最近の抄紙技術について(2)

(有)製紙科学研究所 石 黒 久三郎

Recent Development in Papermaking (II)

Kyuzaburo Ishiguro

Papermaking Science Research Laboratory

2.1.1 多孔ロール型ストックインレットの要点

前号に記載の通り多孔ロール型ストックインレットの設計、操業はケースバイケースで相違し、またデリケートな面を有し、なかなか一筋縄ではいかないのであるが、これに関係する設計、操業の一般的な数値、これは理論的な掘り下げとともに、実績、経験を基礎にして積み上げたものだが、私見を交えてその要意を記してみる。なお、これらの数値には例外も多々あることに留意して頂きたい。

1) ヘッドボックス流入メインヘッダー (図2①)

本ヘッダーは次項のマニホールドパイプを通じ、ヘッドボックス幅方向に均一に原料を流入させるため、本ヘッダー管末より原料をオーバーさせる再循環方式を採用するのが普通で、ほとんどのストックインレットメーカーがこの方式を採用している。オーバー量はヘッダー入口流入量の10%前後、ヘッダー入口側、出口側断面面積比は大略9:1、ヘッダーの形状は円型、角型いずれでも差し支えないが、マニホールドパイプと

の取り合わせを考慮しつつ、エアー溜りが発生しないように工夫を凝らす必要がある。なお、ヘッダー内平均原料流速は、大略の目安として3m/秒程度にとる。

また、メインヘッダーよりヘッドボックス幅方向に對し、均一に原料が流入していくことを配慮し、図7のごとく理論曲線状に、この曲線の求め方は後記文献1)に詳述してあるが、この理論曲線通りに設計、製作する場合もあるが、実際には理論値通りに正確に加工することは難しく、コストアップにもつながるため、図のように近似的に直線で結んだ製作曲線、もしくはメインヘッダーにふくらみを与えることなく、入口、出口両サイド、すなわち図に示すAB間を単に直線で結んだ型式を採用する場合も多い。

2) マニホールドパイプ

図2②で示すようにメインヘッダーとヘッドボックスを直結する配管群、すなわち小口径の多数のパイプ群よりなるもので、原料に管摩擦による流体抵抗を与え、ストックインレット全体として第一段階の整流を行う箇所である。

マニホールドパイプは直管式のほか、曲管式、テーパー管、ステップデフューザー型などがあり、管内流速、管の長さ(管径の何倍にとるか)などは各メーカーが、ストックインレットの型式に合わせ独自に決定している。

3) ヘッドボックス内原料平均流速

図2の多孔ロール⑤と⑥の間を流れる原料平均流速で、この流速は良好な地合、優れた品質の製品を抄造するために大切な数値で、一般的には0.3m/秒以下で設計、操業を行うのが普通である。

4) 多孔ロール開孔率、孔径、回転数

図2のごとく原料流入側よりスライスロールに向かい3本設置の場合、それぞれの開孔率は④スロートロール約30%、⑤バットロール約40%、⑥スライス

図2 (再掲)

図7 ヘッダー形状

ロール約50%，すなわち川下から川上に向かい30，40，50%と決めるのが標準だが，長繊維多配合原料の場合には観点を換え，別途に検討する必要がある。

多孔ロール孔径の大小も原料の分散，地合に影響を与えるが，普通15～28mm ϕ 程度のものを採用する。もちろん，この範囲外の孔径のものが使用される場合もある。

回転数はJ. Mardonが示唆しているように，ロール周速が10m/分程度になるよう決めるのが一応の目途だが，原料の性状により，周速を大，もしくは小にした方が好ましい場合があり，従って多孔ロール用駆動装置は可変速式に設計するのが望ましい。

5) スライズノズル傾斜角

スライズノズルの底部は図2の場合は水平だが，これに対する上部スライズノズルの傾斜角は，水力学を根拠にし45°にするのが理想である。ただ，このようにするとスライズロールとスライスエンド（スライス出口）までの距離が十分に確保できない（スライズロール出口側の原料が十分に整流されない）場合には30°程度とする。45°の場合の整流効果を100とすれば，30°の場合は理論的には半減し50となるが，スライズロールとスライスエンドの距離を十分に確保することによる整流効果とのバランスを考え，次善の策として30°程度とするのである。なお，スライズノズル前半，すなわち途中までを約45°，それ以降の後半を約30°とし2段式にして距離を確保する場合もある。

以上の45°，30°という数値はあくまでも一つの基準であり，実際の設計の場合には他部との取り合いの関係で，本数値より大きくとも場合もあり，また反対に小にとる場合もある。図2はその1例である。

後記文献9)によれば，海外におけるストックインレットメーカーで，密閉式エアクッション型，開放型を含め，多孔ロール型ストックインレットのみを専門に設計，製作しているメーカーは，Rice Barton社，Neue Bruderhaus社の2社のみのようで，Beloit社，

Black Clawson社，Essyer Wyss社，Valmet社，Voith社，Ahlström社など代表的なメーカーは，特別な場合を除きハイドロリック型ヘッドボックスに注力し，多孔ロール型ストックインレットは既述の通り，中低速用抄紙機，特殊紙用抄紙機，その他特殊目的用，または客先の特別注文などに限って製作している模様である。それどころかと言うと従来の設計を基本にしながら，可能な限り改善を試みた。すなわち本質的にはあまり変わりのない型式に止まっているのが実状のようである。

2.2 ハイドロリック型ヘッドボックス

前項で説明のごとく多孔ロール型ストックインレットは，原料の整流効果にある種の限界があり，製品地合，製品品質もこれに応じて天井感が存在し，これは抄速が大になるほど顕著となってくるので，各ストックインレットメーカーともハイドロリック型ヘッドボックスの開発，設計製作，またその改善に全力を傾注しているのが実状である。

図8はハイドロリック型ヘッドボックスの1例で，次号で説明のごとくBlack Clawson社MK-II型だが，説明に便利な型式なので本図を用いてハイドロリック型ヘッドボックスの要点を説明してみる。同図よりハイドロリック型ヘッドボックスは下記の主要エレメントより構成されていることが分かる。

1. ヘッドボックス流入メインヘッダー（図8①）
2. マンホールパイプ（図②）
3. 原料混和室（図8③）
4. 圧力調整室（図8④）
5. 乱流発生装置（Turbulence Generator）（図8⑤）
6. スライス部（図8⑥）

メーカーのなかには上記4項の圧力調整室を省略し，完全なハイドロリック式にする所もあるが，この場合はヘッドボックス入口側アプローチ配管系に原料脈動減衰装置を設置するが，脈動の程度が小であれば，も

図 8 Black Clawson 社 MK-II 型

ちろん設置しない。

上記 1, 2 項の基本的な考え方は、多孔ロール型ストックインレットの場合と同じだが、ただ、1 項のメインヘッダーについては多孔ロール型ストックインレットに比べ、この部にエア溜りが絶対に生じないように特別に配慮を行う必要がある。

もし、メインヘッダー内にいったんエア溜りが発生すると、ただでさえハイドロリック型ヘッドボックスは、原料流の脈動の影響を受けやすいところに、これに、さらに拍車をかけ、製品品質、および制御系を含めた操業関係を不安定にするほか、汚れ、粕などの発生の原因となるので、前記の通り多孔ロール型ストックインレット以上に、エア溜り発生に対しては十分に注意を払う必要がある。

2 項のマニホールドパイプは図 8 ②のように小口径直管の配管群よりなるもの、あるいはテーパパイプ式、ステップデフューザー式などを採用する等、メーカーにより異なり多彩だが、要は多孔ロール型ストックインレットと同様、またはそれ以上に原料流に管摩擦抵抗を与え、原料の分散を図りながらヘッドボックス幅方向に対し、原料が均一に流入するように工夫したものである。

1, 2 項に関する設計の数値的な大略の目途は、多孔ロール型ストックインレットの場合とほぼ同様と考えて差し支えない。なお、図 9 の Escher Wyss 社のように、2 項のマニホールドパイプの替わりにダブルステップ（3 段式）型デフューザを設置し、5 項の乱流発生装置を兼用させた設計のものもある。

図 9 Escher Wyss 社型

3 項の原料混和室は前項のマニホールドパイプを通してきた原料が有する過大な乱流を沈静、または原料流の脈動を吸収させるためにもうけられるもので、各メーカーとも本室の容積は出来るだけ大にするよう配慮している。また、このように設計した方が特別な工夫を凝らしたものは別として、圧力、流量等の制御系を正確に作動させるためにも好ましい。

またハイドロリック型ヘッドボックスのキーポイントである乱流発生装置に原料を送る予備室的な意義を有している。

4 項の圧力調整室は文字通り空気圧を調整する室で、前述の通りこれを有さない型式もあるが、この場合にまに述べたように別に脈動減衰装置（例えば Beloit 社アトニエーター、Escher Wyss 社 PE 装置など）を設置する。圧力調整室を設ける場合は、容積を大にとり、脈動減衰効果が十分に発揮できるようにするとともに、圧力コントロールが容易に、正確に行われるように配慮する。

5 項の乱流発生装置はハイドロリック型ヘッドボックスの最重要部、心臓部に相当し、本装置の良否が直ちに本型式のヘッドボックス全体の性能に影響を及ぼし、死命を左右する結果をもたらすので、各ストックインレットメーカーとも設計の最重点箇所として重視し、またこのような観点から常に開発、研究を行っている部分でもある。本装置の設計の要点は装置内を小容積の室に区切り、この部に原料を高速で通し、原料の再フロック化を防止するとともに均一な分散を図り、マイクロタービュレンスを発生させ、これを可能な限り破壊しないように維持し、スライスチャンネルを通過させ、スライスよりワイヤー上に噴流させるように

工夫する点にある。

一般にパルプ希釈液は図 10, 11, 12³⁾ のような性質を有している。

すなわち図 10 は管内を流れるパルプ希釈液の平均流速が 1.8 m/秒の場合、パイプ中心より流れが遠くなるにつれ(管壁に近づくにつれ)、濃度がどのように変化するかを示したもので、濃度が大きくなるにつれ、管内中心部を最高濃度として凸型を画く。要するに原料濃度が大きくなるほど、管内を流れる原料の濃度ムラが顕著となり、これは管径が大きくなるほど著しくなる。

もしパイプ群より構成される乱流発生装置をストックインレット内に設ける場合、この管径が大であれば個々のパイプ内で原料の濃度ムラが生じ、これが集合されて乱流発生装置終端においても濃度ムラが残存し、この状態でスライスエンドに達し、ここから原料が均一に分散されることなくワイヤー上に噴射され、地合不良、ストリークス発生、その他製品品質に悪影響を与える結果をもたらす。

図 10 管内での濃度分布と平均濃度の関係

以上がハイドロリック型ヘッドボックス乱流発生装置設計の場合の留意点の一つで、4 角形、6 角形のハニカム式、ステップデフューザ式、円型パイプ式などを含め、乱流発生装置においては小口径（小断面積口径）のパイプ群に原料を導入し、これにより整流を行うというのが基本的な考え方であり、パイプ群を使用しないで数枚のシートを使用し、流れ方向を水平方向に小距離間隔で分断、横断させる方法で、乱流発生装置を構成する方式のものも、その基本的な考え方は同一である。

図 11 は原料平均濃度を 0.178% に保ち、管内流速を種々に変えた場合、管中心から離れるにつれ、原料濃度がどのように変化するかを示したものである。管内流速が大きくなるに従い曲線は一応、平坦化していくが、流速が小の範囲では凸型となり管内で濃度ムラが発生することを示している。これも乱流発生装置を多数の

図 11 管内平均流速と管内原料濃度分布の関係

小さい室に区分けし、あるいはシートで間隔を狭く分断し、この間を原料を高速で通過させ、濃度ムラの発生を防ぐとともに、原料の分散を良好にし、その均一化を図るように設計を行う理由でもある。

図 12 は管内を流れる原料濃度、原料流速と管摩擦に起因する圧力損失の関係だが、この 3 者は極めて複雑な関係にある。すなわち原料濃度 0.5~1.0% の範囲では水の管摩擦による圧力損失より小、濃度 1.5% では流速小の領域では水より大、流速大の領域では水より小、そして濃度 2.0% に達すると 3 者の関係は変移し、濃度 1.5% 以下の圧力損失と全く異質なカーブを画く。これは乱流発生装置の個々の室に濃度の差異があると、管摩擦抵抗に差異を生じ、結果として乱流発生装置出口側において原料の分散、均一化を妨害する方向に働くので、図 10, 11 と同じく乱流発生装置を多数の小室に分割する必要性の理論的な裏付けになっている。

図 12 原料濃度、管内流速と管内圧力損失の関係

いずれにせよ図 10, 11, 12 は乱流発生装置設計の根本となる関係図で、また同時に 2 項のマニホールドパイプの設計に対する基本的な考え方にも適用できる。

なお、乱流発生装置出口側の開孔率（出口側断面積に対する開孔部面積の比率）は、同装置を構成する多数の小室より、高速で流出してくる原料流同士で原料が相互に攪乱されないように極力大きな値にすることが好ましく、特別な理由がない限り 90% 以上の値で設計しているメーカーが多い。

乱流発生装置は小口径の直管群よりなるもの、ステップデフューザー型式のもの、4 角型、もしくは 6 角型のハニカム型式のもの、ヘッドボックス全幅を数枚のシートで原料の流れ方向に水平に分断、区分けするタイプのもの、波型のシートで分断したタイプ等メーカーにより種々考案されているが、その基本的な考え方の根拠は図 10, 11, 12 で説明した通りである。

6 項のスライス部、すなわち乱流発生装置出口側のトップスライスとボトムスライスで形成されるスライスチャンネル部は、ハイドロリック型ヘッドボックスにおいては、チャンネル部の角度は極力小になるように設計するのが一般である。

多孔ロール型ストックインレットでは、ボトムスライスが多くの場合水平であるのに対し、2.1.1 項で説明の通りトップスライスは水平に対し約 45°、約 30°、もしくは約 45° と約 30° とを組み合わせたものもあるが、ハイドロリック型ヘッドボックスのスライスノズルでは、トップ、ボトム両スライスで作られる角度は 5~20° と小さな角度の範囲で設計する場合が多い。

これは乱流発生装置出口側の原料流が有するマイクロタービュレンスを可能な限り維持、継続させ、高速で短時間のうちにスライスリップに到達させ、ここより、原料ゼットをワイヤー上に噴射させるためである。また前記スライスノズルの角度は、エア溜りの発生を防止するため乱流発生装置の傾斜角度をそのまま延長させた角度に保つ。すなわち、乱流発生装置よりスライスリップまで一直線状に保ち、段付きがないように設計する場合が多い。

以上、ハイドロリック型ヘッドボックスの要点に触れたが、図 13²⁾ は従来の多孔ロール型ヘッドボックス、およびハイドロリック型ヘッドボックスが作るタービュレンスのサイズとこれに対応する剪断力の目安である。これより後者が前者より原料の分散、再フロック化の防止などに極めて優位にあることが分かる。

次に代表的な各メーカーの型式を紹介してみよう。

なお、ハイドロリック型ヘッドボックスは、各抄紙機メーカーが製作しているフォーマに合わせて設計、

図 13 スtockインレットの型式とタービュレンスサイズと剪断力の関係

製作される場合が多いので、ヘッドボックス単体のみを比較して論ずることは避けなければならない。また、各メーカーのヘッドボックスの主な設計諸元は後記文献 10) に記載されているので参考にされたい。

2.2.1 ハイドロリック型ヘッドボックスの代表例

1) Beloit 社ハイドロリック型ヘッドボックス

ハイドロリック型ヘッドボックスの本格的な幕開けをもたらしたのは、Beloit 社製コンバフローヘッドボックス(図 14 ただし長網用)と言ってよい。本ヘッドボックスは同社製ツイワイヤーマシン、すなわちベルベフォーマ型用として 1960 年代から 1970 年代にかけて開発されたものであるが、それまでの発想、常識から全くかけ離れた型式のもので原料流のなかで自

図 14 コンバフローヘッドボックス

由に浮遊するコンバフローシートを有する独特の整流機構で設計されたツインワイヤー用本ヘッドボックスより抄造された製品地合は、従来の多孔ロール使用のヘッドボックスに比べ、全く次元を異にした優れたもので、当時の我々に対し大きな感銘と衝撃を与えたものであった。

続いて長網専用ハイドロリック式ヘッドボックスとして、シンチャンネルコンバフローヘッドボックス(図15)が開発され、また三菱重工(株)が独自に開発した三菱アクデフローボックス(図16)も出現した。特に後者は我が国が海外メーカーより技術導入の形でな

図15 シンチャンネルコンバフローヘッドボックス

図16 アクデフローボックス

く、国産技術による開発品という面で評価され、意義も深く昭和60年度紙パルプ技術協会佐々木賞に推奨されている。

上記の各ヘッドボックスについては後記文献5)6)7)等で詳述されているので省略し、ここでは最近になり開発されたBeloit社新型ハイドロリック型ヘッドボックス、コンセプトIII型(Concept III headbox)⁸⁾に触れてみたい。

本型式の概要は図17の通りで、従来のコンバフロー型、シンチャンネルコンバフロー型と異なる点は、チューブバンクと混和室とが挙げられる。前2者のチューブバンクは図14, 15より分かるように、テーパ型の細管群よりなる、いわゆるマニホールド型(チューブバンク型)であるが、コンセプトIII型はこの部にシングル(2段式)ステップデフューザーを使用している点である。

ちなみにEscher Wyss社ステップデフューザー型ヘッドボックスは、図9のごとくダブル(3段式)ステップデフューザーを使用している。本図のようなダブルステップデフューザーはEscher Wyss社が特許権を保有しているが、シングルスステップデフューザーについては別段特許の制約はなく、現にいくつかのヘッドボックスメーカーで採用されてきている。

さらにコンセプトIII型ヘッドボックスは、混和室を設けずシングルスステップデフューザーより直接コンバフロー部に原料を導入し、この二つで整流と原料の分散を行うように計画されている。従って全体の構造もシンプルとなり、対象抄物はライナーからティッ

図17 コンセプトIII型ヘッドボックス

図 19 Beloit 社 Horizontal Bel-Baie 型

図 18 コンセプトIII型ヘッドボックス全体図

シュまでと広い範囲にわたり、最終的な製品地合は製品の種類に応じ、コンバーフローシート相互の間隔、長さなどにより調節する。

図 17 のようにヘッドボックス本体が混和室を有さず、ステップデフューザーとコンバーフローシートよりなるので規模も小となり、図 18 にその全体図を示した。ヘッドボックス幅方向坪量コントロールは Beloit Slice Mate system で行われ、個々の調節装置は 3~6 インチ間隔に設けられ本図よりその概略を知ることが出来る。

なお、ヘッドボックスに流入する原料流が脈動を有する場合には、ほかの Beloit 社ハイドロリック式ヘッ

ドボックスと同じように、アテニュエーター (pressure pulsation attenuating system) を使用する。

コンセプトIII型の納入実績は、全世界ですでに受注実績 50 基 (納入済約 30 基) を有していると言う。

また Beloit 社は図 19⁴⁾ に示す従来の長網式を改造した水平型ツインワイヤーマシン, Horizontal Bel-Baie 型を発表しているが、従来のハイブリッドフォーマが前半を長網、後半をツインワイヤー化しているのに対し、本フォーマは前半からツインワイヤーしたもので、本来のツインワイヤーマシンに類似しており、どのような特長のある製品が抄造されるか興味深い。

参 考 文 献

- 1) 石黒久三郎：最新抄紙技術—理論と実際 (製紙科学研究所発行 昭和 59 年)
- 2) 4) M. H. Waller, Tappi Journal 70(1) : 33 (1987)
- 3) H. Holik Wockenblatt für Papierfabrikation, No.2 p 39, 1978
- 5) 三菱重工技報 Vol.22, No.4 (1985-7)
- 6) 紙パルプ技術タイムス臨時増刊号 27, (4) (1984)
- 7) 紙パルプ技術タイムス 27, (9) (1984)
- 8) Beloit 社資料
- 9) P. T. J. Sept., 1986, p 42
- 10) 八木健司, 紙パルプ技術タイムス 30(9) 5 (1987)