

## 割裂荷重による凍結魚体の縦割り切断加工

羽倉義雄, 鈴木寛一

### Lengthwise Cutting of Frozen Fish by Cylinder Splitting Load

Yoshio Hagura and Kanichi Suzuki

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

We have previously shown the feasibility of a round slice-cutting method for small fish such as mackerel and saury, where a three point bending load is applied to frozen fish for cutting. The present study examines a filleting method in which a cylinder splitting load is applied to frozen round sliced fish to further cut the fish lengthwise. Splitting tests were conducted at the freezing temperature range from  $-190$  to  $-20^{\circ}\text{C}$  using abdominal test pieces (viscera included) and tail test pieces (no viscera) as the samples to determine the optimum temperature where lengthwise cutting could be successfully achieved. In the abdominal test pieces, lengthwise cutting that simultaneously separated the vertebra, neural spine and viscera from the fillet became possible within the range from  $-120$  to  $-60^{\circ}\text{C}$ . In the tail test pieces, lengthwise cutting that simultaneously separated the vertebra, neural spine and viscera from the fillet became possible within a range from  $-140$  to  $-80^{\circ}\text{C}$ .

(Received Oct. 25, 2001 ; Accepted Jan. 26, 2002)

凍結魚体に3点曲げ荷重を加えることにより、魚体の輪切り切断を行う凍結切断加工に関する研究を筆者らは行って来た<sup>1)~3)</sup>。この切断加工法は、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。これまでの研究により、サバやサンマなどの比較的小型の凍結魚体に対しては、凍結切断法による魚体の輪切り切断加工が可能であることを明らかにした。そこで、輪切りにした魚体に割裂荷重を加えて、さらに縦割り切断加工を施し、凍結魚をフィレーの状態に加工する方法について検討を行うことにした。ところで、輪切り切断加工した魚体では、その内部構造が頭部側と尾部側で大きく異なり、特に、頭部側では、内臓が大きな割合を占めて存在している。本研究では、内臓を含む魚体腹部及び内臓を含まない魚体尾部に対して種々の凍結温度で割裂試験を行い、縦割り切断加工が可能になる温度条件を検討した。さらに、縦割り切断加工時に、脊椎骨と内臓を同時に分離することが可能となる温度条件が明らかになったので併せて報告す

る。

### 実験方法

#### 1. 実験試料

市場から購入した新鮮なマサバ (mackerel, *Scomber japonicus*) を使用した。マサバを輪切りにし、内臓を含む腹部試料 (平均径: 約  $\phi$  80 mm  $\times$  長さ: 60 mm 程度) と内臓を含まない尾部試料 (平均径: 約  $\phi$  60 mm  $\times$  長さ: 60 mm 程度) を作成し (Fig. 1), 直ちに、 $-190$  ~  $-20^{\circ}\text{C}$  の所定の温度まで凍結した。これらの試料に割裂荷重を加え、魚体の縦割り切断を行った。ところで、試料の断面は完全な円形ではなく楕円形である。そこで、各試料の断面の周長を測定し、これを円の周長と仮定して直径を求めた。この直径を試料の平均径とし、以後の計算に用いた。

#### 2. 実験装置及び手順

試験温度を  $-190$  ~  $-20^{\circ}\text{C}$  の範囲で設定可能な自作の材料試験機<sup>2)</sup> を用いて、腹部試料と尾部試料の割裂試験を行った。

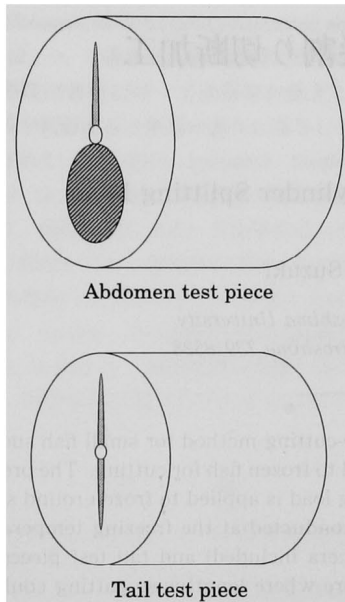


Fig. 1 Test pieces for the cylinder splitting test

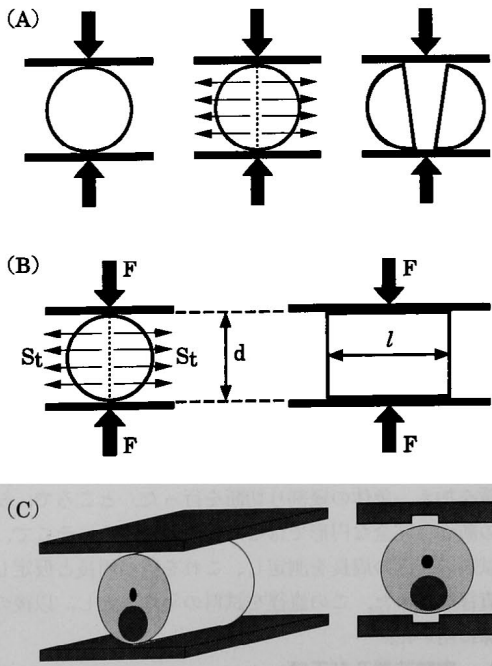


Fig. 2 Schematic diagrams of the cylinder splitting test

- (A) Mechanism of the cylinder splitting test.
- (B) Dimension of the test piece.
- (C) Setting of the test piece.

一般に割裂試験では、横倒しにした円柱状試料を2枚の加圧板で上下から圧縮することにより、試料と加圧板の接触線(載荷線)を境に左右に引っ張り力が働き、試料を縦方向に切断することができる(Fig. 2-A)。このときの割裂破断応力  $St$  [Pa] は、荷重を  $F$  [N]、円柱状試料の平均径を  $d$  [m]、長さを  $l$  [m] とすると、(1)式で表される<sup>4)</sup>(Fig. 2-B)。

$$St = 2F / (\pi dl) \dots\dots\dots(1)$$

魚体試料の割裂試験では、上下2枚の加圧板がそれぞれ試料の背側と腹側で接触するようにした。このとき、凍結試料の転倒と回転を防止するために、加圧板の中央部に幅15mm、深さ3mm、長さ100mmのスリット状の溝を付け、試料の背側と腹側が溝に嵌まるように固定した(Fig. 2-C)。試験温度ごとに腹部試料と尾部試料をそれぞれ10サンプル使用した。加圧板の変形速度は、10mm/minとした。割裂試験終了後、破断面の様子を目視により観察した。

実験結果と考察

1. 割裂荷重により縦割り切断加工された魚体の状態

Fig. 3に $-60^{\circ}\text{C}$ において割裂荷重により縦割りにしたマサバ腹部試料の切断面の様子を示した。内臓と脊椎骨・神経棘(脊椎骨の背側から出ている棘状の骨)が分離し、フィレーの状態になっている。下側の加圧板に接していた腹部は転倒・回転防止溝により固定されているため、腹部の一部が溝に沿って切り取られ、内臓に付着した状態で分離されていた。内臓を包む形で存在する肋骨は、脊椎骨から切り離され、筋肉組織(身の部分)に付着していた。

割裂荷重を加えた魚体内では、魚体と加圧板の接触線(載荷線)を境に左右に引っ張り力が発生する。引っ張り荷重を受ける材料の中に材質の異なる充填物が存在すると、充填物の周囲に応力集中が起こることが知られている<sup>5)</sup>。そこで、引っ張り力が働く魚体内に内臓や脊椎骨などの筋肉組織とは力学物性が異なる組織が存在する場合を考えると、内臓や脊椎骨の周辺に応力が集中し、割裂破断が内臓や脊椎骨の周辺で起こると考えられる。その結果、内臓や脊椎骨が筋肉組織の接合面から剥離し、内臓や脊椎骨の分離が可能になったと考えられる。

2. 割裂破断応力の温度依存性及び脊椎骨・内臓の分離状態

腹部及び尾部試料の割裂破断応力の温度依存性を Fig. 4と Fig. 5にそれぞれ示した。両試料とも、試験温度の低下に伴い割裂破断応力が増加し、 $-100^{\circ}\text{C}$ 以下で概ね

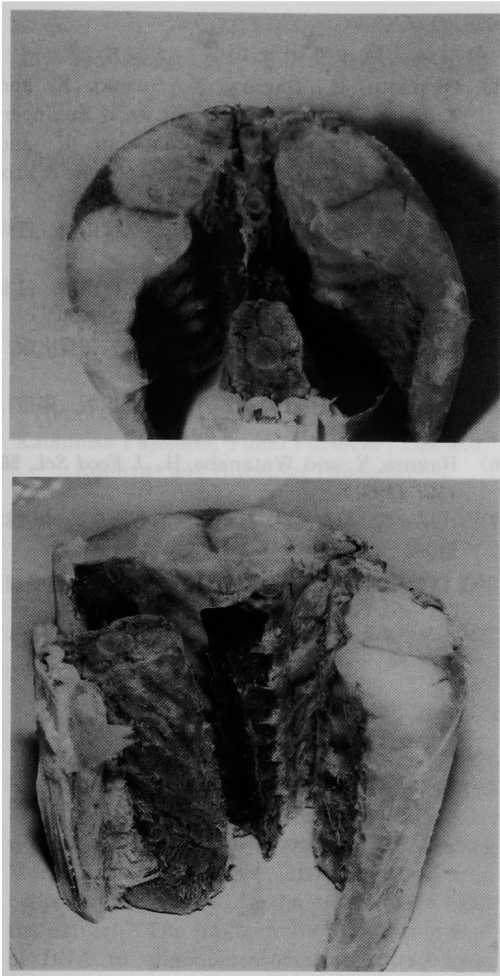


Fig. 3 Photographs of the split section of the abdomen test piece

一定となった。また、 $-40\sim-20^{\circ}\text{C}$ の間では、両試料とも塑性変形のみが起こり、割裂破断は起こらなかった。

腹部試料では、 $-190\sim-60^{\circ}\text{C}$ で脊椎骨・神経棘の分離が可能であった。また、 $-120\sim-50^{\circ}\text{C}$ では、内臓が分離し、かつ、縦割り切断に伴う破片の発生も無かった。しかし、 $-120^{\circ}\text{C}$ よりも低温側では、内臓が筋肉組織(身の部分)に付着した状態で2つに割れることが多く、内臓の分離は困難であった。また、 $-120^{\circ}\text{C}$ よりも低温側では破片の発生頻度が高くなり、その結果、切断面も凹凸の多い表面になった。以上の結果から、腹部試料では試験温度が $-120\sim-60^{\circ}\text{C}$ で脊椎骨・神経棘と内臓を同時に分離する縦割り切断が可能であった。尾部試料では、 $-190\sim-80^{\circ}\text{C}$ で脊椎骨・神経棘・血管棘(脊椎骨

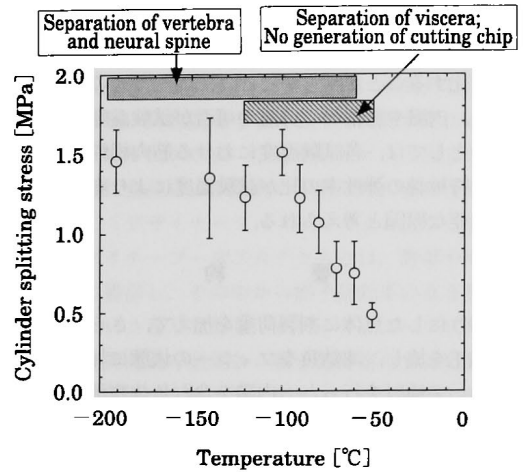


Fig. 4 Effect of test temperature on the cylinder splitting stress of the abdomen test piece

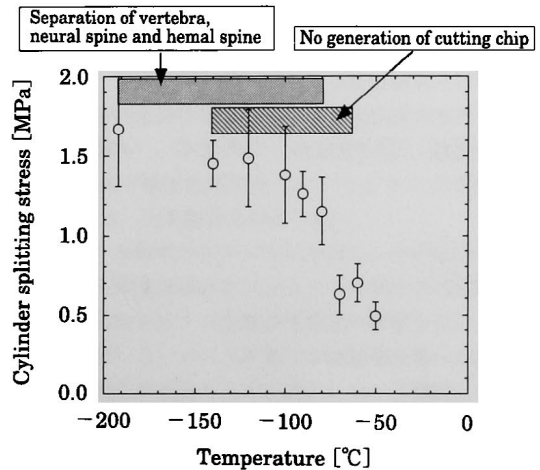


Fig. 5 Effect of test temperature on the cylinder splitting stress of the tail test piece

の尾部腹側から出ている棘状の骨)の分離が可能であった。また、 $-140\sim-60^{\circ}\text{C}$ では、縦割り切断に伴う破片の発生も無かった。ところが $-140^{\circ}\text{C}$ よりも低温側では、試験温度の低下に伴い、破片の発生頻度が高くなり、切断面も凹凸の多い表面になった。以上の結果から、尾部試料では試験温度が $-140\sim-80^{\circ}\text{C}$ で脊椎骨・神経棘・血管棘を分離する縦割り切断が可能であった。

内臓と脊椎骨・神経棘・血管棘が分離する確率は試験温度により異なっていた。引っ張り荷重を受ける材料の中に材質の異なる充填物がある場合、応力集中係数は母

材と充填物の弾性率の比により決まることが知られている<sup>5)</sup>。また、魚体の各組織の弾性率は、凍結温度により大きく変化することが明らかとなっている<sup>6)7)</sup>。これらのことから、内臓や脊椎骨の分離の可否が試験温度に依存する理由としては、各試験温度における筋肉組織に対する内臓や脊椎骨の弾性率の比が試験温度により変化することが主要な原因と考えられる。

### 要 約

輪切りにした魚体に割裂荷重を加えて、さらに縦割り切断加工を施し、凍結魚をフィレーの状態に加工する方法について検討を行った。内臓を含む魚体腹部及び内臓を含まない魚体尾部に対して $-190\sim-20^{\circ}\text{C}$ の凍結温度で割裂試験を行い、縦割り切断加工が可能になる温度条件を調べた。その結果、腹部試料では $-120\sim-60^{\circ}\text{C}$ 範囲で、脊椎骨・神経棘と内臓を同時に分離する縦割り切断が可能であった。尾部試料では $-140\sim-80^{\circ}\text{C}$ 範囲で、脊椎骨・神経棘・血管棘を同時に分離する縦割り切断が可能であった。

### 文 献

- 1) Okamoto, K., Hagura, Y., Suzuki, K. and Kubota, K., Developments in Food Engineering, Ed. By Yano, T., Matsuno, R. and Nanamura, K., Part 1 (Blackie Academic & Professional, London), p. 253 (1994).
- 2) 岡本 清, 羽倉義雄, 鈴木寛一, 久保田清, 日科工, **43**, 1035 (1996).
- 3) 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).
- 4) 国分正胤, 土木材料実験, 第 4 版 (技報堂出版, 東京), p. 118 (1985).
- 5) 西田正孝, 応力集中, 増補版 (森北出版, 東京), p. 330 (1981).
- 6) Hagura, Y. and Watanabe, H., *J. Food Sci.*, **56**, 1567 (1991).
- 7) 小川 豊, 羽倉義雄, 日本冷凍協会論文集, **9**, 283 (1992).

(平成 13 年 10 月 25 日受付, 平成 14 年 1 月 26 日受理)