HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A three-dimensional constitutive model for rocks based on a variable elastic modulus [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	LI, Zhaoxin
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15384号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89700
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	LI_Zhaoxin_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　LI Zhaoxin

審査担当者　主　査　特任教授　藤井 義明
副　査　教　授　石川 達也
副　査　教　授　川﨑 了
副　査　准教授　児玉 淳一

学位論文題名

A three-dimensional constitutive model for rocks based on a variable elastic modulus
(可変型弾性係数に基づいた岩石の三次元構成モデル)

本論文では、真三軸応力下における岩石の変形・破壊時の応力とひずみとの関係を表し得る構成モデルの開発が試みられている。岩石は、もっとも単純には線形弾性体と仮定される。これにモール・クーロンなどの破壊条件式と、ひずみ軟化に関する何らかの仮定を組み合わせれば、折れ線型の応力-ひずみ線図が得られる。しかしながら、このような応力-ひずみ線図は、岩石の非線形な応力-ひずみ線図とはかけ離れている。また、岩石破壊時の横ひずみは封圧によらずほぼ一定である、などの知見とも相反する。

非線形な応力-ひずみ線図は、例えば、大久保のコンプライアンス可変型構成方程式でも得られるが、この構成方程式では横ひずみの評価が正確でない。一方、藤井・石島は、弾性構成式の弾性定数の代わりに、伸びひずみに伴い低下する関数を用い、平面ひずみの仮定の下で、強度や摩擦角などを設定することなく、岩石の変形・破壊を表し得る非線形な応力-ひずみ線図が得られることを示した。伸びひずみに伴う剛性低下は、伸び方向に垂直なマイクロクラックの発生・開口を表したものとされており、圧縮に伴い剛性が低下するコンプライアンス可変型構成方程式よりも直感的に理解しやすく、不自然な仮定を用いることなく、横ひずみも導くことができる。しかしながら、藤井・石島の構成方程式では、破壊包絡線が直線となり、現実の岩石とは異なっていた。

そこで著者は、もう 1 つの弾性係数を応力の関数へと変更し、上に凸な破壊包絡線を再現することに成功した。また、単に弾性方程式を 1 つ導入することにより、平面ひずみを三次元へと拡張した。三次元に拡張した構成モデルに応力の関数である弾性係数を導入し、真三軸状態の構成方程式を開発することに成功した。

通常、真三軸状態の破壊条件式は、それだけで多数のパラメーターを必要とする。また、三次元構成方程式ともなると数 10 のパラメーターが必要である。一方、筆者の開発

した構成方程式はたった 8 つのパラメーターで、真三軸状態の破壊条件式と応力-ひずみ線図を同時に概ね近似することが可能である。また、パラメーターを変更することなく、引張の変形・破壊にもシームレスに解を与えることができる。本モデルは、非線形弾性モデルなため、除荷時の挙動は非現実的なものとなってしまうが、除荷時には、弾性係数の値を、除荷開始時の値に固定することにより、現実的な除荷挙動を実現する方法も提案している。

時間に依存した変形を組み込むなど、まだまだ改良の余地はあるものの、本構成方程式を洗練させ、三次元有限要素法等の数値解析に組み込めば、特に山はね等、中間主応力の影響が大きいとされるような問題について、より正確な解析を行えるようになると期待される。

これを要するに、著者は、真三軸応力下における岩石の変形・破壊時の応力とひずみとの関係を表し得る構成モデルを開発し、将来の、より正確な応力解析に関する展望を得たものであり、岩盤工学に対して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。