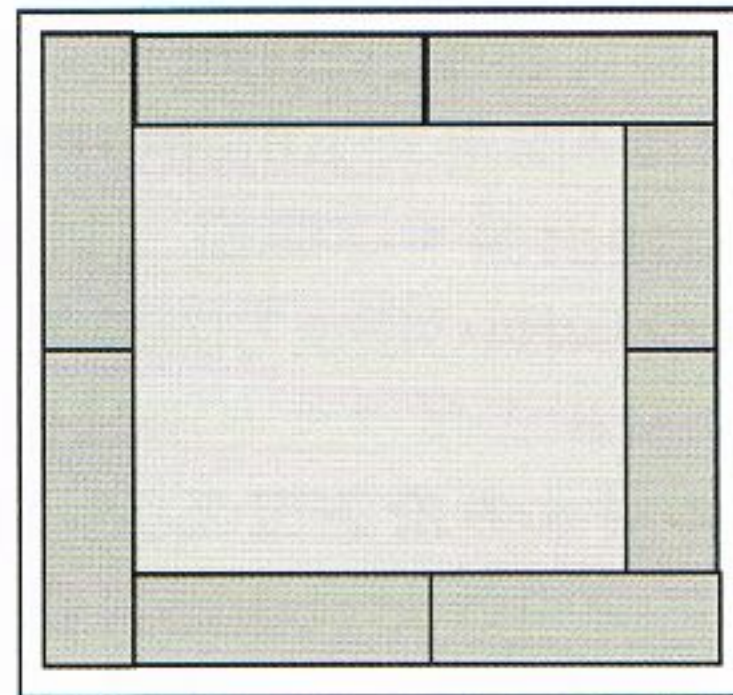


図 3.2-5 寄木柱

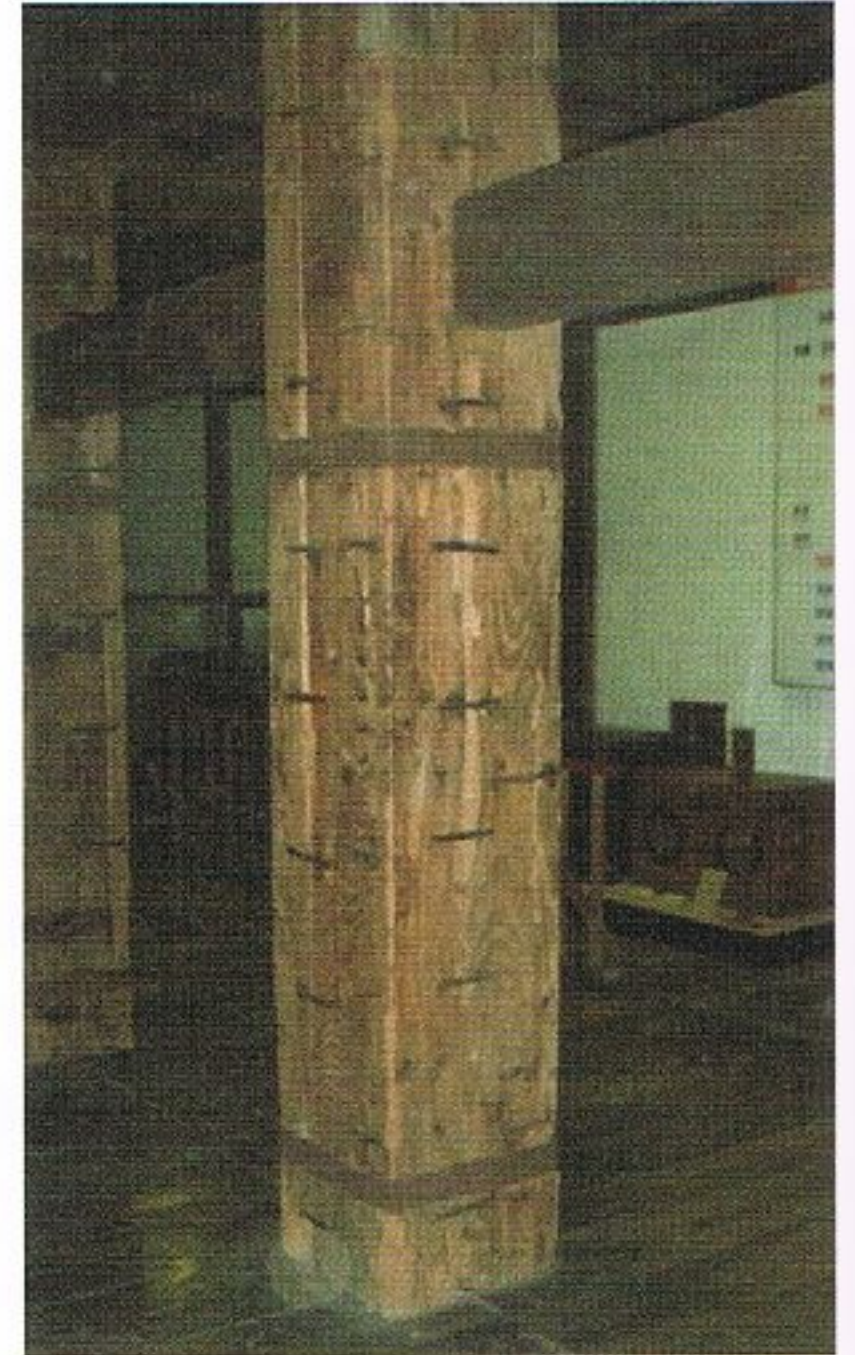


写真 3.2-2 松江城の寄木柱 (著者撮影)

(4)錦帯橋の組立材

ここに示した伝統木造建築に用いられている組立材はすべて柱である。

柱材は、曲げ応力に比べて軸方向力が卓越するため構成部材間の力の伝達が比較的小さく済むためこうした組立材としやすい。一方、軸方向に直角な荷重を受ける梁材は構成部材間の力の伝達が大きく、変形に対しても一体化させる必要がある。東大寺大仏殿でも、柱は窮余の一策として集成材を用いているが、大梁は明治の修理で、遠く九州の日向で伐採した大径の木材を用いている。

構造工学の進歩した現在でも、組立材を梁として「重ね梁」が木造建築で少しずつ用いられるようになってはいるが、部材間のずれを詳細に評価しなければならず、あまり普及していない。

錦帯橋では、この組立材が桁として用いられている。アーチ構造であることが分かれば、桁に生じる応力は、曲げモーメントに比べて軸力が支配的になる。こう考えれば、柱材と同じように、比較的組立材を用いやすい状況にあることになる。

また、長尺の部材が使用できないため、長さ方向に桁を少しずつずらしながら接合していく必要があり、桁材間で軸力を伝達するためにダボを配置する必要がある。6寸角の短い材を組立材として一体化して35mのスパンを架け渡すためには、力の流れを正確に理解している必要があったはずであるが、アーチの応力線状に並べられた助木の配置は、アーチ構造の力の流れを理解しているとみることできる。

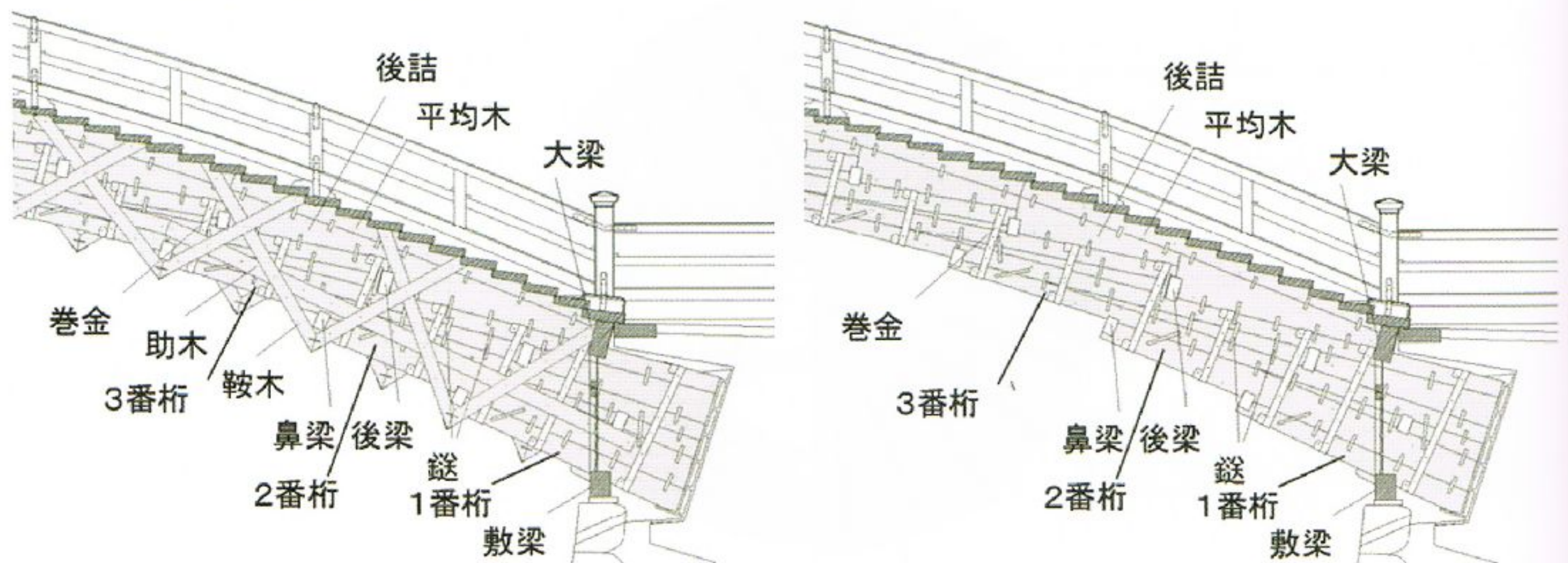


図 3.2-6 錦帯橋の桁(文献 2)より引用)

4. 斜材(鞍木, 振れ止め)

水平, 垂直部材が好まれる伝統木造建築の中で, 錦帯橋の独特の姿を強調している部材は, 斜材の「鞍木」である。

鞍木は, 創建時になく1678(延宝6)年あるいは1683(天和3)年に新たに加えられたとされている。算盤(そろばん)橋の異名を生み出すものとなっている。トラスのラチス部材のように配置された鞍木は, 桁間のせん断力の伝達を補強することができる。架替時の振動実験では, 歩行時の振動防止, 補剛効果が見られた。

また, 橋の見上げを独特にしている部材に「振れ止め」がある。十字木, くもで筋かへ, 振止, 振留木, 蜘蛛手などと記載されている桁間に配置された×形状の部材である。

×状に配置されたこの部材は, 構造的には水平ブレースとして水平剛性を高めたり, 橋直交方向の水平力に抵抗するために重要な機能をもつことができる。しかし, 前述のようにこうした斜めの部材は, 積極的に好んで用いられることは少ない。

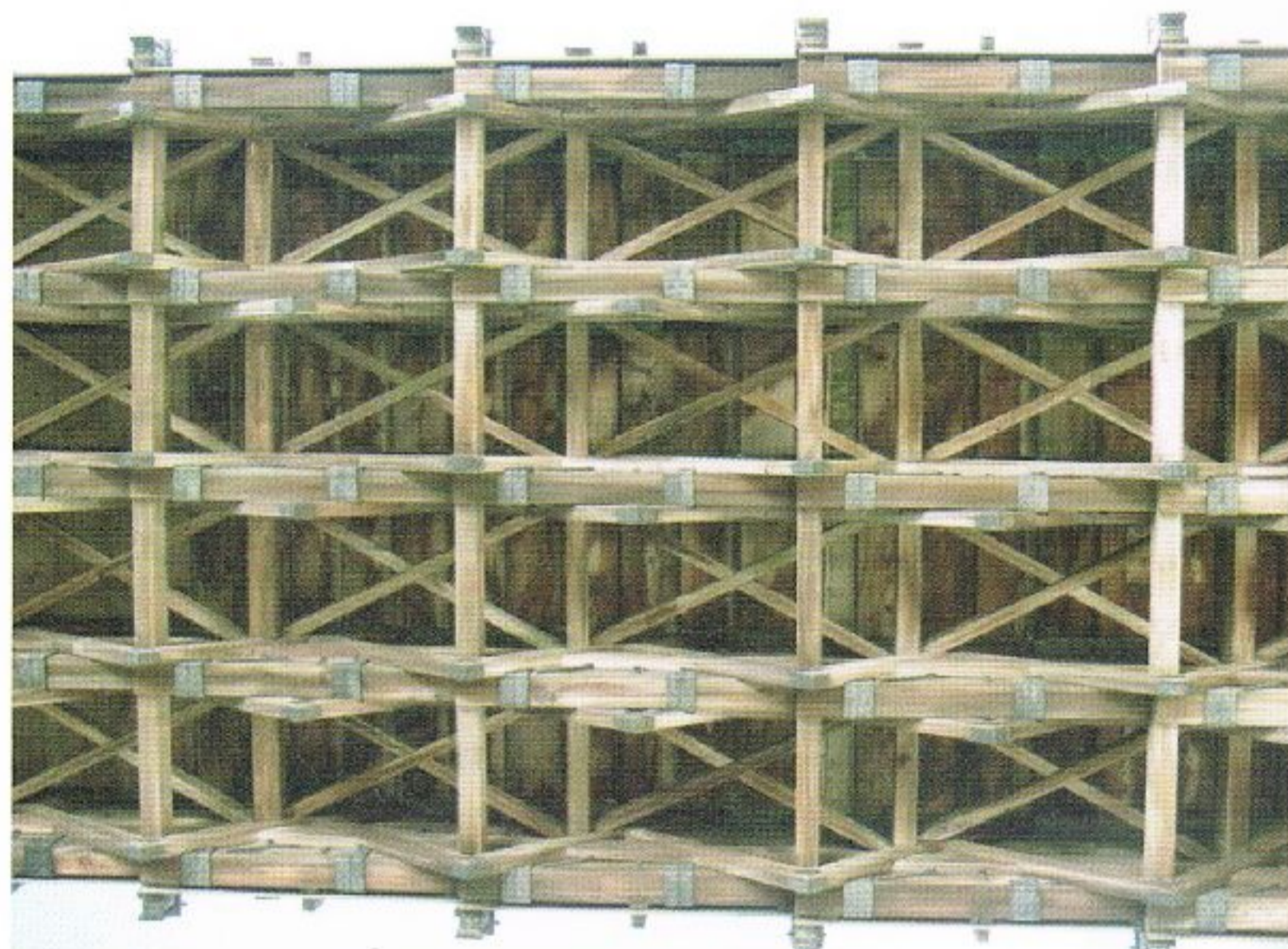


写真3.2-3 錦帯橋の見上げ(振れ止め, 著者撮影)

「文化財建造物伝統技法集成⁴⁾」によれば, 建築における斜材である筋かいの普及, 衰退については下記のように記されている。

鎌倉時代には, 柱間に「筋かい」を設け, 間渡し材を密に入れ壁を塗ることが行われたが, 間もなく使われなくなり, 主に小屋束まわりの補強に用いるだけになる。

中世以降, 軒まわりに桔木を使い, 桔木上に小屋束を立てる小屋組が増える。桔木には1本ごとに形状の異なる丸太が使われるため, 桔木上の小屋束の寸法が決めにくく, 屋根の反り・流れを決めて母屋を所定位置に仮置きし, 束を1本ずつ現場合せで切断し, 桔木, 母屋に納なしで釘打ちとする粗放な手法が増え, その転び止めとして「筋かい」が使われた。

近世になり, あらかじめ地上で梁, 桔木ごとに墨付けを行う技術が確立, 梁・桔木・母屋に柄差しで束を立て貫で固める小屋組が普通になり, 「筋かい」の使用は減る。

建築の中でも, 補強材として用いられた筋かいは減少傾向にあったと考えられる。

あらためて錦帯橋における部材の使用方法を考えると, 構造的な合理性を優先して部材が構成されており, 歩行振動に対する補剛材として「鞍木」, 横揺れ防止に「振れ止め」といった斜材が用いられ, その結果, 錦帯橋が独特の姿をすることになったと考えるのが自然である。

5. 他分野の木造技術

錦帯橋の技術と当時の木造建築技術を見てきたが、木構造物は建築だけではなく他の分野の技術の適用も当然考えられる。

創建時の錦帯橋の工費、労力を記した「米銀算用書」をみると、番匠、木挽、杣(ソマ)の他に船大工の記載がみられる。工事に使用した船の修繕と思われるが、船大工の技術も錦帯橋に転用されている可能性もある。この他、河川に関わる土木構造物の技術もある。190mを超える橋の総長さは、建築分野の測量技術では不十分と思われ、他の分野の技術が必要と考えられる。

また、資材の調達は当時であれば遠方から入手せずに、近隣の森林資源を有効活用したと考えるのが自然である。地元の森林資源で適切な樹種を選定し、適材適所で使用していると考えられる。

このように、錦帯橋の架橋にあたっては、岩国を中心とした地域のさまざまな分野の木造技術が集約されて、他に例をみない独特の形状をもつ錦帯橋が架け渡されたと考えざるを得ない。

参考文献

- 1) 重要文化財 国分寺金堂修理工事報告書, 山口県, 2005
- 2) 財団法人 文化財建造物保存技術協会: 「名勝錦帯橋架替事業報告書」, 岩国市, 2005
- 3) 奈良県文化財保存事務所編集: 「国宝東大寺金堂(大仏殿)修理工事報告書」, 東大寺大仏殿昭和大修理修理委員会, 1980
- 4) 文化財建造物保存技術協会: 「文化財建造物伝統技法集成」, 2000