

鹿島建設(株) 正会員 大谷芳輝, 沖見芳秀, 右近八郎

1. はじめに

アダプティブ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本手法を適用し、解析全体の誤差と地表面変位との関係から地盤解析への適用性を調べたが¹⁾、今回は二次元周波数応答解析に適用し、解析全体の誤差と応答値との関係から本手法の適用性を調べることにする。

2. 動的解析の誤差評価

評価方法には、Zienkiewicz-Zhuの方法を基本とした手法を用いており、運動エネルギーの誤差は歪みエネルギーの誤差に比べて相対的に小さい²⁾として無視し、歪みエネルギーに関してのみ誤差評価を行う。

一般的に、歪みエネルギーノルム $\|w\|$ は

$$\|w\| = \left[\int_{-\infty}^{+\infty} (\sigma^* A^*)^T \cdot D^{-1} \cdot (\sigma A) d\Omega d\omega \right]^{1/2}$$

ここに、 σ : 真の要素応力、 D : D マトリックス、 A : フーリエ振幅、 $*$ 付きは各々の複素共役を示す。

また、誤差歪みエネルギーノルム $\|e\|$ は

$$\|e\| = \left[\int_{-\infty}^{+\infty} (\Delta \sigma^* A^*)^T \cdot D^{-1} \cdot (\Delta \sigma A) d\Omega d\omega \right]^{1/2}$$

ここに、 $\Delta \sigma$: 真の要素応力と計算による要素応力の差と定義する。

また、全体誤差 η (%) は

$$\eta = \|e\| / \|w\| \cdot 100 \cdot 1.1$$

要素再分割に必要な最適要素長 h_{new} は、

$$h_{new} = e / \|e\| \cdot h_{old}$$

ここに、 $e = \eta \cdot (\|w\| / m^{1/2})$ 、 m : 要素数となる。

3. 数値解析例

図1に解析モデル、表1に物性値を示す。入力波はELCENTROを用いた。図2を初期メッシュ(要素数1183、透過10Hz)として解析した結果、全体誤差は5%であった。目標誤差を変化させて再解析を行った時の要素数、点Aの最大応答値、物性別最大要素長の推移を図3に示す。ステップ1~5は誤差を5%に設定しステップ6~8は誤差をそれぞれ8, 10, 12%に設定した結果である。誤差一定(ステップ1-5)の場合、要素数が

60%減少しても最大応答値はほとんど変化しない。また、ステップ1の最大要素長は他のステップに比べて十分に小さく、誤差の変化に伴い(ステップ5-8)最大応答値および最大要素長も変化する。一例として、ステップ5でのメッシュ(要素数498)を図4に示す。応力集中部が細分割され一般部は粗分割されていることがわかる。

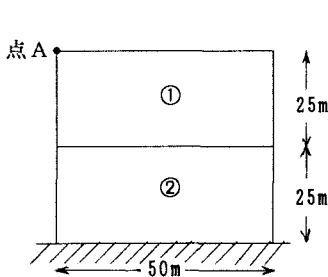


図1 解析モデル

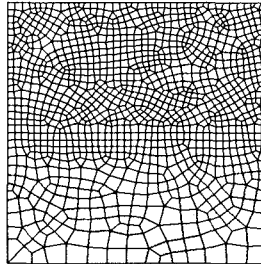


図2 初期メッシュ

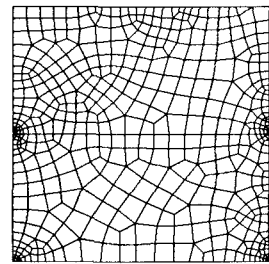
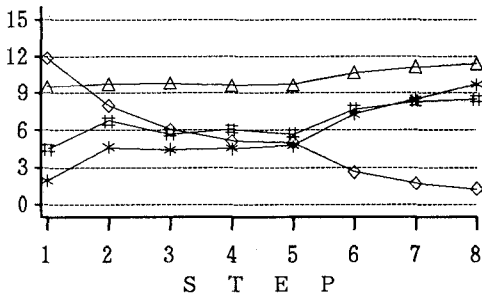


図4 ステップ5のメッシュ



◇ 要素数/100(個) △ 最大応答値(gal/100)
* 最大要素長①(m) # 最大要素長②(m)

図3 誤差の変化による各値の推移

表1 物性表

	物性①	物性②
ヤング率	$4.56E+3t/m^2$	$4.11E+4t/m^2$
ポアソン比	0.40	0.40
単位体積重量	$1.60t/m^3$	$1.60t/m^3$
減衰率	5.0%	5.0%

4. おわりに

有限要素法による周波数応答解析では、解析する周波数域を設定し、経験的に定義された透過性能をもとにメッシュを作成しているのが現状であるが、本手法で評価された誤差を指標とすることにより、入力波のスペクトルに応じて、解析結果の信頼性が確保されたメッシュを作成することが可能と考えられる。今回は最大応答値のみを取り挙げて検討を行ったが、今後対象モデルを増やし、さらに検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 大谷, 沖見, 右近, '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', 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第3部, pp.584-585, 1992
- 2) L. F. ZENG, N. E. WIBERG and L. BERNSPAN, 'An adaptive finite element procedure for 2d dynamic transient analysis using direct integration', Int. j. numer. methods eng., 34, 997-1014(1992)