

埋設型 piezo センサのコンクリート構造物健全性評価への適用性

京都大学 学生会員

○小松原 裕

京都大学 正会員 橋本勝文 服部篤史 塩谷智基 河野広隆

1. はじめに

コンクリート構造物の弾性波を用いた非破壊検査を行う際、コンクリート中にセンサを埋め込むことで、測定の見易化や省力化が期待できると考えられる。しかし、AE センサ等の市販のセンサは高価であるため、埋め込んで使用することは経済的に容易でない。本研究では、安価な埋設型 piezo センサを試作し、その実用性を弾性波の初動部検出の観点から市販センサと比較し、提案する埋設型 piezo センサのコンクリート材料への適用性を検討した。

2. 実験概要

2.1 センサ概要

使用した piezo 素子の厚さおよび piezo 素子の共振周波数を表 1 に示す。埋設型センサとして、piezo 素子（チタン酸ジルコン酸鉛）の厚さを 0.5, 1.5, 2.5mm とし、変化させた 3 種類の素子（以下、z0.5, z1.5, z2.5 と称す）について、ポリマーセメント系材料内部に配置することで作製した。埋設型 piezo センサの構造を図 1 に示す。

2.2 センサの性能評価実験

センサの性能評価を目的として、以下の 2 種類の実験を行い、市販の AE センサ（富士セラミックス社製）と埋設型 piezo センサの性能を比較した。

1) 感度評価実験

図 2 に示すように発信用センサと受信センサを接触させ弾性波の計測を行った。発信用センサには広帯域型の AE センサ（1045S）を用い、受信センサには 50kHz 共振型の AE センサ（AE503SU2）と埋設型 piezo センサ（z0.5 センサ, z1.5 センサ, z2.5 センサ）を用い、周波数特性を比較した。このとき、サンプリングレートは 1MHz、プレトリガーは 512 サンプル、記録長 2048 サンプルとした。発信は周波数 20kHz~4MHz の sin 波（1 波長）をそれぞれ振幅 10V でファンクションジェネレータを用いて出力した。

表 1 作製に用いた piezo 素子

素子名	z0.5	z1.5	z2.5
piezo 素子の厚さ	0.5mm	1.5mm	2.5mm
共振周波数	3.9MHz	1.3MHz	780kHz

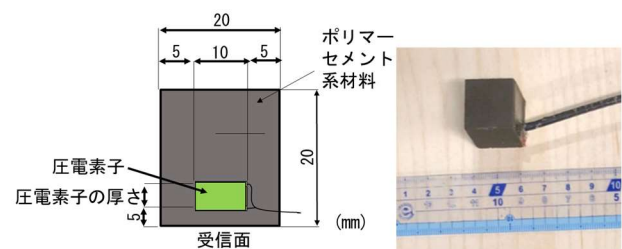


図 1 埋設型 piezo センサの構造

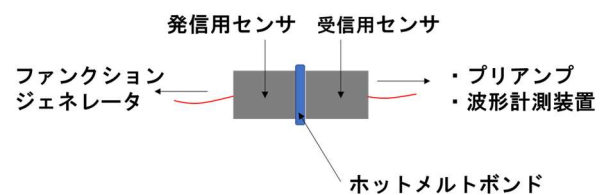


図 2 センサの感度評価実験

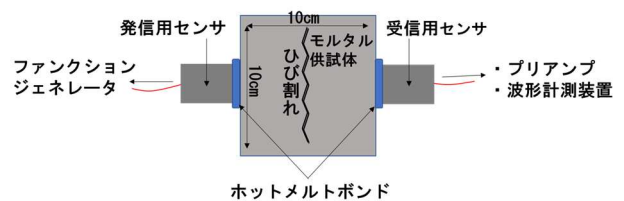


図 3 モルタル供試体を用いた弾性波測定実験

2) モルタル供試体を用いた弾性波測定実験

図 3 に示すように立方体のモルタル供試体（10cm×10cm×10cm）を用いて透過波を検出した。モルタル供試体は健全なものとはひび割れを有するもの（ひび割れ深さ 5cm）を用いた。

発信用および受信用ともに上記と同様の 50kHz 共振型の AE センサを用い、さらに、受信用には本研究で作

キーワード 埋設型 piezo センサ, ひび割れ, 非破壊検査

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-2-227 京都大学桂キャンパス 075-393-3321

製した z2.5 センサも用いて計測を行った。計測条件は、感度評価実験と同様とし、発信は周波数 20kHz~200kHz の sin 波 (1 波長) をそれぞれ振幅 10V でファンクションジェネレータを用いて出力した。

3. 実験結果および考察

3.1 作製したセンサの感度

2.1 の実験結果を図 4 および図 5 に示す。これより、センサの感度に関して以下のことが確認された。すなわち、図 4 および図 5 の比較より、市販の AE センサ (共振周波数 50kHz) に比べ、埋設型 piezo センサの感度 (振幅) は概ね 1/10 程度であることが確認された。また、図 5 より、埋設型 piezo センサは広い周波数帯域で感度を持つが、特に、z1.5 センサと z2.5 センサで 50kHz~150kHz 周辺の感度が最も高いという結果となった。数 10kHz~数 100kHz 帯では、圧電素子の厚さが大きいセンサほど (素子の共振周波数が低いほど) 高感度となることも確認された。

以上に示した周波数帯域での感度低下の結果は、埋設型 piezo センサに共振周波数が高い (数 100kHz 帯以上) 圧電素子を用いたこと、およびポリマーセメントによる封入材料によって圧電素子の共振が押さえこまれたことが原因であると考えられる。

3.2 弾性波の初動部検出による伝播速度の算出

モルタル供試体を用いた実験で得られた波形について、AIC (赤池情報量基準) に基づく AE 波初動部の自動読み取り法を用いて弾性波の伝播時間を算出した¹⁾。各センサによって測定した伝播時間 (発信周波数 100kHz) を図 6 に示す。また、この時の各センサで測定した波形を図 7 に示す。なお波の到達点を矢印で示した。

これより、埋設型 piezo センサ使用時に数 μ 秒程度の伝播時間の遅れが生じていることがわかった。これは、受感面となる表面から圧電素子間のポリマーセメント系材料を弾性波が伝搬する遅れが生じたためであると考えられる。

一方で、健全供試体と比較すると、いずれのセンサを用いた場合でも、ひび割れがある場合に伝播時間の遅れ、波の減衰が生じることが確認された。

4. 結論

1) 埋設型 piezo センサは市販の AE センサと比べ、広い周波数帯域で感度を有しており、本実験条件では 50kHz~150kHz の感度が最も高い。

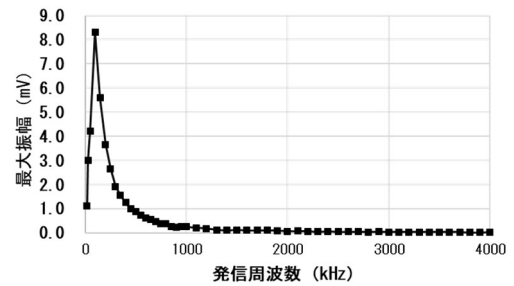


図 4 共振周波数 50kHz の AE センサの感度分布

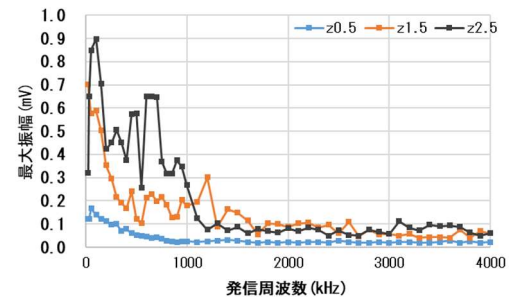


図 5 埋設型センサの感度分布

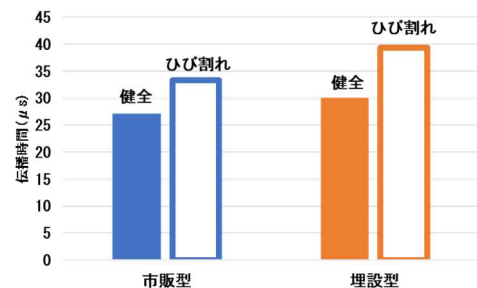


図 6 発信周波数 100kHz 時の伝播時間の比較

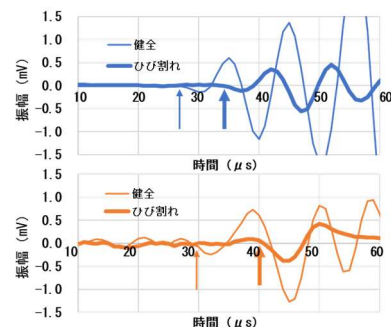


図 7 市販型 (上) と埋設型 (下) の波形

2) 埋設型 piezo センサでもひび割れによる波の減衰、伝播時間の遅れが測定可能である。

参考文献

- 1) 沢田陽佑, 大野健太郎, 下菌晋一郎, 大津政康: AE-SiGMA 解析における AE 波初動部自動読み取り法の提案, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, pp. 2101-2106, 2009