

# ねじ締結部の打撃音に及ぼす締付け力と潤滑条件の影響

室蘭工大 ○齊当 建一 松本 大樹 瀧本 森  
北海道地域暖房(株) 運上 隆彦

## 要旨

装置の長期安全運転を考える上で重要となるボルト接合部の検査方法のひとつにハンマー打撃法がある。この方法は、速い検査速度を持つ一方、作業者の経験による判断のため、検査結果を定量的に示すことができない。本研究ではねじの緩みと打撃音の関係を定量的に示すため、一体丸棒とねじ締結部を設けた丸棒の打撃音の比較を行った。その結果、ねじ付の丸棒での軸力と潤滑状態が打撃音に及ぼす影響を確かめることができた。

## 1. 目的

本研究では、ねじ締結部の打撃試験を行い、ねじ締結部のと打撃音の関係を求めるための基礎データの収集を目的とする。そこで、同一形状の一体丸棒とねじ締結部を設けた丸棒（以下ねじ付試験片）を用いて打撃音の比較を行なう。また、ねじ付試験片の軸力及びねじ締結部の潤滑状態と打撃音の関係を検討する。

## 2. 実験

### 2・1 実験装置及び実験方法

実験装置概要図を Fig.1 に示す。フォースセンサを取り付けた打撃棒により試験片を打撃する。このときに生じた打撃音をマイクで計測する。打撃音は試験片の打撃面と反対の端面から 0.3m の距離で計測し、試験片及びマイクは地面から 1m の高さで固定する。フォースセンサ及びマイクはそれぞれ計測器に接続されており、そのデータは PC へ送られる。測定した音響データは PC で STFT(Short-Time Fourier Transform)分析を行なう。軸力の測定は試験片に貼り付けたひずみゲージにより行なう。ねじ付試験片については、ねじ部の潤滑状態を無潤滑、マシン油潤滑およびシリコン油潤滑とし、各潤滑状態において軸力 F=0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000N でのデータを取る。

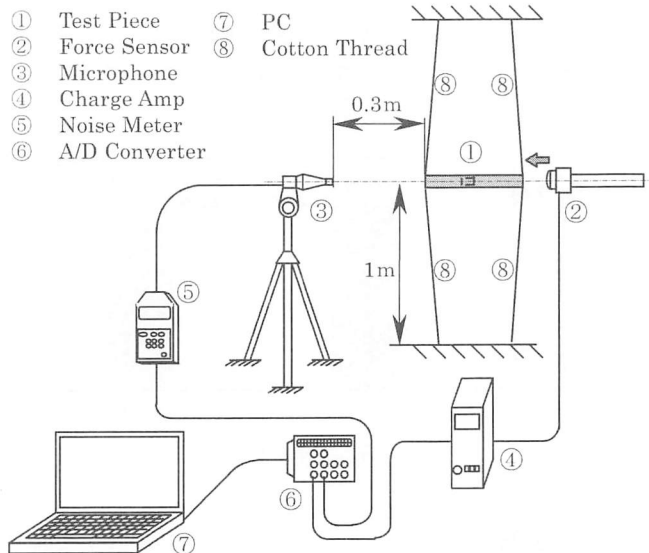


Fig.1 Experimental setup of impact test

### 2・2 試験片

試験片は一般構造用圧延鋼材 SS400 の丸棒材を使用する。試験片の形状は長さ 400mm、直径 20mm とする。ねじ付試験片は、締結された状態での形状を一体丸棒と同寸法とし、長さ方向中心部に M12 メートル並目ねじ、ねじ部長さ 15mm のねじ部を設ける。軸力測定のためのひずみゲージは、おねじ側試験片ねじ根元

部分に貼り付ける。

### 2・3 試験片の固有振動数

両端自由支持における棒の縦振動と横振動の固有振動数は、それぞれ以下の式で表される。

$$f = i \sqrt{\frac{E\rho}{2l}}, \quad (i = 1, 2, \dots)$$

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}, \quad (1 - \cosh \lambda \cos \lambda = 0)$$

ここで、 $E$  はヤング率、 $\rho$  は密度、 $l$  は棒の長さ、 $I$  は断面二次モーメント、 $A$  は断面積である。Table1 に、測定範囲の上限である 20kHz までの、試験片の固有振動数を示す。

Table1 Natural frequencies of test piece

	Natural Frequency [Hz]	
	Longitudinal	Transverse
1	6399	570
2	12799	1570
3	19198	3079
4		5089
5		7605
6		10622
7		14143
8		18167

## 3. 実験結果及び考察

Fig.2 に一体丸棒での打撃音の時間・周波数解析結果を示す。尚、このグラフは暗騒音を 40dB として、それ以上の音圧レベルのみを表示している。

Fig.2 をみると、一体丸棒においてピークとして表れる周波数は、Table1 に示した固有振動数(縦振動では 6399, 12799, 19198Hz, 横振動は 570, 1570, 3079, 5089, 7605, 10622, 14143Hz)とほぼ一致し、打撃後長い時間まで残っている。

ねじ付試験片では軸力 0N のときは打撃後わずかな時間で全ての周波数が消えるが、軸力を与えることで残響する周波数が表れることがわかった。また、ねじ付試験片では、一体丸棒に比べてどの周波数においても残響時間は短くなっていることがわかった。さらに、ねじ付試験片に現れる周波数成分は、一体丸棒の周波数成分とほぼ対応しているが、一体丸棒で計算された 14000Hz を越える高周波成分はねじ付試験片には発生しない傾向がみられる。

次に、ねじ付試験片において強く残響する固有振動数(縦振動では 6399Hz, 12799Hz, 横振動では 570Hz,

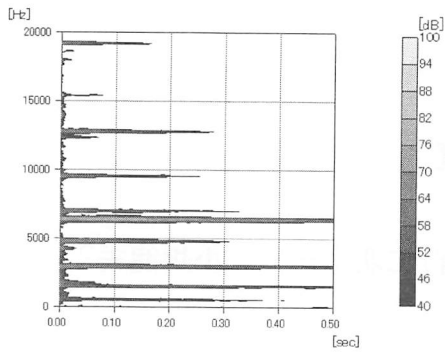


Fig.2 Spectrogram of impact sound  
(Solid bar, impact force 1501N)

1570Hz, 3079Hz, 5089Hz, 7605Hz, 10622Hz)について、軸力と残響時間の関係を Fig.3 に示す。

Fig.3 において、(a)は無潤滑状態、(b)、(c)はそれぞれマシン油潤滑状態、シリコン油潤滑状態であり、各点は打撃力約 1500N のデータをプロットし、残響時間は、音圧レベルが 40dB まで低下する時間を示している。(ただし、STFT 解析の条件により、残響時間の測定は最大で 0.645sec とした.)

軸力 0N のときは全ての周波数が打撃後 0.1sec 以内に音圧レベルが 40dB 以下になるが、軸力が生ずると 12799Hz, 1570Hz が長く残るようになることがわかった。そのほかの周波数においても、軸力の増加とともに残響時間が長くなることがわかる。また、ほぼ全ての固有振動数は軸力の増加とともに残響時間が長くなるのに対し、12799Hz は軸力が増加しても残響時間に大きな変化は見られなかった。

潤滑状態による違いでは、マシン油潤滑では無潤滑状態よりも全体的に残響時間が長くなることがわかる。また、6399Hz, 7605Hz は無潤滑状態では大きな軸力でのみ長く残響するが、マシン油潤滑では小さい軸力から長い残響時間を示し、570Hz はマシン油潤滑では軸力 4000N 以上において長く残響していることがわかった。更に、シリコン油潤滑では 570Hz, 1570Hz が油潤滑よりも小さな軸力から長い残響時間を示しているが、他の周波数の残響時間は無潤滑状態に近い値を示した。また、シリコン油潤滑のみ軸力の増加に伴う残響時間の変化は、他の潤滑状態に比べて小さいことがわかった。また、無潤滑状態、シリコン油潤滑では横振動の固有振動数の残響が安定せず、再現性は得られなかったが、マシン油潤滑では全ての振動数において再現性が良く、軸力の変化と残響時間の関係がきれいに現れることがわかった。

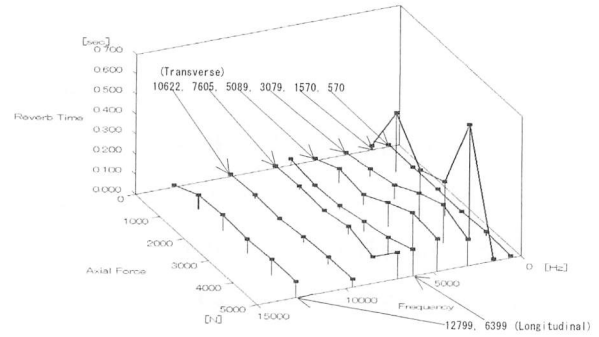
Fig.4 に軸力 3000N, マシン油潤滑における、打撃力と強く残る周波数の残響時間の関係を示す。打撃力が 1000N から 2000N まで変化してもそれぞれの周波数の残響時間はほぼ同じであった。このことより、打撃音の残響時間は、打撃力の大きさによらないことがわかった。

#### 4. 結言

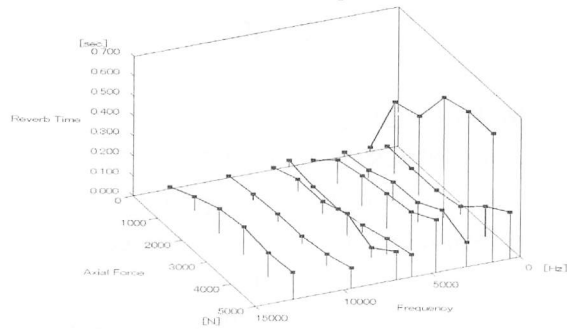
ねじ付試験片を打撃することによって発生する音響特性を調べた結果、以下のことが明らかになった。

(1) ねじ付試験片に現れる周波数成分は、高い周波数を除けば、一体丸棒の周波数成分とほぼ対応している。

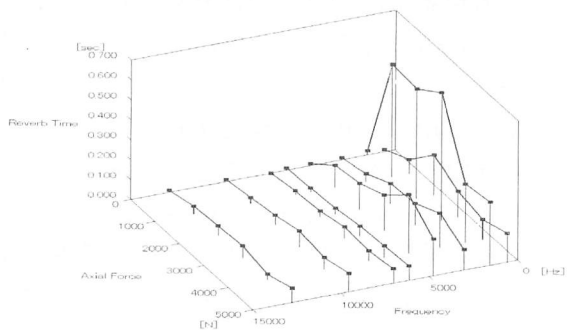
- (2) ねじ締結部の軸力が増加すると、残響時間が長くなるが、打撃力の違いは残響時間に影響しない。
- (3) 軸力の変化に伴う残響時間の変化は、ねじ締結部の潤滑状態により異なる。
- (4) ねじ締結部がマシン油潤滑されている場合は、無潤滑及びシリコン油潤滑状態に比べ、横振動の残響が安定する。



(a) non lubrication, impact force about 1500N



(b) oil lubrication, impact force about 1500N



(c) silicone lubrication, impact force about 1500N

Fig.3 Reverberation time of the natural frequencies on each axial force

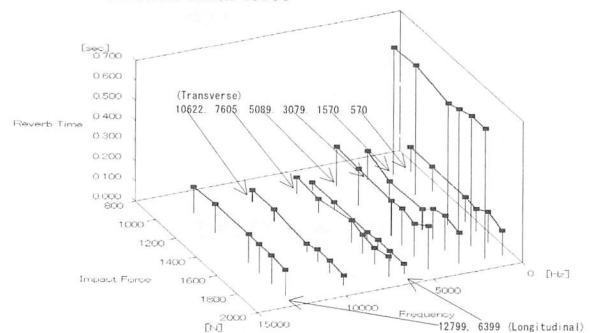


Fig.4 Reverberation time of the natural frequencies (oil lubrication, axial force 3000N)