

共鳴振動法を用いたはり部材の剛性分布の推定

東北大学 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 学生会員 青木峻二
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、近年はそれらの劣化問題が大きく取り上げられるようになってきた。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。しかしながら、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。本研究では、コンクリート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健全度評価法を検討している。そこで、コンクリート部材の剛性分布を評価する手法を提示し、解析的検討によってその妥当性を検討した。

2. 剛性分布評価法

全ての構造物は固有振動数を持っており、固有振動数で振動を与えた時に、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みなすことで、 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仮定できる。ある部材について、両端の境界条件が等しく材質が一樣な場合に、振動モードは対称形となる。しかし、両端の境界条件が等しくても、部材に損傷が生じた場合には、振動モードは非対称になる。この原理を利用すれば、共鳴振動試験によって振動モードの節を特定することで、部材の剛性分布を推定することができる。共鳴振動試験によって得られる情報は、 n 次モードでの固有周波数と節の位置である。例えば図-1 に示すようなモードに着目すると、は

り部材と平板部材(単純支持)の振動の理論式 (1),(2) が与えられる(例えば 1)。共鳴振動試験より固有振動数 f と節の位置 (l_i, a_i, b_i) が得られるから、図-1 の I ~IV での等価剛性 EI_i, D_i が評価可能となる。

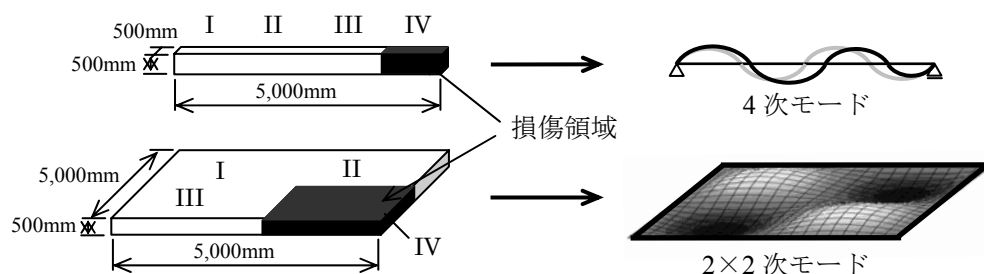


図-1 FEM 解析モデルと振動モード

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI_1}{\rho A} \left(\frac{N^2}{l_1^2} \right)} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{EI_2}{\rho A} \left(\frac{N^2}{l_2^2} \right)} \quad (1)$$

$$f = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_1}{\rho h} \left(\frac{m^2}{a_1^2} + \frac{n^2}{b_1^2} \right)} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D_2}{\rho h} \left(\frac{m^2}{a_2^2} + \frac{n^2}{b_2^2} \right)} \quad (2)$$

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、 E はヤング係数、 I は断面 2 次モーメント、 ρ 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、 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、共鳴振動試験によって RC はりや床版の固有振動数と節の位置が得られれば、部材の剛性分布が推定可能と考えられる。ここでは、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

Key Words : 健全度, 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

は、剛性分布を変化させた RC 部材を設定し、FEM 解析(モード解析)から得られる固有振動数やモードの節の位置を式 (1),(2) に代入する．なお、以降の検討では、図-1 に示すように領域を 4 つに区分した．

(2) 解析モデルの概要

FEM モデルを図-1 に示す．なお、健全時の RC 部材では、ヤング係数を 2×10^4 MPa、ポアソン比を 0.16、密度を $2,300 \text{ kg/m}^3$ とした．はり部材と床版をはり要素と平板シェル要素によって、それぞれ 50 要素、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討

部材の 1) 境界条件と 2) 損傷領域を変化させ、健全時に対する剛性比を 90, 80, 70, 60, 50%と段階的に低下させた．

a) 境界条件に対する推定精度

設定した剛性比と提案手法により推定された剛性比の関係を図-2 に示す．ここで、平板での S.C. は向かい合う 2 辺がそれぞれ単純支持と固定条件の場合である．図-2 より、提案手法ははり部材と平板部材の損傷程度を良好に評価できた．これより、図-2 で仮定した様々な境界条件に対して、はりと床版のいずれの部材についても提案手法の妥当性が確認できた．

b) 損傷領域に対する推定精度

全部材の 1/4 領域が均等に劣化した場合について、図-2 より提案手法の妥当性を示した．しかし、実際に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、 N, m, n を大きくすれば検知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、全体の 25%よりも小さい損傷領域を仮定したときに、提案手法から得られる等価剛性の妥当性を検討した．

提案手法によって推定される剛性比を図-3 に示す．支持条件ははりと平板のいずれも単純支持とした．なお、図の横軸は、設定した損傷領域(図中のマーク)と損傷レベルから求めた 1/4 領域(1 区間)での平均剛性である．図-3 より、損傷領域が 25%以下であっても、提案手法による剛性比は 1 区間での平均剛性と概ね一致した．式(1),(2)は 1 区間での剛性を一様として導いた理論解であるが、損傷領域が小さい場合でも、提案手法は妥当な解(1 区間での平均剛性)が得られることを確認した．

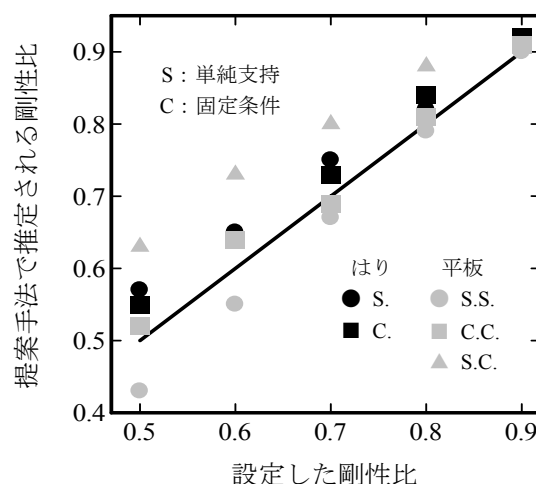


図-2 境界条件に対する推定精度の検討

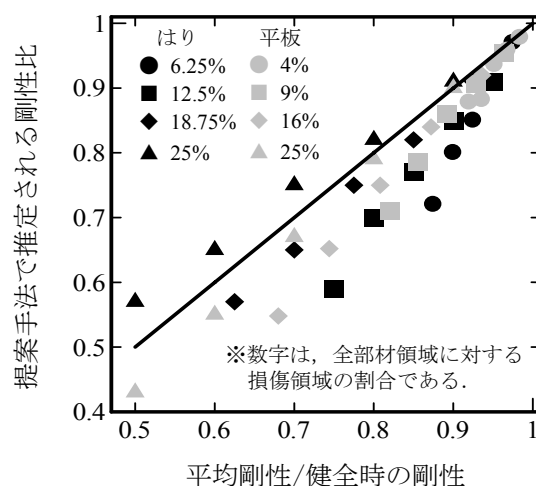


図-3 損傷領域に対する推定精度の検討

4. まとめ

本研究では、RC はりと床版を対象として、共振時の節の位置を測定することにより構造物の剛性分布を評価できる手法を提示した．FEM モデルによる解析的検討を加え、提案手法は、1) はりと平板の様々な境界条件に対して適用可能であること、ii) 局所的な損傷であっても振幅の 1 区間における平均剛性を妥当に評価できること、などを示した．今後は、実験や現場計測との整合性を確認し、汎用性のある非破壊検査法へと発展させる．