904 トラス構造物接合部の損傷検知方法に関する研究

Study on joint damage detection method for truss structure

○ 其田 和也(山口大・院生)

Kazuya Sonoda, Yamaguchi-University

Department of Mechanical Engineering, Yamaguchi University, Ube, 755-8611, Japan

江 鐘偉(山口大院)

張 志文(山口大・院生)

ZhongWei Jiang, Yamaguchi-University

Zhang Zhiwen, Yamaguchi-University

森崎 哲也(徳山高専)

渡辺 哲陽(山口大院)

Morisaki Tetsuya, Tokuyama College of Technology

Tetsuyou Watanabe, Yamaguchi-University

Key Words: Impedance, Joint damage, Resonance frequency, Piezo-electric element

1. 緒言

現在、高層ビル・鉄塔・橋など構造物の維持・保全は大切な社会資本の有効活用、また CO₂削減など循環型社会への転換から重要となっている。しかし、構造物は経年、過負荷等の理由により劣化し、崩落や崩壊の危険性が出てきている。実際、構造物のひび割れや腐食、ボルトの緩みや脱落した穴からの亀裂などの損傷が発見されている。こういった損傷は早期発見が難しいのが現状である。これらの社会情勢をふまえて、事故が起きる前の初期段階で構造物の損傷を検知するシステムの必要性が高まってきている。

そこで、本研究では、構造上、弱く欠点となる接合部を検査対象とし、実際に接合部で起こりうる損傷のモデルを考える。その損傷モデルに対して圧電素子を利用したインピーダンス計測法⁽¹⁾⁽²⁾を用い、有効な検知方法を考え、事故の予知・予防につなげていく。

2. 実験

2.1. 実験装置

図1は実験装置の概要図である。測定対象物であるアルミニウム梁に圧電素子(PZT)を裏表対象の位置に貼り付けてある。測定対象物はトラス構造物の中央にボルトで両端固定してある。全てのボルトはトルク 3[Nm]で一様に締めてある。本実験ではこのトラス構造物中央梁の接合部の損傷に対する実験、検証を行う。トラス型構造物の大きさは縦×横×高さ: 1100×550×1000(mm)である。

Fig. 1 Experiment outline figure

2.2. 簡易インピーダンス測定システム

簡易インピーダンス測定システムは、電圧を出力する正弦波発生回路、圧電素子に生じた電流計測用回路、圧電アナログ信号をコンピュータに入力するためのAD変換回路、インピーダンス値を計算するコンピュータから構成される。本システムでは、正弦波電圧発生回路としてダイレクトデジタルシンセサイザ(DDS)のIC(Wellpine社製 TC170C030AF)を用い、マイコン(Microchip社製 PIC87316F)で制御することによって掃引周波数ステップ 1[Hz]で振幅 0.5[V]の正弦波電圧を出力できる。今回の実験で使用した損傷検知システムの概略図2に示す。

Fig. 2 Impedance measuring system

2.3. 実験方法

コンピュータから計測周波数範囲と分解能(10Hz)を簡易インピーダンス測定装置に入力する。すると、それに対応した一定の交流信号がPZT(圧電素子)に加えられる。これによって構造物に生じた定常波がPZTに電位変化をもたらし、この電位変化がコンピュータ内でインピーダンスに計算され、測定終了後、データが保存される。このとき、構造物中に縦弾性波を発生させ易くするため、はりの裏表対称の位置に貼りつけられてある2つの圧電素子に簡易インピーダンス測定装置から同時に交流電圧をかけている。これによって、共振状態を表すインピーダンスピークが現れる。この共振状態は、はりの形状、硬度などの材料特性、はりの支持の仕方(境界条件)によるものであり、このピークを観測することによって様々な損傷検知が可能となる。よってそのピークを測定対象周波数として損傷を検知していく。

2.4. 損傷モデルと検知方法

トラス構造物接合部の損傷例としてボルト接合部のトルクの変化を挙げる。測定対象ボルトとして図1より、ボルトAとボルトDとする。ボルトAの締め付けトルクを3, 1, 0[Nm]と変化させた状態で測定を行う。ボルト締め付けトルク3, 1, 0[Nm]の状態をI, II, IIIとして表す。

I: 3[Nm]はボルトが強く締まった状態で健康状態を示す。

II: 1[Nm]はボルトが手で回せるほど緩まった状態を示す。

III: 0[Nm]はボルトの脱落状態を示す。

測定対象ボルト以外のボルトは3[Nm]のトルクで締めたままである。ボルトDもボルトAと同様の測定実験を行う。また、ボルトDはPZTとの位置の関係によりボルトAの時よりも損傷検知がより困難だと推測される。そこで、新たに2つの検知方法を提案する。まず、分銅200[g]を梁中央継目部にぶら下げ、ある一定の変化を加えた状態でボルトDの締め付けトルクを3, 1, 0[Nm]と変化させて測定を行う。次に、ばね定数0.157[N/mm]の引ばねの先に分銅200[g]を梁中央継目部にぶら下げ、20[mm]引っ張り、その状態で放し、振動させる。それによって、常に変動する変化を加えた状態でボルトDの締め付けトルクを3, 1, 0[Nm]と変化させて測定を行う。

3. 損傷検知方法の有効性の検証

ボルトAのインピーダンス測定結果を図3に示す。図3より、ボルトが状態Iから状態IIとなると1つだったインピーダンスピークは複数のピークになり、インピーダンス値が減少していることが分かる。さらに状態IIIとなると複数の乱れた波形のまま高周波数域へシフトしていることが分かる。ボルトが緩むことにより梁の拘束力が弱まり、他の要素との影響が大きくなる。それによって、インピーダンスピークの共振周波数付近では他の要素のインピーダンスの影響を受けるようになり、そのインピーダンス応答は図3のように複数のインピーダンスピークが重なり合った波形として測定されたと考えられる。この結果よりボルトAでトルク緩み損傷を検知できることが検証された。

Fig. 3 Impedance wave form change concerning bolt A

次に、ボルトDのインピーダンス測定結果を図4に示す。ボルトAと同じ検知方法の結果の図4(a)より、ボルト締め付けトルクが状態Iから状態IIになると、ボルトAの時のような波形の乱れとピーク周波数シフトは見られない。しかし、インピーダンスピーク値が減少している。状態IIIになるとさらにインピーダンスピーク値が減少していることが分かる。荷重を加えた検知方法の結果の図4(b)をしてみる。状態Iから状態II, IIIへの変化は(a)の時と同じようにインピーダンスピーク値が減少している。しかし、インピーダンスピーク値の減少量に変化が見られ、(b)の方がより大きな変化としてみられる。よって、ボルトDの位置での損傷検知は何も加えな

いより荷重を加えた検知方法のほうが有効であると言える。振動を加えた検知方法の結果の図4(c)をしてみる。状態Iから状態IIになってもインピーダンスピーク値の変化あまり見られない。状態IIIになるとインピーダンスピーク値の減少が見られた。そして、ピークの前後の周波数域で微小な振動が見られた。

Fig. 4 Impedance wave form change concerning bolt D

4. 結言

本研究では、簡易インピーダンス測定装置を用いて、トラス構造物接合部のボルトの緩み損傷のインピーダンス測定実験を行った。また、その測定を行う際、荷重と振動を使った検知方法を提案した。位置の異なる2つのボルトの損傷実験を行って、荷重を使った検知方法の有効性の検証した。今回、振動を使った検知方法の有効性は示せなかったが、振動の解析を進めていくことで有効性を確立したい。

5. 参考文献

- [1] 江鐘偉, 竹内保隆, “圧電素子を用いたトラス型構造物のヘルスマニタリング技術”, 日本機械学会論文集, 69-679, C(2003), 30-37
- [2] 江鐘偉, 西村浩一, 長南征二, “圧電素子を用いた縦弾性波計測による構造物の損傷監視と位置同定”, 日本機械学会論文集(C), 67-660, (2001), 2580-2586.