

AE トモグラフィ法で同定された弾性波速度分布に基づくコンクリート構造物の有限要素解析

Finite element analysis of concrete structures based on AE-Tomography

○海野征久¹, 小林義和², 小田憲一², 中村勝哉²Yukinaga Umino¹, Yoshikazu Kobayashi², Kenichi Oda², Katsuya Nakamura²

Abstract: In recent years, the structural health monitoring is gaining in importance. As one of the techniques for the structural health monitoring, Acoustic Emission Tomography (AET) was proposed. AET is a technique that identifies elastic wave velocity distribution and source locations by using the arrival times of AE at the receivers. In this study, the performance check based on the result of AET is tried. The performance check is conducted on the basis of Finite element analysis in which young's modulus is obtained from the resultant velocity of AET by assuming mass density and Poisson's ratio as the general quantities. The characteristic of the results is discussed by focusing the accuracy of the resultant shear stress.

1. はじめに

高度経済成長期に集中して建設された土木構造物は竣工から50年を超えており、老朽化している可能性があるため既設構造物の健全性評価の重要性が高まっている。既往の健全性評価では試験値をパラメータとした有限要素解析などが用いられている。しかし、既設構造物の健全性評価においては竣工前の試験値に係数を乗じることが多く¹⁾、実際には構造物内部の状況を十分に反映することが難しい可能性がある。そこで、AE トモグラフィ法(以下、AET と称する。)より同定した材料物性に基づく性能評価手法について検討を行う。AET は対象内部の弾性波速度分布の同定が可能であり²⁾、既設構造物の物性を把握することが期待できるため、同定した現状の物性を用いた解析を行うことで既設構造物の健全性をより適切に評価することが期待できる。

本研究では損傷があるコンクリート供試体を想定したモデルの不均一な弾性波速度分布を AET によって同定し、同定された弾性波速度分布から求めたヤング率をパラメータとした有限要素解析を実施した。また、得られた結果の妥当性を検討するため、「正確な弾性波速度分布より求めたヤング率をパラメータとした有限要素解析の結果」と「AET の解析結果に基づく有限要素解析の結果」を比較した。

2. 手法概要

2. 1 AET

AET は弾性波 トモグラフィ法から発展した手法であり、領域内の未知の点から発信された弾性波の到達時刻を利用して弾性波速度分布を同定する²⁾。与えられた初期弾性波速度から弾性波発信位置を同定し、理

論到達時刻と観測された到達時刻の差が最小となるように弾性波速度分布の更新を逆解析手法を用いて行う。

2. 2 有限要素解析

コンクリート構造物の健全性評価を、有限要素法を用いたせん断応力分布の解析により行う。平面応力状態とした二次元四角形一次要素を用いたアイソパラメトリック有限要素解析を行った。平面応力状態におけるヤング率を E 、弾性波速度を v 、質量密度を ρ 、ポアソン比を ν とすると、ヤング率は式(1)で与えられる。

$$E = \rho v^2 \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad \dots (1)$$

式(1)から算出されたヤング率をパラメータとした有限要素解析を行う。本検討では、質量密度、ポアソン比については竣工時から不変であると仮定し、それぞれ一般的な値である 2300kg/m^3 、 0.2 とした。

3. 解析条件

本研究では単純な構造の解析モデルを作成し、AET による数値実験の結果として同定された弾性波速度分布を基に求めたせん断応力を元の解析モデルのせん断応力と比較することで解析結果の妥当性の検討を行う。

3. 1 対象構造物

数値実験の対象は、Figuer1 に示す通り、供試体内部がせん断による損傷を有したコンクリート構造物の一部を想定している。コンクリートの物性値は、地下構造物に対する耐震照査の解析事例¹⁾を参考として、質量密度を 2300kg/m^3 、ポアソン比を 0.2 とし、健全部の弾性波速度を 4000m/s 、非健全部の弾性波速度を 3000m/s とすることで、コンクリートの損傷とした。

1 : 日本理工・院・土木 2 : 日大理工・教員・土木

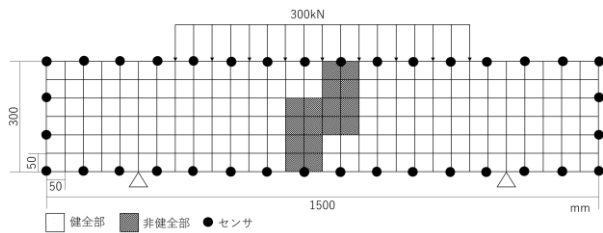


Figure 1. Analysis model

3. 2 弾性波速度分布の同定

本研究では AE による弾性波を解析モデル内部で発生させ、実際の非破壊検査と同様に、モデル上にセンサを配置し、AET を行うことによって Figure1 に示す解析モデル内部の弾性波速度分布を同定する数値実験を行う。本数値実験では、初期弾性波速度を 4000m/s とし、試験体内部のランダムな位置から発生する 100 個の AE を想定し、発生位置から直線パスを仮定して Figure1 の弾性波速度分布よりセンサでの到達時刻を求め、これを観測値とした。その観測値に基づき、AET によって弾性波速度分布の同定を行った。又、上限速度を 4000m/s とした。解析条件を Table1 に示す。

Table 1. Analysis conditions

節点数	217
要素数	180
要素サイズ (mm)	50×50
センサ数	36
配置間隔 (mm)	50
イベント数	100
初期弾性波速度 (m/s)	4000
弾性波速度更新回数	100

3. 3 有限要素解析

Table2 に示す通り、解析結果の比較のための真値とする解析ケースとして、Figure1 の解析モデルを用いたモデルを case1, AET によって同定された弾性波速度分布を用いたモデルを case2 とした。

本研究における拘束条件、荷重条件は Figure1 に示した通りである。地下構造物に対する耐震照査の解析事例を参考とし、鉛直等分布荷重 300kN を載荷した。

case1 及び case2 について弾性波速度分布から(1)式よりヤング率を求め、有限要素解析を行った。

Table 2. analysis case and elastic wave velocity distribution

	case1	case2
モデル	非健全部を有するモデル	AETにより同定されたモデル
弾性波速度分布	健全部 4000m/s 非健全部 3000m/s	AETにより同定された弾性波速度

4. 解析結果

4. 1 弾性波速度の同定結果

数値実験から得られた弾性波速度分布を Figure2 に示す。非健全部の弾性波速度は 2800m/s～3200m/s となり、概ね設定した解析モデルの条件と合致する。

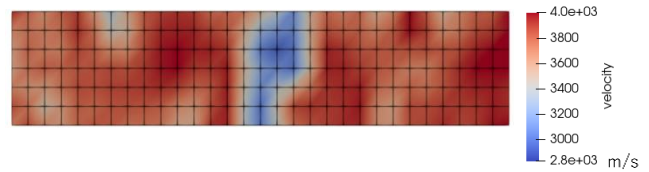


Figure 2. Elastic wave velocity distribution identified by AET

4. 2 応力分布について

Figure3, Figure4 にそれぞれのせん断応力分布を示す。Figure3 と Figure4 より、構造全体としてのせん断応力分布の傾向が一致していることが確認された。case1 の解析結果を真値とした場合、case2 におけるせん断応力の平均相対誤差は 21.6%となった。従って、ある程度の誤差を許容できる範囲での健全性評価が可能であることが示唆された。



Figure 3. Shear stress distribution in case 1

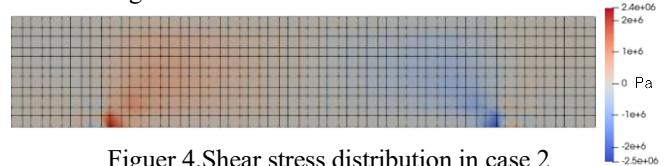


Figure 4. Shear stress distribution in case 2

5. まとめ

実験の結果、本解析モデルにおいて、AET により同定された弾性波分布に基づく解析では元のモデルでの解析結果においては、平均相対誤差が 20%程度の解析精度となった。

今回行った検討では、単純なコンクリート梁モデルを使用し、AET によって同定された弾性波速度分布を用いた場合の有限要素解析の再現性を確認した。今後はより実構造物に近い解析ケースでの解析やコンクリートの非線形性を考慮した解析を行い、引き続き妥当性検討を継続して取り組む必要がある。

6. 参考文献

- [1] 土木学会原子力土木委員会：「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」, 2005.
- [2] 小林義和, 小田憲一, 中村勝哉：「AEトモグラフィ法における弾性波の発信位置同定手法の改良」, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, Vol.6, No.8, pp.55-62, 2018.