最近の抄紙技術について (10)

(有)製紙科学研究所 石 黒 久三郎

Recent Development in Papermaking (X)

Kyuzaburo Ishiguro

Papermaking Science Research Laboratory

7. プレス用合成ゴム被覆材の挙動について

7.1 ロール幅方向ニップ圧分布について

最近のプレスパート設計の傾向は、10月号(9)で説明した通りフリーラン箇所を最小限に抑え、極力ノードロー化を計ることだが、この外、エキステンデッドニッププレスで代表されるような新型式のものは別とし、基本的に言ってプレスロールの大径化、同ニップ圧の高压化、合成ゴム被覆材硬度の高硬度化などが挙げられる。

要するに大径ロールを使用、ニップ圧を極力大にし、プレスニップ幅を拡大し、湿紙のニップ通過時間を延長、すなわちニップ下における湿紙よりの搾水時間を出来るだけ大にし、湿紙より効果的に搾水を行うという考え方で、その根本はロングニッププレスと同様の思想である。この場合、ゴム硬度を低く（軟かく）すればニップ幅がさらに拡大し好都合となるが、後記のごとく合成ゴム被覆部に内部発熱が発生、被覆部の剝離、劣化等のトラブルを引き起こすようになるのであまり好ましい方法とは言えない。

プレスニップ圧の大きさは歴史的に大きく見て3コのゼネレーションに分けることが出来るのでないかと考える。一つは40年前後までのハイニッププレスと言われたニップ圧100 kg/cm程度の時代、引き続きベントニッププレス、ファブリックプレスなどの出現による大むね150 kg/cmの時代、これは数年前まで続いたのだが、続いて200 kg/cm、250 kg/cmの時代を極めて短期間のうちに通過し、最近ではニップ圧350 kg/cmが実用化されつつある。

すなわち、プレスニップ圧のみを上げると100 kg/cm、150 kg/cm、200～350 kg/cmの3コのゼネレーションに大きく区分けすることが出来る。このようにニップ圧のみで判断すると、ひと昔まえと隔世の感があり、これは短期間のうちに毛布、その洗浄法、

合成ゴム被覆材、その他ハード、ソフト面を含めプレスパートの各部門に多くのさん新的な技術革新が導入されたことにほかならない。

このようにひと昔まえと比べられないような高ニップ圧の時代を迎えると、予想外に各種の困難な問題に直面し、またこれを順次克服していかなければいけないのだが、本号ではプレスロールゴム被覆材のクラウンの問題、またこれより引き起こされる被覆材保全の問題、そしてロール幅方向ニップ圧分布がこれらに対し適切に対処されないと、想像以上にアンバランスになる点などに焦点を合わせ、検討してみたいと思う。

以上の検討は本年9月号に記したソフトカレンダー用特殊合成樹脂被覆ロールに対し当てはめ吟味することが可能なので有益でないかと考える。

また、本文に記載した事項は操業現場で案外盲点になっている事項でもあると考える。

一般にプレス用ゴム被覆ロールがニップ圧を受けた場合、ニップ幅を求める式としては、近似的に算出する次の(1)式¹⁾が知られている。

$$2b = c \cdot \sqrt{P' \cdot Re} \cdot H^{3/4} \quad \dots\dots(1)$$

ただし

$2b$: ニップ幅 cm

R_1, R_2 : トップ、およびボトムロール半径 cm

$$Re: \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

P' : ニップ圧 kg/cm

c : 定数で 9.23×10^{-3}

H : ゴム硬度で 1/8" φ ボール・P & J プラス ト
メーターの値

ただし、最近ではニップ幅をさらに正確に求める式として下記(2)式²⁾が発表されている。したがって本文ではニップ幅を求める式としては(2)式を使用することにする。

$$N = \left[\frac{5.8 \times 10^{-6} L T D_1 D_2 P^{1.35}}{D_1 + D_2} \right]^{0.81 D_1^{-0.232}} \quad \dots\dots(2)$$

ただし

N : ニップ幅 (インチ)

L : ニップ圧 (ポンド/インチ)

T : 操業中のゴム被覆厚 (インチ)

D_1 : ゴム被覆ロール直径 (インチ)

D_2 : ストーンロール直径 (インチ)

P : Pusey & Jones 硬度 (1/8 インチ・ボール)

一方、図 1³⁾を参照し大変大胆な仮定として、ニップ下で湿紙、毛布よりの脱水がポアズイユの法則に従うものと仮定すると脱水量は(3)式で示される。

$$V = \frac{n r^4 \pi \Delta P}{8 \nu \Delta l} \times \Delta t \quad \dots\dots(3)$$

ただし

V : 毛管を流れる量 cm^3

n : 単位面積当たり毛管の数

r : 毛管の半径 cm

ΔP : 毛管内の圧力差 dyne/cm^2

Δl : 毛管の長さ cm

ν : 粘性係数 ポアズ $\text{dyne} \cdot \text{s/cm}^2$

図 1 プレスロール・ニップ下の状況

t : ニップ下で加压される時間 s

(3)式より脱水量を大にするには

1. ニップ圧を大にし ΔP を大にする。

2. ウェットシートの温度を高め水の粘性係数を小とする。

3. ニップ通過時間 Δt を大にする。

ということが分かる。

(2)式よりゴム被覆ロール直径 D_1 、ストーンロール直径 D_2 を大にし、ニップ圧 L を大にすれば、ニップ幅 N が大となり、(3)式の搾水時間 t 、圧力差 ΔP が大となり搾水量 V が増大することが分かる。そして(2)式で P (Pusey & Jones 法で表示したゴム硬度) を大にすれば、 N の値は大となるが、これはゴム硬度が軟かくなることを意味するので前記の通りあまり好ましくなく、この値には限界があり、最近採用されている一般的な値は P & J 10~20 程度、JIS A 硬度に換算して JIS A 96~100 程度である。この理由として被覆材硬度が硬すぎるとクラック発生の問題が起き易く、軟かすぎると被覆材の過度の摩滅、および過度の内部発熱により各種のトラブルを発生し易くなるからである。

参考までに JIS A 硬度、ショア D 硬度 (スーパーカレンダー、ソフトカレンダー用弾性ロールに使用) と Pusey & Jones 硬度との換算表を図 2 に示した。

このようにプレス用ゴム被覆ロールが大径化し、高ニップ圧、高速のもとで使用されると、当然の事であるがゴム被覆材に対し、格別な配慮が必要となるのであるが、この場合ゴム被覆部が操業中、ロール幅方向に対しどのようにニップ圧の変化を受け、摩滅現象を起こし、また内部発熱とともにどんな挙動を示すかについても理解する必要がある。

われわれはプレスロールのクラウンが適正に付加されているかをチェックする場合、静止状態でノーカーボン紙、アルミフォイル等を使用、ニップ幅を調べ、ロール幅方向に対しニップ圧が均等に加重されているかを調べるが、操業中におけるニップ圧分布の状況は、このように静止状態でチェックしたものと相違していることを経験から知っている。本文では A.W. Beucher²⁾ の論文を参考にしながら、この辺を明確にし、また操業中におけるロール幅方向の不均一なニッ

図 2 ゴム硬度換算表

プ圧が、被覆材に対し、また湿紙搾水に対しどのように影響を与えるかについて調べてみたい。

(2)式においてロール径 D_1, D_2 に比べクラウン量は極めて小さいのでこれを見出し、ロール径は幅方向に対し一様に D_1, D_2 だとする。反面、ゴム被覆厚さ T に対し、クラウン量は無視出来ないで、操業中ゴム被覆ロールのニップ幅がロール幅方向に対し均一で、この状態でニップ圧を受けているとすると、(2)式より次式が導かれる（ニップ幅は幅方向に対し均一であっても、クラウンによりゴム被覆材の厚さは幅方向に対し均一でない）。

$$\frac{L_1}{L_2} = 1 - \frac{C}{T_1} = R \quad \dots\dots(4)$$

ただし

L_1 : 中央部におけるニップ圧 (ポンド/インチ)

L_2 : 端部におけるニップ圧 (ポンド/インチ)

T_1 : 中央部におけるゴム被覆の厚さ (インチ)

T_2 : 端部におけるゴム被覆の厚さ (インチ)

c : クラウン量 (直径で表示, インチ)

(4)式を見て分かるように、操業中ゴム被覆ロールのニップ幅が幅方向に対し均一であっても、 L_1/L_2 , すなわちロール中央部と端部におけるニップ圧の比は、クラウン量 c と、中央部におけるゴム被覆の厚さに関係し 1 にならない。すなわち、 $L_1=L_2$ とはならない。言葉を換えればニップ幅がロール幅方向に対し一定であっても、ニップ圧はロール幅方向に対し一定でなく、したがってロール中央部と端部のニップ圧を比較すると、その値を異にするとということである。

図 3²⁾は上記を整理したもので、ゴム被覆の厚さとクラウンの大きさ等により、操業中ロール幅方向にわ

たり、仮にニップ幅が一定であっても、ロール中央部と端部のニップ圧が、どの程度相違するかを示したものである。

本図で被覆材の厚さが 25.4 mm, クラウンの大きさが 2.5 mm の場合、中央部と端部のニップ圧の差は約 5% となる。また、被覆材の厚さが上記の 1/2 の 12.7 mm で、クラウン量が同じく 2.5 mm の場合はニップ圧の差は約 10% となり、いづれも想像以上の値になることを知る。ただ、実際には、プレスパートにおけるニップ数は普通複数コ有し、湿紙がこの複数コのニップを通過していくにつれ、操業現場における各種の調整により湿紙幅方向の搾水は修正されるので、この程度のニップ圧の差異は、現実的には目立たず、留意もされず操業に対し大きな影響を与えないで、案外に見逃されているのかも知れない。

ただ、ここで確実に影響を受けるのはゴム被覆材そのものである。すなわち、ロール幅方向に対し、図 3 のようにニップ圧が異なると、ニップ圧によるゴム被覆材の変形量が場所により異なり、その結果ロール幅方向各所のロール断面円周長さに差異を生ずることになる。すなわち、図 4 を参考にし、合成ゴム被覆材の円周上にあるある長さ A は、被覆材の変形によりニップ下では A' の長さに伸び、 $A' > A$ となり、図 3 の関係からこの伸びの大きさはロール幅方向の各所で異なり、その周速はその場所に対応する相手ロールの周速より小となり、しかもこの両者の速度差はロール幅方向各点で相違し一様でなくなる。

この周速の差は、ゴム被覆ロール幅方向に対し、被覆材摩滅の程度に影響を与え結局クラウン崩れの大き

図 3 ゴム被覆ロール中央部・端部ニップ圧の比、クラウンの大きさ、ゴム被覆厚さ等の関係

図 4 合成ゴムロールの変形により同ロールの周速が相手ロール周速より小となる説明図

図5 ゴム被覆の厚さ、ニップ圧とロール中央部、端部における周速の差の関係

な原因となる。そしてこの程度が大になると、クラウン修正のための再研摩ということになるのであるが、要するに操作中ニップ幅が幅方向に対し均一であっても、ゴム被覆ロール周速は、ロール幅方向各点で相違し、被覆材摩滅の程度に影響を与えるのである。

図5²⁾は上記を整理したもので、ゴム被覆厚さ、ニップ圧とゴム被覆ロール中央部と端部の周速の差を表示したものでニップ圧、およびゴム被覆厚さの両者が大になると、ロール中央部と端部との速度差が意外に大きくなることに気付く。

7.2 合成ゴム被覆ロール内部発熱の影響

プレス用ゴム被覆ロールに対する検討事項の一つに内部発熱にもとづく被覆材軟化の問題がある。この内部発熱は図6を参照し、いわゆるヒステリシス(hysteresis)現象により、本図の斜線部がロール1回転ごとに内部エネルギーとして蓄積され、これが熱に変化するのであるが、その値は近似的に次式⁴⁾で求めることができる。

$$I_t = \frac{3}{16} \frac{1-R}{\sqrt{R}} v P b \frac{D_1 + D_2}{D_1 D_2} \text{ kg} \cdot \text{cm/s} \quad \dots\dots(5)$$

ただし

I_t : 合成ゴム被覆材内部に蓄積されるエネルギー

R : 合成ゴム被覆材のレジリエンス

P : 合成ゴム被覆ロールに加えられる全荷重

v : ロール周速

b : ニップ幅

D_1 : 合成ゴム被覆ロールの直径

D_2 : 相手ロールの直径

上式で求められる内部発熱により、合成ゴム被覆材

図6

図7 ゴム被覆材温度、ゴム硬度とニップ幅変化の関係

は軟化し、ニップ幅に影響を与えるのであるが、図7²⁾に内部発熱による温度上昇、ゴム硬度とこれらによりニップ幅が受ける変化の大きさの1例を示した。本図より温度が約70°Cに達すると、ニップ幅に与える影響は小さくなるが、反面、ゴム硬度が硬くなる程ニップ幅の変化は大になる傾向があることを知る。

なお、内部発熱により最高温度を示す箇所は、目途として被覆材表面よりその厚さの略1/3の所で、その温度は90~120°Cにも及ぶ場合がある。また合成ゴム被覆材の熱膨脹率はその材質にもよるが予想外に大きく、大雑把に言って鉄、鋼類の10倍位と見なす必要がある。したがって内部発熱により被覆材が軟化するだけでなく、熱膨脹によりその箇所におけるロール間の面圧を押し上げる結果も招く。

図3を参照し、ゴム被覆ロール全幅にわたりニップ幅が均一であっても、ロール端部の方が中央部に比べニップ圧は大となるので内部発熱も大となる。内部発熱による熱膨脹によりゴム被覆ロールの直径が大となると、これがさらに内部発熱を助長し、このように内部発熱と熱膨脹の関係の循環を繰返し、被覆材の温度を上昇させていくのであるが、この関係は無限に続く訳でなく、内部発熱による温度上昇と周囲に対する放熱とがバランスすれば温度上昇は止まる。もし仮に内部発熱による温度上昇と放熱とがバランスしなければ、

当然の結果としてゴム被覆材は破壊してしまうことになる。

また前述の通りニップ圧はロール全幅にわたり相違するので、内部発熱量もロール全幅にわたり異なり、熱膨張の程度もロール幅方向に對し均一にならず、被覆材表面の摩滅、およびクラウン崩れの原因となるのだが、さらに被覆材の温度上昇は、被覆材そのものに対し材質的に好ましくない影響を与えるようになる。すなわち、合成ゴム被覆材の強度特性、特に引張り強さ、引裂き強さ、伸び、耐衝撃性などは温度上昇により弱体化するからである。

このようにゴム被覆材に発生する内部発熱の問題は看過出来ない性質のものだが、これをチェックする方法として、プレスロール停止後 15～30 分の間に、ゴム被覆ロールの表面温度を測定すると良い。この時間内に内部発熱による熱がロール表面に伝達され、表面温度として示されるようになるからである。

なお、合成ゴム被覆ロールが、プレスパートの配置上、保有するニップの数が 2 コとなれば内部発熱量は 2 倍となり、ニップ数が 3 コとなれば内部発熱量は 3 倍となる。ただし、温度の絶対値は 2 倍、3 倍とはならないが相当に高温となる。

図 8²⁾は図 5 で示されるゴム被覆ロール中央部、端部の速度差が、ニップ圧、ゴム被覆の厚さのみでなく、ゴム被覆材の硬度にも影響を受けることを示したものである。上記のごとく内部発熱により、ゴム被覆材が軟化し、ニップ幅が拡大すれば、ロール中央部、端部間に速度差を生じ、ロール幅方向にわたり一種の滑り作用（ねじれ作用）を起こしていることが理解出来る

図 8 ニップ圧、ゴム硬度とロール中央部、端部における周速の差の関係

が、既述のごとくこの速度差が大となれば、操業上、製品品質上種々のトラブルを招くようになる。

7.3 適正でないクラウンといわれるクラウン崩れの影響

現在のように高速抄紙、プレスパートにおける高ニップ圧、合成ゴム被覆材の高硬化化等の時代を迎えると、ゴム被覆材のトラブルは、所定のニップ圧で設計されたクラウンに対し、むしろそれよりも低いニップ圧で操業した場合に起こり易いことに留意する必要がある。

図 9²⁾は表 1 の条件でニップ圧 350 kg/cm で設計されたクラウンに対し、実際にはニップ圧 265 kg/cm で操業したときのニップ圧分布で、本図で分かるように 265 kg/cm で操業されている箇所はクラウンの位置 No.4 の近傍のみで、ロール中央部では 300 kg/cm、端部では僅か 195 kg/cm にすぎず、相当にアンバランスとなる。このような条件で操業を続けると、操業、製品品質に悪影響を及ぼすばかりでなく、ロール中央部の内部発熱が大となり、被覆材に対しても好ましくない影響を及ぼすようになる。

表 1 で被覆材硬度のみを P & J 18 から P & J 10 に換えると、すなわち、ゴム硬度を硬くするとニップ圧

図 9 表 1 の条件で操業した場合のロール幅方向ニップ圧分布

表 1

ストーンロール径	1,500mm
ゴム被覆ロール径	1,500mm
ゴム被覆厚さ	17mm
ゴム被覆硬度	18(P&J)
クラウンの大きさ	1.68mm
設計ニップ圧	350kg/cm
実際ニップ圧	265kg/cm

図 10 表 2 の条件で操業した場合のロール幅方向ニップ圧分布

表 2

ストーンロール径	1,500mm
ゴム被覆ロール径	1,500mm
ゴム被覆厚さ	17mm
ゴム被覆硬度	10(P&J)
クラウンの大きさ	1.68mm
設計ニップ圧	350kg/cm
実際ニップ圧	265kg/cm

分布はさらに悪化し図 10²⁾のようになる。図 9 の場合と同じくニップ圧 350 kg/cm で設計されたクラウンに対し、実際には 265 kg/cm で操業した場合、ニップ圧 265 kg/cm を示す箇所はクラウンの位置 No.4, No.5 の間のみでロール中央部においては 330 kg/cm、端部では 160 kg/cm と中央部のニップ圧の約 1/2 にすぎず、ニップ圧の不均衡はゴム硬度 P & J 18 のときよりもいっそう拡大し、全く好ましくなくなる。

図 9, 10 で分かるように設計ニップ圧で付加したクラウンに対し、設計値以下のニップ圧で操業すると、ロール幅方向に対し、ニップ圧の相当なアンバランスを生じ、操業面、製品品質面に好ましくない影響を与えるが、この傾向はゴム硬度が硬くなる程顕著となる。

以上は設計ニップ圧で付加したクラウンに対し、過少なニップ圧で操業した場合の弊害だが、この外、操業継続中、正確に付加したクラウンが摩滅し、いわゆるクラウン崩れを起こすと、ロール幅方向のニップ圧のバランスは予想外に悪化する。

図 11²⁾は表 3 の条件で正確に付したクラウン 1.68 mm が、操業中にロール中央部に対し対称的にクラウンが摩滅し 1.0 mm になったときのクラウン曲線の比

図 11 クラウン量 1.68 mm が左右対称に 1.0 mm に摩滅した時のカーブ

表 3

ストーンロール径	1,500mm
ゴム被覆ロール径	1,500mm
ゴム被覆厚さ	17mm
ゴム被覆硬度	18(P&J)
実際のニップ圧	350kg/cm
抄速	610m/分

図 12 図 11 でクラウン量が 1.0 mm に摩滅した時のニップ圧分布

較で、この場合のニップ圧の分布は図 12 のようになる。すなわち、ロール中央部のニップ圧 230 kg/cm に対し、端部では 2 倍以上の 585 kg/cm の値を示し、非常に過度なニップ圧が端部を圧迫することになる。

図 11 は左右対称にクラウン崩れが発生した場合のカーブで、実際操業ではこのようなことは稀で、表 3 の条件でも図 13²⁾のような左右アンバランス的なクラウン崩れを起こすのが一般的である。このときのロール幅方向ニップ圧の分布は図 14²⁾のようになり、中心部ニップ圧 320 kg/cm に対し、左端では 670 kg/cm に昇り、図 12 に比較しさらに悪化し、大変厳しい状態になる。

図 13 クラウン量 1.68 mm が左右非対称に摩滅した時のカーブ

図 14 図 13 のようにクラウン崩れを起こした時のニップ圧分布

わが国の場合、ゴム被覆材の硬度は表 3 の条件より硬い場合が多いので、図 9、10 を参考にし、クラウン崩れによるニップ圧のアンバランスはさらに大きくなり、実際操業に対し種々の影響を与える危険性を含むようになる。

被覆材の損傷は多くの場合、ロール端部、もしくは端部よりロール面長の 1/4 位の所で発生するケースが

多い。この原因には色々と考えられるのであるが、図 12、14 で判明するように、クラウンの摩滅を放置して操業を継続すると、端部に過大なニップ圧が加わり、これが損傷の一因になることが十分に考えられるので留意する必要があると考える。

以上の記述は毛布、湿紙の存在を無視し、ゴム被覆ロールと例えばストーンロールとが、直接接触、回転していることを前提に説明した。もち論、毛布、湿紙の存在を加え解析するのが実際操業に近いと考えるが、両者を加えると解析が極めて複雑、殆ど不可能に近くなると考える。しかし、本文のように毛布、湿紙の存在を除外しても、完全に正確とは言えないがゴム被覆ロール挙動の大筋、大勢は理解し得るのでないかと思われる。また冒頭にも記したごとく、ゴム被覆部の挙動は従来よりややもすると盲点とされてきた嫌いがあり、この辺が少しでも明確にされれば、それだけでも意義があり、また、実際的にはそれで差支えないのでないかとも考える。同じく冒頭に述べた通り、本文の内容は本年 9 月号に記したソフトカレンダー用特殊合成樹脂製弾性ロールにも適用出来ると思われるので、この点からも有益でないかと考える。

また本文の内容より合成ゴム被覆ロールを、いわゆるクラウンコントロール・ロール式にすれば、操業、メンテナンス上有利となるが、それでも限界が存在し、決して万能、万全でないことが理解出来ると思う。

引用文献

- 1) C.Schiel : PPMC, 70(5), T 71 (1969)
- 2) A.W.Beucher : Tappi Journal, 69(9), 66 (1986)
- 3) P.Wahlstrom, A.Johnson : PPMC, 70(20), T 349 (1969)
- 4) 石黒久三郎：紙パ技協誌, 28(8), 23 (1974)

—お知らせ—

著者のご都合により数ヵ月中断致しますのでご了承下さい。