

古代鑄銅製建築金具の鑄込み工程の検証

— 第一次大極殿院の復原研究27 —

1 復原実験の目的と仕様設計

復原実験の目的 平成28年度より、平城宮第一次大極殿院復原研究の一環として、建築金具の復原検討をおこなってきた。平成30年度は、大官大寺金堂隅木口金具（以下、大官大寺金具と略す）の意匠を用いて、建築金具の意匠設計を進めるなか、製作技術の実現性を検証するため、復原製作実験をおこなった。

蛍光X線分析により、大官大寺金具の地金は、錫・鉛・ヒ素を含まず、銅のみからなることが判明した。銅を主体とする出土品や伝世品は、いくつか存在しているが、銅のみのものは大官大寺金具が唯一である（本稿では、純銅¹⁾と仮称する）。そのため、鑄造工程において、純銅の銅湯を文様全体に回すことができるかという点が課題となった。

試作品の仕様設計 試作品は、大官大寺金具の復原図を用いて設計した。製作実験は、蠟原型の製作、真土型鑄型の製作・脱蠟、鑄込み、解型、鑄込み後の加工の順に5つの工程を想定した。蠟原型を用いたのは、原型に線彫りを施した可能性を検討するためである。大官大寺金具は線対称をなす4つの文様を組み合わせている。このため、試作品ではその右上の文様に原型製作の段階で線彫りを施し、左下の文様では、鑄込み後に線彫りをおこなうことで、線彫りの製作工程を検証することとした。そして、蠟板で原型を作り、鑄型の材料を真土とし、湯口は長辺に設けて、湯回しの状況を検証した²⁾。

試作品の地金は、全体に土取り、垂直バリを取ったが、鑄込み後の透かし部分のバリ取り、表面の研磨加工、線彫りの有無による比較をおこなうため、文様ごとに異なる仕様を設定した。詳細は図1を参照されたい。

2 復原製作実験の結果

本実験で製作した試作品に対して、地金寸法の収縮、ラジオグラフィーによる鬆の分布状況の確認、蛍光X線分析を用いた鑄込み前後の成分分析、肉眼とマイクロ스코プによる表面と破面の観察という4つの観点から、大官大寺金具と比較した。

地金の寸法 地金の設計寸法は、431×320mmであるが、収縮を見込んで原型寸法を439×327mmとした。試作品の地金寸法は、435×330mmとなり、長辺方向は9%縮小したが、短辺方向は9%拡大した。長辺と短辺とも設計寸法より大きく、地金が完全に収縮しなかったことがわかる。

厚みについては、大官大寺金具が1.6~2.0mmであるが（右下部分を例に）、鑄造職人の経験ではこの厚さでの製作が難しいとの見解から、3mmを設計寸法とした。試作品では平均値が、4.8mm（右上）、4.3mm（右下）、4.1mm（左上）、4.0mm（左下）と、地金本体の各部分でばらつきがみられた。すなわち、湯回りは均等でなかったことがわかる。また、設計寸法を上回っており、鑄型が銅湯の注入により外側へ膨張変形したと推測する。純銅を溶かす温度が高すぎたことが一つの原因と考えられる。

ラジオグラフィーによる分析 鑄込み直後に、土取りのみをおこなった地金を透過X線撮影した。X線発生装置は、リガク製Radioflex RF-250EGM2、撮影条件は、管電圧140kV、管電流5mA、照射時間2分である。それにより、以下の所見を得た（図2・3）。

1) 大官大寺金具と同様に、鬆が全体に分布し、特に中

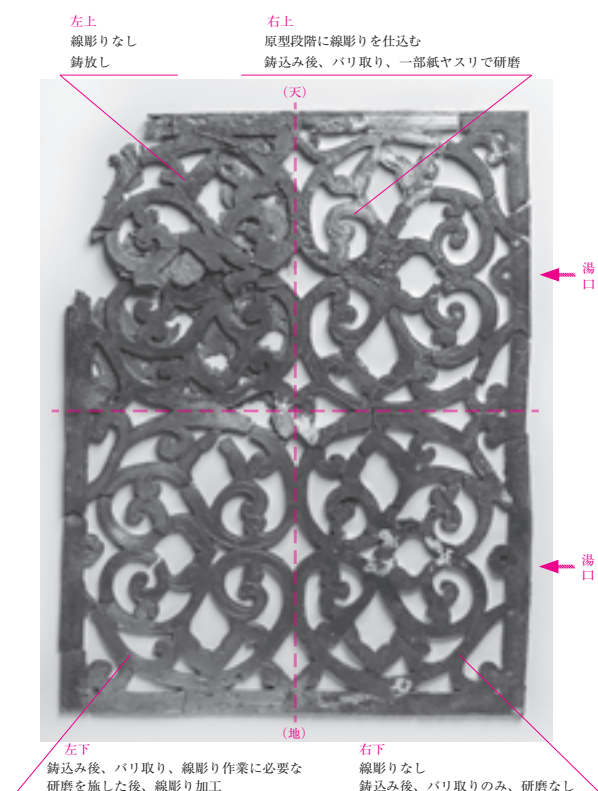


図1 試作品と設定した仕様



図2 大官大寺金具の透過X線画像

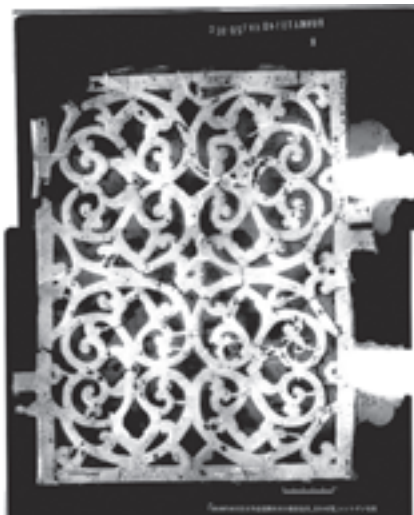


図3 試作品鋳込み後未加工時の透過X線画像

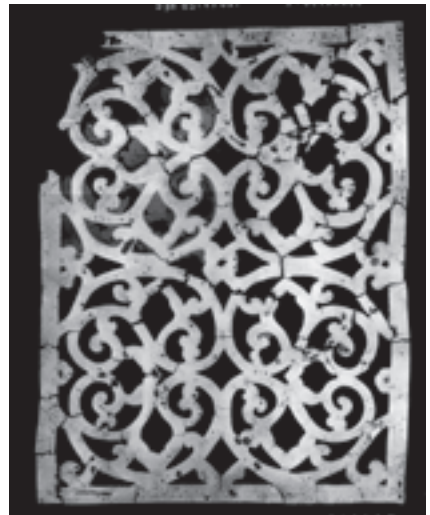


図4 試作品鋳込み後加工実施後の透過X線画像

心から四隅へ集中する。ただし、多数の大きい鬆が存在する点が大官大寺金具と異なる。

- 2) 地金の内部にヒビ割れがみられる。
- 3) 垂直バリが目立つ。
- 4) 線彫りは、原型に仕込んだものを確認できる。

鋳込み後、バリ取り、研磨、線彫りという3つの加工を設計仕様に基づいて施し、再度透過X線撮影した結果、以下の所見を得た。

- 1) 鬆の分布と大きさに顕著な変化はない(図4)。
- 2) 地金内部にヒビが入っていた箇所が割れてしまった。その場所と数は、大官大寺金具に近い(図5)。次に、地金の破面をマイクロスコップで観察したところ、

破面に鬆の存在を確認できた。これは、大官大寺金具も同様であった。この特徴から、大官大寺金具も同様な湯回り状況と推測する。すなわち、ガスがうまく出されていないことにより、鬆が多発した脆い地金が形成されたと思われる。

- 3) 除去した垂直バリの痕跡は、透過X線画像では判別し難くなった。
- 4) 線彫りを透過X線画像で確認すると、原型に仕込んだものは見やすいが、鋳込み後の加工は、判別できない。ただし、大官大寺金具ではみえる。

蛍光X線分析 本製作実験において、湯口付近と湯口の反対側にそれぞれ2つの手板(2×2mm)を製作し、蛍光X線分析をおこない、鋳込み後の研磨作業の有無による地金成分の違いを確認した。使用した装置は、EDAX製蛍光X線分析装置EAGLEⅢ、測定条件は、管電圧40kV、管電流は研磨前100μA／研磨後30μA、X線照射径360μm、測定時間100秒、大気中である。その結果、試料を磨く前には、微量の鉄成分などを検出したが、試料を磨いた後には、銅成分のみが検出された。よって、鋳型(特に肌真土と塗型)による地金成分の影響は、ほぼないといえる。

肉眼による目視観察 鋳込み直後・未加工段階では、銅湯が予想以上に広い面積に回っていることを確認した。しかし、地金は、所々で接合が弱く、これが透過X線画像でみられた地金内部のヒビとして現れている。また、表面の垂直方向と裏面の透かし部分にバリが形成されていた。さらに、原型に仕込んだ線彫りの溝も観察できた。

鋳込み後の3つの加工を実施した後、再度目視観察をおこなった。地金内部にヒビがあった箇所は、地金自体の割れとなった。バリが取れた箇所は、バリの痕跡を確認できないが、透かしの入隅などに、わずかなバリの残

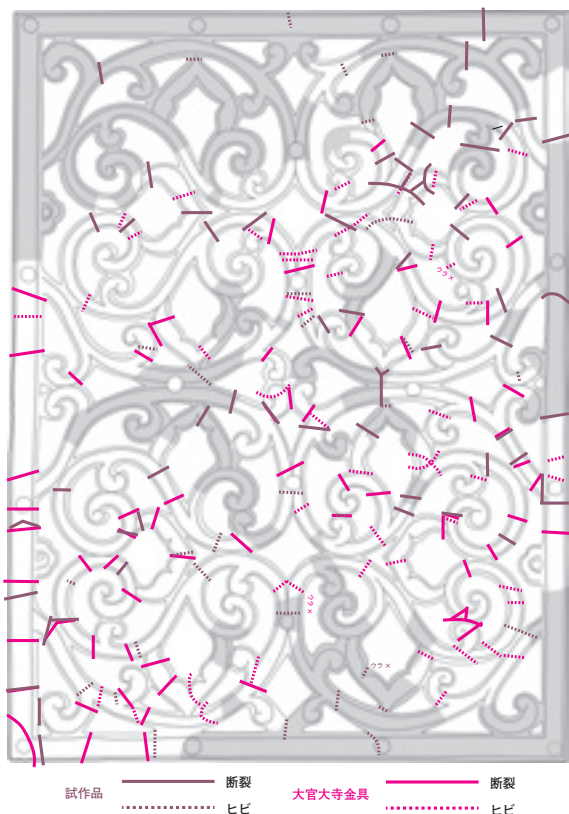


図5 試作品と大官大寺金具のヒビ割れ状況の比較



図6 試作品の残留バリ



図7 大官大寺金具の残留バリ



図8 試作品の透かし彫り



図9 大官大寺金具の透かし彫り

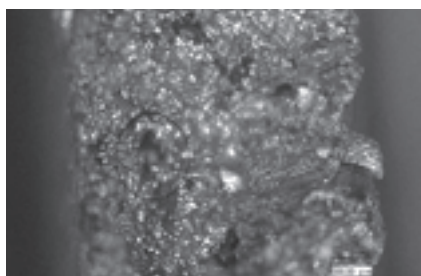


図10 試作品の破面の鬆穴

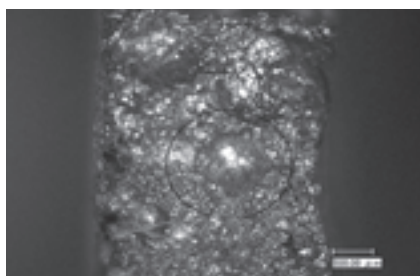


図11 試作品の破面の鬆穴

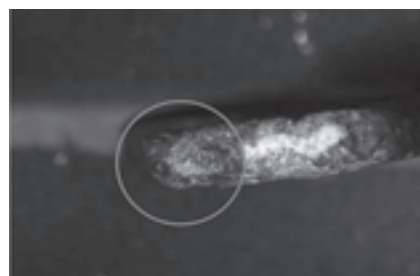


図12 大官大寺金具の破面

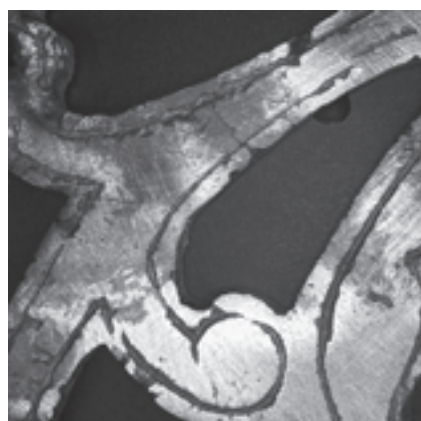


図13 原型に仕込んだ線彫り



図14 鑄込み後に加工した線彫り



図15 大官大寺金具の線彫りにみる鬆穴

留がみられる（図6）。大官大寺金具にも、同様なバリの残留が存在する（図7）。鑿による透かし彫り作業は、滑らかでないカーブを確認できる（図8）。大官大寺金具にも、同様な作業の痕跡が認められる（図9）。

マイクロスコープを用いた観察 断面（50倍拡大）観察により、破面に鬆穴（破れていないものも存在）が多く存在する点は、大官大寺金具と共通する（図10～12）。

原型に仕込んだ線彫りは、表面の研磨により埋め潰され、肥瘦線が現れた（図13）。鑄込み後の線彫りでは、鑿が鬆穴と干渉し、鬆と線彫りのいずれも潰される傾向がみられる（図14）。これと異なり、大官大寺金具の線彫りには潰されていない鬆穴を確認した（図15）。

3 まとめ

鑄込み後の地金における鬆の分布、ヒビ・割れ状態、バリの残留、透かし彫りなどの特徴から、本実験では、大官大寺金具の鑄込みの工程をある程度復元できる資料を得ることができたといえる。

純銅は流動性が悪いといわれるものの、本実験では銅湯が予想以上に広く流れたことを確認できた。今後、銅

湯の注入温度のコントロールや湯口と湯道の設計に工夫を施し、鑄込み工程における空気抜きの改善と空気発生の抑制の両面から検討することにより地金の品質を上げることができただろう。そのほか、鑄型の材料や構造の改良も課題として挙げられる。

原型に仕込んだ線彫りは、鑄込み後の研磨加工により、肥瘦線が現れた。これは大官大寺金具と異なるため、線彫りは原型に設けたのではなく、鑄込み後に加工したとみられる。線彫りを原型に仕込む必要がなければ、蠟原型に拘泥する必要はなくなり、原型の材質も再考を要する。ここでは詳述できないが、その後の検討により原型は金属製の金型が適当との見解を得ている。（李 暉）

註

- 1) 純銅は、厳密に銅成分99.99%のものを指す。大官大寺金具の蛍光X線分析により微量のカルシウム、鉄、水銀が検出されたが、これらの成分が銅湯回しに大きく影響しないと見なし、銅成分が99.97%の銅板を用いて銅湯を製作した。
- 2) 法華寺金堂造営について記す「造石山院所用度帳」『大日本古文書』編年文書 巻16では、鑄銅製品に関する記述があり、これに基づき、地金の原材料と原型・鑄型の材料を検討した。詳しくは、次頁の坪井久子による論考を参照されたい。