

Rigid -Plastic Analysis of Slab Edge Rolling by FEM

	(Hideyuki Nikaido)	(Takayuki Naoi)	(Katsumi
Shibata)	(Kozo Osakada)	(Ken-ichiro Mori)	

---

:

Synopsis :

A three-dimensional deformation in slab edge rolling was analyzed using FEM, based on the upper bound theorem and constitutive equation of the material with compressibility in plastic deformation, and the effect on the deformation by the strain rate and workhardening characteristics of plasticine was examined. Under various conditions of pass schedule, roll diameter and slab width, edge rolling was analyzed, thus making clear the non-steady slab deformation, and the so-called fish-tail formings at the top and tail of the slab, as well as changes of load, and torque and energy consumption in rolling.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

# 剛塑性有限要素法によるスラブエッジング圧延の解析

剛塑性有限要素法によるスラブエッジング圧延の解析

Hideyuki Nikaido

新井 英行\*\*\*\*

Takayuki Naoi

小坂 隆 浩\*\*\*\*

Katsumi Shibata

森 謙一郎\*\*\*\*\*  
Ken-ichiro Mori

Kozo Osakada

## Synopsis:

A three-dimensional deformation in slab edge rolling was analyzed using FEM, based on the upper bound theorem and constitutive equation of the material with compressibility in plastic deformation, and the effect on the deformation by the strain rate and workhardening characteristics of plasticine was examined.

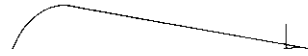
Under various conditions of pass schedule, roll diameter and slab width, edge rolling was analyzed, thus making clear the non-steady slab deformation, and the so-called fish-tail formings at the top and tail of the slab, as well as changes of load, and torque and energy consumption in rolling.

$\sigma_a$   
 $\Delta$

$\sigma_m$

$m$  : ひずみ速度依存指数

この定数は、式(7)の材料特性曲線の形状に依存する。



周速とロールと接する節点速度の差で与えられる。したがって、汎関数  $\Phi$  は節点速度の関数となる。

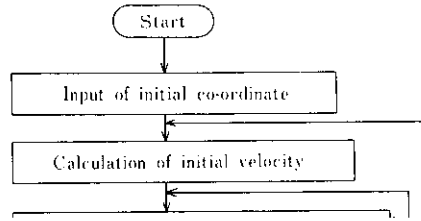
$$\Phi = \Phi(U, V, W, \dots, U_N, V_N, W_N)$$

.....(9)

汎関数を最小化する速度場は、 $\Phi$  を節点速度で偏微分し 0 とおいた式を解いて求めるのであるが一般にはこれらの式は非線形連立方程式で解析的に解を得ることはできない。そこで、節点速度の初期値の近傍で Taylor 展開し、微小速度増分を

すように要素が 1 列だけロールにかみ込まれた状態から行った。以下にその取り扱いを示す。

(1) Fig. 3(a) の状態で汎関数  $\Phi$  の最小化を行い、



節点速度の最適解を求める。また、各要素のひずみ、応力、さらには圧延荷重、トルクを計算する。  
 (2) 求められた速度からもう 1 列だけ要素がかみ込まれるように時間増分  $\Delta t$  を決め、各節点を移動する。

えた。このときのロール径と板幅の比  $D/W$  は、**Table 2** に示すとおりである。また、圧延スケジュールは  $8\text{mm} \times 3$  パスである。

(3) 初期スラブ形状

向の成分を持っており、節点は板幅方向だけでなく板厚方向にも移動する (**Fig. 3 (b)**)。再び汎関数の最小化を行う。

(3) (2) を後端がロール・ギャップから出るまで繰返す。

このときのフローチャートを、**Fig. 4** に示す。

$110\text{mm}$ 、 $60\text{mm}$ 、 $30\text{mm}$  と変えて **Table 3** に示すように板厚と板幅の比  $t/W$  を変化させた。なお、ロール径は  $270\text{mm}$ 、圧延スケジュールは  $8\text{mm} \times 3$  パスである。

### 3.2 解析結果とプラスティシン実験の比較

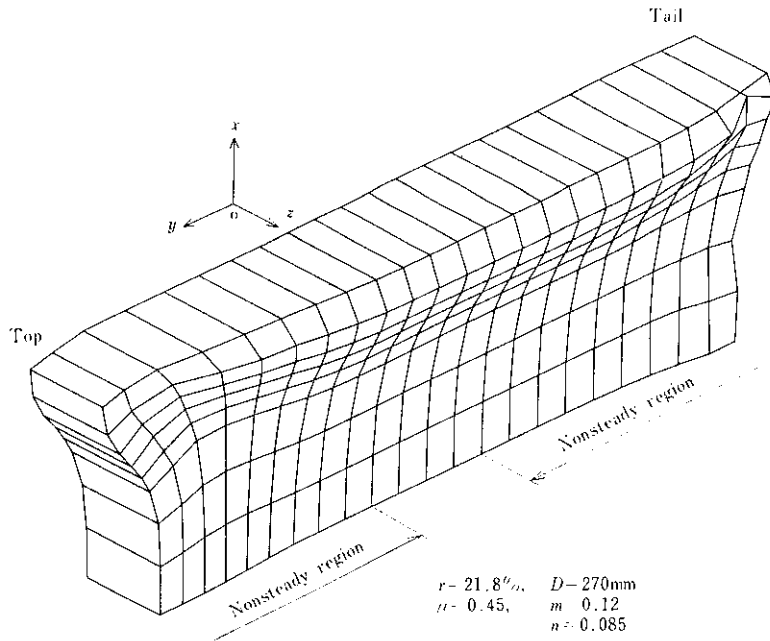


Fig. 6 Calculated three-dimensional figure of elements of edge rolled slab

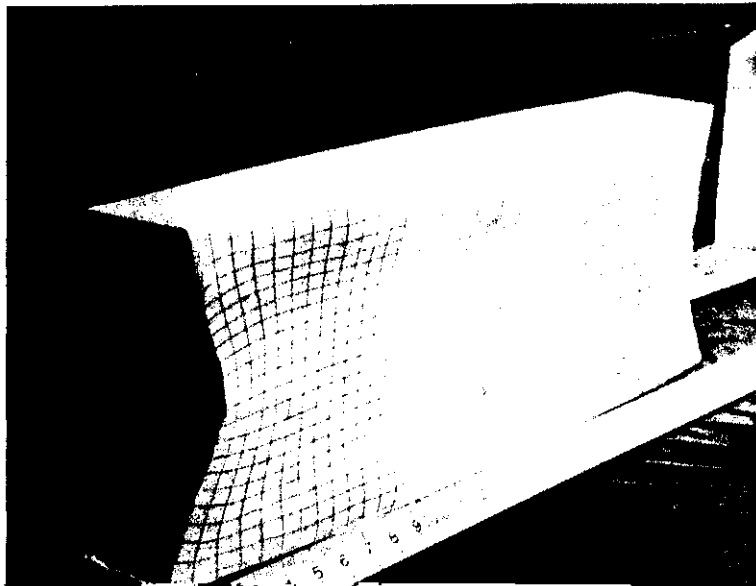


Photo. 1 General view of an edge rolled plasticine slab ( $4\text{ mm} \times 6\text{ passes}$ ,  $D = 270\text{mm}$ )

Fig. 8 に  $C$  と全圧下率  $r$  の関係を示す。 $C$  は、先端、後端ともに  $r$  に比例して増加しており、計算値と実験値は良く一致している。

とロールに接するスラブエッジの板厚  $B_1$  (Fig. 7 (b)) を全圧下率  $r$  に対して示したのが、Fig. 9 である。図では、縦軸に初期厚さ  $B_0$  に対する増

計算値は、すべてのrに対して実験値と良く一致している。一方、 $B_1/B_0$ はrが小さいとき計算値

より実験値は内へ、 $B_1/B_0$ が大きいときは外へ

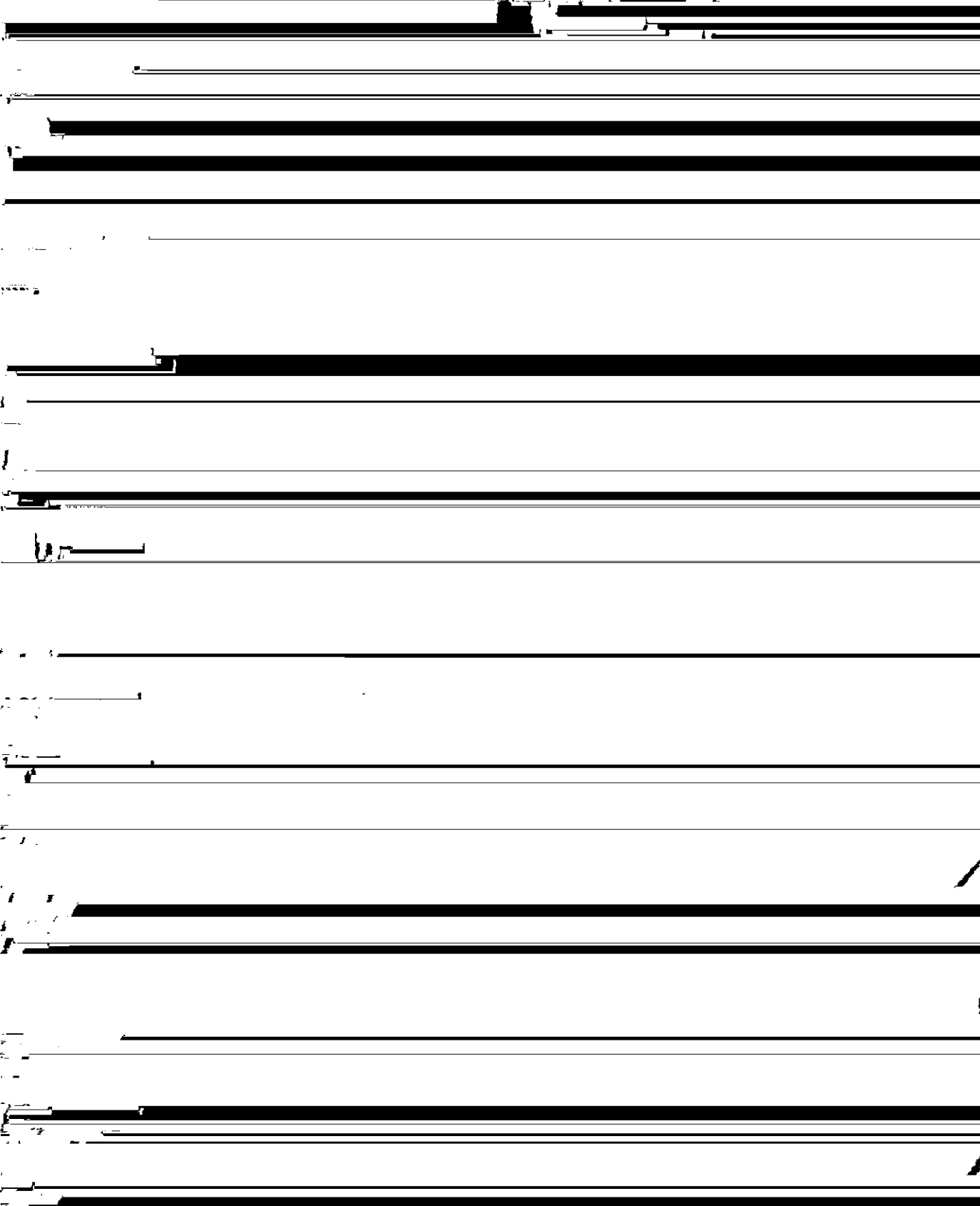


よりも相違が大きい。実験値の分布が、計算値



○ 4 mm×6 passes  
△ 6 mm×4 passes

Top Tail



し、図中( )は Table 3 に示す以外の  $D$  について計算を行ったものである。先端の  $C$  は、 $D/W$  が約 1.7 のとき最大値をとっている。

Fig. 15 に定常変形域の  $B_{\max}/B_0$  と  $r$  の関係を示す。 $B_{\max}/B_0$  は  $r$  にほぼ比例して増加しておりその傾きは  $D$  が小さくなると大きくなっている。これは、 $D$  が小さいときに接触弧長が小さくなる

る。Fig. 16 には、スラブ最先・後端からの  $B_{\max}/B_0$  の変化を示す。

### 3-3-3 初期スラブ形状の影響

Fig. 17 に各パスにおける定常変形域の断面形状を示す。(a) はパス回数が増しても板厚の変化は板幅端部でのみ顕著で、板幅の中央ではほとんど

認められない、いわゆるダブルバルジ変形をしている。(b)もダブルバルジ変形であるが、板厚は板幅方向の全ての領域において増加している。しかし、(c)になると変形挙動は異なり、板幅中央の板

Fig. 19 に  $B_1/B_0$  と板幅中央における板厚増加量  $B_0'/B_0$  を  $r$  に対して示す。(a)では、 $B_1/B_0$  は  $r$  の増加とともに増大するのに対し、 $B_0'/B_0$  はごくわずかではあるが減少している。(b)では、 $B_1/$

厚が最も大きく増加するシングルバルジ変形となる。このときの接触弧長は約 33mm である。

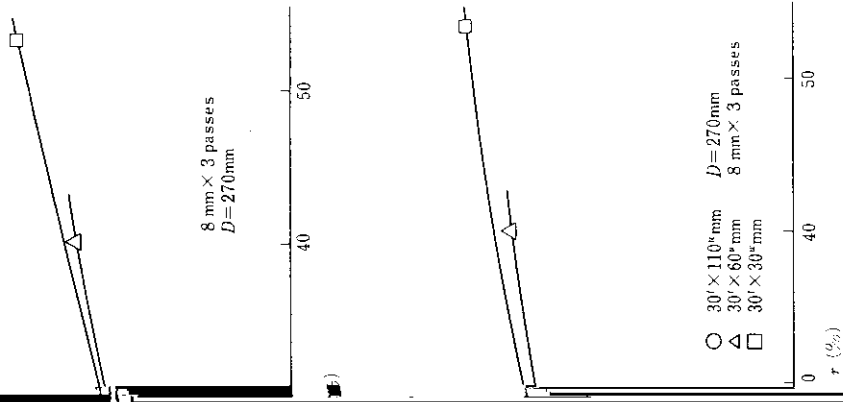
Fig. 17 の結果については、厚と板厚の増加量  $D$

$B_0$  と  $B_0'/B_0$  はほぼ同じ値で増加しているが、 $t/W=1$  の(c)では両者の値が逆転して  $B_0'/B_0$  の方が  $D/D_0$  よりも大きくなっている。



初期スラブ形状が変化した場合(c)荷重は全圧下率 $r$ に対してほぼ1本の曲線上にのっている。

**Fig. 21**にはトルクを示す。荷重と全圧下率の関係と良く似た変化を示している。



域の体積  $V_{N.S}$  と圧下率の関係を示す。 $V_{N.S}$  はパス回数が変化しているにもかかわらず一定値をとっており、一度圧延されて非定常域となった領域

のみ関係式を用いることにより鋼の圧延のシミュレーションも可能と考えられる。

(2) エッジング圧延では、スラブ断面はダブルバ

の圧下量が小さいとき、すなわち接触弧長が小さいとき小さくなっている。したがって、エッジング圧延のみの圧延で  $V_{N.S}$  を小さくし圧延歩留り

(3) ダブルバルジ変形するエッジング圧延では、荷重およびトルクの低減に1回の圧下率を小さくすることならびにロール径を小さくすることが効