

れんが構造物の超音波音速測定と解析 （その1：音速測定システムの最適化とれんがの超音波伝播特性）

超音波技術研究所 正会員 小島 正
ジェイアール総研エンジニアリング ゲン・タン・リー
鉄道総合技術研究所 正会員 峯岸邦行
正会員 羽矢 洋
検査技術研究所 鈴木孝信

1. はじめに

本研究の目的はれんが構造物中の超音波音速を測定し、その音速とれんが構造物の強度の関係を解析することである。しかし、れんが構造物中の超音波減衰は極めて大きい。従って、れんが構造物の音速を測定するには単なる金属探傷法などの応用では不可能に近い。本研究その1ではこの問題を解決するために測定システムの最適化研究とそれを用いたれんがの超音波伝播特性の測定と解析を行った。

2. 研究の概要

これまでの金属探傷やコンクリート探傷などに使用されている伝統的な超音波探傷手法は先ず超音波パルスを作り、それに対応する探触子を作るとというのが一般的な手法であった。この手法は探触子に広帯域化が要求され効率のよい電気音響変換が出来ない。本研究では先ずれんが構造物中での超音波の送受波レベルダイアグラムを作り、次に高感度狭帯域探触子を開発し、開発した探触子の特性にマッチしたパルス（マッチドパルス）を作るという逆発想手法を用いた。更に、相互相関受信法により微弱信号に対応できる超音波音速測定システム最適化を実現した。また、今回構築したシステムによりれんがの音速、減衰、音響インピーダンスなどの基本的な超音波伝播特性を再現実験が可能な供試体を製作して測定した。

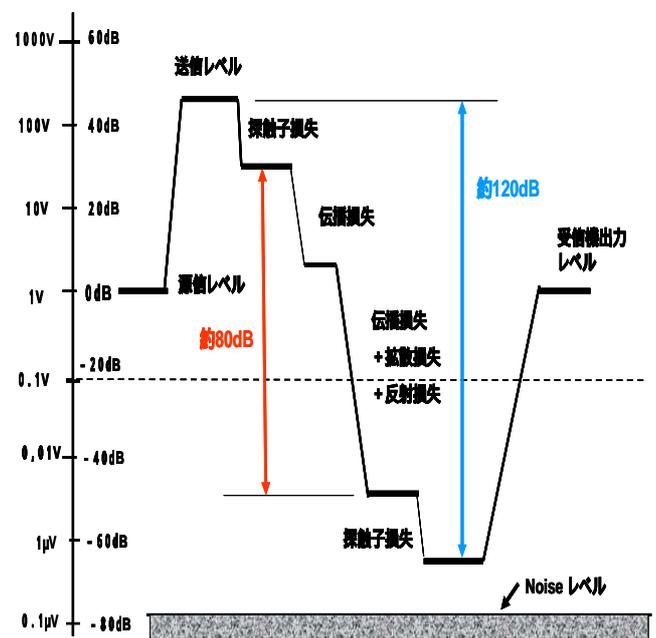


図1 送受波レベルダイアグラム

3. 音速測定システムの最適化

3.1 送受波レベルダイアグラム

図1は1Vのパルスを作り約50dB増幅して350Vにして探触子にかけた場合、れんが構造物中を約1.5m~2m伝播すると約120dB減衰し受信レベルは約350μVとなることを示す送受波レベルダイアグラムである。

このレベルダイアグラムをよく見ると送受波探触子の損失が-40dBと大きな値を示している。この探触子の変換損失を低減させるのが最適化の第一歩と位置づけた。

3.2 新しい探触子と従来探触子の比較

図2は中心周波数50kHzと100kHzの新しく開発した探触子と従来探触子のVTG特性（送信電圧に対する受信電圧比のdB表示）である。帯域は狭いが平均26dBの感度上昇をしている。この狭帯域化に対しては占有帯域の狭いガウシヤンパルスを用いることで解決した。

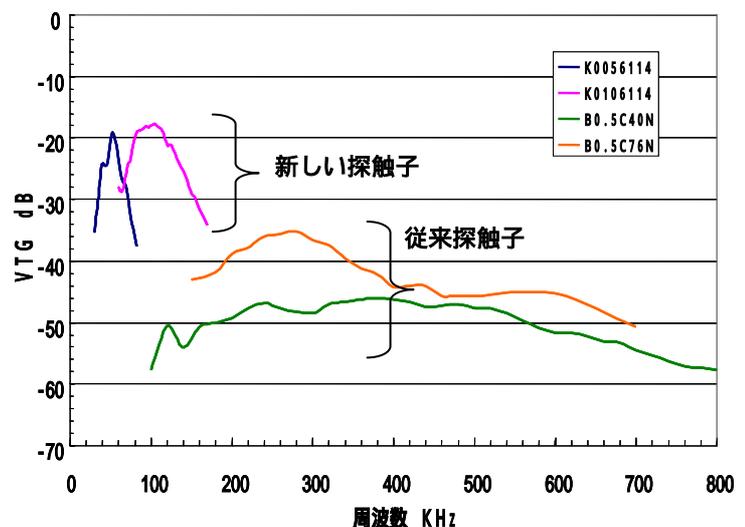


図2 新しい探触子と従来探触子の比較

3.3 相互相関法

相互相関法とは送信パルス $s(t)$ と受信パルス $r(t)$ の相互相関関数 $R(\tau)$ を用いて、れんが構造物中の透過波を検出する方法で、次式で表される。

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot r(t + \tau) dt$$

$s(t)$ として5波のガウシヤンパルスを用いた例を図3に示した。この方式はノイズに対しても極めて強い。

4. れんがの超音波伝播特性

4.1 単体れんがの音速（図4）

単体れんがとは幅×厚さ×長さが100×60×210(mm)のれんが1個をいう。記録によるとれんがの大きさは明治時代から変わっていない。今回測定した単体れんがは通称赤レンガと言われる物である。図4に示したように平均音速は2773m/sであった。

4.2 目地付きれんがの音速（図5）

単体れんがを厚さ方向にモルタル目地で1段、2段、3段と重ねた積層供試体を作りその積層方向の音速を計測した。平均音速は2910m/sと単体れんがに比べ約4.9%上昇した。

4.3 屋外れんがブロックの音速（図6）

写真1に示した幅、高さ、長さが450×1200×2000(単位はmm)の組積構造の屋外れんがブロックを造り、その高さ方向に50mm間隔で計測した平均音速は2934m/sであった。即ち、目地付きれんがの音速と同等な値を得た。

4.4 れんがの音響インピーダンス

単体れんがの音響インピーダンスの測定結果を表1に示した。れんがの音響インピーダンスは目地(モルタル)の境界で超音波の反射、散乱、減衰などを考える上で重要である。組積構造のれんが構造物はモルタルも含むのでその音響インピーダンスは6~7(MRayl=10⁶kg/m²s)と推定される。

5. むすび

以上報告した内容を次の研究(その2:音速と材料特性の評価)に具体的に応用しよい結果を得た。



写真1 屋外れんがブロックの外観

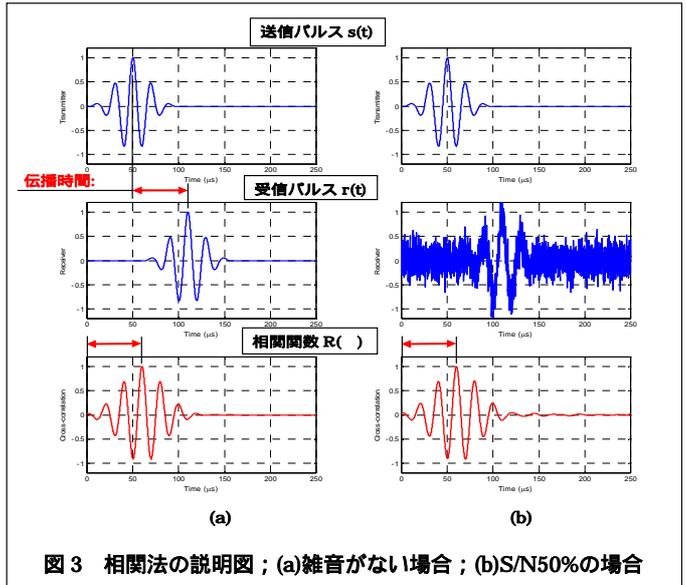


図3 相関法の説明図；(a)雑音がない場合；(b)S/N50%の場合

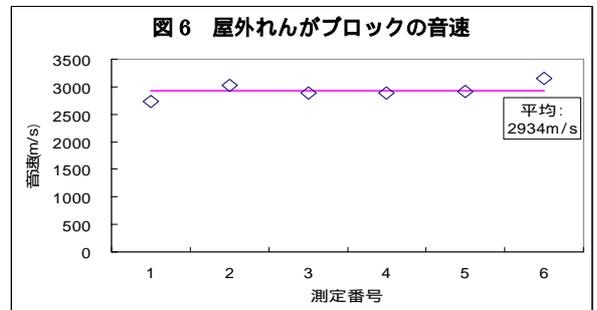
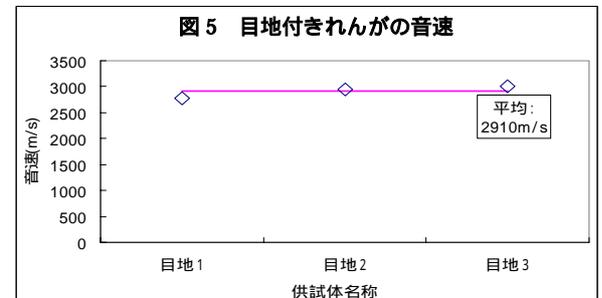
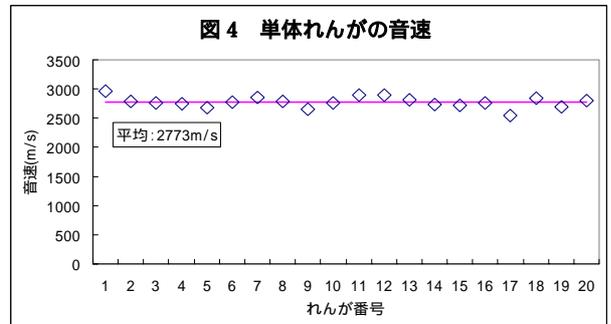


表1 単体れんがの音響インピーダンス

材質	音響インピーダンス (MRayl)
空気	0.0004
水	1.52
れんが	5.66
モルタル	9.89