

やしてコンクリート構造物の全体的な調査を行うことが効果的である。しかし、コンクリート構造物の非破壊試験方法の多くは研究途上にあり、測定技術者の技量に委ねられる場合も多く、測定限界や測定精度が十分に把握されていないため非破壊試験に対する信頼性の低下を招く自体も生じている。

本研究は、コンクリート構造物の診断を行う上で重要な測定項目であるひび割れなどの内部欠陥を対象とし、超音波法による高精度で、かつ合理的なひび割れの詳細調査方法を構築することを目的とした。

本研究では、

(1) 超音波伝播時間による正確な長さ計測を行うことを目的として、コンクリート部材に対する探触子の設置方法と超音波伝播速度の測定結果の関係を把握する。

(2) 鉄筋コンクリートのひび割れ深さの測定において、誤差要因となりうる構造物の表層部に配置された鉄筋の識別方法について検討を行い、鉄筋コンクリートのひび割れ深さの測定方法について検討する。

(3) コンクリート部材の内部欠陥であるひび割れ形状や空隙深さの測定を行い、その測定精度および欠陥の可視化方法について検討する。

(4) 実構造物に適用することにより、超音波法によるコンクリート構造物の合理的なひび割れ詳細調査の手順について検討し、その調査方法の提案を行う。

以下に各章の概要を述べる。

第2章では、コンクリート構造物の非破壊試験の目的と測定上の留意点についてまとめた。また、本論文に関連する超音波手法の既往の研究成果について述べ、各種のひび割れ測定方法の問題点を整理して本研究の方向性と位置付けを明らかにした。

特に、超音波法によるひび割れ深さの詳細調査の信頼性を向上するためには、測定誤差の要因を明らかにしてその除去方法を明確にするとともに、調査結果を平面的あるいは立体的に図化して第三者に対して客観的かつ解りやすい形で説明することが重要であることを示唆した。

第3章では、超音波法によるコンクリート構造物のひび割れ測定を念頭に置き、その測定で必要となる超音波の基本的な性質とひび割れ測定原理についてまとめた。また、実際のひび割れ測定に関連して生じる超音波の諸現象とその解析方法についてまとめた。

第4章では、超音波探傷器を用いてどの様に超音波伝播速度を測定すれば、正確な超音波伝播速度が測定できるかを、数種類の測定方法および測定機械の両面から検討した結果について述べた。

測定方法の影響については、コンクリート部材に対する探触子の設置方法の違いで透過法、斜角法、表面法、回折法の順に超音波伝播速度が小さく測定されることを明らかにし、透過法に比べ表面法や回折法の超音波伝播速度は数%程度小さくなることを示した。

特に、表面法による超音波伝播測定では探触子の設置間隔の影響を受け、その間隔が小さくなると超音波伝播速度は著しく大きく計測されるため注意を要することを指摘するとともに、このような場合は近似計算により実現象に即した値が得られることを示した。

一方、機械的な影響として、コンクリート部材の測定では探触子の種類や周波数の違いにより超音波伝播速度の測定結果は数%程度のばらつきを生じる可能性があることや、超音波探傷器の0点調整に問題があること、さらに受振波の振幅値の違いで超音波パルスの受信時間の測定結果が変化することを示した。

このようにコンクリート部材の超音波伝播速度の測定では多くの要因を考慮する必要があり、市販の超音波探傷器により超音波伝播速度を誤差数%で正確に測定することは非常に困難であることを指摘した。

第5章では、ひび割れ面を貫通している鉄筋の識別方法と、鉄筋コンクリートに生じているひび割れ深さの測定精度の向上手法について検討を行った。また、妨害波の消去方法と超音波が透過する最大ひび割れ幅について検討した。

超音波法によるひび割れ深さの測定では、測定者が誤計測を認識できないため、ひび割れ面を鉄筋が貫通している場合、超音波パルスが鉄筋を経由してひび割れ深さを過小に評価する場合があった。そこで、受振した初頭波が鉄筋を経由したパルスかどうかを、コンクリート表面上での探触子の回転操作で識別する方法を考案した。この方法によると超音波パルスが鉄筋を経由している場合は、受振波に特徴的な変化が生じるため簡易に超音波伝播経路を識別できることを明らかにした。

従来のひび割れ深さの測定方法は多くの仮定条件を用いており、コンクリートの不均一性や正確な超音波伝播速度の測定が困難であるといった実現象を考慮した方法となっていない。従って、ある条件下では正しくひび割れ深さを測定できても条件が異なると正確な測定が行えないといった問題点があることを指摘した。そこで、実現象である走時曲線を数学的に近似してひび割れ深さを求める測定方法を考案した。この方法の特徴は、超音波探傷器や探触子の機械特性、コンクリートの品質や超音波パルスの減衰といった測定誤差に関係する項目を、探触子間の補正距離を用いて便宜的に固定化することにある。この方法によれば予め超音波伝播速度を求めることなくひび割れ深さの測定誤差を数%程度に抑え、高精度に測定できることを実験および超音波伝播解析で明らかにした。

コンクリート部材の表層部に配置されている鉄筋を経由した超音波パルスを消去する方法について検討した結果、探触子の回転操作と受振波の加算平均化処理の併用により、こ

の妨害波を除去できる可能性があることを明らかにした。また、超音波パルスが透過する最大ひび割れ幅については明確な答えを得ることができなかったが、概ね 0.01mm～0.1mm の範囲内にあり、0.1mm幅のひび割れまでは超音波法による深さの測定が可能なことを明らかにした。これらの内容は、未解明な部分が多く今後の研究によって明らかにされることを期待する。

第6章では、**第4章**、**第5章**の研究成果を用いて実構造物のひび割れ詳細調査を行い、超音波法によるコンクリート構造物のひび割れ詳細調査方法について検討した。

超音波法は日常点検で把握された変状部位を詳細に調査する方法として適しており、その役割が期待されている。その調査結果は第三者にも理解しやすいことが求められている。そこで、超音波法によりコンクリート部材の内部に存在する傾斜ひび割れや空隙を可視化する事を試み、これらの内部欠陥を三次元の立体図化できること、およびその測定精度を明らかにした。また、内部欠陥の測定において測定誤差が生じる原因について検討するとともに、実構造物への適用が可能であることを確認した。

第7章では、本研究で得られた成果を簡単に取りまとめるとともに、コンクリート構造物の維持管理システムに本研究成果をどのように織り込んでゆくかを提示し、最後に今後の課題を挙げ本論文の結びとした。

得られた結論を基に超音波法によるコンクリート構造物のひび割れ詳細調査方法について総括すると、これまで行われていた測定方法が他分野から導入された経緯から、コンクリート特有の条件を十分に考慮することなく適用された結果、実現象と大きく異なる測定結果を提示してしまい逆に超音波法の信頼性を失っていたと思われる。今後は、コンクリート構造物に適用する場合の問題点を明確にするとともに、調査結果を第三者に解りやすい形で提示してこの方法の信頼性を回復していく必要があると考える。超音波法は非破壊試験技術のなかでも歴史があり、コンクリート構造物の維持管理において詳細点検の中核をなすべき技術である。従って、本技術の体系化を急ぐ必要があり、増大する維持管理の要求に対する期待に応えていくことが大切である。

これらの知見が今後の超音波法によるコンクリート構造物のひび割れ詳細調査方法の参考となり、更なる技術の発展に資することができれば幸いである。