

砂の流動層利用によるフルモールド造型の最適化に関する研究

報告者	高橋 一英	研究種目名	奨励研究
職名	技術職員	研究期間	令和3年度
参加研究者	なし		

「砂の流動層利用によるフルモールド造型の最適化に関する研究」 審査区分：2140, 課題番号 21H04078

1.研究目的

流動層は、密閉容器中の砂に空気を送入すると、砂粒間の隙間に空気が入り込み、砂粒に流動性運動を与え、砂全体が液体同様の粘性と比重を持つ状態である。流動層を利用して、フルモールド鑄造発砲模型の複雑で微細な内部構造にも対応可能な適格条件を導くことが研究目的である。

2.研究概要

研究では、鑄型の底に空気送入ホース内径 $\Phi 15\text{mm} \times 3\text{m}$ が渦巻状に置かれ、ホース上部に穴 $\Phi 2\text{mm}$ を 15mm 間隔(実験値)であける(図1, 図2)。流動層は、コンプレッサー最大圧力 0.97MPa 、吐出量 $605\text{L}/\text{min}$ 、空気で砂の流動化を制御する。珪砂6号を鑄型に充填し、ホースの空気出口1箇所での局所的な空気送入では砂全体に均等に空気を送り込めないことから、鑄型の底から渦巻状に空気を吹き込む。

砂粒子はある高さまで浮遊し、激しく動き回る状態になる。エア配管のコック全開ではマグマの様に噴出するため(気系流動層)、コックを絞り安定的な流動化(液系流動層)状態に近づけ、フルモールド鑄型における発砲模型内部の複雑形状空洞部分について、“鑄砂の充填効率条件”を特定する。また、鑄型のガラス面越しに動画撮影を行い、砂が溝を埋めていく状況を評価観察する。

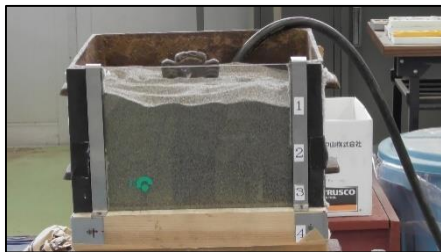


図1 鑄型



図2 空気送入ホース

3.流動層実現のための予備実験(条件設定)

密閉度が悪い鑄枠による鑄型実験を想定して、砂が漏れず空気が逃げない、密閉度100%のポリ容器を“先行予備実験”として採用する(図3)。鑄型からポリバケツ容器の簡易的実験に切换え、送入空気圧・空気量を調節し、流動層状態の実現を即効的に目指す。



図3 ポリ容器

(1) ポリ容器密閉実験

1) ポリ容器を鑄型に例え実験する。空気送入ホース口の先端はエアガンを外し開放、ポリ容器底付近から砂に空気を送り込む。空気圧・送入空気量の調節は、コンプレッサーBCP-58T（小型）のレバーコックで行い全開と半開の2種類で実験する。

①レバーコック全開：結果_ホースの空気出口1箇所のため圧力が高すぎ砂が飛散する状況で、連続使用により短時間で空気圧が0MPa低下、流動層状態に至らず。

②レバーコック半開：結果_コック半開1分過ぎてからコンプレッサー空気充填開始。3分過ぎてても変化なし。コック全開にするもこの時は既に0MPaに近く圧力が出てない状態、流動層状態に至らず。

2) 上記①と②の実験結果から、コックを開けた直後は、コック全開 0.78MPa→0.2MPa, コック半開 0.78MPa→0.4MPa. …0MPa. コンプレッサー能力がコック開放に圧力追従できない。コック解放を継続すれば、約1分20秒で0MPaに近くなる。一度も流動層状態に至らず。

(2) 圧縮空気容量不足によるコンプレッサー変更

空気容量確保のため、コンプレッサーBCP-58T（小型）から実習工場鑄造室用コンプレッサーMLP105-55T（中型）に変更する（表1）。

表1 コンプレッサー仕様

	圧力 (MPa)	吐出量 (L/min)	タンク容量 (L)
BCP-58T (小型)	0.78	129	58
MLP105-55T (中型)	0.97	605	170

(3) ポリ容器密閉実験の結果

コンプレッサーを変更して空気容量を増加させても流動層状態に至らず。また、ポリ容器の底から空気送入しても、ホース周辺のみ砂挙動を確認するに止まる結果となった。

(4) 流動層制御方法の改善策

1) ポリ容器密閉実験の結果から、流動層状態に至らない要因にホース1箇所では砂全体一様に空気を送入できない結果が示された。ポリ容器全体に流動層を作るには、砂全体に空気を一様に送入するためのしくみが必要である。ポリ容器の下部に、空気を一様に送入するための“穴付き底板”や“穴あけホース”による圧縮空気送入方法を検討する。

2) ポリ容器の下部にホースを定置する。空気送入ホース（内径Φ15mm）×2000mm, 3000mmの2本のホースで比較。各ホースに空気穴Φ2mmを約15mm間隔で90°ずらして交互にあげ、ホース先端出口はエアガンを撤去して塞ぐ。渦巻状に底面に置き比較実験を行う（ホース内径Φ15mmとコンプレッサーホース内径Φ10mm異径継手による接続）。スタート時はエア配管の吐出コックを全開にする。

3) 結果_ホース長3000mmが穴数多く吐出空気量が優り、砂一様にバランス良く、より安定した流動層状態をポリ容器全体に維持継続できることを確認できた（成功）。

4.流動層実験

4.1 実験鑄型の製作

H20 年度奨励研究（透明な高耐熱ガラスによるフルモールド鑄造法での砂型内部の可視化）実験に使用した鑄枠を再利用する。実験に使用する鑄枠の正面に強化ガラスをはめ込み、鑄型内部（珪砂 6 号）の砂挙動を可視化できる実験鑄型を製作する。鑄枠上下を接着剤（鑄枠面には予め耐火紐が接着しているので接着力は良好）で合わせて、ガムテープで補強する。鑄型構成：①強化ガラス_200×300mm×1 枚，②再利用鑄枠_350×350×120mm×3 枠（鑄枠 3 段/1 鑄型）。

4.2 実験概要（予備実験結果を踏まえ）

(1) コンプレッサー

※上記の先行予備実験（3.流動層実現のための予備実験）を参照のこと。

小型コンプレッサー_BCP-58T（設定圧力 0.78MPa，129 吐出量 L/min）・付属品（ホース：内径Φ8.5mm，エアガン：ノズル口径Φ2mm），鑄砂（珪砂 6 号）。

(2) 空気送入方法

※上記の先行予備実験（3.流動層実現のための予備実験）を参照のこと。

鑄型の底面に渦巻状ホースを定置する。吐出圧は 0.9MPa（9kgf/cm²）。

(3) 空気漏れ改善対策

1) 鑄型からの空気漏れが懸念されるため、硬質粘土により鑄枠間からの空気漏れを防ぐ。砂挙動を確認するため、鑄枠に強化ガラス（のぞき窓）をはめ込み可視化実験を行う。

2) 鑄型の空気漏れ改善は、鑄枠合わせ凹凸面の鑄枠全周において外側内側の両側に硬質粘土を空気圧に耐え得るよう厚く塗り空気漏れを塞ぐ。さらに外周側はガムテープで補強して鑄型空気漏れの密閉強化を図る。鑄枠合せ接触面の隙間からの空気漏れが完全な流動層状態の妨げになる。上記から鑄型の空気漏れは改善された（図 4）。

3) 砂挙動可視化の強化ガラスを鑄枠に取り付けるための木枠から僅かな空気漏れ（約 2%）はあるが、本実験に支障なく適用可能である。



図 4 硬質粘土（空気漏れ対策）

(4) 空気送入板による実験

1) 空気送入板仕様

砂全体一様に空気を送入するため、また、流動層をさらに微細化してより液状に近付くために、鑄型底部に空気送入板_AL5000 板 t1.5×370×370mm，空気穴Φ2mm（対角線上に穴あけ）を鑄枠中段と下段で挟み、下段底から空気を送入する。配管の吐出コックは全開にする。

2) 結果 空気送入板は、空気の流れを真逆に滞留させ、鑄枠下段内で圧力が上昇することから空気漏れを促す要因となり不採用とする（図 5）。



図 5 空気送入板

(5) 穴あけホースの採用

※上記の先行予備実験 (3.流動層実現のための予備実験) を参照のこと。

(6) コンプレッサー能力

※上記の先行予備実験 (3.流動層実現のための予備実験) を参照のこと。

流動層状態の維持は、鑄型砂容量（内容積）に必要な空気圧・空気量が大きく影響する。

予備実験の結果から、空気を砂全体に効率よく一様に働きかけ流動層状態を長く維持できるタンク容量が大きい実習工場コンプレッサーMLP105-55T（中型）に変更する。

(7) 砂挙動の視認性向上テスト

1) 鑄型の底部で、珪砂 6 号新砂（白色）とリサイクル砂（灰色）を準備し色の違いで砂挙動の視認性向上をテストする。 新砂とリサイクル砂の割合は 1 : 5, 新砂は鑄型上面から（鑄枠 1/2 容量）まで投入する。なお、砂飛散を考慮して、エア圧はエア配管のコック半開にして実験。

2) 結果_鑄型底からの送入空気により砂が溶岩マグマのように盛り上がり、リサイクル砂（灰色）は新砂（白色）を巻き込みながら噴出して、上面の白い砂層に新古の入り混じった砂が積層する。白い砂層は古い砂に押され下方へ移動しながら白い砂層は狭くなっていく（ガラス面で確認できる）（**図 6**）。

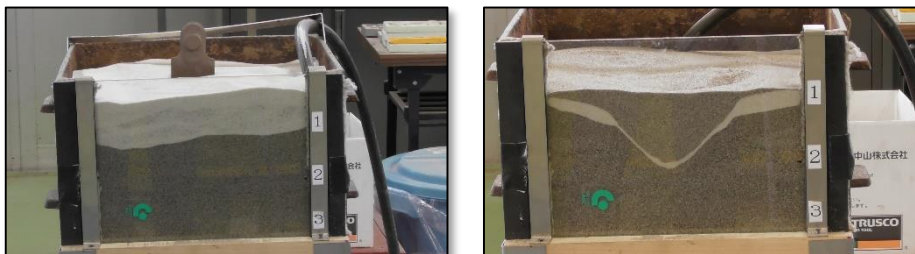


図 6 砂挙動の視認性向上テスト

4.3 CAD_発砲模型実験

発砲模型案は複雑な内部構造である内燃機関のエンジンシリンダブロックを想定する。その内部構造は冷却水を通るウォータージャケットやエンジンオイルの通路など入口から出口までの一筆書き経路であり複雑に配置されている。この形状を疑似的に可視化し易い簡略化した渦巻形状を対象に、砂進入口の向き位置を種々に変えて実験を進める。

CAD 製図_渦巻形模型寸法 120×120mm（渦巻の溝幅 4mm, 間隔 5mm, 深さ 10mm）・印刷→発砲スチロールに印刷紙を貼る→ミニルータ円柱砥石で削る→発砲模型完成→湯口方位を 90 度順次移動して発砲模型の全方位実験を行う。

4.3.1 模型をガラス面に密着させ実験（可視化）

(1) 発砲模型 1 個目製作

1) 渦巻形状 1 > 砂進入口（上向き）：1 箇所 ～空気透過型

①発砲模型の砂進口（溝幅と深さは10mm, 渦巻状通路も同様）を湯道想定（直線部長60mm）して、発砲模型の上面左側から砂が進入するように配置する。渦巻中心は出口なしの砂経路1方向止まり。ガラス面に発砲模型の渦巻形状面を密着（テープ止め）→流動層実験。

②結果_砂進口（上部）から渦巻中心より下の位置までしか砂が入らない。砂進口（上部）からガラス正面の左側部分（Jの字左右反転形）で砂止まり（最後尾の砂位置は渦巻中心以下）（図7）。



図7 渦巻形状1 > 砂進口（上向き）：1箇所～空気透過型

③撮影動画の観察から

湯口を想定した渦巻状の直線部分で発砲模型内の溝通路から空気が砂を押し上げ噴出している。発砲模型は空気透過することから、砂進口で空気噴出しながらも湯口想定直線部分に砂粒単位の僅か量が発砲模型空洞部分に落ちている。暫くすると、発砲模型の左側部分で、中心よりの一部空洞部分（Jの字左右反転形）と砂進口の順に砂が埋まり砂進口を塞ぐ。これにより、砂が進入できなくなり砂止りとなる。砂進口での空気噴出は治まるが、空気道が塞がれたことで他の空気流れを誘発し、発砲模型本体上面で砂の動きが右横にずれ空気噴出が連鎖する結果となった。

2) 渦巻形状2 > 砂進口（上向き）：1箇所～塗料塗布型

①ラッカースプレー塗布

発砲模型への空気透過を防ぐことで、溝通路の空気抵抗の影響を減らし、砂が進入し易くする狙い。発砲模型正面（渦巻側）以外の5面にラッカースプレー（在庫）の塗布及び発砲ポリスチレン用接着剤の塗布を試みる。但し、ラッカースプレーは石油系溶剤により発砲模型は少し溶け変形する。

②結果_渦巻形状1と同様（砂が溝通路の左側一部しか埋まらない）、効果なし。塗料や接着剤の塗布は発砲模型が多少溶けたがガラス面との密着に問題なし。但し、ガラス面と発砲模型面の接触は微細な隙間が生じることから、空気が発砲模型内部を透過しており、空気の完全な透過進入は阻止できない（図8）。



図8 渦巻形状2 > 砂進口（上向き）：1箇所～塗料塗布型

3) 渦巻形状3 > 砂進口（上向き+渦巻中心）：2箇所～塗料塗布型

①内燃機関シリンダブロック内部の冷却水通路は入口と出口がある。発砲模型も同様に流入砂の出口（空気抜け穴）を設ける。渦巻中心（最終部）に穴貫通して渦巻通路と接続する。但し、問題点として、砂進口2箇所の両方から砂が進入するので入口→出口の一方向性（押し力）はない。開放型通路で実験を試みる。

②結果_渦巻形状1と同様（砂が溝通路の左側一部しか埋まらない）、効果なし。また、渦巻中心の貫通

穴から砂が入り込み、すぐにガラス面で塞がれ砂が進入できない砂止りとなる（図9）。



図9 砂進入口（上向き+渦巻中心）：2箇所～塗料塗布型

4) 渦巻形状4> 砂進入口（上向き+対角線上右下の横通路+渦巻中心）：3箇所～塗料塗布型

①砂進入口は、さらに上向きと対角線上右下の横通路を追加して、発砲模型上下と中心からバランス良く、砂の進入を容易にする狙い。

②結果_右下の横通路は砂が進入すぐに塞がり、渦巻中心も同様に塞がる、左側は渦巻形状1と同様（砂が溝通路の左側一部しか埋まらない）効果なし。発砲模型は塗料（有機溶剤）後に数回使用で若干変形しており、ガラス面との密着が悪くなり、砂進入口以外からも砂が入り精度ある結果を得られていない（図10）。



図10 砂進入口（上向き+対角線上右下の横通路+渦巻中心）：3箇所～塗料塗布型

(2) 発砲模型2個目製作 テープ貼付実験

5) 渦巻形状5> 砂進入口（上向き）：1箇所

上記までの実験で、発砲模型は塗料（有機溶剤）により溶け、または歪み変形がある。精度ある実験を行うため、新規2個目を製作する。発砲模型正面（渦巻側）以外の5面にテープを貼付、発砲模型に入る不要な空気を遮断する。発砲模型の渦巻形状で空気透過がもたらす影響を実験。

①砂進入口は上向き（渦巻形状1と同様に設置）。”発砲模型の鋳型挿入時に、砂進入口から湯口想定部の直線部～渦巻部へ砂が落ちて、空気送入前に既に砂が砂進入口を塞いでいる状態”からスタートする。

②結果_渦巻形状1と同様（砂が溝通路の左側一部しか埋まらない）、効果なし。その他、a.空気を出した瞬間に発砲模型が少し浮上した、b.渦巻空洞部分に空気透過流入の気配がない、c.空気圧の強弱には影響されない（図11）。



図11 渦巻形状5> 砂進入口（上向き）：1箇所

6) 渦巻形状5> 砂進入口（下向き）：1箇所

①砂進入口は下向き（渦巻形状1と同様に設置）。

②結果_砂進入口（上向き）と比べ、砂の進入が重力に反するため、砂が溝から落下し通路に砂が溜まらない、効果なし（図 12）。



図 12 渦巻形状 5> 砂進入口（下向き）：1 箇所

7) 渦巻形状 6> 砂進入口（上向き+右上横）：2 箇所

“湯口を想定した渦巻状の直線部分”にあたる砂進入口の溝幅と深さは、渦巻溝 2 本分と同じ広さに拡大する。

①砂進入口は上向き_右上横（渦巻形状 1 と同様に設置）。

②結果_効果なし。砂進入口（右上横）から砂が全く入らない。左側は、渦巻形状 1 の J の字左右反転形と同様、砂進入口を広げた渦巻溝 2 本分が砂で埋まる（図 13）。



図 13 渦巻形状 6> 砂進入口（上向き+右上横）：2 箇所

8) 渦巻形状 7> 砂進入口（上向き+右上縦）：2 箇所

①発泡模型右側にも左側と対象位置に渦巻溝 1 本分の幅で砂進入口を設ける。

②結果_効果なし。左側は渦巻形状 6 同様の結果。右側は J の字 1 本分埋まる（砂進入口と繋がり、砂が落ちる経路しか砂が埋らない。渦巻上部は不可）（図 14）。



図 14 渦巻形状 7> 砂進入口（上向き+右上縦）：2 箇所

(3) 発泡模型 3 個目製作 ～割型_空気透過型

単体の渦巻形状側に、溝を掘らない同じ大きさの発泡模型を組合せ、割型にする（図 15）。湯口想定 of 砂進入口通路の幅と深さは、渦巻溝 2 本分と同じ広さに拡大する。



図 15 発砲模型割型_空気透過型

9) 渦巻形状 8> 砂進入口（下向き）：1 箇所

①砂進入口は下向き（渦巻形状 1 と同様に設置）.

②結果_渦巻形状の溝すべてに砂が埋まらず効果なし. 砂進入口を広げた分, 進入する入口空気量が倍になり砂が勢い良く渦巻通路に噴出, 中心を飛び越えて渦巻上部の溝に点在する程度（砂噴出力よりも重力が強くと渦巻通路に砂が溜まらない）（図 16）.

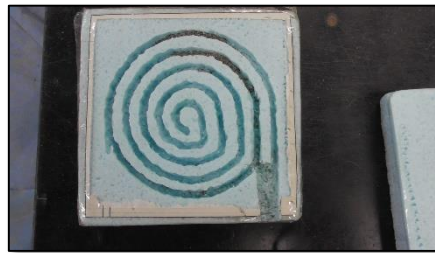


図 16 渦巻形状 8> 砂進入口（下向き）：1 箇所

10) 渦巻形状 9> 砂進入口（上向き）：1 箇所

①砂進入口は上向き（渦巻形状 1 と同様に設置）.

②結果_渦巻形状の溝すべてに砂が埋まらず効果なし. 渦巻形状 1 の J の字左右反転形と同様, 砂進入口を広げた分の渦巻溝 2 本分が砂で埋まる程度（図 17）.



図 17 渦巻形状 9> 砂進入口（上向き）：1 箇所

4.3.2 発砲模型回転実験

発砲模型（割型）を回転させ, 流動層の砂流動力+砂を機械的に渦巻状通路の溝に導く動作を考える. 発砲模型内への砂の充填率を高めるため, 発砲模型を鋳型中央で手動回転させる実験を行う.

(1) 発砲模型回転・左右振り子実験

1) 実験要領

発砲模型は渦巻形状 6 使用. 砂進入口は, 発砲模型上部の 2 箇所（左上_2 溝幅, 右上横_1 溝幅）. 発砲模型回転は鋳型砂に埋没させて回転する. 発砲模型はテープを貼らない空気透過型. ①模型回転~20 回転. ②模型回転~30 回転. ③模型左右振り動作. ④模型回転~30 回転（渦巻形状の終端に中心穴をあけて渦巻溝と接続する, 砂進入口 3 箇所とする）.

2) 発砲模型回転・左右振り子実験の結果

①～④の実験を砂の渦巻溝充填率から比較すると、①の模型 20 回転では充填率 50%で失敗、②は 60%で失敗、③は渦巻 2 溝埋まる程度、④の模型 30 回転（砂進入口 3 箇所経路）は充填率 100%成功（図 18）。



①模型 20 回転_充填率 50%(失敗)



②模型 30 回転_充填率 60% (失敗)



③渦巻 2 溝埋まる程度



④模型 30 回転(砂進入口 3 箇所経路)_充填率 100%(成功)

図 18 発砲模型回転・左右振り子実験の結果

上記の結果から、④が渦巻形状のすべての溝を砂で埋め尽くしている。砂進入口を a)発砲模型上面の左側部（湯口想定）、b)上部右側面部、c)渦巻中心部の計 3 箇所経路から砂が進入、発砲模型静止であれば、上面左側部（湯口想定）の砂進入口で流入砂が空気噴出しながら、少しずつ湯口直線通路にこぼれ落ち溜まる。最終的に進入口を塞ぎ砂の流入は止まる。しかし、模型 30 回転を継続することで、砂進入口は塞がれず、渦巻溝通路に砂を補給し続けることが判明した。

(2) 格子状模型の実験

1) 格子状模型寸法 120×120mm（砂進入口 1 箇所_縦 5×横 5 の格子溝、溝幅等は渦巻形同様）。砂進入口は、発砲模型上面の左側部（湯口想定）1 箇所砂の中で 30 回転させる。発砲模型はテープを貼らない空気透過型。

2) 結果_格子溝の充填率 100%成功。すべての格子溝に砂が入る（図 19）。

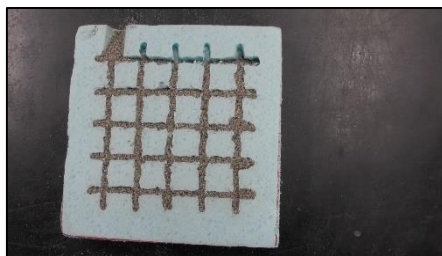


図 19 格子状模型実験の結果

5.流動層実験のまとめ

(1) 発砲模型の砂進入口を上向きで砂に埋めた場合、流動層の砂流動だけでは砂は上から下へ（重力落下）しか滞留せず、渦巻形状中心を超えない。湯口想定砂進入口から直線部～渦巻下部で砂の進入は止まる。これは、発砲模型を固定して砂進入口を上・下・横の種々方向の実験結果から分かっている。

鋳型の撮影動画を見る限りでは、発砲模型テープ貼付（不要な空気を遮断して空気透過がもたらす影響を排除）ありとなしでは、砂進入口の砂の入り方・溝の埋まり方について特段の差はない（砂進入が止まるまで）。砂がそれ以降の渦巻形状の溝通路を進めるためには、発砲模型に空気が流れた方が砂の運動性は良くなることから、発砲模型テープ貼付は却下する。流動層の砂流動だけでは、砂を渦巻形状に押し込む力がないことが撮影動画から分かった。実験前に液体の様に砂が流れ発砲模型の渦巻形状溝をすべて埋め尽くすと予測したが、上記の実験結果から、①発砲模型テープ貼付は、空気が遮られることで、発砲模型内部の砂運動性が落ちる。②砂進入口が砂で埋まり塞がれば空気流入も無くなり、それ以上の砂は入り込めず、発砲模型内部の砂の動きに進展なし。③砂進入口が下向きでは砂の動きが重力に逆らえず、渦巻上部まで到達する力はない。④流動層の砂は底からの上昇方向（浮上力）が強く、砂進入口が上部横向きからでは砂の進入が殆どない。ことが分かった。

(2) 発砲模型の砂進入改善策として、発砲模型を回転させる実験を行う。発砲模型をガラス面に固定した実験では、渦巻形状の溝すべてを埋めることができない。発砲模型を回転させることによって、砂の進入を「流動層の砂流動力+発砲模型を回転させ砂を強制的に渦巻状通路に導く動作」により、発砲模型内の砂充填率を高めるため、「発砲模型を流動層の鋳型中央で埋没させ手動で回転させる」。発砲模型は渦巻形状と格子形状の2種類で実験。

1) 渦巻形状は、流動層での発砲模型回転と左右振り子の動作実験の2種類行う。砂進入口は、発砲模型上部の2箇所（左上₂溝幅、右上横₁溝幅）とする。発砲模型回転は鋳型砂に埋没させて回転させる。発砲模型はテープを貼らない空気透過の条件。

①模型回転～20回転、②模型回転～30回転、③模型左右振り動作、④模型回転～30回転（渦巻形状の終端に中心穴をあけて渦巻溝と接続、砂進入口3箇所とする）。

2) 実験結果は、①～④の実験を砂の渦巻溝充填率から比較すると、①の模型20回転では充填率50%で失敗、②は60%で失敗、③は渦巻2溝が埋まる程度で失敗、④の模型30回転、砂進入口3箇所経路は充填率100%成功となった。

3) 上記2)から、④が渦巻形状の溝すべてを砂で埋め尽くしている。砂進入口を a)発砲模型上面の左側部（湯口想定）、b)上部右側面部、c)渦巻中心部の計3箇所経路。渦巻形状上部の縦と横、中心から砂が進入する。発砲模型固定と回転の動作を比較すると、発砲模型固定（静止）は、砂進入口からこぼれ落ちた砂が湯口通路に溜まり、次に砂進入口を塞ぎ砂の流入は止まる（失敗）。

発砲模型回転は、実験④の30回転継続により、砂進入口は塞がりかけた砂が回転することで強制的に排除、砂進入口は塞がれず渦巻形状通路に砂を補給し続ける。渦巻形状のすべての溝に砂が充填される結果となった。

(3) 格子形状は、格子寸法120×120mm（砂進入口1箇所_縦5×横5の格子溝、溝幅等は渦巻形同様）。砂進入口は、発砲模型上面の左側部（湯口想定）1箇所、砂の中で30回転させる。発砲模型はテープを貼らない空気透過の条件。結果_格子形状の溝充填率100%成功。すべての格子溝に砂が充填される結果となった。

(4) このことから、発砲模型内の砂充填率を高めるため、「発砲模型を流動層の鋳型中央で埋没させ手動で回転させる」手法は有効である。手動から機械的に回転させる仕組みを考案できれば、流動層と機械的アシストにより、フルモールド鋳造発砲模型の複雑で微細な内部形状に適用可能である。

「砂の流動層利用によるフルモールド造型の最適化に関する研究」から、流動層を利用したフルモールド鋳造発砲模型の複雑で微細な内部構造の設計製作を実現するための適格条件を導くことができた。

以上。