

736 浅い反りを有する日本刀モデルの衝撃応答

Impact Responses of a Model of the Japanese Sword with *Sori*

臺丸谷 政志（室蘭工大），小林 秀敏（大阪大学），藤木 裕行（室蘭工大）

Masashi DAIMARUYA, Muroran Institute of Technology, Mizumoto 27-1, Muroran

Hidetoshi KOBAYASHI, Oosaka University, Machikaneyama, Toyonaka

Hiroyuki FUJIKI, Muroran Institute of Technology, Mizumoto 27-1, Muroran

Key Words : Impact Response, Japanese Sword, Uchigatana-model, Mekugi-ana, *Sori*

1. 緒言

日本刀は1000年に及ぶ長い伝統歴史をもち、独自の形態と機能を備えた我が国特有の武器である。その機能美は武器としての機能を極限まで追求した極致であり、高い技術に基づく我が国における最も優れた美術工芸品の一つである⁽¹⁾。一方、日本刀に関する金属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⁽²⁾。

日本刀が武器として用いられる場合は当然激しい討ち合いも想定されるが、刀身と柄の接合は目釘と呼ばれる竹釘一本によってなされているだけである。一般に直径数ミリメートル程度の目釘竹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。これで激しい打ち合いに耐えられるとすれば、これ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。前報⁽³⁾⁽⁴⁾では激しい討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、直刀モデルを用いて衝撃工学的な観点より検討を行った。

本研究では、打刀を模擬した反りを有する彎刀モデルを用いて同様な衝撃実験および数値シミュレーションを行った。

2. 日本刀の構造と各部の名称

日本刀の「折れず・曲がらず・良く斬れる」という性質は、外側を硬い皮鉄で包み、中に柔らかい心鉄を入れて刀身を作り、刃の部分（刃鉄）を焼き入れすることで実現されている。このように性質の異なる鋼を組み合わせて刀身を作ることを造り込みと言う。日本刀は、造り込み、素延べ、切先の打ち出し、火造り、仕上げ等によって姿が整えられ、焼刃土を土置きした後焼入れされる⁽⁵⁾。焼入れによって刃の部分がマルテンサイト変態して刃文が現れ、このとき変態に伴う体積膨張によって刀身に反りが生じ、刃の部分には残留圧縮応力が生じる⁽²⁾。

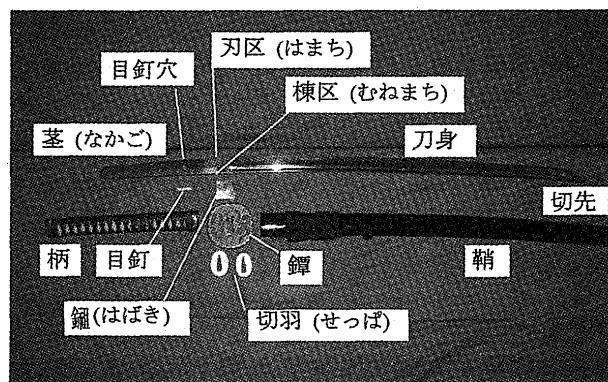


Fig. 1 Parts of the Japanese sword.

Fig.1 に刀の各部の名称を示す。刀身を二分して、区（まち）より上の部分を身（み）または上（かみ）、区から下の部分を茎（なかご）と呼んでいる。目釘穴は茎の区寄りに空けられ、竹目釘の挿入によって刀身と柄は接合される。

3. 彎刀モデル

日本刀は前述のように複雑な内部構造を持ち、姿形は優美な反りを有しあつ軸線に沿って断面積が変化している。本研究では、問題を簡単にするため鋼板より作製した反りを有する2次元彎刀モデルに関して、衝撃応答実験と解析コード LS-DYNA を用いて衝撃応答シミュレーションを実施した。

鋼板（磨き鋼材 SS400 相当）から切出し作製した彎刀モデルを Fig.2 に示す。刃長2尺3寸（700mm）、反り8分（24mm）の打刀を模擬した一様な厚さ6mm の彎刀モデルである。

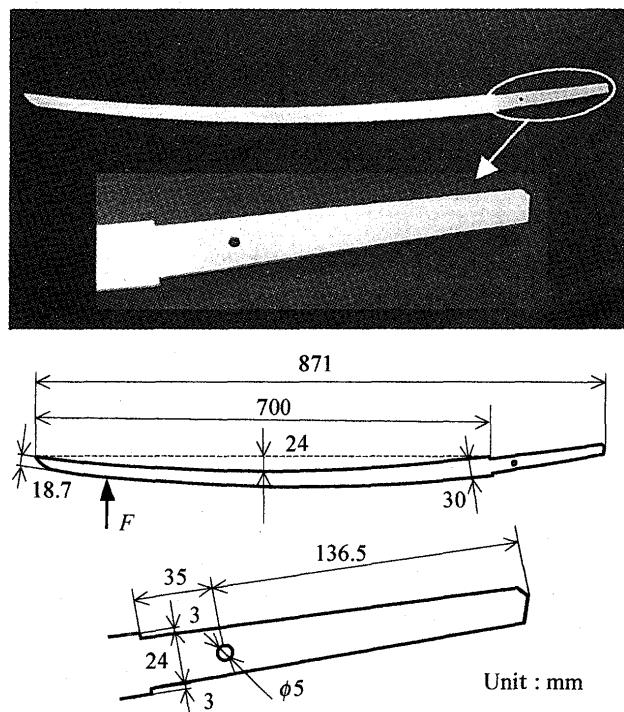


Fig. 2 Katana model with *sori* used in impact experiment and numerical simulation.

4. 彎刀モデルによる衝撃実験と数値解析

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。本実験では、Fig.3 に示すように、衝撃棒（SS400 鋼棒、長さ 100 cm、直径 10 mm）を切先から 10cm の物打ち

位置および刃長中央の 35cm 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応力変動を計測した。

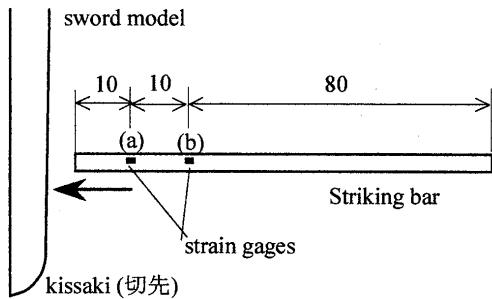


Fig. 3 Japanese sword model subjected to impact by a striking bar.

刀身切先から 10cm および 35cm の位置に衝撃棒を衝突させて得られた衝撃力波形を Fig.4 に示す。衝撃棒に貼付した Fig.3 に示すひずみゲージ(a),(b)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ことがわかる。

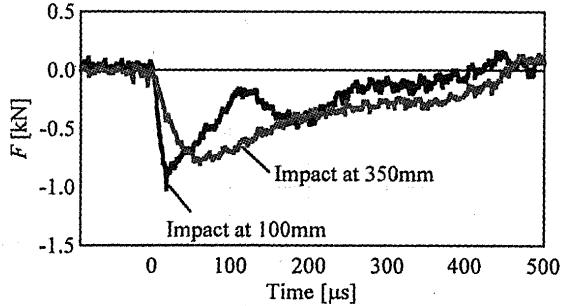


Fig.4 Incident force into a sword model at each location by impact of a striking bar.

この入射衝撃力に基づいて彎刀モデルの衝撃応答の数値シミュレーションを行った。数値計算において、刀身材料の機械的性質は、縦弾性係数 $E = 206 \text{ GPa}$ 、質量密度 $\rho = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、ポアソン比 $\nu = 0.29$ とした。刀身は掠でも白鞘でも茎を柄に差し込み目釘竹で留められる。柄は朴（ほお）の木で作られ、鮫皮が着せられ柄糸が巻かれている。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。これらの状況を勘案して、数値計算において刀身は衝撃負荷以外の外力および拘束は受けないと仮定した。

数値解析例を以下に示す。切先より物打ち 10cm 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 Fig.5 に示す。高周波成分が重畠しているがほぼ周期的な変動を示しており、切先と茎尻で大きな振幅となっているが目釘穴位置の振幅は比較的小さくなっている。

また、このときの変位の時間的変動より得られた刀身各位置における振幅の最大幅を Fig.6 に示す。切先や茎尻で大きな振幅となっており、また中央付近でも比較的大きな振幅となっている。一方、目釘穴の位置および区（まち）の付近で振幅が相対的に小さくなっていることがわかる。

Fig.7 に衝撃棒を刀身中央 35cm の位置に衝突させた場合の刀身各位置における振幅の最大幅を示す。Fig.6 とはほぼ同じ振幅分布となっており、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いても、刀身各部位で同様な振幅分布と

なることがわかる。

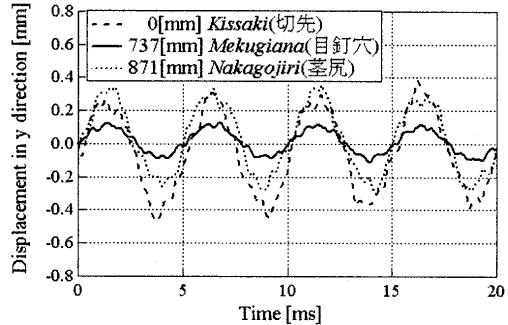


Fig.5 Variation of displacement with time at each position.
(at impact point of 100mm from kissaki)

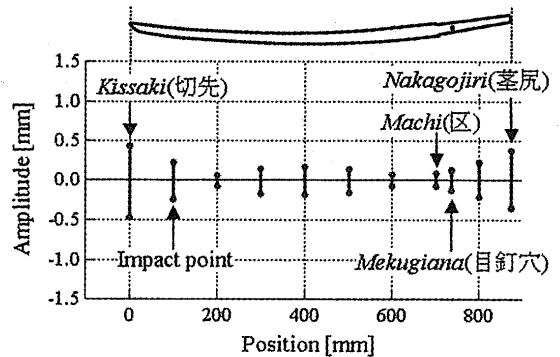


Fig.6 Amplitude at each position along toshin.
(impact of 100mm from kissaki)

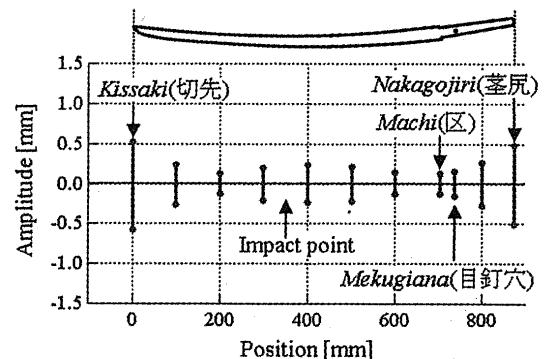


Fig.7 Amplitude at each position along toshin.
(impact of 350mm from kissaki)

本研究では、比較的浅い反りを有する彎刀モデルに関して、衝撃実験と衝撃応答シミュレーションを行った。衝撃位置および衝撃力波形が異なっていても、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（まち）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結果を得た。

参考文献

- (1) 柴田光男,刀剣ハンドブック(1993),光芸出版.
- (2) 井上達雄, 機械学会誌, 97-903, pp.132-135 (1994).
- (3) 臺丸谷政志, 小林秀敏, 藤木裕行, 第 8 回材料の衝撃問題シンポジウム講演論文集, pp.57-60 (2005).
- (4) 臺丸谷政志, 檢査技術, 11-5, pp.12-16 (2006).
- (5) 鈴木卓夫, 作刀の伝統技法, (1997), 理工学社
- (6) M.Daimaruya, et al., J. Japan Soc. Str. Fracture Mats., 30-1, pp.1-23 (1996).