

# 締付け治具に掛かる大型 F C D の凝固膨張力の測定

(株) 宇部スチール 糸藤春喜, 田村幹夫, 中西貴史

## 1. 緒言

FCD は、凝固に際し黒鉛を晶出して膨張するため<sup>1)2)</sup>、理論上、通常の化学成分であれば、鑄込みから凝固完了までの体積収支はプラスとなる<sup>3)4)</sup>。事実、この膨張をうまく利用することにより、押湯なしでも健全な鑄物が得られる場合がある<sup>3)4)</sup>。このため、膨張の時期及びその力を測定し把握することは、健全な鑄物を造る上で非常に重要となる。そこで本研究では、上下鑄型間に集中的に膨張力が作用するような鑄型構造とし、上下鑄型を締付ける治具に掛かる膨張力の測定を試みた。

## 2. 実験方法

鑄放し重量約40Ton, 概寸W2950×L3320×H1130, 最大肉厚 225mm の射出成形機用プラテンを Fig. 1 に示す要領で造型し、断面が 40 × 170mm の平鋼 (SS 400) 6本を用いて上下の鑄型を締付けた。鑄込みは、球状化及び接種処理した溶湯を取鍋から掛堰を介して行った。掛堰における溶湯の化学成分を Table 1 に、鑄込み条件を Table 2 に示す。これらの条件下における理論的体積膨張量<sup>3)4)</sup>は、プラス 1.57Vol.%である。

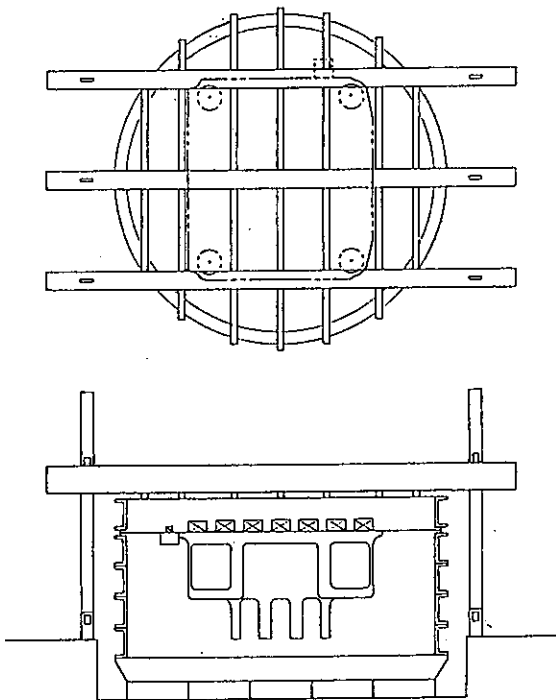


Fig. 1 Procedure of molding and mold clamping.

Table 1 Characteristic of component in platen casting for plastic injection machine (Unit in Mass%).

C	Si	Mn	P	S	F•Mg	T•Mg
3.49	2.36	0.26	0.029	0.006	0.036	0.043

Table 2 Mold condition before pouring, and pouring condition for platen casting.

Items	Conditions
Foundry temp.	229K (26 °C)
Cavity temp.	① 309K (36 °C) ② 310K (37 °C)
Mold temp.	③ 312K (39 °C) ④ 315K (42 °C) ⑤ 315K (42 °C) ⑥ 314K (41 °C)
Pouring temp. (at basin)	1569K (1296 °C)
Filled temp.	① 1509K (1236 °C) ② 1514K (1241 °C)
Filling time	1 Min. and 37Sec.
Pouring weight	40000Kg (Yield=93%)
Fading time	19Min. and 23Sec.

\*Numbers in circle are position of thermal analysis shown in Fig.3

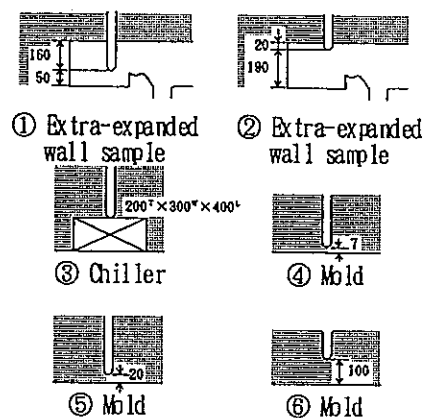


Fig. 2 Position of thermal analysis in extra-expanded wall sample and mold (Unit in mm).

凝固冷却と膨張力及び型張り変位との関連を把握するため、本体余長部 (W320 × L320 × T210mm) の凝固冷却カーブを測定した。更に鑄型の熱膨張の影響を調査するため、上鑄型の温度変化も測定した。鑄型の熱分析位置は、上型面の中央辺りとした。その詳細を Fig.2 に示す。実測の出来ない本体では、凝固シミュレーションにより凝固時間を予測した。本体余長部についても同じファイル内で凝固シミュレーションを実施し、実測値と対比してシミュレーション精度を確認した。

凝固膨張力の測定は、まず締付け平鋼に掛かる応力歪を測定し、次いで平鋼の断面積を乗じることによって求める方法を取った。応力歪の測定は、各平鋼の有効締付け長さの中間に歪ゲージを貼り (Fig.3)、鑄込みから凝固終了まで実施した。平鋼のひねりが懸念されたため、単軸ゲージを断面の各辺に貼り付ける4点ゲージ法を採用した。測定は、締付け平鋼6本の全てについて実施した。鑄枠の側面に作用する凝固膨張力の測定も、同様な方法で測定した。複雑な応力の発生を考慮し、鑄枠側面の周囲に直交する4点に3軸ゲージを貼り付けた (Fig.3)。測定は、上下型の鑄枠の合計8点について実施した。予備試験により、凝固終了時間まで締付け平鋼及び鑄枠共に周囲の雰囲気温度とほぼ同じとなることが分かっていたので、各ゲージ及び補償導線は常温タイプのものを使用した。但し、鑄込み時の湯の飛散及び鑄込み後の鑄型ガスへの引火の影響を考慮して、ゲージ及び補償導線は、全てセラミックウールにて保護した。

種々の締付け補助治具のたわみや座屈等により、上下鑄型間の間隔が広がる、いわゆる型張りが観察されることがある。このため、凝固時の膨張挙動を出来る限り正確につかむ目的で、周囲4点の位置における上下鑄型間の隙間の変位を、変位計を用いて測定した。円周上の4点とし、鑄枠側面にゲージを貼り付けた位置の近傍とした。上型の上面における中央の型張りは、土木用のトランジットを用いて、鑄枠の棧に取付けたスケールの変位を読取ることで測定した。従来の四角状鑄枠では、鑄込み時の静圧及び凝固に伴う膨張圧力により、鑄枠側面がたわむため<sup>4)</sup>、問題が複雑化する。このため、一連の本研究では、応力を側面に均等に分散させる目的で、丸形の鑄枠を用いた。

### 3. 実験結果及び考察

余長部の凝固冷却及び鑄型の昇温カーブを Fig.4 に示す。これに対して、本体及び余長部の凝固シミュレーション結果を Fig.5 に示す。Fig.2 に示す余長部の実測点①は、凝固終了に約90分を要した。一方、シミュレーション結果においても、同部は、約90分で凝固を終了した。これにより、シミュレーション精度が高いことが確認された。シミュレーション結果からすると、上型面に接する本体肉厚の最終凝固時間は、約160分と予想された。以後の実験結果は、

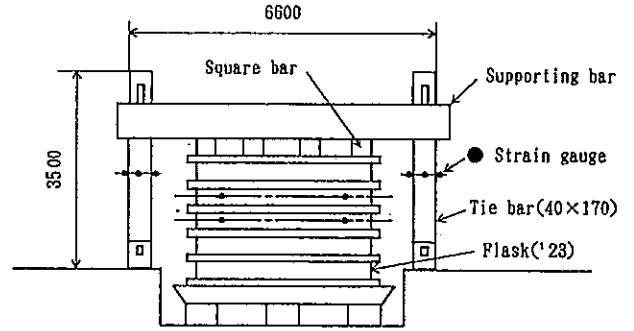
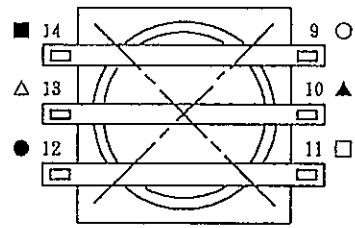


Fig.3 Position measured expansion force acting onto tie bar and flask during solidification.

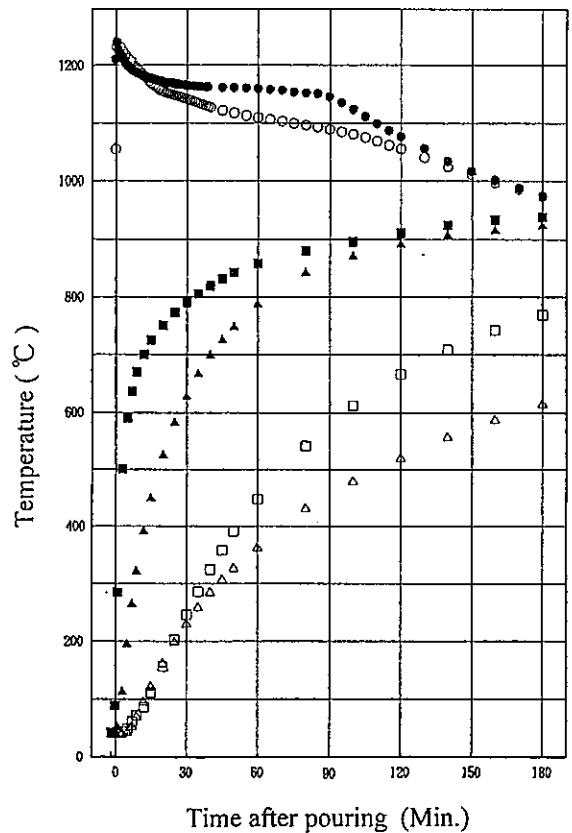


Fig.4 Result of thermal analysis in extra-expanded wall sample and mold. Numbers indicate points of thermal analysis shown in Fig.3

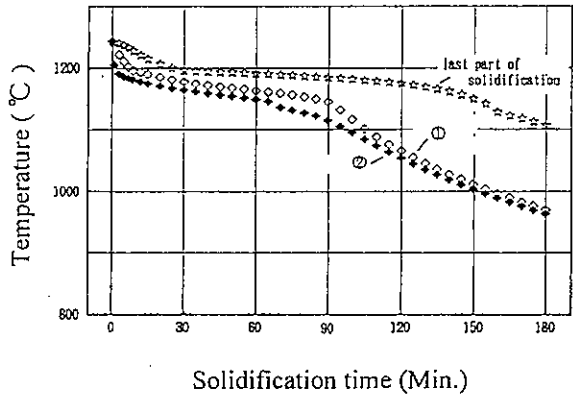


Fig.5 Result of solidification simulation by computer. Numbers indicate points shown in Fig.3.

鑄込み後約160分までの経過時間における挙動を中心にまとめることにする。

締付け平鋼に作用する凝固膨張力の変化を Fig.6 に示す。凝固膨張力は、鑄込み後、凝固の進行と共に平鋼に作用し、約160分でほぼ飽和に達していることが分かる。その後微増するが、180分後の総和は約71.2 Tonであった。これに上型重量(約51.7Ton)を加えたものが、上下鑄型方向に作用した実膨張力ということになる。その値は、約122.9Tonになる。凝固シミュレーション結果による鑄物全体の最終凝固部は、約210分である。しかし、その部分は、上型面や鑄型側面より離れていた。このような箇所の凝固膨張力は、殆ど外部に作用していないことが分かった。凝固膨張力は、各締付け平鋼に対して均等には作用していなかった。鑄込み前の締付け平鋼表面の温度は、歪ゲージを貼り付けた近傍において24~25℃であった。これに対し、鑄込みから160分後における各箇所の表面温度は、27~29℃であった。この変化は、主に、夏季における鑄物工場内の雰囲気温度の変化である。このため、実験値に対して温度補正をする必要がなかった。

上下鑄型間の型張り変化(mm)を Fig.7 に示す。上述の平鋼に作用した膨張力に対して、各平鋼自身が伸びた量(mm)は、平均約202 $\mu$ mである。これに対して、上下鑄型間は、約2.66~6.27mm型張りしている。この差は、締付け応力の差、締付け治具の個体差、及び上述の凝固膨張力の偏負荷によって生じたものと思われる。心配された平鋼へのねじれ応力の発生はなく、単純引張応力のみであった。鑄込みから160分後における上型上面の中央は、約16.1mmの型張りが観測された。以下に示すような種々の要素が重なった結果と思われる。

- a. 凝固膨張に伴う上下鑄型間の型張り
- b. 丸棒使用による砂の上方への一方向膨張化
- c. 冷金の膨張
- d. 鑄棒枠への冷金固定用丸鋼棒の膨張

下型鑄棒の側面に作用する凝固膨張力は、締付けや溶湯の静圧の影響により、鑄込み後しばらく主応力が鑄棒の円周方向に対して少し時計回りにずれていた。

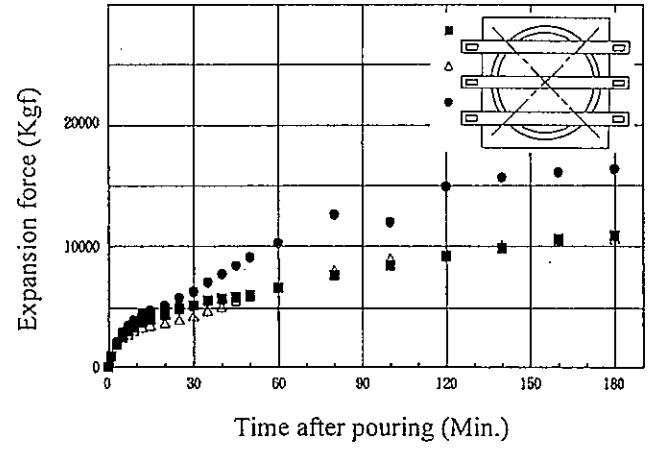


Fig.6 Expansion force acted on tie bar during solidification.

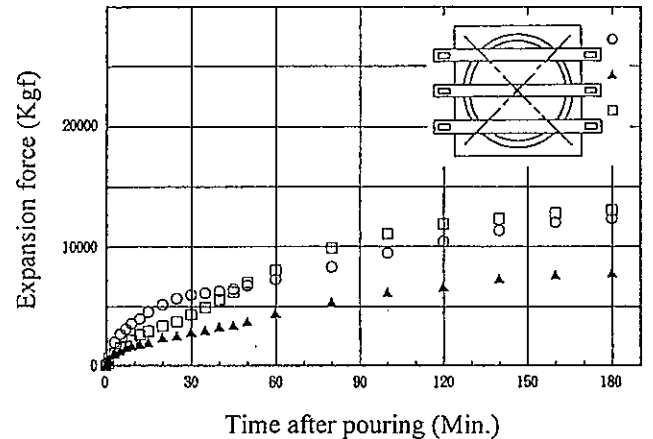


Fig.6 Continued.

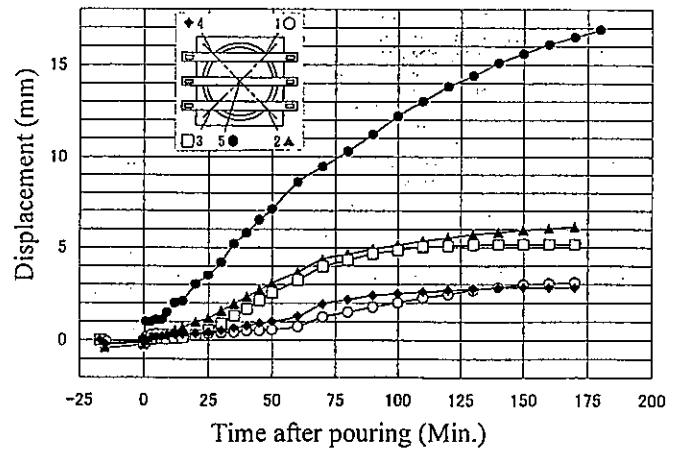


Fig.7 Displacement between cope and drag during solidification expansion.

しかし、凝固の進行と共に、ほぼ円周方向に働くようになった。鑄物の主要部分が凝固する上2段の鑄棒には、締付け平鋼と同様な傾向で膨張力が作用した。全測定点の平均応力は、約484.7Kgf/cm<sup>2</sup>であった。

ゲージ歪量から鑄枠の変形量を推定すると、両段共に高さ方向の中央で直径が約1.0mm拡大しているようであった。縮付け平鋼の場合と同様に、鑄枠のゲージを貼り付けた近傍における表面温度変化は少なく、温度補正の必要がなかった。一般の四角形状の鑄枠の場合、各辺に対して膨張力が均等に作用しないことが多いので、鑄枠の構造や張り止め防止に工夫を要する。

同様の実験を、形状が同じで重量の異なる別の2つの鑄物について実施した。その結果、再現性を認めると共に、上型重量を考慮に入れない見掛け膨張力と上型に面する厚肉部の上型表面積と体積との間に相関を見出すことが出来た。それらの平均は、各々8.1Ton/m<sup>2</sup>、40.0Ton/m<sup>3</sup>であった。各鑄物は、UT的に健全で、加工面にも共晶セル間のマイクロ巣等の鑄造欠陥は発生していなかった。本体余長部の引張試験を実施したが、超厚肉材として十分な強度と伸びを有していた。

#### 4. まとめ

厚肉球状黒鉛鑄鉄鑄物の凝固に際し、縮付け治具に作用する膨張力を具体的な数値で示すことが出来た。現在は、本実験結果を基にして必要な重量を割出し、おもしろによる膨張力の制御に切替えている。

#### 5. 参考文献

- 1) 李, 加山「鑄鉄凝固時の膨張圧力」鑄物, 第47巻(1975), 8号, P11.
- 2) 香川, 中村, 木口, 長田「鑄鉄凝固時の体積変化と凝固膨張圧」第67巻(1995), 2号, P112.
- 3) 張, 明智, 塙『球状黒鉛鑄鉄』アグネ(1983).
- 4) H.Itofuji, "STUDY ON GRAPHITE SPHEROIDIZATION IN CAST IRONS," Thesis for Doctor's Degree in Kyoto University (1993).