

粗骨材容積率および粗骨材粒子サイズが
若材齢コンクリートの力学特性に及ぼす影響

An Influence by Coarse Aggregate Volume Rate and Coarse Aggregate Particle Size
on Mechanical Properties 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 黒島彩 (Aya Kuroshima)
函館工業高等専門学校 社会基盤工学科 正 員 澤村秀治 (Syuji Sawamura)

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。ここで、粗骨材容積率、粗骨材粒子サイズが若材齢コンクリートの超音波速度を始めとする力学特性に影響するのではないかと考えた。

そこで本研究では、セメントに対して石灰石微粉末（以下 LSP）を置換して、セメントペーストの強度を意図的に低下させた擬似若材齢コンクリートによって通常のコンクリートにおける若材齢時を再現することを試みた。それを用いて、粗骨材容積率、粗骨材粒子サイズが若材齢コンクリートの力学特性に及ぼす影響を実験的に検討した。

2. 実験概要

実験の要因と水準を表-1 に示す。実験は、粗骨材容積率および粗骨材粒子サイズが若材齢コンクリートの力学特性に与える影響を検討するために、石灰石微粉末を用いて、意図的に強度を低下させた擬似若材齢コンクリートを対象とした。水セメント比を 40%、細骨材容積率を 40%と固定し、LSP 置換率を 4 水準、粗骨材容積率を 4 水準、粗骨材粒子サイズを 4 水準とし、実験を行った。それらを組み合わせて配合したコンクリート供試体を 1 水準につき 3 本ずつ打設した。これにより、粗骨材容積率および粗骨材粒子サイズが若材齢コンクリートの力学特性に与える影響について検討する。供試体は、円柱供試体 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ とし、打設後翌日に脱型して、 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ で水中養生を行った。本実験で使用了材料を表-2 に、モルタルの計画配合を表-3 に、粗骨材容積率と粗骨材の質量を表-4 に示す。粗骨材粒子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。

表-1 実験の要因と水準

Geシリーズ	Geシリーズの水準	
粗骨材容積率	6水準	0%,10%,20%,30%,40%,50%
細骨材容積率	1水準	40%
水セメント比	1水準	40%
石灰石微粉末の置換率	4水準	0%,60%,80%,90%
粒子シリーズ	粒子シリーズの水準	
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	40%
石灰石微粉末の置換率	4水準	0%,60%,80%,90%
粗骨材粒子サイズ	4水準	5~10(S),10~15(M),15~20(L),Mix
ガラス球	3水準	S(10),M(20),L(30)

表-2 使用材料一覧

名称	使用等	密度(g/cm^3)
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16
細骨材	豊原産天然砂	2.61
粗骨材	峯朗産砕石2005	2.70
石灰石微粉末	北斗市峯朗産	2.74

表-3 モルタルの計画配合

シリーズ	LSP	W/C	Sc	単位質量(g/litter)			
	%	%	%	LSP	W	C	S
Geシリーズ	0	40	40	0.0	335.0	837.5	1052.0
	60			482.9	321.9	321.9	
	80			635.5	317.8	158.9	
	90			710.4	315.7	78.9	
	90			0.0	335.0	837.5	
粒子シリーズ	60	40	40	482.9	321.9	321.9	1052.0
	80			635.5	317.8	158.9	
	90			710.4	315.7	78.9	
	90			0.0	335.0	837.5	

表-4 粗骨材容積率と粗骨材の質量

Gc	単位質量(g/litter)
%	G
0	0.0
10	270.0
20	540.0
30	810.0
40	1080.0
50	1350.0

3. 実験結果および考察

3.1Gc シリーズでの若材齢コンクリートの力学特性

Gc シリーズにおける粗骨材容積率を LSP 置換率 0%、60%、80%、90%の場合での粗骨材容積率とコンクリートの力学特性の関係を図-1~図-4 に示す。図-1 では、粗骨材容積率が大きくなるにつれ、超音波速度が速くなっている。図-2 では、粗骨材容積率が大きくなるにつれて動弾性係数は高くなっている。図-3 では、粗骨材容積率が大きくなると、圧縮強度は低くなっていることが確認できる。図-4 では、超音波速度と同様に、粗骨材容積率が大きくなるにつれて静弾性係数は高くなって

いるがわかる。また、LSP 置換率が高くなるほど超音波速度は遅くなっている。動弾性係数、圧縮強度、静弾性係数も同様な結果がみられた。これらの結果より、若材齢コンクリートの超音波速度は、粗骨材容積率が大きいほど速くなり、動弾性係数、静弾性係数は高くなること

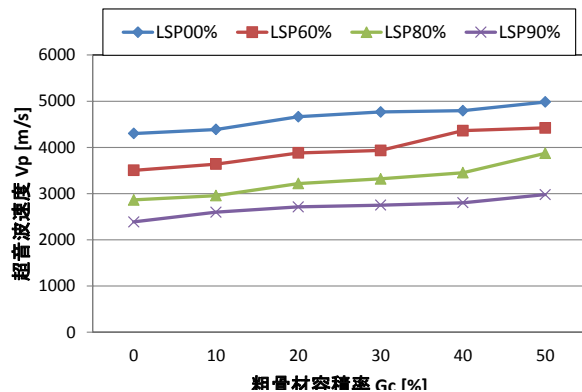


図-1 粗骨材容積率と超音波速度の関係

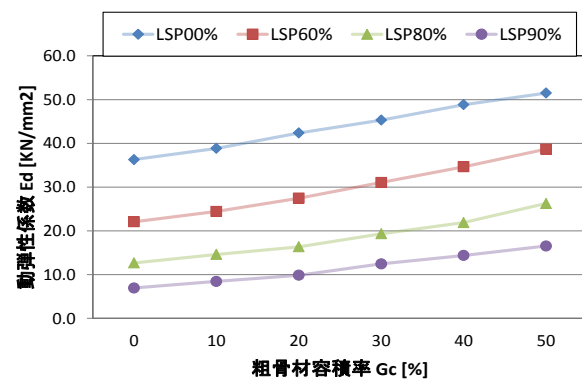


図-2 粗骨材容積率と動弾性係数の関係

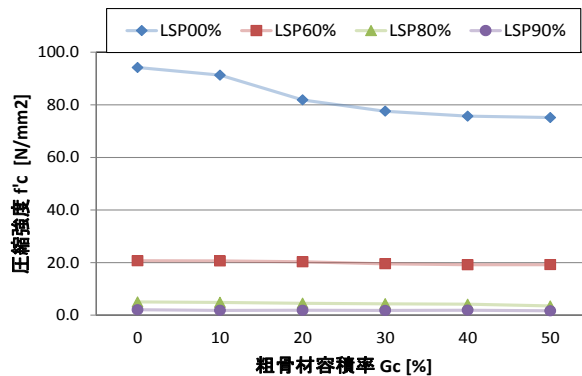


図-3 粗骨材容積率と圧縮強度の関係

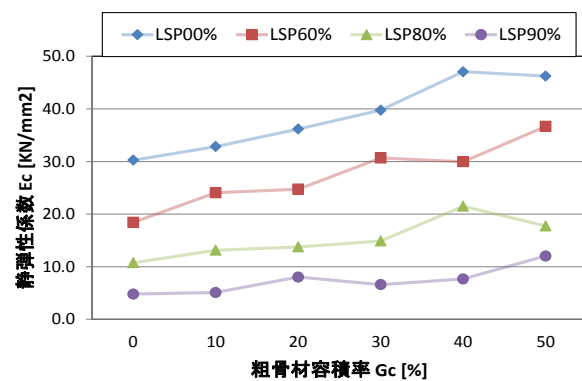


図-4 粗骨材容積率と静弾性係数の関係

がわかる。しかし、圧縮強度は低下傾向がみられた。これは、水セメント比が 40%であるのでブリージングの影響とは考えにくい、粗骨材によるコンクリートの不均一性が原因と考える。

3.2 粒子シリーズでの若材齢コンクリートの力学特性

3.2.1 粗骨材粒子サイズでの若材齢コンクリートの力学特性

粒子シリーズにおける LSP 置換率 0%, 60%, 80%, 90%の場合でのコンクリートの力学特性を図-5 ~ 図-8 に示す。また、粒子サイズの小さい順にモルタル Mor と粗骨材粒子サイズが小さい S, Mix, M, L の順に並べている。これは、粗骨材のふるい分けと粗粒率より、粗粒率の小さい方から順に並べている。図-5 より、粒子サイズが大きくなるほど、超音波速度が速くなる傾向があり、

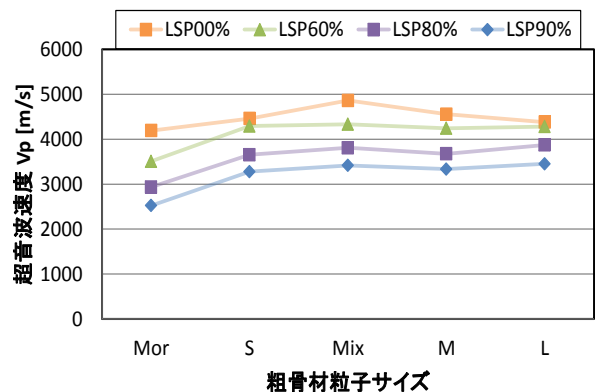


図-5 粒子サイズと超音波速度の関係

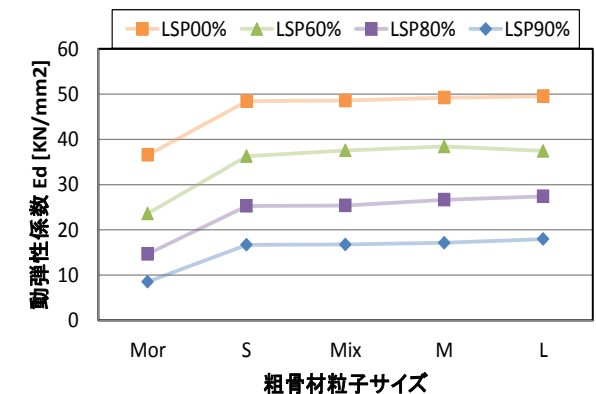


図-6 粒子サイズと動弾性係数の関係

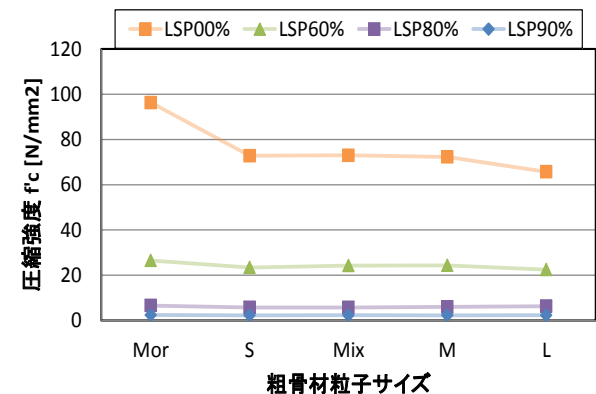


図-7 粒子サイズと圧縮強度の関係

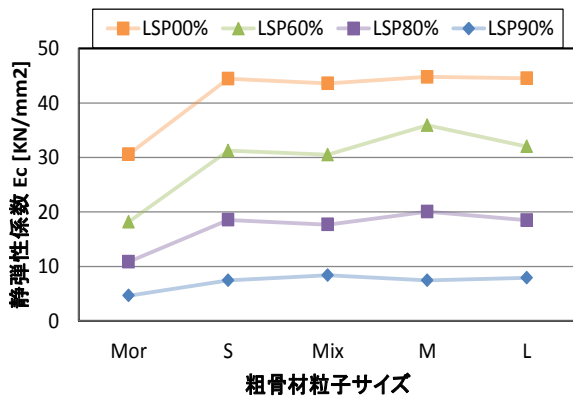


図-8 粒子サイズと静弾性係数の関係

LSP0%を対象とし、S を基準にすると Mix は 9.0%, M は 2.1%, L は -1.8%の変動であった。図-6 より、粒子サイズが大きくなるほど、動弾性係数が高くなっていることがわかり、LSP0%を対象とし、S を基準にすると Mix は 0.3%, M は 1.6%, L は 2.3%増加している。図-7 より、粒子サイズが大きくなるほど、圧縮強度は低下傾向がみられ、LSP0%を対象とし、S を基準にすると Mix は 0.3%, M は -0.7%, L は -9.8%の変動であった。図-8 より、粒子サイズが大きくなるほど、静弾性係数は幾分の増加傾向がみられ、LSP0%を対象とし、S を基準にすると Mix は -1.9%, M は 0.7%, L は 0.1%の変動であった。粒子シリーズでは、モルタルと粗骨材粒子サイズ S, Mix, M, L の順に並べて比較したところ、粗骨材粒子サイズが大きくなるにつれて、部分的には超音波速度も速くなっている。また、動弾性係数、静弾性係数ともに高くなっており、圧縮強度は低くなっているが、Gc シリーズのような明瞭な差異はみられない。

3.2.2 ガラス球サイズによる若材齢コンクリートの力学特性

ガラス球シリーズにおける LSP80%でのガラス球サイズとコンクリートの力学特性の関係を図-9～図-12 に示す。なお、ガラス球サイズを粒子サイズの小さい順に S, M, L に並べた。図-9 より、ガラス球サイズが大きくなるほど、超音波速度は僅かに増加する傾向がみられ、ガラス球サイズが超音波速度に影響していることがわかる。図-10 より、ガラス球サイズが変化しても動弾性係数には有意な差はみられなかった。ここで、動弾性係数に粗骨材粒子サイズによる影響をあまり受けていないことがわかる。図-11 より、粒子サイズが大きくなると、圧縮強度は低下する傾向がみられ、粗骨材粒子サイズが圧縮

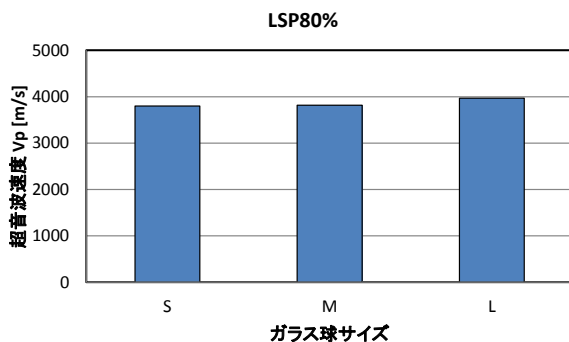


図-9 ガラス球サイズと超音波速度の関係

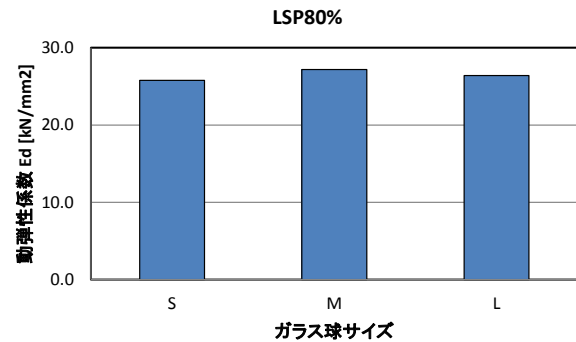


図-10 ガラス球サイズと動弾性係数の関係

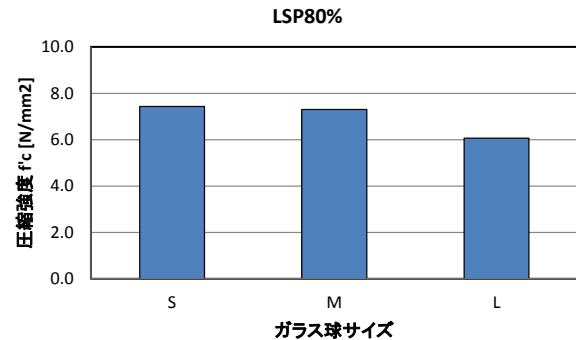


図-11 ガラス球サイズと圧縮強度の関係

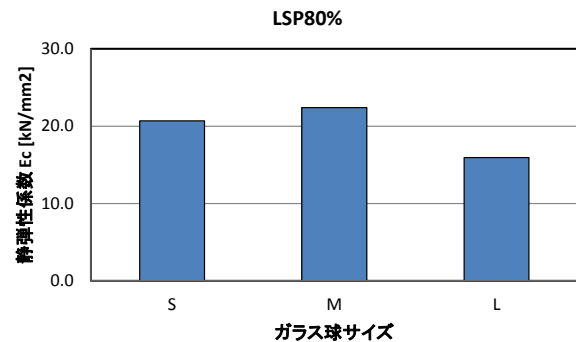


図-12 ガラス球サイズと静弾性係数の関係

強度に影響していることがわかる。図-12 より、粒子サイズ L で、静弾性係数の低下傾向がみられた。これは、供試体の圧縮強度が低く出た影響を受けたものだと考えられる。

3.2 超音波速度と動弾性係数の関係

Gc シリーズおよび粒子シリーズにおける LSP 置換率 0%, 60%, 80%, 90%の場合での超音波速度と動弾性係数の関係を図-13 に示す。図-13 には、全ての実験データを、二次式で回帰した結果を示す。図-13 をみると、Gc シリーズにおける超音波速度と動弾性係数の関係は、超音波速度が速くなるにつれて、動弾性係数も大きくなっていることがわかる。また、LSP 置換率 0%, 60%, 80%, 90%での超音波速度と動弾性係数の関係はそれぞれが一定の曲線関係がみられる。粒子シリーズにおける超音波速度と動弾性係数の関係は、超音波速度は速くなるほど動弾性係数は高くなっている。しかし、超音波速度の方がばらつきが大きく、粒子サイズの影響を強く受けていることがわかる。超音波速度と動弾性係数の関係は、二次近似曲線に沿っていることがわかる。また、

LSP 置換率, 粗骨材容積率に対するばらつきはみられず, 超音波速度から動弾性係数を推定することが可能であることがわかった. 粒子サイズに対するばらつきはあるため, 超音波速度から動弾性係数を推定するには補正が必要である.

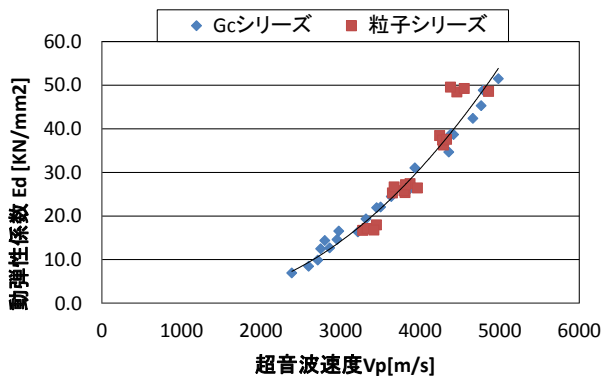


図-13 粒子サイズと静弾性係数の関係

3.3 超音波速度と圧縮強度の関係

Gc シリーズおよび粒子シリーズにおける LSP 置換率 0%, 60%, 80%, 90% の場合での超音波速度と圧縮強度の関係を図-14 に示す. 図-14 より, Gc シリーズにおける超音波速度と圧縮強度の関係はばらつきが大きく, 超音波速度が粗骨材容積率に対する影響を強く受けている. また, 粒子サイズにおける超音波速度と圧縮強度の関係は, データのばらつきがみられる. 超音波速度から圧縮強度の推定はよく行われているが, 実際には粗骨材容積率, 粗骨材粒子サイズの影響を受けていることがわかり, 超音波速度から圧縮強度を推定することは非常に難しい問題であることがわかる.

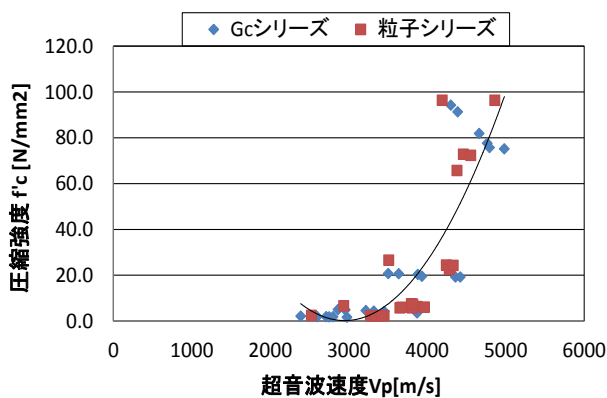


図-14 超音波速度と圧縮強度の関係

3.4 超音波速度と静弾性係数の関係

Gc シリーズおよび粒子シリーズにおける LSP 置換率 0%, 60%, 80%, 90% の場合での超音波速度と静弾性係数の関係を図-15 に示す. 図-15 より, Gc シリーズにおける超音波速度と静弾性係数の関係は, 超音波速度が速くなるにつれ, 静弾性係数も大きくなっている. また, LSP 置換率 0%, 60%, 80%, 90% での超音波速度と動弾性係数の関係はそれぞれが一定の曲線関係がみられる. 粒子シリーズにおける超音波速度と静弾性係数の関係は, Gc シリーズと同様に, 超音波速度が速くなるにつれて, 動弾性係数も大きくなっていることがわかるが, Gc シリーズと違ってばらつきが大きいことがわかる. 超音波

速度と静弾性係数の関係は, 近似曲線に沿っており, 全体的にばらつきが大きいものの, 超音波速度から静弾性係数を推定することは可能である.

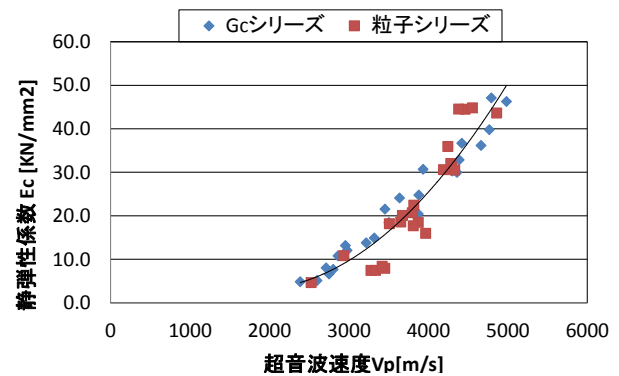


図-15 超音波速度と静弾性係数の関係

4. まとめ

本研究では, 石灰石微粉末を混和した擬似若材齢コンクリートの力学特性に, 異なる粗骨材容積率, 粗骨材粒子サイズが与える影響について検討を行った. 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の超音波速度は, 粗骨材容積率が大きいほど速くなり, 動弾性係数, 静弾性係数は高くなることを把握できた.
- ② 粒子シリーズでは, 粗骨材粒子サイズが大きくなるにつれて, 超音波速度も速く, 動弾性係数, 静弾性係数ともに高くなっており, 圧縮強度は低くなっているが, Gc シリーズのような明瞭な差異はみられない.
- ③ 超音波速度と動弾性係数の関係は, LSP 置換率, 粗骨材容積率に対するばらつきはみられないが, 粒子サイズに対するばらつきはあるため, 超音波速度から動弾性係数を推定するには何らかの補正を検討することが必要である.
- ④ 超音波速度と圧縮強度の関係は, 粗骨材容積率, 粗骨材粒子サイズの影響を受けていることがわかり, 超音波速度から圧縮強度を推定することは難しいことが明らかになった.
- ⑤ 超音波速度と静弾性係数の関係は, 全体的にばらつきが大きいものの, 超音波速度から静弾性係数を推定することは可能である.

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熱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