

粗骨材がコンクリートの圧縮応力と超音波速度変化率の関係に及ぼす影響

首都大学東京大学院 学生会員 ○永田昂大 正会員 大野健太郎 上野敦 宇治公隆

1. 目的

筆者らの既往の研究¹⁾において、非破壊による PC 構造物の残留応力推定法の確立を目的に、PC 鋼棒を埋設した 3 水準の強度の異なるコンクリート供試体にて応力を漸増させ、超音波法を適用した。無応力状態に対する各応力状態の超音波速度変化率と応力の関係について検討した結果、応力と超音波速度変化率は線形関係があることが認められたが、同一応力時の載荷過程と除荷過程で超音波速度変化率が異なることが確認された。これは、粗骨材周りの遷移帯等が一部塑性化したためと考えられたが、粗骨材の影響について未検討であったため、本稿では、同一水セメント比のコンクリートとモルタルを用いて供試体を作製し、粗骨材の有無が応力と超音波速度変化率の関係に及ぼす影響について考察した。

2. 実験概要

2.1 供試体

コンクリートおよびモルタルの配合を表-1, 2 に示す。供試体には図-1 に示すような寸法 100×100×400mm の角柱供試体を用いた。供試体は、材齢 1 日で脱型し、その後材齢 28 日まで水中養生を行った。水中養生後、供試体は恒温恒湿室 (20℃, 60%R.H.) で保管し、超音波試験をコンクリート供試体で材齢 29 日、モルタル供試体で材齢 32 日にて行った。コンクリートおよびモルタルの水セメント比を 60%とし、それぞれの供試体の材齢 28 日時の圧縮強度および静弾性係数はコンクリート供試体で 29.9N/mm², 25.5kN/mm²であり、モルタル供試体で 49.1N/mm², 23.8kN/mm²である。

2.2 載荷方法および超音波の測定

実験では耐圧試験機を用いて角柱供試体を載荷し、供試体に圧縮応力を作用させ、載荷過程と除荷過程で応力が 0N/mm² から 8N/mm² の範囲にて 1N/mm² ごとに計 17 の応力段階で超音波測定を行った。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 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 20 回行った。超音波の測定距離は図-1 に示すように 300mm とし、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 60dB 増幅した後、500kHz ローパスフィルターをかけ、サンプリング間隔 0.1μs で記録した。得られた波形は超音波入力時間を基準とし、20 波を重ね合わせた 1 つの波形として処理を行った。

表-1 コンクリートの配合

Cmax (mm)	SL (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
20	8	60	4.5	47.1	172	287	782	879	1.148

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	単位量(kg/m ³)		
	W	C	S
60	287	479	1437

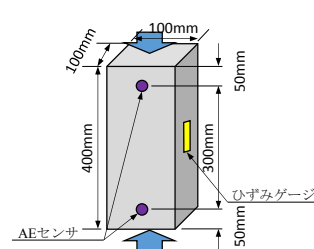


図-1 供試体概要

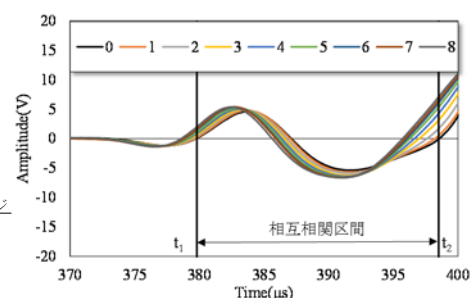


図-2 受信波形初動到達部の例

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートとモルタルの応力と超音波速度変化率の関係

超音波速度変化率は既往の研究¹⁾に準じ、図-2 に示す P 波到達時刻(t_1)から 1 周期の時刻(t_2)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。

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

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。

キーワード コンクリート、応力推定、超音波速度変化率、粗骨材

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

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

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ときの時間差である。

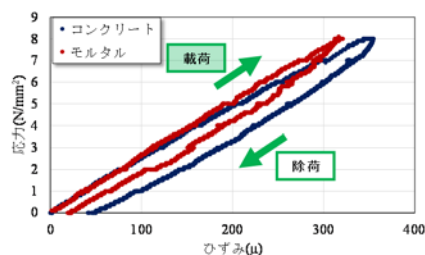


図-3 各供試体の応力ひずみ曲線

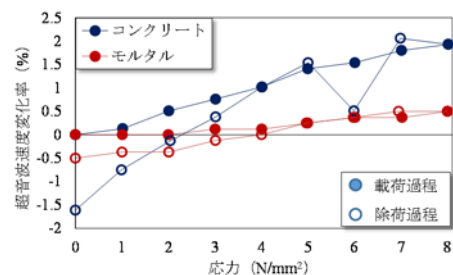


図-4 各供試体の応力と超音波速度変化率の関係

図-3 に各供試体の応力ひずみ曲線を、図-4 に各供試体の応力と超音波速度変化率の関係を示す。図-3 より、載荷過程と除荷過程の同一応力時のひずみ差がコンクリートよりモルタルの方が小さいことから、コンクリートの方が非弾性的な挙動をより示すことがわかる。また、超音波速度変化率では、コンクリートの方がモルタルよりもグラフの傾き（以下 α とする）が大きく、同一応力時の載荷過程と除荷過程の超音波速度変化率の差も大きくなっていることがわかる。ここで、図-5 に示すように既往の研究より、高強度のコンクリートほど応力と超音波速度変化率の関係における α は小さくことが確認されている。本検討で用いたコンクリートとモルタルの圧縮強度はモルタルの方が 1.5 倍以上大きく、図-5 の α にはこの強度の影響が考えられたため、次に圧縮強度の影響を排除し、検討を行った。

3.2 コンクリートとモルタルの作用応力比と超音波速度変化率の関係

圧縮強度の影響を排除するため、作用応力比 (σ/f_c) を算出し、超音波速度変化率との関係について検討した。図-6 に作用応力比と超音波速度変化率の関係を示す。

なお、横軸の作用応力比 (σ/f_c) は、

超音波測定時の応力をそれぞれの供試体の圧縮強度で除すことによって算出した。

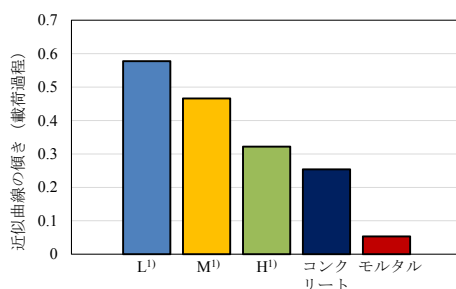


図-5 各供試体の α

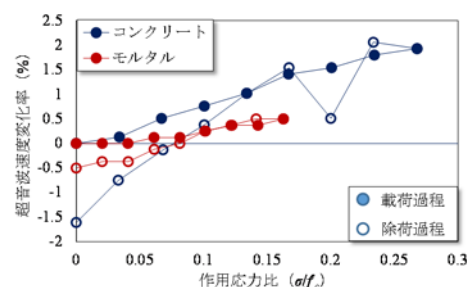


図-6 各供試体の作用応力比と超音波速度変化率の関係

図より、同一作用応力比での超音波速度変化率はコンクリート供試体の方が大きいことがわかる。これは横軸を作用応力比としているため、圧縮強度の影響ではなく、粗骨材周りの遷移帯が占める割合の大きさが影響していると考えられる。遷移帯が応力の増加に伴い収縮し、組織が密となった結果、超音波速度変化率の変化量が大きくなり、同一作用応力比での超音波速度変化率がモルタルと比較して大きくなったと考えられる。また、コンクリートの方が遷移帯が多く、除荷時に遷移帯の一部で組織が疎となる部分が増加することで、除荷過程での超音波速度変化率の低下が大きくなったと考えられる。

4. まとめ

粗骨材がコンクリートの応力と超音波速度変化率の关系到及ぼす影響を検討するため、同一水セメント比のコンクリートとモルタルを作製し、検討した。その結果、コンクリートの方が同一作用応力比での超音波速度変化率が大きく、載荷過程と除荷過程の超音波速度変化率の差が大きくなることがわかった。これは、粗骨材の存在により、遷移帯量が多くなり、内部組織の変化が大きくなったためと考えられ、完全弾性体に近いほど載荷過程と除荷過程の超音波速度変化率に生じる差は小さくなると示唆された。

参考文献

- 1) 永田昂大, 大野健太郎, 篠崎裕生, 野並優二：伝搬方向の異なる超音波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