

凍結魚の3点曲げ切断特性に与える切り欠き導入の影響

羽倉義雄*・鈴木寛一*

Effects of Notch Introduction on 3-Point Bending Cutting Characteristics of Frozen Fish

Yoshio HAGURA* and Kanichi SUZUKI*

*Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University, 1-4-4 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8528

We have proposed a freeze cutting method in which a three point bending load is applied on a frozen fish body to cut in round slices. Lowering the three-point bending load can facilitate the freeze cutting processing. Based on the idea that a notch in the fish body may lower the cutting load, the effect of introducing a notch was examined with respect to cutting stress and smoothness of cut surface in model fish meat and in saury. It was found that the introduced notch effectively lowered the cutting stress in both the model fish and saury, and that the smoothness of cut surface was improved. This study also showed the possibility that a sharper notch could attain lower cutting stress.

(Received Oct. 11, 2001 ; Accepted Jan. 7, 2002)

凍結状態で流通している中・小型魚(カツオ, イワシ, サンマなど)は, 加工の際に一旦解凍した後, 次の加工工程に送られる¹⁾. 解凍時には, 清水中に浸漬して解凍する方法などが多く用いられている. しかし, 魚体が大きくなるほど, 解凍時間が長くなり, 中心部が解凍するまでの間, 表層部は長時間, 浸漬水の温度に晒されることになる²⁾. このような長時間の温度差は, 魚肉の品質にも影響を与える可能性がある. そこで, 凍結状態の魚体を解凍や加工に適したサイズに切断することができれば, 解凍時間の短縮や解凍工程の省略に有効な手段になり得ると考えられる.

ところで筆者らは, 凍結魚体に3点曲げ荷重を加えて魚体の輪切り切断加工を行う凍結切断に関する研究を行ってきた^{3)~5)}. この方法は, 鋸などの刃物を使用せずに凍結魚の切断ができるため, 鋸くずの発生による歩留りの低下や鋸くずの腐敗に伴う細菌汚染などの防止にも寄与すると考えられる. ところが, この凍結切断法では, 魚体が大型化するほど, 切断に要する荷重が大きくなり, 切断装置も大型化する問題がある. そこで, 切断に要する応力を低減することができれば, より加工が容易

になり, 切断装置の小型化も可能になる.

一般に, 材料に切り欠きなどの断面が急激に変化する部分が存在すると応力集中が生じ, 材料の強度が低下する. 板ガラスの切断などに応力集中現象は利用されている. また, レトルトパウチの開封用の切り込みも同様の考え方である. そこで本研究では, 魚体に切り欠きを導入することにより, 凍結切断時の切断応力を低減できると考えた. 本報告では, モデル魚肉およびサンマを用いて, 切り欠き導入による切断応力低減効果と切断面の滑らかさに与える影響を検討した.

実験方法

1. 実験試料

実験試料には, モデル魚肉として, 市販のスケツウダラの冷凍すり身を使用した. 冷凍すり身を, -20°C の低温室内で $12\text{ mm} \times 12\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ の直方体状の試験片に成形し, これを平滑試験片(切り欠き未導入)とした. さらに, 平滑試験片の底面にカッターナイフの刃(刃の厚さ: 0.4 mm)を用いて, 深さ 0.2 mm の切り欠きを導入したものを切り欠き試験片とし, 切り欠き未導入のモ

* 広島大学生物生産学部 (〒739-8528 広島県東広島市鏡山 1-4-4)

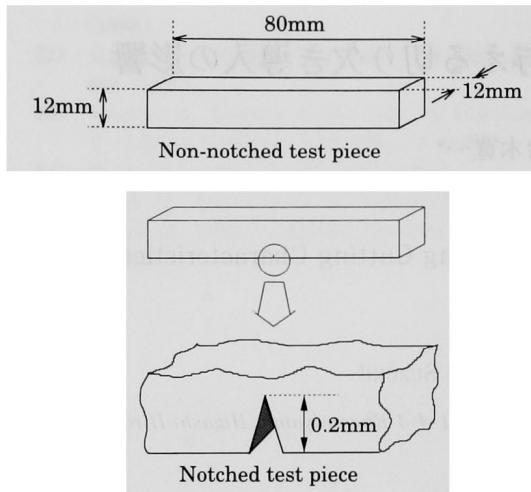


Fig. 1 Dimension of the test piece of model fish flesh and introduction method of a notch

デル魚肉との比較を行った (Fig. 1)。また、実際の魚体として、冷凍したサンマ *Cololabis saira* Brevoort を使用した。頭部と尾部を切り落とした冷凍サンマの側面の一方にカッターナイフの刃を用いて深さ 0.5mm の切り欠きを導入し、切り欠き未導入の冷凍サンマとの比較を行った (Fig. 2)。

2. 実験装置および手順

試験温度を -190°C ~ -20°C の範囲で設定可能な自作の材料試験機³⁾を用いて、モデル魚肉およびサンマの 3

点曲げ試験を行い、切断応力の測定を行った。このとき、3点曲げ治具の下側の 2つの支点間の距離は 50mm とした。また、治具の移動速度は 5.0mm/min とした。切断試験では、試験温度ごとに切り欠きを導入したものと未導入のものそれぞれ 10 サンプル使用した。切断試験終了後、切断面の滑らかさを評価する目的で、試験片切断面の凹凸の高低差をノギスを用いて測定した。同時に、切断時に発生した破片の有無を目視により観察した。

実験結果と考察

1. モデル魚肉の切断に及ぼす切り欠き導入の効果

モデル魚肉の曲げ切断応力に与える切り欠き導入の影響を Fig. 3 に示した。平滑試験片、切り欠き試験片とも、試験温度の低下に伴い切断応力が増加し、 -50°C 付近で極大値を示した後、一旦切断応力が減少し、 -70°C 以下で一定となった。一定となった温度範囲では、平滑試験片で切断応力が 3.62 MPa であったのに対し、切り欠き試験片では 2.18 MPa となり、切り欠きの導入により切断応力の低減が可能であることが明らかとなった。

モデル魚肉の切断面の滑らかさに与える切り欠き導入の影響を Fig. 4 に示した。切り欠き試験片では、 -190°C ~ -30°C において、切断面の凹凸の高低差が、約 1.0mm で試験温度に関わらずほぼ一定であった。一方、平滑試験片では、切断面の凹凸の高低差に温度依存性があり、また、高低差の値も切り欠き試験片に比べて大きかった。高低差のばらつきを標準偏差 ($\pm 1\sigma$) を用

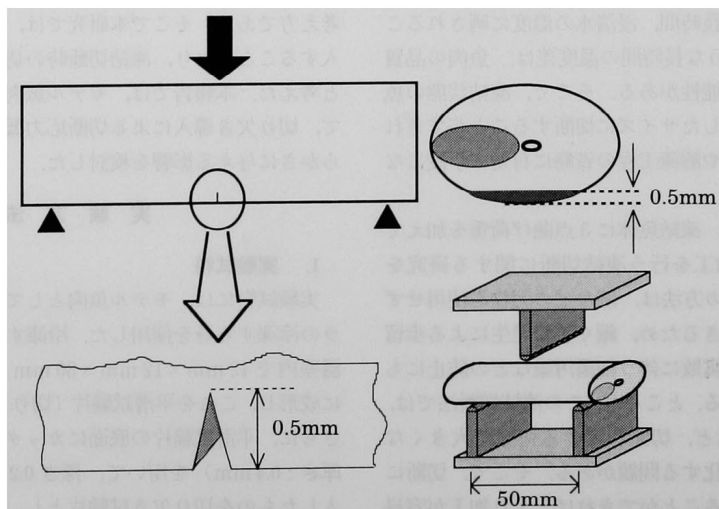


Fig. 2 Method to introduce a notch on the saury test piece

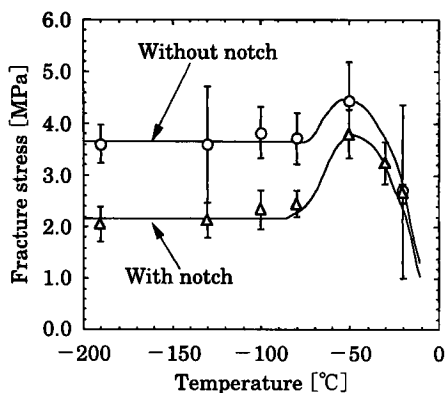


Fig. 3 Effect of the notch introduction on the cutting fracture stress of the test piece of model fish flesh

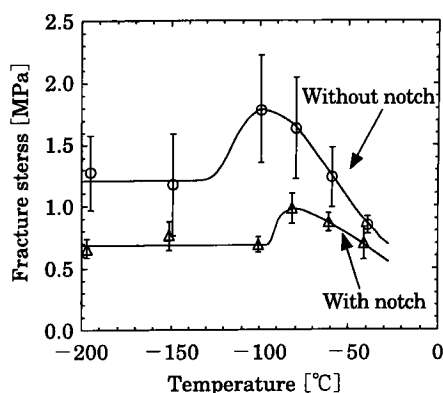


Fig. 5 Effect of the notch introduction on the cutting fracture stress of the saury test piece

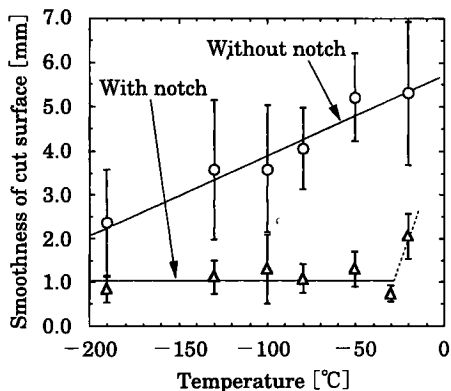


Fig. 4 Effect of the notch introduction on the roughness of the cut section of the model fish flesh test piece

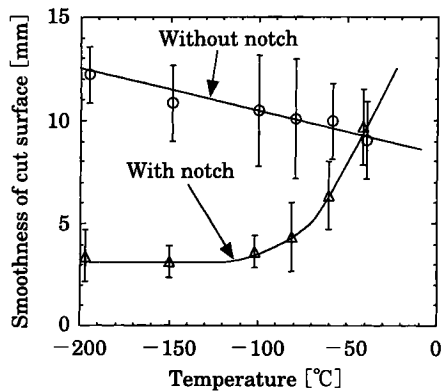


Fig. 6 Effect of the notch introduction on the roughness of the cut section of the saury test piece

いて Fig. 4 にエラーバーを用いて表した。平滑試験片では、ばらつきが大きく、一定した滑らかさの切断面が得られていないことが分かる。3点曲げ破壊では、試験片底面に亀裂が発生し、この亀裂が荷重を加えている上面方向に成長し、切断に至ることが知られている。切り欠きの導入により、試験片底面での亀裂の発生や成長が容易になるため、高低差のばらつきが小さくなったと考えられる。

2. サンマの切断に及ぼす切り欠き導入の効果

サンマの曲げ切断応力に与える切り欠き導入の影響を Fig. 5 に示した。切り欠きの導入によりサンマの切断応力が低下していることが分かる。切り欠き未導入のサンマでは -150°C ~ -80°C の温度範囲で、また、切り欠き

を導入したサンマでは -150°C ~ -60°C の温度範囲で破片の発生がない切断が可能であった。しかし、-190°C では、切り欠きの導入の有無に関わらず、破片の発生が認められた。

サンマの切断面の滑らかさに与える切り欠き導入の影響を Fig. 6 に示した。切り欠き導入サンマでは、試験温度の低下に伴って切断面の凹凸の高低差が小さくなり、-100°C 以下では、約 3mm の一定値となった。一方、切り欠き未導入のサンマでは、切断面の凹凸の高低差が試験温度の低下に伴って大きくなった。高低差のばらつきを標準偏差 ($\pm 1\sigma$) を用いて Fig. 6 にエラーバーを用いて表した。切り欠き導入サンマでは、切断応力が一定になり、しかも、破片の発生も認められなかった -150°C と

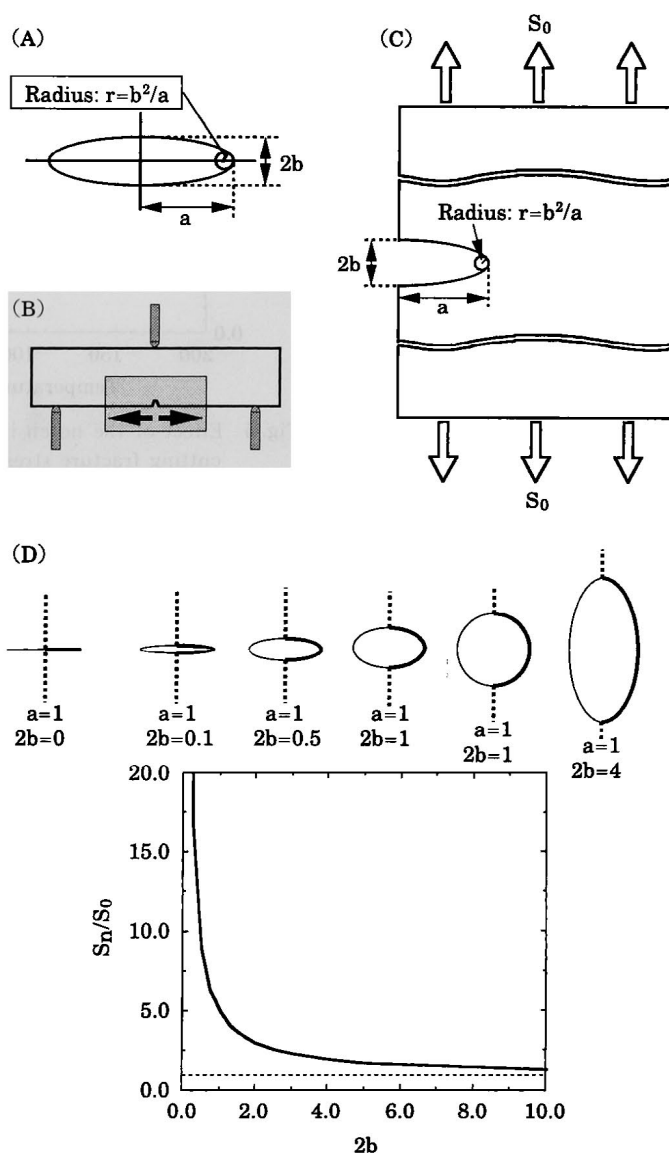


Fig. 7 A relationship between notch shape and stress concentration factor

- (A) The expression of the notch shape using the ellipse
 (B) The tensile force in test piece for 3-point bending test
 (C) Notch introduction test piece
 (D) Effect of the notch shape on the stress concentration factor

-100°C でばらつきが最小であった。

以上のことから、魚体の凍結切断では、鋭い切り欠きの導入が切断応力の低減に寄与することが明らかとなった。また、切り欠きの導入により切断面の滑らかさが向

上することも明らかとなった。

3. 切り欠き導入と応力集中との関係

材料力学では、切り欠きが応力集中源として働くことが知られている⁶⁾。切り欠きの鋭さを楕円（長軸半径 a 、

短軸半径 b) の先端半径 r で記述すると $r=b^2/a$ となる⁷⁾ (Fig. 7-A)。3点曲げ試験では、荷重面の反対側の面で引っ張り荷重が発生する⁸⁾ (Fig. 7-B)。引っ張り破壊が起こる面に切り欠きが存在する場合 (Fig. 7-C)、切り欠き先端においても引っ張り力が働くことになる。そこで、切り欠き周辺で起こる応力集中現象を引っ張り荷重下で解析した。試験片を S_0 の応力で引っ張った時に切り欠き先端に発生する応力 S_n は、(1)式で表される⁷⁾

$$S_n = S_0(1 + 2\sqrt{a/r}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

(1)式では、試験片に S_0 の引っ張り応力が加わると、切り欠きの形状により、切り欠き先端では、 S_0 よりも大きな応力 S_n が発生することを示している。一般に、 S_n/S_0 を応力集中係数と呼ぶ。Fig. 7-D に楕円の長軸を $a=1$ に固定し、短軸 b を変化させた場合、すなわち、切り欠きの形状 (鋭さ) を変化させたときに切り欠き先端に発生する応力集中係数の計算結果を示す。Fig. 7-D より、切り欠きを鋭くすることにより、切り欠き先端で発生する応力を高めることができ、少ない荷重で魚体の切断が可能になることが分かる。

本実験で使用したモデル魚肉およびサンマでは、切り欠きの有無による切断応力の比から、1.5~1.7 倍程度の応力集中が起こっていると考えられる。切り欠き導入深さを深くし、かつ、切り欠き先端をより鋭くすることにより、応力集中係数を増加させることができ、切断応力の低減が可能になると考えられる。

また、切り欠きの導入による切断面の滑らかさの向上については、次のように考えることができる。切り欠き未導入の魚体では、魚体表面に複数存在する傷 (流通過程で付く引っ掻き傷や凹みなど) が応力集中源として働き、切断開始部位が一定にならないため、切断面が不均一になる。一方、切り欠きを導入した魚体では、魚体表面に存在する傷よりも鋭い切り欠きが直線状に存在するため、切断開始部位が切り欠き先端部となり、かつ、先

端で発生したクラックが荷重点方向に最短距離を選んで成長することにより切断面が滑らかになると考えられる。

要 約

凍結切断時の切断応力の低減を目的として、モデル魚肉およびサンマを用いて、切り欠き導入による切断応力低減効果と切断面の滑らかさに与える影響を検討した。その結果、モデル魚肉およびサンマとも切り欠き導入により切断応力の低減効果が認められ、切断面の滑らかさも向上することが明らかとなった。また、導入する切り欠きが鋭いほど、切断応力を低減できる可能性を明らかにした。

文 献

- 1) 津谷俊人：図説魚の生産から消費 (成山堂書店、東京)、p. 35 (1998)。
 - 2) 岡崎守男・渡辺尚彦・赤尾 剛：加熱と冷却、食品工学基礎講座第 5 巻、矢野俊正・桐栄良三監修 (光琳、東京)、p. 112 (1991)。
 - 3) OKAMOTO, K., HAGURA, Y., SUZUKI, K. and KUBOTA, K.: Developments in Food Engineering, Ed. By YANO, T., MATSUNO, R. and NAKAMURA, K., Part 1 (Blackie Academic & Professional, London), p. 253 (1994)。
 - 4) 岡本清・羽倉義雄・鈴木寛一・久保田清：日科工, 43, 1035 (1996)。
 - 5) 羽倉義雄・岡本清・鈴木寛一・久保田清：日本冷凍空調学会論文集, 16, 257 (1999)。
 - 6) 日本材料学会編：材料強度学 (第 5 版, 日本材料学会、京都)、p. 98 (1990)。
 - 7) 成沢郁夫：高分子材料強度学 (オーム社、東京)、p. 97 (1982)。
 - 8) 大橋義夫：材料力学 (培風館、東京)、p. 117 (1976)。
- (平成 13 年 10 月 11 日, 平成 14 年 1 月 7 日受理)