

短 報 (Note)

刈払機キックバック反力の測定

鹿島 潤^{1)*}・佐々木 達也²⁾

Measurement of Kickback Reaction Force of a Brush Cutter

KASHIMA Jun^{1)*} and SASAKI Tatsuya²⁾

Abstract

The kickback reaction force of a brush cutter was computed from the rotational acceleration at the time of kickback occurrence. The results showed a maximum reaction force of about 4N, and it was conjectured that the kickback reaction force depends on the engine power and the impact conditions of cutting blade with obstacles.

Key words: brush cutter, kickback, rotational acceleration, reaction force

はじめに

刈払い作業中に起こる刈刃接触事故の要因は様々あるが、主な要因の一つにキックバックによる跳ね返りがある。キックバックによる事故は、毎年公表される死亡事故報告例の中に必ず1、2例は報告されている (Table 1) (安全衛生情報センター, 2002; 林材業労働災害防止協会, 2002)。

Table 1. 刈払機使用中に起きた死亡災害事例 (平成12、13年度)

The death accident example when it occurred during brush cutter use (2000, 2001)

年月日 Y/M/D	都道府県 Prefecture	事故の発生状況 The situation of the accident
2000/7/4	島根県 Shimane	キックバックを起こした刈払機が腹部を直撃。 kickback, hit on the abdomen by blade
2000/7/18	島根県 Shimane	転落して刈払機の刃で足を切創。 fall, cut on the leg
2000/7/28	北海道 Hokkaido	転倒して刈払機の刃で足を切傷。 fall, cut on the leg
2000/8/7	大分県 Oita	キックバックを起こした刈払機の刈刃で切傷。 kickback, cut on the leg
2000/8/18	山梨県 Yamanashi	切り株に当たって跳ねた同僚の刈刃で切傷。 kickback, cut by colleague's machine
2001/7/12	新潟県 Niigata	同僚の刈払機が枯れ木に当たり、キックバックして被災者の左足膝裏に当たった。 kickback, cut by colleague's machine
2001/7/25	和歌山県 Wakayama	刈払機で足を切創し、止血後、自ら下山途中、出血性ショック死。 cut on the leg, death by bleeding shock

キックバックが発生したとき、その反力が小さな場合は跳ね返る刈払機の姿勢を腕の力でコントロールできるため事故にはつながりにくい。しかし、反力が大きな場合は刈払機が大きく跳ね返るため、作業員自身や周囲にいる人に刈刃が接触したり、体のバランスを失って転倒・滑落して二次的な事故につながる場合がある。

刈払機のキックバック反力の大きさと作業員への負荷との関係を明らかにすることは、作業員の安全を確保する上で重要なことであり、同時に、作業中に使用するベルト類等の保護具を改良するための資料としても重要である。

しかし、刈払機のキックバックによって生じる反力の測定は、国内では平松 (1988) の報告を最後に関係する報告、資料は見あたらない。そこで、作業員が受けるキックバック反力について、特に作業員への最大負荷を明らかにするための基礎資料として、平松が行った宙づりによるキックバック時の速度測定から算出するのは異なる方法で刈払機のキックバック反力を測定した。

測定方法

刈払機のキックバック反力は円筒状のシャフトケースとシャフトを通して伝達されるが、高速で回転するシャフトにひずみゲージを用いてシャフトに伝わる反力を測ること、あるいは、回転する刈刃部分で直接測ることは困難である。よって、反力の測定は間接的な方法をとらなければならない。本論文では、キックバック発生時に刈払機に生じる加速度を測定し、その加速度から刈払機に生じた反力を算出することにした。

原稿受付: 平成14年6月28日 Received Jun. 28, 2002 原稿受理: 平成14年8月15日 Accepted Aug. 15, 2002

1)* 森林総合研究所 森林作業研究領域 〒305-8687 つくば市松の里1

Department of Forest Operations and Techniques, Forestry and Forest Products Research Institute, P.O.Box16, Tsukuba Norin Kenkyu Danchi-nai, Ibaraki 305-8687, Japan; e-mail: zepyls@ffpri.affrc.go.jp

2) 森林総合研究所 林業機械研究領域 Department of Forest Machinery, Forestry and Forest Products Research Institute

刈払機慣性モーメントの測定

刈払機の慣性モーメントは、Fig. 1のように刈払機を設置して振り子運動をさせ、そのときの揺動周波数（固有回転数）： f_0 と刈払機の質量： m 、回転中心と刈払機重心との距離： L から計算できる。

試験に供したの、K社製の2サイクルエンジンを搭載した排気量24.4cm³、6.54kgの刈払機である。ただし、機械の質量については、計測センサ、ケーブル、キックバック発生時の桿の撓みを防止するためのフレーム、およびこれらの取り付けに伴うバランス修正のための錘を含む。

測定の結果、 $f_0 = 2.3895$ (Hz)、 $L = 1.03$ (m)であったので、慣性モーメント： I は以下の式によって求められた（入江，山田，1980）。

$$I = \frac{mgL}{4\pi^2 f_0^2} = \frac{6.54 \times 9.8 \times 1.03}{4 \times 3.1415^2 \times 2.3895^2} = 0.70 \text{ (Nms}^2\text{)} \quad (1)$$

キックバック反力の測定

1) 装置の設置および条件

Fig. 2に示すように、刈払機の操作桿を水平に設置し、滑らかに回転できるようベアリングを組み入れた回転軸を刈払機重心下に操作桿と垂直に取り付けて測定を行った。キックバック反力によって刈払機は回転軸を中心にFig. 2の矢印の方向に回転する。このときに生じる刈払機の回転軸周りの回転加速度（最大値）を測定すれば、刈刃の刃先に生じた力を求めることができる。

刈払機でキックバックが生じやすいのは、操作桿を下にして刈刃を上にした状態で、Fig. 3に示すように時

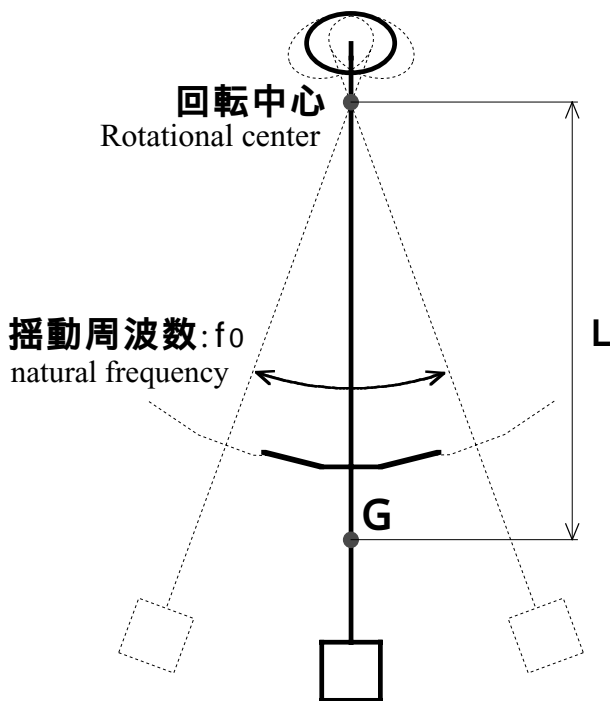


Fig.1. 慣性モーメントの測定
Measurement of inertial moment

計の12時から3時の位置で刈刃が障害物に接触した場合である（林業労働災害防止協会，1985；林業労働災害防止協会，2000）。今回の測定では、キックバック反力のエネルギーがすべて刈払機の回転運動に使われるように、キックバック反力を操作桿の延長線上に垂直に作用させるため、Fig. 2のように刈払機に取り付けた回転軸から最も遠い場所（Fig. 3の12時の位置）で刈刃と障害物が接触する配置とした。

測定では、操作桿に力をかけ一定の速さで慣性回転をするようになった後に障害物に接触させた。測定は刈刃を接触させる速さと刈刃回転数の2条件を変化させて行った。接触速さについては実作業で操作桿を振る速さを想定した3種類、刈刃回転数については3500～7500r.p.m.の実作業でよく使われる回転数を中心にランダムとした。なお、キックバックを起こすための障害物として、松材（直径約0.4m、伐倒後約3ヶ月経過）を使用し、刈刃には下刈りによく使用される丸鋸歯（255mm、80枚刃）を使用した。

2) 反力算出の方法

キックバック時の加速度計測値を a (m/s²)、キックバック時の回転加速度を α (rad/s²)とすると、キックバック反力： F は、

$$F = \frac{I \cdot \alpha}{L_a} = \frac{I \cdot a}{L_a \cdot L_c} \text{ (N)} \quad (2)$$

で表される。ここで、

機械の慣性モーメント： $I = 0.70$ (Nms²)

刃先から刈払機重心までの距離： $L_c = 1.28$ (m)

加速度変換器から刈払機重心までの距離： $L_a = 0.91$ (m)

である。

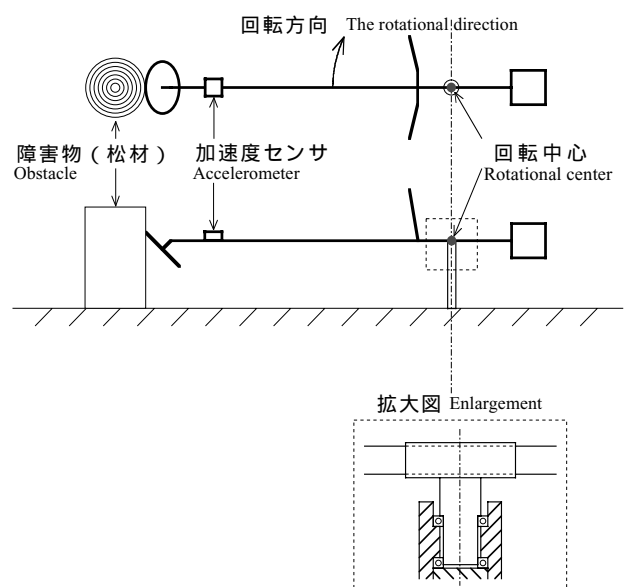


Fig.2. キックバック反力測定のための実験装置概略図
Setting outline for measurement of kickback reaction force

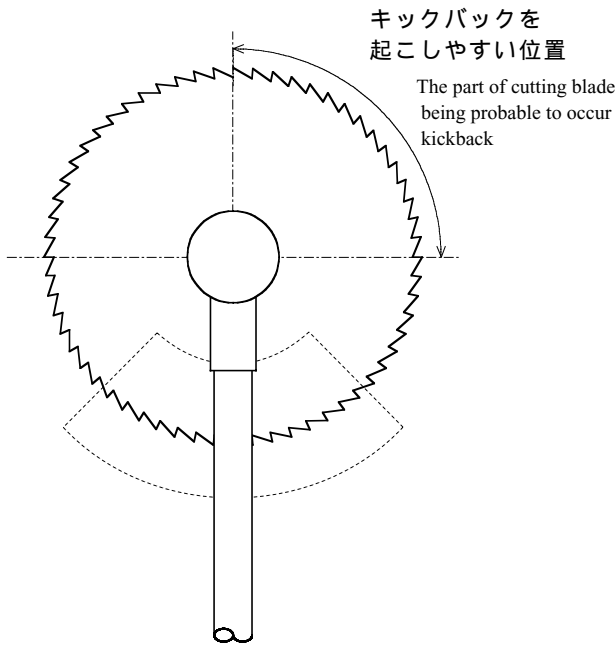


Fig.3. キックバックを起こしやすい刈刃の位置
The part of cutting blade being probable to occur kickback

結果と考察

今回の測定法では、キックバック反力のすべてが刈払機の回転運動に供されるものと仮定し計算している。しかし、キックバック反力のすべてが回転運動に使われたわけではなく、刈払機を支える回転軸を押す力も観察され、接触した材に刈刃が深く入った場合にはその傾向が強いように思われた。これは刈刃が材に深く入るほど、刈刃の先が材に挟まれる形となり、そこで生じる抵抗によるものと思われた。しかし今回は、刈払機の回転加速度のみを計算の対象として考察を行った。

キックバック反力の結果を示したのがFig.4である。

刈刃の接触する速さの違いは、低回転域では接触速さ0.645m/sの場合に反力が大きく、高回転域では接触速さ0.771m/sの場合に反力が大きい傾向もみとれるが、測定値にばらつきがみられ、樹皮の皮めくれや刈刃の切れ込み深さなどの刈刃と材の接触状態によってかなり反力が異なることが観察された。しかし、本実験の場合、接触速さの違いは刈払機のキックバック反力に影響を与えなかったと考えられる。

石などの硬いものに刈刃が接触した場合には、接触物のごく狭い範囲に刈刃が当たり瞬間的に跳ねるため、反力は瞬間的な加速によって生じる。したがって、刈刃駆動力の源はエンジンであり、その駆動力はエンジンの回転数により決まるので、硬いものに接触したときのキックバック反力の大きさは、刈刃の回転数によるところが大きいと考えられる。

しかし、今回の実験では、キックバック反力の大きさを決めるのは刈刃の回転数だけでなく、刈刃と障害物の

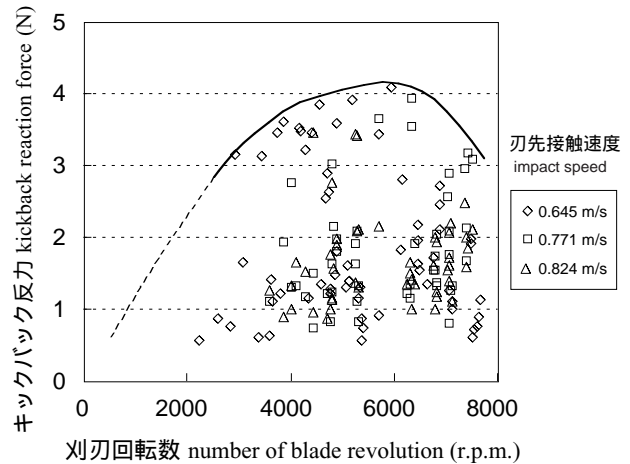


Fig.4. 刈刃回転数とキックバック反力の関係
Relation between the cutting blade revolutions and kickback reaction force

接触の状態も一つの大きな要因であると考えられた。実験では、同じ切り口に繰り返し刈刃を当て、少しずつ当たり方を深くした場合があった。この場合、刈刃が材に深く入るほど刈刃と材が接する距離と時間と距離が長くなるが、このような時ほど大きな反力を得られることが多かった。これは刈刃が駆動力を持った歯車のような働きをしたか、材と刈刃が接している間に局部的にキックバックが連続して発生する状態ができたか、回転しようとする刈刃の円盤面と材の摩擦抵抗が駆動力となったか、あるいはこれらが同時に起こったかによって、キックバック方向に機械を勢いづけたためと考えられる。つまり、刈刃が材に接している間にエンジンから刈刃に伝えられた駆動力によって加速され、さらに刈刃が材から離れる瞬間の反力が加わったため、測定された加速度ピーク値が大きくなったと考えられる。

次に、測定したデータ全体について、各回転数のキックバック反力の最大値を結び、反力は回転数とともに大きくなり、回転数6000rpm付近をピークに反力が小さくなる曲線を描くことができる。この曲線に3000rpm以下の部分に示した破線とあわせると一般的なエンジン出力曲線に似た形となる。よって、エンジン出力はエンジン回転数に応じて変化し、エンジン回転数に比例して刈刃回転数は変化するので、キックバック反力の最大値はキックバックを起こしたときの刈刃回転数に応じて変化すると推察された。

また、刈刃が障害物に切れ込んだ後に発生するキックバックのメカニズムについては今回の実験では明らかにできないので、今後は障害物に相当する物体の物理的特性（硬さ、大きさ、表面荒さ、など）、刈刃の切れ込み深さなどの障害物との接触形状を測定条件として測定を行い、刈刃と障害物の接触状態の違いがキックバック反力に及ぼす影響をより詳しく解明し、今回の実験結果を検証する必要がある。

今回の計測では刃先での最大加速度が3Gを超えるも

のも多くみられ、最大で約4 Nのキックバック反力が測定されたが、実際の作業では、排気量の大きな刈払機を使った場合や障害物の状態によってはこの値を超えるキックバック反力が発生していると思われる。実際の作業では、このことを考えてキックバックを生じさせないよう、より注意深い作業が望まれる。

おわりに

実際の下刈作業では、刈払機と作業者との相対位置および刈払機の姿勢などが様々に変化するなかでキックバックが発生する。また、刈払機を持つ手と肩掛けベルトを支える肩や腰でキックバック反力を受けており、反力が一カ所に集中することはない。今後はキックバック反力がこれら各箇所にもどのように分散されるかを解明し、分散された力を刈払機操作の人体モデルに組み込んだ力学モデルを構築する必要がある。そして、その結果を踏

まえてキックバック反力から作業者の負荷を低減させる新たな刈払機用ベルト考案を行う。

引用文献

- 安全衛生情報センター, 労働災害統計(オンライン), 入手先 <<http://www.jaish.gr.jp/>>, (2002-5-10).
- 平松 修 (1988) 刈払機のキックバック現象, 日林論, 99, 749-752.
- 入江敏博, 山田 元 (1980) 工業力学, 理工学社, 201.
- 林材業労働災害防止協会 (1985) 造林作業安全衛生実務必携, 52-53.
- 林材業労働災害防止協会 (2000) 刈払機取扱作業者必携, 35, 69-79.
- 林材業労働災害防止協会, 労働災害(死亡災害)速報一覧(オンライン), 入手先 <<http://www.rinsaibou.or.jp/>>, (2002-5-10).