コンクリートの超音波速度に対するセメントペースト及び骨材の影響の定量化

函館工業高等専門学校　環境システム工学専攻　学生員　○安澤朋也
函館工業高等専門学校　環境都市工学科　久守貴史
函館工業高等専門学校　環境都市工学科　正会員　澤村秀治

１．はじめに

コンクリートの超音波測定によって強度発現や弾性係数など，種々の力学的特性を把握するためには，コンクリートの配合条件による超音波速度の変化を的確に知る必要がある．コンクリートの超音波速度に一番大きく影響を与えるのは粗骨材や細骨材などの骨材であることが実験的に確かめられており，よって，骨材が超音波速度に与える影響を定量化して考察する必要がある．

従来の方法では，分離推定モデルを用いてコンクリートの超音波速度を骨材およびペーストの超音波速度にそれぞれ分離する手法がとられてきた．しかしながら，従来の分離推定モデルは誤差伝播の影響を多く受け，計算値に大きなばらつきがでる。

そこで本研究では、従来の分離推定モデルの推定値と実測値を比較し、新しい分離推定モデルを考案することを目的として配合条件の異なるコンクリートの超音波速度を測定する実験を行った。

２．実験概要

2.1　実験の目的と水準および使用材料

表1に使用材料の種類と超音波速度のおよそを示す．表1に示された超音波速度は，粗骨材が実測値，細骨材が今までの実験で得た信頼性のある実験値である．今回の実験では，細骨材容積率が 20%と 40%のコンクリート 2 水準，またそれぞれの水準に関して粗骨材容積率が 0%～50%のコンクリート 6 水準の計 12 水準を打設する．また本実験では水セメント比は全て共通で W/C =40%とする．供試体は各水準ごとに 3 個，計 36 本の供試体を作成し，超音波速度を測定する．その結果により，分離推定モデルの精度や誤差を考察し，新しい分離推定モデルの作成を検討した．

表1　材料の名称と緒元

種類	名称	密度 g/cm^3	超音波速度 m/s
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16	－
粗骨材	峩郎産砕石 2005	2.67	6120
細骨材	豊浦産天然砂	2.64	4300

2.2 供試体と測定方法

本実験では，図２のような供試体長 200㎜，直径 100㎜ の円柱供試体を用いる．超音波計測はコンクリートの材齢が 22 日と 55 日のときに，コンクリートの供試体長を超音波が通過する時間を測定することによって行う．打設後のコンクリートの上面は計測誤差を極力生じさせないために，研磨を行った．

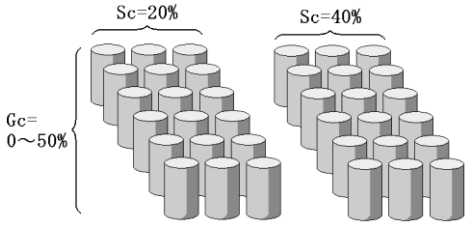

図１　供試体の水準

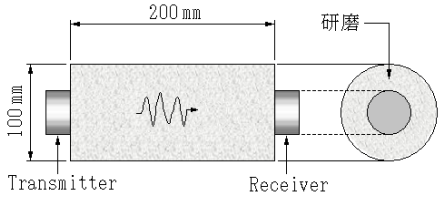

図２　供試体と測定方法

３．実験結果と考察

3.1 従来の分離推定モデル

３未知変数を持つときの，従来の分離推定モデルは式１のように各超音波速度の逆数に関する１次式で表される[1]．

$$\frac{1}{v_c}=\frac{S_c(1-G_c)}{v_s}+\frac{G_c}{v_g}+\frac{(1-S_c)(1-G_c)}{v_p} \qquad (1)$$

ここで，v_s,S_c：細骨材の超音波速度，容積率
v_g,G_c：粗骨材の超音波速度，容積率
v_p,v_c：ペーストおよびコンクリートの超音波速度

式1に示される分離モデルの，28日養生コンクリートの異なった骨材量のデータの組み合わせによる結果を図3に，28日，55日養生コンクリートの分離推定値の平均およびペーストの実測値を表2に示す．

表２　分離推定値の平均(単位 m/s)

	v_s	v_g	v_p	v_p 実測値
28 日	4836.1	6217.5	4007.7	3796.5
55 日	4859.2	6301.5	4094.1	3873.7
平均	4847.7	6259.5		

キーワード　超音波速度，骨材容積率，分離定量化，若材齢コンクリート
連絡先　〒042-8501　函館市戸倉町１４－１　函館工業高等専門学校　ＴＥＬ0138-59-6489

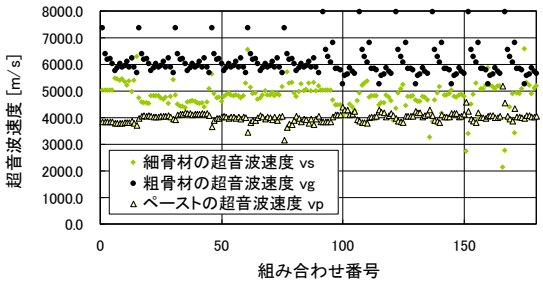

図３　28 日養生 － 従来分離推定モデルの結果

図3において，細骨材，粗骨材，ペーストの超音波速度がそれぞれある一直線上に分布しているが，粗骨材，細骨材のばらつきが極端に現れている．また表 2 から，総じて超音波速度が実測値よりも高い値を示していることがわかる．

3.2 新しい分離推定モデル

超音波速度はコンクリートに含まれる骨材の配置や気泡などによる複雑な分散の影響を受けるため，物理的な考え方から新しい分離推定モデルを組み立てるのは困難である．そこで，新しい分離推定モデルには回帰的な考え方を導入し、式２のように提案した。

$$v_c = \bar{G}_c^{\,N}(1-\bar{S}_c^{\,M})v_s + (1-\bar{G}_c^{\,M})v_g + \bar{G}_c^{\,N}\bar{S}_c^{\,M}v_p \qquad (2)$$

ここで，$\bar{G}_c = 1-G_c$，$\bar{S}_c = 1-S_c$

N, M ：正の実数

この式において，N=1,M=1 とおけば，式1の変数に逆数を使用しない形になる．今回，式2の各骨材容積率の指数部は回帰的に最適な値を求め，N=0.77,M=3.88 とおいた．式2に示される分離推定モデルによって、28日養生コンクリートの異なった骨材量のデータの組み合わせによる結果を図4に、28日，55日養生コンクリートの分離推定値の平均およびペーストの実測値を表3に示す．

表３　分離推定値の平均(単位 m/s)

	v_s	v_g	v_p	v_p 実測値
28 日	4349.1	6043.6	3797.8	3796.5
55 日	4415.5	6150.5	3899.9	3873.7
平均	4382.3	6097.1		

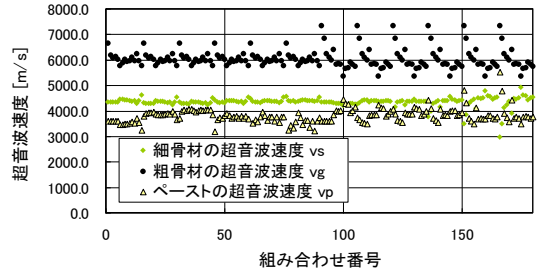

図４　28 日養生 － 新しい分離推定モデルの結果

図4において各骨材およびペーストの超音波速度は一直線上に分布し、従来の分離推定モデルよりもばらつきが小さくなっている。さらに、粗骨材，細骨材，ペーストの超音波速度の分離推定結果はいずれも実測値と良く一致しており，コンクリートの超音波速度に対する各骨材およびペーストの影響を定量化するのに最適である．

3.3 若材齢域における分離推定モデルの比較[2]

モルタルの有効材齢 1 日以内の若材齢域において，従来の分離モデルと新しい分離モデルの比較を行った.図4は細骨材の超音波速度を分離推定した結果である．

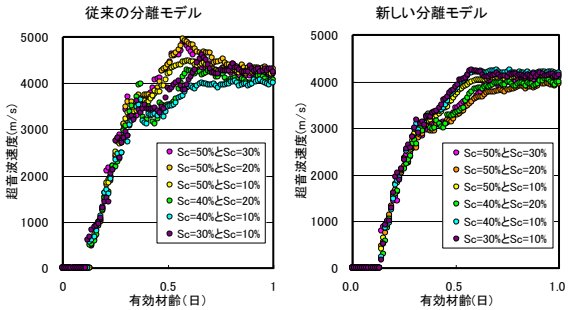

図５　若材齢時の分離推定モデルによる違い

図５において，従来の分離推定モデルに比べて新しい分離推定モデルの方が若材齢域のばらつきが抑えられていることが分かる．

3.4 誤差増大の要因

従来の分離推定モデルでは，細骨材，粗骨材の超音波速度の分離推定値にかなりのばらつきがある．また，新しい分離推定モデルにもばらつきの傾向が見られる．これらのばらつきや誤差の要因は以下のようなものが考えられる．

1) 粗骨材，細骨材容積率の組み合わせによって連立方程式を解くとき，組み合わせの値が近いと，それによって誤差の伝播が増大してしまう．分離推定モデルの結果の大きなずれの大部分はこれによるものである．
2) 従来の分離推定モデルには，方程式内に超音波速度の逆数を使用しているため，これもまた誤差伝播の増大の要因であり，また極端な数値のずれを生じさせる可能性もある．

４．まとめ

本研究では，コンクリートの超音波速度の骨材の影響の定量化を精度良く行うための分離推定モデルに関して検討を行った．その結果から次のような帰結を得た．

1) 従来の分離推定モデルは，ばらつきが大きく，実測値との誤差も大きいが，ペーストおよび各骨材の超音波速度の分離傾向ははっきりと見ることが出来る．
2) 新しい分離推定モデルは，適切な骨材容積率の指数部 N, M を決定することにより，実測値との誤差やばらつきを少なくでき，骨材およびペーストの影響の定量化に効果を発揮する．

謝辞：本研究は，平成 21 年度科学研究費補助金　基盤研究(C)課題番号：21560492（代表：澤村秀治）により遂行したものである．ここに記して謝意を表する．

参　考　文　献

[1] Yiching Lin, Chao-Peng Lai, Tsong Yen : “Prediction of Ultrasonic Pulse Velocity(UPV) in Concrete”, ACI Materials Journal, V.100, No.1, January-February 2003, pp.21-28
[2] 安澤朋也，大西逸樹，澤村秀治，永島裕二：単位細骨材量が若材齢時のモルタルの超音波速度に及ぼす影響，平成 20 年度土木学会北海道支部論文報告集，E-20，2009.1