

低メタル圧ダイカストの検討

宇部興産機械株式会社

○佐々木寛人(工博)、石橋直樹、明本晴生、銀祐一郎、本田一晃

Examination of Low Pressurized Die-casting process

UBE Machinery Corporation, Ltd.

○Dr. Hiroto Sasaki, Naoki Ishibashi,
Haruo Akemoto, Yuichiro Tsurugi,
Kazuaki Honda

Abstract;

The die casting parts tend to be larger and more complicated in shape, so it is important to employ lower metal pressure to downsize die casting machines or to cast bigger products having larger projection area. It is essential to reduce filing time with employing higher shot speed for lower metal pressure, but higher shot speed may cause blow holes or burrs at the same time. In this study, it was examined that sound die casting parts could be produced with lower metal pressure using combined technologies of our vacuum die casting process and newly developed filling pressure controlling system.

1. 緒言

自動車軽量化の取組みが活発化するなか、ダイカスト品も複数部品一体化により複雑化、大型化する傾向が強まっている。低メタル圧成形は大型部材 casting におけるダイカストマシンのダウンサイジング、あるいは現有マシンでより大きな投影面積を有する製品への対応を図るうえで重要である。ただし、従来必要とされるメタル圧よりも低い圧力でダイカスト品の品質を維持するためには、射出ピストンから製品キャビティ部への圧力伝播効率を高める、あるいは圧力伝播する時間を可能な限り持続させるなどの工夫が必要となる。そのひとつの手段として、高速射出による短時間充填があげられる。高速射出では、その大きなゲート速度によってゲートから離れた部位や薄肉部の湯廻りを容易にするとともに、キャビティ内に充填される溶湯の温度も維持されるため、キャビティ部への圧力伝播においては有利な状況となる¹⁾²⁾。ただし、その一方で、高速射出では溶湯がキャビティ内に突入する際に多量のエアが巻き込まれ、铸造品にブローホールを生じる傾向が強まることや、プランジャーロッド、チップ、ピストンなどの剛体が持つ慣性力も増大することから、それが充填完了時に大きな衝撃をもたらし、多量のバリ発生に繋がるといった課題もある³⁾。

筆者らは、高速射出による短時間充填に加えて、当社の真空 casting 技術である GF 法⁴⁾、ならびに近年開発した射出充填力制御技術のインパクトコントロールを駆使することで、高速射出の課題であるエア巻き込みやバリの発生を抑制し、従来よりも低いメタル圧で健全なダイカスト品を得る可能性について検討した。具体的には、薄肉リブ構造の OA フロアパネル金型を、量産マシンを下回る型締め力のテストマシンに搭載し、低メタル圧を前提とした種々の casting テストを行っている。最初に、インパクトコントロールを適用することでバリを抑制しながらキャビティを短時間で充填する射出条件を探索し、短時間充填による casting 品の健全化やインパクトコントロールによるバリ抑制効果を確認した。次に、金型に GF ユニートを組み込み上記短時間充填に

キャビティ減圧手段を付加することで、铸造品のより一層の緻密化が図れるかどうかを検証した。

2. 実験方法

2.1 金型および casting 機

図1に、テストに使用した OA フロアパネル金型の概略を示す。テストは量産で採用されていたチルベント方案から着手し、その後、金型に GF バルブユニットを組み込む改造を施した。本金型は量産では型締め力 2000ton クラスのマシンに搭載され、メタル圧 40MPa にて casting されているが、テストには型締め力 1250ton のマシンを供したため(後述)、投影面積から計算される最大許容メタル圧は量産条件を下回る 30MPa となっている。図2に、GF バルブユニットを搭載した OA フロアパネル金型の可動型キャビティ外観を示す。GF バルブの閉動作はピストン下面に流れ込む溶湯の衝突力を利用していることから、キャビティ充填が完全に終わるまで減圧動作が継続される仕組みとなっている。

casting には、2プラテンハイブリッド式超高速ダイカストマシン UH1250T を使用した。本機は特徴として、電動型締めユニット、固定側タイバー抜き装置を備える以外に、ワンランク上のマシンサイズの金型にも適合するワイドプラテン仕様、さらに大幅な省エネルギー化を実現するため、メインポンプ駆動源にサーボモータを採用している。射出力は

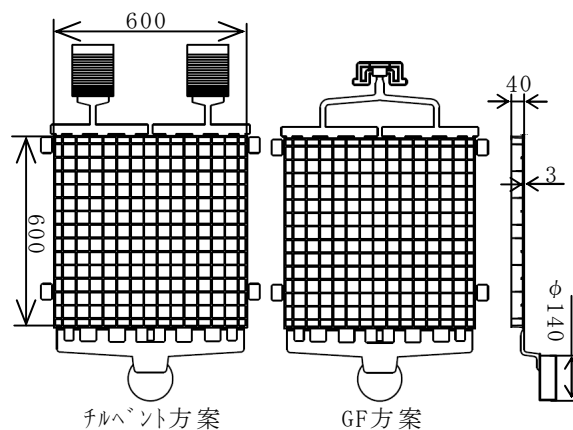


図1 OA フロアパネル casting 品

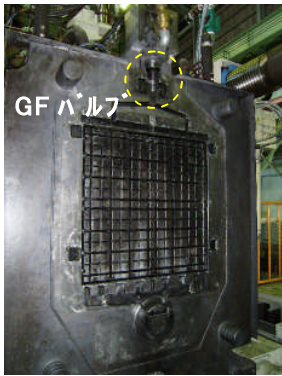


図2 可動キャビティ

570~1041kN であり、量産およびテストで使用したφ140のプランジャーチップで得られるメタル圧は37~68MPaとなっている。ただし、既述の型締力の制約上許容メタル圧が30MPaとなることから、テストでは増圧用アキュムレータは使

用せず、充填用アキュムレータのみを使用する状態で casting を行っている。その際、チャージ圧と充填ストロークから計算で求められる充填完了後のメタル圧は約30MPaであり、許容メタル圧相当となった。

2.2 インパクトコントロールの原理と構造

高速射出による短時間充填とバリの抑制を同時に実現させるために、テストに用いたUH1250Tダイカストマシンにインパクトコントロールシステムを装備した。インパクトコントロールはキャビティ充填完了時にキャビティ内のメタルに伝播する衝撃圧を軽減する技術である。

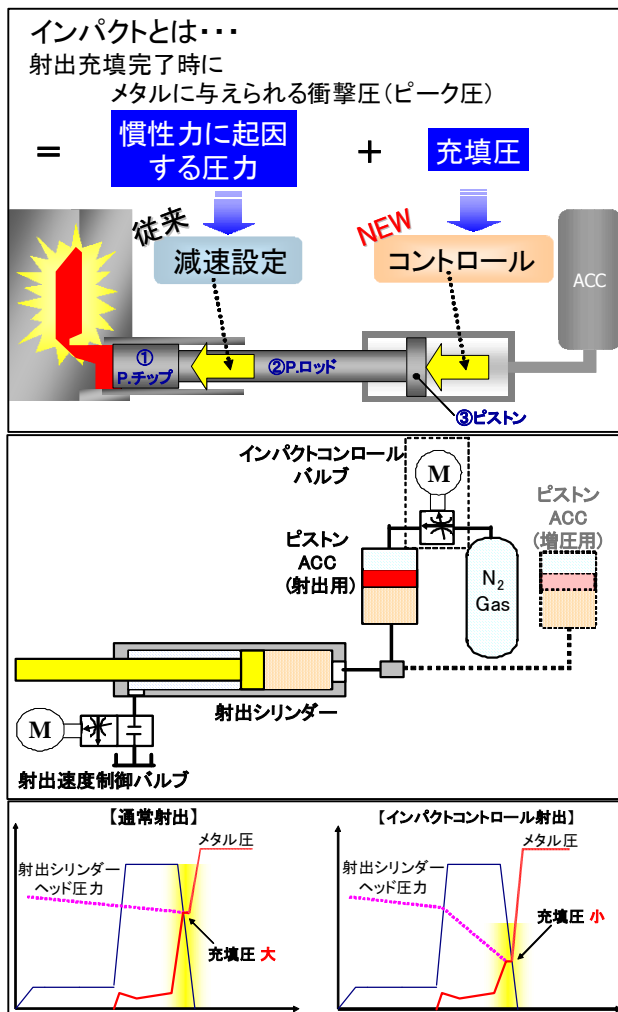


図3 インパクトコントロールの原理と仕組み

衝撃圧は、アキュムレータから射出ピストンを通じてメタルに付加される充填圧、およびプランジャーチップ、ロッド、ピストンなどの剛体のもつ慣性力成分に起因する圧力の和と考えられ、充填力や射出速度が大きいほど増大する。衝撃圧を軽減する方法としては、

通常、充填終盤に減速設定を行うことで慣性力成分を減じる操作が行われるが、過度の減速は言うまでもなく、減速すること自体ダイカスト品の内部品質上好ましくない。そこで、減速する代わりに衝撃圧のもうひとつの成分である充填圧を減じる方法として、インパクトコントロールが考案された。具体的には、ピストンアキュムレータとガスボトルの間にインパクトコントロールバルブ(以後ICVと略す)を挿入し、その開度を絞ることで高速射出充填の終盤にピストンアキュムレータの圧力が急速降下し、それに伴い射出シリンダーのヘッド圧が急激に低下する現象を利用して充填圧を抑制している。充填圧の制御は、充填圧リミットと呼ばれるパラメータを画面入力することで所望の充填圧が設定され、その際入力した数値に相当するICV開度が演算処理にて自動調整される仕組みとなっている。なお、充填圧リミットはICV全開、すなわち不用状態を100%とし、インパクトコントロールを使用する場合はそれに対する割合(パーセント値)を入力する。

上述のインパクトコントロールの原理と仕組みを図3に、UH1250Tのピストンアキュムレータとガスボトル間に挿入されたICVの外観を図4に示す。



図4 インパクトコントロールバルブ

2.3 充填完了時の衝撃圧の計測

キャビティ充填完了時の衝撃圧を検証するため、衝撃圧をプランジャーロッドに伝わる反力として観測することを試みた。具体的にはプランジャーロッド外周にひずみゲージを貼付し(4アクティブゲージ法)、それによって得られる射出中の応力変化を射出速度やメタル圧と同時に計測することで、衝撃圧が発生するタイミングやその大きさを種々の射出条件で求めている。

2.4 短時間充填射出条件の探索

表1に、バリを抑制しながらキャビティ充填時間を最短にすることを目標に実施した casting テスト条件を示す。表中には金型条件としてチルベント、あるいはGF方案、射出条件として、インパクトコントロール使用有無と充填圧リミット、および高速射出速度の設定範囲を記載した。射出速度の最大値はP-Q2線図より求められる

表1 鑄造条件

金型 方案	インパクトコントロール	充填圧 リミット(%)	高速設定 (m/s)
チルベント	不使用(減速)	100	2.0~4.5
	使用	70~85	3.0~4.0
GF	不使用(減速)	100	4.0~4.5
	使用	70~85	4.0~4.5

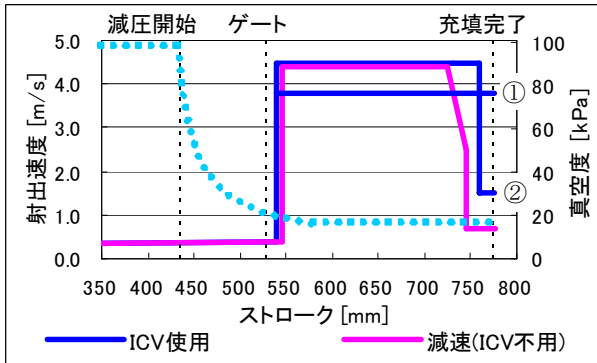


図5 代表射出パターン

マシン能力最大の 4.5m/s とし、メタル圧は前述のとおり、概ね 30MPa の一定とした。なお、インパクトコントロール条件の充填圧リミットは本金型鑄造の場合 70% が設定下限となる。これは、さらに充填圧を絞ると高速射出速度が不安定になる限界を意味している。一方、充填圧リミット 100% は ICV 全開、すなわちインパクトコントロール不用の通常の状態である。

図5に上述の鑄造条件における代表射出パターンを示す。鑄込み重量を 12.5kg とした場合の充填完了位置は概ね 775mm、ゲート通過ストロークは 540mm である。GF 使用条件では、435mm 位置からキャビティ減圧を開始し、溶湯がゲートに到達するおよそ 0.3 秒後にキャビティの真空度が 20kPa 以下となる設定とした。なお、インパクトコントロール使用では、減速設定無しの打抜きを基本としたが(設定①)、充填圧リミット下限の 70% でパリの抑制が不十分な場合、充填完了手前に軽微な減速を設け、射出シリンダーにわずかに背圧を立てることで、充填完了時のメタル圧を抑制する方法も試みた(設定ライン②)。

2.5 試験合金およびその他の条件

フロアパネル鑄造には市販の ADC12 合金を使用し、660℃にて溶解しテストに供した。金型離型剤は日華化学(株)製のデルポン EL-1を希釈率 40 倍にて用い、金型温度については、キャビティ表面で 150℃から 200℃となるよう、適宜捨打ちを実施しながら鑄造を行った。連続鑄造時のサイクルは 100 秒弱、型内凝固時間は 16 秒である。

2.6 鑄造サンプルの評価

鑄造サンプルの評価として、最初に、フロアパネル意匠面および裏面リブ構造部の外観観察を行った。次に、健全性評価の簡易指標として、オーバーフロー、ランナーおよびビスケットを除去した後のフロアパネル製品部の重量を測定し、鑄造条件、サンプル毎の相対比較を行った。また、一部のサンプルについては、アルキメデス法による比重測定、X線透視による鑄巣や湯境の確認、さらに、巻込みエア状況を把握するためのプリスターテストを実施した。なお、量産における製品部の粗材重量は 8.60kg である。

3. 結果及び考察

3.1 プランジャーロッド応力による衝撃圧測定

図6に、射出速度が 2.0m/s、4.0m/s および 4.3m/s にて、減速設定なしで打ち抜く射出パターンで得られた射出波形に、ひずみゲージで測定したプランジャーロッドの応力変化をメタル圧相当に変換したものを重

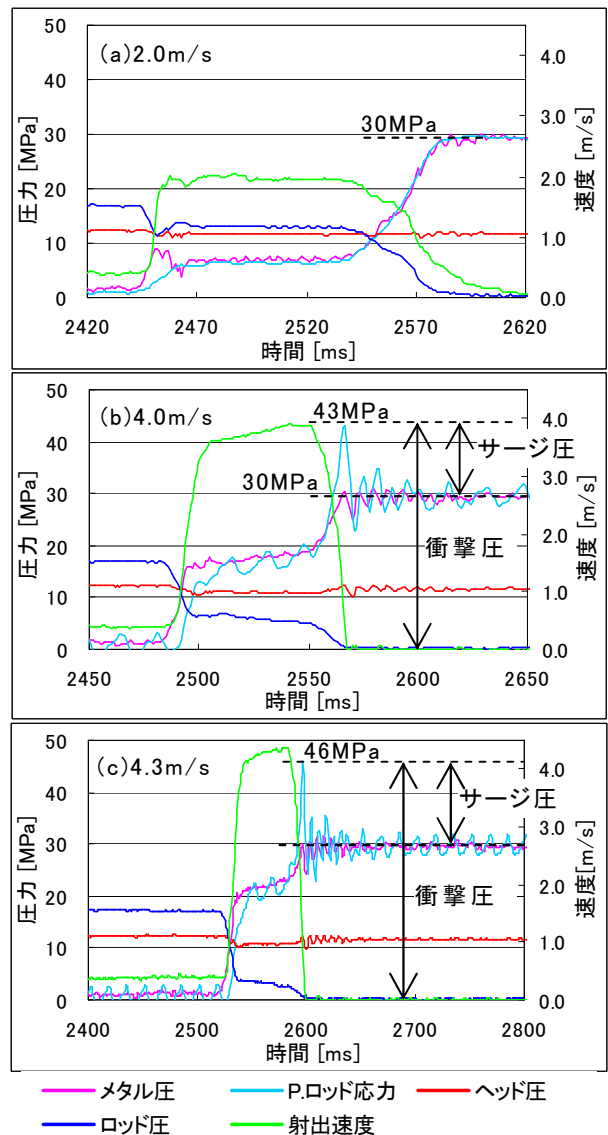


図6 射出条件とプランジャーロッド応力

(a) 2.0m/s (b) 4.0m/s (c) 4.3m/s



図7 バリ発生サンプル

ねて示す。なお、射出速度 3.0m/s 以上の場合、減速設定無しではキャビティ部周辺に多量のバリが発生することから、射出速度 4.0m/s および 4.3m/s の条件では、給湯量を減じてビスケット厚を 5mm 以下とし、充填完了時の衝撃圧がキャビティ内のメタルに伝わり難い状態で铸造を行っている。

参考に、高速打ち抜きにより製品部周辺に多量のバリが生じた例を図7に示す。

射出速度 2.0m/s では、プランジャーロッド応力変化とメタル圧の挙動が速度の高速立ち上がりのタイミングを除いてほぼ一致し、いずれもキャビティ充填終盤の速度低下に相反して圧力が立ち上がり、最終的に 30MPa に到達している。一方、射出速度 4.0m/s では、プランジャーロッド応力は高速立ち上り付近では 2.0m/s の場合同様、メタル圧に若干遅れて立ち上がるが、充填完了付近では逆にメタル圧に先行して圧力が上昇し、瞬間的には型締め許容メタル圧を大幅に上回る 43MPa に達している。さらに速度が大きい 4.3m/s では、到達圧は 4.0m/s のそれを上回る 46MPa になっている。射出速度 4.0m/s、および 4.3m/s の波形に認められるプランジャーロッド応力とメタル圧の差は、プランジャーチップ、ロッド、ピストンなどの剛体の慣性力に起因する衝撃圧成分、いわゆるサージ圧⁵⁾と考えられる。このサージ圧は射出速度の増加と共に増大すること⁶⁾、さらに、キャビティ充填が概ね完了するタイミングで瞬間的に発生することが判る。なお、4.0m/s を超える速度で打ち抜いた場合、メタル圧のほぼ半分の大きさに相当するサージ圧が生じているが、これらは慣性力成分の全てがプランジャーロッドで受け止められた結果であり、ビスケットが十分な厚みの通常の铸造では、キャビティ内メタルの凝固収縮に見合う溶湯の押し込みやビスケット部の圧縮によって運動エネルギーが解放されるため、これほど大きなサージ圧には到らないものと考えられる。

3.2 短時間充填射出条件

短時間充填の実現には高速打ち抜きが理想であるが、前述のとおり、射出速度 3.0m/s で減速無しで射出するとキャビティ周辺にバリが発生する。そこで、インパクトコントロールを適用し、バリを発生することなく高速で打ち抜くことができる射出条件を求めた。その結果を図8に示す。ここに示す射出波形から、充填圧リミットによって充填完了付近のヘッド圧が 7MPa に低減され、その結果、同じタイミングのメタル圧が 20MPa 以

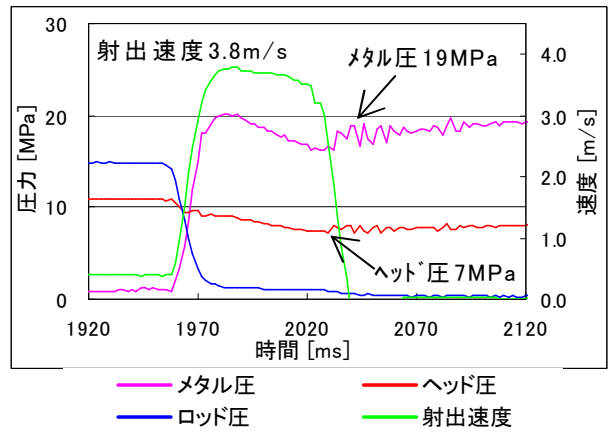


図8 インパクトコントロール適用射出波形 (充填圧リミット70%)

下に抑制されていることが判る。ただし、ここで得られている射出速度の 3.8m/s はマシン最大能力の 4.5m/s に比して小さく、さらに速度を上げて短時間充填を狙う余地がある。そこで、射出速度を限界まで上げる一方でバリを防ぐ手段として、インパクトコントロールに加えて、実速度には影響しない程度の軽微な減速設定を行うことで、充填完了メタル圧を抑制することを検討した。その結果を図9に示す。これは充填完了終端の 15mm に減速区間を設けた例であるが、最大射出速度の 4.5m/s を出力しながらも、充填圧リミットによりヘッド圧を 8MPa に抑え、同じタイミングのメタル圧を 22MPa に抑制することでバリを防止するに到っている。

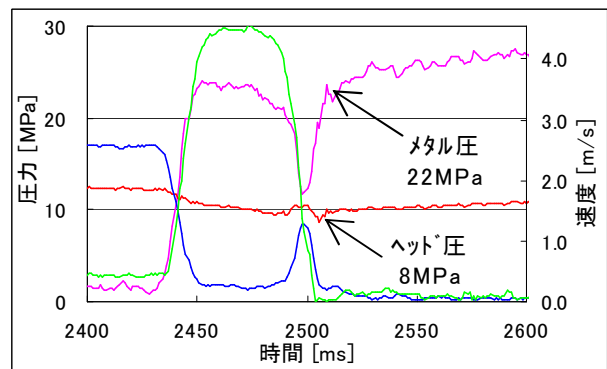


図9 インパクトコントロールに背圧を併用して得られた射出波形

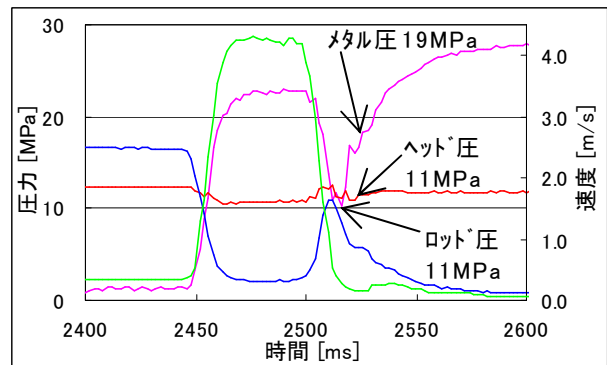


図10 減速のみでバリを抑制した射出波形

これに対し、インパクトコントロールを使用せず減速設定のみで短時間充填を試みた結果を図10に示す。インパクトコントロール条件と異なり、充填完了付近のヘッド圧は11MPaと高く、減速設定による大きな背圧(ロッド圧)導入によって、同じタイミングのメタル圧が20MPa以下に低減されている。このように、インパクトコントロール不用の減速射出では、急ブレーキによる大きな背圧の導入にてバリの抑制に到っている。ただし、その背圧が大きいことから、その後のメタル圧の昇圧が緩慢になっていることが判る。

3.3 製品部重量におよぼす各铸造因子の影響

健全性におよぼす各铸造因子の影響を調べるため、短時間充填条件の探索で得られたサンプルの製品部重量と、铸造因子としてメタル圧、キャビティ充填時間、最大射出速度との関係を求めた。先ず、射出波形から上述の各铸造因子を読み取る例を図11に示す。キャビティ充填完了は、キャビティの製品部、オーバーフロー、GFランナーへのメタル充填が概ね完了し、射出速度に相反して立ち上がるメタル圧が上昇し終わるタイミングとした。キャビティ充填時間とは、溶湯がゲートを通じてから上述のキャビティ充填を完了するまでの所要時間、キャビティ充填完了メタル圧はその際のメタル圧としている。なお、到達メタル圧とは、射出が完全停止した後、アキュムレータの圧力が平衡状態となった際に最終的に到達するメタル圧とした。

図12に、製品部重量におよぼす到達メタル圧の影響を示す。チルベント方案において、インパクトコントロールを使用、あるいはインパクトコントロール不用の減速設定で得られたデータを、それぞれ青丸印、赤丸印で記した。一方、GF適用方案において、インパクトコントロールを使用、あるいはインパクトコントロール不用で得られたデータは、それぞれ青菱形、赤菱形で記している。到達メタル圧はいずれも30MPa弱のほぼ一定値となっているのに対し、製品部重量は8.3kg~8.7kgの範囲で大きくばらついている。このことから、製品部重量は到達メタル圧以外の因子に支配されていることが判る。

図13に製品部重量におよぼすキャビティ充填完了

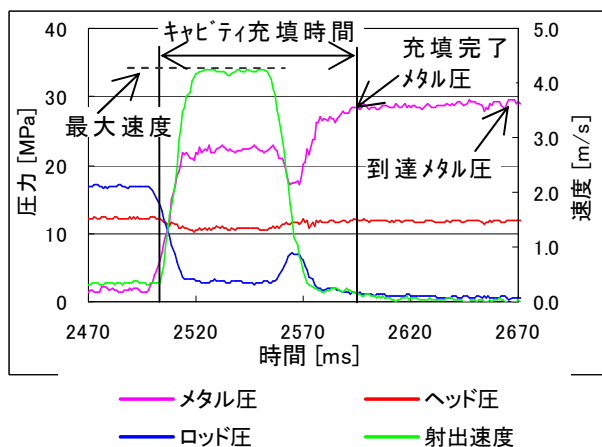


図11 射出波形解析例

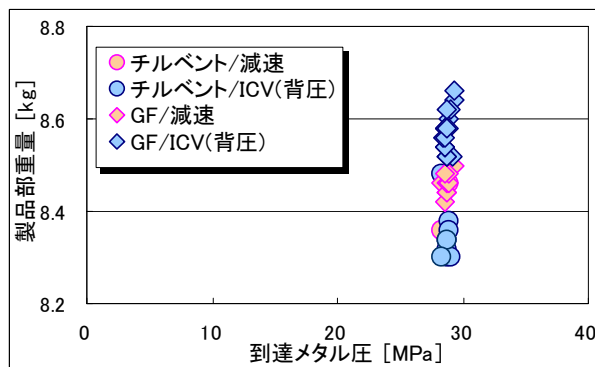


図12 到達メタル圧の影響

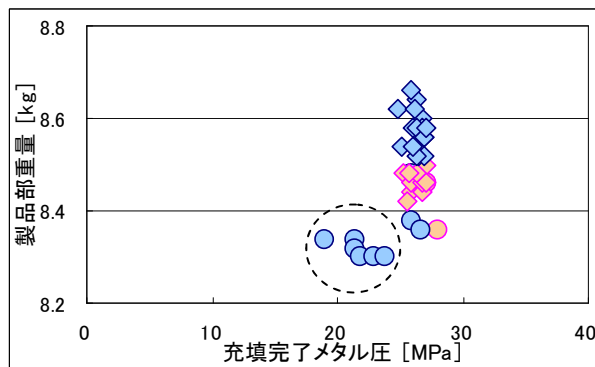


図13 充填完了メタル圧の影響

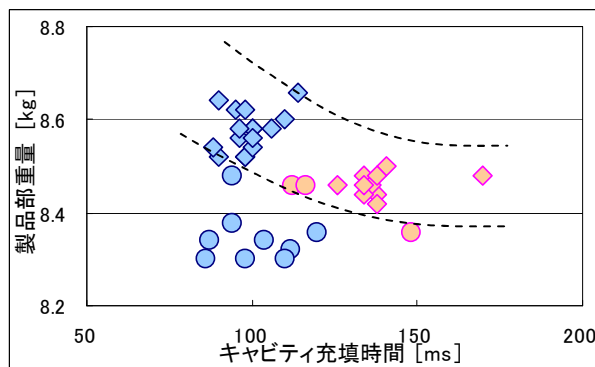


図14 キャビティ充填時間の影響

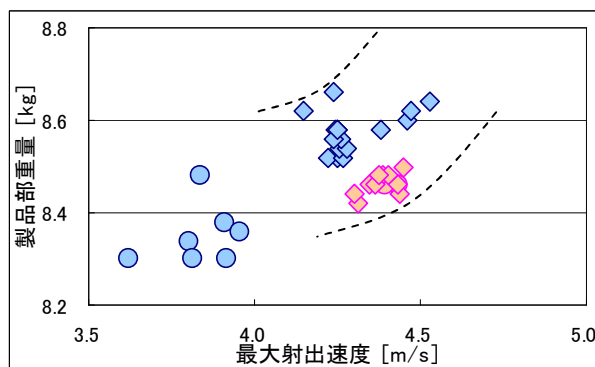


図15 最大射出速度の影響

時のメタル圧の影響を示す。前述の到達メタル圧と異なり、充填完了メタル圧は19MPaから28MPaの範囲でばらついている。これに対して製品部重量は、充填完了メタル圧が25MPa以上では8.36kg以上のばらつきのなかに収まっているが、メタル圧が23MPa以下では、8.34kg以下の重量が小さい領域で安定している。

これは、充填完了メタル圧が低過ぎると緻密なものが得られ難い傾向を示すものと考えられ、本铸造品の場合、23MPa 付近が健全なサンプルを得ることができメタル圧の下限と考えられる。

図14に製品部重量におよぼすキャビティ充填時間の影響を示す。GF 適用条件では、キャビティ充填時間と製品部重量に明瞭な相関が認められ、キャビティ充填時間が短いほど重量は増大している。ちなみに、キャビティ充填時間 100ms 以下で量産品相当の製品重量(8.60kg)に達している。ただし、インパクトコントロール不用条件では、キャビティ充填時間が最短でも112ms であるため製品部重量はインパクトコントロール条件を下回っている。以上のことから、短時間充填による速やかなキャビティ充填と昇圧が内部品質を向上するうえで重要であることが分かる。これは、キャビティ内に充填される溶湯の温度がより高く液相リッチの状態となるため、プランジャーチップからのメタル圧力の伝播が良好になり、鑄巣が抑制されるためと考えられる⁷⁾。一方、チルベント方案で得られたサンプルは、キャビティ充填時間がGF適用条件と同等の場合でも製品部重量はそれを下回る結果となっている。これは、溶湯がキャビティに充填される際に巻き込まれたエアが背圧となり、溶湯の充填を阻害するためと推察される。

図15に製品部重量におよぼすキャビティ充填中の最大射出速度の影響を示す。GF 適用条件のデータは最大射出速度が4.1m/s から4.5m/s の狭い範囲に存在しているが、速度増大に伴い製品部重量が増加する傾向が認められる。射出速度を大きくすることは、キャビティ充填時間短縮によりメタル圧力伝播が良好になることに加えて、ゲート部での溶湯の噴流作用によりエア巻き込み巣を細かく分散する効果があるとされる。また、巻き込みエアは細かく分散されるほど、その後のメタル圧付加にてさらに微小に圧縮され易くなると考えられる⁸⁾。チルベント方案で得られたデータにおいても射出速度依存性が認められるのは、それらの効果によるものと推察される。

3.4 フロアパネルの外観および内部品質

図16に、インパクトコントロールとともにGFを適用した短時間充填条件にて铸造したサンプルの外観を示す(キャビティ充填時間:100ms)。フロアパネル意匠面、裏面のリブ部に湯皸や湯廻り不良などの欠陥は無く健全な外観を呈している。製品部重量は量産品相当の8.60kgであり、このサンプルをアルキメデス法で測定した比重は2.72となっている。図17に、インパクトコントロールを適用したチルベント方案にて得られたサンプルの外観、ならびに、このサンプルの X 線検査にて観察された鑄巣発生部位のスケッチを示す(キャビティ充填時間:106ms)。意匠面や裏面のリブ部の外観は上

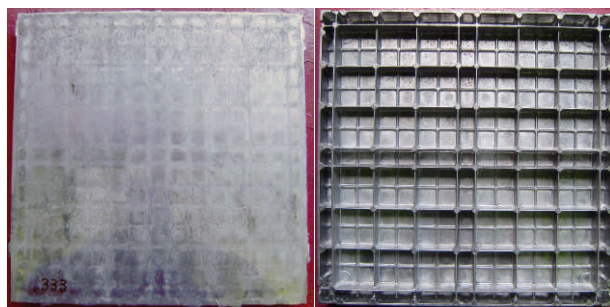


図16 サンプル外観
(GF方案 製品部重量:8.60kg 比重:2.72)

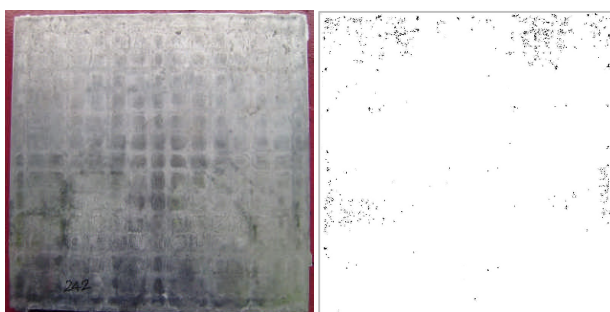


図17 サンプル外観とX線巣発生部位
(チルベント 製品部重量:8.44kg 比重:2.71)

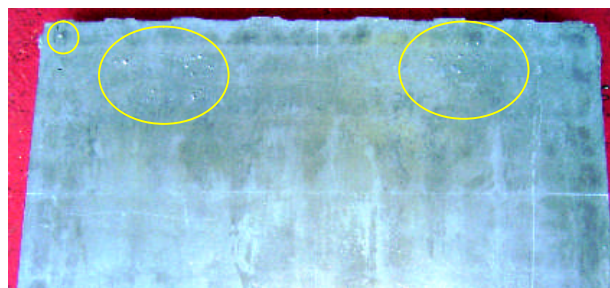


図18 ブリスターテスト結果

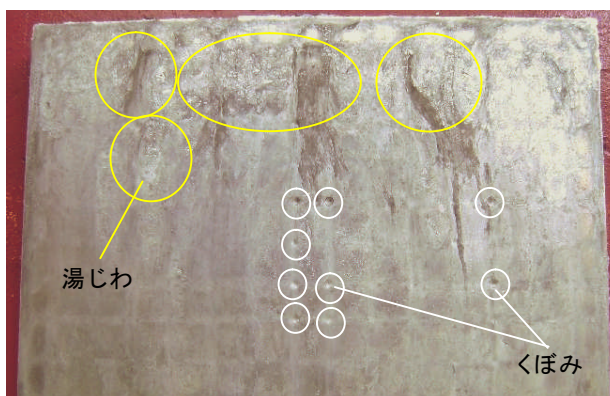


図19 サンプル外観(天側)
(チルベント 製品部重量:8.36kg 比重:2.71)

述のGFサンプル同様良好であるが、X線検査ではサンプルの天側と両サイドに大小多数の鑄巣が発生する領域が認められた。また、製品部重量や比重もGF適用サンプルに比べて低い値となっている。

図18に、上述のチルベント方案サンプルにブリスターテストを行った結果を示す。X線検査にて鑄巣が観察された部位とブリスター発生部位がほぼ一致するこ

とから、鑄巢の主原因はエア巻き込みによるものと判断される。これより、チルベント方案では短時間充填により外観は良好となるものの、エア巻き込みのために緻密化が阻害されることが分かる。

図19に、チルベント方案にて射出速度2.0m/sの低い速度で鑄造したサンプルの外観を示す。意匠面の天側に近い領域には湯じわが、裏面のリブ交差部に相当する部位にくぼみなどの外観不良が認められる。このサンプルはキャビティ充填時間が148msと長いことから、流動中に溶湯が冷えて半凝固状態、あるいは凝固がより進行した状態となっていることが推察される。その結果、天側では合流したメタル同士が融合できず湯じわが形成され、さらにメタル温度低下のため圧力伝播による溶湯補給も困難なことから⁷⁾、厚肉となるリブ交差部の付け根には引けによるくぼみが生じたものと推察される。なお、このサンプルの製品重量は、図17に示した短時間充填サンプルに比べて明らかに低いが、アルキメデス法で測定した比重はそれと同等となっている。これは、意匠面外観に見られるくぼみや凹みによって、全体の体積が標準よりも小さくなっているためと考えられる。

以上の結果から、従来よりも低いメタル圧にて良好な外観と内部品質を維持するためには、高速射出による短時間充填が前提であると同時に、キャビティのエア巻き込み防止手段が必須であると言える。

4. まとめ

低メタル圧ダイカストの可能性を検討するために、薄肉リブ構造で流動長が大きいフロアパネル型を用いて一連のテストを実施した。得られた知見は以下のとおり。

- (1) プランジャーロッド応力の測定により、鑄バリの原因となる衝撃圧は、キャビティ充填が完了するタイミングで瞬間的に発生し、そのピーク圧は射出速度が大きいほど増大することが判った。
- (2) インパクトコントロールを適用することで、従来よりも大きな射出速度による打ち抜きが可能となる。
- (3) インパクトコントロールに軽微な減速を併用し、背圧を導入することで、高速射出速度の設定域をさらに拡大することができる。
- (4) 短時間充填による速やかなキャビティ充填とメタル圧の昇圧が健全な鑄造品を得るうえで重要である。
- (5) 健全な鑄造品を得るために必要なメタル圧には限界がある。本鑄造品の場合、最低でも23MPaのメタル圧が必要である。
- (6) 高速射出による短時間充填に加えて、インパクトコントロールおよびGFを適用することで、従来よりも低いメタル圧にて同等の品質の鑄造品を得ることができる。

参考文献

- 1) 西直美, 駒崎徹, 佐々木英人
: 鑄物, 64(1992)806-811
- 2) 駒崎徹, 松浦一也, 西直美
: 鑄物, 66(1994)211-216
- 3) 山本善章, 堀田昇次, 戸沢勝利, 中村元志
: 軽金属, 36(1986)339-344
- 4) 石橋直樹, 重村隆, 江本充孝, 内田正志
: 2006日本ダイカスト会議論文集(2006), 125-130
- 5) 加藤高明, 岩本典裕, 久保木勲, 鈴木一弘, 藤巻大助
: 2004日本ダイカスト会議論文集(2004), 239-247
- 6) 佐々木寛人, 石橋直樹, 佐藤智
: 2008日本ダイカスト会議論文集(2008), 99-107
- 7) 谷川庄司, 浅井孝一, 揚毅, 野村宏之, 加藤鋭次
: 鑄造工学, 75(2003)525-531
- 8) 菅野友信, 植原寅蔵: ダイカスト技術入門(日刊工業新聞)(1990), 151-156