

## I-A50

複数の圧電セラミックス貼り付けによる亀裂の発生と進展の  
モニタリングに関する研究

トヨタホーム茨城

茨城大学工学部

茨城大学工学部

工業技術院地質調査所

大塚 匠

正会員 呉 智深

正会員 原田隆郎

高橋 学

## 1. 本研究の背景および目的

近年、都市インフラ構造物等の老朽化の進行に伴い、構造物の長寿命化に関する有効な技術開発が期待されている。現在、これらの構造物の老朽化（損傷・劣化等）を検知する手段として、様々な非破壊検査法の開発や研究が進められている。そのような中で、構造物に高度のセンサーを設置し、亀裂・損傷等の早期発見、実時的な監視、早期補修を目指そうというヘルスマニタリングという考え方が提唱され、建設分野においてもその試みが行われている。そのセンサーの機能を果たすインテリジェント材料としては、圧電セラミックスの有効性が材料や機械分野においてかなり確認されつつある。圧電セラミックスとは、ある結晶に力、歪みなどを加えることにより電荷を発生する圧電効果と、逆に電界を加えると力や歪が発生する逆圧電効果を合わせもつ物質のことをいう。今までの研究<sup>1)2)</sup>では、脆性体の亀裂発生・進展に関して、圧電セラミックスのアクチュエータ特性による影響、圧電セラミックスアクチュエータの振動変化による亀裂の早期発見の可能性に関する検討を行った。本研究では、複数の圧電セラミックスの貼り付けにより、供試体内部の亀裂発生および亀裂進展を実時間的に捉えることを目的とする。

## 2. 圧電セラミックスによる劣化診断計測手法

計測手法としては、構造物内部の損傷や集中異常応力によって発生する亀裂の進展により、圧電アクチュエータの弾性波の伝播を遅くすることや不連続面に弾性波の散乱を引き起こすことなどがある。貼り付けた複数の圧電セラミックスのどれでも振動アクチュエータとして使われ、その時、その他のものはセンサーとして考えられ、すなわちすべての圧電セラミックスに関して、弾性波の発生と接收の両機能を持たせるアクティブな損傷検査も可能であるが、本研究において取り敢えず一つの圧電セラミックスをアクチュエータとし、その他はセンサーとして使用する。

本研究において、亀裂発生および進展により弾性波の伝播到達時間の変化および各圧電セラミックスセンサーが接收した電圧の応答波形の変化を計測し、亀裂の発生・進展を同定する。

## 3. 実験概要

本研究では、モルタル供試体に複数の圧電セラミックスを貼り付け、静的荷重を載荷する。超音波パルス発生器に接続してある圧電セラミックスから弾性波を放射し、その弾性波をデジタルオシロスコープに接続したその他の複数の圧電セラミックスで検知する。弾

性波の伝播到達時間は超音波パルス発生器に表示され、弾性波の応答波形はデジタルオシロスコープに表示される。これらの測定結果はインピーダンスの変化によるものとし、亀裂発生前後の測定値の変化、及び亀裂進展時の測定値の変化を測定し、亀裂の発生・進展を同定する。実験装置および供試体の概要を図-1に示す。

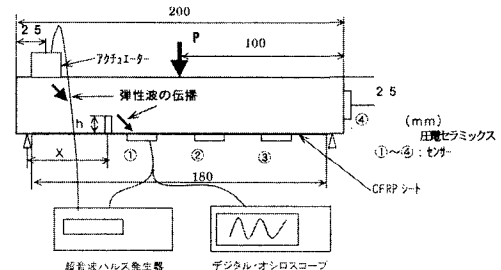


図-1 実験装置及び供試体の概要

また、供試体には優先的な亀裂の発生を促すことと、さまざまな亀裂発生を想定して切り欠きを設けた。さらに、供試体の脆性破壊を防ぎ、亀裂発生後、いっせいに亀裂が進展しないように供試体底部にCFRP（炭素繊維）シートで補強を施した。供試体ごとの切り欠き位置、切り欠き深さについては表-1に示すとおりである。

表-1 供試体別切り欠き位置

| 供試体 | 支点から切り欠きの距離X (mm) | 切り欠きの深さh (mm) | 供試体本数       |
|-----|-------------------|---------------|-------------|
| A   | 35                | 5             | 3 (A-1~A-3) |
| B   | 35                | 10            | 3 (B-1~B-3) |
| C   | 70                | 5             | 3 (C-1~C-3) |
| D   | 70                | 10            | 3 (D-1~D-3) |

## 4. 実験結果と考察

実験から得られた、弾性波の伝播到達時間データ、弾性波の応答波形データより、①各荷重レベルに伴う伝播到達時間の変化、②亀裂発生前後での伝播到達時間の変化、③亀裂の進展に伴う伝播到達時間の変化、④亀裂発生前後における応答波形の振幅の変化、の4点について考察を行った。以下に、考察の詳細を示す。

## (1) 各荷重状態における伝播到達時間の変化

供試体A, B, C, Dシリーズに共通してみられる

キーワード：ヘルスマニタリング、圧電セラミックス、伝播到達時間、亀裂発生・進展

連絡先：〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 TEL：0294-38-5172 FAX：0294-38-5268

傾向は、亀裂発生以前は弾性波の伝播到達時間曲線に大きな変化は見られないが、亀裂発生直後に伝播到達時間曲線が上昇傾向を示すという点である。また、亀裂幅増加時においても、伝播到達時間の変化が見られる。この結果から、圧電セラミックスを用いたインピーダンス計測法により、モルタル供試体の亀裂発生及び、亀裂進展の検知が可能であると考えられる。以下に、供試体 B-2 を例として荷重状況と伝播到達時間の関係を表したグラフと、それに対応した供試体性状の図を示す。

図-2に供試体 B-2 の亀裂発生状況を示しているが、プロセスとしては、まず荷重 209kgf 以後亀裂が発生し、その後速くなって図-2の状態まで進展した。そして、荷重レベル 324kgf 経過後に第2の亀裂が発生し、徐々に進展する。

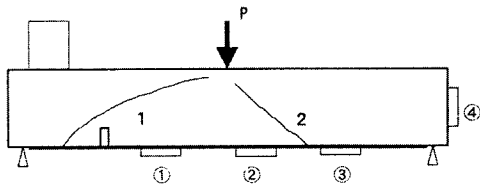


図-2 供試体 B-2 亀裂発生状況

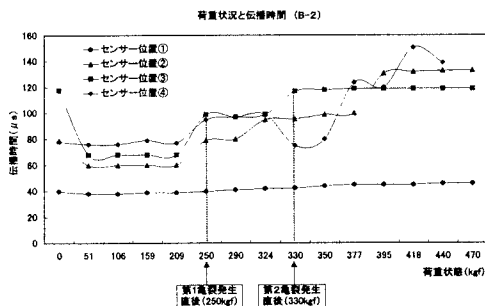


図-3 荷重レベルごとの各センサーにおける伝播到達時間の変化

実験の結果（図-3）からわかるように、第一亀裂発生の前後では、圧電セラミックスセンサー②、③、④のいずれにも大きな変化が発生した。そして、第二亀裂の発生に伴い、センサー③はその影響を受け伝播到達時間が長くなり、この時点では亀裂2の長さはまだかなり短いため、センサー④はまだその影響を受けていないようである。しかし、第二亀裂の発生に伴い、センサー②の伝播到達時間が一時的に短くなったが、第二亀裂の進展に伴い、センサー③および④の伝播到達時間はいずれも上昇した。なお、センサー①に関して、すべての供試体シリーズにおいて伝播到達時間の大きな変化があまり見られなかった。これは、近傍の切り欠きによる遮断の影響によるものと考えられる。

（2）亀裂発生前後における応答波形の振幅の違い

各供試体に同様に共通していることであるが、亀裂発生前後で比較すると、亀裂発生後に、おおむね振幅

の変化がみられた。センサー位置によっては増加傾向または減少傾向を示すものもあるが、亀裂発生の前後で弾性波の応答波形振幅に変化が見られることが確認された。図-4に示すものは供試体 D-3 の応答波形である。左列には、亀裂なしの状態での応答波形を示し、右列には第3亀裂発生後の応答波形を示した。また、上から順にセンサー①、②、③、④応答値の順になっている。

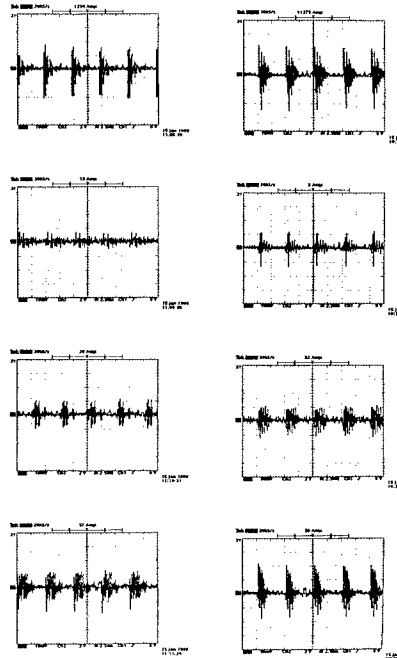


図-4 供試体 D-3 の応答波形

## 5. 結論

本研究では、圧電セラミックスを用いたインピーダンス計測法により、さまざまな亀裂状態を有する供試体内部に伝播する弾性波の伝播到達時間、及び各圧電セラミックスセンサーの応答電圧波を測定することで、亀裂の発生、及び亀裂の進展を検知することが可能であることを実験により明らかにした。その結果、弾性波の伝播到達時間と応答振幅の測定結果が、構造物のヘルスマonitoringにおける重要な判断材となることがいえた。

## 【参考文献】

- 1) 阿部, 呉, 高橋, 田名部: 圧電セラミックスのアクチュエータ特性による脆性体の破壊現象に及ぼす影響に関する実験的研究, 土木学会第 52 回年次学術講演会, 講演概要集 V-137, pp. 274-275, 1997.9.
- 2) 長谷部, 呉, 高橋: 圧電セラミックスアクチュエータの振動変化による脆性構造体内部の損傷のモニタリングに関する研究, 土木学会第 53 回年次学術講演会, 講演概要集 V-86, pp. 172-173, 1998.10.