

レーザー孔を有する高力ボルト摩擦接合継手の疲労試験

法政大学 学生会員 ○大高 章広
法政大学 正会員 森 猛
高田機工(株) 山野 達也

1. はじめに レーザーによる鋼板切断加工は多くの橋梁製作工場で用いられている。レーザー切断には、非接触で工具の磨耗がない、他の熱加工であるガス切断やプラズマアーク切断に比べて加工精度がよい、ひずみが少ないなどの利点がある。また、レーザー切断は孔あけ加工にも適用可能である。しかし、道路橋示方書ではレーザーによる孔加工は認められておらず、ドリル加工を用いていることを基本としている。鋼橋部材の接合には、多数の孔を有する高力ボルト摩擦接合継手を用いられており、ボルト孔加工にレーザー切断が適用できれば、加工の効率化も期待できる。

レーザーで孔あけを行うと、孔周辺に硬化が生じるとともに、加工の始末端に溶損と呼ばれるきず（写真1）が生じる。溶損が鋼板の疲労強度に及ぼす影響については既に確かめられているが、高力ボルト摩擦接合継手のボルト孔として用いた場合の疲労強度は明らかとはされていない。本研究では、レーザー孔を有する高力ボルト摩擦接合継手の疲労強度を明らかにする、また疲労設計に用いる適切な疲労強度等級を示す目的で、レーザー孔あるいはドリル孔を有する鋼板を用いた高力ボルト摩擦接合継手の疲労試験を行う。さらに、溶損の位置が継手の疲労強度に及ぼす影響についても検討する。

2. 試験体 試験体は、鋼材に SM490YB、ボルトに F10T-M22 を用い、ボルト配列を 1 行 2 列とした 2 面摩擦の突合せ継手（図 1）である。レーザー加工によるボルト孔内の溶損位置は、図 2 に示すように引張応力方向に対して 0 度あるいは 90 度とした。以後、これを溶損角度と呼ぶ。試験体の種類は、孔加工方法、溶損角度、添接板と母板の溶損角度をパラメータとした、ドリル、L0 相反型、L0 一致型、L90 相反型、L90 一致型試験体の計 5 種類である。試験体の一覧を表 1 に示す。D と L はドリル加工とレーザー加工の区別を、0 と 90 は溶損角度を示している。また、母板と添接板の溶損位置を同じとした試験体を一致型、逆とした試験体を相反型と称している。

3. 疲労試験 疲労試験は、動的能力 500 kN の電気油圧サーボ式材料試験機を用い、下限荷重を 10kN とした片振り引張荷重下で行なった。その際の応力範囲（総断面応力範囲）は、250N/mm² あるいは 200N/mm² とした。

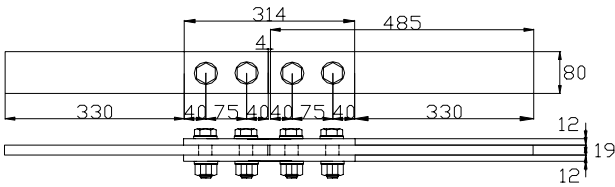


図 1 試験体

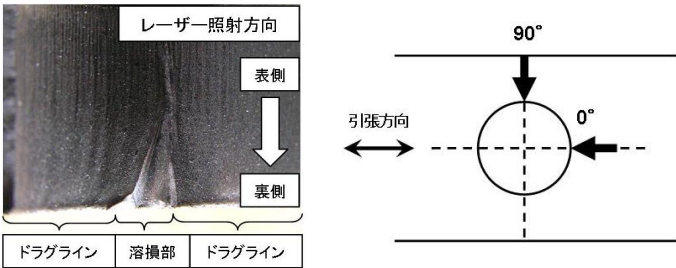


写真 1 レーザー孔内の溶損

図 2 溶損角度の定義

表 1 試験体の一覧

試験体名	溶損位置 (度)	母材・添接板の組み合わせ		応力範囲 (N/mm ²)
L0-1	0	一致型	上母材 下母材	250
L0-2			添接版 (2枚共通)	200
L0-3			上母材 下母材	250
L0-4			添接版 (2枚共通)	200
L0-5		相反型	上母材 下母材	250
L0-6			添接版 (2枚共通)	200
L0-7			上母材 下母材	250
L0-8			添接版 (2枚共通)	200
L90-1	90	一致型	上母材 下母材	250
L90-2			添接版 (2枚共通)	200
L90-3			上母材 下母材	250
L90-4			添接版 (2枚共通)	200
L90-5		相反型	上母材 下母材	250
L90-6			添接版 (2枚共通)	200
L90-7			上母材 下母材	250
L90-8			添接版 (2枚共通)	200
D-1	ドリル	-		250
D-2				200
D-3				250
D-4				200

応力範囲 250N/mm² の試験においては、いくつかの試験体にすべりが生じた。その際の荷重は、いずれも 380kN 程度であった。すべり係数に換算すると 0.46 となる。

いずれの試験体においても、疲労破壊は継手外側のボルト孔中央あるいはボルト孔から若干継手外側に離れた母板表面から疲労亀裂が発生し、破断に至っていた。破断した母板表面と疲労破面の例を写真 2 に示す。ドリル孔を有する試験体は、すべてボルト孔のほぼ中央付近から破断した。L90 試験体は、すべてボルト孔の溶損部から破断していた。L0 試験体の破断位置を表 2 に示す。L0 試験体

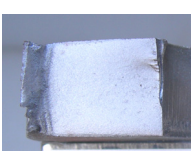
	破断位置	破面
ドリル孔		
L0 試験体		
L90 試験体		

写真2 試験体の破壊状況と破面

表2 L0 試験体の破断位置

試験体名	破断の様子	破断位置
L0-1		ドラグライン
L0-2		ドラグライン
L0-3		ボルト孔周辺部分
L0-4		ボルト孔周辺部分
L0-5		ドラグライン
L0-6		ボルト孔周辺部分
L0-7		※未破断
L0-8		ボルト孔周辺部分
 ● 溶損部 --- 破断線		

の破壊起点は 2 ヶ所である。すなわち、ボルト孔のほぼ中央に位置するドラグラインと呼ばれるレーザー加工の孔に見られる板厚鉛直方向に伸びるすじ状のうねりからと、ボルト孔から継手外側に若干離れた母板表面からである。母板表面からの亀裂は、母板と添接板のこすれ（フレットング）が原因で生じたものと考えられる。フレットングによる疲労亀裂は、応力範囲が低く、また継手外側に溶損が位置する継手で生じている。L0-2 試験体のみ、溶損が継手外側にあるにも関わらず、ボルト孔中央から疲労亀裂が生じているが、この試験体は疲労試験前にすべりが生じたものである。

疲労試験結果を図 3 に示す。図(a)は応力範囲 200N/mm²、図(b)は応力範囲 250N/mm²での結果を示している。図中のハッチを印したものは、疲労試験前にすべりが生じたものである。図中には、鋼構造協会の疲労設計指針に示されている疲労強度等級 A～D に対応する疲労寿命も示している。疲労設計指針では、ドリル孔を有する高力ボルト摩擦接合継手の強度等級を B と規定しているが、ここで用いたドリル孔試験体はすべてこれを満たしている。また、ドリル試験体と比較して、L0 試験体の疲労寿命は同等以上となっており、B 等級と規定するのが妥当である。ただし、疲労試験前にすべりが生じた L0-2 試験体のみ、疲労寿命が短くなっている。L90 試験体の疲労寿命は、ドリル試験体に比べて 2 ランクほど下の疲労強度等級まで疲労寿命が短くなっている。L0 試験体、また L90 試験体では、一致型と相反型の試験体を設けているが、これによる疲労寿命の差は認められない。

4. まとめ レーザー孔を有する高力ボルト摩擦接合継手の疲労強度は、加工時に溶損角度を 0 とすれば、ドリル孔を有する継手と同じとみなすことができる。

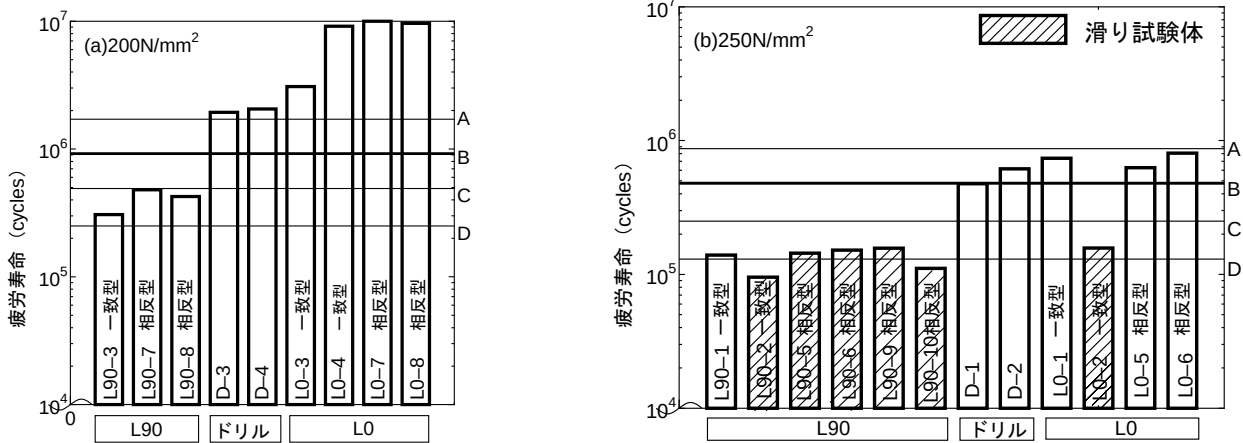


図 3 疲労試験結果