

I-A 482

ACROSS の非破壊検査・構造探査への応用

東京大学 学生員 山下頼行
東京大学 学生員 小国健二
東京大学 正 員 堀 宗明

1. まえがき

構造物の非破壊検査・地盤構造探査といった内部構造探査において推定精度の向上を阻む最大の要因は計測に伴うノイズである。従来、SN 比向上のために非破壊検査においては大規模な発振機が用いられ、地盤構造探査においては出力の大きい発振等による人工地震波の計測が行われてきた。しかし、これらの手法の簡便性・推定精度は十分なものとは言いがたく、新たな展開が望まれている。

このような状況の下、精密制御震源装置 ACROSS を用いた新しい計測手法が提案されている。この手法では、シグナルの周波数・振幅・位相の精密制御と、データスタッキングとの組み合わせにより、出力は小さいにも拘らずノイズの影響が低減される。また、弾性波速度のみならず、周波数に依存した形で振幅・位相差に関する情報が得られるため、内部構造の推定精度の上昇が期待される。更に、経時変化が計測されるため、応力状態やそれに伴う内部構造の変化の感知の可能性も期待される。しかし現時点では、計測データと内部構造との結び付きが明確ではなく、内部構造推定のための逆解析手法は開発されていない。また、計測装置に要求される精度も明らかではない。よって、本研究では ACROSS を用いた土木構造物の非破壊検査システムのプロトタイプとして、損傷を受けた鋼の板材の損傷部位・程度を同定する逆解析手法を提案し、逆解析の実現可能性を探る。また、断層帯のモデルとしての亀裂媒体における ACROSS 波の伝播特性の解析を行い、地盤構造同定のために計測装置に要求される精度を検討する際の目安を示す。

2. ACROSS の概要

ACROSS は図 1 に示すような装置である。これを測定対象表面に設置し、精密制御されたサーボモーターで、偏心させた物体を回転させる。遠心力に対する反力を測定対象が受け持つことになり、結果的に振幅・位相・周波数を精密制御された波が送り込まれる。ノイズ除去は『時間区間蓄積記録』という方法により達成される。『時間区間蓄積記録』とは入力信号をある一定の時間ごとに区切り、かつ頭をそろえて重ねあわせる（スタッキングする）ことである。その結果、スタッキングの回数の増加にしたがって、設定した時間区間の整数分の 1 の周期をもつ波が選択的に強調される。

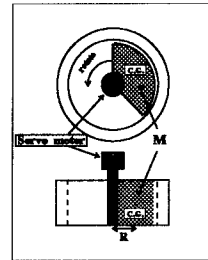


図 1 ACROSS

その他の周期を持つ波は、設定された時間区間におけるそれ自体の位相のずれにより相殺される。よって、ACROSS による波の周期の整数倍の時間をスタッキングの時間区間として設定することにより、ACROSS 波と同じ周期をもつ波、つまり ACROSS 波に対する応答のみをノイズの中から抽出することができる。

3. 数値シミュレーションによる鋼板の非破壊検査

図 2 上段に示す両端固定の板材 ($6m \times 2.5cm$, 960×4 mesh) の中央に ACROSS 波を入射する問題を考える。このとき $10cm \times 2.5cm$ の損傷部分を設定し、その位置と程度（弾性係数の低下率）を様々に変化させた場合に、部材端近くに設置された pick up で計測される変位を時間調和波動の有限要素解析を用いて求める。

本研究で提案する逆解析手法は損傷部分の位置・程度の同定を目的とし、その手順は次のようにまとめられる。

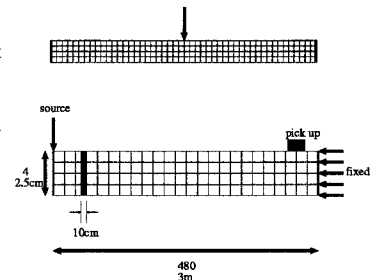


図 2 損傷を受けた部材

(1) 様々な周波数のインプットについて行った数値シミュレーション結果を、損傷位置を x 軸、程度を y 軸、pick up での変位を z 軸とする 3 次元グラフとして表す。(2) pick up で計測される変位、 $z = a$ 平面と 3 次元グラフとの交線（これを pick up での変位から推定され得る、損傷部分の位置・程度の組合せという意味で『可能性線』と呼ぶ）を xy -平面上に投影する。(3) 同じ損傷を持つ部材に周波数を変化させたインプットを与えた場合の可能性線を求める。(4) 複数（3 つ以上）の可能性線の交点を損傷部分の位置・程度とする。逆解析の例を図 3 に示す。

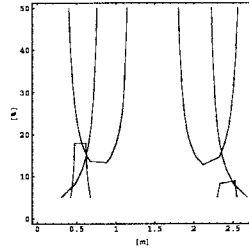


図 3 解析例 (62cm 15% 低下)

4. 亀裂媒体における伝播解析

本解析ではマイクロメカニクスの手法にならない、断層帯を多数のクラックによって損傷を受けた物体とみなす。介在物がランダムに分布する損傷体を伝播する波の期待値を用いて、有効伝播特性を推定する理論・手法が提案されているが、期待値を厳密に計算することは難しく、仮定を設けて近似的に計算されることが多い。この結果、介在物の密度が高い場合には評価には大きな誤差が含まれることがある。本解析では、厳密な期待値の計算に基づく不均一媒体の有効伝播特性を推定する手法を提案する。この手法では、(1) クラックが 1 つだけ存在する無限体に定常波が入射した場合に生じる散乱波を用いて、クラックが任意の位置に 1 つだけ存在する媒体における散乱波の期待値を定義する。(2) 媒体を無限体に近付けるときの散乱波の期待値の収束速度を計算する。(3) 1 つのクラックによる媒体の有効物性の変化を、a) 応力の期待値とひずみの期待値とを結ぶ関係、b) ひずみの期待値とひずみエネルギーの期待値とを結ぶ関係、から評価する。この過程を逐次繰り返すことによりクラックを多く含む媒体の有効物性を評価する。この手法は、個々の介在物が有効伝播特性に与える微小な影響を計算し、有効伝播特性に関する微分方程式を導くもので、Differential Scheme に基づいており、介在物の密度が高い場合でも精度の高い推定をすることが期待される。

例題として、初期条件 $V_L = 2600(m/s)$, $V_T = 1500(m/s)$, $\rho = 3000(kg/m^3)$, $Q = 100$, をもつ媒体において図 4 に示すように、媒体内に存在する長さ 1m のクラックが 0.8m に変化した場合の有効弾性の変化を横波の速度と減衰率を用いて表す。(クラック内部は水で満たされているとする。) 各グラフの横軸「Crack Density」は長さを変化したクラックの密度を表す。また、各グラフの凡例の周波数は入射波の周波数を表し、S-, E- はそれぞれ応力、エネルギーに基づく定式化から得られた結果であることを示す。これらの結果は ACROSS 波の計測装置に対する要求精度を検討するための目安となる基礎的データと位置付けられる。

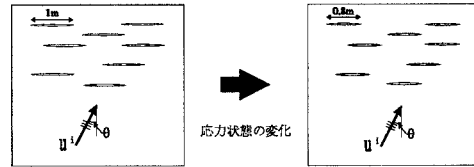


図 4 解析対象

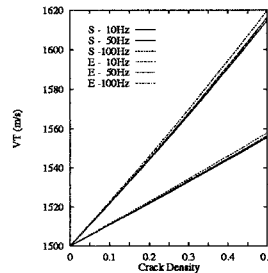


図 5 横波の速度 ($\theta = 0$)

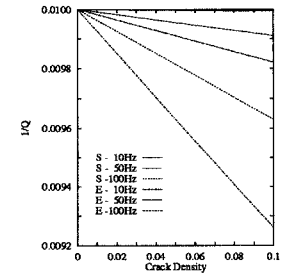


図 6 横波の Q^{-1} ($\theta = 0$)

5. まとめ

本研究では ACROSS の土木工学分野への応用例として簡便な非破壊検査手法を提案した。また、ACROSS を地盤構造探査に適用するための基礎的データとして多数の介在物を含む媒体の有効物性推定手法を開発した。今後の展開としては非破壊検査の実験・地盤構造探査のための逆解析アルゴリズムの開発が挙げられる。

参考文献

- 山下 頼行：ACROSS TECHNOLOGY による非破壊検査法の提案（東京大学 卒業論文 1996）
- 小国 健二：精密制御人工地震波の測定精度の検討- 地盤構造同定のために -（東京大学 修士論文 1996）