

金属鑄造と砂型：2.砂型実習教材の開発

柏井茂雄* 兼吉高宏** 永瀬丈嗣***
浅野和典**** 北村一浩*****

1. はじめに

金属鑄造は、古代から地域に根差し、最近では三次元積層造形技術(金属積層造形, 砂型プリンター)といった最先端の技術を取り込みつつさらに発展する金属素形材生産の基礎基盤技術である。金属鑄造の発展は、地域に根差し(ローカライズし), グローバルに発展できるかにかかっている⁽¹⁾。地域に根差すという視点から、単に金属に触れ合うといった実習教材を超えて、地域の歴史と地理を学び、いかに金属鑄造がその地に根差してきたのか、という事までを学習する教材の開発は極めて重要であると言える。

第1部⁽¹⁾では、金属鑄造の歴史は、金属だけではなく鑄型の歴史と表裏一体であり、鑄型の中でも砂型が、すなわち「砂」が重要な役割を果たしてきたことを示した。砂は、地域偏在性が強い資源・戦略物質であり、この地理的特徴が、鑄造の歴史に大きな影響を及ぼしてきた⁽¹⁾⁽²⁾。したがって、砂型を用いた教育実習教材の開発は、単に金属に触れ合う体験実習を可能とするという意味を超えて、その地で金属産業が発展してきた歴史・地理を学ぶ実習型教材を開発することにつながる。特に、関西地区は、北部九州と並んで初期の鑄造遺産(例えば大阪府茨木市・東奈良⁽³⁾⁽⁴⁾、兵庫県姫路市・名古屋⁽⁵⁾、兵庫県赤穂市・上高野⁽⁶⁾⁽⁷⁾、奈良県磯城郡田原本町(唐古・鍵遺跡)⁽⁸⁾など)が多く発見される地であり、明治維新以前には河内(現在の南大阪)が全国の鑄物師(鑄物を造る職人、「いもじ」と読む、河内を本拠としていた鑄物師を特に「河内鑄物師」と呼ぶこともある)の発祥とも言われ河内から多くの鑄物師が全国に散らばり日本各地に先進的な鑄

造技術が広められた(例えば、川口鑄物(埼玉県川口市)⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾、大久保鑄物(新潟県柏崎市)⁽¹¹⁾、佐野天明鑄物(栃木県佐野市)⁽¹²⁾、高岡鑄物(富山県高岡市)⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾など)。明治維新以降は我が国の最先端鑄造技術が集まる大阪砲兵工廠が設置されるに至り、近年では産学官連携事業における社会人教育プログラムである「鑄造カレッジ」⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾の設立とその実施に中心的な役割を果たしてきた。最近では公設試験研究機関・地方独立行政法人としては先駆的に兵庫県立工業技術センターに砂型プリンターが設置されるなど、古代から現在にいたるまで、我が国の鑄造の発展と強い関連性がある地域と言える。本論文では、「金属鑄造と砂型：1. その歴史と最近の進展」⁽¹⁾の続編として、関西地区の中でも兵庫県立工業技術センター、(公財)新産業創造研究機構(NIRO)を中心として開発された砂型を用いた教育実習教材⁽¹⁷⁾について報告する。

2. 基本コンセプトと教材用の鑄物砂

砂型による金属鑄造の実習教材については次の3点を基本コンセプトとして開発を行った：(A)鑄物砂の調製から金属の熔融、凝固まで鑄造の一連の作業を体験できる、(B)対象は小学生・中学生で、家庭でも実施可能とする、(C)安全で入手が容易な材料を利用する。

今回開発した教材は、(B)の基本コンセプトに示すように小・中学生を対象としている。次世代を担う子供たちに対し、ものづくりの楽しさ、素晴らしさなどを認識してもらうための体験教育・学習の必要性は強く認識されており、日本鑄造工学会の「こども鑄物教室」⁽¹⁸⁾や、子供向けのものづく

* 公益財団法人 新産業創造研究機構；技術コーディネーター(〒654-0037 神戸市須磨区平町 3-1-12)

** 兵庫県立工業技術センター；部長

*** 兵庫県立大学；教授

**** 近畿大学；教授

***** 愛知教育大学；教授

Metal Casting and Sand Mold: (2) Education Materials for Sand Mold Castings; Shigeo Kashiwai*, Takahiro Kaneyoshi**, Takeshi Nagase***, Kazunori Asano**** and Kazuhiro Kitamura***** (*The New Industry Research Organization (NIRO), Kobe. **Hyogo Prefectural Institute of Technology, Kobe. ***University of Hyogo, Himeji. ****Kindai University, Higashi-Osaka. *****Aichi University of Education, Kariya)

Keywords: *educational materials, casting, sand mold, history, geography*

2022年1月6日受理[doi:10.2320/materia.61.437]

(1) バインダーの調合と砂の混練

バインダーは合成洗濯のり(PVA)を主成分に、粘度と強度を付与するために粉末天然洗濯のり(α デンプン)を添加したものを利用した。現時点では、10gの水に1gの α デンプンを加えて粘りが出るまで混ぜ合わせ、これをPVA10gに対して3g添加した溶液をバインダーとしている。バインダーの添加量は珪砂の粒度に応じて調製している。8号珪砂の場合5%、7号は4%、6号は3%を添加量とした。図4に示すように、プラスチック製の透明コップの中で、砂と洗濯のりを混ぜ合わせ十分に混練する。珪砂の粒度による混ざり方の違いなどが体験できる。

(2) 模型の形状に合わせた砂型造形

洗濯のりをバインダーとした鋳物砂の調整の次に、この鋳

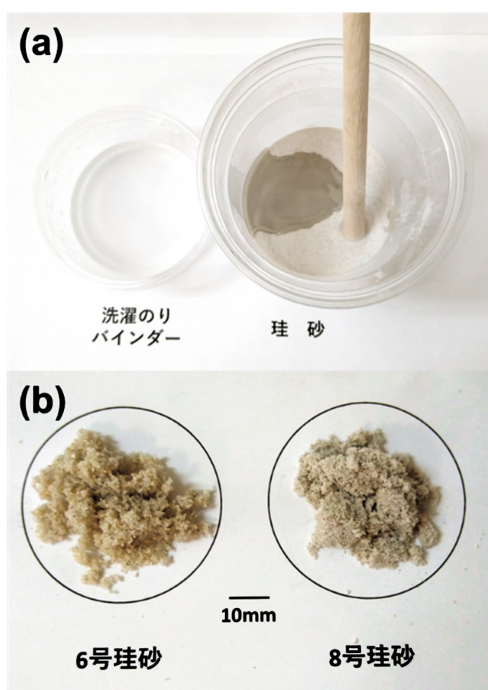


図4 混練作業に対応する珪砂とバインダーをまぜて鋳物砂を調製(a), 混練後の鋳物砂(b).

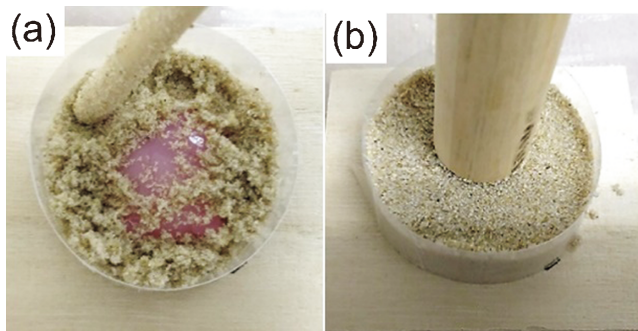


図5 砂型の作製作業。台の上の模型の形に対応した砂型を作製するため、鋳物砂をスタンプしながら造型する。(a)細い棒による模型周辺部の突き固め、(b)太い棒による模型上部の突き固め。

物砂を利用して砂型を作製する。具体的には、図5に示すように、模型を台に貼り付け棒で囲い、これに調合した鋳物砂を充填して模型に合わせた砂型を作製する。数回に分けて鋳物砂を模型に加え、その都度、木の棒などを利用してスタンプして造型工程を体験する。この木の棒などを利用したスタンプは、砂型鋳造の実操業における、砂の突き固め・型込め作業に対応する。

(3) 鋳型の乾燥、抜型

スタンプしただけの砂型はそのままでは強度がないため、型を抜き取ること(抜型)ができない。抜型にはバインダーを固化し鋳型強度を上げる必要がある。工業的にはフラン樹脂やフェノール樹脂がバインダーとして広く使われており、これらは樹脂に硬化剤を添加し樹脂が重合して強度が発現する。放置している間に硬化するため自硬性鋳型と呼ばれている。一方、洗濯のりではこのような添加剤による硬化反応が困難なため、乾燥により鋳型強度を付与する必要がある。実習では時短のために電子レンジで加熱乾燥している。図6に示す150g程度の砂型の場合、およそ20分程度(500Wで3分加熱+3分放冷を3回繰り返す程度)の乾燥作業が必要となる。乾燥後模型を抜型して鋳型が完成となる(図6)。

(4) 溶解、鋳造

通常の鋳型は上型、下型、中子で構成されおり、また金属を流し込むための湯口、湯道や押し湯などの形状(方案)が鋳型に付け加えられている。開発教材では、下型のみで鋳型で方案は省略し、溶湯面が大気開放されたオープン鋳型としている。オープン鋳型は凝固過程を実際に観察でき、学習効果が高く、さらに簡単に鋳型が作製できることから自宅でも実習できるメリットがある。

図7に鋳込み後の溶湯表面を示した。溶融金属が冷却にと

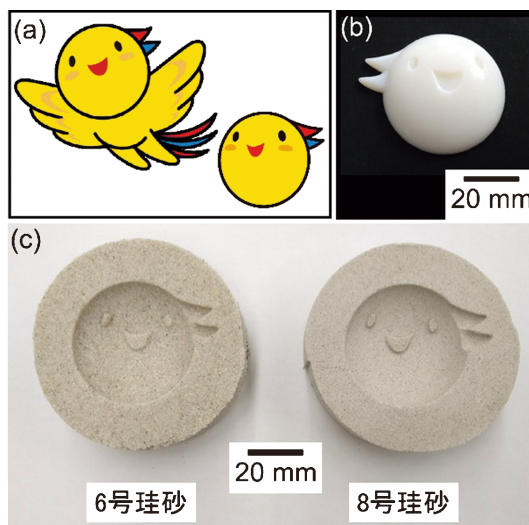
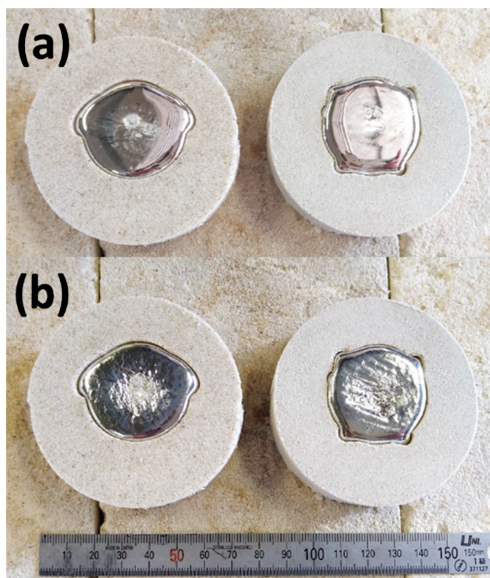


図6 兵庫県のマスコットである“はばたん”⁽²³⁾をモデルとして作製した砂型。(a)“はばたん”のイラストイメージ、(b)模型外観図、(c)6号珪砂と8号珪砂を用いて作製した砂型。



(a) 鋳込み直後 (b) 凝固終了後

図7 開発教材・開放型鋳型を利用した実習における金属凝固過程の観察の一例。(a)鋳込み直後、(b)凝固後、金属の凝固による体積収縮の様子が目視で分かる。

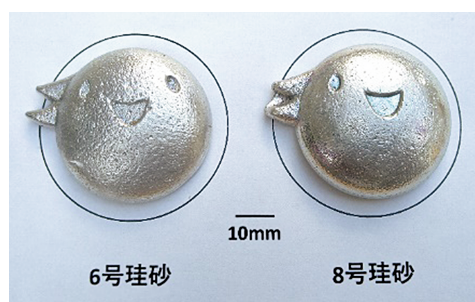


図8 作製した鋳造材の外観図。題材は兵庫県のマスコットである“はばたん”⁽²³⁾。左は6号珪砂、右は8号珪砂を利用した砂型を用いて作製した鋳造材。砂の粒度が大きすぎると、目や口の造形が難しいことが良く分かる。

もない結晶が成長する様子、凝固収縮(引け)が発生する様子が観察できる。また得られた鋳物では図8に示したように砂の粒度による鋳肌、風合いの相違を体感できる。

4. 実習の一例とアンケート結果

開発教材は、小・中学生を対象としたものであるが、高等学校、高等専門学校さらには大学生にも十分な教育効果のある教材となっている。兵庫県立大学の大学生(4年生)を対象として行った実習の事例について紹介する。大学生を対象とした実習の場合、アンケートで小中学生に向けた教材としての意見を記入してもらうことで、砂型・鋳造に対する体験実習だけではなく、教材開発に対する学習効果も期待できる。

図9に工学部の機械・材料工学科(材料工学コース)の4年生4名が参加した実習風景を示す。特別な実験室ではなくても実習が可能である。

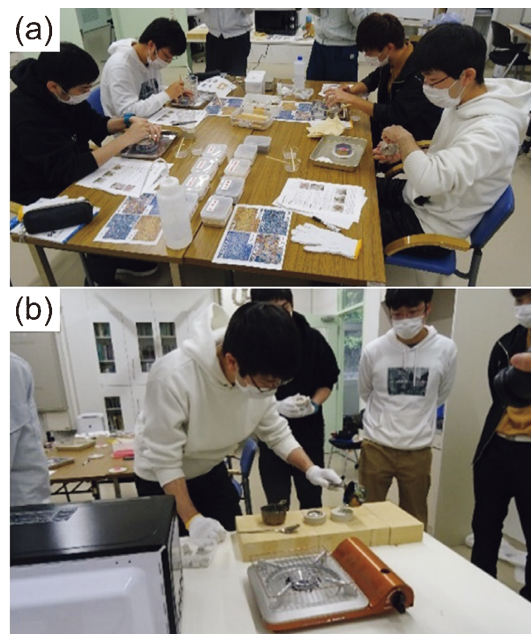


図9 実習風景の一例。(a)鋳物砂の調合と砂型造形。(b)砂型への注湯。

表1 実習前アンケートと回答(抜粋)

A-1「知っている金属加工法を教えてください」

鋳造 2, 切削 3, 鍛造 2, 溶接 1, 溶融 1

A-2「鋳造について知っていることを書いてください」

- ・形(型)に流し込む
- ・自動車用ホイール, 自動車部品
- ・わからない 2

A-3「地域と金属製造業の関連」

- ・兵庫県は材料メーカーが非常に多いイメージがある
- ・大手製鋼メーカーがある
- ・わからない 2

教材開発のためのデータ収集と学習効果確認のため、実習前と実習後でアンケートを行っている。アンケートは4段階評価(4件法)と記述式の両方を用いている。設問と回答の抜粋を以下に示す。

(1) 実習前アンケート

表1に実習前の設問と回答(抜粋)を示す。材料系の学生であるため半数は加工法としての鋳造を認識している(A-1, A-2)。逆に半数は知らないことになる。A-3の地域との関わりにおいては、A-1, A-2と同様に半数は素形材産業が多い地域産業の形態をある程度認識しているが、半数は知らない。

(2) 実習後アンケート

表2に実習後のアンケートと回答(抜粋)を示す。(a)は実習の感想であり、(b)では実習前アンケートと同じ内容を実

表2 実習後のアンケートと回答(抜粋)。(a)実習の感想, (b)実習前と同じ内容を再度問い合わせた項目。

(a) 実習の感想

B-1 「砂型の鑄造実習をしてみたの感想」

	とても思う	思う	思わない	とても思わない
○思い通りに作れた		4		
○鑄造方法を理解した	3	1		
○鑄造は面白い	2	2		
○鑄造は難しい	1	3		
○砂の扱いは面白い	2	2		
○砂の扱いは難しい	2	1	1	

B-2 「小中学生用の教材としての感想」

	とても思う	思う	思わない	とても思わない
○小中学生でも思い通りに作れる	1	2	1	
○小中学生でも鑄造方法を理解できる	1	3		
○小中学生に鑄造の面白さが伝わる	2	2		
○小中学生に鑄造は難しさが伝わる	2	2		
○小中学生に砂の扱いの面白さが伝わる	2	2		
○小中学生に砂の扱いの難しさが伝わる	3	1		

(b) 実習前アンケートと同じ項目

B-3 「鑄造について知っていることを書いてください」

- ・現代の産業で広く使われていることを知りました
- ・実習前は知らなかったが、
伝統工芸だけでなく車のエンジンにも使われる技術なので非常に重要だと学べた。
- ・古くから用いられ実用性に優れる
- ・大量生産での自動車部品

B-4 「地域と金属製造業の関連」

- ・積層造形に取り組みされている
- ・姫路にマンホールを作っている会社があったと思う
- ・X社, Y社がある

習後にも改めて問い直している。(a)の実習の感想について、いずれのアンケート結果も、4段階評価の平均値が3以上を示しているため、いずれの項目も学生は肯定的に捉えている。表には記載していないが、(a)B-1「実習の感想」の自由記述では「実際に砂型を作ってみて、工程を体験できとても面白みを感じることができた」、「鑄造が身近で役立っていることが学べた」などの意見があり、砂型を扱うという教材のコンセプトがある程度達成できていると思われた。小学生用の教材としての感想では(a)B-2で「小学生でも思い通りに作れる」という意見と「そうとは思わない」意見があったが、一方で鑄造、砂の扱いの面白さや難しさが理解できたという意見が多くみられた。またいくつかの改良点などの指摘もあったことから、小中学生を対象とする場合はよりわかりやすく手順や解説を工夫する必要があることが分かった。実習前アンケートと同じ内容を再度問い直した(b)に注目すると、B-3の鑄造に関する認識では、事前の回答に比べて鑄造に関する理解が進んだことがわかる結果であった。これに

対してB-4では事前の回答と内容は大きな変化は見られないが、理解は進んだことがわかる。大学生の目線から見た教材としての改善点の指摘は、教材開発にあたって極めて参考になる。また、大学生の実習であっても、開発した教材が、地域と砂あるいは産業とのかかわりについて考える機会を提供することができることを確認できている。

6. おわりに

金属鑄造の歴史は、金属だけではなく砂にも大きく支配されてきた。砂は空気や水のごくありふれた存在であるためその重要性にはなかなか気が付かないが、産業利用するという観点からは利用できる価値ある砂は地域偏在性が著しい重要資源・戦略資源である。実際に砂に触れる体験実習を通して、砂という資源に注目してもらうとともに、砂と鑄造の関係、そして金属鑄造・金属産業と地域のかかわりについて理解してもらえると考えている。

