

# 寒冷地冷熱を利用した冷凍鑄型の非鉄合金鑄物への適用

岩 淵 義 孝\* 小 林 勲\* 中 西 巧\*\*

## Application of Frozen Mold to Nonferrous Castings by Using Cryogenic Energy

Yoshitaka IWABUCHI\* Isao KOBAYASHI\* Takumi NAKANISHI\*\*

**Abstract** Frozen mold was made by freezing the mixture of sand and water without binder. The bonding strength of the frozen mold changes according to the temperature after pouring and then it collapse at room temperature. Therefore, the frozen mold excels in molding operation, shaking-out and preventing environmental pollution. This study was carried out to determine the suitable molding condition and obtain its advantage by using Al-Si alloy castings. Laboratory examination leads that the optimum grain size of sand is around 150 μm and the moisture content in the mold ranges 5 to 6%. The mold needs to be frozen below 253K so as get the comparable strength to the conventional mold. It is noted to the frozen mold offers the preferable properties to the conventional mold

**Key word** : Frozen mold, Moisture, Sand, Porosity, Surface roughness, Dendrite arm spacing,

### 1. 緒 言

粘結剤を用いずに、水と鑄物砂を混合して冷凍させて固化させた鑄型を冷凍鑄型<sup>1)-4)</sup>という。この冷凍鑄型は鑄造後、常温になると砂型の固化が失われるため崩壊するので、型ばらしが容易で、砂の再利用に関しても利点が多い。

道東では厳寒期に-15℃を下回る期間が多く、自然の冷熱によって冷凍鑄型の造型が可能と予想され、自然の冷熱による工業化が可能であれば、省エネルギーおよび環境負荷低減の観点からも、その効果が大きいと考えられる。

本研究でAl-Si合金を対象に、冷凍鑄型の性能と、得られる鑄造品の品質について、現行鑄型との比較試験を行った。

### 2. 冷凍鑄型の特徴とメリット

冷凍鑄型を用いた鑄造プロセスでは、これまで鑄型を製造する際に必要であった粘結剤を必要とせず、地球環境に優しい鑄造法である。また、注湯後冷凍鑄型は自然に崩壊するので、鑄型から製品の取り出しが非常に簡単であることから、作業環境が良く、造形費用、産業廃棄物費用が低減され、製品歩留まり向上が見込めるなど、経済性が優れている。

図1<sup>5)</sup>は従来の鑄造プロセスと、冷凍鑄型による鑄造プロセスを比較したものである。

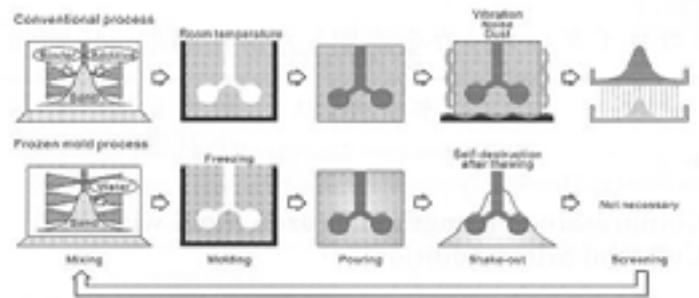


図1 従来鑄造プロセスと冷凍鑄型プロセスの比較<sup>5)</sup>

したがって、冷凍鑄型では次のようなメリットが期待される。

- ①環境配慮(エコロジー)企業としてアピール
- ②ランニングコストの大幅な低減
- ③作業改善による従業員の確保
- ④職人技が不必要となり作業が簡素化

### 3. 研究内容および実験方法

本試験で実施した研究内容をまとめると、以下の通りである。

- ①冷凍鑄型として適用可能な限界冷却温度の決定
- ②冷凍鑄型製造プロセスの確立
- ③冷凍鑄型適用鑄造品の選定
- ④冷凍鑄型鑄造品の優位性抽出

これらに関する具体的な試験項目ならびに実験方法は次の通りである。

\* 釧路高専機械工学科

\*\*釧路高専(現(株)アルバックス)

(1) 鑄型強さと冷凍温度の関係

円柱試験片(40mm直径×40mm高さ)を作製して、砂粒径(108~340 $\mu$ m)、水分量(3~7%)を変化因子として、圧縮強さと鑄型ならびに冷凍温度(293~213K)との関係を測定した。

(2) 鑄型製作と溶解・鑄造

木型は図2に示すYブロックであり、普通鑄造に用いられている東北砂6号に、水分を任意%含ませて造型した。素材は鑄造性を考慮して、市販の25%Si-Alマスターアロイと工業用純Alを用いて、AC3A相当の13%Si-Alを1073Kで溶製・鑄造した。

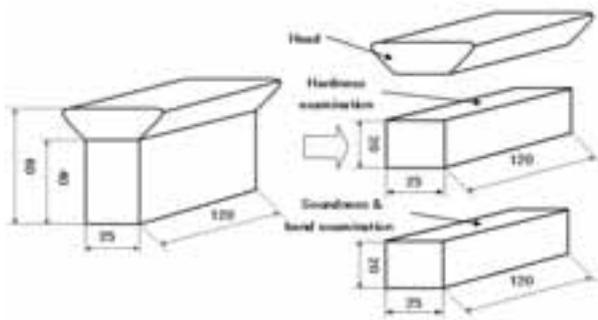


図2 木型形状および試験片採取要領

(3) 鑄造品質項目と試験方法

鑄造素材は押湯を切断除去した後、本体を2分割し(図2)、以下の試験に供した。

①表面性状調査

レーザー顕微鏡を用いて、鑄物上部と横部のそれぞれ3箇所から、3次元の凹凸を観察することによって表面粗さを測定した。

②内部健全性調査

エメリー研磨した後、10%NaOH水溶液に1時間ほど浸漬し、素材表面を腐食させて欠陥部分を露出した後、目視ならびに浸透探傷試験によって、ポロシティ分布を測定した。

ここで、ポロシティの分布は1cm<sup>2</sup>の範囲の中を測定し、欠陥の大きさを浸透探傷の色であることがわかる程度をレベル1、ポロシティが肉眼で確認できる大きさをレベル2、ポロシティの底部まで肉眼で確認できる大きさをレベル3と3段階に分類した。

③デンドライト形態観察

レーザー顕微鏡を用いて、デンドライトアームスペーシング(樹枝間距離)を測定した。

④硬さ測定

ビッカース硬さ試験機により10kg荷重で、硬さ測定を行った。

⑤曲げ試験

20×15×120mm試験片を作製し、精密万能試験機を用いて3点曲げ試験を行い、最大曲げ応力と撓みを測定した。

4. 結果および考察

4.1 鑄型の強さに及ぼす諸因子の影響

4.1.1 鑄肌性状に及ぼす鑄物砂粒度の影響

硅砂6号鑄物砂の粒径は340 $\mu$ mであり、これを粉碎して108~192 $\mu$ mにして、192 $\mu$ m鑄造素材の表面を観察した結果、340 $\mu$ m粒径の場合、鑄造後の鑄物表面の凹凸が著しいことがわかった。それに比べ粒径を192 $\mu$ mにして、粒度を一般用肌砂に近づけると、鑄物表面は普通鑄物の表面と同じくらいの凹凸になった。これより、冷凍鑄型に使用する砂の粒度が、鑄造後の鑄物の表面性状に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

4.1.2 砂型強度に及ぼす水分量の影響

水分含有量による砂型の圧縮強度を図3に示す。普通鑄型の強度は約2MPa付近であるから、水分を3%含ませて作製した砂型を凍結させるだけで普通鑄型の砂型に匹敵する強度が得られることがわかる。

しかしながら、水分が7%を超えると鑄造したときの高熱により、砂の中に閉じ込められた水分が急速に蒸発し、体積の膨張に伴い破裂と水蒸気爆発の恐れがあるため、本研究では十分な強度が得られ、扱いやすい5%の水分を最適水分量として、以後の試験を行った。

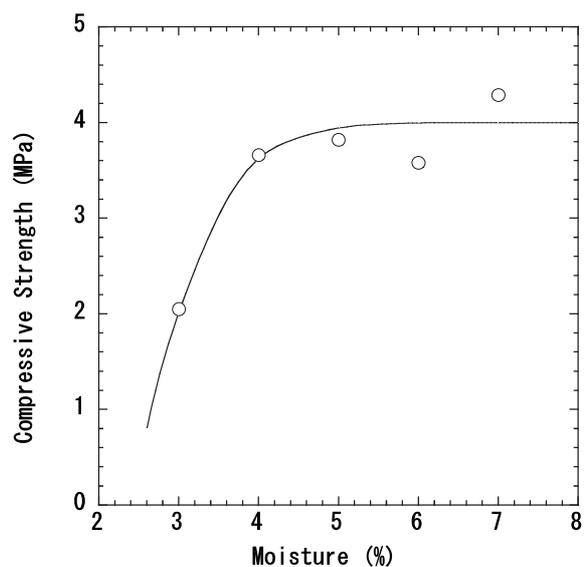


図3 砂型強度に及ぼす水分量の影響

#### 4.1.3 砂型強度に及ぼす鑄物砂粒度の影響

図4は鑄物砂粒度を変えて作製した砂型の圧縮試験の結果である。これより、砂を微細化させることで圧縮強度は幾分向上するが、150 $\mu\text{m}$ 付近を越えると硬さが低下するので、本研究では150 $\mu\text{m}$ 付近の鑄物砂粒度を最適粒度とした。

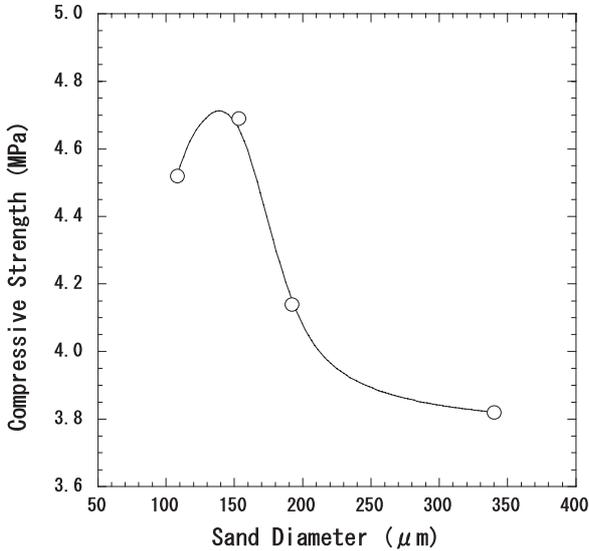


図4 砂型強度に及ぼす鑄物砂粒度の影響

#### 4.1.4 砂型強度に及ぼす凍結温度の影響

最適水分量5%、最適粒度の砂型を213~268Kの冷凍温度で凍結させて、圧縮強度試験を行った結果を図5に示す。冷凍温度の低下とともに強度が増加することがわかる。これより、普通砂型鑄型の強度2MPaを満たすには冷凍温度を253K以下にしなければならないことがわかる。

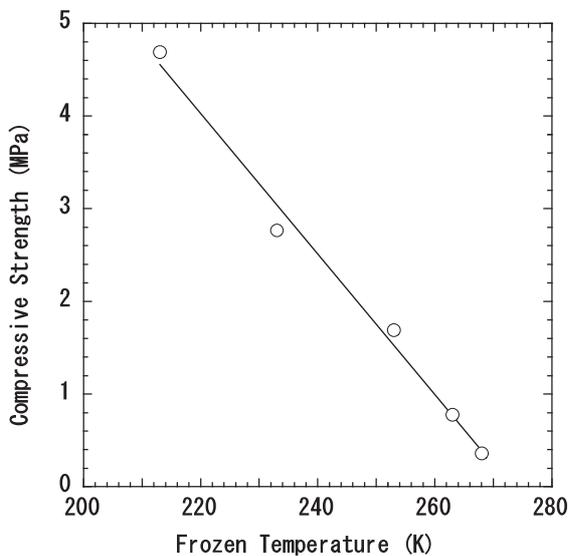


図5 砂型強度に及ぼす凍結温度の影響

釧路の厳寒期における夜中の気温は、平均すると287Kであり、外気で凍結させても、普通鑄型の1/3ほどの強度しか得ることができない。外気による冷凍鑄型が普通鑄型の強度に匹敵することを求める場合は、最低気温が253Kを下回るような、より厳寒地方で行う必要があると考えられる。

### 4.2 冷凍鑄型鑄物の諸性質

#### 4.2.1 表面粗さ

レーザー顕微鏡による鑄物表面粗さ測定結果を、冷凍温度との関係で図6に示す。冷凍鑄型は鑄型に含まれた水分を凍結させるので、鑄型内の隙間を埋めてしまうので、溶湯によって蒸発した水蒸気は鑄型内部を通過して外部にすることが難しい。したがって、水蒸気は溶湯側へ移動するため、鑄物表面部に凹凸が発生するものと考えられる。

つまり、鑄型の冷凍温度が低いほど水蒸気になる時間が遅く、金属が急速に冷やされるので、水蒸気が鑄物表面と鑄型表面に閉じ込められ、表面が粗くなったものと考えられる。

一方、冷凍温度が高くなると、水分の凍結による鑄型強度が低く、注湯時の溶湯圧によって鑄型が変形し、鑄物表面に凹凸ができたものと推測される。これより、表面性状の観点から、最適冷凍温度は253~233K付近と判断される。

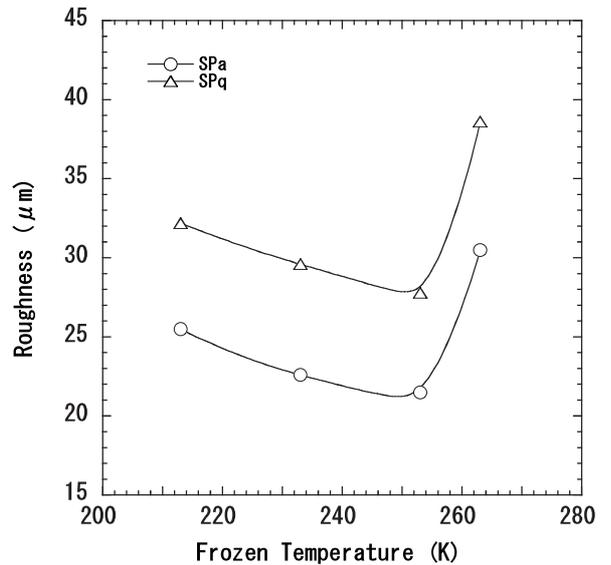


図6 鑄物表面粗さに及ぼす冷凍温度の影響

#### 4.2.2 内部健全性

図7に鑄型冷凍温度を213~268Kに変化させ、鑄物中央部と左右の3箇所のポロシティ数を、レベル別に示したものである。ここで、常温(293K)は普通

鋳型の結果である。

冷凍温度が 213K と 233K を比較すると、温度の低下に伴ってレベル 3, 2 の割合が減少し、ポロシティ数も減少している。また、冷凍温度 253K では、レベル 1 以外のポロシティがみられなかった。しかし、253K を超える温度では、再びポロシティ数の上昇傾向が認められる。冷凍温度 268K においては、普通鋳型で作製した鋳型の欠陥数に達していることから、冷凍温度が 263K~273K までの範囲では、普通鋳型に比べて冷凍鋳型の内部健全性が低くなると判断される。このように、優れた内部健全性を得るためには、冷凍鋳型の温度を 253K 付近にすることが望ましいと考えられる。

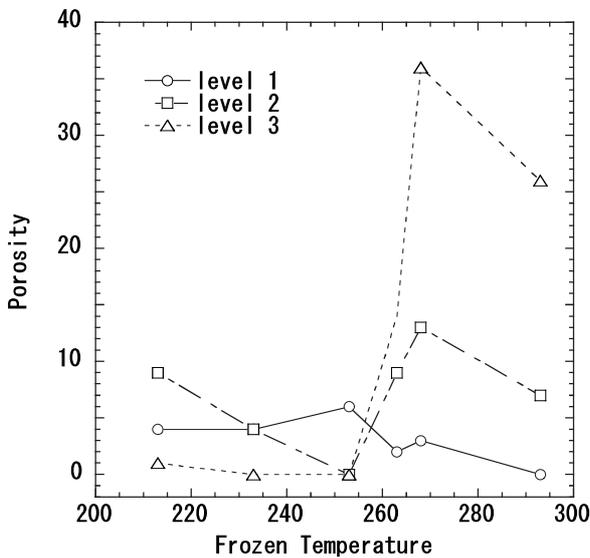


図7 鋳物の内部健全性に及ぼす凍結温度の影響

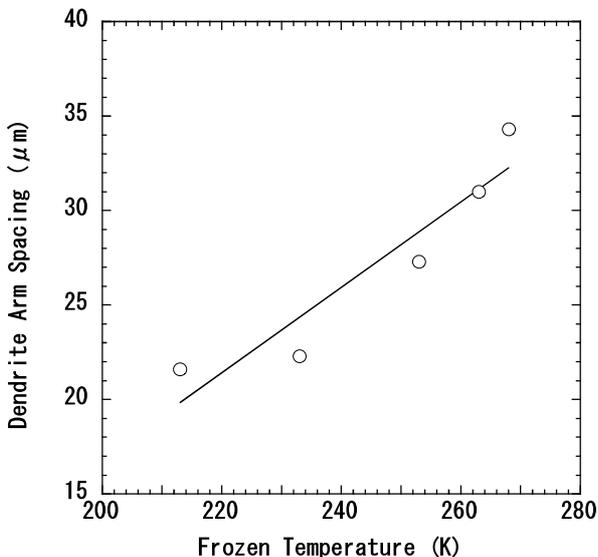


図8 デンドライトアームスペーシングと凍結温度の関係

デンドライトのアームスペーシングと凍結温度の関係を図 8 に示す。このように、凍結温度の低下とともにデンドライトのアームスペーシングは小さくなるのがわかる。

デンドライトアームスペーシングは次式で表されることが報告<sup>6)</sup>されており、凍結温度の低下は鋳物の冷却速度を大きくすることで、デンドライトアームスペーシングを小さくするものと考えられる。

$$d = d_0 \left[ \frac{mC(k-1)}{V} \right]^{1/2}$$

ここで、 $m$  は液相線勾配、 $C$  は合金元素の含有量、 $k$  は平衡分配係数、 $V$  は冷却速度、 $d_0$  は定数である。

これより、デンドライトアームスペーシングが小さくなると、樹間領域も狭くなるため、凝固収縮に伴って生じる大きなポロシティが少なくなるものと推測される。

#### 4.2.3 硬 さ

鋳物の硬さに及ぼす凍結温度の影響を図 9 に示す。このように、いずれも HV43 前後の硬さを有しており、鋳型温度の影響は小さく、デンドライトアームスペーシングの大きさよりも、溶製ごとの組成変動が支配的であると推測される。

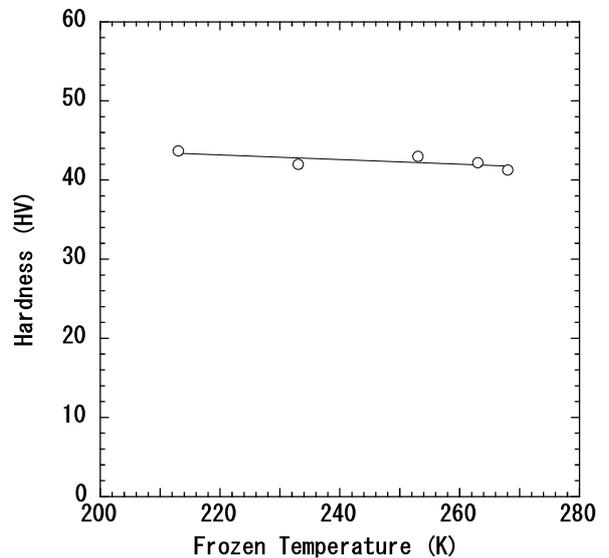


図9 鋳物の硬さに及ぼす冷凍温度の影響

#### 4.2.4 曲げ強さ

図 10 に 213~253K の冷凍鋳型と、常温普通鋳型で鋳造した鋳物の荷重-変位曲線を示す。いずれも弾性変形の後わずかな塑性変形を示して破断する。

鋳型温度により最大曲げ荷重や、たわみに幾分相

違は認められるが、鑄型温度を変化させても、荷重－変位曲線に大きな差はなく、冷凍鑄型の鑄物は普通鑄型の鑄物の強さや延性に匹敵する性質が得られることがわかる。

他方、デンドライトアームスペーシングとの関係で曲げ強さをみると、図 11 に示す通りバラツキは大きいですが、デンドライトアームスペーシングが小さくなると、曲げ強さが高くなる傾向が認められる。これより、鑄型温度を低下すると鑄物の冷却速度が大きくなり、凝固組織が緻密になることで曲げ強さが高くなるものと考えられ、冷凍鑄型では機械的性質の向上が期待される。

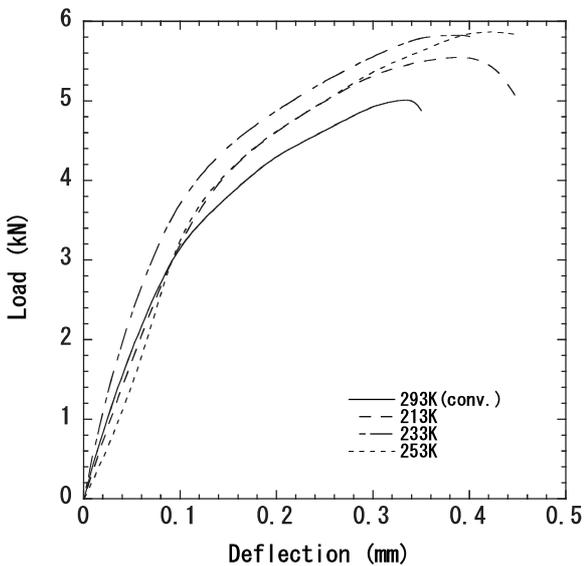


図 10 各鑄型で鑄造した鑄物の荷重－変位曲線

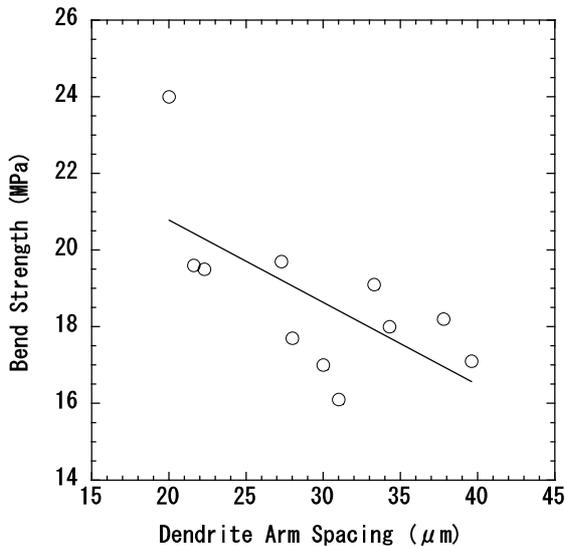


図 11 デンドライトアームスペーシングと曲げ強さの関係

## 5. 結 言

冷凍鑄型の最適製造条件と、その優位性について実験を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1) 鑄型に使用する砂の粒度は  $150\mu\text{m}$  付近が良い。
- (2) 水分の蒸発を考慮し、水分調節が不要で連続的に使用でき、凍結時に強度が高いことから、水分含有量は 5～6% が適切である。
- (3) 普通鑄型の強度 (2MPa) に匹敵させるためには、鑄型の冷凍温度は 253K 以下が望ましい。
- (4) 233～253K で冷凍した凍結鑄型を用いると、普通鑄型に比べ、鑄物性状の向上が期待できる。

本研究は平成 20 年度「釧路工業高等専門学校と釧路工業高等専門学校地域振興協力会との共同研究」の一環として行った。付記して感謝申し上げる。

## 参考文献

- 1) 喜多, 日野, 富永: 鑄物, 52(1980), pp. 28
- 2) 箕輪, 太田, 二宮: 鑄物, 53(1981), pp. 309
- 3) 大川, 渋谷, 永井: 埼玉県産業技術総合センター 研究報告, 2(204), pp. 35
- 4) 松元, 前田, 福田: 鑄造工学, 80(2008), pp. 370
- 5) 清水: 「北海道鑄物産業における中核人材育成プロジェクト」(2009)
- 6) 岸武, 岡本: 鉄と鋼, 63(1977), pp. 425