

# 機械インピーダンス法を用いたコンクリート開水路側壁の内部変状調査

日東建設株式会社 ○久保 元樹

北見工業大学 井上 真澄 岡田 包儀

(独)土木研究所寒地土木研究所 佐藤 智 石神 暁郎

## 1. はじめに

農業水利施設の多くを占めるコンクリート開水路は、部材厚が薄いことに加え、流水および地下水の影響により構成するコンクリート部材が過湿な環境にあるものが多い。このため、コンクリート開水路は一般的なコンクリート構造物とは凍害劣化機構が異なり、表面だけではなく側壁の内部にも凍害劣化(層状ひび割れ)が生じることがあるのが特徴である<sup>1)</sup>。しかしながら、側壁内部の凍害劣化の有無を簡易的に調査する方法はないのが現状である。開水路は長延長な構造物であり、機能診断に長期間を要するため、診断時間を短縮できる効率的な機能診断手法の開発が求められている。

コンクリート構造物の非破壊試験方法の一つに、コンクリート表面をハンマで打撃して得られる打撃力波形から強度を推定する機械インピーダンス法がある。この技術は測定が簡便であることに加え、打撃力波形を記録することができる。本研究は、コンクリート開水路の内部に発生した層状ひび割れの検出が、機械インピーダンス法で可能であるか検討を行ったものである。

## 2. 機械インピーダンス法について

機械インピーダンス法は、写真-1に示すように、加速度計が内蔵されたハンマでコンクリート表面を打撃し、その打撃力波形から、打撃対象物の機械インピーダンスを測定するものである。機械インピーダンスは、物体の動きにくさを表したものであり、コンクリートにおいては弾性的性質を示す指標となる。以下に機械インピーダンス法の基本原理を示す。

コンクリートを完全弾性体と仮定し、図-1に示すように、質量  $M$  のハンマが任意の速度  $V_0$  でバネ係数  $K$  のコンクリートに衝突する現象を考える。ハンマの持つ運動エネルギー  $E_H$  は、

$$E_H = \frac{1}{2}MV_0^2 \quad (1)$$

である。一方、ハンマの衝突によるコンクリートのひずみエネルギー  $E_C$  は、最大変位量を  $D_{\max}$  とすると、

$$E_C = \frac{1}{2}KD_{\max}^2 \quad (2)$$

である。エネルギーの釣り合いから、両者のエネルギーは等しく、

$$\frac{1}{2}MV_0^2 = \frac{1}{2}KD_{\max}^2 \quad (3)$$

が成立する。ここで最大打撃力  $F_{\max}$  は、フックの法則より、

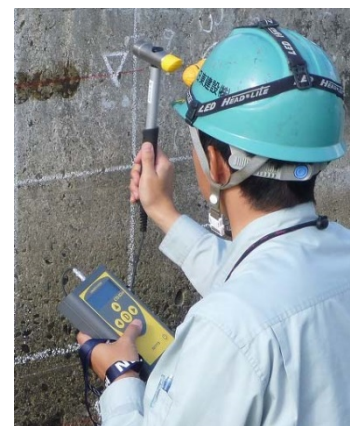


写真-1 測定状況

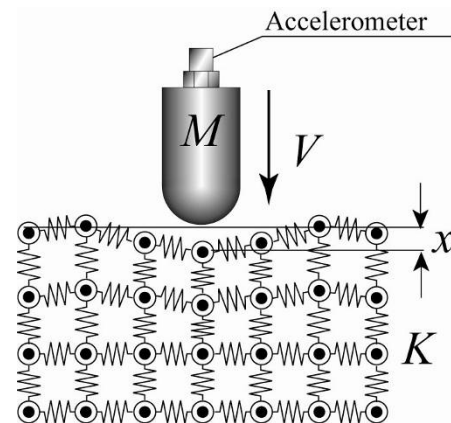


図-1 ハンマの衝突モデル

$$F_{\max} = KD_{\max} \quad (4)$$

であり、式(4)を  $D_{\max}$  について解き、式(3)に代入して整理すると、

$$K = \frac{1}{M} \cdot \left( \frac{F_{\max}}{V_0} \right)^2 \quad (5)$$

が得られる。上記より、打撃力の最大値  $F_{\max}$  とハンマーの打撃速度  $V_0$  が測定されれば、コンクリート表面のバネ係数を計測することが可能となる。

ハンマーに設置した加速度計で実際にコンクリートを打撃して得られる波形を図-2に示す。実際の計算においては、打撃力が最大となる時刻で波形を2分割し速度を算出している。打撃力(加速度×ハンマー重量)が最大になる時刻では、コンクリート表面の変位が最大となり、ハンマーの運動は停止した状態である。つまり、波形の前半部分はハンマーがコンクリート

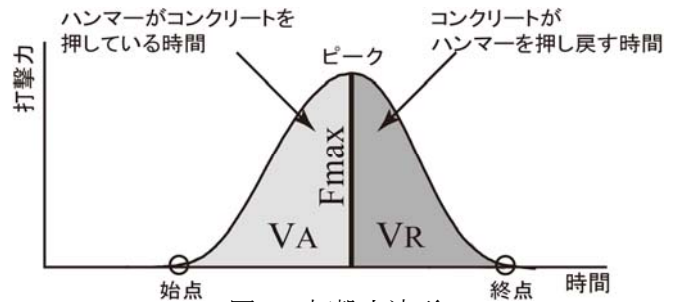


図-2 打撃力波形

表面に変形を与える過程(アクティブ側)で、後半部分はコンクリート内に蓄積された弾性変形エネルギーがハンマーの運動エネルギーに変換される過程(リアクティブ側)と言える。

表面が劣化しているような場合、アクティブ側では、ハンマー打撃によってコンクリート表面が塑性変形し、次いで弾性変形する。リアクティブ側では、弾性変形エネルギーのみがハンマーのリバウンドに関係する。つまり、塑性変形が生じるとアクティブ側では、コンクリート表面の塑性変形に起因するエネルギーロスの影響が現れると考えられ、強度推定においては、これを回避するために式(5)に示す  $V_0$  に代わり、リアクティブ側の速度  $V_R$  を用いている<sup>2)</sup>。

### 3. 実験概要

実験は、実際のコンクリート開水路5路線26区間を対象に実施した。各区間における測定箇所(No.1, No.2, No.3, No.4)の配置は、図-3に示す通り、日当たり側の側壁で3箇所(気中部2箇所、水中部1箇所)、反対側の側壁で1箇所(気中部)の計4箇所を測定対象とした。

測定の項目は、機械インピーダンス法と、透過弾性波速度(超音波)の2項目で、透過弾性波速度は、機械インピーダンスの測定を行った箇所の近傍からコア供試体を採取し、コア供試体の長手方向に通過する速度を測定した。なお、機械インピーダンス法の測定は、図-4に示すように、互いに5cm程度離れた3点について各10回の連続打撃によって落水後に測定した。

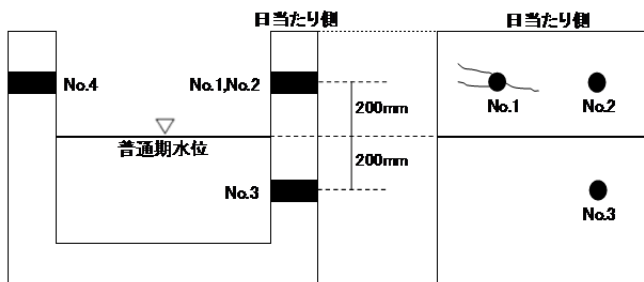


図-3 1区間当たりの測定箇所

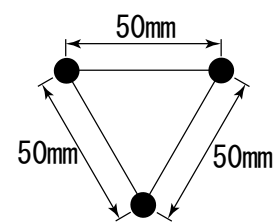


図-4 測定点の配置

表-1 測定路線と測定箇所数一覧

路線番号	延長(m)	測定区間数	コアの採取本数
1	34.90	3	12
2	999.60	12	53
3	277.50	7	33
4	9.00	2	8
5	18.00	2	8
合計		26	114

## 4. 測定結果

### 4.1 表面状態の影響について

図-5は、測定区間の内、健全箇所の機械インピーダンス法による推定強度の測定結果を路線ごとに示したものである。No.1、No.2、No.4は気中部での測定データ、No.3は水中部でのデータである。水中部は、流水により表面のモルタル分が流出・摩耗しており、粗骨材が露出した状態となっている。コンクリートの表面を測定する非破壊検査において、この凹凸は測定精度に多大な影響を及ぼし、正確なデータの取得が困難となる場合がある。図からわかる通り、機械インピーダンス法においては、4つの測定箇所の間での測定値の相違は小さい。機械インピーダンス法は、元々表面状態の影響を受けづらい手法であること、また、連続打撃によって脆弱層を意図的に押し潰すことで脆弱層の影響を軽減させていることにより、水中部においても、気中部と同等の精度で測定できたと考えられる。

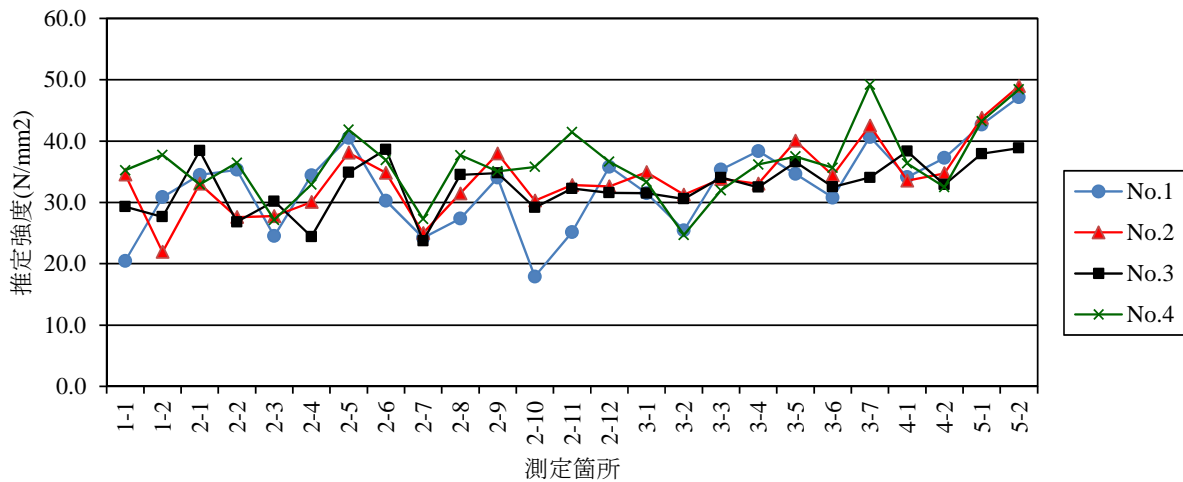


図-5 推定強度の推移(No.1～No.4)

### 4.2 打撃力波形

図-6に実際に開水路を打撃して得られた波形の例を示す。図中実線の波形は、健全部の打撃力波形、点線の波形は目視検査およびコア供試体の観察結果より、内部に層状ひび割れが認められた箇所の打撃力波形である(写真-2の①箇所の波形)。健全部と比較して相対的に打撃力の最大値が小さく、打撃力の継続時間が長いという特徴が見られる。これは、層状ひび割れの存在によりコンクリートの見掛けの強度(剛性)が低下したためと考えられる。

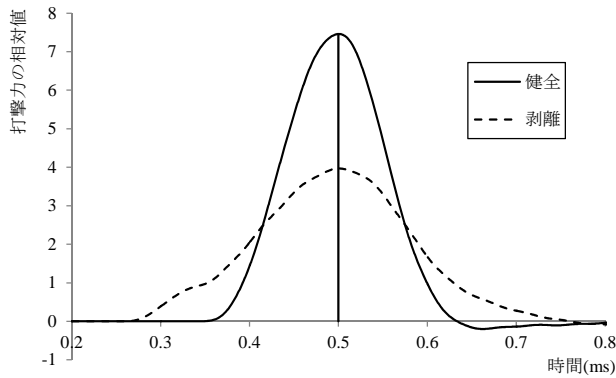


図-6 打撃力波形の例



写真-2 凍害劣化状況

#### 4.3 機械インピーダンスと透過弾性波速度

図-7は、機械インピーダンス値から推定した推定強度と採取コアの長手方向を通過する透過弾性波速度の関係を示したものである。図中▲点は、目視検査による外観のひび割れやコア観察による層状ひび割れの発生が確認された点である。透過弾性波速度は、概ね4000m/s前後で推移しているが、目視検査で異常と判定された箇所において極端な速度低下が見られる。この傾向は機械インピーダンス法においても同様で、目視検査で異常と判定された箇所は、推定強度が低くなっているのがわかる。この結果は、閾値の設定方法に検討の余地があるものの、機械インピーダンス法によって層状ひび割れの検出が可能であることを示唆している。

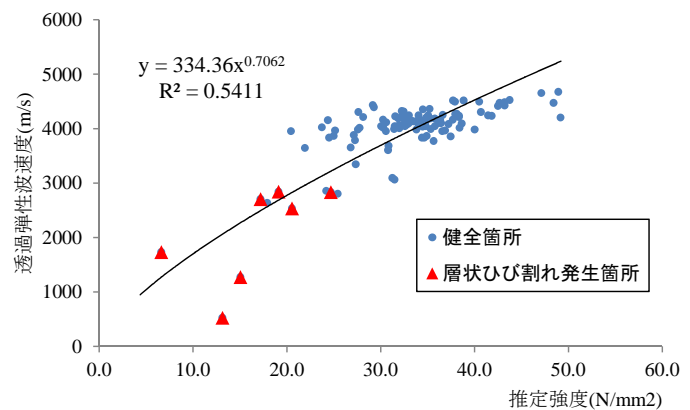


図-7 推定強度と透過弾性波速度

#### 5. まとめ

機械インピーダンス法で相対的に強度の低下している箇所と層状ひび割れが発生している箇所は概ね一致した。閾値をどのように設定するか検討の余地はあるものの、機械インピーダンスを計測することで層状ひび割れ検出の可能性を示すことができた。機械インピーダンス法に限らず、非破壊検査による評価はあくまでも相対評価であるため、いかに多くのデータを採取するかが測定精度を決定するパラメータの一つになる。本研究においては、コア採取位置の近傍を互いに5cm程度離れた3点について、連続打撃で10回(合計30回)測定する方法を用い局所的なデータの採取を行ったが、ライン状または平面的にデータを多数採取することで変状範囲の絞込みなどができると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 緒方英彦, 高田龍一, 鈴木哲也, 山崎大輔, 佐藤周之: RC 開水路の側壁内部における凍害ひび割れの発生形態, 農業農村工学会誌 78(5), pp.29-33, 2010.5
- 2) 極檀邦夫他: 接触抵抗によるコンクリート強度の推定, 日本非破壊検査協会, コンクリート構造物の非破壊検査への期待シンポジウム論文集, Vol.1, pp.57-64, 2003.7