

丸鋸によるネマガリダケの鋸断試験

- 鋸断トルクと鋸断エネルギーについて -

堤 浩 佐 藤 真

1. まえがき

林業省力化の手段として機械力が導入されているなかで、顕著な効果をあげているものの一つに、単筒2サイクルエンジンを装備したブラッシュカッターがあるが、その有利性から大いに利用されている。

この機械はもともとネマガリダケ地帯の地拵作業を対象として製作されたが、以来種々改良されて今日にいたり、昨今は下刈あるいは草刈専用として、小型軽量のものも製作され、林業用以外にも広く利用されている。

しかし北海道のネマガリダケ密生地帯における造林用地拵作業、あるいはこのネマガリダケを資源として利用することを目的とした採取作業では、今なおその出力、機械の強度、重量などの諸問題を残している。

このことは開発当初に実用化のための機械の検討がほとんど行なわれることなく、直接現場に投入され、数多くの現場作業のなかで作業性が検討され、機械の改良に対する問題点が提起されてきたためである。

したがって植生、作業種類等の条件に適合した機械の選定、ならびに作業方法等は、これまでの経験によって決定されており、技術的な判断の基礎となる資料が欠けていると考えられる。

この技術的な資料の一端とするため、丸鋸試験機を試作して、丸鋸によるネマガリダケの鋸断トルクを測定し、その鋸断特性を求め、ネマガリダケを対象とした丸鋸歯およびブラッシュカッターの切削のメカニズムを検討した。

この実験では、鋸断トルクに影響を与える丸鋸の直径、歯数、切削速度、送り速度等を因子としてとりあげ、これらと鋸断トルクの関係性を測定した。また、この実験結果より、林地で実際に行なわれている作業状態では、そのほとんどの鋸断トルクが、機械の持つト

ルクを上回っていることが示された。そこで現在使用されているブラッシュカッターのうちから、2Psクラスと3Psクラスのもの各1機種をえらび、その回転部分の持つ回転エネルギーとネマガリダケの鋸断に必要なエネルギーを比較検討した。

2. 試験方法

2.1 実験装置

装置の概略を第1図に示す。装置は、丸鋸機と供試材の送り装置によって構成されている。

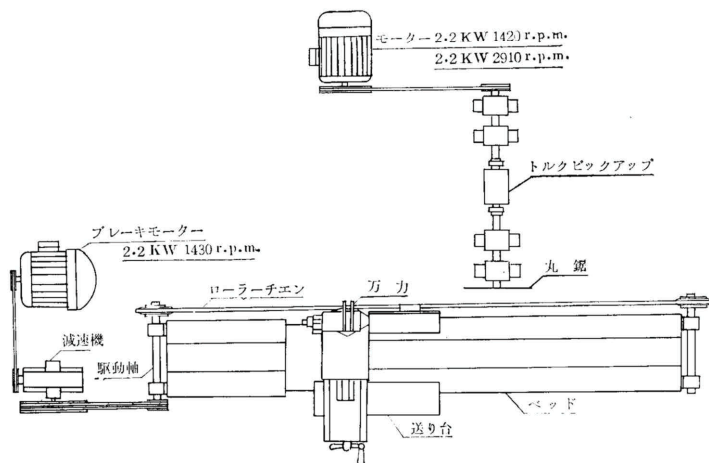
丸鋸機は、溝型鋼と厚さ20mmの鋼板を組合わせたテーブルの上に、4個のブラマブロックにより鋸軸をセットし、その中間に負荷のねじれ量をワイヤストレンデージで検出するトルクピックアップを置いた。検出されたトルクは、ストレンメーターを介してペン書きオシログラフに記録する。

またテーブル上の丸鋸のピックアップ側に、非接触型の振動計を取付けて、供試材が鋸歯先に触れたときに生ずる鋸身の振れを検出して、切断の始まりの時期とした。

動力の伝達は ベルトにより、鋸軸の回転数は2極3Psおよび4極3Psの2台の電動機とプーリーの交換により、2000～6000r.p.m.まで変換することができる。

送り装置は、旋盤のベッドを利用し、送り台の上に万力を取付けて、これにネマガリダケを保持するようにした。

電動機はブレーキ内装の4極3Psブレーキモーターを使用した。動力は電動機より減速機を介して ベルトで駆動軸へ伝達し、駆動軸端の鎖車により、送り台に接続されたローラーチェーンを駆動して、送り台を走行させる。送り台の走行速度は0.481～1.620m/s



第1図 実験装置

第1表 鋸身の横振れ

丸鋸	無負荷回転時 mm	鋸断時 mm
I	-10 ~ +15 100	-5 ~ +25 100
II	-3 ~ +3 100	+2 ~ +10 100

注 丸鋸直径300mmで、
は振れの最大であったもの。
は振れの最小であったもの。

で、電動機と減速機のプーリーの交換により変換する。

鋸面に対する送り台の進行中の振れは、供試材のネマガリダケが鋸歯先に触れ始める位置から30cmの間で1/100mm以内である。したがって鋸断中の振れは1/100mm以内と推定される。

丸鋸を鋸軸にセットしたときの無負荷回転時と鋸断時の鋸身の振れを、歯元附近で測定した結果を第1表に示す。測定値は、丸鋸軸心をとる鋸身の中心線・に対して、ピックアップ側への振れを(-)とし、送り台側への振れを(+)で表わした。

2.2 供試丸鋸および切削条件

実験に使用した丸鋸の条件は、第2表のとおり直径歯数の異なったもの4種類である。鋸厚、あさりの出歯喉角、歯端角はネマガリダケを対象としたとき、ブラッシュカッター用として最適と考えられているものを採用した。

この実験では、できるだけ実際の作業に近い状態で

の資料を得ることを目的として、鋸歯の目立仕上げは携帯用目立機によっている。

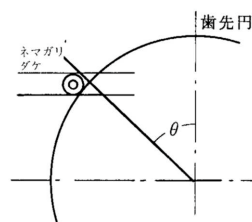
切削条件は第3表のとおり9種の組合せとした。これらの組合せは、鋸軸回転数3種類と切削位置を3個所にえらび、切込探さが重複しないように送り速度を選定した。切削位置は第2図の角度で示した。

第2表 供試丸鋸条件

丸鋸	直径 mm	歯数	鋸厚 mm	あさりの出 mm	歯喉角 度	歯端角 度
A	255	80	1.25	0.5	0	15
B	296	90	〃	〃	〃	〃
C	300	90	〃	〃	〃	〃
D	355	100	〃	〃	〃	〃

第3表 切削条件

番号	丸鋸	鋸軸回転数 r.p.m.	送り速度 m/sec	切削位置 θ°	切り込み深さ mm
I	B	2620	0.481	63	0.109
II	B	〃	0.648	〃	0.147
III	B	〃	0.895	24.5	0.094
IV	B	4440	0.481	63	0.064
V	C	2620	0.760	38	0.119
VI	C	2150	1.040	〃	0.200
VII	C	2620	〃	63	0.238
VIII	A	〃	0.481	57.75	0.116
IX	D	〃	〃	67.5	0.102



第2図 切削位置

2.3 供試用ネマガリダケ

北海道の密生地帯におけるネマガリダケの根元部分の稈径は、¹⁾²⁾生育地によって差があるが、おおよそ10~

23mmの範囲で、まれに25mm以上のものもある。また生育地別の根元部分の平均稈径は13~19mm程度の範囲にある。

1)

また林地に生育しているネマガリダケの含水率は、当年生、1年生および枯ササを除けば約65~110%の範囲にある。

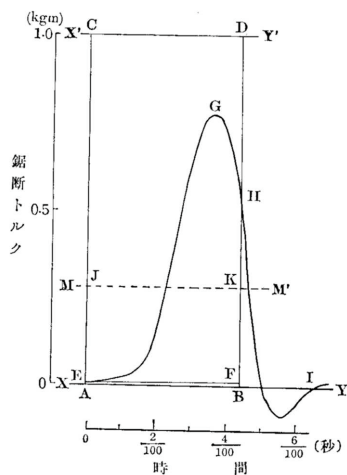
ブラッシュカッターで所要出力を問題とする場合、ネマガリダケの直径の太いものが対象となるので、この実験では稈径18~22mmのもので、稈中心の孔径は3~7mmのもの根元部分を、稈長方向に対し直角に1本毎に鋸断する方法をとった。

供試材は採取した当日または翌日、蓋付容器に水に浸漬して+2~+4の室温中に保存した。

3. 試験結果および考察

3.1 鋸断トルク

第3図は1本のネマガリダケを第3表の条件で鋸断したときの鋸軸トルク線図の一例である。



第3図 トルク線図

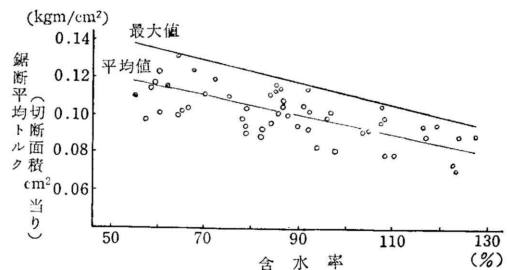
縦軸にトルクを、横軸に時間をとる。直線EFは無負荷時のトルクで実験装置の機械的損失を表わす。曲線EGHが鋸断中のトルクの変動を示し、E点が振動計によって検出された鋸断の始まりの点で、H点が鋸断の終りを示す。曲線IIはトルクピックアップの軸のねじれの戻りを表わしている。いまCABDの面積

を1kgmとし、これに対するEGHFの面積比を鋸断平均トルクとすれば、平均トルクは、点線MMで示される。この平均トルクに対して、G点の最大トルクは、実験の結果によれば2.2~3倍の値になる。

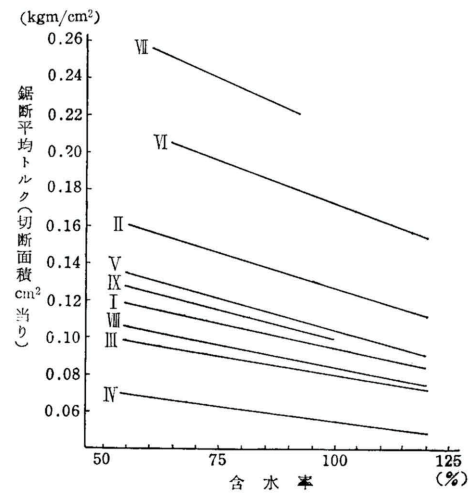
3.2 水分と鋸断トルクの関係

林地に生育するネマガリダケは2.3項にも述べたとおり、その水分はかなり広い範囲で異なっており、同じ生育地内でも差がみられる。また、その根元部分の稈径もさまざまである。したがってこれを鋸断するために必要な力も、測定値はばらつきが大きくなる。

この実験では、測定したトルク線図からプランメーターにより鋸断平均トルクを算出し、これを鋸断したネマガリダケの切口面積1cm²当りに換算して、そのときの水分別に整理した結果第4図(a)のような傾向を示した。



第4図(a) 含水率と鋸断平均トルク (条件Iのとき)



第4図(b) 含水率と鋸断平均トルク (平均値)

第4図(a)は、第3表の切削条件1の場合を示し、水分の少ないほど鋸断平均トルクは増加している。また各切削条件毎の測定値のばらつき³⁾の最大値は、平均値の1.17~1.2倍であった。第4図(b)に第3表の各条件毎の鋸断平均トルクの平均値を示す。

3.3 切り込み深さと鋸断トルクの関係

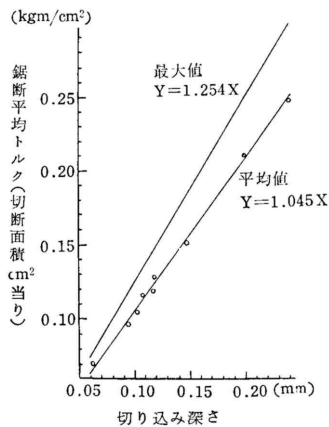
いま第4図(b)の結果から、直径の異なる4枚の丸鋸の鋸断平均トルクを鋸径300mmの場合に換算し、

³⁾

P. Harrisの式によって計算された鋸歯1枚当りの平均切り込み深さとの関係を図示すれば、第5図のとおりである。

生育地における生稈の含水率は65~110%であり、水分の少ないほど鋸断トルクが大きくなるので、機械の保有すべき出力を考慮して、含水率65%のときの関係を示した。また鋸断平均トルクの最大値は平均値の1.2倍とした。

丸鋸をカッターとしたブラッシュカッターでネマガリダケを鋸断する場合、第2表の歯型条件で含水率が65%のときは、第5図から、鋸歯1枚当りの平均切り込み深さと鋸断トルクの間³⁾に次の関係が成立する。



第5図 切り込み深さと鋸断平均トルクの関係 (鋸径300mm, 含水率65%)

いま、

- t : 鋸歯1枚当りの平均切り込み深さ (mm)
- A : 鋸断したネマガリダケの切口面積 (cm²)
- r : 丸鋸の半径 (cm)
- T_m : 鋸断平均トルクの最大値 (kgm)

T_{max} : 鋸断最大トルクの最大値 (kgm)

$$\text{とすれば、 } T_m = 1.254t \cdot A \cdot \frac{r}{15} \dots\dots\dots(1)$$

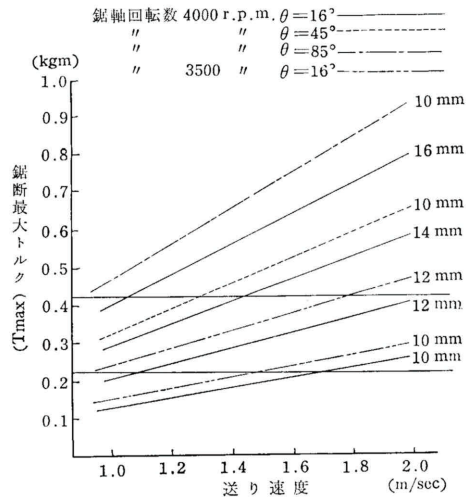
鋸断最大トルクを鋸断平均トルクの3倍として、

$$T_{max} = 3.762t \cdot A \cdot \frac{r}{15} \dots\dots\dots(2)$$

3.4 鋸断エネルギーと回転エネルギー

第2表Cの丸鋸により鋸断するときの送り速度、切削位置およびネマガリダケの直径と鋸断最大トルク⁴⁾の関係を、式(2)により計算して図示したのが第6図である。

第6図において、ネマガリダケの切口面積Aは、中心の孔径を5mmとし、稈長方向に対して40°の角度で鋸断する場合について算出した。また林地で作業中の送り速度を測定することはきわめて困難であるが、1~2m/sと推定される。現在使用されている実用機の鋸軸回転数は、振動の面から作業上の限界を考慮して3500~4000r.p.m.とみなした。



第6図 送り速度、ネマガリダケの径と鋸断最大トルク (最大値)

いま実用機の3Psおよび2Psクラスのものから、それぞれ1機種をえらんで、標記出力、標記トルクおよび駆動部歯車減速比を示すと第4表のとおりである。

⁴⁾

ここで機械効率を70%とみて、これらつ数値から鋸軸トルクを計算すると、

$$0.35 \times \frac{29}{17} \times 0.7 = 0.418 \text{kgm}$$

$$0.262 \times \frac{23}{19} \times 0.7 = 0.222 \text{kgm}$$

となる。したがって、1m/s以上の送り速度で、ネマガリダケの直径が10~12mm以上では、鋸断最大トルクは機械の鋸軸トルクを上回ることを示している。

このことは、鋸断最大トルクが機械の鋸軸トルクを上回る状態に対しては、機械が負荷によって回転を低下するときに放出するエネルギーと、鋸断に必要なエネルギーの比較によらなければならないことを示している。

第4表 実用機の標記トルクと減速比

出力	標記トルク	頸部歯車減速比
3 Ps/7000 r.p.m.	0.35kgm/6000r.p.m.	17/29
2 Ps/6000 r.p.m.	0.262kgm/4500r.p.m.	19/23

3.4.1 鋸断エネルギー

鋸断に必要なエネルギーを次式によって求めた。

$$E = 2 \text{ NST} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、

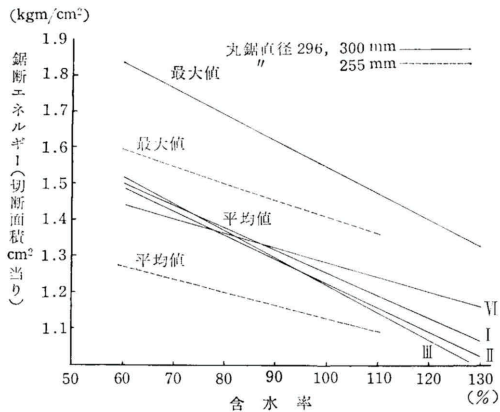
E：鋸断エネルギー (kgm)

N：鋸軸回転数 (r.p.s.)

S：鋸断に要した時間 (sec)

T：鋸断平均トルク (kgm)

第3表の切削条件のうち、 \dots の実験



で得られた鋸断平均トルクから、(3)式によってエネルギーを算出し、これを切削面積1cm²当りに換算して、水分との関係を示したのが第7図である。

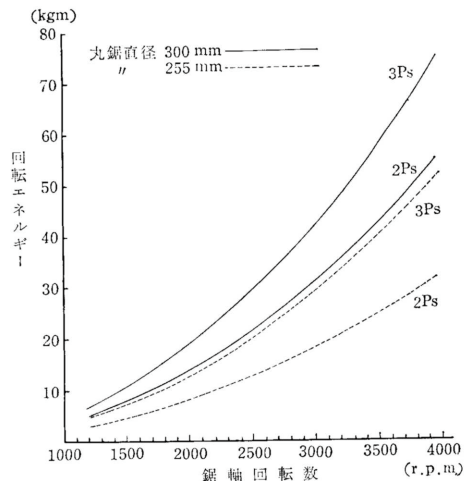
この結果によると、丸鋸条件、水分、切断面積が同一の場合、他の切削条件が異なっても、鋸断エネルギーはほぼ同一の値を示している。このことはネマガリダケおよび丸鋸の条件が同一であれば、切入深さが変わっても鋸歯先の力学的な仕事量には変化がなく、切断時間にのみ影響があることを示している。

3.4.2 ブラッシュカッターの回転エネルギー

林業用として採用されている実用機のなかから、第4表に示した機種のものについて、その回転部分を持つ回転エネルギーを計算により求めた。

この値の算出については、回転部分の形状が計算上定形的でないものが多いため、求められた数値は概算値となった。

回転エネルギーに関する構成部分のうち、最も大きな他を示すのは丸鋸である。それで直径300mmと255mmの2種の鋸を装着した場合について計算した。この2機種の機械効率を70%として、それぞれの計算結果を第8図に示す。



3.4.3 鋸断エネルギーと回転エネルギーの比較

直径23mmのネマガリダケの切口面積は、稈長方向

に対して40°に切断すれば約5.143cm²である。いま含水率が65%のときに必要な最大鋸断エネルギーは、第7図より丸鋸の直径が300mmのときは、 $1.8 \times 5.143 = 9.257\text{kgm}$ となり、直径255mmのときは、 $1.57 \times 5.143 = 8.1\text{kgm}$ を得る。

遠心クラッチの伝達開始回転数は、鋸軸で1000r.p.m.前後から1500r.p.m.の範囲にあると推定される。また鋸断時の鋸軸の回転数の有効範囲を、振動の面から考慮して、300mmの鋸を備えた場合を2000~3500r.p.m.鋸が255mmの場合を2000~4000r.p.m.とした場合、鋸断に対して障害となる他の因子および機械の強度等を見れば、いずれの丸鋸を備えた場合でも、第8図から3Psのものでは同時または連続して4本、2Psのもので3本まで鋸断可能と推定される。

また林地でネマガリダケの利用を目的とした刈払作業では、丸鋸の切れ味が低下して作業が困難になるのは、平均径18mmで2000~2500本を鋸断した時点であった。このときの鋸断平均トルクは、研磨直後の約2倍近い値を示している。したがって所要鋸断エネルギーも同様に2倍となる。

4. むすび

1) 丸鋸条件、切削条件が一定であれば、単位切断面積当りの鋸断トルクと含水率の間に、一次の相関関係が成立する。

2) 所要鋸断トルクは、歯型条件、水分が一定であれば、切口面積、丸鋸半径および鋸歯一枚当りの切入深さに比例する。

3) ブラッシュカッターによるネマガリダケの刈払作業では、鋸断最大トルクが機械の鋸軸トルクを上回

る状態が考えられる。このようなときの鋸断作用に対しては、鋸断に必要なエネルギーと機械の持つ回転エネルギーとの比較によらなければならない。

4) 丸鋸条件、水分が一定であれば、他の切削条件が異なっても、単位切断面積当りの鋸断エネルギーは一定である。

5) 実際の刈払作業では、鋸断に直接または間接に影響する因子として、枝葉のからみ合いにより、鋸断後のササが倒れないためと、稈の可撓性も関与して、稈の切口によって鋸身が押しつけられることがある。またm²当りの本数および配置状態により、送りの一動作で鋸断される本数が制限されることなどが例としてあげられる。

これらの因子と3.4.3項で述べた機械の能力から、運転者の機械操作技能程度が作業に大きく影響してることが推察される。

6) エネルギー計算から、現在の実用機の出力が仮りに充分であるとしても、極めて大きい鋸断最大トルクに、機械の各回転部分がどの程度耐え得るか、耐用時間も含めて問題となると考えられる。

文 献

- 1) 福山, 川潮, 里中: 北海道大学農学部演習林研究報告, 第17巻, 第2号, 273頁 (1955)
- 2) 北海道開発局: 林産資源開発計画調査資料, 昭和39年, 昭和41年
- 3) P.Harris: For. Prod. Res. Bull. 30 (1954)
- 4) 山脇, 三村, 平松, 猪内: 刈払機の性能試験, 林業試験場研究報告, 第183号, (1965)

- 試験部 林産機械科 -

(原稿受理44.7.3)