

超音波による道路橋の滞水検知技術

木村友則*
細谷 朗**

Technology of Water Detection in Road Bridge Using Ultrasonic Waves

Tomonori Kimura, Akira Hosoya

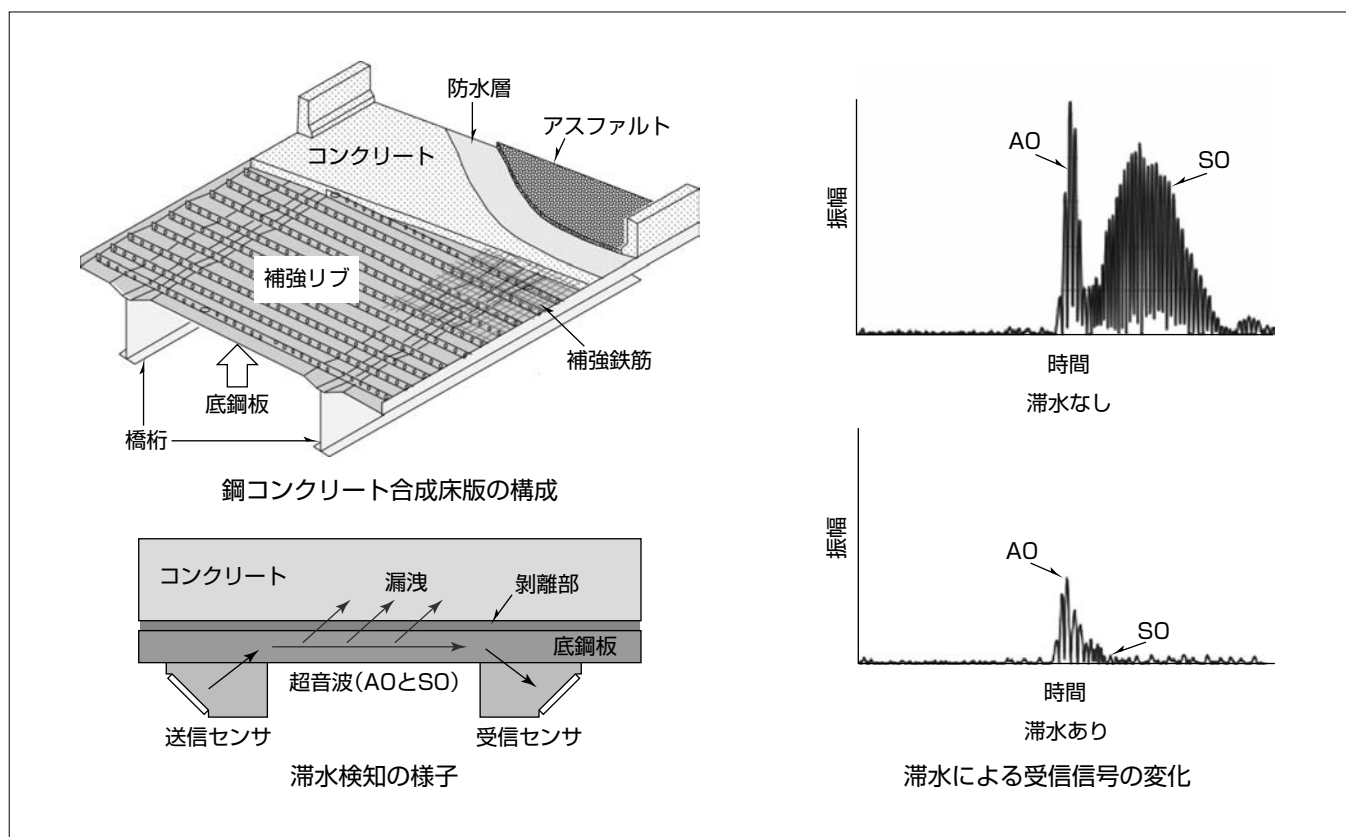
要 旨

近年、各種構造物の老朽化が問題となってきた。老朽化した構造物を放置しておくと、人命に関わる重大な事故を引き起こす可能性があり、安全・安心な社会を実現するためにはこれら構造物の維持管理が不可欠である。すなわち、検査を行って問題があれば補修を行う必要がある。

検査方法として、多くの場合目視検査が行われているが、構造物内部の状態を目視で検査することは難しい。内部の状態を検査する方法としてX線や超音波による方法があるが、使いやすさやコストの面から超音波による非破壊検査が多く用いられている。

超音波を用いて構造物内部の状態を非破壊で検査する技術の1つとして、道路橋の滞水検知技術がある。道路橋に

用いられている鋼コンクリート合成床版(しょうばん)は、コンクリートが劣化してくると底鋼板との剝離部に雨水が滞水する。この滞水を検知すれば、間接的にコンクリートの劣化を診断できる。今回、底鋼板に超音波の板波を伝搬させ、受信信号の振幅から剝離部滞水を検知する技術を(株)横河ブリッジと共同で開発した。送信センサと受信センサを底鋼板に設置し、2つのモード(A0とS0)の板波を伝搬させる。剝離部が滞水すると、コンクリートへ超音波のエネルギーが漏洩(ろうえい)していくが、モードによって漏洩量が大きく異なることを利用すると、鋼コンクリート合成床版の劣化診断に有効な情報が得られる可能性がある。



鋼コンクリート合成床版と滞水検知

上側の図は、鋼コンクリート合成床版の構成を示している(株)横河ブリッジから提供)。アスファルトの下に防水層を介してコンクリートがある。コンクリートは補強リブや補強鉄筋で強度を保っている。コンクリートの下側に底鋼板がある。左下の図は、超音波による滞水検知の様子を示している。右下の図は、滞水によって超音波の受信信号が変化の様子を示した実験例である。

1. ま え が き

近年、橋梁(きょうりょう)に用いられている床版の損傷が顕在化している。鋼コンクリート合成床版の損傷事例の報告はないが、将来的に損傷が発生する可能性はある。鋼コンクリート合成床版のコンクリートが劣化すると水が浸入し、底鋼板との剝離部が滞水する。剝離部滞水を検知することによって、コンクリートの劣化を間接的に診断することができる。今回、板波による鋼床版Uリブ内滞水検知技術⁽¹⁾を応用し、コンクリートと底鋼板との剝離部滞水検知技術を(株)横河ブリッジと共同で開発した。

本稿では、道路橋の滞水検知方法と試作したセンサによる実験結果について述べる。

2. 2つのモードを用いた滞水検知方法

鋼床版Uリブ内滞水検知では、A0モード(以下“A0”という。)の伝搬減衰を大きくするためセンサ間距離を約400mmとした。しかし、合成床版の剝離は、大きさ200mm以下の場合もある。今回は、S0モード(以下“S0”という。)も併用して大きさ200mm以下の剝離部滞水を検知する技術を開発した。

2.1 くさびを用いた板波の送信

図1に、くさびを用いて鋼板に対して斜めに超音波を入射して、板波を送信する様子を示す。縦波入射角を α とすると、鋼板中には

$$\frac{\sin \alpha}{V_w} = \frac{1}{V_s} \dots\dots\dots (1)$$

というスネルの法則を満足する板波が伝搬する。ここで、 V_w はくさびの縦波音速、 V_s は板波の位相速度である。

2.2 音場シミュレーションの条件

A0とS0の板波を同時に送受信でき、かつ、滞水検知可能な入射角 α を求めるため、音場シミュレーションを行った。モデルは二次元弾性波FDTD(Finite Difference Time Domain)法⁽²⁾を用いた。図2に、音場シミュレーションで用いたセンサの応答特性を示す。鋼板の塗装の影響を低減させるため、鋼床版Uリブ内滞水検知と同様に今回も中心周波数は約0.4MHzとした。

厚さ6mmの鋼板を伝搬する板波の位相速度及び群速度の分散特性を図3に示す。ここでは高次モードは省略して示している。位相速度の分散特性から、周波数0.4MHz帯の場合、A0とS0を同時に送受信するには位相速度3,000～4,000m/sとする必要がある。

音場シミュレーションでのセンサと試験体との相対的な位置関係を図4に示す。大きさ200mm以下の剝離部が対象なので、センサの遠方同士の距離を200mmとした。実際のコンクリートは骨材を含んだ複合材料であるが、ここでは簡単のため、縦波音速4,200m/s、横波音速2,000m/s、

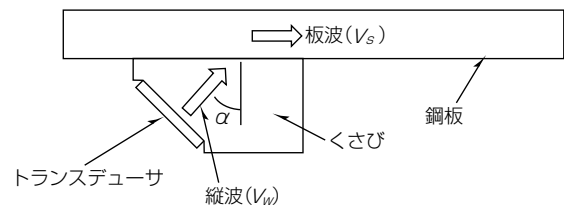


図1. くさびを用いた板波の送信

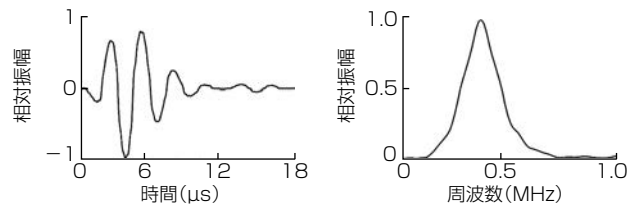
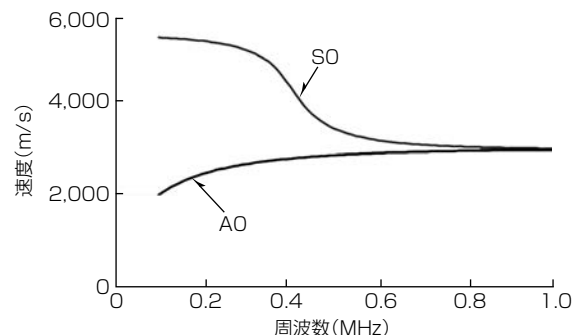
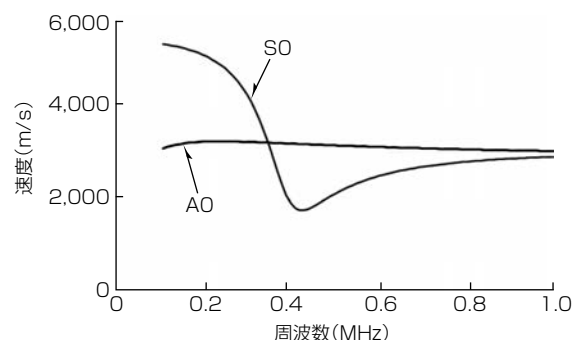


図2. 音場シミュレーションで用いたセンサの応答特性



(a) 位相速度



(b) 群速度

図3. 鋼板を伝搬する板波の分散特性

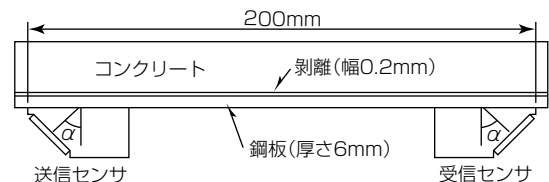


図4. センサと試験体との相対的な位置関係

密度2,300kg/m³の一樣材料とした。また、くさびの縦波音速は2,360m/sとした。剝離の幅は0.2mmとし、この部分が空気の場合及び滞水した場合の受信信号を求めた。

2.3 音場シミュレーションの結果

入射角 α を46°として音場シミュレーションを行った。図5及び図6に、それぞれ、剝離部が空気の場合及び滞水した場合の音場シミュレーション結果を示す。図では粒子速度の絶対値を濃淡で示している。

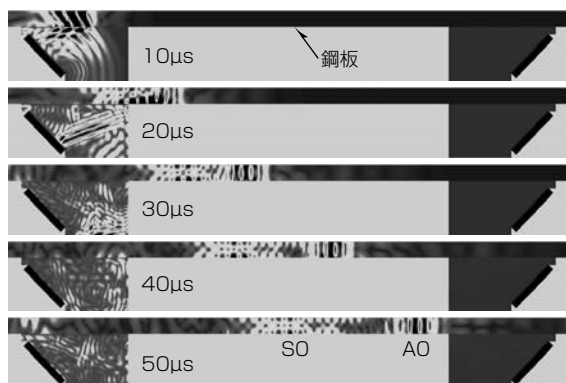


図5. 剝離部が空気の場合の音場

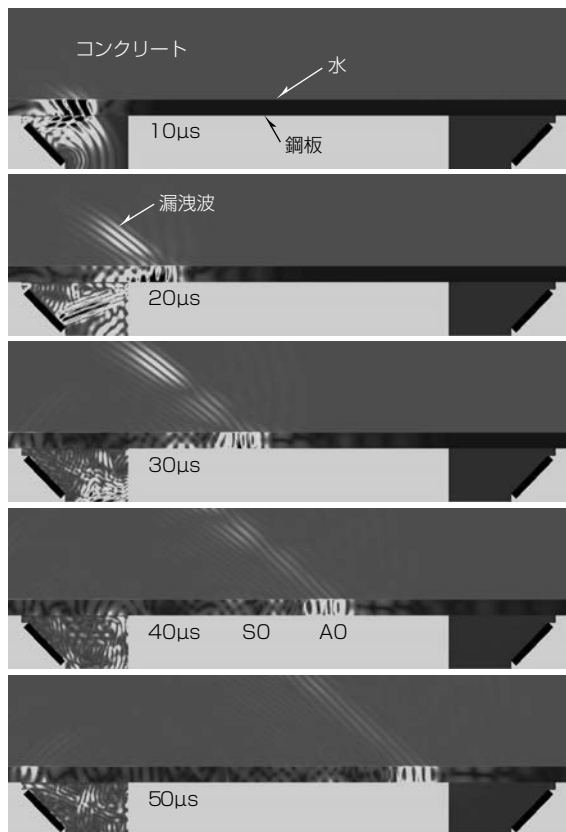


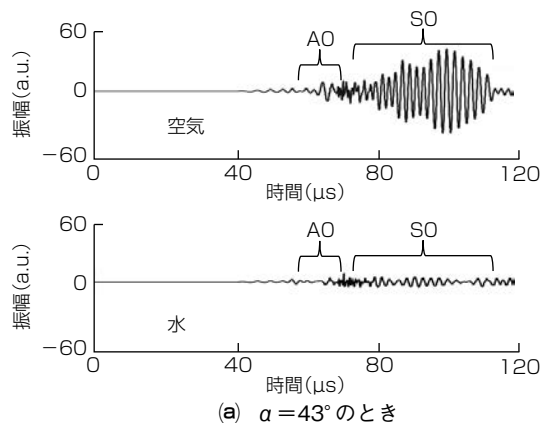
図6. 剝離部が滞水した場合の音場

図5から分かるように、2つの板波が伝搬していく。図3(b)の群速度から分かるように、0.4MHz帯では速い波がAO、遅い波がSOである。剝離部が滞水した場合には、図6に示すように、SOのエネルギーの多くがコンクリートへ漏洩していく。このため、AOよりも伝搬減衰が大きい。

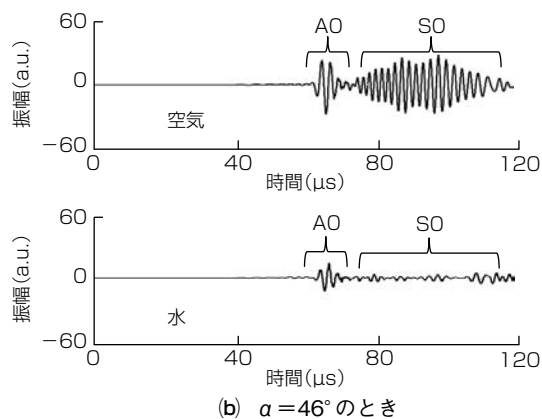
2.4 入射角に対する信号振幅の変化

入射角 α を 43° から 49° まで変化させて受信信号を求めた。図7に、 $\alpha=43^\circ$ 、 $\alpha=46^\circ$ 、及び $\alpha=49^\circ$ のとき得られた受信信号を示す。各図ともに、剝離部が空気の場合と滞水した場合の信号を上下に並べて示している。

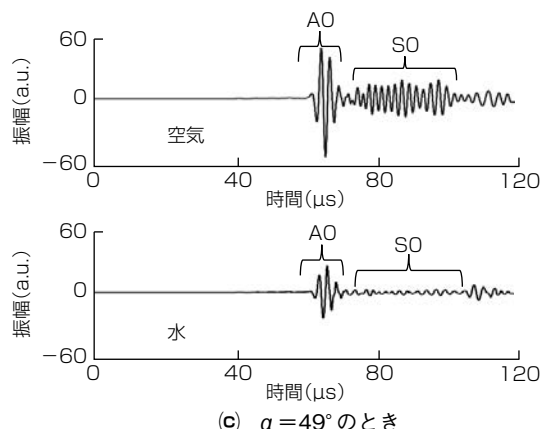
図7に示すように、AOとSOの両方とも受信されているが、振幅変化に大きな差異がある。SOは剝離部が滞水すると急激に振幅が低下するが、AOは半減する程度である。この特徴を用いれば、滞水検知は可能と考えられる。



(a) $\alpha=43^\circ$ のとき



(b) $\alpha=46^\circ$ のとき



(c) $\alpha=49^\circ$ のとき

図7. 音場シミュレーションで得られた受信信号

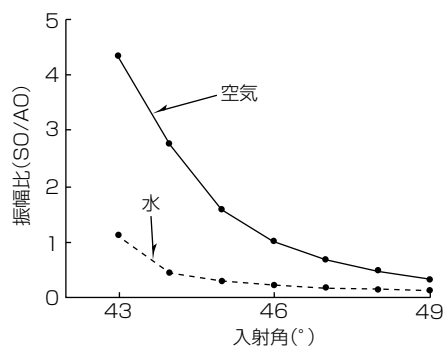


図8. 入射角に対する振幅比の変化

図8に、入射角に対する振幅比(SO/AO)を示す。剝離部が滞水するといずれも振幅比は低下し、その変化は入射角が小さい方が顕著である。

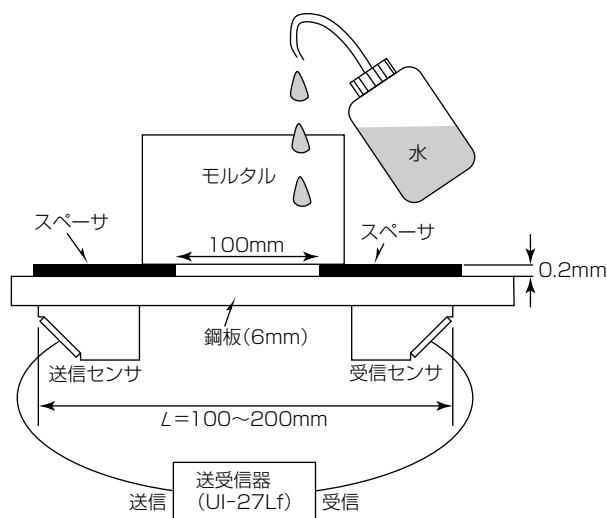


図9. 実験系

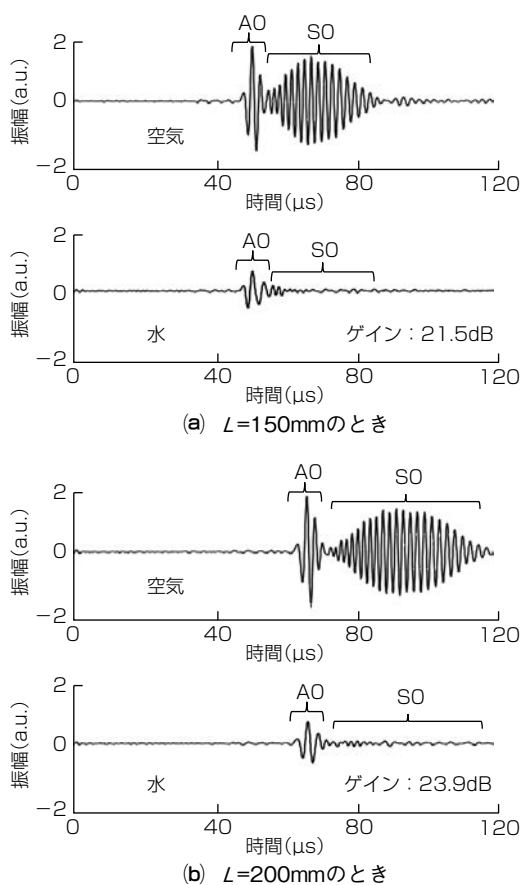


図10. 実験で得られた受信信号

3. 実験結果

3.1 実験系

図8に示したとおり、入射角が小さい方が滞水に対して振幅比は大きく変化する。しかし、図7(a)に示したとおり、A0の振幅が小さくてノイズに埋もれる可能性がある。そこで、A0の振幅も十分大きく得られるように、入射角46°のセンサを試作して実験を行った。くさびの材質は、縦波音速2,360m/sのポリスチロールを用いた。実験系を図9に示す。送受信器には、1MHz以下の低周波帯でも使用

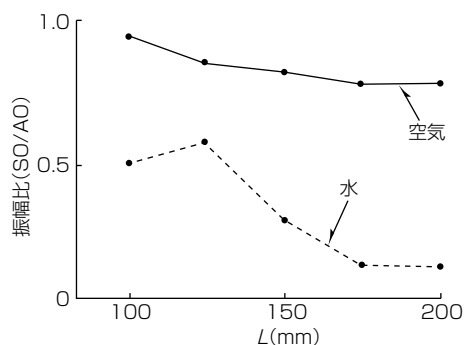


図11. センサ間距離に対する振幅比の変化

可能な菱電湘南エレクトロニクス(株)製の探傷器“UI-27Lf”を用いた。コンクリートの代用品としてモルタルを用い、スぺーサで0.2mmの剥離を模擬した。剥離を模擬した領域は100mmである。

図9に示す距離 L を100~200mmで変化させ、剥離部が空気の状態での受信信号と、水を滴下して滞水させた状態での受信信号を測定し、振幅比($S0/A0$)を求めた。

3.2 受信信号

図10に、 $L=150$ mm、及び $L=200$ mmで得られた受信信号を示す。各図ともに、剥離部が空気の場合と水の場合の信号を上下に並べて示している。また、実験における探傷器のゲインも合わせて示している。

図10に示すように、水を滴下して剥離部を滞水させるとA0とS0ともに減衰するが、音場シミュレーションと同様にS0の方が大きく減衰することが確認できた。

距離 L に対する振幅比の変化を図11に示す。剥離部が空気の場合、振幅比は1.0から緩やかに減少していく。一方、剥離部が水の場合には、 $L=125$ mm以降急激に減少する。例えば、振幅比のしきい値を0.5とすれば、大きさ200mm以下の剥離部滞水を検知できる可能性がある。

4. むすび

2つのモードの板波を用いて、コンクリートと底銅板との剥離部が滞水しているかどうかを検知する技術について述べた。音場シミュレーションを行い、S0とA0の振幅比を用いる方法が有効であることを示した。また、センサを試作して実験を行い、大きさ200mm以下の剥離部滞水を検出できる可能性があることを確認した。今後、フィールド試験を行い、この技術の妥当性検証を行う予定である。

参考文献

- (1) 木村友則, ほか: 板波による鋼床版デッキプレート貫通亀裂の検出, 日本音響学会 2013年秋季研究発表会講演論文集, pp.1353-1356 (2013)
- (2) 木村友則, ほか: 弾性波FDTD法による音場シミュレーションの超音波斜角探傷への適応, 電子情報通信学会技術研究報告, US2005-124 (2006)