

構造部材の劣化損傷が高次の振動モードに与える影響

芝浦工業大学 ○学生会員 浅海 勇樹

芝浦工業大学 正会員 勝木 太

1. 背景・目的

近年、飛躍的に増大すると予測されている橋梁の老朽化問題に対して、より効率的な維持管理を行っていく為の方策が必要とされている。その為、全国の各自治体において長期寿命化修繕計画の策定が行われており、点検データに基づく劣化曲線から、中長期の補修・補強の計画が作成されている。しかしながら、この計画で行われる点検は目視点検が主要であり、損傷レベルによっては、補修・補強の内容を決定する際に、構造的な面から判断をしなければならない場合が生じる。そこで、構造物が損傷を受けると、固有振動数が低下するという特性を用いた加速度計法に着目した。この手法は、加速度計を用いて加速度を測定し、その加速度を時刻応答歴と合わせて FFT（高速フーリエ変換）することで固有振動数を求め損傷の有無を評価する。しかしこの方法は、振動数の低下から損傷の有無は判断できるものの、損傷位置や、損傷深さを特定するまでには至っていない。

一方、加速度計測の高度化に伴い高次の振動モードが計測できるようになっており、劣化損傷のモニタリングへの利用拡大が期待されている。

そこで本研究では、シミュレーション解析を用いて振動数の低下率と、損傷位置、損傷深さの関係性を明らかにし、取得データから位置や深さの定性的判断を可能とする為の方法について検討した。

2. 手法

本研究では、簡易的な例として鉄筋コンクリートの単純梁を想定した。形状は $150 \times 200 \times 2500 \text{mm}$ の矩形断面とし、FEA（有限要素解析、FEM（有限要素法）と同義）を用いてシミュレーション解析を行った。そしてそれらの結果から、振動数の低下率、損傷位置、損傷深さ毎に分類していき、評価を行う方法を考察した。

3. シミュレーション解析

3. 1 シミュレーション解析概要

FEA を用いて供試体のモデルを作成した。モデルは前項で述べた通り $150 \text{mm} \times 200 \text{mm} \times 2500 \text{mm}$ の矩形とし

キーワード 固有振動数、振動モード、加速度計法、モニタリング

（支間長 2400mm ）、圧縮鉄筋に D16 を 2 本、引張鉄筋に D13 を 2 本、スターラップに D10 を 10 本配筋した。固有振動解析は、健全時と曲げひび割れ時とするが、曲げひび割れは、作成したモデルの要素を一部削除して模擬（幅 10mm ）することとした。ひび割れパターンは、スパン中央（ 1250mm 位置）を起点に、 10mm 間隔で端部に向け推移させ、支承上の点を終点とした。ひび割れ深さは事前解析により振動数が大きく低下した下縁より断面高さの $1/4$ 点（ 50mm ）と $1/2$ 点（ 100mm ）の 2 パターンとした。これらの解析パターンをそれぞれ A および B パターンとした。なお、ひび割れを広範囲にした場合の解析も行った。こちらはスパン中央を起点に左右に 10mm 間隔で本数を増加させたものと、全長の $1/4$ 点を中心に 10mm ずつ本数を増加させたものの 2 パターンを作成し、それぞれひび割れ深さを下縁より断面高さの $1/4$ 点と $1/2$ 点とした。これらの解析パターンを C~F パターンとした。

3. 2 シミュレーション解析結果

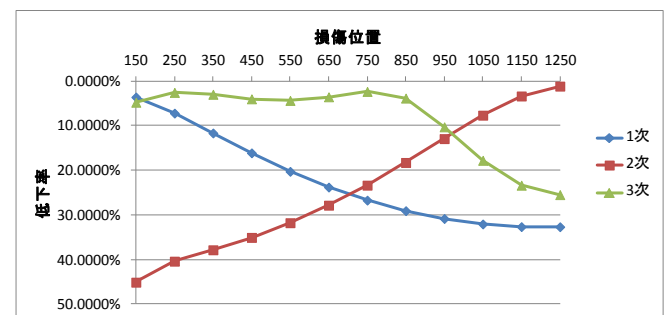


図-1 固有振動数低下率と損傷位置の関係
(損傷深さ 100mm)

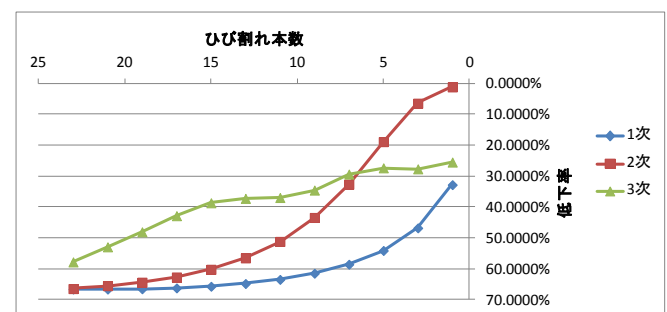


図-2 固有振動数低下率とひび割れ本数の関係
(スパン中央（ 1250mm 位置）起点、損傷深さ 100mm)

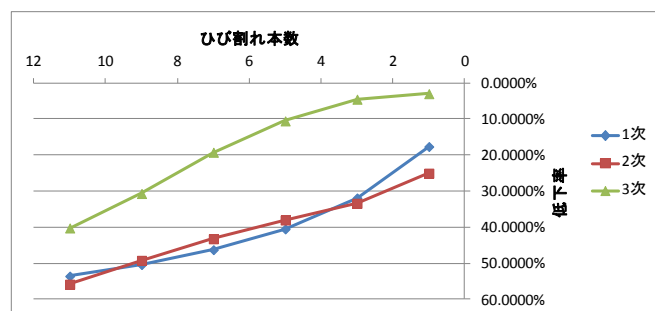


図-3 固有振動数低下率とひび割れ本数の関係
(長辺 1/4 点 (625mm 位置) 起点, 損傷深さ 100mm)

図-1 にひび割れ深さ 100mm の場合の固有振動数の低下率 (=ひび割れ時/健全時) とひび割れ位置の関係を示す (B パターン)。図より振動モードに着目した場合, 1 次はスパン中央にひび割れが近づくほど, また 2 次はスパン端部へ近づくほど振動数が漸減することが分かる。3 次も 1 次と同じくスパン中央付近で低下量が大きくなるが, 1 次よりも低下する区間は短かった。

図-2 には, 深さ 100mm のひび割れをスパン中央から両側に 1 本ずつ増加させた場合の解析結果を示す (D パターン)。図よりひび割れ本数の増加に伴い低下率が増加し, 最大で 60~65% 程度低下することが分かる。これはひび割れが 1 本発生する場合と比べて大きい。

図-3 には, 深さ 100mm のひび割れを全長の 1/4 点から両側に 1 本ずつ増加させた場合の解析結果を示す (F パターン)。この場合は図-2 と同様に, 本数の増加とともに低下率が大きくなる。

4. 考察

シミュレーション解析の結果から, ひび割れが局所的に集中して発生している場合, 発生位置が中央付近であれば 1 次モードで, 発生位置が端部の場合 2 次モードで損傷程度を把握し易いことが分かった。その為, 1 次と 2 次モードでどちらの低下率が大きいかを確認し, 大きい方の低下率を用いることで, 位置, 深さともに推定できる可能性がある。また, ひび割れが分散して発生した場合, ひび割れ本数が多い場合には一箇所の場合よりも大きく低下する為, 損傷範囲が推定出来る可能性がある。また, ひび割れ本数が少ない場合, 低下率の数値が, 損傷箇所が一箇所の場合の低下率の数値と近似してしまうが, 1 次~3 次すべてのモードの結果を併用すれば推定できる可能性がある。

これらの結果をもとに作成した, 損傷レベル推定に使用するフローチャートを図-5 に示す。このフロー

チャートは, 取得したデータから 1 次と 2 次どちらのデータが突出しているのか, そのデータが何%程度なのかを機械的に振り分けることで, 使用する解析パターン A~F を判別する。A~F 各パターンの内容を以下に示す。
A: 局所的にひび割れが発生し, その深さが断面高さの 1/4 程度。
B: 局所的にひび割れが発生し, その深さが断面高さの 1/2 程度。
C: スパン中央位置を中心にひび割れが分散しており, ひび割れ深さが断面高さの 1/4 程度。
D: スパン中央位置を中心にひび割れが分散しており, ひび割れ深さが断面高さの 1/2 程度。
E: 全長の 1/4 位置を中心にひび割れが分散しており, ひび割れ深さが断面高さの 1/4 程度。
F: 全長の 1/4 位置を中心にひび割れが分散しており, ひび割れ深さが断面高さの 1/2 程度。

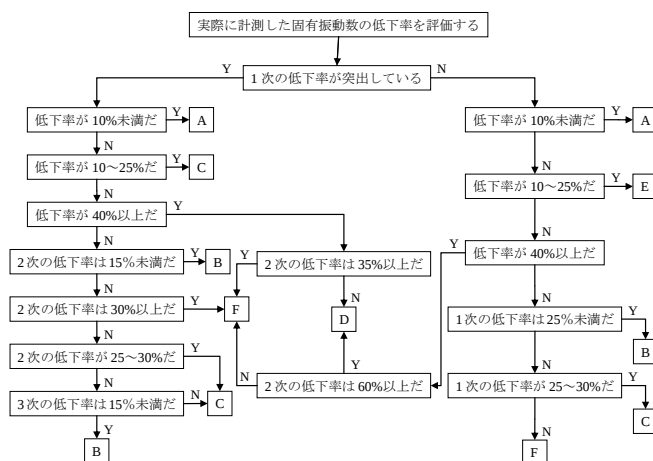


図-5 使用する解析パターン決定フローチャート

5. 結論

今回のシミュレーション解析で, コンクリート単純梁でのひび割れ位置, 深さと各モードでの振動数の低下率の関係性を把握し, その結果を用いて損傷箇所を定性的に推定する方法を提示することができた。フローチャートについては, スパン長や梁の厚さによって低下率の推移量が若干異なる為, さらに数パターンのフローチャートを作成し, 体系化していくことが必要となる。また, 解析値の妥当性や, シミュレーション解析を行ったサンプル数が少ないといった問題があるため, FEA で求めた解析値が実際に推移するか, 実験で確認することと, 単純梁以外での構造形式の場合や, 複雑なひび割れが入った場合でもこの方法が使用可能か検討するといったことが今後必要である。