

## 加振振動によるボルト緩み検知試験 ーレーザドップラー振動計を用いたボルト緩み検出ー

大成建設(株) 技術センター 先進技術開発部 正会員 ○近藤 高弘

### 1. はじめに

構造物の締付けボルトの軸力を管理することは維持管理の観点から重要である。従来から種々の管理方法が検討されてきた。ハンマーによる打撃検査など人の経験値によって判定されることも多くあるが、種々の要因で正確な軸力を測定できない場面がある。

そこで、外部から加振振動を与えることでボルトの締付けトルクとボルト部の振動とに何らかの関係があるのではと想定し確認試験を行った。

正規の締付けトルクまで段階的に締付け、外部から加振振動を与えその時のワッシャー部の微細な振動を検出した。微細振動の検出には非接触の振動測定としてレーザドップラー振動計を用い実施した。その試験結果について報告する。

### 2. 試験方法

厚さ 12mmの鉄板の上に厚さ 10mm のアルミ製加振試験プレートに厚さ 5mm のプレートをボルト (M10, M12, M20) で締付け試験プレートに加振振動を与えた。加振時のボルトの振動測定はワッシャー部で行った。

この時ワッシャー部の振動測定に従来型の振動センサを用いるとセンサ重量が影響し実際の振動モードを正確に測定する事が出来ない可能性があり、本件の測定では非接触の振動測定としてレーザドップラー振動計を用い実施した。

本試験では標準T系列締付けトルク (Nm)を参考とした。M10 では 24.5 Nm, M12 では 42 Nm, M20 では 204 Nm を 100%締付けトルクとした。

以下に試験方法を示す。

- ・1~10 KHz の正弦波と方形波の加振を与えその時のワッシャー部の振動測定を行った。
- ・振動解析分解能を 0.6 Hz とした。
- ・各加振周波数での締付けトルクを段階的に変えてその時の振動測定を行った。

試験イメージを図-1 に示す。

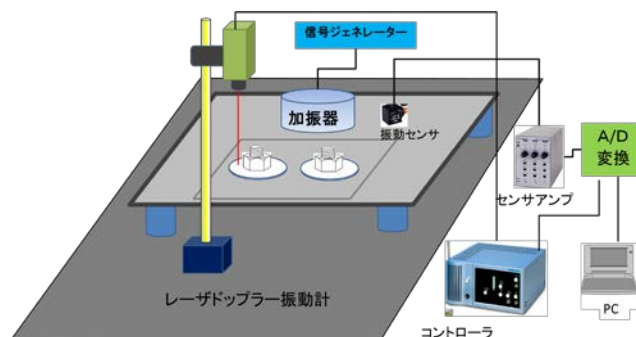


図1 ボルト加振試験イメージ

主な計測装置を以下に示す。

- ・レーザドップラー振動計 (V100-MS 電子技研工業)
- ・加振器 (磁歪素子)
- ・信号ジェネレーター (BP4610 エヌエフ回路設計ブロック)
- ・三軸加速度センサ (NP-3572 小野測器)

#### 2.1 締付けワッシャー

緩み検出部としてワッシャー部を想定した。一般のワッシャーでは検出センサを取り付けるスペースが無く、比較のため外形φ50mm 厚さ 3mm の仮想的なセンサワッシャーを鉄とアルミで製作し比較した。

#### 2.2 レーザドップラー振動計 (V100)

レーザドップラー振動計は、レーザ光を振動物体に照射し、振動体からの反射した光のドップラーシフトした周波数変化を検知し非接触で振動速度を検出した。

#### 2.3 加振器

加振器は加振信号を入力しその信号と同じ振動を再現できる機能が必要である。本試験では1~10KHzの加振信号を発生させる。そのため比較的大きな歪を発生できる素子を用いた磁歪素子を組み合わせた磁歪式加振器を用いた。

キーワード ボルト, 緩み検知, 締付けトルク, 加振振動, レーザドップラー振動計, 磁歪素子

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設技術センター TEL 045-814-7247

## 2.4 信号ジェネレーター (BP4610)

加振器への加振信号は $\pm 2V$  の変化として入力する。加振器は磁歪素子を用いているため入力信号にバイアス電圧 ( $+10V$ ) を加算した信号を生成し加振器に入力した。

本試験の加振信号 (1~10 KHz)

- ・正弦波 ( $\pm 2V$  バイアス $+10V$ )
- ・方形波 ( $\pm 2V$  バイアス $+10V$ ) (デューティー比 50%)

## 2.5 測定方法

ボルトの締付けは標準T系列締付けトルクを 100% とし、10%からスタートし 10%ずつ締付けトルクを増し最終的に 100%トルクまで締付け振動測定を実施した。締付けトルクの各段階について加振信号 (1~10KHz) を加振試験プレートにあたえ加振した。その時の試験プレートの振動を三軸加速センサで、ワッシャーをレーザドップラー振動計で同時に振動測定を行った。

## 3. 試験結果

ボルト締付け加振試験では、M10~M20 ボルトの締付けに対し一般ワッシャーおよびアルミ、鉄のワッシャーでの加振時の固有振動として 7KHz 付近で締付けトルクと周波数シフトの変化が観測された。

しかし締付けトルクの周波数シフトの変化は安定的な現象とは言えず、試験状況により大きく左右される。

参考結果として M12 アルミワッシャーに方形波加振試験の様子を図-2 に示す。

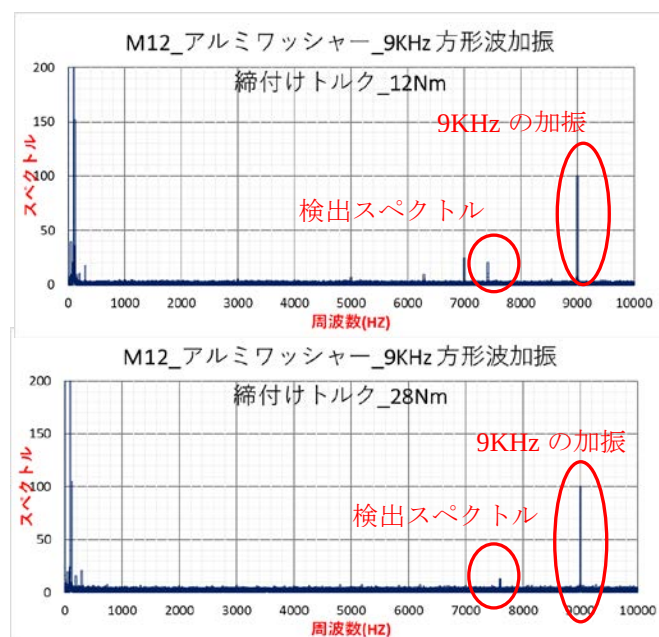


図2 締付けトルクと検出スペクトルの結果

M12 のボルトをアルミワッシャーで 12 Nm のトルクで締付け、9 KHz の正弦波で加振した時のワッシャー部で 7.4 KHz 付近でスペクトル検出された、更に 28 Nm の締付けトルクでは 7.6 KHz 付近でスペクトル検出された。図3に締付けトルクを 4~42 Nm まで変えた時の検出スペクトル周波数を示す。この検出スペクトルに関しては他の加振周波数 1~10 KHz でも同様に出現した。

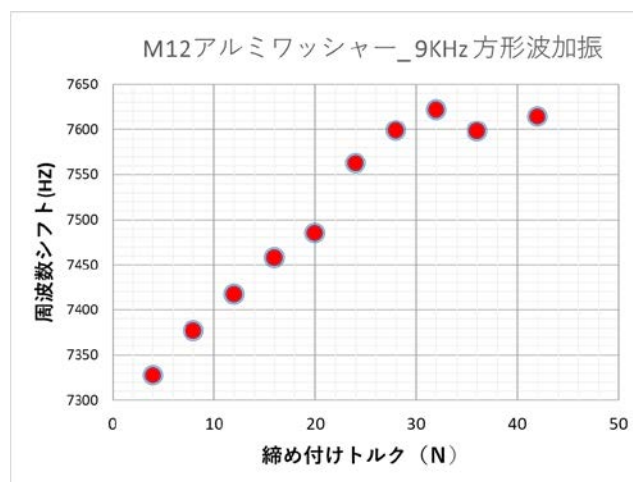


図3 締付けトルクと検出スペクトル結果

以下に試験結果をまとめる。

- ・ボルト締付けトルクの検出の周波数域は 7KHz 付近にある。
- ・締付けワッシャー形状などが変わると検出スペクトルも変化する。
- ・試験時の加振波は高調波成分を多く含む波形 (本試験では方形波) の方がトルク検出に適している。
- ・安定した検出スペクトルの再現が困難である。  
(ワッシャー自体を 7 KHz 帯で共振するような構造にする事でより検出の再現性等の向上が望める可能性がある。)

## 4. おわりに

ボルト締付けトルクと加振周波数との関連試験で M10, M12, M20 のボルトと専用ワッシャー等を用いて加振試験を行った。

締付けトルクと加振時の検出スペクトルの関連性は試験で確認する事ができた。単純な検出スペクトルが発生するのではなく、締付けの状況や測定箇所など様々な条件で検出スペクトルの発生のしかたが異なり、従来の振動計での検出スペクトルの検出は困難である。加振方法の工夫と周波数解析により、ボルト締付けトルクを推定できると考える。