

インフレーション成形における ウエルド・マーク発生機構について

On the Generating Mechanism of Weld Mark in Tubular Film Process

岡本 智*

Satoshi OKAMOTO

まえがき

この観察研究を始めたのは、先にポリエチレン・フィルムの成形条件を調べた際十分には解決し得なかったウエルド・マーク¹⁾(別々の流路を流れた熔融樹脂が完全には再融着しない欠陥部分)の対策の有無を確かめるためである。

近年プラスチック製品の各分野への進出振りは脅威的ですからある。その成形法は多種多様であるが、熱可塑性樹脂では加熱融液として、ほとんど再加工不要な最終形状にまで一気に成形固化され、迅速安価に多量生産される。しかしウエルド・マーク発生の難問はしばしば起きるようである。したがってプラスチック成形をより効果的に進めるには、熔融樹脂の流動をいかに把握しているかにかかっていると思われる。

ところが、熔融樹脂は粘弾性を示し、その流動形態は擬塑性の非ニュートン流で、ニュートン流よりもはるかに複雑であるにもかかわらず、研究の歴史が浅く、そのレオロジー方程式は近似的なものとしてべき法則をはじめ幾つか提示されてはいるが、未だ確定的なものはない。従って相似則としてニュートン流にはレイノルズ数がある。非ニュートン流のそれではレイノルズ数の外にワイゼンベルグ数、デボラ数が等しい必要がある。しかしこの3個で十分であると断定できないかも知れない²⁾と言った現状である。当面はまず非ニュートン流動の種々な挙動を十分に観察し、これらを解析した後、構成方程式が決まり、相似則も明確になると考えられる。

本報は一応相似則の成立は不問として、単純化したスパイラル・ダイのモデルに、非ニュートン流体であるCMC 3wt %溶液を流し、これを可視化して当面するウエルド・マークに類似した現象を予備実験的に観察し、ウエルド・マークの発生機構と緩和方法を考察した。

1. 実用スパイラル・ダイにおけるウエルド・マークの一例とその改修

インフレーション・フィルム用スパイラル・ダイにおけるウエルド・マークの類似現象に触れる前に事例について述べる。

第1図は本来ウエルド・マークの発生を極力押える構

* 相模工業大学

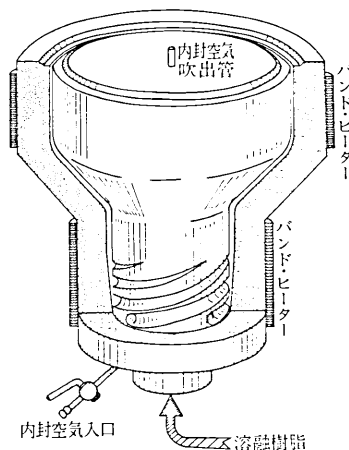


図1 スクリュー・マンドレル・フィルム・ダイ流路概念図
 想で設計され、フィルムのインフレーション成形に用いられるスパイラル・ダイについて、その煩雑な構造を略し、主要な融液流路を概念的に示した部分断面図である。図に略してあるが前段の押出機で加熱熔融混練された熔融樹脂はアダプターを通り、矢印方向からダイ底部中央孔へと圧入される。熔融樹脂はマンドレルの軸心を通る孔から周辺に穿けられた半径方向の幾本かの通路に分流し、図示したスパイラル溝の始点である噴口に押し出される。ほぼ半円形のスパイラル溝はだいに浅くなっているため、熔融樹脂は溝を流れ昇るに従いダイ本体との円筒状間隙に溢流する。円筒状間隙は上方程広くしてあるので、各溝から溢れた熔融樹脂の薄層は幾重にも重なり、互いに再融着しながら、円環状ダイ出口全周からほぼ均等様に押し出される構想である。押し出された熔融樹脂円筒には内封空気と巻取機による軸方向引張で所要の変形が加えられ、フィルムに固化される。一度分流した熔融高分子樹脂の完全には融着し難い性質に対して、スパイラル・ダイの考案は合理的であると言える。

しかし、この巧妙な構想のスパイラル・ダイを実用してみると、残念ながらこの構想は全く具現されていないことを知った。¹⁾それは押出機のペレット投入口に一握りのカラー・ペレットを投げ、一過性の染色フィルムを吹くと、噴出口と同数の染色むらを母線状に生ずる。そ

研究速報

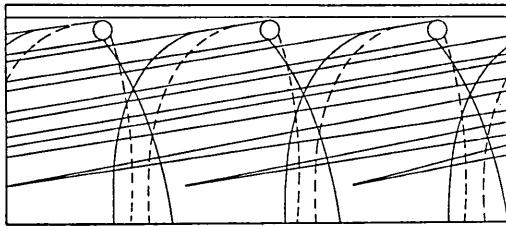


図2 実用スクリー・ダイのフローパターン展開図
点線——改修前、実線——改修後

の位置と噴出口との対比、染色途中で機械を停止し、ダイを分解して観察した結果を総合すると、融液のフロー・パターンは第2図点線のようにになっている。融液はスパイラル溝の初めの部分のみを流れ、次の噴口手前までに円筒間隙に溢流していることが認められる。

この原因はダイの押し抵抗を下げにくい要請と流路形状設計法の未完成の双方にあると思われる。上記ダイの応急改修策として、ダイ本体のスパイラル溝対面部分にライナーを焼酎めして円筒間隙を狭め、スパイラル溝断面積を可能な限り広げると、フロー・パターンは第2図実線のように変化する。押し抵抗は少し上がるが、一過性染色フィルム試験でも色むらが減じ、インフレーション・バブルの安定性も向上する。しかし、この状態ではスパイラル・ダイ本来の機能は果たしていない。またウエルド・マークの問題を解決したスパイラル・ダイの存在も寡聞にして知らない。斯界でもこの問題は半ば諦めに近い状態に見受けられ、その解決の困難さの程がうかがわれる。そこで非ニュートン流体で類似現象を起こし、発生と緩和の機構を観察する意義があると思われる。

2. スパイラル・ダイの単純化モデルにおける
ウエルド・マーク類似現象の観察

常温下で透明材料を用い、高温溶融樹脂の流動に近い状態を観察しようとするのは大変無理な要求である。まずその類似現象を発生させ得るか否かの予備的実験が必要である。次に今回試みた手法について次に述べる。

a) 流体試料

適切な非ニュートン流体試料を選定するのはなかなかむずかしい。従来この種の実験によく用いられたカルボキシメチルセルローズ(略して CMC と呼ばれる)の比較的濃厚な3 wt %前後の透明溶液と、これに等量のCaCO₃粉末を混入した白色溶液を用い、流動状態を可視化することを試みた。

3 wt % CMC 溶液の室温での比重は約 1.03 である。メルト・インデックス試験装置(JIS K 6760)の試料流路を模擬したφ2×8のオリフィスを通し、3 kg/cm²

の空気圧で押し出した流量からメルト・インデックス相当値は約 9000 である。これは溶融樹脂のそれらが大体1桁であるのに比較してかなり大きい(押し出粘度が小さい)。また押し出圧力差と流出量を両対数グラフにプロットすると直線関係となり、べき法則流体と見なせる擬塑性体である。(第3図)

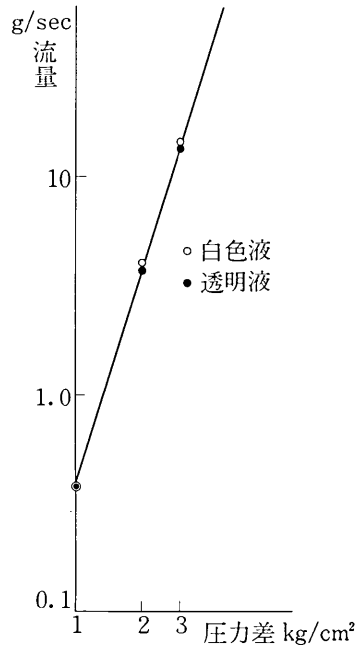


図3 圧力差と流量

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$$

ただし、 τ : ずりせん断応力
 $\dot{\gamma}$: ずりせん断速度
 k : 流動度

がある範囲で近似的に成立するとされ、流れ指数 n は攪拌直後 0.3 位であるが、長時間静置した液では単位時間当たり流出量が減少し、構造粘性の影響が出るようである。

b) スパイラル・ダイの単純化モデル

第1図に示したスパイラル・ダイをそのまま観察用透明材料で作ることは複雑過ぎる上に、自由度が少なく実験上不便なため、第4図に示す単純化したスパイラル・ダイを製作した。マンドレルは半円形に長方形を継ぎ足した断面形のスパイラル溝を約1周半切り込んでいる。傾角は約9°である。ダイ本体に相当する外筒は内径φ80、肉厚10mmのアクリル円筒である。実用ダイでは融液噴出口はマンドレルからスパイラル溝下始点に開くが、モデル・ダイでは噴出口位置を移動可能にするため、上下摺動と回転自由なアクリル製外筒に圧入口として取

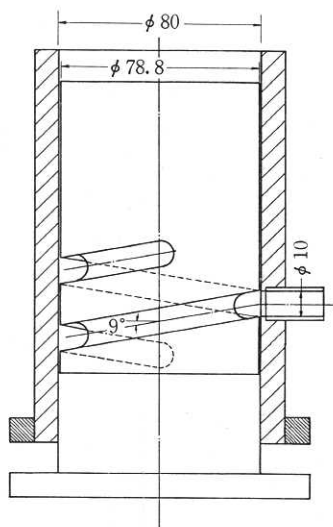


図4 単純化モデル・ダイ

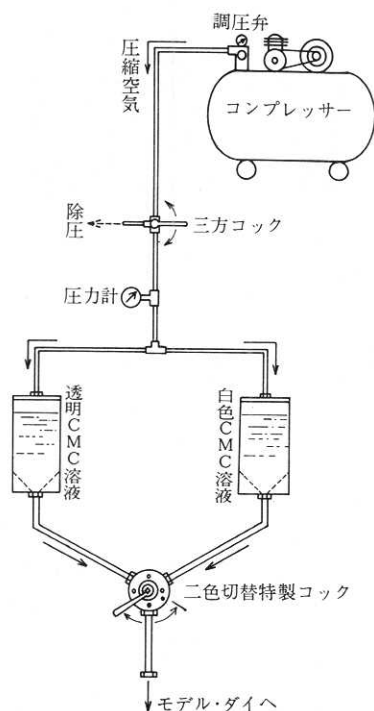


図5 試料流体切替圧入装置

り付けた。また外筒側面には圧入口中心を原点とする基準目を刻み、流れ模様スケッチの目標とした。なおマンドレルはダイス鋼に磨きをかけ、防錆のため薄く銅メッキを施した。円筒間隙は0.6mm一定である。

c) 試料流体二色切替圧入装置

透・白二色の CMC 溶液を切り替えながら、単純化し

たモデル・ダイに圧入する配管系を第5図に示す。

自動調圧弁付コンプレッサーからの圧縮空気によって、各1 l容量の透・白 CMC 溶液の入った真鍮製タンクに加圧する。連結は高压ホースで、途中にタンクを除圧するための三方コックおよび圧力計を設けてある。2個の溶液タンクの底部はパラフィンで流入角90°位に整形し、底部中央流出口の内径はφ10で、以後二色切替特製コックを経てモデル・ダイ流入口まで内径φ10のビニール・ホースで連結してある。二色切替コックは当初市販三方コックの内部を修正して試用したが、通路形状が複雑で透白の切替りが不鮮明であったため、φ10のくの字型通路の切替コックを特製した。

3. 観察結果

種々の組合せ条件で試験したが、その中の代表的2例について述べる。

第1例は誰もが最初に考え付く1回転半切り込まれたヘリカル溝の midpoint から CMC 液を圧入する場合である。

最初透明液を圧入してダイ間隙全体を満し、次に白色液を圧入する。フロー・パターンが落ち付いた時点で再び透明液を圧入し、白色液を押し出し、白色液の大部分が流れ去った状態を写真-1に示す。その展開図は第6図である。図の EE' と FF' に挟まれた透明流は長時間流せばじだいに1本線に近づくが非常に長く残る。これが実用ダイでウエルド・マークの発生に類似した現象と思われる。もしこの通りならウエルド・マークは二つの流れがちょうど潮目のように境界面をつくり、この境界面を二つ擬塑性流体の流れが伴っている非常に遅い境界層が対面し互いに全く入れ乱れることなく流れている。

実際の溶融樹脂流について考えれば、ダイの金属面に接して、ユックリ流れる境界層に熱分解による劣化。あ

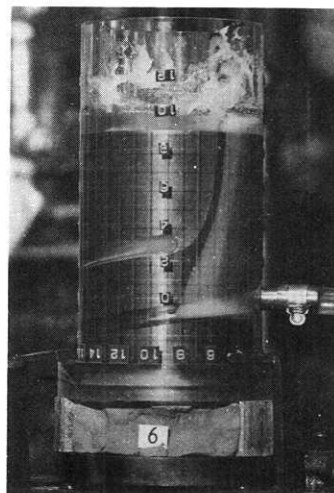


写真1 例1の外観

研究速報

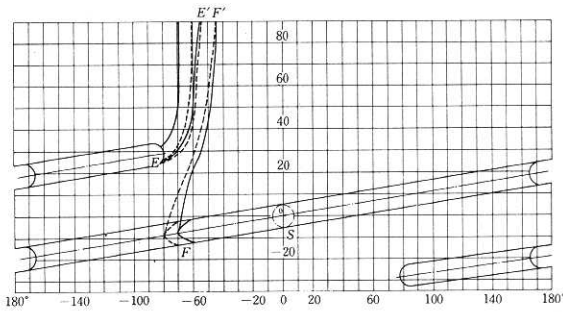


図6 例1の展開図

るいは比較的低分子量分布に傾くとかの現象が起これば、狭い接触境界面を含む部分は他の早い流れからできた部分に比較して、力学物性等が低下すると思われる。

擬塑性流体の二つの流れの狭い接触境界面に不都合な現象が集中するとするならば、接触面を拡げることは、緩和策となり得る。二番目にこれを試みた例を示す。その方法は第7図の展開図中 AE のスパイラル溝上端部分約 1/4 周を真空粘度で第8図に断面を示す形状に埋める。流路断面は A から E に行く程漸減させる。これにスパイラル溝 S 点から最初透明液を圧入し、全空隙を満

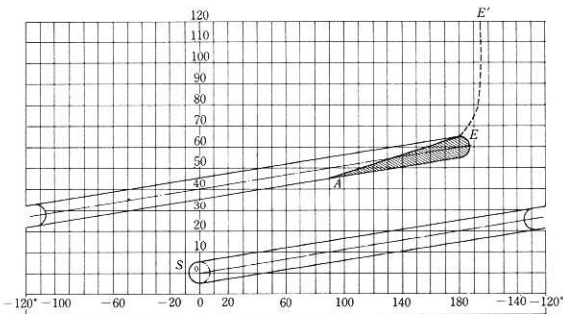


図7 例2の展開図

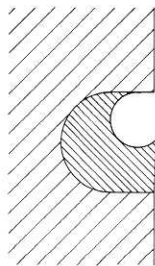


図8 修正溝断面図

たす。次に白色液を圧入すると、溝を粘土で整形した部分の上方に最後に残った透明液も比較的早く消え、写真2に示すように、一見して円筒間隙全体に白色液が流れる。EE' 近辺を精細に観察すると、AE の下側を AE 方向に流れる比較的遅い流れが、整形された流路から溢れた比較的早い流れの外側に重なって流れる状況が、CaCO₃の細粒の移動からうかがえる。これは接触境界面が斜めに重なって広くなり得ることを示し、不完全ながらウエルド・マークの緩和策の方向を示唆するものと考えられる。

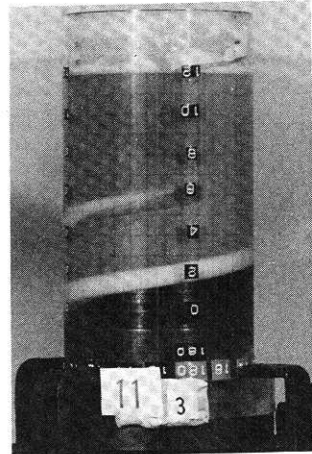


写真2 例2の外観

むすび

以上で実用スパイラル・ダイでは未解決のウエルド・マーク解消策に対して、CMC 溶液による可視化の手法が一助となり得ると期待できることが分かった。

今後1本のスパイラル溝について側方への溢流ができる限り均等一様になる条件を求め、次にこれを重ね合わせる方法を調べればスパイラル・ダイのウエルド・マークを緩和し得ると思われる。

なお、この観察実験で、二つの流れが相接した場合接触面で各々の境界層が干渉せず、互いに分離しているかのように安定に流れたが、ウエルド・マーク解消対策には不都合な現象と見受けられた。

この実験に用いた CMC は第一工業製薬 KK からセロゲン BSH-6 の試料提供を頂いた。この実験を始めるに当たり中川威雄助教授からご意見を頂き、永田肇君に実験の協力をいただいた。記して厚くお礼申上げる次第である。

(1978年2月27日受理)

文献 1) 岡本智：大気球シンポジウム (東大宇宙船空研究所), (1973), 49.

2) 富田幸雄：日本機械学会誌, 72 - 609, (1969), 1313