III－158　有限要素網最適化と岩盤構造物の破壊過程に関する基礎的研究

大成建設(株)　（正）○福浦　尚之
豊田工業高等専門学校（正）　伊東　孝
名古屋大学工学部　（正）　京谷　孝史
名古屋大学工学部　（正）　市川　康明
名古屋大学工学部　（正）　川本　眺万

１・はじめに

有限要素法による解析は本来連続体の立場に立っているため支持力、斜面安定のような極限平衡状態における全体破壊を対象とする解析を得意としない。そこで本研究では、変形が局所的に集中し、せん断帯を形成する条件を表現した変形局所化条件式を用いて，硬化型弾塑性解析を行い、従来困難とされてきた地盤構造物の全体破壊の表現を目的とする。具体的には弾塑性解析自体には手を加えず、弾塑性解析により得られたデータを用いて、変形局所化条件式による判定を行っている。なお、変形局所化条件式の判定において数値解析の高い信頼性が要求されるため有限要素網最適化手法を用いることにより精度の高い解析を行った。

２・変形局所化条件式

変形局所化理論は主に金属の座屈問題、圧延時のくびれ問題を中心にその適用が試みられている。ここで、理論の中心をなす変形局所化条件式について簡単な説明を行うことにする。

変形局所化条件式の導出に際して基本的な前提条件が次の様に書ける。

「変形 $\underset{\sim}{u}$ の２階微分 $\underset{\sim}{\ddot{u}}$ が不連続となる変形過程が許される時、$\underset{\sim}{\ddot{u}}$ の不連続面 S_D 上のひずみ増分と、その外側のひずみ増分との差 $[\![d\underset{\sim}{\varepsilon}]\!]$ は、

$$[\![d\underset{\sim}{\varepsilon}]\!] = \underset{\sim}{g} \otimes \underset{\sim}{\nu} \qquad (\underset{\sim}{g}：任意のベクトル)$$

と表せる。ここで $\underset{\sim}{\nu}$ は不連続面 S_D 上の単位法線ベクトルである。」　（幾何学的適合条件）

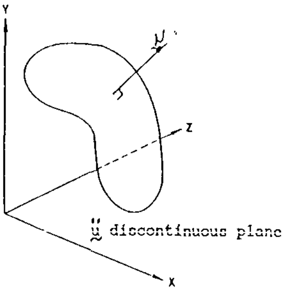

Fig.1 $\underset{\sim}{\ddot{u}}$ discontinuous plane

この条件に基ずいて、不連続面 S_D 上とその外側との力の釣り合いにより変形局所化条件式が、

$$\det\ (\underset{\sim}{\nu}^T \underset{\sim}{D}^{ep} \underset{\sim}{\nu}) = 0$$

と表せる。ここで $\underset{\sim}{D}^{ep}$ は弾塑性構成則である。

３・有限要素網最適化

有限要素網最適化の考え方は、有限要素解析から得られる解(近似解)を基に、①解析に用いた有限要素網に対する誤差を評価し、②合理的な分割網に作り替え、それによって解析の精度を向上させようとするものである。本研究では①についてはひずみの勾配に基ずいた誤差測度

$$e_h = \sum_{i=1}^{N} ((\underset{\sim}{\nabla} \underset{\sim}{\varepsilon}) \cdot (\underset{\sim}{\nabla} \underset{\sim}{\varepsilon}))\, A i \qquad (A i：要素の面積)$$

要素数

を用い、②についてはｒ法を採用した。ｒ法とは節点を、各要素上で評価された誤差測度の大きい方へ移動させる事により有限要素網全体の誤差測度をより小さくしようとする方法である。実際の数値計算においては節点を反復的に移動させて誤差測度をより小さくさせている。

４・変形局所化条件式の判定を併用した弾塑性解析

斜面上の剛基礎の押し込み問題を例に解析を行った。解析にはダイレイタンシー関数を用いた非適合型の弾塑性構成則を用い、降伏関数はDrucker-Prager型を用いている。材料は、大谷石を想定している。変形局所化条件式の判定については、今回の弾塑性解析が修正Newton-Raphson法に基ずいた増分変位法を用いているので、各増分変位STEPに対して弾塑性解(反復計算による収束)が得られた時に、そのデータを基

に判定を行っている。 Fig.2に有限要素分割網を示すが、これは斜面が線形弾性体であるとした時に有限要素網最適化を行って得られた分割図である。 Fig.3には基礎の沈下量とその反力の関係を示しある。 Fig.4は、 Fig.3の各変位STEP a)-d)に対応した変形局所化条件式を満たす点、及びその方向と、塑性域の広がりを表している。変形局所化条件式を満たす方向は１つの点について２方向生じておりその進展の仕方は、まず基礎両端より生じ(a)、基礎下部でくさび状に進展し(b),円弧すべり面とほぼ一致する形で斜面法面に接し(c)、その後徐々に広がっている(d)。 Fig.5に Fig.3の沈下ー反力関係においてその傾きが０になった時の増分変位場を示す。これより崩壊の様子がうかがわれる。この問題において、すべり面が斜面法面に達した時点を最終耐荷力とするならば耐荷力は25・1MPa 、沈下9・4cmと算定される。

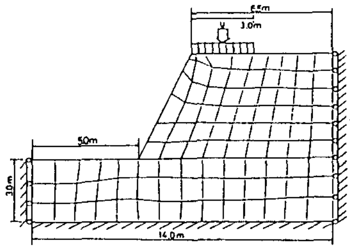

Fig.2 Finite Element Mesh

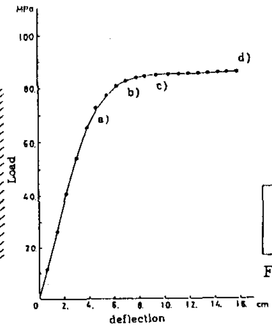

Fig.3 Load-deflection curve

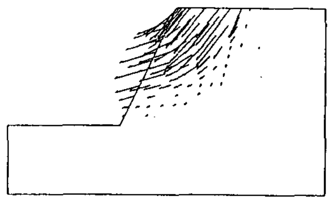

Fig.5 Incremental displacement

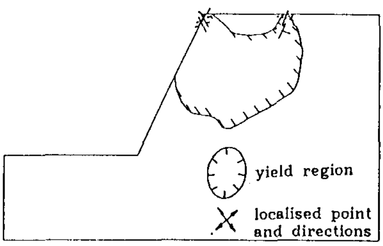

Fig.4-a) Propagation of localized points

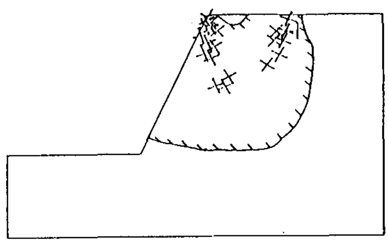

Fig.4-b) Propagation of localized points

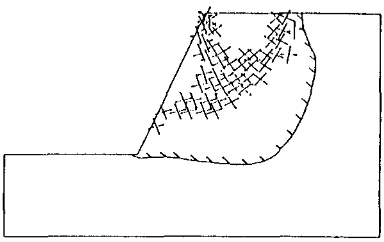

Fig.4-c) Propagation of localized points

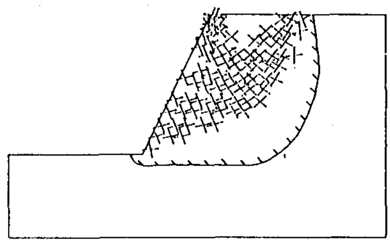

Fig.4-d) Propagation of localized points

5・終わりに

変形局所化条件式の判定を行う事により弾塑性有限要素解析で全体破壊の表現ができ、また最終耐荷力及びその時の変位の算定の可能性が明らかにされた。今後の課題は変形局所化条件式の物理的意味を明らかにする事と、変形局所化条件式が満たされた点に対する異方的な強度低下を合理的に表現する解析手法の開発である。

参考文献

1).Rice,J.R.:The Localization of Plastic Deformation. Theoretical and Applied Mechanics,Ed. by W.Koiter, 1976.

2).菊地 昇:OPTMESHユーザーマニュアル、(株) Quint.