

(財)日本建設情報総合センター研究助成事業

歴史的橋梁修復技術の情報伝達システムに関する研究

報告書

平成 18 年 9 月

ものづくり大学 建設技能工芸学科

教授 北條 哲男

目次

1. はじめに	2
2. 錦帯橋の架け替え工事概要	3
2.1 錦帯橋の概要	3
2.2 平成の架け替え工事	5
2.3 橋体形式の変遷	7
3. 模型制作による可視化	9
3.1 制作概要	9
3.2 模型の部材加工	10
3.3 模型の組み立て	13
4. CAD による分析	18
4.1 分析の概要	18
4.2 桁組みの詳細	18
5. 技術情報の伝達に関する考察	21
5.1 技術情報の種類	21
5.2 技術情報の伝達	22
6. おわりに	24

1. はじめに

わが国を代表する歴史的建造物である錦帯橋は1673年に建設され、以降約330年間にわたり維持・保存されてきた。錦帯橋はわが国最古の木造アーチであり、貴重な文化財としてこの間に、数十回以上に及ぶ橋桁の架け替えや修理が施され、これらの修復工事を通じて技術が伝承されてきた。昭和25年の台風による流失後の再建工事から半世紀を経て、平成13年度から3年間を費やして架け替えが実施され、平成17年3月に平成の架け替え工事が完了した。本工事の様子は様々な方法で記録されているものの、このような歴史的建造物を修復し将来的にわたり保存していくためには、材料の調達・技術や技能の伝承方法・実施形態などあらゆる角度から分析し、修復方法に関する情報の伝達システムを整備することが必要と考えられる。

錦帯橋の木造アーチ構造は極めて特徴のある構造形態であり、本研究では、まず伝統的建造物の軸組構造を全橋模型により可視的に表現し、錦帯橋の構造様式に関する情報を理解しやすい形で表現することを目指した。そのため、特徴のある構造形態の技術情報を伝達するための一手法として、錦帯橋のアーチ部分の代表例として第三橋の模型を制作した。模型の縮尺は、構造部材の構成の詳細が表現可能な加工精度を考慮して1/10（橋長約4m）とした。制作に当たっては、支持部材を用いて両端からアーチ部材を張り出し架設し、実際の架け替え工事と同様な方法により忠実に再現することとした。

次に、完成後の外観からは見ることで見えない特徴的な構造詳細部に関しては、CADによるデジタルデータを用いて特徴を明らかにすることを試みた。すなわち、錦帯橋の桁組みの特徴である継手・仕口の代表的な部分について、その組み立て状況の詳細を分析するために三次元CADを用いて各工程のデジタルデータ化を図った。平成の架け替え工事に基づいて一連の制作の過程をデジタルモデリングすることにより、錦帯橋の修復プロセスに関する情報をより具体的に伝達することを試みた。

本研究では、歴史的建造物の一例として錦帯橋の架け替え工事を実施例として分析し、模型制作やそのデジタルデータ化を通じて歴史的橋梁の設計資料等の技術情報の伝達システムに関する一手法を具体的に示したが、最後に本実施例を参考にして伝達すべき技術情報の種類を整理し、設計情報の三次元モデリング化の有効性に関して考察を加えた。

2 . 錦帯橋の架け替え工事概要

2.1 錦帯橋の概要

2.1.1 錦帯橋の歴史

山口県岩国市の錦帯橋は、山梨県大月市の猿橋、栃木県日光市の神橋とともに日本三名橋と呼ばれている。錦帯橋は、1673年に創建された5連の木造橋(1橋と5橋は支持柱のある柱橋、中央の3連が反橋)である。創建の翌年には梅雨の洪水により流失したが、同年中に直ちに再建された。建設当初は歩行による揺れが発生したことなどから、その対策として橋体の補強・改良が検討され、1683年にはトラス状の鞍木・助木を取り付けて現状とほぼ同様の構造形式となった。その後、構造部分の腐食状況に応じて、橋体の架け替えや橋板の張替え等の補修が実施され約280年間にわたり維持管理されてきた。

1950年に岩国地方を襲ったキジヤ台風の洪水により二度目の流失をしたが、直ちに再建工事に着手し、流出の原因ともなった従来の橋脚構造に近代工法を取り入れて改良が施され、1953年に全橋が再建された。その後定期的に健全度の調査がおこなわれ、腐朽による損傷が見られるようになったため、平成13年度から3年間をかけて上部構造(木造部分)の全面的な架け替えが実施された。創建から今日に至る主な経緯は以下の通りである。

1673年(延宝元年) 錦帯橋創建

1674年(延宝2年) 洪水により流失。同年直ちに再建

1683年(天和3年) 鞍木・助木の取り付けによる補強

この間、約20～30年毎に橋体の架け替えや補修を実施

1950年(昭和25年) 台風により流失。

1953年(昭和28年) 錦帯橋再建

2001年(平成13年) 平成の架け替え工事着工

2004年(平成16年) 平成の架け替え工事完了



写真1 錦帯橋

2.1.2. 錦帯橋の構造諸元

錦帯橋の構造諸元および主要材料を以下に示す。

橋 長	:	193.3m
幅 員	:	5m (有効幅員 4.2m)
径 間	:	第1橋 34.8m (柱橋)
		第2橋 35.1m (反橋)
		第3橋 35.1m (反橋)
		第4橋 35.1m (反橋)
		第5橋 34.8m (柱橋)

上部工主要材料：檜，樺，松，ヒバ，栗，檜

下部工主要材料：基礎・躯体 鉄筋コンクリート
仕上げ 花崗岩化粧積

2.1.3 錦帯橋の構造概要

錦帯橋は多数の短く細い木材を加工した桁を順次前方へ迫り出す方式でアーチを構成する極めて独創的な構造形式である。アーチの桁橋は、11本の桁が順次楔を挟んで重なり、1番桁から4番桁までは橋台部を支持点とし、5番桁から11番桁までは支点を徐々に中央に迫り出し、中央部で反対側からの桁と大棟木・小棟木で連結されている。桁材は楔を挟んで重なり、接触面に太柄(だぼ)を入れて力を伝達している。更に桁は巻金で束ね、錠(かすがい)で緊結されて一体化されている。

錦帯橋の構造名称を図1に示す。

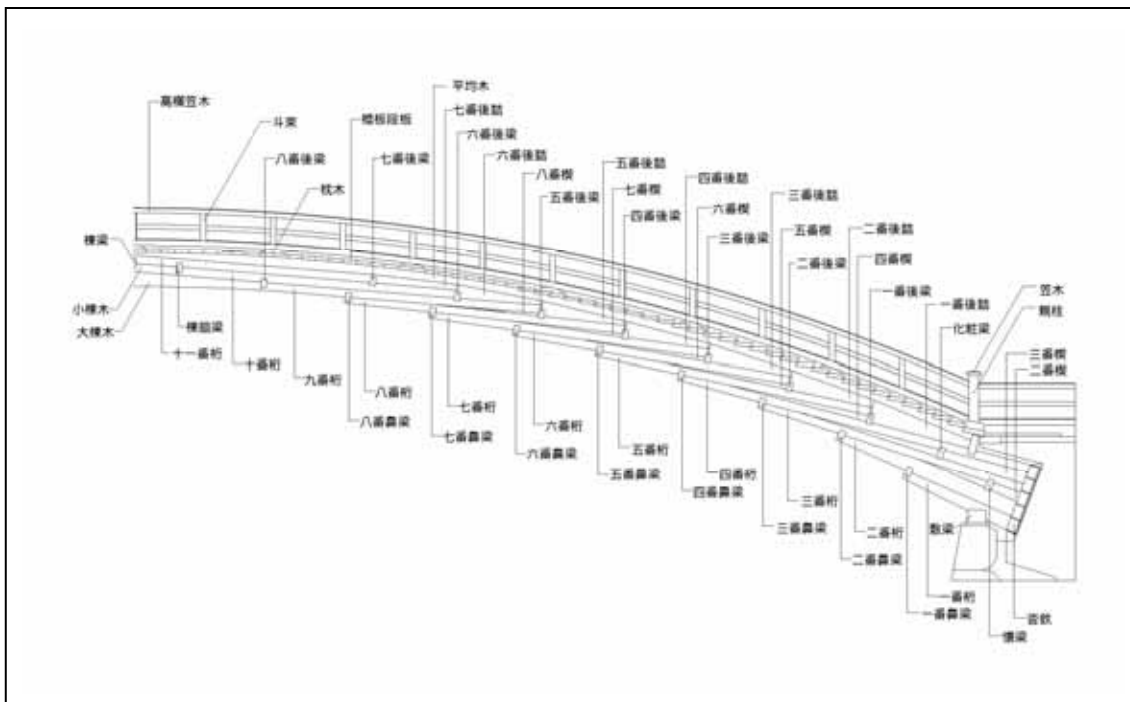


図1 錦帯橋部材名称

2.2 平成の架け替え工事

2.2.1 架け替え工事の経緯

1953年（昭和28年）に再建された錦帯橋は、数年毎に健全度の調査が実施され、1967年（昭和42年）の腐朽調査の結果で全橋の高欄・橋板が取替えられている。その後の調査の木材の腐朽状況から、1993年（平成7年）に全面架け替えの方針が決定された。平成の架け替えでは文化庁との協議の結果、昭和の架け替え時に鉄筋コンクリート橋脚へ改修された下部構造はそのまま踏襲し、木造部分の上部工を架け替えることとなった。平成の架け替え工事の範囲は次のとおりである。

- ・木造部分の全面架け替え
細部の変更は行なうが、構造体等は原橋の形とする。
- ・木造橋脚の受石の一部復元
- ・敷石の一部修復

1674年（延宝2年）の再建から現在までの約330年間における架け替え・取替え回数は、表1に示すとおりである。2橋～4橋の中央三連アーチ橋は、20年～23年程度で架け替えされている。なお、5橋を一度に架け替える工事は、延宝の再建・昭和の再建に続き今回が3回目となる。

表1 架け替え・取替え回数

	1橋(柱橋)	2橋(反橋)	3橋(反橋)	4橋(反橋)	5橋(柱橋)	計
架け替え	10	14	14	16	9	63
取替え	9	7	6	7	11	40
計	19	21	20	23	20	103

架け替え工事は渇水期に行うことから、2001年度（平成13年度）から三期に分けて実施された。これは錦川の治水計画上の理由によるもので、工事期間中アーチ橋の2つは常に流水域として確保する必要性があり、5橋全てを1シーズンで同時に架け替えることは困難なためである。従って、年末までに解体工事、1月から3月にかけて架設という工程を基準とし、第一期工事では第3橋、第二期工事では第4・5橋、第三期工事で第1・2橋を順次架け替えた。本工事の特徴の一つとして、架設工事中は観光面の配慮から工事部分のみを迂回する迂回路が設置され、工事の様子が一般にも公開されたことが挙げられる。

錦帯橋は創建当時から岩国の人々によって創られ、架け替えや修理が行われてきた歴史があり、今回の架け替えに当たっても技術の伝承や将来の維持管理面の観点から、岩国の地元業者が担当することとなった。用材の調達に当たっては、岩国市内及び錦川流域における木材関連業者による「錦川流域木材協同組合」、架橋工事は岩国市内の建築業者で組織している「岩国建築協同組合」が実施し、木工事に関しては「岩国伝統建築協同組合」が担当した。

2.2.2 使用材料

錦帯橋の用材は、昭和の再建時には主に国有林から調達したが、今回は殆どが山口県外の民有林からの調達となった。なお、平均木には従来は赤松材が使用されていたが、腐朽性を考慮して架け替え工事では檜材に変更された。また、木造橋の支持柱である橋杭は赤松材からヒバ材に変更されている。用材は主な仕様は下記に適合するものとした。用材の使用量と調達先を表2に、また橋毎の部材数を表3に示す。

- ・良材(健全材)にして直材であること。
- ・蝕孔，死節，流節及び割れ目のないこと。
- ・各辺とも鋸目通しのこと。
- ・全て赤身材であること。ただし，第1橋・第5橋の松材(桁材及び梁材)は，末口断面の8割以上が赤身であること。
- ・檜材は全部芯去り材とすること。
- ・高欄親柱，袖柱，斗束は四方無節とする。高欄材(土台・笠木)は可能な限り三法無節とする。

表2 用材調達先

材種	使用量	使用箇所	調達先
松(まつ)	156.4m ²	桁，梁，平均木	新潟，山形，福島，広島，山口
檜(ひのき)	151.8m ²	橋板，高欄	長野
欅(けやき)	66m ²	桁，敷梁	岐阜，島根，山口，広島，鹿児島
ヒバ	29.8m ²	橋杭，貫	青森
栗(くり)	5.9m ²	雨覆	新潟，山口
檜(かし)	0.8m ²	太柄(だぼ)	山口
合計	410.7m ²		

表3 橋毎の部材数

橋名	構造材	平均木	鞍木・助木	化粧材	小物材	合計
第1橋	170	50	0	896	1,786	2,902
第2橋	313	50	580	1,210	2,649	4,782
第3橋	313	50	580	1,210	2,649	4,782
第4橋	313	50	580	1,210	2,649	4,782
第5橋	170	50	0	896	1,786	2,902
合計	1,279	250	1,740	5,422	11,519	20,150

錦帯橋は、主に松・檜・欅が用いられている。アーチ橋の構造部分は松と欅で構成され、大きい負荷がかかる桁端部や中央部には欅が用いられている。また化粧部分には檜を用い、白木の美しさを醸し出している。使用木材区分を図2に示す。

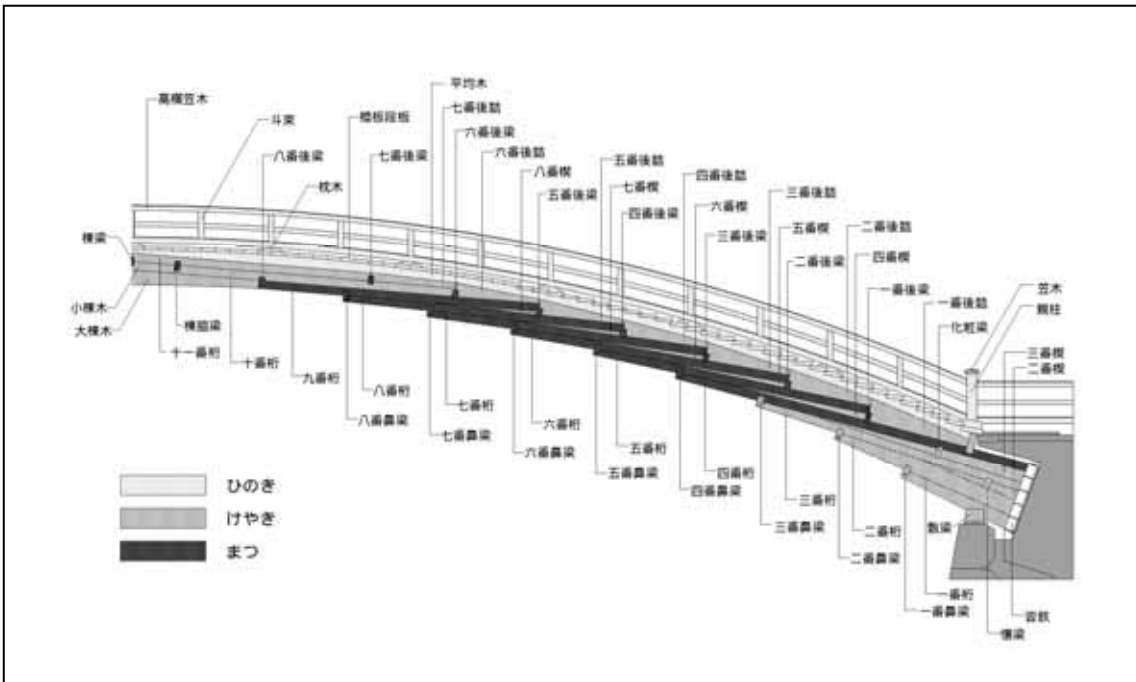


図2 錦帯橋使用木材

錦帯橋の桁の結束には和釘・鋸(かすがい)・巻金等の金物類が用いられている。この中で、和釘と鋸は全て丸鋼より鍛造して製作された。特に和釘(皆折釘)は、耐食性に優れた特性が要求されるため、薬師寺再建時に使用された和釘と同様の SLCM(スーパーローカーボンモディファイ)材(高純度鉄)が用いられた。同材は、炭素量やマンガン等の成分を低減したものであり、古代の高純度の鉄に近い材質である。橋板と平均木の間での腐食が進行してこの部分で断絶しやすいため、橋板止め釘には特に錆びにくい釘が必要と考えられたためである。今回の架け替え工事に、和釘と鋸釘あわせて約2万8千本が使用された。アーチ橋部分の1橋分の使用数量を表4に示す。

表4 錦帯橋使用金物(反橋の1橋分)

部材名称・寸法	本数	使用部位	部材名称・寸法	本数	使用部位
皆折釘 8寸×3分角	20	葺板押え	角鋸 1尺2寸×5分角	240	桁
皆折釘 6寸×2分5厘角	3,148	橋板, 鞍木, 葺板押え	平鋸 1尺2寸×1尺2寸×2分	60	桁
皆折釘 5寸5厘×2分5厘角	512	助木	平鋸 1尺×1尺2寸×2分	40	桁
皆折釘 4寸×2分角	270	梁鼻隠し	平鋸 8寸×1尺2寸×2分	240	桁
皆折釘計	3,950		平鋸 6寸×8分×2分	980	桁
			平鋸 5寸×8分×2分	680	桁
			平鋸 4寸×6分×2分	860	平均木, 桁
			平鋸 4寸×6分×1分5厘	326	鞍木
			手違鋸 1尺2寸×5分角	40	敷板, 大梁
			鋸計	3,466	

2.3 橋体形式の変遷

2.3.1 桁組み構造形式の変遷

錦帯橋の構造を記録した設計資料としては、江戸時代以降の古図面、明治以降の型板、大正以降の設計図書などがある。最古の図面は1699年（元禄12年）に作成された古図面で、各反橋の断面と立面の構造図である。本図は寸法等の書き込みがあり、縮尺10分の1で記されているため不明な寸法を採寸することも可能である。それ以降、古図面として1741年（寛保元年）等14種類があるが、反橋・柱橋の5橋全体についての記録は1919年（大正8年）の図面が最古となる。また、1952年（昭和27年）の昭和再建図には流出以前の寸法も記されており、これにより旧橋との比較が可能となっている。

元禄図には第2橋断面図や資材明細以外に各橋脚の桁高や各反橋の反り高、各桁通りの敷梁から2番桁までの納まり図が記載されている。これ以降の図面は元禄図に倣った部分が多く見られ、また実橋を測量して描いた実測図と見なせる部分が多い。従って、錦帯橋の原型を描いた設計資料として、元禄図の持つ意義は非常に大きい。元禄図に描かれる橋体の主な特徴は以下の通りである。

- ・楔が1番から9番まで存在する。
- ・桁巻金は一箇所につき1本となっている。
- ・後詰が2材で構成されている。
- ・平均木は11番桁から8番桁後詰上まで段板欠のない薄いものが張られ、5～7番後詰上には無く後詰が平均木の役割をしている。
- ・大梁・化粧梁・懐梁がない。
- ・鞍木の上部は中央13箇所が交差せずに、拌み合わせとなっている。
- ・橋板は敷梁が相決り矧で、段板も同様に加工したものを重ね張りしている。
- ・橋板の段数が41段と多い。

2.2.2 橋体形式の変遷

橋の長さについては、大正の図面では兩岸橋台敷梁間距離は195.7mとなっていたが、昭和の再建時に敷梁間距離は193.3mとした。また各橋の径間長は、大正の図面では第1橋が37.1m(昭和再建図34.8m)、第2橋が34.96m(同35.1m)、第3橋が35.1m(同35.1m)、第4橋が35.61m(同35.1m)、第5橋が34.79m(同34.8m)であった。橋板の張幅と高欄の心々距離も大正の図面に初めて記載があり各々の数値が若干異なっていたが、昭和の再建図でこれらの寸法を反橋の数値に統一された。

反り高について、元禄図に敷梁から橋板中央上端までの高さが示されており、この数値その後の古図面や大正の図面の反り高とほぼ一致しており、反り高に関しては元禄図の寸法が踏襲されてきたといえる。第3橋の反り高は、元禄図では5.423m(昭和再建図5.419m)である。各反橋の中央位置の反り高(標高)は橋軸方向に第3橋が最も高く、第2橋・第4橋がやや低くなっており、橋全体として中央の第3橋の標高を高めようとする意図があったものと考えられている。

3 . 模型制作による可視化

3.1 制作概要

錦帯橋の木造アーチ構造は極めて特徴のある構造形態であり，まず伝統的建造物の軸組構造を全橋模型により可視的に表現し，錦帯橋の構造様式に関する情報を理解しやすい形で表現することを目指した。そのため，特徴のある構造形態の技術情報を伝達するための一手法として，錦帯橋のアーチ部分の代表例として第三橋の模型を制作した。

制作に当たっては，橋梁全体図・加工図・部分詳細図等の必要なデータを岩国市役所錦帯橋建設事務所及び岩国伝統建築協同組合から入手し，実橋を忠実に縮小した原寸図を作成した(図 3)。模型の縮尺は，構造部材の継ぎ手・仕口等の細部の表現が可能な加工精度を考慮して1/10(橋長約4m)とした。なお材料は，加工性と模型の仕上がりを考慮して全て無節材の檜材を用いた。

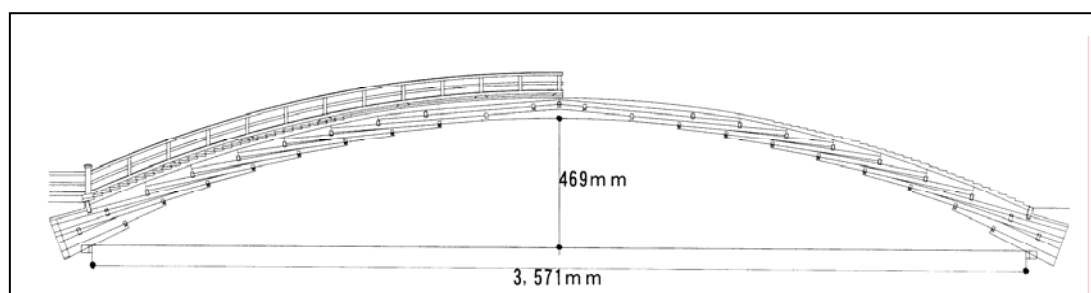


図 3 錦帯橋模型制作図

詳細構造の検討のため，まず代表的な桁組構造部の加工図を作成し，その部分の模型を試作して部材の構成や加工精度等を確認した。その結果を踏まえ，模型は主に桁組構造の特徴を表現することに着目し，模型の桁組構造や化粧部材の詳細構造の制作を以下の方針で行なった。主な模型部材寸法を表 5 に示す。

- ①実橋の橋尻は，橋脚に取り付けてある沓鉄(桁受金物)にはめ込まれ，ボルトで締め付けられている。模型では，橋台上に桁尻の受け板を取り付け，桁端を支持する構造とした。
- ②太柄は本来桁同士のずれを防ぐため，桁の上下両間に埋め込まれるが，模型では桁部材は全て接着し，太柄の構造は表現していない。
- ③桁・楔等を一体化するための桁巻金や，桁や後詰・平均木などの部材を留める釘・鍔等の金属材料は，模型では全て省略し，接着による接合方法とした。
- ④鞍木・助木や化粧部材を抑えるのに用いる和釘等もあるが，同様に省略した。ただし，橋板については外観を考慮して釘を用いて固定した。
- ⑤実橋の高欄の手摺部分は，斗束間を曲線加工した部材を継ぎ合わせて制作されているが，模型では全長にわたり一本で制作した。ただし，模型の高欄部材高さは約 16mm

部材となるため、全長分を曲げるのは難しいので、上下二枚に分割して貼り合わせて一体化した。

⑥橋板同士の滑り止めの為に欠きこみを設けて橋板同士を噛み合わせているが、模型では噛み合わせ部分は省略した。

⑦橋体の側面には葦板を支えるために葦板栈木が構造部材に取り付けてあり、本来は葦板と構造部材の間に葦板栈木抑えが設置されているが模型では省略した。

表 5 主な模型部材寸法

単位:mm

部材名	長さ	幅	高さ
敷梁	446	21	26.5
一番桁	258	16.7	24
十一番桁	515	16.7	17
二番楔	259	16.7	23
八番楔	164	16.7	3.5
鼻梁	474	16.7	18.2
後梁	474	16.7	18.2
一番後詰	306	16.7	48.5
七番後詰	192	16.7	18

3.2 模型の部材加工

部材の加工方法は実橋と同様な方法を採用し、まず全部材の型板を作成し、その後部材の製材、部材墨付け、接合部の加工を行なった。型板は縮尺 1/10 の図面から起こして製作した。材質は加工しやすい透明プラスチック板（厚さ 0.5mm）を使用し、部材長が 200mm 程度となるように考慮して型板の長さを切断した。型板の枚数は、細かいものを含めると 50 枚以上となる。主要なものとして、桁 11 枚、楔 7 枚、後詰め 7 枚、平均木 5 枚がある。なお型板には鞍木の設置位置を示す箇所の墨付けも行なった。



写真 2 模型用型板

全部材に墨付けを行なった後，墨付け形状に合わせて桁のホゾ加工を含め全ての部材の仕上げ加工を行なった。総部材数は1,600を超え，継ぎ手・仕口等多数の接合部があるため，加工の終了した部材同士の取り合いの調整を行った(写真3, 4, 5 参照)。

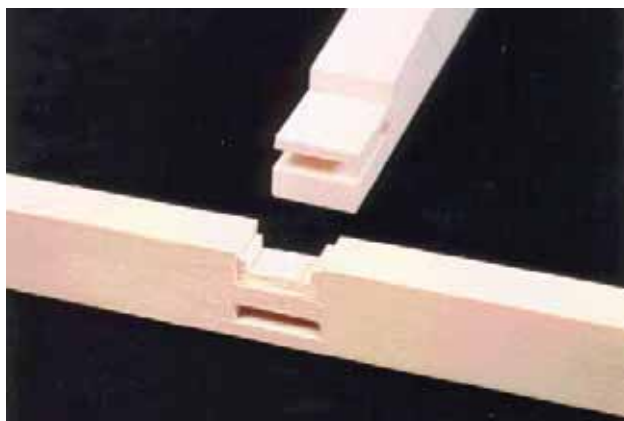


写真3 桁と梁の仕口



写真4 桁組み継手部

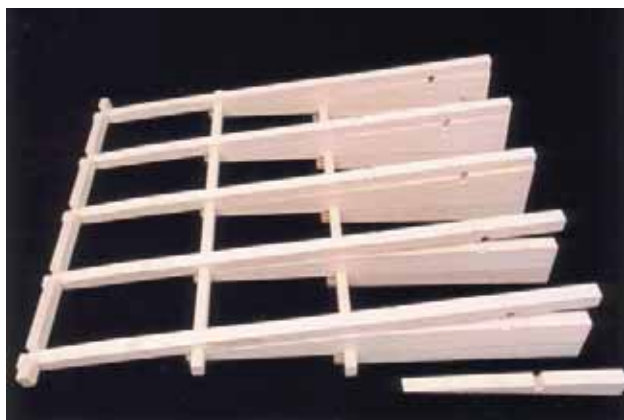


写真5 桁組み構造

更に、全部材の数量及び部材間の隙間を確認し調整するために、5本の全ての桁を組み立てる「仮組」を行なった。仮組は実橋では「陸組(おかぐみ)」と呼ばれ、部材相互の取り合いの調整とともに、アーチ形状の確認を行なう重要な工程の一部である。なお本模型制作では、アーチ形状での仮組みは行わず桁の半分を独立して別々に組み立て、アーチ中央部の大棟木は架設時の形状を反映して部材長を決めることとした。仮組の様子を写真6、7に示す。



写真6 仮組(手前は加工済み部材)



写真7 仮組(手前は大棟木)

3.3 模型の組み立て

アーチ部分の桁組制作状況を以下に順を追って示す。

①橋脚の組み立て

橋脚部分の骨組みとなる材料は、加工しやすい36×40 mm杉角を使った。周囲は薄ベニヤ材を用いて覆い、表面を塗装して石垣の模様を施した。橋脚間の距離は、敷梁の基準点間距離が3,571 mmとなるよう敷梁を据え付け、橋梁の径間長の基準となる橋脚の位置を組立用の鋼製水平梁で固定した。



写真8 橋脚と敷梁

②桁の組み立て

敷梁の上に一番桁を組み、一番鼻梁を桁の先端に差し込み楔・梁を順に組んでいった。四番桁は、橋脚に近い方で大梁を組み、中間辺りで一番後梁を組む。更に、四番鼻梁を差し込み、後梁から先に四番楔を重ねた。



写真9 一番桁組み



写真 10 四番桁組み

五番桁から十一番桁までは桁尻を徐々に先端に延ばして組み立てた。八番桁までは、後梁を組み後梁より先に楔を重ねた。九番桁の鼻梁は先端の上端で組み、先端には長さを調整した大棟木を入れた。十番桁も九番桁のように組み、先端には小棟木を設置した。十一番桁は他方の十一番桁と中央で結合した。大梁から一番後梁の間に一番後詰を入れる。このように七番後梁の所まで七種類の後詰を入れ、その上に大梁から平均木を五種類重ね、桁組みが完成した。



写真 11 七番桁組み



写真 12 桁組み状況



写真 13 大棟木の取り付



写真 14 桁組み完成

③鞍木・助け木等の組み立て

助木は桁組みの側面に接着した。鞍木と接する部分は、半分ずつ欠いて合わせる「相欠き」で組んだ。鞍木は鼻梁と後梁を挟み込むようにV字形に取り付けた。振り止めは、橋桁間と後梁間に入れる水平の筋交いで、現場で合わせて墨をして加工した。交差部分は相欠きに加工して取り付けた。



写真 15 鞍木・助け木の取り付け



写真 16 振れ止めの取り付け

④橋板・高欄の組み立て

橋板は、平均木に合わせ当たりを見て表面を削り、下から留め釘を打った。葦板は、橋の側面に付け端部で七段、中央で三段の下見板張りとし、梁の部分に欠いて棧木を取り付けた。葦板から突出した梁の木口には梁鼻隠を取り付けた。橋の端部に杓木を取り付けた上に親柱を立て、親柱笠木を取り付けた。枕木は六種類あり橋板の上に取り付け、土台を重ねた。土台の上には貫穴を開けた斗束を取付け、貫を入れ笠木をとりつけ高欄部を完成した。



写真 17 橋板の取り付け



写真 18 高欄の取り付け

模型完成状況を写真 19 および写真 20 に示す。



写真 19 模型完成



写真 20 模型完成

4 . C A Dによる分析

4.1 分析の概要

完成後の外観からは窺い知ることのできない特徴的な構造詳細部に関しては、CAD によるデジタルデータを用いて特徴を明らかにすることを試みた。すなわち、錦帯橋の桁組みの特徴である継手・仕口の代表的な部分について、その組み立て状況の詳細を分析するために三次元 CAD を用いて各工程のデジタルデータ化を図った。このように、平成の架け替え工事に基づいて一連の制作工程を CAD データ化することは複雑な構造を理解する上で極めて有効な方法であり、錦帯橋の修復プロセスに関する情報をより具体的に伝達することが可能になると考えられる。

4.2 桁組みの詳細

一例として、四番桁までの組み立て工程の詳細を 14 ステップに分解して図化处理した。一番桁から四番桁までの組み立て工程を三次元 CAD で示すことにより、錦帯橋の基本的な一連の桁組みの工程を再現することができる。なお図化处理には、3D-CG ソフト form・Z を用いた。



図 4 一番桁



図 5 一番鼻梁



図 6 二番桁



図 7 二番鼻梁

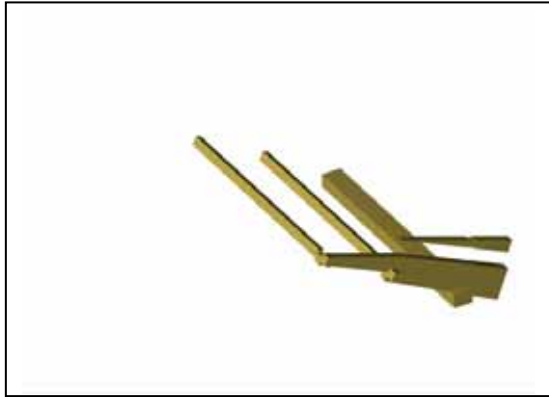


图 8 二番楔



图 9 懷梁

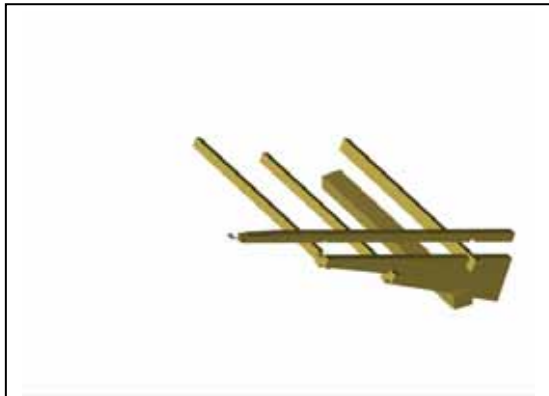


图 10 三番桁



图 11 三番鼻梁



图 12 三番楔



图 13 化粧梁

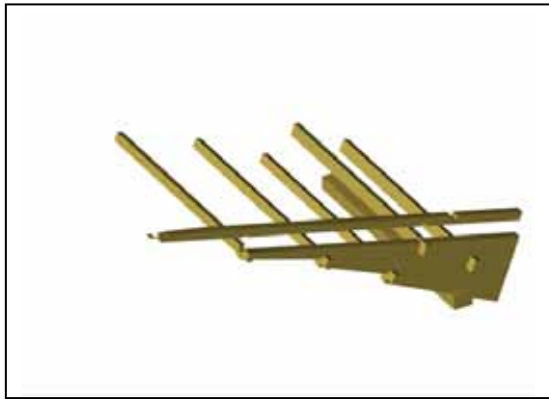


図 14 四番桁

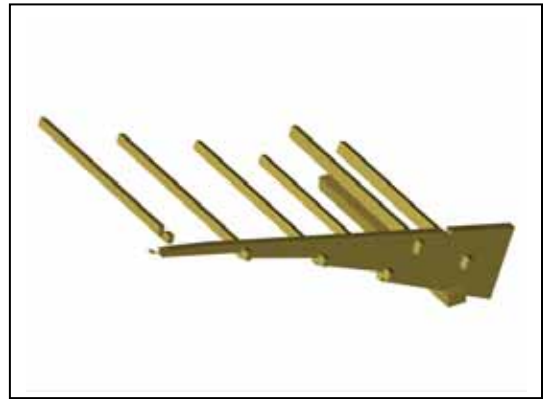


図 15 四番鼻梁



図 16 大梁

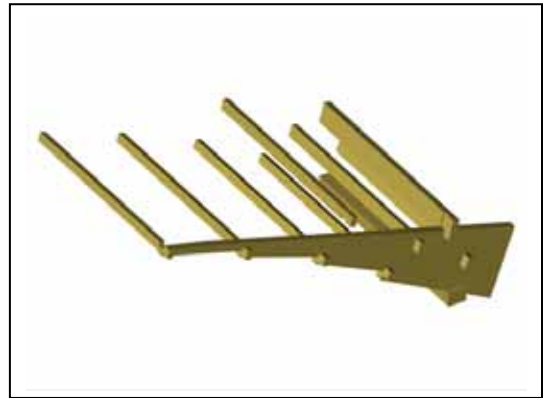


図 17 一番後梁

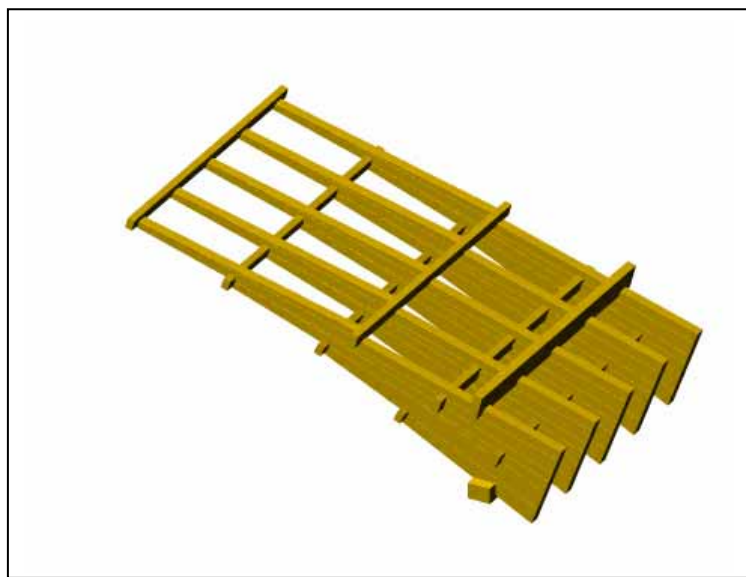


図 18 四番桁組み立て状況

5 . 技術情報の伝達に関する考察

5.1 技術情報の種類

歴史的建造物を将来にわたり維持し修復技術を継承するためには、多岐にわたる技術情報を伝達していくことが必要である。計画段階から施工段階にいたる全プロセスの技術情報の伝達には管理者の組織的な対応が求められ、錦帯橋の場合はこれまで約330年以上にわたり維持管理を含め岩国市(藩)や岩国在住の人々により情報が受け継がれてきた。錦帯橋は、創建当時から一子相伝として地元の人々により架け替えや修理を行いながら保存されてきた歴史的経緯もあり、昭和の再建と同様に平成の修復工事においても架橋工事は「岩国建築協同組合」が実施し、木工事に関しては「岩国伝統建築協同組合」が担当した。これは岩国市の基本方針として受け継がれており、地域の人々に限定して技術情報の伝達する方式は独特ではあるが、技術の伝承や維持管理に有効に機能してきたといえる。

その主体となるものは工事報告書類であり、平成の架け替えでは「名勝錦帯橋架替事業報告書」が編纂されており、修復工事全体を記す貴重な資料となっている。架け替え工事全体としては、計画から施工段階に至る多様な項目が挙げられる。この架け替え工事の実例を参考に歴史的建造物の修復技術について伝達すべき内容について整理すると、各段階における主要な項目とその概要は以下に示す通りとなる。

①計画段階

- ・修復の基本方針
工事の範囲、特記仕様、実施仕様
- ・用材の調達
再建や修復に用いる木材の選定仕様、管理(長期的計画管理を含む)
- ・特殊材料の調達
和釘・鋸等金物類の材質・形状・制作方法

②設計段階

- ・橋梁形式の検討
橋長等の橋梁の基本形状の決定
- ・詳細設計
桁の設計、柱橋の設計、高欄等の設計

③製作段階

- ・現寸図・型板の作製
桁部材の実物大の現寸図および現寸型板の作製
- ・木材加工
加工方法・加工機器及び仮組(陸組)
- ・防腐処理
環境対策を考慮した防腐剤材処理

④施工段階

- ・ 準備工事
現橋の解体及び架設足場・架設資材計画
- ・ 架設工事
反橋及び柱橋の組み立て
- ・ 石工事
橋脚・橋台の天端敷石や橋杭受石の設置
- ・ 金具工事
巻金・振れ止め金具・高欄金具類の取り付け
- ・ 板金工事
平均木上銅板や高欄部分の銅板取り付け
- ・ 防水工事
橋板の敷板目地のシーリング材の施工

⑤維持管理段階

- ・ 定期点検
橋板の腐朽度の調査等

5.2 技術情報の伝達

本研究では、前述したように錦帯橋の木構造の桁組みの構造形態を表現することに焦点を当て、主に設計に関する技術情報の伝達について検討してきた。技術情報の中でも製作・施工段階に関する技術・技能的要素な内容と比較すると、設計情報は客観的に伝達しやすい。設計情報の基本は図面類であり、錦帯橋の場合は縮尺 10 分の 1 の構造図である。しかし、これらの構造図は二次元で表現されたものであり、特に複雑な桁組みで構成された錦帯橋のような場合には、設計情報の伝達に関しては三次元のモデリングや三次元デジタルデータ化による設計情報の伝達は有効な手段であると考えられる。

模型による可視化は構造物の全体構成を理解するうえで非常に有力な方法であり、しばしば実際のプロジェクトにおいても実施されている。錦帯橋の平成の架け替え工事に当たっても、模型を制作して設計内容を検証する方法が採られている。本研究の模型制作で示したように、継手・仕口等の加工精度や細部構造を再現できる程度の縮尺とすれば、最も特徴的な構造形態が可視的に把握できる。このように、模型による可視化は、工事に直接関わる関係者には設計情報を伝達する基本的な手段と位置づけることができる。

更に、細部構造の構成や組み立てのプロセス等の技術情報を表現するためには、三次元デジタルデータの導入による図化处理は効果的である。特に錦帯橋の構造詳細のように完成後の外観からは窺い知ることができない部分を対象として、本実施例では三次元 CAD を用いて桁組みの各ステップをデジタルデータで表現し情報をより正確に伝達できることを示した。三次元モデルでは、設計の基本的な情報を組み込むことばかりでなく、太柄のような詳細構造の寸法・位置なども正確に表現できる。これらの全設計データを忠実にモデル化することで、設計情報の伝達の情報量は飛躍的に向上すると考えられ、三次元モデリングを通じて多数の設計情報の伝達が可能となる。

従って、かなり膨大な情報量になることが予測されるが、桁組み工程の全プロセスを三次元モデリングすることで、設計に関する技術情報をより正確に伝達することができる。また、本研究では取り扱わなかったが、金物類や付属構造物の取り付け詳細についても同様の図化処理をすることで、設計情報の伝達の一層の円滑化が図られる。更に、完成時の設計情報ばかりでなく、製作段階の部材加工状況や施工段階の架設工程等の全プロセスについても同様の観点から三次元モデリングすることは技術情報の伝達には有効な方法であると考えられる。ただし現存する図面類の背後には、設計者の意図やその形状決定に至るまでの判断が隠されている場合もあり、これらの技術情報をいかに伝達するかは今後の検討課題といえる。

技術情報の伝達・継承に関しては、ものづくり産業全般を含め様々な取り組みが行なわれている。製造分野においては、ものづくり基盤技術として加工技術等の技能の伝承やその人材育成の観点から取り組まれている場合が多く、技術情報を知識ベースとして個人が獲得し組織が集約して発展させ共有化することが重要と考えられており、そのための仕組み作りが研究されている。例えば、産業技術総合研究所デジタルものづくり研究センターでは、知識の体系化と情報技術を活用した製造現場におけるこれら知識の蓄積・利用技術の高度化を目指した研究が行われておりそのデジタルデータ化が進められている。一方、建設分野においては、特に歴史的建造物の場合には検討の対象となる構造様式や形式・規模が異なるため、人材を介して個別に特有の技能技術の伝承が試みられている。このような取り組み事例を収集分析し、人材の育成の組織的対応による方法とともに技術情報伝達の体系化に関する研究を進めていくことが必要と考えられる。

おわりに

本研究では、わが国を代表する歴史的建造物である錦帯橋の架け替え工事を通じて、歴史的橋梁修復技術の情報伝達システムに関する研究を行ったものである。

はじめに錦帯橋の平成の架け替え工事の概要を紹介し、これまでの架け替えの経緯と平成の修復工事の範囲や錦帯橋の構成諸元・実施方法等について述べた。とりわけ木造アーチ構造の橋体形式に関しては、設計資料を分析して桁組み構造形式の変遷を含む設計情報について整理した。

まず、特徴のある構造形態の技術情報を伝達するための一手法として、錦帯橋のアーチ部分の代表例として第三橋の模型を制作した。極めて特徴のある構造形態である木造アーチ構造軸組構造を全橋模型により可視的に表現し、錦帯橋の構造詳細に関する情報を理解しやすい形で表現した。構造部材の構成の詳細が表現可能な加工精度を考慮して縮尺 1/10 (橋長約 4m) とし、桁組の半分は橋板を設けずに桁組み構造の特徴が再現できるよう考慮した。本報告書においては、主要な製作工程及び完成状況を記録写真を用いて示した。

次いで、完成後の外観からは見ることでできない錦帯橋の桁組みの特徴である継手・仕口の代表的な部分について、その組み立て状況の詳細を分析するために CAD を用いて三次元のモデリングを行なった。本実施例では三次元 CAD を用いて桁組みの主要な部分を 14 段階に分解したデジタルデータで表現し情報をより正確に伝達できることを示した。

最後に、本実施例を参考にして伝達すべき技術情報の種類を整理し、設計情報の三次元モデリングの有効性に関して考察を加えた。技術情報の伝達・継承に関しては、ものづくり産業全般を含め様々な取り組みが行なわれており、今後それらの取り組み方法を参考に技術情報伝達の体系化に関する研究を進めていくことの必要性を指摘した。

謝辞

歴史的橋梁修復技術の情報伝達システムに関する研究を進めるに当たっては、多くの関係者の皆様にご協力していただきました。岩国市経済部錦帯橋建設事務所の岡原次長・岡崎技師には、錦帯橋の現寸図をはじめ貴重な錦帯橋関連資料を提供していただき感謝の意を表します。また岩国伝統建築協同組合の海老崎理事長・中村専務には、設計・施工関連の詳細な情報を提供していただき厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岩国市：名勝錦帯橋架替事業報告書，平成 17 年 3 月
- 2) 岩国市：錦帯橋，錦帯橋建設事務所，平成 13 年
- 3) 品川資：名勝錦帯橋再建記，岩国市，昭和 30 年 4 月
- 4) 青木楠男，佐藤武夫：錦帯橋の再建，建築雑誌，68 卷 801 号，昭和 28 年 8 月
- 5) 大野唯糊：錦帯橋の沿革と構造，土木学会誌第 22 卷第 5 号，昭和 11 年 5 月
- 6) 平澤郷勇：岩国錦帯橋に就て，建築雑誌，昭和 2 年 10 月
- 7) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編：ものづくり白書，2005 年度版

助成研究者紹介

ほうじょう てつお

北 條 哲 男

現職：ものづくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科 教授，博士(工学)

主な著書：吊橋(共著，土木学会)等