

III-214

三次元境界要素法による領域分割法を用いた掘削解析

フジタ工業（株）技術研究所
同 上○門田俊一
和久昭正

1. はじめに

筆者らは、三次元解析の簡単化を目的とし、境界要素法による掘削解析手法の開発を進めており、現時点までに、内点を利用した方法（内点法と仮称する）の検討を終了している。^{1), 2), 3)}

本報告では、新たに領域分割法を利用した掘削解析手法を提案し、内点法、および、有限要素法との比較解析を実施することにより、解析精度について検討するとともに、実務問題への適用性について検討した結果を述べる。

2. 領域分割法に基づく掘削解析手法

境界要素法では、材料定数の異なる領域が存在する場合異領域分割法を用いて応力・変形解析を実施する。本報告で提案する解析手法（領域分割法と仮称）は、この方法を利用し、以下の手順に従う。なお、ここでは、図-1に示すように、ベンチカット工法で掘削されたトンネルを説明例題として取り上げる。

1) 掘削する領域を異領域として要素分割する。すなわち、図-1を参照し、上半部、下半部、および、トンネル周辺地山の3領域に分割する。

2) 初期地圧を評価する。

3) 各領域境界では、平衡条件を満足させるために、変位 u 、応力ベクトル t に関して、次の関係式が成り立つことに注意する。

$$t_i^j = -t_j^i \quad u_i^j = u_j^i$$

ここに、下添字 i は、属する領域を示し、上添字 j は、境界を共有する隣接領域を示している。

4) 上半掘削を表現するために、領域1を削除する。この場合、掘削を表現するために、掘削された領域に接する境界における掘削相当応力ベクトル t を評価する。さらに、これを応力境界条件値として応力・変形解析を実施する。掘削相当応力ベクトル t は、 $t_i = -t_j^1$ として評価される。

5) 下半掘削を表現するために、領域2を削除し、4)と同様な方法で応力・変形解析を実施する。

なお、これらの解析手法のフロー図を図-2に示す。

3. 解析精度の検証

2. で示した解析手法の精度を検討するために、同種の問題を本手法、および、内点法、有限要素法で比較解析した。図-3に解析モデルを示す。このモデルは、静水圧初期地圧下の地下深部に掘削された直径10m長さ30mの円柱形空洞であり、一定要素を用いて要素分割した。解

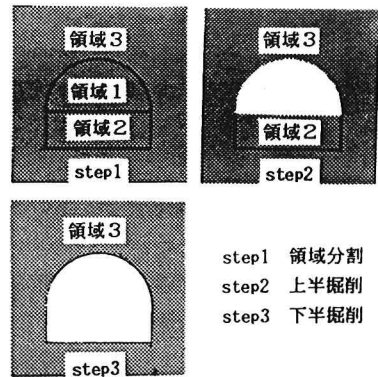


図-1 解析手順説明図

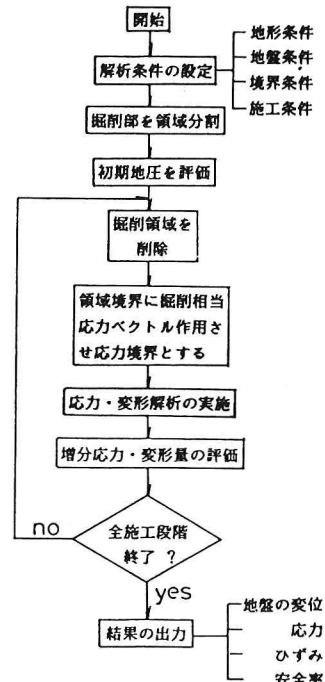


図-2 解析手法のフロー図

析では、この空洞が三つの領域に分割されて段階掘削されるものとし、開領域問題として扱った。なお、トンネルにおける例題と同様に、周辺地山を含めれば4つの領域に分割することとなる。また、有限要素法では、この問題を軸対称問題として解析を実施している。

解析結果として、空洞長手方向中央部の地山内変位に関する比較を図-4に、最大主応力、最小主応力の比較を図-5に示した。

これらの図より、領域分割法による掘削解析手法は、内点法、および、有限要素法と同様の精度を有することが確認できた。

4. 領域分割法と内点法の比較

両解析手法とも、境界要素法の利点から、問題領域表面の要素分割のみで解析が可能のため、三次元掘削解析の簡単化が実現できた。しかしながら、計算効率をさらに良好なものにするためには、以下に示す課題を解決する必要がある。

以前提案した内点法では、事後掘削される地点の応力テンソルを内点として評価する必要があるため、内点の数値積分に要する計算時間の点で問題があった。そこで、これらを解決するために、本報告で示した領域分割法を考案したが、この方法においても、領域共有部の未知数が増加するために、解くべき連立一次方程式の次数の増加が問題となる。

したがって、計算効率の向上を考えるならば、両解析法の利点を生かしながら、対象とする問題に応じた解析法を選択する必要があるが、これらの点は今後の検討課題である。

5. おわりに

境界要素法による領域分割法を利用した掘削解析手法を提案し、その精度を検討したところ良好な結果を得た。

なお、本報告で示したような三次元解析例では大型計算機を必要とするが、二次元問題であれば、パーソナル・コンピュータで十分対応可能である。今後は、この方面でも本解析手法を活用する予定である。

参考文献

- 1) 門田俊一、石井武美、鎌田正孝、"三次元境界要素法の地盤掘削問題への適用"、土木学会第40回年次講演会概要集(Ⅲ)、pp389~390、1985。
- 2) 門田俊一、石井武美、"三次元境界要素法による初期地圧を考慮した掘削解析の精度について"、土質工学会第21回研究発表会概要集、pp234~235、1986。
- 3) 門田俊一、石井武美、和久昭正、"三次元境界要素法による掘削解析手法の実務問題への適用性について"、土質工学会第22回研究発表会概要集、1987。

領域1 $E = 10000 \text{ kgf/cm}^2$
 領域2 $\nu = 0.3$
 領域3 $P_0 = 100 \text{ kgf/cm}^2$

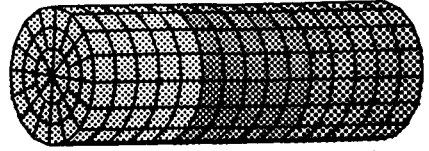


図-3 解析モデル図(円柱形地下空洞)

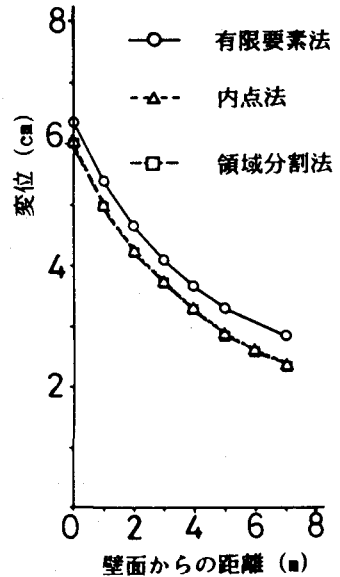


図-4 地山内変位比較

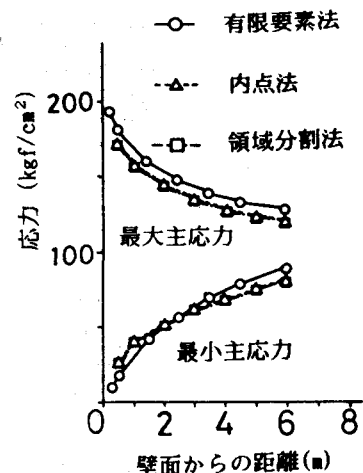


図-5 地山内主応力比較