

611 日本刀の振動特性解析

Vibration characteristic analysis of Japanese sword

○豊東 宣行 (室蘭工大院) 正 臺丸谷 政志 (室蘭工大) 正 藤木 裕行 (室蘭工大) 塩崎 修 (室蘭工大)

Nobuyuki BUNDOU, Masashi DAIMARUYA, Hiroyuki FUJIKI and Osamu SHIOZAKI

Muroran Institute of Technology, Mizumotocho27-1, Muroran, Hokkaido

Key words: Japanese sword, *Mekugiana*, *Wantou* model, Vibration, Maximum amplitude

1. 緒言

日本刀 (the Japanese sword) は独自の形態と機能を備えた我が国特有の武器であり、同時に我が国における最も優れた美術工芸品の一つである。日本刀の製作においては刀身の製作技術とともに育まれた高度な研磨技術や外装の装飾技術があり、様々な専門家たちによる多くの技術の集合・複合によって日本刀は完成される⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

一方、日本刀製作における「折返し鍛錬」と材料特性の異なる和鉄を組み合わせ鍛接する「造り込み」に関する材料学的研究や焼入れによる反りの工学的研究から日本刀が現代科学の理にかなったものであることが明らかにされている^{(4),(5)}。

本来武器として用いられる日本刀の刀身と柄の接合は、直径数ミリメートル程度の目釘と呼ばれる竹釘一本を刀身と柄にそれぞれ空けられた目釘穴に通すことによって接合されているだけである。これで激しい打ち合いに耐えられるとすれば、このことは接合技術の観点からも改めて注目すべき伝統的技術であると言えるかも知れない。

本研究では、反りを有する打刀を模擬した彎刀モデルを用いて、日本刀が激しい打ち合いにおいても何故竹の目釘一本で刀身が柄に留められ得るのかまた破損しないのか衝撃工学的な観点より検討を行った。

2. 二次元彎刀モデルによる衝撃実験

日本刀は造り込みによって複雑な内部構造を持ち、反りを有しかつ刀身軸線に沿って断面積が変化している。よって実験には、問題を簡単にするため Fig.1 に示す鋼板 (磨き鋼材 SS400 相当) より作製した反り 24mm を有する刃長 700mm、一様な厚さ 6mm の二次元彎刀モデルを用いた。また日本刀の柄は朴(ほお)の木で作られており、和鋼である茎の剛性と柄木の剛性との間には一桁以上の差、比率で 20:1 程度の差があると考えられる。これらの状況を考慮し、ここでは最初の試みとして、柄を外した刀身モデルの衝撃実験を行った。また、日本刀が実際に受ける衝撃力は、その大きさや持続時間だけではなく、どの位置にどの角度から受けるか、あらゆる状況が考えられることから、本実験では Fig.2 に示すように、衝撃棒 (SS400 鋼棒、長さ 1000 mm、直径 10 mm) を切先から 100mm の物打ち位置および刃長中央の 350mm の位置にそれぞれ衝突させて、刀身モデルに入射する衝撃力の時間変動および刀身モデル各位置における刀身軸方向の応力変動を計測した。

刀身切先から 100mm および 350mm の位置に、それぞれ約 2.6m/s の速度で衝撃棒を衝突させて得られた衝撃力波形を

Fig.3 に示す。衝撃棒に貼付したひずみゲージより計測された衝撃応力波形に基づいて 2 点ゲージ法⁽⁶⁾ によって算定した刀身モデルへ入射する衝撃力の時間変動である。衝撃位置によって衝撃力波形が異なるが、両者とも衝撃持続時間は 0.45ms 程度になっている。

なお、これらの入射衝撃力を受けた刀身モデルにおいて Fig.4 に示されるように切先より 100mm、200mm、350mm の棟側および目釘穴位置の棟側と刃側の計 5 箇所において応力変動を計測した。

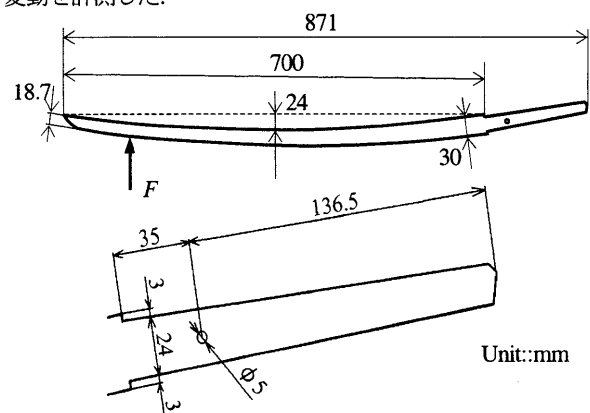


Fig.1 Japanese sword model with *sori* used in impact experiment and numerical simulation.

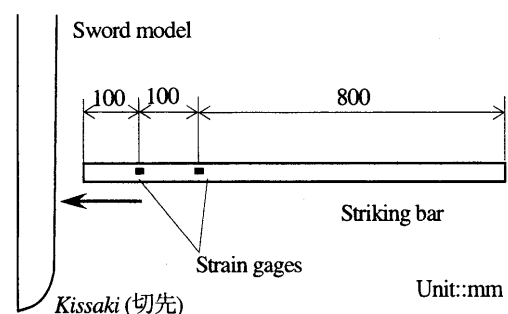


Fig.2 Japanese sword model subjected to impact by a striking bar.

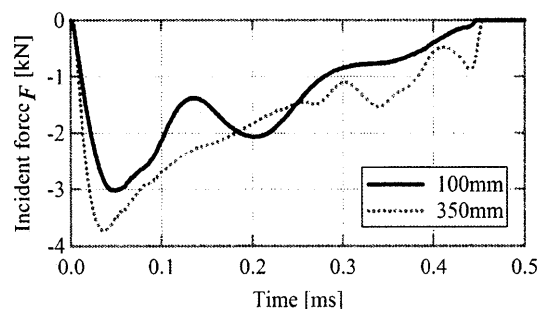


Fig.3 Incident force into a sword model at each location by impact of a striking bar.

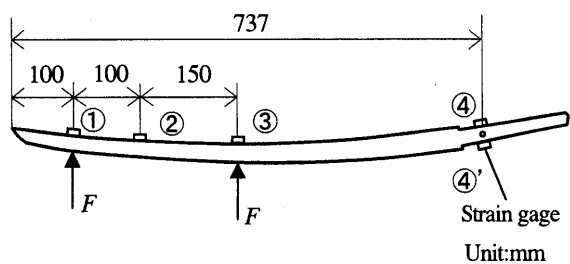


Fig. 4 Gage positions where stress waves were observed.

3. 衝撃応答の数値シミュレーション

Fig. 3 で得られた入射衝撃力に基づいて解析コード LS-DYNA を用いて、刀身モデルの衝撃応答の数値シミュレーションを行い、実験結果との比較を行った。なお彎刀モデル材料の機械的性質は均質等方で、縦弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、密度 $\rho=7.85 \times 10^3\text{kg/m}^3$ 、ポアソン比 $\nu=0.29$ として数値計算を行った。

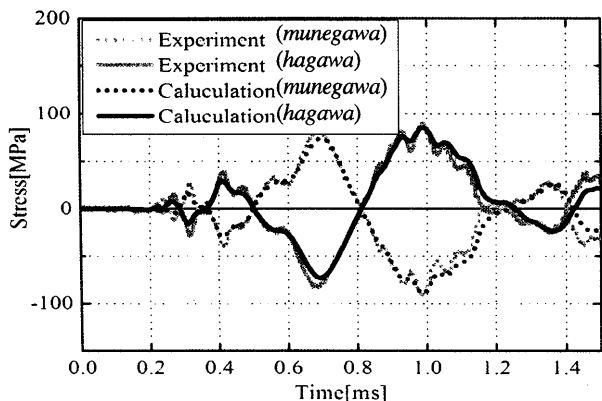


Fig.5 Comparison of measured stress waves and simulated ones at upper and lower positions of mekugi-ana location. (at impact point of 100 mm from Kissaki)

Fig.5 に、切先より物打ち 100mm の位置に衝撃を受ける場合の目釘穴位置における刀身軸方向応力の時間変動を示す。応力変動に関する測定結果と数値シミュレーション結果はよく一致しており、応力の時間的変動に関する数値シミュレーションの妥当性が確認される。

次に、Fig. 6 に切先より物打ち 100mm の位置に衝撃を受ける場合の各部位（切先、目釘穴および茎尻）における刀身軸と垂直方向の振動振幅の時間的変動を示す。結果よりほぼ周期的な変動を示しており、切先と茎尻に対して目釘穴位置の振幅が比較的小さくなっていることがわかる。

Fig. 7 に、このときの変位の時間的変動により得られた刀身各位置における振幅の最大幅を算出した結果を、刀身中央（切先より 350mm 位置）に衝撃を受けた場合と共に示す。この結果より切先および茎尻では大きな振幅となっており、中央付近でも比較的大きな振幅となっている。一方、切先より 200mm 付近、目釘穴の位置および区付近では振幅が相対的に小さくなっていることがわかる。

この結果により衝撃力を受ける刀身位置および衝撃力波形が多少異なっても刀身各部位では同様な振幅分布を示すことがわかる。

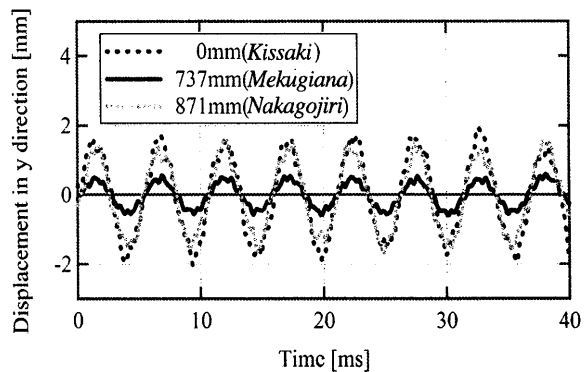


Fig.6 Variation of displacement with time at each position (at impact point of 100mm from Kissaki)

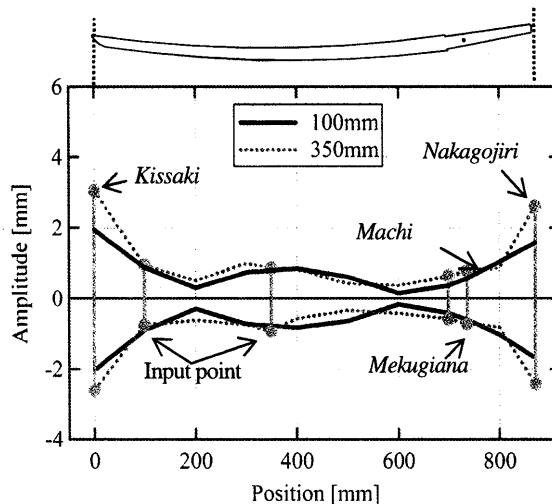


Fig.7 Comparison of amplitudes for difference of impact point 100mm and 350mm from Kissaki.

4. 結言

本研究では、目釘による日本刀の接合に関して、日本刀が激しい討ち合いにおいても何故目釘竹一本で柄に留められ得るのかの検討を、刀を模擬した二次元彎刀モデルを用いた衝撃実験と数値シミュレーションにより行った。

これにより衝撃を受けている時間、衝撃を受ける刀身位置および衝撃力波形が異なっても、刀身各部位で振幅の最大幅の分布はほぼ同じとなり、目釘穴から区付近における振幅は他の部位に比べて相対的に小さくなるという結果を得た。この結果より、目釘穴位置において目釘竹の変形強度を超えるような大きな負荷は作用しない可能性があるかと推定される。

参考文献

- 1) 柴田光男, 刀剣ハンドブック, (1993), 光芸出版.
- 2) 鈴木卓夫, 作刀の伝統技法, (1997), 理工学社.
- 3) Leon and Hiroko Kapp, Yoshindo. Yoshihara, The Craft of the Japanese Sword, (1987), Kodansha International.
- 4) 長谷川熊彦, わが国古代製鉄と日本刀, (1977), 技術書院.
- 5) 井上達雄, まてりあ, 35-2, pp.174-178 (1996).
- 6) M. Daimaruya, et al., J. Japan Soc. Strength. Fracture Materials, 30-1, pp.1-23 (1996)