超音波変位センサーによるワイヤー上脱水状態の評価

三菱製紙(株)中央研究所 鍛治 裕夫, 桂 徹

An attempt for measuring drainage characteristics on a forming section with a ultrasonic distance sensor

Hiroo Kaji and Toru Katsura

Mitsubishi Paper Mills, LTD., Central Research Laboratory, Tokyo

An ultrasonic distance sensor was applied for measuring drainage characteristics of forming section. As the sensor was placed above the top side of wire, measurement could be done at any point on the forming section.

The ultrasonic sensor was carefully examined in terms of its validity against measured materials, tempratures and measuring distances. It was also calibrated against actual measurements. Slurry thickness and thickness variation (turbulence) of forming section in a Fourdrinier papermachine were evaluated as drainage characteristics. Obtained results show good agreement with what expected.

Keywords : Drainage characteristics, Ultrasonic distance sensor Forming section, Slurry thickness, Turbulence

1. 緒 言

紙の地合を決める主要な因子としては、スライスジェット中での繊維の分散状態と、ワイヤー上での脱水状態が考えられる。前者に関しては繊維形状あるいは界面化学の観点から数多くの研究^{1,2,3)}が行われており、筆者らもせん断力下での繊維フロックの凝集状態について報告している^{4,5)}。一方、後者の脱水状態については、実験の場が抄紙機上であること、その測定が煩雑であることなどの理由により、前者に比べると十分な研究は行われていない。

ワイヤー上での脱水状態は、脱水プロファイル（流れ方向各位置での繊維懸濁液の厚さ）とタービュレンス（繊維懸濁液の波立ち程度）で評価される。脱水プロファイルの測定法としては、ワイヤー上の繊維懸濁液を採取して濃度を測定する方法⁶⁾、ワイヤーの下面に超音波センサーを取り付けて繊維懸濁液の厚さを測定する方法^{6,7)}などが報告されている。また、タービュレンスの測定には、上述の超音波による方法の他にス

トロボスコプを用いて表面の波立ちの程度を視覚的に評価する方法⁸⁾が試みられている。しかし、いずれの方法においても、定量性や測定位置の選択性などに問題があった。

本研究では、迅速かつ正確にワイヤー上の脱水状態を評価する目的で、超音波変位センサーの利用を検討した。

2. 実験方法

2.1 変位測定装置

図1には変位測定装置のブロック図を示す。装置は超音波変位センサー（キーエンス、UD-1110）、コントローラー、A/Dコンバーター、およびパーソナルコンピュータ（日本電気、PC 9801）からなっている。超音波変位センサーの測定原理は、セラミック振動子から超音波パルス（500 kHz）を対象物に放射し、それが反射して戻って来るまでの時間（t）を測定することによる。距離（L）は（1）式により算出する。

$$L = ct/2 \quad \dots\dots(1)$$

Fig. 1 Block diagram of the instrument.

ここで、 c は音速である。なお、センサーの検出距離範囲は35～300 mm、距離分解能は0.3 mm、発信子の長径は10 mmである。センサーからの信号はコントローラーで距離に比例した電圧信号に変換される。この信号をA/Dコンバーターを介してパーソナルコンピュータに取り込み(0.75秒間隔、3分間)、種々の解析を行った。

2.2 液面変位の実験装置

図2に示す装置を試作し、液面が連続的に変化する状態での液面変位に対するセンサー出力を測定した。すなわち、ダイナミック・ドレナージ・ジャー内に設置した変位センサーにより、ろ水に伴う液面の変位を

Fig. 2 Instrument for calibrating ultrasonic sensor on slurry level measurement.

1 : Dinamic Drainage Jar, 2 : Ultrasonic sensor, 3 : Load cell, 4 : Computer

検出すると同時に、ワイヤーを通過したろ水の重量をロードセルで連続的に測定し、両者の信号をそれぞれコンピュータに送って演算を行った。測定に際し、ダイナミック・ドレナージ・ジャーの攪はん機は停止させた。

2.3 抄紙機ワイヤー上での測定

図3には抄紙機ワイヤー上での測定方法を示す。まず、治具を用いて測定位置の上部にセンサーを取り付け、センサーと繊維懸濁液表面との距離を測定する。ついで、この距離から別途測定したセンサーとワイヤー間の距離を差し引くことにより繊維懸濁液の厚さを求めた。なお、懸濁液表面からの飛沫あるいは表面空気流がセンサー出力に及ぼす影響を小さくするため、センサーの外側に円筒型ポリエチレン製カバー(直径:40 mm、長さ:60 mm)を取り付けた。

3. 結果および考察

3.1 測定条件の検討

3.1.1 静的条件

図4には、対象物としてステンレス板を用いた場合の、センサーにより得られた測定値と実際の距離との差(検出誤差)を距離に対してプロットした。距離の増加にともなって、検出誤差は負から正へとほぼ直線

Fig. 3 Method to measure slurry layer thickness at forming section.

1 : Ultrasonic sensor, 2 : Foil

Fig. 4 Diversions of sensor reading from actual distance.

Fig. 5 Effect of materials to the distance measurements.

- : Stainless steel, ● : Filter paper,
 △ : Water surface, ▲ : Metal wire
 □ : Wet sheet on wire

的に変化しており、距離が約 140 mm 以下ではセンサーによる測定値が実際の距離より小さく、以上では大きくなることを示している。ここで、距離 (L , mm) に対する検出誤差 (E , mm) の関係は直線で近似でき、回帰式 ($L=0.0288 E-4.03$) で表すことができる。この式を用いてセンサー出力の距離補正を行った。

抄紙機に関する 6 種類の対象物 (ステンレス板、ろ紙、水面、抄紙機ワイヤー、ワイヤー上の湿紙) に対し、実験の距離とセンサーによる測定値の関係を検討した (図 5)。対象物の種類にかかわらず、実際の距離とセンサーによる測定値は極めてよく一致している。したがって、抄紙機上の測定では対象物が異なっても、それに応じてセンサー出力を補正する必要はないと考えられる。

3.1.2 連続的に変化する液面

図 2 の装置を用いて、液面が連続的に変化する際の液面変化量の測定を試みた。ろ水に伴う変位センサーおよびロードセル出力の曲線を図 6 に示す。ろ水の開始により出力増加の始まる時期が、変位センサーよりロードセルの方が約 2 秒遅い。この差は、ワイヤーを通過した水がロードセルに到達するまでの時間に相当する。ロードセル出力はろ水の重量を表しており、増加重量からドレナージ・ジャー液面の変化量を算出できる。この値と変位センサーによる測定値を比較することにより、センサーの検出性能を評価した。

図 7 には、水および繊維懸濁液 (LBKP, 0.5%) について、ろ水時の液面変化を測定した結果をプロットした。ロードセルと変位センサーで測定したデータ間

Fig. 6 Output signals from ultrasonic sensor and load cell during drainage.

- : Ultrasonic sensor
 ---- : Load cell

Fig. 7 Influence of slurry consistency on level measurement by ultrasonic sensor.

- : Water, ● : Pulp slurry (0.5%)

には極めて良い相関が認められる (相関係数: 0.99)。また、水と繊維懸濁液についての直線がほぼ一致していることから、繊維濃度がセンサーの測定値にほとんど影響を及ぼさないことが推測される。

温度が、通常の抄紙条件でみられる範囲 (20~40°C) で異なる繊維懸濁液 (LBKP, 0.5%) について、同様の測定を行った (図 8)。温度の異なる各直線はほぼ重なっており、温度の影響はほとんど認められない。センサーの温度補償回路の効果と考えられる。

3.1.3 流動する表面

流路 (幅: 50 mm, 高さ: 40 mm, 長さ: 1,000 mm) に水を流し、流水の厚さを測定することにより、ワイヤー上の繊維懸濁液のように流動する対象に対する変位センサーの性能を評価した。図 9 は水面とセンサー

Fig. 8 Influence of slurry temperature on level measurement by ultrasonic sensor.

○ : 20°C, ● : 30°C, △ : 40°C

Fig. 9 Effect of sensor position (height) on level readings of running water.

--- : 135 mm, - · - : 200 mm,
— : 250 mm

の距離を3段階に変えた場合の、時間に対するセンサー出力のプロットである。測定レンジが広いため、波動による細かい変動は個々の曲線から読み取れないが、距離が大きくなるとノイズの発生頻度が増加する傾向が認められる。前述のように距離に対するセンサーの出力補正を行っているため、対象面との距離を変えたとしても測定値と実際の距離の間に検出誤差を生じないが、ノイズ発生点からはセンサーと対象面の距離を小さくする方が好ましい。ただし、距離をあまり小さくすると流動表面からの飛沫がセンサーに付着して測定が困難になるため、図4の結果も考慮して測定距離を135 mmとした。図10には、この条件で測定した流水厚さの変動を示す。厚さのスケールを図9

Fig. 10 Thickness variation of running water.

より細かくしてプロットしたため、微小な変動が読み取れる。平均厚さ約14.5 mmの水流が波立っている状態をよく反映しているように思われる。

3.2 抄紙機ワイヤー上での測定

図11に示すように、15本のフォイルとサクションボックスからなる脱水要素の抄紙機について、ワイヤー上での脱水状態の評価を試みた(抄速: 285 m/min, 坪量: 62 g/m²)。なお、幅方向の測定位置は抄紙機の操作側から駆動側へ40 cm 入った位置とし、流れ方向についてはフォイル3本毎(約1,200 mm 間隔)に測定を行った。これらの測定点について、繊維懸濁液の平均厚さと厚さの標準偏差を測定することにより、

Fig. 11 Drainage elements of forming section.

Fig. 12 Variations of slurry layer thickness at different drainage elements.

— : Forming board,
----- : No.6 foil
..... : No.12 foil,
- · - · : Suction box

Fig. 13 Slurry layer thickness and thickness variation (turbulence) profiles on a forming section.

脱水プロファイルとタービュレンスを評価した。

図 12 は、各測定点について得られた繊維懸濁液厚さの時間軸に対するプロットである。流水に対する測定結果 (図 10) に類似の変動曲線が得られており、繊維懸濁液の厚さや波立ちの程度が測定点でそれぞれ異なる様子が認められる。

図 13 には、これらの測定結果から求めた各点における繊維懸濁液の平均厚さと厚さの標準偏差 (タービュレンス) を示す。ヘッドボックスから下流へ離れるにしたがって、繊維懸濁液の厚さ、タービュレンスとも減少する傾向が明らかである。この抄造条件下では、ワイヤーパートの前半約 1/3 で全脱水量の約 1/2 が脱水し、その後はタービュレンスも小さくなっていることが認められる。また、フォーミングボード上の懸濁液厚さの測定値が、スライスリップ開度 (14 mm) に縮流係数 (0.8) を掛けた値 (ジェット厚さに相当する⁹⁾) にほぼ等しいことから、抄紙機上の測定においても十分な測定精度の得られていることが示唆される。一方、タービュレンスについてはデータ収集速度 (0.75 秒間隔) をさらに速くする必要があると考えられるが、図 13 の結果はワイヤー下部からの測定で報告されて

いる値 (0.5~1.0 mm)⁷⁾ にほぼ一致していた。

従来、フォーミングボード上での懸濁液厚さの測定は、抄紙機の構造上ワイヤー下部からは出来なかったが、超音波変位センサーを利用したワイヤー上部からの測定により可能になった。今後、ジェットのワイヤーへの着地状態の定量化などへの応用も考えられる。

4. 結 言

迅速かつ正確にワイヤー上の脱水状態を測定するため、超音波変位センサーの利用を検討した。まず、実験室で対象物の種類、温度、距離などの因子がセンサー出力に及ぼす影響を評価し、距離以外の因子については出力補正が不必要であることを明らかにした。次いで、実際の繊維懸濁液 (LBKP) を供試して液面が変動する条件下での変位測定を行い、十分な精度が得られることを確認した。

以上の検討結果をもとに測定条件を決め、抄紙機ワイヤー上で繊維懸濁液の厚さとタービュレンスの測定を試み、従来の方より効率の良い測定が可能なことを明らかにした。

引用文献

- 1) Parker, J. D., Appita 25 (11) : 185 (1971)
- 2) Jokinen, O. and Ebeling, K., Paperi ja Puu (5) : 371 (1985)
- 3) Eisanlauer, J., Horn, D., Linhart, F., and Hemmel, R Nordic Pulp & Paper Res. J. (4) : 132 (1987)
- 4) 鍛治裕夫, 門間憲司, 桂 徹, 第 56 回紙パルプ研究発表会予稿集 : 94 (1989)
- 5) 鍛治裕夫, 門間憲司, 桂 徹, 第 40 回日本木材学会大会予稿集 : 319 (1990)
- 6) Knuts, K., Ebeling, K., Laine, J., and Peura, M., Paperi ja Puu (9) : 519 (1982)
- 7) Andrews, W. J., Tappi J., 71 (1) : 46 (1989)
- 8) Bambrick, T. J., TAPPI Papermakers Conference : 105 (1985)
- 9) Brezinski, J. P., "Pulp and Paper Technology" ed. by K. W. Britt, Van Nostrand Reinhold (1970) p 394

(受理 : '91.2.18)