

## 連携記事

# ダクタイル鋳鉄直管の製造技術

## Manufacturing Technology of Ductile Cast Iron Straight Pipe

(株)クボタ  
パイプインフラ生産技術開発部  
グループ長 田中進一郎  
Shinichiro Tanaka

(株)クボタ  
パイプインフラ生産技術開発部 森本圭司  
Keiji Morimoto

### 1 はじめに

主に上下水道の管路に使用される鋳鉄管は明治以降に日本でも使用が開始されたが、当初は海外からの輸入に頼っていた。国産化が始まったのは1893年頃であり、約130年近い歴史がある。

当時の鋳鉄管の材質はねずみ鋳鉄であった。ねずみ鋳鉄とは片状黒鉛鋳鉄とも呼ばれ、当時の水道管としては比較的強度が高く腐食にも強いという利点があるものの、衝撃に弱いという点が課題であった。そこで利点を生かしたまま、欠点を克服した材料としてダクタイル鋳鉄が1949年に開発され、ダクタイル鋳鉄管の生産が1954年から始まった。ダクタイル鋳鉄は球状化黒鉛鋳鉄とも呼ばれ、強度が高く腐食にも強いというねずみ鋳鉄の利点を残したまま、引張強さと伸びを大幅に改善した材質で、水道用の鋳鉄管は1970年代以降ダクタイル鋳鉄で生産されている。ダクタイル鋳鉄は水道管以外にも自動車鋳物のシャフトやクランクケース等にも採用され、要求される性能に応じて、その作り方を変えている。

鋳鉄直管の生産は当初注鋳造法と呼ばれる鋳型に溶湯(溶けた鉄)を流し込む方法で行われていたが、1940年頃に遠心力鋳造法が開発され、現在に至るまで遠心力鋳造法での生産を行っている。

本稿では遠心力鋳造を中心としたダクタイル鋳鉄直管の生産工程について紹介する。

### 2 遠心力鋳造について

遠心力鋳造とは筒形の金型を高速回転させた状態で、溶湯を流し込み、回転の遠心力を利用して溶湯を加圧し、パイプ状に成型する方法である。遠心力鋳造法の特徴は、溶湯が遠心力の作用で金型に高圧で押し付けられるため、管の組織が緻密になり、鑄巣(鋳物の欠陥)が発生しないこと、管長9m

にもなる長尺ものが鋳造できること、である。さらに、偏肉、偏心がない、均一な材質になるなど品質管理面にも大きなメリットがある。

ダクタイル鋳鉄直管の生産で採用されている遠心力鋳造法は3方式あり、①金型遠心力鋳造法、②ウェットスプレーコーティング遠心力鋳造法、③サンドレジソコーティング遠心力鋳造法に大別される。

これらの鋳造法について、特徴を述べる。

#### 2.1 金型遠心力鋳造法

金型遠心力鋳造法は、図1に示すように外面側を水で連続的に冷却した高速回転金型に溶湯を取鍋(溶湯を入れる断熱容器)からトラフと呼ばれる細長い樋を通して供給し、金型内面に振り付ける鋳造方式である。金型上に落下した溶湯は遠心力作用によって金型内面に広がり、均一な厚みの管を鋳造できる。金型遠心力鋳造法では、金型は外面側に水を連続的に流して常に冷却しているため、鋳造後短時間で溶湯は凝固し、直ぐに金型から引き抜くことができる。

金型遠心力鋳造法は溶湯の凝固が速いため鋳造生産性が高いが、溶湯を急冷するためセメントタイトと呼ばれる硬いが衝撃に弱く脆い組織が多く顕われるため、約1,000℃での高温焼鈍(焼き鈍し)による組織改質を行っている。

#### 2.2 ウェットスプレーコーティング遠心力鋳造法

ウェットスプレーコーティング遠心力鋳造法は、図2に示すように金型内面に耐火物として1mm程度の厚みで珪藻土を散布した金型に溶湯を取鍋からトラフを通して供給し、金型を高速回転させることで金型内に溶湯を振り付ける鋳造方式である。鋳造が終わった金型は、管の引き抜き、金枠の温度調整、ブラシ(金型内面の除塵)・コーティング工程を経て、次の鋳造を行うことができる。

ウェットスプレーコーティング遠心力鋳造法は、金型遠心

力鑄造法と比較して溶湯の凝固が遅く鑄造生産性は高くないが、溶湯の凝固速度が遅いためセメントの晶出が見られず、組織改質のための焼鈍は約800℃と温度を低くできるメリットがある。

### 2.3 サンドレジソコーティング遠心力鑄造法

サンドレジソコーティング遠心力鑄造法は、ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法と基本的に同じであるが、予熱した金型内面にフェノール樹脂を混合した珪砂を1~2mm程度の薄い厚みで散布する点異なる。

サンドレジソコーティング遠心力鑄造法は、樹脂に起因し

たガス対策として、金型にガス抜け穴を設ける必要があり、金型整備が大変であったこと、作業環境の確保が困難であったこと、等により、全数ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法に置き換えが進められ、弊社では現在サンドレジソコーティング遠心力鑄造法による生産は行っていない。

## 3 ダクタイル鋳鉄直管の製造工程

弊社で行われているダクタイル鋳鉄直管の製造工程と品質管理のフローを図3に示す。

鋼屑、フェロシリコン (Fe-Si)、コークス等の原材料を溶解

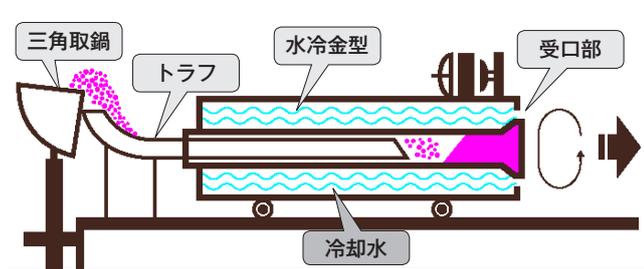


図1 金型遠心力鑄造機の仕組み

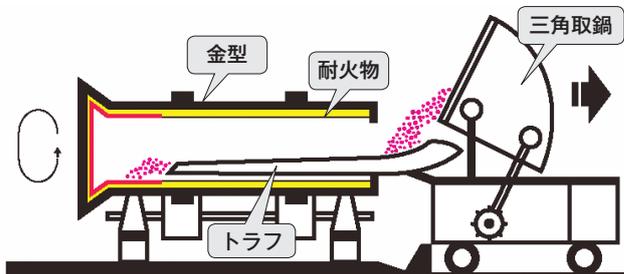


図2 ウェットスプレー遠心力鑄造機の仕組み

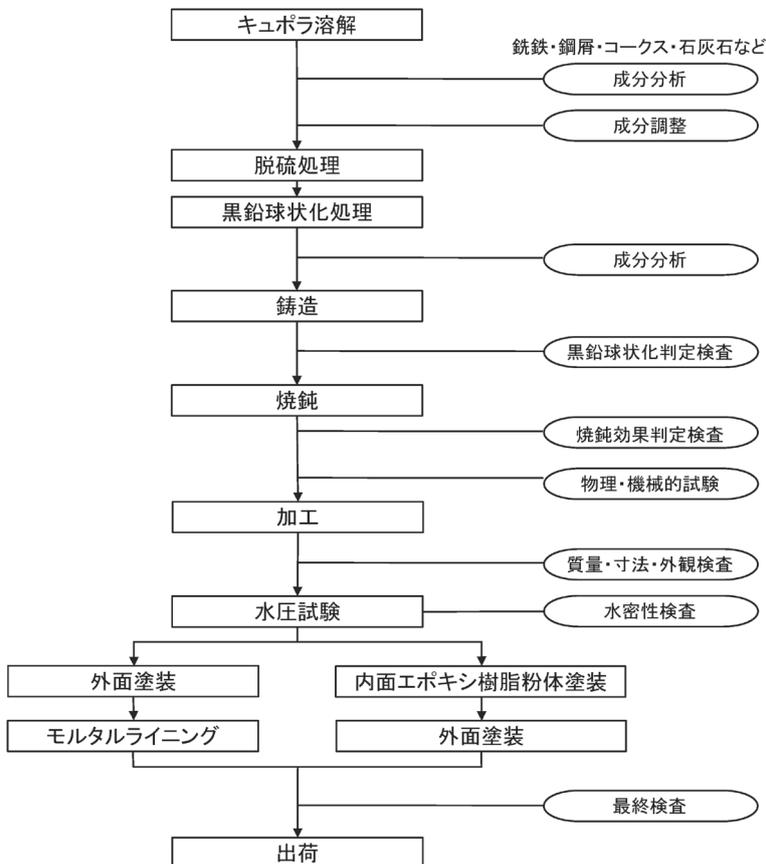


図3 ダクタイル鉄管直管の製造フロー

し、成分調整を行った溶湯を用いて、鑄造を行う。鑄造後、焼鈍（焼き鈍し）により材質を改善し、必要に応じた加工を行う。最後に内外面に防食塗装を行っている。

成分分析や各種検査は、各工程で必要に応じて実施し、品質を担保している。

### 3.1 溶解

鉄を溶解する溶解炉には、電気炉、キュボラ等があるが、弊社では鑄鉄直管製造に適した良質な溶湯が連続的に得られるキュボラを使用している。弊社のキュボラは80t/hrであり、世界最大級と言われている。

溶湯の製造は、鉄源を溶かして溶湯を作る溶解工程、溶湯成分の調整を行う成分調整工程、成分調整後の溶湯にマグネシウム (Mg) 等球状化黒鉛を生成させるために必要な成分を添加する球状化処理工程に大別される。

#### 3.1.1 溶解工程

溶解工程では、図4に示すように、キュボラにコークス（石炭を乾留させてできる高強度・高炭素分の燃料）を投入し、羽口から高温の空気を吹き込むことでコークスを燃焼させる。コークスが燃焼した際の雰囲気温度は2000℃以上になり、この熱で鋼屑や鉄銹等の鉄源を溶かして、1500℃以上の高温の溶湯を製造する。

#### 3.1.2 成分調整工程

ダクタイル鑄鉄の強靱な機械的性質は球状化黒鉛に由来している。成分調整工程では、溶湯に含まれている黒鉛の球状化に悪影響を及ぼす硫黄 (S) 等の物質を生石灰 (CaO) やカルシウムカーバイド (CaC<sub>2</sub>) を添加して除去する。次に温度を調整・保持するための電気炉に溶湯を移し、フェロシリコン等を添加してダクタイル鑄鉄直管の鑄造に求められる溶湯成分に調整を行う。

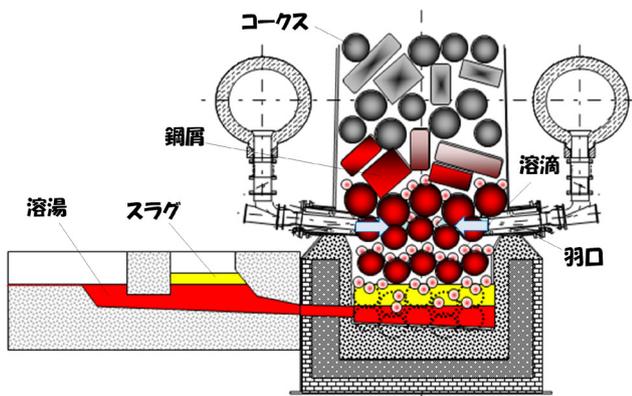


図4 キュボラ溶解炉の概略図

#### 3.1.3 球状化処理工程

球状化処理工程では、黒鉛球状化剤であるマグネシウム (Mg) を添加する。

気化温度が1,100℃と溶湯温度より低く、大気開放下では爆発的に反応するマグネシウムを添加する方法として、弊社では図5に示すように、不活性ガスの加圧下でマグネシウムの気化温度を上昇させて添加する方法（圧力添加法）を用いている。

### 3.2 鑄造

ダクタイル鑄鉄直管は、球状化処理された溶湯を用い、製品の特性に合わせた鑄造法で生産されている。

#### 3.2.1 金型遠心力鑄造法

金型遠心力鑄造法は、同一管種を連続的に生産するのに適した生産性の高い鑄造法であるため、図6に示すように、生産本数の多い主に呼び径75～600の長さ4-6m小・中口径管に適用されている。なお、継手となる受口部には砂型中子（コア）をセットして鑄造しており、コアの形状を変更することで、鑄造時に様々な受口内面形状を形成することができる。

#### 3.2.2 ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法

ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法は、多品種の大口径管を生産するのに適した鑄造法であり、図7に示すように、継手形式が多い主に呼び径600～2600、長さ4-6mの中・大口径管に適用される。

### 3.3 焼鈍

鑄造後のダクタイル鑄鉄直管の基地にはセメントイトやパーライトといった硬くて脆い組織が多く含まれている。そこで、焼鈍と呼ばれる熱処理を行うことによって、材質を延性に富んだフェライト地に変え、強靱性を持たせている。焼

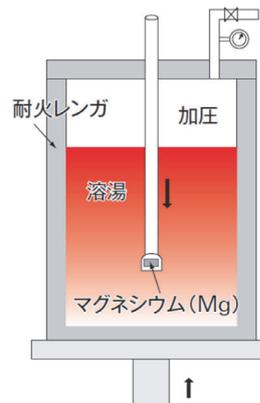


図5 マグネシウム圧力添加装置概略図

鈍は、温度と時間で品質管理を行い、焼鈍終了後の管は物理・機械的試験によって、製品に求められる伸びや引張強さ等の品質を確認している。

焼鈍方式には、連続式横転炉とバッチ式炉がある。

### 3.3.1 連続式横転炉

連続式横転炉は、図8に示すように、金属爪（フィンガー）で管を押して転がしながら熱処理を行う炉で、連続的に生産するのに適した生産性の高い焼鈍設備であり、主に呼び径75-1600の小口径・中口径・大口径管に適用される。

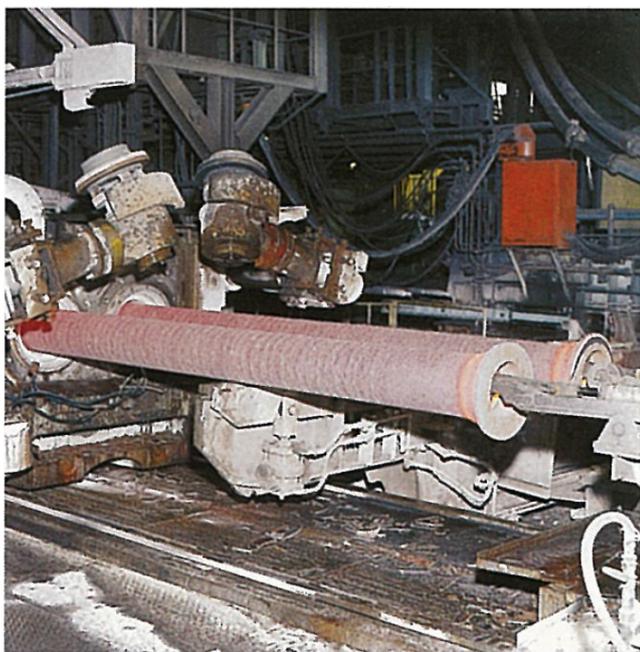


図6 金型遠心力 casting



図7 ウェットスプレー遠心力 casting

### 3.3.2 バッチ式炉

バッチ式炉は、図9に示すように1本1本熱処理を行う炉であって、直管を立てて焼鈍する方式とローラー上で管を回転させながら焼鈍を行う方式がある。主に呼び径1500以上の大口径管に適用される。

### 3.4 加工工程

ダクタイル鋳鉄直管の加工工程では、外面側にショットブラスト、管内に粉体塗装を施す管では内面側に中摺りを実施している。

#### 3.4.1 ブラスト処理

焼鈍を終えた管外面に付着している酸化スケールや鋳造時のコーティング材等の異物は、防錆塗装を行った際に不具合の原因となるため、ブラストと呼ばれる異物除去のための処理を行う。

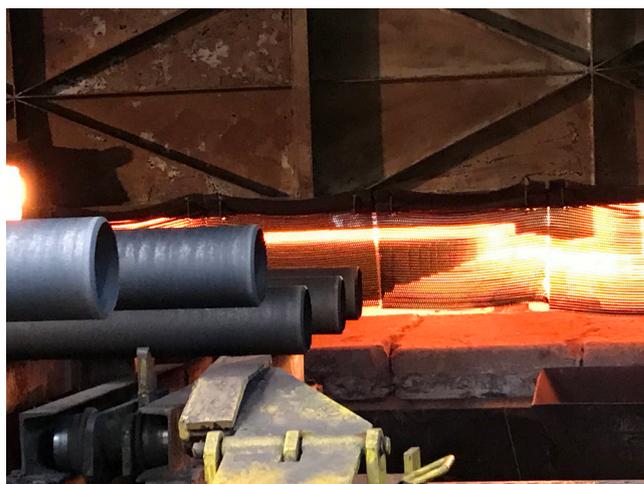


図8 連続式横転炉



図9 バッチ式回転炉

### 3.4.2 中摺り

より平滑性が求められるエポキシ樹脂粉体塗装管等の製品では塗装前の下地処理として、砥石を使用した管内面の研削が行われる。

### 3.5 塗装

加工工程を終えた管は、鉄部の防食のため、内外面に塗装が行われる。塗装膜厚は塗布量によって管理され、塗料の性状に応じて管の予熱が行われる。

塗装後は、塗装膜厚及び外観の検査が行われる。

#### 3.5.1 亜鉛溶射等その他処理

ショットブラスト処理後、図10に示すように、製品仕様に応じた亜鉛 (Zn) 溶射等の防食処理を行う。

100年の寿命を期待できる鑄鉄管として開発されたGX形管では、管外面の腐食に対する耐久性を高めるため、図11に示すように、亜鉛の代わりに亜鉛系合金溶射と封孔処理が施されている。

#### 3.5.2 内面塗装

内面塗装は、エポキシ樹脂粉体塗装とモルタルライニングとに大別される。

エポキシ樹脂粉体塗装は、図12に示すように、主に小・中口径管に適用され、図13に示すように200℃程度に加熱した管を回転させながら管内面にエポキシ樹脂粉末を吹き付ける方法で施される。

一方、モルタルライニングは、セメント・砂・水を所定の割合で混合したモルタルを高速回転した管に流し込んで施工される。施工状況の一例を図14に示す。溶湯の代わりにモルタル、金型の代わりにダクタイル鑄鉄直管がしているだけで、その他箇所は遠心力鑄造と同じである。施工後、表面に発生するクラックを防止するために養生を行い、表層のレイタンス (セメントに含まれる微粒子分が浮き出てきた強度の弱い部分) を取り除く。管内水のpH変動を防止するために、製品仕様に応じて合成樹脂塗装を行う場合もある。

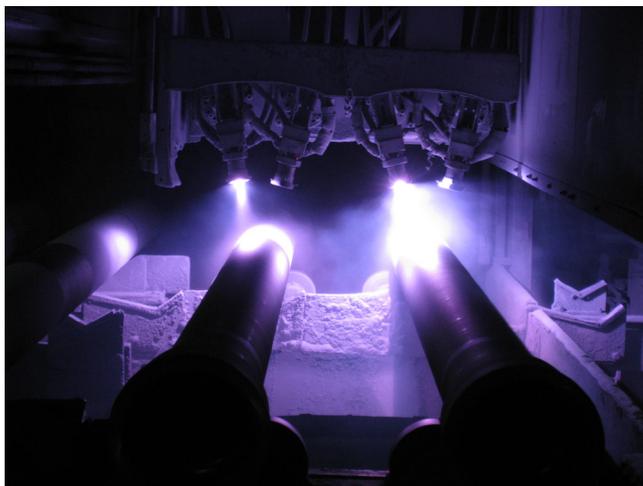


図10 亜鉛系合金溶射の状況

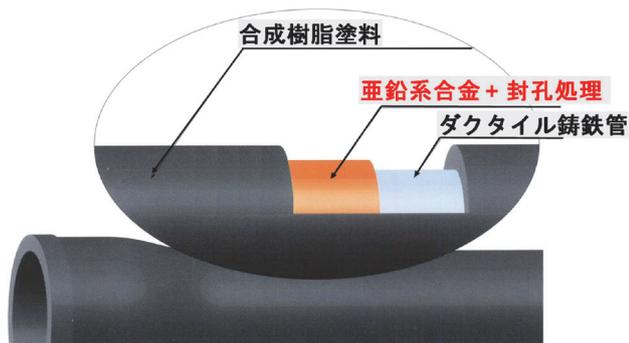


図11 GX形管の外表面塗装



図12 エポキシ樹脂粉体塗装管



図13 エポキシ樹脂粉体塗装の状況



図14 モルタルライニング施工状況



図15 外面塗装

### 3.5.3 外面塗装

エポキシ樹脂やアクリル樹脂等の塗料が、製品仕様に応じて図15に示すように主にエアレススプレーで施される。

## 4 おわりに

遠心力鑄造法による鑄鉄直管の生産が開始され、約80年が経過した。材質も強靱化のニーズへの対応としてねずみ鑄鉄からダクタイル鑄鉄へ進化し、水質衛生面から内面塗装もエポキシ樹脂粉体塗装やモルタルライニングが行われるようになった。またダクタイル鑄鉄管の高機能化が求められ、耐震継手（継手が伸縮・屈曲し、かつ離脱防止機構によって継手は抜け出さない構造を有する）や外面耐食機能を強化して長

寿命化を図った製品も開発されてきた。

今後も順次更新されていく管路に、ニーズに応じた製品を供給することにより、社会インフラの発展に貢献していきたい。

### 参考文献

- 1) ダクタイル鉄管ガイドブック, 日本ダクタイル鉄管協会, (2018), 88, 93, 399.

(2020年2月26日受付)