

凍結融解作用により劣化を受けたコンクリートの共鳴法による評価について

熊本大学工学部環境システム工学科 学生会員 ○野口 翔
 熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程 学生会員 磯田俊郎
 熊本大学大学院自然科学研究科教授 正会員 大津政康

1. はじめに

コンクリートの動弾性係数を実験的に算定する非破壊検査の一つに共鳴法がある¹⁾。しかし、縦振動の計算式においてポアソン比を無視した一次元部材の近似式により求められるため、一軸圧縮試験により求められる静弾性係数とは異なることが知られている²⁾。そこで、凍結融解試験方法で、人工的に劣化させたコンクリート供試体を用いて、縦波速度に基づく動弾性係数を求め、一軸圧縮試験により求めた静弾性係数と比較した。また、共鳴法と3次元BEM解析により得られた周波数スペクトルを比較し、共振周波数に対する供試体の変形モードに関する考察を行った。

2. 動弾性係数の算出方法

コンクリート示方書に記載されている縦振動に対する動弾性係数 E_D は、一次元部材の近似式で、

$$V_1 = \sqrt{E_D / \rho} \quad (1)$$

として、ポアソン比は考慮されていない。

そこで、ポアソン比 ν の影響を考慮した三次元弾性体での縦波速度 V_p の定義式(2)を用いることにより、動弾性係数 E_d を推定する事にした。

$$V_p = \sqrt{E_d(1-\nu) / \{ \rho(1-2\nu)(1+\nu) \}} \quad (2)$$

ここで、 ρ は供試体密度(kg/m³)である。

一方、共鳴法では伝播速度 V_1 は次式(3)より得られる。

$$V_1 = 2Lf_1 \quad (3)$$

ここで、 V_1 :伝播速度(m/s)、 L :供試体振動モードの代表長さ(m)、 f_1 :縦振動一次共振周波数(Hz)である。式(1)と(3)により弾性係数 E_D が決定される。

さらに、共鳴法によるたわみ振動およびねじり振動の一次共振周波数から式(4)(5)よりたわみ振動による動弾性係数 E_{D1} およびねじり振動による動弾性係数 E_{D2}

を算出した。

$$E_{D1} = 9.47 \times 10^{-4} \frac{L^3 T}{bt^3} m f_2^2 \quad \dots \text{たわみ振動} \quad (4)$$

$$E_{D2} = 2(\mu_D + 1) 4.00 \times 10^{-3} \frac{LR}{A} m f_3^2 \quad \dots \text{ねじり振動} \quad (5)$$

ここで、 L :供試体長さ(mm)、 T :修正係数(動ポアソン比 $\mu_D=0.2$)、 b, t :振動時の位置における角柱供試体の幅および厚さ(mm)、 m :供試体質量(kg)、 f_2, f_3 :たわみおよびねじり振動1次共振周波数(Hz)、 R :形状係数(角柱は1.183)、 A :供試体断面積(mm²)

また、動弾性係数との比較のために、静弾性係数を一軸圧縮試験によって求めた応力-ひずみ曲線の初期接線勾配として初期接線弾性係数 E_0 を求め、原点と圧縮強度の1/3点を結んだ直線の勾配として割線弾性係数 E_l を求めた。

3. 実験概要

実験では100×100×400mmの角柱供試体を用いた。配合設計および28日養生後の力学的特性を表-1に示す。水和反応による影響を少なくするため半年間の水中養生後、水中凍結融解試験を行い50cycle毎に共鳴法および縦波速度 V_p の測定を、100cycle毎に一軸圧縮試験を行った。

共鳴法は、動ヤング率測定器(マルイ社製)を用いて、周波数スペクトルを測定した。周波数500~20000Hzまでの電気信号を発信センサにより供試体へ入力し、受信センサにて検出した波形は、スペクトル振幅をデジタル出力させることにより一次共振周波数を求めた。

また三次元BEM解析では、全ての要素を20×20mmに区切った解析モデルを用い、その力学的特性は50cycle毎に測定した E_d 、 ρ およびポアソン比 $\mu_D(=0.2)$ を用いた。

表-1 コンクリートの配合設計及び力学的特性

最大粒径 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE剤 (cc)	空気量 (%)	スランプ値 (cm)	圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)
			W	C	S	G					
20	55	40	180	327	775	1142	98	4.8	4.7	35.42	30.81

4. 結果および考察

図-1 より 200cycle においての実験結果と BEM 解析による周波数スペクトルにおける一次共振周波数を比較すると、多少の誤差はあるもののほぼ一致している。これにより、ピークの発生パターンや発生周波数を確認する上で BEM 解析は有効であると考えられる。

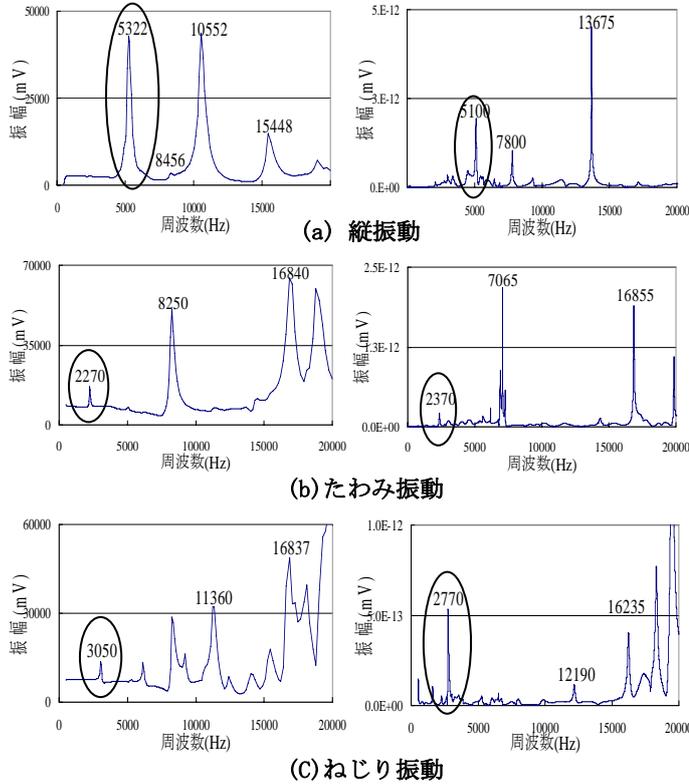


図-1 実験(左)とBEM解析(右)による周波数スペクトル

図-2 は BEM 解析により得られた(a)縦振動においての一次共振周波数(5100Hz)、二次共振周波数(7800Hz)および三次共振周波数(13675Hz)に基づく変形モードである。これにより、縦振動においても実際には曲げ成分を含んだ振動モードであることが認められる。これにより、式(1)による伝播速度の評価における問題点が明らかになった。

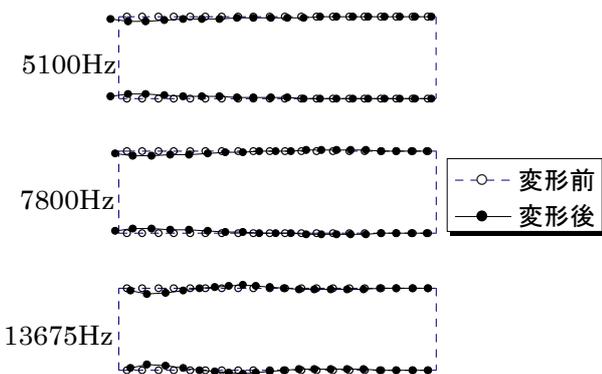


図-2 縦振動における変形モード

図-3 は各cycle終了後に測定した一軸圧縮試験による圧縮強度 f_c と初期接戦弾性係数 E_0 、割線弾性係数 E_1 、および共鳴法において縦振動による動弾性係数 E_D 、たわみ振動による動弾性係数 E_{D1} 、ねじり振動による動弾性係数 E_{D2} 、また縦波速度 V_p による動弾性係数 E_d の変化を表したものである。これより、 E_{D1} 、 E_{D2} 、 E_d が非常に近い値となっていることが認められる。 E_D に比べ E_d は一割ほど低くなっていることがわかる。これは E_D を算出する際にポアソン比を考慮していないことが影響していると考えられる。図-2 からも明らかなように共鳴法では現実には一次元的にはありえない現象を一次元理論に基づき弾性係数を決定する点に問題がある。このことから E_D と E_1 の違いは物性の影響ではなく、求め方による差異が大きいと考えられる。また、圧縮強度と弾性係数の変化には必ずしも関連性があるとは言えないこともわかる。

以上の結果より、共鳴法による動弾性係数の評価には問題があることが明らかになった。

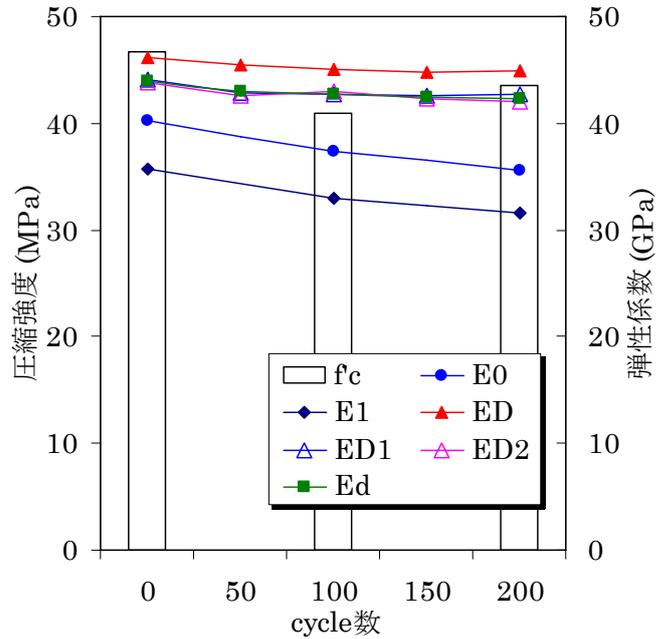


図-3 圧縮強度および動弾性係数の変化

5. 参考文献

土木学会：2002年制定 コンクリート標準示方書「規準編」pp.307-311(JIS A 1127-2001)、pp.323-327(JIS A 1148-2001)
 大津政康：“凍結融解試験における共鳴法による相対弾性係数評価に関する考察”、H17年日本非破壊検査協会秋季大会講演概要集