

特集 9  
研究速報

# ロールフォーミング汎用シミュレータの拡張に関する研究 (第4報)

—広幅断面材の解析 (3)—

Advanced Simulation Method for Cold-Roll-Forming · IV

木内 学\* · 小野寺 隆\*

Manabu KIUCHI and Ryu ONODERA

## 1. はじめに

筆者らは、ロールフォーミング汎用シミュレータの開発およびその拡張を進め、多くの成果を得てきた<sup>1)~2)</sup>。

前報<sup>3)</sup>では、数値実験を通しての技術データの蓄積を目指し、広幅断面材の代表的事例であるデッキプレート (3山品) の成形について解析を行い、成形条件が膜ひずみに与える影響などについて有用な知見を得た。

本報では、前報に引き続き、より広範囲の成形条件が膜ひずみの挙動に与える影響について調査を行ったので、その結果を報告する。

## 2. 拡張モデルの概要

本解析モデルの詳細は、既報<sup>1)</sup>に示す通りであるが、その要点は図1に示すように、素板の板厚方向中央面が成形過程において呈する3次元的な変形曲面形状を数式表示し、

- (1)  $X = X_k \sim X_{k+1}$  の範囲内の帯状要素に作用する長手方向の力の釣り合い
- (2) その帯状要素をさらに幅方向に分割した各微小要素に作用する幅方向の力の釣り合い

を考慮しつつ微小要素に発生する応力・ひずみを逐次算出し、そのうえで、スタンド間で素板の変形に要する仕事率が最小となるように変形曲面形状の修正を行い、最適な近似解を得るという方法にある。

## 3. 解析条件

本解析で対象としたデッキプレート (3山品) の概要を図2に示す。山部の形状は3山とも同一とする。成形プロセスの概要を図3に示す。但し、中央と両側の山を同時に成形する場合に限定し、入口ガイド~#1スタンド間の素

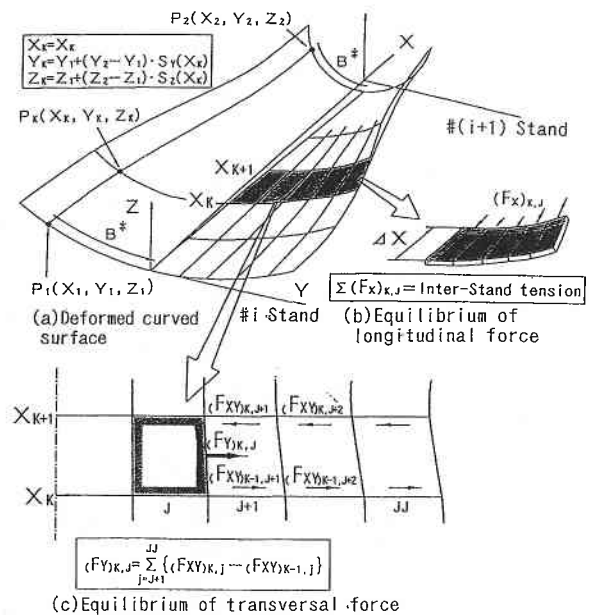
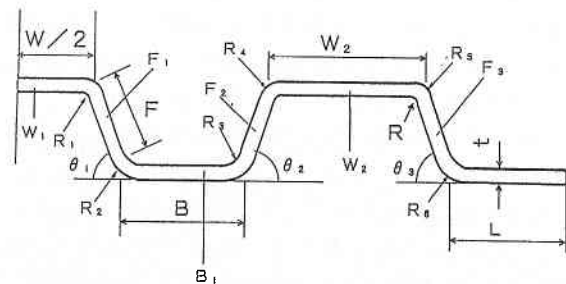


図1 変形曲面と要素内の力の釣り合い



In This Study,

$$W_1 = W_2$$

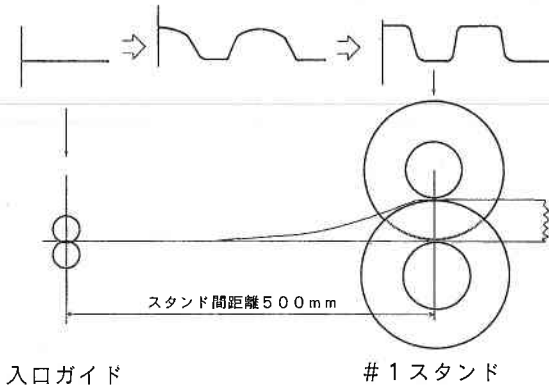
$$F_1 = F_2 = F_3 = F$$

$$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$$

図2 デッキプレート3山品の概要

\*東京大学生産技術研究所 第2部

研究速報



入口ガイド #1 スタンド

図3 成形プロセスの概要

表1 成形条件

ROLL PROFILE								
No.	W/mm	B/mm	$\theta/^\circ$	F/mm	R/mm	t/mm	Material	L/mm
1	100	50	20	40	10.0	1.0	SPCE@	40

表2 素板の機械的性質

Material of Sheet	Yield Stress $\sigma_y$	Young's Modulus E	Strain Hardening H
SPCE@	181N/mm <sup>2</sup>	206000N/mm <sup>2</sup>	1370N/mm <sup>2</sup>
SS400	309N/mm <sup>2</sup>	206000N/mm <sup>2</sup>	780N/mm <sup>2</sup>
SUS304	367N/mm <sup>2</sup>	193000N/mm <sup>2</sup>	1760N/mm <sup>2</sup>

板変形について解析を行う。各部の形状寸法および素板の寸法などは表1に示す通りである。また、パスラインはボトムライン水平（入口ガイド中の素板と成形断面の溝底部が同一水平面上にある）を基本条件とし、ライン速度は40m/min.としている。素板の機械的特性については別に行った引張り試験の結果より、降伏点および加工硬化係数を求めて解析に用いた。それらを表2に示す。

以下に長手方向・幅方向の膜ひずみに対する各条件因子の影響についての解析結果を示す。なお、各部の名称は、図2に示す記号、すなわち、ウェブ部 ( $W_1 \sim W_2$ 部)、フランジ部 ( $F_1 \sim F_3$ 部)、溝底部 ( $B_1$ 部)、平坦部 ( $L_1$ 部)を用い、ウェブ部+フランジ部を総称して山部とする。

4. 解析結果

4-1. ウェブ幅の影響

図4に、ウェブ幅  $W$  を変化させた場合の、エッジ部の

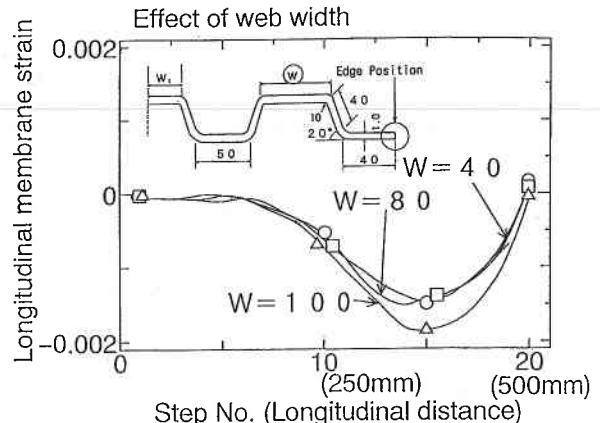


図4 長手方向膜ひずみの推移 (縁部)

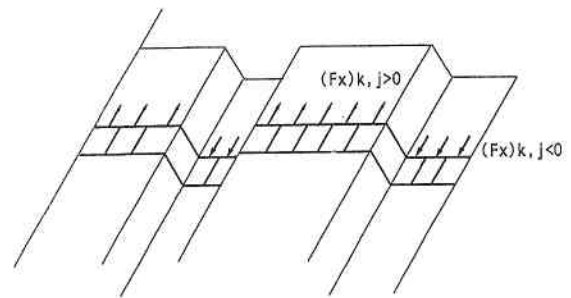


図5 長手方向の力の釣合い

長手方向膜ひずみの、入口ガイドからロール直下に至る過程での変化を示す。山部（ウェブ部+フランジ部）の立ち上がりが始まると共に、縁部では長手方向の圧縮変形が起こるが、これは、立ち上がってくる山部には、長手方向の伸び変形が誘発され、併せて長手方向張力が発生するが、これに対応して長手方向の力の釣り合いを保つために、縁部および平板部には長手方向の圧縮変形及び圧縮応力が誘発されるためである（図5参照）。また、ウェブ幅  $W$  の増大と共に縁部に発生する圧縮変形量が増大するのは、山部の寸法が増大し伸び変形に伴う張力が増大するためである。

4-2. 溝幅の影響

図6に溝幅  $B_1$  を変化させた場合の、縁部に発生する長手方向膜ひずみの推移を示す。溝幅が狭いほど、相対的に平板部幅が大きく、幅寄せに対する抵抗が大きくなり、山部に発生する長手方向伸び変形が抑制され、対する縁部の長手方向圧縮変形が小さくなる。

4-3. 折り曲げ角度の影響

図7に折り曲げ部の曲げ角度を変化させた場合の、縁部に発生する長手方向の圧縮膜ひずみの最大値の推移を示す。

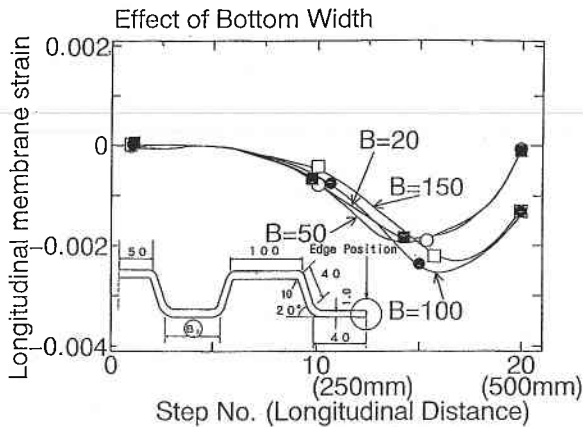


図6 長手方向膜ひずみの推移 (縁部)

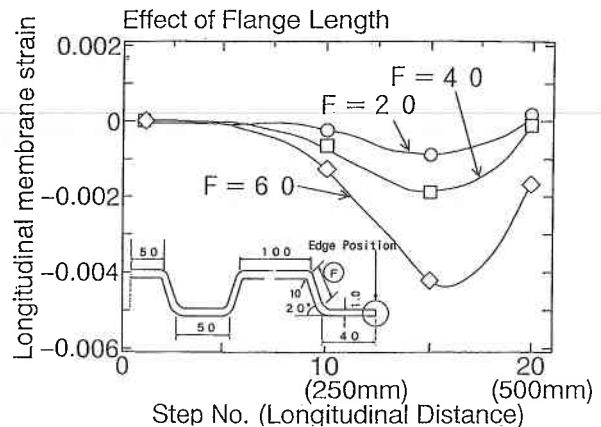


図8 長手方向膜ひずみの推移 (縁部)

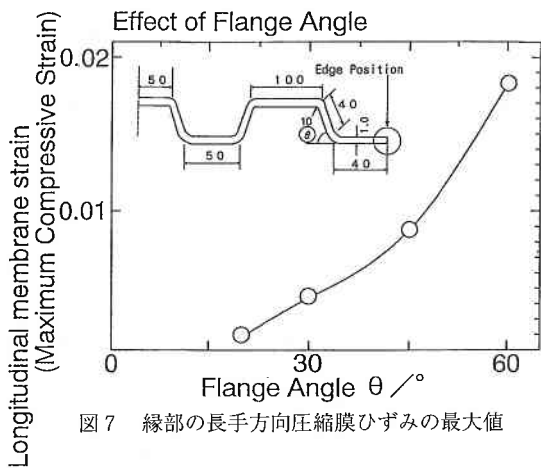


図7 縁部の長手方向圧縮膜ひずみの最大値

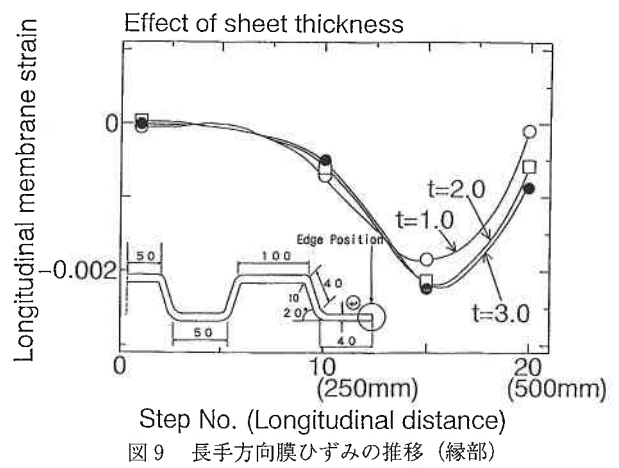


図9 長手方向膜ひずみの推移 (縁部)

折り曲げ角度の増大は、製品の山部の高さの増大と一致するため、山部に発生する長手方向の伸び変形が増大し、これに対応して縁部の長手方向縮み変形の絶対値は増大する。

#### 4-4. フランジ長さの影響

図8にフランジ長さを変化させた場合の、縁部の長手方向膜ひずみの推移を示す。フランジ長さの増大は、折り曲げ角度の場合と同様に、形成する山部の高さの増大と同義であるので、縁部に発生する長手方向膜ひずみがフランジ長さの増大から受ける影響も同様である。

#### 4-5. 折り曲げ部の曲げ半径の影響

前報<sup>3)</sup>に示したように、幅方向膜ひずみの発生については、折り曲げ部の曲げ半径がさまざまな形で影響を与え、特に折り曲げ部とその近傍に発生する幅方向膜ひずみは、曲げ半径が小さいほど大きくなる。しかしながら長手方向膜ひずみの発生は、主に素板各部が通る流線の相対的長さによって決まり、折り曲げ部の局所的な変形の影響を受け

ることは少ない。ゆえに、通常長手方向膜ひずみは折り曲げ半径の影響を受けない。

#### 4-6. 板厚の影響

図9に、各板厚について、縁部に発生する長手方向膜ひずみの推移を示す。板厚が増大すると、ロール直前になって山部が立ち上がる傾向が強くなり、このため、各部に発生する長手方向膜ひずみの値が若干増加する傾向がある。しかしながら、その量は僅かであり、総じて板厚の変化に伴う膜ひずみの変化はわずかである。

#### 4-7. 素板材質の影響

図10に各素板材質について、縁部に発生する長手方向膜ひずみの推移を示す。ひずみの発生量の素板材質による違いは多少認められる。

#### 4-8. 平坦部長さの影響

図11に平坦部長さLを変化させた場合の、縁部に発生

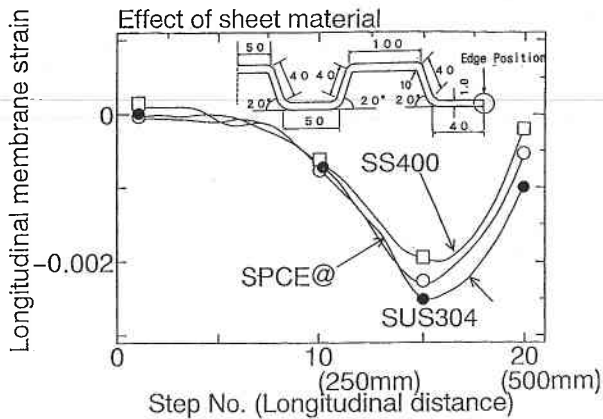


図10 長手方向膜ひずみの推移 (縁部)

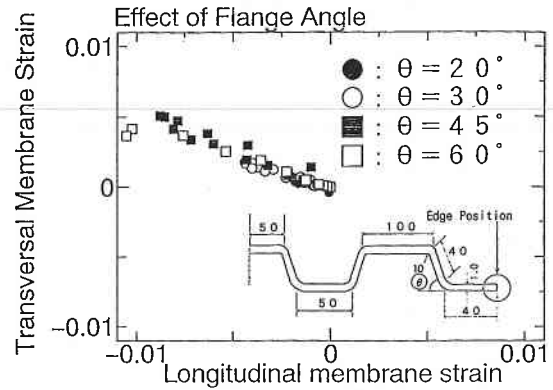


図13 長手方向膜ひずみと幅方向膜ひずみの関係 (縁部)

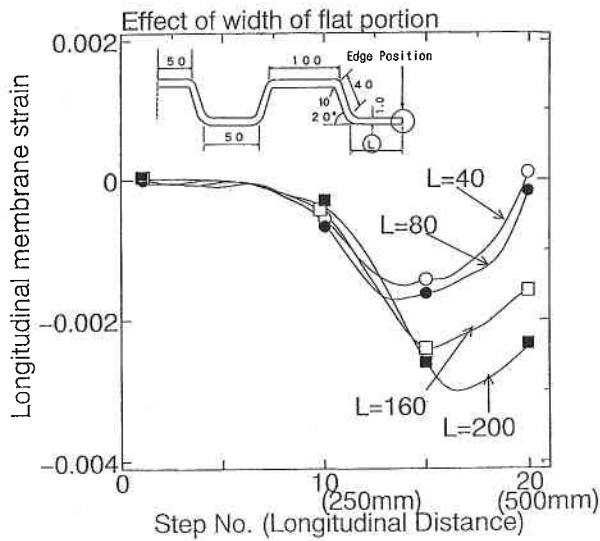


図11 長手方向膜ひずみの推移 (縁部)

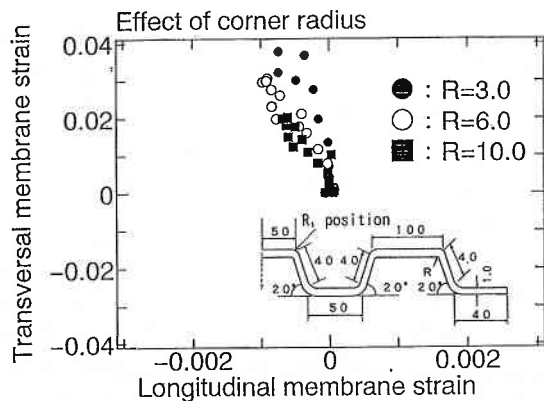


図12 長手方向膜ひずみと幅方向膜ひずみの関係 (R<sub>1</sub>位置)

する長手方向膜ひずみの推移を示す。平坦部長さが長くなるほど、幅寄せに対する抵抗が大きくなる。このため、縁部に発生する長手方向膜ひずみは、平坦部長さLの増加とともに増大する。

### 5. 長手方向、幅方向の膜ひずみの対応関係

図12, 図13に、R<sub>1</sub>位置 (折り曲げ部)、縁部に発生する長手方向膜ひずみと幅方向膜ひずみの対応関係の例を示す。

R<sub>1</sub>位置については、幅方向に伸びひずみ、長手方向に縮みひずみになり、塑性力学の観点から妥当といえる。ただし、本解析モデルにおいては、ロール直下の折り曲げ部の張出し変形を考慮していないので、両方向での引張り変形は起きていない。また、縁部については、幅方向膜ひずみが長手方向膜ひずみのほぼ-1/2倍になっている。これは、成形時の境界条件 (縁部の幅方向応力が0) より、塑性力学的に正しい結果と言える。

### 6. ま と め

既報に続いて、拡張解析モデルを用いてデッキプレート3山品の解析を行い、素板に発生する長手方向・幅方向の膜ひずみに与える断面寸法や素板材質の影響についての知見を得た。検討した成形条件の範囲では、山部が形成される過程で、縁部では圧縮変形が誘発されることが分かった。今後も解析事例のさらなる拡張を目指していく予定である。

(1994年9月21日受理)

### 参 考 文 献

- 1) 木内・阿部：平成5春塑加工論 (1993), 835
- 2) 木内・阿部：平成5春塑加工論 (1993), 839
- 3) 木内・小野寺：平成6春塑加工論 (1994), 411