

コンクリートの応力と超音波速度変化率の関係に及ぼす鉄筋の影響

首都大学東京 学生会員 ○永田昂大 正会員 大野健太郎 上野敦 宇治公隆
三井住友建設株式会社 正会員 篠崎裕生 玉置一清 野並優二 湯浅香織

1. 目的

プレストレストコンクリート (PC) において、プレストレスの減少は、PC 構造物のたわみの増加やひび割れの発生などの変状を引き起こす要因となる。そこで、導入したプレストレスの測定手法の開発が進んでいるが、非破壊による手法は確立されていない。筆者ら¹⁾は超音波速度変化率を用いたコンクリートの応力推定に関する検討を行っており、載荷軸方向にて超音波法を適用し、コンクリートの応力と超音波速度変化率が比例することを明らかにした。一方、尼崎ら²⁾の研究より、超音波の測定方向に対し平行に鉄筋が存在する場合、超音波の速度は鉄筋からの距離によって変化することがわかっている。ここでは、鉄筋がコンクリートの応力と超音波速度変化率の関係に及ぼす影響について検討するため、鉄筋直上と鉄筋間それぞれで超音波法を適用し、考察した。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体は、図-1 に示すように寸法 750×1200×250mm の版形状とし、供試体内に圧縮応力を導入するため、コンクリート内に 3 本のシース管を埋設し、それぞれのシース管内にφ32mm の PC 鋼棒を 1 本ずつ配置した。なお、供試体は、材齢 7 日で脱型、現場気中で養生し、材齢 29 日に超音波の測定および載荷を行った。

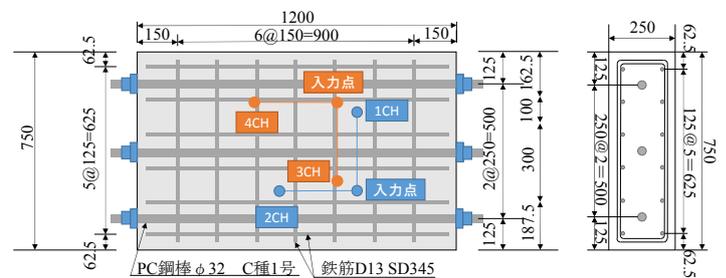


図-1 供試体概要とセンサ配置 (単位: mm)

実験に使用したコンクリートの材齢 29 日での圧縮強度は 40.7N/mm²、弾性係数は 24.3kN/mm² である。

2.2 載荷方法および超音波の測定

実験では油圧式加力機により PC 鋼棒を緊張し、コンクリートに圧縮応力を作用させ、載荷過程の応力が 0, 2, 4, 6, 8, 10N/mm² となった時点および除荷過程の応力が 8, 6, 4, 2, 0N/mm² となった時点の合計 11 段階で超音波計測を行った。超音波の入力はファンクションジェネレータを用いて振幅値を 15V、継続時間 10μs とした矩形波を AE センサ (60kHz 共振型) に作用させ、信号入力を各応力段階で 10 回行った。超音波の測定方向は図-1 に示す載荷軸方向と載荷軸直角方向とし、測定距離を 300mm とした。AE センサ (60kHz 共振型) により検出した超音波は、プリアンプにて 40dB 増幅した後、サンプリング間隔 0.1μs で記録した。

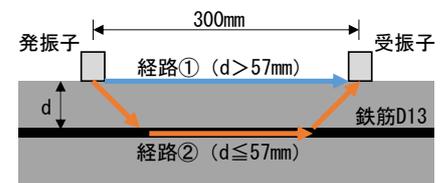


図-2 超音波伝搬経路の概念図

3. 実験結果および考察

3.1 応力と超音波速度の関係

図-2 に超音波伝搬経路の概念図を示す。尼崎ら²⁾によれば、コンクリート中の鉄筋はコンクリートの弾性波速度に影響し、測定距離、鉄筋径、センサと鉄筋間の距離によって弾性波速度は変化すると報告されている。ここでは、本研究で用いた鉄筋径と測定距離から、鉄筋の影響を受ける場合の鉄筋とセンサの距離を算出し、鉄筋が弾性波速度に影響しない測定位置 (鉄筋間にセンサを配置した場合、図-2 経路①) と鉄筋が影響する測定位置 (鉄筋直上にセンサを配置した場合、図-2 経路②) での速度の違いを再確認する。なお、本研究では超音波の初動到達部を用いた応力推定手法の確立を目的としているため、

キーワード コンクリート、応力推定、超音波速度変化率、鉄筋

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL 042-677-1111

P波速度をAIC法により決定されたP波到達時刻を用いて算出し、検討を行った。図-3に応力と超音波速度の関係を各センサ配置、各測定方向別に示す。以降、図中では載荷過程を塗りつぶし、除荷過程を白抜きのマーカーで示す。図より、載荷軸方向ではセンサ配置位置によらず、載荷過程では応力の増加に伴って超音波速度は増加し、除荷過程では減少した。また、載荷軸方向では既往の報告²⁾と同様、鉄筋の影響を受ける鉄筋直上での測定結果が鉄筋の影響を受けない鉄筋間での測定の場合よりも超音波速度が大きくなっていることがわかる。一方、載荷軸直角方向は応力の変化に伴う超音波速度の規則的な変化は認められない。以上より、超音波速度を用いて応力推定を行う場合、鉄筋の有無を考慮し、測定を行う必要がある。

3.2 応力と超音波速度変化率の関係

3.1の結果より、載荷軸方向にて応力と超音波速度は比例することが確認されたが、鉄筋の影響により超音波速度の絶対値は異なる。筆者らの検討¹⁾では、応力推定を行う際、無応力状態と各応力状態における超音波波形初動部の相互相関係数を用いて超音波速度変化率を算出することで、作用応力と超音波速度変化率は比例することが示されている。ここで、応力と超音波速度変化率の関係に及ぼす鉄筋の影響の有無を検討した。超音波速度変化率は既往の研究¹⁾に準じ、図-4に示すP波到達時刻からS波到達部直前の時刻を相互相関区間として設定し、式(1)に示す相互相関係数が最大値を示す時間差 τ を求め、式(2)より算出した。

$$CC_{(h_0, h_1)}(t) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} h_0[t(1+\tau)] \cdot h_1[t] dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} h_0^2[t(1+\tau)] dt \int_{t_1}^{t_2} h_1^2[t] dt}} \quad (1)$$

ここに、 $h_0(t)$ ：無応力状態での時刻 t における振幅値、 $h_1(t)$ ：各応力状態での時刻 t における振幅値、 τ ：時間差、 $CC(\tau)$ ：相互相関係数である。

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_i - V_0}{V_0} = \frac{t_0}{t_0 - \tau} - 1 \quad (2)$$

ここに、 V_0 ：無応力状態での超音波速度、 V_i ：作用応力 i での超音波速度、 t_0 ：無応力状態での超音波発信時刻からの到達時間差、 τ ：相互相関係数が最大となる時の時間差である。

図-5に応力と超音波速度変化率の関係を示す。図より、どちらのセンサ配置の場合も載荷軸方向では、載荷過程で応力の増加に伴い、超音波速度変化率は増加し、除荷過程で減少した。また載荷軸直角方向では傾きが小さく、載荷軸方向と比較して応力に対して感度が低いことがわかる。また、センサ配置が異なっても、超音波速度変化率の絶対値に大きな差はなく、超音波速度変化率を用いて応力推定を行う際は、内部の鉄筋の影響を加味することなく測定を行える可能性が示唆された。

4. まとめ

超音波速度は、内部の鉄筋の影響を受けるが、超音波速度変化率はその鉄筋の影響は小さく、鉄筋探査等が必要とせずコンクリートの応力推定を行える可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 森拓未, 大野健太郎ほか: コンクリートの作用応力と超音波速度変化率に関する基礎的検討, 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集, V-173, pp.345-346, 2018.8
- 2) 尼崎省二, 山本尚志: コンクリートの弾性波速度に及ぼす鉄筋の影響および表面法による弾性波速度の測定, コンクリート工学論文集, Vol.18, No.2, pp.95-102, 2007.

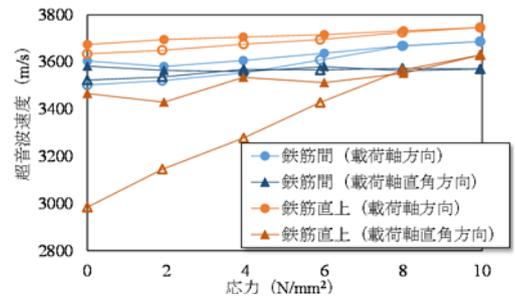


図-3 応力と超音波速度の関係

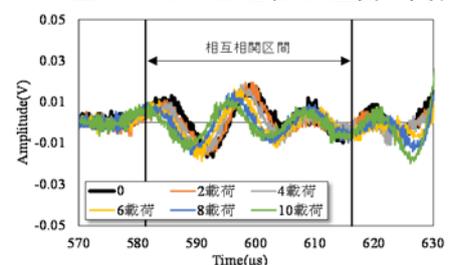


図-4 検出波形 (鉄筋間, 載荷過程)

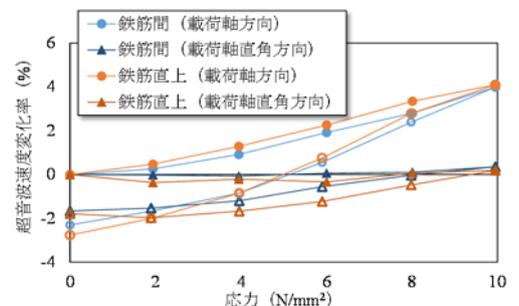


図-5 応力と超音波速度変化率の関係