# プラスチック射出成形技術の合理化(第3報)

飯　村 修　志*

## 1.緒　　言

射出成形機によるプラスチック製品の成形の際には,樹脂の温度や射出速度などの種々の条件を的確に設定する必要があるが，これらの条件については,経験によるところが多く,各企業間もしくは各オペレータ-により,ある程度のばらつきが見られる。本研究においては，これらの条件設定をより合理的に処理ずることにより,成形品品質の安定化を図ることを目的としている。

前年度において,成形条件の中の成形温度に的を絞って,成形品品質に及ぼす温度設定の影響について報告した1)。本年度は,プラスチックの射出成形時に成形品内部に残留する応力に着目し，この内部応力と成形条件の各因子との関係を明確化することにより,成形条件に対する合理的な知見を得ることを試みた。

## 2.実験方法

成形品の内部応力の評価は，それに起因し発生する「ストレスクラッキング」及び「箱型成形品のそり」に着目し,成形条件の各因子に対してこれらの成形品性能を比較することにより行った。

### 2.1 「ストレスクラッキング」による評価)

(1)　試験片

試験片は,材料にABS樹脂(東レ(株):トヨラック)を使用し,成形条件として,圧力,速度,保圧,樹脂温度,金型温度を変化させて,射出成形機(日精樹脂工業(株): FE80S12ASE)により作成した。

(2)　耐ストレスクラッキング試験

自作のステンレス製の器具(図1)を用いて,試験片に応力を加えながら,20『C,70%の酢酸溶液に,一定時間(30分間)湯漬させた。この時に試験片に生じた亀裂の幅から,その条件下における試料の臨界応力(耐ストレスクラッキング性)を算出し,成形条件の違いによる臨界応力の差を,射出成形時に成形品内部に残留した応力として評価した。

### 2.2 「箱型成形品のそり」による評価

(1)　箱型成形品の作成

図2の様な,箱型の形状の成形品を「2.1」同様に成形条件を変化させて射出成形により作成した。

(2)　反り幅の測定

成形後24時間以上経過した箱型成形品について,図2中のA-A'，B-B'，C-C'の3点を,三次元測定機(東(株)京精密: XYZAX PA400A)により測定し，A-A'とB-B'の平均値とC-C'の差をその成形品の反り幅とした。

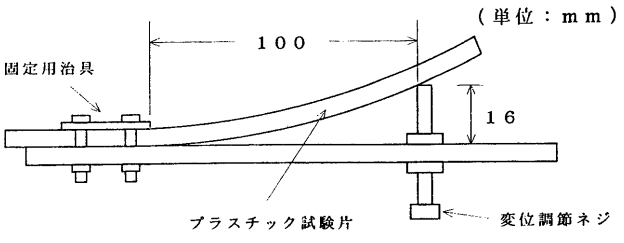



図1　耐ストレスクラッキング性試験装置

(3)　流動解析

有限要素法による3次元流動解析ソフト(CAPLAS)を用いて,図2の形状の金型への樹脂の充填過程を,充填時間,樹脂温度,金型温度を変化させて解析した。

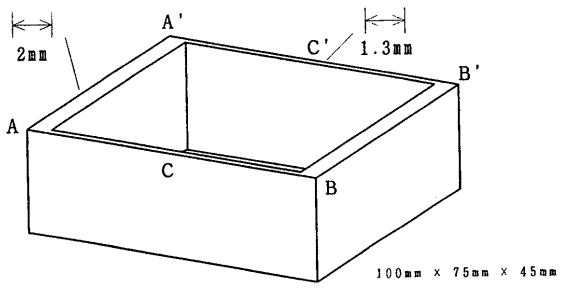



図2　箱型成形品形状

## 3.実験結果

### 3.1 耐ストレスクラッキング性試験による評価

(1)　樹脂温度の影響

図3に示した様に,樹脂温度を高くすることによって,耐ストレスクラッキング性が大きく低下しており,製品に残留する内部応力が大きくなっていると考えられる。この内部応力の増加については,樹脂温度が高くなると樹脂の粘度が低下し流動性が良くなることから,せん断応力や不均質性といった因子は低下するものの,逆に金型充填完了時の成形品の内部の温度が高く,表層部分と内部との冷却による樹脂の収縮差に伴う大きな熱応力が発生するためと考えられる。このため,成形品の肉厚の増加に伴い,高い樹脂温度による成形品の品質低下が予想される。

(2)　金型温度の影響

図4に示した様に,金型温度を高くすることによって,耐ストレスクラッキング性が大きく向上し,成形品品質が良好になるということがわかった。このことについては,バーフロ-金型による樹脂の流動長話験において,金型温度の影響がほとんど見られないことから,その影響が金型内への樹脂充填過程よりも,むしろ充填後の冷却過程に起因していることが推測される。つまり,冷却過程において,金型温度が高いほど徐冷となり,急激な表層付近の固化が

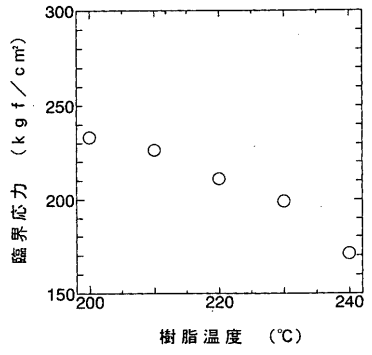



図3　耐ストレスクラッキング性に対する樹脂温度の影響

*繊維工業指導所

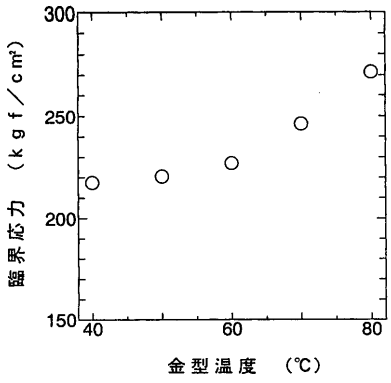



図4　耐ストレスクラッキング性に対する金型温度の影響

起こらずに,内部との温度差が小さく保たれることから,熱収縮の厚さ方向での部分差が緩和され,発生する応力が小さくなると考えられる。

(3)　射出圧力の影響

図5に示した様に,射出圧力を高くすることによって,耐ストレスクラッキング性が向上しており,成形品品質に良い影響を与えている。射出成形においては,加熱筒内で加熱されて溶融状態にある樹脂が,冷たい金型内に注入されるため,樹脂の粘度が急激に増加し,低い射出圧力では充填までに要する時間が大幅に増加することになる。そのために低圧で射出する場合は,注入初期で得られる速度と充填末期で得られる速度に大幅な違いが生じ,局所的な圧力分布を生じたまま固化してしまう可能性が高いため,成形品内部の不均質性が高く品質が低下すると考えられる。

(4)　射出速度の影響

図5に示した様に,射出速度の変化による耐ストレスクラッキング性の変化は,若干高速の方が高い傾向を示しているが,それほど大きな差は現れていない。この低速による耐ストレスクラッキング性の低下につでは,流動中の冷却時間の増加と,それに伴う樹脂の粘度の増加により,せん断応力及び不均質性が若干上昇したためであると思われる。

また,流動長話験に関しても圧力を変化させたときよりもその変化量がかなり小さいことがわかり,圧力制御による成形よりも,速度制御による成形の方が不均質性が少なく,品質的に安定した製品を得ることができると思われる。

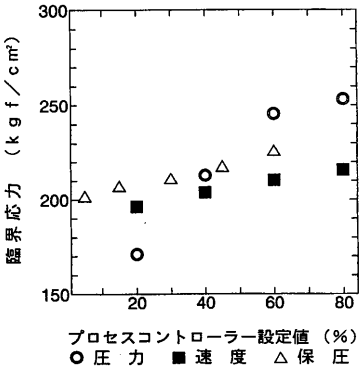



図5　耐ストレスクラッキング性に対する射出速度,射出圧力,保圧の影響

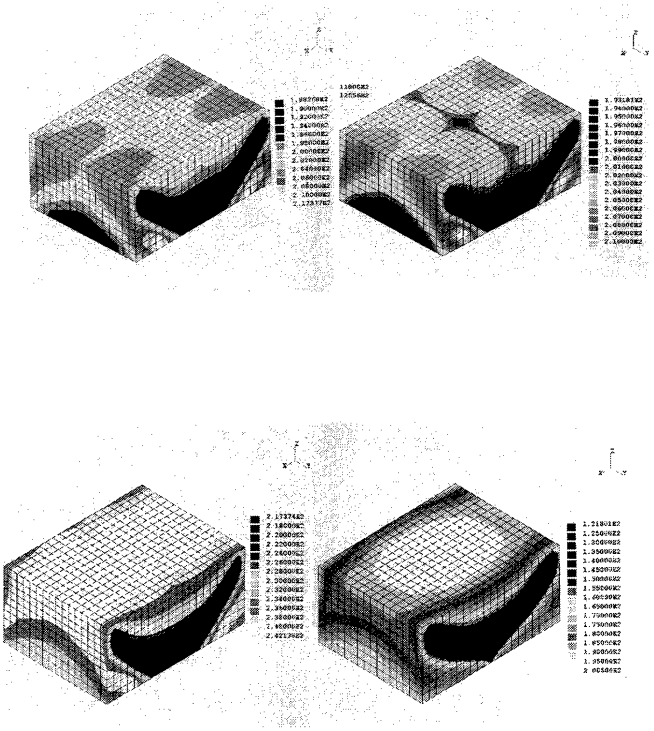
(5)　保圧の影響

図5に示した様に,耐ストレスクラッキング性に関しては,保圧を高くすることで若干向上している程度であるが,同じ変位に対する成形品の破損の程度は,保圧の変化により大きく変化している。これは,低い保圧では成形品密度が小さく,機械的強度が大きく低下しているためであり,成形品品質的には,ある程度高い保圧をかける方が適当であると思われる。

### 3.2　「箱型成形品のそり」による評価

(1)　箱型成形品の流動解析

コンピュータ-を利用して生産工程の様々なシミュレーションを行うCAEシステムの1つである流動解析により,様々な成形条件下における樹脂の流動状態と充填時の温度分布を解析した。これによると,図6に示した様に金型温度及び樹脂温度による充填時の温度分布の差はほとんど見られず,樹脂温度の違いについては充填時にそのまま保持されており,金型温度の影響に関しては充填時よりもむしろ充填後の冷却に関与している可能性が高いと考えられる。それに対して充填過程の温度分布に最も影響を与えると思われるのが,充填時間(充填速度)であり,速度の変化により,充填時の温度分布さらには樹脂の流動状態が大きく変化しているのがわかった。



(a)　(b)
(c)　(d)

図6　流動解析による樹脂充填時の温度分布
(a)200℃,40t,　1秒　(b)200℃,80℃,　1秒

(c)240℃,40t,　1秒　(d)200℃,40℃,　5秒
(※樹脂温度,金型温度,充填時間)

(2)　成形条件と箱型成形品の反りの関係

図7に示した様に,反りに対する各成形条件の影響については,全体的な傾向として,金型温度に関しては,低速注入の場合は低い方がよく,高速注入の場合は高い方がよい結果が得られている。また樹脂温度の場合は,ほとんどの場合高い方がよく,射出速度に関しても同様に高い方が反りが少ない傾向が見られた。

今回の実験において最も反りの大きくでた条件は,高樹脂温度,低金型温度,高射出速度という条件であり,上記の傾向からは多少ずれている。それは,高樹脂温度と低金型温度の組み合わせが,最も温度差が大きく,熱収縮による影響が大きいと考えられ,　さらに樹脂温度が高い場合には,薄肉部分と厚肉部分の温度差が大きくなりやすく,低温の金型によって急冷されることによりその効果が増大しているためであると考えられる。また一方で,最も反りの少ない条件は高樹脂温度,高金型温度,高射出速度であり,金型温度を高くすることで前述の効果を緩和するとともに,樹脂温度が高いことによる内部からの熱拡散速度の向上が徐冷効果を促進させているため,収縮量は大きいが,部分的な偏りの少ない成形品ができ,反りが低減したと考えられる。また速度に関しては,低いほど薄肉部への注入が遅れるため,薄肉部における熱収縮等の不均質性の増加につながり,反りが増大していると考えられる。

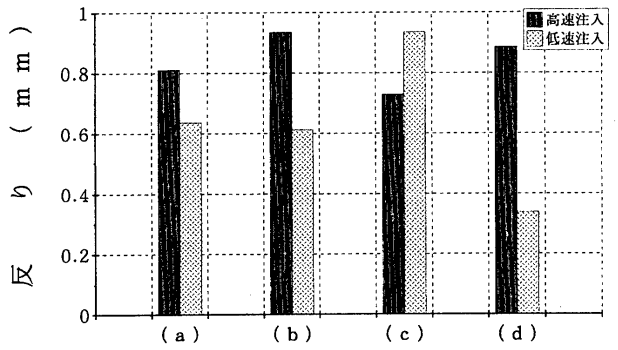



図7　成形条件による箱型成形品の反り大きさの違い
(a)200℃,40℃　(b)200℃,　80℃
(c)240℃,40℃　(d)240℃,　80℃
(※樹脂温度,金型温度)

(3)　新しい成形プロセスの効果[3)]

反り低減等を目的とした成形方法に,一休み成形(CPN1成形)さらには,射出圧縮成形(CPN2成形)と呼ばれるものがある。CPN1成形は,図8の様に射出充填末期に圧力設定を「0」とし,一定時間経過後に保圧工程に入るというものである。またCPN2成形は,そのCPN1成形法に加えて型締めカを射出充填工程と保圧工程に分けて制御する成形法であり,充填中は低い型締めカでガス抜きを良くし,休止時間中に型締めカを上げて成形品を圧縮し,その後保圧工程に入るというものである。これらの成形法の作用機構としては,主に肉厚の差による収縮ひずみを低減させるというもので,一時休止による薄肉部分の固化と保圧工程での厚肉部分の再注入による密度の増加に起因するものであり,樹脂温度や金型温度,休止時間,保圧,成形品形状といったパラメータ-により,その効果は大きく異なると思われる。①

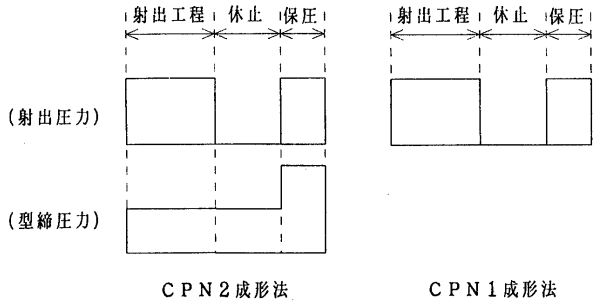



図8　CPN1,　CPN2成形法の加圧プロセス

①　CPN1成形法

CPN1成形は,その作用機構から考えて一時休止中の薄肉部分又は表層部の適度で且つ均一な固化,そして溶融部分への保圧の十分な伝達が必要である。これらの条件は,成形品の形状等によっては達成できず,その効果を得ることができない場合もあるが,図9に示した様に適度な条件下では内反りがほとんどなく,逆に外反りを示す様な製品さえも得られた。

②　CPN2成形法

CPN2成形法の基本的作用機構は,　CPN1成形法と同じであるが,今回の実験ではその効果を確認することができなかった。これは,成形品の形状的な影響とそれにともなう条件設定の不適合等が原因であると考えられる。本来のCPN2成形法は,　CPN1成形法の効果に加え,型締めカを利用した製品の圧縮により,寸法安定性,転写性等が向上し,より安定した品質の成形品が得られる手法として有用性が高いと考えられている。

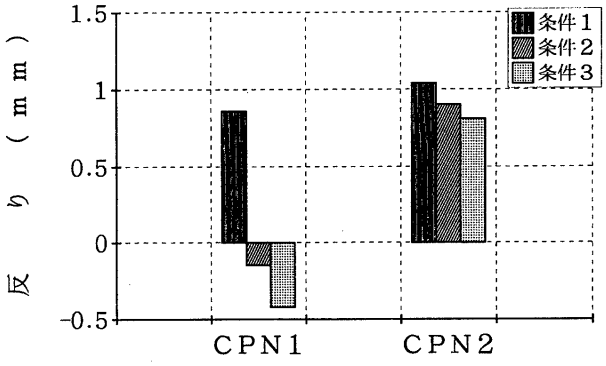



図9　成形法による箱型成形品の反り大きさの違い

## 4.結　　言

成形条件により内部応力を少なくするためには,成形条件の特定の要素についてのみの見解ではなく,複合的な判断が必要であり,熱応力をできるだけ小さくして,且つ不均質性の少ない条件を選ぶ必要がある。一般的な見解からすると,熱応力に関しては,金型温度を高くすること,　さらに樹脂温度を低くすることが効果があり,不均質性に関しては,速度を上げることが最も効果的で,さらに樹脂温度を高くすることも効果があることがわかった。

## 5.参考文献

1)　望月政夫,中島秀樹,茨城県工業技術センタ-研究報告,22,33(1994)
2)　堀川裕巳,プラスチック成形技術，　1,65(1984)3)
日精樹脂工業(株),技術資料