

III-272 トンネル掘削解析へのアダプティブ法適用に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 大谷芳輝

正会員 沖見芳秀

正会員 右近八郎

1. はじめに

有限要素法は、無限の自由度を有限の自由度メッシュで近似し複雑な構造をも解析することが可能である反面、近似精度がメッシュに依存することが知られている。そのメッシュ作成は熟練した技術者の経験と勘に頼っており、解析結果が非現実的でない限り信用され正解として用いられているのが現状である。現在、アダプティブ法の土木分野への適用は希であるが、この方法は解析の誤差を定量的に評価し、許容誤差内になるように自動的にメッシュを作成する手法であり、将来的には複雑なメッシュ作成を簡略化し、FEM解析をより簡単なものにすると考えられる。しかし、解析全体の誤差を低減させることが設計に必要となる諸値にどの程度影響を与えるのかは不明確である。今回はトンネル掘削解析にアダプティブ法を適用し、解析全体の誤差と変位との関係から本手法の地盤解析への適用性を調べることにする。

2. アダプティブ法の概要

図1はアダプティブ法の全体の流れを示したものである。解析領域の幾何学的データとは、必要とする構造線や土層線等を示しており、バックグラウンドメッシュとは、解析領域内における任意点の初期の要素長を規定する為に必要となるメッシュであり、入力された節点での要素長から任意点での値を補間するのに用いられる。

・自動要素分割

今回開発した手法は、三角形要素を自動発生させる Advancing Front Technique¹⁾を拡張したもので、特長としては直接個々の四点要素を発生させる、全要素を発生させた後全体的に品質の高いメッシュになるように自動修正する、任意の位置に任意あるいは誤差評価に基づく大きさの要素を発生させることが可能である等が挙げられる。

・誤差評価

評価方法には、Zienkiewicz-Zhu²⁾の方法を基本とした手法を用いている。

一般的に、歪みエネルギーノルム $\|E\|_E$ は

$$\begin{aligned}\|E\|_E^2 &= \sum_N \sigma_i^T D^{-1} \sigma_i \\ &= \sum \|E\|_{Ei}^2\end{aligned}\quad \text{式(1)}$$

ここに、 σ_i : 真の要素応力、 D : D マトリックス

また、誤差歪みエネルギーノルム $\|e\|_E$ は

$$\begin{aligned}\|e\|_E^2 &= \sum_N (\sigma_i - \sigma_i^*)^T D^{-1} (\sigma_i - \sigma_i^*) \\ &= \sum \|e\|_{Ei}^2\end{aligned}\quad \text{式(2)}$$

ここに、 σ_i^* : 計算による要素応力

と定義する。また、全体誤差 η (%) は

$$\eta = \|e\|_E / \|E\|_E * 100 * 1.1 \quad \text{式(3)}$$

要素再分割に必要な最適要素長 h_{new} は、

$$h_{new} = e_m / \|e\|_{Ei} * h_{old}$$

ここに、 $e_m = \eta * (\|E\|_E^2 / m)$ 、 m : 要素数となる。

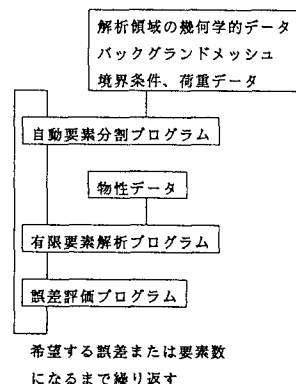


図1 アダプティブ法概略フロー

3. 数値解析例

図2～3は、アダプティブ法をトンネル掘削解析に適用した例である。図2は、誤差2.2%、図3は、1.1%のメッシュである。要素数は182から883に増えており、応力変化の激しい部分がより細分化されていることが分かる。図4は、誤差と地表変位の関係を示したものである。全体誤差が小さくなるに従い地表変位はある値(真値)に向かって収束していくことが分かる。図5は、地表変位の改善予測を示したものであり、誤差を3.0%から1.0%に下げると、地表面の変位は5%程度改善可能ことが判る。

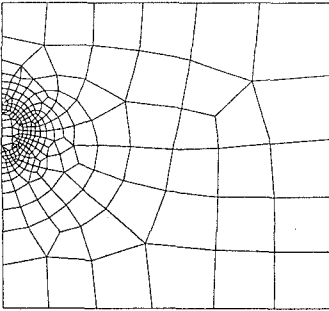


図2 誤差2.2%メッシュ図

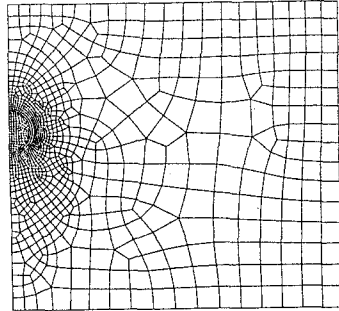


図3 誤差1.1%メッシュ図

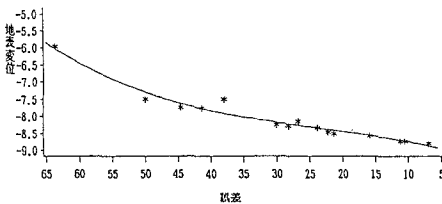


図4 誤差(%)と地表変位(mm)の関係

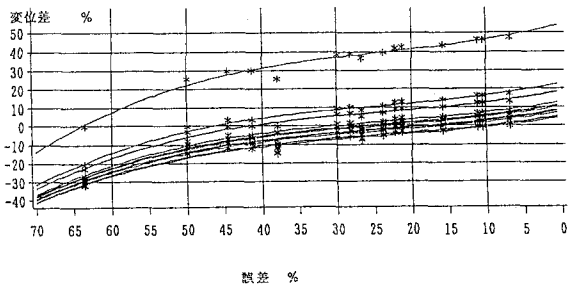


図5 誤差変移に伴う地表変位改善予測図

4. おわりに

有限要素法による地盤解析で、は物性値の設定等、メッシュ以外のモデル化により解析結果がかなり左右されることもあり、本手法で求められた誤差を絶対的な指標とすることには疑問が残る。しかし、メッシュ以外のモデル化に伴う曖昧さに見合う適切な精度の数値解析を行うということは、信頼性の面からも計算費用の面からも重要であると考えられる。今回、単純なモデルに対し「適切な目標誤差とは」という観点から数値解析例を示したが、今後対照モデルを増やし、さらに検討する予定である。また、適切な目標誤差が設定できれば、本方法を用いることによりメッシュ作成者の経験の有無に関係なく信頼性のおけるメッシュが簡単に素早く自動的に作成できると考えられる。

【参考文献】

- 1) J. Peraire, M. Vahdati, K. Morgan and O. C. Zienkiewicz, 'Adaptive remeshing for compressible flow computations', J. Comp. Phys., 72, 449-99, 1987.
- 2) J. Z. Zhu and O. C. Zienkiewicz, 'Adaptive techniques in the finite element method', Comm. Appl. Num. Math, 4, 197-204, 1988