

水中衝撃圧の魚類に及ぼす損傷機構 に関する研究—II.

模型魚の腹部器官の損傷に関する
要因の解析

福原 修・阪口 清次・梅沢 敏
藤谷 超*・小川 輝 繁**

Studies on the Damage Formation Mechanisms of Submerge Explosion on Fish-II.

Analysis of the Components Regarding the Damage
of Visceral Organs in Utilization of Dummy Fish

Osamu FUKUHARA, Seiji SAKAGUCHI, Satoshi UMEZAWA,
Masaru FUJIYA and Terushige OGAWA

This experiment was designed in order to ascertain the mechanisms of damage formation of underwater explosions on fish, with special reference to dynamic responses of the underwater explosion in the abdominal cavity of fish dummy made of plastic materials. Electric detonator and concrete cracker (CCR) were employed as explosive sources in the experiment. The results obtained may be summarized as follows;

- 1) Energy flux density of an underwater explosion was related to peak pressure in the abdominal cavity of the fish dummy, and there may be a relationship between damage to fish and peak pressure of the pressure wave observed in the abdominal cavity.
- 2) A relationship was found between the peak pressure of the pressure wave in the abdomen and the magnitude of principal strain, even if the explosive source was different. The magnitude of principal strain on the surface of the viscera was greater than that internally, and also was greater in the kidney than the liver. The fact that damage in the kidney is greater than other organs is probably attributable to these differences in magnitude of principal strain depend on the location of the organs in the abdominal cavity.
- 3) In conclusion, the damage to abdominal organs depends largely on the magnitude of principal strain.

前報¹⁾では生鮮魚の腹腔内に小型の圧力計をとりつけて、異なる水中圧力波に対する腹腔内の部位および魚種のちがいによる圧力応答の特性について検討した。その結果、波形の異なる水中圧力波でも、被爆魚体

1978年10月11日受理, 南西海区水産研究所業績 第82号

* 淡水区水産研究所

** 横浜国立大学

の腹腔内では圧力波形に差がみられないこと、また腹腔内の圧力波のピーク圧は水中圧力波のエネルギー密度と相関関係が認められることなどが明らかになり、内臓器官の損傷には水中圧力波のエネルギー密度と関連のある魚体腹腔内のピーク圧が深く関与していることが推察された。

本実験ではこれらの現象を更に実験的に検討するため、ハマチをモデルとして合成樹脂で作られた模型魚を用いて腹部内の圧力の変化および内部器官の歪特性を調べ、ピーク圧と関連する力学的応答を検討して魚の内部器官が水中衝撃波によって損傷を受ける機構について考察を行なった。

稿を草するにあたり、水中発破問題検討委員会委員長として終始御助力いただいた南西海区水産研究所長、花村宣彦博士ならびに発破実験にさいして水中衝撃波の測定解析について御指導いただいた横浜国立大学教授、福山郁生博士に心から感謝の意を表する。

本実験は水産資源保護協会の水中発破問題検討委員会と連携して行なわれたものであり、試験実施のうえで有益な助言と協力をいただいた庄野五一郎会長ならびに吉田修二郎参事に深謝する。

材 料 お よ び 方 法

実験に用いた模型魚は Fig. 1 に示すように紡錘形で骨格部、両体側の筋肉部および内臓部などの部分からなり、魚体と力学的性質ができるだけ類似した材質を用いて作られた。内臓は2部にわかれ、Aは腎臓部、Bは肝臓部を想定している。

実験の実施場所、爆源の種類および魚体外の水中圧力波など測定方法等は前報¹⁾と同様である。

歪は、模型魚の内臓部に抵抗線歪ゲージを貼りつけて測定した。歪ゲージの貼りつけ位置は Fig. 1 に示

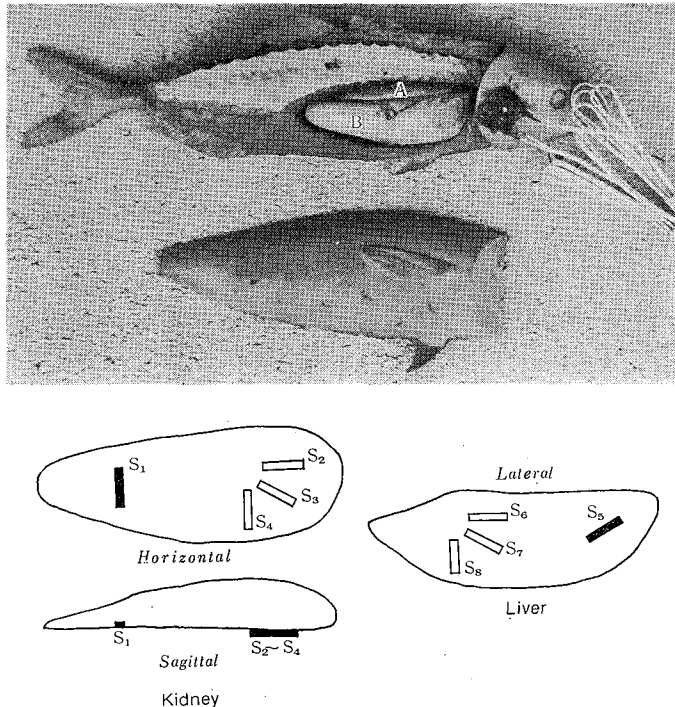


Fig. 1. A fish dummy used for the experiment and arrangement of the strain gauge in the kidney and liver. Strain gauges of S1 and S5 were set at inside and others were at surface.

した。内臓部AのS₁は樹脂に埋めこんだ1軸ゲージで、S₂、S₃、S₄は樹脂表面に貼り付けた3軸ゲージである。これらは脊椎とうきぶくろに挟まれた位置にある腎臓部の圧力波特性を検討することを目的とした。この場合、歪の測定には内臓部のBを除いて、この部分にうきぶくろを想定してゴム風船を挿入した。

内臓Bにとりつけたゲージのうち、S₂は樹脂内に埋めこんだ1軸ゲージで、S₆、S₇、S₈は樹脂側面に貼り付けた3軸ゲージである。使用した歪ゲージは共和電業社製KFC-2-C1-11(1軸ゲージ)およびKFC-2-D-17-11(3軸ゲージ)である。歪ゲージはブリッジ回路に結合し、その出力信号は動歪計(新興通信工業社製DS6/MTY)を通して、データーレコーダー(Ampex-FR1300)に収録した。記録の再生はトランジェントレコーダー(Biomation 802)およびX-Yレコーダー(渡辺測器WX-481)を使って行なった。さらにトランジェントレコーダーでAD変換したデーターを小型電子計算機(NOVA-01)に入れて、歪ロゼッタ解析を行なった。

結 果

1. 腹部内の圧力波形および圧力波の大きさについて

圧力計を模型魚の肝臓部の表面にとりつけた場合と内部に埋めこんだ場合に得られた圧力波形および水中圧力波の例をFig. 2に示した。また、水中圧力波および腹部内の圧力波のピーク圧、インパルスおよびエネルギー密度*との関係をFig. 3に示した。

Fig. 2から模型魚の腹部内圧力波の波動の立ち上がり時間および持続時間(パルス幅)をみると内臓部の表面と内部では電気雷管、CCRともほとんど差がないことがわかる。また、水中圧力波のエネルギー密度とそれに対応した腹部内圧力波のピーク圧は内臓の表面でも内部でも大きな違いはない。すなわち同一直線で表わされる(Fig. 3)。また、模型魚における腹部内圧力波のピーク圧は、水中圧力波のピーク圧に対し

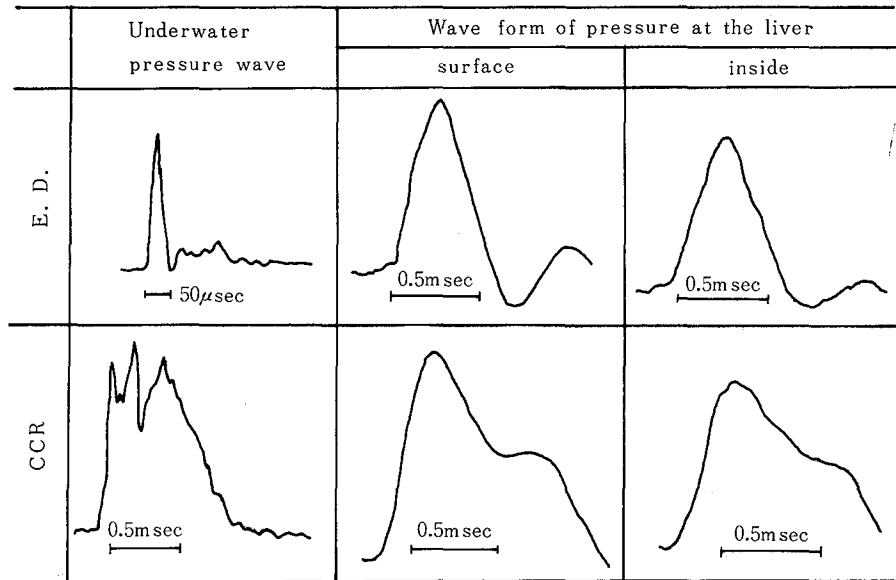


Fig. 2. Pressure wave forms of the underwater pressure wave and in the abdominal cavity of the fish dummy. E. D., electric detonator; CCR, concrete cracker.

*エネルギー密度を求める場合、媒質の密度と音速を知らなければならないが、模型魚では水の密度と音速を使ったのでこの値は相対値である。

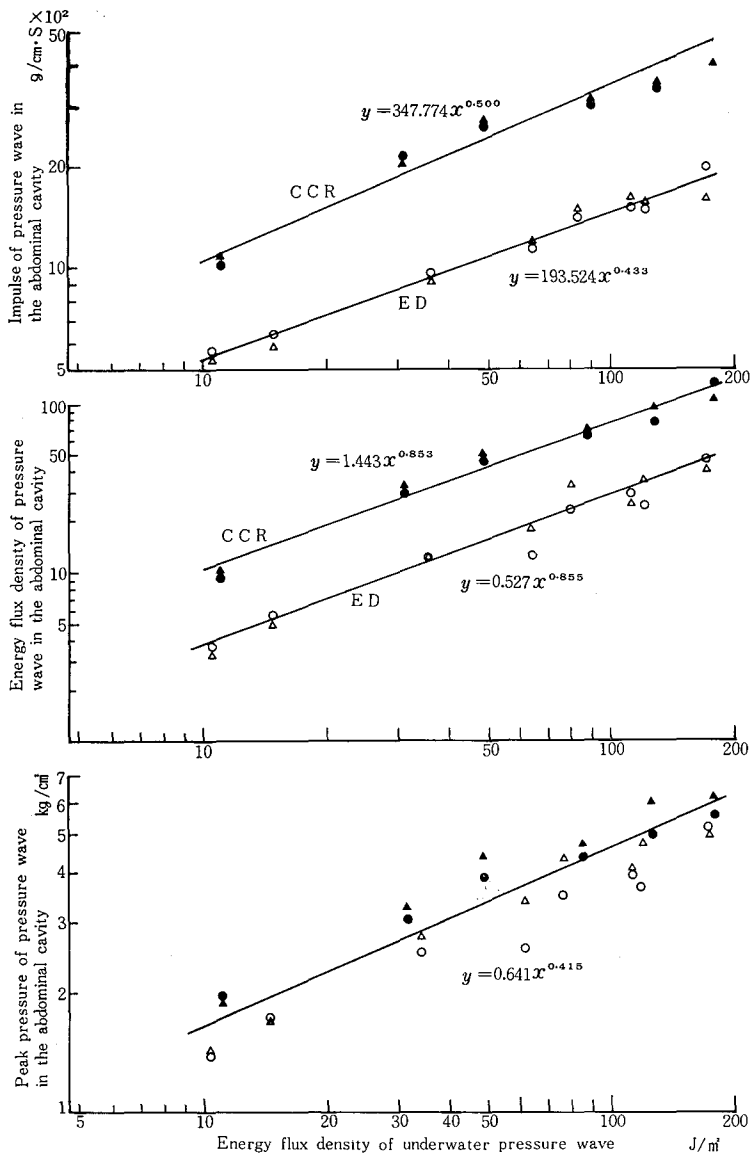


Fig. 3. Relationship between the pressure wave characters of the pressure wave in the abdominal cavity and the energy flux density of the underwater pressure wave. The values shown as open and closed triangles are measured in the inside of the abdominal cavity and those of circles are on the surface. CCR, concrete cracker; ED, electric detonator.

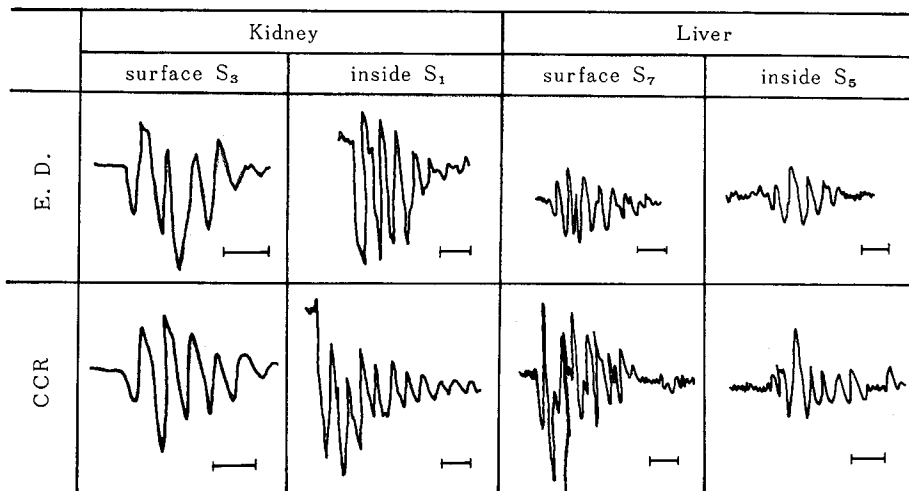


Fig. 4. Example waves form of the strain wave measured at each portion of the fish dummy. Refer to Figure 1 for the details of each portion, S1, S3, S5 and S7. E. D., electric detonator; CCR, concrete cracker. Scale denotes 5.0 ms.

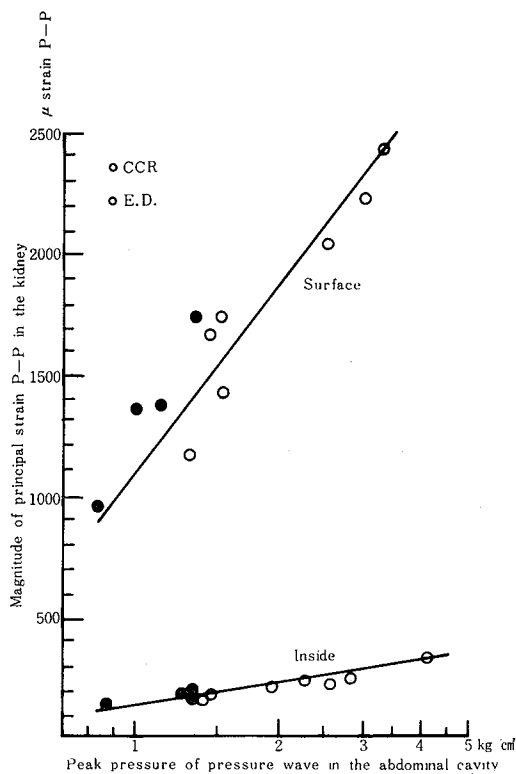


Fig. 5. Relationship between the magnitude of principal strain P-P in the kidney and the peak pressure of the pressure wave in the abdominal cavity measured at the surface and inside.

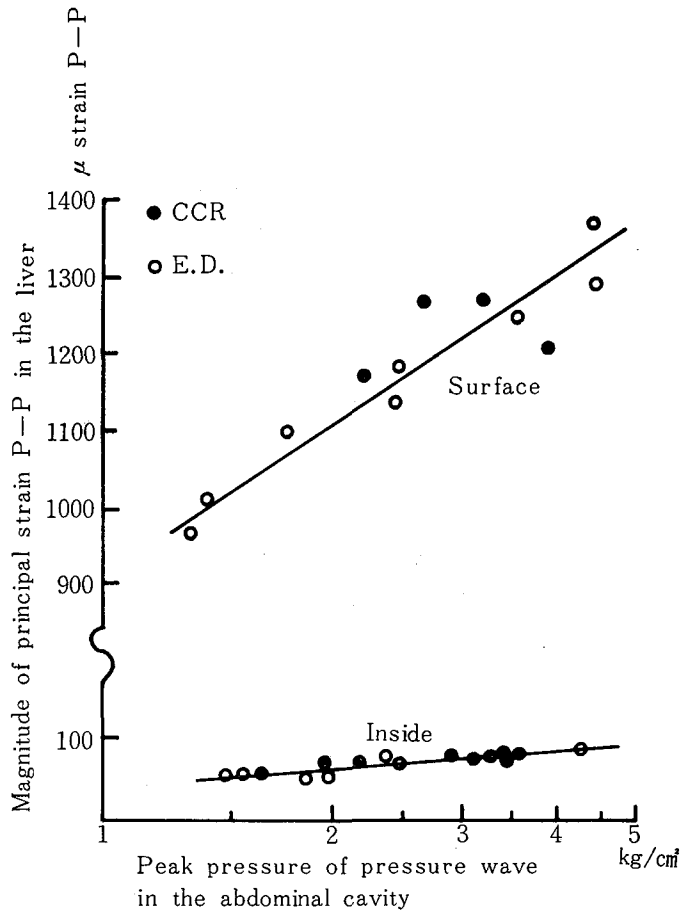


Fig. 6. Relationship between the magnitude of principal strain P-P in the liver and the peak pressure of the pressure wave in the abdominal cavity measured at the surface and inside.

て電気雷管では10~20%, CCRでは50~70%にそれぞれ相当していた。

これらの模型魚における腹部内圧力波の波形特性ならびに水中圧力波に対する減衰率はハマチの生鮮魚を用いた場合の前報の実験結果と近似している。また、水中圧力波のエネルギー密度と腹部内圧力波のインパルスおよびエネルギー密度との関係は、Fig. 3で明らかのように電気雷管とCCRとは異なったものになるが、ピーク圧との関連で表わすと前述したように両者の間には $y = 0.641x^{0.415}$ ($r = 0.9282$) の相関性が認められる。

2. 内臓部の歪について

模型魚の腹部の歪波形の例を Fig. 4 に、また、模型魚の腹部内圧力波のピーク圧と内臓の主歪の大きさとの関係を Fig. 5 (腎臓)、Fig. 6 (肝臓) にそれぞれ示した。歪の大きさの表示は正圧部ピーク圧から負圧部ピーク圧までの大きさ (P-P) で示した。ここでは腹部内圧力波のピーク圧が内部器官に及ぼす影響を内臓における歪を測定することにより検討した。

この場合、模型魚の腹部内に圧力計と歪ゲージを同時にとりつけることが困難であったので、魚体外の水

水中圧力波の大きさと内臓の歪を同時に測定し、すでに検討した水中圧力波のエネルギー密度と腹部内圧力波のピーク圧の関係式 $y=0.641x^{0.415}$ (Fig. 3) から歪測定時の腹部内圧力波のピーク圧を算出し対応させた。

爆源が電気雷管あるいはCCRのいずれでも同一直線上にプロットされる。これより、腹部内圧力波のピーク圧と内臓の歪の大きさの間には相関がみられ、この関係は水中圧力波の波形には影響されないことがわかる。

また、内臓部の表面の歪の振幅は、腎臓部、肝臓部ともに内部の歪の振幅に比べてはるかに大きい。さらに Fig. 5 と Fig. 6 で表面における腹部内圧力波のピーク圧の増加に対する内臓の主歪の振幅の増加を比較すると、腎臓部が肝臓部に比べ著しく大きいことがわかる。このちがいは実際的水中発破における被爆魚の解剖観察でも水中圧力波の強さの増加に対する内臓器官の損傷程度の増加率は腎臓が消化管や肝臓におけるよりも大きいこととよく一致している。

考 察

水中発破によって被害を受けた魚の肝臓の症状は肝被膜の欠損とそれに伴う出血が主体となっており、損傷が内部にまで及ぶことは少ない。このことは魚の内部器官の水中圧力波の歪応答の振幅が表面においては内部におけるよりもはるかに大きいことと関係があるものと考えられる。

実際の被爆にさいして、腎臓部は他の内臓部と比較してピーク圧の増加による損傷が急激に大きくなっているが、これは模型魚で観察されたように腎臓部における水中圧力波のピーク圧の増加に対応する歪の振幅の増加率が肝臓部よりも大きいことによるものと推察される。

これらの実験結果を総合的に検討すると、被爆による内臓の損傷は、内部器官の組織の歪の振幅と強い関連があり、大きな歪の振幅が与えられることによって生ずるものと思われる。すなわち、内部器官の損傷は、内部器官の組織の歪の振幅に起因しているものとみなされる。またこの歪の振幅は腹腔内圧力波のピーク圧は水中圧力波のエネルギー密度と関連している。前報で魚の内部器官の損傷が水中圧力波のエネルギー密度との関係で検討できたことについては損傷機構の本質的なものではないが、今までのことを総合すれば魚体の力学的な応答特性から水中圧力波のエネルギー密度と腹腔内圧力のピーク圧が高い相関を示していることによるものと理解される。

摘 要

水中圧力波の魚類への損傷機構を明らかにするため、合成樹脂で作成した模型魚体を使用して水中圧力波の内部器官への伝播等について検討した。得られた結果はつぎのとおりである。

- 1) 水中圧力波のエネルギー密度と腹部内圧力のピーク圧との間には、生鮮魚の場合と同様に本実験に用いた模型魚においても相関がみられた。このことは魚類の水中衝撃圧による損傷は腹部内圧力波のピーク圧との関連で論議できることを示していると判断された。
- 2) 腹部内圧力波のピーク圧と主な歪の振幅は、電気雷管とCCRとも同一の線上にプロットされ、強い相関が認められた。また、内臓表面における歪の振幅は内部の振幅よりも予想以上に大きい。さらに部位関係では、腎臓部における腹部内圧力波の増加に対する歪の振幅の増加率は、肝臓部よりも大きい。
- 3) 損傷を受けた肝臓を組織学的に検討すると表皮に近い組織の剝離とそれともなう出血が主体となっており、内部まで及ぶことは少ない。これは魚の腹部内圧力波の歪応答の振幅は表面が内部より大きいことと関連がある。また、腎臓部の歪の振幅の増加率が他の器官より大きいことは腎臓が損傷を受け易いことを示している。
- 4) これらのことから、魚の内部諸器官の水中衝撃波による損傷は主に内部器官のそれぞれの組織の歪の振

幅に起因するものとみなされた。この歪の振幅は腹部内圧力波のピーク圧との関連がある。さらにこの腹部内圧力波のピーク圧は水中圧力波のエネルギー密度と相関がみられる。

文 献

- 1) 梅沢敏・阪口清次・福原修・藤谷超・小川輝繁, 1978: 水中衝撃圧の魚類に及ぼす損傷機構に関する研究-I, 水中圧力波の生鮮魚の腹部内における力学的応答. 本誌 (11), 47~55.