

金属鑄造と砂型：3.大学における砂型の実習

浅野 和 典*

永瀬 丈 嗣**

柏井 茂 雄***

兼吉 高 宏****

北村 一 浩*****

1. は じ め に

「砂型鑄造」を体験することは、鑄造技術の基本を理解する上でたいへん有用である。かつては多くの大学や高等専門学校、工業高等学校などの教育機関において砂型鑄造による鑄造実習が行われていた。一方で、砂型を用いる実習は大きな労力と手間を必要とすることから、砂型鑄造の実習を行う教育機関が減少していることも事実である。

「金属鑄造と砂型」の解説記事として、第1報⁽¹⁾では金属歴史地理学の観点からみた鑄造と砂型の歴史について、第2報⁽²⁾では洗濯のりをを用いた砂型実習教材の開発について報告した。ここでは、第3報として、大学における砂型鑄造による鑄造実習の例として、主に近畿大学における鑄造実習の概要を紹介する。

2. 関西の教育機関における鑄造教育の現状と日本鑄造工学会の関わり

関西では古くから河内国丹南(現在の堺市)を中心として鑄物師が多数の工房を設置し、こしき炉(銑鉄や鑄物の再溶解に使われた銑鉄用融解炉、ミニキューポラのようなもの)を用いて鉄や銅の金属製品を多数鑄造していた。本解説論文にて紹介する砂型を用いた鑄造実習がおこなわれている近畿大学理工学部がある東大阪市は堺市に近く、多くの工場が密集するモノづくりの街である。近畿大学における鑄造実習については後述することとし、ここでは関西の教育機関、および日本鑄造工学会関西支部で行われている鑄造教育の現状⁽³⁾⁽⁴⁾

について簡単に述べる。

大学における鑄造実習を組み込んだ教育については、近畿大学以外では、例えば関西大学化学生命工学部化学・物質工学科が必修科目「マテリアル工学実験Ⅱ」で3年生を対象に銑鉄の溶解・鑄造実習を行っている。ここでは砂型作製から銑鉄の溶解・鑄込みまでを実習するとともに、凝固時の体積変化や冷却曲線の解析を行っているとのことである。兵庫県立大学では、工学部機械・材料工学科・機械工学コースの3年生を対象に、必修科目「創造設計工作実習」の中で、アルミニウム合金(Al-Si合金)の砂型鑄造に関する実習が行われている。ここでは、機械工学専攻の教員だけではなく、工学研究科工作センターのスタッフの支援のもと、工作センターの鑄造室を利用して実習が行われているとのことである。

いくつかの高等専門学校や工業高校、工科高校では、これまでは銑鉄の溶解・鑄造実習などを実施し、パイプや減速機などの実用品までの一連の製造実習(素材の鑄造から加工、組立てまで)を通してモノづくり教育を実施していたが、最近では溶解・鑄造の実習自体はされていても最終の実用製品まで完成製作するという実習までは行われていない傾向がある。日本鑄造工学会では、高校生にものづくりを体験させ、より多くの理系を目指す人材を育成する目的で「理系応援プロジェクト」を展開している。このプロジェクトの一環として、日本鑄造工学会関西支部では、(1)高校生を対象とした鑄物教室および工場見学、(2)工業高校や工科高校への授業・実習支援、といった活動が行われている。(1)の活動については2014年から実施され、これまでに関西地区における鑄造工場敷地内にて造型作業を行い、各生徒が各自の鑄型に溶湯を鑄込むという作業を7校・64名の生徒が体験した

* 近畿大学；教授(〒577-8502 東大阪市小若江 3-4-1)

** 兵庫県立大学；教授

*** 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

**** 兵庫県立工業技術センター；部長

***** 愛知教育大学；教授

Metal Casting and Sand Mold: (3) Sand Casting Practice at University; Kazunori Asano*, Takeshi Nagase**, Shigeo Kashiwai***, Takahiro Kaneyoshi**** and Kazuhiro Kitamura***** (* Kindai University, Higashi-Osaka. **University of Hyogo, Himeji. ***The New Industry Research Organization (NIRO), Kobe. ****Hyogo Prefectural Institute of Technology, Kobe. *****Aichi University of Education, Kariya)

Keywords: *university education, sand casting, practice, while metal, sprit pattern, finishing*

2022年1月6日受理[doi:10.2320/materia.61.493]

(ピューター合金溶湯・13名、鋳鉄溶湯・51名)⁽³⁾⁽⁴⁾。(2)は、工業高校・工科高校の中にはこしき炉が設置され、鋳鉄の溶解を含む本格的な鋳造実習が可能であるが、溶解作業を指導できる教員が年々減少する、あるいは情報・プログラム・3DCAD/CAM・レーザ加工などの別の実習に置き換わるなどの理由により、鋳造実習に充てる時間が少なくなっているという現状に対応した活動である。大阪府立城東工科高校の例を紹介すると、工科高校側から日本鋳造工学会関西支部に自校で保有するこしき炉操業に立ち会い意見をいただきたいという希望があり、日本鋳造工学会関西支部の支援によって、こしき炉の築炉や操業条件・溶解温度・成分・機械的性質などの確認検討作業を工科高校と日本鋳造工学会関西支部の協同行い、次年度以降の鋳造実習をさらに充実した内容にしていく、といった活動がある。このような工業高校や工科高校での授業・実習への直接的な支援は、日本金属学会では皆無であるように思われる。日本鋳造工学会では、工業高校や工科高校との連携を活かして、実際の「鋳造」の体験だけではなく、授業・実習を大きく支援することまでも含めて、「鋳造」の魅力を高校生に発信するというプロジェクトが進行している。

3. 近畿大学における実習内容

近畿大学理工学部では、昭和37年(1962)に金属工学科が設置された。設置当初から鋳造を専門とする教員が多数おり、関西において鋳造に関する教育と人材の輩出に大きな役割を担っていた。平成14年(2002)の理工学部改組に伴って金属工学科は廃止され、著者を含めて5名の鋳造を専門とする教員は機械工学科へ異動となった。当時の機械工学科では機械工学の4力学(材料力学、熱力学、流体力学、機械力学)を中心とした教育を行っていたが、実験・実習に鋳造はもとより、材料試験も組み込まれていなかった。新機械工学科カリキュラム編成の際には、旧金属工学科の教員が機械工学における金属材料工学の重要性を強く主張したことが功を奏し、新機械工学科のカリキュラムには金属材料工学に関連する複数の科目が学年をまたいで組み込まれることとなった。

現在の機械工学科は「ものづくりの中核を担う機械技術者の育成」を教育目標に掲げ、カリキュラムは4力学に「材料工学」「制御工学」を加えた基幹6分野を機械工学の基礎として、これら複数の基幹教科目を束ねるための機械設計・製図・機械工作法関連科目を土台に編成されている⁽⁵⁾。材料工学の観点からカリキュラムマップを眺めると、「工業材料」(2年生前期)、「材料工学演習実験」(2年生後期)、「材料組織学」(3年生前期)、「鋳造工学」(3年生後期)のフローを形成している。「材料工学演習実験」以外は選択科目であるが、学科の大半の学生が受講している。これが「機械工作法」「機械加工実習」「金属加工実習」「機械加工学」「塑性加工学」といった加工系科目や4力学など他科目群のフローと4年生でつながる形となっている。このうち、「機械加工実習」(2年生前期、必修1単位)では汎用旋盤、鋳造・手仕上げ、

CAD/CAMの3つの実習が行われている。機械工学科1学年は200名弱在籍しているが、これを1班あたり約16名に班分けし、各班に対して教員1名と大学院生のティーチングアシスタント2名が指導に当たる。これらの実習を班に分かれて順に行っていく。著者は鋳造・手仕上げ実習を担当しており、鋳造1日(2コマ)、手仕上げ1日(2コマ)が割り当てられている。手仕上げは学生自身が鋳造した鋳物から湯口、湯道などを切り離し、製品本体(プレート部)のヤスリがけを行うほか、工具を用いて手作業でアルミニウム合金板を指定形状・寸法に仕上げる実習も行っている。

鋳造実習では、OBBサンドを鋳物砂に用いて造形し、ホワイトメタルを鋳造している。OBBサンドとは油分を含んだ特殊砂で、学会などが主催して行っている小中学生向けの鋳物教室でホワイトメタルの鋳造に多用されているものである⁽⁶⁾⁽⁷⁾。実際の鋳造工場では、天然または人工砂に粘結剤(粘土と水など)を混ぜて成型する生型などが用いられるが、水分量の調整や砂の再生など品質を保つための管理が難しい。OBBサンドは油分が粘結剤の役割を果たすこと、特殊な処理を施さなくてもほぼそのまま再利用が可能なおことから、鋳物教室でもよく用いられている。油粘土に比べて砂の粒子は大きく、手触りで粒状であることを認識できる。粒子があまり細かいと、成型した鋳型に注湯した際に鋳型内の空隙部(キャビティ)内のガスを外へ逃がすことができず、湯廻り不良など鋳造欠陥の原因になる。逆にあまり粗いと模型の形状(とくに表面の細かい文様)が砂型にうまく転写されない。これらの点を考慮し、OBBサンドは鋳造しやすいように適度な粒径のものを選定しているようである(なお、このOBBサンドは輸入品で、2015年にインターネットを通じて60kgを約115,000円で購入したものである。現在は販売されていないようであるが、他の団体でも鋳物教室などで使用している様子がWEBで紹介されている)。小中学生向けの鋳物教室では、湯口や湯道などを設けずに開放型を成型し、簡単な形状の鋳物を作製することも多いようであるが、大学生対象ではもう少し踏み込んだ内容にしたいと考え、開放型でなく上下分割型とし、湯口、湯口底、短い湯道(堰(せき))、ガス抜きを設けることにした。製品本体は、大学ゆかりのデザインが彫り出された板状の模型(図1)(アルミニウム合金製、長さ100、幅75、厚さ4mm)(厚さ方向に「抜け勾配」を設けているので、ここではおよその寸法を示している)を使って、薄肉のプレート状鋳物を作製することとした。ちなみに模型はデザインの異なる5種類を作製し、学生に好きなデザインを選ばせている。大学2年生とはいえ、機械工学科の学生はこの時点で鋳造についてはよく理解していないので、「鋳造とは？」から説明する必要がある。とはいえ、実習に割り当てられた時間は限られており、説明に十分な時間を割くことは困難である。そこで「鋳造とは？」などの基本的なことは授業1回目の全体ガイダンスで説明し、実習当日は実習作業における注意事項に加えて鋳造方案などガイダンスから一歩踏み込んだ内容について説明している。例えば、先述したOBBサンドの概要に加え、以下のようなことである。



図1 模型(アルミニウム合金)。



図2 模型の設置。

●湯口と湯口底の役割；湯口は重力を利用して溶湯を上から注ぐ。溶湯をスムーズに落とし込むため、湯口は流体の自由落下を近似した形状をしていること、上から注ぐことで乱れた溶湯の流れを湯口底(湯だまり)で整え、その後湯道(堰)を横方向に取り付けることで溶湯流の乱れが少ない状態で製品本体部のキャビティへ流し込むことで製品本体への空気の巻き込みや鑄型の欠損を低減できる。

●キャビティのうち、肉厚部は最終凝固部になりやすく、そこに引け巣(凝固収縮による鑄造欠陥)が発生しやすいので、通常の砂型鑄造では製品本体とは別の厚肉な空隙部(押湯)を設け、ここに引け巣を意図的に発生させる手法が用いられる。本実習で用いる製品は本体が薄く、最終凝固部になりにくいことから、引け巣などの鑄造欠陥が本体に発生しにくいことが想定されるので、湯口・湯口底が押湯の役割を果たし得る。

●抜型しやすいよう、模型には抜け勾配を設ける必要がある。

このような鑄造方案の基本的な考え方を理解させながら、得られた鑄造品の仕上がりを考察させることが大学生対象の鑄造実習ならではのポイントの1つと考えている。

最初に鑄造方案の基本的な考え方を交えて造型や注湯、型ばらし作業の注意点を説明した後、実習作業を行う。作業の概要は以下の通りである。

(1) 造型

造型作業は2名1組で行う。鑄型は2名で2つずつ作製するので、全員が1回は注湯作業を行うことができる。作業台に置いた下型用の木枠に、製品本体、湯口底、堰それぞれの模型を設置する(図2)。製品本体の模型はアルミニウム合金製であるが、それ以外は木製であり、近隣の模型製作業者に依頼して準備したものである。ここへOBB サンドを詰め、木製の角棒を使って突き固めた後(図3)、枠からはみ出した余分な砂をきれいに取り除く。

裏返して作業台に置き、その上に上型用の木枠を置いて、湯口を設置して砂を詰め、突き固める。その後模型を鑄型から取り出して完成(抜型後の下型の外観を図4に示す)。造型作業は時間のかかる工程であるが、学生たちは実習内容とは関係ない話(?)も交えながら和気あいあいと作業している。



図3 突き固め作業。



図4 抜型後の下型の外観。

(2) 注湯

鑄造実習最大の醍醐味の1つであり、学生が最も緊張する瞬間である。用いた材料は軸受用のホワイトメタル(JIS-WJ2, Sn-Sb-Cu 合金)である。人体に有害な鉛やカドミウムなどは含まれていない。ホワイトメタルインゴットを手付けのホーロー鍋に入れ、ガスコンロで約350℃に加熱・溶解、溶湯表面に残存する酸化皮膜などを取り除いた後、学生が鑄型に注湯する(図5)。

(3) 型ばらし、仕上げ

数分静置した後、製品を取り出すために型ばらしを行う(図6)。素手で触ると火傷や切傷の危険があるので、必ず手袋をはめるよう注意する。ばらした砂は金属片やゴミを取り



図5 注湯の様子.



図6 型ばらし作業の様子.



図7 型ばらし, 砂除去後の鋳物の外観.

除いた後, 再度利用する. 取り出して余分な砂をブラシで除去した鋳物の外観を図7に示す. 湯口, 湯口底, 堰, ガス抜きが製品本体に着いた状態なので, 弓のこで切断(あるいはペンチで折り曲げる), ヤスリがけを行って仕上げる. 造型の際に上下の型合わせが不十分で見切り面(分割面)の隙間から溶湯が漏れ, 大きなバリが発生することもある. バリが発生すると仕上げ作業に手間がかかるが, 素手で触ってもけがをしない程度にヤスリがけした後, ノギスで寸法を測定し, アルミニウム合金製の本体模型のそれと比較する(図8).

大半の学生が1回の注湯できれいな製品を作るが, 中には湯廻り不良が生じるなどでうまくできない場合もある(図9). うまく鋳造ができなかった場合には学生とともに原因を考え, レポートにまとめさせる. 作製した製品は各自持ち帰ってもらうので, よりよい作品を持ち帰りたいと考え, 2回



図8 模型(左)と鋳物(右)の外観.



図9 湯廻り不良.

目, 3回目の鋳造を申し出る学生もいる. 造型作業から行うので時間はかかるが, 時間の許す限り気の済むまで再チャレンジをさせている.

「機械加工実習」の成績は「製品の完成度」と「レポート」で評価している. レポートについては内容や体裁などの細かい評価項目を設けて評価しているが, 「製品の完成度」の評価が難しく, 大きな問題なく完成させていれば満点としているのが現状である. よりの確なルーブリックも取り入れながら, 客観的・定量的な評価を行うことが今後の課題と考える.

4. コロナ下での実習

新型コロナウイルスの感染拡大によって, 近畿大学でもキャンパス内への学生の入構が制限され, 緊急事態宣言発出期間中は原則 Zoom を用いた遠隔授業を行うこととなった. 講義・演習科目はともかく, 実験・実習科目については, 学習・教育目標をどのように達成させるか, 苦慮された先生も多いと思う. 「機械加工実習」のシラバスでは「実習を通して, 加工方式を“体験的に”学習・理解できる.」という学習・教育の到達目標を掲げており, 遠隔授業のみでこの到達目標を達成することは困難である. そこで, まず緊急事態宣言発出中は遠隔授業によって以下のように進めた.

① 実習で行う作業の説明と実演を授業時間内にライブ配信(図10)

② ライブ配信は録画し, 9分程度の動画に編集して YouTube に限定公開(学生には後の「補足実習」の前に再度視聴し, 内容を把握しておくよう指示)

テキストや資料, 課題の配布, レポート提出, 出欠チェッ



図10 遠隔授業の様子(ライブ配信と編集動画の提供を併用)。

ク、質問受付などは大学の基本方針に従い、Google Classroom を用いた。

緊急事態宣言が解除され、入構人数制限のもと実験・実習科目が対面形式で行うことができるようになったタイミングで、“体験的”学習をさせるための「補足実習」を設定した。補足実習は正規の授業時間とは別に放課後や土曜日に設定し、前期試験直前と試験期間中には設定しないよう配慮した。時間が限られている上に、三密を避けるために通常よりさらに少ない人数でおこなう必要があったため、通常の半分程度の人数(約8名)に班分けし、通常1日2コマ連続で各班1つの実習を行うところ、1コマで終わるようにした。通常行う実習前の説明は先述の①②で理解させ、実習当日の説明は最小限とした。このようにして、前期試験が終了し、夏期休暇に入る前にすべての班が予定通りの補足実習を終え、レポートを提出できるようにした(これより遅くなると前期成績の提出に間に合わず、「製品の完成度」を成績に加味することが困難であった)。

5. 授業評価(アンケート)

レポートの最後に感想を書かせていたので、主なものを以下に示す。学生の感想を率直に伝えるため、ほぼ原文のまま読みづらいことをご了承いただきたい。

- ①造型作業は説明を聞くと簡単な作業だと思っていたが、実際行くと特に砂の突き固めは思ったより力加減が難しく、うまくいかなかった。繊細な作業が必要であることを経験できて良かった。
- ②鋳型がうまく製作されていないと鋳物の出来もよくないので、造型の重要性を痛感した。
- ③鋳型作製、とくに上型の作製に時間がかかったが、実際に自分で行ってみて鋳造の手軽さに驚いた。
- ④注湯によって鋳型が膨張し、模型より厚い鋳物ができてしまったので、鋳型の強度が必要であることがわかった。
- ⑤砂型は一度鋳造してしまうと型を崩さないといけな。つまり、できたものはオンリーワンのものである。そう思う

と気になっていた鋳物のわずかな凹凸に愛着がわいてきた。

- ⑥型に流し込むだけなのでそこまで差は出ないかと思っていたが、流し込むのにも技術が必要であり、その技術がないと綺麗な鋳物ができないということがわかった。
 - ⑦CAD/CAM 実習や汎用旋盤実習とは全く異なる加工法なのであわせて学習できて理解の幅が広がり、有意義な実習となった。
 - ⑧模型には小さな文字や装飾が含まれていたが、鋳型に問題なく反映され、複雑な形状の加工に適する鋳造の長所を実感することができた。溶湯を流し込む作業は湯口を整えることで容易に、スムーズに行うことができた。完成した製品には凹凸が認められたが、鋳造の特徴を鑑みて十分評価できるものとなったのではないと思う。
 - ⑨砂を使って型を作り、そこに溶湯を流し込むというのは去年の機械工作法で学んで知っていた。しかし、「本当に砂で型を作れるのだろうか?」、「湯道はどうやって確保するのだろうか?」という疑問があった。今回、実際に材料や道具に触れ、鋳物を作ることでそれらを解決できた。
 - ⑩大量生産可能であり、複雑な形状のものも製作可能という点から、現在でも広い分野において使用されていることに納得した。この利点は鋳造にしかないと思うので、将来的にも広く役に立つ加工方法であると思う。
 - ⑪現代では機械などを使って簡単に短い時間で大量にものづくりをすることが簡単になってきているが、昔の人はこれを全部手作業でやっていたのを考えると鋳造工程の大変さと現代がいかに便利な世の中なのかを実習を通して感じる事ができた。
 - ⑫他の実習と比べて力が必要でたいへんだったが、やりがいもあり楽しかった。
 - ⑬手作業だけで完成度の高い製品が短時間で作れることを肌で感じる事ができた。
 - ⑭これまで2人で金属を加工する作業はしてこなかったので、新鮮で、協力することで自分の気も引き締めりとてよい体験になった。
 - ⑮今、コロナでオンライン授業が中心に行われている中で、実際に触れて作業してみることによって、画面越しの説明だけではわからないことも感じ取れて、すごく意味のあるものだった。
 - ⑯楽しかったが、もっと融点が高い金属で実験してみたいと思った。
 - ⑰今回はうまく成形できなかったのですが、機会があればきれいな鋳物を作りたい。
 - ⑱鋳物を作ったことで改めてモノづくりの楽しさを知れたので良かった。
 - ⑲人生で初めての経験だったので緊張したが、とてもわくわくした。
 - ⑳映像等でしか見たことがない鋳造を自ら体験でき、貴重な経験ができ、よかったと思う。
- アンケートの結果をまとめると、「鋳造の難しさ」を挙げた感想が7件、「楽しかった」など、好意的な感想が7件、

鑄造の長所がわかったという感想が2件あった。本稿の主テーマは「砂型」であるため、多くの学生が関心を持ったであろう注湯作業ではなく造型作業に関する感想を抜き出そうと考えていたが、むしろ造型作業に関する感想が多かったのは意外であり、抜き出しの必要はなかった。時間と手間がかかり、力加減とチームワークも必要な造型作業を手作業で行うことは、こちらの考えている以上に学生にとって印象深かったのだろうと思う。特にコロナ禍で共同作業が制限される中、協力して造型作業を行うことができたことで楽しさは倍増したのであろう。鑄造実習における造型作業の意義と重要性を改めて痛感した。

6. お わ り に

今回用いた OBB サンドは取り扱いが容易であることも手伝って、限られた時間で多くの学生一人一人が造型・鑄造作業を行うことに多大な役割を果たしていると感じた。一方、実際の鑄造現場で用いられる生型あるいはそれに近い砂型(CO₂型など)を用いて、アルミニウム合金や鋳鉄の鑄造実習を行うことができれば、学生にとっても機械部品などをよりイメージしやすくなるかと考えられる。この場合は、限られた時間で多くの学生全員に造型・鑄造を体験させるのは困難であることに加え、砂の管理や廃棄の問題も考慮しなければならない。現在のカリキュラムにおいては、これまで行ってきた OBB サンドを用いた造型・鑄造作業を個々に体験させつつ、数個のアルミニウム合金(あるいは鋳鉄)鋳物の作製(多くの学生にとっては見学のみになる)を組み合わせるのが現実的かと考えている。現在は手仕上げ実習にも2コマ設けているが、今後は鋳物の仕上げのみとし、アルミニウム合金板の仕上げはやめても良いと考えている。最近、大学に砂

型作製の3Dプリンタが導入された。今後は、中子を用いた通常の砂型に加え、3Dプリンタによる中子や抜け勾配の不要な砂型を作製し、これを用いてアルミニウム合金(あるいは鋳鉄)鋳物を作製し、比較することで、中子の重要性和、中子や抜け勾配の必要がない最新の鑄造技術を体験させたいと考えている。合わせて、大学のオープンキャンパスや学会のイベントにおける鑄造技術の啓発活動をより積極的にを行い、関西以外の地方との連携を強化して全国的な活動推進につなげていければと考えている。

文 献

- (1) 永瀬丈嗣, 柏井茂雄, 兼吉高宏, 浅野和典, 北村一浩: まてりあ, **61**(2022), 340-345.
- (2) 柏井茂雄, 兼吉高宏, 永瀬丈嗣, 浅野和典, 北村一浩: まてりあ, **61**(2022), 437-442.
- (3) 道浦吉貞: 鑄造工学, **91**(2019), 125-127.
- (4) 例えば, 日本鑄造工学会関西支部通信, **3**(2016), 10-13., **4**(2017) 11-13, **5**(2018), 25-30, **6**(2019), 25-30.
- (5) 近畿大学理工学部・大学院総合理工学研究科ホームページ <https://www.kindai.ac.jp/science-engineering/education/>
- (6) 安斎浩一, 及川勝成, 板村正行, 平田直哉, 後藤育壮: 素形材, **52**(2011), 46-49.
- (7) 唐田裕介: まてりあ, **58**(2019), 158.



浅野和典

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★
 1994年 近畿大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2005年 博士(工学)(近畿大学)
 1994年4月-2006年3月, 近畿大学理工学部助手
 2006年4月-2012年3月, 近畿大学理工学部講師
 2010年9月-2011年8月, シェフィールド大学客員研究員。2012年4月-2018年3月, 近畿大学理工学部准教授。2018年4月-現職
 専門分野: 鑄造, 金属基複合材料
 ◎鋳鉄, アルミニウム合金, マグネシウム合金鋳物を中心に, 鑄造技術を用いた異種材料の複合化などによる材料の高付加価値化に関する研究を行っている。
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★