

モルタルおよびコンクリート材料における超音波基本特性

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○稲葉 智明
東京工業大学 学生会員 葛西 亮平
(現在、東日本旅客鉄道株式会社に在職中)
The UTL 正会員 小島 正
東京工業大学 正会員 廣瀬 壮一
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 羽矢 洋

1. はじめに

維持管理分野においては、表面から視認することができない構造物内部の損傷の発見や構造物の健全度判定を、構造物を傷つけることなく行うことができる検査法の開発が待たれている。金属探傷法として広く普及している超音波法をコンクリート構造物に適用することを考えたとき、コンクリート材料の不均質性、背面土やバラストの存在により透過法の適用が困難な場合があり一般に伝播距離が長くなる、など計測環境としては厳しく、精度向上には今なお多くの課題が残されている。そこで、超音波法をコンクリート構造物へ適用するための第一歩として、超音波基本特性（周波数～減衰関係）を把握するために、寸法の異なる複数のモルタルおよびコンクリート供試体において超音波計測を行った。本論文では超音波計測による成果を紹介する。

2. 計測概要

計測方法は透過法とし、接触媒質には(株)サーンガスニチゴー製のソニコートELを用いた。計測機器にはファンクションジェネレータ(IWATSU SG-4115)、パワーアンプ(Ritec GA-10000 GATED AMPLIFIER)、レシーバ(LeCroy DA1822A)、オシロスコープ(LeCroy Waverunner LT264 350MHz 1GS/s DS0)を用いた。また、探触子には公称周波数が100kHz, 200kHz, 500kHz, 1MHzのジャパンプローブ(株)製の探触子(φ=40mm)を送信と受信の対で用いた。計測機器概要図を図1に示す。

供試体は、伝播距離が異なるよう、モルタルおよびコンクリートそれぞれについて厚さ100mm, 300mm, 500mmの3種類を作成した。供試体概要を表1に示す。

計測は、すべての供試体について、sinバースト波の周波数を60kHzから800kHzまで10kHz間隔で変化させ、それぞれ5点ずつ計測した。具体的には以下に述べるようにそれぞれの周波数毎に伝播距離がΔxだけ異なる設定で得られた振幅データを用いて減衰係数α(f)を求める。xだけ離れた距離に設置された送受信探触子によって得られた波形の周波数fの振幅をA(x, f)とすると式1で表わすことができる。

$$A(x, f) = M_r(f) \cdot D(x, f) \cdot \exp(-\alpha(f) \cdot x) \quad \text{式1}$$

ここに、 $M_r(f)$ は用いた送受信探触子による損失を、 $D(x, f)$ は材料中を伝播する超音波の放射による損失を表わす。今、伝播距離がΔxだけ異なる2つの供試体を用いて $A'(x, f)$ と $A(x + \Delta x, f)$ の振幅を得て、かつ、理論的あるいは実験的に損失の補正ができたとすると式2のよ

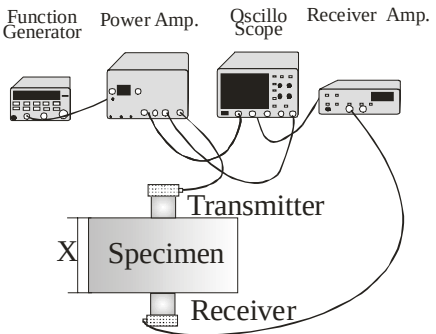


図1 計測機器概要図

表1 供試体概要

	モルタル	コンクリート
探触子設置面	すべて	すべて
形状(mm)	300×300	300×300
厚さ(mm)	100, 300, 500	100, 300, 500
W/C(%)	50	50
s/a(%)	—	45
fc'(Mpa)	59.7	62.1
E×10 ⁵	2.86	3.79
ρ(kg/m ³)	2,278	2,450
c _p (m/s)	3,930	4,240

キーワード 超音波法, 非破壊検査, 維持管理, モルタル, コンクリート

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 基礎・土構造 TEL 042-573-7261

うになり、 $\alpha(f)$ を求めることができる。

$$\exp(-\alpha(f) \cdot \Delta x) = \frac{A(x + \Delta x, f)}{A'(x, f)} \cdot \frac{M'_{tr}(f)}{M_{tr}(f)} \cdot \frac{D'(x, f)}{D(x + \Delta x, f)} \quad \text{式 2}$$

各損失の補正方法を以下に述べる。

3. 探触子による損失の補正

探触子による損失の補正は、送信探触子と受信探触子を接触媒質を介して直に接触させ、送信電圧 V_t と受信電圧 V_r の比 $M_{tr} = V_t/V_r$

をもって行った。一例として、100kHz 探触子における周波数～損失補正係数関係を図2に示す。

4. 超音波の放射による損失の補正

超音波（ $\phi=40\text{mm}$ ）をピストンモデル、供試体を半無限均質弾性体、受信探触子と送信探触子を同軸上の遠方場にあるとそれぞれ仮定すると、超音波の放射による損失 $D(x, f)$ は式3で与えられる。

$$D(x, f) = \int_{S_r} \left(\frac{p_0}{2\pi\rho c_p^2} \int_{S_t} \frac{\exp(i2\pi f R/c_p)}{R} dS_t \right) dS_r \quad \text{式 3}$$

ここに、 p_0 ：探触子面から放射される圧力、 ρ ：密度、 c_p ：縦波

音速、 S_t （ S_r ）：送（受）信探触子面である。図3に $c_p=4,240\text{m/s}$,

$\rho=2,450\text{kg/m}^3$ 、 $f=100\text{kHz}$ のときの音場解析結果を示す。これは式3の右辺括弧内の値を図示したものである。伝播距離 $X=100, 300, 500\text{mm}$ における $D(x, f)$ は図中の白丸部分を積分することで得られる。

5. 計測結果

伝播距離～補正後の振幅値関係の一例として、モルタル供試体の $f=250\text{kHz}$ の結果を図4に示す。図4のデータに対して最小二乗法を適用し減衰係数 $\alpha(f)$ を求めたところ $\alpha(f)=2.4714$ となった。他のケースについても同様の作業を行い、周波数～減衰係数関係として整理したものを図5に示す。図5を見ると、モルタル、コンクリートとも周波数～減衰係数関係が線形であることが分かる。また、モルタルはコンクリートに比べ減衰係数が小さく、150kHz以下では減衰しにくいことが分かる。

6. まとめ

本論文では、超音波法をコンクリート構造物へ適用するための第一歩として、超音波基本特性（周波数～減衰関係）を把握するために、寸法の異なる複数のモルタルおよびコンクリート供試体において透過法による超音波計測を行い、それぞれの材料における周波数～減衰関係を求めた。この結果は、超音波法の適用限界を知るための基礎データとなる。

参考文献

- ・（財）日本規格協会：超音波パルス反射法による固体の超音波減衰係数の測定方法 JIS Z 2354:1992 (JSNDI/JSA), 1992
- ・L. W. Schmerr, JR : Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation, 1998

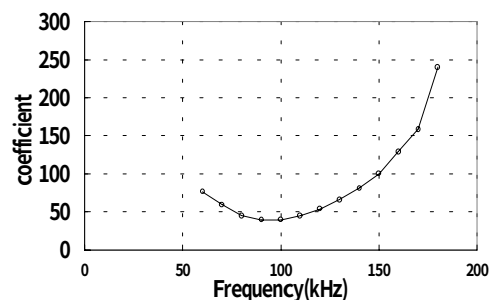


図2 周波数～損失補正係数関係

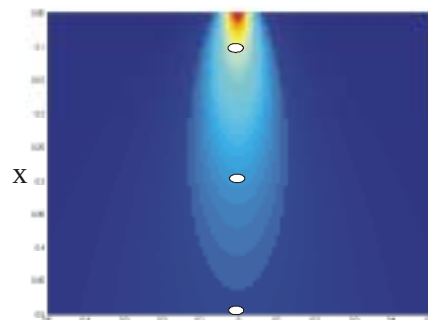


図3 音場解析結果の例

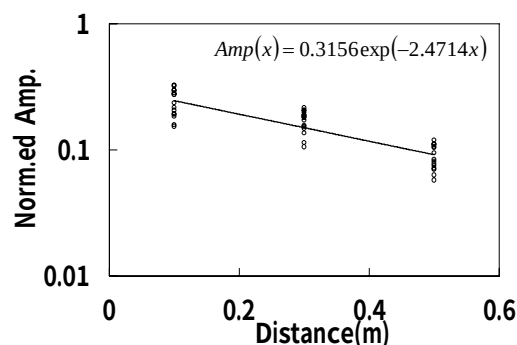


図4 伝播距離～補正振幅値関係

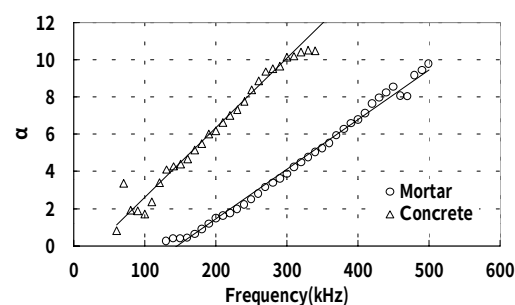


図5 周波数～減衰係数関係