

氏 名	佐 々 宏 一
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 5 3 号
学位授与の日付	昭 和 37 年 12 月 18 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専 攻	工 学 研 究 科 鉱 山 学 専 攻
学位論文題目	爆破による破壊機構に関する研究

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、岩石内に装てんされた爆薬の爆ごうにともなう岩石内に発生する応力状態を明らかにすることにより、爆破による破壊機構を解明しようと試みた研究の結果を記したもので、10章からなっている。

第1章の緒言では、この研究の目的について記している。すなわち、爆破による破壊機構に関しては、総合的な立場から一貫して行なわれた研究が少ないことを指摘し、従来の研究においてもなお明らかにされていない事柄を系統だててさらに深く研究し、これらの研究結果と従来の研究結果とをあわせ検討することによって、爆破による破壊機構を総合的に考察すべきであると述べている。

第2章では、爆ごう圧の大きさとそれが時間的にどのように変化するかを測定するために、著者が試作した圧力計の構造および較正方法などについて述べている。まず、この圧力計は、変換素子としてチタン酸バリウム磁器圧電体を使用し、爆薬の爆ごうによる衝撃によって圧力計を構成している鋼棒内に生ずるひずみに対応する圧電体出力を測定し、その結果より間接的に爆ごう圧の大きさが求められるような構造をもつことを示し、その較正は、圧力計に作用した応力波の伝播速度と粒子速度とを実測し、計算によってその応力値を求め、同時に測定した圧電体出力とこの応力値との関係を用いて行なったことを述べている。この圧力計を用いて爆ごう圧を求めるためには、鋼棒内に生ずる応力波の衝撃端面からの距離による減衰状態、ならびに爆薬の爆速と応力最高値との関係が明らかにされていなければならない。第3章はこれらについて検討した結果を述べている。すなわち、爆薬の爆ごうによる衝撃によって鋼棒内に生ずる応力波を衝撃端面の近傍で測定し、その結果より、衝撃点近傍においては、応力最高値は伝播距離のほぼ平方根に反比例して減衰することを述べ、また爆速 3.3km/s および 2.8km/s の爆ごう波で衝撃した場合の被衝撃面における応力最高値は、それぞれ $12 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ および $8 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 程度の値に達することを示している。

第4章では、装薬室内壁に作用する爆ごう圧について記している。まず、爆ごう波の衝突による被衝撃

面上での圧力増加および爆ごう理論による爆ごう波の構造と鋼棒内応力波形との関係を検討し、圧電型圧力計による測定結果から爆ごう圧の値を求める方法についての根拠を明らかにし、ついで3号竹ダイナマイトを用いて行なった装薬孔内での実測結果について検討した結果、装薬室壁面に作用する爆ごう波のC-J面圧力の値として、爆速2.8km/s、3.3km/sおよび3.5km/sに対応してそれぞれほぼ $2 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ 、 $3 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ および $4 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ の値がえられたことを述べ、これらの値は爆ごう理論にもとづく計算値ともほぼ一致することを示している。さらにこのような爆ごう圧が、装薬孔内において時間的にどのような変化をとらないつつ作用するものであるかについても具体的に説明している。

第5章ないし第8章においては、爆薬の爆ごうにともなって発生する岩盤内の応力状態について述べている。まず第5章では、岩石粒子の変位および変位速度の実測値を弾性理論から導いた応力の計算式に適用し、自由面がない場合に岩盤内に発生する応力の値を時間の函数として求め、爆源から投射される縦波による岩盤内の応力状態について検討している。その結果、爆源を原点とする球座標をもってこれらの応力を表わした場合、応力 $\widehat{rr}$ は爆源近傍では非振動的につねに圧縮応力として作用するが、爆源からある程度離れた点では振動的となり、一方応力 $\widehat{\theta\theta}$ および $\widehat{\phi\phi}$ は、初めは圧縮応力として作用するがすぐ引張応力に変化し、その最高値は引張応力として作用することを述べ、またこれらの応力の最高値は、爆源近傍では距離のほぼ3乗に反比例して減衰するが、爆源から遠く離れるにつれてその減衰指数の値も小さくなることを示している。ついでこれらの応力値におよぼす爆薬の密閉効果については第6章で検討し、込め物によって爆薬を密閉した場合の応力最高値は、密閉しない場合のそれに比べてほぼ3倍にも達することを示している。

第7章では、自由面上に生ずる応力を、自由面上で測定したひずみの値を弾性理論に適用して求めた値と、変位および変位速度を測定し弾性波の反射理論を用いて求めた値とを比較して、両者がほぼ一致することを明らかにし、弾性波の反射理論を用いて、一つの自由面をもつ岩盤内の応力が求められることを確かめている。さらにまた、最小抵抗線と自由面との交点を原点とする極座標 η, ψ をとって自由面上の応力を表わすと、原点では $\widehat{\eta\eta} = \widehat{\psi\psi}$ となり、自由面上に生ずる応力の最高値を示し、この点へ入射する応力波の $\widehat{\theta\theta}$ の最高値のほぼ2倍の値を示す引張応力であることを指摘し、また爆破の主対象となる範囲内では、 $\widehat{\psi\psi}$ は引張応力として作用し、その最高値は引張応力として作用する場合の $\widehat{\eta\eta}$ のそれよりも大きく、したがって自由面上では、 $\widehat{\eta\eta}$ による η 方向のき裂が原点より放射状に発生する可能性があることを示唆している。

第8章では、入射応力波に反射応力波が重畳することによって複雑な様相を呈する自由面近傍の岩盤中の応力状態について解明し、つぎのような興味ある結果をえている。まず、岩盤内に発生する三つの主応力はいずれも時間的にその値を変化するが、その最高値についてみると、一つは圧縮応力、他の二つは引張応力として作用することを示し、ついでこれらの主応力をそれぞれ $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ とし、さらに爆源を原点とし最小抵抗線の方をZ軸とする球座標 r, θ, ϕ をとってこれらの主応力の作用方向を調べてみると、 σ_3 のそれはつねに一定で、 $r\theta$ 面に直角に作用するが、 $r\theta$ 面内に作用する σ_1, σ_2 の方向は、反射波が到達するまではそれぞれ r 方向およびそれに直角な方向と一致するが、反射波の到達とともにこれらの方向からはずれ、一般に σ_1 の作用方向はまず σ_3 の作用方向を軸として自由面と平行となる方向へ回転し、

この間にこれと直交する σ_2 は引張応力としての最高値を示すようになる。一般に岩石は引張に弱いために、引張応力の作用する方向に直交するき裂を生ずるものと考えられるので、いまの場合には、爆源近傍では r 方向に一致したき裂を生ずるが、自由面に近づき、最小抵抗線からの距離が増すにつれて r 方向からはずれ、自由面に平行なき裂を生ずるようになると述べている。またとくに自由面近傍では、 σ_3 の最高値は σ_2 のそれよりも大きく、したがって自由面上および自由面近傍では、第7章でも述べたように、 σ_3 によって最小抵抗線を中心とする放射状のき裂が生成することを指摘している。さらにまた、自由面からの反射波と入射波との重畳によって発生するいわゆるホプキンソン効果による引張応力は、最小抵抗線近傍にのみ発生し、自由面と平行なき裂を誘発するが、この引張応力の大きさは入射応力波の波長に大きな関係をもち、波長の増大とともに急激に減少することを示している。

第9章では、以上の研究結果を総合して爆破による岩石の破壊機構を考察し、つぎのように述べている。すなわち、爆薬の爆ごうにより周囲の岩盤内へ投射される衝撃的な高圧波動の波頭圧力値は、岩石の圧縮強度よりもはるかに大きいために、装薬孔近傍に粉碎圏を生じ、そのために粉碎圏をこえて投射される応力波は減衰するが、なお岩石の引張強度よりも大きい波頭圧力値をもち、しかもその伝播にともなって岩石内に主応力 σ_2 および σ_3 などの引張応力を誘発するから、これらの引張応力によって第7章および第8章に示したような方向をもつき裂を生じ、さらにこのようなき裂によって弱められた状態となった岩盤に、なお残留しているガス圧が作用することによってさらにその破壊を助長し、全体としては朝顔の花形を呈するクレータが完成するものと推論している。なお別に爆破実験を行なって、き裂の発生状況やクレータの形状を観察し、以上の推論の正しいことを実証している。

第10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

爆破による破壊機構に関しては、従来からかなり多くの研究が行なわれてきているが、その性質上実際の破壊圏内での現象の測定が困難なため、なお明らかにされていない問題も多い。

この研究において著者は、まず、従来爆ごう理論にもとづいてその大きさのみを推定されていた爆ごう圧を、試作した圧電型圧力計を用いて実測し、その大きさのみならず時間的にどのような変化をともしつつ作用するものであるかをも示し、また爆源から岩盤内へ投射される応力波についても、応力最高値と爆ごう圧との関係、応力最高値の距離による減衰状態などを明らかにしている。

さらに著者は、破壊をともしない比較的小規模な爆破の場合について、岩盤内に投射された応力波によって岩盤内に生ずる応力状態を、弾性理論から導かれた応力の計算式や弾性波の反射理論などを適用して詳細に検討し、さらに岩石の強度的な特性をも考慮することによって、一自由面爆破の際に岩盤内に生成するき裂の状態とそれにもとづく破壊の進展とについて推論し、ついで破壊をともした爆破の際の破壊の様相を観察することによって、これらの推論がほぼ妥当なことを実証している。とくに第7章および第8章に述べている自由面上および自由面近傍における応力状態に関する研究は、従来のこの種の研究をさらに一步進めた独自のもので、爆破による破壊機構について新しい知見を加えたものである。

要するにこの研究によってえられた成果は、爆源近傍に生ずる複雑な破壊についてはなお検討の余地を残しているとはいえ、爆破による破壊機構の解明上有意義な知見を与え、ひいては爆破作業の合理化に対して寄与したものであって、学術上、実際上貢献するところが少なくない。よってこの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。