

第2章 高力ボルト接合部に関する既往の実験

2章 高力ボルト接合部に関する既往の実験

2.1 はじめに

本章では、以下の既往研究2つを概括することで、常温、高温における高力ボルト個材の力学特性を把握することを主目的とする。

- (1) J.W.Fisher らが行った高力ボルト個材の常温最大せん断強度およびせん断変形に関する一連の研究[49][52]～[54]
- (2) 平島らが行った高力ボルト個材の高温最大せん断強度に関する研究[43]

(1)J.W.Fisher らの既往研究から得られる実験データは、第4章「梁継手の有限要素モデル」で高力ボルト個材のせん断応力～せん断変形関係を定式化し、それに影響を及ぼす諸因子を分離・摘出するとき、重要な情報を与えるものである。一方、(2)平島らの既往研究から得られる実験データは、第3章「梁継手を持つ鋼架構の理論崩壊温度」で高力ボルト個材の高温最大せん断応力を確定する上で、および第4章「梁継手の有限要素モデル」で高力ボルト個材の高温せん断応力～せん断変形関係を定式化する上で、重要な情報を与えるものである。

上記2つの既往研究から得られる高力ボルトに関する実験データは、特に、高力ボルト個材のせん断変形能力を確定するとき重要となる。梁継手を有する架構が火災加熱を受ける場合、梁に発生した熱応力によって、高力ボルトの塑性せん断変形が消費されてしまい、その結果、梁継手が加熱初期段階で破断する恐れがあるからである。本研究の主目的の一つはこのことを詳細に検討することであり、したがって、実際の高力ボルトが有するせん断変形能力が確定されなければならない。

今日、常温、高温に関わらず、高力ボルトのせん断変形能力を公にした既往研究は極めて限られており、上記2つの既往研究の他に筆者は知らない。これは、常温では高力ボルト継手の最大強度は被接合部材である柱や梁のそれに比べて大きいので、高力ボルト自身が破断することは稀であること、一方、高温では高力ボルト継手の耐火性能は長らくすべり耐力で評価していた為、高力ボルト自身のせん断変形能力に関心が集まらなかったこと等が要因として挙げられる。斯かる状況下において上記2既往研究は、それらを明らかにした点で非常に秀逸な研究であると云える。

以下に、(1)Fisher らの既往研究および(2)平島らのそれから得られた実験結果を概括し、それより分離・摘出される重要な情報、さらにはそれを本研究で適用する際の妥当性について詳しく述べる。

2. 2 常温下の高力ボルト継手に関する実験[49]

1960年代に、J.W.Fisherらは、常温下における高力ボルト個材のせん断強さと変形能力および荷重～変形関係を詳細に調べるため、高力ボルト個材を用いた継手の引張・圧縮試験を精力的に行っている[49][52]～[54]。これら一連の実験的研究では、高力ボルトのせん断強さと変形能力に対して影響を与える因子を分離・抽出し、それら因子別に綿密な実験と検討を行っている。Fisherらの研究成果は、高力ボルトの常温せん断応力および変形能力を検討するとき、貴重な研究資料である。現在に至るまで、高力ボルトの最大せん断強度に関する研究は多いものの、高力ボルトのせん断変形能力に着目した研究は、Fisherらの研究以外には見当たらない。

2. 2. 1 試験体の概要

Fisherらの実験では、二面せん断によって高力ボルト継手の試験体を形成し、それに引張力と圧縮力それぞれを作用させている。継手試験体に用いる継手板厚は総て1インチ(25.4mm)である。継手試験体に用いた添え板はボルトが最大せん断強度に達する前に塑性化しないよう設計されており、しかもそれらの縁端距離は十分な大きさをとっている。さらに、試験体の載荷方向長さは非常に短い。したがって、ここでいう高力ボルトのせん断変形とは、ボルト自身のせん断変形と継手板の支圧変形の総和であり、継手板の弾性伸び変形は無視できるほどに小さい。

実験に供した高力ボルトは、ASTM A325(F8T相当)、A354BC、A354BD、A490(F10T相当)である。一方、継手試験体に用いた鋼材はASTM A440(SM490相当)である。ASTMボルト用鋼材の引張強度および保障荷重は1章の表に示す通りである。ボルト径は7/8インチ(22.2mm)、1インチ(25.4mm)の二種類である。

ボルトのせん断面は、二面とも軸部、二面が軸部とねじ部の場合を対象とする。ボルトとボルト孔との径差は1/16インチ(1.6mm)とし、ボルトを締め付ける前にボルト軸と孔側壁は接触させることで、すべりが生じないように処置している。したがって、この実験から得られる変形にはすべり変形は含まれない。

ボルトのグリップ長さは標準試験体のもので4インチ(10.2cm)である。ボルトのグリップ長さとは、継手板に挟まれたボルトの軸方向長さのことをいう。なお、高力ボルトにはアメリカ示方書に定められた標準軸力が導入される。

2. 2. 2 実験結果

Fisher らは、高力ボルトのせん断強度および変形能力に影響を及ぼす因子として、次のようなものを挙げている[49]。

- (1) ボルトのグリップ長さ
- (2) ボルト継手に作用する力(引張治具と圧縮治具の違いによる影響)
- (3) ボルトのせん断面の位置
- (4) ボルトおよび継手板の鋼種
- (5) ボルトの初期導入軸力

本論 4 章で、Fisher らによる実験データを踏まえて、高力ボルト個材の力学特性を確定するので、上記因子が高力ボルトのせん断強度およびせん断変形能力に及ぼす影響を精査する必要がある。Fisher らは上記因子別に綿密な実験を行っており、それらの実験結果を図 2-2-1~2-2-4 にまとめて示す。なお、Fisher らは、(5)ボルトの初期導入軸力の大きさが高力ボルトのせん断力~せん断変形関係に与える影響は少ないと言及している。

各図の縦軸は高力ボルトのせん断応力 τ であり、それは継手に作用させた力をボルトのせん断面積の総和で除した商である。横軸はボルトのせん断変形である。図中、実線で繋がれたプロット印は実験値[49]であり、それらの詳細については図中に埋め込んだ通りである。一方、各図に併記された実線については後述する。

図 2-2-1 に見るように、ボルトのグリップ長さ(継手板に挟まれたボルト長さ)は、ボルトの $\tau \sim \Delta$ 関係に影響を及ぼさないことが分かる。これは、ボルトのせん断変形が継手板間に生じた僅かなすき間に集中するため、ボルトのせん断変形はボルトのグリップ長さ、および継手板厚に殆ど影響を受けないのである。

継手に引張力が作用する場合と圧縮力が作用する場合の性状を比較したものが、図 2-2-2 である。同図より、引張治具による高力ボルトの最大せん断応力は、圧縮治具の結果に比べて、一割程下回る。このことについて橋本らは、引張載荷の場合、主板が引張により薄くなり、ボルトに曲げ応力の効果が入り耐力が低下するのに対し、圧縮載荷では主板が厚くなり添え板との摩擦抵抗が付加される為であると推測している[50]。一方、高力ボルトの最大せん断変形量は、引張治具を用いた場合も圧縮治具を用いた場合も殆ど同じである。一般に高力ボルトのせん断耐力を評価する際には、安全側評価になるように引張載荷の実験結果を用いる。前述の「高力ボルト接合設計施工指針」では、引張載荷の実験値から、高力ボルトの常温最大せん断耐力を $\bar{\tau}_B = 0.6\bar{\sigma}_B$ (図中の横破線)で与えている。

図 2-2-3 は、ボルトのせん断面の位置の違いがボルトのせん断応力と変形能力に与える影響を調べたものである。図に見るように、ボルトのせん断面がねじ部であるか、軸部であるかに依らず、両者の高力ボルトの $\tau \sim \Delta$ 関係はほぼ同じ曲線を描くことが分かる。実用に供されるような高力ボルト継手については、せん断面数は二面で、せん断面の位置は二面とも軸部になる場合が多く、ボルトのせん断面がねじ部にある場合は非常に稀である。

図 2-2-4 は、各種ボルトのせん断応力とせん断変形を示したものである。図に見るように、実験結果(○、●、△印)の初期勾配は、高力ボルトの引張強度が大きなものほど、立ち上がることが分かる。また、高力ボルトの最大せん断変形量は図示した 3 実験値ともに約 0.5cm である。

一方、継手板の鋼種が高力ボルトのせん断応力およびせん断変形能力に及ぼす影響を検討した実験的研究としては、文献[54]が挙げられる。この文献では、継手板には A440(SM490 相当)および A7(SS400 相当)、高力ボルトには A325(F 8 T 相当)を用い、継手試験体を引張試験に供している。この実験によると、試験体の継手板が A440 および A7 の場合、高力ボルトのせん断応力～せん断変形関係はほぼ同一の曲線を描き、最大せん断応力およびせん断変形能力もほぼ同じであることが報告されている。

さて、これら既往の実験結果より、(1)高力ボルトのグリップ長さ、(4)継手板の鋼種は高力ボルトの $\tau \sim \Delta$ 関係に殆ど影響を及ぼさないこと、また(2)ボルトに作用する力の向き、(3)ボルトのせん断面および(4)ボルトの鋼種の違いについては それぞれ高力ボルトの最大せん断応力をその設計規準せん断応力 $\tau_B = 0.6\sigma_B$ (図中横破線)で評価すると、全てのケースについて安全側評価となることが分かる。一方、高力ボルトの最大せん断変形量は、図示した実験値について概ね 0.5cm(図中縦破線)有することが分かる。

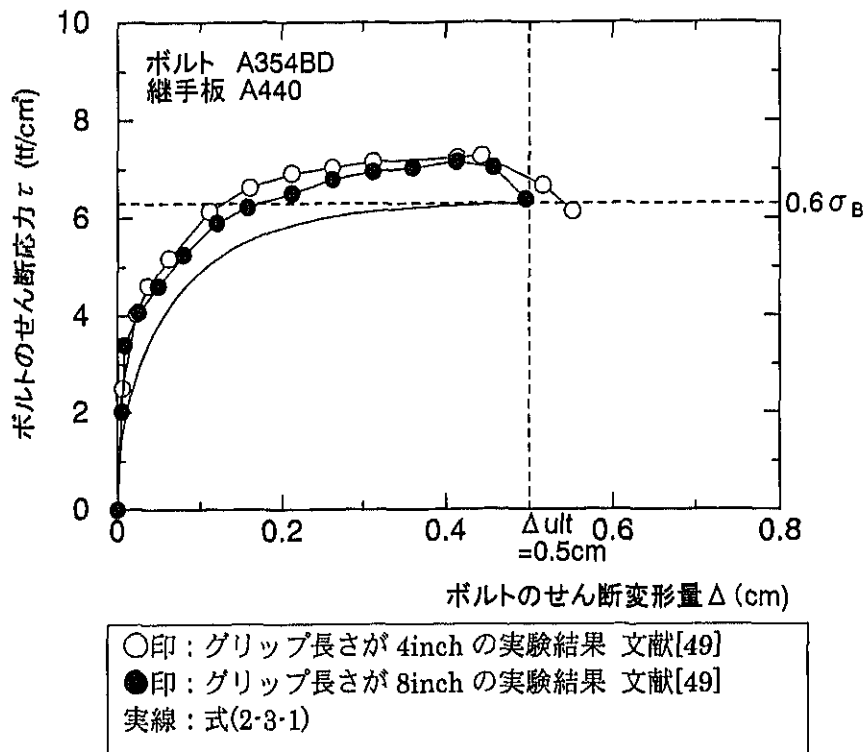


図 2-2-1 ボルトのグリップ長さの影響

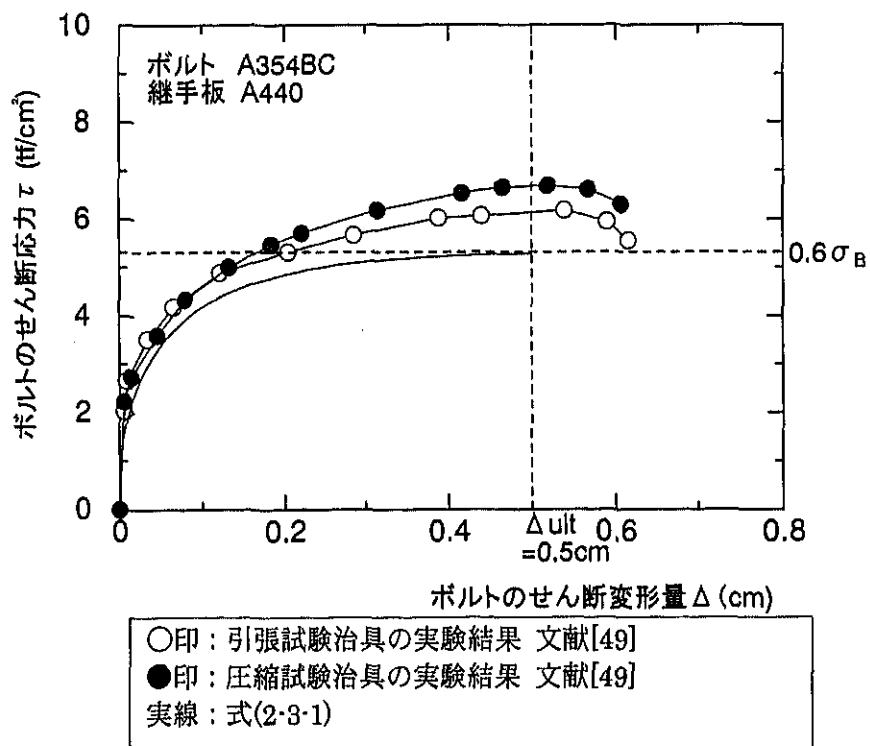


図 2-2-2 引張試験治具と圧縮試験治具の $\tau \sim \Delta$ 関係

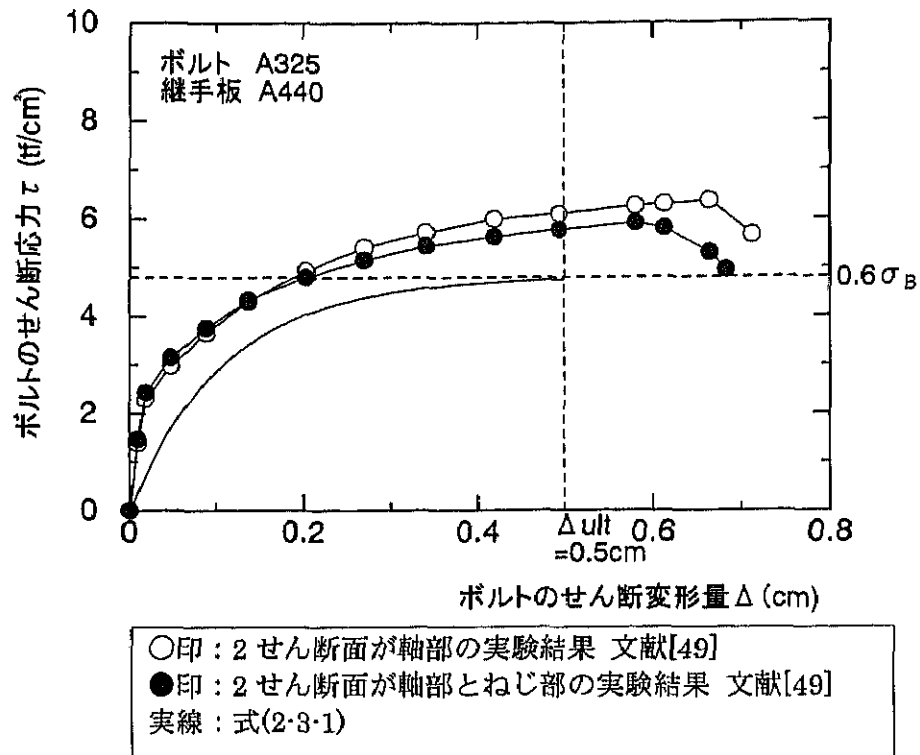


図 2-2-3 せん断面の位置の違い

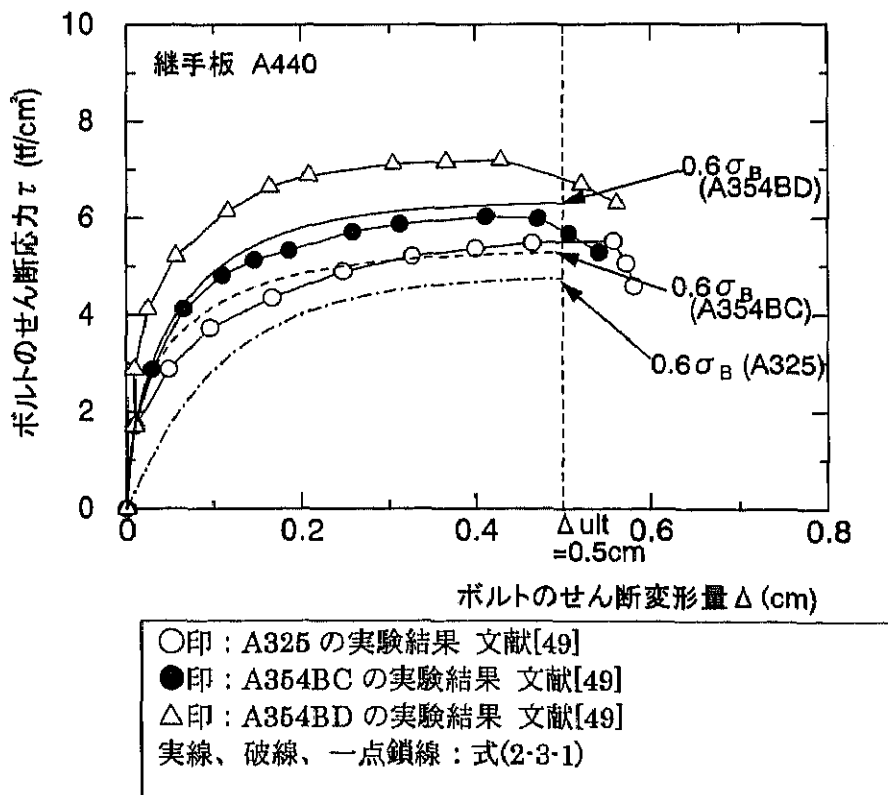


図 2-2-4 ボルトの鋼種の違い

2. 3 常温における高力ボルトのせん断応力～せん断変形関係 [52]

前節までに、高力ボルトの $\tau \sim \Delta$ 関係に影響を及ぼすと考えられる因子について、それらを詳細に調べ上げた Fisher らの実験的研究を概括した。本論文では継手に配された高力ボルトの挙動および耐力を解明するので、そのためには実際の高力ボルトが有する最大せん断応力、最大せん断変形量が確定され、さらにその力学特性であるせん断応力～せん断変形関係が定式化される必要がある。本節では、先ず Fisher らが提案した常温における高力ボルトの $\tau \sim \Delta$ 関係[52]を要約し、次に既往実験から得られた高力ボルトの常温最大変形量について纏める。

Fisher らは、彼らが行った高力ボルト個材に関する実験結果を踏まえて、高力ボルト個材の常温せん断応力 τ ～変形 Δ 関係を定式化している[52]。これは実験結果に対して curvefitting を施して得たものであり、次式(2-3-1)に再録する。

$$\tau = \bar{\tau}_B (1.0 - \exp(-\mu\Delta))^\lambda \quad (2-3-1)$$

$\bar{\tau}_B$: 高力ボルトの最大せん断応力(tf/cm²)

μ : 継手板の鋼種に関わる係数(1/cm)

λ : 高力ボルトの鋼種に関わる係数

上式中の μ 、 λ はそれぞれ継手板および高力ボルトの鋼種に関わる係数であり、それらの値を表 2-3-1 に再録する。また、同表中に、Fisher らの実験より得た高力ボルトの最大せん断応力値 $\bar{\tau}_B$ も示す。表 2-2-1 中の Q8T とは、0.2%offset 降伏点が 77kg/mm²、引張強さが 84kg/mm² で与えられる高張力用鋼材である。

2.2.1 節で述べた Fisher らの既往実験より、ボルトのグリップ長さ、ボルトの初期導入軸力は高力ボルト個材の最大せん断応力と変形能力に殆ど影響を及ぼさないので、式(2-3-1)についても、それら影響因子に依ることなく確定される。

ここで、式(2-3-1)による高力ボルト個材のせん断応力 τ ～せん断変形 Δ 関係について要約する。図 2-3-1 は、Fisher らの実験値と式(2-3-1)よる $\tau \sim \Delta$ 関係を纏めたものである。図の横軸は Δ (cm)、縦軸は τ (tf/cm²)である。図中の○印は実験結果[49]を一括したものであり、高力ボルトの鋼種は A325(F8T 相当)、継手板のそれは A440(SM490 相当)である。図中破線は式(2-3-1)であり、式中の常温最大せん断応力 $\bar{\tau}_B$ には、表 2-3-1 中に示す $\bar{\tau}_B$ の実験値($\bar{\tau}_B = 5.67$ tf/cm²)を用いている。一方、図 2-3-1 中の実線は、式(2-3-1)中の $\bar{\tau}_B$ に、高力ボルトの常温時せん断強度基準値 $0.6\bar{\sigma}_B (=4.8$ tf/cm²)を代入して得た $\tau \sim \Delta$ 関係である。また、図 2-2-1～2-2-4 および図 2-3-1 には、後者($\bar{\tau}_B = 0.6\bar{\sigma}_B$)の場合の $\tau \sim \Delta$ 関係を、実線(図 2-2-4 では実線、破線と一点鎖線)で併記している。各図中の実線、破線、および一点鎖線で示す $\tau \sim \Delta$ 関係ともに、係数 μ 、 λ には表 2-3-1 中の値をそれぞれ代入した。

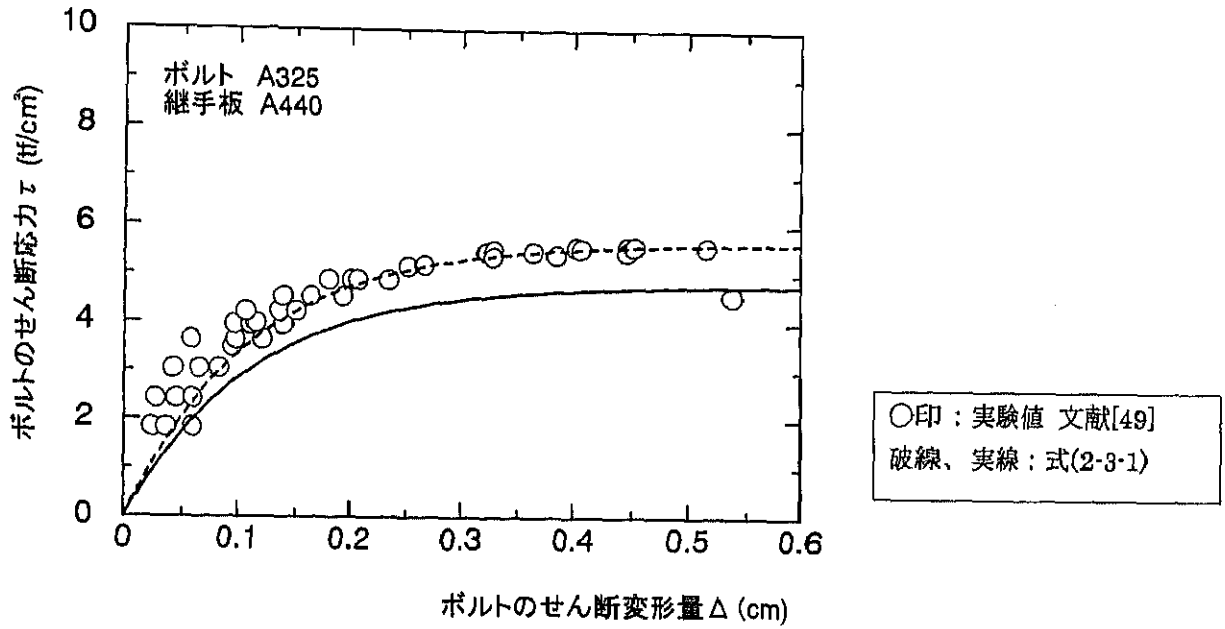


図 2-3-1 常温における高力ボルトの $\tau \sim \Delta$ 関係

表 2-3-1 (2-3-1)式中の係数 μ 、 λ の値[52]

高力ボルトの鋼種	継手板の鋼種	試験治具の種類	μ (tf/cm ²)	λ	$\bar{\tau}_B$ (tf/cm ²)
A325	A440	引張治具	9.06	1.00	5.67
	A400	圧縮治具	9.06	1.00	5.91
	A7	引張治具	7.09	1.00	5.86
	A7	圧縮治具	7.09	1.00	5.90
A354 BC	A440	引張治具	7.87	0.40	6.07
	Q8T	引張治具	9.84	0.40	5.92
A354 BD	A440	引張治具	9.06	0.50	7.26
	Q8T	引張治具	9.84	0.35	7.22
A490	A440	引張治具	9.06	0.40	7.30
	Q8T	引張治具	11.02	0.35	6.78

(Q8T 材は 0.2%offset 降伏点 77kg/mm²、引張強さ 84kg/mm²)

図 2-3-1 より、破線で示す $\tau \sim \Delta$ 関係($\bar{\tau}_B = 5.67 \text{ tf/cm}^2$ の場合)は実験値(○印)と良好に対応している。一方、 $\bar{\tau}_B$ に常温時せん断強度基準値($0.6\bar{\sigma}_B$)を用いた $\tau \sim \Delta$ 関係(図中実線)は実験値の内側を包絡する曲線を描き、その最大せん断応力は安全側評価を与えることになる。

次に、高力ボルトの常温最大変形量について述べる。図 2-3-2 は、継手板の鋼種が A440(SM490 相当)について、高力ボルトの最大せん断変形量 Δ_{ult} の実験値[49]を一括したものである。図の横軸は高力ボルトの最大せん断変形量 Δ_{ult} 、縦軸は高力ボルトの最大せん断応力 $\bar{\tau}_B$ である。図中に示すプロット点群の詳細は、●印は高力ボルト A325(F8T 相当)の、▲印は高力ボルト A354BC の、■印は高力ボルト A354BD の、◆印は高力ボルト A490(F10T 相当)の実験結果を表す。

図 2-3-2 より、高力ボルトの最大せん断変形量 Δ_{ult} は、高力ボルトの鋼種の違いに殆ど影響を受けないことが分かる。それらは概ね 0.4cm~0.7cm の範囲に分布する。

本論では、常温時における高力ボルトの最大変形量 Δ_{ult} は、継手板および高力ボルトの鋼種に依らず 0.5cm と仮定する。図 2-3-2 に、 $\Delta_{ult}=0.5\text{cm}$ の位置を縦破線で表記している。また、先に述べた図 2-2-1~2-2-4 に、 $\Delta_{ult}=0.5\text{cm}$ の位置を縦破線で示している。図 2-3-2 に見るように、 $\Delta_{ult}=0.5\text{cm}$ は、全実験値(図中●、▲、■、◆印)に対して概ね平均値となる。特に、我が国で最

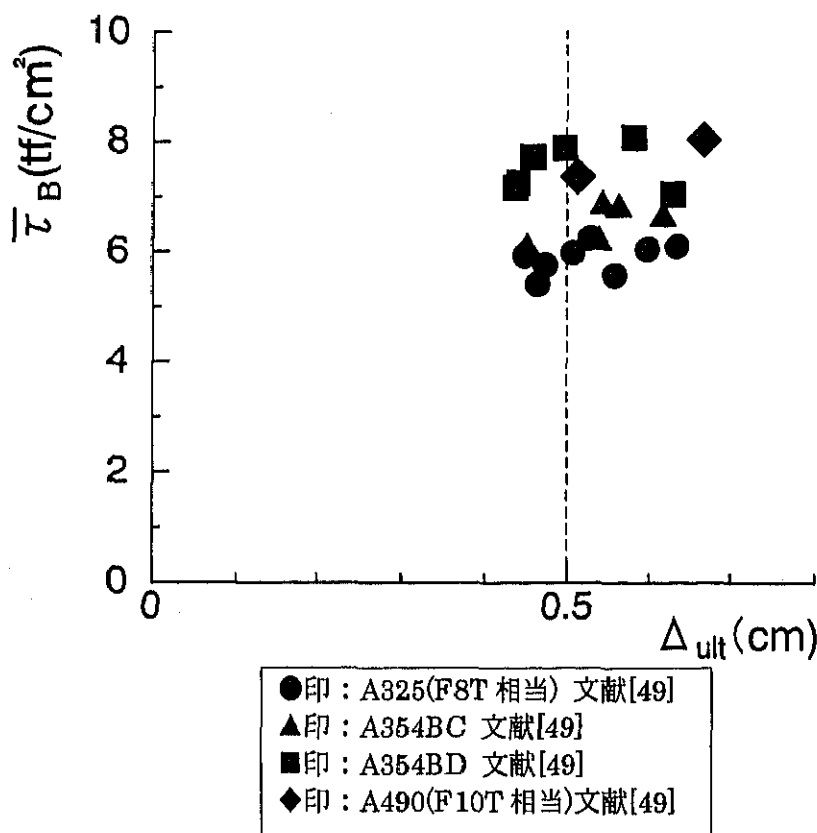


図 2-3-2 常温における高力ボルトの最大せん断変形量

も多く使用される F10T(◆印)については、実験データの数は少ないものの、0.5cm 以上の変形能力を有することが分かる。

本論において、この高力ボルトの最大変形量 Δ_{ult} は重要な情報である。梁継手が火災加熱を受ける場合、仮に、低温度域で継手に配した高力ボルトが 0.5cm 塑性変形すると、それは直ちに破断することになる。しかし、この場合の $\Delta_{ult}=0.5\text{cm}$ というものは Fisher らの継手試験体から得られた値であり、したがって継手試験体を構成する板およびボルトの寸法が変化すると、得られる Δ_{ult} も変化することが考えられる。

前述のように、ボルトのグリップ長さ(継手板に挟まれたボルトの軸方向長さ)は、せん断変形に影響を及ぼさない(図 2-2-1 参照)。これは、ボルトのせん断変形は継手板間に生じた僅かなすき間に集中するため、ボルトのせん断変形はボルトのグリップ長さ、および継手板厚に殆ど影響を受けないのである。図 2-3-3 は、このことを模式的に描いたものである。これは、継手が支圧状態のとき、継手板間でせん断される高力ボルトを拡大して描いたものである。このとき継手板間には、図示のような隙間 L が生じている。高力ボルトがせん断される区間はこの L より少し長くなり、これを図中の L_B で表すことにする。当然のことながら、ボルトのせん断変形(図中 Δ)はこの L_B に依存することになる。

しかし、ボルトのせん断変形 Δ はそのグリップ長さに依存しないので(図 2-2-1)、結果的に、ボ

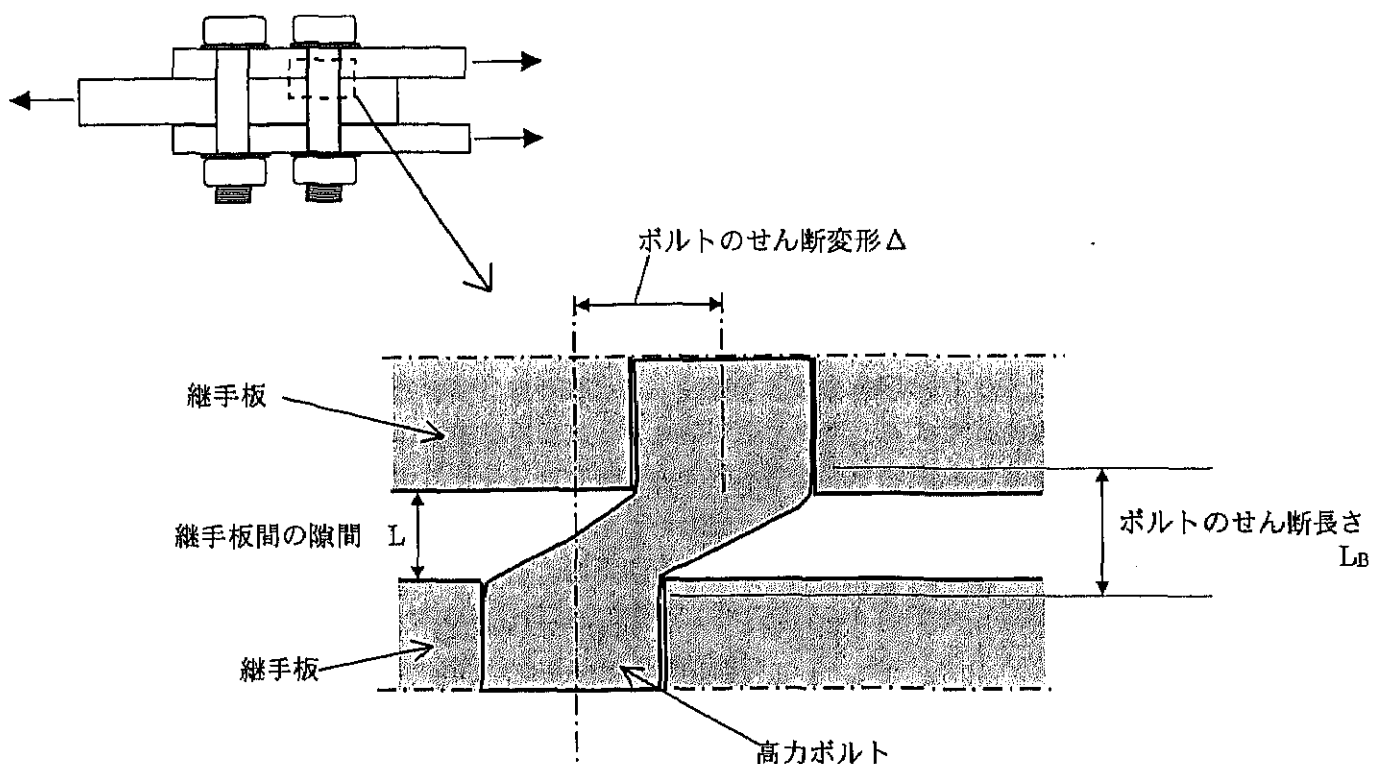


図 2-3-3 継手に配した高力ボルトのせん断

ルトのせん断区間 L_B は、ある一定値を採るものと考えられる。これは、継手にすべりが生じた後、継手板間に生じる隙間 L はボルトの長さおよび継手板厚に依存しないことを意味する。これより、高力ボルトのせん断変形は継手試験体の大きさに依存する量ではないと考えられるので、 Δ_{ult} を一律に 0.5cm として差し支えないものと思われる。

実際、次節で述べる平島らの実験[43]から得られる Δ_{ult} は、常温において約 0.5cm である。この実験では、主板 1 枚(板厚 2.5cm)と添え板 2 枚(板厚 1.2cm)により継手試験体を構成しており、この場合、ボルトのグリップ長さは 4.9cm である。一方、Fisher らの実験におけるそれは 10.2cm(4inch)、および 20.4cm(8inch)である。これからも、 Δ_{ult} は、継手試験体の大きさに依らず概ね 0.5cm 程度有することが分かる。

2. 4 高温における高力ボルト継手に関する実験[43]

本節では、高温時に高力ボルト個材がせん断される場合の実挙動を把握する為、平島らによって報告された高温下における高力ボルト継手の引張実験[43]を外観する。平島らの高力ボルト継手の高温時実験は、高力ボルト継手の高温すべり耐力、および高力ボルト個材の高温最大せん断強度を評価することを主目的としたものである。これは、F10T 級の高力ボルトの高温最大せん断耐力を初めて公に明らかにしたものである。彼らの実験結果より、高力ボルト個材の高温せん断強度およびせん断変形能力を評価する際の貴重な情報を得ることができる。以下に、平島らの高力ボルト継手の高温実験について要約する。

2. 4. 1 試験体の概要

平島らが行った高力ボルト継手の高温引張実験では、トルシア型高力ボルト個材(S10T・M22)、主板 1 枚(板厚 25mm)と添え板 2 枚(板厚 12mm)によって継手試験体が形成されている。継手板が有するボルト穴径は 24mm である。高力ボルトのせん断面数は二面(軸部とねじ部)である。供試ボルトのグリップ長さは 49mm である。継手板の鋼種は SM490 であり、板はボルトが常温時に最大せん断強度に達する前に塑性化しないよう設計されている。

継手試験体の全長は 1400mm で、このうち加熱区間は継手試験体中央部の 350mm である。この実験では、継手試験体は荷重方向に対して長いので、得られる継手の変形には、ボルト自身のせん断変形と継手板の支圧変形の他に、継手板全長に対する弾性伸び変形を含むことになる。図 2-4-1 に、文献[43]に記載されている継手試験体の詳細を示す。

2. 4. 2 実験結果

図 2-4-2(a)～(d)に、常温、400℃、500℃、600℃における実験結果をまとめて示す。全図の縦軸は継手に作用させた荷重(tf)、横軸は継手の変位(mm)である。図中の実線が実験結果である。

載加初期段階における力の伝達形式は継手の摩擦接合である。各図に示す細実線の傾きは、摩擦接合のときの継手板の弾性勾配にほぼ等しい。引張荷重を漸次増加すると、試験体にすべりが生じ、この後、高力ボルトの支圧効果によって力が伝達される。高力ボルトの支圧状態下では、継手の変形は高力ボルトに生じたせん断変形と継手板の弾性変形の総和であると考えられる。図中各温度において、 Δ_1 で示される変形量は、支圧状態にある継手の変形から板の弾性変形を差し引いたものにほぼ一致し、これはボルト自身のせん断変形とボルト孔の支圧変形の総和と見なすことができる。図より、 Δ_1 は 500℃のときを除き、概ね 0.5cm である。この結果は、Fisher による常温の実験結果にほぼ一致しており、高温においても、高力ボルトのせん断変形限界は 0.5cm 程度有することが分かる。

さて、最大せん断応力に達した後、常温の継手ではボルトは直ちに破断する((a)図)。ところが、

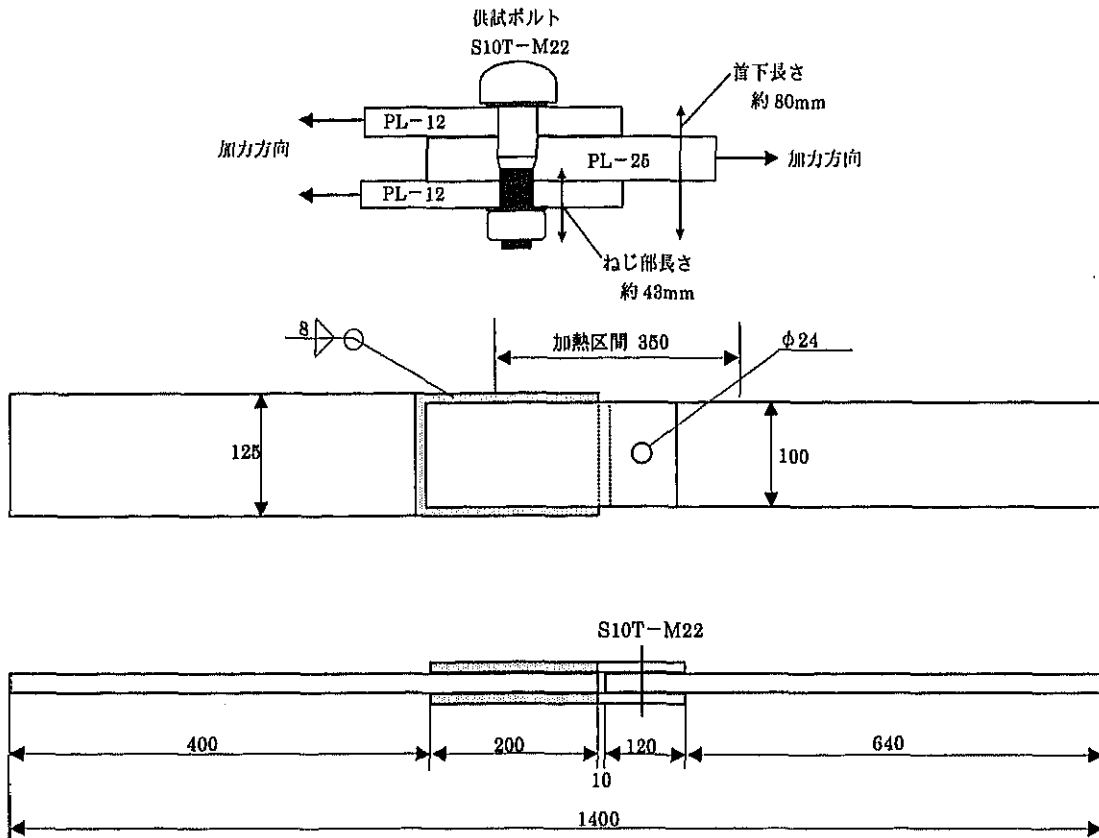
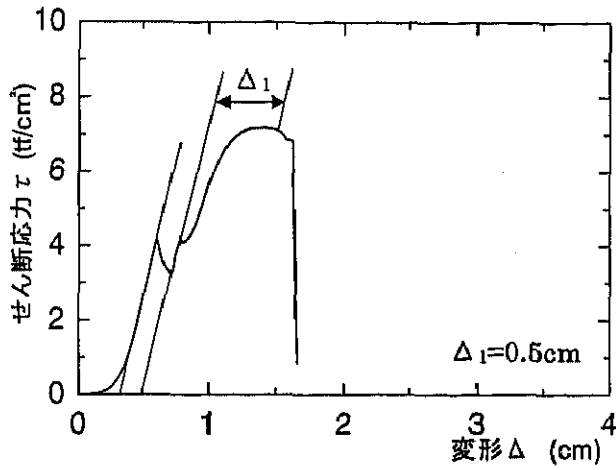


図 2-4-1 継手試験体の詳細 文献[43]

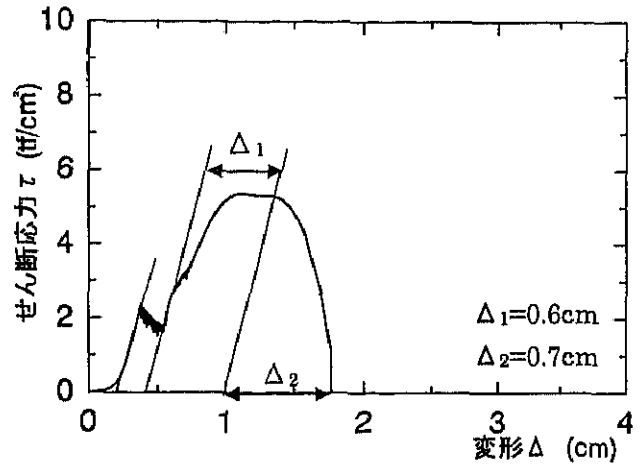
(b)、(c)、(d)図に見るように、400℃を上回る高温域に至るとボルトは最大耐力に達した直後に破断するという性質は影を潜めるようになる。この温度域のボルトは耐力到達後、せん断変形の増加に伴い漸次耐力を減じて無抵抗状態にまで達する。ここに至るまでのせん断変形量はより高温のボルトほど大きい。実際、ボルトが耐力劣化を始めてから無抵抗になるまでのせん断変形量 Δ_2 は、400℃のときは約0.7cmであるが、600℃に至ると約2.4cmにまで増加している。

平島らの実験によると、常温～400℃の温度域では、すべり荷重に到達した後に小さな衝撃音が、また最大荷重に到達した後、高力ボルトの破断による大きな衝撃音が確認されている。ところが500℃を超える温度域では、すべり音および破断音は確認できなかったと報告されている。

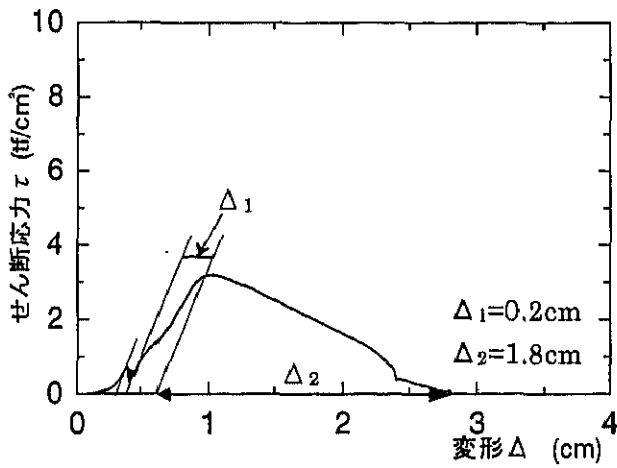
実験終了後の供試ボルトの状態は、常温～400℃の高力ボルトはねじ部で破断し、一方、500℃～650℃の高力ボルトはねじ部および軸部の2面が破断していたと報告されている。500℃以上における高力ボルトは、載加試験中、せん断耐力が無抵抗状態に到達する過程では破断しておらず、実験終了後、継手試験体を冷却する過程で破断したものと考えられる。



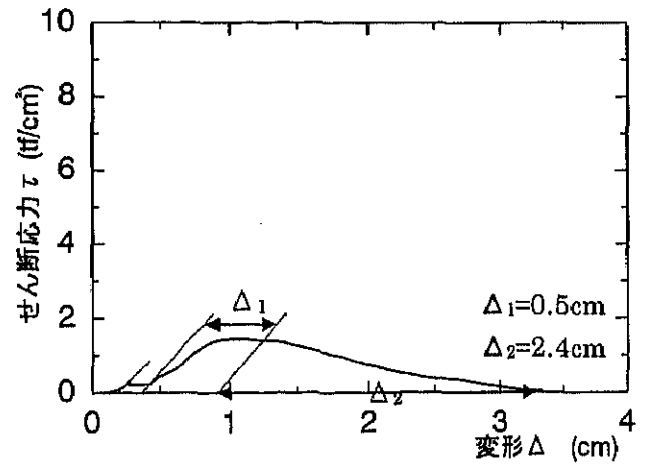
(a) 常温のとき



(b) 400°Cのとき



(c) 500°Cのとき



(d) 600°Cのとき

実線：実験結果 文献[43]

図 2-4-2 高温時におけるボルトのせん断応力～継手の変形関係

2. 4. 3 高力ボルト用鋼材の伸びに関する既往の実験結果

継手中の高力ボルトに最大耐力後の残余耐力が存在することを確認しているのは、前述の平島らの実験のみである。この実験では高温下の高力ボルトには例外無くせん断残余耐力が確認されているものの、高力ボルトのせん断残余耐力を立証する実験データ等は少ないと云わざるを得ない。一方、高力ボルト用鋼材の高温引張試験によると、高温度域における高力ボルト用鋼材の伸びは常温下それに比べて大きく増加することが報告されている[42][43][55]。

図 2-4-3 に、部材温度上昇に伴う高力ボルト用鋼材の伸び変化を示している。図の横軸は温度(°C)、縦軸は高力ボルト用鋼材の素材引張試験から得た破断時における伸び(%)である。図中●印は高力ボルト S10T 用鋼材の素材試験結果[43]、△印は高力ボルト用 F10T 鋼材のそれ[42][55]である。図中、実線で繋がれたプロット印は、それらが同一試験ロットから採取された実験結果であることを示す。

図 2-4-3 に見るように、F10T(図中△印)および S10T(図中●印)の実験結果ともに、400°Cを上回る温度域では、それらの伸びが急激に増加していることがわかる。常温~400°Cにおけるボルトの伸びは 20%程度であるが、800°C近くに達すると、それらは 100%を超えることがわかる。この特性は、400°C以上の高力ボルトにはせん断残余耐力が存在することを確認した平島らの実験の傾向とほぼ一致し、継手のせん断に対して、高温時残余耐力を有すると云う特性が得られることを傍証しているものと考えられる。

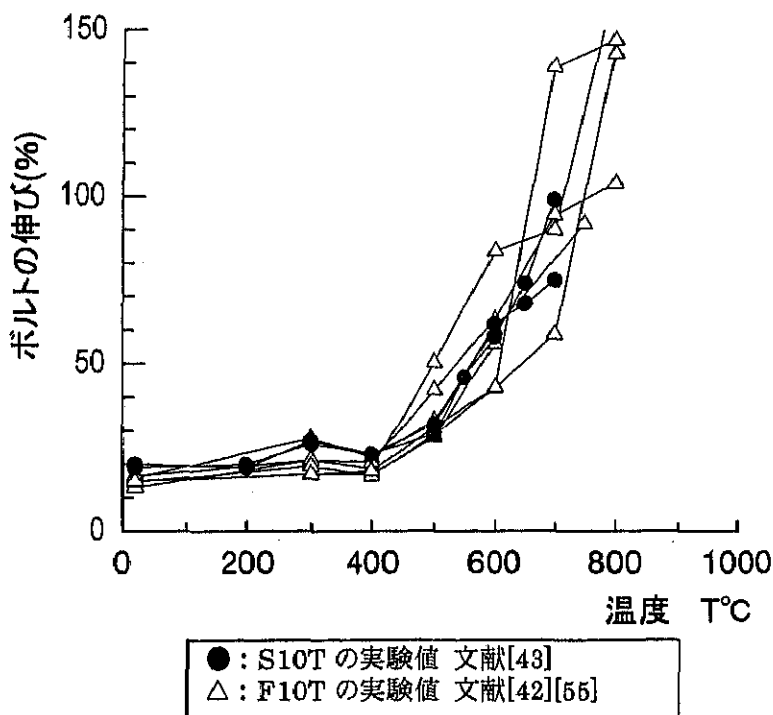


図 2-4-3 高力ボルト F10T、S10T の伸びの温度依存性

2. 5 まとめ

本章では、J.W.Fisher らが行った高力ボルト個材の常温最大せん断強度およびせん断変形に関する研究[49]、および平島らが行った高力ボルト個材の高温最大せん断強度に関する研究[43]を外観することで、せん断を受ける高力ボルトの力学特性についてまとめた。

- (1) Fisher らは、高力ボルトの常温せん断応力～せん断変形関係として式(2-3-1)を提案している[52]。また、Fisher らが行った高力ボルト継手の常温引張実験より、常温における高力ボルトの最大せん断変形量は概ね 0.5cm 程度有することを確認した。ボルトのせん断変形は継手板間に生じた隙間に集中する。したがって、これは高力ボルトのグリップ長さ、すなわち継手試験体の大きさに依存しない。本論では、高力ボルトの常温最大せん断変形量は、ボルトや継手板の鋼種、継手に作用する力の向き、ボルトのせん断面の位置に依らず 0.5cm とする。
- (2) 平島らが行った高力ボルト継手の高温引張実験によると、400℃を越える温度域に至ると、高力ボルトには最大せん断耐力後、せん断残余耐力を有することが確認されている。ボルトの最大せん断応力に到達後、ボルトが無抵抗状態になるまでのせん断残余変形能力は、高温になる程大きくなる。なお、現在までに高力ボルトのせん断残余耐力を確認できる実験データ等は少なく、実験データのさらなる蓄積、およびせん断残余耐力に関わる影響因子の分離・抽出については今後の研究課題になると考える。

本章で要約した 2 既往研究から得られた実験データは、第 3 章「梁継手を持つ鋼架構の理論崩壊温度」および第 4 章「梁継手を含む架構の精算」で、高力ボルト個材の高温最大せん断強度、およびその高温せん断応力～せん断変形関係を確定するとき、重要な情報を与える。本研究では、これら実験結果から抽出された重要な情報を知悉することで、梁継手を含む鋼架構の耐火性能を検討することになる。