

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

首都大学東京 学生会員 ○森 拓未 正会員 大野健太郎

首都大学東京 正会員 宇治 公隆 正会員 上野 敦

三井住友建設株式会社 正会員 篠崎 裕生 正会員 玉置 一清 正会員 野並 優二

1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物に導入されたプレストレスは、様々な要因で時間の経過に伴い減少するが、それが設計時に想定した以上に減少すると、たわみの増加やひび割れの発生などの変状が生じる。そのため、導入したプレストレスを測定する手法が望まれているが、非破壊による手法は構築されていない。本研究では、非破壊によるコンクリートの応力推定手法を確立するための基礎検討として、応力を漸増させた柱状供試体にて超音波計測を行い、作用応力と超音波速度の関係について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体概要およびセンサ配置

供試体概要と AE センサ貼付位置を図-1 に示す。供試体寸法は $300 \times 300 \times 1000 \text{ mm}$ であり、コンクリートの呼び強度を 21 と 40 として 1 体ずつ作製した（供試体名：Fc21, Fc40）。なお、Fc21 供試体、Fc40 供試体の実験時（材齢 28 日）の圧縮強度はそれぞれ 28.6 N/mm^2 , 51.4 N/mm^2 であり、弾性係数はそれぞれ 27.8 kN/mm^2 , 33.4 kN/mm^2 である。

2.2 載荷方法および超音波計測

実験では、万能試験機にてコンクリート供試体を載荷し、応力が 0, 3, 5, 7, 10, 15 N/mm^2 となった時点、および除荷過程の 5, 0 N/mm^2 時に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にて振幅値 15V, 継続時間 $10 \mu\text{s}$ とした矩形波を、AE センサを用いて入力し、各応力段階において 20 回入力した。使用した AE センサは、60kHz 共振型および 150kHz 共振型であり、図-1 に示すように、載荷方向と載荷軸直角方向にて計測した。

2.3 相互相関による超音波速度変化率の算出

図-2 に Fc21 供試体にて、60kHz 共振センサを用いた場合の、載荷方向 400mm における作用応力別の超音波波形を示す。図より、信号の初動到達時刻では、作用応力の増加に伴う変化は非常に小さいが、その後の波形では、作用応力の増加に伴い、位相差が生じていることがわかる。そこで、本研究では、既往の研究¹⁾を参考とし、ある時間区間での無応力状態の超音波波形に対する、各作用応力状態での波形の相互相関係数が最大となる時間差 (τ) を求め、速度変化率 ($\Delta V/V_0$) を求めた。なお、相互相関係数は、次式により算出した¹⁾。

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

ここに、 $h_0(t)$: 無載荷状態での時刻 t における振幅値、 $h_1(t)$: 載荷状態での時刻 t における振幅値、 τ : 時間差、 $CC(t)$: キーワード コンクリート、作用応力、超音波速度変化率、相互相関

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

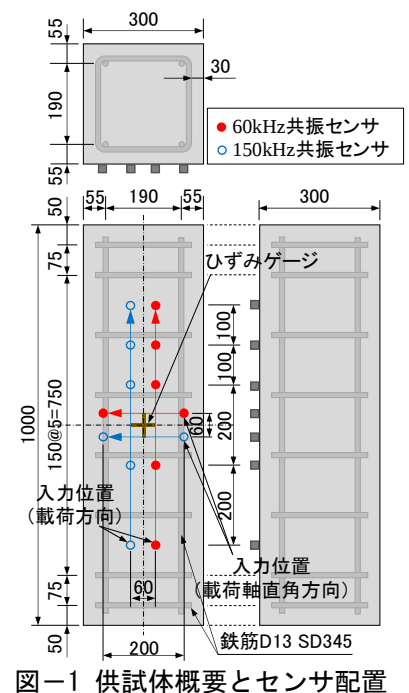


図-1 供試体概要とセンサ配置

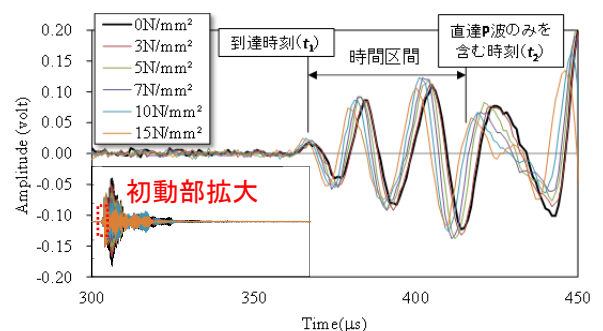


図-2 作用応力と超音波波形
(Fc21, 60kHz, 載荷方向 400mm)

相互相関係数である。

次に、式(1)から得られた相互相関係数のうち、最大値を示す時間差 τ を求め、以下の式により速度変化率($\Delta V/V_0$)を算出した。

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

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間差である。

ここで、既往の研究¹⁾における相互相関係数の時間区間は、最大振幅後の減衰部分に設定している場合が多いが、本研究における区間設定では、図-2に示すように、到達時刻(t_1)から、S波、表面波、境界面からの反射波等を除く、直達P波成分のみを含む時刻(t_2)までとした。

3. 実験結果および考察

$\Delta V/V_0$ と応力比(σ/f'_c : 作用応力/圧縮強度)の関係を図-3に示す。ここで、図の横軸を応力比とすることで、コンクリートの圧縮強度が変化した場合においても $\Delta V/V_0 - \sigma/f'_c$ 関係は保たれ、他のコンクリートへの適用性が高まると考えられる。図-3(a)~(c)より、荷重方向の $\Delta V/V_0$ は、応力比の増加に伴い増加し、除荷過程では応力比の減少に伴い低下していることがわかる。なお、完全除荷後は未荷重時の速度を下回る結果となった。図-3(d)より、荷重軸直角方向の $\Delta V/V_0$ は、応力比が増加しても変動は小さく、その後応力比が減少すると、わずかに低下傾向を示した。また、AEセンサ種別が $\Delta V/V_0 - \sigma/f'_c$ 関係に及ぼす影響は小さいと考えられる。

ここで、供試体の違いを比較すると、完全除荷後の $\Delta V/V_0$ は、荷重方向、荷重軸直角方向共に、Fc21供試体の方がFc40供試体よりも低くなる傾向となった。これは、Fc40供試体には、コンクリートの弾性範囲内である応力比0.3以下の最大荷重が加えられたのに対して、Fc21供試体には、応力比0.5程度の弾性範囲を越える最大荷重が加えられた結果、塑性状態の履歴が残留したためであると考えられる。なお、完全除荷後の $\Delta V/V_0$ が未荷重時と比較して低下する現象は、荷重過程にてコンクリートにマイクロクラックが生じ、除荷過程にてこれらが開くためと考えられる。

また、図-3(a)~(c)の荷重過程において、応力比0.3以下における $\Delta V/V_0 - \sigma/f'_c$ 関係の近似直線を求めると、荷重方向500mmの結果において高い相関があり、良好な線形性を有することがわかった。

4. まとめ

- (1) 直達P波成分のみを含む時間区間における、無応力状態の波形と各作用応力状態の波形の相互相関により得られた $\Delta V/V_0 - \sigma/f'_c$ 関係は、荷重方向では供試体の圧縮強度によらず線形関係となることがわかった。
- (2) 荷重軸直角方向の $\Delta V/V_0 - \sigma/f'_c$ 関係は、応力比が増加しても $\Delta V/V_0$ の変動は小さく、応力比が減少するとわずかに低下する傾向を示した。
- (3) 荷重方向における応力比0.3以下の近似直線から、本検討の範囲内では荷重方向500mmが最も高い相関を示し、良好な線形性を有することがわかった。また、AEセンサ種別による影響は小さいと考えられる。

参考文献

- 1) T.Planès, E.Larose: A review of ultrasonic Coda Wave Interferometry in concrete, Cement and Concrete Research, Vol.53, pp.248-255, 2013.

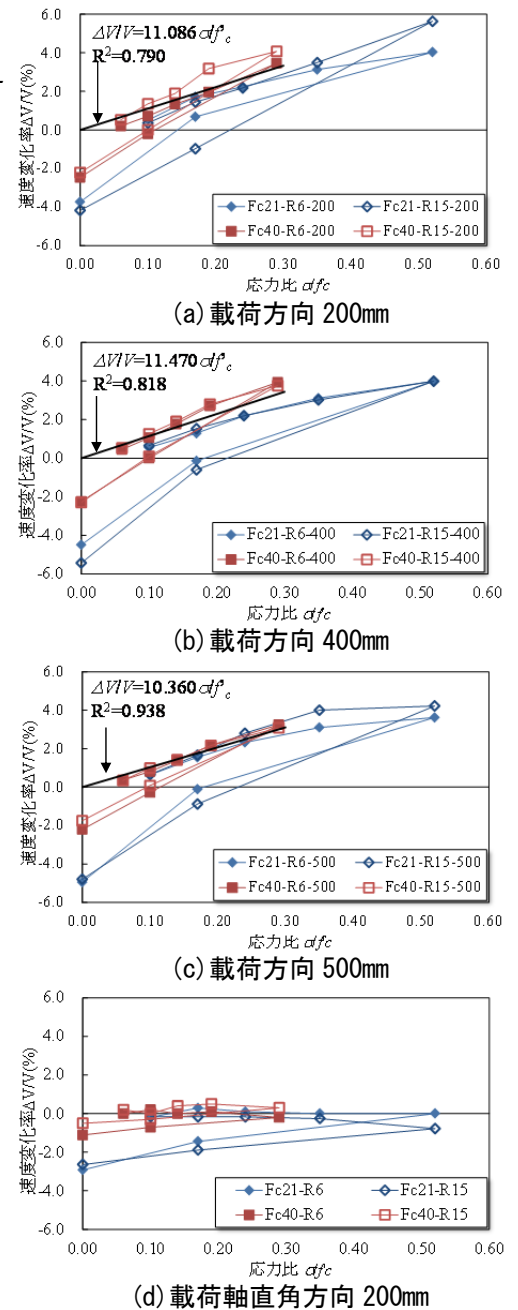


図-3 応力比と速度変化率の関係