

金属系磁歪素子による低周波弾性波を用いたRC構造物診断装置の適用化開発

三菱電機(株)	正会員	服部 晋一
岐阜大学	正会員	鎌田 敏郎
(株)オーデックス	正会員	竹村 泰弘
(株)オーデックス		西田 久雄
三菱電機(株)		島田 隆史

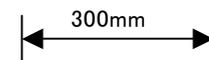
1. はじめに

コンクリート構造物の点検は、目視又は打音検査を主体に行われているが、内部の欠陥を定量的かつ高精度に評価する非破壊検査法は未だ確立されていないのが現状である。筆者らは、コンクリートの非破壊検査法としては新しい探査子、即ち、磁歪素子により発生させた低周波の弾性波を用いたコンクリート構造物診断システムを開発し、現在、その有効性について検証中である。本稿では本装置のシステム構成、手法の原理、および装置の性能評価を行った結果の一部を紹介する。

2. システム構成

本システムはコンクリート構造物の欠陥を振動現象で把握する。コンクリートの音速と対象物の寸法から 1kHz~10kHz の低周波の弾性波を本システムの帯域として採用した。この帯域ではコンクリート中の粗骨材、あるいは鉄筋等による散乱減衰の影響も受け難いためコンクリート中での透過性という観点からは、一般的な超音波法よりも優れた手法となり得る可能性がある。

本システムでは低周波弾性波を効率良く出力し、かつ感度良く検出する手段として金属系磁歪材を使用している。また、コンクリート内部への弾性波の伝達効率、および受信感度を向上させるため発振子をエア吸着によりコンクリート表面に圧接する機構を採用している。これにより接着、研磨等の前処理を行うことなく計測を短時間に行え、実用的な診断が可能となった。写真-1(a)に探査子を、写真-1(b)に計測制御ユニットを示している。



(a)探査子

(b)計測制御ユニット
寸法 522×514×199mm

写真-1 計測システム外観

3. 手法の原理

現在、低周波弾性波を用いる非破壊検査法としては、衝撃弾性波法あるいは打音法などがある。これらの手法では弾性波の入力をハンマー打撃などによって行っているが、打撃による場合は簡便である反面、入力される弾性波の周波数特性を一定にすることが難しいなどの問題点がある。そこで本手法では、低周波における良好な制御特性を利用し、入力信号はレベルが一定で 1kHz から 10kHz へと周波数が時間とともに連続的に増大する周波数スイープ駆動を使用している。発振子から入力されたスイープ弾性波は、順次検査領域を励振し、これにより表面での振動波形はコンクリート表面に圧接されている探査子内の受信子にて検出される。非検査物に固有な共振周波数で励振された場合、卓越した振動振幅の応答が観測されるため、その周波数応答及び振幅レベルから構造物内部の変状の有無や欠陥の深さを推定する。

$$f_r = \frac{\lambda^2 \cdot v}{2 \cdot \left(\frac{\pi a^2}{h} \right)} \sqrt{\frac{1}{3(1-\sigma^2)}} \quad (\text{式 1})$$

$$f_L = \frac{v}{2 \cdot d} \quad (\text{式 2})$$

3.1 構造物内部の欠陥とたわみ振動現象との関係

構造物内部にクラック、ジャンカ、あるいはコールドジョイント等の欠陥が表面から浅い位置に存在すれば、この欠陥部上面から構造物表面に至るコンクリート部分が形成する板構造部分においてたわみ振動が卓越する。たわみ振動においては、この板構造部分が厚さ(欠陥までの深さ) $2h$ 、半径 a の理想的な形状を有すると仮定すると式(1)のよう

キーワード: 構造物診断、非破壊検査、コンクリート、磁歪素子、低周波弾性波

連絡先: 〒850-8652 長崎市丸尾町 6-14 三菱電機(株)

Tel: 095-864-2285 Fax: 095-864-2381

な周波数 f_T で共振する。ここで、 σ はポアソン比、 λ は境界条件、及び振動モードによって決まる定数(無次元)である。したがって上記の仮定に基づけば、欠陥が表層部に近いほど、また、欠陥部分の面積が大きいほど、より低周波の卓越周波数が得られることとなる。しかしながら、実構造物における欠陥は複雑な形状・広がり・深度を有しており、実際に計測される振動現象においては、より高次のモードによる励振の影響も含まれるため、一つの明確なピークを得ることは困難であると考えられる。このため本手法においては、計測された周波数応答に対し、特に、低域部のエネルギー

スペクトルの帯域積分を行うことにより求めた値(以下 振幅レベルとする)と欠陥までの深さの相関を実験的に求め、これが3乗に比例する相関(図-1 参照)を持つという関係を基に振幅レベルから欠陥までの深さを推定している。図中横軸は欠陥までの深さを表し、縦軸は振幅レベルを示している。実構造物において得られた結果では、欠陥部位の広がりを考慮しなくても欠陥までの深さを20%精度で推定している。

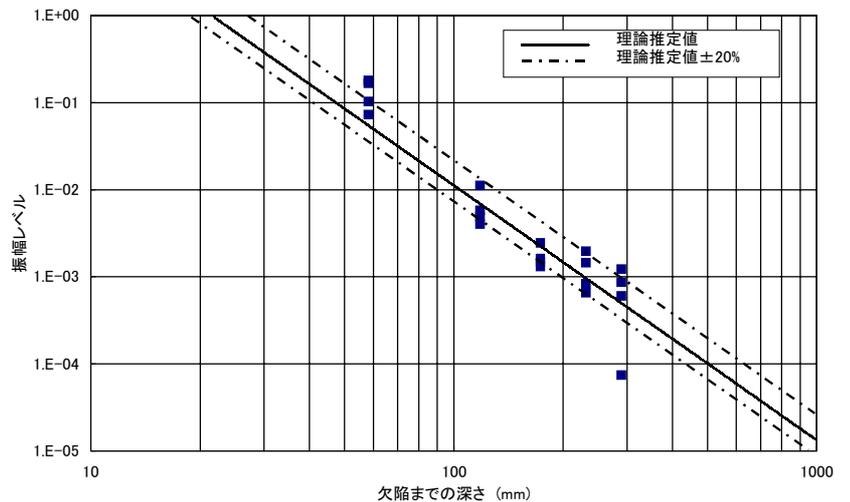


図-1 振幅レベルと欠陥までの深さ相関

3.2 構造物内部の欠陥と厚み振動現象との関係

一方、欠陥が深い位置に存在する場合や、構造物内部に欠陥が無い場合は、構造物の形状で決まる振動モードが観測される。トンネル覆工などの広い面を有する構造物では、深い位置の欠陥部や構造物背面まで弾性波が伝播し、構造物表面と欠陥部上面、あるいは背面との距離に対応した厚み振動が励起される。この厚み振動の周波数応答からは、欠陥部までの深さ、あるいは構造物の厚さが、式(2)から求まる。ここで、 f_L は縦振動の共振周波数、 d は欠陥部までの深さあるいは構造物の厚さ、および v はコンクリート中での弾性波伝播速度である。深い欠陥、あるいは厚手の構造物への適用性を評価するため大型コンクリートモデルの厚み振動現象の計測を実施した。図-2 は 3000mm(W) × 2450mm(H) × 730mm(D)のコンクリートモデルの厚み応答を示しており、2.7kHz にピークを検出した。コンクリートの弾性波伝播速度が4055m/sであったのでこれより厚みは750mmと算出され、実用上問題ない精度で厚みが得られることを確認した。

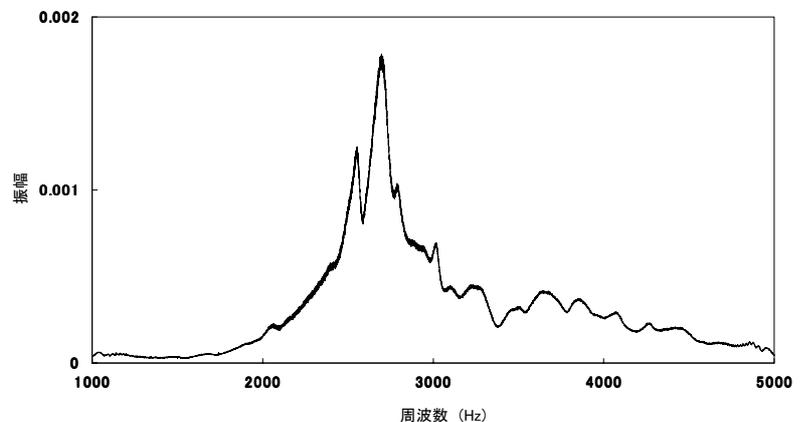


図-2 コンクリートモデルの周波数応答

4. まとめ

低周波弾性波を適用した診断システムを構築し、現在フィールドにて評価を実施中であり、フィールドでの計測結果に基づき、診断の適用範囲及び信頼性について評価・検討中である。今後は、実構造物での検証とともにトンネル覆工、床版等道路構造物のフルスケールモデルを製作し診断性能の検証評価を行い、さらに現存するその他の非破壊検査法との性能の比較を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Hattori, S., Shimada, T. and Matsushashi, K. : Highly Accurate Low Frequency Elastic Wave Measurement Using Magnetostrictive Devices, Proc. of NDT-CE2000, pp.87-98, 2000