

## 共振特性に着目した RC 部材の剛性分布の推定

東北大学大学院 学生会員 ○大竹雄介  
 東北大学大学院 正会員 内藤英樹  
 東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

## 1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に多数建設されたコンクリート構造物が、供用開始から 40 年を迎える時期に差し掛かっており、近年は劣化問題が大きく取り上げられるようになってきた。これらの構造物の適切な維持管理を行うためには、各種の非破壊検査を活用した診断が必要である。しかし、既往の非破壊検査法は材料劣化に着目したものが多く、構造性能を直接的に評価できる手法が少ない。これに対して、本研究では、はり部材と床版を対象として、小型加振機と加速度センサーを使用した共鳴振動法に基づく RC 部材の健全度評価法の開発に取り組んでいる。本研究では、その基礎的研究として、解析的検討により共鳴振動法に基づく RC 部材の健全度評価法の妥当性を検討した。

## 2. 共振時の振動波形に着目した剛性分布の推定

部材の共振時には、図-1 に示すように振幅がゼロとなる節が存在する。この部分を単純支持と仮定することで、 $n$  次振動モードは  $n$  個の 1 次振動モードの組み合わせとみなせる。両端の境界条件が等しく材質が一般的な部材では、振動モードは左右対称形となるが、局所的な損傷が生じた場合には、損傷側へと節が移動するために左右非対称な振動波形に変化する。この原理を利用

すれば、共鳴振動試験から振動モードの節の位置を測定することにより、部材の剛性分布が推定できると考えられる。例えば、図-1 に示す単純支持での振動モードに着目すると、はり部材と平板部材の I~IV 区分での等価剛性  $EI_i, D_i$  は、振動理論により次式の関係が導かれる<sup>1)</sup>。

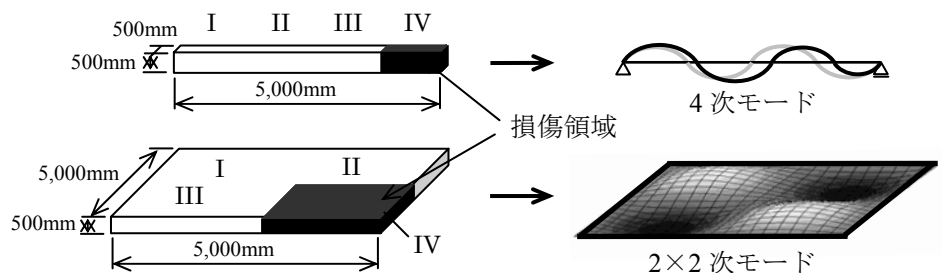


図-1 FEM 解析モデルと振動モード

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI_i}{\rho A} \left( \frac{N^2}{l_i^2} \right)} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI_j}{\rho A} \left( \frac{N^2}{l_j^2} \right)} \quad (1)$$

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_i}{\rho h} \left( \frac{m^2}{a_i^2} + \frac{n^2}{b_i^2} \right)} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_j}{\rho h} \left( \frac{m^2}{a_j^2} + \frac{n^2}{b_j^2} \right)} \quad (2)$$

ここで、 $f$  は固有振動数、 $N$  ははりのモード次数、 $l$  は部材長 (節間の距離)、 $E$  はヤング係数、 $I$  は断面 2 次モーメント、 $\rho$  は密度、 $A$  は断面積、 $D$  は板の曲げ剛性、 $h$  は断面厚、 $a, b$  はそれぞれ長方形板の辺の長さ (節間の距離)、 $m, n$  はそれぞれ辺  $a, b$  に対する平板のモード次数である。ただし、式 (1),(2) は境界条件によって異なる。

## 3. 提案手法の妥当性の検討

## (1) 概説

以上より、はりや床版の共鳴振動試験によって  $n$  次の固有振動数  $f$  やモードの節の位置 (節間の距離  $l, a, b$ ) が測定できれば、部材の剛性分布  $EI_i, D_i$  が推定可能となる。ここでは、実証実験や現場計測に先立って、解析的検討により提案手法の妥当性を検討する。具体的には、剛性分布を変化させた RC 部材を仮定し、FEM モデル(モード解析)から

Key Words : RC 部材, 健全度評価, 振動特性, 剛性, 非破壊検査

連絡先 : 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL : 022 (795) 7449 FAX : 022 (795) 7448

得られる節間の距離  $l, a, b$  を式(1),(2) に代入し, 得られる等価剛性  $EI_i, D_i$  の精度を確認する. なお, 以降の検討は, 4 次 (2×2 次) の振動モードに着目した.

## (2) 解析条件

FEM モデルの概略図を図-1 に示す. 材料特性は RC 部材を想定して, ヤング係数を  $2 \times 10^4 \text{ MPa}$ , ポアソン比を 0.16, 密度を  $2,300 \text{ kg/m}^3$  とした. 解析は, はり部材と床版をはり要素と平板シェル要素によってモデル化し, それぞれ 50 要素と 400 (20×20) 要素で均等に分割した. 解析には有限汎用ソフト MARC を使用し, 線形モード解析 (固有値解析) を行った. なお, 損傷箇所は図-1 に示す黒塗り部分 (IV) である.

## (3) 提案手法の妥当性の検証

### a) 1/4 領域が均一に劣化した場合

図-1 の黒塗り部分 (IV) の剛性が均一に劣化した場合を想定する. 損傷箇所の剛性を健全状態に対して 90, 80, 70, 60, 50% と段階的に低下させた.

様々な境界条件に対して, 設定した剛性比と提案手法によって推定された剛性比の比較を図-2 に示す. ここで, 平板での S.C., S.F., C.F. はそれぞれ向かい合う 2 辺がそれぞれ単純支持と固定支持, 単純支持と自由, 固定支持と自由の場合である. 図-2 より, はり部材と平板部材のいずれについても, 様々な境界条件に対して, 提案手法は損傷程度を妥当に評価できることが示された.

### b) 損傷領域の検討

部材の 1/4 領域が均等に劣化した場合については, 図-2 の検討によって提案手法の妥当性が示された. しかし, 実際はこのような劣化状況は稀である. 式 (1),(2) は高次モードまで拡張可能であるため, モード次数  $N, m, n$  を大きくすれば検査の対象区間を細分化することも可能である. しかし, ここでは図-1 の 4 区分のモデル化に対して, 損傷領域を 1/4 以下にしたときの提案手法の推定精度を検討する.

結果を図-3 に示す. ここで示す剛性比は, 節間の距離  $l, a, b$  での平均剛性である. 図中に示すマークの数字は損傷領域の大きさであり, 部材全体に対して 4~25% の領域に損傷を与えた. 境界条件は単純支持条件とした. なお, 図-3 の 25% のモデルは図-2 の単純支持条件と同じ結果である. 図-3 より, はり部材と平板部材のいずれの損傷領域が小さい場合にも, 提案手法は等価剛性を妥当に評価できることが確認できた. 以上より, 断面や材料が一般的な部材を想定した式 (1),(2) の評価式を用いても, 共振時の RC 部材の節の位置 (節間の距離  $l, a, b$ ) が測定できれば, RC 部材の局所的な損傷や劣化を検知できる可能性が示唆された.

## 4. まとめ

本研究は, 共鳴振動法に基づく RC 部材の健全度評価法に関する解析的検討を行った. その結果, はり部材と平板部材について, 高次モードでの共振時の節の位置 (節間の距離) を計測することができれば, RC 部材の剛性分布の評価や損傷箇所の検知が可能になることが示唆された. 今後は, 大型供試体による実証実験や現場計測との整合性を確認し, 提案手法を汎用的な非破壊検査法に発展させる.

## 参考文献

- 1) 小坪清眞: 入門建設振動学, 森北出版, 2000.

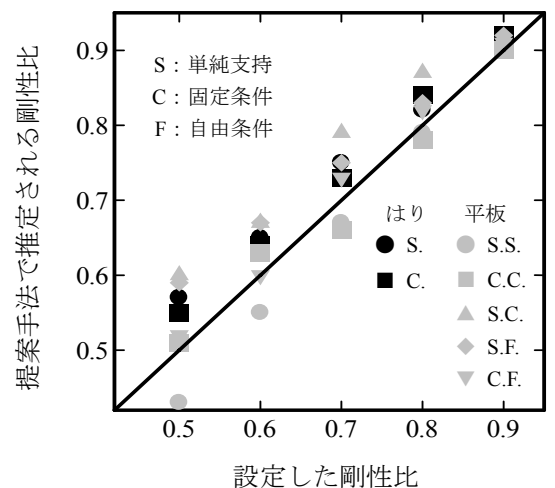


図-2 境界条件に対する推定精度の検討

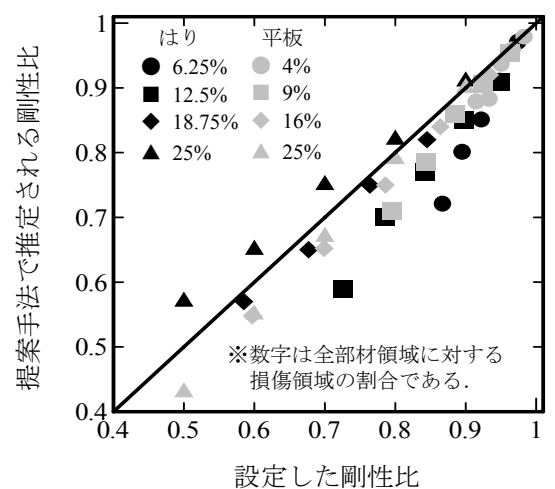


図-3 損傷領域に対する推定精度の検討