

605 日本刀の力学的研究

Dynamics of the Japanese sword (*Tachi*)

○ 学 玄羽 弘宜 (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)

Hiroyoshi GENBA, Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto, Muroran, Hokkaido
Masashi DAIMARUYA, Muroran Institute of Technology

Hiroyuki FUJIKI, Muroran Institute of Technology

Osamu SHIOZAKI, Muroran Institute of Technology

Keywords :Japanese Sword, *Mekugi-take*, Impact Force, Impact Response, Vibration amplitude

1. 緒言

日本刀は、太刀、刀、脇差、短刀、薙刀、剣、槍などの総称であり、1000年余りの歴史の中で、その時代の戦闘形態の変化に伴い少しずつ変化し、また同時に進化してきた^{1), 2)}。今日では美術工芸品として取扱われているが、本来は武器であり、武器としての性能を高めるために柔らかい心鉄の外側を硬い皮鉄で包み込む「造り込み」や「焼き入れ」の技術により日本刀は折れず、曲がらず、よく斬(き)れると表現される性質を持っている^{3), 4)}。日本刀が武器として使用される場合、斬り合いにおいて刀身は激しい衝撃荷重を受けると考えられる。日本刀の刀身と柄の接合は、目釘と呼ばれる直径数ミリ程度の竹のピン 1 本のみでなされているが、竹目釘は容易に破損しない。

本研究では激しい打ち合いにおいてもなぜ竹目釘 1 本で刀身が柄に留められるのかを、日本刀(太刀)を用いた衝撃実験および数値シミュレーションによって検討を行った結果について報告する⁵⁾。

2. 日本刀

2.1 日本刀と実験装置

本研究では、「造り込み」、「焼き入れ」により複雑な内部形状と反りを持つ日本刀を用いて衝撃実験を行った。Fig.1 に本研究で用いた日本刀の形状・寸法を示す。刀身のみの重量が 837g で、刀長は二尺三寸(700mm), 反りが六分五厘(19.5mm)の太刀を使用した。Fig.2 に外装品の重量と詳細を示す。外装品の総重量は 336.4 g であり、以下刀身に外装品がついた状態を拵(こしらえ)と呼ぶ。また日本刀ができるだけ拘束されていない状態を再現するために目釘穴に綿糸を通し、やぐらに吊るした状態で実験を行った。なお、刀身のみの場合と太刀拵の場合について衝撃実験を行った。

2.2 衝撃実験

本実験では、Fig.3 に示すように、刃側部分の切先から 100mm の位置を衝撃位置として衝撃棒(銅棒、長さ 1000mm, 直径 10mm)を、約 2.6m/s の衝撃速度で衝突させた。衝撃棒には、衝撃端面から 100mm, 200mm の位置に軸対称に貼り付けた 2 枚のひずみゲージより応力を求め、2 点応力測定法⁶⁾を用いて日本刀に入射した衝撃力を算出した。

太刀の各部位の衝撃変位の時間変動はレーザ変位計を用いて測定した。測定位置は日本刀の棟側の切先から 10mm, 100mm, 200mm, 300mm, 400mm, 500mm, 600mm, 700mm, 765mm, 820mm, 880mm, の計 11箇所で、拵え状態では 955mm の位置を追加し計 12箇所で測定した。

2.3 数値シミュレーション

日本刀解析モデルは 3 次元 cad ソフトを用いて作成し、数値シミュレーションは有限要素コード LS-DYNA

を用いた。衝撃実験により得られた入射衝撃力を用いて数値シミュレーションを行った。解析条件は、衝撃負荷以外の外力および拘束は受けないものとした。3 次元解析モデルの材料の機械的性質は、縦弾性係数 $E=206\text{GPa}$, 密度 $\rho=7.85\times10^3\text{kg/m}^3$, ポアソン比 $\nu=0.28$ として数値計算を行い、実験結果との比較を行った。

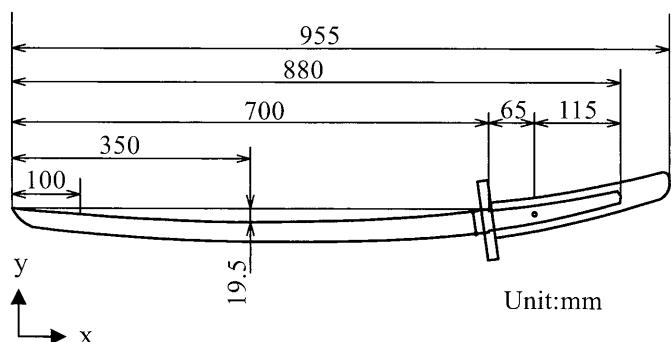
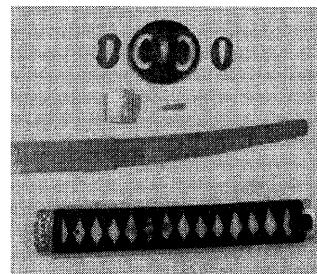


Fig.1 Japanese sword



鐔(つば) <i>Tuba</i>	119.3 g
柄(つか) <i>Tuka</i>	162.1 g
切羽(せっぱ) <i>Sppa</i>	9.0 g
はばき <i>Habaki</i>	36.5 g
目釘 <i>Mekugi</i>	0.5 g

Fig.2 Parts of *Koshirae*

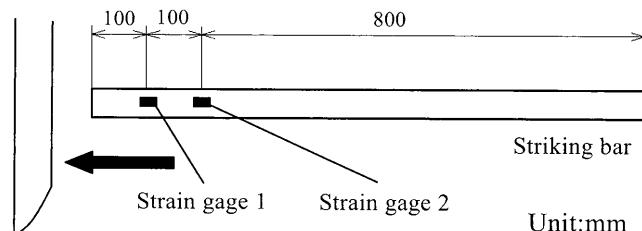


Fig.3 Japanese sword subjected to impact by a striking bar

3. 刀身のみの実験および解析結果

Fig.4 に入射位置 100mm における刀身のみの場合と拵え状態での入射衝撃力を示す。ただし、拵え状態での衝撃力は第 4 章で扱う。刀身のみの場合の衝撃持続時間は 0.6ms 程度となっており、最大入射衝撃力は 2.5kN 程度となっていることがわかる。実験により得られた入射衝撃力を数値シミュレーションに用いた。

Fig.5 に衝撃実験により得られた刀身各位置の振動を

示す。各位置でほぼ周期的な変動を示しており目釘穴位置の振幅は、切先や茎(なかご)尻の振幅に比べ比較的小さくなっている。

また、刀身各位置における最大振幅分布を実験・解析結果の比較図として Fig.6 に示す。実験・解析結果共に刀身各部位において同じ傾向の振幅分布となっている。切先、茎尻位置での振幅は大きくなり、逆に切先から 200mm の周辺や目釘穴付近の振幅は小さくなる傾向が得られた。また目釘穴付近の振幅を詳しく見ると振幅が一番小さくなっている箇所は目釘穴部分ではなく目釘穴部分から 65mm 離れた区(まち)と呼ばれる箇所が最小振幅となっている。

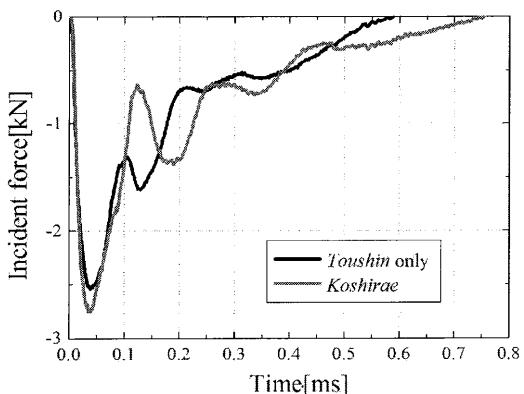


Fig. 4 Incident force into Japanese sword

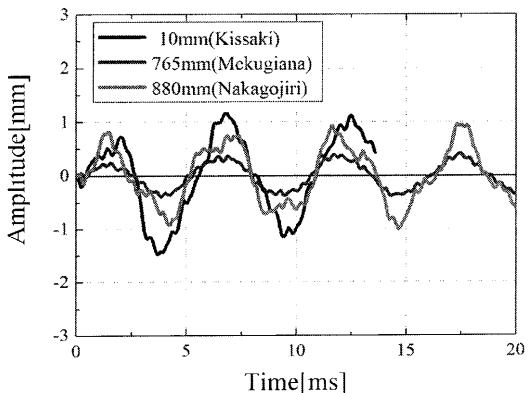


Fig. 5 Variation of displacement with time at each position by experiment

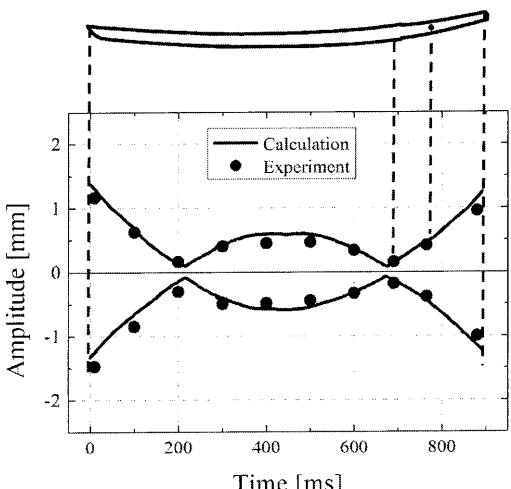


Fig. 6 Comparison of maximum amplitude for calculation and experiment

4. 太刀柄の実験結果

次に、刀身に外装品を装着した拵えの状態で衝撃実験を行った。Fig.4 に入射位置 100mm における拵え状態での入射衝撃力を示す。刀身のみの場合と比べ、最大入射衝撃力は 2.75kN とやや大きく、衝撃持続時間は 0.75ms と長くなっている。

Fig.7 に刀身のみと拵えの場合での最大振幅分布の実験結果の比較図を示す。拵え状態の最大振幅を見ると茎部分や切先部分の振幅が刀身のみの状態に比べ比較的小さくなっている。また、全体の傾向を見ると刀身のみの場合と同じように切先から 200mm の位置と目釘穴付近の振幅は小さくなっている。さらに目釘穴付近の振幅を詳しく見ると、刀身のみの場合に比べ、拵え状態の目釘穴部分の振幅がより小さい箇所に位置しているのが分かる。これらの結果より、刀身のみの場合では最小振幅位置は区部分であったが、拵え状態では最小振幅位置が目釘穴位置に移動することがわかる。このことから、日本刀は刀身のみで扱うよりも実用に供せられる拵状態の方が、目釘にかかる負荷は小さくなるのではないかと推測される。

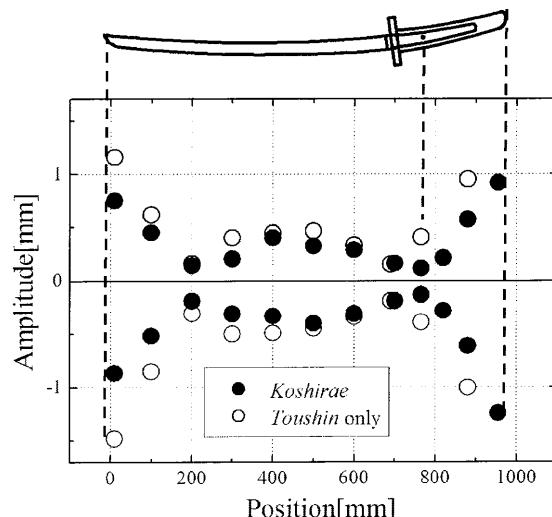


Fig. 7 Comparison of maximum amplitude for Koshirae and Toushin only

5. 結言

本研究では、日本刀が激しい打ち合いにおいても何故竹目釘一本で柄に留められ得るのかを調べるために、太刀を用いて衝撃実験と数値シミュレーションを行った。目釘穴付近における振幅は他の部位に比べて小さくなること、また拵えでの状態では、刀身のみの場合と比べて目釘穴部分の振幅が、最小になる結果が得られた。このことから日本刀に大きな衝撃力が生じても竹目釘は変形強度を超えるような大きな負荷は作用しないと考えられ、竹目釘は容易に破断しないと推測される。

参考文献

- 1) 長谷川熊彦, わが国古代製鉄と日本刀, 技術書院,(1977)
- 2) 柴田光男, 刀剣ハンドブック, 光芸出版, (1993)
- 3) 井上達雄, までりあ, 35-2, pp.174-178(1996).
- 4) 鈴木卓夫, 作刀の伝統技法, 理工学社, (1994),
- 5) M.Daimaruya, Impact Response of the Japanese Sword Model, Inspection Engineering, 11-5(2006)
- 6) M.Daimaruya, et.al., Japan Strength, Fracture materials, 30-1, pp.1-23(1996)