

# ロールフォーミングに関する実験的研究 第7報

Experimental Study on Cold Roll Forming. —7th Report—

## 円弧形断面タンデム成形の変形径路の分類

Classification of Deforming Patterns of the Specimen through Tandem Mills with Calibre Rolls of Circular Groove

鈴木 弘\*・木内 学\*・中島 聡\*・市田山正昭\*

Hiromu SUZUKI, Manabu KIUCHI, Satoshi NAKAJIMA and Masaaki ICHIDAYAMA

### 1. まえがき

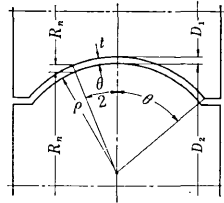
ロールフォーミングの成形過程において、素材の各部分は各種の成形条件因子によって規定された異なった歪径路を経て成形される。その歪径路のいかん、すなわち素材に加えられる断面成形のための幅方向曲げ歪と各種付加的歪成分の分布形態、および推移がロールフォーミングに関する種々の問題の基本的要因であり、特に製品形状を考える場合の不可欠な要因である。筆者等はすでにロールフォーミングの成形過程において生じる各種の付加的歪成分が幅方向曲げ変形に与える影響を細かく検討し、また任意の歪径路が既知である場合の応力分布を求める解析法を提案した。そこで成形過程にある素材各部分を受ける歪径路について一般的傾向を知ることは極めて有用である。本報では円弧形タンデム成形に関してパスライン P. L. を変化させた場合の歪径路の測定を行ない、スタンド間で素材各部分を受ける歪径路の基本的なパターンを抽出し、一般的傾向を検討したので以下に報告する。

### 2. 実験方法および実験条件

実験は3スタンドタンデム成形機を用い、平板より半円までの成形を行なう際の歪径路を測定した。使用したロールの寸法を図1に示す。試片の素材材質は SS41 相当熱延板で板厚 3.0mm、幅 180mm、板長 3000mm である。歪の測定は素材裏面に長手方向、幅方向に貼付した抵抗線型歪ゲージを用いて行ない、ロール通過時における歪ゲージの破損を防止するため図2のごとく素材表面にゲージの厚さにはほぼ等しく約 0.2mm の浅い溝を掘り、その中にゲージを貼付する方法を採り、幅方向の各点の歪径路を2回に分けて測定した。また溝の影響をさけるため同一点についても表裏別々に測定した。ここで素材に溝を掘り表面歪を測定することには問題があるが、素材に溝を掘らずに表面歪を測定した結果（この場合歪ゲージはロール通過時に破損する）と比較し、定性的には問題ないことを確認した。パスラインの種類は図3のごとき7種類である。また上下ロール間の設定間隙は 3.0mm の定クリアランス方式を採用した。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 幅方向曲げ歪 $e_{yb}$ の推移について (図4参照)



st	$\theta^\circ$	$\rho$	t	$R_n$	$D_1$	$D_2$
#1	30	180	3.0	121	229.62	254.17
#2	60	90	3.0	121	217.48	265.72
#3	90	60	3.0	121	205.97	276.26

(単位: mm)

図1 ロール形状及び寸法

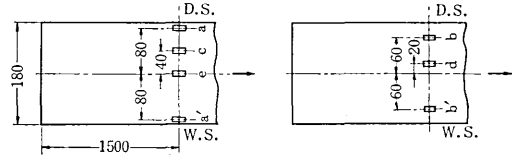
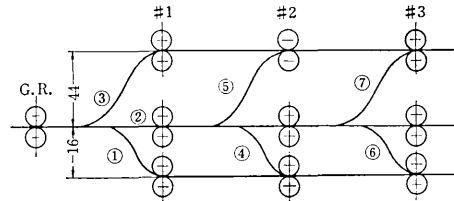


図2 歪ゲージ接着位置



No. / st	1	2	3	4	5	6	7
#1	-16	0	44	0	0	0	0
#2	-16	0	44	-16	44	0	0
#3	-16	0	44	-16	44	-16	44

(単位mm)

図3 ロール高さの変化

歪推移の傾向はパスライン P. L. の影響をほとんど受けず規則的な変化をするが、 $|e_{yb}|$  は P. L. の影響を受け、特に素材中央部では P. L. の影響を大きく受ける。一方縁部では歪推移の傾向および絶対値とも P. L. の影響をほとんど受けずに成形されていくが、 $|e_{yb}|$  自体は素材が幅方向にロールプロフィールになじんだ場合に生じる  $|e_{yb}|$  よりかなり小さい。

#### (2) 幅方向膜歪 $e_{yy}$ の推移

図5のごとく  $e_{yy}$  の歪推移は P. L. により大いに影響を受けるが、その推移の傾向には明瞭な規則性は見当たらない。 $e_{yy}$  と  $e_{xx}$  との対応性を見ると図6のごとく縁部ではかなりの対応性が認められるが、他の部分では顕著ではない。定性的には  $e_{yy}$  と  $e_{xx}$ 、 $e_{zz}$  との対応が予

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

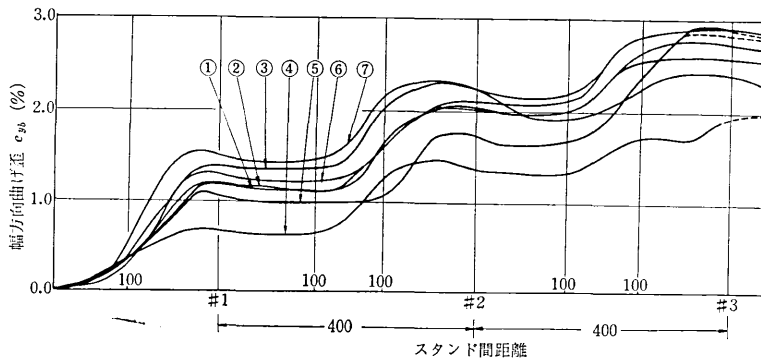


図 4 幅方向曲げ歪  $e_{yb}$  の推移(中央部)

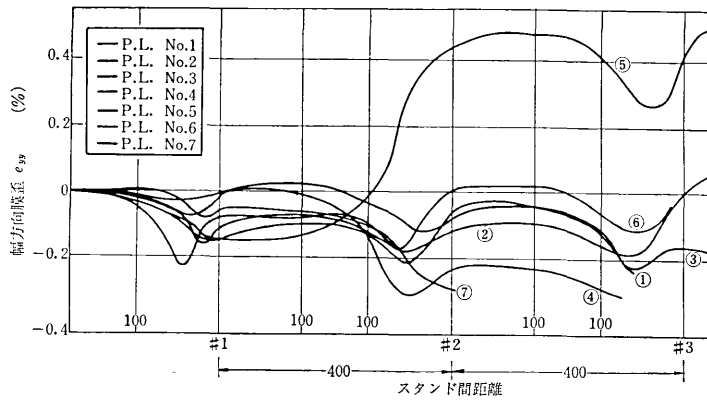


図 5 幅方向膜歪  $e_{yy}$  の推移(縁部)

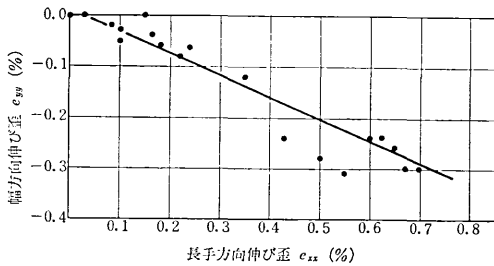


図 6  $e_{xx} \cdot e_{yy}$  の対応性

想されるが生じる歪成分の絶対値が余り大きくないので傾向が明瞭に現われないと考えられる。

(3) 長手方向曲げ歪  $e_{xb}$  の推移について (図7参照)

一般に製品は  $x$  方向に曲げ、曲げ戻されながら形成されていくことがわかる。特に縁部では歪径路が激しく変化するが、推移の傾向は P.L. の影響をほとんど受けず規則性が見られる。また素材中間部から中央部の部分もロール直下およびその前後において曲げ、曲げ戻を受けている。 $e_{xb}$  の推移に関するこれらの測定結果は各 P.L. における素材進入経路およびロールとの接触状態

などから見て容易に推定できる部分もあるが、なかには外部的に予想できない歪径路を採る部分もある。

(4) 長手方膜歪  $e_{xx}$  の推移について

素材縁部および中央部の  $e_{xx}$  は P.L. により大きく影響を受けその推移の傾向は非常に複雑ではあるが一連の規則性がある。

中間部の歪推移にも規則性はあるが  $|e_{xx}|$  の変動量は比較的少ない。これらの結果は成形過程で素材全体がパスラインに沿って、長手方向に曲げ、曲げ戻を受けていることと対応していることは明らかであり、またその際の断面の曲げの中立軸が中間部を通ることを考えれば定性的に理解できる。

4. 歪径路のパターンの分類

$e_{yb}$  と各種付加的歪成分との組合せた複合歪が隣接するスタンド間でたどる歪径路を抽出し整理すると数種類のパターンに分類できる。分類する場合その指標が重要な意味をもつが変形過程にある素材内部の応力状態を知るためには歪の絶対値だけでなく変化の方向が重要である。そこで  $e_{yb}$  に対する他の付加的歪成分が増加減少を

表 1 素材各部の各パスラインに対応する変形のパターン

パターン	A	B	C	D	E	F	G	H																												
対応関係	増	減	増減	減増	増減増	減増減	増減増減	減増減増																												
	位置	○							●							△							▲							□						
ひずみ	パスライン	1 2 3 4 5 6 7							1 2 3 4 5 6 7							1 2 3 4 5 6 7							1 2 3 4 5 6 7							1 2 3 4 5 6 7						
	スタンド																																			
<i>e<sub>yb</sub>~e<sub>xb</sub></i>	#1	F F F F F F F F	G F D F F F F F	G F D F E E F F	C C D F C C F F	C C D B E C C C																														
	#2	F F F F F F F F	F F F C H G A	G D B C F B B	C C E C H G C	E C C C H A A																														
	#3	F F F F F F F F	F G D G F F	F D D E E E D	F D E F C D	E C C C B C B																														
<i>e<sub>yb</sub>~e<sub>xx</sub></i>	#1	C C C E A C C	D B D D E F D	B D D B D B B	B D C A H B F	D D A D A D A																														
	#2	F F F C B F A	E G E E E D E	E E E C D A D	G D F C H C D	F F F B B D B																														
	#3	C F C D C B	E E E E E E	B E E C C D E	F F F H D H	B F F C D B A																														
<i>e<sub>yb</sub>~e<sub>yy</sub></i>	#1	B D B D B D A	H D H D F E D	A D D A C B D	D C D H D D D	D D D A A D D																														
	#2	D D F D A D A	F F D F F D B	D D F D D C D	F F C F D D F	D D D D D D D																														
	#3	D D D D C D D	F E F B G H	D D A D H	D D F	B D C C B F																														

表 2 パターンの最終段階の方向による分類

ひずみ	位置 No. St.	○							●							△							▲							□						
		1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7	1 2 3 4 5 6 7																					
<i>e<sub>yb</sub>~e<sub>xb</sub></i>	#1	- - - - - - -	- - + - - - -	- - + - - + -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -	- - + - - - -																					
	#2	- - - - - - -	- - - - + - +	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -	- + - - - - -																					
	#3	- - - - - - -	- - + - - - -	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +	- + + + + + +																					
<i>e<sub>yb</sub>~e<sub>xx</sub></i>	#1	- - - + + - -	+ - + + + - +	- + + - + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -	- + - + + - -																					
	#2	- - - - - +	+ - + + + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +	+ + + - + + +																					
	#3	- - - + - -	+ + + + + + +	- + + - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +																					
<i>e<sub>yb</sub>~e<sub>yy</sub></i>	#1	- + - + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +	+ + + + - + +																						
	#2	+ + - + + + +	- - + - - + -	+ + - + + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +	- - - + + +																					
	#3	+ + + + - + +	- + - - - + -	+ + + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +	+ + + +																					

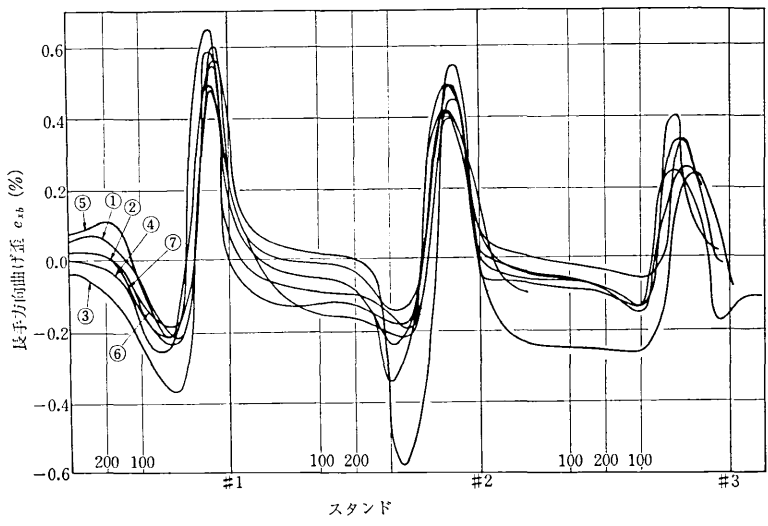


図 7 長手方向曲げ歪  $e_{xb}$  の推移 (緑部)

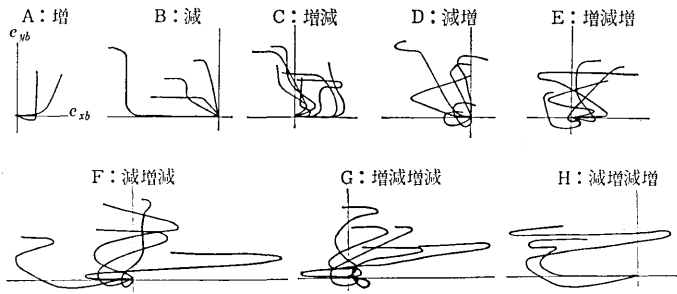


図8 パターン分類例 ( $e_{xb}-e_{yb}$ )

繰り返すその様式に注目してパターンの分類を行なう。その際ロール出側で 0.05% 以下、入側で 0.02% 以下の歪の変化は無視してある。ここで、増という推移形態は各付加的歪成分  $e_{xb}$ ,  $e_{xx}$ ,  $e_{yy}$  が (+) 側へ増加する方向にある場合で、そのときの歪の絶対値は特に問題にしない。減というのはその逆である。また  $e_{yb}$  は (+) 方向へ単調増加あるいはまたロール出側でスプリングバックを起こして減少する場合もあるが、いずれの場合も同等に扱ってある。 $e_{yb}-e_{xb}$  について一例を示すと図8のごとくなる。他の歪成分についても同様に分類できる。図中歪は原点より増減しているごとくなっているが、これは既述のごとく絶対値を無視して増減のパターンのみに注目して分類しているためである。表1に分類結果を示す。またパターンの最終段階の方向が製品の応力分布に大きな影響を与えることはすでに指摘したが、この観点にたつてパターンの最終段階に着目し、表1を再整理すると表2のごとくなる。この結果から歪成分および素材位置等について全体にかなりの規則性が認められる。また P.L. とパターンとの対応関係が複雑になったのは、成形条件としてかなり極端な場合を選びロール高さの変化が大であったためと思われる。得られた A~H および各々のパターンの中にもさまざまなものが存在する。これらの状態において付加的歪の幅方向曲げ変形 ( $\sigma_y$  の分布) に与える影響は当然異なるものと考えられる。以下 2, 3 の例について  $\sigma_y$  に与える影響を考察する。

(i)  $e_{xb}$  のパターンについて：幅方向曲げに  $e_{xb} < 0$  すなわち曲率中心同一側の  $x$  方向曲げが作用すると  $\sigma_y$  の分布に本質的な差異は生じないが、 $e_{xb} > 0$  すなわち曲率中心反対側の  $x$  方向曲げが作用すると  $\sigma_y$  の分布は大きな影響を受ける。分類したパターンの中、最終段階が (-) の方向で終了している B, C, F, G のパターンを採る場合は問題ないが、(+) 方向で終了している A, D, E, H のパターンを採る場合、特に最終段階が水平である場合は問題となる。すなわち製品が幅方向にスプリングフォワードを生じる可能性がある。例えば No. 5 の第1スタンドまでの素材中央部、第1~2

スタンド間の素材中央部はこの可能性がある。

(ii)  $e_{xx}$  のパターンの場合最終段階の水平部はその方向が (+) でも (-) でも  $\sigma_y$  の分布を板の中立軸に関して板厚方向に対称となるように作用しスプリングバックを減少させる。No. 5, No. 7 の第1~2スタンド間の素材縁部 No. 6 の第2~3スタンド間素材縁部等はこの例である。

(iii)  $e_{yy}$  のパターンの最終段階の水平部についても成形性に与える影響は  $e_{xx}$  と同様であり、No. 3, 5, 7 の第1~2スタンド間の素材中間部、No. 1, 3 の第2~3スタンド間の素材中間部等は水平部が長くスプリングバック減少の期待がもてる。しかし図9のように中間に非常に長い水平部が存在しても最終段階で  $e_{yb}$  が増加しながら  $y$  方向に圧縮されるような場合はもはやスプ

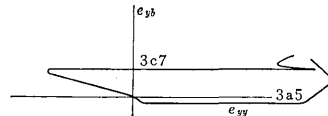


図9  $e_{yy}$  のパターン例

リングバック減少への期待はもてない<sup>(4)</sup>。

### 5. まとめ

以上円弧タンデム成形の成形過程で素材が受ける歪径路を測定し、 $e_{yb}$  と各種付加的歪成分との複合形態が隣接するスタンドで採るパターンを分類し明らかにした。

その結果、9種類のパターンを抽出し成形条件との対応性を検討し合せてこれらのパターンと成形性との対応関係を考察した。実際の成形中にはこれらの付加的歪成分が同時に生じており、それらの影響は複雑と思われるが、ここに得られた 2, 3 のパターンから予想される成形性向上が実際の製品形状から確かめられた<sup>(4)</sup>。

(1969年9月25日受理)

### 参考文献

第6報 (生産研究 21-12) 参照