

有限要素法によるヒビ割れを有するコンクリート部材の共振解析

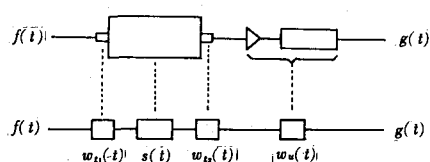
○ 九州東海大学 正員 坂田 康徳
熊本大学 正員 大津 政康

1. はじめに 弾性波の周波数領域におけるフィルター特性により、コンクリート内部の諸状況(ヒビ割れ、空隙、強度、劣化度等)を外部から非破壊的に評価する方法について、筆者等は以前より各種の人工的な欠陥を設けたコンクリート部材を用いて実験的に検討しているが¹⁾、この場合、フィルター特性の要素の一つである初期ピーク周波数を測定して評価値とするケースが多い。この値は、低周波数領域において受信センサーが感知した初期の主要な共振点としていっているので、弾性波による部材の共振現象を理解することが重要となる。ここでは、部材中央にシリアルなヒビ割れを有する部材と有しない部材について、有限要素法による二次元共振解析を行い、実験結果との対応を検討してみた。

2. フィルター特性と共振解析 コンクリート中を伝播する弾性波のフィルター特性を測定する場合の波動伝播経路を図-1に示している。時間領域における入射波 $f(t)$ に対するシステム通過後の波動函数 $g(t)$ との関係は

$$g(t) = f(t) * w_{a1}(t) * s(t) * w_{a2}(t) * w_u(t) \quad (1)$$

で与えられる。ただし、 $*$ 印は合成積を表わし、また、 $w_{a1}(t)$ 、 $s(t)$ 、 $w_{a2}(t)$ 、 $w_u(t)$ はそれぞれ発信センサー、供試体、受信センサー、増幅器および検波器の伝達函数である。この $s(t)$ は供試体自身のシステム特性を表わし、これを周波数領域で表現した (図-1) 波動伝播経路



$f(t)$: Incident wave
 $w_{a1}(t)$, $w_{a2}(t)$: Transfer function of the transducer
 $s(t)$: Transfer function of the specimen
 $w_u(t)$: Transfer function of the amplifier and filter unit
 $g(t)$: Detected wave

$s(f)$ が本研究で対象とするフィルター特性であり、その測定方法については既に報告済みである²⁾。

このフィルター特性におけるピーク周波数は波動の伝播する経路や伝播速度に關係する部材の外形寸法や内部状態(例えば、ヒビ割れや空隙の形状寸法、配合に關する骨材寸法、骨材量、セメントペースト濃度、あるいはセメント-骨材間の付着状況や劣化による微小クラックの増加等)に關係して起る共振点と考えられる。そこで、部材にヒビ割れが発生した場合の弾性波によって引き起こされる共振状況を理解するために、先に実験で使用する供試体の形状寸法と同一寸法の角柱供試体(10×7.5×40 cm)をモデルに選り、有限要素法による二次元共振解析を実施した。図-2は部材中央にその幅の1/2の深さまで達するヒビ割れを有する部材と有しない部材の要素分割状況および支点拘束条件を示している。

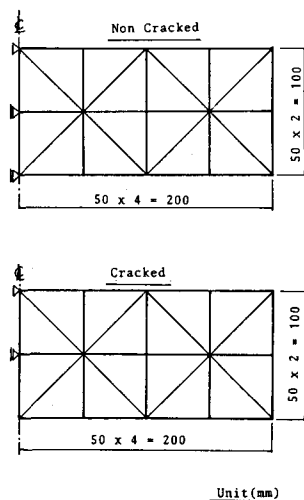
有限要素解析は、コンクリートにおける一般の値として、弾性係数 $E = 3.0 \times 10^{10}$ (dyne/cm²)、密度 $\rho = 2.3$ (g/cm³)、ポアソン比 $\nu = 0.2$ を選り、次式に従ってその共振周波数 f_n を第20次まで求めた。

$$\det [K] - (2\pi f)^2 [M] = 0$$

(2)

ただし、 $[K]$: 要素の剛性マトリックス、 $[M]$: 要素の質量マトリックス

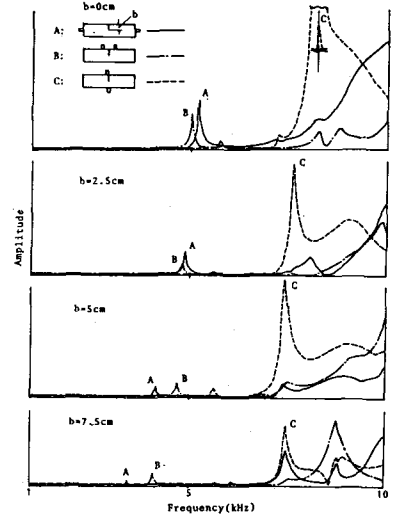
(図-2) 要素分割および支点拘束状況



Unit(mm)

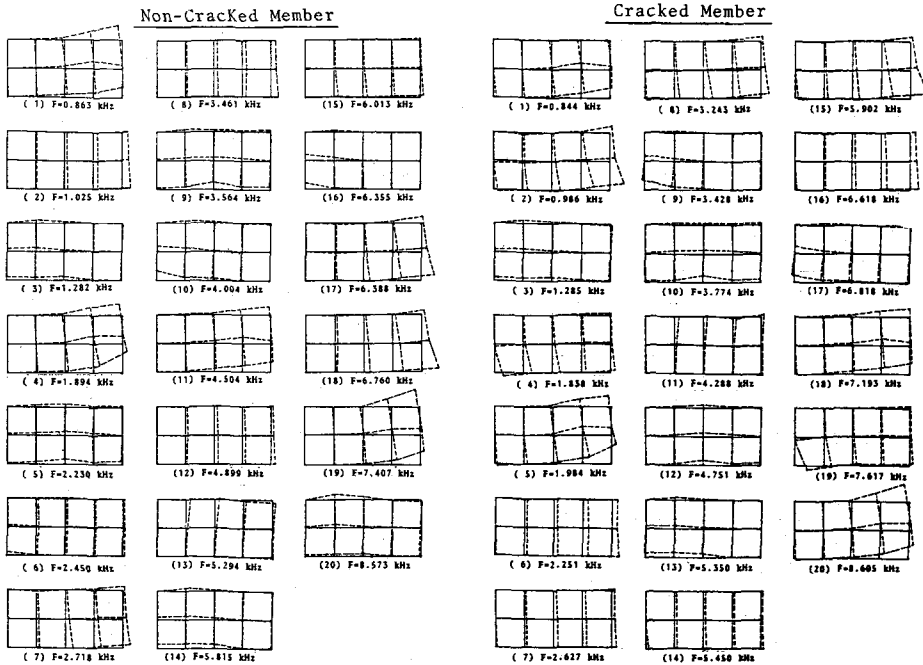
なお、この解析の手法については参考文献³⁾を参照されたい。

3. 結果および考察 図-3は先の実験¹⁾で得られた1~10kHz間の低周波数領域におけるフィルタ特性の測定結果の一例を示している。クラック深さ b およびセンサー取り付け位置を変化させた場合における初期ピークの出現状況を示している。これより、供試体表面において、その面に垂直方向の変位が卓越する共振周波数が受信センサー取り付け位置によって異なることが判る。また、図-4はクラックを有する部材と有しない部材の有限要素解析結果である。低周波数領域において多数の共振点があること、共振次数の変化と共に曲げ、圧縮、せん断等、多くのタイプが混在して存在すること、クラックのある場合と無い場合では同タイプの共振の現れれる次数が必ずしも同一次数で生じないこと、供試体表面の変位が場所によって異なること等が判る。本解析結果は供試体の自由振動に基づく共振状態を示しており、加振点(発信センサー取り付け位置)に無関係であり、また、拘束条件が実際と多少異なるため、実験結果との十分な対応はできない。しかし、このような短小部材においては、共振法で知られている縦振動モードのみならず、共振現象がかなり複雑であることが判る。解析結果では低周波数領域において多数の共振点があるが、実験ではセンサー端面に垂直方向の変位が卓越する共振のみがピークとして、フィルタ特性に現れてくるものと考えられる。



(図-3) クラック深さおよびセンサー取り付け位置の変化に伴うフィルタ特性

- 参考文献 1). 坂田, 大津 "初期ヒビ割れを有するコンクリート部材の超音波フィルタ特性" 第7回コンクリート工学大会論文編集集, 1985, pp. 9~12
 2). 坂田, 大津 "超音波によるコンクリート構造物の劣化程度診断に関する基礎研究(第1報)" 九州大学工学部紀要, 第11号, 1984, pp. 23~32
 3). Ohtsu M. and Ono K. "Resonance Analysis of Piezoelectric Transducer Elements" J. of Acoustic Emission, Vol. 2, No. 4, 1983, pp. 247~260



(図-4) 有限要素法による共振解析結果