

(討9) ローレベリング後の切断加工によるそり発生について

住友金属中央技術研究所 美坂 佳助
住友金属中央技術研究所 O 益 若 健

1. まえがき

熱延鋼板、冷延鋼板の切板出荷品は通常ローレベラーで最終的な平坦修正、そり修正が行なわれる。これら鋼板は大板の状態では平坦良好であっても、打抜き、スリット等の切断加工によりそり曲りを生じるといった問題がある。この原因を探るべく種々の実験を行ない、ローレベラーのロールの撓みが主要因であること、又剛性の高い大径ロールでレベリングすることにより残留応力が均一化されそり発生防止が可能なことを見出し得た。これら一連の実験に若干の理論的検討を加えここに報告する。

2. ローレベラーでの実験

見掛上平坦であっても切断加工後に「そり」が発生するのは残留応力の不均一性によるのであるが、それが如何なる理由によるかを検討するため種々の条件でレベリングを行なった切板を短冊状にスリットして「そり」の発生状態を調査した。

2-1) 実験装置

本実験に用いたローレベラーの主要仕様を表1に、装置略図を図1に示す。下ワークロールは固定で、上ワークロールを圧下する。入側と出側では異なる値にセットできる。クラウニングは中央一列のバックアップロールをウェッジを介して押しこむか、逃がすことにより調整できる。

表1 レベラー主要仕様

型式	ピンテロ型スピンドル駆動式
ワークロール	40φ×750 ^{mm} × $\frac{1}{2}$ 5本 上6本
バックアップロール	40φ×200 ^{mm} × $\frac{1}{2}$ 6本 上7本
ピンテロール	80φ×750 ^{mm} × $\frac{1}{2}$ 1本
材料寸法	(0.5~1.2)厚×700φ MAX
矯正速度	7.5~30 ^m /min

2-2) 実験材

使用した材料は 0.7^{mm}厚×500^{mm}巾×750^{mm}長(降伏点19.5^{Kg}/^{m²})の通常冷延鋼板である。実験材は図2(A)のごとき長方形板と(B)のごときスリット材の2種類を用いた。

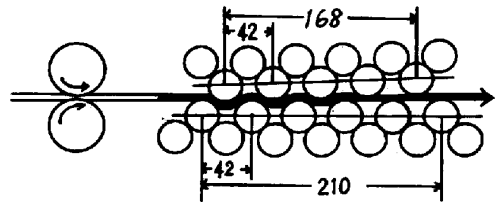


図1 実験用ローレベラー

2-3) 実験方法

レベラー入側、出側インターメッシュ(以下IMと記す)と上ロールクラウン(以下CRと記す)をかえてレベリングする。IMはロールを押し込んだ場合を(正)とし、CRは中押えの場合を(正)としバックアップロールの押えを除いた場合を(0)で示す。

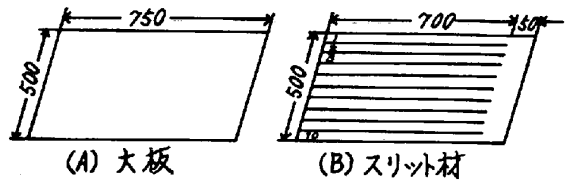
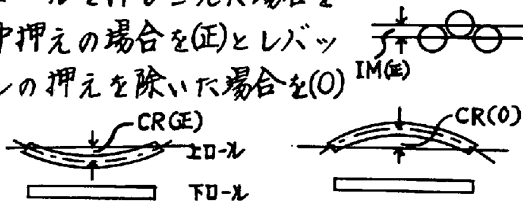


図2 実験材

2-4) 測定方法

実験材(A)はレベリング後の大板の両端75^{mm}ずつを切断し長さ600^{mm}とし図3(a)のごとく定盤上に立ててそりを測定した後(b)のごとく10条にスリットし各帯板のそりを測る。実験材(B)は長さ600^{mm}に切断してそりを測る。

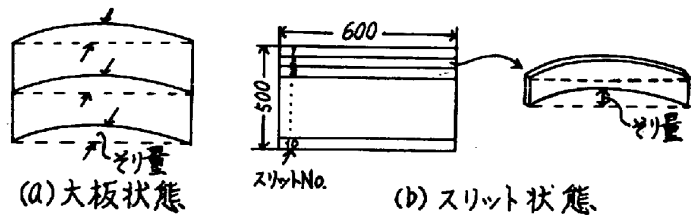


図3 そりの測定(上そりを(正)とする)

2-5) 実験結果

レベラー条件と実験結果一覧表を
表2に示す。表中板No.14~18は図2
(B)の、他は全て(A)の実験材である。表
中の代表的なもののそり分布を図4
に示す。図は縦軸にそり量、横軸にス
リットNo(板中)をとって描いてある。
図中○---は大板のそり、●---はスリット
後そり、---はスリット後そり平均値
を示す。又---x---は同一条件の実験材
(B)の場合である。図4 (a)は母材、(b)
~(d)は1パス材、(e)~(h)は2パス材、
(i)、(j)は巾方向にスリット(巾50mm)
したものである。図5には写真例を
示す。主要結果は次の如くである。
①CRを大きくした場合、又はバック
アップロールの押えを逃がした場合には
各部位が上又は下にそり曲りしかも
混在する。②実験材(A)と実験材(B)では
そり分布に大差ない。即ち板中方向の
拘束はそり分布に大きくは影響しない。

表2 レベラー条件と測定値

板 No.	レベラー条件						大板の り平均値 (mm)	スリット後そり	
	1パス目			2パス目				平均値 (mm)	ばらつき (mm)
	入側 IM(mm)	出側 IM(mm)	CR (mm)	入側 IM(mm)	出側 IM(mm)	CR (mm)			
1	母材						1.0	2.4	2.0
2	2.5	-2.3	0				55.8	40.4	16.0
3	〃	〃	〃	2.5	-2.3	0	46.1	36.5	31.0
4	〃	〃	〃	2.0	-2.0	0.8	23.5	9.4	50.5
5	〃	〃	〃	3.0	-1.0	(0)	15.8	4.3	60.0
6	2.0	-2.0	0.8				5.9	12.0	55.5
7	〃	〃	〃	2.5	-2.3	0	49.4	40.3	24.5
8	〃	〃	〃	2.0	-2.0	0.8	20.7	7.8	55.0
9	〃	〃	〃	3.0	-1.0	(0)	12.4	3.8	50.5
10	3.0	-1.0	(0)				9.0	3.9	51.0
11	〃	〃	〃	2.5	-2.3	0	47.4	38.8	32.0
12	〃	〃	〃	2.0	-2.0	0.8	21.8	8.8	51.0
13	〃	〃	〃	3.0	-1.0	(0)	14.5	1.0	58.0
14	2.5	-2.3	0					50.7	39.5
15	2.0	-2.0	0.8					14.9	56.0
16	3.0	-1.0	(0)					10.8	75.5
17	2.0	-2.0	0.8	3.0	-1.0	(0)		2.8	73.5
18	3.0	-1.0	(0)	2.0	-2.0	0.8		15.1	60.5

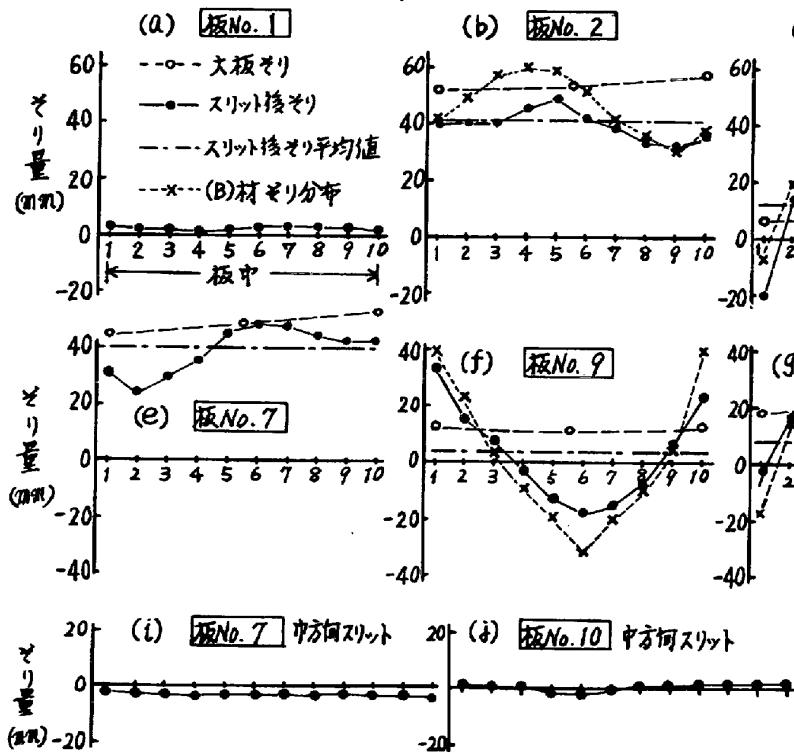


図4 大板そりとスリット後そり

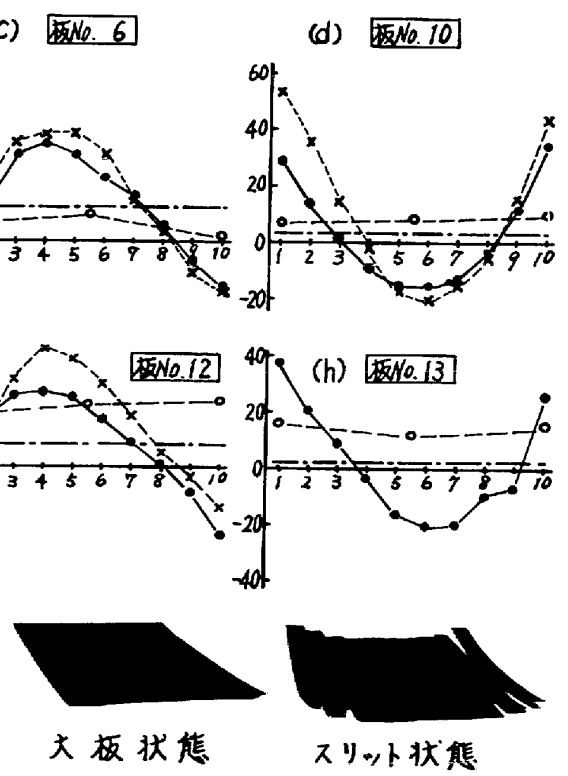


図5 写真例(板No.10)

③前歴にかかわらずそり分布は最終パスのレベリング条件で定まる。④長手方向のスリットによりそり分布が発生するものでも巾方向にスリットした帯板にはそりは発生しない。⑤文板のそり量とスリット後そり量の平均値は必ずしも一致しない。以上の結果よりそり分布が生じるのは、レベリング中のロールが撓み、板巾方向で矯正条件が異なるため、残留応力分布形状が板巾方向に一定でなくなるためと推定される。

3. 理論解析

3-1) 計算モデル及び近似

前記レベラーを 図6 のごとくモデル化した次の仮定をおく。

- ①レベラーは中心線に対し左右対称である。
- ②バックアップロールの押込みを 図6 のごとく集中荷重におきかえる。ワークロールにはこの力Pと板よりの力W、軸受反力が作用する。Wは板巾方向一定としワークロールの軸心撓みを単純支持はりの計算式より求める。
- ③レベリング中の材料の軌跡を円弧の連続として曲げ半径を算出する。即ち入、出側のIMを各々 H_i, H_o とし各ロールでのIM H_k を

$$H_k = H_i - (H_i - H_o) \cdot (k-2) / (n-3) \quad (k=2 \sim n-1)$$

とすれば各ロールでの曲げ半径は次式で与えられる。

$$\rho_k = \frac{(\frac{P}{2})^2 + 4h_k^2}{8hk} \quad (k=2 \sim n-1)$$

ここに n はロール本数、 P はロールピッチであり板厚を t とすれば、 $h_k = (H_k + t) / 2$ である。

- ④材料の曲げに対して単純曲げ状態が成立する。
- ⑤板を幾条かにスリットしたモデルとし各帯板はロールの撓みのため圧下量の異なる曲げ履歴をうけるとする。バウシング効果は無視する。

以上の仮定に基づく矯正過程の計算フローチャートを 図7 に示す。

3-2) 計算結果

図8(a)はバックアップロールを押し込んだ場合の、(b)はバックアップロールを逃がした場合の残留曲率(---)と残留応力分布を示す。(---)で示した残留曲率分布は、(a)は(b)の条件で、(b)は(a)の条件で2パス目をレベリングした場合であり実験結果と同じく残留曲率分布は最終パスのレベリング条件で決まっている。図9は図8(b)と同じ条件で、ロール剛性Iのみを大きくした場合の残留曲率分布をみたものであるが、ロールが撓まなければ板巾方向の不均一が解消されることが分かる。図10は初期残留応力が矯正後の残留応力分布に如何なる影響を及ぼすかをみたものである。レベラー条件は出側IMを固定し、入側IMをかえた場合であり、ロールは撓まないとして計算を行なった。入側IMが大きくなる程、板厚内部まで残留応力値が小さくなっており、強圧下レベリングの有効性がうかがえる。

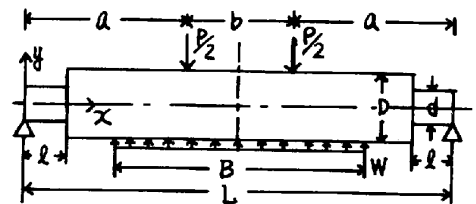


図6 力学モデル

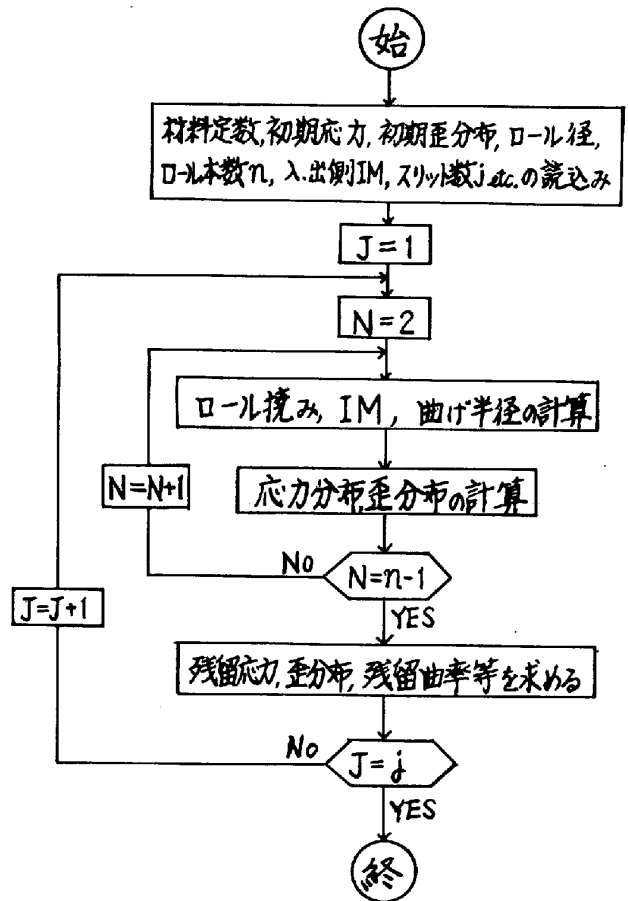


図7 計算フローチャート

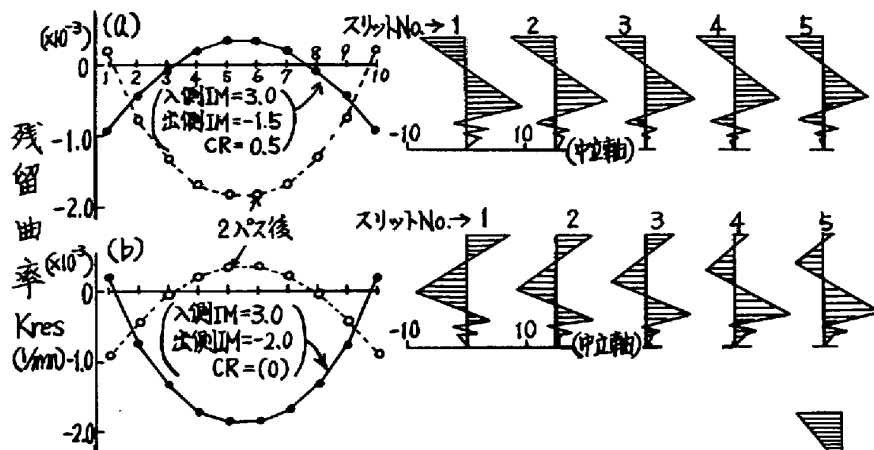


図 8 残留曲率分布, 残留応力分布
0.7mm厚x500mm巾 (降伏応力 20kg/mm²)

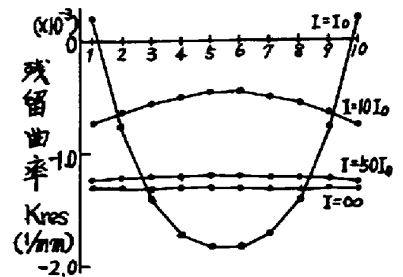


図 9 ロール剛性の影響

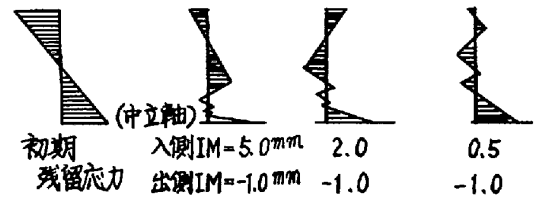


図 10 矯正後の残留応力分布例

4. 大径ロール効果

上述の結果よりスリット後のそり発生を防止するには、ロールが撓まない状態での強圧下レベリングが有効であることが分かった。バックアップロールで完全にサポートできれば良いが、最も簡単には剛性の高い大径ロールレベリングを行えばよいと推定される。

そこで3.2mm厚x1200mm巾x2400mm長(降伏負28.5kg/mm²)の熱延鋼板で大径ロールレベラーによるテストを実施した。

レベラー仕様を表3に、テスト結果を

図11, 図12に示す。図11はA, Bレベラーを比較したものである。Aレベラー強圧下では極端なそり分布が生じているが、Bレベラー強圧下では均一化されている。図12はCレベラーでレベリング条件をかえた場合のスリット後そり分布を示す。母材のそり量ばらつきが強圧下レベリングで均一化されている。

5. まとめ

スリット後のそり曲り防止には強力なレベリングによる残留応力の均一化が必要であり、その為にはロール剛性を高くしロール撓みを抑える工夫が必要である。最も簡単には大径ロールが有効である。

表 3 レベラー仕様

項目	Aレベラー	Bレベラー	Cレベラー
7-7ロール	60°x2000 ² x 上9本 / 下8本	275°x4300 ² x 上4本 / 下5本	133°x1981 ² x 上5本 / 下6本
バックアップロール	60°x200 ² x 95本(5列)	280°x710 ² x 42本(4列)	140°x610 ² x 13本(1列)
ロールピッチ	62	290	140

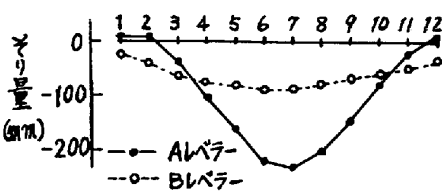


図 11 大径ロール効果(1) (A, Bレベラーの比較)

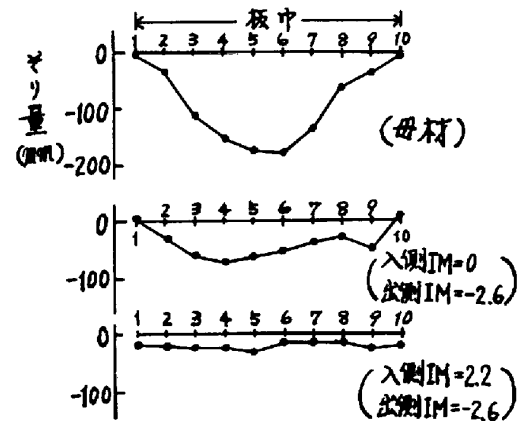


図 12 大径ロール効果(2) (Cレベラー)