

## レーザ孔を有する鋼板の疲労強度

法政大学 正会員 森 猛 長岡技術科学大学 正会員 岩崎 英治  
高田機工(株) 正会員 山野 達也 川崎重工(株) 高坂 正人

## 1. はじめに

橋梁用鋼板の切断方法として、ガス切断法、プラズマアーク切断法およびレーザ切断法が一般的である。この中でレーザ切断法は、最も加工精度が良く、歪みを少なくする切断方法として用いられている。また、最近、板厚が 20mm を越える切断能力を持ったレーザ切断機の開発がされた。このことより、レーザ切断機を導入する工場が多くなっている。レーザ切断技術には、輪郭切断の他に、板厚とほぼ同等の孔あけが可能である。しかし、レーザによる孔あけは切断後レーザを抜く際に円孔にノッチが生じやすいという特徴がある。本研究では、レーザ孔に生じるノッチの形状を調べるとともに、その位置や大きさが疲労強度に及ぼす影響を明らかにする目的で、レーザ孔を有する鋼板の疲労試験と FEM 応力解析を行った。

## 2. 試験体

本研究で用いた鋼材は、SM490YB である。試験体の孔あけ径は、高力ボルト M22 用の  $\phi 24.5\text{mm}$  とした。孔あけには、レーザ加工の比較としてドリル加工も行った。鋼材表面は、ブラスト処理を行い、ドリル加工については、バリ取りも行っている。試験体形状を図-1 に示す。また、試験体は、レーザ孔のノッチ位置を変えた 4 種類の試験体とドリル孔を有する試験体の計 5 種類で行った。ノッチ位置は、試験体長手方向線を基準として 0, 30, 60, 90 度とした。ノッチ位置を図-2 に示す。また、表-1 に試験体を加工したレーザ孔加工条件を示す。

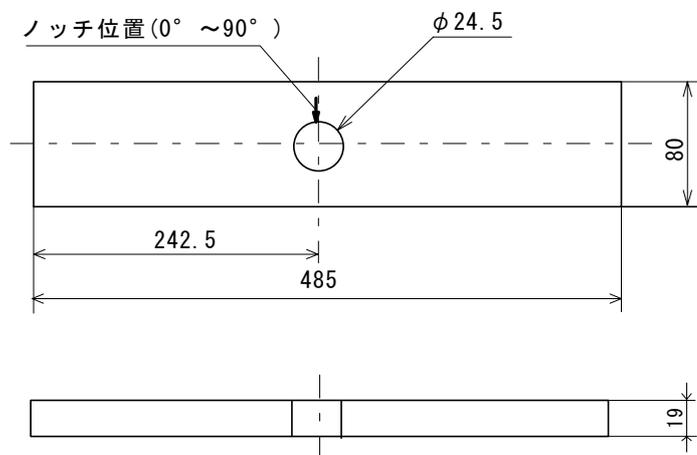


図-1 試験体形状

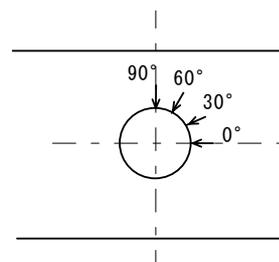


図-2 ノッチ位置

表-1 レーザ孔加工条件

切断材料	板厚	出力 (W)	切断速度 (mm/min)
SM490YB	t19mm	4300	800
仕様			
発振器最大出力	6000W		
切断ノズル	C20D (穴径 $\phi 2.0\text{mm}$ )		
アシストガス	酸素(純度99.7%以上) 圧力0.3kg/cm <sup>2</sup> 流量10m <sup>3</sup> /h		
集光レンズ	2.0" DIA - 8.75" FL		

## 3. ノッチ形状の測定

写真-1 にレーザ孔の孔壁に生じたノッチの例を示す。ノッチは鋼板表面（レーザ照射面）から板厚方向に向かうにつれ深く、広がっている。ノッチの深さと幅をモデリングコンパウンドで測定した。ノッチの深さは約 0.2~2.5mm の範囲にあり、その値は幅の 1/2 程度以下であった。また、ノッチ以外にも円孔壁面に、縦に微小なラインが観察された。

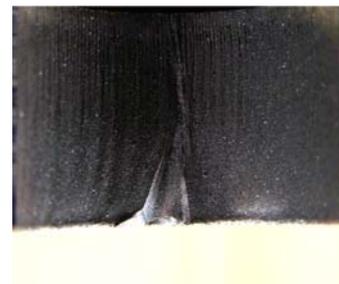


写真-1 レーザ孔壁のノッチ

キーワード：レーザ加工，疲労試験，応力解析

〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 TEL 042-387-6279 FAX 042-387-6124

4. 疲労試験

疲労試験には、動的能力±500 k N の電気油圧サーボ式材料試験装置を用い、上限荷重を 400 k N (263.2N/mm<sup>2</sup>) とした片振り繰り返し荷重下で行った。繰り返し荷重は試験体長手方向に 80N/mm<sup>2</sup>、100N/mm<sup>2</sup>、140N/mm<sup>2</sup> 程度の応力範囲が生じるように载荷した。それぞれの応力範囲に対し各試験体 2 体ずつを疲労試験に供した。繰り返し速度は  $\Delta \sigma = 80\text{N/mm}^2, 100\text{N/mm}^2$  で 10Hz、 $\Delta \sigma = 140\text{N/mm}^2$  で 7Hz である。疲労試験結果は、

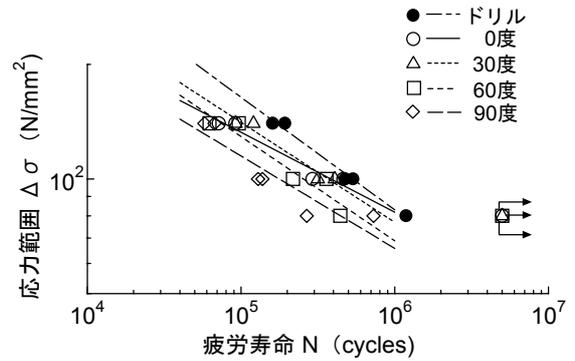


図-3 疲労試験結果

総断面応力として図-3 に示す。疲労強度は、ドリル孔試験体で最も高く、次いで 0 度試験体と 30 度試験体、60 度試験体、90 度試験体の順となっている。疲労亀裂の起点は、90 度試験体でノッチ部であったものの、0 度と 30 度試験体では円孔壁のほぼ中央であった。60 度試験体では、両者が混在した。

5. 応力解析

疲労試験に用いた各試験体を対象とし、ソリッド要素を用いた FEM 解析を行った。レーザ孔には、円孔にノッチを模擬した半円形の切欠きを設け、その半径を 0.5mm、1mmあるいは 2mmとした。要素分割図の例を図-4 に示す。なお、レーザ孔の壁に生じている微小なラインは考慮していない。また、ノッチの大きさは、板厚方向で変化させていない。図-5 に解析より求めたノッチ部の応力集中係数を示す。図中には、ノッチがない場合の円孔壁中央での応力集中係数も示している。0 度、30 度モデルでは、いずれのノッチ深さにおいてもノッチ部の応力集中係数は円孔壁中央よりも低く、60 度と 90 度モデルでは高い。これは、先に示した疲労破壊起点の傾向と一致している。また、60 度と 90 度モデルでは、ノッチが深くなるにしたがって応力集中係数が低くなっているものの、その傾向は 90 度モデルで顕著である。図-6 にノッチ半径 0.5mm におけるノッチ角度 0 度と 90 度の応力コンター図を示す。

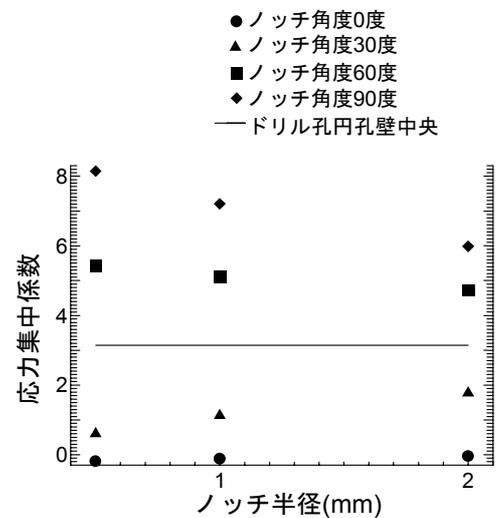


図-5 ノッチ部の応力集中係数

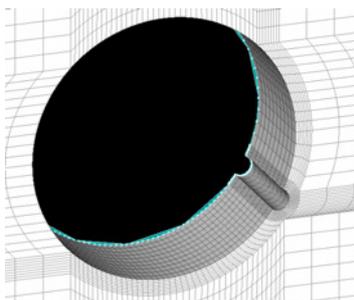
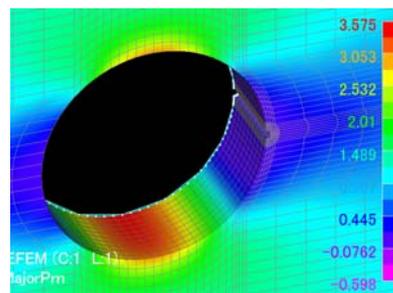
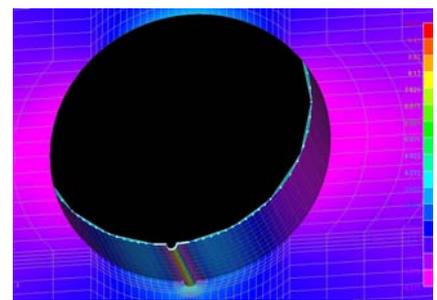


図-4 要素分割図の例



(a) ノッチ角度 0 度, ノッチ半径 0.5mm



(b) ノッチ角度 90 度, ノッチ半径 0.5mm

図-6 応力コンター図

6. まとめ

本研究では、レーザー孔加工により円孔にノッチを有する鋼板を対象とし、疲労試験および応力解析を行った。その結果、ドリル孔加工より疲労強度は下がるが、ノッチ位置 0 度と 30 度では疲労亀裂の起点がノッチ位置とならないことが判った。また、応力解析によって 0 度と 30 度モデルでは、いずれのノッチ深さにおいてもノッチ部の応力集中係数は円孔壁中央よりも低くなることが判った。この結果を踏まえて、高力ボルト摩擦接合継手を対象とした疲労試験および応力解析を実施し、摩擦接合への適用を検討することとする。なお、本研究は、鋼橋技術研究会施工部会の活動の一環として行ったものである。