

超音波法におけるマッチドパルスの検討

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

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 稲葉 智明

1. はじめに

近年，コンクリート構造物の老朽化に伴うコンクリート剥落による第三者災害の発生が頻発しており，維持管理業務の重要性が高まってきている．このような災害を未然に防ぐためには，コンクリート構造物に対して非破壊検査等を実施し，事前に不健全箇所を把握することが必要となる．非破壊検査法のひとつに超音波法があるが，コンクリート構造物の適用においては，受信波形の判読が困難であるなどの課題が残されている．これは受信波形の S/N 比が低く検査分解能が悪いことに起因する．S/N 比の向上には，送受信における電気信号～音響信号間の変換ロスを少なくすることが必要であり，検査分解能の向上には，時間幅が狭い波形の使用が考えられる．そこで筆者らは，超音波探触子の変換ロスが少なくかつ波形の時間幅が狭い最適波形（以下，マッチドパルスと呼ぶ）を提案・検討し，適用例として水中における超音波伝播速度の計測を行った．本論文ではその成果を紹介する．

2. 探触子が持つ周波数帯域特性および既往の送信波形

超音波法で用いる探触子はそれぞれ特有の周波数帯域特性を有しており，これを示すものとして周波数帯域曲線がある．例えば，図 1 に示すような周波数帯域特性を有する中心周波数 200kHz の探触子の場合，200kHz 付近の周波数成分波に対しては感度が高いが，450kHz 付近では感度が低いことが分かる．超音波法においては，検査分解能の向上のために時間幅の狭いスパイク波やインパルス波と呼ばれるスクエアパルス波を送信波として用いる場合が多いが，周波数帯域曲線において感度が低い周波数帯域においては，探触子における振幅のロスが大きくなり S/N 比の低下につながる．

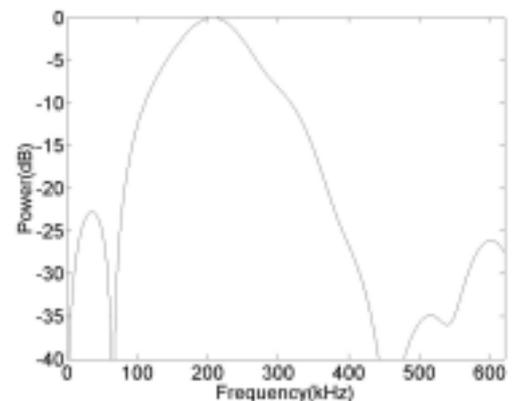


図 1 200kHz 探触子の周波数帯域曲線

一方，単一周波数で一定振幅の波形である正弦波を所定周期分（例えば，10 周期）用いたバースト波を送信波として用いた場合，受信振幅は大きくなり S/N 比は高くなるが，時間幅が広いため検査分解能に劣る．

3. マッチドパルス概要

探触子における振幅のロスが少なくかつ時間幅が狭い波形を得ることができれば，それが探触子にとって最適な波形となる．そこで，探触子の中心周波数と同じ周波数を有する正弦波を正規分布曲線で振幅変調した波形をマッチドパルスとして提案・検討することとした．マッチドパルス $G(t, \sigma)$ は式 1～式 3 により与えられる．

$$F_a(t) = \sin(2\pi f_c t) \quad \text{式 1}$$

$$F_b(t, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(t-t_c)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \text{式 2}$$

キーワード 超音波法，非破壊検査，維持管理，マッチドパルス

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学大学院情報理工学研究所 TEL 03-5734-2692

$$G(t, \sigma) = F_a(t) \times F_b(t, \sigma) \quad \text{式 3}$$

ここで、 t は時間、 f_c は探触子の中心周波数、 t_c は振幅が最大となる時間、 σ は正規分布曲線の標準偏差である。 σ の値は、得られるマッチドパルスの周波数帯域曲線が探触子の周波数帯域曲線に最も近くなるものが選ばれる。図2に200kHz探触子に対するマッチドパルスの作成例を示す。

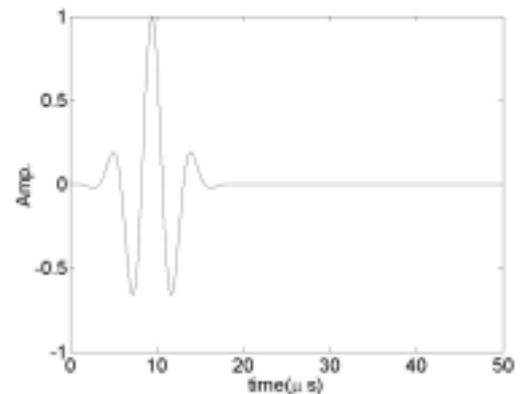


図2 200kHz探触子に対するマッチドパルス

4. マッチドパルスの適用例(水中における超音波伝播速度の計測)

マッチドパルスの適用例として、水中における超音波伝播速度の計測結果を示すこととする。計測装置として、図3に示す超音波機器を用いた。また、探触子と送信波形には、前述の200kHz探触子とマッチドパルスを用い、受信波形の読み取りには、計測者による個人差をなくすことを目的に相互相関法を活用することとした。図4と表1に計測結果を示す。図4を見ると、上段と中段の波形に基づく目視による伝播時間の読み取りと、下段の相互相関の最大値に基づく伝播時間の読み取りの結果がほぼ同じであることが分かる。また、表1を見ると、伝播速度の計算値と正解値の誤差が0.4%以下であり、精度の良い計測結果であったことが分かる。今回、音響媒質として水を例に挙げたが、非均質材料であるコンクリートではマッチドパルスによる効果がより期待できる。

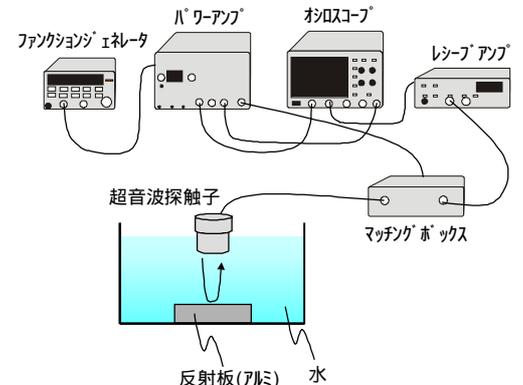


図3 計測装置概要

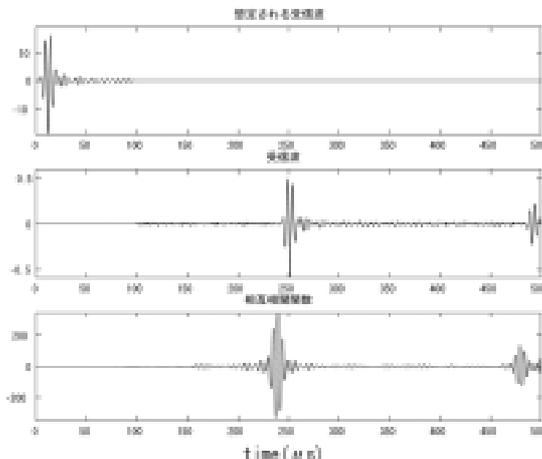


図4 計測結果(その1)

表1 計測結果(その2)

探触子の周波数(kHz)	200
水温()	8
伝播距離(mm)	346
伝播時間(μs)	239.5
伝播速度の計算値(m/s)	1,444.7
伝播速度の正解値(m/s)	1,439.1
誤差(m/s)	5.6
精度(%)	0.389

5. おわりに

探触子の中心周波数と同じ周波数を有する正弦波を正規分布曲線で振幅変調した波形をマッチドパルスとして提案・検討し、適用例として水中における超音波伝播速度の計測を行った。その結果、良好な成果が得られることを確認した。このマッチドパルスはコンピュータプログラムにより迅速・簡便に作成することができる。今後、超音波法において、マッチドパルスが送信波形として普及することを期待するものである。

参考文献

- ・(財)日本規格協会：超音波探触子の性能測定方法 JIS Z 2350:2002 (JSNDI/JSA), 2002
- ・L. W. Schmerr, JR: Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation, 1998
- ・超音波便覧編集委員会：超音波便覧, 丸善, 1999