

発破における爆薬の不爆現象とその抑制方法に関する研究

学位論文内容の要旨

岩盤掘削方法としての火薬類による発破工法は、重機による機械工法と比較して工事施工期間が比較的短期間で実施できるという経済面、また機械による継続的振動・騒音の発生ではなく、発破時の一時的断続的振動・騒音の発生という環境面でも優れた面を有している。しかし、火薬類の取り扱い、火薬類の不爆が発生した際の処置、さらに、火薬類の性能が正常に発揮されない場合の岩盤掘削不完全状態、等においては、特に安全面に対する配慮が必要となり、特殊な技術・経験を要求される。また事実、岩盤掘削不完全状態において岩石剥離落下による人身事故も発生している。

本研究では、火薬類を使用した発破工法における安全性向上のための、爆薬の不爆現象の発生要因を明らかにするとともに、その発生の抑制方法を提案することを目的とした。特に、トンネルなどの地下構造物建設工事のための発破施工時の爆薬不爆現象に関して、発生要因、およびその発生抑制効果の検証を可視化することで検討を進め、さらに実際の発破施工現場における実証試験も行い、その有効性を確認した。なお、本研究では爆薬として含水爆薬を用いた。

本論文は緒論、結論を含む7章より構成されており、各章の概要は以下のようである。

第1章は緒論であり、研究の背景と目的を示すとともに、発破に使用される産業爆薬の基本特性、爆薬に起因する不爆現象に関する既往の研究を展望した。

第2章では、含水爆薬を用いて、その爆薬が装填される容器材質により爆薬の爆轟特性がどのように影響されるか検討した。容器材質としてアクリル樹脂 (PMMA)、銅、アルミニウムを選択し、容器の物理的特性値が爆轟特性、特に爆轟速度 (爆速) にどのような影響を及ぼすか、光学的観測手法を用いて可視化実験を行った。可視化し得られた映像から爆速を解析算出した結果、材質の密度とその音速との積より求められる音響インピーダンス密度と爆薬の爆速との関係が良好な相関関係を示すことを明らかにした。すなわち爆薬を装填する容器材質の物理的特性値を把握することにより、得られる爆薬の爆速が推定できることを示唆した。

第3章では、隣接孔より岩盤中を伝播し、注視する爆薬に印加された圧力波による爆薬の爆轟特性、および爆薬を爆発させるための起爆システムへの影響、そして、これらの事象が岩盤を破碎する作用にどう影響するかを論じた。通常、実際の発破工法として段発発破工法が採用されており、爆薬は順次起爆されるため、点火順序が後の爆薬は先の爆薬の爆轟による衝撃波、および圧力波を印加された後に起爆されることになる。本検討では印加後の時間設定を数ミリ秒から千ミリ秒に設定し、起爆システムに電気雷管を使用して実施した。圧力波印加後、数ミリ秒の不爆期間を有するが、爆轟特性の一指標、爆速においては不爆期間後、初期爆速の8割前後の爆速を示し、時間経過とともに爆

速が初期爆速に近づくように回復していくことを明らかにした。雷管への影響に関しては、爆薬の種類により爆薬内部の圧力波の伝播状況が異なり、雷管管体の変形度合いが異なることを明らかにした。岩盤破碎の作用評価に関しては爆薬爆轟時の放出エネルギーを測定した。初期エネルギーの8割程度まで低下しており、破碎効果に大きく影響することが予測されることを示した。

第4章および第5章では、穿孔内の爆薬が爆発した際に発生する圧力波が、同一孔内の未反応の爆薬に及ぼす作用とその結果発生する不爆現象、およびその現象発生抑制に関する基礎的検討に関して論じている。

第4章では、圧力波が未反応の爆薬に作用する機構、不爆が発生するための圧力作用時間を明らかにした。発破工法の一手法であるスームプラスティング工法は、穿孔径より小口径の爆薬を用い、しばしば爆薬の爆轟伝播不良である不爆現象がみられる。その工法を模擬した可視化実験において、穿孔と爆薬との空間内を先行した圧力波が爆薬を圧縮し、その圧縮時間が60マイクロ秒程度に達した後に爆薬内に爆轟波が到達したときにそのところで爆轟中断することを明らかにした。また、穿孔内径と爆薬の直径との比が3倍以下の場合に不爆現象が発生しやすいことも明らかにした。

第5章では、不爆現象の発生抑制に関して、4種の具体的方法を挙げ検討を実施した。一つめは爆薬そのものの高爆速化であり、高爆速化より不爆現象が生じるための爆薬圧縮時間に到達しにくいことを明らかにした。二つめは穿孔内壁面の状況改善である。内壁面の表面粗さを荒くすることにより圧力波の進行を抑制し、未反応の爆薬が圧縮されにくい状況を作ることにより、爆轟伝播性が向上することを示した。三つ目は穿孔内空間に圧力波進行を阻止するための障害物を置く方法である。障害物を置く位置、障害物の数、障害物の形状など様々な因子が爆轟伝播性に影響することを明らかにした。四つ目は爆轟伝播性そのものが優れた導爆線を用いた検討を実施した。伝播性の確認を実施するとともに岩盤破損に対する疑似評価を行うため鋼管の破断状況を検証し、著しく岩盤損傷を与えるものではないことを明らかにした。

第6章では、第5章で提案した爆薬の高爆速化による方法と導爆線を用いた方法との2手法に関して現場試験を実施し、不爆現象発生抑制方法の有効性を明らかにした。前者の方法では現行の発破工法と爆薬を代替するだけで効果が得られること、後者の方法では発破施工時の最適化条件の検討という過程が増えるものの、期待される破碎効果が得られることを検証した。また手法の実行可能性確立のための検討として、高爆速爆薬製造のための懸念事項、導爆線を実現場で使用運用するための問題点も考察した。

第7章は結論であり、各章で得られた成果をまとめている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 子 勝比古

副 査 教 授 藤 井 義 明

副 査 准教授 川 崎 了

学 位 論 文 題 名

発破における爆薬の不爆現象とその抑制方法に関する研究

岩盤掘削工法としての発破工法は、重機による機械工法と比較して、工事施工期間が比較的短く施工性および経済性が優れている。また、機械による継続的振動・騒音の発生と異なり、発破時の一時的振動・騒音の発生であるから環境面の問題も少ない。しかし、火薬類の取り扱い、特に、火薬類の不爆が発生した場合や火薬類の性能が正常に発揮されない場合の安全対策が必要となり、これには特殊な技術・経験が要求される。

本研究は、発破施工の安全性向上のために、爆薬の不爆現象の発生要因を明らかにするとともに、その抑制法を提案することを目的としている。特に、発破における爆薬不爆現象に関して、発生要因とその抑制機構を実験的に検討し、不爆抑制法を提案するとともに実際の発破施工現場における実証試験によりその有効性を確認している。なお、本研究ではトンネルなどの地下構造物建設工事の発破を対象とし、爆薬としては主として含水爆薬が用いられている。

本論文は緒論、結論を含む7章より構成されており、各章の概要は以下のようである。

第1章は緒論であり、研究の背景と目的を示すとともに、発破に使用される産業爆薬の基本特性、爆薬に起因する不爆現象に関する既往の研究を展望している。

第2章では、含水爆薬の爆轟特性に関する基礎検討として、爆薬が装填される容器材質が爆薬の爆轟特性に与える影響について検討している。そして、容器材料の音響インピーダンス密度と爆薬の爆速との間に良好な相関関係が認められることを示し、爆薬を装填する容器材質の物理的特性値から爆薬の爆速が推定できることを示している。

第3章では、隣接孔より岩盤中を伝播した応力波が注視する装薬孔の爆薬に与える影響、特に、応力波による爆薬の爆轟特性の変化と雷管への影響について論じている。応力波印加直後に数ミリ秒の不爆時間を有するが、その不爆時間後の爆速は初期爆速の8割前後の爆速を示し、時間経過とともに初期爆速に回復していくことを明らかにしている。雷管への影響に関しては、爆薬の種類により爆薬内部の圧力波の伝播状況が異なり、雷管管体の変形度合いが異なることを示している。そして、これら不爆抑制には、装薬孔配置の適正化と削孔精度の向上など設計・施行上の配慮が重要であ

ることを指摘している。

第4章および第5章では、装薬孔内で爆薬が爆発した際に発生する圧力波が、同一孔内の未反応の爆薬に及ぼす作用とその結果発生する不爆現象、およびその現象発生抑制に関して実験的検討を行っている。

第4章では、装薬孔内を伝播する圧力波が未反応の爆薬に作用する機構および不爆が発生するための圧力作用時間を明らかにしている。装薬孔と爆薬との間隙内を先行した圧力波により未反応爆薬が圧縮され、その圧縮時間が60マイクロ秒程度に達するとその爆薬位置で爆轟中断が生じることを明らかにしている。また、装薬孔径が爆薬径の3倍以下の場合に不爆現象が発生しやすいことも明らかにしている。

第5章では、不爆抑制法に関して、種々の観点から実験的検討を加えている。そして、爆薬の高爆速化、爆薬の低比重化・大薬径化、爆薬ケースの硬質化、発破孔壁面の粗面化、装薬孔内への障害物挿入、導爆線の利用などが不爆抑制に効果的であることを明らかにしている。そして、これらの方法について現場施工性などを分析し、爆薬の高爆速化、爆薬の低比重化・大薬径化、導爆線の利用が現実的方策であると論じている。

第6章では、第5章で提案した不爆抑制法について現場試験を実施した結果について論じている。そして、爆薬の低比重化・大薬径化と導爆線の利用が不爆抑制に有効であることを明らかにしている。特に、前者の方法は現行の発破工法と爆薬を代替するだけで効果が得られることから現時点で最も推奨できる方策であると論じている。さらに、後者の方法は実用化する上での課題が残されているが従来とは異なる新たな技術展開の可能性を示唆している。

第7章は結論であり、各章で得られた成果をまとめている。

これを要するに著者は、発破における爆薬の不爆現象の発生条件を実験的に解明するとともに不爆抑制法を提案・実用化しており、発破工学ならびに岩盤工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。