

# 極軟質材の液噴流切断特性

濱田聡美<sup>1</sup>・河村 哲<sup>2</sup>・山崎堯右<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>荏原製作所・<sup>2</sup>岩谷産業株式会社・<sup>3</sup>農学部海洋環境工学講座)

## Predicting Water Jet Cutting Characteristics of Soft Materials

<sup>1</sup>Satomi HAMADA, <sup>2</sup>Tetu KAWAMURA, <sup>3</sup>Takasuke YAMASAKI

<sup>1</sup>Ebara Corporation; <sup>2</sup>Iwatani International Corporation; <sup>3</sup>Chair of  
Maritime Environmental Engineering, Faculty of Agriculture

**Abstract:** Recently water jet cutting techniques have been used in medical operations and food processing owing to the water jet's capability to cut without deforming soft material. This investigation was conducted to predict how deep the water jet can cut soft materials from the properties of mechanical strength. The results of this investigation show that the depth of the materials cut by the water jet can be estimated from the relationship of a diagram of the deformation and that the compression force measured by a simple device the authors' design.

Key words : Water jet, Soft materials, Cutting depth

### 1 緒 言

噴流は 各種材料の表面加工にも用いられる一方、超高压での金属切断や洗浄にも応用され、被加工物の物性と噴流の特性との関係について多くの成果<sup>1-3)</sup>が得られている。また、軟質材の切断にも型くずれしないことから、食品、ダンボール、布などの裁断にも利用されている。

しかしながら、その応用の基礎となる軟質材の物性と噴流切断効果についての研究は、医療分野の一部<sup>4,5)</sup>を除いてあまり知見しない。軟質材としての代表的な青果物の機械的強度については体系化が試みられている<sup>6,7)</sup>が、各研究における実験条件の相違のためにここで関与すると思われる機械的変形特性と液噴流に対する破壊特性との関連が不明で、妥当な評価が下せないでいるのが現状である。

そこで、ここでは各種農産物では軟質材の静力学的特性を簡単に求められる装置を製作し、これによってえられたデータから、荷重と変形の関係を求める一方、高压細孔噴流でその軟質材の切断を行い、両者の関係を求めることによって噴流の切断深さを予想しうることを明らかにした。

2 記号とその意味

A'	図7中の定義	$L_2$	切断深さ
a	切断面積	l	$L_1$ の読み取り長さ
B'	図7中の定義	$P_0$	タンク全圧力
C'	図7中の定義	$P_1$	$F_2$ から求めた圧力
c	流量係数	Q	流量
D'	図7中の定義	Re	レイレズ数 = $d_1 V / \nu$
$d_1$	ダイヤモンドノズル径	V	噴流の流速
$d_2$	ピストン径	V'	ピストンの押し込み速度
$F_1$	棒Cにかかる荷重	v'	供給材の送り速度
$F_2$	ピストンにかかる荷重	$\zeta$	図7中の定義
$F_3$	噴流の運動量の変化による力	$\eta$	図7中の定義
H	スタンドオフ距離	$\rho_f$	水の密度
$L_1$	食い込み深さ	$\rho_s$	軟質材の密度

3 軟質材の静力学的荷重～変形特性

噴流による切断実験に先だって、供試軟質材料の静力学的荷重～変形特性を求め、その線図上の特性と噴流の性能との関係を知ろうとするものである。

そこで、ここでは図1に示すような供試軟質材料の静力学的荷重～変形の同時測定を可能にする簡便な装置を考案した。図中材料に押し付けるC棒は直径0.7mmの丸棒で、先端の材料と接触する部分は中心軸に対して直角に切断し、滑らかな平面に仕上げてある。a棒の縦方向の移動距離から食い込み深さ $L_1$ を求め、a棒の先端からa棒とb棒の交点の移動により、その両者を一点で表すことができるので、これをビデオ撮影しておけば、変形量とその時の荷重を同時に簡単に記録出来るのである。軟質材試料の上にc棒をのせ、荷重板上に荷重 $F_1$ をかけて、変形の瞬間をビデオ撮影しモニター上でa棒とb棒の位置を読み取った。実荷重と実変形量は予め較正してある。このようにし

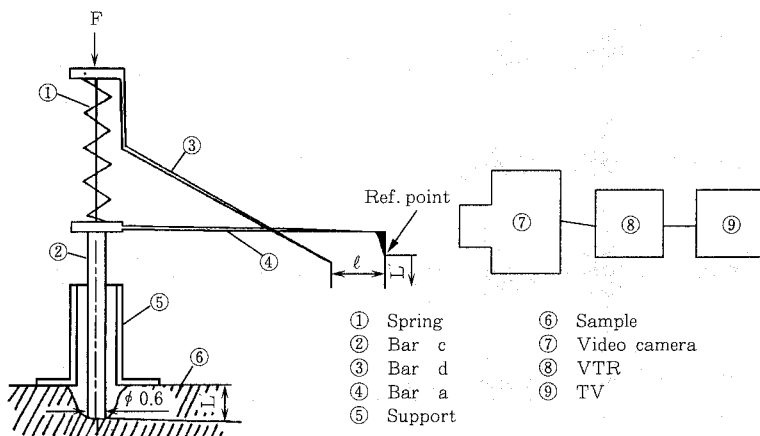


図1 軟質材の荷重～変形量簡易測定器概略図

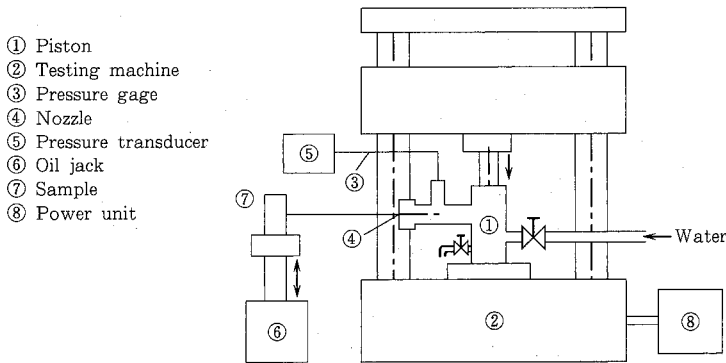


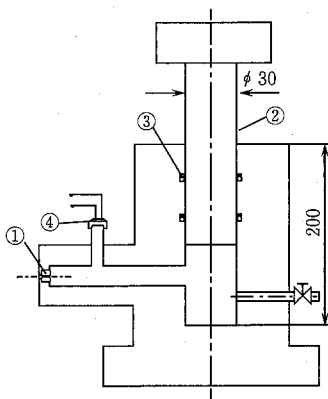
図2 実験装置の概略図

て求めた荷重と変形量の関係の模式図を図2に示す。

#### 4 高圧細孔ノズル噴流による軟質材切断

図2に実験装置の概略図を示す。図3は噴流発生装置である。油圧によって蒸留水を充滿したシリンダー内のピストンを加圧によって押し、直径0.11mmの円形ダイヤモンドノズルからジェットを噴出させた。噴出方向に対して垂直に置いた供試材としての各軟質材に噴流を当て、切断を行った。また、その時の切断深さを顕微鏡ビデオカメラで撮影し、記録して画像上で予め検定した関係から実寸を求めた。またピストンを押す荷重 $F_2$ から求めたシリンダー内圧と、シリンダ内の液圧を圧力計で計った値はほとんど同一であることから、ピストンとシリンダ間の摺動抵抗はほとんど無視出来るほど小さいことが分かった。

用いた円形断面形状の供試ダイヤモンドノズルの流量係数 $C$ と $Re$ 数の関係を図4に示す。本実験は、この $Re$ 数に対して流量係数が一定の範囲で実験を行った。



- ① Diamond nozzle ( $d_1=0.11\text{mm}$ )
- ② Piston
- ③ O ring
- ④ Strain gage

図3 高圧細孔ノズル実験装置

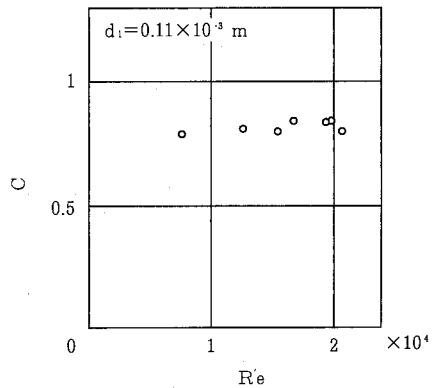


図4 供試ダイヤモンドノズルの流量係数 $C$ の $Re$ 数依存性

5 実験結果

図5, 図6は図1の装置を使って棒Cが軟質材に食い込む深さ $L_1$ と荷重 $F_1$ との関係を求めた結果を図示したものである. 表1にこれらの値を示す. 図を見て分かるように, いずれの場合も見かけの降伏点がある.

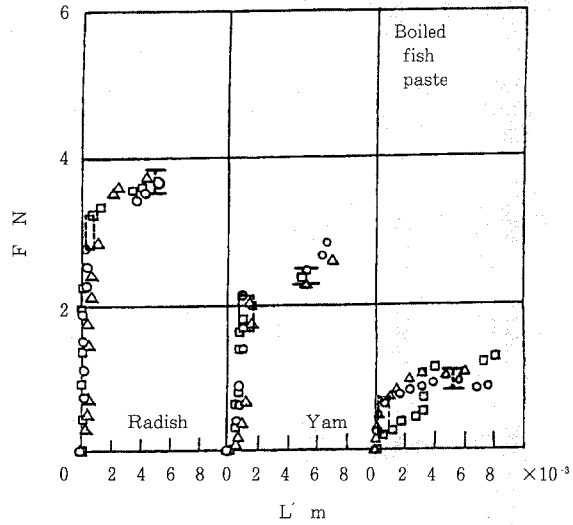


図5 各種軟質材の荷重～変形特性 (1)

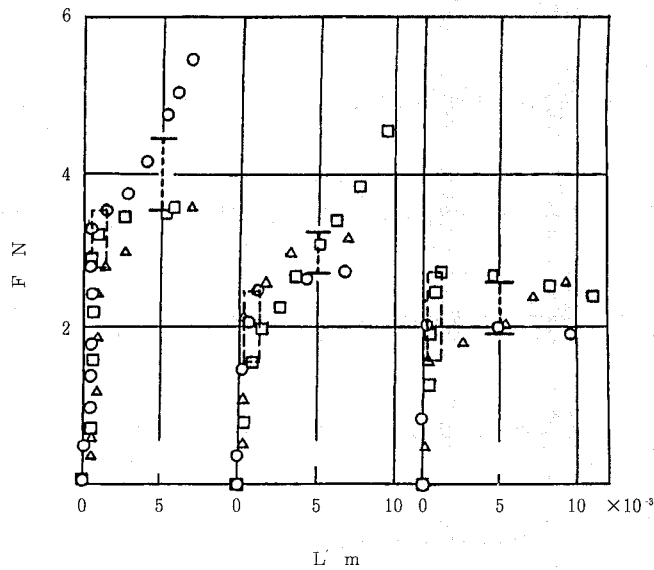


図6 各種軟質材の荷重～変形特性 (2)

そこで、この曲線の特徴を規定するために、この曲線を模式的に図示し、図7に示すように曲線上とそれに基づく各面積を図中のように定めることにする。この図中におけるA'、B'、C'、D' (5.0mm)、面積と  $\{ (A' \times B' / 2) \}$ 、 $\eta \{ (B' + C') (D' - A') / 2 \}$  の値を、ここで供試材の荷重と変形量に関するパラメータと見なし、以下の噴流による材料への加工特性との関係を検討した。

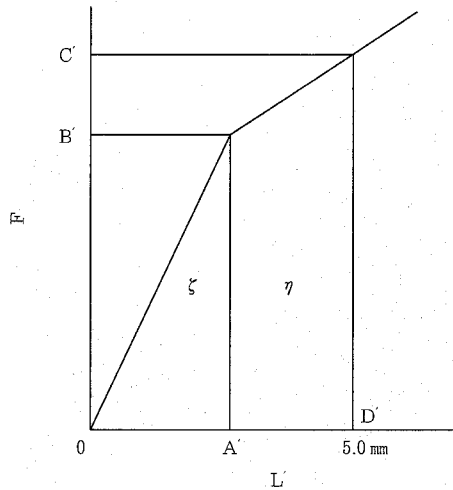


図7 荷重～変形に曲線とパラメータ A'、B'、C'の説明図

供試材料について、予め以上のような静力学的変形特性を得た上で、軟質材を噴流で切断した。噴流の全圧  $P_0$  と単位時間当りの切断面積  $a$  の関係を図8に示す。ただし、切断面積  $a$  は、噴流発生装置の上昇速度  $V'$  と供試材の送り速度  $V''$  との相対速度  $(V' + V'')$  と切断深さ  $L_2$  との積によっ

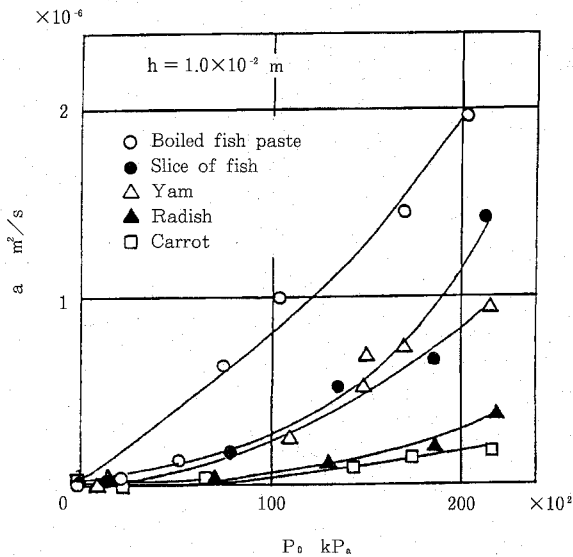


図8 タンク圧力と切断面積の関係

て算出した。これをみるとどの試料も相対速度や切断深さによらず圧力増加に依存して切断面積が増加していることがわかる。

図9は、スタンドオフ距離Hと単位時間当りの切断面積aの関係を示す。スタンドオフ距離が増加すると切断面積が減少している。

図10と図11には関与する変数間で無次元数をつくり、噴流によって切断された供試材の切断特性を整理したものである。これらのいずれの場合についてもA、B点に基づく切断仕事量よりもC、D点（ここでは5mm一定とする）まで考慮した切断仕事量で整理した方がよりまとまった傾向となった。材料の種類や切断条件の如何を問わず、極めてまとまりのよい傾向となることから、ここで取り上げた実験条件について、材料の変形特性が与えられさえすれば、噴流による切断能が予測できることになる。

なお、スタンドオフ距離をパラメータに取り込むと、いずれの場合もバラついて一つの傾向が表現できなかった。このことは、ここで取り扱った噴流の液表面が滑らかないわけ

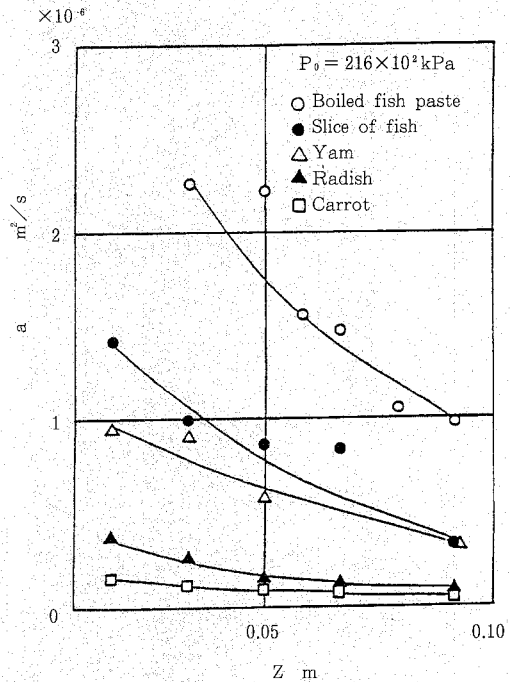


図9 スタンドオフ距離と切断面積の関係

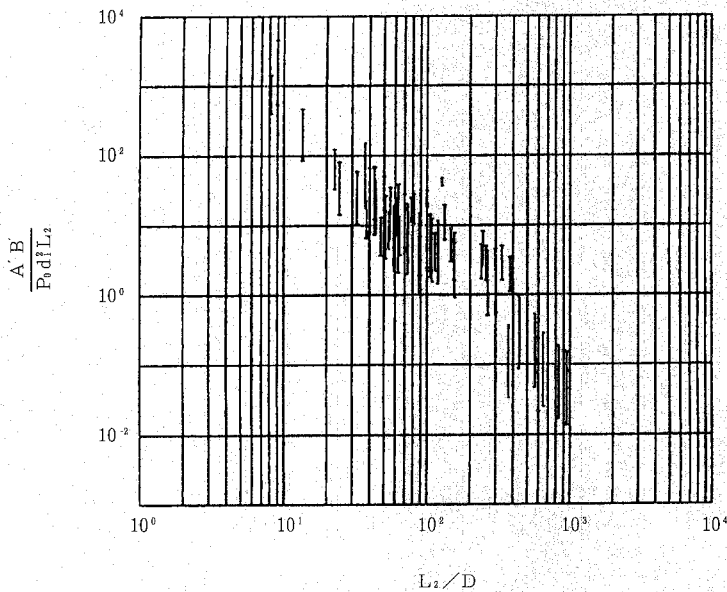


図10 噴流の軟質材切断特性

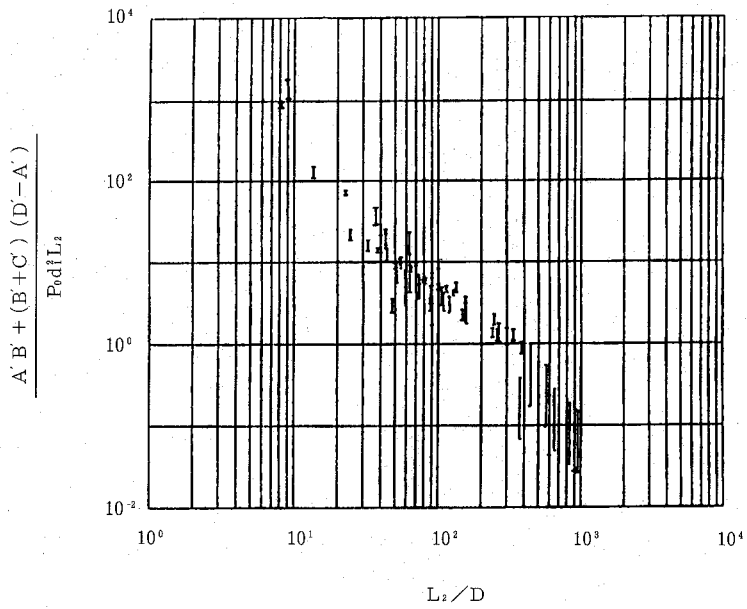


図11 噴流の軟質材切断特性

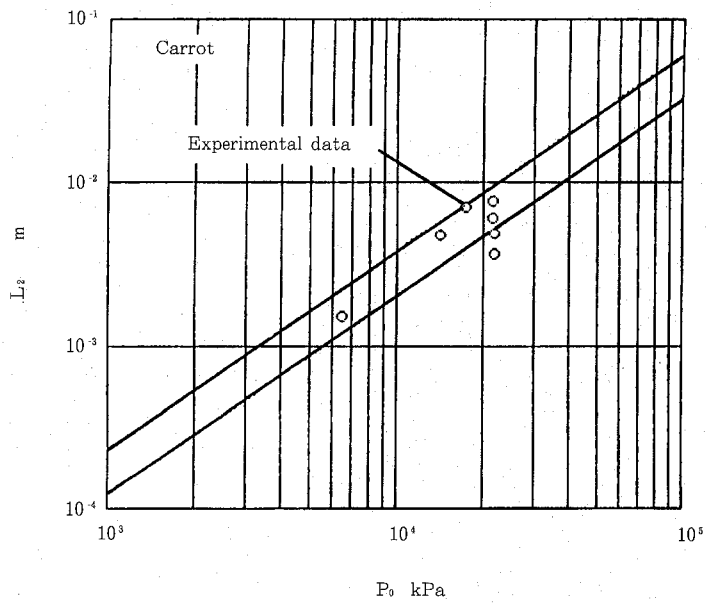


図12 タンク圧と切断深さの関係

る層流ジェットの形成領域内でのスタンドオフ距離の実験であったことから、この距離Hに依存していないと判断する。

図10, 図11をみてわかるように、噴流による切断欠損エネルギー ( $F \cdot L = LQ \rho_L \sqrt{2P_0/\rho_L}$ ) は、材料の静的変形に要するエネルギーに参与しているものと判断される。横軸 L/D で表示すると、多少バラツキが見られるものの、ほぼ図12の縦軸のパラメータは横軸の L/D の -1.8 乗に比例することがわかる。この関係はここで取り扱った軟質材の一般的な性質と判断される。

また、図11の関係から逆にこの静荷重と変形の関係のパラメータの値を前もって知れば、任意の噴流圧力から切断深さをほぼ予測することが可能である。図12中実線はそうして求めた予測値 (図12中のばらつきの幅をはさんで求めた大きく見積った場合と小さく見積った場合の2本で示す) で、図中丸印は実験値である。ほぼ実用に差し支えない程度で予測できることがわかる。

表1 軟質材のパラメータ

Sample	A' $10^{-3}m$	B' N	C' N
Carrot	0.38~1.53	2.59~3.56	3.63~4.43
Potato	0.30~1.50	1.56~2.54	2.80~3.25
Apple	0.25~1.25	1.56~2.73	1.94~2.42
Radish	0.25~0.75	2.78~3.27	3.60~3.92
Yam	0.75~1.75	1.61~2.15	2.33~2.55
Boiled fish Paste	0.25~0.50	0.15~0.83	0.84~1.05

## 5 結 論

工夫した簡便な測定装置によって、対象とする軟質材の荷重変形曲線の特徴づけるパラメータを予め求めることによって、液噴流の切断特性を求めることが可能であることを明らかにした。農産物などの軟質材の加工や洗浄などによる損傷程度の予測に役立つものと考えられる。

## 6 文 献

- 1) 小林, 荒井, 山田: ウォータジェット加工技術における噴流の構造と金属の壊食過程. 機械学会論文集B編, Vol.53, No.489, 1539-1542 (1987).
- 2) 今中: 水を利用した新しい加工技術, 応用機械学, No.1, 113-120, (1968).
- 3) 横田, 山門: 高速連続水噴流による個体のかい食と水噴流の構造について, 機械学会論文集2, Vol.33, No.249, 732-734, (1967).
- 4) 西坂: ウォータジェットメス, ウォータジェット, Vol.1, No.4, 1-10, (1984).
- 5) Summers, D.A. and Viebrock J.: The Impact of Water Jets on Human Fresh, Jet Cutting Technology, 9th International Symposium, Sendai, Japan, 423-433, (1989).
- 6) Mohsenin, N.N.: Physical Properties of Plant and Animal Materials, Gordon and Breach Science Publishers, New York, (1970).
- 7) 京大農学部農産物性研究グループ: 青果物の力学的特性, 農産物性研究 (第1集) 付録, (1979).
- 8) Yanaida, K. and Ohashi, A.: Flow Characteristics of Water Jets in Air, 4th International Symposium on Jet Cutting Technology, Paper A3, 39-54, (1978).

平成8年(1996)9月30日受理

平成8年(1996)12月25日発行