

第3章 拡大孔を有するトルシア形高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力について

3. 1 研究の目的

高力ボルト摩擦接合継手への拡大孔の適用に関する検討は行われているが、設計・施工に要求される基準の精度が非常に厳しいため、拡大孔の積極的な適用につながっていない現状がある。

一方、本研究会が過去に実施した高力ボルト摩擦接合継手に関するアンケート¹⁾では、拡大孔およびスロット孔（長孔）が必要とされる構造および架設工法として下記が挙げられている。

1) 構造

- ①斜橋・拡幅部の横桁、対傾向
- ②対傾構下弦材と下横構ガセットの取り合い部
- ③既設桁との取り合い継手
- ④調整ブロックの全断面

2) 架設工法

- ①現場溶接によりボルト孔間隔が変化するおそれのある継手部
- ②落とし込み工法の落とし込み（閉合）ブロックの継手部
- ③大ブロック架設で剛結ジョイントを有する継手部
- ④鋼床版の落とし込みブロックの橋軸・橋直方向継手部
- ⑤橋軸方向にキャンバーを有し、主構造と長さが異なる部材（縦桁等）の継手部

以上のように、拡大孔およびスロット孔は計測誤差や施工誤差、現場溶接收縮を吸収できるほか、仮組時の整孔作業の減少や工場溶接の収縮も吸収できることから、添接板の先孔加工が可能という長所がある。一方、キャンバーおよび平面線形が再現しづらい点や、仮組状態を現場で再現することが困難であること、仮組状態再現のためのパイロットホールが必要な場合があるなどの短所もある。

拡大孔を用いることで一般にはすべり耐力、すべり係数あるいは疲労強度が低下するといわれている²⁾。そのため、適用する拡大孔の範囲でそれらがどの程度であるか把握する必要がある。

拡大孔がすべり耐力与える影響について、高力ボルトに摩擦接合用高力六角ボルトを使用した場合の報告が本研究会からなされている¹⁾。一方、トルシア形高力ボルトはボルト側に座金を使用しないことから、座面の面積が六角ボルトに比べ小さく拡大孔がすべり耐力に与える影響が大きいと考えられる。

本報告では同一の試験体を使用し、高力ボルトに利用度の高い摩擦接合用トルシア形高力ボルトを使用した場合のすべり耐力試験を実施した。試験結果より拡大孔を有する摩擦接合継手のすべり耐力と降伏耐力について検討を行った。

3. 2 既往の研究

拡大孔を有する高力ボルト摩擦接合継手に関して、これまでいくつかの研究がなされている。また、当研究会においても高力六角ボルトの場合について検討を行っている。以下に文献の内容を示す。

①拡大孔を用いた摩擦接合継手のすべり面耐力と降伏耐力に関する研究¹⁾

1) 実験内容

鋼材 : SM400A, SM490Y
使用ボルト : F10T-M22
接合部 : 1行多列型－2面摩擦接合
接合面 : グリッドによる手動ブラスト（黒皮の除去）
パラメータ : すべり／降伏耐力比 $\beta = 0.8, 1.0, 1.2, 1.4$
ボルト列数 2列（シリーズⅠ SM400A）
3列（シリーズⅡ SM490Y）
孔径 24.5, 26.5, 28.5
シリーズⅡは孔径 28.5 の場合でボルトずれ、孔ずれを考慮

2) 結論

- すべり先行型の継手では、すべり耐力に対する拡大孔の影響は認められない。
- 降伏先行型の継手では、引張荷重による板厚減少からすべり耐力が低下する。すべり先行型の継手では、現行基準のすべり係数（0.4）を満たしている。
- 拡大孔を用いた継手のすべり耐力と降伏耐力に対するボルトずれ・孔ずれの影響は認められない。
- 降伏先行型の継手の降伏耐力は、純断面積を用いて計算した耐力よりも 10%程度大きい。

②過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合継手に関する実験報告書³⁾

1) 実験内容

鋼材 : SN400B, SN490B
使用ボルト : F10T, S10T, メッキ高力ボルト-M16, M20, M22
接合部 : 1行多列型－1面, 2面摩擦接合
接合面 : ショットブラスト, ショットブラスト+赤錆
パラメータ : すべり／降伏耐力比 $\beta = 0.6, 0.8, 1.0, 1.2$
孔径 $d+2, d+4, d+6$, スロット
ボルト列数 2, 3列

2) 結論

- すべり／降伏耐力比 β の増加にともないすべり係数 μ が直線的に減少する。
- 孔径が大きくなるとすべり／降伏耐力比 β が大きくなり、すべり係数 μ が低下する。
- すべり／降伏耐力比 β とすべり係数 μ の関係は試験時期、材料、摩擦面処理方法に影響されない。
- 実験より摩擦係数 μ とすべり／降伏耐力比 β に関する 1 次の近似式を導出した。

また、すべり係数を 0.45 と設置していること、すべりという現象がばらつきやすいことを考えて、すべり／降伏耐力比 β は 1.2 以下にすることが望ましい。また、d+6 までの過大孔ではすべり荷重の低下は小さいと考える。

3. 3 試験体の設計および製作

3. 3. 1 試験体の設計

本章におけるすべり耐力試験の試験体形状は、**図-3.1**に示す2面摩擦の突合せ継手で、母材の板厚 25mm、添接板の板厚 14mm、材質はともに SM490YB である。**表-3.1.1**に供試鋼材の機械的性質を、**表-3.1.2**に供試鋼材の化学成分を示す。供試鋼材の入荷時の表面処理は、母材および添接板とも黒皮のままである。試験体は、一方の母材のボルト本数を 3 本、他方の母材のボルト本数を 4 本として、両母材のボルト本数を変えることによりすべりの生じる摩擦接合面を特定する構造としている。高力ボルトにはトルシア型高力ボルト S10T-M22 を使用し、摩擦接合面はブラスト処理後に厚膜型無機ジンクリッチペイントを塗布した。**表-3.2**に供試ボルトの機械的性質を示す。

試験ケースを**表-3.3**に示す。試験ケース Case1～Case3 では、ボルト孔径を 24.5Φ、26.5Φ、および 28.5Φ の 3 種類に変化させ、ボルト孔径の大きさが摩擦接合継手のすべり耐力に与える影響について検証した。さらに、試験ケース Case4 および Case5 では、ボルトの頭部側にも座金を用い、ボルトの頭部側における支圧面積が摩擦接合継手のすべり耐力に与える影響について検証した。両試験ケースのボルト孔径は、試験ケース Case4 では 24.5Φ、Case5 では 28.5Φ とした。

試験体は、すべり係数を 0.4、ボルトの導入軸力を 205kN と仮定し、最大ボルト孔径の試験ケースにおいても、すべり／降伏耐力比が 1 より小さくなるように設計を行った。**表-3.4.1～2**に各試験ケースにおけるすべり／降伏耐力比の計算結果を示す。**表-3.4.1**は試験体の降伏耐力を鋼材の降伏応力の下限規格値を用いて計算した結果で、設計上のすべり／降伏耐力比は 0.85～0.90 である。また、**表-3.4.2**は試験体の降伏耐力を供試鋼材のミルシートの降伏応力を用いて計算した結果で、設計上のすべり／降伏耐力比は 0.76～0.81 である。

3. 3. 2 試験体の製作

各試験ケースについて、それぞれ 3 体の試験体を製作した。試験体の母材および添接板は、ガス切断にて切断加工を行い、材片の端面および側面はガス切断面のままとした。ボルト孔の孔明け加工にあたっては、母材と添接板の孔心を一致させるため、母材と添接板を重ね合せた状態で行った。孔明け加工後、母材および添接板のボルト孔の両側に 0.5C 程度の面取り加工を行い、ボルト孔のバリおよびカエリを除去した。

母材および添接板の両面をブラスト処理し、厚膜型無機ジンクリッチペイントを塗布した。素地調整における除錆程度は ISO Sa2 1/2、厚膜型無機ジンクリッチペイントの目標膜厚は 75μm である。**図-3.2**に摩擦接合面における乾燥膜厚の測定位置を、**表-3.5.1～2**に摩擦接合面における合計乾燥膜厚の測定結果を示す。乾燥膜厚の測定は二極式の二

点調整形電磁微厚計を用いて行い、各測定位置における母材と添接板の測定値を加算して合計乾燥膜厚とした。摩擦接合面における合計乾燥膜厚は 131～212 μm で、試験体 Case1-3 および Case2-3 で道路橋示方書の規定値の上限を若干超えている。

試験体の組立に際しては、ドリフトピンを用いて母材と添接板の孔心を一致させ、シャコマンで母材と添接板を固定した後、手工具によりボルトの仮締めを行った。ボルトの締付けは、添接板の中央のボルトから順次端部のボルトに向かって行い、締付け機械により予備締めおよび本締めの 2 度締めを行った。予備締め完了後にボルト、ナット、および座金にマーキングを行い、本締め完了後にピンテールの破断と共回りの有無を目視にて確認した。試験体の本締め前に、同一製造ロットの 5 本の供試ボルトを用いて、軸力計により締付け軸力を測定した。表-3.6 に締付け軸力の測定結果を示す。測定した締付け軸力の平均値は 214kN、最小値は 205kN、最大値は 220kN であった。なお、予備締めにおける締付け軸力は、設計軸力 (205kN) のおおよそ 70% とし、10% 程度高めの設定とした。

3. 4 試験方法

すべり耐力試験は、高力ボルトの本締め完了から 2 週間後に実施した。載荷試験は名古屋大学所有の 200kN 万能試験機を用いて行い、摩擦接合面にすべりが認められるまで単調に引張荷重を載荷した。載荷試験中は、動ひずみ計を用いて引張荷重の載荷開始から 1 秒毎に荷重、変位、およびひずみの測定を行った。

図-3.3 に試験体の変位とひずみの測定位置図を示す。各試験体について、母材間の突合せ部の両側面にクリップゲージを、継手構造の影響を受けない一般部の母材の両側面にひずみゲージを配置した。ひずみゲージの配置は、摩擦接合面にすべりの生じる母材側のみである。母材間の突合せ部における開口変位をクリップゲージで測定することにより、荷重と摩擦接合面のすべりの関係を観察した。継手構造の影響を受けない一般部の母材のひずみゲージでは、荷重とひずみの関係および母材の降伏の有無を観察した。

また、各試験ケースの 3 体中 1 体の試験体については、ボルト孔中心位置の母材の両側面にひずみゲージを貼り、母材から添接板への荷重伝達の様子およびボルト孔位置におけるすべり荷重と母材ひずみの関係を観察した。載荷試験の終了後には、各試験体を解体して母材および添接板の摩擦接合面の状況を観察した。写真-3.1 に試験開始前の試験体の状況を示す。

3. 5 すべり耐力試験結果

3. 5. 1 荷重と開口変位

図-3.4.1～5 に各試験体の荷重と母材間の開口変位の関係を示す。開口変位は試験体の両側面で測定された変位の平均で、図中の破線はすべり荷重を示す。ここで、すべり荷重は、荷重と開口変位の関係が急激に変化する点の荷重としている。

各試験体ですべり荷重の 60% 付近までは、荷重の増加に伴い開口変位も比例して増加している。この段階では、摩擦接合面にすべりは生じず、添接板の弾性変形により開口変位

が生じていると考えられる。すべり荷重の 60%付近を過ぎると荷重と開口変位の関係は、荷重の増加とともに傾きが徐々に緩やかになる。添接板の弾性変形に加えて摩擦接合面に微小なすべりが生じたものと考えられる。さらに荷重が増加し、摩擦接合面に明確なすべりが生じる段階で開口変位は大きくなる。このとき荷重と開口変位の関係は右上がりから右下がりへと逆の傾きを示し、この頂点の最大荷重をすべり荷重とした。摩擦接合面にすべりが生じると同時に、荷重はすべり荷重の 90%付近まで低下し、その後は塑性挙動を示す。すべり荷重に到達するまでの荷重と開口変位の関係では、すべり荷重の大小以外、試験ケースおよび試験体による挙動の違いはみられない。

3. 5. 2 荷重と母材ひずみの関係（一般部）

図-3.5.1~5 に各試験体における荷重と一般部の母材ひずみの関係を示す。一般部の母材ひずみは、母材の両側面で測定されたひずみの平均で、図中の破線はすべり荷重を示す。

各試験体の載荷過程では、荷重と母材ひずみの関係はほぼ直線で、試験ケースおよび試験体による挙動の差はみられない。すべり荷重に到達し、摩擦接合面のすべりが生じると同時に母材ひずみは減少するものの、再び荷重が加わると母材ひずみは最大荷重までほぼ直線的に増加している。

各試験体の除荷過程では、載荷過程と同じ軌跡を辿らず非線形性が認められる。これは、ひずみゲージを貼付けている母材の側面がガス切断面のままであることから、切断加工時の熱による残留応力の影響と考えられる。よって、各試験体の一般部の母材では降伏は生じていないと考察する。

3. 5. 3 荷重と母材ひずみの関係（ボルト孔位置）

図-3.6.1~5 に各試験ケースにおける荷重とボルト孔位置の母材ひずみの関係を示す。ボルト孔位置の母材ひずみは、母材の両側面で測定されたひずみの平均で、図中の破線はすべり荷重を示す。

各試験ケースにおいて、降伏に至るまでのボルト孔位置の母材ひずみは、ボルト孔による断面欠損が生じていても一般部の母材ひずみより小さい。載荷点に近い添接板端部のボルト 1 の母材ひずみが最も大きく、母材間の突合せ部に位置するボルト 3 の母材ひずみは非常に小さい。また、荷重と母材ひずみの関係は一般部より急な傾きを示し、その傾きはボルト 1 からボルト 3 に向かって大きくなる。これらより、母材から添接板へ荷重が伝達されている様子が確認できる。

各試験ケースのボルト 1 における荷重と母材ひずみの関係では、200~300kN の荷重範囲で緩やかな勾配を示した後、初期と同様の勾配へ戻る挙動を示す。この荷重範囲における荷重と開口変位の関係では特に変化はみられない。また、ボルト 2 およびボルト 3 の荷重と母材ひずみの関係では、除荷過程で載荷過程と同じ軌跡を辿らず、一般部と同様の非線形性が認められる。ひずみゲージを貼付けている母材の側面がガス切断面のままであることから、切断加工時の熱による残留応力の影響と考えられる。

試験ケース Case4 を除く試験ケースで、ボルト 1 における母材ひずみは、すべり荷重に到達し摩擦接合面にすべりが生じると同時に減少する。再び荷重が加わると母材ひずみは一転して降伏挙動を示す。ボルト 2 およびボルト 3 の母材ひずみはすべりと同時に減少す

るものの、再び荷重が加わるとほぼ直線的に増加し母材ひずみに降伏はみられない。

ボルトの頭部側に座金を配置した試験ケース Case4 では、すべり荷重の 95%付近でボルト 1 における母材ひずみが降伏に至り、1000 μ 程度の降伏ひずみを生じてから摩擦接合面にすべりが発生している。しかし、試験ケース Case4 よりボルト孔径の大きい Case5 では、すべりが生じるまで母材ひずみに降伏は生じていない。試験ケース Case4 のボルト 2 およびボルト 3 の母材ひずみでは、他の試験ケースと同様に降伏はみられない。

ボルト孔位置における荷重と母材ひずみの関係から、すべり荷重は母材の降伏荷重より大きく、1 つの試験ケースを除いて摩擦接合面のすべりと同時に母材の降伏が生じる「すべり－降伏複合型」の性質を示している。

3. 5. 4 試験終了後の試験体

載荷試験後、各試験体を解体し母材および添接板の摩擦接合面の状況を観察した。写真－3. 2. 1～5 に各試験体における試験後の摩擦接合面を示す。各試験体でボルト本数が 3 本側の摩擦接合面ですべりが生じており、4 本側では摩擦接合面にすべりは生じていない。すべりの生じた摩擦接合面では、同心円を描くようにボルト孔周辺部で厚膜型無機ジンクリッチペイントの擦過キズがみられ、母材および添接板の地金肌が露呈している。摩擦接合面における荷重の伝達は、ボルト孔周辺のみで行われていることがわかる。また、各試験体において載荷点に近い添接板端部のボルト 1 では、ボルト孔より母材および添接板の側面に向かって扇状に塑性域がみられる。ボルト 2 およびボルト 3 では、母材および添接板ともボルト孔の周囲で塑性域はみられない。

3. 6 拡大孔がすべり耐力に与える影響

図－3. 7. (a)～(b)に試験ケース Case1～3 のボルト孔径とすべり係数の関係を示す。すべり係数はすべり荷重を摩擦接合面数とボルトの総軸力(3 本分)で除したものである。図(a)は締付け軸力(213kN)を用いて、図(b)は設計軸力(225kN)を用いてすべり係数を計算した。ボルト孔径が大きくなるほど試験結果のバラツキは小さく、各試験ケースにおいてすべり係数は道路橋示方書に規定されている 0.4 以上を十分に満足している。平均値でみると、ボルト孔径 26.5 Φ のすべり係数は、標準ボルト孔径 24.5 Φ のものとほぼ同等である。ボルト孔径 28.5 Φ では、標準ボルト孔径 24.5 Φ のものの約 95%で、大きな低下はみられない。

本すべり耐力試験の範囲では、トルシア型高力ボルトにおいても拡大孔によるすべり係数の低下は小さい。

3. 7 ボルト頭部側の支圧面積がすべり耐力に与える影響

図－3. 8. (a)～(b)に試験ケース Case4 および Case5 のボルト孔径とすべり係数の関係を示す。図(a)は締付け軸力(213kN)を用いて、図(b)は設計軸力(225kN)を用いてすべり係数を計算した。これらの試験ケースではトルシア型高力ボルトの頭部側に座金を用いたもので、両試験ケースとも試験結果のバラツキは非常に小さく、すべり係数は道路橋示方書に

規定されている 0.4 以上を十分に満足している。拡大孔を有する試験ケース Case5 のすべり係数は、3 体の結果で Case4 より若干高い値を示している。

表-3.7 に各試験ケースのすべり係数を示す。ボルトの頭部側に座金を用いた試験ケースと用いない試験ケースのすべり係数を平均値で比較すると、ボルト孔径 24.5Φ の場合では試験ケース Case4 と Case1 は同等の値である。ボルト孔径 28.5Φ の場合、試験ケース Case5 は Case3 より約 8% 高い値となっている。拡大孔を用いた場合、ボルトの頭部側の支圧面積をナット側と同等にすることにより、すべり係数の低下を防止できる結果が得られた。

3. 8 まとめ

本研究では、3 種類のボルト孔を有する摩擦接合用継手において、トルシア形高力ボルトを使用した場合のすべり耐力試験を行うことにより、拡大孔及びボルト頭部側の支圧面積がすべり耐力に与える影響について検討した。本研究で得られた結果は以下の通りである。

- (1) トルシア形高力ボルトを拡大孔に使用した場合、道路橋示方書に規定されるすべり係数 0.4 を満足するすべり係数が得られた。
- (2) トルシア形高力ボルトを 26.5φ の拡大孔へ適用した場合、24.5φ と同等のすべり係数が得られ、28.5φ の場合は若干 5% 程度の低下が見られた。
- (3) トルシア形高力ボルトの頭部側に座金を使用した場合、使用しない場合と同等のすべり係数が得られた。
- (4) 拡大孔 (28.5φ) において、トルシア形高力ボルトの頭部側に座金を使用した場合、すべり係数の低下を防止できる結果が得られた。

以上より、拡大孔にトルシア形高力ボルトを使用してもすべり耐力に影響がないこと、頭部側に座金を使用することによりすべり係数の低下を防ぐことができることが確認できた。

参考文献

- 1) 鋼橋技術研究会：拡大孔を用いた摩擦接合継手のすべり耐力と降伏耐力に関する研究，施工部会報告書Ⅱ，2002.9
- 2) 鋼橋技術研究会：高力ボルト摩擦継手における異なるすべり係数の適用の検討，施工部会報告書Ⅱ，2006.4
- 3) 日本鋼構造協会：過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部に関する実験報告書，1998.3

表－3.1.1 供試鋼材の機械的性質

使用箇所	材質	板厚 (mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	衝撃試験 (J)
母材	SM490YB	25mm	395	550	31	206
添接板	SM490YB	14mm	436	559	22	167

衝撃試験の値は3個の試験値の平均

表－3.1.2 供試鋼材の化学成分

使用箇所	材質	板厚 (mm)	C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000
母材	SM490YB	25mm	16	23	140	11	4
添接板	SM490YB	14mm	15	23	146	20	6

表－3.2 供試ボルトの機械的性質

等級 呼び径	首下 長さ	ボルト						ナット	座金	セット	
		4号試験片				製品		製品	製品		
		耐力 (N/mm ²)	引張 強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	引張 荷重 (kN)	硬さ HRC	硬さ HRC	硬さ HRC	平均 軸力 (kN)	トルク (N・m)
S10T M22	90	1043	1097	17	66	333	35	26	40	233	709
S10T M22	95	1038	1097	18	67	332	34	26	41	233	716
S10T M22	85	1053	1096	18	67	336	35	26	41	229	716

首下長さ85mmのボルトはキャリブレーション用

表-3.3 すべり耐力試験の試験ケース

試験ケース	ボルトの孔径	使用ボルト	試験体数	材質・板厚		摩擦接合面の処理
				母材	添接板	
Case1	24.5Φ	M22 S10T	3	SM490YB 25mm (黒皮材)	SM490YB 14mm (黒皮材)	厚膜型無機 ジソクリッチ ペイント (75μm)
Case2	26.5Φ					
Case3	28.5Φ					
Case4	24.5Φ (2W)					
Case5	28.5Φ (2W)					

表-3.4.1 試験体の設計上のすべり／降伏耐力比（その1）

試験 ケース	母材 板厚 (mm)	添接板 板厚 (mm)	板幅 (mm)	純断 面積 (mm ²)	降伏 応力 (N/mm ²)	降伏 耐力 (kN)	すべり 耐力 (kN)	すべり/ 降伏耐 力比 β
Case1	25	14	90	1637.5	355	581.3	492.0	0.85
Case2				1587.5		563.6		0.87
Case3				1537.5		545.8		0.90
Case4				1637.5		581.3		0.85
Case5				1537.5		545.8		0.90

- ・試験体の降伏耐力を鋼材の降伏応力の規格値を用いて計算
- ・すべり耐力は，すべり係数 0.4，ボルト軸力 205kN で計算

表-3.4.2 試験体の設計上のすべり／降伏耐力比（その2）

試験 ケース	母材 板厚 (mm)	添接板 板厚 (mm)	板幅 (mm)	純断 面積 (mm ²)	降伏 応力 (N/mm ²)	降伏 耐力 (kN)	すべり 耐力 (kN)	すべり/ 降伏耐 力比 β
Case1	25	14	90	1637.5	395	646.8	492.0	0.76
Case2				1587.5		627.0		0.78
Case3				1537.5		607.3		0.81
Case4				1637.5		646.8		0.76
Case5				1537.5		607.3		0.81

- ・試験体の降伏耐力を鋼材のミルシートの降伏応力を用いて計算
- ・すべり耐力は，すべり係数 0.4，ボルト軸力 205kN で計算

表-3.5.1 摩擦接合面における合計乾燥膜厚（その1）

測定箇所	摩擦接合面の合計乾燥膜厚（ μm ）								
	Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case3-1	Case3-2	Case3-3
添接板A側 摩擦接合面									
①	142	167	185	153	178	173	154	150	174
②	132	184	181	156	179	170	160	149	167
③	137	177	196	163	168	173	155	161	169
④	136	172	183	157	168	163	152	158	170
⑤	141	176	176	174	175	160	150	159	161
⑥	148	178	171	175	174	159	152	168	158
⑦	147	182	187	180	180	154	154	154	153
⑧	148	175	192	181	200	155	159	150	162
⑨	160	173	196	173	191	149	154	151	177
平均	143	176	185	168	179	162	154	155	165
添接板B側 摩擦接合面									
①	174	159	195	176	181	209	186	163	179
②	186	148	203	165	171	199	186	170	167
③	182	146	204	170	176	198	186	179	171
④	183	140	188	167	171	187	177	170	166
⑤	179	132	193	168	174	183	170	178	171
⑥	175	135	192	184	174	196	176	181	180
⑦	174	146	204	192	183	202	186	177	194
⑧	172	162	204	201	177	197	188	181	174
⑨	176	171	212	191	175	191	180	187	183
平均	178	149	199	179	176	196	181	176	176

表-3.5.2 摩擦接合面における合計乾燥膜厚（その2）

測定箇所	摩擦接合面の合計乾燥膜厚（ μm ）								
	Case4-1	Case4-2	Case4-3	Case5-1	Case5-2	Case5-3	—	—	—
添接板A側 摩擦接合面									
①	173	151	174	170	169	153	—	—	—
②	177	158	178	177	159	150	—	—	—
③	168	166	170	164	167	150	—	—	—
④	148	158	166	151	166	149	—	—	—
⑤	138	142	147	162	160	155	—	—	—
⑥	131	134	159	159	151	169	—	—	—
⑦	143	138	155	159	146	170	—	—	—
⑧	146	148	163	153	157	173	—	—	—
⑨	154	153	174	162	161	163	—	—	—
平均	153	150	165	162	159	159	—	—	—
添接板B側 摩擦接合面									
①	165	171	174	171	166	181	—	—	—
②	157	176	181	182	167	187	—	—	—
③	157	176	168	185	177	181	—	—	—
④	152	165	169	168	161	169	—	—	—
⑤	163	155	174	164	175	183	—	—	—
⑥	153	153	160	162	171	173	—	—	—
⑦	148	166	169	170	179	176	—	—	—
⑧	148	154	180	163	180	168	—	—	—
⑨	153	157	166	172	182	183	—	—	—
平均	155	164	171	171	173	178	—	—	—

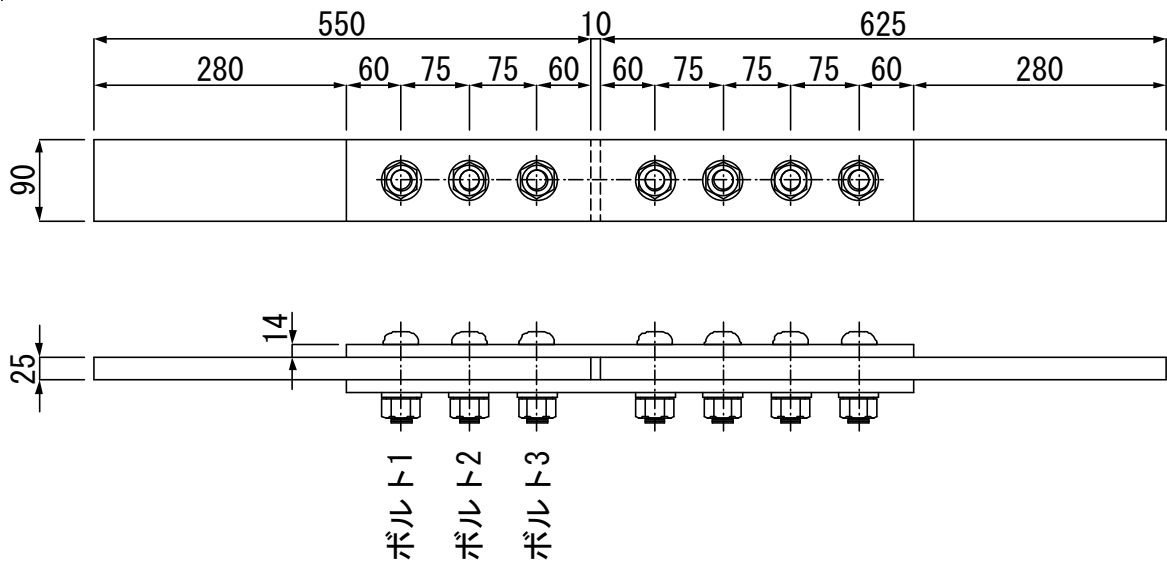
表-3.6 締付け軸力測定結果

	締付けボルト軸力(kN)						締付けボルト 軸力の平均値 の許容範囲
	①	②	③	④	⑤	平均値	
予備締め	142	146	140	145	145	143.6	—
本締め	205	213	210	220	220	213.6	212~249

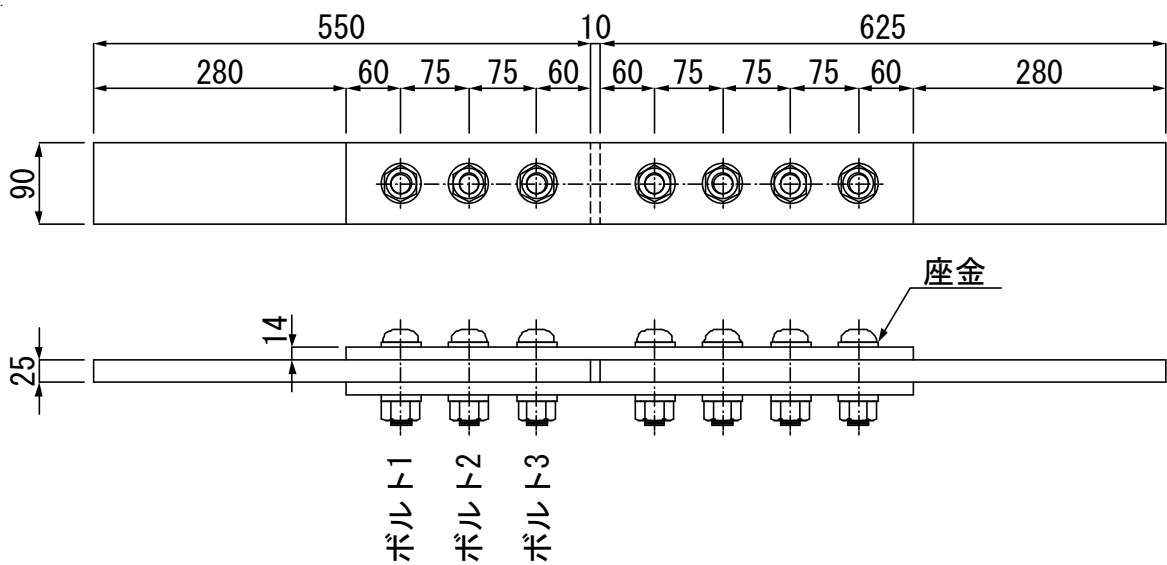
ボルト締付け時の室温 10℃, 湿度 50%

表-3.7 試験体のすべり係数

試験ケース		ボルト の孔径 (Φ)	すべり 荷重 (kN)	設計軸力(225kN)		締付け軸力(213kN)	
				すべり 係数	すべり 係数平均	すべり 係数	すべり 係数平均
Case1	-1	24.5	651	0.482	0.499	0.509	0.527
	-2		668	0.495		0.523	
	-3		700	0.519		0.548	
Case2	-1	26.5	678	0.502	0.496	0.531	0.525
	-2		658	0.487		0.515	
	-3		675	0.500		0.528	
Case3	-1	28.5	642	0.476	0.479	0.502	0.505
	-2		653	0.484		0.511	
	-3		642	0.476		0.502	
Case4	-1	24.5 (2W)	674	0.499	0.498	0.527	0.526
	-2		668	0.495		0.523	
	-3		676	0.501		0.529	
Case5	-1	28.5 (2W)	694	0.514	0.515	0.543	0.544
	-2		690	0.511		0.540	
	-3		703	0.521		0.550	



(a) Case1, Case2, Case3 の試験体形状図



(b) Case4, Case5 の試験体形状図

図-3.1 試験体形状図

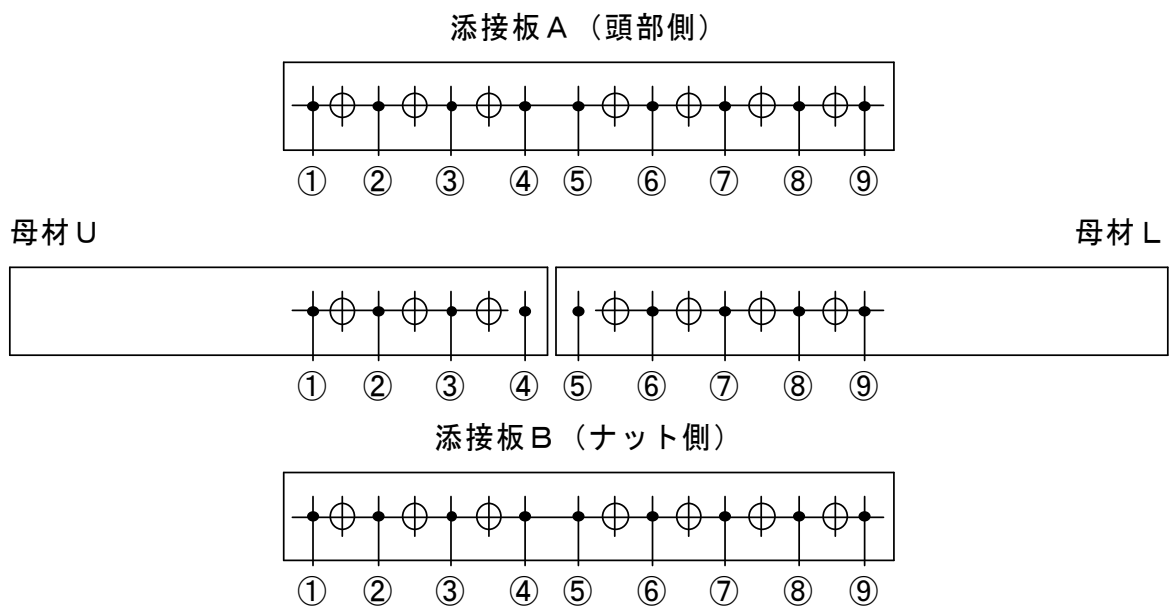
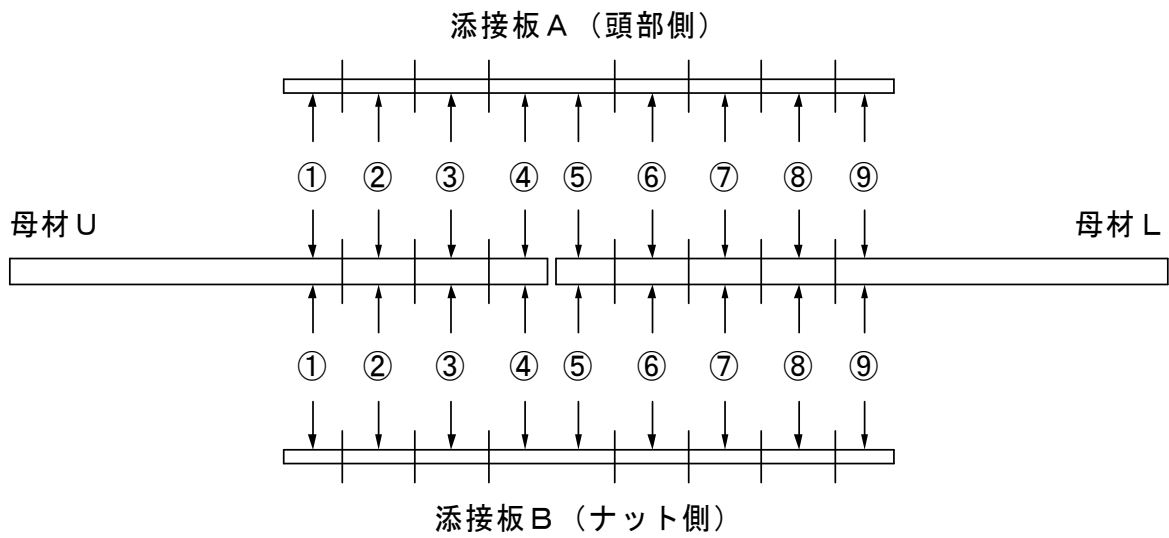
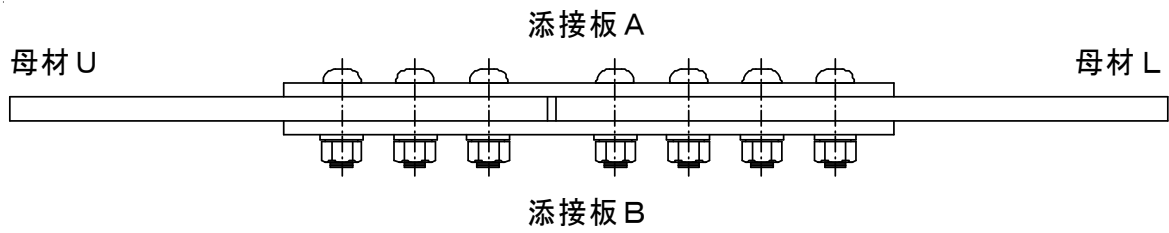
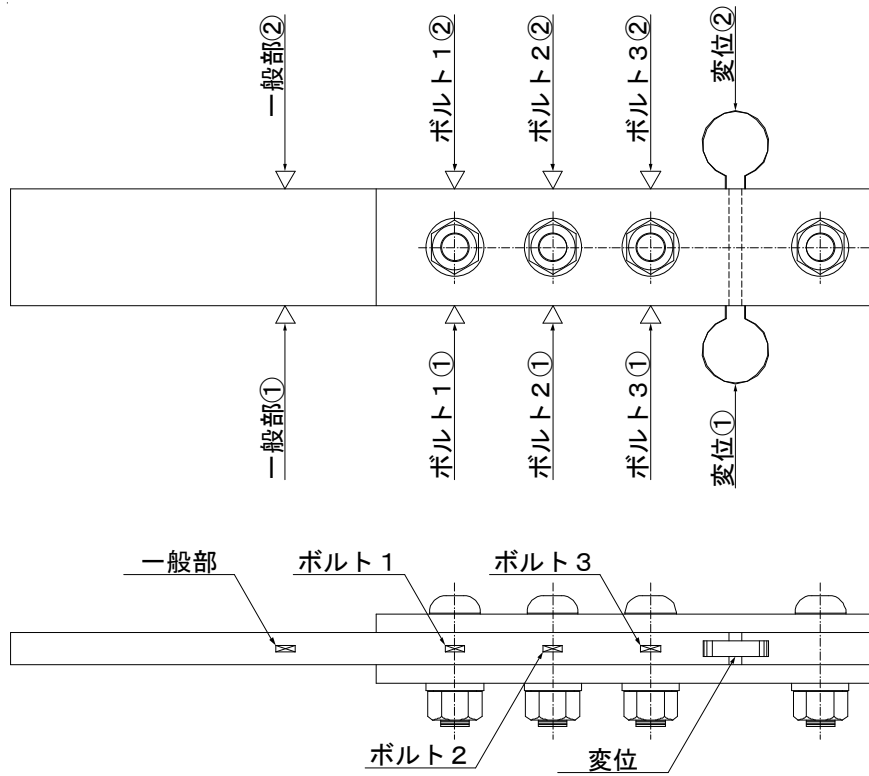
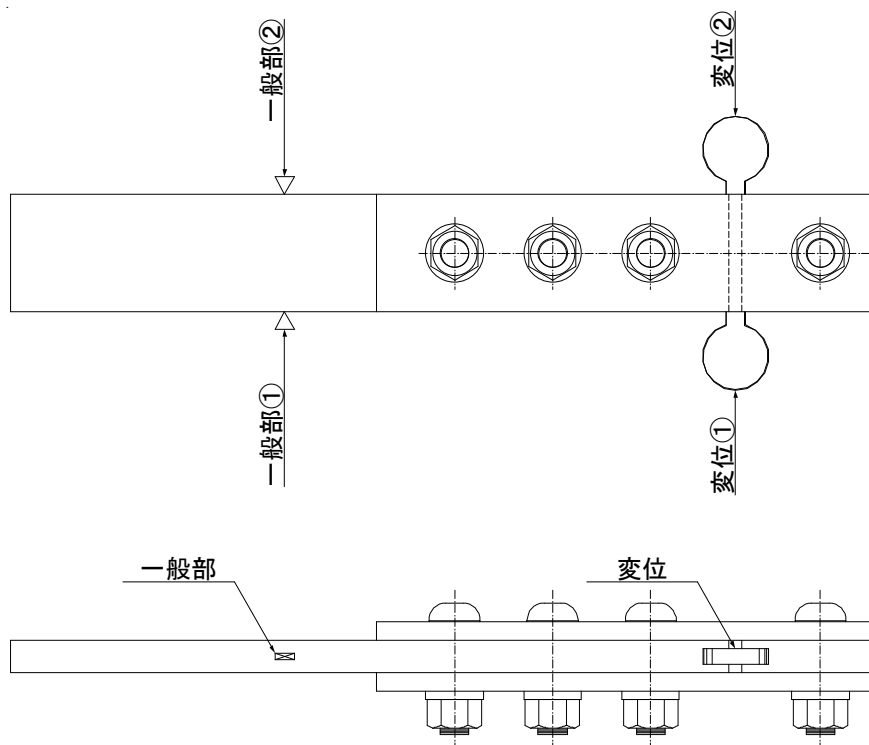


図-3.2 乾燥膜厚測定位置図

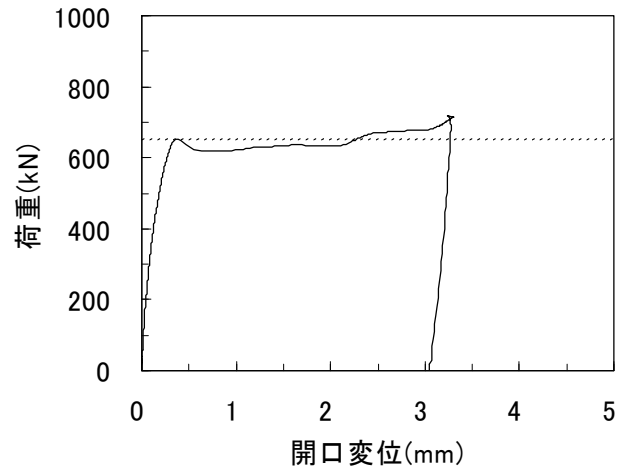


(a) 各試験ケースの-1

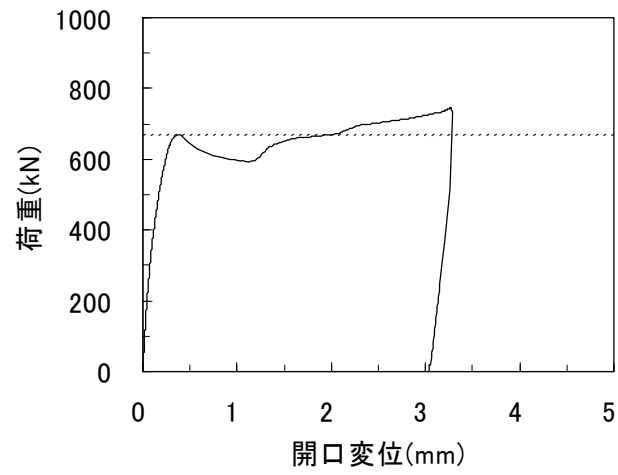


(b) 各試験ケースの-2, -3

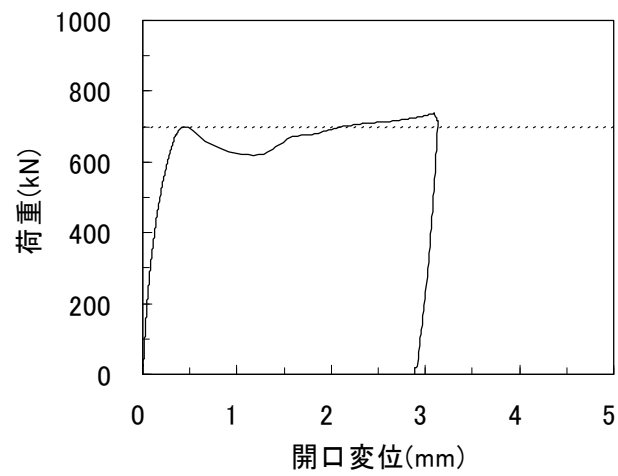
図-3.3 変位・ひずみ測定位置図



(a) Case1-1

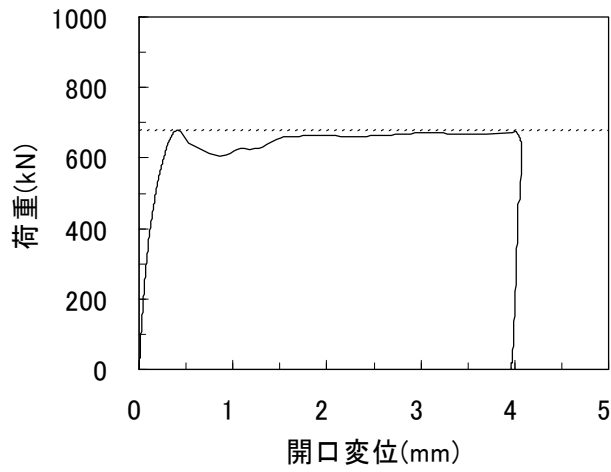


(b) Case1-2

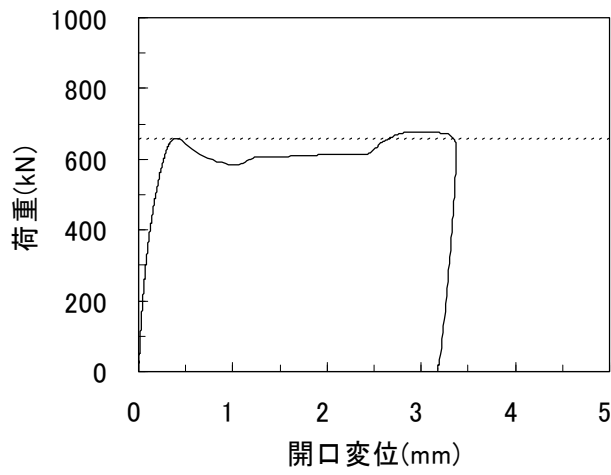


(c) Case1-3

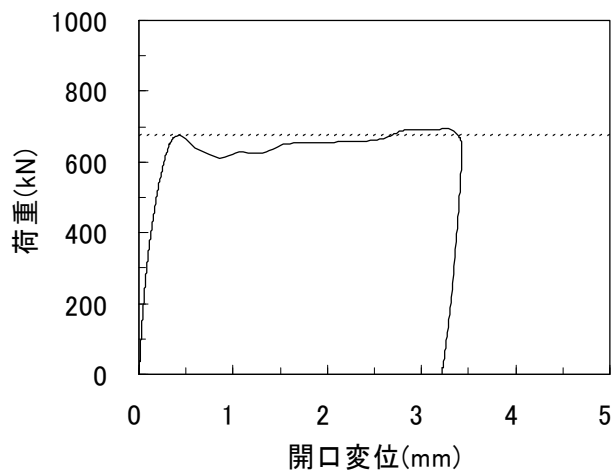
図-3.4.1 荷重-開口変位の関係 Case1



(a) Case2-1

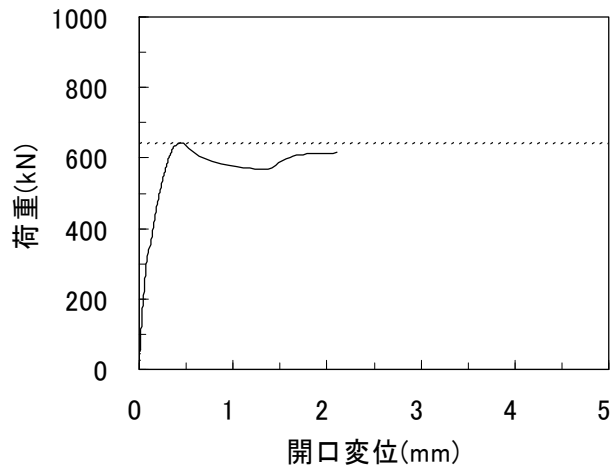


(b) Case2-2

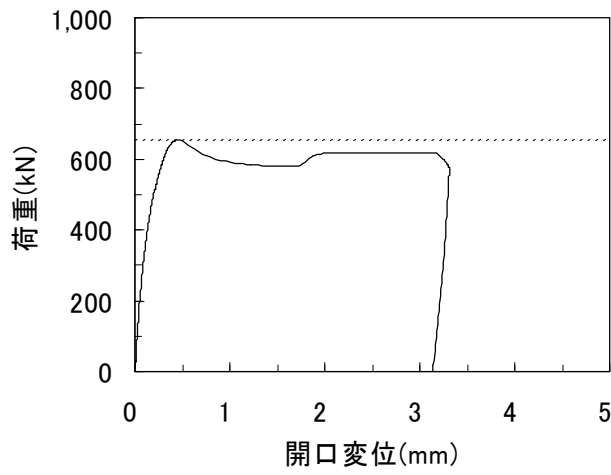


(c) Case2-3

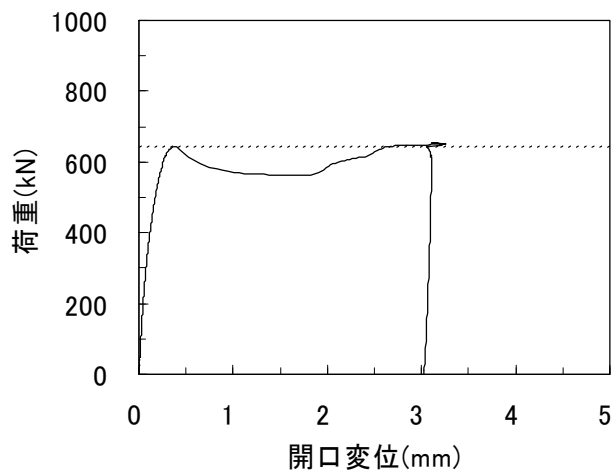
図-3.4.2 荷重-開口変位の関係 Case2



(a) Case3-1

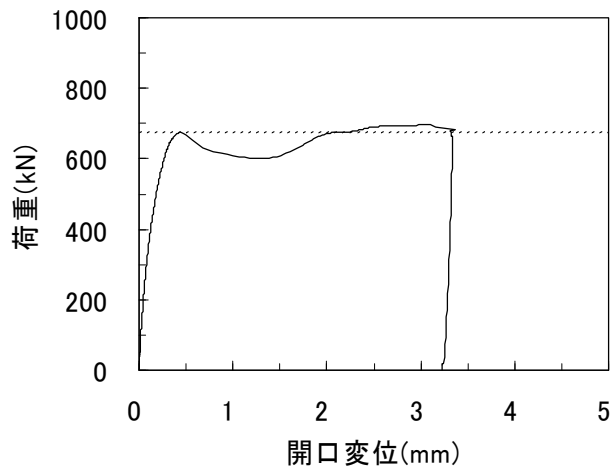


(b) Case3-2

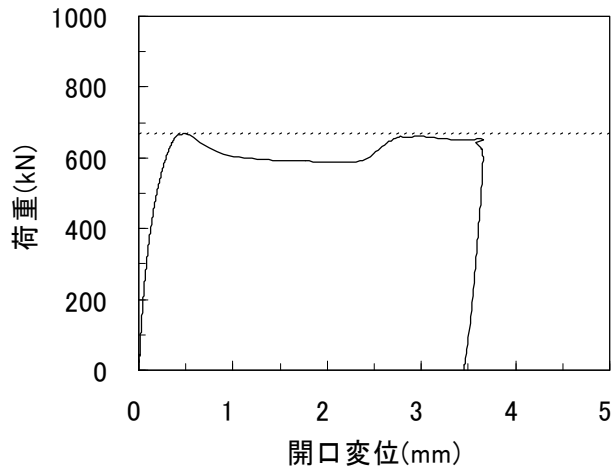


(c) Case3-3

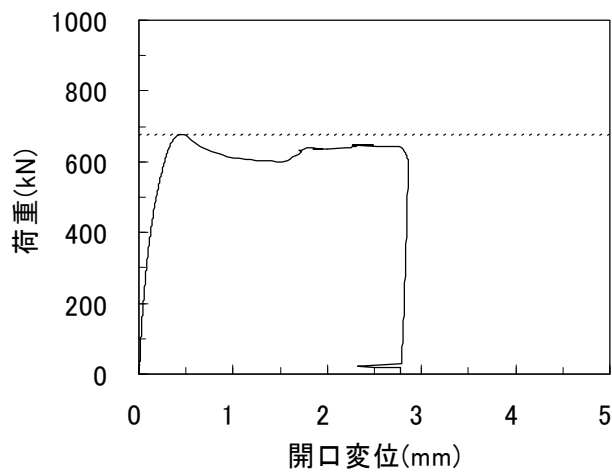
図-3.4.3 荷重-開口変位の関係 Case3



(a) Case4-1

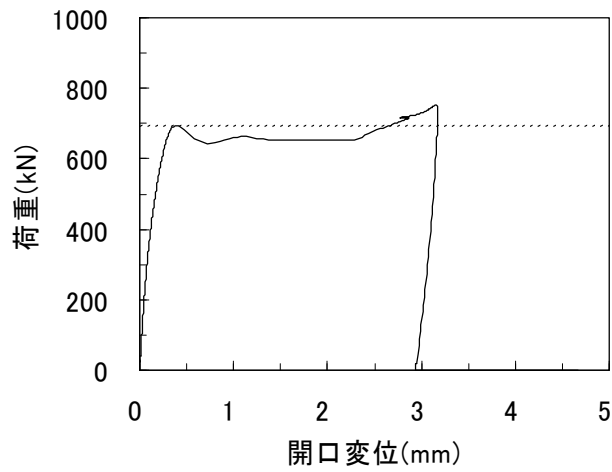


(b) Case4-2

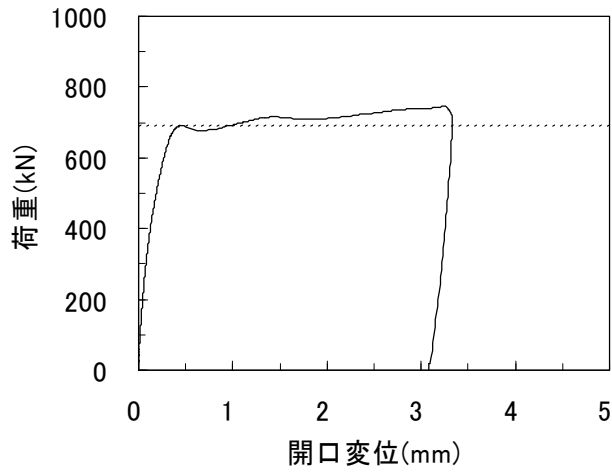


(c) Case4-3

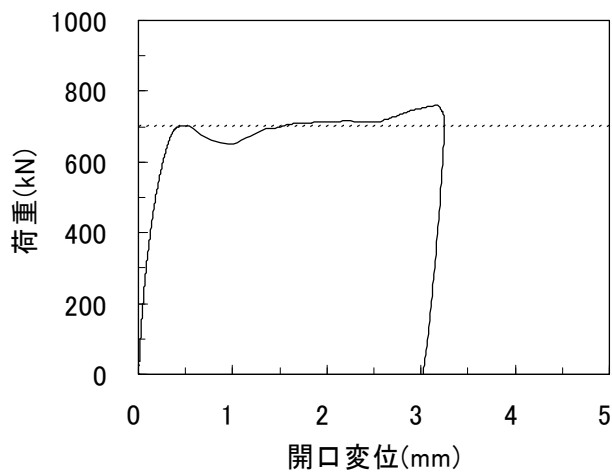
図-3.4.4 荷重-開口変位の関係 Case4



(a) Case5-1

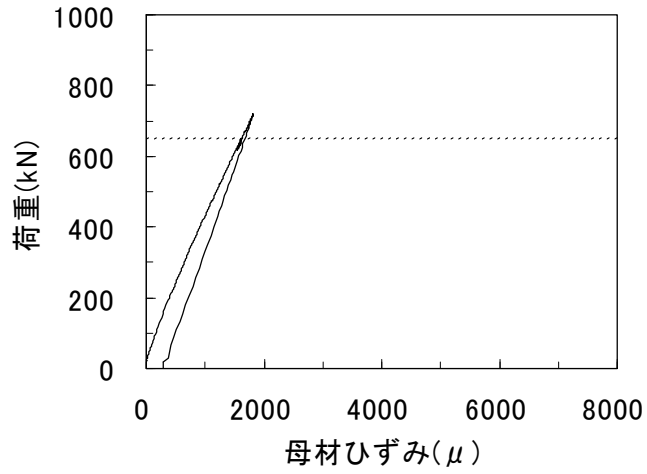


(b) Case5-2

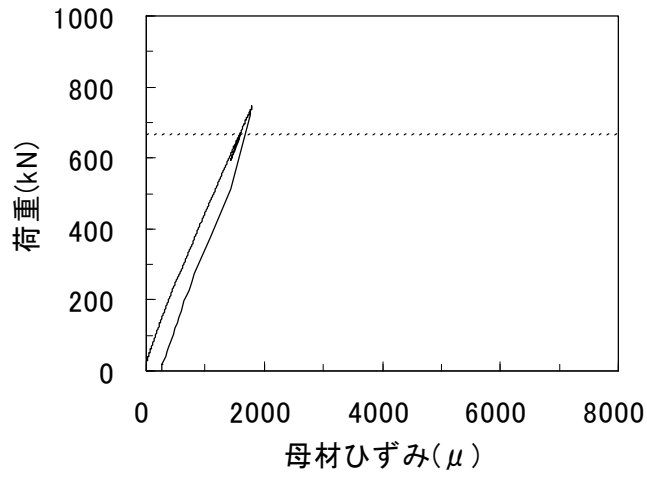


(c) Case5-3

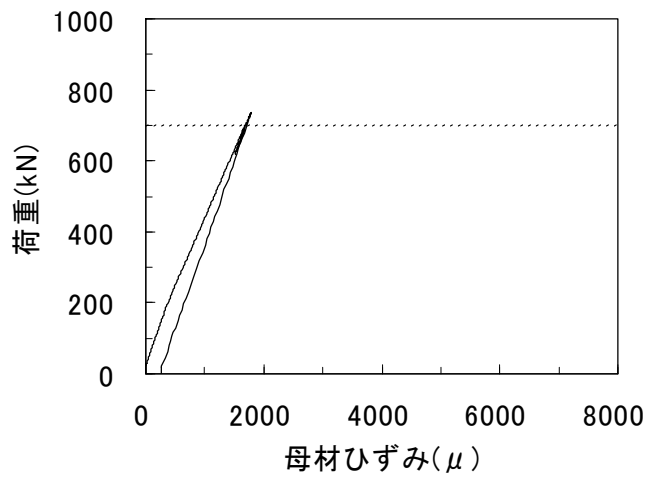
図-3.4.5 荷重-開口変位の関係 Case5



(a) Case1-1

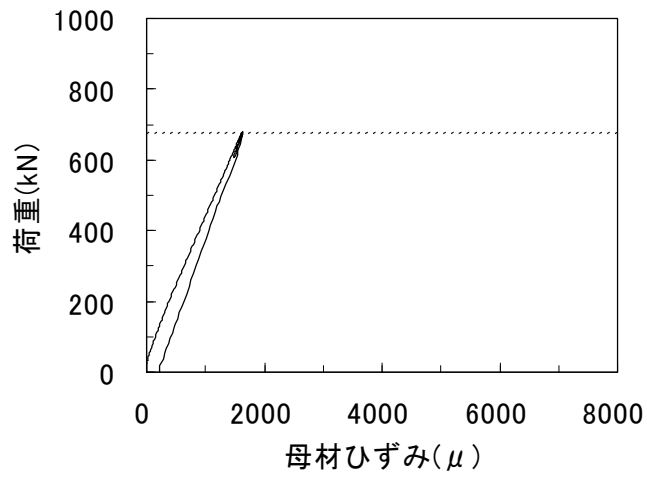


(b) Case1-2

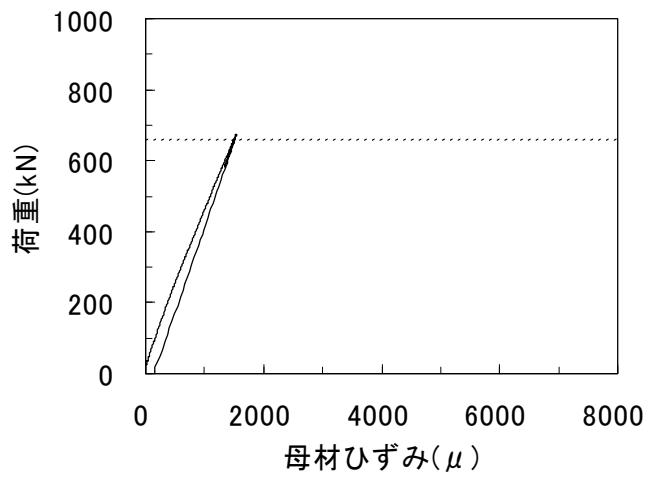


(c) Case1-3

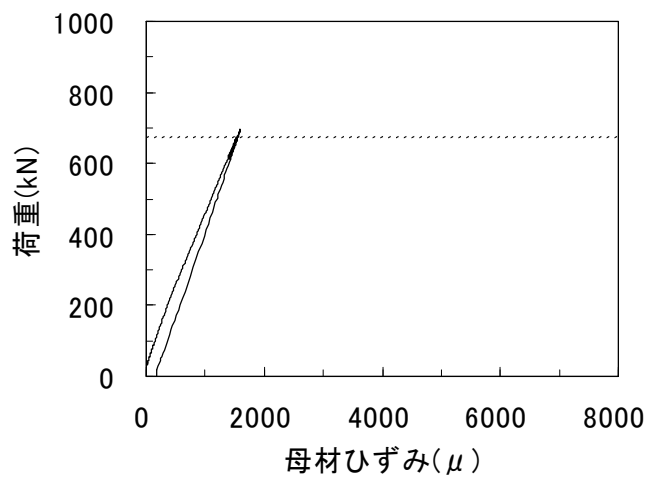
図-3.5.1 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case1



(a) Case2-1

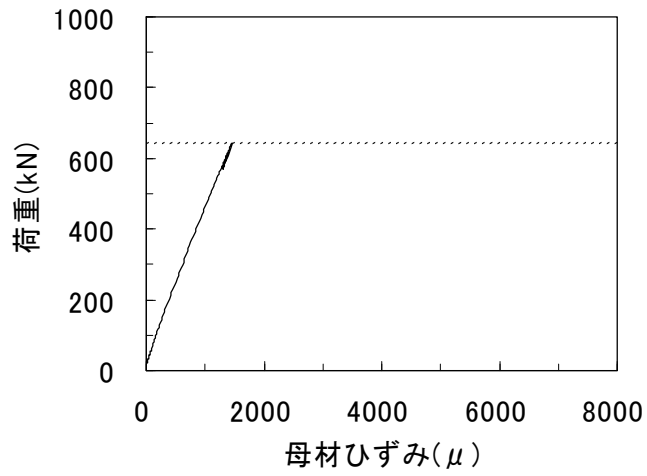


(b) Case2-2

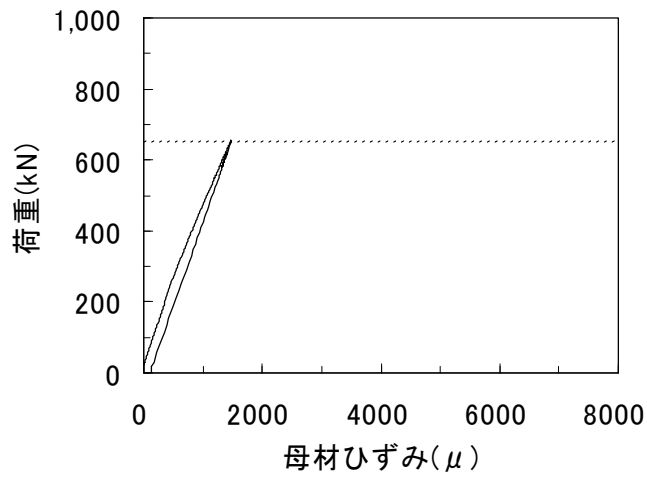


(c) Case2-3

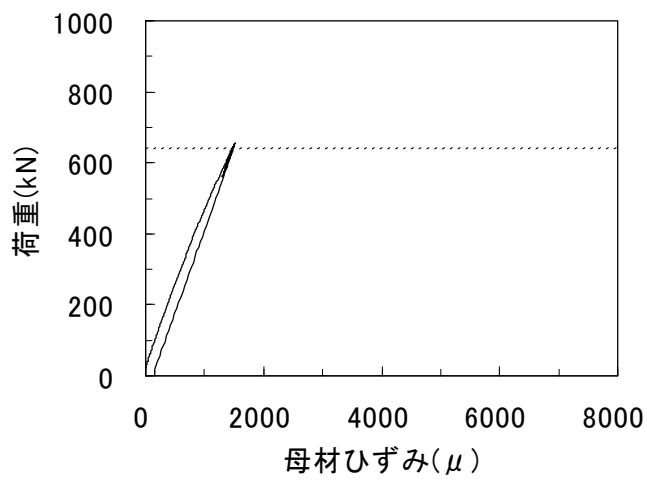
図-3.5.2 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case2



(a) Case3-1

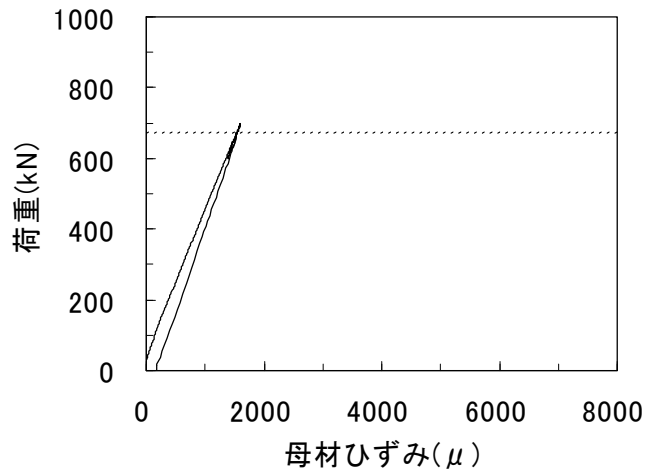


(b) Case3-2

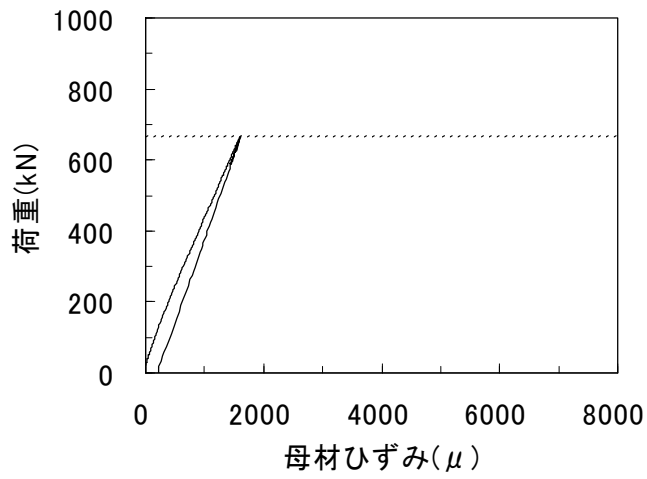


(c) Case3-3

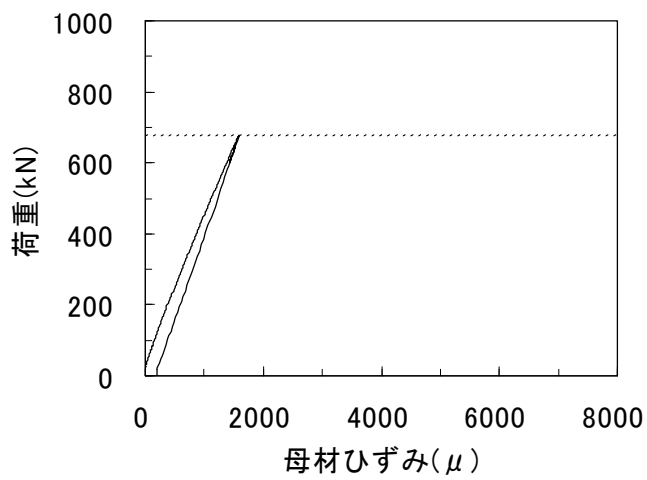
図-3.5.3 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case3



(a) Case4-1

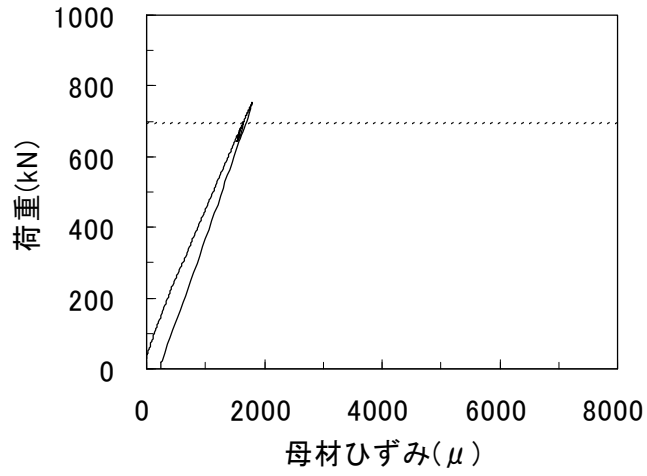


(b) Case4-2

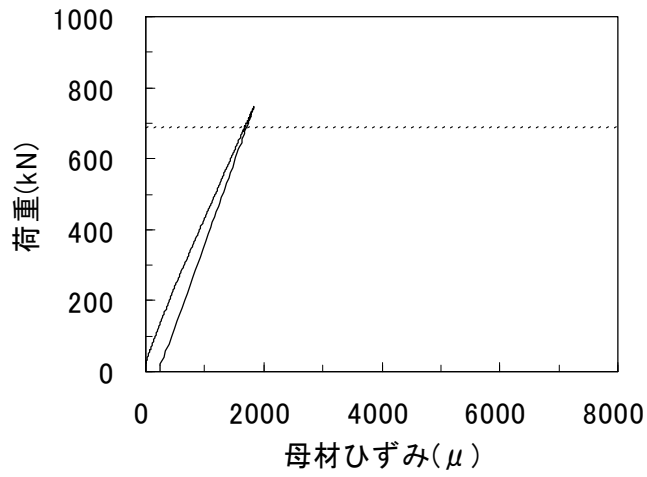


(c) Case4-3

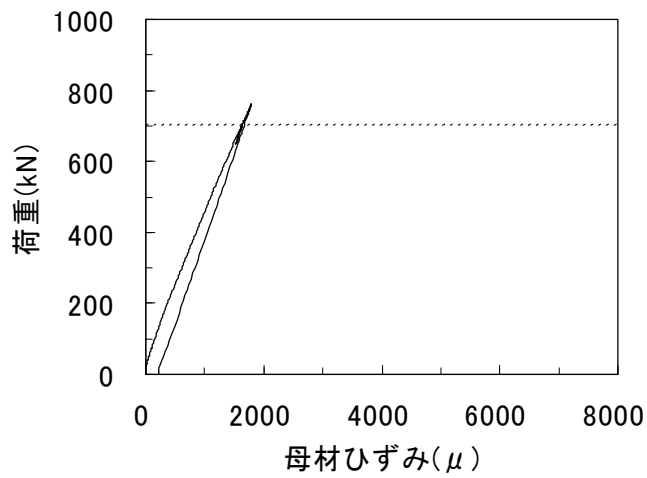
図-3.5.4 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case4



(a) Case5-1

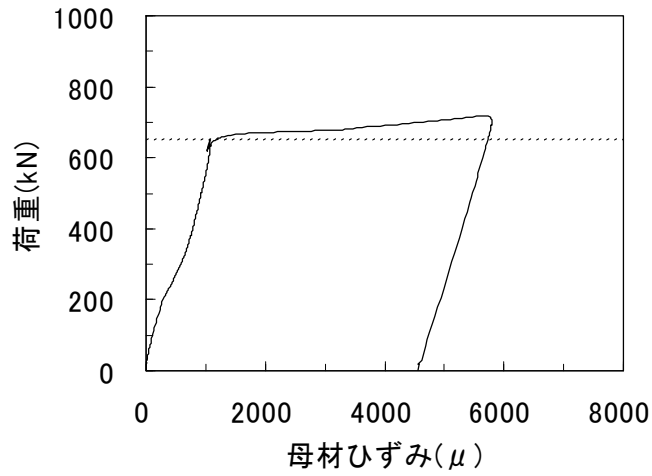


(b) Case5-2

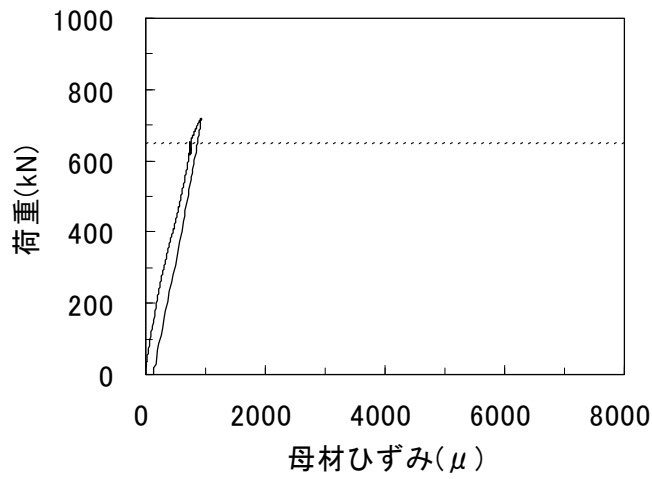


(c) Case5-3

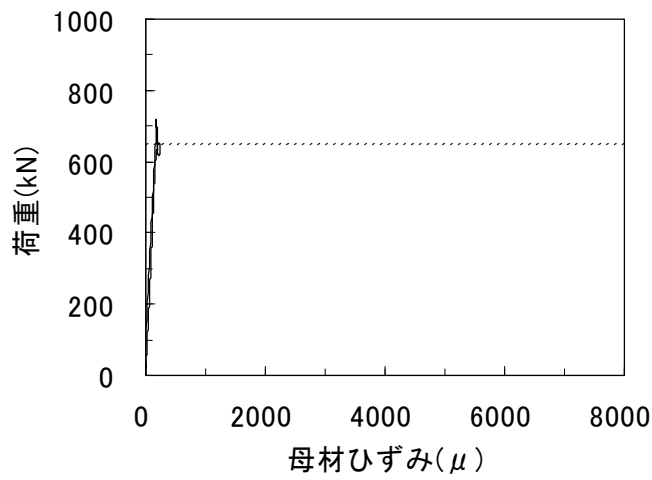
図-3.5.5 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case5



(a) ボルト 1

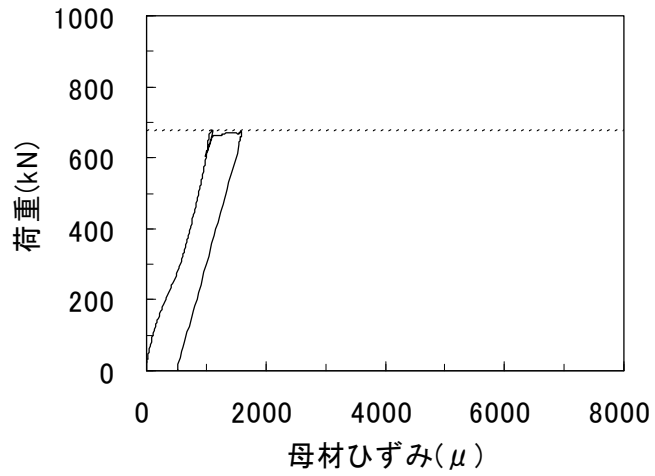


(b) ボルト 2

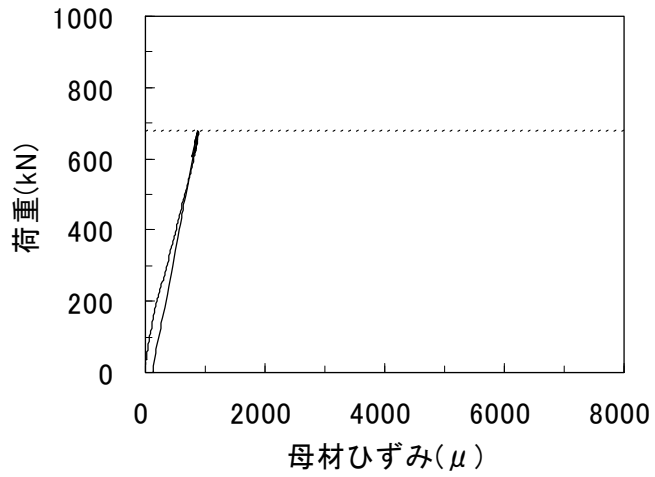


(c) ボルト 3

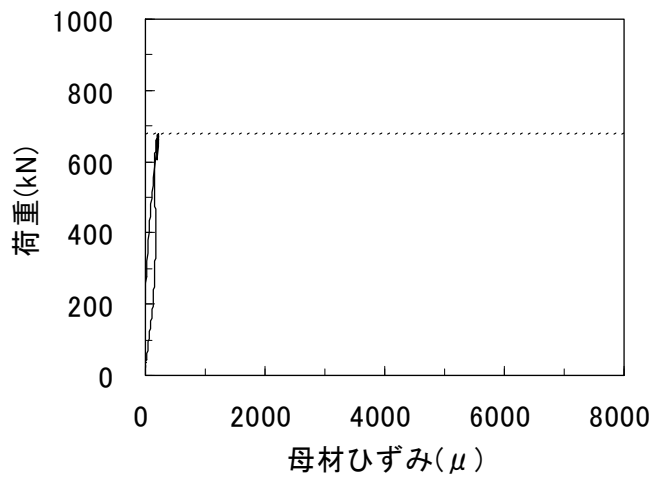
図-3.6.1 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case1



(a) ボルト 1

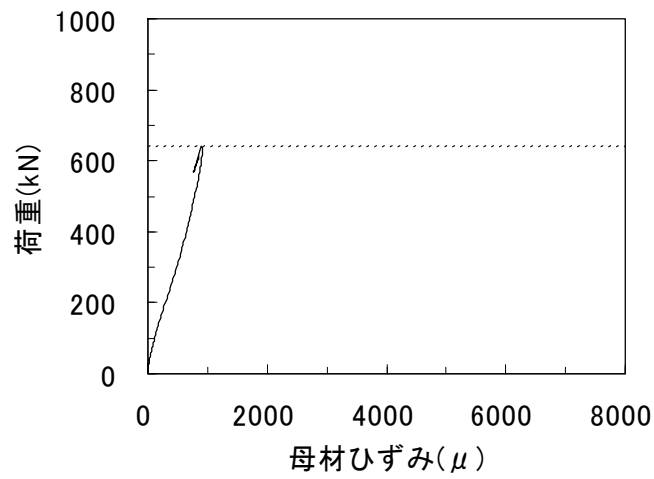


(b) ボルト 2

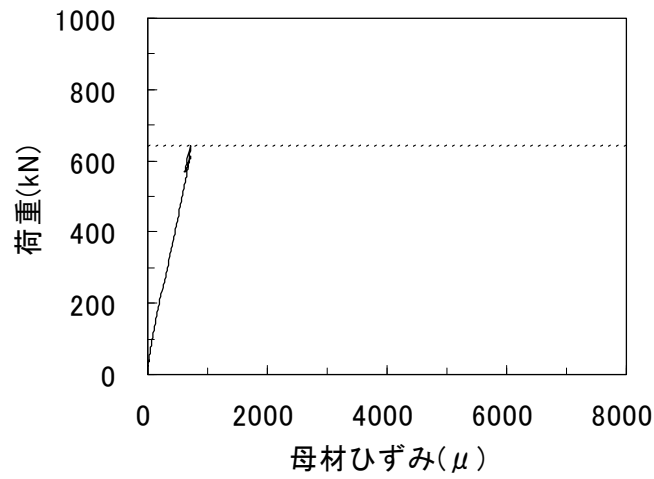


(c) ボルト 3

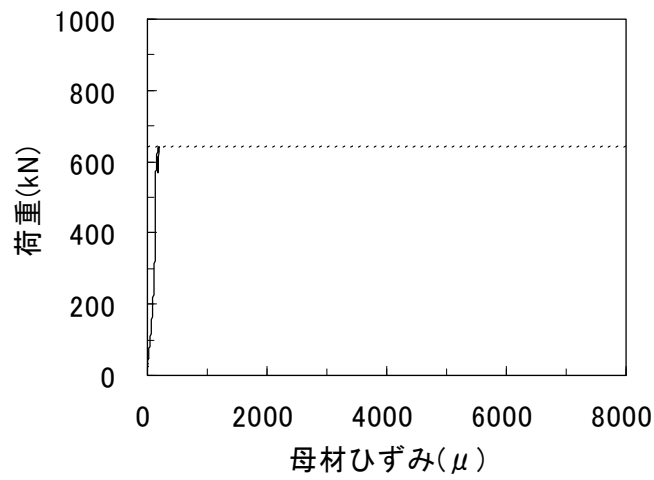
図-3.6.2 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case2



(a) ボルト 1

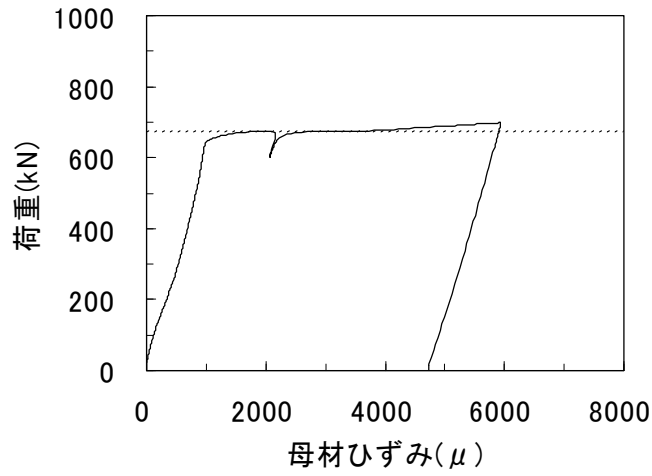


(b) ボルト 2

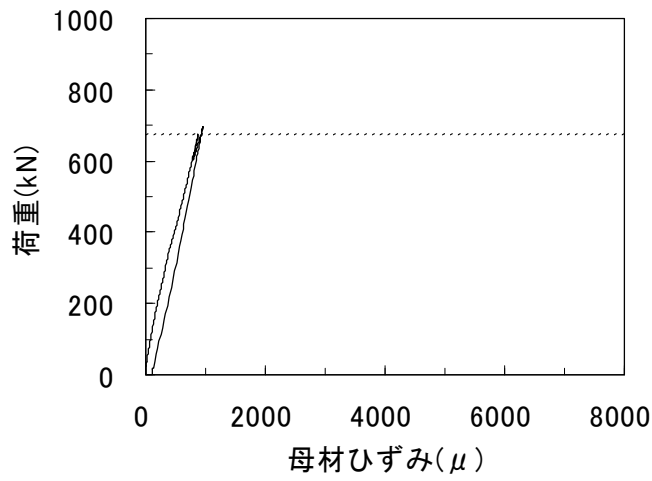


(c) ボルト 3

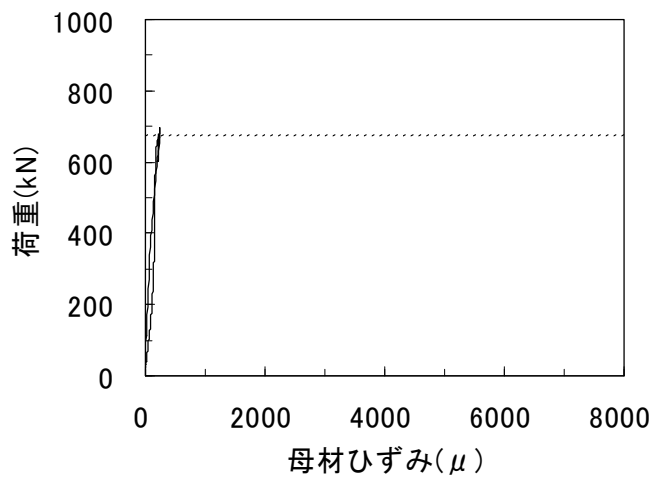
図-3.6.3 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case3



(a) ボルト 1

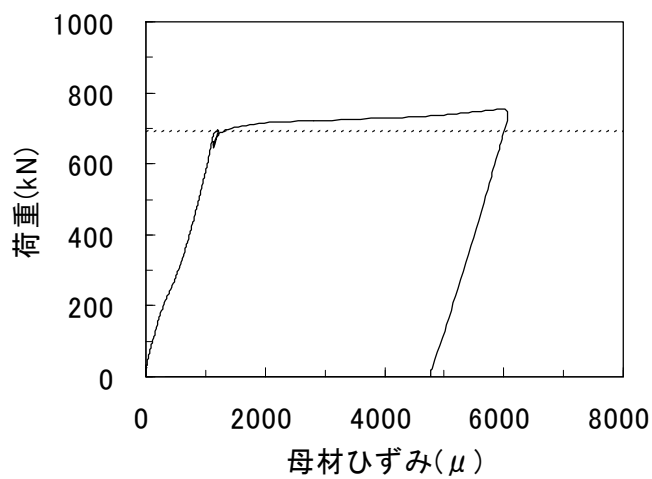


(b) ボルト 2

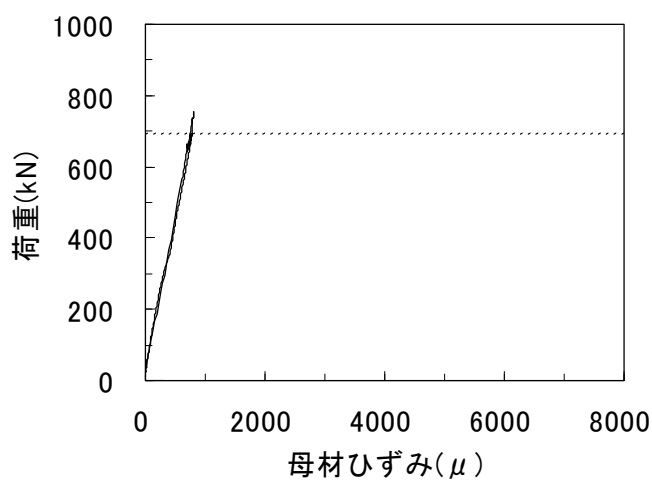


(c) ボルト 3

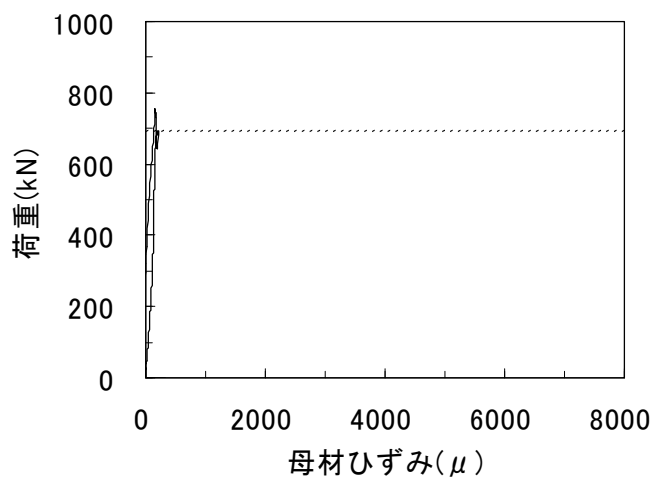
図-3.6.4 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case4



(a) ボルト 1

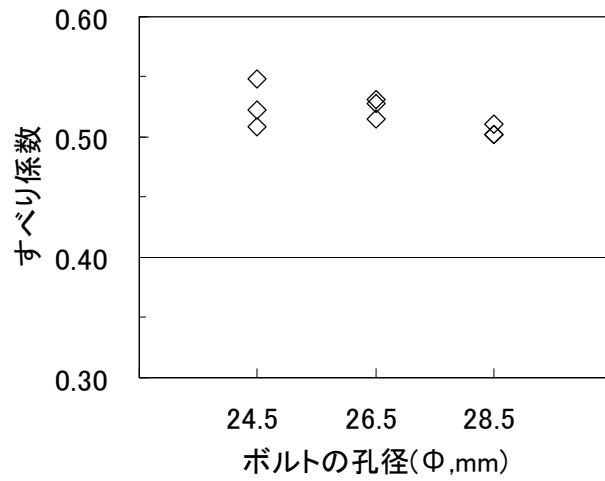


(b) ボルト 2

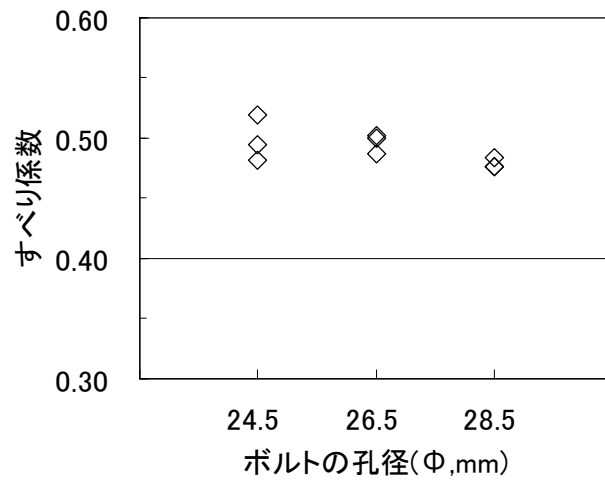


(c) ボルト 3

図-3.6.5 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case5

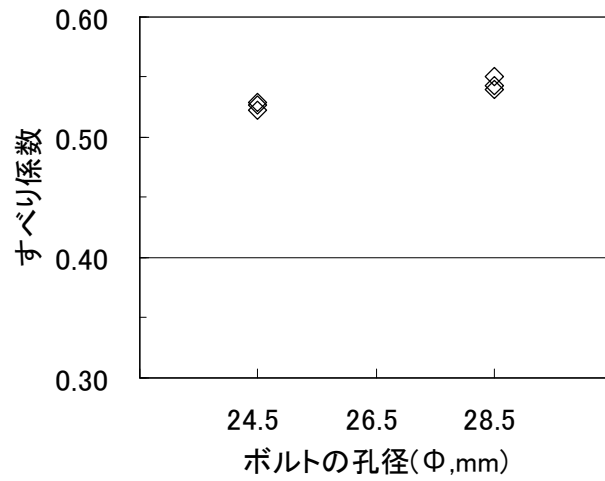


(a) 締付け軸力 (213kN) で整理

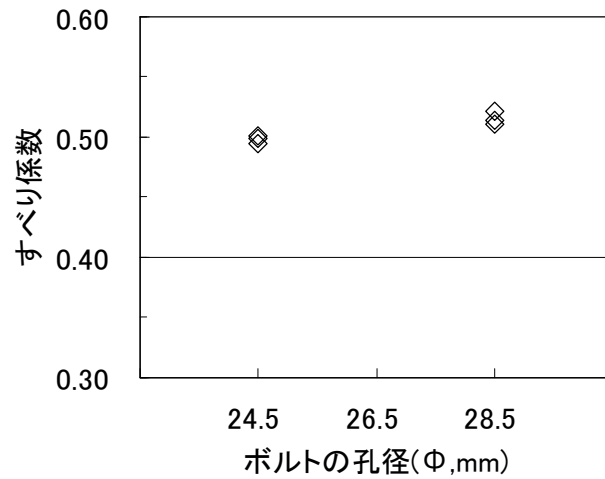


(b) 設計軸力 (225kN) で整理

図-3.7 ボルト孔径-すべり係数の関係 Case1, Case2, Case3



(a) 締付け軸力 (213kN) で整理



(b) 設計軸力 (225kN) で整理

図-3.8 ボルト孔径-すべり係数の関係 Case4, Case5



(a) 試験体のセットアップ状況



(b) ゲージの配置状況

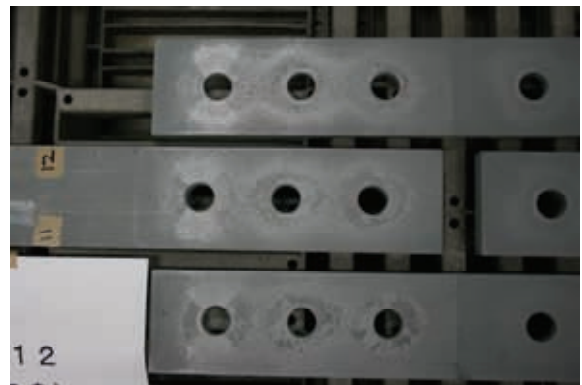


(c) ゲージの配置状況

写真-3.1 試験開始前の試験体の状況写真



(a) Case1-1

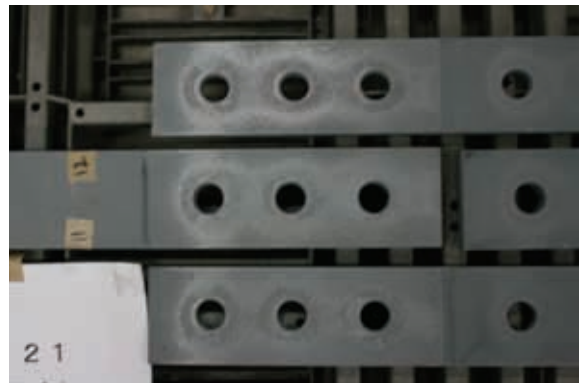


(b) Case1-2



(c) Case1-3

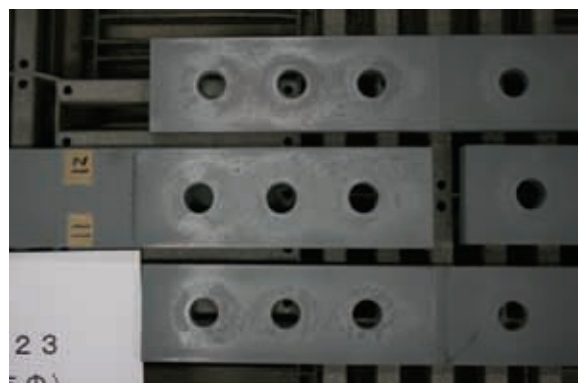
写真-3.2.1 すべり耐力試験後の摩擦接合面 Case1



(a) Case2-1

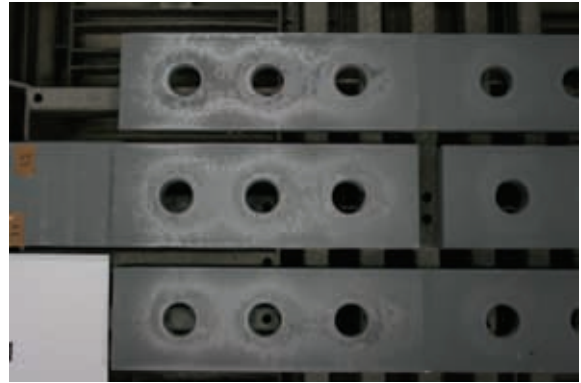


(b) Case2-2



(c) Case2-3

写真-3.2.2 すべり耐力試験後の摩擦接合面 Case2



(a) Case3-1

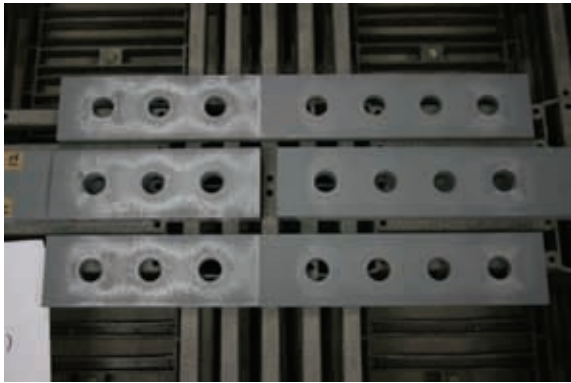


(b) Case3-2

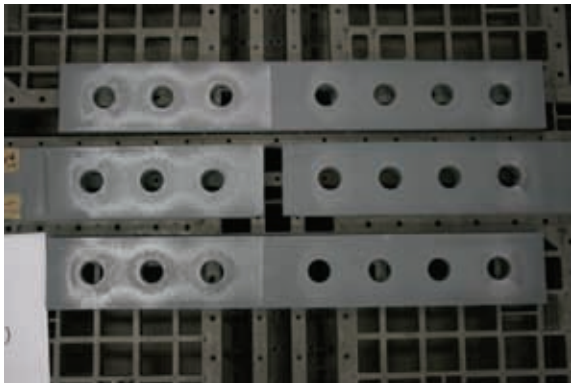


(c) Case3-3

写真-3.2.3 すべり耐力試験後の摩擦接合面 Case3



(a) Case4-1

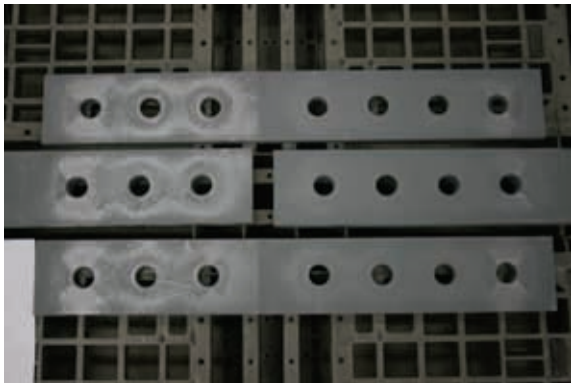


(b) Case4-2



(c) Case4-3

写真-3.2.4 すべり耐力試験後の摩擦接合面 Case4



(a) Case5-1



(b) Case5-2



(c) Case5-3

写真-3.2.5 すべり耐力試験後の摩擦接合面 Case5

謝辞

暴露した耐候性鋼材を用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験，拡大孔を有するトルシア形高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験において，名古屋大学エコトピア科学研究所研究員（試験当時）判治剛氏他皆様に多大なるご協力をいただいた．ここに記して感謝いたします．