

氏名	花 崎 絃 一 はな さき こう いち
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 557 号
学位授与の日付	昭 和 47 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	水 中 爆 破 に 関 す る 研 究
論文調査委員	(主 査) 教 授 伊 藤 一 郎 教 授 平 松 良 雄 教 授 吉 住 永 三 郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、近年海洋開発等に関連してその重要性が認められてきている水中爆破について、基礎的な諸問題を系統的に研究した結果をとりまとめたもので、9章から成っている。

第1章は緒論で、まず、水中爆破に関連する既往の研究の状況とそれらの成果の概要を述べ、水中爆破の研究が立ちおけているために、研究すべき基礎的な問題がなお多く残されていることを指摘し、この研究の目的と内容を明らかにしている。

第2章では、水中爆発に伴う水中圧力波のピーク圧とその減衰性について実験的に研究した結果を述べ、また、第3章では、水中圧力波の伝播特性に関する理論的研究の結果を示し、前章で述べた実験結果の考察に資している。まず、第2章では、圧電体を用いた測圧器による方法と、著者がこの研究ではじめて試みた水面での波内粒子速度の測定結果を利用する方法の両者により、水中で電気雷管を爆発させたときに生ずる水中圧力波について測定した結果を比較検討し、ピーク圧としては、後者の方法で求めた値がより正確と考えられることを述べ、また、伝播距離に対するピーク圧の減衰指数としては、いずれの方法で測定してもほぼ1.4の値が得られたが、この値は、従来発表されている値にくらべてやや大きいことを指摘している。ついで、第3章では、水中圧力波が球面波として伝播する場合について詳しい理論的な考察を行ない、球面圧力波の粒子速度と圧力との関係は、波形や伝播距離の影響により変化するため、平面圧力波におけるように、両者の関係が単なる比例関係では示し得ないことを明らかにし、このことを考慮すれば、水中圧力波の測定には、著者の実験に用いた二つの方法を併用するのが望ましいと述べている。さらに、著者の行なった理論的研究の結果によれば、著者の実験では伝播距離に対するピーク圧の減衰指数がやや大きい値として得られた理由は、媒質によるエネルギー吸収によって説明できると述べている。

第4章では、理論計算がむずかしいと考えられる条件のもとでの水中圧力波の伝播現象を、差分近似を用い数値計算により波動方程式を解いて検討した結果について述べている。まず、この方法を水中圧力波の伝播現象の解析に適用する場合に必要な状態方程式の修正についての著者の考えを述べ、ついで、媒質

によるエネルギー吸収を考慮するために導入した Von Neumann のダンピング項  $C_q$  を含む運動方程式を導き、これを用いて、単一正弦波波形をもつ圧力波が水中を伝播する場合について種々の条件を与えて解析した結果を示している。また、その結果より、この方法を用いて水中圧力波の伝播現象を正しく解析するために必要となる計算手法上の問題点とその対策について明示し、さらに、波長の短い圧力波ほど、 $C_q$  の値がピーク圧と伝播距離との関係に大きい影響を及ぼすことを指摘している。

第5章では、モルタルブロックあるいはコンクリートブロックに水中圧力波が入射する場合、およびブロックから圧力波が水中に投射される場合の両者について、水とブロックとの境界面における入射波、透過波および反射波間に存在する関係を実験的に検討した結果を述べ、圧力あるいは力積の授受関係は、音響理論を適用して求めても大きな誤りがないことを示している。また、水中での穿孔爆破の際に生ずる水中圧力波のピーク圧は、水中爆発の際に生ずるそれらにくらべてかなり小さく、両者の値の差は、最小抵抗線の長さが増すにつれて著しくなることを示している。さらに、水中圧力波がブロックに入射する場合については、別に数値解析による研究も行ない、ブロック内の各点に生ずる応力波形およびひずみ波形を求めて詳しく検討した結果から、実験により求めたひずみ記録よりブロック内に生じている応力値を推定する場合に注意すべき問題点を明らかにしている。

第6章では、水中圧力波の圧力軽減法の一つとしてエアカーテン法をとりあげ、模型実験および差分近似による波動方程式の解法を用いた解析的な研究により、エアカーテンによる圧力軽減効果について検討した結果を述べている。まず、スピーカにより水中に生じた圧力波が気柱列を通過した場合と通過しない場合とについて、それぞれの圧力値を圧電体を用いた測圧器により測定して対比するという方法で実験を行なった結果、気柱列を通過した圧力波については、気柱間隔が狭くなるほど、また、波長の長い圧力波ほど、ピーク圧の減衰が著しいことを見出している。さらに、解析的な研究では、気柱断面積が同じであれば気柱間隔が狭くなるほど、また、気柱間隔が同じであれば気柱断面積が大きくなるほど、圧力軽減効果が大きくなることを示し、エアカーテン法の実用的な設計に対する示唆を与えている。

第7章では、水中における一自由面爆破の破壊機構を究明するための基礎資料を得る目的で、水圧が爆破により生ずるクレータの大きさや形状に与える影響について、実験的に研究した結果を述べている。すなわち、供試体としてセメントモルタルを用い、その表面に  $20 \text{ kg/cm}^2$  までの範囲内での種々の大きさの圧力を作用させた状態で、また、最小抵抗線の長さを種々変えて、多くのクレータ試験を実施し、加圧力とクレータの体積および形状との関係を調べている。表面上に加圧する方法には、高压容器内にて圧縮空気を用いて加圧する方法と、内部が水で満たされた深さほぼ  $200 \text{ m}$  の立坑内に供試体を垂下し、水圧により加圧する方法の両者を用いている。その結果、同じ最小抵抗線で同じ薬量を用いて爆破を行なっても、表面に加わる圧力が大きくなるにつれてクレータの体積が小さくなることを見出し、加圧力とクレータ体積との関係を示す実験式を提示している。また、クレータの形状についても、表面に加わる圧力の大きさに応じてクレータの形が変化していく状態を具体的に述べている。

第8章では、水圧下で実施される一自由面爆破により岩盤内に生じている応力状態について、理論的および解析的に研究した結果と、破壊機構について考察した結果を述べている。まず、双曲座標と二次元弾性問題における Airy の応力関数を用いて、円筒状長装薬の爆発による一自由面爆破の際に岩盤内に生ず

る応力状態を、平面ひずみ問題として理論的に検討するとともに、さらに、球状装薬の爆発による一自由面爆破の際に岩盤内に生ずる応力状態を、有限要素法を用いて軸対称問題として解析し、そのいずれの場合に対しても、自由面上に加圧されている場合と加圧されていない場合とで、応力の大きさや応力分布にどのような差違が現われるかについて詳しく述べている。ついで、得られた応力分布から破壊の様相を考察し、第7章に述べた実験において、クレータの体積や形状に特徴のある破壊が生じた理由は、著者がこの研究で求めた応力分布状態から充分説明しようと述べている。最後に、以上に述べた種々の方法による研究結果を、総合的に対比して考察することにより得られた、水中爆破の際の岩盤の破壊機構についての著者の考えを述べている。

第9章は結論で、この研究の成果を総括したものである。

### 論文審査の結果の要旨

海洋開発等に関連して、水中爆破の必要性は最近とみに高まってきているにもかかわらず、これまでに水中爆破に関する系統的な研究がきわめて少なく、公害その他関連する重要な諸問題がまだ充分解明されていないために、今日なお自由に実施できない状態にある。この論文は、水中爆破に関する基礎的な問題として、水中爆破により生ずる水中圧力波の性状、および水中爆破による岩盤の破壊機構の二つの問題を重点的にとりあげ、これらに関し理論的、解析的ならびに実験的に研究した結果をとりまとめたもので、得られた多くの成果のうち、注目すべきものをあげると、つぎのとおりである。

1. 水中圧力波の測定法として、著者がはじめて試みた水面での粒子速度の測定結果を利用する方法と、従来から主として用いられている電氣的測圧器による方法とを比較検討し、圧力値を正確に求めるためには、前者がすぐれていることを明らかにし、この方法で求めた正確な圧力値を用いて、これまでに発表されている水中圧力波の距離による減衰特性に検討を加え、より詳細な資料を提供した。

2. 媒質によるエネルギー吸収がある場合とない場合について、球面波として伝播する水中圧力波の波内粒子速度と圧力との関係を理論的に論じ、平面波として伝播する場合のそれらの間の関係との相違点を明らかにした。

3. 水中圧力波がコンクリート構造物に入射する場合の、水と構造物との境界面における入射波、透過波および反射波間の圧力あるいは力積の授受関係は、音響理論を適用して求めうことを示した。これは、水中圧力波が構造物に与える影響を検討する場合に必要な基本的な関係を明示したものとして評価できる。

4. エアカーテンによる水中圧力波の圧力軽減効果について研究し、エアカーテンを通過することにより、波長の長い圧力波ほどピーク圧の減衰が著しいこと、気柱断面積が同じであれば気柱間隔が狭くなるほど、また、気柱間隔が同じであれば気柱断面積が大きくなるほど、いずれも圧力軽減効果が大きくなることなどを明らかにし、エアカーテン法の設計に対し有用な資料を与えた。

5. 種々の水圧下で実施した多くのクレータ試験の結果から、水中爆破により生ずるクレータの形や大きさと水圧との間の関係を明らかにするとともに、一方、水中爆破にともない岩盤内に生じている応力状態を解析的に詳しく検討することにより、水中爆破の際にみられる特異な破壊現象と破壊機構を明快に説

明した。とくに、著者が提唱した破壊機構の理論は、爆破工学の進歩に寄与するところが大きいと考える。

これを要するに、この論文は、水中爆破に関する従来の研究をさらに前進させ、とくに基本的に重要な問題である水中圧力波の性状と水中爆破における岩盤の破壊機構とを明らかにし、水中爆破技術の開発に対し基礎的な知見を提供したものであって、学術上はもとより工業上にも貢献するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。