



学位論文要旨

専攻名 共生環境学

氏名 長岡 誠也



題目 超音波による農業用開水路の粗度係数計測手法の開発
(Development of Measurement Method for Manning's Roughness Coefficient
of Irrigation Open Channel Using Ultrasonic Wave)

農業用開水路の多様な劣化要因に対して、適切な機能診断が求められている。特に摩耗による粗度係数の増大は、通水性能を低下させるため、水路補修の主な要因である。しかし、適切な機能診断技術は無く、目視調査に依存している。農業用開水路の機能診断には、簡易的・面的・安価であり、センシングによる定量的なデータであることが要求される。そこで、本論では超音波に着目をして、農業用開水路の粗度係数計測手法の開発を目的とした。計測原理は、超音波の散乱現象である。粗さを定量的に評価するために、算術平均粗さ R_a (mm) を指標に用いた。超音波の反射強度を定量的に評価するために、最大振幅 (mV) を指標に用いた。

研究は大きく5のセクションに分かれている。①、②は空中超音波による手法で、主に非灌漑期の水が水路に無く、空中にあるコンクリート壁が対象である。③は水中超音波による手法で、主に灌漑期で、水中にあるコンクリート壁が対象である。④は水理実験による粗度係数推定式の開発である。⑤は計測手法の簡易化に向けた研究である、

①空中超音波センサの粗さ計測への有効性

このセクションは主に基礎研究の位置づけにあり、①-1:最大振幅と R_a の関係、①-2:反復計測によるばらつきの検討、①-3:計測範囲の検証、①-4:Kirchhoffモデルとの比較、を行った。超音波センサは、送信受信素子が分かれている複眼型と、送信受信素子が一体となった単眼型の2種類を用いた。周波数は約40kHzである。①-1では、 R_a の異なるコンクリート表面に対して、計測距離を変えて超音波計測を行った。その結果、 R_a の増加に伴い最大振幅の減少が確認できた。計測範囲内では直線近似で決定係数0.8以上となり、高い相関性を示した。①-2では、粗さや計測距離を変えて反復計測をし、得られたデータの標準偏差を平均値の割合で示すことで、ばらつきの評価をした。10回程度の反復計測で平均値の1%以下に標準偏差を抑えることができることが確認できた。①-3では、超音波センサの垂直下から砂利を円状に敷き詰め、直径を広げていき、最大振幅を計測することで計測範囲を明らかにした。計測距離1,000mmからの計測範囲は直径約600mmであることが確認できた。①-4では、粗面からの超音波散乱強度を評価するモデルとして最も使用されているKirchhoffモデルの理論値と計測値の比較を行った。計測距離の近い場合モデルは計測値をよく表現した。計測距離が遠く粗さが大きい場合、計測値がモデル値を上回る傾向があった。以上の結果より、空中超音波センサの粗さ計測への有効性が明らかとなった。

②空中超音波センサの環境条件への適用性

このセクションは屋外での計測を想定し、②-1風速の影響、②-2温湿度・大気圧の影響を検討した。①-1では、風洞実験の実施を行った。計測区間の空間に風を発生させた。風速は0~10m/sで調整し、計測面の粗さも変更した。その結果、風速6m/s以上の時、最大振幅の減衰が確認できた。②-2では、計測環境を温湿度大気圧計で計測し、環境条件を変化させながら超音波計測を継続した。その結果、計測環境により最大振幅の値が変化することが確認できた。また、最大振幅の値は、空気吸収減衰式(ISO9613-1)に近い値を示した。

(別紙様式第6号)

③水中超音波の粗さ計測への有効性

このセクションは、これまでの研究では不可能である水中の計測面の計測技術開発に関する基礎研究である。計測原理は空中超音波と同じであるが、伝搬媒質が空気と水で異なるため、周波数を 200kHz と高周波を使用することで波長の調節をした。セクション①と類似の実験を行い、粗さ計測への有効性が明らかとなった。

④摩耗模型水理実験による粗度係数推定式の開発

このセクションは粗度係数と最大振れ幅の関係を求めた。粗度係数は、粗さを持つパネルを模型水路に貼り付け、水面勾配を計測して Manning の平均流速公式から粗度係数を算出した。6種類のパネルを用いて、6つの粗度係数が明らかとなった粗さパネルを得た。粗さパネルに対して空中超音波計測を行うことで、粗度係数と最大振れ幅の関係を取得した。この結果を用いることで、粗度係数が未知の農業用開水路を超音波計測することで粗度係数を推定することができるようになった。

⑤現場計測へ向けた接触型集音機の検討

このセクションは超音波センサの計測設置時間の短縮と簡易化を目指し、計測治具として接触型集音機の装着を行った。しかし、集音機を装着することで最大振れ幅の値が変化する。また、形状によっても最大振れ幅は変化するため、粗度係数計測手法として最適な接触型集音機の形状を検討した。その結果、円錐型開き角 20° で高さ 40cm が最適であることが確認できた。

以上の研究より、空中、水中超音波センサの粗さ計測への有効性が明らかとなり、現場を意識した実験から、機能診断技術として普及の可能性を示すことができた。