

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 彭 芳楽

盛土や自然斜面・地盤を、金属や高分子材料のグリッドなどの曲げ剛性は小さいが引張り剛性が大きい帯状あるいは面状の人工材料（補強材）で、引張り補強する工法は、その合理性と優れた経済性のために、実際の建設工事において急速な広がりを見せている。これまでの殆どの実務的設計は、補強土塊の内外に想定した破壊面での破壊極限状態での力の釣り合いを検討する「極限釣合い法」でなされてきた。しかしこの設計法は、「土の伸び変形を補強材が拘束することにより土塊内部の拘束圧を低下させない（あるいは増加させる）ことにより土塊の強度と剛性を低下させない（あるいは増加する）」と言う補強土工法の本質的メカニズムを直接には反映していない。従って、補強効果に直接影響する要因である「補強材と土の剛性」を考慮できないし、また補強の結果としての補強材張力分布と土のひずみ分布を予測できない、と言う本質的欠陥がある。これを補う解析法が有限要素法による解析であり、土の応力・ひずみ関係の非線形性・異方性・ダイレタンシー特性、破壊ひずみの局所化に伴う破壊の進行性、土と補強材の間の滑り、補強材と土の剛性等を考慮できるという本質的利点がある。しかし、解析結果は解析対象の砂などの地盤材料の変形強度特性の構成方程式に左右される。

以上の背景から、本研究では砂などの一般応力経路に対する変形を従来構成モデルよりも正しく予測できる構成モデルを定式化している。更に、上記モデルに基づく弾塑性有限要素解析を実現し、既往の補強された豊浦砂の平面ひずみ圧縮試験と模型支持力試験の結果を解析し、新しい構成モデルによって補強土の変形強度特性を従来構成モデルに基づく解析よりもより現実的に再現できることを確認している。また、上記解析結果に基づいて補強土の変形・破壊挙動について考察している。更に、補強材の局所的三次元的形状を2次元解析で近似する方法を提案をしている。

第1章と第2章では、上記のことを説明している。

第3章では、砂の塑性せん断ひずみと塑性体積ひずみの値は載荷途中の応力経路に依存するために、いずれも弾塑性構成モデルの硬化パラメータとしては適切ではないことを示し、新たに応力経路に依存しない修正塑性ひずみエネルギーを示して、それを硬化パラメータとして採用することを提案している。また、主応力方向が連続的に回転しない平面ひずみ状態に対する修正塑性ひずみエネルギーと応力パラメータの関係を示す関数を提案している。また、軸対称異方性を示す弾性的性質を亜弾性モデルで表現している。

第4章では、提案するモデルを圧力レベル・間隙比・異方性のパラメータに対して一般化し、かつピーク以降のひずみ軟化域での修正塑性ひずみエネルギーと応力パラメータの関係を示す関数を提案している。また、流れ則としてストレス・ダイレイタンシー関係を採用

している。

第5章では、提案するモデルのパラメータが結果に及ぼす感度の検討をしている。更に、提案するモデルが平面ひずみ圧縮試験の結果を正しく再現出来るかを検討している。

第6章は、提案するモデルを用いて動的緩和法とリターンマッピング法を基本とした有限要素法によって実際に解析する方法を示し、第7章では、1要素モデルの有限要素解析により、任意の応力経路に対して実際に数値解析が出来ることを示している。

第8章は、提案構成モデルを用いた豊浦砂の平面ひずみ圧縮試験（無補強、補強）の有限要素法による解析結果を示し、無補強及び補強供試体の応力～ひずみ関係を従来モデルよりも良く再現できること、ひずみの局所化とせん断帯の発生状況と補強材の効果をかなり正確に再現できることを示している。

第9章は、提案モデルを用いた豊浦砂の模型地盤の支持力試験（無補強、補強）の有限要素法による解析結果を示し、無補強・補強地盤の荷重～沈下関係を、従来モデルよりも良く再現できること、地盤の進行的破壊や補強効果を良く再現できることを示している。平面ひずみ圧縮試験と模型支持力試験の今回の有限要素法解析の結果が、従来モデルによる有限要素解析よりも改善された要因として、a)「平面ひずみ圧縮試験での補強供試体内部」や「鉛直荷重を受ける無補強・補強地盤内部」の応力経路は、破壊時の値に近い応力比で圧力レベルが増加する異方圧縮応力経路に近いが、b)従来のひずみ硬化モデルは「拘束圧一定の平面ひずみ圧縮試験での応力・ひずみ関係」を基本にしていて変形特性が応力経路に依存しないため、上記応力経路に対する変形特性を適切に表現できない一方、c)提案モデルは上記応力経路の変形特性をより正確に表現できると議論している。

第10章は、ジオテキスタイルで補強された砂の大型平面ひずみ圧縮試験の結果を解析し、さらにパラメータの感度検討をおこない、補強材の局所的三次元的形状を二次元で近似する方法を提案している。即ち、「2次元有限要素解析での面状補強材の表面摩擦角 μ 」と「実際の3次元形状を持つ補強材の表面積率」の定量的関係を示している。更に、補強材の総剛性がある程度以上大きくなると、総剛性の増加による補強効果の増加率が小さくなるため、「剛性が小さくても表面積率が大きい面状に近い補強材を用いる方が効率的であること」を示している。

第11章は、結論である。

以上要するに、新しく定式化した砂の構成モデルを基本にして補強土の変形・破壊の有限要素解析がより正確に出来ることを示して、補強土の数値解析法の研究分野と補強土の設計の分野の発展に寄与する新しい知見を与えている。これらは、土質工学の分野において貢献することが大である。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。