

〔8〕 筑内37号横穴墓出土雲珠・辻金具の鍛造技術について

山 田 琢

1 出土品の観察、計測から製作方法を推測する

平成11年4月10日、福島県立博物館にて出土品の観察と計測を行った。計測には1/100mmまで計測できるデジタルノギス、厚みゲージ、スケール、ダイヤルキャリパーを使用した。鉾及び雲珠、辻金具の本体曲面の断面形状、宝珠および本体に刻まれた沈線の形状はマットフィルムを用いて形状をトレースし、型紙を制作した。

雲珠、辻金具とも本体、宝珠、鉾ともに鉄地金銅被せであることがわかった。雲珠の直径は最小値で101.3mm、最大値で102mm、宝珠基部までの高さは約32mmであった。本体はお椀を伏せたような半球状で、開口部円周上に厚み1.7mmから2.5mmの板状の脚が8脚付いていた。脚には直径9.8mm、高さ9.6mmの鉾が各2本ずつ取り付けられていた（写真1）。脚は90度に交差する位置の3本に限り吊金具らしき部品の痕跡が確認できた（写真2）。

辻金具は4体有り、半球形の本体に板状の脚が4本ついていた。4体のうち、2体の辻金具は一つの脚部に吊金具らしき痕跡が確認できた（写真3）。脚には直径9.2mm、高さ7.3mmの鉾が2本ずつ取り付けられていた。宝珠は3体に残っており、宝珠の欠損している辻金具の本体頂部には宝珠の中心軸の痕跡と思われる鉄地の盛り上がりが確認できた（写真4）。

出土品の目視での観察、X線写真の観察からも、雲珠、辻金具ともに、宝珠を除いた本体部分には接合を行ったと思われる箇所は発見出来なかった。本体及び脚部分の観察からは、接合加工を行った痕跡は見つけられなかった。X線写真に現れた陰影から、鉄地部分は鑄造によるものではない事もわかった。これらのことから本体半球形部分と脚部は一体で成形されているのではないかと推測できた。脚部までを一体で成形するには、板材を用いた鍛造加工によって成形する方法が適切ではないかと考えられた。

雲珠、辻金具の復元製作にあたり、今回の復元では本体部分の鍛造方法に焦点を絞って考える事とした。宝珠部分及び鉾に関しては、他の復元品の製作点数と、それに伴う製作時間の関係上技術的な視点での考察を行わず、形状のみを出土品と類似させることにした。宝珠及び鉾の製作には、旋盤¹⁾を用いて製作を行った。

1) 本体の鍛造方法について

本体と脚部分は観察の結果、一体成形製作されたのではないかと推測できた。半球形の本体部分と脚部を一体で成形するには材料をあらかじめどのような形状にすべきかを考え、それに最も適当な鍛造方法を推測して実験を行った。一枚の鋼板から三次元の形態を生み出す方法には、型を用いた鍛造と、「絞り」加工による鍛造の2通りに分けられる。

①型鍛造

製品となる形を型取った「型」を用いて、材料に外的な力を加えて、型に沿わせて成形する方法

②絞り加工

金槌と当金という特殊な形状をもつ金床を用いて金属板を成形する方法

雲珠、辻金具とも本体の形状は半球形であり、その表面には3本の沈線が刻まれているものの、形状自体は複雑ではない。この形状を鍛造による加工で製作するにはどちらが適しているのかを実験を行い判断することにした。

2) 脚部を一体成形する利点

本体部を鍛造によって一枚の板材から製作する利点を考えてみる。脚部を本体と一体型にする利点として、脚部の強度があげられるのではないだろうか。脚部は、杏葉、革帯などの他の部品との接点であり、馬装を施した際には各部の揺れや振動などで強い衝撃が加わることが予測できた。脚部はその振動に耐えうるだけの強度が必要であると思われた。特に雲珠の脚は馬装の中心点となるため、雲珠の脚が破損することは、他の馬装部分にも影響が出るのではないかと思われた。強度を必要とする場所にあえて接合部分を設けることは、破損の危険性を高めるのではないだろうか。

3) 脚部一体型の鍛造形状を推測する

鍛造段階でどのような形状にすれば、脚部も一体型で成形が可能であろうか。出土品の観察から、雲珠の本体に刻まれた沈線と脚からその形状を推測する事が出来た。雲珠は半球形の本体に8箇所脚が、半球形の切り口面に高さを揃えるように放射状に折り返されていた。脚部分の厚さは約2mm前後の板状であり、8箇所ある脚の付け根部分の高さには高低差が無く、また脚の裏面は半球形の本体の切り口と同じ高さで平らになっている。雲珠の本体には3本の沈線が刻まれているように観察出来たが、一番下の沈線（半球形の開口部に一番近いもの）は脚の上面と同じ高さに存在していた。また半球形開口部の縁は脚間を結ぶように脚部分の厚みと同じ高さの縁取りが確認でき、沈線と思われた部分は脚部を折り返して鍛造した際に出来たものではないかと推測出来た。これは辻金具の脚間にも同じ様になっている。この事から本体の鍛造は脚部分を切り出してから鍛造して折り曲げたのでは無く（図1）、半球形の開口部円周状を全ての脚部分を一体として麦藁帽子状に折り返し、その後1脚ずつ切り出したのではないかと推測出来た。こうする事で脚の角度も、接続する革帯や杏葉などの位置に合わせて設定することが出来るであろう⁽²⁾。

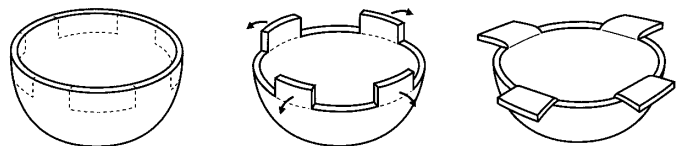


図1 脚部分を先に切り出してしまった場合、脚裏面は本体切り口面と同じ高さにする事が出来ない

2 鍛造方法の推測

鍛造方法について型鍛造と絞り加工の2種類を示したが、麦藁帽子状に鍛造すると仮定した場合、どちらの鍛造方法が適しているかを考える事とした。

1) 型鍛造の可能性を探る

型鍛造とは、成形する形状にあわせて金属、石材などによってあらかじめ「型」を製作し、その型に材料となる板材を沿わせて製作する方法である。この「型」には、外形を象った凹みに材料を沿わせる雌型と、中子（なかご）の形状を作りそれに材料の外側から叩いて型に沿わせる雄型の2種類が考えられる。

①雄型鍛造

半球形本体の内側の形状を象った型。

材料の表面に打痕が残る。

半球径の開口部部分（脚基部）にむけて材料の厚みは薄くなる。

②雌型鍛造

平面状に半球形の本体外形と同寸法の窪みをもった型。

半球形の内側に打痕が残る。

材料の厚みは半球形の頂点部分に向かって薄くなる。

雄型を用いて成形するには、型の頂点と脚部分にあたる平面部分に材料が触れなければ、型に沿わせることは困難である。形に沿わせるようにするには、円形に切断した材料をあらかじめ皿状に絞り加工をしなければならない。雄型鍛造では、型の突起の頂点に材料の中心を載せ、脚基部に向かって材料を表面側から叩いて型に沿わせていくため、脚基部の材料が薄くなるはずである。また材料の表側を叩いて型に沿わせるため、表面に打痕が残る可能性が高くなる。雌型鍛造では、型の窪みの上に円形の板材を載せ材料の中央部分を叩いて延ばしながら型に沿わせるため、材料の厚みは半球状の頂点に向かって極端に薄く成形される。この場合、打痕は雲珠の内側に付くであろう。2種類の方法から、どちらの型を用いたのかは、金槌の打痕と、材料の厚さで判断出来るのではないかと推測できた。しかし打痕については、出土品の表面からは観察は出来なかった。裏側も錆のために打痕の確認はできなかった（写真5）。

材料の厚さは、雲珠では宝珠基部周辺が2.6mmから3mm、半球形の開口部では約2mm、辻金具では宝珠付近で2.5mm、脚基部周辺では2mm前後と、どちらも脚部分に向けて材料の厚みが薄く変化していた。このことから雄型による成形の可能性が考えられる。しかし雲珠については、脚部分までを含む型を準備するには、直径で150mmほどの大きさで、厚みが30mm前後の塊を用意しなければならない。石材を型に用いるのであれば問題は無いであろうが、鋼材でこの大きさ

を準備する事は容易ではないと考えられた。型鍛造は量産を行うためには最良の方法ではあるが、型の製作を考えると単品製作を行うためには効率が良い方法とはいえなかった。

2) 絞り加工の可能性を考える

絞り加工とは、金床と金槌を用いた鍛造方法である。これは、金槌と金床を使って、金属の「延びる」という特性を生かした加工方法である。絞り技法には「槌起」と「手絞り」の2種類がある。どちらの技法も、金属が「延びる」という性質を利用していることに変わりはない。

「槌起」は板金の中央部分を金槌で叩いて器状にする方法である。平らな金床を使用し金槌で板材の中央部分を打ち延べることで器状に成形していく。叩いて延ばすことで中央部分が薄く延ばされ面積が広がることで盛り上がり、皿状に変形していく。この行程を繰り返すことで器状に成形していく方法である。槌起は器の口が広い場合や底の浅い皿状の成形に適した技法である。「手絞り」「絞り」とは、当金（写真6）という変形金床を使って板材を加工する方法である。材料を手で支え加工したい部分を当金の曲面部分（鏡）に乗せ、その材料を鏡に沿うように叩いて変形させていく方法である。絞り加工で重要な事は、作りたい形に合わせて当金の形を変えることである。これは材料の支えとなる当金の鏡面の形状が出来上がる形に大きく影響するためである。この方法は口の部分が窄まった形の成形や、底が深い器の加工に適している。材料を延ばすことで形を成形するということは、材料の厚みを変化させていく事と言える。部分的な強度を保つために板材の厚みを工人の意志で調整出来ることが、本体を鍛造する上で重要な点と考え、絞り加工による鍛造方法が適しているのではないかと推測した。槌起と手絞りについては、どちらの技法と区別するのでは無く、工程や、加工部位によって使い分けられていると仮定して実験製作を行うこととした。

3 実験結果を元に製作技法を考える

1) 推測した制作方法での実験

(1) 絞り加工による製作

手絞りによる鍛造方法で雲珠、辻金具を製作するには、どのような工程で加工をすべきかを考えるために試作品を製作することとした。この実験から必要な工具の選定と、加工状の問題点を考えることにした。実験には厚さ3.2mmの銅板を用いた。当金、金槌については実験を行いながら復元製作に必要と思われる形状のものを製作することにした。

(2) 本体部分の材料取り

銅板は雲珠用に直径200mm、辻金具用に直径120mmの円盤状に切断して使用した。円盤状にする理由は本体部分の形状が回転体であるためであった。回転体を手絞りで製作する場合、中心点から円周上に叩いて延ばしながら材料を変形させることで、歪みのない形状を製作できるためである。角形を材料を中心から円周に沿って叩いていった場合、材料の角部分が均一に延ばされないため全体に歪みが出来てしまうためでもある。この歪みは材料の厚みにも大きな変化が起こる可能性があるために、出来る限り歪みを出さないように加工をしなければならない。

2) 鍛造実験

初めに円盤状に切断した鋼板を、木臼を用いて浅い皿状に打ち延べを行った。こうすることで当金を使用して材料の円周上を叩きやすい形状となった。材質が鉄鋼材であるため、材料が冷たい状態での加工（冷間鍛造）で曲面形成をする事は困難であった。木臼を用いた加工以降はコークス炉を用いて材料を800度前後まで加熱した状態で加工した（熱間鍛造）。本体曲面の形状は出土品の計測時に制作したマットフィルムの型紙からテンプレートを制作し、これに合わせるように加工を進めていった。脚部を帽子の鐙状に成形するには、金槌のカラカミ側を用いて材料の外周側から中心に向かって絞あげていった。こうすることで脚基部の材料の厚みが厚くなるように絞ることができた。しかし脚部の折り返し部分を成形するには、材料の表面側から叩くだけでははっきりと折り目をつける事は困難であった。そこでこの部分は金床の角部分に脚部分の折り返しが当たるように裏面側から叩いて成形を行った。だが材料を確実に固定しないと叩いているうちにずれてしまい、折り返しの線が2重になってしまうことがあった。辻金具は本体部分が小さいために加工範囲が小さく、折り返しの角度や折り線の調整も容易にできるため材料の厚みが変化するほどの修正を行う必要がなかった。しかし雲珠の場合、脚部の折り返しは良い状態に成形できても、半球の開口部に歪みが生じたり直径が小さくなってしまったりする事が多かった。これを修正するために折り返し部分を何度も叩いている間に、この部分の材料の厚みが薄くなってしまった。この折り返しを容易にするためには金床の工夫をしなければならなかった。そこで厚さ9mmの鋼板に、半球形の開口部の円周と同じ大きさの穴を開けた型（写真7）を製作し、これに麦藁帽子を伏せた状態で材料を嵌めて脚の付け根部分の型鍛造を行った。こうすることで開口部の円周の大きさも、脚部の折り返しの線にも歪みやずれが生じなくなった。この沿わせ型は辻金具用も製作することとした。半球形の開口部周辺は本体の半球形の側面を平らな金床の角に当たるように持ち、裏側から叩く事で曲面形状の調整をする事ができた。曲面が浅ければ裏面から大きく叩き、曲面が急すぎるのであれば外側から叩きつぶす様にすることで曲面の調整を行うことが出来た。

3) 脚の切り出しと鉤について

脚部の切り出しは、出土品の製作当時は切り鑿による切断方法で製作されたと考えられた。実験では計測値をもとにX線写真から型紙を製作し、帽子の鐙状に折り返した面にけがきを行い切断した。切断にはバンドソーと糸鋸を併用した。切断面はヤスリで仕上げを行った。鉤孔はX線写真の観察から約3.7mmの丸孔であった。雲珠、辻金具とも鉤孔の大きさに差はなかった。

鉤については雲珠用で直径9.6mmから10mm、高さ9.6mm前後、鉤足を含めた長さは最大20mm前後、辻金具用で直径9.5mm、高さ7.6mm、鉤足を含めた長さ19mmであり、鉤頭の形状がふくらとした大きめの鉤であった。鉤足は腐食が激しいため外形の観察では形状を把握出来ないが、X線写真から断面が円形であることが確認できた。今回の復元製作では旋盤を用いた切削加工で製作を行った。鉤足には革帯等への固定用に使用したと思われる座金を確認できた。座金の大きさは大きいもので7.7mm×7.3mmの方形であった。すべての鉤足に座金の痕跡を確認出来たが、そ

これらの大きさに共通性はみられなかった。そのため復元製作では計測値に近い寸法で3種類ほどの大きさの座金を製作して使用することにした。

4) 鍛造後の本体表面の加工について

鍛造後の材料の表面には多くの打痕が残ってしまった。特に脚部周辺及び脚上面には深い打痕が残る可能性が高かった。これは形状の修正や、脚部の平面性、半球状の本体の寸法調整や曲面の修正で何度も金槌で叩くことが原因と考えられた。この形状を作り続け、技術的に熟練する事で、最小限の回数で鍛造工程を終了させる事も可能であろうが、打痕を完全に残さないように鍛造する事は困難だと考えられた。このため表面の仕上げはヤスリによる切削加工が不可欠であると感じた。実験製作では打痕を消すためと、本体の曲面形状の微調整を含めてヤスリによる整形を行った。雲珠、辻金具共に同じ工程で製作した。

5) 沈線の加工

(1) 本体沈線の形状と製作実験

沈線は雲珠、辻金具ともに2本が刻まれていた(写真8)。どちらの沈線も断面形状は、本体縦方向の一辺がやや長い「くの字」形の溝で半球形の開口部と平行に刻まれていた。稜線の間隔には微妙にずれが見られるものの、溝の太さと共に大きく歪んでいる部分は見えなかった。出土品の沈線部分を観察すると、沈線の溝の中に横方向の擦痕らしき線が確認できた。しかし、これは金銅板被せの工程で出来たものなのか、鉄地本体に残されたものなのかは解らなかった。

雲珠の製作実験では、ヤスリによって沈線を刻み入れる加工を行った。沈線の位置と溝の幅はハイトゲージを用いて計測値に合わせて本体にケガキを行った。ヤスリによる手作業によって溝を刻み入れたのだが、線の間隔や直線性を保ったまま加工を行うことは困難であった。沈線の観察を行うと、「くの字」形の溝は本体の中心に向かって彫られているのではなく、半球形の開口部方向に向かっていることが解った。これは伏せて置かれたお椀の曲面に斜め上方から角形の刃物を押しつけて刻みを入れた様であった。ヤスリによる手作業でも同じ形状を彫り込む事は可能ではあったが、曲面部での作業のため、溝の稜線を開口部と平行に、直線性を保ったままでの成形は困難であった。そこで沈線の形状をヒントに、稜線の直線性を保ったままで沈線の加工が出来る方法がないかを考えた。

(2) 轆轤成形の可能性

沈線の直線性と本体開口部に対しての間隔の正確さから、本体を回転させて切削加工を行う轆轤成形での製作が可能かを考えることとした。そこで旋盤に鍛造した本体を固定し、轆轤成形による切削加工で沈線を入れる実験を行うことにした。実験には辻金具用試作品を使用した。辻金具の試作品は旋盤への材料の固定が容易に出来る大きさであったからである。折り返した脚部分を本体と同心円形になるように丸く加工を行いこの部分で旋盤のチャックに固定した。切削刃物は本体曲面部分に垂直ではなく若干斜めに接するように旋盤の刃物台に固定した。はじめに斜めに固定された切削刃物を、回転させた本体に対して横方向から当てて沈線を刻んだ。

横方向から刃物を当てた場合、本体に刻む沈線の深さの調整は行い易いが沈線の幅を調整するには不向きであった。深さを合わせるために切削刃物を本体に食い込ませると、刃物が斜めに固定されているために彫り込んだ溝の幅も太くなってしまうためであった。そこで切削刃物を回転する本体の底面中心部に向けて斜め方向から当てて切削を行った。刃物を斜め方向から当てることで沈線の幅の調整を行うことができ、刃物台を材料に近づけることで沈線の深さを調整する事が可能になった。そのため沈線の加工は、幅を計測値に合わせるように本体に浅く彫り込みを入れ、その溝の幅を保持しながら切削刃物の角度を変えて横方向から切削を行うことで溝の深さを調整するという方法で行うこととした。

轆轤成形での沈線切削は同心円上に溝を彫ることができ、沈線の直線性と間隔を均一にすることが容易であった。また本体表面の曲面を仕上げるにも、轆轤で本体を回転させて表面にヤスリがけを行うことで滑らかな曲面を成形する事ができた。沈線の加工も切削工具の代わりにヤスリを当てることでの成形は可能であったが、刻まれた溝は切削工具を用いた場合に比べ稜線のシャープさに欠け、出土品の形状とは異なるように思えた。これらの実験結果から、沈線の加工と曲面部の仕上げに轆轤成形を行った可能性があることが推測できた。

6) 宝珠の製作実験

(1) 宝珠本体の観察と製作

宝珠は雲珠用で直径20mm、高さ27.1mm、沈線は3本で底部の直径は19.2mm、辻金具用で直径15.3mm、高さ17.1mm、沈線は2本で底部の直径は13.8mmであった(写真9)。X線写真の観察から雲珠用では約8mm、辻金具用では約6.5mmの直径を持った脚部分が確認できた。本体裏面にもこの脚の痕跡が確認できることから、宝珠はこの部分で本体に固定されていると考えられた。しかし4体の辻金具のうち、2体については半球形本体の高さと同等の長さを持った宝珠の脚が確認できた。この脚部分は6.7mm×4.8mmの長方形の断面形状であった。これだけ長い脚で本体とかしめを行うことは不可能に思われた。

宝珠本体の製作は鍛造後に轆轤成形による切削加工を行ったのではないかと推測した。沈線の幅、深さ、直線性において精度が高いこと、外形が歪みの少ない円筒形であることがその理由であった。今回の復元製作では出土品の形状に類似させることに重点を置いたため、宝珠の形状を旋盤加工による切削加工のみで製作を行った。

(2) 宝珠の旋盤加工による製作

実験には直径22mmの丸鋼材を使用した。雲珠、辻金具用共に宝珠の形状に違いがないため同じ製作工程で加工した。はじめに脚部分を長めに切削加工し、脚の付け根部分からそれぞれの宝珠の高さと同じ寸法に材料取りを行い切断した。細く削った脚部分を旋盤のチャックに固定し頂部の曲面加工を行った。

沈線は、旋盤用の幅4mmの突切りバイトを加工したもので切削を行った。さらに切削した沈線に、0.15mmから0.2mmまでの厚みを変えた数種類の銅板を被せ、その形状を出土品の拡大写真と比較しながら製作を行った。

4 金銅板被せの工程と本体鍛造の関係

出土品の雲珠、辻金具は鍛造で製作した鉄地の本体、宝珠、鋳の全てに金銅板被せを行っていた。（金銅板被せの技法的考察については依田の項で詳しく述べる）金銅板被せは仕上げの工程であり、本体、宝珠、鋳とも鉄地部分の成形は完全に終了した状態でなければ行えない。金銅板を被せることで鉄地部分の表面は見えなくなってしまうが、金銅板の厚みが0.2mm前後と非常に薄いため、鉄地の表面の凹凸が金銅板の表面に現れるのではないかと推測できた。そのため鉄地の表面の状態がどの程度金銅板に影響を与えるかを実験することにした。

1) 本体表面の仕上げについて

出土品の観察では、雲珠、辻金具、帯飾金具などの金銅板の表面には鉄地の錆による凹凸以外、金銅板の表面には目立った歪みや凹凸は観察できなかった。雲珠、辻金具とも製作された当時の金銅板の状態は、ほとんど鏡面に近い状態ではなかったかと考えられた。金銅板の表面の鏡面状態に保つには、鉄地部分の仕上げをどの程度まで行うべきなのか、鍛造実験を行った雲珠の本体部分を使用して実験を行った。実験では金銅板の代わりに0.2mmの銅板を用いた。銅板を約30mm四方の大きさに切り、鉄地本体に当てた状態でメノウベラでヘラがけを行い銅板の表面にどのような影響が出るかを調べることにした。鉄地部分は鍛造を行ったままの状態では、金槌による打痕、加熱時の鉄表面の酸化膜によって凹凸が激しい状態であった。そこで打痕と、酸化膜除去のため、金工やすりを用いて手作業で本体表面を仕上げていった。この状態で銅板を当ててみたが、大きな面の歪みと共にやすりによる擦痕が表面に現れてしまった。鉄地部分を細目のやすりで本体曲面の凹凸を取りながら荒削りしたやすり目を消していった。この段階での実験では銅板表面は鏡面に磨き上げられるものの、面の大きな歪みが目立つようになった。手やすりで表面を仕上げた場合は小さな凹凸をなくしたつもりでも、そのやすり目が大きな面の歪みとなって残り易いためであった。そこで旋盤で本体を回転させながらやすりで曲面の大きな歪みをなくすこととした。本体を回転させながら表面の仕上げを行うことで、銅板を被せヘラがけを行っても銅板の表面に歪みが出ることはなくなった。

2) 沈線部分について

(1) 本体部分の沈線の実験

鉄地部分を製作する際に最も注意したのは沈線部分の加工であった。出土品の観察からは金銅板によって表面を覆われた状態の形状であり、鉄地部分がどのような形状であるかを知ることとは不可能であった。沈線部分は、計測時に出土品からマットフィルムを用いて製作したテンプレートを元に鉄地部分の製作を行わなければならなかった。しかしこのテンプレートは金銅板が被った状態の沈線を転写しているために、鉄地部分に刻まれた沈線の形状とは異なっていると思われた。沈線部分の成形は、鉄地に彫り込んだ沈線に金銅板を被せ、その形状を何度も出土品と比較する必要があった。今回の復元製作では、金銅板の代わりに薄く圧延された銅板

を用いて実験を行い、鉄地部分の形状の考察をおこなった。実験では金銅板の厚みを0.2mmと仮定し、同じ厚みの銅板を彫り込んだ沈線部分に被せて形状を考えることとした。出土品から沈線の形状をトレースしたマットフィルムのテンプレートから金銅板の厚みを差し引いた形状のテンプレートを製作し、それを基準として製作を行った。はじめに出土品から直接形状のトレースを行ったテンプレートに合わせて切削加工を行った。この状態では2本の沈線によって出来た稜線は、銅板が被る事で丸く滑らかになり明確な面の移り変わりがなくなってしまった。出土品の沈線部分は2本の沈線の面の移り変わる稜線と、沈線の「くの字」形に刻まれた2面の切り返しが明確であった。金銅板を被せることによって生じる面の曖昧さは想像以上であった。沈線の溝に金銅板をしっかりと沿わせるように、角のある金属製のヘラを使用した場合でも結果は思ったほど明確な稜線にはならなかった。沈線の深さも銅板の厚みを加えた以上に浅くなってしまった。鉄地への沈線加工は想像している以上に鋭利に成形しなければならないことがわかった（写真10）。再度本体鉄地部分を旋盤に固定し、沈線の面の移り変わりを鋭角になるように加工を行った。沈線の深さも約0.3mm深くなるように切削加工した。沈線に銅板を被せ、出土品の拡大写真と比較してみると、銅板の表面の形状は出土品に似ているように思われた。実験品は、何度も旋盤加工を行ったため、沈線の幅は大きくなってしまい出土品の形状とは異なったが、面の切り返しの状態は十分に仮定することが出来た。

(2) 宝珠の沈線部分について

宝珠の沈線部分も本体と同様に銅板を使用して、鉄地の形状の考察を行った。宝珠の沈線は本体とは違い、断面が台形の溝形をしていた。旋盤による切削加工のため厚さ4mmの突切りバイトと呼ばれる旋盤用の切削工具を用いて実験を行った。この工具の刃先を宝珠の沈線の断面形状に沿った形に研削し溝彫り加工を行った。刃先の形状は計測時に出土品からトレースしたマットフィルムのテンプレートを元に、金銅板の厚みを0.15mmと仮定し、テンプレートの形状よりもやや大きく製作した。本体での実験を終えた後に宝珠の実験を行ったため、刃先の角は鋭い状態にしておいた。この実験からも本体の鉄地部分と同様、沈線の面の移り変わりは明確にした方が、出土品の形状に近いと感じた。

5 復元品の製作

1) 実験品と出土品の比較

実験で製作した雲珠、辻金具、鉾、宝珠に金銅板の代わりに同じ厚みの銅板を被せたものを出土品と比較し、相違点を修正しながら復元品の製作を行った。出土品との比較は元興寺文化財研究所にて行った。

鉾の計測値は金銅板を含めた大きさであり、実験で製作したものは若干出土品よりも大きめであった。出土品の鉾は側面の立ち上がりが緩やかな傾斜を持っており実験品とは明らかに異なっていた。脚部分については、雲珠の実験品ではやや厚く、個々の形状と本体に対しての角度も異なっていた。宝珠も銅板を被せた状態の実験品を出土品と比較した。沈線の形状は、実験品よりも出土品の方が稜線部分がくっきりと現れており、沈線底部にも面がはっきりと確認

できた。実験品では鉄地での面の移り変わりが滑らかすぎて、金銅板を被せた際の形状に違いが出るように思われた。

実験品は、本体の曲面部分に頂点部分から側面部にかけて緩やかな稜線があり、出土品の形状とは異なっていた（写真11, 12）。沈線の形状については雲珠の実験品で行ったヤスリ加工のものよりも辻金具の実験品での旋盤による轆轤成形を行った沈線の方が出土品の形状に類似していた。

2) 本体の鍛造製作

本体は絞り加工による鍛造技法で製作を行った。材料は3.2mmの鋼板を使用した。この材料を金槌で打ち延べて厚みを3mm前後に加工し、雲珠用は直径190mm、辻金具用は直径100mmの円盤に切断した材料を使用した。コークス炉、アセチレンバーナーを用いて材料を加熱し熱間鍛造を行った。当金は雲珠用に2種類、辻金具用に1種類を準備し、脚部は実験で使用した沿わせ型を使用した。

(1) 絞り加工

当金での絞り加工を行うため、円盤に切り出した材料を木臼で皿状に成形した（写真13）。材料の中心からコンパスで同心円を描き、その線に沿って外周に向けて金槌で打ち延べていった。半球形の本体の製作には、当金を用いた絞り加工を行った（写真14）。当金の鏡の上に加熱した材料を置き、中心部分から外縁部に向けて同心円上を金槌で叩きながら徐々に半球形に絞っていった（写真15, 16, 17）。材料に描いた同心円のケガキをガイドにしながら材料を均等に延ばすように叩いていった。鍛造実験の試作品から断面形状をマットフィルムにトレースし、出土品との比較で判明した形状の相違点を修正したテンプレートを1mm厚のアルミ板で製作した。このテンプレートを材料に当てながら本体の断面形の修正を行った。テンプレートを当ててみて、凹んでいる部分は裏面から金槌で叩き出しを行った。逆に膨らみすぎている部分は、開口部を伏せた状態で金床の上に置き、膨らんだ部分を平らな金槌で叩いて調整を行った。

(2) 脚部分の鍛造

本体の高さを確保できるまで半球形に絞り上げた後、脚部分を平らな金床の角を使用して鍛造を行った。半球形を裏返しにした状態で、金床の角に当て、半球形の開口部の縁を麦藁帽子の鍔状に裏面から叩いて折り曲げた。本体の頭頂部側から脚付け根部分に向かって、金槌のカラミ側を用いて曲面部分を絞り込んでいった。さらに開口部外縁からも同様に、脚付け根部分に向かって逆に絞り上げていった（写真18）。こうすることで、脚付け根部分へ材料を寄せる事ができ、材料の厚みを増すことが出来た。脚上部が本体曲面となだらかにつながった状態まで脚部分を鍛造した後、脚下面が開口部に対して水平になるように鍛造を行った（写真19）。沿わせ型を使用して脚付け根部分の曲面と、脚の平面の成形を行った。このときに開口部の直径を計測値に合わせるように調整を行った。ここまでの工程を何度も繰り返し行い、本体の曲面部の断面形状と直径を計測値に合わせる作業を行った。

(3) 本体表面の曲面部分の仕上げ

本体の鍛造後、表面に残された金槌の打痕を平ヤスリで荒削りした。旋盤のチャックに固定するため、麦藁帽子型に鍛造された本体の脚部分外縁を、本体と同心円になるようにヤスリで成形を行った。盛り上がった半球面が手前になるように脚部分外縁部を用いて旋盤のチャックに固定し、平ヤスリで曲面部分の成形を行った。表面の打痕、酸化膜を完全に削り取り、曲面部分の歪みを細目ヤスリで取り除いた後、600番の紙ヤスリを用いて、表面の仕上げを行った(写真20)。

(4) 沈線の轆轤加工による成形

表面の仕上げを行った本体に、旋盤での沈線の切削加工を行った。沈線の稜線の高さを脚上面から計測し、ハイトゲージを用いてケガキを行い旋盤で切削加工を行った。実験で使用した角形の旋盤バイトよりも、三角形のものを使用の方が沈線の調整が容易に行えると判断した(写真21)。旋盤加工は回転させた本体斜め方向からバイトを当てて、沈線の幅、深さを調整しながら切削加工を行った。沈線部分を出土品と比較した結果、実験品の形状よりもオリジナルは稜線部分の面がはっきりと切り替わっていた。そのため復元品は実験での沈線の彫り込みよりも稜線などの角をより鋭い形状に切削加工した(写真22)。出土品計測時に製作したマットフィルムのテンプレートは沈線の位置決めと荒削りに使用し、仕上がり形状は実験で製作した試作品の沈線を見本とした。彫り込んだ沈線に実験と同様に薄い銅板を被せ、銅板の表面形状を出土品の拡大写真と比較しながら慎重に切削作業を行った(写真23)。

3) 脚部分の製作

脚の形状と本体に対しての取り付け位置の設定は、X線写真と出土品の平面写真をもとに原寸図面を製作し、計測値と照合して確認を行った。この原寸図を複写して折り返し鍛造された脚上面部に張り付けて脚部分のケガキを行った(写真24)。鉋孔の位置も同じ原寸図を用いてケガキを行った。ケガキに添ってバンドソーと糸鋸を用いて脚部の切り出しを行った(写真25)。脚間の不要部分を切り抜いた後、ヤスリで半球形の開口部縁、脚側面の仕上げを行った。鉋孔は直径3.7mmの金工ドリルを使用して孔開けを行った。

4) 宝珠の製作

宝珠は直径22mmの丸棒を用いて製作を行った。雲珠用は直径20mm、辻金具用は直径15.3mmの太さまで外周の切削を行った。外周径までの切削は宝珠本体と脚部分を含めた長さまで行った。そこからさらに脚部分を細く削りだした。雲珠用の脚は8.2mm、長さ20mm、辻金具用は直径6.5mm、長さ20mmとした。脚部分を切削加工した後、本体部分を加えた長さで材料を切断した。切断した材料の脚部分を旋盤のチャックに固定し、先端に曲面を持つ円筒形になるように頂部の曲面部分を切削加工した。曲面部分は旋盤のバイトで荒削りを行い、平ヤスリで形状を整えた。表面は400番の紙ヤスリでヤスリ目を研ぎ落として仕上げを行った。沈線の位置と幅は計測値に合わせてケガキを行った。沈線部分の形状は出土品からトレースしたテンプレートをもとに、実

験用の試作品を見本にしながら切削加工を行った。沈線の切削には、実験で製作した変形突切りバイトを使用して行った。彫り込んだ沈線は実験と同じように薄い銅板を宝珠本体に被せ、出土品の拡大写真と比較しながら形状の確認を行った（写真26）。復元品は、実験での試作品よりも沈線部分の稜線を鋭く、面の変化をはっきりとさせるように加工した。宝珠の取り付け用の孔は、製作した宝珠の脚部分の直径よりも0.1mm大きな孔を金工ドリルで本体に開けた。

5) 宝珠の金銅板被せ

金銅板被せの工程は雲珠、辻金具の宝珠については仕上げの段階のみを行った。宝珠への金銅板被せは、本体部分が高さを持つ円筒形であるために金銅板をあらかじめ円筒形に加工しておく必要があった。丸い金銅板を円筒形になるまで当金と金槌で絞り加工を行ったため、金銅板の表面には無数の打痕が残っていた。この金銅板を宝珠に被せ、ヘラがけをして沈線に沿わせたのだが、手作業によるヘラがけでは金銅板の表面に打痕が残ってしまった。金銅板の表面はヘラがけにより鏡面仕上げとなるため、わずかな面の歪みでもその見え方には大きく影響が出てしまった。この打痕を消し、金銅板の表面を滑らかにするために旋盤を用いてヘラがけを行うこととした。金銅板を被せた実験品の宝珠を旋盤のチャックに固定し、金属ヘラを用いてヘラがけを行った。宝珠を回転させながら金銅板のヘラがけを行った結果、ヘラによる擦痕は宝珠の軸を中心に同心円状に金銅板の上に残った。打痕についてはほとんど確認できない状態にまで仕上げる事が出来た（写真27）。復元品の製作では金銅板の表面に潤滑油を薄く塗布してヘラがけを行うこととした。潤滑油を塗布するのは金属ヘラと金銅板の摩擦を軽減し、金銅板表面にヘラによる擦痕をなるべく付かない様にするためであった。宝珠を回転させ、ヘラ絞り⁽³⁾の要領で旋盤の刃物台を支点に「てこ」の原理で金属ヘラを宝珠に押しつけてヘラがけを行った。ヘラを宝珠頭頂部から脚基部方向に向かって金銅板を絞る様に動かしながら表面を滑らかに仕上げていった（写真28）。沈線部分は、稜線で面がはっきりと切り替わるように注意しながら金銅板を鉄地に沿わせていった。「てこ」の原理を用いてのヘラがけは、手作業によるヘラがけの何倍もの強さで、金銅板にヘラを押しつける結果となった。しかしヘラの力の配分を間違えば、鍍金を削り取ってしまう可能性もあった。後日出土品の拡大写真を観察すると、出土品の宝珠に残った金銅板にも復元品と同じような同心円状の擦痕らしきものも確認できた。復元製作の結果と比較してみると、轆轤を用いたヘラがけの可能性も考えられるのではないかと感じた。

6) 雲珠の組み立て

鉄地部分を復元品として展示に耐えうる状態にするため、表面の仕上げを行った後全ての鉄地部品に防錆処理として漆による焼き付けを行った（写真29, 30, 31）。その後金銅板被せを行った。本体と宝珠の組み立ては金銅板被せを行った後に行わなければならなかった。

復元製作では宝珠の脚を叩いてつぶすことでかしめを行い本体と組み合わせることにした。出土品の観察から、本体裏面の中央部分に宝珠の脚部分の痕跡と思われる鉄地の盛り上がりを確認

認することが出来た。しかし厚い錆に覆われており、こまかな形状は観察できなかった。そのため脚の長さやかしめの方法は、すべて推測できる製作工程で行うこととした。宝珠の脚部分は9mmの長さに切断し、大きめの金槌を用いてかしめを行った。本体に被せた金銅板は宝珠取り付け用の孔部分にも被っているため、金銅板を金工ドリルで突き破り宝珠の脚が嵌るように孔の縁を整えた(写真32, 33)。かしめは金槌で打つ人と、本体を支える人の2人で行った。宝珠を差し込んだ雲珠本体を、金銅板に傷を付けないように鹿革を敷いた鉛台の上に伏せて支えてもらい、宝珠の脚部分を金槌で叩いていった(写真34, 35)。しかし直径が8mmほどもある脚部分を本体に沿うように完全に叩きつぶす事は困難であった。本体からの突き出した脚の長さが長すぎたと感じたが、金槌で叩いてしまったため本体から宝珠を取り外すことができなかった。宝珠脚部分を加熱出来れば、かしめは容易に行うことが出来る。しかしすでに金銅板を被せてあるために加熱することは不可能であった。金銅板にキズを付けないために、金床の上ではなく鉛台の上でかしめを行っている事にも原因があった。鉛台が金槌の力を吸収してしまい、脚部の変形が不十分になるためであった。そこで本体の孔から飛び出した脚部分の周縁部のみを叩き延ばしてかしめられないかと考えた。叩く力を集中させるため鑿と金槌を併用することにした。この方法で加工することで宝珠の脚に返り部分を増やすことができ、返りを押し倒すことで宝珠をある程度まで本体に固定する事ができた。それでも宝珠のガタつきは押さえることは出来なかった。展示方法の理由から今回の復元では破損の可能性のある部分を出来る限り無くす努力が必要であった。そのため雲珠の宝珠部分はエポキシ系の接着剤によってかしめ部分の補強接着を行った。

7) 辻金具の組み立て

(1) 長めの脚を持つ宝珠について

辻金具は4個のうち、2個は雲珠の宝珠と同じ状態でかしめを行うことができた(写真36, 37)。2体については宝珠の脚部分が本体底部に届くほど長い状態が残っているため、宝珠の脚を短く切ってかしめを行うことは出来なかった。出土品の観察では、長い状態が残された脚部分は断面形状が長方形であることは確認できるが、脚を長い状態にする理由も、かしめの方法も解明する事はできなかった。復元製作では本体に固定できる方法のみを考えることとした。脚部分に円筒形の部分を作り出し、この部分だけで本体にかしめることができないかと考えた。宝珠の丸い脚を、付け根部分から辻金具本体の厚み2.1mm+かしめ部分1.5mmの長さで円筒形に残し、他の部分を断面が長方形になるようにヤスリで加工した(写真38)。本体頂部の孔に加工した宝珠を差し込み、金銅板をキズ付けない様に鹿皮を敷いた鉛台の上に伏せて固定した。均し鑿を用いて本体裏面に飛び出した円筒形の部分のみをつぶしながらかしめを行った。しかし均し鑿では思うように脚部分をかしめる事は出来なかった。そこで脚部分の円筒形の端面のみを片切り鑿(写真39)で割り込み、かえりを作り出してかしめる方法を行った(写真40)。脚部の片切り鑿が食い込んだ部分は大きな返りとなり本体へ引っかかるまでになった。ここで出来た返りを均し鑿で押し倒すことで、宝珠を本体にしっかりと固定することが出来た。

6 疑問点

雲珠、辻金具の復元製作では、宝珠の固定方法についての疑問が残った。出土品の観察では宝珠の残る辻金具のうち、2体については宝珠の脚部分が本体の底面開口部に達するほど長く、そのうちの1体は長く残された足部分の先端が6mmほど折れ曲がっているように観察出来た。4体のうち2体のみが脚部分を長くしている理由ははっきりしなかった。辻金具の宝珠については復元で行った固定方法の他にも何か固定方法があるのではないかと思われた。機会があれば、詳しく調べてみたい部分であった。

註

- (1) バイトと呼ばれる切削工具を回転する材料に近づけることで、回転体を切削加工する工作機械。
- (2) 著書 風返稲荷山古墳（霞ヶ浦町教育委員会・日本大学考古学会）『風返稲荷山古墳出土の雲珠、辻金具の製作方法に付いての考察』参照
- (3) 型を用いて回転体の絞り加工を行う工作機械。型に押し当てた円形の金属板を回転させた状態で、ヘラを用いて型に沿わせて加工を行う。



写真1 雲珠の脚と鋳



写真2 吊金具の痕跡



写真3 吊金具付の辻金具

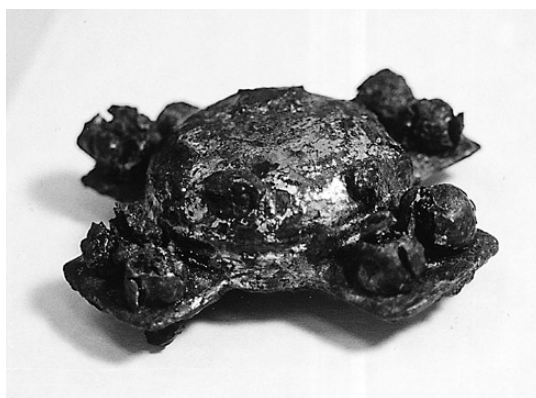


写真4 宝珠が欠損した辻金具頂部



写真5 辻金具の裏面の状態



写真6 復元製作に使用した当金



写真7 脚部分の鍛造用沿わせ型



写真8 沈線の形状

〔8〕 筑内37号横穴墓出土雲珠・辻金具の鍛造技術について



写真9 雲珠の宝珠部分



写真10 沈線の形状

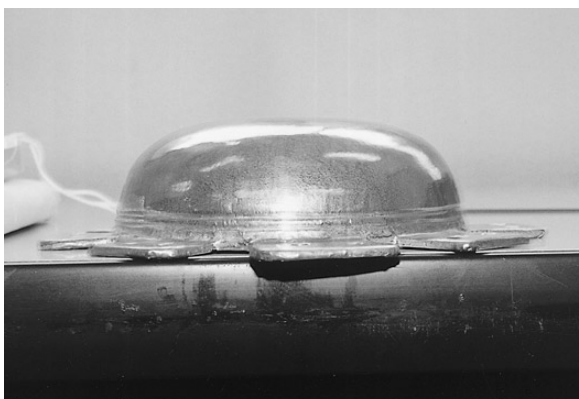


写真11・12 実験品と出土品の形状比較



写真13 木臼での加工



写真14 素材の鋼板と当金



写真15 中央部分から絞り始める



写真16 同心円上を叩いていく

第2部 復元研究の経過



写真17 本体半球形部分の絞り加工



写真18 脚部から本体に向かって絞り上げる



写真19 脚部分を平らに整形する

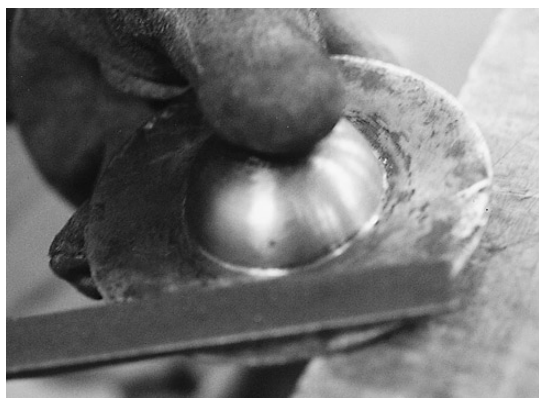


写真20 ヤスリによる打痕の処理



写真21 旋盤による沈線の加工



写真22 沈線のようにす



写真23 銅板を被せた状態で形状の確認を行う



写真24 脚の形状をトレースする

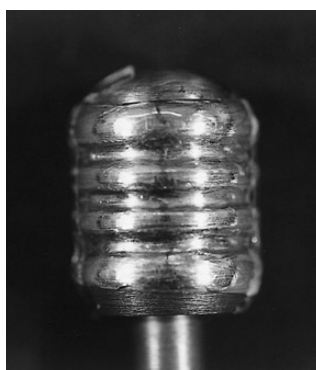


写真26 実験品の形状



写真27 ヘラがけの実験

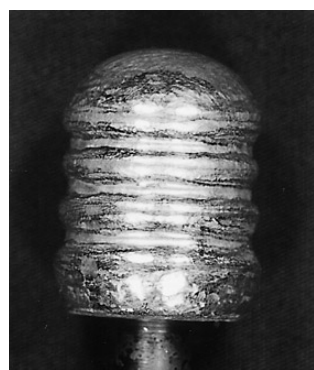


写真28 打痕が残った状態の復元品



写真25 切り出しを終えた状態

写真29
雲珠の復元品

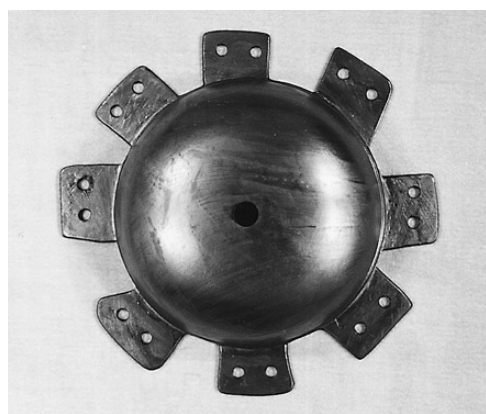


写真30
復元品(裏面)

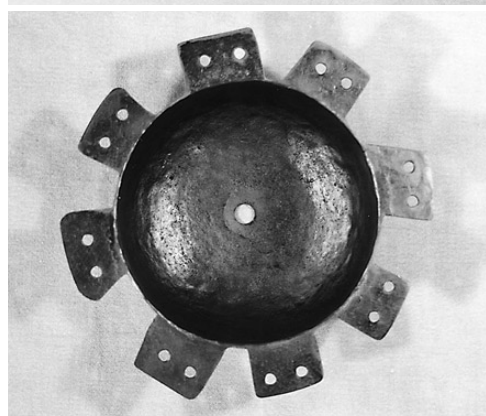


写真31 漆による焼き付けを終えた状態



写真32 金銅板被せを行った状態



写真33 金銅板を突き破って宝珠を取り付けた状態



写真34 鉛台の上に固定する



写真35 金槌で叩いてかしめを行う



写真36 宝珠の取り付け

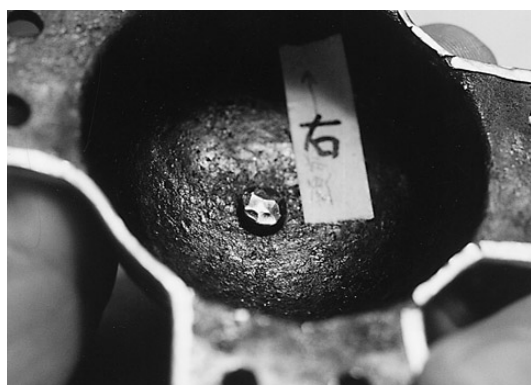


写真37 脚の短い宝珠の装着

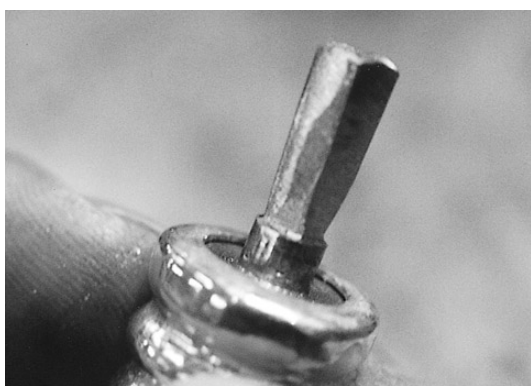


写真38 脚部分の切削加工

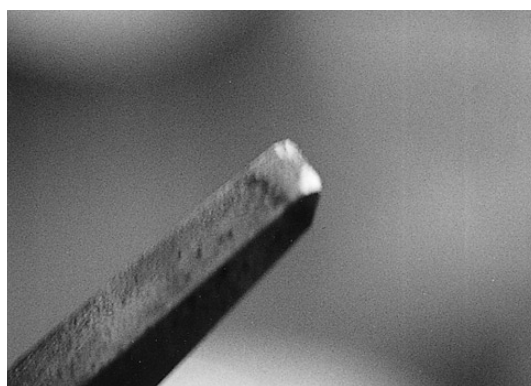


写真39 片切り鑿の刃先

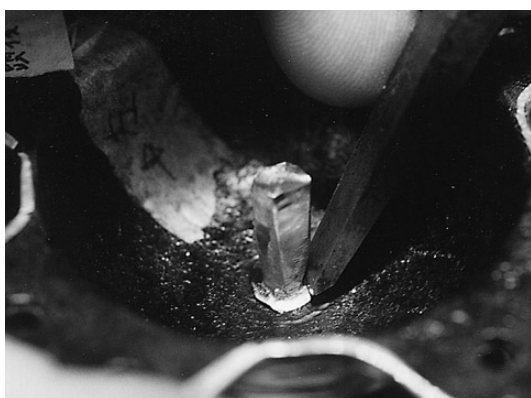


写真40 鑿による割り込みを行った状態

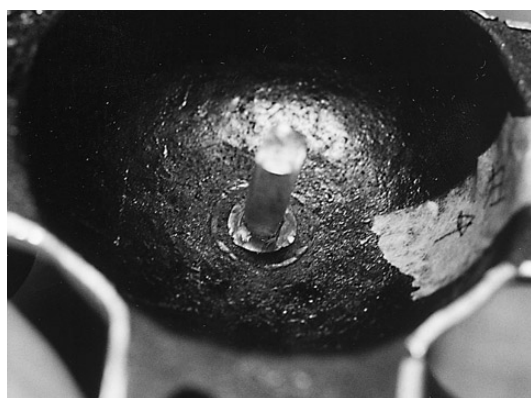


写真41 返り部分を均し鑿で叩いてかしめを行う

〔9〕 笹内37号横穴墓出土杏葉と鏡板について（鋳の製作と組立）

山 田 琢

はじめに

杏葉、鏡板については、鋳の製作と、轡への鏡板の取り付けを担当した。出土品の観察では、他の飾り金具と同じ鉄地金銅被せの鋳を使用していると思われた。他の飾り金具に用いられていたものよりも寸法的には小さめの鋳であるが、杏葉、鏡板とも同じ鋳を使用していた。鋳頭部の外見上のフォルムは雲珠、辻金具を含めた他の飾り金具と類似していた。今回の復元では出土品に使用されている鋳すべてにおいて、製作時間の関係上、旋盤による切削加工での製作を行った。出土品と同じ材質で同じ形状を製作することに焦点を絞り、製作技術的な考察を行わなかった。

轡への鏡板の取り付け方法については、轡の製作方法と共に詳しく調べことにした。杏葉、鏡板の鋳については、装飾金具に用いられる全ての鋳と共に、次項において詳しく述べる事とする。

1 出土品の観察と計測

1) 各金具の鋳の相違点について

雲珠、辻金具を含めた装飾金具について、各金具ごとに寸法の異なった数種類の鋳が確認できた。そのどれもが鉄地金銅被せによるものであり、鋳頭の金銅板は、鋳頭裏面に折り返されていることがX線写真から確認できた。鋳足部分には座金を使用してかしめを行ったと考えられる痕跡が確認できた（写真1）。出土品の計測値から各鋳の大きさは次の通りである。

	雲 珠	辻 金 具	飾帯金具	鏡板・杏葉	締金具1	締金具2
鋳 の 直 径	9.7	9.5	9.1	8.18	9.1	7.3
鋳 の 高 さ	7.3	7.1	6.5	6.1	6.5	3.5
座金の大きさ	7.7×7.3	7.7×7.3	7×6.2	7×6?	6.8×6.5	6.8×6.2
鋳足の直径	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4

鋳頭部の断面形状は、底部から頂部にかけて立ち上がりの強いほぼ台形に近いものであった。各金具用の鋳頭の形状を比較すると締金具用の一種類を除けば、直径と高さが異なる他は見た目の印象としては同じ形状だと観察できた。締金具に関しては2種類があるが、一方の締金具は本体の形状と鋳の形状（高さや形状）が明らかにもう一方と異なっていた。他の飾り金具の鋳が立ち上がりの強い台形の鋳頭をしているのに対して、この締金具の鋳は平らなお皿型をしていた。締金具の破損などの理由によって別の馬装から取り替えた可能性も考えられた。復元製作にあたって、各鋳の鋳頭部分の断面形状を、マットフィルムを使用したテンプレートを製作し、それを元に旋盤加工を行うことにした。

2) 復元製作について

今回の復元製作では、時間的な問題から当時の製作方法についての考察を、鉾の固定方法（鉾留め）についてのみ行うこととした。鉄地部分の製作方法については、熱間鍛造による成形を行ったのではないかと考えられた。鉾頭形状のテンプレート製作は、出土品の鉾から腐食による変形が少なく、金銅板が比較的残っているものを選んでトレースを行った。鉄地部分はこのテンプレートの形状から金銅板の厚さを差し引いた寸法で旋盤加工を行わなければならなかった。このため鉄地の製作には、鉾頭の被せに用いられた金銅板の厚みを仮定しなければならなかった。そこでこのテンプレートと同じ寸法で鉄地鉾を仮に製作し金銅板の被せ実験を行うことにした。この実験品を出土品と比較することから、寸法や形状の相違点を探し、改めて鉄地鉾を製作する事とした。

2 各金具についての鉾留め方法について

1) 鉾留め方法についての考察

出土品の鉾足には座金らしき痕跡は確認できるが、鉾足のほとんどが腐食し錆に覆われているため、はっきりとした鉾足部の形状や打痕は観察できなかった。しかし座金部分より突出した鉾足部分には折り曲げた様な痕跡は確認できなかった。座金を用いていることから金鎚、鑿などの工具で鉾足を打ちつぶして鉾留めを行ったのではないかと推測できた。鉾足の寸法はX線写真から3.5ミリほどの円形の断面を持った棒状であることがわかった。3.5ミリ前後と細いものではあるが、鉾は鉄材で出来ているためそれを叩いてかしめを行うにはかなり力強く叩く必要があったのではないかと考えられた。

2) 復元品の寸法値について

マットフィルムを用いて鉾頭の断面形状を写しとったテンプレートは、出土品の鉾から金銅板を被せた状態で、断面形状をトレースしたものである。鉾の復元製作を行うためには、鉾頭に被せられた金銅板の厚みを差し引いた寸法で鉄地部分を製作しなければならなかった。金銅板の厚みを仮定するには、まず被せの実験を行う必要があった。このためにマットフィルムによるテンプレートと出土品の計測値から、各鉾とも金銅板を被せた状態の断面形状を持つ鉾を試作して金銅板被せの実験を行う事にした。金銅板被せの実験には薄く圧延した銅板を使用した。

金銅板被せの実験を行った鉾を計測し直し、その計測値と出土品の計測値の差から被せられた金銅板の厚みと鉾頭底部に折り返された部分の厚みを仮定した。この計測値を出土品の鉾頭部の計測値から差し引き、復元品の製作に必要な寸法を割り出した。この寸法値をもとにして新たに鉄地鉾を製作し、再度金銅板被せの実験を行った。

この試作品を、出土品の鉾と比較し、形状等の相違点がないかを観察することとした。出土品との比較は元興寺文化財研究所において行った。各鉾の比較の結果、実験品の鉾頭は出土品の鉾よりも直径、高さ共にやや大きく、鉾頭部分の曲面の形状も異なっていることがわかった。

（写真2・3・4）。そのため再度出土品の各鋳の計測を行い、修正値をもとに再度製作を行った。オリジナルとの相違点を修正した鋳に金銅板を被せた後、再度各部の計測を行った。この工程を繰り返しながら鋳頭部分の曲面形状の微調整を行い、復元製作用の原型を製作した。

3）鋳留め実験

鋳足に座金を用いてかしめを行うには、鋳足の長さや、叩く工具などを考えなければならなかった。鋳留め実験には各鋳の復元用の原型となる鋳の製作段階で不要となった鋳を用いた。この鋳に厚さ0.15ミリの銅板を金銅板の代わりに被せ、鋳のかしめ実験を行った。鋳足を叩くためには、鋳頭部分を金床などの堅いものに当てなければならない。木材などの軟らかい材質のものでは、鋳頭部分のキズは防止出来るが鋳足を叩く力が分散してしまい、鋳足を変形させることは困難ではないかと考えた。そこで鉛台を用いてかしめを行うことにした。鋳足が長すぎれば、叩いたときに鋳頭部分から鋳足が曲がってしまう可能性があった。逆に短すぎた場合、鋳足から座金が外れる事も考えられた。出土品を観察すると、座金の中央部分は山型に2ミリほど突出している鋳足が多く確認できた。このことから座金から飛び出させる鋳足の長さを、鋳足の直径とほぼ同じ長さになるように設定し、かしめの実験を行うこととした。その結果、出土品の鋳足の痕跡よりもやや短い状態ではあったが、しっかりとかしめを行うことができた（写真5）。

3 今回の復元品製作方法について

1）材料と製作工程について

鋳の復元製作は、各鋳とも直径10ミリの鋼材丸棒から旋盤による切削加工で製作を行った。製作工程は形状に極端な差が見られないため各鋳とも共通とした。金銅板被せの実験を行った鋳頭の形状を出土品の形状と比較し、相違点の修正を行った鋳を各鋳の原型とした。鋳の量産はこの原型の鋳からテンプレートを製作し切削加工を行うこととした。

2）復元製作

復元製作には、直径10ミリの鋼材丸棒を用いて行った（写真6）。各鋳ともに製作工程は共通である。はじめに材料を、鋳足、鋳頭を含めた長さまで鋳頭と同じ直径で切削を行った。そこから鋳足部分を長さ20ミリほどになるように各鋳の計測値まで細く切削加工を行った（写真7）。その後、鋳頭の直径寸法に削った部分を、鋳頭の高さだけ残して切断した（写真8）。切断された材料の鋳足にあたる部分を旋盤のチャックに固定し、旋盤バイト、金工ヤスリを使用して鋳頭部の曲面切削を行った（写真9）。鋳頭部分は、原型の鋳から鋳頭曲面部の断面形状をトレースしたテンプレートをブリキ板で製作し（写真10）、これを材料に当てながら鋳頭部をヤスリとペーパーサンダーで研削加工していった。切削工具の刃先は鋳頭の曲面形状を製作するために曲線に加工して使用した（写真11）。旋盤バイトを曲線加工することで、同じ曲面形状を大量に切削をする事が容易にできた。旋盤での荒削りを終えた後、各鋳の原型を元に、金工ヤスリと

ペーパーサンダーで形を整えた（写真12）。各鉤ともに実際に使用する本数よりも多く製作した。金銅板被せの工程の前に、全ての鉤の各部の寸法と鉤頭の形状を検査して、誤差の大きいものは不良品として取り除いた。

帯先金具のうち頂革部に用いた金具の鉤はかしめによる鉤留めではなく、展示用に加工した鉤を使用して革帯に装着した。樹脂製の馬に馬具を装着する復元品展示のため、頂革部分の革帯を連結するために馬のたてがみ部分に革帯を通す孔をあけなければならなかった。樹脂製の馬体たてがみ部に開ける孔を最小限の大きさにするためと、メンテナンスなどで帯先金具を革帯から取り外す際に、鉤の取り外しを可能にするため座金部分をネジ留めできるように加工した。帯先金具に使用する鉤の鉤足を、直径3.6ミリから直径3ミリまで削り、鉤足先端にダイスを用いて3ミリのネジ切り加工を行った。座金は2ミリ厚の鋼板を7ミリ角の方形に切断したものを使用し、中央にねじ切りタップで3ミリのネジ切り加工を行った。

復元製作した全ての鉤は漆の焼き付けによる防錆処理を施し、金銅板被せを行った（写真13）。

3) 量産を行うために

馬具一式に使用されている鉤については、雲珠用で16本、辻金具用で32本、鏡板、杏葉用で15本、縮金具用、帯先金具用で12本（6本を一式とした2種類の形状）、飾帯金具用は55本という大量の本数を製作しなければならない。この本数を準備するには、製作当時も量産を前提とした加工工程を考えていたのではないかと考えられた。大量生産を考えると、型鍛造による鉤の製作方法が適していると推測できた。今回の復元製作も旋盤加工による切削加工による大量生産を考えたのだが鉤頭部分の曲面は1本ずつ手作業によって仕上げなければならず、量産を考えた製作工程とは言えなかった。旋盤加工による鉤の大量生産を行うために復元製作では出土品の鉤の形状に最も近い原型を各鉤共に製作し、それを見本として旋盤加工を行った。しかし複数本を切削加工していると切削する形状と原型の間に微妙なずれが生じてしまうことがあった。そのため各鉤とも必要な本数よりも数本多く製作し、金銅板を被せる前に、鉤足の太さ、鉤頭の形状を原型とした鉤と比較し、不良品はその時点で排除した。金銅板を被せた後にも鉤頭の形状が不揃いなものは不良品とし、復元馬装の組み立てには使用しなかった。今回の復元製作では鉤頭部分の形状不良の発生率は全体の2割以上となってしまった。これは復元品の製作上、出土品の形状に合わせることが重要であるために起きた問題であった。復元品として実際に使用しなかった鉤についても鉤頭部分の形状が若干異なるだけであり、実際に鉤留めを行うには何も問題のないものであった。

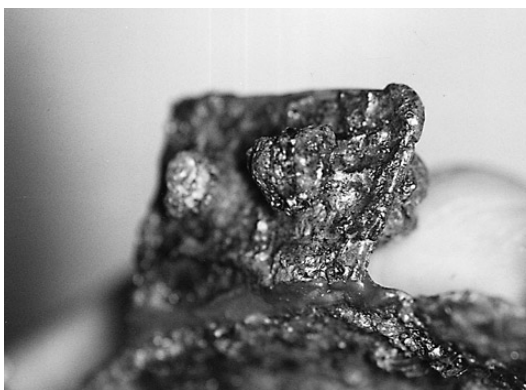


写真1 鋳足のかしめ痕跡



写真2 試作品と実物の比較（杏葉）



写真3 試作品と実物の比較（辻金具）①

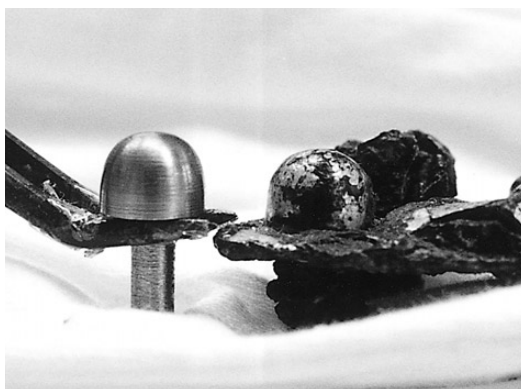


写真4 試作品と実物の比較（辻金具）②



写真5 かしめの実験

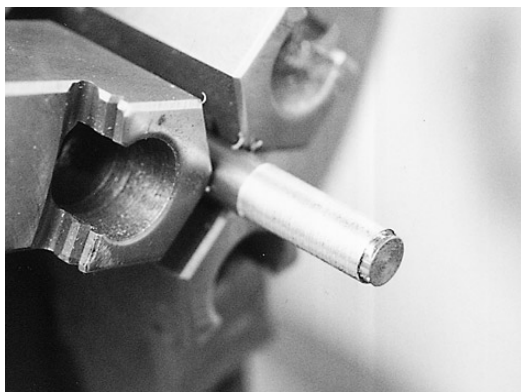


写真6 素材の鋼材丸棒（径10mm）

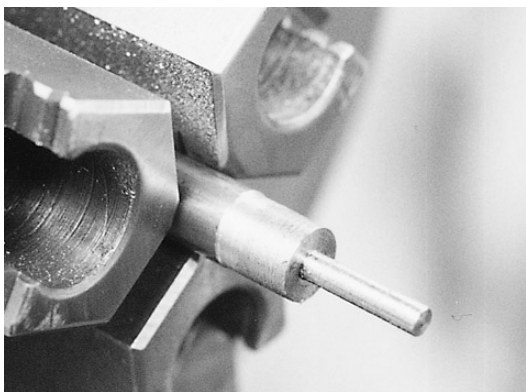


写真7 鋳足部の切削

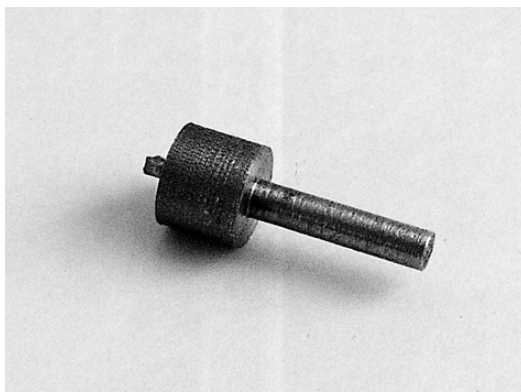


写真8 鋳頭部を切断

第2部 復元研究の経過



写真9 鋇頭部の曲面切削

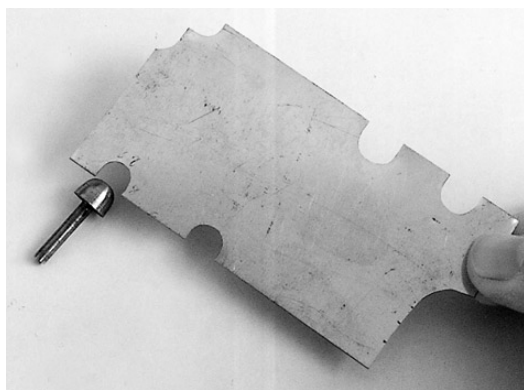


写真10 ブリキ板のテンプレート

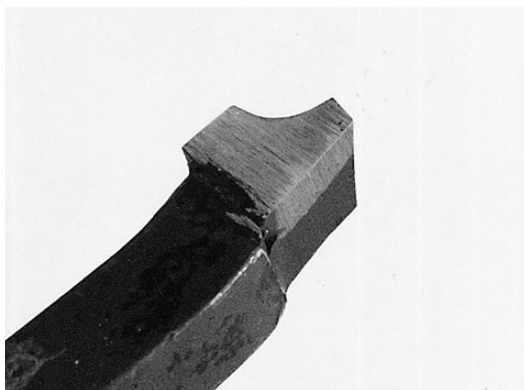


写真11 旋盤用バイトの加工



写真12 鋇頭部を研削して完成

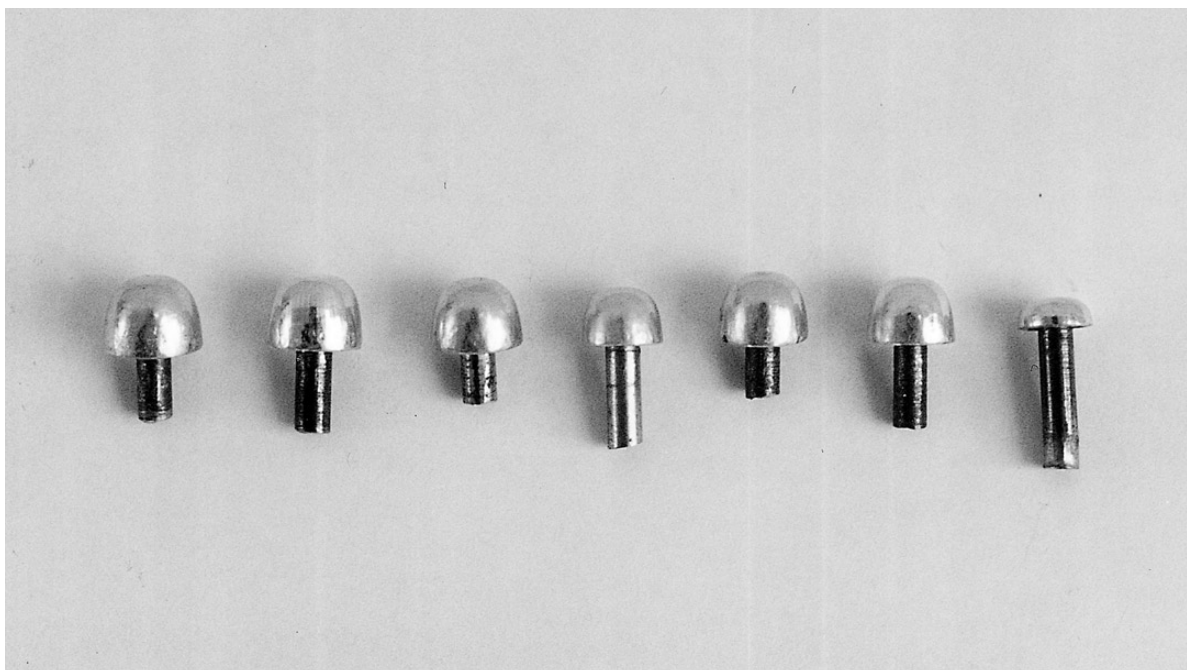


写真13 復元製作を行った鋇。左から雲珠用、辻金具用、飾帯金具用
杏葉・鏡板用、締金具用、帯先金具用、締金具・帯先金具用平鋇

〔10〕 筑内37号横穴墓出土鉄製轡の復元製作

山 田 琢

1 出土品の観察と計測

平成11年4月10日、福島県立博物館にて出土品の観察と計測を行った。計測には1/100mmまで計測可能なデジタルノギス、スケール、ルーペを用いた。しかし銜、引手は腐食が激しく、鏽の剥離も多くみられた（写真1, 2）。復元製作に必要なデータを収集するには様々な角度からの計測が必要ではあったが、出土品は破損し易い状態であったため細部にわたる正確な計測は不可能であった。出土品の観察から銜、引手は鉄製であり、金銅板や、緑青の痕跡は発見できないことから鉄地のままの状態であったと考えられた。銜は両端に輪環が成形された2つの部品が鎖状に接合されており、その先端側に鏡板が装着されていた（写真1）。片側の鏡板は、裏板の銜との接合部分が切り離されており、鏡板のかしめ接合部分を詳しく観察する事ができた（写真3）。切り取られた裏板部分には、その中央部に長方形に盛り上がった部分が観察できた。このことから鏡板の銜への取り付けは、銜の先端輪環部を削って成形し、その部分をかしめを使用しているのではないかと推測できた。引手は鏡板を取り付けられた輪環部に鎖状に連結されていた。引手の長さは引手環を除いた全長が136mmであり輪環部分を除く棒材部分の直径はおよそ9mmであった（写真2）。輪環を含んだ銜の長さは、右側90mm、左側86mmであった。銜は棒状部分、輪環部分とも断面形状は方形に近く感じられた。轡の各部の材料は、軸材よりも輪環部の方がやや細身であり、輪環部分の断面形状は軸部分よりもやや方形になっていた。銜、引手共に棒状の部分は鏽、剥離等で断面形状をはっきりと判別出来ない部分が多かった。X線写真の観察から各部棒材の直径は引手部分で直径9mm前後、銜部分は10mm前後の材料ではないかと推測できた。

2 鉄材の接合方法

1) 接合方法について

銜、引手部分は棒の先端を輪環状に成形したものであった。出土品の観察では、輪環部分に亀裂や他の部品との接合痕、棒材の厚みや太さの極端な差などは全く発見出来なかった。鏽によって破損している輪環部分もあるが、どの部分からも接合の痕跡は発見できなかった。鎖状に連結するためには輪環部を何らかの方法で接合を行い成形する必要があると思われた。接合を行って輪環を成形した場合、その接合方法に、かしめ、折り返し、鑢付けなど様々な方法が考えられた。鑢付けによる接続では、異種金属を用いるため痕跡は残るであろう。折り返しや、かしめなどの方法をとった場合、接続の痕跡を表面上では見えなくする方法も可能だと考えられた。しかし鏽などによる破損がひどい状態であればその痕跡は表面に現れていても良いのではないかと思われた。出土品からは接合の痕跡と思われる箇所は発見できないため、これらの方法で製作された可能性は低いと考えられた。輪環の接合には接合の痕跡が残りにくい鍛接方

法が採られたのではないかと推測できた。

鍛接とは鉄材同士を接合面の酸化を防止した状態で融点近くまで加熱し、圧着接合をすることである。この接合方法であれば、接合痕を無くすこともでき、強度も維持する事が可能である。鍛接を行うには、次の点が重要である。

- ①接合面の面積を出来る限り大きくすること
- ②接合面の酸化を防止すること
- ③加熱後に金槌などで叩いて圧着が出来ること
- ④加熱時に接合する部品の温度を同じに保つこと

鍛接を行うには加熱時の温度管理と、密着面の状態、密着方法が重要である。実験では、密着面の酸化防止剤として硼砂を用いて鍛接を行った。

2) 鍛接を行った箇所の特長

鍛接箇所の考察は、鎖状に連結することを想定した状態で鍛接実験を行い、鍛接方法を仮定することから鍛接箇所を想定することとした。輪環を鍛接で成形するためには、鍛接部を輪環に通す材料が邪魔にならない位置にする事、圧着を行い易い形状にする事が重要であった。轡の復元製作に最も重要と思われる点は鎖状に連結した状態での鍛接部分の圧着ではないかと考えられた。輪環を単体で成形するのであれば材料のどの角度からも叩くことが出来るため問題はないと考えられる。しかし鎖状に連結した状態にするためには、連結する一方の輪環にもう一方の輪環を通した状態で鍛接を行わなければならない。そのため鍛接する部位と圧着方法に制約が出来ることが予想できた。

3 各部品の接合部位についての考察

鍛造によってどのようにすれば輪環を製作できるかを製作実験から考えることとした。実材を用いて想定できる輪環の製作実験を行い、この実験結果から鎖状に連結するために適した方

表1 推測した轡の鍛造方法

材 料	成 形 方 法	接 合	強 度	問 題 点
9 mm前後の棒材を使用	環部分を一体成形	接合なし	良	輪環部に隙間が残る
		棒端部を鍛接	良	鍛接後の整形が必要
	輪環部を別成形する	鍛接で成形された輪環を、別の棒材先端に鍛接する	不可	輪環部と棒の鍛接に不備が多い
平角棒を使用	中央部に切り割りを入れる	なし。 一体成形による輪環成形	良	接合部がないため鎖状の連結が不可能
	端部を切り割り、T字形に成形	T字横棒部分を曲げるのみ	良	出土品の輪環部の亀裂が発見できない。
		T字横棒部分を曲げて環状に鍛接	良	鎖状に連結する場合、鍛接が困難になる

法を選択することとした。想定した製作方法は表1にまとめた。出土品の計測値から各部とも直径9mm以上の部分が見あたらないため、9mm前後の材料の使用を前提として製作方法を考えることとした。鋼材は現在市販されているものを使用した。

1) 丸棒材を材料とした鍛造実験

(1) 接合せずに輪環をつくる

鍛接を行わず、棒材を環状に曲げるだけで輪環を製作することは容易に出来た。実験では9mmの棒材の先端部を、曲げ始めの部位に接する様に輪環型に曲げて製作した。実験で製作したものは、輪環部がやや涙形になってしまった。接合加工を行わない状態ではあるが轡として使用するための輪環の引っ張り強度としては十分であった。しかし輪環部分に隙間が残ってしまい出土品の形状とは異なるため、この方法での製作は考えられなかった。

(2) 棒の先端部を輪環形に曲げて鍛接する

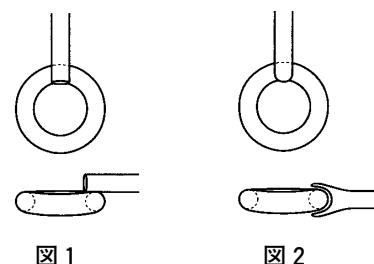
鍛接を行わない方法で輪環製作の実験をした試作品の形状から、どの位置で鍛接を行うべきかを考えた。棒材の先端を曲げて輪環を製作した場合、棒材の端部を軸部分と鍛接する事で閉じられた輪環を製作する事が出来る。そこで輪環状にした先端部を軸部分に重ねて鍛接を行うことから実験を始めた。先端部を軸部に重ねて鍛接するのは、輪環を閉じる事に関しては容易に行うことが出来た。輪環の強度としては十分ではあるが、出来上がった輪環の形状がやや涙形になり出土品のものとは異なっていた。また鍛接を行った部分には棒材の重なり合った部分で深い窪みが出来てしまった。この方法では曲げる棒材の長さを設定しておくことで、輪環の大きさを設定することも可能であった。しかし接合部が目立たない鍛接を行うためには端部の形状をあらかじめ整形し易い状態にしておく必要はなかったことがわかった。

(3) 別作りの輪環を鍛接

棒材の先端に輪環のみを鍛接する実験は、鍛接部の強度が問題点となった。輪環単体の鍛接成形は棒材の先端を斜めに叩きつぶし、リング形に曲げて鍛接を行うことで成形できた。しかし輪環と棒材の接合では、棒の断面を接合面にした鍛接は不可能であった。接合面も小さく、輪環に密着させる際に叩く箇所が無いことが原因であった。このほかに輪環を棒材に鍛接するには、2通りの方法が考えられた。

① 輪環に棒材を重ねて鍛接 (図1)

② 棒材の先端を割り開き、輪環をはさんで鍛接 (図2)



強度の点から考えると、鍛接面積を多く出来る②の方法が良いのではないかと考えたが、実際には棒材の先端部を割り開くことが困難であること、鍛接時に圧着させるために金槌で叩く

部分が少ないことなどから、かろうじて接合しているという状態までにしか成形出来なかった。重ねて鍛接する方法は容易に接合させられるが、輪環に軸材が食い込むような状態となり鍛接後の整形が非常に困難であった。これらの事からこの方法での製作は考えられなかった。

2) 平角棒を材料とした鍛造実験

(1) 打ち抜きによる輪環の製作

打ち抜きは材料の中央部に鑿で孔を開け、その部分を延ばして輪環にする方法である（図3）。この方法は鍛造技法でしか出来ない成形方法である。この方法で鍛造成形を行えば繋目の無い輪環を成形することが出来る。しかし輪環部分を延ばして成形するため、輪環の寸法を整えることは困難であった。また出来上がる輪環にはつなぎ目が存在しないため、この方法だけで鎖状に連結した部分を製作することは不可能であった。連結部分では、鍛接による輪環を組み合わせなければならなかった。

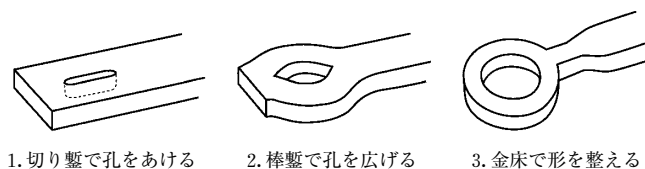


図3 打ち抜きによる輪環の製作工程

(2) 棒材をT字形に鍛造して輪環をつくる

仕上がり寸法よりも太めの材料を用いて輪環を製作する方法として、T字形に鍛造した材料からの輪環の製作方法を実験した（図4）。実験には9mm×16mmの断面を持つ平角棒を使用し、鍛接は輪環の中央部分で行った。棒材の先端部分を約20mmの長さで中心線に沿って切り割り、その部分を左右に開きT字形に鍛造した（写真4）。T字形の横線部分の鍛接面をより多くするために先端部を斜めに薄く打ち延べた。斜めに打ち延べた先端部分が重なるように成形し鍛接を行うことで輪環の製作を行った（写真5）。この方法では鍛接面を圧着するためには輪環部を平らな金床の上で叩かなければならなかった。このため輪環部の断面形状が四角形になってしまった。鍛接を行った後にヤスリによる整形を行えば断面形状を丸く仕上げることは可能である。しかし鎖状に連結を行った場合ヤスリによる成形は困難ではないかと推測できた。実験では輪環部を円錐形の変形金床に当てて整形しなければ輪環を円形に製作する事ができなかった。このため鎖状に連結した後では輪環部の整形が難しいことが解った。また輪環の整形時にも輪環部が延びる可能性があり同じ大きさに輪環を仕上げにくい事が多かった。T字形の横棒部分の

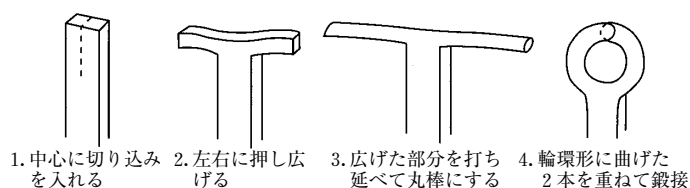


図4 T字型の材料からの輪環の製作工程

長さが輪環の大きさを決めるが、この部分を曲げる際に横棒の伸びを一定に保つ事が難しいため、製作する輪環の大きさを設定する事が困難であった。これらの理由から、銜の製作には不適切な方法ではないかと考えられた。

3) 実験から考えられる材料と鍛造方法

実験結果から輪環を製作するためには、鍛接を行う箇所が輪環上にない方が望ましいことが解った。また輪環の大きさを調整できることが鎖状に連結するために重要だと感じた。この2つの事から、丸棒材を用いて軸部分で鍛接を行う方法が最も適しているのではないかと考えられた。これまでの実験では、鍛接部分の出来上がりの形に問題があるため、鍛接部分の形状を考えなければならなかった。また材料先端部分の形状を変化させることで、出来上がる輪環の形状とその強度は大きく異なると考えられた。そのため直径9mmの棒材を用いて実験を行うこととした。

4) 丸棒材での鍛造実験

(1) 軸部分に重ねて鍛接をする

棒材の先端部を軸部分に重ねて鍛接を行った場合(図5)、鍛接は容易に行うことが可能ではあったが、材料が重なった部分に大きな溝が残ってしまった(写真6)。この溝(窪み)は棒材のまま重ねた場合が最も顕著に現れた。この溝をなくすために重なる部分をL字形に曲げる、重なり合う部分を斜めに薄く打ち延べるなどをして実験を行ったが、完全に無くすことは出来なかった(写真7)。鍛接は溶接と異なり、溶けあって結合するわけではない。そのため材料を重ねることで出来る段差や隙間は材料自体を打ち延べて埋める、あるいは接合部の段差を無くすようにあらかじめ接合面の加工を行う必要性があった。しかし材料を「重ねる」鍛接は想像していた以上に鍛接後の輪環の整形が困難であった。これらを考えると、軸部に材料を重ねて鍛接を行うことは鍛造での輪環の製作には不適切ではないかと考えられた。

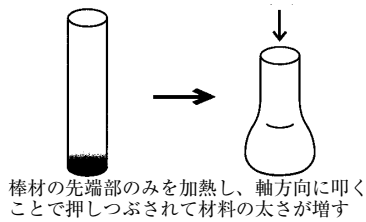


図5 棒材を先端部を軸に重ねる実験工程

(2) 軸部分の側面での鍛接

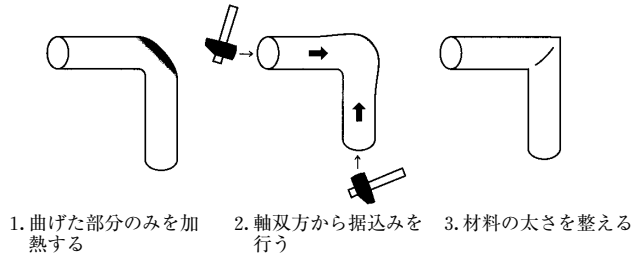
輪環状に曲げた棒材先端部を軸の側面に沿わせ鍛接する方法は、圧着するために叩く箇所が重要なポイントであった。鍛接を確実にを行うには鍛接面積をより大きくしなければならないが、あまりに大きすぎても鍛接後の整形を困難にすることになってしまった。実験では表2にあるように4種類の先端部の形状で試作を行った。この結果、先端部をL字形に曲げ、軸に沿うようにくさび型に薄く打ち延べた状態での鍛接が最も適していると考えられた(写真8)。棒材の端部をあらかじめL字形に曲げた状態での鍛接は、出土品の輪環部の形状に似たものを製作することが出来た。しかし、いくつかの実験品の輪環には、輪環の軸との連結部に窪みが残ることや、軸付け根部分に段差が現れることが多かった。軸の側面での鍛接はL字形の縦線部分を背中合わせになる状態に合わせ、鍛接を行うこととなる。L字形の縦線部分が鍛接面であり、90度に曲げられた角部分は輪環部分の内側の円弧上で接することとなる。このためL字形に曲

げる部分は、角材を90度につないだ形になる様に鍛造しなければならなかった。金属の棒材を、鍛造技法で太さを変えずに角をしっかりと90度に曲げるということは困難な事であった。棒材を90度で形成するために「据込み」という方法で鍛造を行った（図6）。角部分に向かって他の部分から材料を寄せていけば、質量が増すために曲げた角を形成する事が可能である。実験では90度に曲げた棒材の一边を万力に固定し、異なる一边の端部を角に向かって金槌で叩いて据込みを行った（図7）。もう一方の辺からも据込みを行い、角部分に十分な材料を寄せ終えたら平らな金床の上で整形を行った。



棒材の先端部のみを加熱し、軸方向に叩くことで押しつぶされて材料の太さが増す

図6 据込み



1. 曲げた部分のみを加熱する
2. 軸双方から据込みを行う
3. 材料の太さを整える

図7 据込みによる曲げ加工の工程

5) 材料について

実験では市販の丸鋼材を使用していたが、鍛接を行った後にもう一度加熱し鍛造整形を行うと、鍛接部分に亀裂が入ってしまうことが多かった。当初鍛接不良だと思い再度鍛接を行ったのだが、それでも亀裂が入ってしまうことがしばしば起きた。これは鍛接加工のミスではなく、鋼材の材質そのものの特性による問題なのではないかと思われた。そこで極軟鋼と呼ばれる炭素量の少ない鋼材を使用してみることにした。金属加工では成分の差により材料の堅さや加熱後の特性が変わるため、不可能な加工方法が現れる。今回の復元製作での鍛接加工でも鋼材の炭素量の違いが鍛接に影響するのではないかと考えられた。しかし復元製作に使用した鋼材の

表2 丸棒材による鍛接実験

鍛接箇所	端部の形状	鍛接状態	輪環部	問題点
端部を軸上 面部に重ね る	丸棒	先端部を重ねた軸部分の変形が著しい	やや涙形	鍛接部の窪みを無くすることが困難
	重なり合う部分を斜めに打ち延べする	輪環基部に窪みが出る	やや涙形	重なり部分の窪みを修正する材料の量が不足している
	先端をあらかじめL字形に曲げ、重なる面積を増やす	重なり合う部分の材料の量が多いため変形が激しい	不定形 輪環上部に亀裂	重なった部分の材料が多く整形時に軸部分が長くなってしまう
	L字形に曲げた部分を薄く打ち延べる	重なる部分に線状の窪みが出る	やや涙形 輪環上部に亀裂	輪環部に亀裂が残る
軸側面で鍛 接	先端部を軸に当てる	接点が小さく鍛接は不完全	やや涙形	圧着するために輪環型の側面を叩かなければならず輪環部の変形が激しい
	端面を中央から2分割に割り込む	接合面積が小さく隙間ができる不完全な鍛接	やや涙形	先端部の整形が困難確実な圧着が出来ず、鍛接不良が起こりやすい
	先端部をL字形に曲げる	圧着するために叩く部位が大きくなり鍛接し易い	丸形	輪環基部の材料の量が多すぎて整形時に軸部分が細長く伸びてしまう
	L字形に曲げた先端部をくさび形に薄く打ち延べる	圧着するために叩く部位が大きくなり鍛接し易い	丸形	輪環基部の整形も容易

詳しい成分はメーカーからの回答が得られないためここに記載する事はできなかった。

実際に極軟鋼を使用して鍛接加工を行うと、市販の鋼材よりも鍛接による接合が容易であった。鍛接後、加熱による加工を行っても鍛接部が割れることなかった。鍛接部を極端に変形させる鍛造を行っても亀裂や剥離が起こることはなかった。

6) 銜、引手の連結

(1) 連結部分の観察

銜、引手は合計4つの部品を鎖状に連結して成り立っている。引手は銜の鏡板を接続した輪環に連結されていた。銜の中央部分も鎖状に連結されていた。出土品は全体が折り重なった状態で出土しており錆による腐食のため破損の危険性が高くX線写真の撮影は撮影方向に制約があり、焼きあがった映像には重なった部分が多く鎖状に連結された部分の詳しい観察は不可能であった。

銜と鏡板の接続部分は幅約8mm、長さ約21.3mmの長方形の盛り上がりが見え、かしめによって鏡板の裏板を取り付けられたものと推測できた(写真9)。盛り上がりの形状から、銜の輪環部分を長方形の箱形に削り、長方形の孔を開けた鏡板の裏板を嵌め込んでかしめを行ったのではないかと考えられた。

(2) 鎖状に接合を行う順序

銜、引手について、出土品の観察からはどの順番で鎖状に連結されたのかは不明であった。この連結の順序は各部の輪環部分の製作工程によって決まるのではないかと考えられた。そこで輪環製作の実験の結果から輪環の鍛接と鎖状に連結していく順番を仮定してみた。

- ① 引手の手綱取り付け用の輪環部の鍛接(左右とも)
- ② 銜の鏡板取り付け側の輪環の鍛接と整形(左右とも)
- ③ 銜の右側部分の輪環の鍛接(全長の調整を含む)
- ④ 銜の連結
- ⑤ 引手の連結
- ⑥ 鏡板のかしめ

銜部分を先に連結するとした理由は、銜部分の質量よりも引手の質量が大きいためであった。引手を先に連結してしまうと銜の連結を行うときに全体を支えることが難しくなると考えたからであった。また銜の連結部分は引手の連結部よりも輪環が小さいため、鍛接不良になった場合修正が難しいと思われた。そのため鍛接の失敗が許されない部分であるために、できる限り楽な状態で鍛接を行いたいと考えたためであった。

4 鏡板との接合

鏡板のかしめによる固定方法は、鍛造の試作品を用いて製作実験を行った。鏡板裏板の輪環の位置をマットフィルムを用いてトレースし、裏板の形状を書き加えて位置決め用のテンプレートを製作した。このテンプレートを鏡板裏板に当てて孔位置のケガキを行った。孔の大きさはX線写真からその寸法を割り出した。孔のケガキに合わせて直径5mmの金工ドリルで孔を開け、糸鋸を用いて切断を行った（写真10）。糸鋸で開けた孔はヤスリで整えた。銜は輪環部に孔と同じ大きさで高さ約2mmの箱形にヤスリで削り出しを行った（写真11）。はじめの実験ではそのままの状態に銜を裏板に嵌めて、金槌を用いてかしめを行った（写真12）。裏板に銜を嵌めたとき、孔から銜の削りだした部分が約1mm飛び出した状態でかしめを行ったが、この実験ではかしめの盛り上がった痕跡が出土品よりもやや高く感じられた。そこで孔の縁をテーパ状に削り落として孔の形状をすり鉢状に加工を行った（写真13）。こうすることで銜の箱形切削部分はそのままの大きさで、かしめを行った後の盛り上がりを小さくすることができた。強度については、2つの実験品とも問題なく固定することができた。孔をすり鉢状に加工することで、かしめの面積を増すこととなり、強度的に考えると孔の縁を削ったかしめ方法での取り付けが適切ではないかと考えた。かしめを行うために万力の口金から輪環部のみが突き出た状態で軸部分を挟んで固定したのだが、金槌で叩いていくと輪環の軸と接合している部分がやや直線的に歪んでしまった。しかしこの変形した輪環は出土品の輪環部に非常によく似た形状であるため、軸部分を固定してかしめを行ったのではないかと推測できる結果であった。

5 製作実験

1) 復元製作の順序について

実験の結果をもとに製作順序を考え、復元製作を行った。材料は直径10mmの極軟鋼の丸棒材を使用した。製作順序は次の通りである。

- ①引手の手綱側の輪環鍛接
- ②引手の連結部の輪環形状の鍛造
- ③銜・左側部品の輪環鍛接
- ④銜・右側部品鏡板取り付け部の輪環の鍛接および連結部の輪環の形状鍛造
- ⑤銜の連結
- ⑥銜と引手の連結
- ⑦ヤスリによる仕上げ
- ⑧鏡板の取り付け部の切削加工

各部品とも輪環成形はすべての箇所を鍛接技法によって製作した。鍛接部の酸化防止には、実験では硼砂を使用した。復元製作には市販の鍛接材（フラックス）を使用した。これは復元品を見学者の体験学習に使用しても破損しない強度を持たせるためであった。ただ強度を求

めるだけの復元製作であれば、溶接を用いた接合が一番良い方法であるが、製作技法の視点から古代の金工技術の考察を行うためにも鍛接技法での製作は重要な点と考えた。材料の加熱にはコークスを燃料とし電動ブロー（鞆）で空気を送り熱量を増す仕組みを持った炉を使用した。

2) 引手の製作

(1) 材料の準備

引手は手綱を取り付ける部分の輪環を先に製作し、銜の連結が完了した後に反対側の輪環の製作を行うことにした。材料は約400mmの長さで切断を行った。手綱側の輪環は軸部分からやや角度を持った状態で製作されていた（写真14）。復元製作では角度がない状態で輪環部を鍛造し、その後出土品と同じ角度になるように曲げ加工を行うこととした。

(2) 鍛接の準備

輪環部分の鍛接のため、棒材をL字形に曲げる加工を行った。輪環の製作のための準備として棒材の2カ所をL字形の曲げておく必要があった。L字形に曲げる部分は角に向かって据込みを行い、角部分の材料が不足しない状態に鍛造を行った。はじめに鍛接面となる棒材の先端部分が約18mmになるようにL字形に曲げ加工を行った。棒材の先端部分を加熱し金床の角に材料を当てて金鋸で折り曲げた（写真15）。緩やかに折り曲がった棒材を金床の角を使用し、直角になるように成形していった。ある程度直角に曲がった後、軸部分を平らな金床の上に置き、棒材端部を角に向かって据込みを行った。据込みを行った角部分は左右に材料がはみ出して太くなってしまうため、直角に曲げた部分の左右の面を元の材料の太さになるように叩いた。さらに万力の口金に直角の内角部分が当たるように軸部分を固定し、軸方向に据込みを行った（写真16, 17）。この工程を何度も繰り返して棒材を直角に曲げ込んだ。先端部分のL字形の成形ができた状態から、輪環部分の軸付け根となる部分の曲げ加工を行った。先端のL字形部分から50mmほどの部分を加熱し、金床の角で緩やかに曲げていった（写真18）。先端がL字形に曲がった状態の材料を曲げるために、先に曲げた部分が障害となり先端部分のL字曲げと同じ方法では成形できなかった。そのため90度に近い状態まで、平らな金床の上で加工を行った。万力の口金部分からL字形に曲がった部分を突き出した状態で固定し（写真19）、棒材端部側から角に向かって据込みを行った。そのままの状態軸方向にも据込みを行い角部分に材料を寄せていった。平らな金床の上で角部分を修正してL字形の角部分を90度に成形していった（写真20）。

(3) 輪環部の鍛造

輪環部を鍛接状態にするために、L字形に曲げられた先端部分をあらかじめ丸く曲げる加工を行った（写真21）。鍛接後の形状まであらかじめ加工しておくことで、鍛接面の密着度や長さ、輪環の大きさの確認を行うことができた。L字形の曲げた部分をすべて加熱し、円錐形の金床を使用して鍛接面がしっかりと合う状態にまで鍛造を行った（写真22, 23）。L字形部分を平ら

な金床である程度まで輪環状に成形し（写真24）、円錐形の金床に輪環部を嵌めて、鍛接面となる部分を大型のやつこでつまんで鍛接面を密着させた（写真25）。この状態で鍛接面の密着面に歪みがあったため、いったん輪環を開いて鍛接面の研磨を行うこととした。曲げ加工を行った輪環部は極端に開くなどの変形をさせない限り、形状に歪みが現れにくい状態であった。鍛接面をヤスリで平らに加工し再度形状の確認を行った。形状の確認後、鍛接面に酸化防止のフラックスを塗る隙間を開けて（写真26）炉に入れて加熱した。加熱温度は炉に入った材料の色で判断した。鋼材がややオレンジ色に発色する状態まで加熱した後、炉から取り出し鍛接面の表面に浮かび上がった酸化膜を薄い金属へらで取り去って素早くフラックスを塗りつけた（写真27, 28）。フラックスを塗った後、やつこを用いて鍛接面を密着させ再び炉に入れて加熱した（写真29）。温度が低下すると、鋼材の表面が酸化してしまうため、ここまでの工程は材料の温度を下げないように素早く行わなければならない。輪環部分全体が同じ色になるまで加熱を行った後、炉から材料を取り出し平らな金床の上に軸部分を置き、鍛接面を金槌で押さえつけるように叩いて密着させた（写真30, 31）。このときは鍛接面に挟まれたフラックスを押し出すように慎重に金槌を振らなければならなかった。あまり強く叩いてしまうと、鍛接面がずれてしまい、接合が不完全になってしまうからであった。鍛接が確実に行われたことを確認し、再度加熱を行って輪環部の整形を行った。この段階で、輪環部の寸法を計測値に合うように修正した（写真32）。

（4）鍛接後の整形

鍛接を行った輪環部は温度を下げた後に、ヤスリで表面を整えた。この時に鍛接部分に亀裂や隙間などがないことを確認した。はじめに製作した輪環には鍛接部分に細い隙間が残ってしまったため、加熱を行わず金槌で叩いて修正を行った。熱間鍛造とは異なり加熱しないことで金属の表面のみを延ばすことが可能である。復元品は溝の縁部分を延ばすことでほぼ平らに修正することができた。修正を加えた輪環部に角度をつけるために加熱を行った。輪環部分を金槌で叩いて角度を付けようとしたが軸部分が曲がってしまい輪環部のみに角度を付けることができなかった。そこで一度元の状態に戻し、輪環部のみを加熱し再度曲げ加工を行った。輪環部の曲線部分がねじれることで輪環全体に角度が付くように、やつこを用いて曲げ加工を行った。こうすることで手綱を取り付ける輪環部は出土品と同じ状態にする事ができた（写真33）。

（5）銜への取り付け側の輪環の成形

銜との連結を行う側の輪環部は鍛接を行う直前の段階まで棒材の成形を行った（写真34）。手綱側の輪環と同じ工程で、棒材の先端部をL字形に曲げる工程から鍛接面の成形までを行った。輪環部分を丸く曲げ、鍛接面が密着することを確認した後、そのままの状態を材料を冷却した。十分に材料が冷めた状態で輪環部の厚みや寸法をヤスリを用いて整形した。これは鎖状に連結してしまうと輪環部分の形状を整形しにくいいため、鍛接の前段階でなるべく仕上がりの形状に近づけておく必要があるためであった。整形後に再度材料を加熱し、銜の輪環に嵌められるよ

うに鍛接部分を開いておいた。

3) 銜部分の鍛造

(1) 輪環の鍛造

銜は2つの部品を連結した状態に鍛造を行うため、片側の部品を仕上げの段階まで加工した後、もう一方を連結する事にした。復元製作では輪環が90度直交した状態の左側の部品を、仕上げの段階まで先に製作を行った（写真35）。輪環の鍛接行程は、引手部分の製作と同じ工程で整形までを行った。輪環は鏡板を取り付ける部分がやや直線的になるように鍛造を行った。この部分はかしめ用の箱形部分を成形するために、材料の太さを他の輪環部分に比べてやや太めに製作した。左側の部品は軸の両端の輪環とも鍛接を行い、ヤスリを用いて出土品の形状と同じになるように整形した。右側の連結用の輪環部分は、鍛接面の仮合わせを行う状態まで輪環部の鍛造を行った。そして輪環を閉じた状態で、輪環部の断面形状や外形をヤスリを用いて整形した。整形を終えた材料を加熱し、鎖状に連結できるよう円錐形の金床を用いて輪環を開いておいた。

(2) 鎖状に連結を行う

鍛接面が開いた状態の輪環部分を加工できる温度まで加熱し、連結用の輪環と組み合わせ金槌で嵌め合わせた輪環がはずれない程度まで輪環を叩いて閉じた（写真36）。2つの部品を嵌め合わせた状態で炉に入れて加熱した（写真37）。温度が上がったところで鍛接面にフラックスを塗り、やっところで輪環部を締めて鍛接面を密着させ再度加熱を行った。鍛接部の温度が十分に上がったのを確認し、平らな金床の上で鍛接を行った。鍛接後の輪環は鎖状に連結しているために、円錐形の金床を用いて整形することが不可能であった。輪環部の整形はその外縁部を金槌で叩くことで整形を行った。軸部分の太さは銜の全長を調整できるようにやや太めの寸法で製作した（写真38）。銜部分の全長は、展示用の樹脂製馬体の寸法に合わせて製作しなければならなかったため、鎖状に連結した後、出土品よりも約5mm長くなるように調整を行った。

(3) 連結部分の輪環の大きさ

出土品の轡は銜の連結部分を中心にほぼ左右対称の形状をしていた。引手、鏡板の取り付け部分などの輪環部分は左右ともほぼ同じ大きさであった。しかし銜の連結部分の輪環のみ、左右異なる大きさに製作されていた（写真39, 40）。銜右側部品の輪環の内径は、左側の輪環部分がかろうじて通る程の大きさでしかなかった。復元製作では輪環部分の鍛接を行った後、輪環の形状を整形するため円錐形の金床に嵌めて叩いたが、鎖状に連結した場合にはそれは出来なかった。そこで先に製作した左側の部品の輪環を金床の代わりに使用してみることにした。連結する輪環部内径の大きさが嵌め合わせる輪環の太さほどしかないため、やっところで鍛接面を合わせるために締めるときも、鍛接後に輪環の整形を行うときにも嵌め合わせた輪環がガイドとなり簡単に製作を行うことが可能であった（写真41）。この復元製作の結果から連結部分の輪

環の大きさが異なるのは、その鍛造工程が理由なのではないかと考えられた。鍛接を終えた銜の輪環部はヤスリによって出土品の形状と同じになるように切削加工を行った。軸部分も輪環と接する付近のみの整形を行った。

4) 引手の連結

銜と引手の連結も、銜部分の連結方法と同じ工程で行った。銜の連結部分よりも輪環部が大きいため、銜の輪環を鍛接工程でガイドに使用することはできなかった。引手の輪環のみを加熱できれば作業が楽になるのだが、炉での加熱を行うため銜部分まで温度が上がってしまった。温度が上がった状態では、引手の鍛接中に銜が変形してしまう可能性があるため、できる限り引手のみが加熱されるように材料の温度管理を行わなければならなかった。はじめに引手の輪環を加熱し銜と組み合わせて輪環を閉めた。その状態で炉に入れ加熱すると、引手は余熱を加えられた状態であるため銜よりも先に温度を上げられた。その状態で鍛接を行い片側の連結を終了させた（写真42）。片側の引手を取り付けた後、連結された部品すべてを冷却し全体の温度を下げることにした。こうすることで次の引手の鍛接時に引手部分との温度差が大きくなり本体よりも先に鍛接部の温度を上げることができたためであった。

5) ヤスリによる仕上げ

すべての鍛接が終了した後、鍛接部分を中心にヤスリによる仕上げを行った。鍛造による表面の荒れや、金槌の打痕などを削り取り、計測値を元にしながら切削仕上げを行った。輪環の内縁部はヤスリが入りにくいため、キサゲを用いて面取りを行った（写真43）。

6) 鏡板の取り付け

(1) かしめ部分の切削加工

鏡板との接合部分は箱形のリベット状にヤスリで切削加工を行った。箱形リベットは縦約2mm、横幅19.5mm、奥行き約7mmの大きさとした（写真44、45）。鏡板の裏板には幅7.1mm、長さ19.6mmの長方形に糸鋸で孔加工を行った。長方形の孔の縁は金工ヤスリで約1mmの幅でテーパ加工を行った（写真46）。銜と裏板の嵌め合いは、裏板上面から銜の箱形リベットが1mmほど飛び出した状態になるように調整を行った。

(2) 銜のかしめ加工

鏡板の裏板から突出した箱形リベットは、鏡面の丸い金槌を用いてかしめを行った。箱形リベットを切削加工した輪環部が万力の口金に当たるように、銜の軸部分を万力に挟んで固定した。はじめに裏板から突出した箱形リベットの角面を、裏板のテーパ部分に向かって延ばすように叩いていった（写真47）。銜は輪環の付け根部分が万力の口金に当たっているため、あまり強い力でかしめを行うと輪環部分が変形する可能性があった。そのため輪環部の状態を確認しながら慎重に叩いていかなければならなかった。かしめを行った部分は裏板の面よりもやや

盛り上がった状態になった（写真48）。鏡板を裏板に被せてみると、かしめ部分に押され鏡板の中央部分が盛り上がっているように見えた。そのため透かし板が歪まない高さまで、かしめ部分をヤスリで平らに整形する事にした（写真49）。

7) 轡の仕上げ

裏板を取り付けた轡の表面は、ワイヤーブラシで酸化膜の除去を行った（写真50）。軸部分の太さは各部の計測値に合わせて切削加工を行った。轡本体は鉄材を使用しているため湿気などによって錆の発生する可能性が高い。復元品は展示に耐えうるように防錆処理として表面に漆の焼き付けを行った。

6 疑問点

輪環部分の鍛造工程については、当時どのようにして製作されたかを模索できるような部分が出土品からは発見できないため、その製作方法については不明のままであった。今回の復元製作では鍛接による輪環の製作方法を用いたが、そのすべてが推定される方法でしかない。今後の出土品のより細かい研究に期待をしたいと思います。

第2部 復元研究の経過



写真1 鏡板部分



写真2 引手部分



写真3 切断された鏡板の裏板

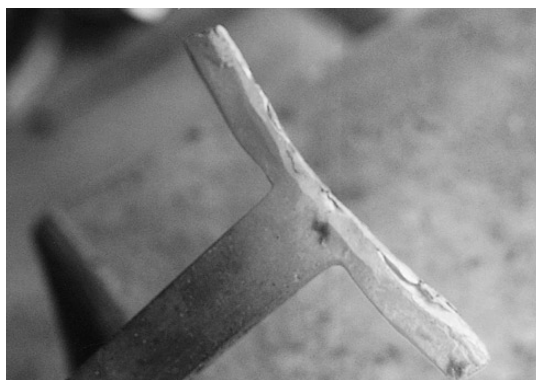


写真4 一本の棒材からT字形に鍛造を行う



写真5 重ねた状態での鍛接



写真6 重ねた部分に段差が見える



写真8 軸に沿わせるように鍛接部分の加工を行った



写真7 重ねて鍛接を行った実験品

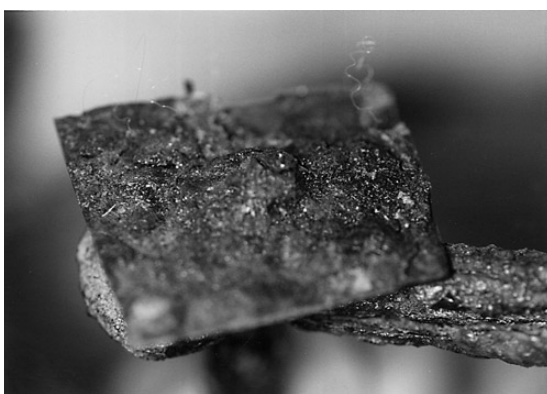


写真9 かしめの痕跡と思われる部分

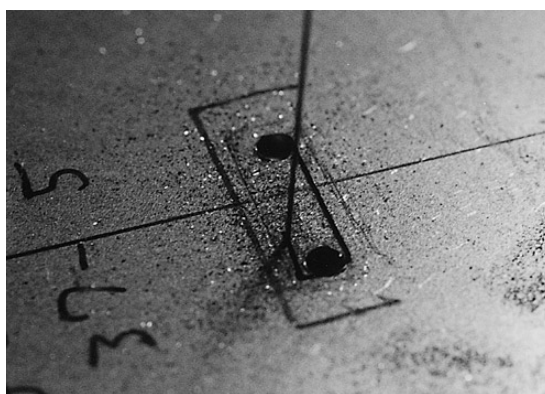


写真10 糸鋸での孔開け加工



写真11 銚端部の削り出し



写真12 鏡板裏板との接合

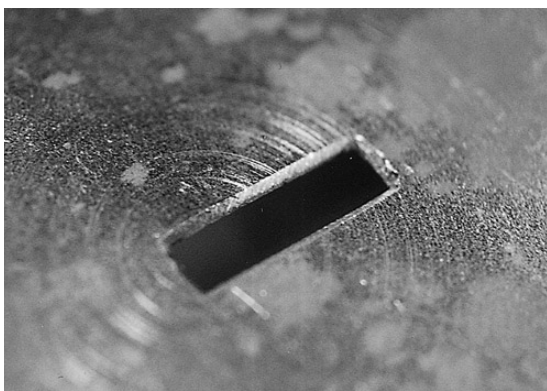


写真13 孔の加工



写真14 引手の形状

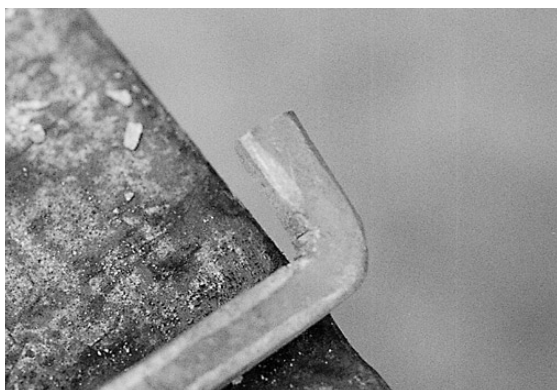


写真15 金床での曲げ加工

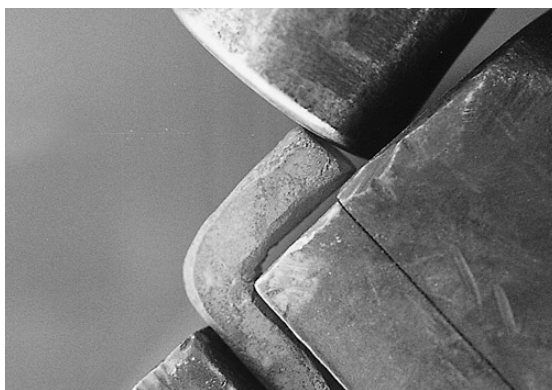


写真16 万力へ固定した状態



写真17 角部分の据込み加工



写真18 鍛接部の曲げ加工①



写真19 鍛接部の曲げ加工②

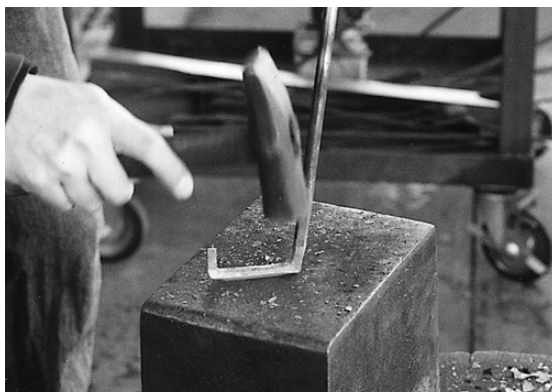


写真20 直角に整形を行う



写真21 輪環部の曲げ加工



写真22 円錐形の金型での曲げ加工①



写真23 円錐形の金型での曲げ加工②



写真24 接合面の位置を修正する



写真25 接合面の仮合わせ

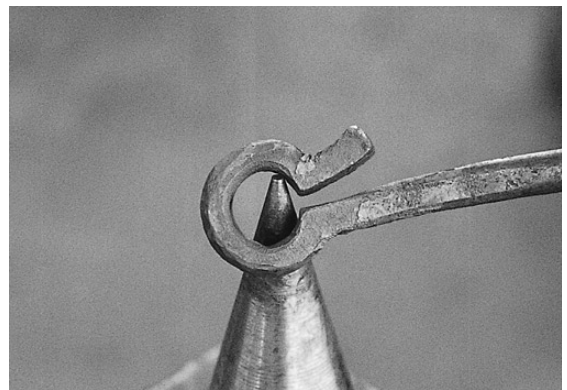


写真26 鍛接直前の状態

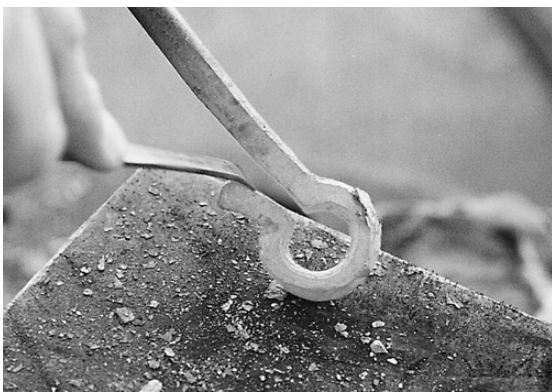


写真27 鍛接面の酸化膜を除去する



写真28 フラックスの塗布



写真29 やつとこで密着させる

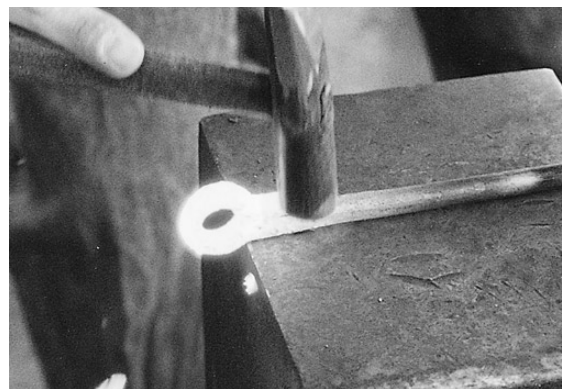


写真30 金槌による圧着



写真31 鍛接部の整形



写真32 中央の隙間は以降の工程で修正を行った



写真33 輪環に角度を付けた状態



写真34 連結部の輪環の製作

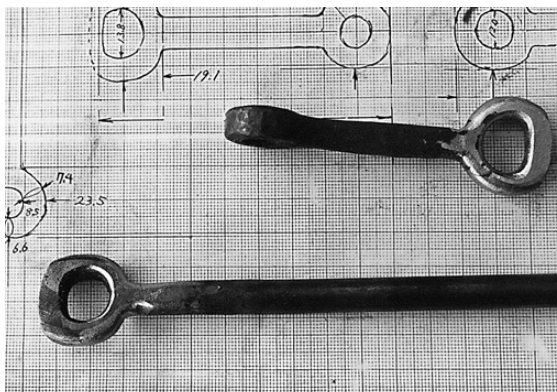


写真35 片側の部分は先に仕上げておく



写真36 連結部分の嵌め合わせ



写真37 この状態で加熱を行った



写真38 鍛接部分の整形を終えた状態



写真39 連結部輪環の大きさの相違



写真40 銜の連結部



写真41 先に製作された輪環をガイドにして連結部分の製作を行った

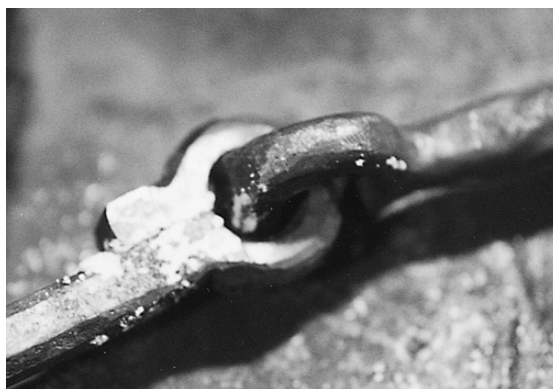


写真42 引手部分の連結

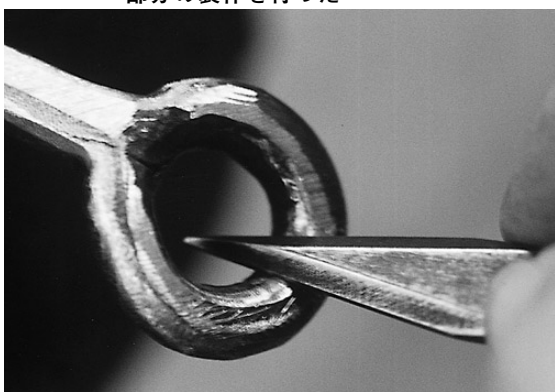


写真43 キサゲによる仕上げ

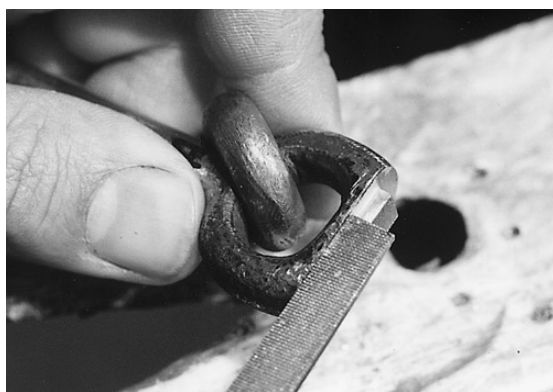


写真44 ヤスリによる削り出し

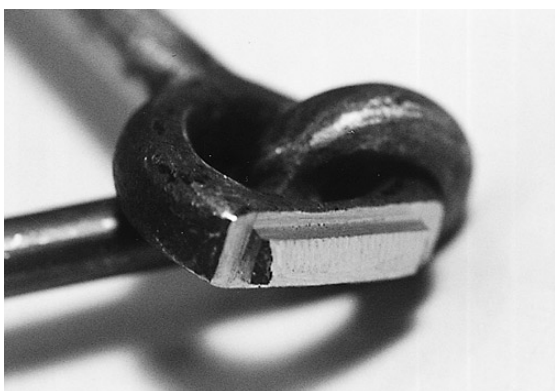


写真45 かしめ部の形状

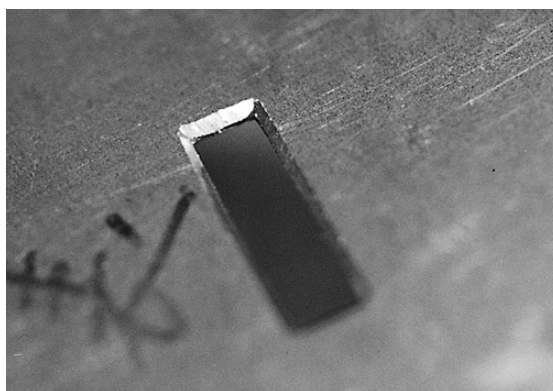


写真46 孔外縁部のヤスリ加工



写真47 金槌によるかしめ加工



写真48 かしめ加工をした箱形リベットの先端部

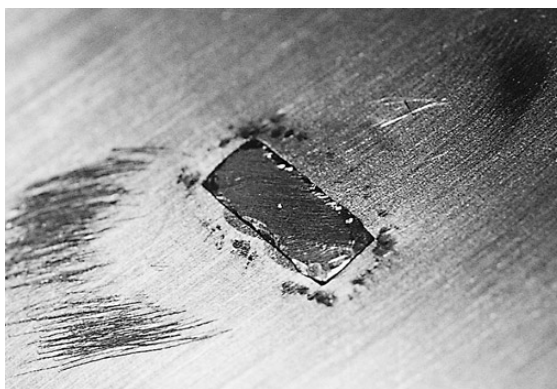


写真49 ヤスリで平らに仕上げる

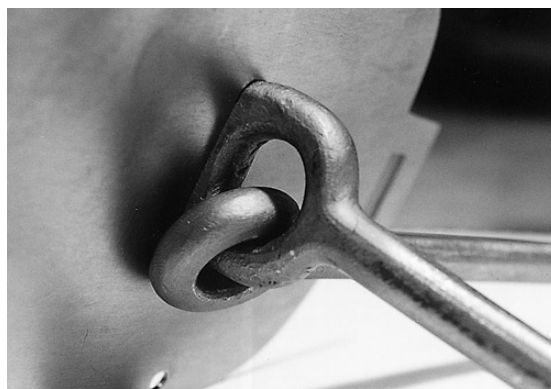


写真50 鏡板裏板との接合状態