

審査の結果の要旨

氏名 梁 英宗

梁 英宗氏より提出された論文では、複雑な機構を持つ打撃式油圧さく岩機による岩石の穿孔効率の向上や、さく岩機の改良・新規開発の効率化を目指して、さく岩機による衝撃貫入試験の結果をもとに応力波の伝播およびビットの岩石への貫入挙動を明らかにするとともに、それらの精密なモデル化に関する研究成果が述べられている。

トンネル掘進や地下空間開発における発破掘削において、発破孔の穿孔に打撃式油圧さく岩機が広く利用されている。さく岩機による打撃穿孔では、さく岩機本体内で油圧によってピストンが前後に駆動され、シャンクロッドに打撃が加えられる。その打撃によって生じた応力波は、シャンクロッド、ロッド継手、ロッド、ビット、岩石を伝播していき、ビットが岩石に貫入することで穿孔が行われる。この動作を毎分2-4千回繰り返す連続打撃穿孔では、さく岩機本体、ピストン、シャンクロッド、ロッド、ビット、岩石が互いに影響をおよぼし合うため、穿孔速度や穿孔効率をあらかじめ知る事ができず、それを実験的に調べることも容易ではなかった。本論文ではビットと岩石の相互作用や、ロッド・ロッド継手での応力波の伝搬挙動のモデル化に特に注力し、先駆的な研究である大久保-西松モデルを大幅に改良した、穿孔過程の精密な数値モデルを作成している。

第1章では、打撃式油圧さく岩機の背景を述べた後に、本論文の目的について述べている。

第2章では、種々のさく岩機の特徴、打撃式さく岩機の機構や、実験結果などに関する従来の研究を紹介している。

第3章では、まず、打撃部（ピストン、シャンクロッド、ロッド、ビット）の形状を精確にモデル化した。一次元応力波伝搬モデルを用い、ピストン・シ

ヤンクロッド間や、ロッド継手での応力波伝搬を種々のモデルで検討し、断面積の変化を考慮したばねモデルが最適なモデルであることを示した。さらに、試験結果と数値計算結果を比較しながら、モデル中の定数の値を求め、応力波伝搬の測定結果を高精度で再現できることを示している。次に打撃部を軸対称モデルとして有限要素法により応力波伝搬の数値計算を行い、横慣性の影響を調べたが、その影響はわずかであり、一次元応力伝搬モデルでほぼ精確に検討できることを示している。

第4章では、直径 64mm のボタンビットによる、稲田花崗岩の衝撃貫入試験時の岩石の貫入抵抗曲線（荷重－貫入量曲線）を精確に求める方法に関して検討している。ロッド中の歪の変化から2点法により計算した貫入抵抗曲線に不自然な雑音が見られ、この原因を詳細に検討し、ビットのねじ部の影響であることを指摘した。この雑音は空打ち（ビットに岩石を押し当てない状態で打撃を行う）でも同様のことが確認されたため、空打ちの結果を用い補正することにより、不自然な雑音を除去できることを示し、従来では精確に求めることが困難であった貫入抵抗曲線を求めることに成功した。この手法により得られた40数打撃の稲田花崗岩での貫入抵抗曲線を精確に求めた結果を詳細に検討し、最大荷重、最大貫入量などのばらつき度合いなども検討している。

第5章では、ロッド径とビット径を変化させた6通りの試験条件で、稲田花崗岩の衝撃貫入試験を行った結果から、4章での成果を利用し、岩石の貫入抵抗曲線を精度よく求めている。その結果、従来の研究では単純に直線で近似されていたが、実際には荷重は貫入量の1.5乗から3乗に比例し、その平均値はほぼ2乗であることを示している。またビットと岩石の接触位置が打撃ごとにランダムにばらつくことがわかった。さらに貫入抵抗曲線へのロッド径の影響はほとんどなく、ビット径（ボタンチップ数）の増大により、荷重の増大が見られることも示している。

第6章では、3章から5章までで得られた結果である応力波伝播とビットの貫入挙動の数値モデルを、一次元-CAEモデル上の油圧さく岩機のシミュレータに組み込み、連続打撃穿孔の数値シミュレーションの実施に成功している。その結果の一例として、貫入抵抗曲線や、ビットと岩石の接触位置のばらつきを考慮すると、ビットに応力波が伝搬した際にビットが岩石と接触しておらず穿孔効率が低下する現象があることを示している。

本研究で得られた成果として、実験結果に基づいて応力波伝播とビットの貫

入挙動を精確にモデル化することで、精度が格段に向上したシミュレータは、実際の連続打撃穿孔の結果を再現できるだけでなく、今後、高出力化、高効率化などを目指したさく岩機の改良や新規開発にも寄与するものと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。