

凍結融解作用により劣化したコンクリートの共鳴振動法による動ポアソン比の評価

Estimation of Dynamic Poisson's ratio by Resonance Vibration in Deteriorated Concrete by Freezing and Thawing Action

○緒方 英彦*, 周藤 将司**, 兵頭 正浩*

OGATA Hidehiko*, SUTO Masashi** and HYODOU Masahiro*

1. はじめに

コンクリートの弾性係数は、コンクリート構造物の設計において必要不可欠な物性値であり、既存の構造物の診断に続く対策を的確に検討するためにも重要な物性値である。コンクリートの弾性係数は、JIS A 1149:2010「コンクリートの静弾性係数試験方法」により測定することができるが、この試験方法はJIS A 1107に基づいて構造物から採取したコアに対して一軸圧縮荷重を載荷する破壊試験である。破壊に対して非破壊で弾性係数を測定する方法としては、JIS A 1127:2010「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法」がある。この方法は、構造物から採取したコアにおける縦振動の一次共鳴振動数を測定して弾性係数を求めるものであるが、算定式はポアソン比を無視した一次元の理論式である。

一方、実際のコンクリート構造物の部材は三次元形状であり、縦ひずみと横ひずみ、縦弾性係数（ヤング係数）とせん断弾性係数の換算のためにもポアソン比が必要になる。一般にポアソン比は、コンクリートの劣化状態に関わらず0.2が用いられているものの、劣化に伴うコンクリート組織の変化を考えるならば、劣化状態に応じてポアソン比は変わるはずである。そこで、本研究では、凍害が発生したコンクリート構造物の対策検討に資することを目的に、凍結融解作用により劣化したコンクリートの動ポアソン比を共鳴振動法で測定し、相対動弾性係数と動ポアソン比の関係を評価する。

2. 共鳴振動法による弾性係数とポアソン比の評価

縦振動の弾性波速度は、ポアソン比の影響による横方向の変形が縦方向に比べて微小であり無視できるとするならば、次式で表すことができる。

$$V^2 = \frac{E_d}{\rho} \quad , \quad V = \sqrt{\frac{E_d}{\rho}} \quad (1)$$

V : 弾性波速度 (m/s), E_d : 動弾性係数 (N/mm²),

ρ : 密度 (kg/m³)

次に、波長、音速（弾性波速度）、周波数の関係は、次のように表すことができる。

$$2L = \frac{V}{f} \quad , \quad f = \frac{V}{2L} \quad (2)$$

L : 部材厚さ (mm), f : 一次固有振動数（一次共鳴周波数）(Hz)

式(2)に式(1)を代入すると、式(3)を得ることができ、式(3)がポアソン比を無視した際の一次共鳴振動数、式(4)が動弾性係数の理論式となる。

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E_d}{\rho}} \quad (3)$$

$$E_d = 4L^2 f^2 \rho \quad (4)$$

JIS A 1127では、縦振動による動弾性係数の式が次のように示されている。

$$E_D = 4.00 \times 10^{-3} \frac{L}{A} m f_2^2 \quad (5)$$

A : 供試体の断面積 (mm²), m : 供試体の質量 (kg), f_2 : 縦振動の一次共鳴振動数 (Hz)

式(5)は、ポアソン比を無視した際の理論式である式(4)を、試験体の形状変化を考慮した式(6)の条件式で変形したものであり、JIS A 1127の式がポアソン比を無視した理論式であることがわかる。

$$\rho = \frac{m}{AL} \quad (6)$$

ポアソン比を考慮した動弾性係数の理論式は、次式で表される。

$$E_D = \rho V^2 \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \quad (7)$$

評価する試験体のコンクリートは現実に三次元体であることから、ポアソン比を無視した式(4)あるいは式(5)ではなく、式(7)を用いて動弾性係数を評価するのが望ましい。しかし、コンクリートの劣化進行過程を動弾性係数で評価する際に、弾性波速度 V は超音波法で、密度 ρ はアルキメデス法で測定することはあっても、各劣化段階におけるポアソン比を測定することは少なく、コンクリートの劣化

*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, **鳥取大学大学院連合農学研究科, United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori University, 共鳴振動法, 相対動弾性係数, 動ポアソン比, 凍結融解作用, コンクリート

表-1 コンクリートの示方配合

Gmax (mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)
20	8±2	60	6±1	39.6
単位量 (kg/m ³)				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 (g/m ³)
170	283	702	1,056	0

状態に関わらず0.2が用いられているのが一般的である。ここで、池田らは、凍結融解試験により劣化させたコンクリートの動弾性係数をポアソン比を考慮しない式 (1) およびポアソン比を考慮した式 (7) で検討した結果として、式 (1) は式 (7) より5割程度大きくなることを示しており、ポアソン比を考慮することの重要性を示している²⁾。ただし、池田らの研究では、ポアソン比を各劣化段階において0.2の一定値としており、この仮定条件が及ぼす影響については言及していない。一方、五十嵐らは、セメント硬化体の若材齢時におけるポアソン比の経時変化を検討した結果として、ポアソン比は材齢とともに減少し、収束する傾向にあることを示している³⁾。

非破壊によるポアソン比の測定方法としては、JIS A 1127において、ねじり振動による一次共鳴振動数を用いた式 (8) が示されている。

$$\nu_D = \frac{E_D}{2G_D} - 1 \quad (8)$$

$$G_D = 4.00 \times 10^{-3} \frac{LR}{A} m f_3^2 \quad (9)$$

ν_D : 動ポアソン比, G_D : 動せん断弾性係数 (N/mm²), L : 供試体の長さ (mm), R : 形状係数, A : 供試体の断面積 (mm²), m : 供試体の質量 (kg), f_3 : ねじり振動の一次共鳴振動数 (Hz)

本研究では、JIS A 1148:2010「コンクリートの凍結融解試験方法」で劣化させたコンクリートを対象に、式 (8) で動ポアソン比を測定し、相対動弾性係数との関係性を評価する。共鳴振動法による一次共鳴振動数の測定は、PC オートスキャン型動ヤング率測定器 (MIN-011-0-8, マルイ製) で行った。

3. コンクリート供試体の作製

本研究で作製した供試体は、non-AE コンクリートの円柱供試体 (φ10×20cm) および角柱供試体 (10×10×40cm) である。コンクリートの示方配合を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント (密度 3.15g/cm³), 細骨材 (密度 2.59g/cm³, 吸水率 1.59%, F.M.1.83) ならびに粗骨材 (密度 2.59g/cm³, 吸水率 1.62%, F.M.6.68) は鳥取県産である。

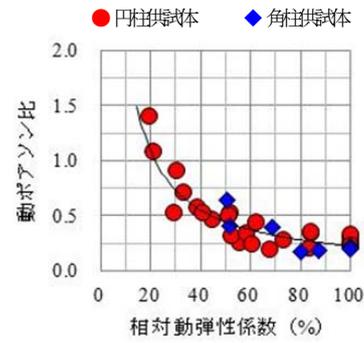


図-1 相対動弾性係数と動ポアソン比の関係

供試体は、材齢7日まで水温20℃の標準水中養生を行い、その後JIS A 1148に準拠した気中凍結水中融解試験 (B法) に供した。供試体の数は、円柱が24本、角柱が8本である。

4. 相対動弾性係数と動ポアソン比の関係

相対動弾性係数 DM と動ポアソン比の関係を図-1に示す。近似式は次式のとおりである。

$$\nu_D = 20.48 DM^{-0.98} \quad (R^2=0.762) \quad (10)$$

円柱、角柱供試体の両者とも同様の傾向を示しており、動ポアソン比は $DM80\%$ までほとんど変化なく、 $DM60\%$ までは緩やかに増加するが、それ以下になると大幅に増加する。コンクリートの凍結融解抵抗性の一つの目安は、 $DM85\%$, 60% とされており⁴⁾、これらの閾値と本研究の動ポアソン比の変化点の DM は概ね一致していることから、 $DM60\%$ 以上では動ポアソン比を一定としてもよいが、以下では動ポアソン比を一定とせず割増す必要があることが明らかになった。

5. おわりに

凍結融解作用により劣化したコンクリートの動ポアソン比は、相対動弾性係数 60% を閾値としてその取扱が変わり、以上であれば一定、以下であれば一定とせず式 (10) により得られる劣化状態に応じた値を用いる必要があると言える。

引用文献

- 1) 小坪清真: 入門建設振動学, 森北出版, pp.137-140 (2005)
- 2) 池田幸史ら: 共鳴法における劣化コンクリートの動的弾性係数に関する考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.26(1), pp.423-428 (2004)
- 3) 五十嵐豪ら: セメント硬化体の若材齢時におけるポアソン比の経時変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.32(1), pp.281-286 (2010)
- 4) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会報告書, pp.75-87 (2008)