

鋼材および高力ボルト接合部の引張試験

1. 実験目的

鋼材と高力ボルト接合に関する次の3種類の実験を行う。

- (1) 構造用鋼材の引張実験を行い、鋼材の機械的性質や応力-歪関係を得る手順とその特徴を理解する。
- (2) 高力ボルト摩擦接合した接合部の引張実験を行い、摩擦接合の応力伝達機構と破壊に至るまでの力学的挙動を観察し、接合部の耐力算定方法について理解を深める。
- (3) 高力ボルト引張接合した接合部の引張実験を行い、引張接合の応力伝達機構と塑性域に至るまでの力学的挙動を観察し、接合部の耐力算定方法について理解を深める。

2. 実験方法

表1 実験一覧

	実験名	実験内容
(1)	T-1	SS400 鋼素材, 板厚 16mm 引張試験
(2)	F-1	高力ボルト摩擦接合部の引張実験 (へりあき破断)
	F-2	高力ボルト摩擦接合部の引張実験 (はしぬけ破断)
(3)	S-1	高力ボルト引張接合部引張実験

2.1 鋼材の引張試験 (T-1)

(試験片は次頁図1参照, 実験方法は「建築材料実験教材」pp.86-88参照)

T-1では板厚が16mmのSS400鋼の引張実験を行う。試験片はJIS Z2201による1A号試験片とする。この鋼材は次の摩擦接合部で使用する中板と同じ鋼材である。この実験から得た材料強度を摩擦接合部試験片の耐力計算に使用する(添板の引張試験は省略し、強度は中板と同じとみなして計算する)。

2.2 高力ボルト摩擦接合部の引張実験 (F-1, F-2)

(試験片は図2参照, 実験方法は鋼材の引張実験に準ずる)

引張実験 T-1 と同一の鋼材を用いた高力ボルト摩擦接合による継手の引張実験を行う。

板厚 16mm の鋼板を中板に、9mm の鋼板 2 枚を添板に使い、F10T-M20 高力ボルトによって 2 面摩擦接合とする。ボルト本数は、一方を 2 本、もう一方を 1 本としており、1 本で接合されている側が耐力が小さいので破壊に至り、挙動を観察する試験部分となる。試験体は 2 体あって、ボルト孔からのはしあき距離が違うので、実験結果には異なる破壊形式や最大耐力が得られる。なお、実際に使用する高力ボルトはトルシア形 S10T であるが、これは六角ボルト F10T と同等である。次の S-1 も同じ。

2.3 スプリットティ形式引張接合部の引張実験 (S-1)

(試験片は図3参照, 実験方法は鋼材の引張実験に準じる)

H形鋼から切り出したスプリットティを2個背中合わせにして、F10T-M20高力ボルトで引張接合した継手の引張実験を行う。ティフランジが面外曲げ降伏する挙動を調べる。

実験：T-1

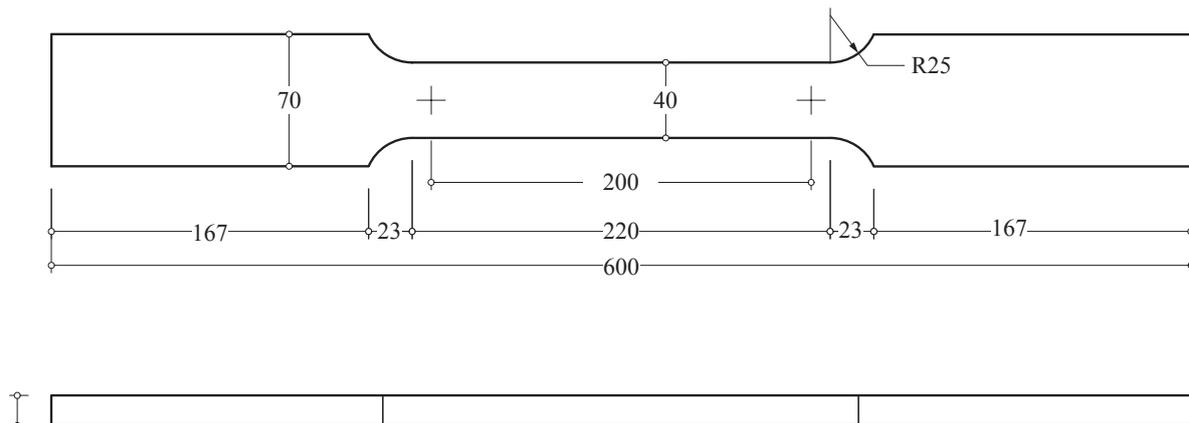
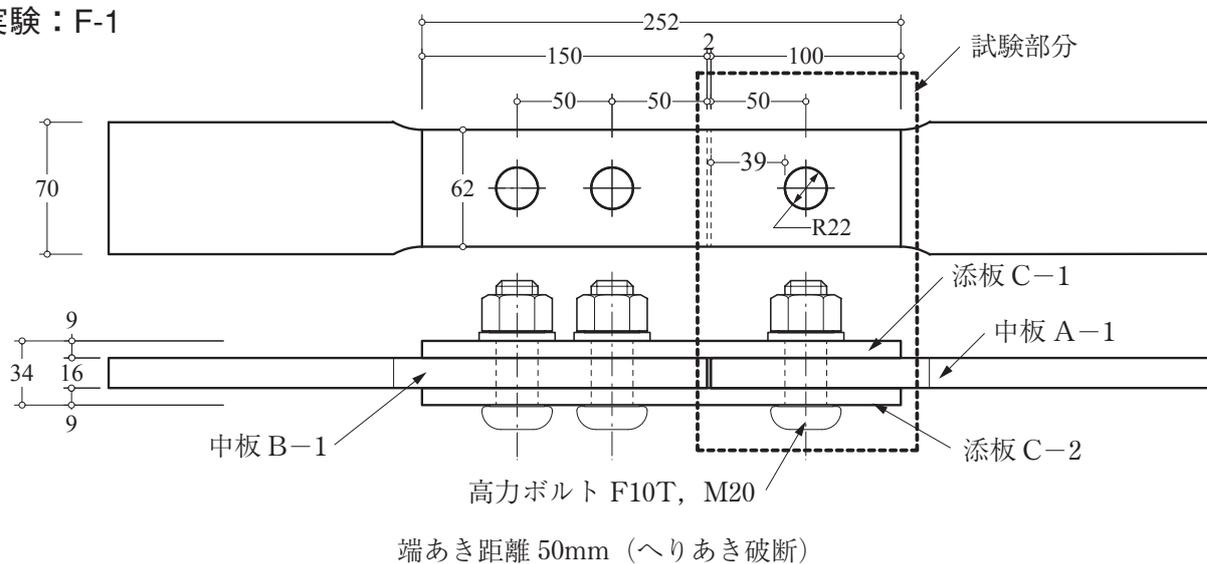


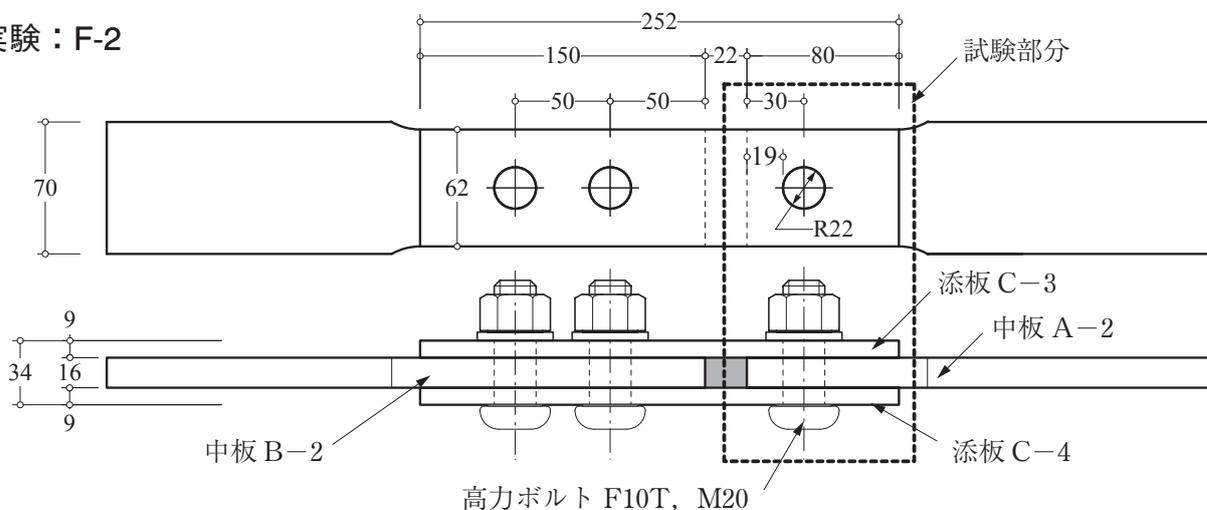
図1 鋼材引張試験片 (単位：mm, T-1 は摩擦接合部試験の中板に同じ)

実験：F-1



端あき距離 50mm (へりあき破断)

実験：F-2



端あき距離 30mm (はしぬけ破断)

図2 高力ボルト摩擦接合部試験片 (単位：mm)

実験：S-1

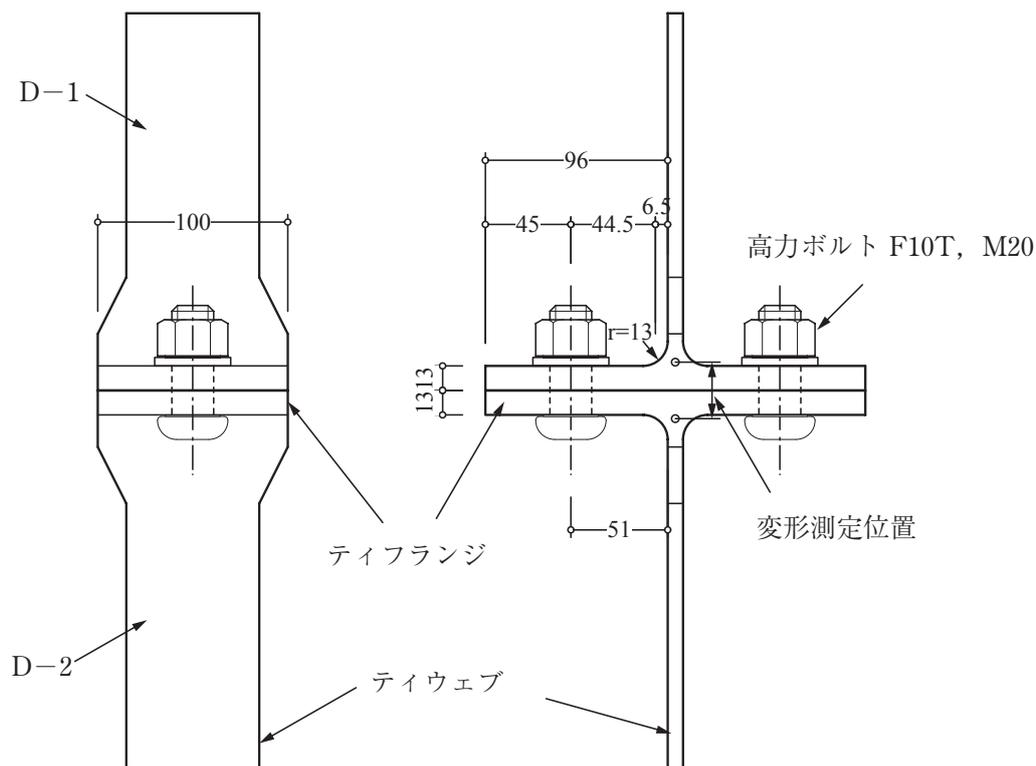


図3 スプリットティ形式引張接合部試験片

(単位：mm)

2.4 測定項目

(1) 引張荷重 (kN)

試験機からの出力による。全実験共通。

(2) 試験片伸び (mm)

変位計による。ただし平行部の伸びではなく、試験機の移動量で代用する。

スプリットティ形式引張接合部の試験では、図3に示す位置でパイ型変位計により測定する。

(3) 試験片中央部の歪 (%)

塑性歪ゲージによる。ただし鋼材の引張実験のみ。初期不整などによる曲げの影響を除くため裏表2点測定し、平均値を使う。

(4) ボルト張力 (kN)

ボルト頭部に貼付した歪ゲージの読みから換算する (ボルト接合部実験のみ)。

注意：実験の測定値はすべて有効桁数3桁として扱う。

2.5 载荷

容量 500kN, 2000kN の万能試験機を使用する。载荷レンジは 500kN または 1000kN とする。実験は、それぞれ次頁から示す手順で試験片が塑性化または破断するまで単調引張载荷する。

2.6 鋼材の引張実験手順

- (1) 試験片平行部の幅，厚さをノギスにより測定して別紙に記録する．3カ所で測定してその平均値から断面積を算出する．
- (2) 破断伸びを測定するための標点を，試験片の中心線上に200mmの間隔でポンチで打刻する．
- (3) 試験片平行部の中央の表，裏にひずみゲージを貼付する．
- (4) 試験片を試験機の上側のチャックでつかみ，計測器を接続する．
- (5) 計測システムを起動し，荷重をかけていない初期状態で一度，計測する．
- (6) 下側のチャックをつかんでから，載荷，計測を開始する．載荷中は荷重－変形関係をモニターする．
- (7) 試験片が破断したら試験機を止めて試験片を取り出す．破断後の標点間距離と破断面の幅，厚さを測定する．

2.7 高力ボルト摩擦接合部の引張実験手順

- (1) 試験片の中板2枚，添板2枚それぞれについて，平行部の幅，厚さ，ボルト孔の直径，孔の縁から端までの距離をノギスにより測定して別紙に記録する．平均値から断面積などを算出する．
- (2) 中板に添板をあて，2本側の高力ボルトを挿入し，手で1次締めをする．試験側に歪ゲージを貼付したボルトを挿入し，2本側のボルトをトルシアレンチで本締めする．
- (3) 試験側ボルトに貼付した歪ゲージを計測器に接続し，計測システムを起動して軸力をモニターしながら試験部のボルトを本締めして，ボルトに張力が導入されたことを確認する．
- (4) 試験片を試験機の上側のチャックでつかみ，載荷，計測を開始する．
- (5) 載荷中は荷重－変形関係とボルト張力をモニターし，摩擦接合部のすべりが発生する時点の荷重を確認する．
- (6) 試験片が破断したら試験機を止めて試験片を取り出し，破断状況を観察する．

2.8 スプリットティ形式引張接合部の引張実験手順

- (1) 2つのスプリットティについて，ティフランジの板厚，幅，長さ，ボルト孔径，ボルト孔の縁から端までの距離をノギスにより測定して別紙に記録する．
- (2) 2つのティフランジ同士を背中合わせにし，軸力をモニターしながら高力ボルトを入れ，トルシアレンチで締めてボルトに張力が導入されたことを確認する．
- (3) 試験片を試験機の上側のチャックでつかみ，パイ型変位計を試験片にとりつけて計測器に接続する．
- (4) 荷重をかけていない初期状態で一度，計測する．次いで，下側のチャックをつかんでから，載荷，計測を開始する．
- (5) 載荷中は荷重－変形関係とボルト張力をモニターする．
- (6) この実験では，破断まで載荷すると高力ボルトが飛散する可能性があり危険なため，塑性化が顕著になった時点で載荷をとめる．変位が変位計の容量に達したら試験機を止めて試験片を取り出す．

3. レポート課題

レポートはA4用紙にまとめ、グラフは適当な方眼紙などを利用して作成し(パソコンの出力でもよい)、レポートに貼付する。枚数は自由とする。実験中に測定した数値はコンピュータに保存し、ファイルを建築学科のサーバからダウンロードできるようにする。アドレスは演習中に伝えるので、終了後、各自でデータを取得する。このデータを使って以下の内容をレポートにまとめよ。有効数字は3桁とする。

3.1 鋼材の引張実験 (実験 T-1)

(1) 結果のグラフ化

2種類の測定方法による歪を使い、それぞれの応力-歪関係を次の2種類のグラフに示せ。

- ・グラフ A: 2枚の歪ゲージによる測定値の平均を歪とし、歪硬化域(5%程度)までの応力-歪関係
- ・グラフ B: 変位計による測定値を標点距離で除した値を歪とし、破断までの応力-歪関係
応力は試験機で測定した荷重を、無負荷時の実断面積で除した公称応力(N/mm²)で表す。

(2) 鋼材の機械的性質の算出

試験体寸法と引張試験の実測値を使って、以下の機械的性質を求めよ。

- (i) 上降伏点 σ_{yu} (N/mm²), (ii) 下降伏点 σ_{yl} (N/mm²), (iii) ヤング係数 E (N/mm²),
- (iv) 引張強さ σ_u (N/mm²), (v) 一様伸び ϵ_u (%), (vi) 破断伸び δ (%), (vii) 絞り ϕ (%)

ここで、降伏点が不明確な場合は永久歪0.2%に相当するオフセット耐力を使う。またヤング係数はグラフ A、一様伸び(最大応力時の歪)はグラフ B から読み取る。

- ・上下降伏点の数値と応力-歪関係上の位置をグラフ A の中に示せ。
- ・引張強さ、一様伸びの数値と応力-歪関係上の位置をグラフ B の中に示せ。

3.2 高力ボルト摩擦接合部の引張実験 (実験 F-1, F-2)

(1) 実験結果のグラフ化

荷重-伸び関係、ボルト張力-伸び関係をグラフに示せ。荷重は試験機からの出力(kN)、伸びは変位計による測定値(mm)、ボルト張力はボルト頭部歪ゲージからの換算値(kN)を使用する。

グラフは F-1, F-2 の2つの実験について別々に作成する。それぞれのグラフで、縦軸には引張荷重とボルト張力の2つの関係を重ねて示せ。作成したグラフから次の2つの値を読みとり、その数値と読みとった位置をグラフの曲線上に示せ。

- ・すべり耐力(kN)(最初の顕著なすべり発生時の荷重)
- ・最大耐力(kN)

(2) 接合部耐力の計算

後述の計算方法を参考に、鋼材の降伏強さ、引張強さは引張試験(T-1)で得た値を使い、試験片各部の寸法は実測値を使い、次の値を計算せよ。なお、添板の材料強度は中板と同じとみなし、ボルトの耐力は規格値を使ってよい。

- ・すべり係数: (2) 式(すべり耐力は実験値を用いる)
- ・破断耐力: ボルト軸部破断(kN): (3) 式
- ・破断耐力: 中板 A のへりあき破断(正味断面の破断)(kN): (4) 式
- ・破断耐力: 中板 A のはしめけ破断(局部ちぎれ破断)(kN): (5) 式および(6) 式

(3) 破壊形式と最大荷重に関する考察

先に計算した破断耐力の計算値と、実験の最大耐力を比較し、以下の点について言及しながら考察せよ。

- ・実験で観察された破壊形式と、最大耐力の計算値から予想される破壊形式の対応関係
- ・破断耐力に関して、実験値と計算値が異なる場合は、その理由を考えよ

(4) 継手効率に関する考察

継手効率を2つの試験それぞれの降伏耐力、最大耐力に関して計算せよ。継手効率は、接合部の耐力の、ボルトで接合されていない一体の鋼材（中板部分）の耐力に対する比である。弾性限耐力（降伏耐力、すべり耐力）と、最大耐力についてそれぞれ計算して比較し、接合部の耐力の効率について考察せよ。

3.3 スプリットティ形式引張接合部の引張実験（実験名 S-1）

(1) 実験結果のグラフ化

試験片の荷重－変形関係をグラフに示せ。荷重は試験機からの荷重（kN）、変形は2つのパイ型変位計による測定値の平均（mm）を使用する。

荷重－ボルト張力関係をグラフに示せ。荷重は試験機の荷重出力（kN）を1/2倍してボルト1本あたりの値を使う。また、ボルト張力は2本のボルトそれぞれの測定値（kN）を使い、1つのグラフに重ねて描くこと。

(2) 弾性剛性の計算

図4のモデルを想定し、ティフランジの弾性曲げたわみによる変形 δ から、試験体の弾性剛性を計算せよ。またこの剛性による弾性勾配を上述の荷重－変形関係グラフに書き加え、実験結果と比較せよ。

(3) 試験体の降伏耐力

後述の計算方法を参考に、材料の強度は素材試験結果（演習中は時間の都合でこの素材試験を行わない。事前の試験による材料強度を演習中に口頭で伝える）、試験片各部の寸法は実測値を使い、スプリットティ形式の引張接合部の3つの機構による降伏耐力を計算せよ。また、得られた耐力の計算値を、上の荷重－変形関係のグラフ上に示し、計算値と実際の荷重変形における弾性限界との関係を見て、耐力評価の妥当性について考察せよ。

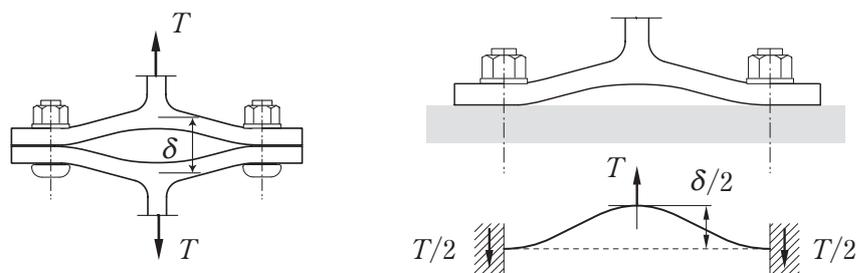


図4 スプリットティ形式引張接合部の弾性変形モデル

4. 高力ボルト摩擦接合部の耐力計算

4.1 ボルト張力

ボルト接合部の設計や耐力計算に用いる設計ボルト張力 N_0 は次式による。

$$N_0 = 0.75 A_{be} \cdot \sigma_{by} \quad (1)$$

ここで、 σ_{by} ：高力ボルト素材の降伏強さで F10T の場合は $\sigma_{by} = 0.9\sigma_{bu} = 900$ (N/mm²)

σ_{bu} ：高力ボルト素材の引張強さで F10T の場合は $\sigma_{bu} = 1000$ (N/mm²)

A_{be} ：ボルトねじ部の有効断面積

ボルトの呼び径が M20 (軸部の直径が 20mm) の場合は $A_{be} = 245\text{mm}^2$ 、強度が F10T の場合は、 $\sigma_{by} = 900$ N/mm² だから、設計ボルト張力は $N_0 = 0.75 \times 900 \times 245 \times 10^{-3} = 165$ kN である。

ボルトを締結するときは設計ボルト張力を導入するが、施工時のばらつきを考慮して 10% 増しの値である標準ボルト張力 N を目標値として締め付ける。F10T M20 の場合は $N = 1.1N_0 = 182$ kN である。

4.2 すべり耐力

$$q_{by} = m\mu N_0 \quad (2)$$

ここで、 m ：摩擦面の数

μ ：すべり係数。すべり耐力の初期導入張力に対する比。設計では初期導入張力に設計ボルト張力を使い、赤さび面またはショットブラスト面のすべり係数は 0.45 とする。

F10T, M20 高力ボルトの 2 面摩擦のすべり耐力は $q_{by} = 2 \times 0.45 \times 165 = 149$ kN である。

4.3 最大耐力

高力ボルト摩擦接合された接合部が引張を受けたときの最大耐力 P_u は、

(1) ボルト軸部破断

(2) へりあき破断 (正味断面の破断)

(3) はしぬけ破断 (局部ちぎれ破断)

の 3 つの破壊形式を考え、各耐力の最も小さい値がその接合部の耐力であると考える。

日本建築学会「鋼構造接合部設計指針:2.1 節」(2001) には、最大耐力の算定式として以下に示す式 (3) ~ 式 (5) が規定されている (図 5 参照)。ここで板要素とは試験体の中板および添板である。

1) ボルト軸部のせん断破壊による耐力

$$P_{u1} = n q_{bu} \quad (3)$$

ここで、 P_{u1} ：ボルト軸部のせん断破壊による耐力

n ：ボルト本数

q_{bu} ：ボルト 1 本あたりの最大せん断耐力。 $q_{bu} = m A_{bs} \tau_{bu}$

A_{bs} ：高力ボルトの軸部断面積

τ_{bu} ：高力ボルトのせん断強度。 $\tau_{bu} = \sigma_{bu} / \sqrt{3} \doteq 0.6\sigma_{bu}$

F10T, M20 の場合は $q_{bu} = 2 \times 3.14 \times 0.6 \times 100 = 377$ kN

2) へりあき破断による耐力（中板 A または添板 C の試験部分）

$$P_{u2} = A_n \sigma_u \quad (4)$$

ここで、 A_n : へりあき破断で想定される引張応力の作用する部分の断面積、 $A_n = (w - d)t$

t : 板要素の板厚

w, d : 板要素の幅と孔径（図 5 参照）

σ_u : 板要素の引張強さ

3) はしぬけ破断による耐力（中板 A または添板 C の試験部分）

$$P_{u3} = 0.5A_{ns} \sigma_u \quad (5)$$

ここで、 A_{ns} : せん断応力の作用する部分の有効断面積、 $A_{ns} = 2e_1 t$

e_1 : はしあき距離、 $e_1 = e + d/2$ （図 5 参照）

(5) 式は実験式として長年使われている実績があるが、破壊形式と結びつけられる力学的な根拠がない。

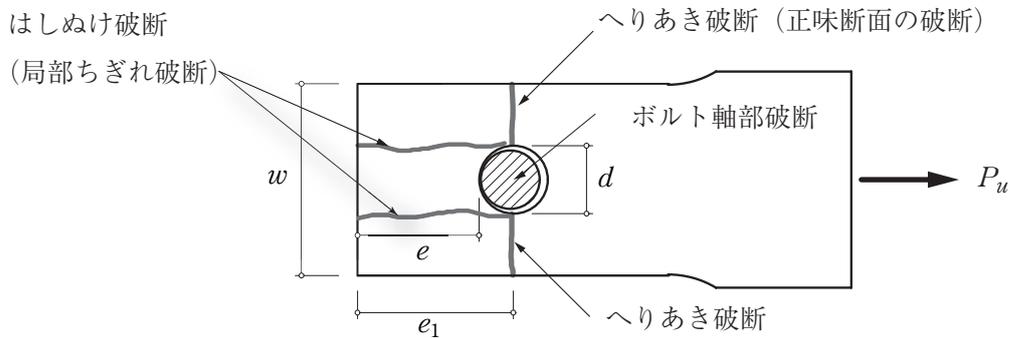


図 5 高力ボルト摩擦接合部の破壊形式

理論的には図 6 の破壊機構を想定し、破壊線 AB は荷重作用軸と 45 度の方向であると仮定すると、次式で耐力を算定できる。

$$P'_{u3} = 2 \left(e_1 - \frac{\sqrt{2}-1}{2} d \right) \frac{t \sigma_u}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

(6) 式を得る手順は以下の通りである。

破壊線 ABC は組み合わせ応力を受ける AB 部とせん断応力だけ受ける BC 部に分けて考える。まず AB 部の耐力を得るために、図 7 のように引張荷重軸と β の角度をなす直線上で塑性化して荷重軸方向に一樣な塑性変形が生じる場合を考える。図 7 の破壊線方向に t 軸をとり、これと直交する方向を n 軸とする。塑性化領域の大きさに比べて板厚が小さく、板厚方向の主応力が 0 とみなせる平面応力状態であると考え、Mises の降伏条件は $n-t$ 座標系における応力成分 $\sigma_n, \sigma_t, \tau_{nt}$ を用いて次式で表せる。

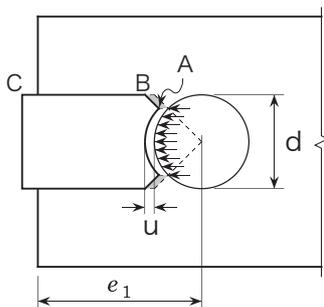


図 6 はしぬけ破断の破壊機構

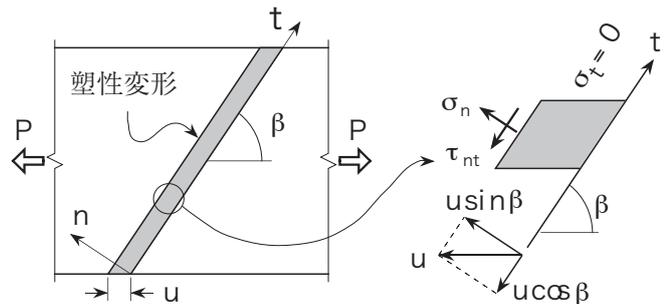


図 7 荷重軸と角度 β を有する破壊機構

$$\Phi = \sigma_n^2 - \sigma_n \sigma_t + \sigma_t^2 + 3\tau_{nt}^2 - \sigma_y^2 = 0 \quad (7)$$

ここで塑性化領域の境界に接する t 軸方向の拘束は小さいので $\sigma_t = 0$ とみなし、さらに Mises の降伏条件における降伏応力の代わりに引張強さ σ_u を適用すると、平面応力状態に対する破壊基準は次式となる。

$$\Phi = \sigma_n^2 + 3\tau_{nt}^2 - \sigma_u^2 = 0 \quad (8)$$

荷重軸方向の塑性変形増分を u とすると、 σ_n 方向の歪 (変形) は $u \sin \beta$ 、 τ_{nt} 方向の歪は $u \cos \beta$ であるから、単位面積あたりの応力仕事 w_i は次式で表される。

$$w_i = (\sigma_n \sin \beta + \tau_{nt} \cos \beta) u \quad (9)$$

σ_n 方向の歪 $u \sin \beta$ 、 τ_{nt} 方向の歪 $u \cos \beta$ については、塑性歪の法線則より ζ を正の比例定数として次式が成り立つ。

$$u \sin \beta = \zeta \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_n} = 2\zeta \sigma_n, \quad u \cos \beta = \zeta \frac{\partial \Phi}{\partial \tau_{nt}} = 6\zeta \tau_{nt} \rightarrow \tau_{nt} = \frac{\sigma_n}{3 \tan \beta} \quad (10)$$

(8) 式、(10) 式から次式が得られる。

$$\sigma_n = \frac{3 \tan \beta}{\sqrt{3(3 \tan^2 \beta + 1)}} \sigma_u, \quad \tau_{nt} = \frac{1}{\sqrt{3(3 \tan^2 \beta + 1)}} \sigma_u \quad (11)$$

(11) 式を (9) 式に代入して、単位面積あたりの応力仕事 w_i は次式で表される。

$$w_i = \sqrt{1 + 2 \sin^2 \beta} \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} u \quad (12)$$

図 6 の AB 部分、BC 部分の長さ l_{AB} 、 l_{BC} はそれぞれ次式で得られる。

$$l_{AB} = \frac{1}{2}(\sqrt{2} - 1)d, \quad l_{BC} = e_1 - \frac{d}{2} \quad (13)$$

板厚を t とし、AB 部分の応力仕事には $\beta = 45^\circ$ とし、応力仕事式 (12) を適用すると、次式を得る。

$$W_i^{AB} = \sqrt{1 + 2 \sin^2 45^\circ} l_{AB} t \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} u = \sqrt{2} l_{AB} t \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} u \quad (14)$$

また BC 部分の応力仕事は $W_i^{BC} = l_{BC} t \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} u$ であるから、図 6 の破壊機構に対する全応力仕事は次式で表される。

$$W_i = 2(\sqrt{2} l_{AB} + l_{BC}) t \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} u \quad (15)$$

これに (13) 式を代入して、

$$W_i = 2\left(e_1 - \frac{\sqrt{2} - 1}{2}d\right) t \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} u \quad (16)$$

図 6 に矢印で示されている支圧力の合力を P_u とすると、外力仕事は $P_u u$ であるから、これを (16) 式と等値すれば (6) 式が得られる。

5 スプリットティ形式引張接合部の耐力計算

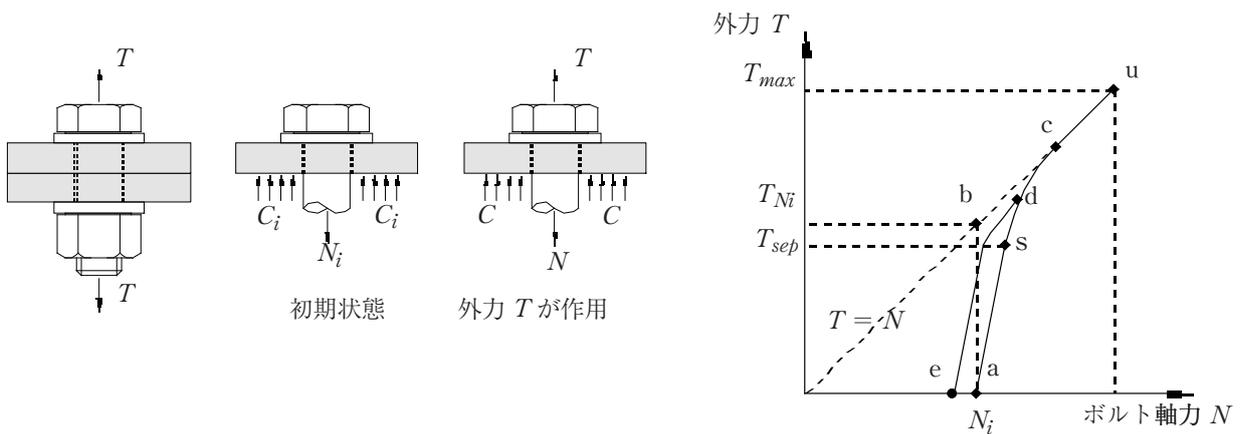
5.1 離間耐力

$$p_{by} = 0.9N_0 \quad (17)$$

ここで、 p_{by} : 離間耐力、ボルト軸方向に引張力を受ける高力ボルト 1 本当りの降伏耐力
 N_0 : 設計ボルト張力

引張力を受けた高力ボルトの降伏耐力は、ボルト素材の降伏強さに軸部の有効断面積を乗じたものではない。高力ボルトを締め付けた直後は、ボルトの軸力は初期張力 N_i であり、これと材間圧縮力 C_i が等しくて図 8(b) の a 点の状態にある。締め付けられた鋼板が剛体であると仮定すると、ボルトに作用する外力 T が増加しても鋼板の板厚は変化しないからボルトの軸力も変化せず、材間圧縮力 C だけが減少する。 $T = N_i$ になると $C = 0$ となり (b 点)、ここで 2 枚の鋼板に離間が生じ、その後は $T = N$ の関係でボルト軸力が増加して最後はボルトが破断 (u 点) し、 $a \rightarrow b \rightarrow u$ の経路をとる。

現実の鋼板はボルト軸部に比べて剛性が非常に大きな弾性体であるから、 T の増加に対して鋼板の圧縮歪が解除されてボルト軸力が若干増加し、経路は $a \rightarrow s \rightarrow c$ と取る。b 点より荷重の小さい s 点付近から離間が始まり、ねじ底部の塑性化のため s 点を越えてからの除荷経路は $d \rightarrow e$ のように a 点に戻らない。この s 点は高力ボルトの軸方向力に対する弾性限界に相当するもので、このときの外力 T_{sep} を離間荷重と呼ぶ。この点に相当する離間耐力は多くの実験から N_i の 90% 程度であることが分かっている、設計では (17) 式で算定される。さらに外力 T が増加すると c 点で完全に離間し、その後は $T = N$ の関係でボルト軸力が増加し、破断までの経路は $a \rightarrow s \rightarrow c \rightarrow u$ となる。



(a) 引張接合部に作用する力

(b) 外力とボルト軸力の関係

図 8 引張接合におけるボルト軸力

5.2 スプリットティ形式引張接合部の降伏引張耐力

図9に示す3種類の崩壊機構が想定され、それぞれの崩壊荷重は次式で計算される。この中で最も小さい値を接合部の降伏耐力はとみなす。

$$T_{y1} = 2n p_{by} \quad (18)$$

$$T_{y2} = 2 \frac{M_p + n p_{by} a}{a + b} \quad (19)$$

$$T_{y3} = \frac{4M_p}{b} \quad (20)$$

ここで、

n : ティフランジ片側を接合するボルトの本数

a : 高力ボルトのはしあき長さ (図9参照)

b : 片側フランジの長さから ($a + r/2$) を差し引いた残りの長さ (図9参照)

r : ウェブフィレットの半径 (H-400 × 200 の場合は 13mm)

M_p : フランジの全塑性モーメント $M_p = \frac{w t_f^2}{4} \sigma_y$

w : ティフランジの幅

t_f : ティフランジの板厚

σ_y : ティフランジの降伏強さ

p_{by} : 離間耐力 (F10T M20 の場合、 $p_{by} = 149\text{kN}$)

機構1はボルトに比べてティフランジが非常に強く、ボルト軸部だけが降伏する場合、機構3は逆にティフランジが弱く、ティフランジだけが4箇所曲げ降伏する場合、機構2はその中間で、ボルト軸部の降伏とティフランジの2箇所の曲げ降伏が同時に生じる場合である。

スプリットティ形式の引張接合部で注意すべき点は、図9に示す「てこ反力」の影響である。機構3の場合で見ると、ボルト位置で全塑性曲げモーメント M_p に達しているときは、(21)式のとこ反力 P_r が加わり、ボルト軸力は(22)式で得られる。

$$P_r = \frac{M_p}{a} \quad (21)$$

$$N = \frac{T_{y3}}{2} + P_r = \frac{2M_p}{b} + \frac{M_p}{a} = \frac{2a + b}{ab} M_p \quad (22)$$

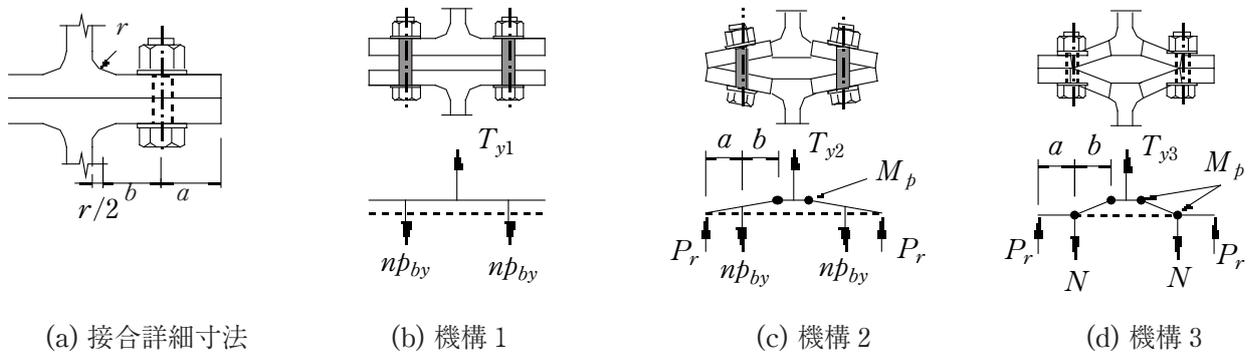
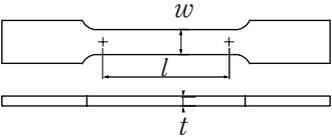
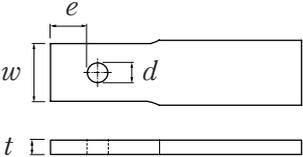
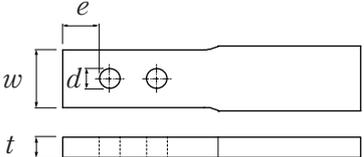


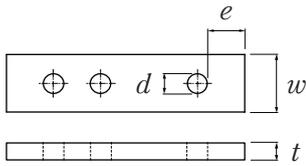
図9 スプリットティ形式引張接合部の崩壊機構

試験片寸法の実測値記録用紙

引張試験：T 		計測	1 回目	2 回目	3 回目	平均	
	T-1	幅 w (mm)					
		板厚 t (mm)					
		標点距離 l (mm)					
摩擦接合部：中板 A 		計測	1 回目	2 回目	3 回目	平均	
	A-1	幅 w (mm)					
		板厚 t (mm)					
		はしあき e (mm)					
		孔径 d (mm)					
	A-2	幅 w (mm)					
		板厚 t (mm)					
		はしあき e (mm)					
		孔径 d (mm)					
	摩擦接合部：中板 B 		計測	1 回目	2 回目	3 回目	平均
		B-1	幅 w (mm)				
			板厚 t (mm)				
はしあき e (mm)							
孔径 d (mm)							
B-2		幅 w (mm)					
		板厚 t (mm)					
		はしあき e (mm)					
		孔径 d (mm)					

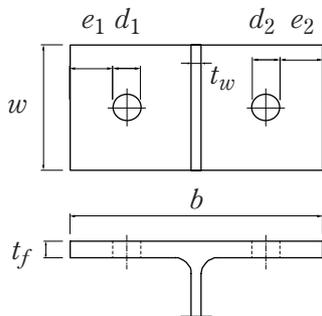
試験片寸法の実測値記録用紙

摩擦接合部：中板 C



		計測	1 回目	2 回目	3 回目	平均	
C-1	幅 w (mm)						
	板厚 t (mm)						
	はしあき e (mm)						
	孔径 d (mm)						
	C-2	幅 w (mm)					
		板厚 t (mm)					
		はしあき e (mm)					
		孔径 d (mm)					
	C-3	幅 w (mm)					
		板厚 t (mm)					
		はしあき e (mm)					
		孔径 d (mm)					
C-4	幅 w (mm)						
	板厚 t (mm)						
	はしあき e (mm)						
	孔径 d (mm)						

スプリットティ：D



		計測	計測
D-1	幅 w (mm)		幅 b (mm)
	板厚 t_f (mm)		板厚 t_w (mm)
	はしあき e_1 (mm)		はしあき e_2 (mm)
	孔径 d_1 (mm)		孔径 d_2 (mm)
D-2	幅 w (mm)		幅 b (mm)
	板厚 t_f (mm)		板厚 t_w (mm)
	はしあき e_1 (mm)		はしあき e_2 (mm)
	孔径 d_1 (mm)		孔径 d_2 (mm)