

ボルトの緩みの定量的評価に関する基礎的検討

NKK基盤技術研究所 正会員 村上 琢哉 NKK基盤技術研究所 正会員 武田 勝昭

1. まえがき 我が国では、高度経済成長期に建設した数々の社会基盤施設が建設後数十年経過しているため、何らかの損傷を生じている構造物が徐々に増加しつつある。このため、将来にわたって効率的な維持管理を継続していくためには、簡便な健全度評価手法・損傷同定手法が望まれる。簡便な損傷同定方法の一つとして振動特性の変化に着目した方法があり、近年積極的に研究されている^{1),2)}が、ここでは、振動特性に着目した損傷同定法がどの程度の損傷まで検出可能かを定量的に検討することに念頭を置いて、標識柱を想定した柱状供試体のボルトの緩み検出に関する基礎的検討を実施した。すなわち、供試体のボルトの軸力を適宜変化させた場合に、比較的検出が容易な低次モードの基本的な振動特性の変化について検討した。

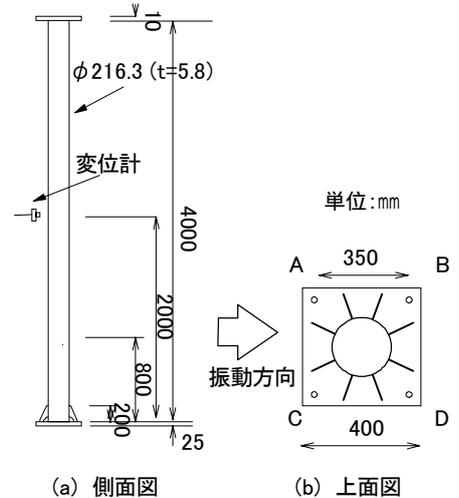
2. 実験概要 実験供試体を図-1に示す。供試体は高さ4m、直径216.8mmの鋼管柱であり、基部は板厚12mmリブで補強されている。25mm厚のベースプレートは4本の普通ボルト(M24)により固定されている。ボルト軸力の計測には、ボルト用埋込みひずみゲージ(東京測器製BTMゲージ)を用いた。写真-1に基部付近の供試体の様子を示す。実験は、軸力を調整した後に、ハンマリングにより減衰自由振動波形を計測した。変位計は、高さ2mの位置に高精度渦電流式デジタル変位計(キーエンス製EX-V)を設置して、サンプリング間隔0.1msで計測した。実験は、4本のボルト(図-1中のA、B、C、D)を適宜緩めたケースを実施した。初期導入軸力は規定値がないため、作業員が通常に締付けた時の軸力23kNを標準値に設定した。

データ処理には、測定振幅が約0.6mmの位置から100秒の減衰波形を取り出し、フーリエ振幅スペクトルを求めて、卓越周波数を算定した。したがって周波数分解能は0.01Hzとなる。また、振幅依存性を検討するために、必要に応じて10秒毎のフーリエ振幅スペクトルも算定した。なお、計測は各ケース3回以上実施し、再現性を確認している。また、別途必要に応じて常時微動も計測した。

3. 実験結果

3.1 1本のボルト軸力を低下させた場合

曲げ1次モード、2次モードの固有振動数を固有値解析結果と比較して表-1に示す。固有値解析には、ベースプレートより上部をシェル要素として作成したモデルを用いた。これより、実験値は解析値よりもやや小さくなっていることがわかる。これは、本実験を実施した場所が鋼製テストベット上であり、完全な固定条件ではなかったことにも原因があると考えられる。また、低次モードの卓越周波数の変化は小さく、初期軸力の50%で0.03Hz、25%で0.05Hzであり、変化率は1%以内である。しかしながら、本計測結果



(a) 側面図

(b) 上面図



写真-1 供試体基部の拡大

表-1 固有振動数の比較
(1本のボルト軸力を低下させた場合)

Case	ボルト軸力程度(%)				卓越振動数 (Hz)		低減率(%) (A-1との比)	
	A	B	C	D	1st	2nd	1st	2nd
A-1	100	100	100	100	11.52	72.34	—	—
A-2	100	100	100	75	11.50	72.30	-0.2	-0.1
A-3	100	100	100	50	11.49	72.25	-0.3	-0.1
A-4	100	100	100	25	11.47	72.10	-0.4	-0.3
A-5	100	100	100	0	11.39	72.70	-1.1	0.5
解析1	100	100	100	100	11.98	77.73	—	—

(備考)ボルト軸力程度は100%が23kNを示す。

CaseA-5のD箇所は取り外して実施した。

キーワード ボルト弛緩、損傷同定、固有振動数、ハンマリング試験

〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1 NKK京浜ビル TEL.(044)322-6337 FAX.(044)322-6519

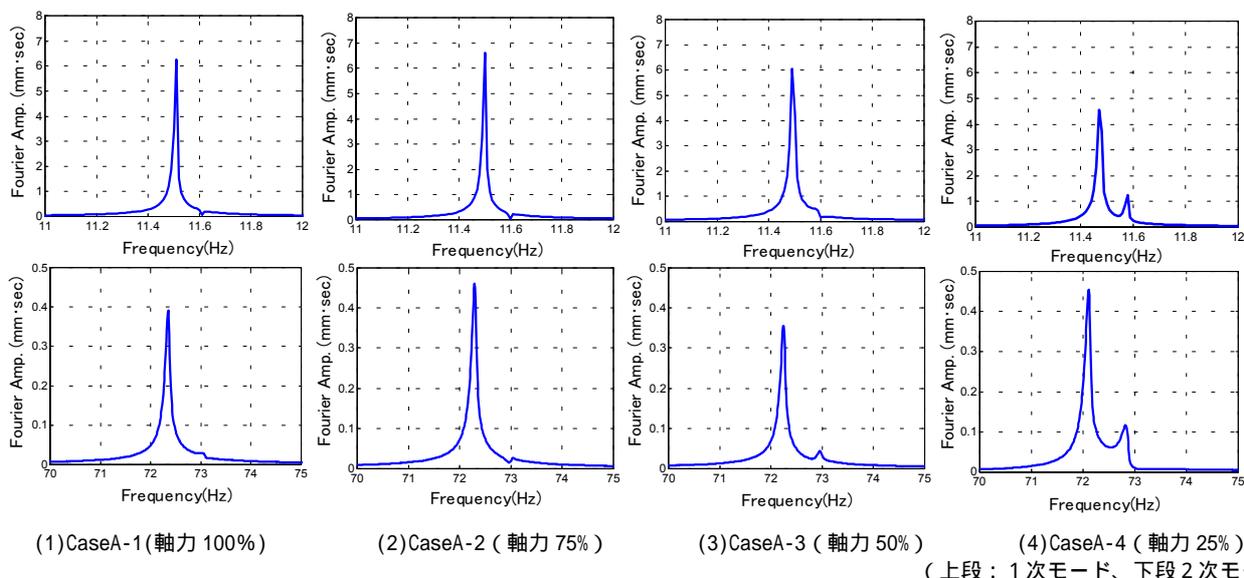


図 - 2 フーリエ振幅スペクトルの比較（1本のボルト軸力を低下させた場合）

には再現性が見られ、一律にデータ処理した振動数の誤差は±0.01Hzであり、周波数分解能の3倍以上の差があること、別途実施した常時微動でも低次モードでは明確なピークが観測されていることを勘案すれば、低次モードに着目した場合でも軸力の低下が50%程度であれば検出できる可能性が高いと判断できる。また、代表ケースのフーリエ振幅スペクトルについて、1次モード、2次モードの周辺を拡大して図-2(1)~(4)に示す。これより、CaseA-2(軸力75%)ではA-1(軸力100%)と明確な違いが認められないものの、A-3(軸力50%)、A-4(軸力25%)では、卓越周波数より高いスペクトル形状に変化が見られることがわかる。特にA-4では卓越周波数より高い周波数成分に明確な違いが確認できる。この傾向は別途実施した常時微動波形のスペクトルにも現れていることから、軸力が25%程度まで低下した場合には、低次モードのスペクトル形状からも容易に検出できると判断できる。

表 - 2 固有振動数の比較
 (複数のボルト軸力を低下させた場合)

Case	ボルト軸力程度(%)				卓越振動数 (Hz)		低減率(%) (A-3との比)	
	A	B	C	D	1st	2nd	1st	2nd
A-3	100	100	100	50	11.49	72.25	—	—
B-1	100	100	75	50	11.49	72.22	0.0	0.0
B-2	100	100	50	50	11.48	72.13	-0.1	-0.2
B-3	100	100	25	50	11.44	71.96	-0.4	-0.4
B-4	75	100	100	50	11.50	72.29	0.1	0.1
B-5	50	100	100	50	11.49	72.24	0.0	0.0
B-6	25	100	100	50	11.47	72.01	-0.2	-0.3
B-7	100	50	50	50	11.48	71.92	-0.1	-0.5
B-8	75	75	75	75	11.48	72.19	-0.1	-0.1
B-9	50	50	50	50	11.45	71.93	-0.3	-0.4
B-10	25	25	25	25	11.43	71.75	-0.5	-0.7

(備考)ボルト軸力程度は100%が23KNを示す。

3.2 複数のボルト軸力を低下させた場合

1本を初期軸力の50%に緩めた状態で、他の軸力を変化させた場合の固有振動数結果を表-2に示す。これより、2本目の軸力変化が50%程度(B-2,B-5)では、固有振動数には明確な変化がないものの、4本中3本の軸力が50%になった場合(B-7)では、固有振動数に比較的明確な違いが現れていることがわかる。

4.まとめ 本研究では、標識柱を想定した柱状供試体を対象として、定量的に普通ボルト軸力を変化させた場合の低次モードの振動特性変化について検討した。その結果、以下の事が明らかになった。

標識柱を想定したプレートの4隅をボルトで固定した片持ち梁構造では、低次モードの固有振動数の変化を見る簡単な方法でも、ボルトの軸力が通常締付力の50%以下となった場合には検出できる可能性が高い。ボルト軸力が通常締付力の25%程度に低下した場合には、スペクトル形状に明確な変化が現れる。

今後は、提案されている損傷同定手法²⁾などを適用して、ボルトの緩みの定量的な損傷同定評価の可能性を検討する予定である。

参考文献

1) 大西ら：高次振動解析による鋼桁ボルトのゆるみの検出、土木学会第56回年次学術講演会、I-A157、平成13年10月
 2) 小幡ら：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