

製紙薬品事業部 研究開発部 榮村 拓史



### 1 はじめに

包装材料として重要な段ボールシートの1m<sup>2</sup>あたりの重量は年々減少傾向(=軽量化)にある(1990年664.1g/m<sup>2</sup>、2009年631.7g/m<sup>2</sup>:全国段ボール工業組合連合会ホームページより)。近年の環境意識の高まりを考慮して、省資源化や輸送の効率化によるCO<sub>2</sub>削減を目的に、段原紙(段ボールシートの材料となる紙:ライナー原紙と中芯原紙)の使用量削減や薄物段原紙の採用が進んでいると考えられる。一般に、紙は薄くなると強度が低下する。原紙の薄物化に伴い坪量(1m<sup>2</sup>あたりの重量)が低下すれば、原紙の強度は著しく低下する。原紙の強度が低ければ段ボールシートの強度も低くなる傾向にある。強度の低い原紙を使用しても段ボールシートとしての強度をある程度維持するようシート構造を工夫する、あるいは、この強度低下を問題視しない用途がある一方で、原紙の強度を維持しつつ薄物化するというニーズも存在すると考えられる。

製紙業界では、高強度の薄物銘柄の抄造が検討されている。紙が薄くなった場合、紙の物性面への影響として強度が低下する、厚みが減少することで紙表面の凹凸の影響が出やすくなる、水分に対する変化が起こりやすくなるなどが考えられ、貼合工程(ライナー原紙と波状に加工した中芯原紙を貼り合わせる工程)における加工適性に影響してくる可能性がある。この中で薄物化(=坪量の低下)の影響をもっとも受けやすい強度の低下を補うためには、紙力増強剤の使用が不可欠であると考えられる。

このような段原紙の薄物化の流れに対応すべく、当社では紙力増強剤の効果的で効率的な使用方法について検討を進めている。ここでは、その一環として、坪量低下の紙の強度への影響や紙力増強剤の強度向上効果についてラボ実験で検討した内容を紹介する。

### 2 坪量低下の強度への影響

紙の強度に与える坪量の影響は非常に大きい。紙の強度は、主に①単繊維強度(パルプ繊維自体の強度)、②繊維間結合(結合面積、結合強度、繊維の絡み合い)、③地合(紙面内の密度ムラ)、に大きく依存する。この中で坪量の低下は紙を形成する繊維の数の減少をもたらす。図-1に、段ボール古紙をラボで離解、叩解(CSF 400ml)した原料から作製した手抄き紙の強度に及ぼす坪

量の影響を示した。坪量が160g/m<sup>2</sup>から120g/m<sup>2</sup>に低下すると、圧縮強度(リングクラッシュ法)は約110N低下した(44%の低下に相当)。他の強度項目でも、圧縮強度(ショートスパン法)で約10N(30%相当)、引張強度は約16N(21%相当)低下した。なお、剛度(テーパー法)は1.4mN/mが0.6mN/mまで著しく低下した。強度の項目により程度の差はあるが、坪量の低下により手抄き紙の強度は著しく低下する。

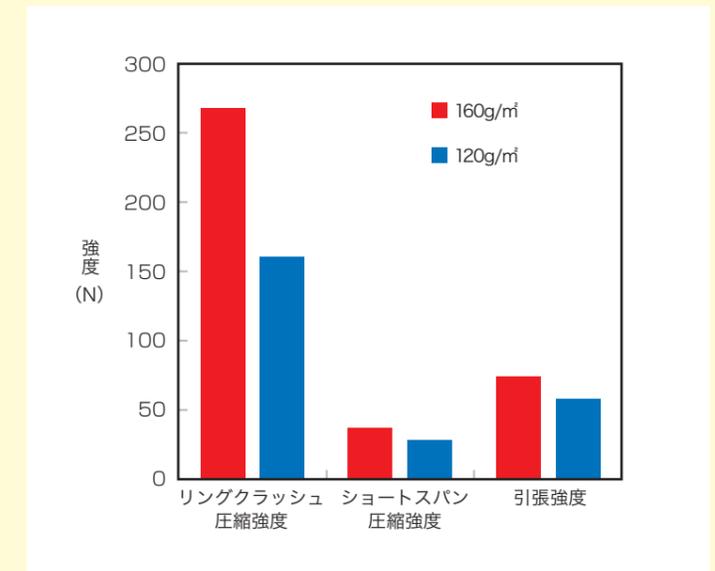


図-1 坪量の低下による強度の低下

段古紙: CSF 400ml: JIS P8121, リングクラッシュ圧縮強度: JIS P8126, ショートスパン圧縮強度: ISO 9895, 引張強度: JIS P8113

## 段原紙の薄物化処方について ～紙の強度に及ぼすPAM系 紙力増強剤の添加方法の影響～

製紙薬品事業部 研究開発部  
榮村 拓史

### 3 坪量を低下させても強度を維持する方法

段原紙の坪量の低下に伴う強度の低下を補う方法として、①バージンパルプの配合、②乾燥紙力増強剤の使用が挙げられる。乾燥紙力増強剤は、ポリアクリルアミド(PAM)系と澱粉系が主に用いられ

る。紙への添加方法としては、パルプスラリーに添加する内添法(Wet-end 添加)と、スラリーをシート状にした後に紙の表面から添加する塗工法やスプレー法が挙げられる。

### 4 原料配合

段原紙の原料のうち約90%はリサイクルされた古紙である。古紙由来のパルプは、リサイクル過程を経ることで、平均繊維長の低下や繊維間結合能力の低下が見られ、繊維以外の無機物成分(=灰分)の含有量も多い。灰分が少なく、繊維間結合能力が高いバージンパルプを配合することで段原紙の強度向上につながる。表-1に、段古紙パルプとL-UKP(広葉樹未漂白のバージンパルプ)の配

合比と各配合率での手抄き紙の強度の関係を示した。L-UKPを配合することで、いずれの強度も向上した。ただし、坪量の低下による強度の低下を補うという観点から見ると、リングクラッシュ圧縮強度や引張強度は、L-UKP 100%配合でも坪量160g/m<sup>2</sup>から120g/m<sup>2</sup>への低下による強度低下を補うことはできないことが分かった。

原料配合比		坪量 (g/m <sup>2</sup> )	リングクラッシュ 圧縮強度 (N)	ショートスパン 圧縮強度 (N)	引張強度 (N)
段古紙	L-UKP				
100	0	160	272	37	75
90	10	120	179	27	57
0	100		244	36	70

表-1 原料配合の紙の強度への影響

段古紙：CSF 390ml, L-UKP：CSF 360ml：JIS P8121, リングクラッシュ圧縮強度：JIS P8126, ショートスパン圧縮強度：ISO 9895, 引張強度：JIS P8113

### 5 紙力増強剤の内添法

紙力増強剤による強度向上効果について、まずは内添法で検討した。段ボール古紙をラボで離解、叩解した原料スラリーに、種々の添加率でPAM系紙力増強剤(両性タイプ)を添加して手抄き紙(坪量120g/m<sup>2</sup>)を製作した。図-2に、坪量および紙力増強剤添加率と手抄き紙の強度の関係を示した。図の縦軸は、坪量160g/m<sup>2</sup>の紙力増強剤無添加の紙の強度を100として、紙力増強剤添加紙の強度を指数として表示した。いずれの強度も紙力増強剤の添加により向上するが、添加率が高くなると強度向上幅が小さくなり、頭打ちとなった。坪量120g/m<sup>2</sup>の紙で坪量160g/m<sup>2</sup>の強度を達成するために必要となる紙力増強剤の添加量は、引張強度で0.5%、ショートスパン圧縮強度で1.5%と見積られる。リングクラッシュ圧縮強度は5%添加しても達成できなかった。

引張強度は圧縮強度に比べて、相対的に繊維間結合強度の寄与が大きいので、紙力増強剤による強度向上効果は引張強度の方が大きくなったと考えられる。また、リングクラッシュ圧縮強度はショートスパン圧縮強度に比べて、試験片の座屈の影響を受けやすいと考えられ、坪量の低下で紙厚が低下すると、この影響がより顕著になると推測される。これが引張強度やショートスパン圧縮強度に比べて、リングクラッシュ圧縮強度が紙力増強剤の添加で向上しにくい要因のひとつかもしれない。坪量の低下に伴う強度の低下を紙力増強剤の内添法で補う場合、ショートスパン圧縮強度や引張強度は比較的容易に達成できるが、リングクラッシュ圧縮強度は達成困難と考えられる。

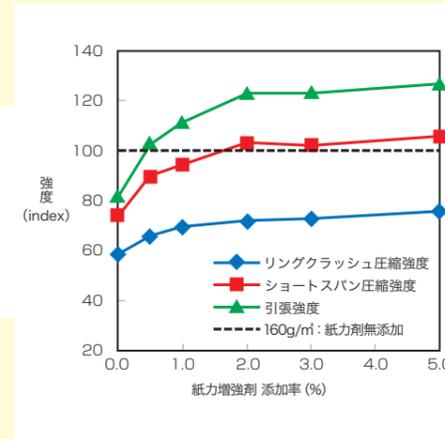


図-2 紙力増強剤 添加率と強度の関係(内添法)

段古紙：CSF 430ml：JIS P8121, Alum 1.0% 添加, 抄紙pH 6.5-7.0, 水道水希釈, 内添用PAM系紙力増強剤(両性)を内添, 坪量120g/m<sup>2</sup>, リングクラッシュ圧縮強度：JIS P8126, ショートスパン圧縮強度：ISO 9895, 引張強度：JIS P8113, 坪量160g/m<sup>2</sup>の紙力増強剤無添加紙の強度を100として各強度を指数表示

### 6 紙力増強剤の塗工法

次に、紙力増強剤を塗工した場合の強度向上効果について検討した。市販の中芯原紙(坪量120g/m<sup>2</sup>)にパーコーターを用いて、当社の表面用PAM系紙力増強剤および市販の表面塗工用澱粉を塗工した。図-3に、紙力増強剤の塗工量とCD方向(紙の抄き方向に対して垂直の方向)のリングクラッシュ圧縮強度の関係を示した。CD方向のリングクラッシュ圧縮強度は、PAM系紙力増強剤の場合、固形分塗工量約1.1g/m<sup>2</sup>(紙中含有量:約1%)で約20N、約3.5g/m<sup>2</sup>(同:約3%)で約50N向上した。同一の固形分塗工量の澱粉の紙力増強効果は、PAM系紙力増強剤の約70%程度に留まった。なお、紙力増強剤の塗工量の増加に伴い、引張強度やショートスパン圧縮強度はいずれも増加したが、紙力増強剤の含有量が2~3%になると強度向上幅が低下傾向にあった。今回の塗工量(最大で約5g/m<sup>2</sup>)では、坪量の低下(160g/m<sup>2</sup>から120g/m<sup>2</sup>)に伴う強度の低下を紙力増強剤の塗工で補うことは困難であった。

約3%)で約50N向上した。同一の固形分塗工量の澱粉の紙力増強効果は、PAM系紙力増強剤の約70%程度に留まった。なお、紙力増強剤の塗工量の増加に伴い、引張強度やショートスパン圧縮強度はいずれも増加したが、紙力増強剤の含有量が2~3%になると強度向上幅が低下傾向にあった。今回の塗工量(最大で約5g/m<sup>2</sup>)では、坪量の低下(160g/m<sup>2</sup>から120g/m<sup>2</sup>)に伴う強度の低下を紙力増強剤の塗工で補うことは困難であった。

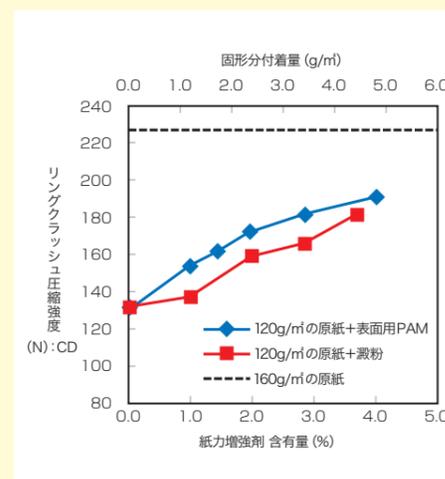


図-3 紙力増強剤の含有量と圧縮強度の関係(塗工法)

塗工量：両面の合計で40g/m<sup>2</sup>

## 段原紙の薄物化処方について ～紙の強度に及ぼすPAM系 紙力増強剤の添加方法の影響～

製紙薬品事業部 研究開発部  
榮村 拓史

### 7 内添法と塗工法の比較

内添法では紙力増強剤の添加率が2%付近で強度向上効果が伸びなくなった(図-1参照)。紙力増強剤の添加率が高くなると、紙力増強剤の繊維への吸着率が低下し、効率的に紙力増強剤が紙に歩留まらなくなったことが原因と考えられる。紙力増強剤はパルプ繊維に静電相互作用で吸着すると考えられている。この静電相互作用は、紙力増強剤の性質、原料パルプの種類、抄紙系内の環境(Alum添加量、pH、電気伝導度、狭雑物の濃度など)に依存するため、強度向上効果が伸びなくなる添加率はこれらの因子に影響される。そのため抄紙環境に適した紙力増強剤を用いることが重要であるが、いずれにせよ、高添加率領域では吸着量に依存した強度向上効果の鈍化に注意する必要がある。

塗工法では塗工された紙力増強剤はほぼ紙に歩留まるため、内添法で見られる吸着率の低下などは考慮しなくてもよい。一方で、塗工量を多くするためには塗工液の濃度を高くすることが一般的である。そのため、塗工量が多い場合は塗工液の粘度が高くなる。また紙への塗工量は、塗工機の種類や塗工液の粘度の影響を受ける。したがって、ハンドリング性を考慮すれば実際の塗工量はこれらの要因から制約を受けると考えられる。また、一般に紙は湿潤と乾燥のサイクルを経ると、その

強度が低下することが知られている。塗工法では紙力増強剤の水溶液を塗工するので、この強度低下の要因の影響も受けることになる。また紙質面への影響として、塗工量が多くなりすぎると紙の透気抵抗度が上昇する傾向にあり、貼合工程での貼合糊の浸透に影響すると考えられる。

一般に内添用と表面塗工用の紙力増強剤は異なるが、ここでは実験的に同一のPAM系紙力増強剤を用いて、内添法と塗工法で、いずれの添加方法がより効率的な強度向上効果を示すのかを検討した。図-4に、紙中の紙力増強剤含有量とリングクラッシュ圧縮強度の向上幅の関係を示した。図の横軸は、紙力増強剤の添加量ではなく、紙中に歩留まった含有量を示している。同一の紙中含有量であれば、内添法の方が強度向上効果に優れていた。ただし、内添法では紙に添加できる紙力増強剤の最大量に制限がある。塗工法で紙力増強剤を添加すれば、塗工量に伴いリングクラッシュ圧縮強度は緩やかに増加して、内添法を上回る強度を達成できた。

内添法と塗工法の強度向上効果の違いは、紙中の紙力増強剤の分布の違いが影響している。内添法では繊維と繊維の結合領域に紙力増強剤が分布する。一方、塗工法ではすでに出来上がった繊維間結合の周辺に紙力増強剤が分布する。前者の方が効率的に繊維間の結合強度を高める。

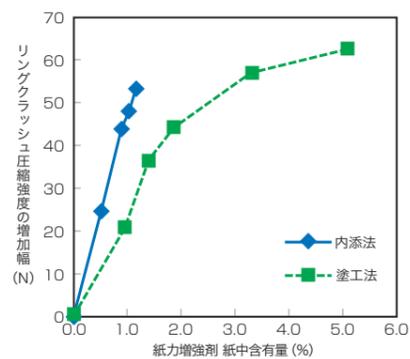


図-4 紙力増強剤の紙中含有量と圧縮強度の向上幅の関係 (内添法と塗工法の比較)

### 8 内添法と塗工法の組み合わせた処方

前述のように、紙力増強剤で非常に高い強度を達成しようとする場合、内添法と塗工法のいずれも、それぞれ特有の制約を受ける。そこで、それぞれの効果がもっとも発揮される状態で、ふたつの添加方法を組み合わせれば、効率的な強度向上効果が得られると考えられる。すなわち、内添法で紙力増強剤を添加してある程度の強度を付与した後に、目標に不足する強度を塗工法で付与するという考え方である。図-5に、内添法

と塗工法を組み合わせた場合の添加量とリングクラッシュ圧縮強度の関係を示した。所定量の内添用PAM系紙力増強剤を内添した紙(坪量120g/m<sup>2</sup>)に、パーコーターで種々の量の表面用紙力増強剤を塗工した。内添法では紙力増強剤の添加率2%で強度向上効果が伸びにくくなってくるが、この紙に塗工法で紙力増強剤を塗工することで、それぞれ単独の添加方法では達成できなかった高い強度が達成できた。

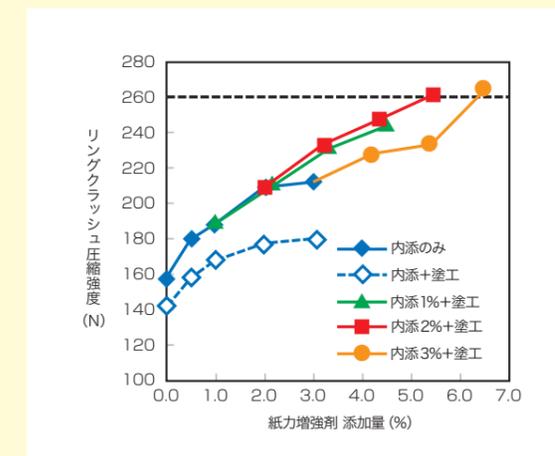


図-5 紙力増強剤の添加量と圧縮強度の向上幅の関係 (内添法と塗工法の組み合わせ)

段古紙：CSF 400ml：JIS P8121、Alum 1.0%添加、抄紙pH 6.5-7.0、水道水希釈、内添用PAM系紙力増強剤(両性)を内添、坪量120g/m<sup>2</sup>、表面用紙力増強剤を塗工、塗工量：両面の合計で40g/m<sup>2</sup>、リングクラッシュ圧縮強度：JIS P8126

## 段原紙の薄物化処方について ～紙の強度に及ぼすPAM系 紙力増強剤の添加方法の影響～

製紙薬品事業部 研究開発部  
榮村 拓史

## 9 助剤の検討

一般的に、内添法では紙力増強剤は長繊維よりも比表面積の大きい微細繊維に相対的に多く吸着する。そのため、効率的な強度向上には紙力増強剤の繊維への吸着量を増やすことに加えて、紙力増強剤が吸着した繊維成分の歩留まりを高めることが重要になる。

今回は3種類の助剤を検討した。表-2に、用いた助剤の代表的な物性

値を示した。助剤AおよびBはパルプ濃度の低い場所(例えば、ファンポンプやスクリーン付近)に添加するタイプで、歩留まりを向上させる。現在のところ試作段階にある助剤Cは高カチオン性を特徴とし、紙力増強剤の定着助剤としても作用する。

段ボール古紙からなる原料と、微細繊維などを含んだ白水を用いて、紙力増強剤および助剤を添加して坪量120g/m<sup>2</sup>の手抄き紙を作製した。図-6に助剤併用の効果を示した。紙力増強剤の単独添加では強度向上効果が頭打ちしてくるが、助剤を少量併用することで強度の更なる向上が見込まれる結果となった。助剤を併用することで紙力増強剤が吸着した長繊維および微細繊維が紙に歩留められたために、紙中の紙力剤含有量が増加して圧縮強度が効率的に向上したと考えられる。なお、いずれの助剤も添加すると濾水量が増加し、凝集性が高くなる傾向にあった。添加率が適切でないと、灰分を過剰に歩留めてしまうことによる強度の低下や地合の悪化による強度への悪影響が懸念される。そのため、抄紙系に適した助剤の選定や添加率の設定が重要になる。

サンプル	イオン性	有効成分 (%)	粘度 (mPa・s)	凝集性
助剤A	両性	20	8000	◎
助剤B	両性	20	10000	○
助剤C	カチオン	15	1000	○
PAM系紙力増強剤	両性	20	8000	△

表-2 助剤の代表物性値

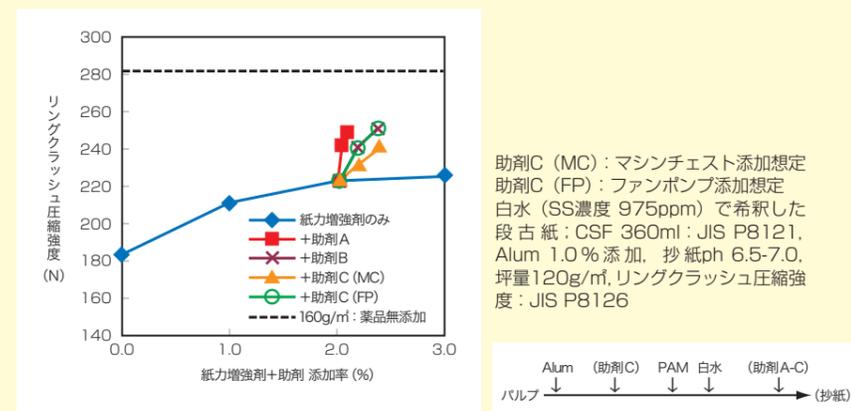


図-6 内添法における助剤の効果

## 10 まとめ

段原紙の薄物化、軽量化の流れの中で、強度を維持しつつ段原紙を薄物化するというニーズに対応すべく、紙力増強剤の添加による紙の強度向上について、基礎的な検討結果を紹介した。効率的に高い強度を得るためには、紙力

増強剤の最適な添加量を見極めて、内添法と塗工法を組み合わせることが有効と考える。また、内添法において紙力増強剤の効果を引き出すために、適切な助剤を併用することが望ましい。