

コンクリート構造物各部位の劣化リスク評価手法の開発

報告書

新潟大学 佐伯竜彦

1. はじめに

コンクリート構造物を適切に維持管理し予防保全にシフトして行くには、構造物中で劣化しやすい箇所を的確に把握する必要がある。このためには、構造物部位毎の劣化作用と劣化抵抗性を評価する必要がある。特に、新潟県でコンクリート構造物の劣化に大きく影響している塩害では、飛来塩分や凍結防止剤の影響範囲が部位によって異なっており、画一的な維持管理ではなく、構造物毎に劣化リスクの高い箇所を重点的に対策する必要がある。

申請者はこれまで、独自に考案した「薄板モルタル供試体」を用いて、構造物各部位の塩害環境評価を行ってきた。加えて、構造物中のコンクリートが必ずしも均一でないことから、本研究では劣化抵抗性も部位によって異なる点を考慮することとした。

これまで撤去構造物から多数のコアを採取し、構造物中のコンクリートひいては劣化抵抗性の不均一性について検討を行ってきたが、本研究では供用中の構造物に適用できるよう、非破壊でコンクリートの不均一性を評価するために超音波伝搬速度を用いる手法について検討した。

2. コンクリートの品質が超音波伝播速度に及ぼす影響

本研究では、コンクリートの骨材体積率と含水率が超音波伝搬速度に及ぼす影響を、コンクリート供試体を用いて検討した。

まず、撤去構造物から採取したコア供試体を用いて超音波伝搬速度測定器の周波数を変化させて、骨材体積率と超音波伝搬速度の関係についての実験を行った。結果を図1に示す。図より、骨材体積率が大きいほど超音波伝搬速度が大きくなり、両者は直線関係があることが確認された。なお、相関係数が最も高かったことから、以降は周波数 54kHz で統一して試験を行った。骨材体積率と超音波伝播速度の関係式は、下記のようになった。

$$V=31.663X+1842.2 \quad (1)$$

ここに、V：超音波伝搬速度 (m/s)

X：骨材体積率 (%)

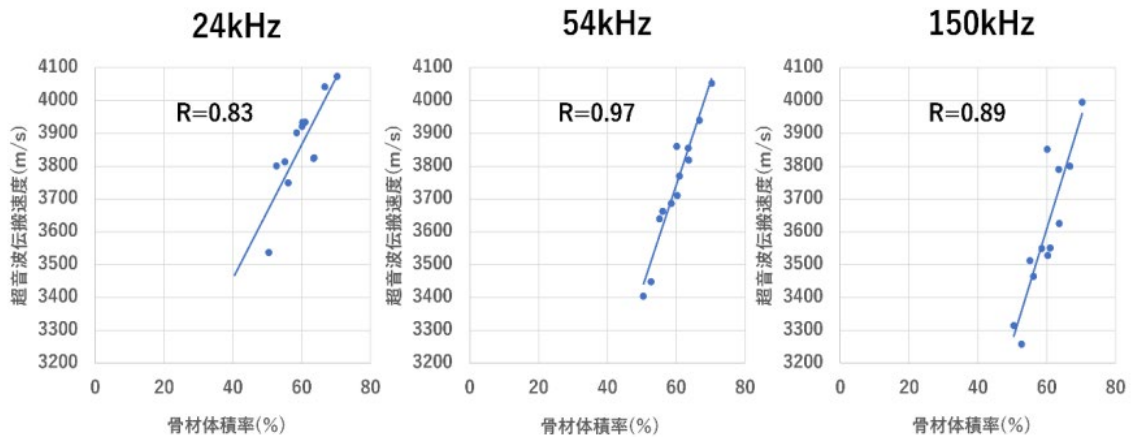


図1 骨材体積率と超音波伝搬速度の関係

水セメント比 55%のコンクリート供試体を用いて、コンクリートの含水率と超音波伝搬速度の関係について検討した。飽水状態の角柱供試体を乾燥させ、経時的に含水率と超音波伝搬速度を測定した。含水率は、株式会社ケツト社製のコンクリート・モルタル水分計 (HI-520-2) により測定した。得られた含水率と超音波伝搬速度の関係式を以下に示す。

$$V_B = V_A + 60.34(w - 2.4) \quad (2)$$

ここに、 V_A : 絶乾状態での超音波伝搬速度 (m/s)

V_B : 表面含水率 w の時の超音波伝搬速度 (m/s)

w : コンクリートの質量含水率 (%)

3. 超音波法による骨材体積率の分布の測定

図2に、実造物から採取したコンクリートコアの骨材体積率と酸素拡散係数の関係の一例を示す。なおこの実験では、骨材体積率はコア断面の骨材面積を画像処理することにより求めている。図より、ばらつきはあるものの、骨材体積率が小さいほど酸素拡散係数が大きくなり、物質移動抵抗性ひいては耐久性が低下する傾向にあることが確認できる。このことから、構造物各部位のコンクリートの骨材体積率を求めることができれば、完全ではないが、部位毎の耐久性を評価できると考えられる。ただし、維持管理すべき供用中の構造物の各部位から多数のコアを採取することは難しいことから、非破壊で骨材体積率を測定する手法を開発する必要がある。そこで、構造物各部位の超音波伝搬速度を測定し、2. で検討した式(1)および(2)を用いて、各部位における骨材体積率の評価を行った。

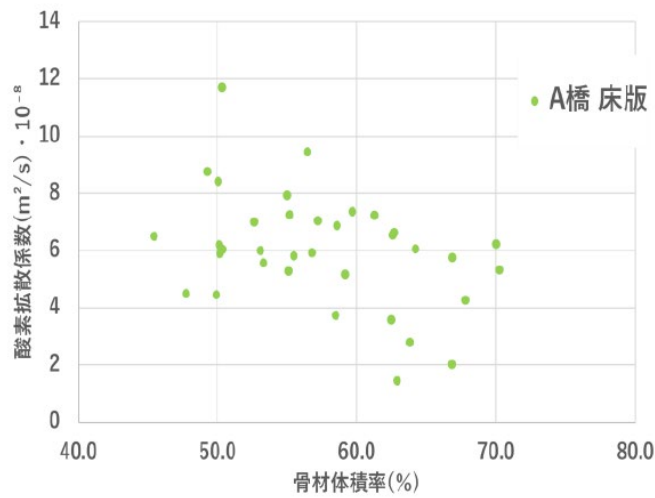


図2 骨材体積率と酸素拡散係数の関係¹⁾

(1) 撤去桁の測定結果

道路橋のPC T桁のウェブを対象に、表面走査法により超音波伝搬速度を測定した。測定範囲と骨材体積率をマップ化した結果を図3に示す。図より、桁の上部よりも下部で骨材量が多いことが分かる。一般に、骨材は沈降しやすく上部はブリーディングの影響を受けることから、定性的には妥当な結果が得られていることが確認できる。

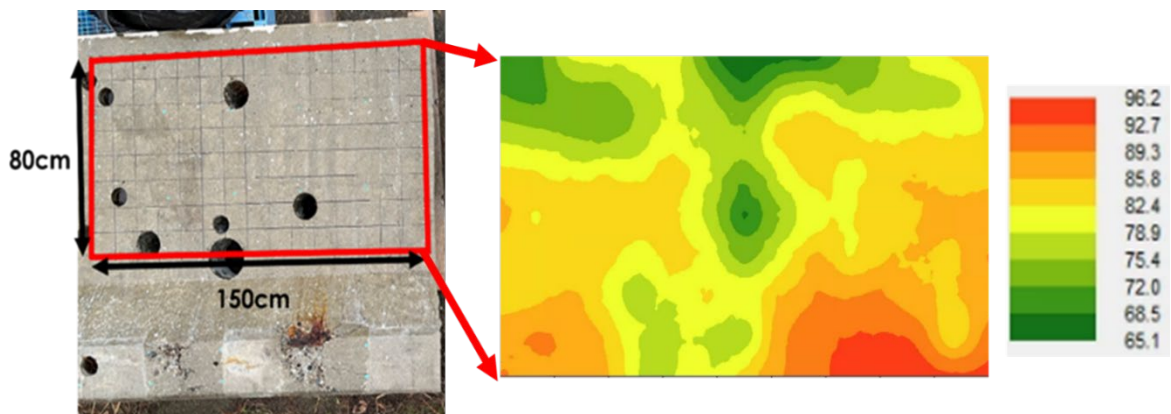


図3 撤去桁における骨材体積率の推定結果

(2) 橋台の測定結果

道路橋の橋台において、表面走査法により超音波伝搬速度を測定した。図4に、測定対象の橋台の配筋図と測定対象部位を示す。図中の①、②は配筋が密である箇所、③は配筋が密でない箇所であり、配筋がコンクリートの材料分離、ひいては骨材体積率の分布に及ぼす影響を評価することを目的として調査を行った。

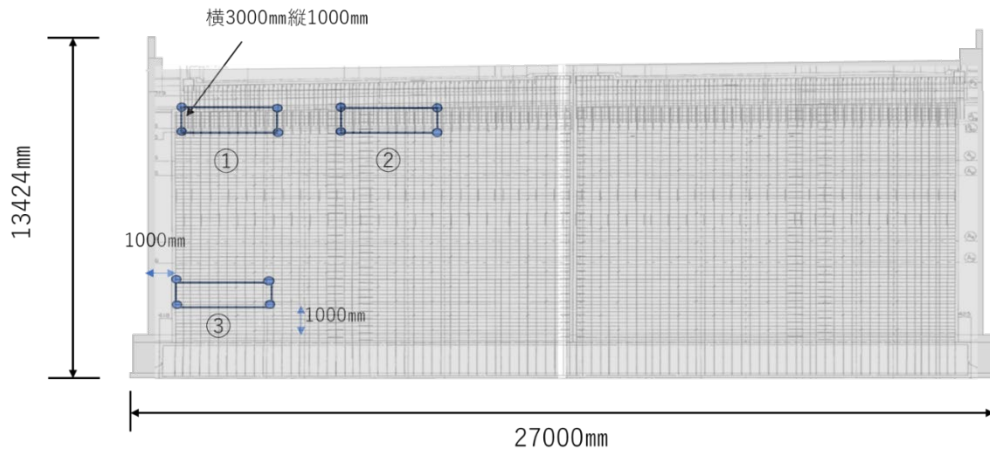


図4 橋台の概要と測定部位

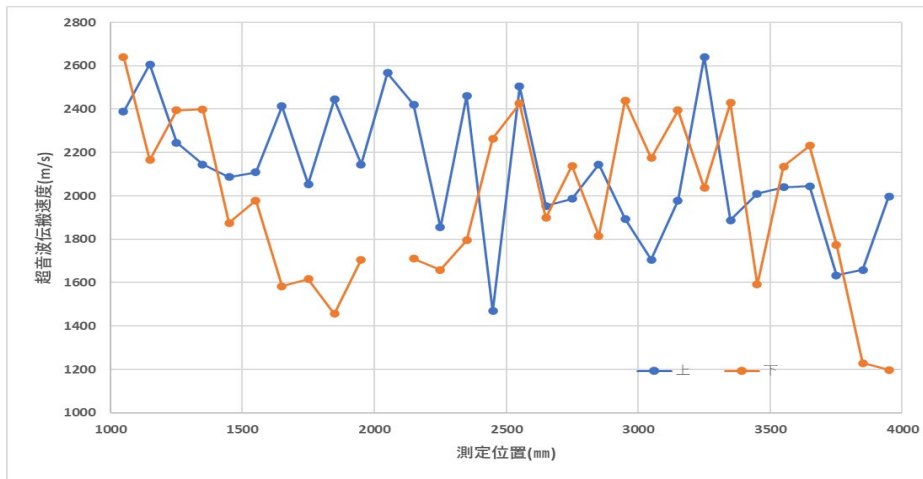


図5 部位①の超音波伝播速度

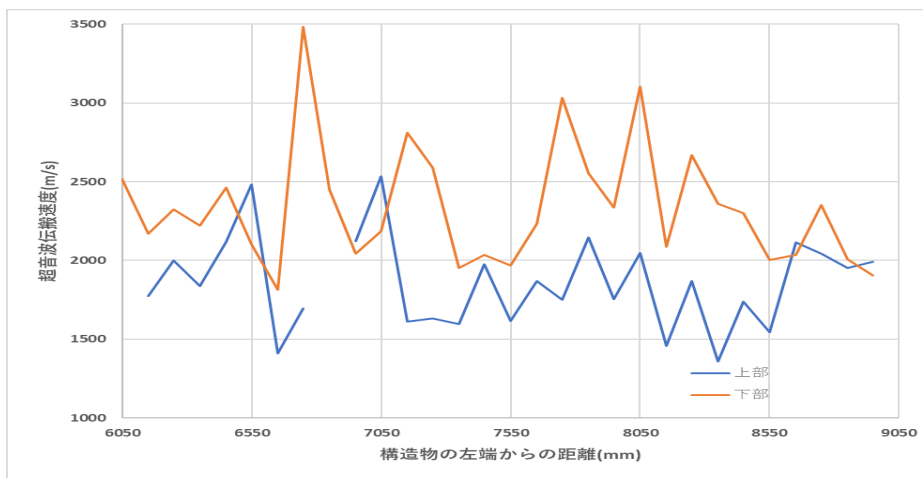


図6 部位②の超音波伝播速度

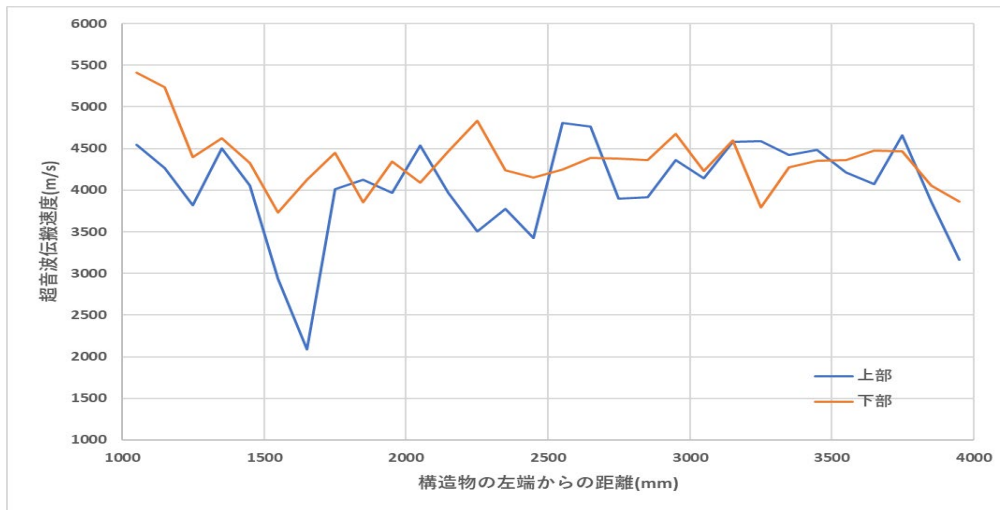


図7 部位③の超音波伝搬速度

図5～7に部位①～③における超音波伝搬速度の測定結果を示す。図中の「上部」、「下部」は測定部位（図4）の長方形の上辺と下辺を意味する。

図5および6は雨天時の測定であり、全体的に超音波伝搬速度が小さい。配筋が密な部位のため骨材体積率が低くなりやすい部位ではあるが、降雨の影響でグリースが超音波測定器の探触子とコンクリートを密着させる働きが不十分だったことも原因として考えられ、超音波伝搬速度の絶対値の解釈は難しい。しかし部位②では、上部の超音波伝搬速度が下部より小さくなっており、相対的に上部コンクリートの品質が低いものと考えられる。

図7は晴天時の測定結果であり、超音波伝搬速度の絶対値は部位①②より大きかった。また、ばらつきはあるが、平均的には上部の超音波伝搬速度が下部より小さかった。このことから、撤去桁の場合と同様に上部は下部よりコンクリートの品質が低下すると考えられる。

測定した超音波伝搬速度が小さい箇所の表面では、コンクリート表面でひび割れが確認できた。既設構造物での測定では、コンクリートの品質が低いために劣化が進行してひび割れが生じた可能性と劣化作用が厳しいためコンクリートの品質が低くなくても劣化が進行してひび割れが発生して超音波伝搬速度が小さくなった可能性があり、現時点ではそれを区別することはできない。

(3) 橋脚の測定結果

跨線橋の橋脚において、透過法と表面走査法により超音波伝搬速度を測定した。写真1および2に、測定対象と部位を示す。

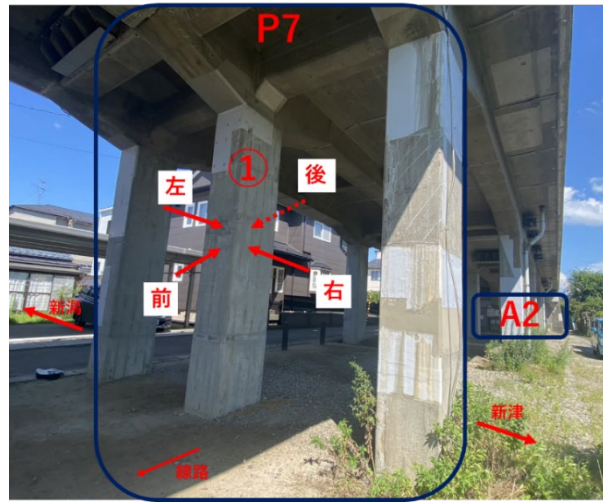


写真1 測定対象

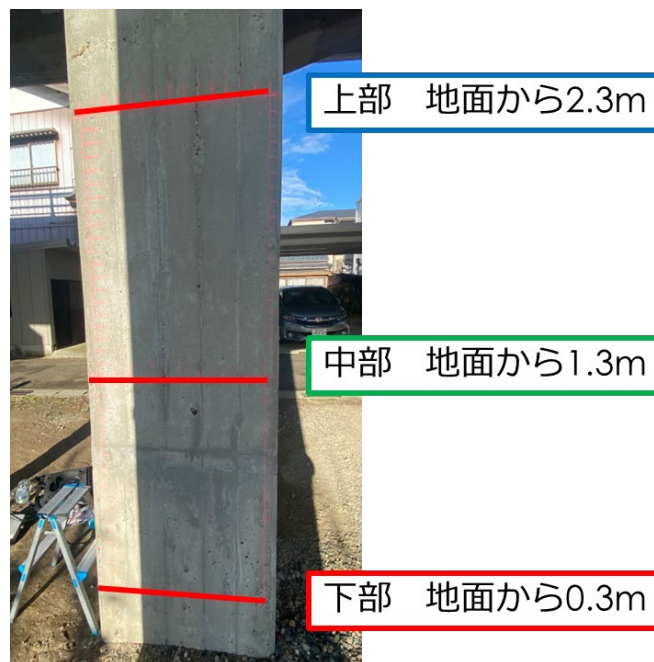


写真2 測定部位

透過法, 表面走査法による超音波伝搬速度の測定結果を図8および9に示す. 図中の「下部」, 「中部」, 「上部」は, 写真2に示した通りである.

透過法の測定では, 構造物の端部で, 鉄筋の影響により, 超音波伝搬速度が大きくなっていることが分かる. また, 鉄筋がない部分では, 鉛直方向に差が出るのに対し, 端部では, 鉛

直方向の違いが出ない結果となった。これは、骨材が鉄筋の影響で詰まるブロッキングの影響で、鉄筋付近に骨材が集中したためと考えられる。

表面走査法の測定では、下部、中部、上部の順で超音波伝搬速度が大きい傾向となった。表面走査法では、構造物の表層付近を伝搬するため、鉄筋の影響を受けない結果となった。

2つの測定法の結果を比較すると、どちらも下部、中部、上部の順で伝搬速度が大きい傾向にある。ただし、測定結果に違いがみられ、これは伝搬経路が影響していると考えられる。表面走査法の測定では伝搬経路が短く表層を伝搬しているため、鉄筋の影響や空隙の影響を受けにくいのに対し、透過法では伝搬経路が長く部材の内部を伝搬するため、鉄筋や空隙の影響を受けている可能性がある。また、表面走査法の測定値は、透過法に比べてばらつきが大きいいため、測定位置を増やしてデータの蓄積を行うことが必要である。

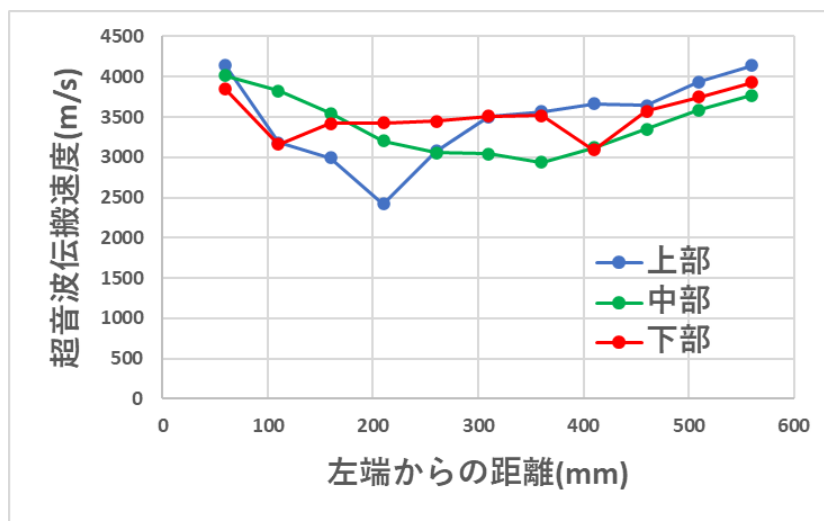


図8 透過法による橋脚の超音波伝搬速度

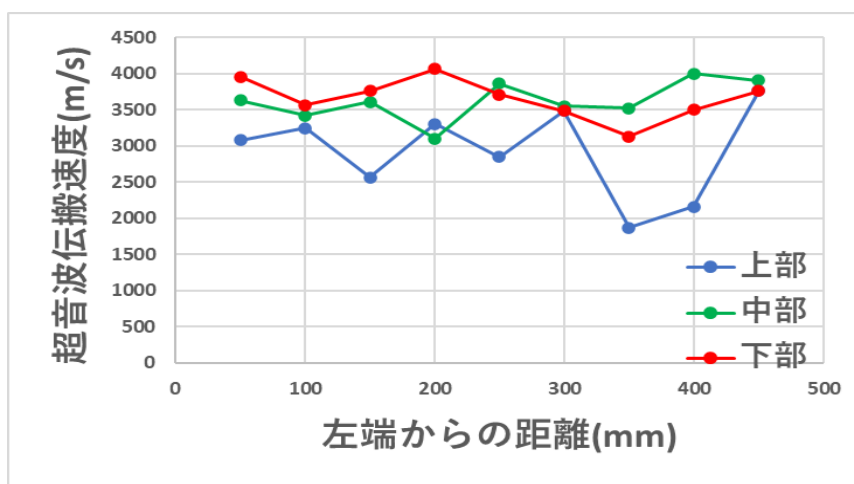


図9 表面法による橋脚の超音波伝搬速度

4. まとめ

本研究では、供試体、撤去桁、実構造物において、超音波伝搬速度の測定を行い、材料分離によるコンクリートの不均一性の調査を行った。まず測定方法の検討として、超音波伝搬速度に及ぼす骨材体積率および含水率の影響を検討し、定式化した。次に、それらの結果を用いて撤去桁を含む実構造物の部位毎の超音波伝搬速度を測定した。その結果、部材上部の方が超音波伝搬速度が小さく、骨材体積率が小さい傾向にあることが示された。このことより、超音波伝搬速度を構造物各部位で測定することにより、物質移動抵抗性ひいては耐久性の低い部位を特定できる可能性が示されたものと考えられる。

謝 辞

本研究は令和5年度新潟県建設技術センターの研究助成を受けて行ったものである。ここに付記して、感謝の意を表します。

参考文献

1) 鈴木章太, 佐伯竜彦, 斎藤 豪: 実構造物における材料分離によるコンクリートの不均一性の調査, コンクリート工学年次論文集, 2024. (投稿中)