

CS-197

ACROSS TECHNOLOGY を利用した構造部材の非破壊検査

○東京大学 学生員 山下 頼行

東京大学 正 員 堀 宗朗

1. はじめに

地殻構造探査の分野で開発された精密制御人工地震発生装置(ACROSS)の最大の特徴は「ノイズより小さいレベルのシグナルを送信しながら,正しくシグナルを受信する」ことである。この技術を利用すれば,格段に小型の装置で高精密な計測を実現し,従来困難であった供用中の構造部材の検査や,検査の自動化を実現する可能性がある。室内実験で必要な計測システムを検討し,数値計算を用いて逆解析手法を検討した。

2. ACROSS を用いた逆解析の原理

一般に,不均一体の材料特性分布の推定は非線形逆問題である。本研究では,等価介在物法を用いた倉川の方法によって,二段階の線形逆問題として定式化する。計測データからアイゲン場を求め,次に等価な不均一性を決定する。板を三次元弾性体としてモデル化し,ヤング率 E とポアソン比 ν から決まる弾性テンソルを C_{ijkl} ,密度を ρ とする。不均一は二次元的に分布するとし,ヤング率の不均一 ΔE に対応した弾性係数を ΔC_{ijkl} ,密度の不均一を $\Delta \rho$,板内部の点を x ,表面の点を x' とすると変位場 u_i は次の方程式をみたす。

$$((C_{ijkl} + \Delta C_{ijkl}(x')) u_{k,l}(x))_{,i} + (\rho + \Delta \rho(x')) \omega^2 u_j(x) = 0$$

ΔC_{ijkl} に等価なアイゲン応力と不均一密度 $\Delta \rho$ に等価なアイゲン慣性力を次のように定義する。

$$\sigma_{ij}^*(x) = \Delta C_{ijkl}(x') u_{k,l}(x) \quad , \quad \mu_i^*(x) = \Delta \rho(x') \omega^2 u_i(x)$$

弾性係数もしくは密度のみが不均一である場合を考える。面内方向の変位は板厚方向に比べ無視できるほど小さく,面外方向の変位は板厚方向で一定とすると,不均一性 $b^*(x')$ は次のように書ける。

$$b^*(x') = (\Delta C_{i33l}(x') u_{3,l}(x))_{,i} \quad , \quad b^*(x') = \Delta \rho(x') \omega^2 u_3(x')$$

3. 鋼板を用いた実験

送信・受信装置を試作し,構造部材に見立てた鋼板に測定ネットワークを設けた。欠陥のモデルとしておもり(0.96Kg)を鋼板(105cm×75cm×0.4cm)に取り付け,計測結果からおもりの位置やおもさを同定することを試みる。送信装置は偏心おもりを取り付けたサーボモータ,受信装置は加速度計である。

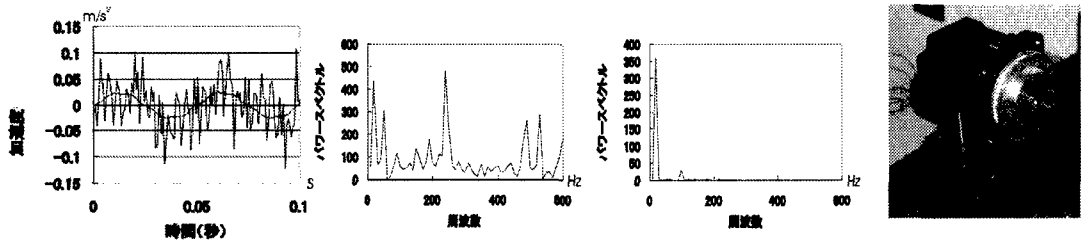


図1 シグナルの抽出

図2 FFT スタッキング前

図3 FFT スタッキング後

図4 震源装置

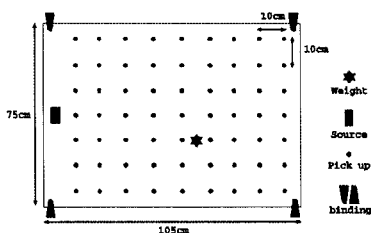


図5 送信・受信装置の配置



図6 実験装置全体

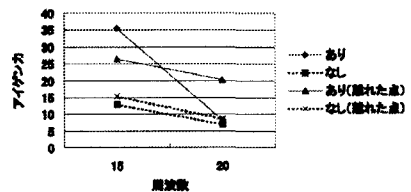
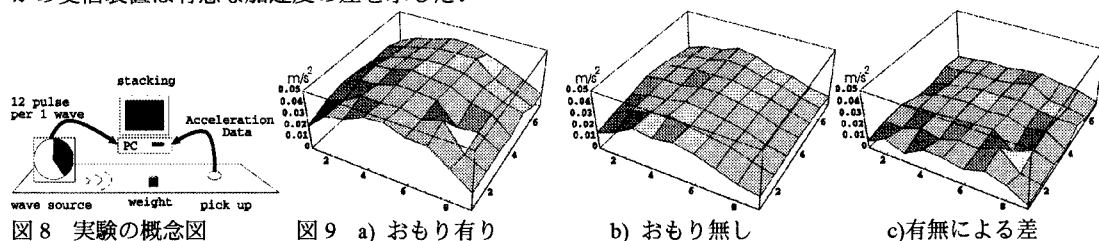


図7 計算されたアイゲン力

キーワード: ACROSS 等価介在物法

〒113 東京都文京区弥生 1-1-1 TEL:03-3812-2111 ext5740 FAX:03-5802-3391

おもりの偏心量は 0.000041366kgm である。加速度を電圧情報に変え、AD変換ボードを通じてパーソナルコンピュータに送り込み、サーボモータのバルス信号と同調させてスタッキングを行う。これにより、モータ回転の変動を打ち消すようなスタッキングを行える。図 8 に実験の概念図を示す。まず予備実験としてスタッキングによるノイズ低減とシグナル抽出の様子を調べた。図 1 はその結果である。スタッキング前と後の波形をそれぞれ FFT したものを図 2 と図 3 に示す。スタッキング前には目立たなかった 20Hz のシグナルが、スタッキング後にはほぼ唯一のピークとして表れている。つぎに、図 9 に左から 62cm 右から 25cm の位置に置いたおもりによる加速度応答の変化の様子を示す。図 5 に送信、受信機器の配置を示す。スタッキング回数は 64 回であり、理論上ノイズは 1/8 になる。おもりの有無によっていくつかの受信装置は有意な加速度の差を示した。



4. 数値計算による逆解析

逆解析は有限要素法を用いて数値的に行われる。密度と弾性係数それぞれについて不均一部を設定し、計算結果から逆に設定した不均一部を同定する。図 10 は、送信と不均一部の位置である。密度の推定結果を図 11 に示す。全ての周波数において、設定した不均一の位置と程度を再現している。弾性係数の推定結果を表 1 に示す。1~2%程度の誤差で推定できている。

	I	II	III	IV
10Hz	-51.9	-50.2	-51.3	-53.5
15Hz	-51.9	-50.2	-51.3	-53.5
20Hz	-51.9	-50.2	-51.3	-53.5
30Hz	-51.9	-50.2	-51.3	-53.5

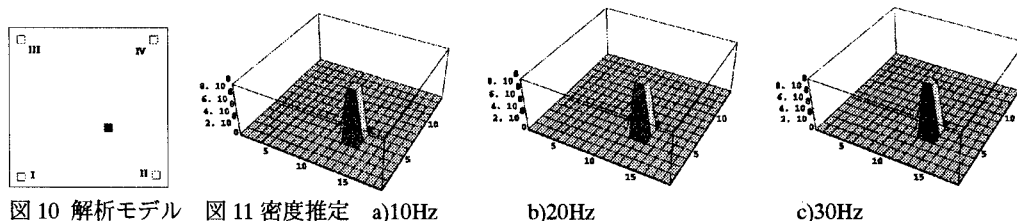
	I	II	III	IV
10Hz	-11.7	-11.7	-10.7	-11.3
15Hz	-11.5	-11.7	-10.7	-11.3
20Hz	-11.5	-11.7	-10.7	-11.3
30Hz	-11.5	-11.7	-10.7	-11.3

	I	II	III	IV
10Hz	-7.07	-6.56	-6.75	-8.87
15Hz	-7.07	-6.56	-6.75	-8.86
20Hz	-7.07	-6.59	-6.75	-8.86
30Hz	-7.06	-6.59	-6.75	-8.85

表 1 弾性係数推定 a)50%落ち

b) 10%落ち

c) 5%落ち



5. 開発した逆解析法の実験結果への適用

開発した逆解析法を実験結果に適用した。おもりの周り 9 つの受信点のみ計測を行い、この計測データからアイゲン力を計算した。結果を図 7 に示す。おもりの有無によって大きな差が表れ、おもりの存在を同定できた。観測点を増やしてアイゲン力の面的な分布が分かればおもりの位置を同定できる。一方おもりの同定は困難であり、満足な結果を得ることができなかった。

6. まとめ

装置の試作と実験を通じてノイズ除去が可能であることを示した。板表面での板厚方向のみから内部構造を推定する逆解析手法を提案し、数値シミュレーションで妥当性を検証した。開発した逆解析法を実験結果に適用し、鋼板上のおもりの同定を試みたが、位置を同定するに留まった。今後の課題としては、複数の周波数での結果を総合して推定の精度を上げるようなシステムの開発があげられる。