

粗骨材粒子のサイズが若材齢コンクリートの超音波速度に及ぼす影響

An Influence by Aggregate Particle on Ultrasonic Wave Velocity of Early Age Concrete

函館工業高等専門学校 環境システム工学専攻 ○学生員 村上紘稀 (Koki Murakami)
函館工業高等専門学校 環境都市工学科 正員 澤村秀治 (Syuji Sawamura)
アイレック技建株式会社 営業開発本部 永島裕二 (Yuji Nagashima)

1. はじめに

若材齢コンクリートの体積変化を扱う問題では、体積変化を発生させる駆動力とともに、若材齢時におけるコンクリートの強度発現・弾性係数の変化を的確に把握する必要がある。筆者らは、打設直後からコンクリートの超音波速度の変化を推定する方法を示している¹⁾²⁾。

そこで我々は、若材齢コンクリート、および擬似若材齢コンクリートを用い、骨材量や細骨材率が若材齢コンクリートの超音波速度、弾性係数に及ぼす影響を検討してきた³⁾。その結果、若材齢コンクリートの超音波速度は、配合条件のうち、骨材条件の影響を強く受けることを把握した。さらに我々は、粗骨材粒子に着目し、若材齢コンクリートの超音波速度に及ぼす影響を検討し、わずかながら超音波速度に影響することが確認できた。しかし、粗骨材粒子サイズの定量化には至っておらず、何らかの方法で定量的に表し、弾性係数推定式の精度の向上を行う必要がある。

そこで本研究では、粗骨材粒子のサイズが若材齢コンクリートと石灰石微粉末(以下 LSP)の置換により意図的にセメントペーストの強度を低下させた擬似若材齢コンクリートの超音波速度に及ぼす影響を評価することを目的とし、超音波速度自動計測システム²⁾を用いて実験を行った。

2. 実験概要

本研究で使用した超音波計測用供試体を図-1 に示す。超音波プローブは厚さ 0.1mm のステンレス粘着シートを介してコンクリートに密着し、型枠とコンクリートはエアキャップで絶縁され超音波が型枠を伝播しないような構造となっている。コンクリートを打設した供試体は、20℃一定に設定した恒温槽の中で養生し、自動計測システムによって超音波速度に測定を行った。超音波速度の計測は打設直後から開始し、15 分間隔で記録された超音波受信波形から、超音波速度の変化を求める¹⁾。

実験の要因と水準を表-1 に示す。実験は先ず、水セメント比を変化させた若材齢コンクリートで行い、水セメント比 W/C を 35%, 45% の 2 水準、粗骨材粒子のサイズはふるい分けにより、5~10mm を S サイズ、10~15mm を M サイズ、15~20mm を L サイズ、ランダムな状態を Mix とした。次に、材齢 1 日以前における粗骨材粒子サイズの影響を評価するために、LSP で置換した擬似若材齢コンクリートを対象に、LSP 置換率を 80%, 90% の 2 水準、粗骨材粒子のサイズは若材齢コンクリートと同様な水準で実験を行った。本実験で使用し

た材料を表-2 に、コンクリートの示方配合を表-3 に示す。各供試体の共通条件として、粗骨材容積率 G_c 、細骨材容積率 S_c は共に 40% に固定とし、超音波速度の計測は最大 5 日までとした。

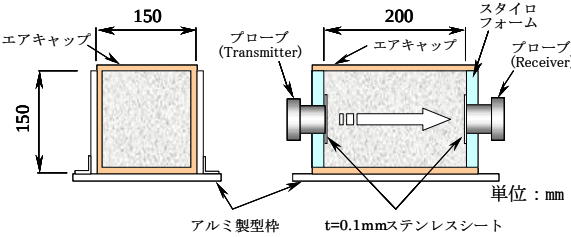


図-1 超音波計測用供試体

表-1 実験の要因と水準

若材齢コンクリートの要因		若材齢シリーズの水準	
粗骨材容積率	1水準	40%	
細骨材容積率	1水準	40%	
水セメント比	2水準	35%, 45%	
粗骨材粒子サイズ	4水準	5~10(S), 10~15(M), 15~20(L), Mix	
擬似若材齢コンクリートの要因		擬似若材齢シリーズの水準	
粗骨材容積率	1水準	40%	
細骨材容積率	1水準	40%	
水セメント比	1水準	45%	
LSP置換率	2水準	80%, 90%	
粗骨材粒子サイズ	4水準	5~10(S), 10~15(M), 15~20(L), Mix	

表-2 使用材料一覧

名称	仕様等	密度(g/cm ³)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16
	石灰石微粉末	2.74
細骨材	函館市豊原産天然砂	2.63
粗骨材	義朗産砕石(2005)	2.70

表-3 コンクリートの示方配合

Name	W/C	Sc	Gc	LSP置換率	単位質量(g/litter)				
	%	%	%	%	W	C	LSP	S	G
W/C35	35	40	40	0	189.1	540.2	0	631.2	1080.0
W/C45				0	211.4	469.7	0	631.2	1080.0
LSP80	45			80	201.2	89.4	357.6	631.2	1080.0
LSP90				90	193.1	44.6	401.4	637.5	1080.0

3. 実験結果および考察

3.1 若材齢コンクリート

3.1.1 若材齢コンクリートの超音波速度

図-2 および図-3 に、W/C35%・45%における、異なった粗骨材粒子サイズを持つ若材齢コンクリートの超音波速度と温度履歴を考慮した有効材齢の関係をそれぞれ示す。図-2 の W/C35% のケースでは、有効材齢 0.5 日の時点における超音波速度が、粗骨材粒子のサイズが大きい方から $L>M>Mix>S$ の順となった。次に有効材齢 5 日の時点における超音波速度では、有効材齢 0.5 日と同様な傾向が得られた。図-3 の W/C45% のケースでは、有効

材齢 0.5 日の時点における超音波速度が、粗骨材粒子のサイズが大きい方から $M > Mix > L > S$ の順となった。それに対し有効材齢 5 日の時点における超音波速度では、 $L = M = Mix > S$ の順となった。これらの結果より、若材齢コンクリートの超音波速度は、粗骨材粒子のサイズが大きいほど速くなることが判る。しかし、有効材齢 0.5 日未満である打設直後の超若材齢域における超音波速度には、有効材齢 5 日の時点と同様な傾向が表れておらず、データのばらつきが確認できた。

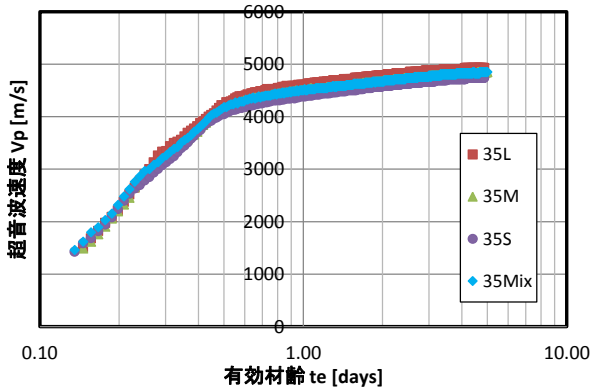


図-2 W/C35%における超音波速度

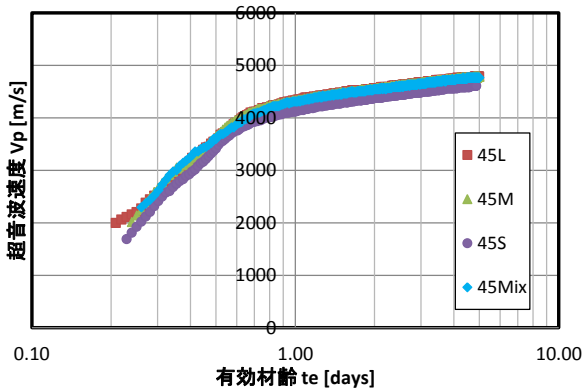


図-3 W/C45%における超音波速度

3.1.2 若材齢コンクリートの粒径パラメータ

本研究では、粗骨材粒子サイズに着目していることから、一般的にランダムな粗骨材を持つコンクリートに対して、どの程度差異が生じるのかを知る必要がある。そこで式-1 に示すように、各粗骨材粒子サイズにおける超音波速度を、基準である粗骨材粒子サイズ Mix で除した値を粒径パラメータとし、各材齢毎に計算を行っている。

$$\text{粒径パラメータ} = \frac{\text{粗骨材粒子サイズ } L, M, S \text{ の } V_p}{\text{粗骨材粒子サイズ Mix の } V_p} \quad \text{式-1}$$

図-4 および図-5 に、W/C35%・W/C45%における粒径パラメータと材齢の関係を示す。図-4 の W/C35%のケースでは、3.1 節で述べたように、データのばらつきによる影響が打設直後に発生していることが判る。しかし材齢 0.5 日程度からは、Mix に対して粗骨材粒子サイズの影響が顕著に表れていることが確認できる。材齢 1 日以降の粒径パラメータの平均値は、L サイズで+2%、S サイズで-2%、M サイズは基準である Mix (=1.00) と同じ結果となった。図-5 の W/C45%のケースでは、W/C35%

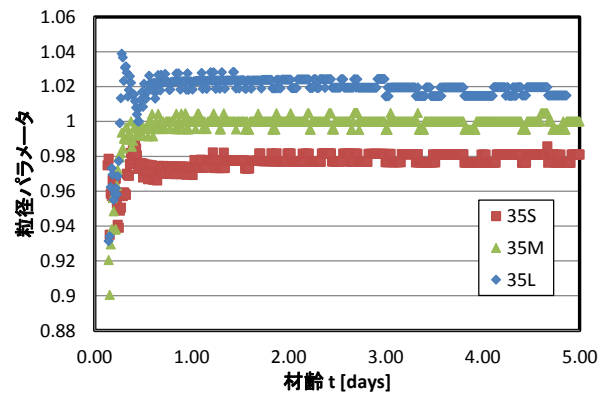


図-4 W/C35%における粒径パラメータ

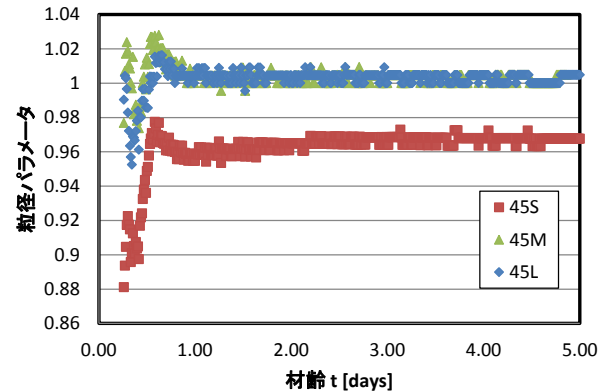


図-5 W/C45%における粒径パラメータ

と同様に打設直後のばらつきが見られる。材齢 1 日以降の粒径パラメータの平均値は、L サイズと M サイズが Mix とほぼ同じに、S では-3.4%となった。これらの結果より、基準となる Mix に対し、粗骨材粒子サイズを調整した若材齢コンクリートの超音波速度に与える影響を把握することができた。

3.1.3 水セメント比の影響

本研究では、W/C を 2 水準に設定している。そこで図-4 および図-5 の粒径パラメータを見ると、W/C35%のケースでは、材齢 1 日以降の範囲で粒径パラメータが L サイズと S サイズの差で 4%開いている。また、W/C45%のケースでも同様に、L サイズと M サイズはほぼ値となっているが、粒径パラメータの差は 4%となっている。したがって、水セメント比が粗骨材粒子サイズの違いに及ぼす影響は、本研究において一定となっていることが判る。

3.2 擬似若材齢コンクリート

3.2.1 擬似若材齢コンクリートの再現性

1 章にも記述したが、擬似若材齢コンクリートとは、石灰石微粉末をセメントの代わりに置換することにより、意図的にセメントペーストの強度を低下させたもので、これにより、若材齢コンクリートにおける材齢 1 日未満の超音波速度(≒強度発現)を再現することが可能となる。図-6 に、W/C45%と LSP 置換率 80%および 90%における粗骨材粒子サイズ M の超音波速度と有効材齢の関係を示す。LSP 置換率 80%の超音波速度は、1500m/s～

3200m/s, LSP 置換率 90%の超音波速度は, 1700m/s～2500m/s となっており, 若材齢コンクリートで言うと, LSP 置換率 80%で有効材齢 0.4 日程度を, LSP 置換率 90%で有効材齢 0.3 日程度までを再現していることが判る。

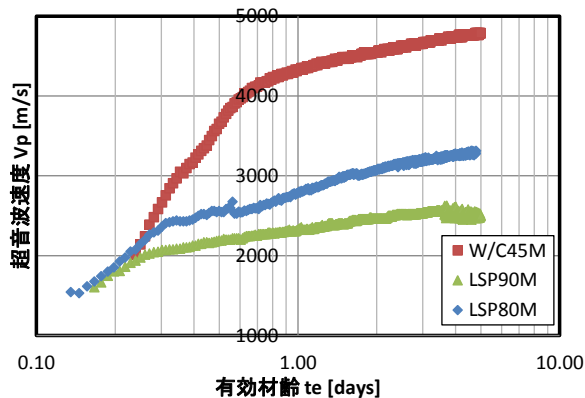


図-6 W/C45%と LSP 置換率 80%の超音波速度の比較

3.2.2 擬似若材齢コンクリートの超音波速度

図-7 および図-8 に, LSP 置換率 80%・90%における超音波速度と温度履歴を考慮した有効材齢の関係をそれぞれ示す。図-7 に示した LSP 置換率 80%のケースでは, 有効材齢 5 日の時点における超音波速度が, 粗骨材粒子のサイズが大きい方から $L>M>Mix>S$ の順となり, W/C35%と同様な傾向を示した。しかし, 打設直後から有効材齢 0.5 日程度までの間でデータのばらつきが見られる。この原因として, LSP 置換率が 80%とセメントペースト部の強度が低いため, 超音波速度の計測が難しい状態であったと考えられる。図-8 に示した LSP 置換率 90%のケースでは, 有効材齢 3.32 日の時点における超音波速度が, 粗骨材粒子のサイズが大きい方から $L>M>S>Mix$ の順となり, Mix が小さくなる結果となった。ただし, 計測上の都合で材齢 3.32 日までである L サイズに合わせている。しかし, 全体的に見ると各粗骨材粒子サイズによる差異が顕著に見られており, セメントペースト強度が低いほど粗骨材粒子サイズの影響が強くと考えられる。これらの結果より, 擬似若材齢コンクリートにおいても粗骨材粒子サイズが大きいほど超音波速度にはっきりと影響することが判る。

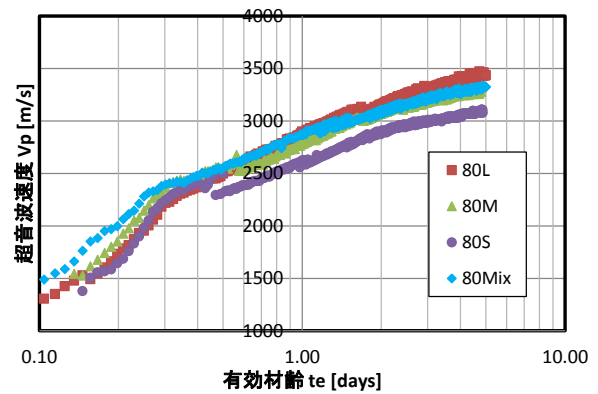


図-7 LSP 置換率 80%における超音波速度

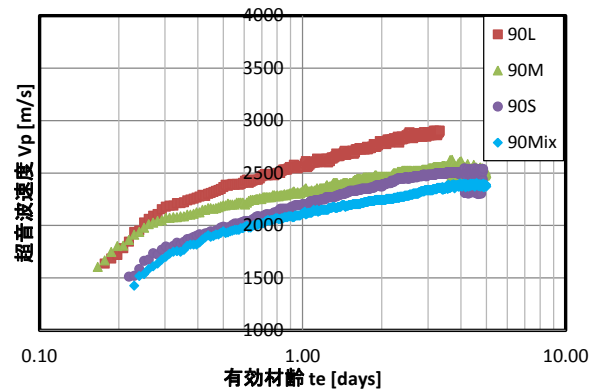


図-8 LSP 置換率 90%における超音波速度

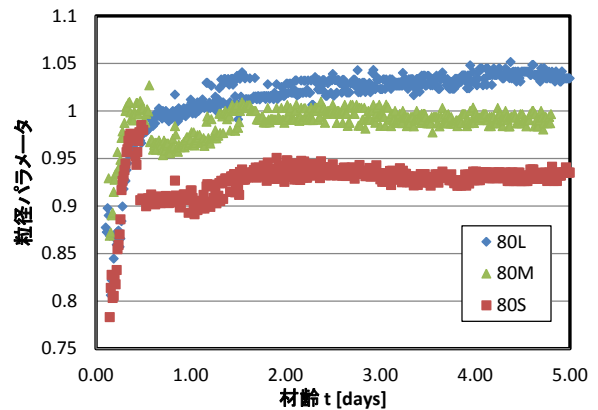


図-9 LSP 置換率 80%における粒径パラメータ

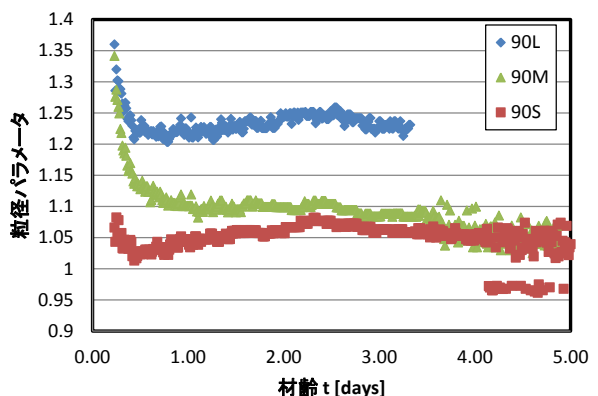


図-10 LSP 置換率 90%における粒径パラメータ

3.2.3 擬似若材齢コンクリートの粒径パラメータ

図-9 および図-10 に, LSP 置換率 80%・90%における粒径パラメータと材齢の関係を示す。図-9 の LSP 置換率 80%のケースでは, 材齢 1 日以降の粒径パラメータの平均値が, L サイズで+2.8%, M サイズで-0.8%, S サイズで-7%となった。図-10 の LSP 置換率 90%のケースでは, L サイズで+23.4%, M サイズで+9.7%, S サイズで+6.2%となった。ただし, 計測上の都合で L サイズに合わせて材齢 1 日から材齢 3.32 日までの平均値としている。以上の結果より, 図-4 および図-5 の材齢 0.5 日程度までのばらつきを, 擬似若材齢コンクリートを用いたことで適切に表現することができ, 打設直後時には粗骨材粒子サイズの影響が顕著であることが確認できる。

3.3 粗骨材粒子サイズによる影響の定量化

本研究では、粗骨材粒子サイズが若材齢コンクリートの超音波速度に及ぼす影響を定量的に表すため、2種類の方法により検討を行った。

3.3.1 粗粒率による定量化の考察

まず初めに、本研究室で使用している粗骨材(Mix)の粗粒率 F.M.をふるい分け試験により求めた。その結果、Mix の粗粒率 6.88 を得られた。それに対し L, M, S サイズの粗粒率は、理論的に算出することとし、表-4 にその結果を示す。例えば、S サイズでは 5mm ふるいと 10mm ふるいに全て留まると仮定し、その平均値を粗粒率として算出している。これらの粗粒率を比較してみると、粗粒率が大きい順に、 $L > M > \text{Mix} > S$ となっていることが判る。この順は、若材齢コンクリートと擬似若材齢コンクリートの超音波速度と似たような関係を示している。すなわち、粗骨材粒子サイズが若材齢コンクリートの超音波速度に及ぼす影響を粗粒率により定量的に表すことができる可能性があると言える。

表-4 各粗骨材粒子サイズの粗粒率

粗骨材粒径 mm	粗粒率 F.M.	平均値	粗骨材粒子 サイズ
5	6.00	6.50	S
10	7.00		
15	7.50	7.25	M
20	8.00	7.75	L

3.3.2 比表面積による定量化の考察

2つ目の方法として、粗骨材の比表面積による定量化が考えられる。そこで、本研究では楕円法を用いてランダムに粗骨材 50 個を選び、長軸・中間軸・短軸の長さを測定することで、表面積および体積を算出し比表面積を求めた。図-11 に、単位質量あたりの比表面積(cm^2/g)を示す。図-11 より、粗骨材粒子サイズ(≒粗粒率)が小さいほど、比表面積が大きくなっていることが判る。

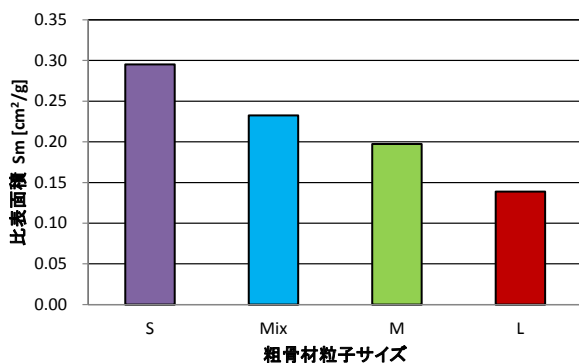


図-11 単位質量あたりの比表面積(cm^2/g)

3.3.3 粗骨材粒子サイズの定量化

本研究から得られたデータを基に、図-12 に粗粒率と W/C35% の超音波速度の関係の一例を示す。今回は粗粒率 F.M.を用いて表現することとし、粒径パラメータの特異時の材齢の超音波速度をとり、それぞれ 0.3 日、0.5 日、5 日とした。この関係を直線で回帰した結果を式-2

に示す。式-2 では、0.3 日から 5.0 日にかけて傾きが小さくなる傾向が見られることから、セメントペースト部の強度が低いほど影響が顕著であることが判る。

$$Vp_{(0.3d)} = 164.6F.M. + 2058.5$$

$$Vp_{(0.5d)} = 135.8F.M. + 3165.8 \quad \text{式-2}$$

$$Vp_{(5.0d)} = 130.5F.M. + 3911.9$$

ただし、 Vp : コンクリートの超音波速度(m/s)

F.M. : 粗粒率

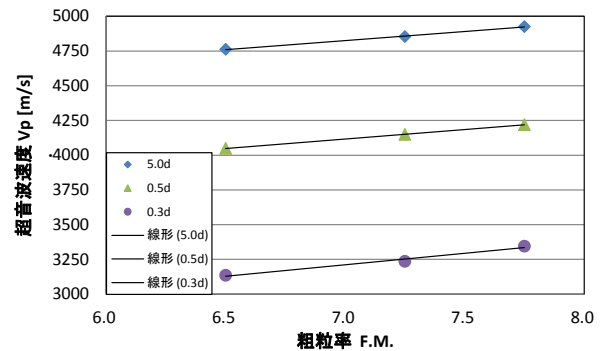


図-12 粗粒率と超音波速度の関係(W/C35%)

4. まとめ

本研究では、若材齢コンクリートと石灰石微粉末を混和した擬似若材齢コンクリートの超音波速度に、異なる粗骨材粒子サイズが与える影響について検討を行い、明らかになった影響を定量的に表現するために考察を行った。その結果、以下のような知見を得た。

- ① 若材齢コンクリートおよび擬似若材齢コンクリートの超音波速度は、粗骨材粒子のサイズが大きいほど速く、水セメント比の違いによる影響についても把握できた。
- ② 打設直後の超若材齢域における超音波速度は、LSP 置換率 80%で材齢 0.5 日、LSP 置換率 90%で材齢 0.3 日までを再現でき、若材齢コンクリートに発生していたデータのばらつきを上手く再現することができた。
- ③ 若材齢コンクリートの超音波速度に、粗骨材粒子サイズが与える影響を粗粒率 F.M.の関数で表し、本研究において粗粒率による補正が可能であることを見出せた。

参考文献

- 1) 澤村秀治, 須藤卓哉, 丸山久一, 永島裕二: 超音波伝播速度による水和抑制型膨張コンクリートの強度発現特性の評価, コンクリート工学年次論文集, 第29巻, pp.705-710, 2007.7
- 2) 須藤卓哉, 川尻峻三, 澤村秀治, 永島裕二: 超音波伝播速度を用いた膨張コンクリートの弾性係数推定法に関する研究, 平成18年度土木学会北海道支部論文報告集, E-20, 2007.2
- 3) 澤村秀治, 安澤朋也, 丸山久一, 永島裕二: 強度発現途上にあるコンクリートの超音波速度における粗骨材量の影響の定量化, コンクリート工学年次論文集, 第32巻, pp.551-556, 2010.7