

錦帯橋の構造

岩國錦帯橋建設局顧問

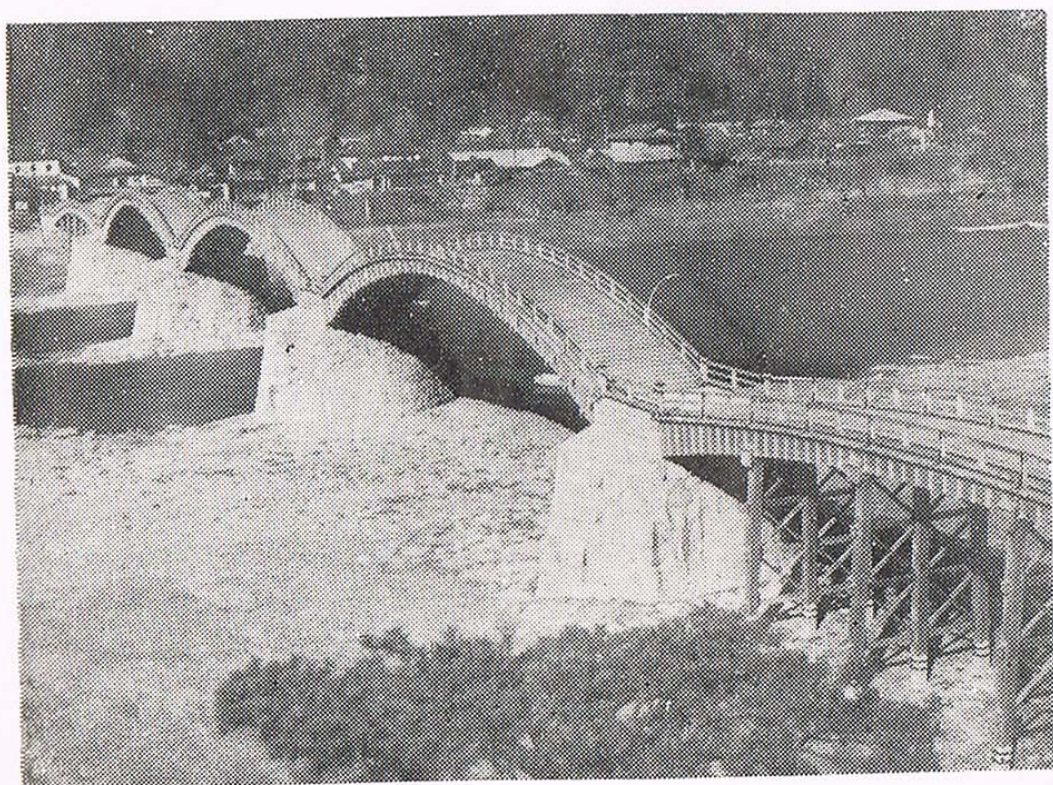
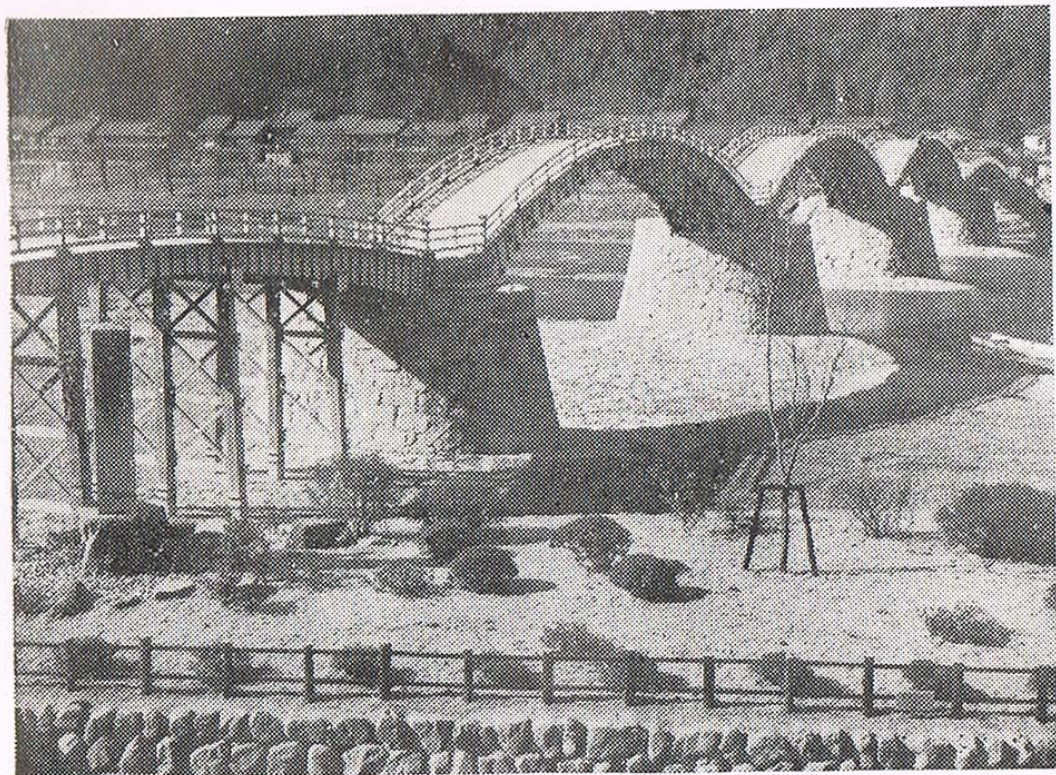
工学博士 青木 楠 男



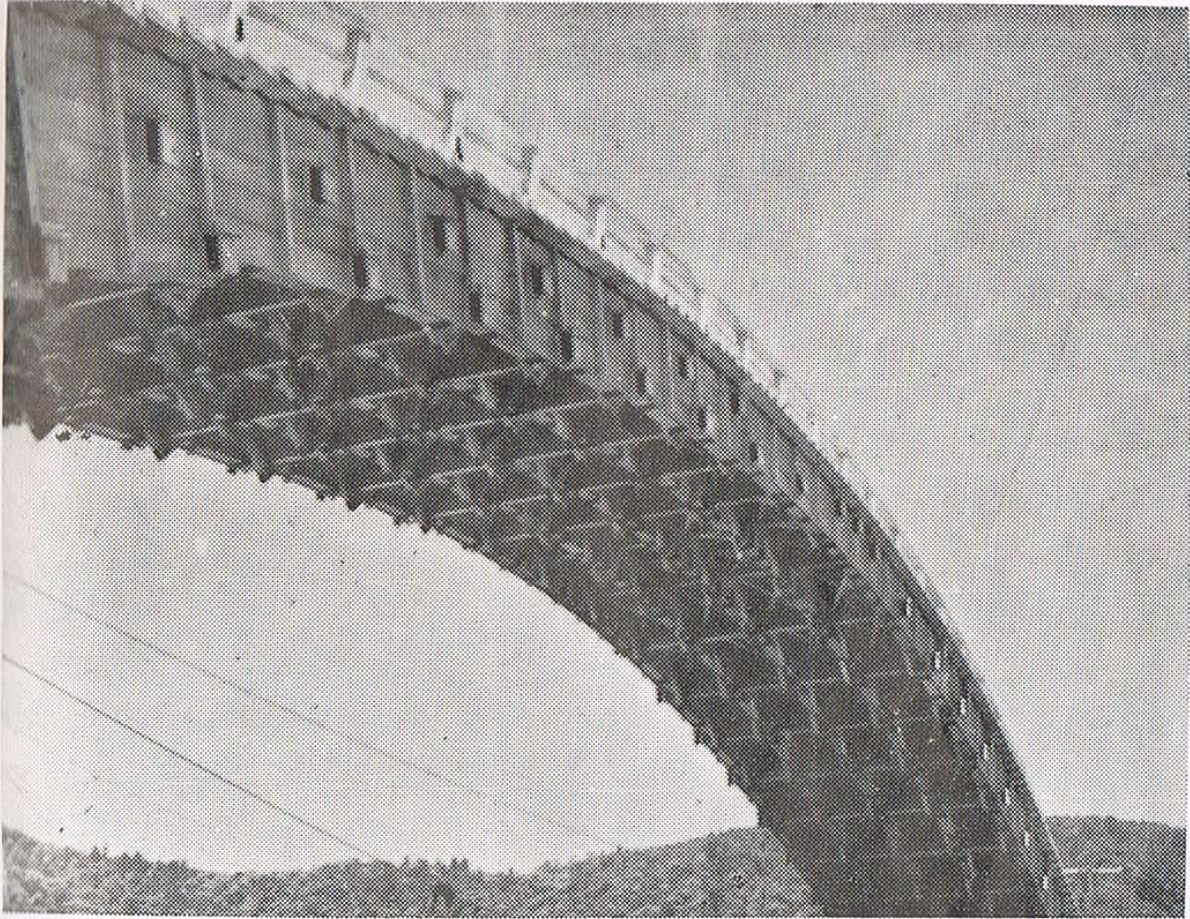
(1952—11—8 化学機械協會山口地方大會)
(第一日岩国市商工会館における講演速記)

岩 國 市 役 所

発 行



完成した錦帯橋



裏側から見た錦帯橋の橋桁



錦 帶 橋 全 景 (四橋完了)



第 五 橋 工 事 着 手

錦帯橋の構造

280年の古い歴史と、城山を背形としてこの橋のもつ稀に見る美しさと、其構造の特異性とを以て、天下に其名をうたわれた錦帯橋が昭和25年9月14日午前3時46分キジャ颱風の為の洪水に押し流されてから、こゝに2年有余の年月をへました。この間名橋再建の為のあらゆる努力がはらわれ、こゝに復舊建設の工事も其最終段階に入つて明春の開通が心待ちせられる、状態に立ち至りました事は誠に御同慶に堪えないところであります。

こゝに本工事の施行に関係いたしました一員として再建される錦帯橋の構造について一言申述べ、昔の構造と變つた点につきましては其變更の理由を、従來の構造を踏襲しました点につきましては、これに對する今日の技術上から見た解釈を申し上げて御参考にいたしたいと存じます。

復舊方針

錦帯橋の復旧方針に関しては昭和26年1月27日東京に於いて、建設省、文部省文化財保護委員會、山口縣、岩国市等の關係者並びに參議院議員、學識經驗者等三十數名からなる委員會が開かれて討議されました、席上近代交通に何の役にもたぬ原形復旧に對し、はげしい批判が加えられ、鉄筋コンクリートによる近代橋梁架設を唱える聲が高かつたのであるが、本橋が日本の文化財として深い意味をもつものであること、これの存否が岩国市の觀光に重大なる關係を有すること等が認められ、結局旧態に復旧するの方針が議決されました。

併し其構造上再度流失の恐れある點と、腐朽の為に35年位毎に架換

けねばならぬ欠点、細部の形式に於いてある時代に古式の形式が變えられてをる點等につき注意が喚起された。

こんな事情から昭和26年1月29日附で建設省河川局長並びに道路局長からの錦帯橋災害復旧工事設計協議について下掲の措置が通達された。

- 1° 井筒長については實施に當り地質調査の上決定しなるべく深くすること。
 - 2° 井筒構造については更に検討すること。
 - 3° 橋体の橋脚嵌入部については腐蝕せざる様構造につき留意のこと。
 - 4° 高欄は古式に倣う様考慮すること。
 - 5° 検査額を超過する工費は別途負擔のこと。
- 復旧工事はこの線に沿つて設計施工された。

一 般 形 状

流失前の錦帯橋は總長195.7mで、これが5径間に分かれ、上部の幅約4.6mの石積橋脚4基が配置されておる、左右兩岸寄りの径間は各5本の支柱で支えられた反りを有する木桁橋であり、左岸寄りのもの、径間長は約37.0m、右岸寄りのものは約34.8mの径間長を有してをつた。中央の2径間は迫持法を用いた木造アーチ橋であつて各々35.61m 35.10m 34.96mの径間長を持つておつた。

この様な径間長の不揃いは決して意識的に行われたものでなく、橋脚築造にあつての誤差其他から偶然に生じたものであろうことは想像にかたくない處であると共に、この径間長の不揃いが其後の橋桁架換えにあつて施工上に多くの苦心を要せしむるに至ると考えられる

と共に、錦帯橋の美観上にも特別の効果を与えてをるとも考えられない為に、復旧計画にあつては四橋脚の上部幅員を各4.6mとし、左岸より第一径間34.8m、第二、第三、第四径間各35.1m、第五径間34.8mを採用することとなつた総長193.3mである、総長に於いて2.4mの減少は従来の左岸橋台前面が錦川改良工事で施工された左岸護岸法線より幾分引き込んでおつたものを同法線に一致せしむると共に左岸橋詰の廣場を拡張することを得るの結果となつた。

次に橋脚の形状寸法であるが、従来の橋脚は幅員に於いて、又石積の傾斜に於いて各橋脚が夫々獨特の形状寸法を持つておつた事が記録されておるが、又橋脚に対する精確なる實測數値の残つておらない為に、完全に各橋脚を原形状に復旧することは困難であつた、これが為に比較的原型の残つておる流失を免れた橋脚について精確な實測を行い、代表的の形状寸法を決定して、この形に各橋脚を統一することとなつた。

又従来の橋脚は各筒其方向が異つておつて、傳ふる処では往時の洪水流の方向に一致せしめたものとされておつた、復旧工事にあつてもこの点が論議されたが、現在の河状は往時の河状とは相當變化しておる事でもあり、橋脚基礎に後述の如く深さ10mの鐵筋コンクリート井筒を使用する以上橋脚安全上から見ても旧来の橋脚の方向を再現する必要は認められず、結局、橋梁中心線に直角に築造することになつた。

次に橋脚の高さについては在來のものが昭和8年に記録された最高洪水位9.46mに対しては中央径間のアーチ橋の起拱點は約1.0m水没することになり、橋の安全性からも、又木材の腐朽の點からも面白くない為に、中央橋脚に於いて約80cm兩岸橋台に於いて約50cmの嵩上

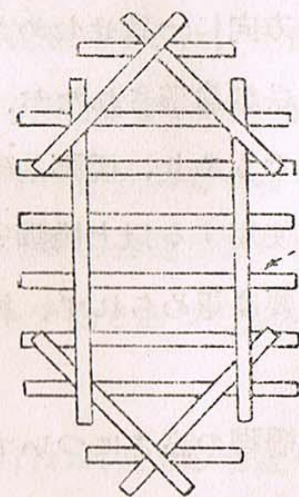
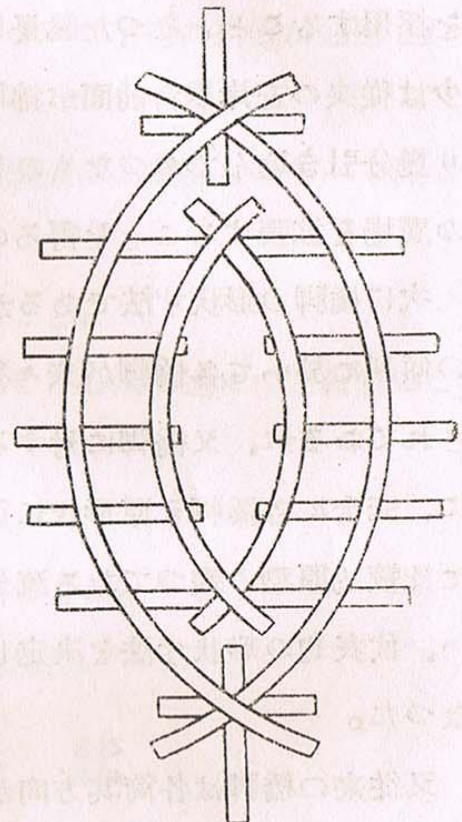
げを行つた。

橋脚橋台

従來の橋脚基礎、古い橋脚の基礎は記録の傳えるところでは右圖の様な橋脚の形状にならつて左右に彎曲した梯子洞木様の編木臺を基礎とし河床面下より築き上げたと傳えられておる、又橋脚周圍の石垣は内部栗石を以て填充し洪水時には水が自由に内部の空隙を流通し水壓力を減ぜしめんとしたと傳えられる。

然るに左岸より第2號橋脚の旧基礎取り除きに際して現われた基礎土臺木は右圖の様なのであつた、木材は松丸太末口6寸程度のもので使用されたものと推定される、龜甲型の部分は短形断面のものが用いられ止栓には材種は推定出来ぬが潤葉樹の木塗が用いられておつた、これらの土臺木は現在の河床より2~2.7mの深さに据えられたものであつて最渇水期に於ても最低水位下であり280年に近い年月、水中にあつたものと想像される。

これ等の松材の表面は1~4cm 内部迄腐蝕しコルク状を呈し、内部の大部分は未だ



末口六寸間隔二尺五寸



7寸位

健全材のまゝであつた。

龍甲型の部分の松材につき山陽パルプ株式会社岩国工場製造部試験課に於て分析して頂いた結果から次の様なことが明らかになつた。

「全繊維素の量は健全材の 57.2~59.6%が腐蝕部に於て 15.9~50.1%に減じており、

リグニンの量は 27.9~29.5%より 37.0~64.7%に増加、灰分は 0.3~0.4%より 0.9~1.5%に増しておる。」

以上の様な極めて簡単な基礎土臺木の上に積上げられた石積の橋脚が河水による基礎の洗堀をうけることなく 280 年の永きに亘つて其形を保ち得た事は、一面に於て橋脚間河床に張り立てられた川中敷石の保護によるものであり、一面に於ては錦川が長年月に亘り河状が安定しており、河床の著しい變動がなかつた事によるものと想像される。

川中敷石の工法は「下層大石、中石、小石交合の捨石、中敷石は荒敷石上、中、下交合敷込、上敷石は上、中、下の石交合中くぼに敷石生松亂抗打廻し、敷石はせり込み植石を専とす」とあり相当念入りに施工せられており、其後も敷石の維持修理については充分の注意が拂われたものゝ様である。

然るに昭和 25 年 9 月の錦帯橋流失の状況並に崩壊後の橋脚を詳さに検討するに、この災害の直接原因は橋脚の崩壊にあるものと考えられ、其崩壊は橋脚基礎の洗堀によるものと推定する、この洗堀は勿論敷石の破壊に原因することは明かであるが、其根源をなすものは戦争中錦川の河状の安定が崩れた事、これに伴う河床の變動が顯著になつた事人工的な河床の低下等によるものではあるまいか、

架橋地點の地質 復旧計画に於て橋脚基礎に従来の工法を用うことは百年の計でないことは明らかでありこゝに近代工法による井筒基礎

を採用して万全を期すこととなつたがこれが支持力、洗堀に對する安全性等を判断する資料とする為に地質調査を横山側橋臺基礎附近並びに錦見寄り第一橋脚附近について行つた。

この結果によると河床面下15mに至る迄細砂交りの砂利層であつて粒径最大1.5cm程度であることが明かになり、これより以下に於ても尙砂利層がつゞくものと推定された。

橋脚、橋台の基礎 上記の如き砂利地層で、河川勾配約1/500の地點における永久構造の橋脚基礎として鉄筋コンクリート井筒を採用した事は今日のpracticeとして当然のことであり、井筒の深さに対して多少の考慮を必要とした。

先づ支持力であるが在来の橋脚が既述の如きものであつた點から考え、これと同様の荷重をうけるものとすれば、地下数mに沈下する井筒基礎は支持力については全然懸念のないものと考えられる。他橋梁の實例から見て、井筒底面の支持力は $60T/m^2$ 、井筒周圍の表面摩擦力は $1.5T/m^2$ を越えるものと考えられる。

支持力と洗堀とを合せ考えるとき、河床の砂利層であること、河川勾配が1/500程度であること等から考えて少くとも6mを要すると考えるのであるが、錦川に既設の諸橋の井筒深が8m~10mであり、前述の如く錦川の河床の、異動が見受けられる等の點から見て建設省よりの通課もあり、安全を期して井筒長は10mと決定した。

井筒基礎の構造 橋脚軀体の形狀寸法を旧来のものに倣つて築造するものとし其大きさが底面に於て、幅員約6.7m長約13.0mの紡錘形をしておるがこの底面を一様に受けるだけの大きさの井筒基礎の必要は支持力の上からも認められなかつた關係上基礎井筒の断面は短徑4.5m長徑9.5mの小判型とし、鉄筋コンクリート壁の厚さは0.6m、中央

部に厚さ0.5mの隔壁一つを設けた。

井筒上端は、軀体面積を支持する為に幅7.1m、長13.4mに拡大し、この為に幅1.3m乃至1.95mの棚状の突出部を取付けた。

井筒は沈下后底面に厚1.5mの水中Concreteを施工し、中間部は砂礫を填充し、上部1.5mのconcreteを施工し、この上に軀体を築造した。

橋臺の基礎井筒には橋臺の幅が大なる為2基の円形井筒を沈下し、上部に基礎版コンクリートを施工し、其上に橋臺軀体を積上げた。

橋脚軀体の構造 旧橋脚軀体の表面石積には築城石垣の仕法が用ひられ、組石の大なるものを安定よく按配し、隙間には扶石を石垣法面より約3cm内に入れ、張合よく詰込み堅固に築立て、合端は漆喰を以て密着せしめておる。この表石垣の内側に軀体の高さの2/3にあたる部分まで空積の裏石垣が積上げられ、内部の空隙には栗石を大小混合隙間なく鐵挺子にて堅固につき固めておる。

軀体の中央上部には刎橋の端部をうける為に厚約45cm、高さ約2.7mの隔石が5本埋込まれ、これに五本の刎橋の橋桁が支えられておつた。

復舊計畫では基礎井筒上詰コンクリート上に底部幅員3.3m、上部2.00mのコンクリート橋脚心壁工を築き、この頭部には刎橋の端部を受ける為に拱軸線に直角な面を設け、ここに鑄鐵製の支承金物を取りつけた。軀体の表面石積は其外觀に従来の感覺を出来得る限り残したい為に、石材にはなるべく元の石材を蒐めて使用し、不足分に対しては旧石材の採集石山と傳えられる岩国山の石材を使用した。石積の仕法に關しても旧態を存する様特別の注意を払つた。

心壁工と表石積との間隙約60cmには石積の積み上りと共にコンク

リートを現場打ちし、積石の背面の隙間へコンクリートを充填して石積の固着に備えた。

表石積の合端目地は在來の漆喰に代へて白色セメント、赤土眞砂の1:3モルタルを使用した。

橋脚橋体の頂部の構造は其形状を在來のものに倣ひコンクリート造とし、表面石張等在來のものに準じた。

ア ー チ 橋

アーチ橋の構造と其強度 中央3経間のアーチ橋の復旧にあつては其起拱部を腐蝕防止の点から約1m短縮した以外は在來の工法に變更を加えておらない。

刎橋の構造の概畧について一言すると橋面総幅員5m、有効幅員4.25mに対して5本の拱肋が間隔1.044mに配置されておる。支間35.1m、拱矢約4.7m 拱矢比1/7.5である。拱肋の幅は全経間を通して17cm、高さは拱頂に於て平均木を加えて74cm、支間の1/8點に於て約1.00mである。

拱肋は半経間に11本の桁が順次楔を狭んで重なり拱肋を形成しておる。各桁の先端には鼻梁を架けて、次の桁を刎出し一構格をなす。桁の末端は後梁にて各拱肋を横に貫き、後詰木によりて支えられる。各材の接触面には柄木が配されておる。

拱肋の結束は桁巻金物及び鏝によつておる。巻金物は一般に1分格につき2箇所宛緊結し、1ヶ所2枚宛末端を拱肋表面の勾配に合せ、ジャツキにて締付け爪掛折典げ鏝釘を堅固に打付ける。又巻金物間は橋体上下各材とも対角線上に渡り鏝一橋約3750挺を打ち込んでおる。

拱肋の形状はほぼ拋物線形であつて等分布荷重に対しては有利な形

状が用ひられておる。

拱肋を拋物線形と假定し、起拱點を鉸と見做して行つた強度計等の結果では、 1m^2 当り 300kg (人間5.5人に当る) の荷重に対して十分な強度を有しておる。

拱肋を形成する各材間に作用する水平剪斷力に對しても部材間に挿入した柄の強度と摩擦力と、鞍木の働きとを考えると充分な強度が認められる。

拱肋に沿つて配置されておる肋木、及 V形の鞍木は拱肋の緊結と、剪斷應力に堪える爲のものと考えられ拱肋の補強材として極めて有効に作用しておるものとする。

各拱肋間に取付けられた振留木は横荷重に備えたものであつて、近代橋梁に於ける水平橋と全く同じ工法が用いられておる。

拱肋支承 従来の拱肋の端部は橋脚軀体中心の隔石迄延びており、この埋込部は常に濕氣を含んでおつた為腐蝕が著しく拱肋架換の期を早めておつた。復旧設計にあつてはこの點に鑑み、橋脚軀体の心壁工の上部を約 80cm 突き出し其面を拱軸線に直角となし、この面に鑄鐵製の支承を配し、拱肋端をこの金物に嵌め込み、ボルト締めとした。支承金物は二重底となし底部間隙の空氣流通を自由とし、拱肋端部を常時乾燥状態におくこと期した。

欄干 流失前の錦帶橋の欄干は擬宝珠をつけたものであつた。大正年間の架換に際して古式のものから改められたと傳えられる。

昭和16年1月27日の協議会の結果により、これを素朴な旧態に戻すこととなつたのであるが、古い記録を調査の結果、古式の欄干の型式が時代によつて可成の變遷のあることが明かになつた。この爲に文部省文化財保護委員會委員中この方向の専門家の參集を願ひ、検討の結

果、享和時代の形式に復元することに決つた。

橋材の防腐處理 錦帯橋の橋材の腐蝕が30年前後毎に本橋の架換えを餘儀ないものにしておつたのであるが、今後の架換えは其工費の點に於て、又所要の大きさの木材を得る事の困難等の點から、これを半永久的のものとする爲に完全防腐處理を行う事に決つた、處理劑としてクレオソート、又はマレニツト等の案もあつたが、これ等が木材に着色するの缺點あることから、Pentacblor Phenol.na 塩を使用することに決つた。

防腐劑の注入は大阪、東洋木材防腐会社が請負つた為に橋材を一旦大阪に送り、注入後再び岩國に返送することとなつた、木材によつては産地より直接大阪に送つたものもある。

使用した藥品は三井化学の、5号P. C. P Natrium塩5%水溶液である。

防腐材の注入操作は大体次の様な方針にて行つた。

注入方法は Bethel 法による事とし、

注入操作は注入罐に木材を入れ $635\text{mm}/\text{cm}^2$ 以上の排氣状態を45分間保ちたる後、防腐劑を注入罐に充満し、然る後ポンプを以て防腐劑を罐内に壓入する、先づ $2\text{kg}/\text{cm}^2$ の壓力にて60分間加圧し、次に $4\text{kg}/\text{cm}^2$ の壓力に上昇して60分間、次に $6\text{kg}/\text{cm}^2$ にて60分、最後に $8\text{kg}/\text{cm}^2$ にて180~240分加壓して標準量を注入する。

木材一石当りの注入量は下記以上とする。

樺 30kg. 檜 60kg. 松 60kg.

然る後に防腐劑を罐外に排除し、 $635\text{mm}/\text{cm}^2$ の排氣状態を45分間以上保ちて作業を終る。

使用藥劑は40~45°C に加温して使用する。

注入量は注入前後の重量を測定して決定する。

以上の方針で注入を行い、注入績成に現われた処では殆んど処定の葉量を注入することが出来た。

尙P. C. P natrium 塩を固着する為に木材が現場到着後、硫酸アルミニウム 1kg を軟水 10ltr に溶解したものを木材 1 石當り 1ltr の割合にて表面へ Spray にて撒布した。

又到着後加工した木材の木口等には油性P. C. P を塗布して防腐処理の万全を期した。

以上