

高次振動解析による鋼桁ボルトのゆるみの検出

北見工業大学大学院 学生員 大西 功基 北見工業大学 フェロー 大島 俊之
 北見工業大学 正 員 三上 修一 北見工業大学 正 員 山崎 智之
 (株)ズコーシャ 正 員 高田 直幸

1. はじめに

我が国において、戦後の国土復興と高度経済成長期に数々の社会基盤施設を建設してきた。これらの多くの社会基盤施設は建設後数十年を経過し、何らかの損傷を生じているものが多くなりつつあり多額の維持管理・更新費用がかかることが今後予想される。また今後数十年わたって損傷に起因した性能限界を超える構造物が増加することが考えられ、構造物の維持・補修により長寿命化を目指すことが課題となる。このような観点より近年構造物の振動特性から損傷同定する試みが行われている¹⁾。

本研究では、比較的高次の振動数の振動特性変化に着目し、実験によりボルト弛緩による振動特性の変化を把握し、解析により振動モード形状の変化を捉えボルトのゆるみの検出について検討する。

2. 実験供試体および実験方法

本実験で用いた実験供試体を写真-1 に示す。供試体は断面 350 × 350mm、鋼材の厚さは外板 19mm、中板 12mm の H 形鋼であり、ボルト 8 本により H 形鋼の両端を固定している。実験方法は、図 1 に示すように供試体の 2 点に小型半導体加速度計を設置してシグナルコンディショナにより増幅し、A/D 変換カードを介してノートパソコンに直接データを入力することにより測定を行った。仮想的な健全・損傷状態については、H 形鋼の両端を固定しているボルトを弛緩することにより各種の損傷状態を表現し、図 2 のように両端のボルト 2 本ずつ様々な組み合わせにより弛緩させ、CASE1(健全)～CASE7 までの 7 ケースを設定した。ここでボルトの入力トルクを 350N・m と一定な値で締め付け、弛緩させたボルトにはわずかなトルクを導入することとした。加振方法は H 形鋼のスパン中央の下端部にハンマーにより衝撃を与えた。



写真-1 実験供試体



図-1 実験供試体概略図

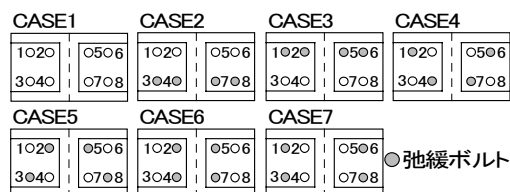


図-2 ボルト弛緩ケース

3. 実験結果

CASE1の実験結果を表-1 に示す。4 次、6 次の固有振動数に着目し、図-3 は各実験ケースでの CASE1 からの固有振動数の減少率を示す。固有振動数の減少率は 0.1%～3.6%となっており弛緩ケースにより減少率が異なり、各次ともに CASE3、CASE6 での減少率が大きくなる傾向となった。CASE6 は内側のボルトが弛緩されることにより支持間距離が長くなるため減少率が大きくなったと考えられる。また比較的高次の 6 次の固有振動数の減少率が大きくなった。

表-1 実験結果

	CASE1
1次	24.71
2次	113.18
3次	145.80
4次	187.76
5次	219.63
6次	328.81
7次	337.94
8次	372.71

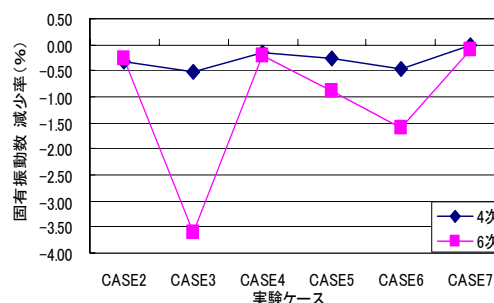


図-3 実験結果(4次、6次)

キーワード: 固有振動数、高次振動、損傷検出

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165番地 Tel 0157-26-9476 Fax 0157-23-9408

4. 解析モデル、解析結果および考察

以上のような実験結果と比較するため、またボルトのゆるみを解析により把握するために実験供試体を 20 節点ソリッド要素によりモデル化を行った(節点数 3804、要素数 495)。ボルトによる H 形鋼と支持板の固定状況を 3 方向(X,Y,Z)のパネ要素を接触面に配置し、H 形鋼の接触面上節点の回転方向の拘束条件($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)を固定とした。ボルト締め付け時は接触面にボルトの剛性が働いているとし、パネ剛性はボルトのヤング率・断面積・ボルトの締め付け長さより算出し、 $K_x, K_z=70.0\text{MN/cm}$ 、 $K_y=19.0\text{MN/cm}$ とした。また、弛緩時には弛緩部分のパネ要素の剛性を変えることにより表現し、H 形鋼側の接触節点のすべての回転方向の拘束条件を自由とした。解析ケースは前述の図-2 と同じ CASE1～CASE7 までの合計 7 ケースである。表-2 に CASE1 での解析結果ならびに実験により得られた固有振動数を示す。解析値と実験値に着目すると、両者はよく一致し、本研究における解析モデルは妥当であると考えられる。図-4 は 4 次モード形状(CASE1)を示し、ボルト固定側のフランジのねじれモードとなっており、支持板部分でねじれが拘束されている。これに対して、前述の実験結果 CASE3 では、上側のボルト 2 本がゆるんだことから固有振動数の減少率が大きくなったと考えられる。4 次固有振動に着目した各ケースの実験結果と解析結果の比較を図-5 に示す。固定条件による固有振動数の変動傾向は同様となっており、解析値においても CASE3 での減少率が大きくなっている。解析値の方が全体的に減少率を大きく捉えているが、実際には弛緩部分に接触力が働いていると考えられ、これは弛緩部分の接触力による拘束状態を考慮していないためであると考えられる。図 6・7 は 4 次および 6 次の H 形鋼固定側上端部節点の水平方向のモード形状を示しており、ボルト弛緩時におけるモード形状の変化に着目すると、CASE1 で支持板部では現れていないモード変位が CASE3、CASE4 において現れており、解析によりモード形状の大きな変化が現れる位置が支持板部であることがわかる。このことから、ボルト弛緩時に支持板部の振動性状の変化に着目することによりボルトのゆるみを検出することが可能となると考えられる。また、比較的高次の振動数領域における振動特性を捉え、ボルトのゆるみによるモード形状の変化が現れる振動次数を捉え、変化のある着目点を選定することによりボルトのゆるみを把握出来ると考えられる。

5. まとめ

本研究では、実験により様々なボルト弛緩による比較的高次の固有振動数の減少程度の変化を捉え、接合部の固定状況をパネ要素として各弛緩ケースの解析を行った。解析結果より実験結果と同様な固有振動数の減少傾向が得られ、本供試体においてボルト弛緩時にモード形状の変化が現れる位置は支持板部であり、支持板部分の振動性状の変化に着目することによりボルトのゆるみを検出することが可能となると考えられる。今後より詳細な実現象を把握するため、弛緩部分の接触状況の検討を行い、動的解析による実験結果との比較検討をする必要がある。

【参考文献】

・小幡,林川,佐藤,水草：振動モニタリングデータに基づいた鋼橋の損傷同定に関する基礎的研究,構造工学論文集,Vol.46A,2000.3

表-2 固有振動数解析結果(CASE1)

	実験値	解析値	誤差(%)
1次	24.71	25.18	1.89
2次	113.18	118.25	4.48
3次	145.80	157.88	8.29
4次	187.76	186.63	-0.60
5次	219.63	215.21	-2.01
6次	328.81	333.09	1.30
7次	337.94	342.10	1.23
8次	372.71	377.58	1.31

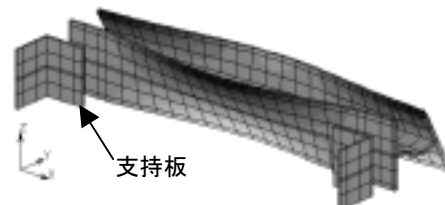


図-4 4次モード形状(CASE1)

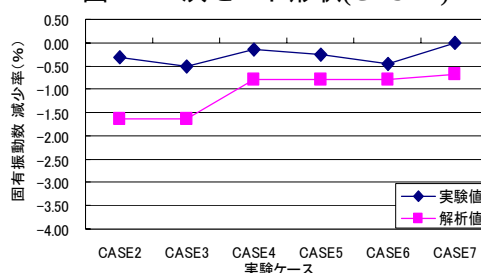


図-5 実験結果と解析結果比較(4次)

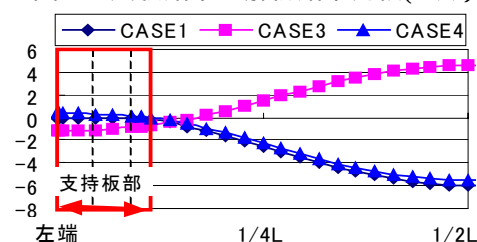


図-6 4次モード水平方向形状比較

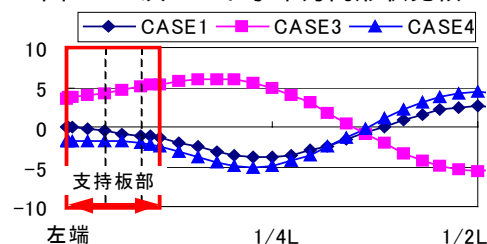


図-7 6次モード水平方向形状比較