

超音波伝播速度を利用したコンクリートの耐凍結融解性能の評価

松江工業高等専門学校	土木工学科	正会員	高田龍一
	専攻科	学生会員	○平木洋輔
鳥取大学 農学部		正会員	緒方英彦
鳥取大学 農学部		正会員	服部九二雄
島根大学 生物資源科学部		正会員	野中資博

1. はじめに

従来、コンクリートの凍結融解試験結果の評価にあたっては、相対動弾性係数と質量減少率が用いられてきた。しかし、相対動弾性係数を測定するために行われる動弾性係数測定試験は多大な労力を必要とし、また任意のサイズや形状の供試体に適用することが出来ないという制約がある。ここでは、測定方法が簡便な超音波伝播速度に着目し、この超音波伝播速度の特性と動弾性係数との関係を検討することで、従来の相対動弾性係数による凍結融解試験方法の短所を改善し、容易に試験を実施することを目的に、凍結融解試験結果の評価方法について検討を行った。

2. 凍結融解試験結果の各種評価方法の検討

コンクリートの凍結融解試験には、一般にA法（水中凍結水中融解）とB法（気中凍結水中融解）がある。ここでは、同一の供試体を用いて、それぞれの試験方法により得られたデータを活用し、凍結融解試験結果の評価方法について検討を行った。

具体的な検討にあたっては、従来の評価指標である相対動弾性係数を基本の値として、ここで提案する超音波伝播速度を利用したいくつかの評価指標との相関性を調べることにより超音波伝播速度を利用した評価方法の適応性、実用性について検討することとした。ここで用いたそれぞれの関係式および評価式は以下のようにまとめることができる。

(1) 動弾性係数と超音波伝播速度との関係

① 過去の実験に基づく提案式

動弾性係数と超音波伝播速度との間には、一般に理論式が与えられているが、ここではより実用的な過去の試験結果に基づいた関係式を与える。過去の 288 個の試験データから得た超音波伝播速度と動弾性係数の関係を示したのが図 1 である。これを近似式で表すと式(1)のようになる。

$$E_d=4.0387VL^2-14.438VL+20.708 \quad (1)$$

(超音波伝播速度：2.0～4.7km/s，動弾性係数：7.0～41.5GPa，データ数：288)

1つの指標として、この式(1)を用いて、超音波伝播速度より動弾性係数を求めることを試みた。

(2) 凍結融解試験結果の評価方法

凍結融解試験結果の評価方法として、たわみ振動による一次共鳴振動数から求まる相対動弾性係数による評価が規準化されている。ここでは、これとは別に(1)式で求められるような超音波伝播速度を基準とした指標による評価方法を示し、従来の相対動弾性係数と比較することにより、ここで提案する評価方法の妥当性について検討を行った。

① たわみ振動での一次共鳴振動数による相対動弾性係数

コンクリートの凍結融解試験方法（JSCE-G501 1999）では、式(2)に示すように相対動弾性係数をたわみ振動による一次共鳴振動数の平方値で評価している。

$$\text{相対動弾性係数}(E_1) = f_n^2 / f_0^2 \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

f_n ：サイクル数 n のときの測定した一次共鳴振動数 (Hz)

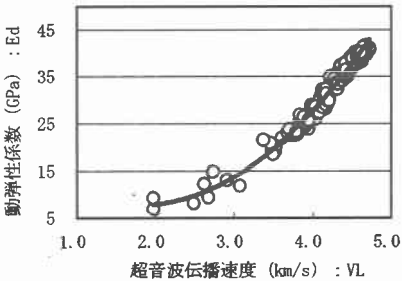


図1. 超音波伝播速度と動弾性係数の関係 (N=288)

f_0 : 凍結融解試験開始前に測定した一次共鳴振動数の初期値 (Hz)

② 実測の超音波伝播速度から式(1)を用いて導いた動弾性係数から求まる相対動弾性係数による評価

$$\text{相対動弾性係数 (E2)} = E_{d_n} / E_{d_0} \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

E_{d_n} : サイクル数 n の超音波伝播速度から評価した動弾性係数

E_{d_0} : 凍結融解試験の開始前に測定した超音波伝播速度から評価した動弾性係数

③ 実測の超音波伝播速度を利用した相対超音波伝播速度による評価

式(1)からもわかるように動弾性係数は超音波伝播速度の平方値との関わりが大きいことから、直接得られた超音波伝播速度の平方値を利用した次式により評価することを試みた。

$$\text{相対超音波伝播速度 (E3)} = V_{L_n}^2 / V_{L_0}^2 \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

V_{L_n} : サイクル数 n の超音波伝播速度 (km/s)

V_{L_0} : 試験開始前に測定した超音波伝播速度 (km/s)

(3), (4)式から求まる各指標が、ここで提案する評価方法であり、この値と(2)式で求める相対動弾性係数の値の相関係数を求めることにより、評価方法の検討を行った。

3. 凍結融解試験結果の評価方法に関する結果と考察

A法, B法による試験結果から得られた, 各指標間の相関関係を図2～図5に示し, それぞれの相関係数の値を表1に示す。

図2～図5はそれぞれ縦軸に式(2)から得られる従来の評価指標である相対動弾性係数を表し, 横軸に本研究で提案する超音波伝播速度に基づいた式(3), (4)より導かれる評価値を示している。

結果の解析にあたり, 式(2), (3), (4)は無次元化しており, これらは共に相対値であることから, 1:1の関係が成り立つこと, 両者の相関係数の高いことが信頼性の高いことを示すことになる。

A法の試験結果を示した図2, 3より, ここで指定した評価値 E_2 , E_3 は, 従来の相対動弾性係数の値と比較して, 大きめの値になっており, 危険側に評価していることがわかる。B法の試験結果を示した図4, 5からはA法とは逆に幾分, 安全側に評価していることがわかる。また, 線形係数の値も, A法の試験では, 1から大きくかけ離れているのに対し, B法の試験からはほぼ1に近い値となっている。表1の相関係数の値からは, いずれも, 高い相関性が認められるものの, A法による試験結果からは, 充

分な妥当性, 信頼性を認めることは出来なかった。一方, B法による試験結果からは一定の妥当性が認められる。

ここでA法による試験結果の課題として, 早いサイクル数の段階で急激な劣化を示したため, データ数が充分でなかったこと, さらに低いデータ領域, すなわち, 劣化領域でのデータが得られなかったことが挙げられる。

4. おわりに

今回の試験結果から見る限り, B法においては, ここで提案した評価方法の一定の信頼性, 妥当性を確認することが出来るが, A法においては, 十分な評価方法に対する信頼性を確認することは出来なかった。

今後, A法におけるデータの蓄積による, 評価方法の妥当性, 信頼性の確認が課題として挙げられる。

(参考文献) 緒方英彦ほか: 超音波法によるコンクリートの凍結融解試験結果の評価(2), H13年農業土木学会, p 576-577

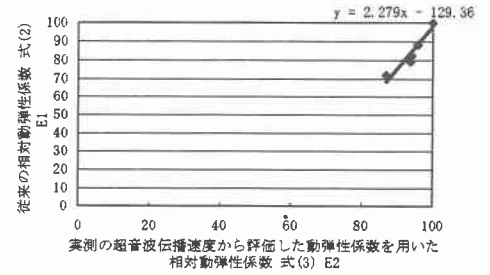


図2. A法による従来の相対動弾性係数と超音波伝播速度より求めた相対動弾性係数の相関性

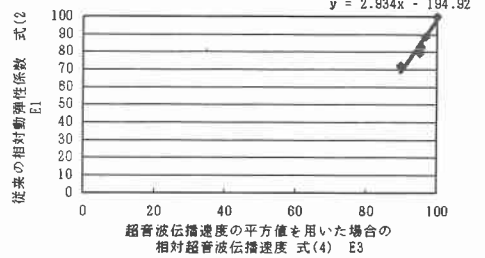


図3. A法による従来の相対動弾性係数と超音波伝播速度の平方値より求めた相対超音波伝播速度の相関性

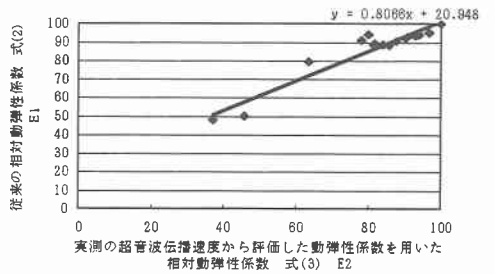


図4. B法による従来の相対動弾性係数と超音波伝播速度より求めた相対動弾性係数の相関性

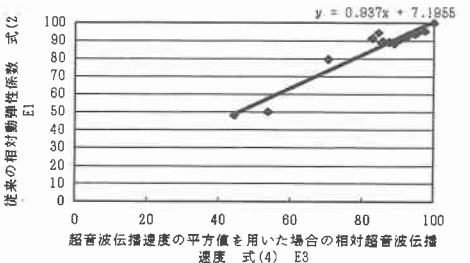


図5. B法による従来の相対動弾性係数と超音波伝播速度の平方値より求めた相対超音波伝播速度の相関性

表1. 相関係数

A法組み合わせ	E1・E2	E1・E3
相関係数	0.967621	0.966066
B法組み合わせ	E1・E2	E1・E3
相関係数	0.958177	0.966732