

○九州東海大学 工学部 正会員 坂田康徳
熊本大学 工学部 正会員 大津政康

1. はじめに 凍結融解過程におけるコンクリート部材の劣化度評価法として、従来より、共振法による相対動弾性係数の測定が行われている。この方法は、劣化過程における縦振動法やタフミ振動法による部材の一次共振周波数を測定し、その変化より部材の劣化度を評価する方法である。一方、筆者等は、部材中を伝播する弾性波の周波数領域におけるフィルタ特性を利用したコンクリート非破壊評価法を検討している。この両者は、コンクリート中の弾性波の挙動を追跡する見地から共通点が多いが、その相違点や本方法の原理および計測法については既に報告済みである¹⁾。また、本方法における初期ピーク周波数 f_1 は共振法縦振動法における一次共振周波数 f_1 にほぼ一致することが既に確認されている。

本報告は、現在RC示方書で用いられている共振法(JIS A 1127-1976)の縦振動法における動弾性係数算定式を理論的に検討するとともに、普通およびAEコンクリートの凍結融解試験を実施して、本方法と共振法縦振動法およびタフミ振動法による劣化度評価の結果を比較した。また、有限要素法(FEM)による共振解析を行って、理論式との対応を検討した。尚、以後、本方法の仮の名称として、EFM(Elastic Filter Characteristics Method)と呼ぶものとする。

2. 動弾性係数算定式の検討 現在のRC示方書では、共振法における縦振動の場合の動弾性係数算定式として次式

$$E_d = C_1 W f_1^2 \quad (1)$$

ただし、 $C_1 = 4.08 \times 10^{-5} \times L/A$

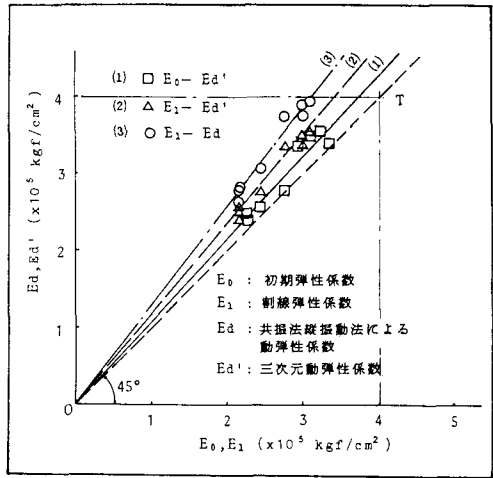
を与えている。ただし、 E_d は動弾性係数(kgf/cm^2)、 W は供試体重量(kg)、 f_1 は縦振動一次共振周波数(Hz)、 L は供試体長さ(cm)、 A は供試体断面積(cm^2)である。この式は、本来、細長い部材中を伝播する弾性波(縦波)速度を求める一次元弾性波動理論から導かれた式である。

一方、コンクリート供試体は、一般に、長さ L とその幅 B の比 L/B が2~5程度の短い部材が多いため、長さの影響のみが卓越する式ではないといえる点と不都合な点も多い。例えば、静弾性係数と動弾性係数との格差や低周波数領域における共振現象の複雑さである。

等方材料における三次元弾性波動理論に基づく動弾性係数 E_d' は次式

$$E_d' = \frac{4\rho(1+\nu)(1-2\nu)\omega^2 f_1^2}{(1-\nu)} \quad (2)$$

で与えられる。ただし、 ν はポアソン比、 ρ は密度(g/cm^3)、 f_1 は



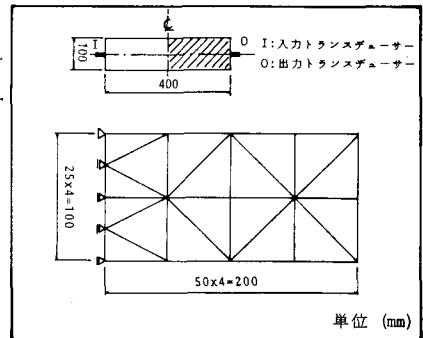
(図-1) E_d, E_d' と E_0, E_1 の関係

(表-1) コンクリートの配合条件および特性値

コンクリートの種類	*1 ϕ_{max} (mm)	*2 スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	*3 s/a (%)	*4 σ_{28} (kgf/cm^2)	*5 E_0 $\times 10^5$	*6 E_1 $\times 10^5$
普通	20	10	1.5	60	38	381	3.41	3.16
AE	20	10	4.3	60	36	287	3.14	3.03

*1 ϕ_{max} : 粗骨材最大寸法
*2 W/C: 水セメント比
*3 s/a: 細骨材率

*4 σ_{28} : 材齢28日圧縮強度 (kgf/cm^2)
*5 E_0 : 初期弾性係数 (kgf/cm^2)
*6 E_1 : 割線弾性係数 (kgf/cm^2)



(図-2) 供試体寸法およびFEM解析における要素分割、支点拘束状況

一次共振周波数(f_1)である。コンクリートにおける一般的な値として $\mu=0.2$ を選ぶとき、 $f_1=f_1'$ として $E_f=0.9E_0$ となる。一般に、式(1)による E_f は静弾性係数(初期弾性係数 E_0 や割線弾性係数 E_c)より若干大きな値となるケースが多いが、式(2)による値は静弾性係数と動弾性係数との格差を縮小し得るものと考えられる。図-1は本実験室で過去に得られた数種のコンクリートにおける E_f 、 E_c と E_0 、 E_1 の関係を示したものである。 $E_f \approx E_0$ となることが判る。

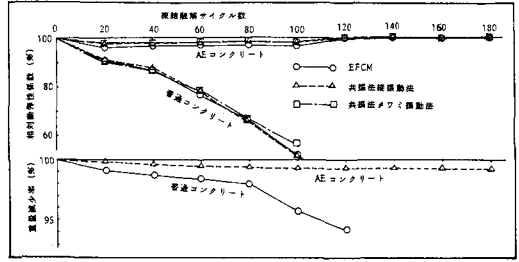
3. 実験および解析の概要 凍結融解試験は水セメント比 $W/C=60\%$ の普通およびAEコンクリートの角柱供試体($10 \times 7.5 \times 40 \text{ cm}$)各3本ずつを用いて、標準養生材令28日より開始し、各20サイクル毎に共振法縦振動法、タフミ振動法による f_1 、FECMによる F_1 を測定し、相対動弾性係数を求めた。また、供試体重量も測定し、その変化を求めた。FEM解析は部材の劣化過程を弾性係数 E およびポアソン比 ν の変化で代表して二次元解析を行った。表-1は実験に使用した各コンクリートの配合条件および特性値を、また、図-2はFEM解析における要素分割状況および支点拘束状況を示している。

4. 結果および考察 図-3は凍結融解試験結果を示している。FECM、共振法縦振動法およびタフミ振動法の3方法共に同様の劣化傾向を示すこと、また、重量変化もその劣化傾向に伴って変化していること等が判る。

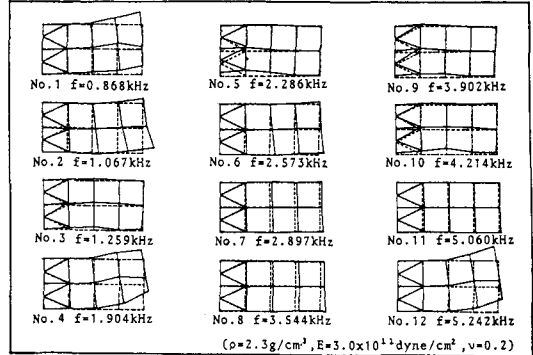
図-4はFEMによる共振解析結果の一例を第12次まで示したものである。低周波数領域においても各種のモードを持つ多くの共振周波数が存在することが判る。

表-2は E および ν の変化に対する式(1)、(2)における f_1 および f_1' 、FEM解析における1次共振周波数相当値 f_{1k} の変化、および、FECMによる凍結融解試験前の普通およびAEコンクリートの F_1 の実測値を示している。この表より、 f_1 と f_{1k} は E および ν の変化に対して、ほぼ同様の变化の傾向を示すこと、それらは E および ν の増加と共に増加すること、および、 ν の変化によるそれらへの影響もかなり大きいことが判る。式(2)の関係を E および ν の組み合わせで詳細に示したものが図-5である。 E は ν が約0.1以下の領域では f_1 に支配されるが、 ν が増大するに従って E への影響が次第に濃くなる様子が判る。一般に、コンクリートは劣化と共に E は低下し、 ν は増大するものと考えられるが、もし、劣化に伴う ν の変化を知り得るならば、同じ f_1 の変化量に対して、より大きな E の変化、亦即ち、より正確な劣化度評価が可能となるであろう。

参考文献 1) 坂田, 大津「超音波によるコンクリート構造物の劣化度迅速判定に関する基礎研究(第1報)(第2報)」九州東海大学紀要, 工学部, 第11号, 1989



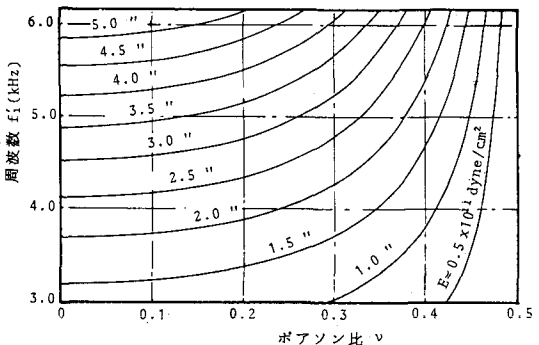
(図-3) 凍結融解過程における相対動弾性係数および重量比の変化状況



(図-4) FEM解析における共振時の節点変位状況

(表-2) E および ν の変化に伴う式(1)、(2)およびFEM解析に基づく f_1 、 f_1' 、 f_{1k} の変化と実測値 F_1

E (dyne/cm^2)	ν	Eq.(1)		Eq.(2)		FEM		F_1 (kHz)
		f_1 (kHz)	f_1' (kHz)	f_1 (%)	f_1' (%)	f_{1k} (kHz)	f_{1k} (%)	
2.0×10^{11}	0	3.69						(普通)
"	0.15		3.79	79.6	4.04	79.8		5.12
"	0.20		3.88	81.5	4.13	81.6		(AE)
"	0.25		4.04	84.9	4.22	83.4		4.98
3.0×10^{11}	0	4.51						
"	0.15		4.64	97.5	4.95	97.8		
"	0.20		4.76	100.0	5.06	100.0		
"	0.25		4.96	104.2	5.27	104.2		
4.0×10^{11}	0	5.21						
"	0.15		5.36	112.6	5.71	112.8		
"	0.20		5.49	115.3	5.84	115.4		
"	0.25		5.71	120.0	6.09	120.3		



(図-5) 式(2)における E 、 ν および f_1 の関係