

測定時の人為的誤差と材質変動が超音波法によるコンクリートの応力推定に及ぼす影響

東京都立大学 学生会員 ○賀上諒太郎, 小森由仁 正会員 大野健太郎, 上野敦, 鎌田知久
三井住友建設株式会社 正会員 永元直樹, 安藤直文

1. はじめに

既設のプレストレストコンクリート(PC)橋の維持管理では、コンクリートの残存プレストレス量の把握が重要である。現在実用化されているコンクリートの応力推定手法はコンクリートや鉄筋の一部破壊を伴うため、非破壊による応力推定手法の確立が望まれている。既往の研究成果¹⁾から超音波速度変化率によりコンクリートの応力を推定できる可能性が示されている。一方、本手法では1)超音波速度の測定値に測定時の人為的誤差および2)コンクリートの不均質および不均一な材質特性による測定値の変動の両者が含まれることで、同一応力状態のコンクリートにおいても測線ごとに測定値の変動が大きいことが課題とされている。本研究では、人為的誤差の影響把握を均質材料とみなせるMCナイロン供試体にて行い、その後、コンクリート供試体により材質による測定値の変動の大きさを把握し、本手法による応力推定への影響について検討した。

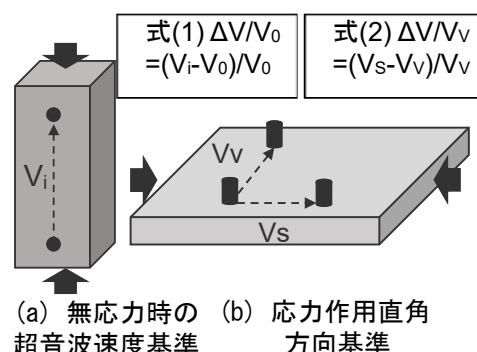


図-1 超音波速度変化率の算出

2. 超音波速度変化率の算出

超音波速度変化率の算出方法は、図-1に示すように $\Delta V/V_0$ (無応力時の超音波速度 V_0 に対する作用応力 i での超音波速度 V_i と V_0 の差 ΔV の割合) と $\Delta V/V_v$ (応力作用直角方向の超音波速度 V_v に対する応力作用方向の超音波速度 V_s と V_v の差 ΔV の割合) の2通りである。

3. 実験概要

図-2に示すように 400×400×100mmのMCナイロン製供試体(圧縮強度 95.0N/mm²)およびコンクリート製供試体(使用材料：普通ポルトランドセメント，W/C=55%， $G_{max}=20mm$ ，材齢 28 日圧縮強度=36.8N/mm²)に対し、载荷軸方向および载荷軸直角方向に固定センサ(センサ間距離 300mm)を設置し、耐圧試験機にて図の上下方向に圧縮応力を作用させ、その時の超音波速度を測定した。また、センサ2個を距離 300mmで固定した治具(可動センサと称す)を用いて超音波速度を载荷軸方向および载荷軸直角方向にそれぞれ 20 測線測定した。

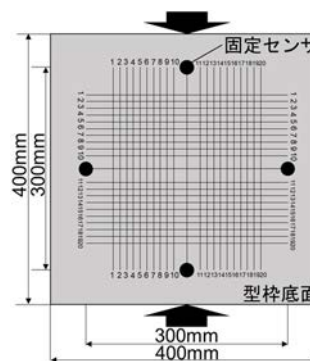


図-2 センサ配置

4. 人為的誤差の影響把握

MCナイロンの圧縮応力と超音波速度の関係を図-3に、各応力段階の可動センサでの超音波速度の変動係数を表-1に示す。測定方向や応力段階に関わらず変動係数は約 0.02~0.08%の範囲にあり、測定対象物が均質材料であることから、この変動は測定時の可動センサの操作等に伴う人為的誤差によるものと考えられる。

次に、载荷軸方向および载荷軸直角方向それぞれにお

いて、式(1)から得られる超音波速度変化率 $\Delta V/V_0$ と圧縮応力の関係を図-4に示す。また、図中には固定センサから得られる近似直線、および可動センサの平均値から得られる近似直線を

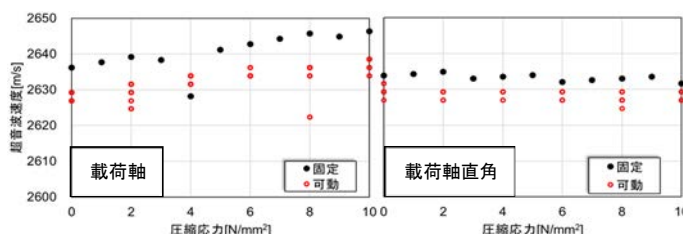


図-3 MCナイロンの超音波速度

表-1 超音波速度の変動係数(MC ナイロン)

圧縮応力[N/mm ²]	0	2	4	6	8	10
载荷軸[%]	0.040	0.084	0.044	0.026	0.027	0.047
载荷軸直角[%]	0.034	0.031	0.026	0.038	0.052	0.043

キーワード プレストレストコンクリート，応力推定，超音波速度変化率，音弾性定数，測定値の変動
連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL042-677-1111

それぞれ示す。ただし、固定センサの近似直線算出では、載荷軸方向の応力 4N/mm^2 時のデータは異常値として除いている。ここで、固定センサおよび可動センサの近似直線の傾き（音弾性定数）を比較すると、その差は載荷軸方向で 0.003 、載荷軸直角方向で 0.002 となる。可動センサでは、測定時の人為的誤差により測定値が変動するが、平均値を対象物の代表値とすることで変動による応力推定への影響を小さくできると考えられる。次に、式(2)から得られる超音波速度変化率 $\Delta V/V_0$ と圧縮応力の関係を図-5に示す。なお、可動センサの超音波速度変化率算出においては、各応力段階にて載荷軸方向および載荷軸直角方向の超音波速度の平均値をそれぞれ求め、その平均値を式(2)に代入した。図より、固定センサでは無応力時の超音波速度変化率が「0」%を示しておらず、これはセンサ貼付時に載荷軸方向と載荷軸直角方向でセンサ間距離に僅かに差が生じた影響と考えられる。一方、可動センサの結果では無応力時に超音波速度変化率が「0」%に比較的近い値を示した。また、それぞれの音弾性定数は、載荷軸方向の固定センサで 0.039 、2方向固定センサの場合 0.047 、2方向可動センサの場合 0.040 であり、載荷軸方向の固定センサと2方向の可動センサの差は非常に小さく、2方向可動センサによる応力推定精度が十分であることを示している。以上のことから、複数測線の超音波速度の平均値から得られる超音波速度変化率を応力推定に用いることで、人為的誤差による変動が抑制され、高い測定精度を有すると考えられる。

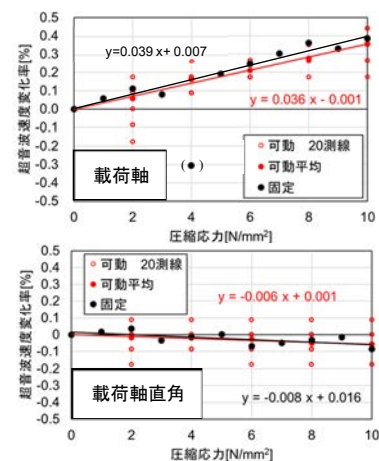


図-4 MC ナイロンの圧縮応力と $\Delta V/V_0$ の関係

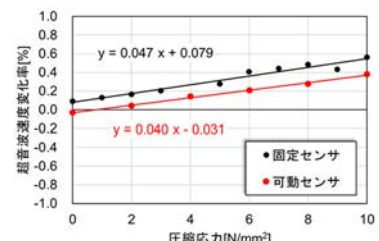


図-5 MC ナイロンの圧縮応力と $\Delta V/V_0$ の関係

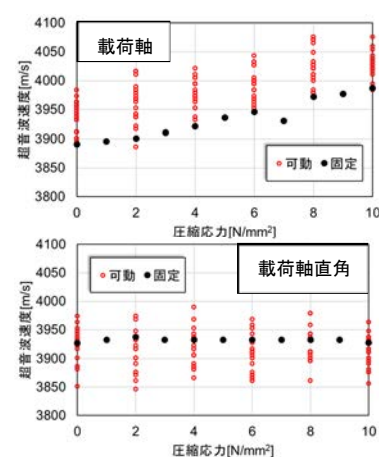


図-6 コンクリートの超音波速度

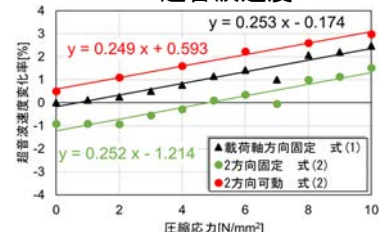


図-7 コンクリートの圧縮応力と $\Delta V/V_0$ の関係

5. コンクリートの材質による測定値の変動および応力推定精度の検討

コンクリートの圧縮応力と超音波速度の関係を図-6に示し、超音波速度の変動係数を表-2に示す。MC ナイロンの変動係数と比べコンクリートでの変動係数は一桁大きく、これはコンクリートの材質由来の変動と人為的誤差による変動の2つの変動要因を持つことが考えられる。コンクリートの変動係数の最大値は約 0.9% 、MC ナイロンでは約 0.08% であり、コンクリートでの測定は人為的誤差変動に比べコンクリートの材質による影響が卓越すると考えられる。次に、式(1)から得られる載荷軸方向の固定センサの超音波速度変化率および式(2)から得られる載荷軸直角方向を基準とした固定および可動センサの超音波速度変化率について、それぞれ圧縮応力との関係を図-7に示す。図より、載荷軸方向の固定センサと2方向可動および固定センサの音弾性定数の差は非常に小さいことがわかる。このことから、載荷軸および載荷軸直角方向にてそれぞれ20測線から得られた超音波速度の平均値をそれぞれの方向の代表値とすることで、コンクリートの不均質かつ不均一性による測定値への変動の影響を低減することが可能であると示唆された。

6. まとめ

超音波法によるコンクリートの応力推定へ及ぼす人為的誤差の影響は比較的小さく、コンクリートの材質による超音波速度の測定値の変動が大きいことがわかった。さらに、測線数を増やし、その平均値を代表値とすることで材質由来の影響を低減でき、本手法により圧縮応力との相関が高く保たれることがわかった。

参考文献

- 1) 永田昂大ほか：伝搬経路の異なる超音波の速度変化率を用いたコンクリートの応力推定手法の基礎検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.41，No.1，pp.1805-1810，2019.6

表-2 超音波速度の変動係数(コンクリート)

圧縮応力[N/mm ²]	0	2	4	6	8	10
載荷軸[%]	0.630	0.901	0.607	0.635	0.713	0.501
載荷軸直角[%]	0.767	0.870	0.793	0.867	0.721	0.681