

樹皮に混入した石片及び金属片の除去（４）

- 円盤分離装置の開発 -

戸 田 治 信 佐 藤 真

7. 実用化試験

これまでの試験によって分離機として実用化できる可能性が一層強くなったので、更に円盤を大型化し樹皮の供給を連続化して、半実用規模の試験を行うことにした。

この試験においては、これまでの試験結果の解析により、最も分離性能の良い分離条件を選択し、円盤分離機の分離能力の限界を知ること为目标とした。

7.1 試験装置

円盤は直径1.5mとし、厚さ4.5mmの一般構造用圧延鋼板SS34を円形に溶断し、ひずみ取りを行って周辺部の波打ちを±5mm程度に抑えた。円盤の大型化に伴い垂直軸、電動機、変速機、減速機とも大型化した。これらを組み込む型鋼製の架台は基礎試験に用いたものをほとんどそのまま使用した。このほか大型化による振動を抑え、円盤に傾斜を与えるため2m×2mの大きさのみぞ形鋼製基礎架台を製作して、これに前記の架台を取り付けた。更に円盤から飛び出す樹皮等を受けるテーブルも、2.3m×2.3mの大型に

した。

この分離機に、定量供給用のベルトフィーダと円盤上に試料を運ぶ5m可搬式ベルトコンベヤ及びコンベヤからの落し口につけたシュートを加えて一連の分離装置とした（第4図）。

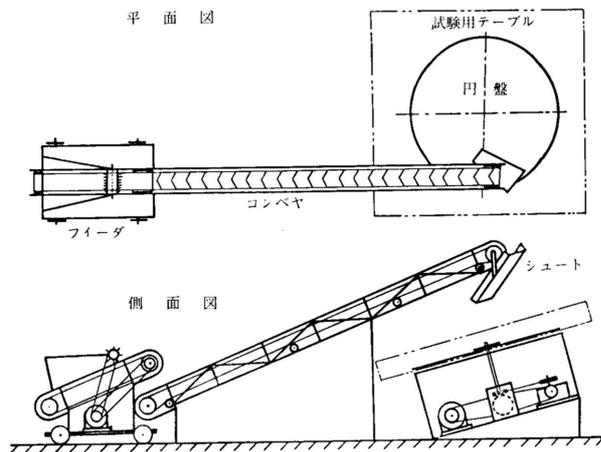
ベルトフィーダは簡易型で、幅14cm、軸間115cmの布ベルトコンベヤにホツパをつけ、上がり勾配にして一定速度で回転させ、供給量の調節はフィーダの先端にベルトの進行と逆方向に回転するスパイク付き跳ねもどしローラを取り付け、布ベルトとスパイクローラの間隙を変えて行った。

7.2 分離条件の選択

シュートを使用して行った114回の試験結果を検討し、その中で最も分離がよく、中心からの距離を多少変えてもほぼ同じような分離状態を示すことの2点を重視して分析した結果、（円盤傾斜）= 15°、N（回転数）= 240rpm、（位置角）= 45°、（投下方向角）= 45°、r（円盤中心から落下点までの距離）= 30~35cmが最良であり、次いで = 20°、N = 150rpm、 = 67.5°、 = 45°、r = 52~60cmが良かったので、この2条件について試験することにした。直径1mの円盤で得たこの値を1.5mの円盤値に適用するに当たって、落下点の周速を等しくするため回転を落とし、落下点の中心からの距離と円盤直径の比も同じにしたので、 = 15°の場合はN = 160rpm、r = 45~53cm、 = 20°の場合は100rpm、52~60cmとなる。H（投下高）は60cmとした。

7.3 試験方法及び分離の目標

予定の分離条件に設定したあとテーブル上に高さ22cmの仕切板3枚を立てて区画



第4図 円盤分離実用化試験装置配置図

し、嵩量約40 lの樹皮に試料石片を混入して、回転する円盤上に投下し、分離した。

仕切板は、処理した樹皮のうち円盤から早く(小さい位置角で)飛び出した約20%までを、10%刻み程度に分割することを目的として設置したものであるが、その位置は経験的に位置角で33.8°、50.6°、67.5°の3位置に固定された。

試料樹皮は、エゾマツ及びビトマツの製材原木剥皮屑を、振動篩で5~10mm、10~20mm、20~40mmに篩分けしたものをを用いた。

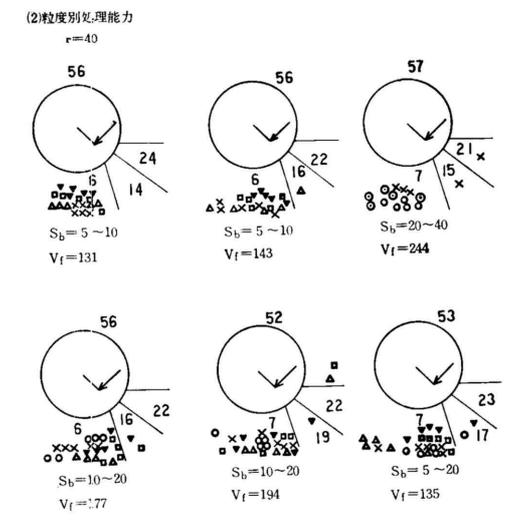
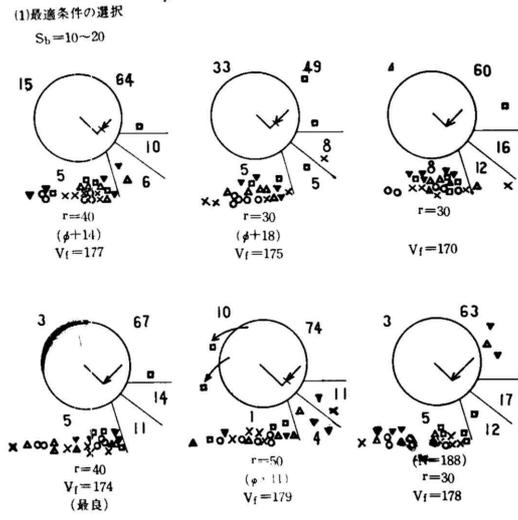
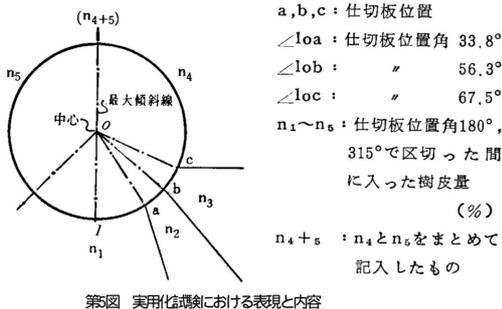
分離の目標は、篩分けした樹皮の最小の大きさの70%(10~20mmの樹皮であれば7mm)の大きさの石片まで完全に除去できるものとした。また石片と共に除去される樹皮は、処理量の10%まで許容することにして、10%未満の場合は供給速度を増し、10%を超えた供給量のひとつ前に試験した供給量を処理能力の限界とした。

試験結果は、分離した石片の停止位置を記録し、樹皮は3枚の仕切板と位置角180°及び315°で区切った間に入った樹皮の重量を測定して比率を求め、石片及び樹皮の散乱状態によって評価した(第5図)。

7.4 θ = 15°, N = 150rpmにおける試験

7.4.1 分離条件の改善

円盤の大型化により最適条件が多少変ると考えたので、10~20mmの樹皮を用い予定した落下位置を少し変えて試験したところ、r = 40cmの場合が最も良く、参考のために加えた小さい石片までが第1の区画(第5図のn1が記入された区域)に入り、同じ区画に入った樹皮量も供給量の5%に過ぎなかったので、この条件を最良とした(第6図(1))。なお円盤の回転数



第6図 傾斜15°における最適条件の選択と処理能力

$D = 1.5$, $\theta = 15$, $N = 150$, $\phi = 45$, $l = 45$, $H = 60$
 石の記号と大きさ \odot : 20, \circ : 15, \times : 10, Δ : 7
 \square : 5 \blacktriangle : 3 (mm) 以下同じ

は当初160rpmの予定であったが、石片が回転の方向に飛ばされる限界に近いので少し落して150rpmとした。参考のため同じ条件で188rpmまで回転を上げたところ、回転の過大によると考えられる分離性能の低下が見られた。

7.4.2 : 処理能力の測定

予定した目標の範囲で試料石片を分離できた最大の供給速度を処理能力としたが、供給速度を絶対重量に

換算すると第6図(2)に示したとおりで、粒度5~10mmの樹皮を用いた場合143kg/hr(湿重量284kg/hr)では、7mmの石が第1と第2の仕切板で仕切された区画(第5図のn2が記入された区域)へ飛び出したが、131kg/hr(湿重量260kg/hr)ではその前の区画に石片が全部入ったので、この程度が処理量の限界と考えられる。同様に10~20mmでは194kg/hrでは多過ぎ、177kg/hr(湿重量382kg/hr)が限度であり、20~40mmではフィーダの能力不足で十分な試験ができなかったが、244kg/hr(湿重量532kg/hr)でほぼ限界と考えられる試験結果を示した。最大の処理能力で石片と共に除去された樹皮量は、5~10mm及び10~20mmで6%、20~40mmでは7%であった。

なお、粒度範囲を5~20mmに広げたものについても試験を行ったが、135kg/hr(湿重量約280kg/hr)でも良い分離結果を得られなかった。これは小さい石片が大きな樹皮により分離を妨げられるためと考えられる。

7.5 $\theta = 20^\circ$, $N = 100 \sim 200$ rpmにおける試験

7.5.1 分離条件の改善

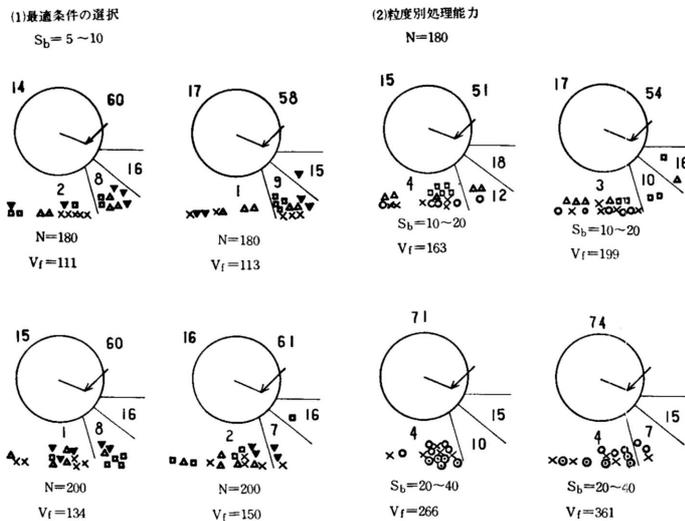
先に選択した $20^\circ - 100$ rpmについて、予定した落下位置を多少変えながら試験したが、意外に分離性能

が悪くこて期待した結果が得られなかった。このため思い切って回転数を大きくしたところ分離が良くなり、粒度5~10mmの樹皮を使用した場合(第7図(1))、180rpmでは111kg/hr(湿重量209kg/hr)が限度と考えられるのに対し、200rpmでは134kg/hr(湿重量266kg/hr)まで向上した。しかし200rpmでは軽い振動が出はじめ、円盤と回転軸を接合する部分の強度について検討していないので、安全のため回転数は180rpmを採用することにした。落下位置についても試験した結果、 $\theta = 67.5^\circ$, $r = 50$ cmが最適で、 $\theta = 15^\circ$ 場合と同様に1mの円盤によって予想した位置に比べ10cm内側であった。

7.5.2 処理能力の測定

粒度5~10mmについては上記のとおり180rpmで111kg/hrであり、10~20mmでは処理能力の限界が163kg/hr(湿重量352kg/hr)、20~40mmでは266kg/hr(湿重量580kg/hr)が限度であった。

石片と共に第1及び第2の仕切りに入って除去された樹皮量(第5図のn1+n2)は5~10mmで10%、10~20mmで16%、20~40mmで14%であった〔第7図(2)〕。



第7図 傾斜 20° における最適条件と処理能力

$D = 1.5$, $\theta = 20^\circ$, $\alpha = 67.5^\circ$, $r = 50$, $\beta = 45^\circ$, $H = 60$

8. 考察

8.1 円盤分離機の分離作用

円盤分離機で石片が分離される原理について、試験の観察から簡単に推定すると、石片は固く弾性が大きいので、円盤上で跳ね上がり回転の影響をあまり受けずに重力によって傾斜の下方に落下するのに対し、樹皮は粒子自体緩衝力があるので跳ね返りが少なく、円盤の回転に早く同調し、遠心力で円周部に移動して飛び出し分離されるものとする。またこれらの作用には形状の違いによる転がりやすさの差及び付着性なども影響しているようである。

円盤分離のヒントを与えた皿型造粒機は、同じ質で大きさの異なる粒体の混合物を斜面から転落させると大きな粒子ほど転がり易く、早く下方に到達することを利用したものであり、円盤分離機は機能的に全く別のもとなった。

8.2 分離性能及び処理能力

円盤による分離性能は、粒子同志の衝突がほとんどないと考えられる小さい供給速度で処理した場合は非常に良かったが、これでは処理能力が小さくて実用に適さない。供給速度を上げると粒子間の衝突が多くなり、石片が樹皮と衝突して転落する方向を変えられるため、樹皮の飛び出す範囲に石片も入ることになる。処理能力を向上させるためにこの点を緩和して石片と共に排出される樹皮量を10%以内まで許容することにしたものである。

処理能力は粒子が大きいほど大きくなった。これは粒子の進行方向と直角の平面に粒子を投影した面積が粒子の大きさに反比例して小さくなり、衝突回数を減らすためと考えられる。

8.3 石片と共に除去される樹皮量

試験の目標として、石片と共に除去される樹皮量を10%以内としたが、試験で10%以内に納まるなら実用的には余裕をみて20%にすることにより分離を確実にすることと考えていたが、試験の結果石片と共に除去される樹皮量が6~7%であったので、実用上の除去率を20%から15%又は10%に下げてもよいのではないかと考えている。

8.4 分離後の樹皮及び石片の処理

円盤から飛び出した樹皮及び石片は、次の工程又は貯槽に送るため1カ所に集めるか、コンベヤに載せる必要がある。このための最も簡単な方法として、分離機を高い位置におき、ホッパー又はシュート等によって集める方法があるが、高くなることによって分離機への供給のため樹皮を高く上げる余分な搬送装置が必要になるなど不利な面もあるので、回りにコンベヤをつけたり、円盤から飛び出したものを円盤の周縁に沿って配置した樋で受け、円盤と同軸のかき寄せ装置で集めるなどの方法によって1カ所に集めることが望ま

しい。

8.5 石片とともに除去した樹皮の回収

石片と共に分離された樹皮は10%以内であればそのまま投棄したり、ボイラ燃料にすることが考えられるが、10%をこえると多すぎるので回収を必要とする。回収の方法としては2段処理が望ましく、2段目も1段目の処理と同じ大きさの円盤を使えば除去率20%の場合4%に、10%の場合は1%に減少することができる。なお石片と共に除去された樹皮は転動しやすい外皮部など分離されにくい性質をもった粒子を多く含むが、反面供給速度が小さくなり分離性能が良くなるので1段目と同じ程度の除去率は期待できると考えているが、2段処理についての試験は行っていない。

なお分離の完全を期すため、分離性能は円盤より良いが処理コストの大きい方法を使う場合、円盤分離機で予備処理することにより設備費を軽減するような使い方もあろう。

8.6 大型化

本試験で用いた円盤分離機は、処理能力が実用機として最小規模のものであり、今後の課題のひとつとして大型化がある。

円盤そのものの大型化については、分離条件を支配するのが回転数ではなく、主として投下点の周速であり、遠心力は直径に反比例して小さくなるから強度的な問題は少なく、我が国の工作技術をもってすれば直径が5mでも10mでもほとんど望みの大きさのものを製造できると考える。しかし製造費は直径の3乗に比例して大きくなると考えられるし、反面処理能力は最も良くて、直径の2乗に比例するだけと考えられるから、処理に要する装置コストは少なくとも直径に比例して大きくなる。また円盤を大きくして処理能力を大きくすると、同時に粒子間衝突の確率が高くなり、分離性能を低下させるので、同一の大きさの樹皮の処理能力を増すため円盤の直径を大きくするには限度があり、小型のものを並列して使ったほうが設備費を軽減できる場合も多いと考える。付着性あるいは粘着性のある物質を処理する場合も、円盤からの排出のため強い遠心力を必要とするので比較的小型の並列

が良い。

大型の粒子又は塊については、円盤の大きさよりもむしろ塊の落下による衝撃が選択条件を支配すると考えられ、これに耐えるだけの強度と工作技術を見いだせる限り大型化して良いと考える。

なお遠心力の減少が分離性能に与える影響と、円盤直径との分離能力の関係など大型化に関する問題についてあらかじめ知見をえておく必要がある。

8.7 分離性能の向上方法について

機械についての分離に関する要因として、円盤の傾斜、回転数、落下位置（位置角と中心からの距離）投下高さ及び投下方向を取り上げて試験したが、このうち回転数を大きくして、石片が回転方向にもっていかれない程度に円盤傾斜を強めるのが1つの方法であり、また今回は検討しなかったが、投下する樹皮の水平方向の速度成分を増す方法があり、シュートの長さ及び傾斜角の変更、シュートの先端を反らせて樹皮が投げ出される方向を変えるなどの方法を試みる価値がある。

9. まとめ

樹皮に混入する石片の除去のため、風力分離装置より簡易な分離方法を模索し、皿型造粒機にヒントを得て傾斜回転円盤による分離機を考案したところ、意外に良い分離性能を示し、開発の結果処理能力も実用に使える規模のものができる見通しを得た。

簡易型ながら石片と共に除去される樹皮の損失量では風力分離に劣らぬ性能を示し、多段処理を行えば風力を上回ると考えられる。また風力では処理困難な大きな粒子についても、粒度が大きくなるほど処理能力が大となり有利になるなど優れた特性も示した。

本試験の主題である樹皮からの石片及び金属片の除去は、本来ボード原料として使用することを目的として技術開発を始めたので、分離性能についての要求は風力分離と同様に原則として1箇の異物も混入してはならないというきびしいものである。この点については既報²⁾のごとくわずかに条件を緩和したものの、それでも厳しいことには変りない。しかし他の用途につ

いては大きな石片は必ず除き、小さいものは多少残っても構わないものがあり、実際に粉碎機及び送風機を保護するため樹皮の中の石片を除去したり、堆肥中の石片を除くのに人手を依っているが、見落しが多いので機械が欲しいという問い合わせがあり、こうした用途にはもっと簡易な方法で使えるのではないかと考えられる。

このほか固体の分離では、水ぬれを嫌う場合には風力分離が良く使われているが、風力分離も微粉が混入したもの、付着性のあるもの、雑多な形状と寸法のもの等については適用が困難であり、外に良い方法が少なく困っている分野であるので、こうしたものの分離に役立てることもできよう。1つの例として、資源再利用技術の中で都市ごみからちゅう芥を分離する方法がなくて困っているということであるが、付着性を利用できるなら円盤で分離が可能と考える。

金属片については、試験当初数種類の形状の金属片を加えて試験したところ、これらについては必ずしも良い分離結果を得られなかったため試験対象から外したので、電磁石及び感度の良い金属検出機に任せたい。

円盤分離機については一応当初の目的を達成できたと考えるが、フィーダ能力向上による粗粒分の再試験分離性能の向上、ゆるい要求条件での試験等いくつかの課題が残っているので、適宜補足的な試験を行っていきたい。

文 献

- 1) 戸田ら；本誌，12月（1978）
- 2) 戸田ら；本誌，1月（1979）

- 試験部 林産機械科 -
(原稿受理 昭和54.1.12)