

(討10)

ロールフォーム加工の成形過程における材料の変形挙動

東京大学生産技術研究所 木内 学

1 まえがき

ロールフォーム加工の成形過程においては、素材の各部分は各種の成形条件因子によって規定される複雑な歪経路を経て成形される。この歪経路あるいは素材の変形挙動、すなわち、ロールフォーム加工本来の目的である断面成形のために必要な中方向曲げ歪 (ϵ_{yb}) と、長手方向・中方向の膜歪 (ϵ_{xx} ・ ϵ_{yy}) および長手方向曲げ歪 (ϵ_{xb}) などの各種付加的歪成分の分布形態およびその推移が、ロールフォーム加工に関する様々な問題の基本的要因となっている。特に製品形状が決定される機構や製品の形状不良の発生原因を考察する場合には、これら歪成分の挙動とこれに対応する材料内部の応力状態を適確に把握することが必要不可欠である。

筆者らは、既に成形過程において材料各部が受ける種々の変形形態を個別的に抽出し、各付加的歪成分が所定の断面成形の中方向曲げ変形に与える影響を解析的に細かく検討し、これらの解析結果をこれまでに得られた多くの実験結果に適用し、所定の断面成形に関し付加的歪成分が本質的役割を果たしている事実を示した。そこで実際の成形時に材料各部の受ける変形形態について一般的傾向を知ることができれば、各々の変形形態に対応する材料内部の応力状態、さらにはその結果予想される成形後の弾性回復量や製品形状あるいは製品の形状不良をあらかじめ推定することが可能となり、実際生産の場で成形されている各種の断面形状に関しても、成形条件の決定や製品形状の制御の手法などについて重要な指標が得られるものと考えられる。

本報では、筆者らがこれまで行なってきた円弧形・V形・台形の基本断面3種ならびに円弧と直線部・台形と直線部を組合わせた広中断面などに関する歪経路の測定実験による結果を中心として、成形中の材料の変形挙動の一般的特性について述べる。

2 材料の変形挙動・変形様式の概要

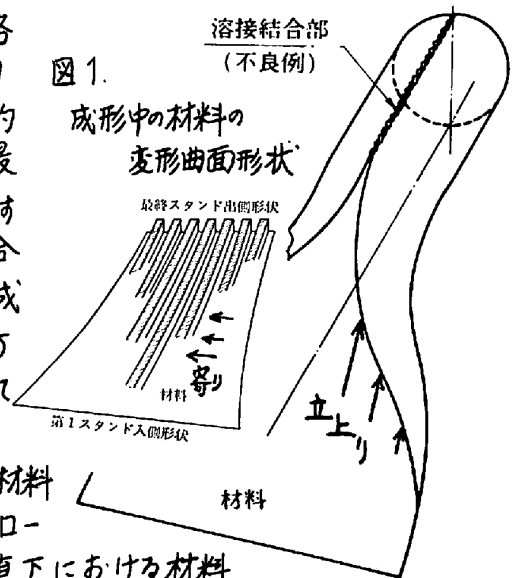
まず成形中の材料の変形挙動の全体的にみる特徴を列挙すると次の様になる。

(1) 材料は成形ロールの直前にきてから急激な変形を受ける。この傾向は降伏点 (σ_y)・縦弾性係数 (E)・ n 値の小さな材料ほど助長される。(2) 材料の縁部ならびに断面の折り曲げ部とその近傍領域は、ロール間を通過する際、激しく長手方向の曲げ・曲げ戻し変形を受ける。その際の変形様式は、断面の種類・寸法および材料の特性により異なる。(3) 上記折り曲げ部を除いて、材料の進行にともなう長手方向の曲げ・曲げ戻し変形の推移は、成形断面の形状・寸法が一定の場合、材料によらず断面の位置毎に規則性を示す。(4) 中方向の曲げ変形については、ロールへの進入過程の初期に強く曲げられる部分と、ロールの直前・直下で急に曲げられる部分とがある。更にロール直前でオーバーバンドまたは腰折れ状態となりロールにより曲げ戻される場合がある。(5) 折り曲げ部を有する断面(角形断面)のウェブ部・フランジ部・平坦部・リップ部などは、成形中に中方向・長手方向の曲げ変形や面内変形を受ける。これらの変形はいずれも付加的変形であるが、単独でも塑性域に達する場合もあり製品の形状不良の大きな原因となる。(6) 材料の受ける面内変形は大別して、中方向伸び型・張り出し型・縮みフランジ型の3種類あり、このうちのいずれの型の変形となるかは断面の種類・寸法ならびに材料の特性値により影響され、更に断面の各部分で異なる変形を受ける場合が多い。(7) 折り曲げ部における実質的曲げ変形領域は、設計上予想されるよりも中方向にかなり広がることを考えるべきであり、 σ_y = 小、 n 値 = 大の材料ほどその傾向は強まる。(8) (6) で述べた面内変形に関しては、一般に円弧・V・台形等の単一断面の

縁部・広巾断面のウェブ部等では縮みフランジ型，角形断面の折り曲げ部とその近傍では張り出し型または巾方向伸び型となる場合が多い。また焼鈍材では縮みフランジ型の变形が起り易く，冷延材では巾方向伸び型の变形が起り易い。(9)一般に成形断面の形状・寸法により材料内部に発生する歪成分の挙動が決まる度合が強く，また角形断面では円弧断面の場合よりも成形条件の変化に対する材料各部の变形挙動が規則的であり，さらに前者の場合の方が材料特性の影響による变形挙動の変化が少ないと云える。(10)材料各部が成形中に受ける变形の様式を大別すると，細かい付加的变形は別に考えるものとして概略次の様になる。(イ)巾方向曲げ变形が主体となる場合，(ロ)面内变形が主体となる場合，(ハ)長手方向の曲げ・曲げ戻し变形が主体となる場合，(ニ)巾方向曲げ+面内变形(張り出し型，縮みフランジ型，巾方向伸び型)が主体となる場合，(ホ)巾方向曲げ+長手方向曲げ变形が主体となる場合，(ヘ)巾方向曲げ+巾方向しごき变形が主体となる場合。

3 材料の变形様式・变形挙動を支配する要因

成形中の材料の流れまたは移動を全体的にみると，大別して二つの面がありいずれもロールフォーミング加工の基本的特徴とも云える。即ち，(1)断面の成形に伴う材料各部の立上り，(2)材料各部の中央への寄り，である。(1)の立上り变形は材料各部のロールへの進入径路およびその軌跡長の相対的な大小関係を規定すること等を通して，材料の变形を支配する最も基本的要因の一つとなる。(2)の寄り变形は断面の成形に対する拘束となり，寄りの難易はそのまま成形の難易に結びつく場合が多い。いずれにせよ，成形中の材料の变形挙動あるいは各歪成分の挙動は，これら立上り・寄り变形ならびにロールによる巾方向の曲げ加工に対する材料の適応形態あるいは挙動の結果として現われるものとして理解できる。(図1参照)



材料の流れ(移動)をより細かく検討する際の問題としては，材料各部のロールへの進入径路に関する次の二つの問題，即ち，(1)ロールへの進入過程における材料各部の軌跡長差，(2)ロール直前・直下における材料の長手方向にみたロールへのなじみ，がある。(1)の軌跡長差は長手方向膜歪(ϵ_{xx})の巾方向分布の形態ならびにその推移を規定する要因となり，製品の長手方向そり・ねじれ・縁波等の形状不良発生の原因となる。(図2,3参照)(2)のなじみの問題はロール直前・直下における材料各部の長手方向曲げ・曲げ戻し变形の問題と等価であり，製品断面のオーバーベンドの問題と関連して重要である。

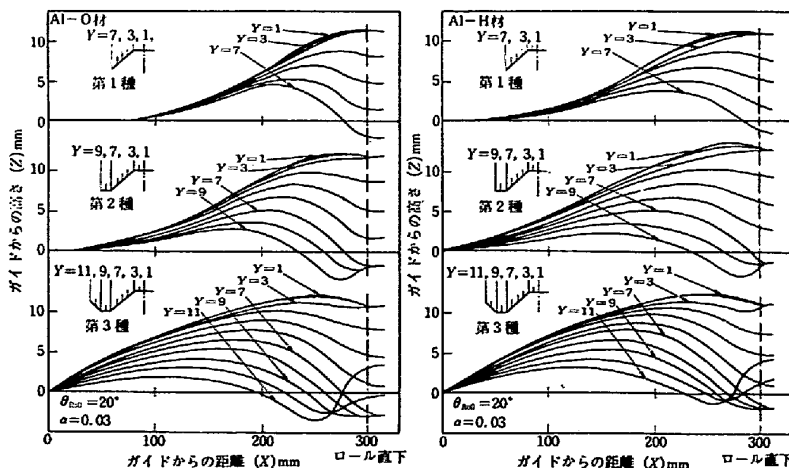


図2 台形断面(第1~3種)各々のロールへの進入径路(例)

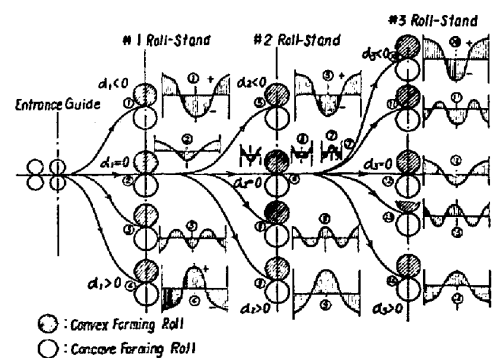


図3 円弧形断面の3スタンドタンデム成形の各段階での長手方向膜歪(ϵ_{xx})の巾方向分布形態

上述の如き材料の流れ、即ち材料各部の変形挙動あるいは発生する歪の挙動を規定する主要因としては次の様なものが考えられる。

(1) 成形断面の形状・寸法：ロールフォーミング加工で成形される製品の種類・形状・寸法は極めて多様であり、それに伴って材料各部の受ける変形様式も上述の(1)~(4)の如く多岐にわたっている。したがって材料の受ける変形の様式を一般的に論じることには困難な面が多いが、多角形断面の折り曲げ部の様に断面の他の部分に比して明らかに異なる変形を受け且つその変形の内容が断面の形状・寸法によらない共通性をもつような場合には、その変形様式に一般的な規則性が見い出されることもある。円弧・V・台形1種(図4参照)の縁部は長手方向の曲げ・曲げ戻し変形に関し、各スタンド間で成形条件によらない規則的な繰返し変形を受けるが、その変形の推移のパターンは断面の寸法により大きく異なる。(図5参照)。また台形2種の左ア部・フランジ部および折り曲げ部の変形様式は、平坦部の寸法や左ア部自体の寸法の影響を受ける。この様な例は他にも多くみられるが、この問題に関しては早急に系統的な検討を進め、材料の変形のうち断面固有のものと断面によらない変形とを類別し、それらに関して一般性のある規則性を見出す必要がある。(図6,7参照)

(2) 材料特性：材料の

機械的性質を表わす特性値のうち、ロールフォーミング加工で特に重要と考えられるのは、ヤング率E・降伏点 σ_y ・n値・ γ 値・降伏伸び ϵ_y などである。E・ σ_y ・n値などは材料のロールへの進入径路に影響を与え、その結果材料中の歪の値やその変動量に影響を与える。 σ_y ・n値は塑性変形領域の拡がりに対して強い影響を与え、また γ 値は付加的な面内変形の様式を決定する重要なパラメータとなる。台形2種で平坦部寸法の十分大きい断面の場合、左ア部や折り曲げ部に発生する付加的な面内変形は、深絞り用焼鈍鋼板では縮みフランジ型変形が主体となるが冷延リムト鋼板では中方向伸び型あるいは張り出し型の変形が主体となる。この様な変形様式の違いは製品形状の不良問題などと

図4 筆者らの実験に採用した成形断面の種類

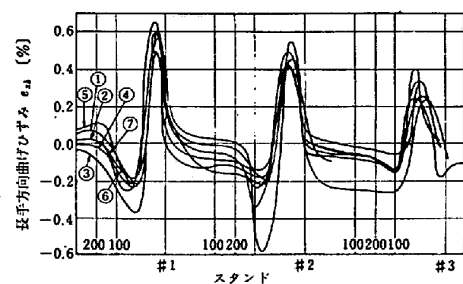
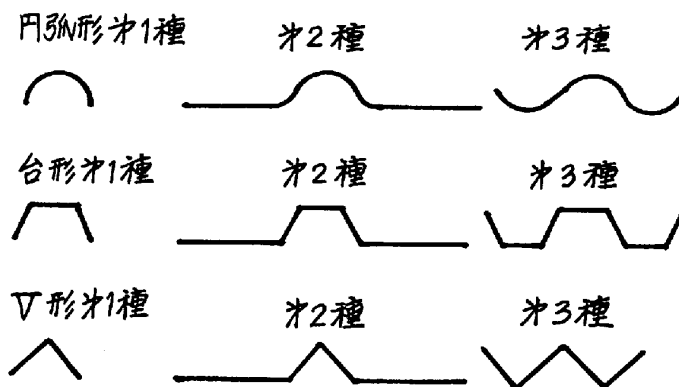


図5 円弧形断面タンDEM成形時の長手方向曲げ歪の推移(縁部)。図中番号はバスターンの種類を、数字は各スタンドからの上流側・下流側への距離を示す。(mm)

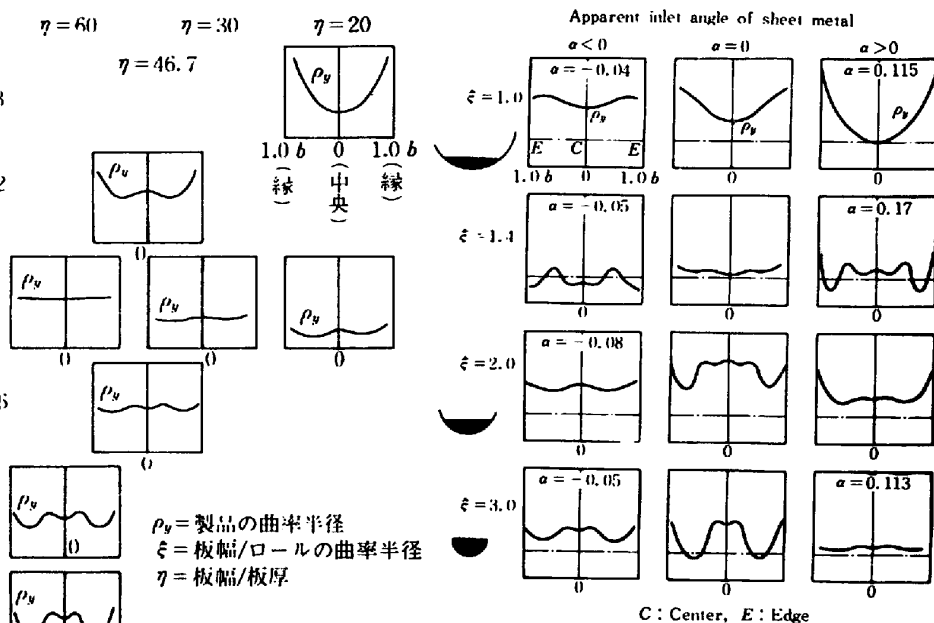
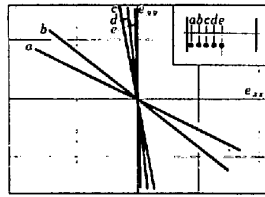
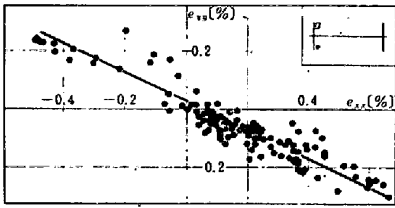


図6 円弧形(1種)の成形断面の形状・寸法の相違による製品形状の違い。 ρ_y = 製品の中方向曲げ半径, α = 材料の進入角



(d) モデル化
幅方向収縮ひずみ e_{yy} と長手方向収縮ひずみ e_{xx} の対応性

図7. 円弧V.台形オ1種の成形時に材料各部に発生する e_{xx} と e_{yy} の対抗関係にみられる規則性。

図8. 円弧形オ3種の成形にみられる材質の相違による製品形状の相違. 成形係数 = (製品曲げ半径 R_p / ロール曲げ半径 R_r)

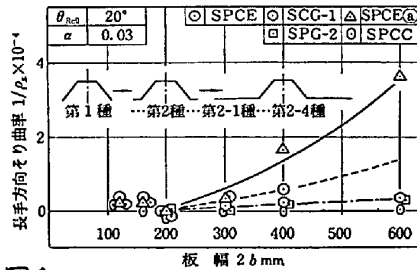
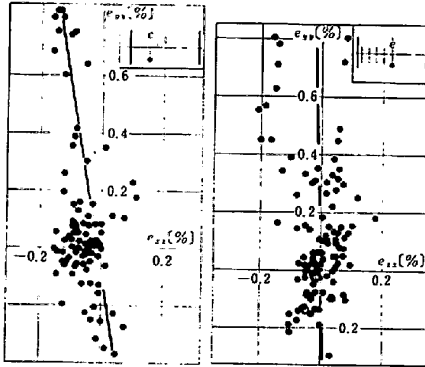
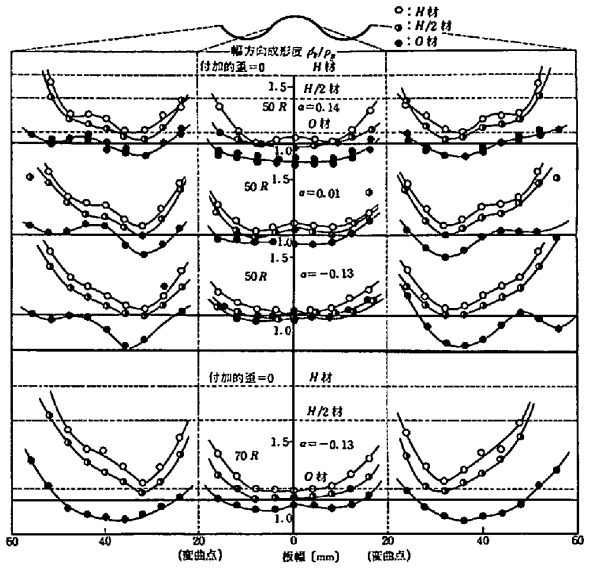


図9 板幅 (2b) が長方向そり曲率 (1/ρ_s) に与える影響 (材質によりその発生の変位が大きく異なる例)

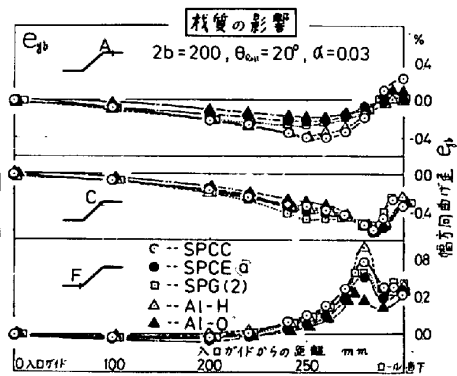


図10 幅方向曲げ歪 (E_p) の推移

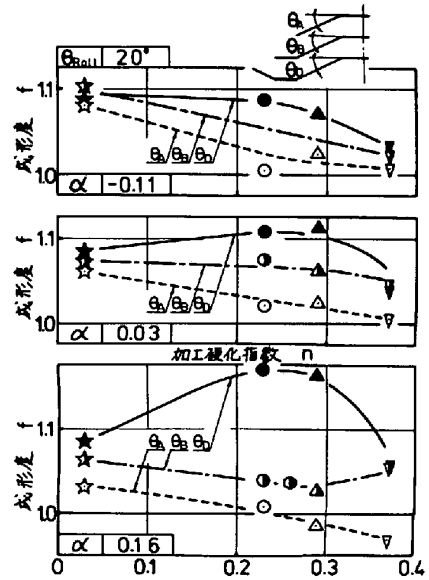


図11 加工硬化指数が成形係数に与える影響

直接結びついてくるという意味から重要である。更に材料特性により成形中の付加的歪の挙動が異なるのと同時に付加的歪の断面成形のための中方向曲げ変形に対する効果自体も影響を受けるので問題が一層複雑になる。また(1)に述べた断面の形状寸法の効果の現われ方も材料特性の影響を受けるので、この問題も合わせて考慮しなければならない。(図8.9.10.11参照)

(3) 成形条件: いわゆる成形条件のうち材料の変形挙動に最も大きな影響を与えるものはパスラインとロールフラワーである。パスラインの変更は材料各部のロールへの進入径路 (= 変形径路) の変更を意味し、ロールフラワーの変化も同様の意味を有する。従ってこれら両者は製品の形状やその不良問題に重要な影響を与える(図12参照)

4: むすび

本報ではロールフォーミング加工における材料の変形挙動とそれに影響する要因のごく概略を述べた。紙数の関係で十分意を尽せず理解しにくい面も多々あると思われるがこの方面の関係者に何等かの参考になれば幸いである。

参考文献 (1) 木内伸銅技術研究会誌 Vol.11, No.1, 1972, (2) 木内伸銅研究会誌 Vol.24, No.8, 1972, (3) 木内伸銅研究会誌 Vol.24, No.5, 1973, (4) 鈴木木内, 昭和48年塑性加工短期講演集 (1973) 327.

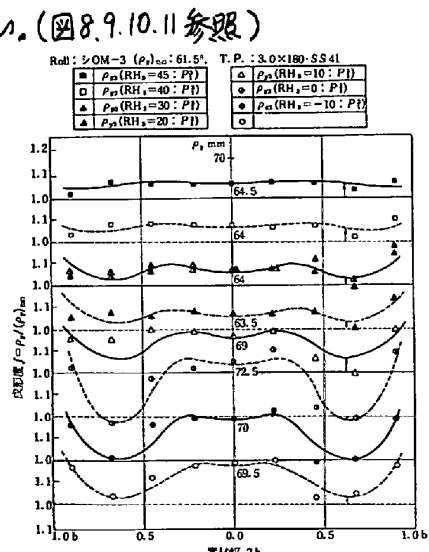


図12 33スタンダードロールの異なるRHが幅方向曲げ半径 ρ_s の分布に与える影響 (パスラインが製品断面形状に与える影響: 円弧形オ1種)