

消失模型鑄造法 (EPC・FM プロセス) 概論および最新の動向(中国 EPC の台頭)

(社)日本鑄造工学会関西支部

消失模型鑄造法研究会委員長 池永 明

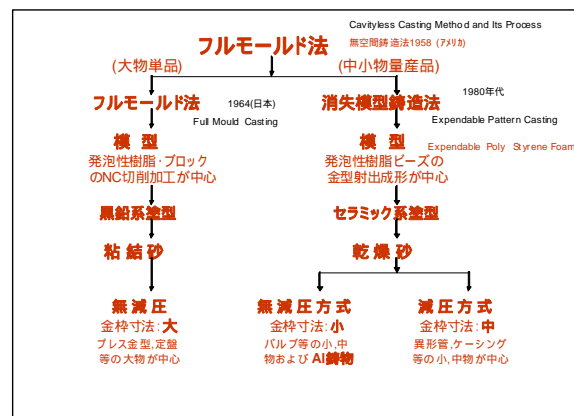
1. はじめに

鑄造品を製造するためには、模型が必需品である。古くからの模型には木型を使うのが通例であり、抜型をして空洞部をつくり、そこに溶湯を鑄込む。

この木型を製作する場合、鑄造品の製造個数が少なく、木型の保管を必要としないものに、発泡スチロールを使用するようになったのが鑄物への利用の始めである。その後、発泡スチロール(PS: 単量体分子式 $C_6H_5CH=CH_2$) の燃焼し易い特徴を活用し、製造個数の少ない鑄物用として、抜型せずに溶湯を鑄込み、模型を消失させるフルモールド法と呼ばれるプロセス(自硬性型)が1958年にアメリカの H.F.Shroyer によって考案された。わが国には1964年に単品物の中、大型鑄物の鑄造法として技術導入され今日に至っている。

さらに同じ消失模型を用いるプロセスでも、ニアネットシェイプ、解枠が容易、100%に近い砂の回収率及び環境面で大幅改善される特徴をもったノーバインダー砂で造型する新しい消失模型鑄造法が実用化され発展途上であり、このプロセスにも発泡スチロール(PS)、さらにはアクリル成分配合の PS/PMMA 共重合発泡樹脂 (PMMA: 単量体分子式 $CH_2=C(CH_3)\cdot COOH$) の模型等が使われている。

本講では、前半で、フルモールド法と消失模型鑄造法の概説と造型(砂の充てん)理論、および日本・韓国・中国における最近の動向について述べる。そして、後半では近年鑄造大国として台頭する中国における FM・EPC プロセスの最新動向として、中国第4回消失模鑄造技術国際会議・第11回実型/消失模鑄造学術年次学会(山西省運城市 2010年9月16-18日)の報告をする。



2. フルモールド法 (Full Mould Casting)

2.1 特徴

フルモールド法は発泡スチロールで鑄物原形に近い模型を作り、自硬性砂で型込みして、フルモールドの名前通り、抜型せずにそのまま溶湯を鑄込む方法である。本プロセスが導入される目的は、

1. コスト・ダウン (造型工程が簡素・模型の保管不要等)
2. 生産性の向上 (模型が軽量・鑄仕上げ工数の短縮等)
3. **大物一品生産**
4. **製品のニアネットシェイプ化**
5. 産業廃棄物の削減を期待している

模型の製作は、ブロック成形品(通常寸法 1800×900×400mm)を図面に基いて、手作業、及び CAD/CAM で機械切削加工される。発泡スチロール模型材料は鑄込み後のガス欠陥や残渣欠陥を少なくするため、発泡倍率は60~80倍のものが使用される。

従来の鑄造法に使用される木型費との対比を示すと、フルモールド用の模型は、鑄造品と同一の模型を製作すれば良く、中子が全く不必要である。また、発泡スチロール模型の切削が容易で、最近の CAD/CAM による模型切削技術の向上により、**発泡模型を十数個製作しても、木型より安価**であり、同じ鑄物の製品数が少ない個別の製品では、大幅なコスト・ダウンが可能となる。

さらに模型が軽量で造型工程が簡単なため大物鑄物に有利なプロセスである。造型時には、主型に中子を入れる必要はなく、さらに主型を分割する必要がないので、発泡模型の表面に塗型(黒鉛系)した後、粘結剤の添加量を抑えた流動充てん性の良い自硬性砂で丸込めすることが可能で、従

来の造型作業工数を大幅に低減出来る。

鑄込み後の鑄造品には、見切面や中子がないので、パリの発生がなく、鑄物仕上げ工数を低減できる。

しかし、同じ消失模型を用いる後述の消失模型鑄造法に比較すると次のような**デメリット**もある。

1. 造型機には、模型や塗型に損傷を与えない上下振動テーブルが利用されている場合もあるが、一般的には手作業による型砂充てん造型が行われている。特に、中子部等への型砂充てんには**手作業が不可欠**で、多数の捨て型(仕切り板)が必要となる(図1)。
2. ノーバインダーを用いる消失模型鑄造法と比較して**型砂**及び塗型膜の**通気性が悪い**ため、**模型の残渣欠陥やガス欠陥**が多く、鑄肌は劣る。
3. **炎、煙**、臭気が発生する。



図1 廃棄される捨型

フルモールドで、鑄造されている鑄造品は、自動車用プレス金型、工作機械用ベツド、定盤等が製作されており、単重 40t 前後の鑄造品も製作される。

2.2 動向

JFSの統計データ(2009年)によると、日本における企業数として **FMは35社**、**EPCは23社**が検索される。しかし、実際には大小企業を併せ、さらに十数社はそれぞれ多いはずである。

日本の場合 **FM生産量は鑄物総生産量の5%前後**にとどまるといわれている。EPCについては、その品質は資材・設備と併せて世界的に評価されているが、総生産量はきわめて少なく**3万t/年**程度と推測される。EPC生産量は、20数年前に日本に本プロセスが導入されて以来、現在に至るまで大きい進展は見られず、**一社当たりの生産量は20~600t/月**にとどまり、**50~100t/月**の工場が標準となっている。一方、**中国のEPC**の工場数と生産規模はここ数年間で急激に増大し、世界最大のEPC生産量(2009年度FM生産量333,000t/年、EPC生産量427,000t/年)である。企業数(2007年度)は、**EPCの86社**に対し**FMは42社**で、そのうちEPC(2010年)については**5万t/年**を超える工場も現れている。

ここで、日本においても2010年に入り、今まで全くEPCに関心を寄せていなかった2,3の大企業を含む多くの企業が **EPC導入を検討し始めている**。これらの多くは、鑄物のニアネットシェイプ化による加工工数の低減を主な目的としているが、**最近の中国**におけるEPCの急激な成長も無視できない。

しかし、より重要なことは**珪砂採掘の全面規制**が東南アジア諸国を中心に間近に迫っていること、さらには**遊離けい酸規制**が取り沙汰されていることもあり、最近、造型への人工砂の適用が注目を浴びていることである。すなわち、人工砂使用による初期コストは高いが遊離けい酸含有量が少なく、破碎が少ないため、元来砂再生率が100%に近いEPCにおいては粉塵化飛散、廃砂量、新砂添加量を皆無に近い状態にもっていくことが可能である。さらに、流動性に優れた人工砂の適用が最も効果的に機能する鑄造プロセスはEPCであることは言うまでもない。

韓国の場合、現在の企業数としてはEPCが**15社**に対し**FMは7社**(総生産量1万t/月)であり、企業数としてはFMよりEPCが多い。但し、個々の企業については双方ともに、**FM工場がEPC工場よりも十数倍**



図2 (株)東振鑄工(韓国)



図3 (株)ウリキャスト(韓国)

以上の生産規模になる。図2は韓国の代表的なFM企業となる(株)東振鑄工(仁川)の造型事例(FC・25t)である。単重5~10tが中心で、最大製品能力はFC25t、FCD16tとなっている。

2008年の生産実績は32,000t/年、2009年度はその80%を見込んでいる(2009年調査)。図3も韓国の(株)ウリキャスト(大邱)の造型事例(FC・10t)である。単重3~10tが中心で、最大製品能力はFC19t、FCD17tとのことである。2008年生産実績は1,400t/月、2009年度は2,000t/月を達成。鑄型強度を重視しており、金枠の剛性(角パイプ構造)、格子状金枠の使用および床砂と上砂の適切な高さ等に気を配っている(変形・湯漏れ防止対策)。

両社ともFCが80%以上を占めるが、FCの場合、湯口系は落し込み方式である。数本の湯道のうちで両サイドのものは、揚がり・ガス抜きとして設けられている。また、湯口に近い湯道は断面を太くしてノロ等の浮上分離を計っている。

日本では、FCについても押し上げ方式が推奨されており事例も多い。その理由の一つとしては

1. ノロ・残渣巻き込み欠陥を抑える。
2. 湯道系に市販の鑄造用紙管を用いることで、落し込み方式に限らず押し堰・底鑄込堰・堰など、いずれの方式も造型時の作業性が良くなっている。
3. 日本では口径25~70の鑄造用湯道管(紙管)が市販されているが、韓国・中国では国産品がなく、日本からの輸入品となり、コスト的な問題がある。

などをあげることが出来る。

しかし、本来、FMは湯先温度の低下が激しく、押し上げ方案の場合は注湯が進むにつれてヘッドの低減に加えガス発生量が増大するため、鑄物形状・型砂の通気性・鑄物材質(CD値が小さくC残渣成分が溶解しやすい材質)によっては、落し込み方案が理想と言える。

そこで、押し上げと落し込みを併用した方案もある。図4は紙管(曲管部)と陶管(直管部)を用いた押し堰(上部)と落し込み堰を併用した例である。

なお、消失模型を利用する鑄造法にとって、鑄造品の善し悪しを左右するもっとも重要な因子は発泡スチロールブロックの材質(密度・融着率およびそれらの均質性)であることは言うまでもない。

韓国・中国では、鑄造用としての良質な発泡スチロールブロックの入手が困難なことが課題となっている。(例;韓国東振鑄工使用のブロック密度は $0.02 \sim 0.018 \text{g/cm}^3$ で、融着も悪い、日本の場合は 0.018g/cm^3 以下で十分に融着しており、粒間ピンホールが少ない)

2.3 自硬性砂の振動充填について

最近、多くのFM工場で大規模振動テーブルの活用が検討されはじめています。同じ自硬性造型の中でも、木型の場合はかなり以前から振動テーブルが多く用いられている(但し補助的な利用として)。某振動テーブルメーカーによる過去十数年間の自硬性砂充填用振動テーブル(上下振動)の納入実績はおおよそ160台で、その中、FMに利用されている企業は7,8社とのことである。今般、FM各方面で大規模振動テーブルの導入が検討されているが、その理由および導入のメリットとしては、

1. 従来、不可能であった水平孔(島)・中子部への自硬性砂充填が大規模円振動テーブルの開発によって可能になった。

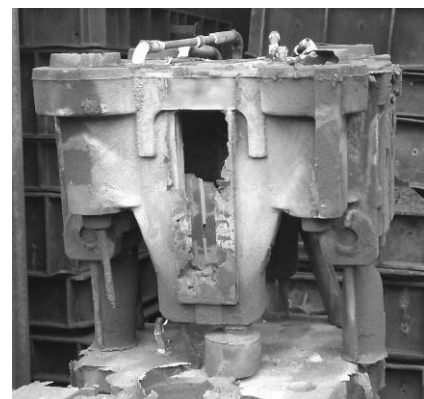


図4 落し込み堰と押し堰の併用
Hankookkijun Metal Co. (韓国)



図5 振動テーブルを用いたFM造型現場
(静岡 梅沢鑄工(株))

2. **樹脂添加量の低減**を計ることができ、その結果**良好な通気性**が得られる。
3. 振動造型は木型表面を傷めることがある。しかし、一回使用の消失模型の場合は、その問題はない。
4. 型全体に均一な型強度と通気性が一定の水準で得られ、生産管理の要を確立する。
5. 軽量で、強度を有した**鑄造用湯道紙管の普及**（振動による陶管の飛ばされ、発泡スチロール湯道系の損傷等の心配がない）。

2.4 円運動加振によるフラン樹脂添加砂の水平孔充填性試験結果

垂直面真円運動加振によるフラン樹脂添加砂の水平孔充填性を評価した。

2.4.1 実験方法

振動テーブルは、テーブルサイズ 1200×1250mm で鑄枠(フラスコ)のどの部位をとっても運動点の軌跡が垂直面上で真円となるよう設定した。また、テーブル上にクランプした鑄枠(フラスコ)は、外形 400W×400 L×380Hmm で、厚み 20mm の透明アクリル板で製作した。充填砂は、フラン樹脂添加のフリーマントル 5 号再生砂を使用した。

充填振動は、垂直面で抜型可能な 50×50 L mm の水平孔を有する木型を鑄枠内に固定しフラン添加砂を自然充填状態で投入した後に、60 秒間垂直面真円運動を加えた。

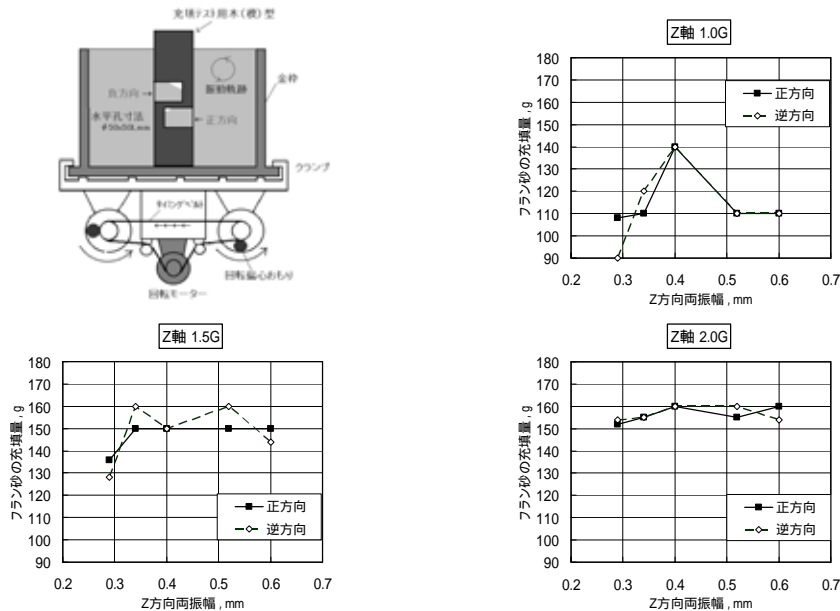


図6 円振動によるフラン砂(レジン0.8%)の水平孔充填性試験結果

(手詰め基準量:150g, 砂:フリーマントル5号再生砂, 加振時間:60秒)

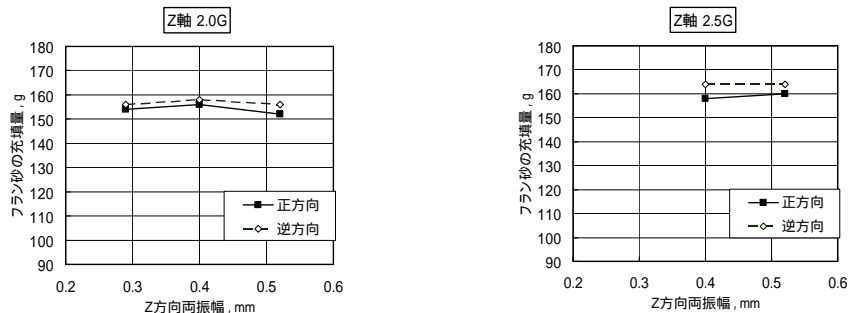


図7 円振動によるフラン砂(レジン1.1%)の水平孔充填性試験結果

(手詰め基準量:150g, 砂:フリーマントル5号再生砂, 加振時間:60秒)

振動完了後木型を垂直に取り出し抜型し、その充填状況を確認するとともに 50×50Lmm に充填された砂重量を測定した。

フラン樹脂添加は硬化剤なしのレジンのみとし、添加量は、0.8%および1.1%とした。

なお、50×50Lmmの水平孔への手込みによる標準的なフラン砂の充填量は150gであった。

2.4.2 実験結果

図6と図7に、フラン樹脂添加量が、それぞれ0.8%と1.1%の場合における水平孔への充填量を示す。フラン樹脂添加(0.8%)再生砂の場合、垂直面真円運動加振による水平孔への充填では、Z軸振動2G - 振幅0.4~0.5mmが正方向、負方向ともに充填性が良好であった。また、充填完了後、振動ユニットを逆転し逆方向の軌跡の垂直面真円運動の振動を加えても、1度充填された砂が出てしまう現象は発生しなかった。

正方向については、水平孔の木型下面の振動輸送により砂が充填され、負方向については、水平孔の木型上面の振動輸送により砂が充填されると思われる。

フラン樹脂添加(1.1%)再生砂の場合、垂直面真円運動加振による水平孔への充填では、Z軸振動2~2.5G - 振幅0.4mmが正方向、負方向ともに充填性が良好であった。

やはり、レジンの量が多くなり流動性が悪くなると、振動を強くしないと完全な充填は難しいと思われる。成型時、実際には硬化剤を加えることを考慮すると、レジンのみ1.1%添加実験条件とほぼ同程度の流動性であることから、この結果が重要と考える。

2.4.3 まとめ

フラン樹脂添加砂の充填に本装置を使用する場合は、縁切れ発生及び木型の消耗、発泡模型の変形を考慮すると、Z軸振動1.5G - 振幅0.4mmの垂直面真円運動の加振が充填に最適と思われるが、実質Z軸振動2~2.5G - 振幅0.4mm以上の振動が必要である為、離型剤の選定、木型の補強等を再検討する必要がある。(平成9年12月 ㈱東洋機械製作所 塚田良彦 / 大阪府立大学 池永明共同実験資料)

3. 消失模型鑄造法 Evaporative(or Expendable) Pattern Casting Process

3.1 消失模型鑄造の基盤

表1に消失模型鑄造法導入の動機を示すが、模型の品質が保証されることにより、

1. 付加価値の高い鑄物の製造
2. コスト・ダウン
3. 生産性の向上
4. 仕上げ工程の簡素化
5. 製品のニヤーネット化
6. 製品の精度が高い(回転体)
7. 鑄肌が良い(砂の通気度良好)
8. 産業廃棄物の削減(廃砂0)

等の特質が支えられており、これらは消失模型鑄造法の基盤となっている。

表1 EPC 導入の動機

一次要因	二次要因	三 次 要 因
鑄造法の改善	新しい鑄造法として認識	中小鑄物工場では従来の鑄造泡の継続が困難 将来的に鑄物業の生き残りの布石
	付加価値の高い鑄物の製造	中子多数の鑄物の製造 加工の多い製品及び形状複雑な製品の製造
原価低減	コスト・ダウン	コスト低減
	生産性の向上	工程が少なく、簡素化され、 造型工数低減 中子・押湯不要
	仕上げ工程の簡素化	バリの発生がなく、後工程が簡単
品質の向上	製品のニヤーネット化	製品のニヤーネット化と軽量化への期待
	製品の寸法精度が高い	型の精度が高く、鑄物の寸法精度が向上
	鑄肌が良く、品質向上	鑄肌が良く、手入れ、加工の省力化期待
作業環境の改善	作業環境の改善	労働環境の改善(粉塵・騒音・重労働)
	労働者の確保	女子・高齢者及び身体障害者の就労可能
	産業廃棄物の削減	鑄物砂の廃棄がほとんどない

3.2 発泡スチロール原料

原料EPSビーズは、包装・梱包材などに使用されている材料と基本的には同じである。表2に原料EPSビーズの粒径と主な用途を示す。消失模型用原料としては、金型成形用とブロック成形用に大別される。

消失模型鑄造法では前述のフルモールド法に比べて表面残渣欠陥が少なく鑄肌表面粗度の優れて

いることが大きな特徴となっている。そこで、金型射出成形用原料ビーズとしては成形品表面から転写される鋳肌面における亀甲模様の目立たない小粒子が良い。ただし、粒子径が小さい場合は発泡剤の飛散が早く、成形倍率を上げることができないため、0.3mm 程度が限界になっている。また良好な成形状態を得るためには、発泡粒子が金型キャビティ内に少なくとも3個は配列される必要がある。たとえば、0.3mm 径の原料 EPS ビーズをかさ容積で 40 倍に予備発泡したとき、発泡粒子径は 0.9mm となり、**肉厚 3mm 程度の模型の成形が可能**となる。

ブロック成形機によって NC 加工用ブロックを製造するための原料では、NC マシン等により加工を行うため粒子同士の融着が良いことが要求される。

消失模型鋳造法では、このようなブロックからの NC 加工による模型の成形は、主に中物や設計のための製品試作用に利用される。

しかし、最近の造型技術等の向上にともない、大物品の生産を目指す動向があり、プレス金型や工作機械用定盤ベッドでは単重 2ton までの事例がある。

表 2 発泡スチロール原料ビーズの粒径と主な用途

粒子径 (mm)	0.3~0.5	0.5~0.7	0.7~1.1	1.1~1.5
用途	インスタント食品容器 (5~20 倍) 消失模型鋳造用 (30~60 倍)	薄肉型物用 (30~60 倍)	一般型物用 (30~70 倍)	ブロック用 (40~100 倍) フルモールド用 (50~70 倍)

[積水化成工業(株)技術資料]

3.3 金型成形模型の特徴 (図の追加 金型の製作費)

現在、市場に出ている発泡スチロール成形品の大半は、金型成形されたもので、**包装容器**、**緩衝機能材**、**建材・複合材**として、大量に使用されている。

成形品の寸法公差は、 ± 1 mm程度で品質に関しては、寸法精度よりもビーズの融着、落下試験の強度、が重視され、表面のキズ、伸び、打痕、等は余り重要視されていない。しかし、1個の金型で、1時間当たり 20~50 ショットで生産性も高く、生産個数も多い。

一方、消失模型鋳造用成形品は、上記の一般成形品と品質の内容が全く異なる。

寸法精度は、(長さ ± 0.5 mm、肉厚 ± 0.1 mm)を要求され、表面の融着度、キズ、変形、模型接合部のズレ、等は消失模型としての機能を果たさない。

そこで、消失模型の金型成形は、発泡模型の分割接着なしの一体化成形が基本となる。しかし、一般に消失模型は中子に相当する有孔部の存在や形状が複雑なため、一体化成形するためには数個に分割した金型(例えば5面割り)を成形の度に組み立てることが多いので生産性は悪い。成形に要する時間は薄肉物で2~4分/個、**厚肉物では10分以上/個**の場合もある。

3.4 模型の使用方法

3.4.1 塗型

湯口、湯道等に使用する発泡スチロールは無塗型の場合もあるが、模型については必ず塗型をすることが必要である。消失模型鋳造法では無粘結砂を用いるため、塗型が発泡スチロールの強度を補う必要があり、そのために0.5~1mmの塗型の厚みが適正とされている。また一方では塗型を通して脱ガスするので、通気度も充分必要な要素であるので、本プロセスの塗型は、重要な因子である。

3.4.2 乾燥

金型射出成形後の模型は、スチームに基づく多量の水分を含んでいる。放置による含有水分の散逸もあるが、塗型前においても塗型乾燥工程と同程度の乾燥工程が必要である。乾燥が不十分な場合、塗型後の加熱乾燥工程(50 前後 $\times 6$ 時間以上)の際に、成形模型内部の残留水分が散逸し、成形模型/塗型層界面に気泡欠陥を生じる。

3.4.3 模型寸法の経時変化

模型は成形直後に少し膨張するが、長期的には収縮し、20~30日で安定する。

成形直後の数時間に0.2~0.3%膨張し、その後0.7~0.8%収縮して安定化する。このような寸法変化は模型への空気の拡散と、模型外への発泡剤の拡散によって起こるが、ビーズ径が小さいほど、そして金型寸法が小さいほど、収縮率が大きくなる。

3.5 造型方案

図8(上)は湯口下へのフィルターの有効な取付方法を示す。上下2枚の発泡スチロール板でフィルターをサンドイッチ状にはさむことによって、溶湯の通過面積を最大限確保している。図8(下)は2段込めの事例で、箱型鑄枠底部の床砂上で模型、堰、湯道、湯口から構成される発泡スチロール・クラスターの下段が接合組立てられた様子である。とくに堰部の接合には強度が期待できるホットメルトが利用される。湯口棒については陶管(本図の場合は堰鉢セット部のみ)が使用される場合もある。

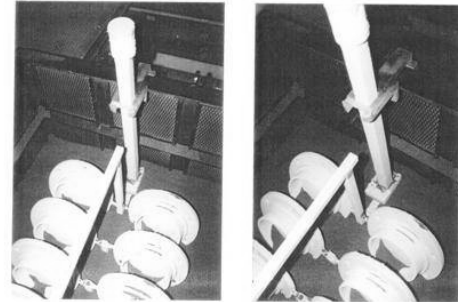
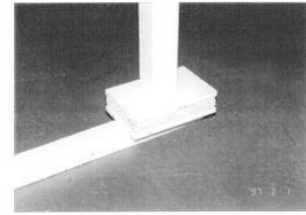


図8 フィルターと2段込め模型組立図
(砂充填途中)

3.6 振動造型

生型造型機の代表的なコンパクション方式であるジョルト(jolt)や圧縮エア式衝撃等は、30~90Gという大きな加速度のインパルス(衝撃)励振力による過渡振動を応用している。しかし消失模型鑄造法では、発泡模型の変形・損傷を防ぐため、両振幅; 0.1~0.5mm, 加速度; 0.5~2.0G, 振動数; 35~55c.p.sの加振力を持つ種々な形態の正弦波振動が適用される。その中でも、とくに良好な砂の充てん性が得られると共に、大型化にも対応可能な振動形態として、垂直面円振動の適用例が多くなっている。

3.7 消失模型鑄造品の一事例

消失模型は各種の鑄造品に使用されており、現在数百種類の鑄物が製作されている。しかし、わが国の場合、アルミ合金鑄物への利用は少なく、大半が鑄鉄鑄物品への利用であり、単重数 kg から 1 ton を越える製品も製作されている。その中で、下水道用異型管(球状黒鉛鑄鉄)は十数年前から量産されており、現在では月産千 ton を超えている。

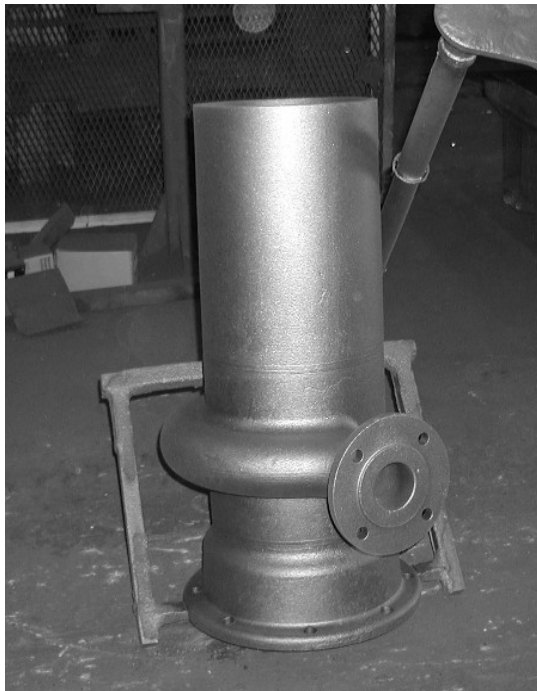


図9 耐震水道用異型管 (株)三和

図9は耐震水道用異型管を示すが、円振動による砂充填の適用によって始めて生産が可能となった。

3.8 ここで一言

鑄物は古来無機の世界であり、鑄造材料も無機物に限られていた。三十数年前から鑄物砂の粘結剤及び硬化剤あるいは触媒そして塗型の溶剤にも有機物が使用されるようになった。その後、本稿で取り上げた発泡スチロールが色々な用途に多く使われるようになり、鑄造プロセスも大幅に変化してきた。

その結果、著しい進歩もあったが、問題も生じている。

昔は鑄物屋は有機化学に弱いのが常識であった。一方、現在は多目的に有機物を使って、相応の成果をあげているのであるから、これからの鑄物技術者は無機化学だけでなく有機化学も併せて勉強し、他国に負けない品質と生産性及び作業環境を達成することが、今後の鑄造工学及び鑄造工業の繁栄を導くと考える。

4. 消失模型鑄造法の造型 - 砂の充てん -

4.1 はじめに

消失模型鑄造法 (EPC ; expandable pattern casting process) は、発泡ポリスチレン (EPS; expandable poly styrene) などの発泡性樹脂で作られた模型・堰・湯道および湯口 (陶管・紙管が用いられる場合がある) で構成される方案クラスターを砂中に埋設し、振動コンパクションしたのち、抜型することなく、そのまま鑄造するというフルモールド鑄造法 (実型鑄造法) の一種である。

型砂に無粘結砂を用いるため、その造型概念は、粘結砂による空洞鑄型造型に比べ全く異なる。

鑄込によって模型と金属の置換領域に空洞領域 (図 10 中央) が生じるが、模型の熱分解で生じる液化樹脂と分解ガス (冷たい砂層内で冷却されて液化する) は砂側に引かれ一時的なバインダーとなり、砂を固定する (シェル層説)。同時に発生ガスは鑄型内圧 (ヘッドと平衡を保つ) となり肌砂部からバックサンド部に向けての圧力勾配を伴う流気によって型の崩壊を防ぐ (V プロセスにおける鑄型面固定保護のメカニズム)。型砂の充填圧縮方法としては、騒音が少なく、軟弱な発泡樹脂模型や塗型を痛めない正弦波振動の適用が可能である。

そして造型作業は鑄型の通気度や解砕時における崩壊性の確保に気を配る必要はなく、砂の流動化 (液状化) と最密充填だけを目指せばよい。

しかし、粉体は紛体とも昔から呼ばれており、粉体工学の分野においては粉体トラブル工学なる言葉まで存在するほどで、模型を損傷することなく、その周りの砂を充填圧縮するためには粉粒体の特性を十分に理解しておく必要がある。

本章では、無粘結砂 (粉粒体) の特性・砂の充填に及ぼす振動形態の影響・振動テーブル・造型方案 (事例) について記述する。

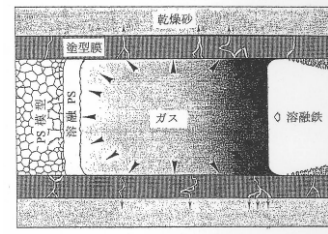


図 10 PS 模型と溶融金属の置換

4.2 鑄枠内における砂の特性

4.2.1 砂圧分布と減圧の効果

乾燥砂を用いる本プロセスにとって、鑄枠内における砂の圧力分布や充てん密度は、型強度の評価値として重要である。

ここで、Janssen の粉体圧理論に砂の見掛け密度を考慮した砂圧の計算式がある。

底面形状が $L \times L$ の箱型槽内で、見掛け密度なる付着力のない砂が理想的自然充てん状態にあるとき、箱型槽上方の砂表面より一様に圧力 P_0 を加えた場合の砂表面からの深さ h における圧力 P_h は次のように計算される。

$$P_h = P_0 \cdot \exp(-4 \mu_w K h / L) + (L / 4 \mu_w K) \{1 - \exp(-4 \mu_w K h / L)\}$$

但し、 μ_w ; 槽壁と砂粒体との摩擦係数
 K ; 粉体圧係数

図 11 は、砂表面における荷が無い場合の上式による計算結果の一例で、箱型槽内に自然充てんした砂粒体の垂直砂圧分布に及ぼす底断面積の影響が理解できる。

底面寸法がそれぞれ 5, 15, 30, 100cm 平方の場合の砂圧 P_h と砂表面からの深さ h との関係を示す。

ここに、砂の見掛け密度 $\rho = 1.64 \text{g/cm}^3$ と粉粒体圧係数 $K = 0.35$ は実測し、壁摩擦係数 μ_w は文献値

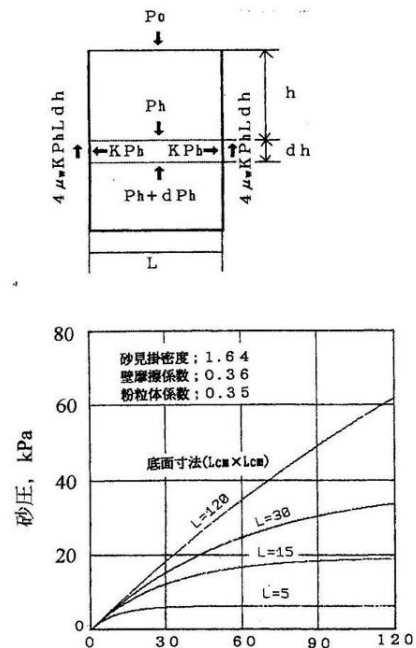


図 11 箱型槽内に自然充填した砂粒体の垂直砂圧分布に及ぼす底断面積の影響

2)を用いた。砂圧は、任意深さに働く平均垂直砂圧である。

底断面が小さい時、即ち現実的には模型埋設時の中子部や模型間の状況に相当するが、 μ_w の影響が著しく現われ、深部においても大きな砂圧は得られない。

一方、底断面が大きい時は、壁から受ける影響は小さくなり、砂の自重効果が優先する。そこで、砂表面からの深さが増すに従って、砂圧は静水圧的傾向をもって直線的に大きくなる。

4.2.2 減圧载荷の影響

自然充填状態の砂で満たされた箱型槽上方の砂表面をフィルムコートして槽内を減圧した場合、砂粒体層は大気圧によってフィルム面から载荷されることになる。

通常、载荷重は均等に粉粒体に伝わらず、粉粒体表面の圧力分布は、载荷板の種類・形状によって複雑に変化するが、平均砂圧として扱った場合、減圧度 100, 200, 300, 400, 500mmHg を载荷重に換算すると、それぞれ 0.13, 0.28, 0.41, 0.54, 0.68kg/cm² となる。

図 12 は鑄枠断面寸法減圧度を種々変化させた場合の砂圧分布曲線を(1)式から求めた一例である。砂と槽壁間の摩擦作用が砂圧分布に著しく影響することが判る。

即ち、鑄枠断面寸法が小さいほど、また減圧度が大きいほど、载荷圧の伝達は劣化し、鑄枠上下で均等な砂圧を得ることが難しくなる。

底面積が 100cm × 100cm の鑄枠を例にとると、-200mmHg に減圧した時、载荷圧と砂自重の相乗効果によって、砂表面からいかなる深さの部

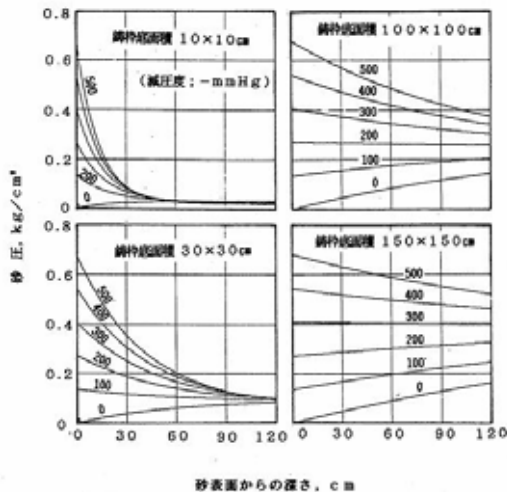


図 12 砂圧分布に及ぼす減圧の影響（理論値）

分でも、载荷しただけの一定砂圧が得られる。

しかし、減圧度が-200mmHg 以上になると、深部では载荷圧に近い砂圧を得ることが出来ない。

後述するが、この減圧载荷充填による疎充填や砂圧の不均一は振動充填工程を加えることによって改善されることが知られている。

4.2.3 自然充填後における垂直砂圧の実験値

深さ 45mm、底面積 30cm × 30cm の箱型鑄枠に 6 号けい砂を静かに充填した場合の砂の表面からの深さと砂圧の関係を図 13 に示す。

曲線は、任意深さ面における平均砂圧の理論値を示す。印の中心軸上における垂直砂圧は、この理論値とよく一致している。

三角印、四角印は、それぞれ鑄枠の側壁中央とコーナー部の壁面から距離 5mm の領域における砂圧分布を示す。壁面付近の砂圧は、壁摩擦の直接的な影響のため砂充填能が劣化し、平均理論値よりも小さな値になる。図 1 から判断して、この領域の砂圧分布は、鑄枠断面寸法が 10 × 10cm の場合の平均砂圧分布に相当していた。

このような砂充填状況は、振動によって大きく改善される。加振は砂の内部摩擦係数 μ_i と壁摩擦係数 μ_w を小さくし、砂粒体を粘性流体化して充填能を向上させる。例えば、加振によって砂の内部摩擦係数 $\mu_i=0.50$ （内部摩擦角 $\phi_i=26.6^\circ$ ）が 0.38（ $\phi_w=5.7^\circ$ ）に変化すれば、底断面面積 10 × 10cm

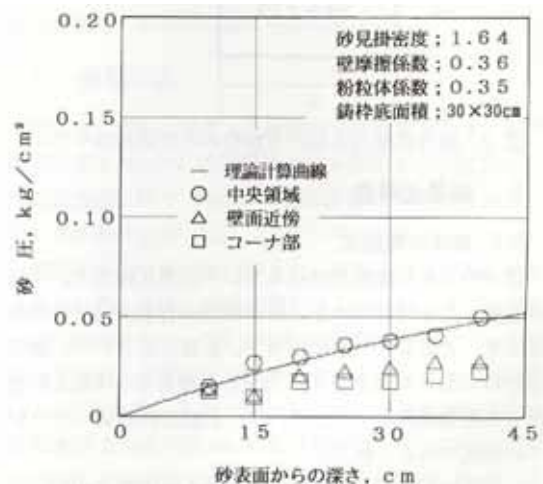


図 13 箱型鑄枠内の砂圧分布の理論値と実測値

の鑄枠内の砂圧分布は加振することによって、30×30cm の鑄枠の自然充填砂における砂圧分布と計算上は同等になる。

4.2.4 おもり載荷および減圧時の垂直砂圧計測結果

図 14 は、自然充填後に砂の表面からおもり載荷した場合と砂の表面をフィルムコートして鑄枠内を減圧状態に保ち、フィルム面から垂直方向に大気圧付加した場合における砂圧分布の一例である。

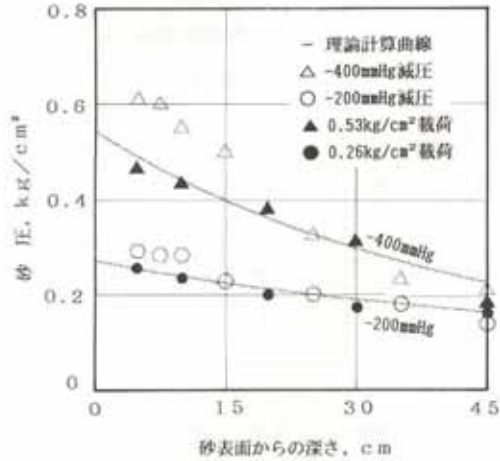


図 14 減圧あるいは載荷により砂表面から圧縮した時の砂圧分布

砂見掛密度；1.64 粉粒体係数；0.45~0.50
壁摩擦係数；0.36 鑄枠底面積；30×30cm

る。

おもり載荷中における砂圧の実測値は計算値とよく一致した。以前に千々岩²⁾らは、バインダー砂におけるスクイズ圧を計測解析し、載荷圧の大きい場合に実測値と理論値の一致を得ているが、本研究では、供試砂がノーバインダーであること、および圧縮理論に砂の自重を考慮したことから、載荷圧の小さい場合も理論値に近い結果が得られた。

一方、減圧負荷時の砂圧は、理論値に比較して砂の表面付近で高く、底部付近で低くなり、垂直方向に対する砂圧の変化が大きかった。

この傾向は、減圧度の増加にともなって顕著に現われた。この原因としては、鑄枠上部での壁摩擦抵抗の異常が考えられる。即ち、おもり載荷の場合、砂と壁との接触圧 KP_h (垂直載荷圧 P_h の水平成分) は粉粒体係数 K に依存する。しかし減圧負荷の場合、砂表面付近は鑄枠側壁が鑄枠開口部にあたるため、大気圧に

よって変形しやすく、砂と壁との接触圧は KP_h だけでなく壁面側からも圧縮を受けることになる。その結果、下部への垂直圧力の伝達が極端に悪化し、図 14 のような傾向が現れたのと考えられる。

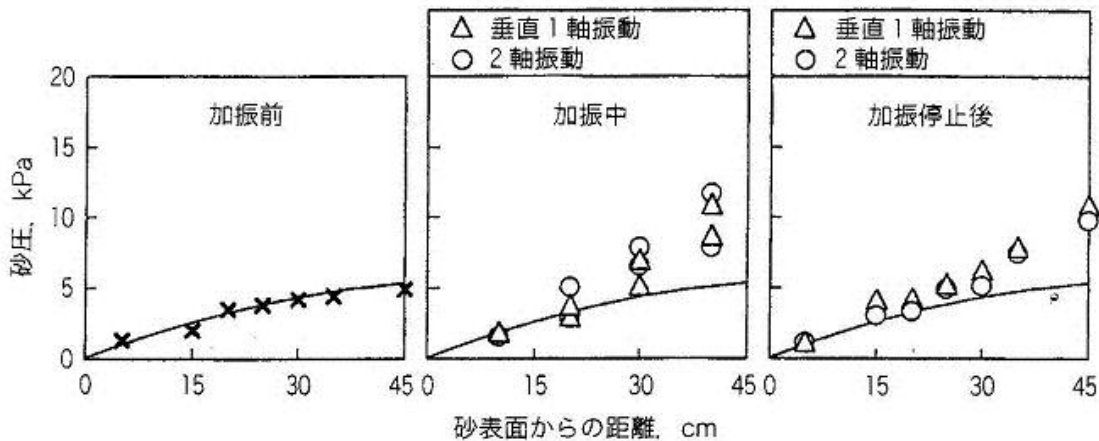


図 15 箱型槽内に自然充填された砂粒体層の砂圧分布の実測値 (× 印) と理論値 (実線)

4.2.5 砂圧に及ぼす振動の影響

振動流動中の砂粒体は液状化傾向を持つ。そこで、砂表面からの深さが増すに従って、砂圧は底

断面積の大小にかかわらず同等に静水圧的特性をもて直線的に大きくなる。

図 15(左)は、300×300×450mm の箱型槽内に自然充てんされた砂粒体層の砂圧分布の実測値

(×印)と理論値(実線)を示し、図15(中・右)はそれぞれ振動中と振動停止後に得られた測定結果を表している。自然充てん状態の砂粒体層の砂圧分布は加振することによって、**粉体圧特性から静水圧的特性に遷移**しており、**流動液状化現象**が生じていることがわかる。

4.2.6 振動による砂の圧縮

自然充てん砂は、垂直成分の加振力が $1G (9.8m/s^2)$ 以上の振動を受けた場合、最初に急激な充てん圧縮が生じ、砂表面の沈下が十数秒間続く。その後は次第に砂表面の中央部が盛り上がり流動対流を起こすようになる。最初の充てん圧縮過程における砂粒体のかさべり速度(見かけ密度の増加速度)に比べると流動対流が始まってからのかさべり速度は僅少となり、数分後に砂粒体は最終見かけ密度の状態となる。

加振力	円		垂直1軸		水平1軸	
	a	b	a	b	a	b
$5.88 m/s^2$	0.09	2.0	0.05	3.3	0.09	1.0
$7.84 m/s^2$	0.11	1.6	0.07	2.5	0.11	0.6
$9.80 m/s^2$	0.14	1.6	0.08	2.5	0.13	1.7
$12.74 m/s^2$	0.15	4.2	0.11	1.2	0.14	2.2

図16は、自然充てん砂に対して、いろいろな様式の振動を加えた時の**見かけ容積の減少度**、すなわち、**かさべり度(コンパクタビリティ)C** $\{(V_0 - V) / V\}$ 但し、 V_0 ; 初期容積, V ; 振動後の容積}と振動時間の関係それぞれ示している(砂; 6号乾燥けい砂, 枠寸法形状; $60mm \times 450mmH$)。

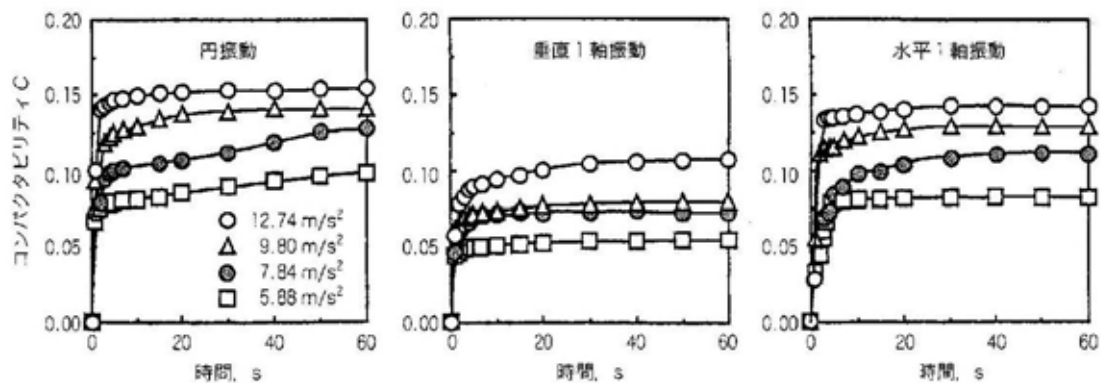


図16 自然充てん砂に対して、いろいろな様式の振動を加えた時のコンパクタビリティの経時変化(砂; 6号乾燥けい砂, 枠寸法形状; $60mm \times 450mmH$)

ここで、粉体に関するタッピング圧縮実験式のタッピング回数 N を振動時間 t で置き換えることにより得られた式は振動圧縮実験式として応用できる。

$$C = a b t / (1 + b t) \quad t: \text{振動時間} \quad C: \text{かさべり度}$$

a: 物質定数で、無限時間振動したときの無限圧縮率

b: 砂粒体の流動性を表す定数であり、振動力の程度による流動性に関連する値とみなされる。

各曲線は、いずれもこの振動圧縮実験式で表すことができ、そのときの a , b はかさべり度(コンパクタビリティ)を評価するための定数になる。

振動による砂の充てん性は、円振動(垂直・水平振動成分が位相 90° で同期)が最も優れ、垂直-水平2軸振動(多軸振動)、水平1軸振動、垂直1軸振動の順に劣化する。

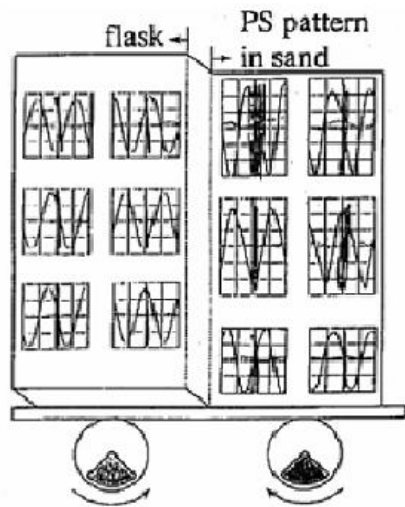


図 17(a) 垂直 1 軸振動におけるフラスコの振動状態と砂中模型の振動状態

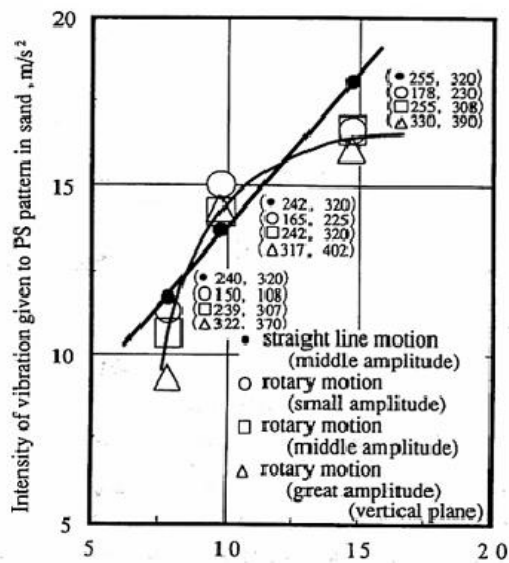


図 17(b) 垂直 1 軸振動と円振動の砂中における伝ば特性

4.2.7 砂中における各種振動の伝ば特性

図 17(a)は垂直 1 軸振動における鋳枠の振動軌跡(左側)と砂中模型の振動軌跡(右側)を示す。両者間で運動軌跡に差異は見られないが、大きさ(振動量)は伝播側で拡大している。

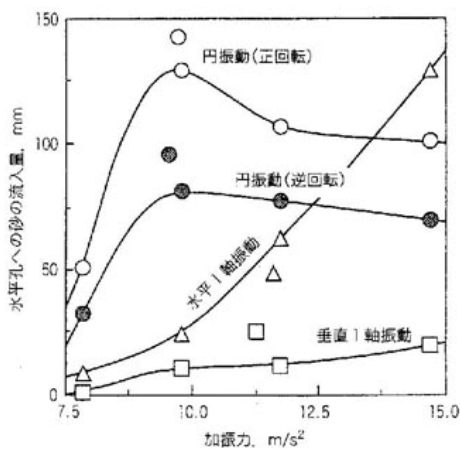
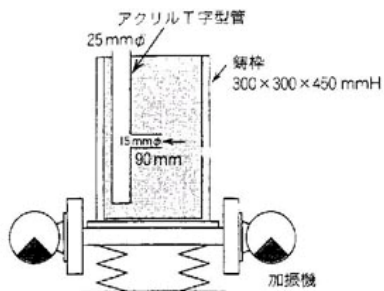


図 18 各種振動における水平孔への砂の流入性と試験装置の概略

また、下層部と上層部の振動伝播量が相当異なる。砂表面に近い上層部では砂による荷重が小さく、砂粒の飛躍運動が容易に生じ、著しい流動液状化現象が起きているためである。

一方、円振動の場合、鋳枠の振動軌跡と砂中模型の振動軌跡については垂直 1 軸振動の場合と同様に差異が見られず、また大きさ(振動量)についても伝播側で拡大しているが、その大きさは鋳枠内砂中全域で均一であることが分かっている(図省略)。

図 17(b)は 1 軸直線(垂直)振動および円(2 軸)振動の砂中における伝ば特性、すなわち加振力と砂中模型の振動量の関係を示す。

かっこ中の数字は鋳枠と砂中模型の振幅(p-p μm)である。加振加速度は 0.8、1.0 および 1.5 G の 3 水準とし、その時の振幅はおおよそ 240 μm であった。

円振動による加振が効率良く模型に振動を伝えるのは 1 G を少し超えた加振加速度と小さな振幅を有する時で、過剰な加速度や大きすぎる振幅は伝播側の模型の振動を抑える特徴のあることが分かる。

4.2.8 振動による砂の流動

図 18 は水平孔への砂の流動性に及ぼす加振方向と加速度の影響を示す。流動性は 30 秒間加振した時の水平孔への砂の流入量 (T 字型管における垂直管への堆積高さ) で評価している。

円振動の場合は、時計逆回りの円運動 (X-Z 鉛直面内) に対し、水平孔の開口向きが正方向 (マーク) と負方向 (マーク) の 2 通りについて検討した。円振動はいずれの場合も、垂直 1 軸および水平一軸振動に比べて良好な流入性を示す。とくに加振力が 1G 前後において極大となり、砂の充填圧縮性や消失模型の振動による変形問題を考慮したとき、円振動は非常に優れた振動形態であるといえる。

4.2.9 円振動による砂充填理論

円振動の砂の流動・充填形態について、模型 (加振振幅の約 1.5 倍の振幅振動が付与される) の横孔の底部を振動輸送装置 (振動コンベアー) のトラック面に見立て、振動中の砂粒体圧と安息角を加味することで明らかにされた。図 19 は模型に円振動が作用して砂が移送される状態を示す。

正転では横孔下部が、また逆転では横孔上部がトラック面 (トラック面に接している砂粒の回転が輸送形態に影響) となって砂を移送している。すなわち正逆で下部トラック面での振動輸送方向が異なるものの、1 方向 (この場合時計回り) の円振動によって方向性の少ない流動充填能が得られることが分かる。

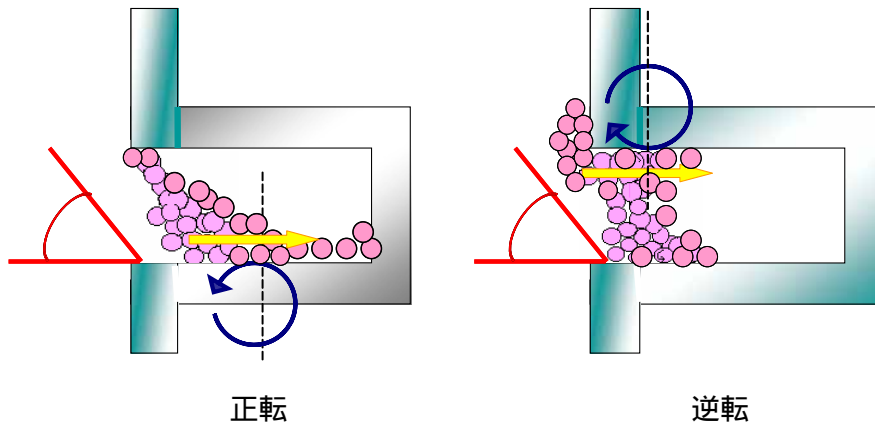


図 19 円振動による模型水平孔への砂の流入機構 (振動コンベアー理論)

4.3 造型方案の事例

4.3.1 模型、堰、湯道及び湯口系の組立方案

図 20 に多数個取り組立方案事例を示す。

それぞれ塗型済みの各部位の組み立て接合は、フラスコ (铸枠) 内の床砂上 (100~200mm 厚さ) で行う。

接着材は溶剤タイプとホットメルトタイプが併用されるが、堰部の接合には強度が期待できるホットメルトが使用される。

図 21 は模型クラスターを上段と下段にそれぞれ組立てた多段込めの事例である。

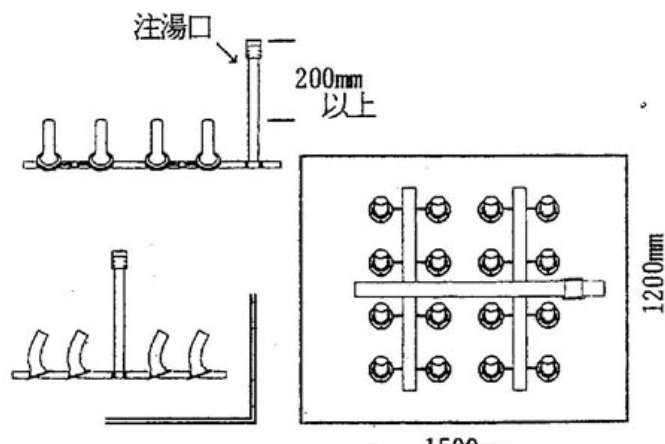


図 20 曲管発泡模型組み立て図 (1 段式 16 個用)

図 22 は排水集合管 (基本寸法: 150mm × 525mmH × 4.5mmt, 12kg/個) の例である。枝管継手と

立管継手の組合せ接合を活用することにより、4面の模型成型用金型だけで132機種のバリエーションに対応が可能となっている。堰は製品の中央部に設け、湯流的に落とし込み部分と押し上げ部分に分けることによって、湯回り不良を防いでいる。

なお、本铸造品は自社開発商品である。

消失模型铸造法の造型方案の場合、形状制限をあまり受けないことを最大限活用し、機能(軽量化、高い排水性能、静かな排水音、すぐれた配管勾配等)優先の設計が積極的にとられている。

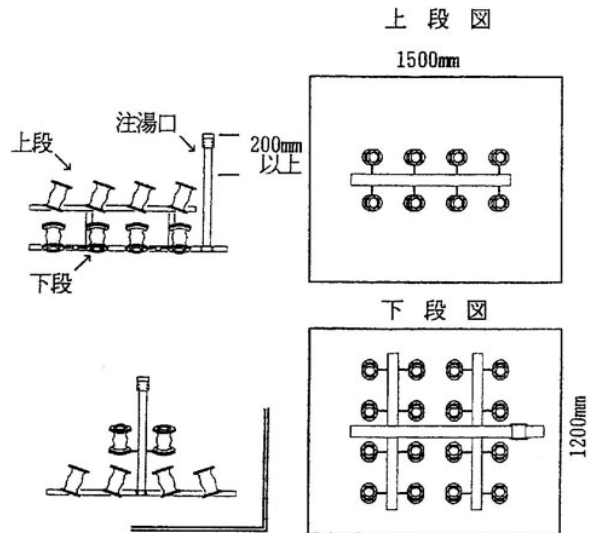


図 21 継輪発泡模型組み立て図(2 段式 24 個用)

4.3.2 特殊な造型方法(アミ枠方式)

図 23, 図 24 にメッシュ構造のアミ枠を用いた二重铸枠方式による量産・大型消失模型铸造ラインとアミ枠にセットされた模型クラスターを示す。(株三和(大阪市, 200ト/月実績・1ト高周波・27名)で開発された方式で、1G以下の小さな加振力で砂充てんが可能である円振動テーブルの適用によって、アミ枠のタッピングやプレのない、適正な造型が可能となった。

工程の順を追っていくと、まず模型よりも高さが低いアミ枠内で模型クラスターが組み立てられ、砂の投入と仮振動造型が行われる。そしてそのアミ枠が十分な高さの本枠に挿入された後、上砂部とアミ枠アミ枠外側間隙部に砂が補給され、本格的な振動造型が行われる方法であり、高さが1200mmまでの大型異形管の多数込造型を主体として、1枠(アミ枠寸法; 1300×1600×850mm 高さ)当たり250~450kgの製品が製造されている。

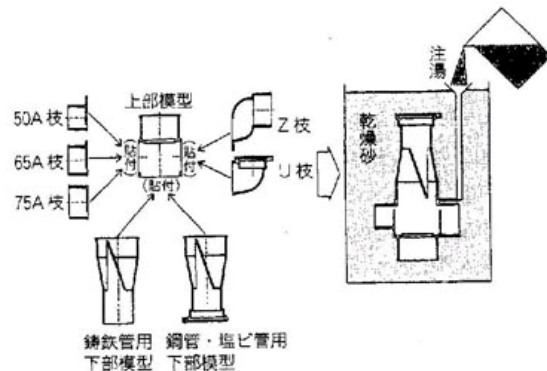


図 22 模型分割方式による132機種への対応
(株)クボタ

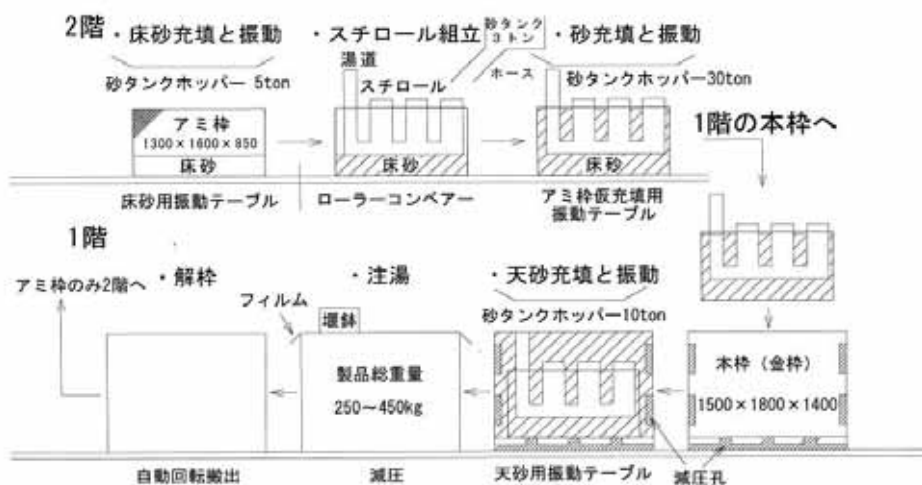


図 23 アミ枠を用いた二重铸枠方式による量産・大型消失模型铸造ライン

高さが1200mmまでの大型異形管の多数込造型を主体として、1枠(アミ枠寸法; 1300×1600×850mm 高さ)当たり250~450kgの製品が製造されている。

この造型プロセスは十分な砂の充てん性が得られるだけでなく、サイズと重量の異なる铸枠をうまく使い分けることにより、高い作業性と大型化を追求した優れた方法といえる。

4.3.3 大型造型

虹技(株)では、自動車用金型、工作用定盤等を自硬性フルモールド法によって製造しているが、以前より作業環境の改善、産廃の低減、品質の向上、コスト低減などの問題が取りざたされていた。そこで数年の間、大型消失模型鑄造法の開発に取り組み、1997年に単重2トン級の大型製品を鑄造することが可能な世界最大級の大物用ライン(図16)を完成させた。

大型消失模型鑄造法を成功させるためには何よりも焼付き、型崩れの問題を解決することが重要であるとの視点から、優れた型砂の充てん性と強度が得られる大型振動テーブルの検討を行い、その結果、



図25 大型造型ライン



図26 自動車用プレス金型(単重2ト)

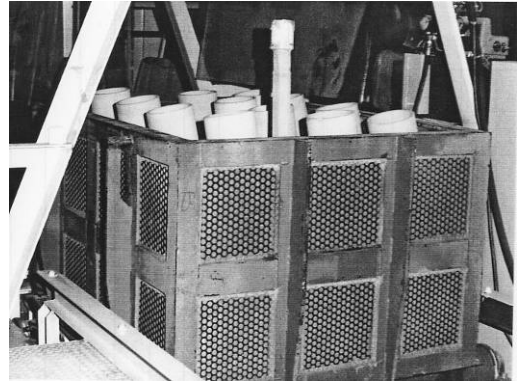


図24 アミ枠での模型クラスターのセット

振動系全体が均等な円振動が得られる加振機構が研究開発された⁶⁾。

図26,27は単重2トンの自動車用プレス金型と工作機械用定盤であり、内寸2,500×1,500×1,300mm高さの鑄枠に最大積載重量が20トンの円振動テーブルが使用されている。

模型はCAD/CAMを適用したNC切削加工によって製作されている(図28)。



図27 工作機械用定盤

4.3.4 砂の投入方法

サンドピンから鑄枠への砂投入方法としては、雨だれ方式(Rain Fill法)、自由落下方式(Free Falling)、フィル・チューブ方式(Fill Tube)がある。雨だれ方式は、多孔板のゲートを用いるが、模型クラスターの受けるダメージが小さく、他の方式に比べて、最も良く締まった充てん状態が得られる。鑄枠内において、模型クラスターを埋設するように静かに投入された砂は、振動テーブルによってさらに流動化して充てん圧縮される。



図28 模型のNC旋削加工

4.3.5 砂充てん圧縮に応用される振動形態

振動応用技術としての加振入力の方法は、

- (a)パルス波で与える打撃加振法(impact excitation)
またはインパルス法(impulse excitation)
- (b)連続波で与える正弦波掃引加振(sinusoidal sweep excitation)
および不規則加振(random excitation)

に大別される。生型造型機の代表的なコンパクション方式であるジョルト(jolt)や圧縮エア式衝撃等は(a)に分類され、30~90G という大きな加速度のインパルス(衝撃)励振力による過渡振動を応用している。一方、消失模型鑄造法の場合は、軟弱な模型クラスターの変形・損傷を防ぐため、(b)に分類される正弦波振動が適用される。加振力としては、両振幅;0.1~0.5mm, 加速度;0.5~2.0G, 振動数;35~55c.p.s.が一般的である。

4.3.6 振動テーブルの形式

振動テーブルは鑄枠に振動を伝達するための振動発生装置で、振動台・振動台支持用ばね・ベースフレーム・加振機(不釣り合い錘回転式)の各要素より構成されている。

加振方向は、垂直1軸(z軸)、水平1軸(x軸)、垂直-水平2軸(z-x軸)および垂直-水平3軸(z-x-y軸)に分類される。多軸加振では互いに直角方向の振動が合成され、各軸の振動数の比、位相差の値によって種々の運動軌跡(リサージュ図)が得られる。

加振機は、不釣り合い錘式回転体が単式あるいは複式で振動台に1組から3組取り付けられている。

振動テーブルから鑄枠への振動伝達は、クランプ方式とアン・クランプ方式がある。アン・クランプ方式では、加振力が1G(9.8m/s²)を超える場合、タッピングが発生し、加振方向の制御が困難になる。

振動テーブルの能力は最大積載量(T)と最大積載時の各振動方向における最大振動加速度(G)によって示す。

$$G = 0.56 \times (\text{振動数 rpm})^2 \times (\text{両振幅 mmp-p}) \times 10^{-6}$$

加速度は不釣り合い錘式加振機のリサージュ図を変換することによって容易に制御できることが分かる。その場合、振幅は、加振機の不釣り合い度と積載重量が一定であれば、回転速度(振動数 Hz)に関わりなく一定になる。但し、始動開始直後及び停止直前で入力振動数が、次式で示す振動系の

$$f = 1/2 \times (g/)^{1/2}$$

但し、g: 980(cm/sec²)、: 载荷によるバネの静たわみ(cm)

固有振動数 f の共振点(10Hz 前後)を通過する時に過渡的振動(過大振幅)が起きる。その制御は重要であり、共振点通過時の過渡的振動を抑える必要性からも、近年、不釣り合い度自動可変式の加振機の使用が多くなっている。

多軸加振の基本となる2軸振動テーブルの振動形態(運動軌跡)の中で、円振動は独立した振幅の等しい垂直方向と水平方向の振動位相差を常に90°に制御して合成した場合に得られる振動であり、垂直-水平多軸振動の中で最も制御性に優れ、静かで安定な振動状態が得られる。砂の充てん性は、1軸加振に比べ、多軸加振の方が効果的であり、その中でも円運動の振動軌跡を形成する円振動が特に優れている。

4.3.7 鑄枠(フラスコ)について

鑄枠は振動造型時に側壁の影響が出めよう、十分な剛性を必要とする。鑄枠の剛性が不足している場合、共振現象によって振動系全体が不規則な異常振動を起こす。そこで、鋼板の固有振動数に及ぼ

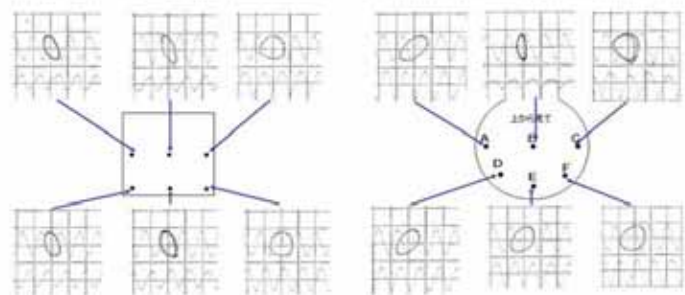


図 29 砂中への振動伝播形態に及ぼす鑄枠形状の影響

す板厚と寸法の関係を表した振動方程式の解を用い、適正な板厚と補強リブ間隔を算出することから、各部位の固有振動特性による共振異常振動を防止し、剛性を高めることが行われる。

大きな枠は生産性に優れている。現在用いられている**鋳枠は丸枠では 400~800、角枠では 700~2000 角**の範囲のものが多く、減圧吸引を必要とするものでは吸引パイプを底部あるいは側壁部に数本装着する。ここで模型有孔部への砂充填にとっては、鋳枠内での砂中模型に伝播する振動形態が重要であるが、その均一性は丸枠と角枠で大きく異なることはない(図 29)。

5. 垂直面円運動振動テーブルの構造と機能

5.1 振動テーブルの種類

消失模型鋳造法における振動テーブルは、この鋳造法を成功させるための三種の神器として、塗型材・発泡模型と並び称されるほど重要である。

振動テーブルの振動様式は、直線運動(垂直・水平)振動タイプ、円運動・楕円運動(垂直面・水平面)振動タイプ、ジャイロ振動タイプに大別できる。

現在、発泡模型の変形防止と砂の流動の点から、垂直面円運動振動は、造型時種々の発泡模型形状に対する充てんに非常に有効で日本においては主流となっている。

ここでは、消失模型鋳造用円運動振動テーブルの一例について、機械本体の構造・機構・振動形態の解説をする。

5.2 垂直面円振動テーブルの構造および機構

垂直面円運動振動テーブルの構造上の特徴は、テーブル盤下部に取り付けた振動ユニットを連動することにある(図 30)。さらに、左右単位振動ユニットの偏心おもり間に位相差をとり回転させることにある。これにより、フラスコ各点において均一な円運動振動の発生を実現可能とした。

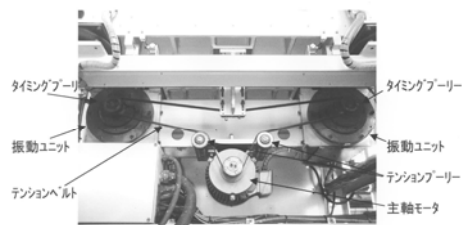


図 30 振動ユニット連結部

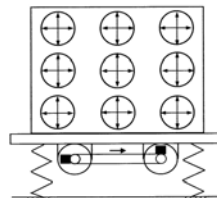


図 31 垂直面円振動の振動軌跡

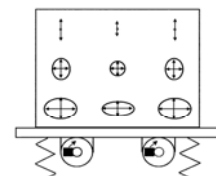


図 32 位相差・連結無し
の振動軌跡

5.3 振動形態および振動軌跡(リサーチ図)

垂直面円運動の振動形態を図 31 に示す。従来の円運動振動テーブルの垂直面の振動形態は図

	左右振動ユニット間の位相差		
	45°	90°	135°
フラスコ 上部	○	○	○
フラスコ 中間部	○	○	○
フラスコ 下部	○	○	○

図 33 位相差の違いによるフラスコ各点の振動軌跡

32 に示すように、テーブル盤およびフラスコ下部では円運動振動となっているものの、フラスコの上部になるにしたがい縦長、つまり上下方向の振動成分のみが残り、水平方向の振動成分が小さくなる。極端な場合は、最上部で上下振動のみとなる傾向を示した。これは、テーブル盤とフラスコと砂の全体を一体構造物にとらえると、重心点で加振しているのではなく構造物の下部にて加振を行っているためである。図 33 に示すように、左右の振動ユニットの偏心おもり間の位相差とフラスコ

の上中下の各場所におけるリサーチ図の関係から位相差をコントロールすることで各場所におけるリサーチ図を調整できることがわかる。なお、フラスコ底部から上部まで均

一な円運動振動を発生させるための適正位相差は振動ユニットの取り付け位置，フラスコの重心位置により決定される。

6．台頭する中国

表3 日本・韓国・中国におけるフルモールドと消失模型鑄造法の会社数と総生産量

	フルモールド(FM)	消失模型鑄造法(EPC)	合計
日本 2009年	35社	23社(2~3万t/年)	58社
韓国 2009年	7社(約12万t/年)	15~20社(約1万t/年)	27社(約13万t/年)
中国 2001年	(17,500t/年)	(68,000t/年)	(85,500t/年)
中国 2003年	15社(21,800t/年)	60社(103,800t/年)	75社(125,600t/年)
中国 2005年	30~50社(105,000t/年)	80~110社(216,000t/年)	160社(321,000t/年)
中国 2007年	42社(276,000t/年)	86社(372,000t/年)	128社(648,000t/年)
中国 2009年	(333,000t/年)	(427,000t/年)	200~250社(760,000t/年)

中国では消失模鑄造技術国際会議が隔年に開催されており，2010年は9月15日～18日に山西省運城市で中国鑄造協会実型鑄造技術委員会第4回消失模鑄造技術国際会議が第11回実型/消失模鑄造学術年次会議と合同開催された(参加者374名、外国人は日本からの4名のみ)。図34の半袖姿の気取らない感じの人達は中国を代表する最大手 EPC 工場の華恩机械制造公司与陝西法士特集团鑄造会社の社長さんたちである。



図34 会場(山西省運城市)



図35 第4回中国消失模鑄造技術国際会議参加者集合写真
(参加者374名 外国人は筆者ら日本人4名のみ)



図36 右から華恩机械社長と
会長，筆者，梁会長，
西法士特集团社長

筆者は第1回国際会議2004から毎回参加しているが，表3の中国に関するデータは、それらの前刷り論文集記載内容に基づいている。この4.5年における中国 EPC の生産量の伸びは驚異的で，世界最大の生産国である。フルモールド FM もプレス金型等の進出で急増しているが，とくに EPC については，中国を代表する企業として3万t/年以上の企業が2社，1万t/年以上が4社，5,000～10,000t/年が3社が論文集で詳しく紹介されている。そのうちで，今回の国際会議で見学工場となった山西華恩机械公司の場合，2005年度生産量は2,000t/年であったのが，2009年には35,000t/年となり，4年間で15倍に増大している。

しかし，論文集 2010.9 “中国実型（消失模）鑄造法の動向と展望 p.p.1 - p.p.11 “で，梁光沢委員長らは“中国は消失模型鑄造法の大国であるが，強国とは言えない”と記述しており，講演でも中国 EPC の品質はまだまだ劣っていると明言されていた．なお，消失模鑄造技術国際会議の中国人参加者は回を重ねる毎に増え続け，今回は 374 名であった．



図 37 山西華恩機制公司工場
(2001 年成立・15 万平方
米・最大単重 500kg)



図 38 発泡樹脂模型成形機（縦型）
ライン（鑄物換算 4 万 t / 年
能力）



図 39 発泡樹脂模型組み立
てステージ



図 40 1 万 t / 年ライン（他に 4 ラ
イン稼働，フラスコ寸法
1,400 × 1,300 × 1,300mm)



図 41 振動造型（振動音から推
定；多軸振動 1G 前後）



図 42 1 日 160t のスローガン



図 43 塗型乾燥（変形防止用棧
（発泡材）は本体と一体
成型されている）



図 44 いずれも上部加工面には
ザク巣が確認された
（トラックミッショナース）



図 45 粗面な模型表面（鑄肌面に
反映されていた）

図 37～45 は，今回の国際会議 2 日目午後実施された工場見学会で訪れた山西華恩機制公司（山西省臨猗県）の工場内風景である．中国式全自動 1 万 t / 年ライン（39m × 22m）を 2008 年に 5 ライン構築した中国最大級の企業である．工場建屋は新築ではないが，工場内の床はきれいで環境は日本のどの EPC 工場よりも優れている．筆者はこれまで中国 EPC 工場を大小合わせて 10 カ所ほど見学してきたが，振動テーブルが実際に使用されているのを確認できたのは前回（2008.9）の陝西法士特集団鑄造公司以来である（他は，いずれも振動テーブルは設備されているものの，使用した形跡が見られないことが多かった）．フラスコは日本では見られない搬送用車輪付・アンクランプ方式．振動強度は振動音から判断して，0.8G 前後の多軸振動と思われる．日本で推奨されている円振動ではない．主な製品は大型トラクター・トラックのギャボックス、エンジンプロック．下記の

陝西法士特集團鑄造公司と全く同じ製品(図48/図50)が大半であった。全体の印象は、上記の梁委員長の言葉通りであった。

次に中国で最もハイレベルな国産消失模ラインを有し、消失模型鑄造業界のトップ企業として認められている陝西法士特集團鑄造公司を紹介する。図46から図52は2008年9月13~15日に陝西省宝鶏市で開催された中国鑄造協会実型鑄造技術委員会第3回消失模鑄造技術国際会議の工場見学会でのレポート写真である。法士特集團(ファーストグループ)鑄造公司是陝西 Fast 汽車グループ, Fast Gear 会社の鑄造会社(従業員850名)である。見学会当時は2007年に米国から輸入した2万t/年の自動ラインと5千t/年の開放式消失模鑄造ラインおよび生型鑄造ライン(3500t/年)だけであったが、2009年には新たに国産2ライン(消失模)とアルミ合金用全自動1ライン(外国より輸入)を増設した。主要製品は大型車両用のミッションケース, クラッチハウジング, 各種カバー類, エンドケース, PTO ケースおよびカバーなどの消失模型鑄造品100種ほど。2007年の鑄物生産量は22,240トン, 2009年の鑄物生産量は35,000トン, 製品の検査合格率は95パーセント以上で, 国内トップレベルとのこと。最大の量産品である図6-15のトランスミッションケース(FC200)については, 現在の湯口系方案(段堰)に落ち着くまでに数年を要したようである(雨淋式 底注式 U型横湯道方案)。フック搬送設備等, 完全自動連続ラインは立派で, 工場内環境も良かった。品質については山西華恩机制公司と同程度と感じた。

送設備等, 完全自動連続ラインは立派で, 工場内環境も良かった。



図46 西法士特集團鑄造公司(生産能力3.5万t/年)



図47 発泡成型された湯道-堰(板堰)、堰鉢-湯口棒(中空)(上砂表面に載せる堰鉢は使われていない)



図48 塗型乾燥(鑄物は華恩と同じも、湯道方案・変形防止法が異なる)



図49 ハンガー連続搬送(模型搬入から鑄仕上げ・塗装まで)



図50 広大な乾燥模型置き場(華恩に比べ加取り/ハ施が多い)



図51 1万t/年ライン(7スリ88枠で4ラインが稼働中)



図52 粗加工面にはサケ巢・カーボン残渣欠陥が見られた

7. おわりに

消失模鑄造大国として台頭する中国は恐るべきことではあるが、決して強国ではない。我が国においては近年、消失模型鑄造法のメリットが認められ量産や非量産に関わらず広く種々の製品が生産されるようになり、とくにこの一年、導入を目指す企業が大小を問わず増えつつある。これは鑄造工場の努力と設備、塗型剤・模型などの周辺技術開発の賜物である。今後、さらに消失模型鑄造は、日本における鑄造業界の将来を考える上で量産品が海外で生産される状況の中、従来の鑄造法では生産ができないような複雑形状かつ高品質の鑄物を日本国内で生産するための重要なポイントになっていくと予想される。