

超音波法によるコンクリート構造物のひび割れ調査に関する研究 (1)

— 複合手法によるひび割れ深さ測定精度の検討 —

Inspection of Concrete Crack by Ultrasonic Technique (1)

— Fundamental Study on Accuracy of Crack Depth Measurement by Combined Method —

平田 隆 祥*・魚 本 健 人**

Takayoshi HIRATA and Taketo UOMOTO

1. はじめに

建設分野では、コンクリート構造物の劣化問題が顕在化したため、健全性の評価を必要とする既設構造物が増加しており、合理的な維持管理技術が求められている^{1), 2)}。このような社会的要請により、維持管理手法の一つとして、コンクリート構造物を破壊することなく、調査、診断する非破壊検査が注目されている。

本研究は、既設コンクリート構造物の性能や耐久性を評価する上で、重要な劣化現象の一つであるひび割れを超音波法により合理的に調査する方法について検討することとした。超音波法は、安全かつ簡便な非破壊検査方法であり、医療や鋼材などの分野で広く用いられている。コンクリートの分野では、弾性係数や強度への使用実績が多く、また、構造物の内部欠陥を測定できるため、ひび割れの詳細調査³⁾では、深さの測定に用いられている。しかし、従来のひび割れ深さの測定では、測定条件によりその測定結果が実際のひび割れ深さと大きく異なる場合があり、この手法の信頼性を損ねる原因となっている。従って、信頼性の高い、超音波法によるコンクリートのひび割れ調査手法の確立が求められている。

そこで、本研究では、超音波法によるコンクリートのひび割れ深さの測定精度を向上することを目的とし、幾つかの超音波手法を複合的に用いる合理的な測定方法について検討した。

2. 超音波法によるひび割れ調査の目的

超音波法によるひび割れの詳細調査は、コンクリート構造物の内部に発生しているひび割れの位置、および、その深さを測定する事により、

①ひび割れの原因推定

- ②コンクリート構造物の劣化状態・耐久性の判定
- ③ひび割れの進行性
- ④補修・補強の要否判定とその手法選定
- ⑤ひび割れ補修後の検査

などの資料を得ることを目的としている。

3. 複合手法の提案

現状の超音波法によるひび割れ深さの測定で、測定結果に大きな誤差を生じる理由は、測定者が誤った測定をしていることを認識できないことが挙げられる。従って、測定過程で、測定者が正しい測定を行っているという判定方法が測定精度を高める上で必要となる。ひび割れ深さの測定結果に誤差が生じる原因は、測定者がコンクリート内部に発生しているひび割れの状態を目視で観察できないため、例えば、ひび割れの内部で、一部分が接触し閉じている場合や、図1に示すようにひび割れ面を鉄筋が貫通している場合など、ひび割れ先端からの回折波や散乱波ではなく、これらを経由した超音波パルスを受信し、ひび割れ深さを過小評価することがある。

そこで、図2に示す測定手順例のように、超音波法の中でも、ひび割れ深さの測定原理が異なる幾つかの手法を複合的に組み合わせることにより、或る測定点の結果が妥当な値となっているかを複数の手法で判断する事により、大

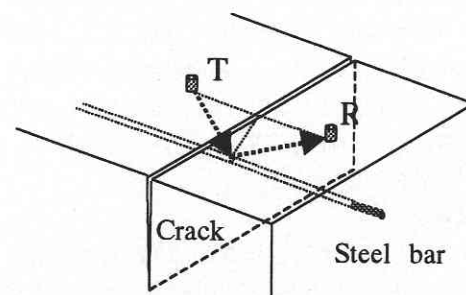


図1 鉄筋を経由した超音波の伝播経路

*東京大学物質・生命大部門 受託研究員 (株式会社大林組)

**東京大学国際・産学共同研究センター

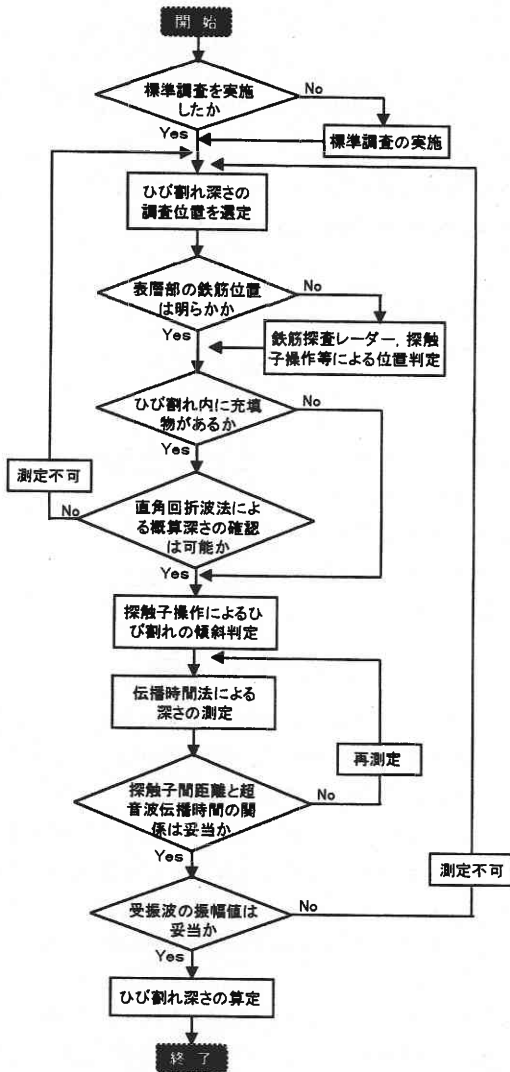


図2 複合手法によるひび割れ深さの調査手順の例

きな誤差を除去し、合理的で信頼性の高いひび割れ深さの測定が可能となると考えられる。

4. 実 験 概 要

実験は最初に、周波数の異なる2種類の探触子を用いて、複合手法を適用した場合のひび割れ深さの測定精度について検討を行った。次に、ひび割れ深さの測定結果を用いて、超音波伝播速度および探触子間の補正距離を誤って計測した場合、どの程度ひび割れ深さの測定精度に影響を与えるかを計算し検証した。

4.1 供試体

実験は、図3に示す深さ94.5mmの人工ひび割れを有した梁供試体を用いて行った。この供試体には、水セメント比50%、スランプ8cmの普通コンクリートを用い、人工ひび

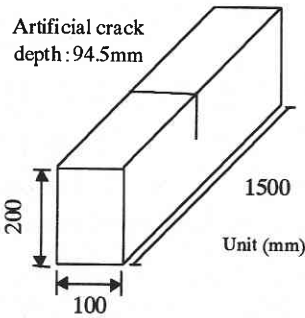


図3 供試体の形状

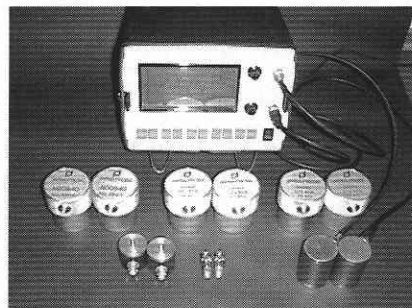


図4 デジタル超音波探傷器 (TR-300)

表1 デジタル超音波探傷器の主要性能

パルス電圧 (V)	-350, -700
パルス幅 (μ sec)	5, 10, 20, 50, 100, 200, 2000
パルス波形	矩形波
サンプリング長さ (μsec)	1600
サンプリング時間 (μsec)	0.1
インターフェイス	RS-232 C

割れは、幅1.0mm、ステンレス製の板を用いて作製した。超音波法の測定は、供試体作製後、セメントの水和が十分に進行し、物性が安定していると考えられる1年後に行った。

4.2 超音波探傷装置

実験では、図4に示すテクノリサーチ社製 (TR-300) のデジタル超音波探傷器を用いた。超音波探傷器の主要性能を表1に示す。測定に用いたパルス電圧は-700Vとした。また、探触子は、周波数50kHz, 200kHzの2種類とし、狭帯域円形垂直探触子を用いた。

5. 測 定 方 法

超音波伝播時間の測定は、受振波観察方式により行い、図5に示すように受振波形がノイズ域の最大値を越えた時点とした。また、一連の測定中に受振波形の増幅率を変化させると、測定時間は変化するため、本実験では、増幅率

を 4 倍で一定に固定して測定を行った。

測定は、供試体表面をサンダーで平滑に処理した後、グリセリン系の接触媒質を用い、探触子をコンクリートに密着させて行った。

6. 実験結果および考察

6.1 複手法によるひび割れ深さの測定精度

複手法によるひび割れ深さの測定は、最初に図 6 に示す直角回折波法⁴⁾によりひび割れの概算深さを確認した。次に、図 7 に示す探触子間の補正距離を考慮したひび割れ

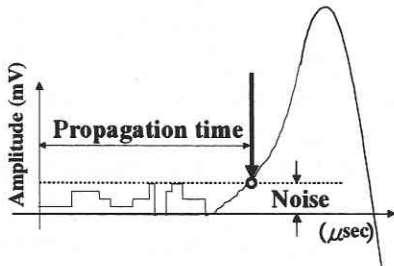


図 5 受振波観察方式による超音波伝播時間測定方法

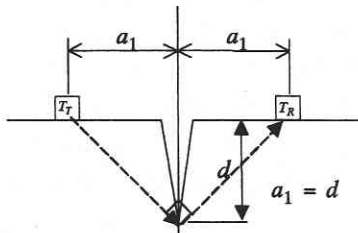


図 6 直角回折波法

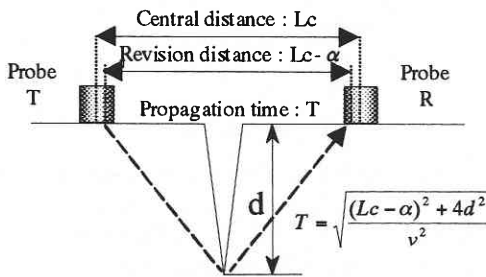


図 7 ひび割れ深さの算定方法

深さの関係式を用い、探触子間距離と超音波伝播時間の関係が妥当であるか判定した。その後、この関係式を測定結果に適用し、最小二乗近似によりひび割れ深さを算定した。

測定の結果、直角回折波法によるひび割れの概算深さの確認は容易に行え、効果的な手法であることが明らかとなった。予め、直角回折波法により、大体のひび割れ深さを把握することで、ひび割れ部を回折した場合の超音波伝播時間の概略値を算定できるため、測定値と算定値を比較することにより、大きな測定誤差は回避できると考えられる。また、図 8 に示す探触子間距離と超音波伝播時間の関係は、下に凸の曲線となるため、各測定点の測定結果をその都度グラフ化する事により、測定者は正しい測定が行われているか目視である程度判定できると考えられる。これら複数の測定手法を併用することで、ひび割れ深さの測定精度は向上すると考えられる。

次に、図 7 に示す関係式を用いて、ひび割れ深さを最小二乗近似で算定した結果を表 2 に示す。最小二乗近似を行った結果、図 8 に示すように各測点の測定結果は周波数 50 kHz, 200 kHz のいずれの場合も高い相関で近似でき、ひび割れ深さの測定誤差は、前者が 3.0 %、後者が 0.3 % となった。また、超音波伝播速度 v および探触子間の補正距離 alpha は、前者が 4425 m/sec, 3.4 mm, 後者が 4440 m/sec, 17.8 mm となった。これは、同一の供試体と超音波探傷器を用いた場合でも、周波数の異なる探触子を用いると、測定条件により、その測定結果に影響を与えることが考えら

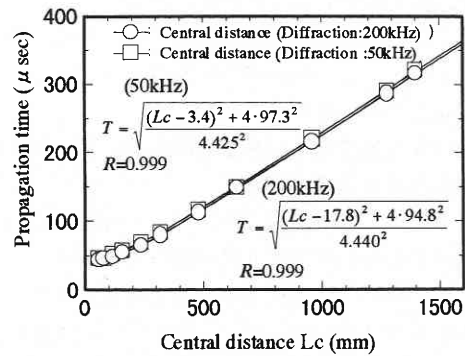


図 8 探触子間距離と超音波伝播時間の関係

表 2 ひび割れ深さの算定結果

Object	Method of Measurement	Frewquency (kHz)	Measured Ultrasonic pulse velocity v (m/sec)	Revision distance alpha (mm)	Correlation coefficient R	Measured crack depth accuracy (%)
Crack depth	Diffraction	50	4425	3.4	0.999	103.0
		200	4440	17.8	0.999	100.3

研究速報

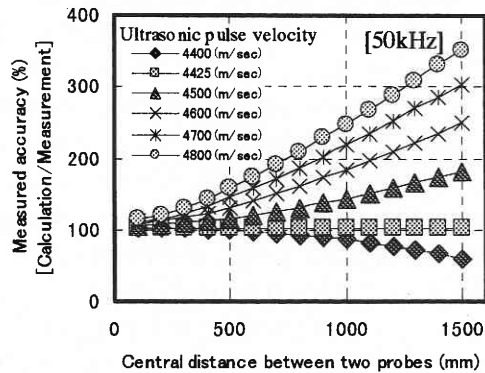


図9 ひび割れ深さ測定精度に及ぼす超音波伝播速度の影響

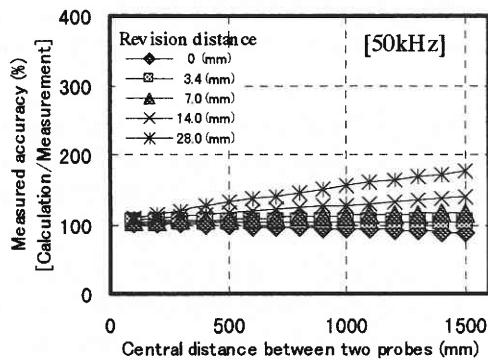


図10 ひび割れ深さの測定精度に及ぼす補正距離の影響

れる。また、超音波伝播速度の算定結果が、周波数 50 kHz と 200 kHz とでは異なることから、表面からコンクリート内部の正確な超音波伝播速度を測定することは、かなり難しいと考えられ、これがひび割れ深さの測定誤差の一因となっていると考えられる。

6.2 超音波伝播速度および補正距離の違いがひび割れ深さの測定精度に及ぼす影響

最小二乗近似で求めたひび割れ深さの測定結果を用い、超音波伝播速度および探触子間の補正距離を誤って計測した場合、どの程度ひび割れ深さの測定精度に影響を与えるかを、周波数 50 kHz で検証した。超音波伝播速度の影響を図9に、探触子間の補正距離の影響を図10に示す。

検証の結果、いずれの場合も、最小二乗近似で求めた算定値からの変化量が大きくなる程、また、探触子間距離が大きくなる程、ひび割れ深さの算定誤差は大きくなった。超音波伝播速度が、4425 m/sec から 4500 m/sec に増加すると、探触子間距離が 1500 mm の場合は測定誤差が 80 % 程度となり、実測値の倍近くになる。一方、補正距離がひび割れ深さの測定精度に及ぼす影響は、超音波伝播速度の影響よりも小さかった。超音波伝播速度、補正距離いずれの場合も、探触子間距離が小さい程、測定誤差は小さくな

るが、探触子間距離を小さくとると補正距離を考慮しない場合は超音波伝播速度の算定結果が著しく大きくなり⁵⁾、かえってひび割れ深さの測定誤差は大きくなると考えられる。従って、超音波伝播時間からひび割れ深さを求める場合は、そのひび割れ深さに見合った探触子間距離で測定を行うことが、測定誤差を小さくするのに有効と考えられる。この事からも、最初に直角回折波法により、概算のひび割れ深さを確認する複合手法によるひび割れ深さの測定は、合理的なひび割れ深さの測定方法であると考えられる。

7. ま と め

超音波法によるコンクリートのひび割れ深さの測定精度を向上することを目的とし、幾つかの超音波手法を複合的に適用し、合理的な測定を行う方法について検討した結果、得られた知見を下記に示す。

- (1) ひび割れの概算深さは、直角回折波法で容易に把握できる。
- (2) 超音波伝播速度は、測定条件の影響を受けるため、表面からコンクリート内部の正確な超音波伝播速度を測定することは難しいと考えられる。
- (3) ひび割れ深さの測定精度は、超音波伝播速度や探触子間の補正距離が、正しいと思われる値からの変化量が大きくなる程、また、探触子間距離が大きくなる程、大きくなると考えられ、精度の高いひび割れ深さを測定するためには、最適な探触子間距離があると考えられる。
- (4) 幾つかの超音波手法を複合的に組み合わせることで、誤計測を排除することができ、合理的で信頼性の高いひび割れ深さの測定が可能となると考えられる。

(2000年7月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 毛見虎雄：コンクリートに対する非破壊試験の現状と今後、非破壊検査，Vol. 47, No. 9, pp. 617-619 (1998)。
- 2) 魚本健人：コンクリートの劣化と試験・分析方法，非破壊検査，Vol. 47, No. 9, pp. 620-623 (1998)。
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，pp. 1-39 (1987)。
- 4) 山口哲夫ほか：超音波の直角回折法による鉄筋コンクリートのひび割れ深さの測定，非破壊検査，Vol. 45, No. 10, pp. 743-748 (1996)。
- 5) 平田隆祥・魚本健人：超音波法によるコンクリートのひび割れ深さ測定における探触子の影響，第54回セメント技術大会講演要旨，pp. 160-161 (2000)。
- 6) 佐藤大輔，福島謙一，魚本健人：超音波によるコンクリートのひび割れ深さの評価，生産研究，Vol. 52, No. 2, pp. 38-40 (2000)。