

施工部会 報告書-II

高力ボルト摩擦接合継手の適用性拡大に関する研究
ボルト W/G

Japan Steel Bridge Engineering Association

TECHNICAL REPORT /No.072-II

平成21年7月



鋼橋技術研究会

鋼橋技術研究会 施工部会 会員名簿

役 職	氏 名	会 社	部 署
部 会 長	舘石 和雄	名古屋大学	エコトピア科学研究所 教授
副部会長	原田 隆郎	茨城大学	工学部 都市システム工学科 講師
庶務幹事	宮川 欣也	日立造船鉄構株式会社	プロジェクト管理部 橋梁課
部 会 員	菅沢 裕	開発虎ノ門コンサルタント株式会社	技術二部
〃	藤本 伸一郎	片山ストラテック株式会社	製造部 生産技術課
〃	川原 桂史	川田工業株式会社	四国工場 橋梁技術課
〃	新田 善弘	J F Eエンジニアリング株式会社	鋼構造事業部 橋梁設計部 第一設計室
〃	橋本 雅弘	駒井鉄工株式会社	橋梁部 製造課
〃	青柳 貴志	住友金属工業株式会社	土木橋梁部 橋梁工場製造技術チーム
〃	後藤 二郎	株式会社総合技術コンサルタント	東京支社 技術Ⅱ部 設計1課
〃	石川 健一	株式会社東京鐵骨橋梁	橋梁工事本部 工事部 計画技術課
〃	長島 哲	トピー鉄構株式会社	製造部 生産技術グループ
〃	澁谷 敦 (旧 乙森幸之助)	株式会社宮地鐵工所	技術本部 技術研究所 生産技術グループ
〃	笹嶋 純司	横河工事株式会社	技術開発室 技術開発グループ
〃	永田 淳	株式会社横河ブリッジ	橋梁工事本部 計画第一部

※所属会社、部署については H21.3 時点

施工部会 ボルト WG

部会長	舘石 和雄	名古屋大学
副部会長	原田 隆郎	茨城大学
WG長	宮川 欣也	日立造船鉄構株式会社
部会員	新田 善弘	J F Eエンジニアリング株式会社
	澁谷 敦	株式会社宮地鐵工所
	笹嶋 純司	横河工事株式会社
	永田 淳	株式会社横河ブリッジ

※所属会社については H21.3 時点

目 次

(頁)

第1章	はじめに	.....
第2章	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について	.....	3
2.1	研究の目的	.....	3
2.2	既往の研究	.....	4
2.3	試験体及び暴露条件	.....	5
2.4	試験方法	.....	7
2.5	すべり耐力試験結果	.....	7
2.6	耐候性鋼材の錆がすべり耐力に与える影響	.....	9
2.7	まとめ	.....	10
第3章	拡大孔を用いた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	.....
3.2	既往の研究	.....
3.3	試験体の設計および製作	.....
3.4	試験方法	.....
3.5	すべり耐力試験結果	.....
3.6	拡大孔がすべり耐力に与える影響	.....
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	.....
3.8	まとめ	.....

第1章 はじめに

鋼構造物において高力ボルトを用いた継手の接合方法として、摩擦接合、支圧接合および引張接合があり、それぞれ応力の伝達機構が異なる。このうち最も使用される摩擦接合は、高力ボルトで母材ならびに連結板（添接板）を締付け、それらの間の摩擦力によって応力を伝達させるものである。このため、施工時には高力ボルトの締付け軸力や接触面（添接面）のすべり係数、締付け材片間の密着を確保することが重要である。

近年の社会資本整備においては事業の効率化やコスト縮減が激しく求められる中、橋梁分野においても初期建設コストに加え維持管理コストを含めたライフサイクルコストの軽減が求められている。その対応策の一つとしてミニマムメンテナンスが期待できる無塗装橋梁の採用が考えられる。

無塗装橋梁の多くには、耐候性鋼材と呼ばれる、大気中において乾湿を適切に繰り返すうちにその表面に緻密で密着性に優れた保護性さびが形成され、腐食速度を遅くする性質をもつ鋼材が使用されている。耐候性鋼材の橋梁への使用量は増加傾向にあり、全使用鋼材量の22%～33%程度を占めている。

一方、高度経済成長期に建設された多くの橋梁が維持管理のための補修・補強工事を必要としており、その拡大が予想されている。補修・補強工事では既設橋梁に部材を取り付ける必要があるが、多くは現場接合であり計測誤差、施工誤差に対応できる現場継手構造が必要である。また、新設橋梁でもボルト構造を省力化した現場溶接のような継手間隔が変化するような場合や、鋼床版の落とし込み架設のように架設ステップで継手間隔が変化する場合も多く、その対策として拡大孔の適用が望まれている。

本報告書では、高力ボルト摩擦接合継手の合理化のための継手性状の把握を目的とし、接触面を暴露した耐候性鋼材を用いた高力ボルト継手のすべり係数に関する検討と、拡大孔がトルシア形高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力に与える影響について検討を行った。

第2章 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について

2. 1 研究の目的

鋼橋における維持管理項目として、供用中の塗替えが挙げられる。塗替えは定期的に行われるが、足場等が必要なため膨大なコストがかけられている。これに対する対策として塗装を省力化できる耐候性鋼材を使用した無塗装橋梁の適用が挙げられる。

普通鋼材では、黒皮を除去して添接面を粗面とした継手で0.4以上のすべり係数が確保されていることが知られている¹⁾。しかし、工場製作時にこのような処理を行っても、現場で接合を行うまでこの状態を維持することが難しく、添接面に浮きさび、油、泥等が付着しないよう養生を行う必要がある。また、添接部の塗装が完成後の防錆防食上の弱点になりやすいことから、添接面に塗装等の表面処理を施すのが一般的である。

一般的に、橋梁製作工場への鋼材の入荷から部材の組み立て、現場架設まで数ヶ月から1年程度の時間が必要である。この間、部材および添接面は大気中に暴露された状態となり風雨にさらされることとなる。

一方、耐候性鋼材は、橋梁製作工場で原板ブラスト（ミルメーカでの黒皮除去のためのブラスト処理）の状態に鋼材を入荷し、部材を組み立て、仮置きし、架設地点に輸送されることが一般的である。したがって、一般鋼材の添接面と同様に、錆むらや汚れをできる限り生じさせないよう養生を行うが、基本的に原板ブラスト後から徐々に発錆した状態で接合されることが多い。

耐候性鋼材の表面の保護性さびの生成にはいくつかの条件が挙げられている²⁾。

- 1) 雨水が直接降りかかり、かつ、水切れが良好な部分は錆が安定化しやすい。
- 2) 風通しのよい垂直面、水切れのよい水平下面は安定化がやや遅れるが、問題はない。
- 3) 水平に置かれた材片の上面は泥、塵埃などにより水分が保持されやすいため錆の安定化が遅れるが、風通しのよい開かれた部分では安定化するものとしてよい。
- 4) 材片が重なる部分も、開かれた場所で風通し、水切れが良好であれば安定化すると考えられる。
- 5) 空気が通うことのできる閉じた断面の内部では結露しやすく、乾燥しにくいので安定化しない場合がある。
- 6) 汚水がかかったり降雨によって跳ねかかる部分、または雨水などの水切れに際し水みちになる部分のさびは安定化し難い。
- 7) 泥や水がたまる面は全く安定化しない。

したがって、構造上の配慮で腐食環境を改善し難い場合は、部分的に塗装するなどの対策が講じられている。

普通鋼材では、暴露環境および期間が異なる赤さび状態の接触面のすべり係数に与える影響が報告されているが^{3) 4)}、耐候性鋼材に関しては腐食による板厚減少に着目した報告が多く見られ、接触面のすべり係数に着目したものでは、意図的な肌すきを持たせた継手を長期間暴露し、添接面への水の浸透による腐食がすべり耐力に与える影響を検討した報告がなされている⁵⁾。

本報告書では本研究会の普通鋼材の報告と同一の試験体を耐候性鋼材で製作し、同様の暴露期間、暴露条件で添接面を暴露し、すべり耐力試験を実施した。試験結果より添接面の発錆状態がすべり係数に与える影響を考察する。

2. 2 既往の研究

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。その中でも今回着目している接触面の表面状態や、暴露した耐候性鋼材に関する文献の内容について以下に示す。

① 錆発生状態を考慮した赤錆面の高力ボルト継手のすべり耐力試験³⁾

1) 実験内容

鋼材 : 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 : ブラストまたはグラインダ処理後、0から6ヶ月大気暴露し添接時に高水で浮き錆等を除去
パラメータ : すべり／降伏耐力比 $\beta = 0.8$
ボルト列数 3列
孔径 24.5mm
暴露地点は内陸部(海岸から20km)と海岸部
赤錆状態の表面粗さ、錆厚および成分分析を実施

2) 結果

- a) 暴露期間が長くなるにしたがい、すべり係数も大きくなる傾向が見られる。
- b) 暴露期間、下地処理、暴露地点によるすべり係数の差はほとんど生じない。
- c) 表面粗さが大きいほど、すべり係数が高くなる傾向が見られる。
- d) 実験の範囲ですべり係数と錆厚や錆量に相関関係は見られなかった。

② 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同報告書 (XI)⁵⁾

1) 実験内容

鋼材 : SMA50W
使用ボルト : F10TW-M22
接合部 : 1行多列型－2面摩擦接合
接合面 : 記述無し
パラメータ : すべり／降伏耐力比 $\beta = 0.78 \sim 0.87$ ($\mu = 0.5$ として)
肌すき あり(2mm), なし
降水 あり, なし
暴露姿勢 水平, 垂直
暴露位置 田園部のみ
暴露期間 2, 4, 6年

2) 結果

- a) 肌すきの有無に関係なく、降水が無い場合の供試体のボルト軸部は全くさびておらず、降水ありの場合にはボルト軸部にさびが少し見られた。
- b) 降水ありの供試体の接合面は、肌すきの有無に関係なくさびが見られるが地金面は残っている。一方、降水なしの接合面はほとんどさびが生じてないものと、降水ありの供試体と同程度のさびが生じているものがある。しかし、その結果と肌すきの有無、水平垂直の暴露方向との関係は明確ではない。
- c) いずれの供試体も設計すべり係数 0.4 以上の値 (0.92~0.53) となった。肌すきなしの供試体のすべり係数は、肌すきありのそれに対して 0.2~0.3 程度大きい。
- d) 肌すきの有無にかかわらず、接合面にさびがほとんど生じていない供試体のすべり係数は、さびが生じている供試体よりも相対的に小さい傾向がある。
- e) 雨水のかからない位置に肌すきなしの供試体を垂直に暴露した場合を除いて、すべり係数は暴露前と同程度であるか、暴露前よりやや大きくなる傾向がある。

2. 3 試験体及び暴露条件

2. 3. 1 試験体

すべり耐力試験に用いる試験体の鋼材は、母材として板厚 22mm の SMA490BW、添接板として 12mm の SMA490AW の耐候性溶接構造用鋼材 (JIS G 3114) である。表-2.1 に試験体に使用した耐候性鋼材のミルシートによる機械的性質と化学成分を示す。耐候性鋼材であるため、普通鋼材に比べて Cu, Cr, Ni などの合金元素を多く含んでいる。

試験体の寸法は、すべり係数 $\mu = 0.6$ と仮定して、すべり/降伏耐力比 β が 0.8 程度になるように設定した。図-2.1 に試験体の母材と添接板の形状及び寸法を示す。母材は幅 140mm, 長さ 600mm, 板厚 22mm, 添接板は幅 140mm, 長さ 460mm, 板厚 12mm, ボルト孔は M 2 2 の高力ボルト用として孔径 $\Phi 24.5\text{mm}$ とした。また、ボルト間隔は 75mm とし、母材の隙間を 5mm, センターゲージは 85mm としている。

図-2.2 に組み立てた試験体の寸法を示す。試験体は、母材 2 枚を添接板 2 枚で両面添接した 2 面摩擦継手とし、耐候性鋼材用の高力ボルト F10TW (M22) を 6 本用いて添接を行った。表-2.2 に添接に使用したボルトセット (ボルト, ナット, 座金) の機械的性質とトルク係数値を示す。

ボルトの締付けはナットランナーとトルクレンチを用いて、所定の設計ボルト軸力である 205kN が得られるように行った。添接方法は、ボルトが孔位置の中心となるように母材と添接板を合わせ、所定の 6 割程度の軸力が生じるように一次締めを行い、リラクゼーションを考慮して所定の軸力の 1 割増しの軸力が生じるように締付けた。

2. 3. 2 耐候性鋼板の素地調整と暴露条件

耐候性鋼板の錆発生条件として、試験体の黒皮の除去を製作工場内にて製品ブラスト処理 (SIS Sa2.5, SPSS Sd2 Sh2) による素地調整を行い、暴露場所へ設置した。暴露条

件は、暴露期間を0ヶ月（ブラスト処理後翌日に試験体組立）、2ヶ月、4ヶ月、6ヶ月の4ケースを設定し、暴露場所を海岸部（兵庫県加古郡）と海岸から60km離れた内陸部（茨城県古河市）の2ヶ所とした。写真-2.1に海岸部と内陸部における鋼材の暴露状況を示す。内陸部では、母材は立て置き、添接板は接触面が上になるように設置した。海岸部では、母材、添接板共に片面を立てかけ、随時反転させながら暴露を行った。

以上より、暴露条件をパラメータとして、下記の7種類の組合せを設定し、各ケースについてそれぞれ3体の試験体を製作した。

ケース1	暴露期間：0ヶ月	
ケース2	暴露期間：2ヶ月	暴露場所：海岸部
ケース3	暴露期間：2ヶ月	暴露場所：内陸部
ケース4	暴露期間：4ヶ月	暴露場所：海岸部
ケース5	暴露期間：4ヶ月	暴露場所：内陸部
ケース6	暴露期間：6ヶ月	暴露場所：海岸部
ケース7	暴露期間：6ヶ月	暴露場所：内陸部

2.3.3 暴露後の発錆状況

写真-2.2に暴露期間が完了した試験体の接触面の発錆状況を示す。暴露期間が2ヶ月程度では完全に発錆しておらず、鋼板の地肌が若干見えるが、4ヶ月以降では完全に褐色の錆で覆われている。錆色は、内陸部の方が比較的明るい色調で黄褐色となっており、海岸部では4ヶ月目以降はやや濃い茶褐色になっている。鋼材表面を指で触ってみると、海岸部の錆に対して、内陸部の錆の方がやわらかい感じがし、黄褐色の錆が簡単に手についた。

また、錆色及び発錆状態から判断すると、暴露期間によらず内陸部、海岸部共に耐候性鋼材として比較的安定した錆外観であると評価⁶⁾できる。

2.3.4 錆厚の計測

耐候性鋼材の摩擦継手に及ぼす錆の影響を確認するため、試験体を組み立てる前に海岸部と内陸部で暴露した試験体について錆厚を計測した。

写真-2.3に錆厚の計測状況を示す。錆厚の計測には、電磁膜厚計（Kett製LZ-300C）を使用し、各試験体1組につき片面3点（両面6点）の計測を行った。

表-2.3に添接板について暴露期間2ヶ月の錆厚の測定結果と平均値を示す。海岸部では、添接板の外表面と添接面で錆厚の平均値の差が $3\mu\text{m}$ であるのに対し、内陸部では、 $11.5\mu\text{m}$ の大きな差が生じている。これは、内陸部の暴露において添接面に良好な錆を出そうとして添接面を上表面として設置したため、滞水等によりこの面の錆が厚くなり、下面となる添接板外表面との錆厚との差が大きくなっていることによる。従って、錆厚については海岸部と内陸部で暴露状態が同じである母材について比較検討する。

表-2.4に錆厚の測定結果と平均値、図-2.3に錆厚と暴露期間の関係を示す。錆厚をケースごとに平均値で比較すると、内陸部は $18.2\sim 27.4\mu\text{m}$ 、海岸部は $24.0\mu\text{m}\sim 38.2\mu\text{m}$ となっており、錆厚は暴露期間に関わらず海岸部の方が若干厚くなっている。6カ月目では $10\mu\text{m}$ 程度の差があることから、海岸部の方が錆の進行が速いことがわかる。海岸部で

は飛来塩分が錆の進行に影響しているものと考えられる。また、その進行度は、最初の2ヶ月で錆厚が急激に厚くなり、その後は少しずつ厚くなっている。

2. 4 試験方法

すべり耐力試験は、暴露期間が終了した鋼板について、その都度試験体を3体ずつ組立て、試験を行った。試験には、名古屋大学所有の載荷能力1960kN(200tf)の万能試験機を用いた。

写真-2.4に試験機と試験体のセット状況を示す。試験体の両端部を試験機のチャックで挟み、試験体のすべりが生じるまで引張荷重を載荷し、荷重、変位、ひずみを1秒毎に計測した。

測定項目は、母材側面のひずみと母材間の開口変位とした。図-2.4にひずみゲージの貼付位置とクリップゲージの設置位置を示す。ひずみゲージは一般部として添接板から外れた位置の母材側面の上下に貼付している。また、試験体3体の内1体については、ボルト位置の母材側面にひずみゲージを貼付している。ゲージ番号は試験体のボルト位置の上からNo.1～6としている。また、開口変位については、両母材の合わせ位置側面に設置したクリップゲージにより計測した。

写真-2.5にひずみゲージとクリップゲージの貼付状況を示す。試験体の母材側面の左右にゲージを貼付し、その計測値の平均値とする。

すべり試験完了後は試験体を解体し、継手接触面の鋼板の状態を観察した。

2. 5 すべり耐力試験結果

2. 5. 1 すべり係数

表-2.5、図-2.5にすべり耐力試験結果を示す。すべり係数は式2.1により、設計ボルト軸力と導入時のボルト軸力について算出した。

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N} \quad (2.1)$$

ここに、 μ ：すべり係数

P：すべり荷重 (kN)

m：接合面の数 (=2面)

n：ボルト本数 (=3本)

N：設計ボルト軸力 (=205kN)、導入時ボルト軸力

すべり荷重は、暴露期間が0ヶ月では600kN程度であるのに対し、暴露した試験体では2～6ヶ月において800kN以上であり、0ヶ月の1.3倍と非常に高い値となっている。従って、錆の発生によりすべり荷重が高くなることがわかった。

すべり係数は、全てのケースにおいて 0.4 以上の値は得られているが、ブラスト処理後では 0.5 以下であるのに対し、錆の発生により 0.7 程度の高いすべり係数が得られた。

設計ボルト軸力と導入時のボルト軸力ですべり係数を比較すると、導入時の方が、ボルト軸力が大きいいため、式 2.1 よりすべり係数は 10%程度小さい値となっている。

暴露場所で設計軸力におけるすべり係数を比較すると、暴露期間が 2ヶ月目では海岸部が 0.77、内陸部が 0.71 であり、海岸部は内陸部に比べて 10%近い大きい値となっているが、6ヶ月目では海岸部が 0.70、内陸部が 0.67 と 5%程度大きい値にとどまっている。これは、海岸部の方が、内陸部より大きいすべり係数が得られているが、錆の発生速度が海岸部と内陸部では異なることが原因であると考えられる。

また、暴露期間ですべり係数を比較すると、2ヶ月目が最も高く、4ヶ月、6ヶ月と暴露期間が長くなるに従って、若干下がっていく傾向が見られる。

2. 5. 2 荷重と開口変位

図-2.6~2.9 に本試験で得られた荷重と開口変位の関係を示す。グラフの開口変位の値は母材側面の左右に取り付けた変位計の平均値としている。

すべりが発生するまで、荷重が増えると弾性的に変形が生じているが、荷重が 800kN~1000kN (暴露期間 0ヶ月の場合は 600kN) 程度で開口変位が 0.5mm を超えるとすべりが発生し、荷重が減少した。

暴露場所によりすべり発生後の荷重と開口変位の関係について下記の傾向がみられた。暴露場所が海岸部の場合、すべり荷重に達すると試験体に大きな音が生じ、すべりが発生すると同時に荷重が急に減少し、開口変位も急激に大きくなった。一方、内陸部の場合は、すべり荷重に達しても海岸部のように試験体に大きな音が生じなかった。一旦すべりが発生し荷重が減少した後は、徐々にすべりながら荷重は減少、増加を繰り返したため、計測結果を基に荷重の最初のピーク値をすべり発生と定義した。また、暴露していない試験体は、海岸部と同様、すべりが発生したと同時に大きな音が生じ、急激に荷重が減少したが、その後は内陸部のように、すべりながら荷重は大きく減少、増加を繰り返した。

以上より、暴露場所によりすべりの発生に違いが見られたのは、錆の影響が考えられる。錆厚の影響についてみると、図-2.3 より錆厚は内陸部に比べて海岸部の方が厚いが、海岸部の 2ヶ月目の錆厚よりも内陸部の 6ヶ月目の錆厚の方が大きいことから、すべりの発生状況と錆厚との関係は特に無いことがわかる。従って、それぞれの暴露場所での錆の発錆状態が寄与していると思われる。

2. 5. 3 荷重とひずみの関係 (一般部)

図-2.10~2.13 に本試験で得られた荷重と添接面位置から外れた上下の母材側面の一般部のひずみの関係を示す。ひずみの値は母材の左右両側の平均値としている。

ほとんどの試験体で、母材の上側と下側ともに荷重とひずみの関係は、直線的で線形性を保っており、すべりが生じると、ひずみはいったん減少するが、その後も荷重が加わるとひずみは直線的に増加する傾向にある。若干、非線形性が見られるが、試験体製作時の切断による残留応力の影響であると思われることから、母材の一般部には降伏が生じていないことがわかる。

2. 5. 4 荷重とひずみの関係（ボルト部）

図-2.14.1, 2.14.2 に本試験で得られた荷重と母材側面のボルト部でのひずみの関係を示す。ボルト1, 6が外側, ボルト3, 4が内側であり, ひずみの値は母材の左右両側の平均値としている。

ボルトの外側と内側でひずみの値を比較すると, 内側ではひずみが 0μ に近い値であるに対し, ボルトの外側方向に向かって大きな値となっている。荷重とひずみの関係は, 一般部と同様, 直線的で線形性を保っており, 外側のボルト程, 傾きが小さい。また, 内陸部の暴露期間が2ヶ月と4ヶ月のケースでは, すべりが発生し荷重は一旦減少するが, その後, 降伏に至っている。

2. 5. 5 摩擦面の状況

写真-2.6.1~2.6.3 に試験終了後の摩擦面と孔周辺の状況を示す。各試験体ともボルト孔周囲の錆が剥がれ鋼材の素地が見えているが, ボルト孔から外れたところでは特に変化が見られない。また, 暴露期間によらず, 内陸部では母材, 添接板共にボルト孔周囲の錆が黒く変色しており, 暴露場所により明らかな違いが見られた。黒く変色した部分を指で触ったところ, 黒い粉であることが分かった。この黒い粉は Fe_3O_4 (マグネタイト) であると思われ, 試験前の錆の発錆状況から考えると, 試験時のすべり発生状況にも影響を与えていることが推測される。

2. 6 耐候性鋼材の錆がすべり耐力に与える影響

図-2.15 に錆厚とすべり係数の関係を示す。本試験では, 全てのケースですべり係数は道路橋示方書で規定されている 0.4 を満足している。暴露条件により錆厚は, $20\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ 程度となっており, すべり係数は 0.7 程度の高い値が得られている。一方, ブラスト直後では, 0.5 以下と若干低い値となっており, 錆の発生によりすべり耐力が向上していることがわかる。

表-2.6, 図-2.16 に暴露した普通鋼材のすべり係数³⁾と本試験によるすべり係数を比較する。なお, 本試験の素地調整はブラスト処理である。普通鋼材では暴露期間4ヶ月のすべり係数が最も高い値となっているが, 耐候性鋼材では2ヶ月が最も高い値となっている。暴露場所では, 鋼材の種類に関わらず内陸部に比べて海岸部の方が若干高いすべり係数が得られている。また, 錆の発生によりすべり係数は 0.7~0.8 程度の高い値となっているが, 素地調整後は 0.5 以下の小さい値になっており, 鋼材によらず錆の発生がすべり耐力に影響を与えていることがわかる。

従って, すべり耐力に対する耐候性鋼材の錆の影響は普通鋼材の錆と同等であると言える。

2. 7 まとめ

本研究では、種々の暴露条件により発錆した耐候性鋼材を用いたボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験を行うことにより、耐候性鋼材の錆がすべり耐力に及ぼす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) 暴露場所にて錆厚を測定した結果、内陸部に比べて海岸部の方が錆の進行が早く錆厚も厚いことが確認できた。
- (2) ブラスト処理後と発錆後では、発錆後の方が高いすべり係数を得られた。
- (3) 海岸部と内陸部の暴露場所により錆の状態が異なり、継手のすべり発生状況に影響することが分かった。
- (4) 暴露条件によらず、錆の発生によりすべり耐力が向上し、0.7 程度の高いすべり係数が得られた。
- (5) 耐候性鋼材の錆と普通鋼材の錆では、すべり係数において差異がないことが確認できた。

以上より、耐候性鋼材の錆が、摩擦接合継手のすべり耐力を向上し、高いすべり係数を得られることから、発錆した耐候性鋼材の添接板を使用するに際して、ブラスト処理等必要としないことが確認できた。

参考文献

- 1) 土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)，鋼構造シリーズ 15，2006.12
- 2) 建設省土木研究所，鋼材倶楽部，日本橋梁建設協会：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XX)－無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領(改定案)－，1993.3
- 3) 南 邦明，森 猛，杉谷：発錆状態を考慮した赤錆面の高力ボルト継手のすべり耐力試験，土木学会第 60 回年次学術講演会 I-175，pp.347-345，2004.9
- 4) 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
- 5) 建設省土木研究所，鋼材倶楽部，日本橋梁建設協会：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XI)－耐候性高力ボルト暴露試験の第一回及び第二回調査結果－，1989.12
- 6) 建設省土木研究所，鋼材倶楽部，日本橋梁建設協会：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書 (XVII)，1993.

表-2.1 試験体の機械的性質および化学成分

	板厚	材質	機械的性質			化学成分(%)											
			降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	C x100	Si x100	Mn x100	P x1000	S x1000	Cu x100	Ni x100	Cr x100	Mo x100	V x100	Pcm x100	Ceq x100
添接板	12	SMA490AW	408	526	25	12	26	107	11	3	31	7	45	0	5	23	43
母材	22	SMA490BW	404	533	25	14	45	95	16	5	31	11	48	0	3	25	44

表-2.2 高力ボルトセットの機械的性質とトルク係数値

等級	ねじの 呼び × 長さ	ボルト						ナット	座金	セット
		4号試験片				製品		製品	製品	トルク
		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)	係数値 平均値
F10TW	22x85	1040	1107	17	68	332	34	28	42	0.129

表-2.3 鍍厚測定結果(暴露期間:2ヶ月、添接板)

ケース	暴露期間	暴露場所	計測面	試験体	鍍厚 (μm)						
					1	2	3	4	5	6	平均
2	2ヶ月	海岸部	添接板 外面	1	18.9	12.4	20.0	13.7	19.8	18.9	21.2
				2	22.0	29.6	25.6	18.1	24.8	22.7	
				3	30.3	14.7	18.0	21.0	29.1	21.5	
			添接面	1	13.1	20.8	27.4	14.8	10.9	20.8	18.2
				2	23.3	20.0	10.1	14.0	27.5	8.4	
				3	23.6	10.8	15.6	26.1	24.6	15.0	
3	2ヶ月	内陸部	添接板 外面	1	16.4	20.7	23.0	28.0	13.1	17.2	24.0
				2	28.7	26.8	23.1	22.9	24.8	21.0	
				3	13.9	24.4	33.0	27.1	37.9	29.9	
			添接面	1	26.4	30.5	23.0	38.1	48.7	24.0	35.5
				2	18.0	41.0	33.3	42.0	41.7	36.5	
				3	48.7	25.4	24.3	46.9	55.1	35.1	

表-2.4 鍍厚測定結果(母材)

ケース	暴露期間	暴露場所	試験体	鍍厚 (μm)												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
2	2ヶ月	海岸部	1	17.8	20.2	23.7	23.0	22.5	17.9	22.8	35.8	51.2	17.8	38.4	28.9	24.0
			2	22.7	27.1	31.9	12.0	35.8	22.0	27.6	22.4	26.2	13.2	27.9	24.7	
			3	23.9	28.0	19.5	29.2	15.1	17.6	29.8	23.8	20.7	13.7	12.6	15.5	
3	2ヶ月	内陸部	1	17.8	18.7	13.5	21.0	18.9	16.7	17.6	18.8	16.0	18.8	22.8	14.2	18.2
			2	21.4	14.8	20.1	19.3	16.0	21.5	15.5	21.4	27.9	27.8	15.5	16.0	
			3	13.1	13.4	13.5	27.0	18.7	16.1	15.8	16.3	17.1	17.7	18.7	17.4	
4	4ヶ月	海岸部	1	31.6	34.4	39.0	29.9	29.3	21.3	44.9	37.3	37.2	31.6	27.2	31.5	34.2
			2	40.9	33.8	29.2	30.0	26.0	23.8	34.7	29.9	48.0	23.1	35.4	32.0	
			3	32.3	40.0	49.5	27.9	35.3	29.0	48.7	39.6	37.9	40.0	40.1	28.8	
5	4ヶ月	内陸部	1	15.5	14.5	17.5	16.8	14.4	15.2	22.7	22.7	23.8	17.4	24.8	16.7	19.9
			2	11.5	22.4	12.4	31.6	18.1	21.4	23.9	17.3	12.1	11.7	22.2	19.3	
			3	13.9	24.8	27.2	21.9	14.2	34.7	17.5	19.6	15.5	20.1	28.7	31.7	
6	6ヶ月	海岸部	1	39.3	23.8	25.1	41.2	30.4	40.6	28.1	36.1	36.3	42.7	36.2	28.7	38.2
			2	47.3	57.7	60.5	48.7	36.7	31.9	40.0	45.3	26.0	33.6	32.7	41.8	
			3	33.4	36.5	30.4	53.9	36.6	45.6	56.9	33.7	34.0	38.3	32.0	33.1	
7	6ヶ月	内陸部	1	25.6	23.1	27.9	27.2	39.3	23.2	27.3	27.8	12.6	35.2	26.2	34.9	27.4
			2	25.7	27.5	19.4	27.4	25.3	42.5	34.0	23.4	32.3	19.8	25.9	19.7	
			3	29.8	32.1	34.7	29.9	18.8	33.9	27.7	19.9	29.6	25.6	18.3	34.0	

表-2.5 すべり耐力試験結果

ケース	暴露期間	暴露場所	導入軸力 (kN)	試験体	すべり荷重 (kN)	すべり係数 μ (設計軸力)		すべり係数 μ (導入軸力)	
						すべり係数	平均値	すべり係数	平均値
1	0ヶ月	---	226	1	616	0.50	0.49	0.45	0.45
				2	615	0.50		0.45	
				3	593	0.48		0.44	
2	2ヶ月	海岸部	225	1	937	0.76	0.77	0.69	0.70
				2	960	0.78		0.71	
				3	941	0.77		0.70	
3	2ヶ月	内陸部	225	1	872	0.71	0.71	0.65	0.65
				2	897	0.73		0.66	
				3	866	0.70		0.64	
4	4ヶ月	海岸部	231	1	916	0.74	0.71	0.66	0.63
				2	909	0.74		0.66	
				3	805	0.65		0.58	
5	4ヶ月	内陸部	231	1	886	0.72	0.70	0.64	0.62
				2	840	0.68		0.61	
				3	853	0.69		0.62	
6	6ヶ月	海岸部	226	1	855	0.70	0.70	0.63	0.63
				2	851	0.69		0.63	
				3	866	0.70		0.64	
7	6ヶ月	内陸部	226	1	778	0.63	0.66	0.57	0.60
				2	843	0.69		0.62	
				3	823	0.67		0.61	

表-2.6 すべり係数比較

ケース	素地調整	暴露期間	暴露場所	すべり係数 (設計軸力)
耐候性鋼材	ショットブラスト	0ヶ月	---	0.49
		2ヶ月	海岸部	0.77
			内陸部	0.71
		4ヶ月	海岸部	0.71
			内陸部	0.70
		6ヶ月	海岸部	0.70
内陸部	0.66			
普通鋼材 ²⁾	ショットブラスト	0ヶ月	---	0.46
		2ヶ月	海岸部	0.75
			内陸部	0.68
		4ヶ月	海岸部	0.79
			内陸部	0.72
		6ヶ月	海岸部	0.73
	内陸部		0.71	
	グラインダー	0ヶ月	---	0.28
		2ヶ月	海岸部	0.75
			内陸部	0.73
		4ヶ月	海岸部	0.76
			内陸部	0.76
		6ヶ月	海岸部	0.72
			内陸部	0.71

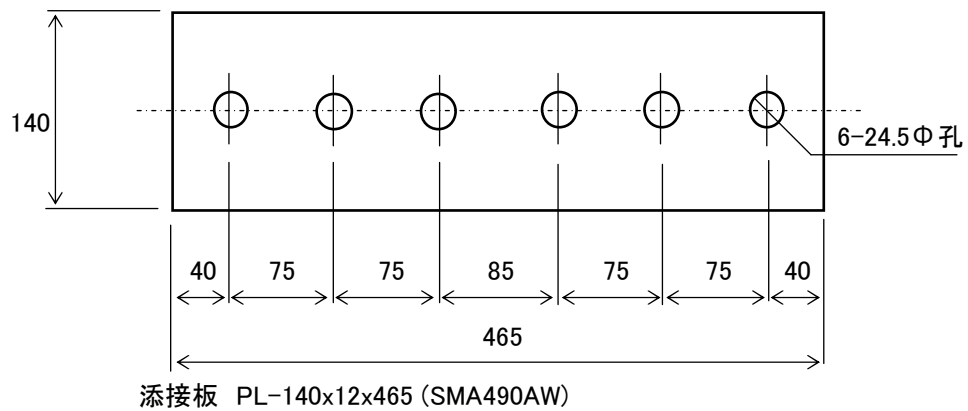
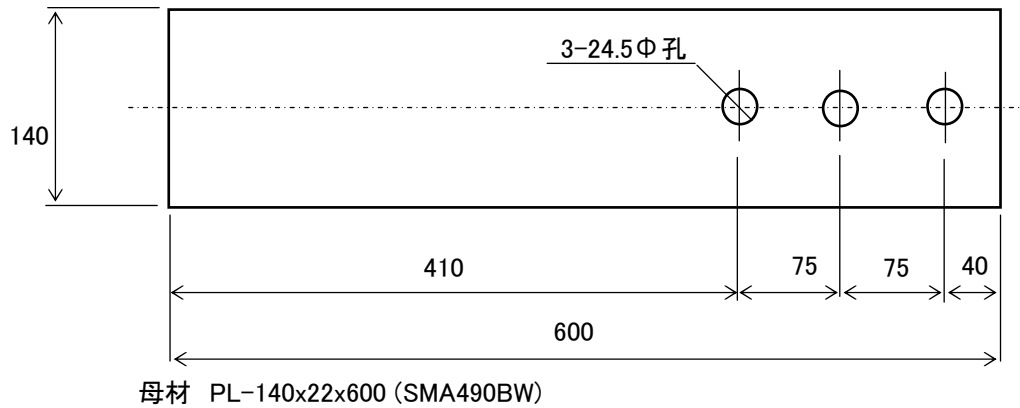


図-2.1 試験鋼材(母材、添接板)の形状と寸法

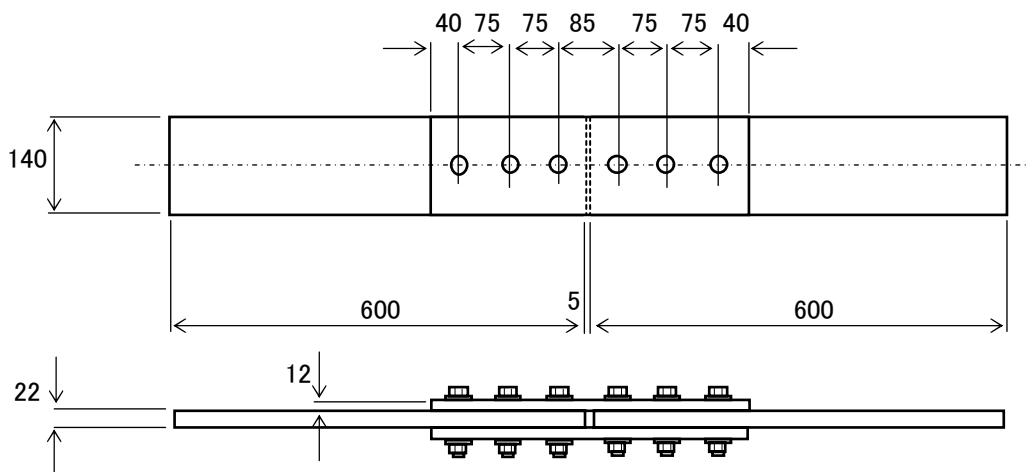


図-2.2 試験体の形状と寸法

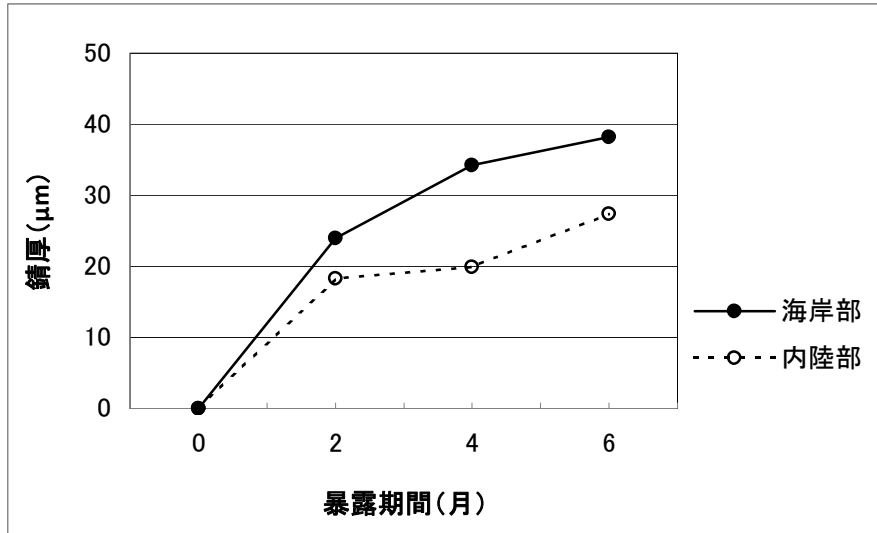


図-2.3 錆厚と暴露期間の関係

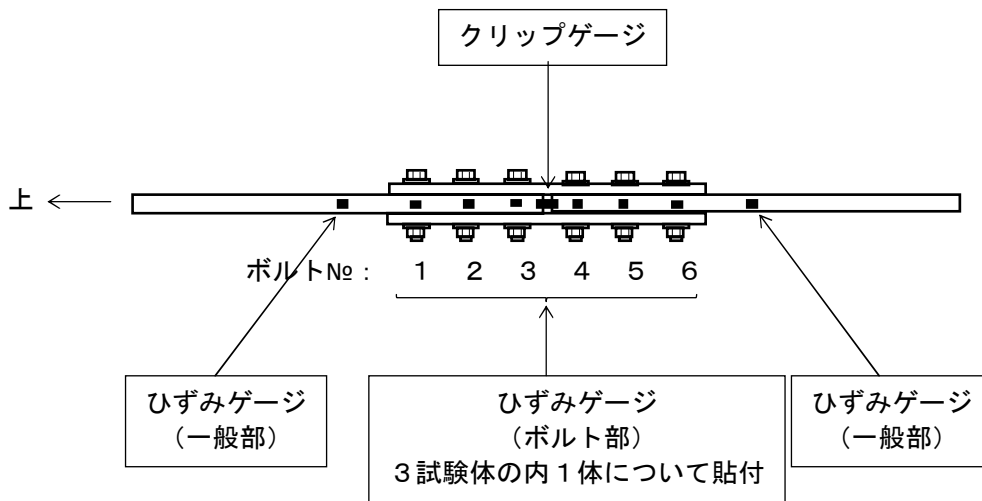
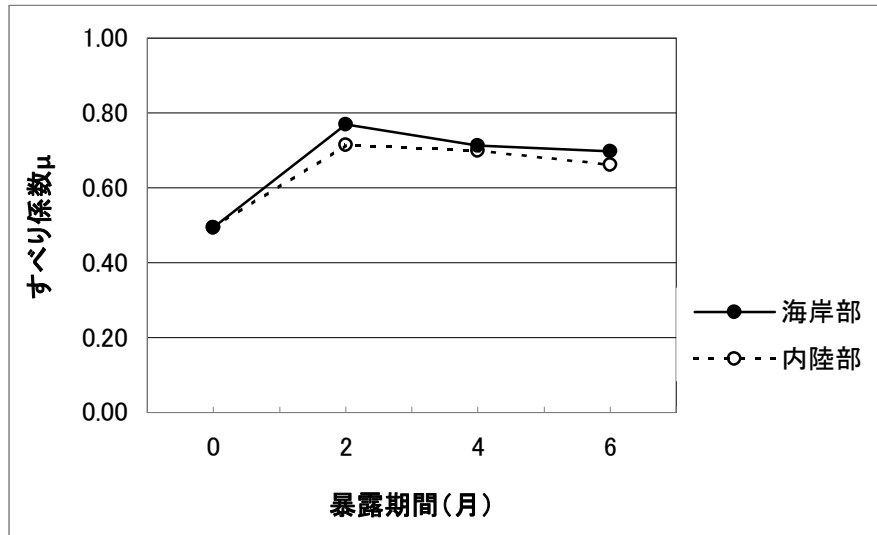
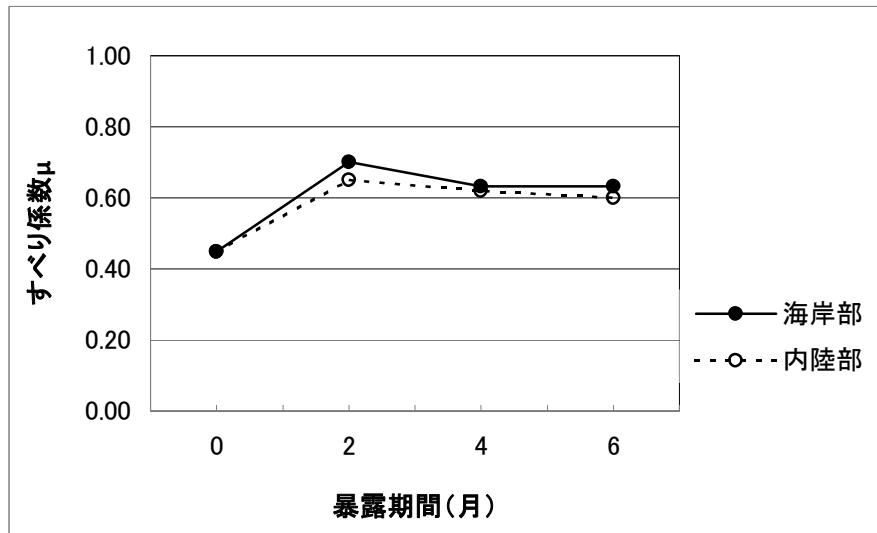


図-2.4 ひずみゲージ、クリップゲージ貼付位置

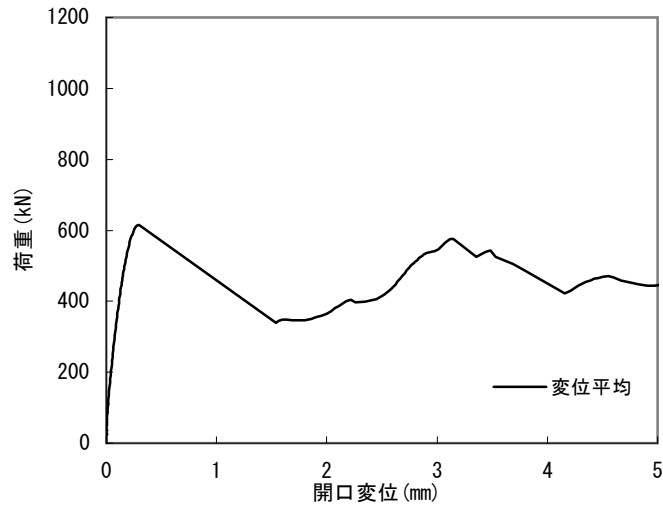


(a) 設計軸力

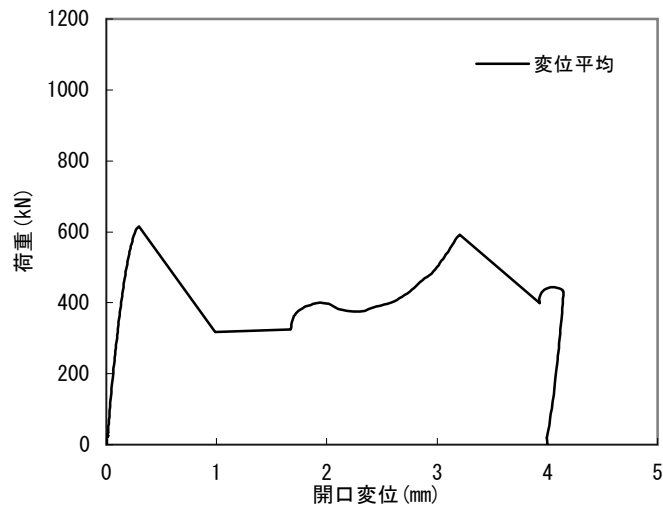


(b) 導入時軸力

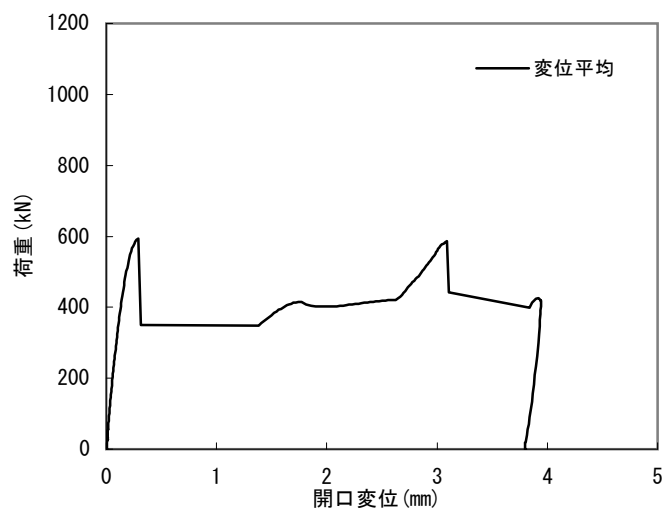
図-2.5 すべり耐力結果



試験体1

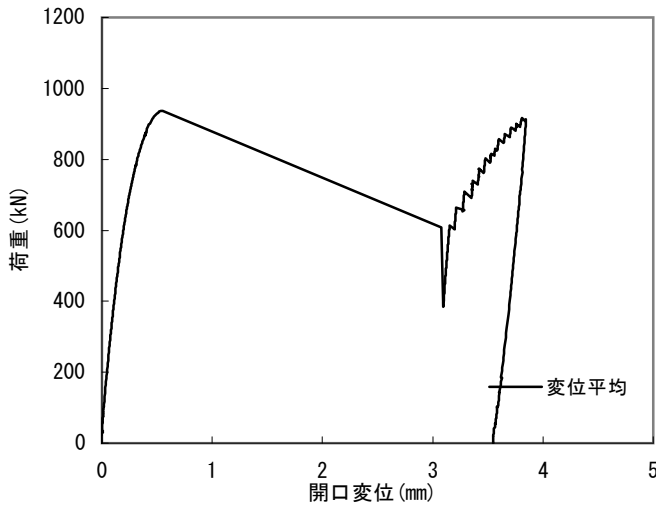


試験体2

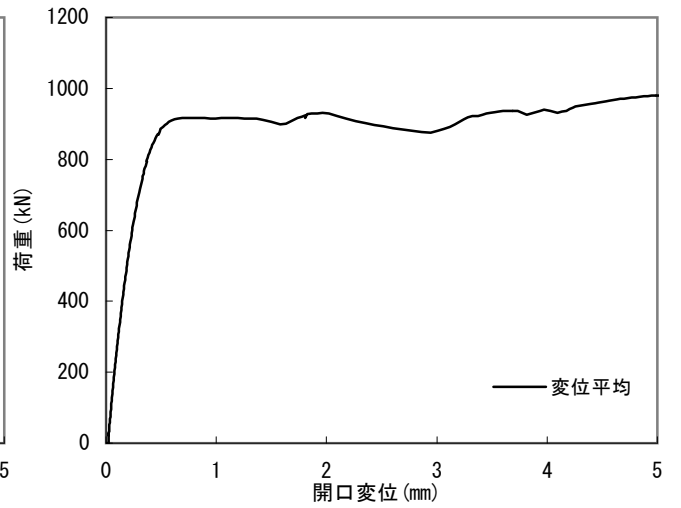


試験体3

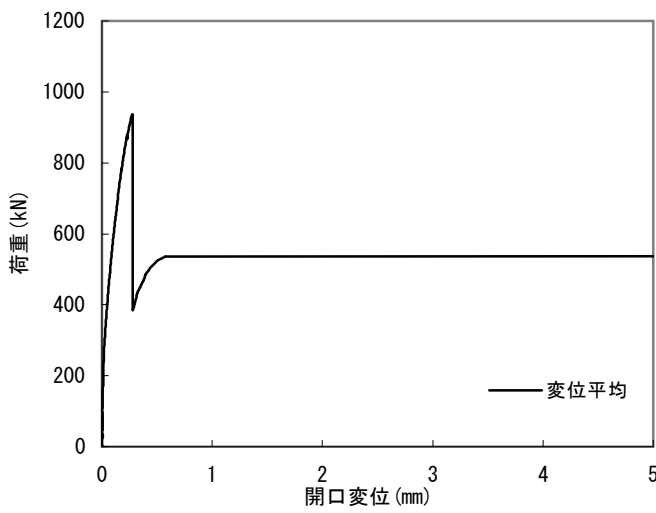
図一2.6 荷重と開口変位関係(暴露期間0ヶ月)



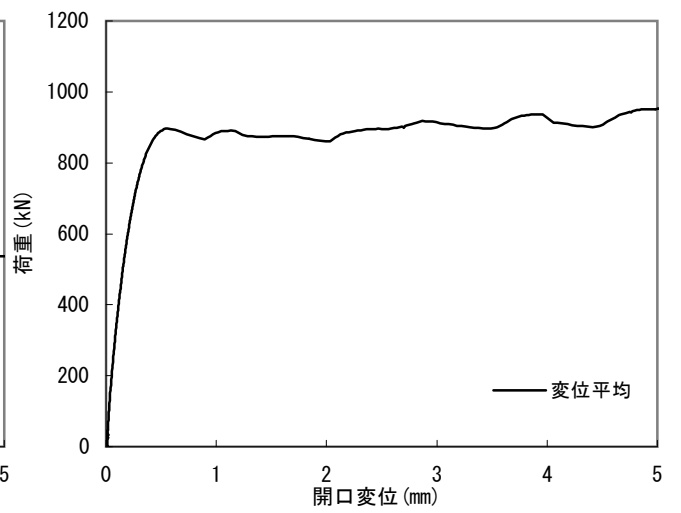
暴露場所:海岸 試験体1



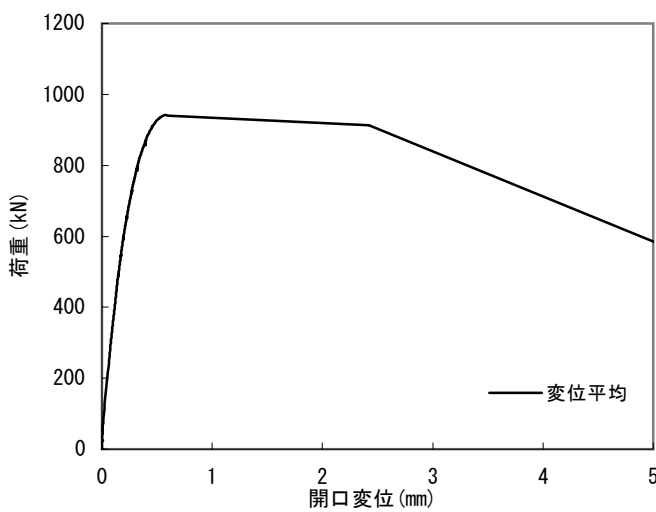
暴露場所:内陸 試験体1



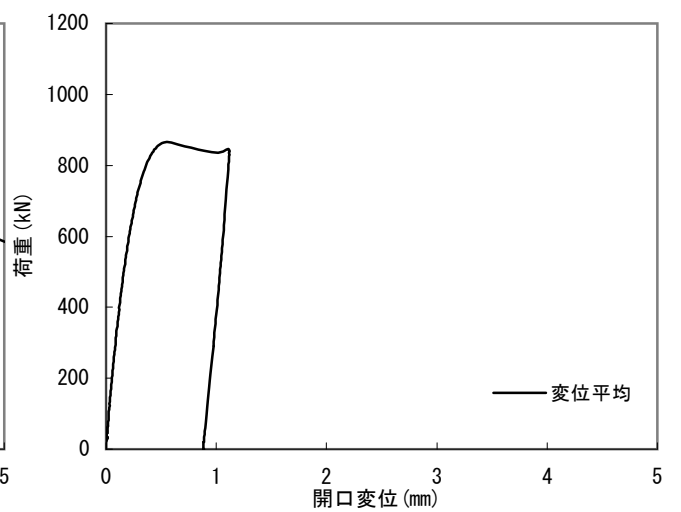
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

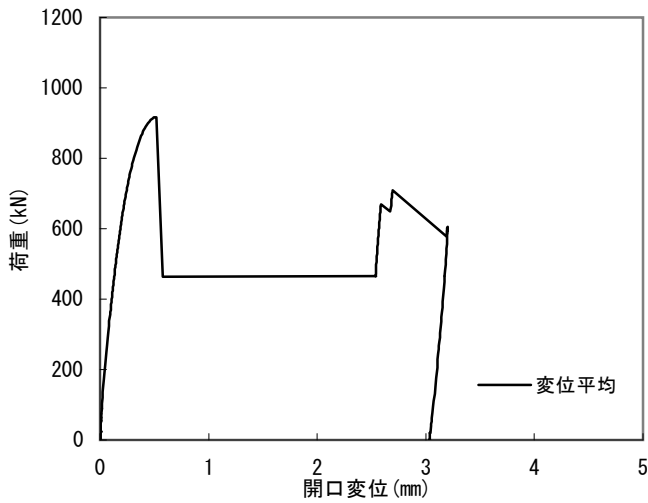


暴露場所:海岸 試験体3

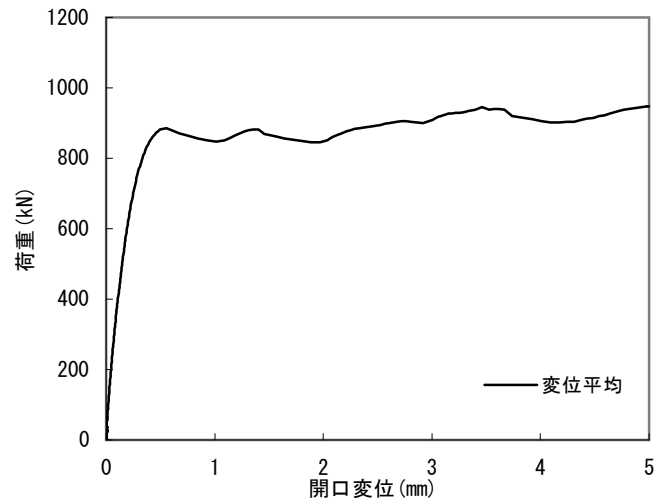


暴露場所:内陸 試験体3

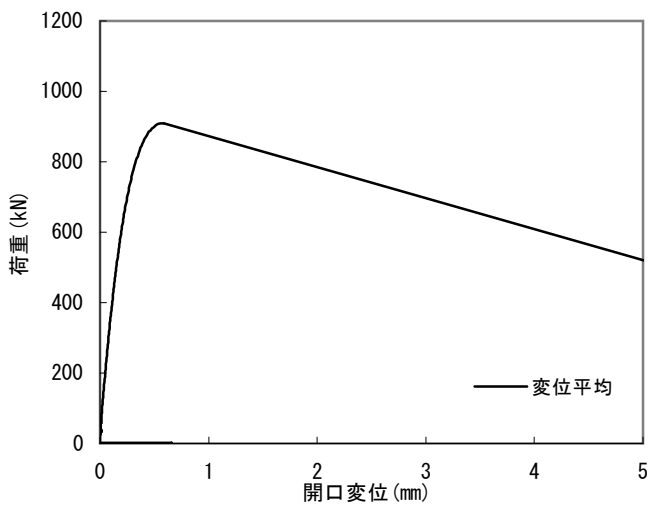
図一2.7 荷重と開口変位関係(暴露期間2ヶ月)



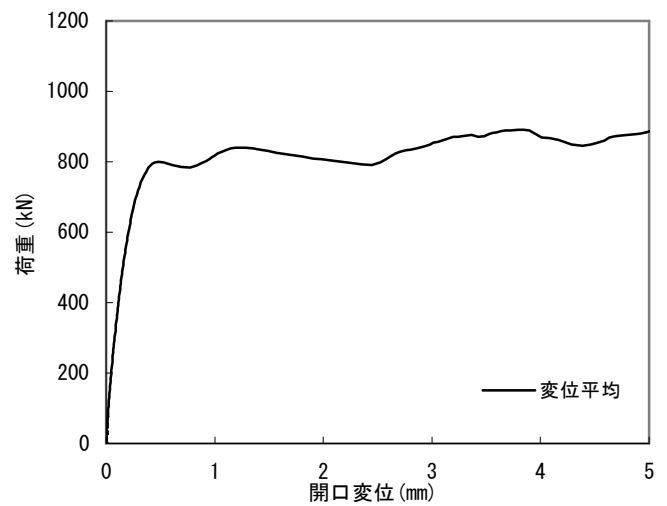
暴露場所:海岸 試験体1



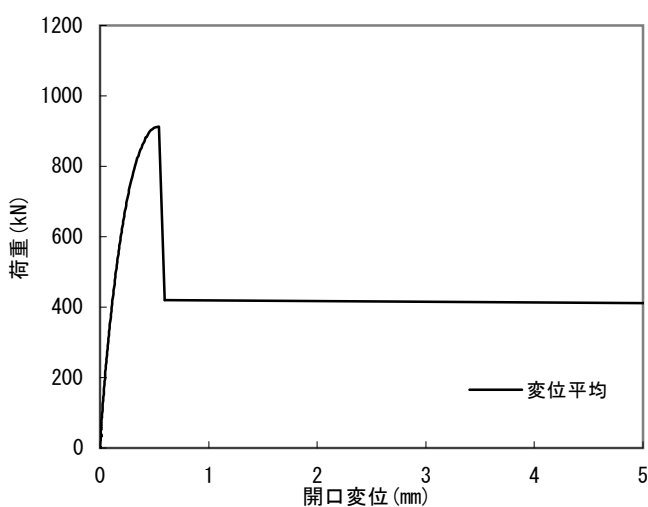
暴露場所:内陸 試験体1



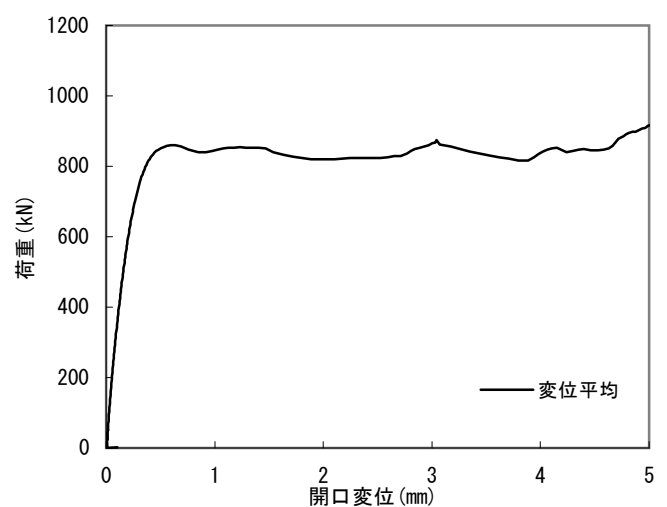
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

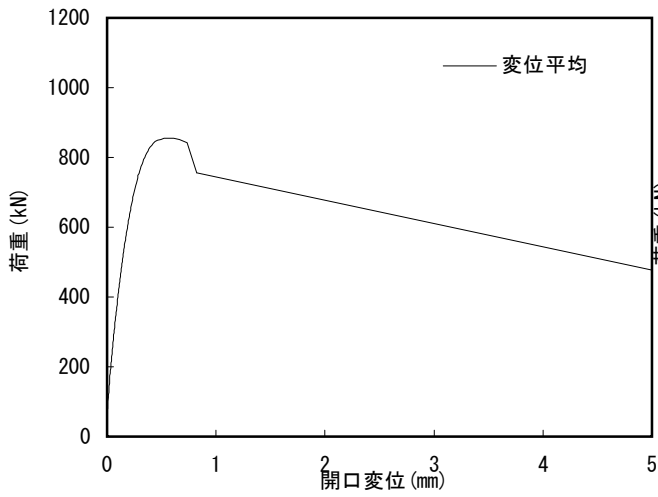


暴露場所:海岸 試験体3

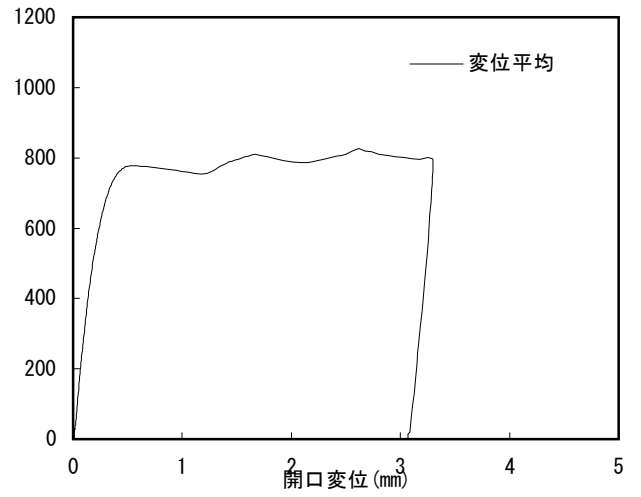


暴露場所:内陸 試験体3

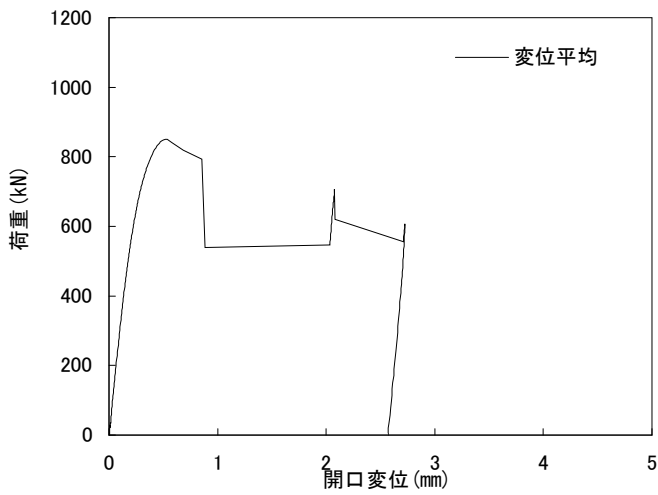
図一2.8 荷重と開口変位関係(暴露期間4ヶ月)



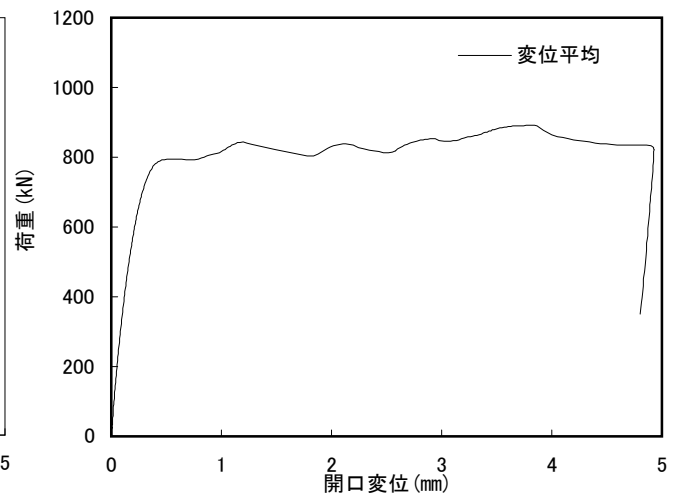
暴露場所:海岸 試験体1



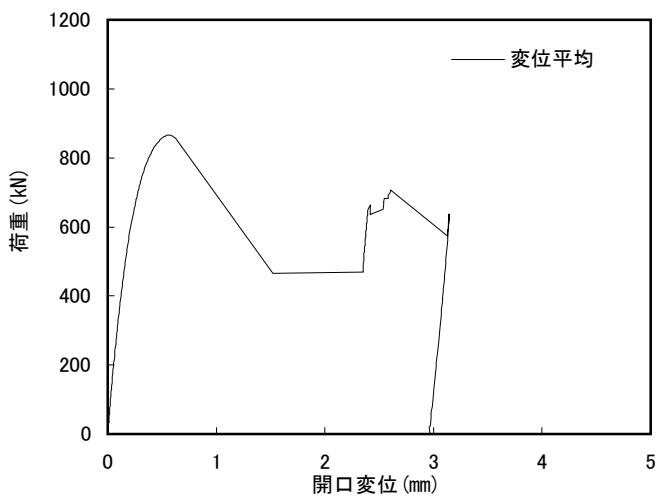
暴露場所:内陸 試験体1



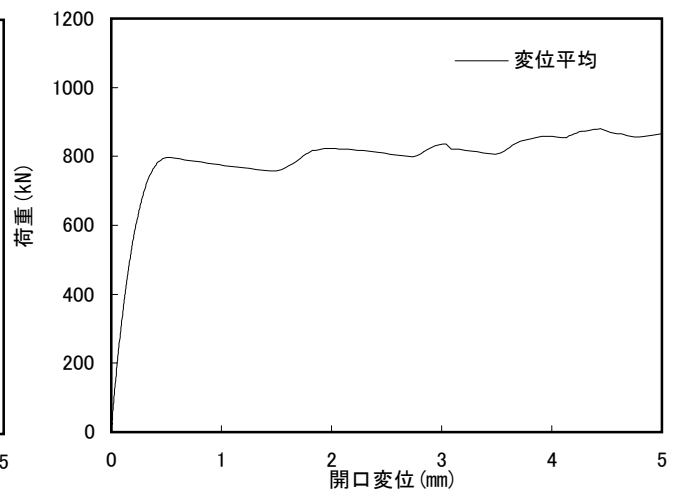
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

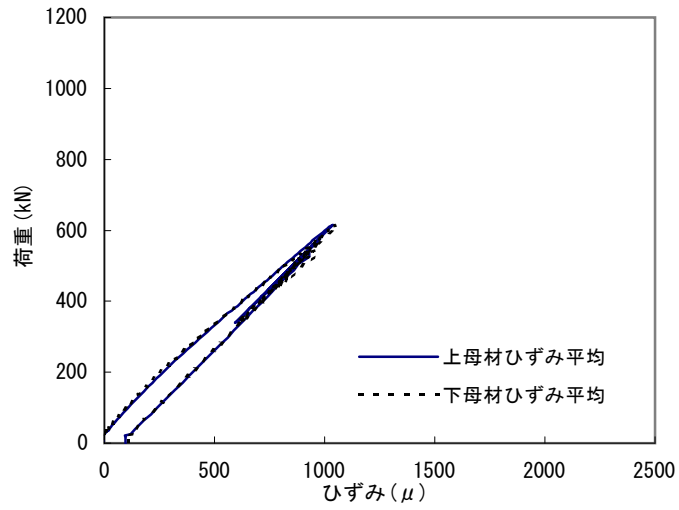


暴露場所:海岸 試験体3

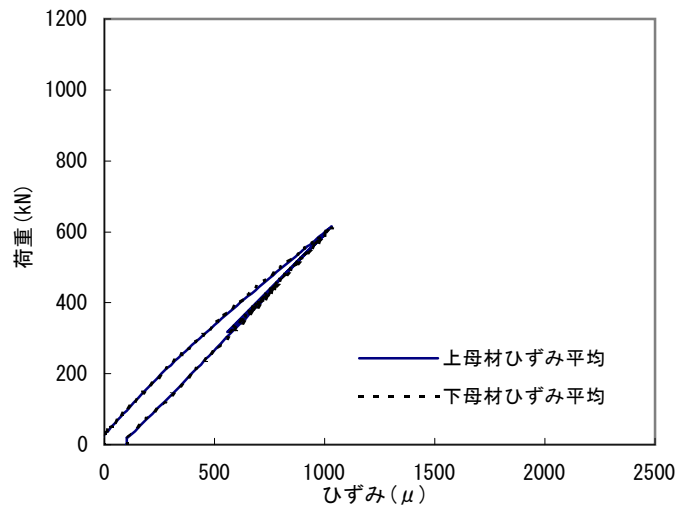


暴露場所:内陸 試験体3

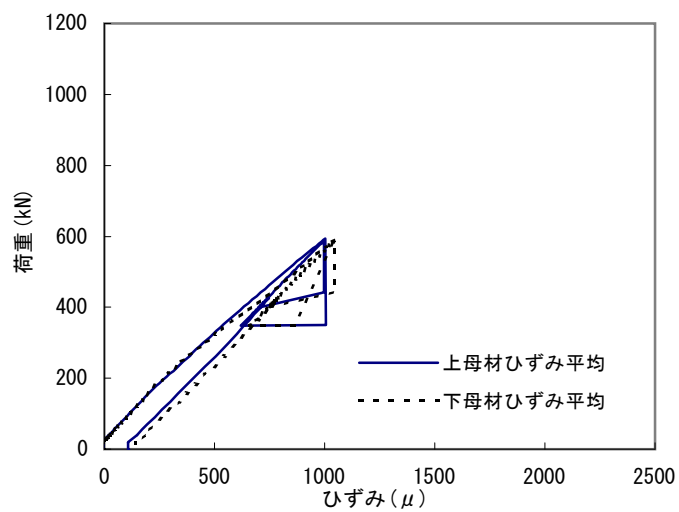
図一2.9 荷重と開口変位関係(暴露期間6ヶ月)



試験体1

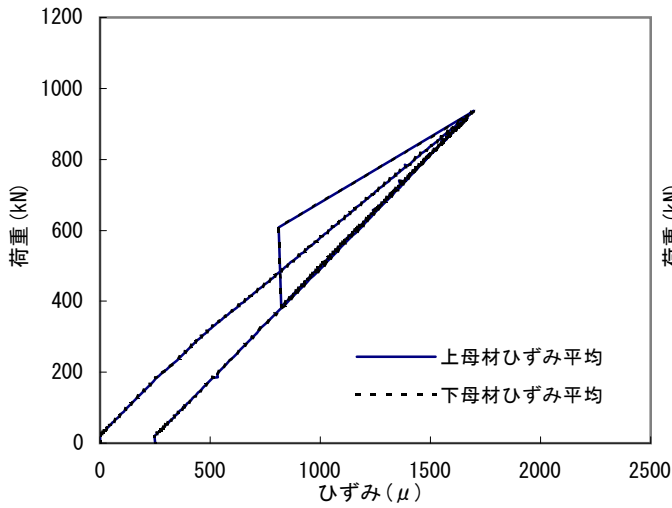


試験体2

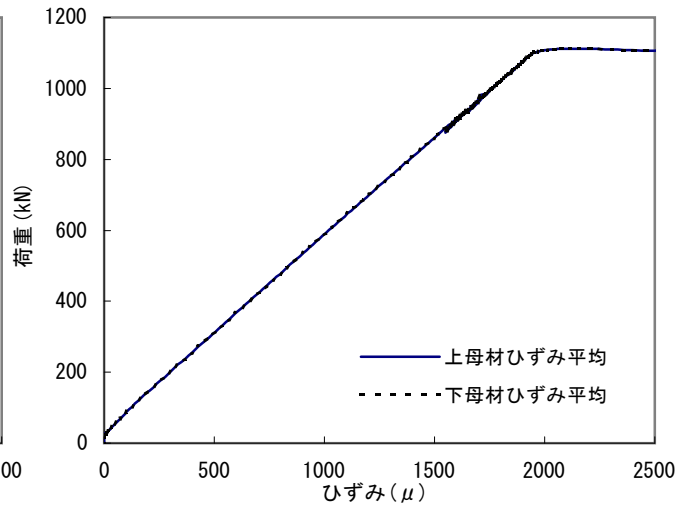


試験体3

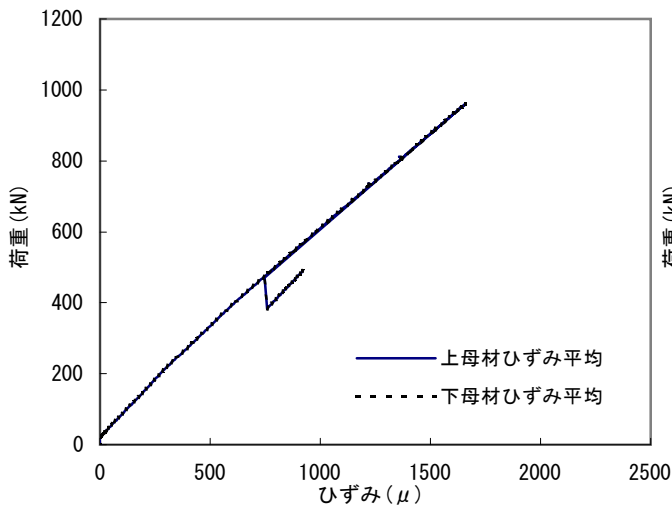
図-2.10 荷重とひずみ関係(暴露期間0ヶ月)母材部



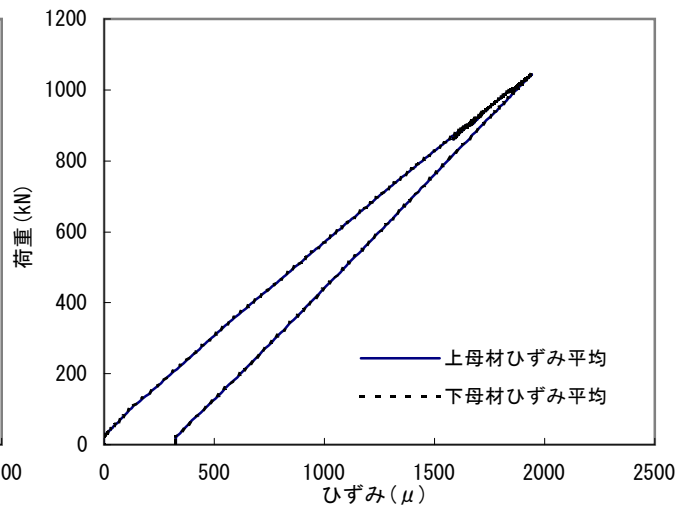
暴露場所:海岸 試験体1



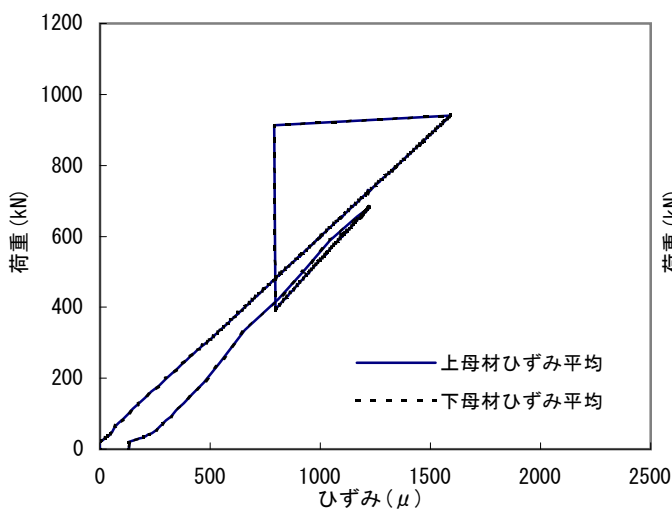
暴露場所:内陸 試験体1



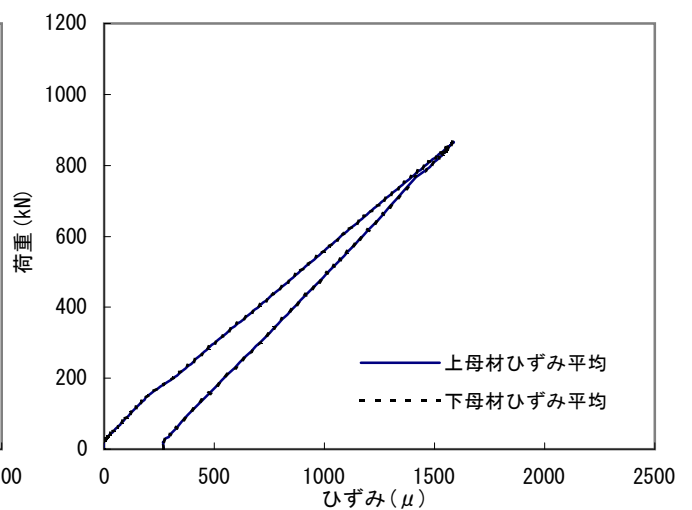
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

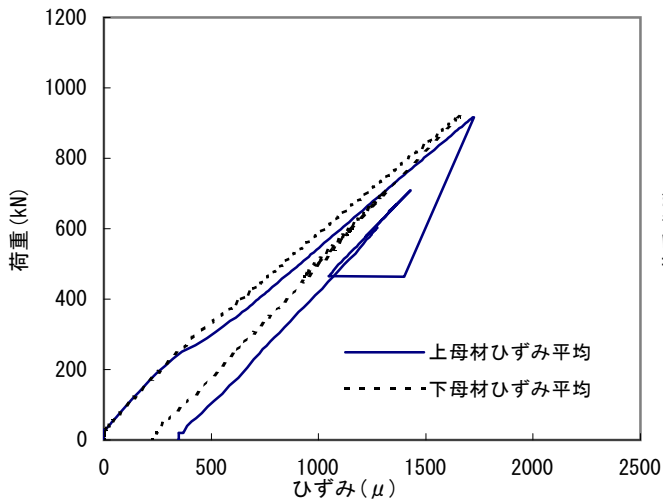


暴露場所:海岸 試験体3

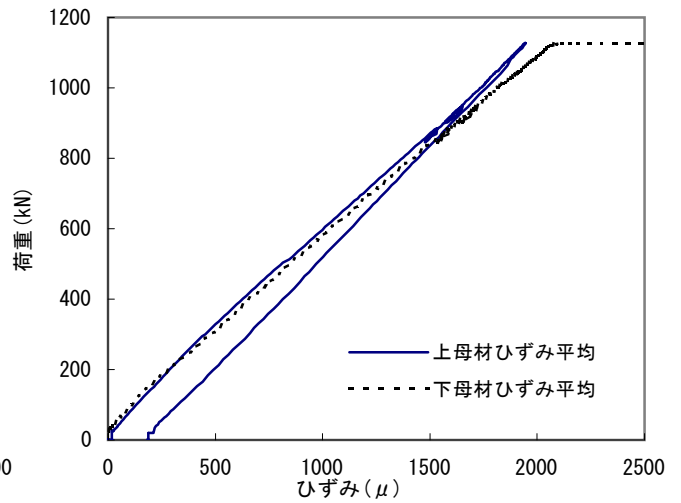


暴露場所:内陸 試験体3

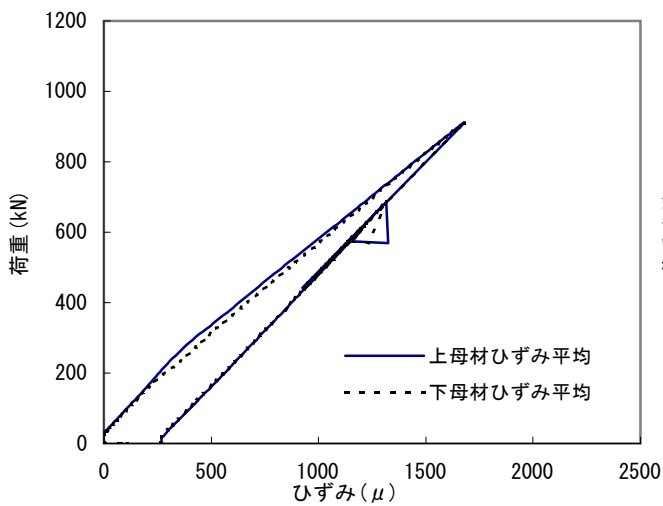
図-2.11 荷重とひずみ関係(暴露期間2ヶ月)母材部



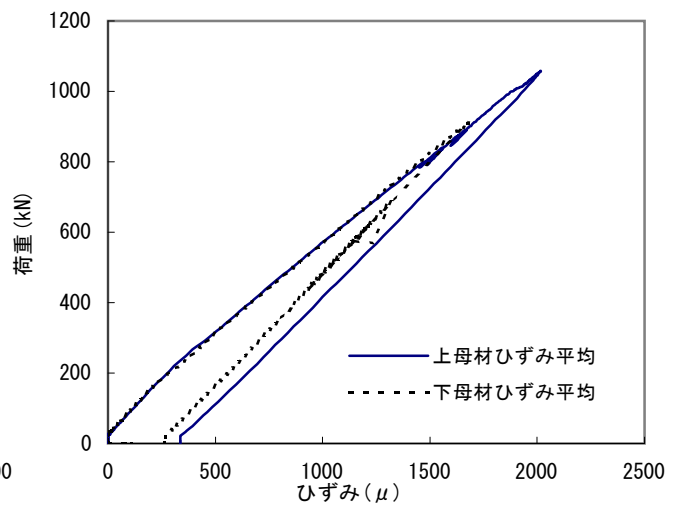
暴露場所:海岸 試験体1



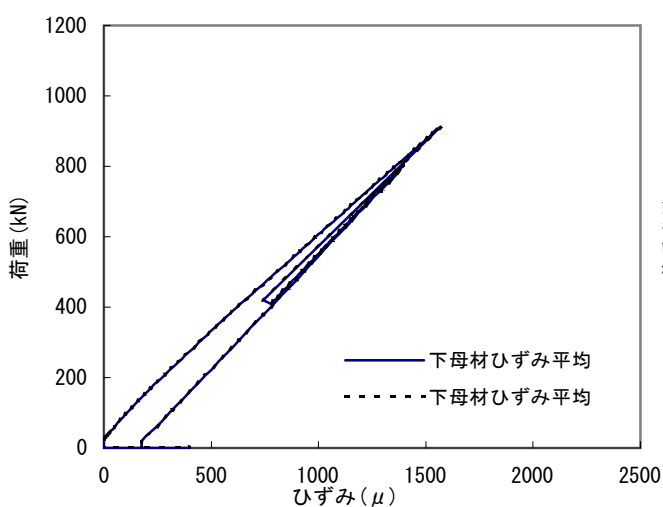
暴露場所:内陸 試験体1



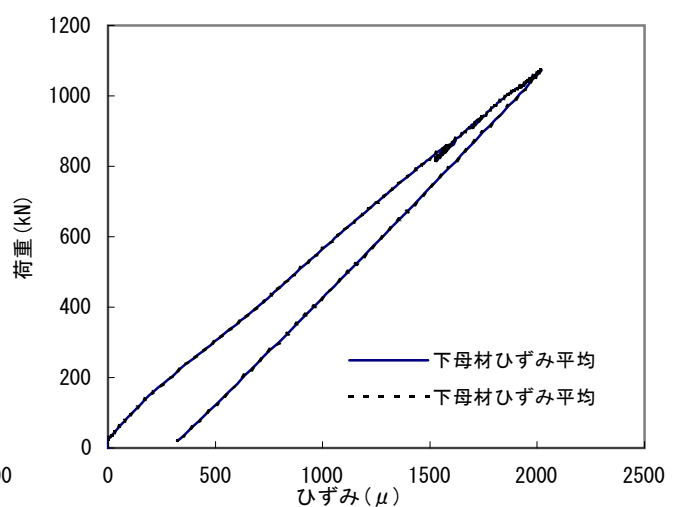
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

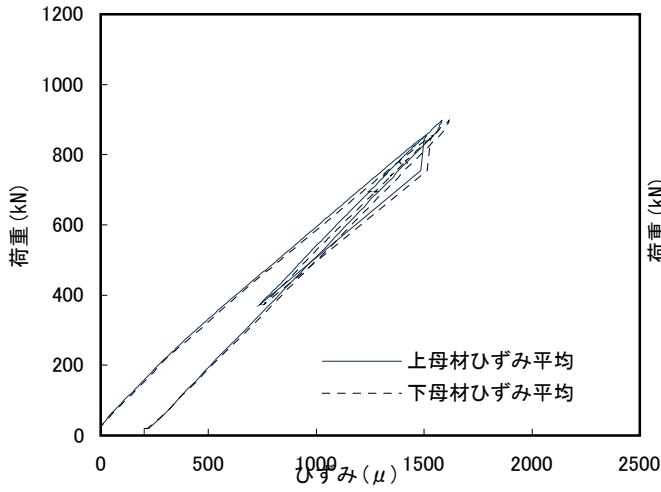


暴露場所:海岸 試験体3

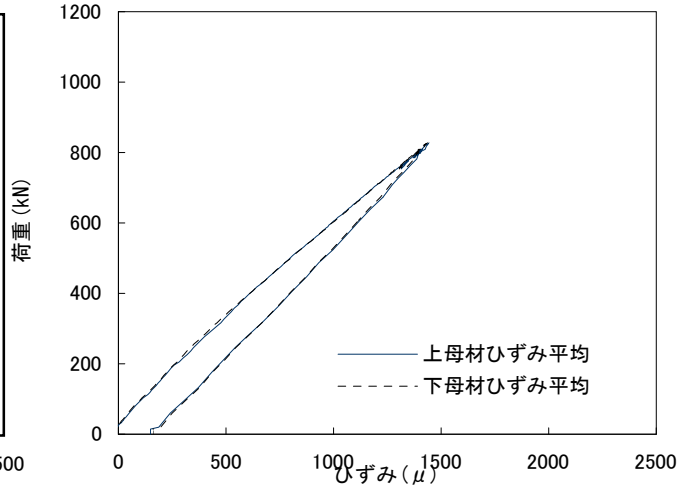


暴露場所:内陸 試験体3

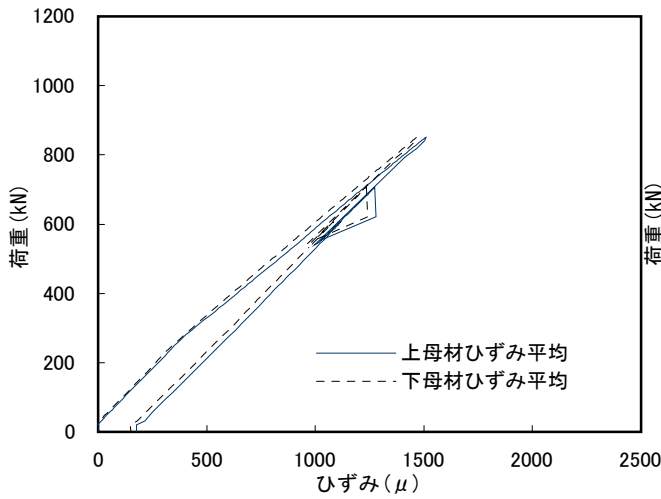
図-2.12 荷重とひずみ関係(暴露期間4ヶ月)母材部



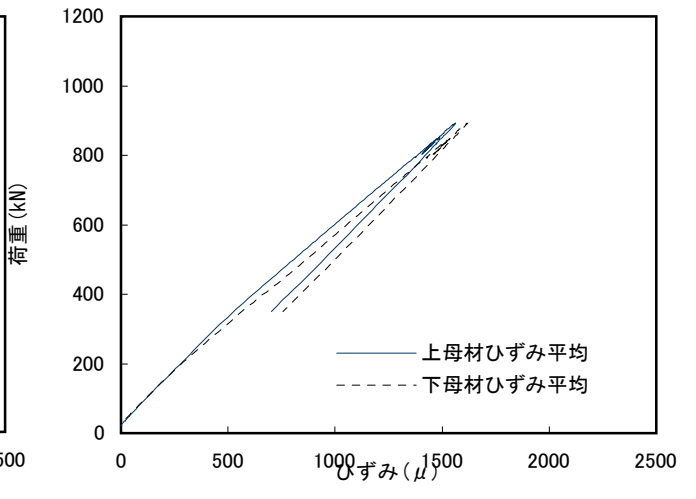
暴露場所:海岸 試験体1



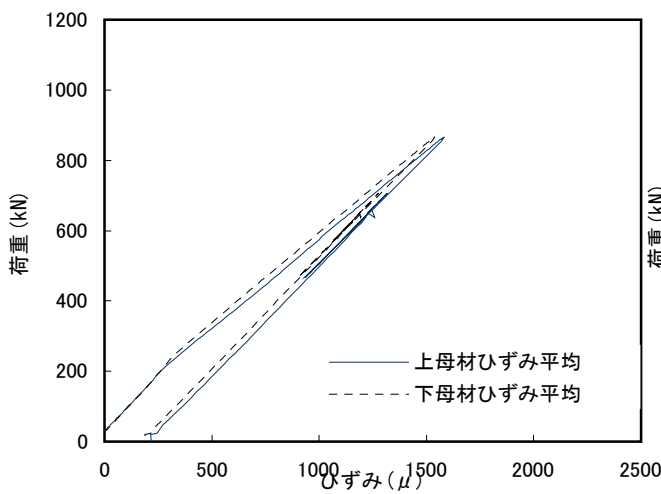
暴露場所:内陸 試験体1



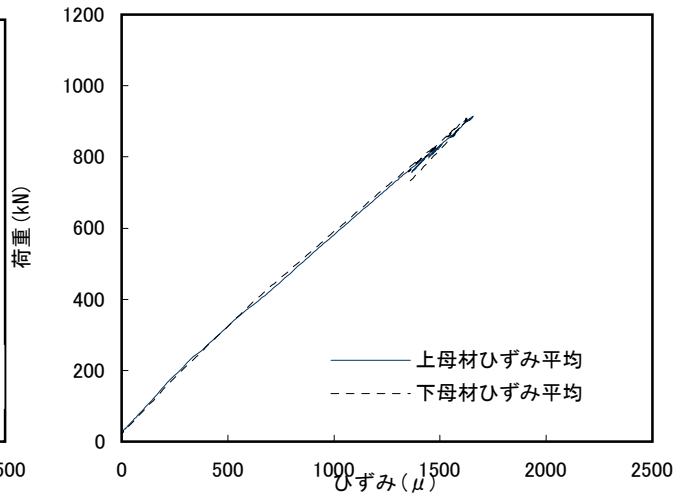
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2



暴露場所:海岸 試験体3



暴露場所:内陸 試験体3

図-2.13 荷重とひずみ関係(暴露期間6ヶ月)母材部

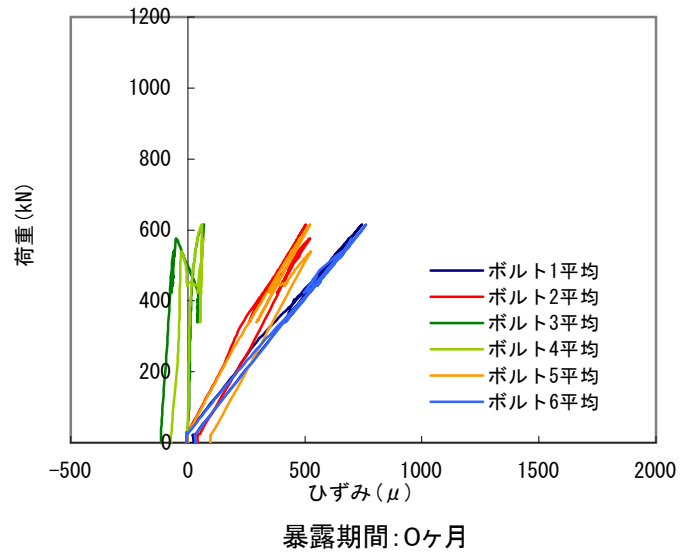
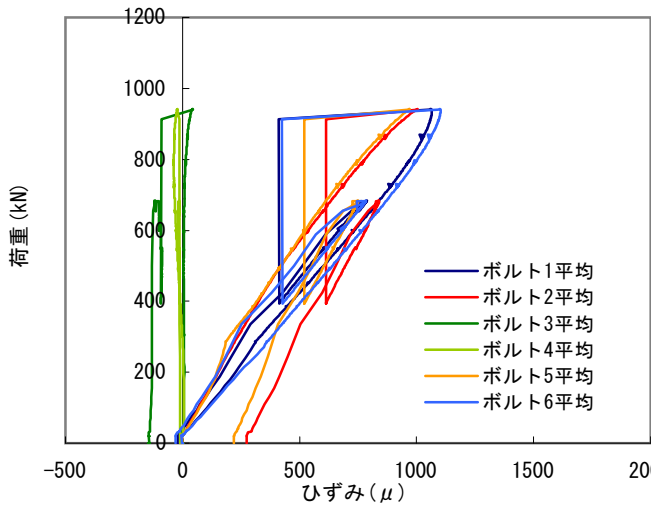
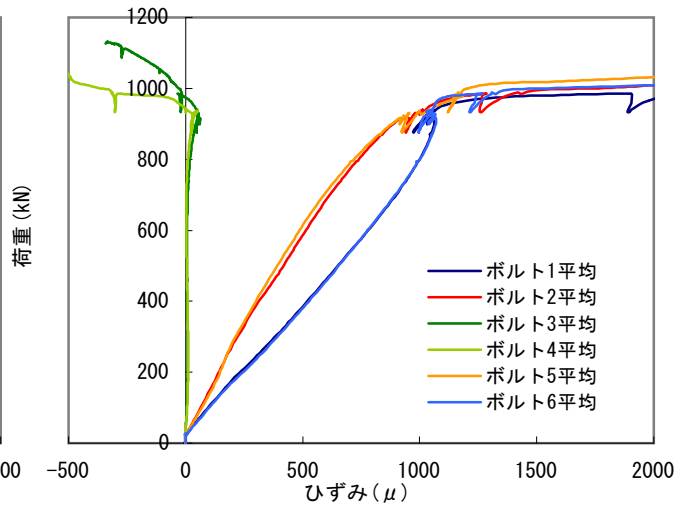


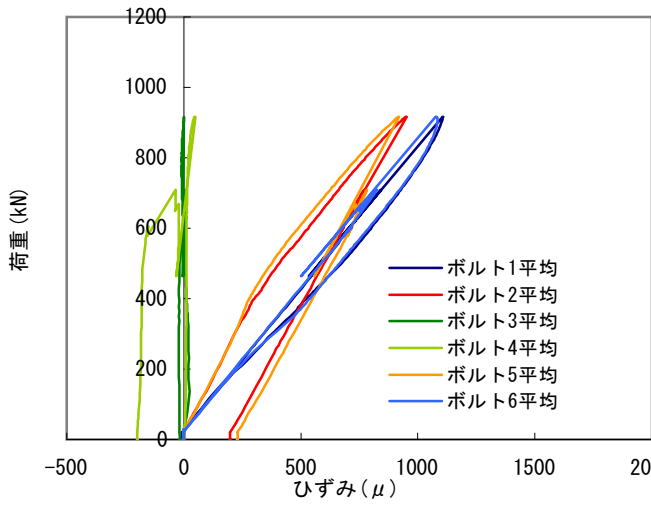
図-2.14.1 荷重とひずみ関係 ボルト部



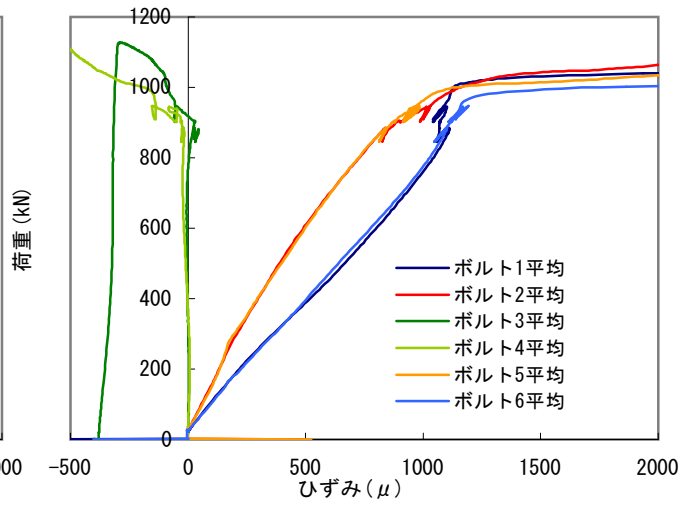
暴露期間:2ヶ月、暴露場所:海岸



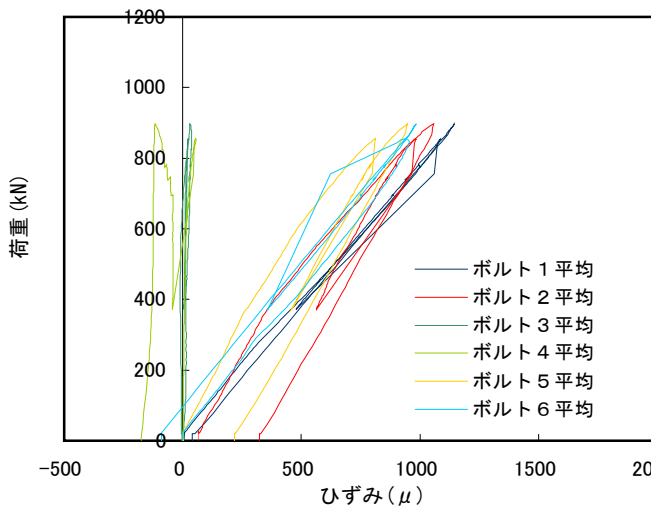
暴露期間:2ヶ月、暴露場所:内陸



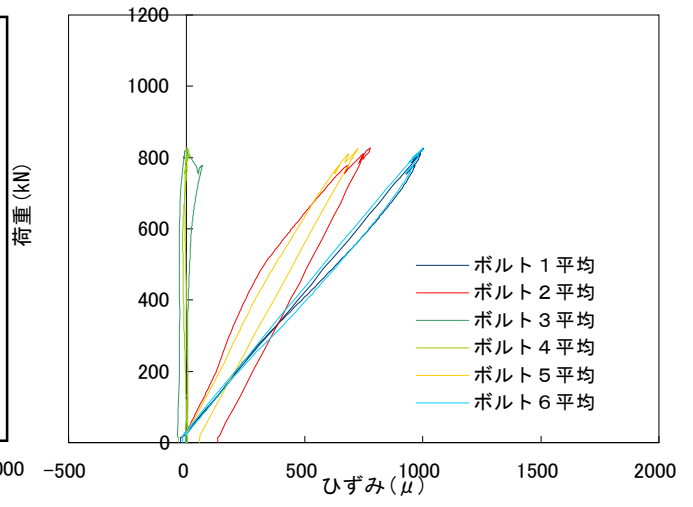
暴露期間:4ヶ月、暴露場所:海岸



暴露期間:4ヶ月、暴露場所:内陸



暴露期間:6ヶ月、暴露場所:海岸



暴露期間:6ヶ月、暴露場所:内陸

図一.2.14.2 荷重とひずみ関係 ボルト部

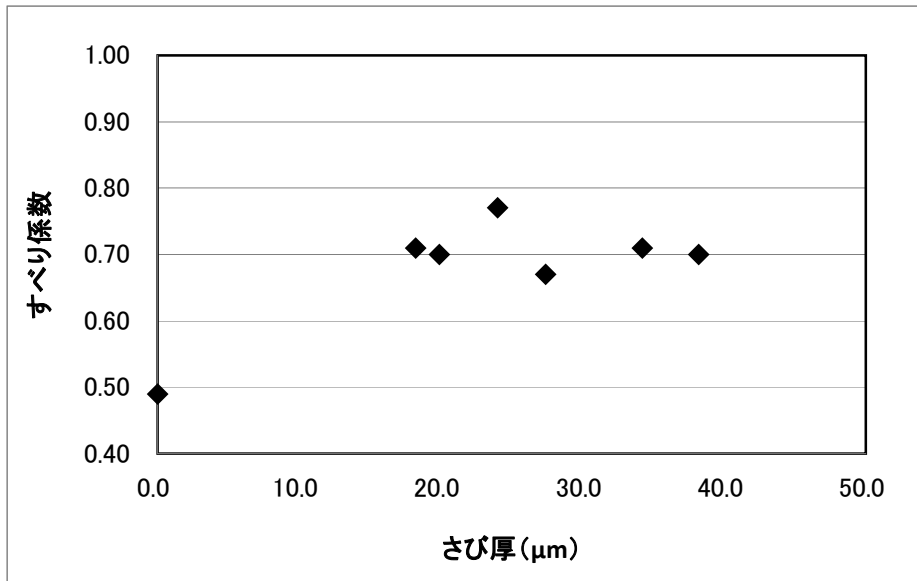


図-2.15 錆厚とすべり係数(設計軸力)

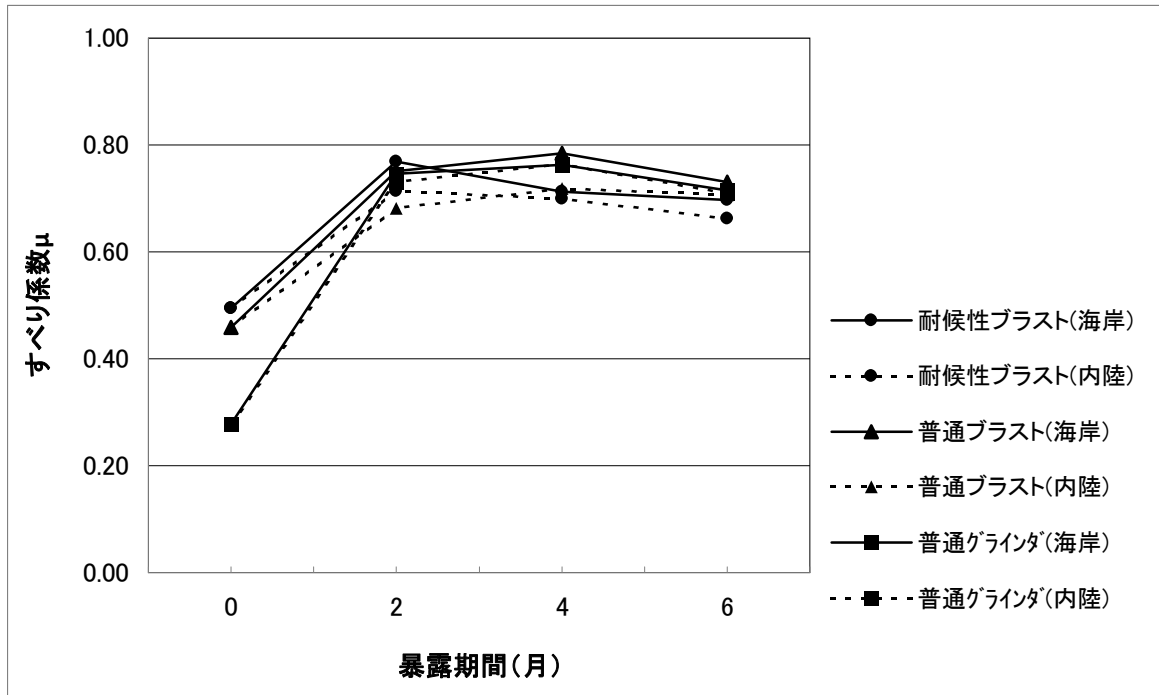


図-2.16 普通鋼材²⁾と耐候性鋼材のすべり係数(設計軸力)

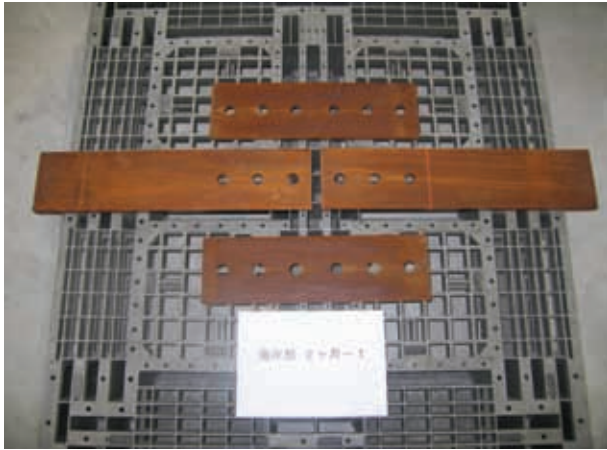


(a) 内陸部

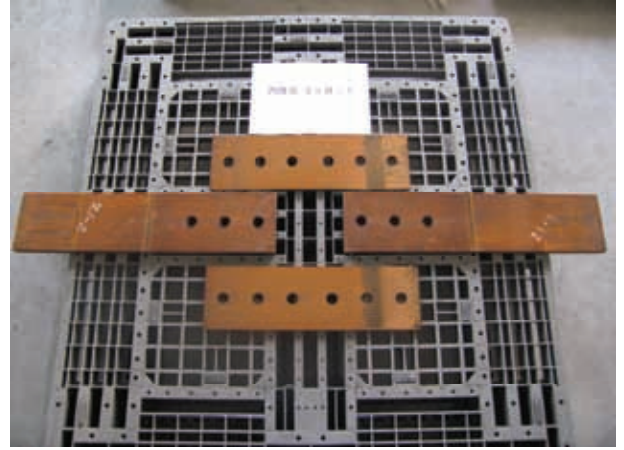


(b) 海岸部

写真-2.1 鋼材の暴露状況



(a) 海岸部 (2ヶ月)



(b) 内陸部 (2ヶ月)



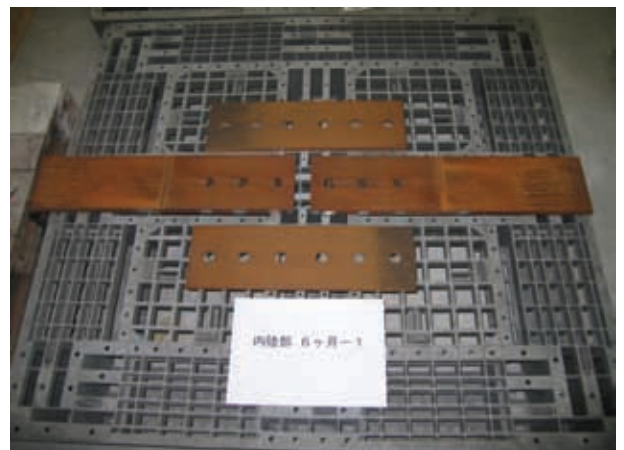
(a) 海岸部 (4ヶ月)



(b) 内陸部 (4ヶ月)



(a) 海岸部 (6ヶ月)



(b) 内陸部 (6ヶ月)

写真-2.2 発錆状況(試験前)



写真-2.3 鍍厚測定状況



写真-2.4 試験体のセット状況



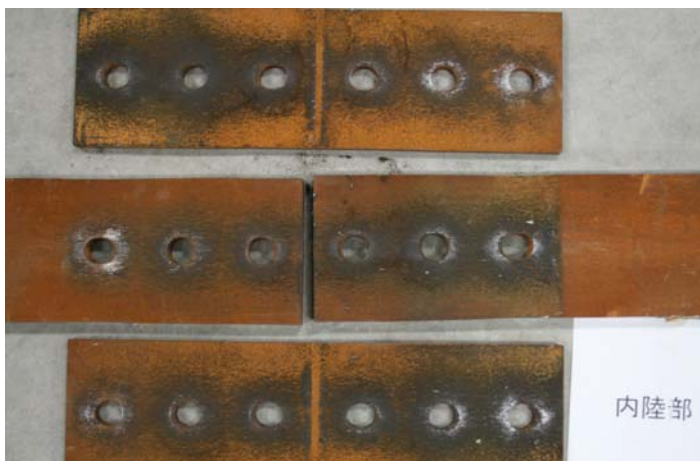
写真-2.5 ゲージ貼付状況



0ヶ月



海岸部(2ヶ月)



内陸部(2ヶ月)

写真-2.6.1 試験後の摩擦面の状況



海岸部(4ヶ月)



内陸部(4ヶ月)

写真-2.6.2 試験後の摩擦面の状況



海岸部(6ヶ月)



内陸部(6ヶ月)



写真-2.6.3 試験後の摩擦面の状況

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	—	—	—

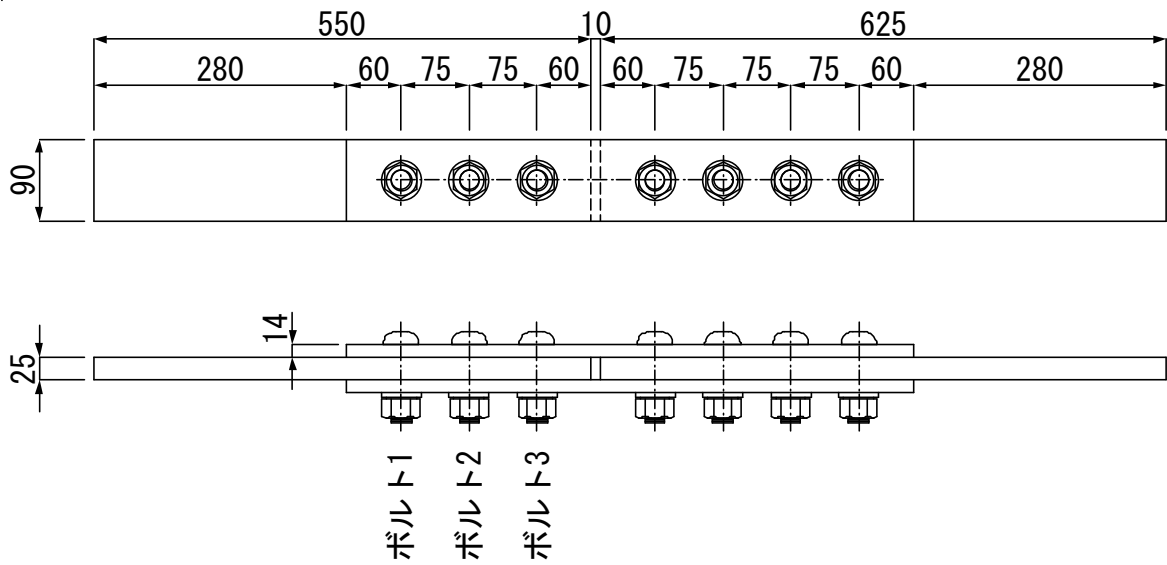
表-3.6 締付け軸力測定結果

	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

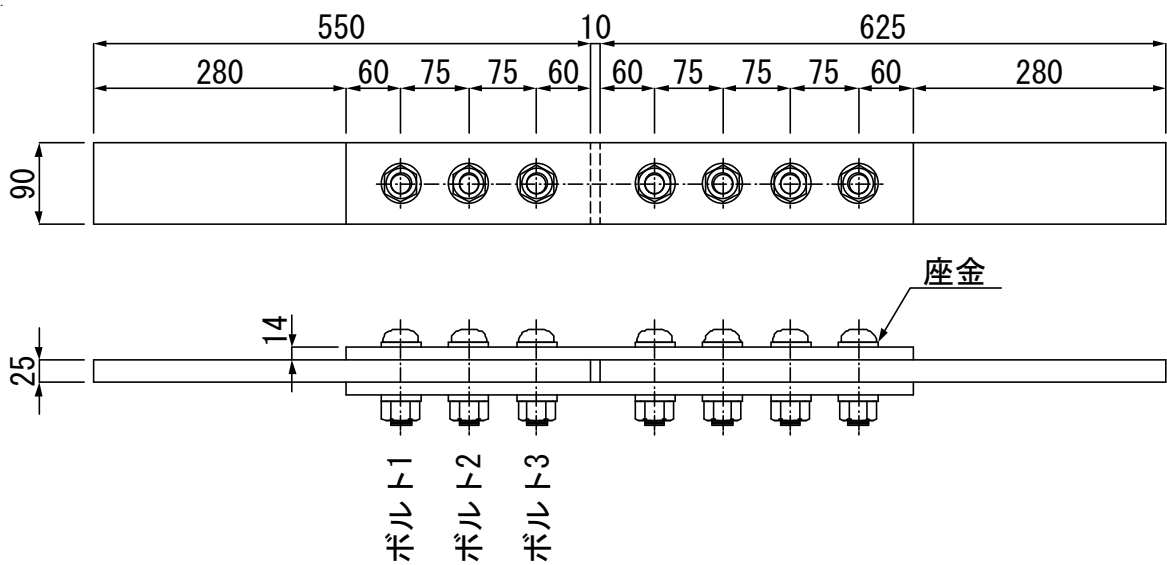
ボルト締付け時の室温 10℃, 湿度 50%

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

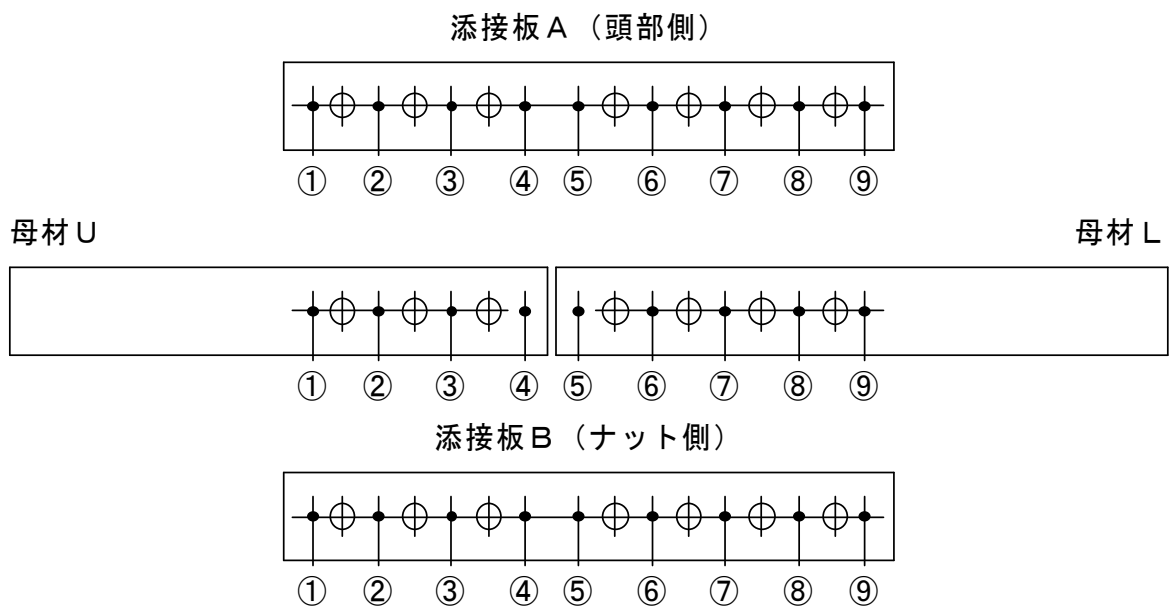
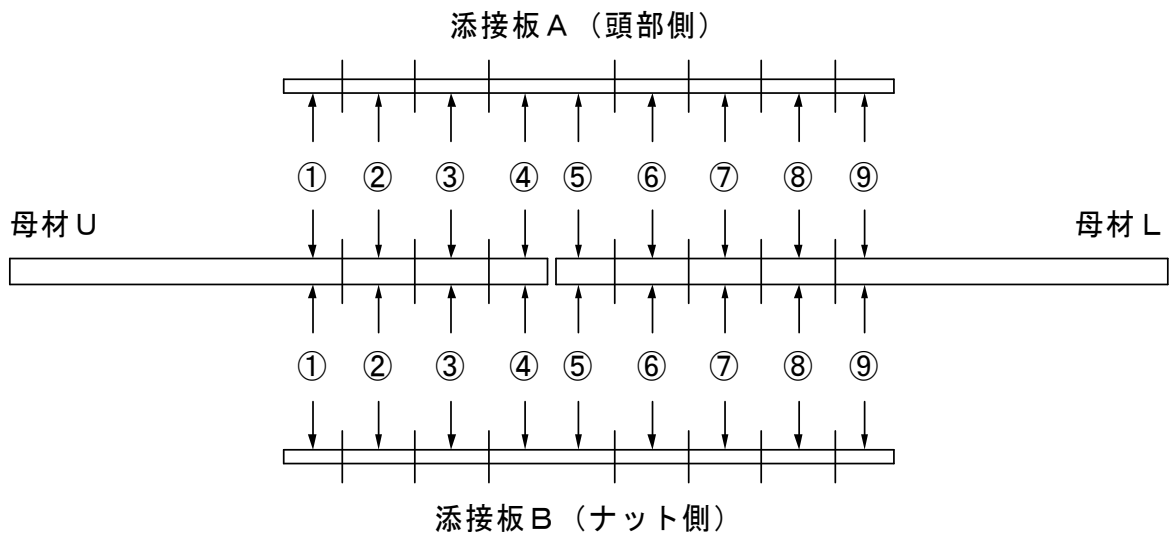
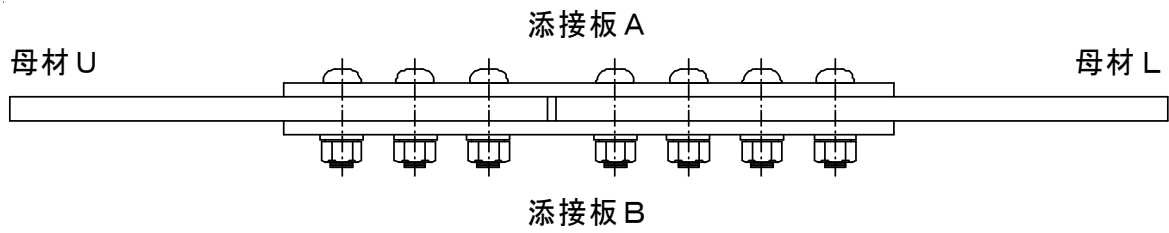
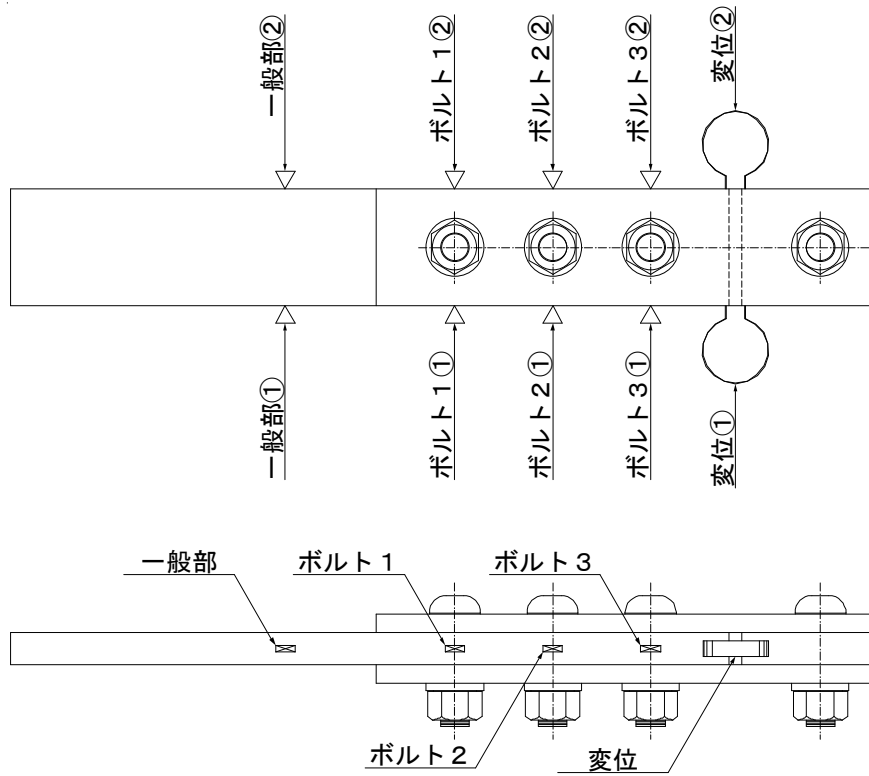
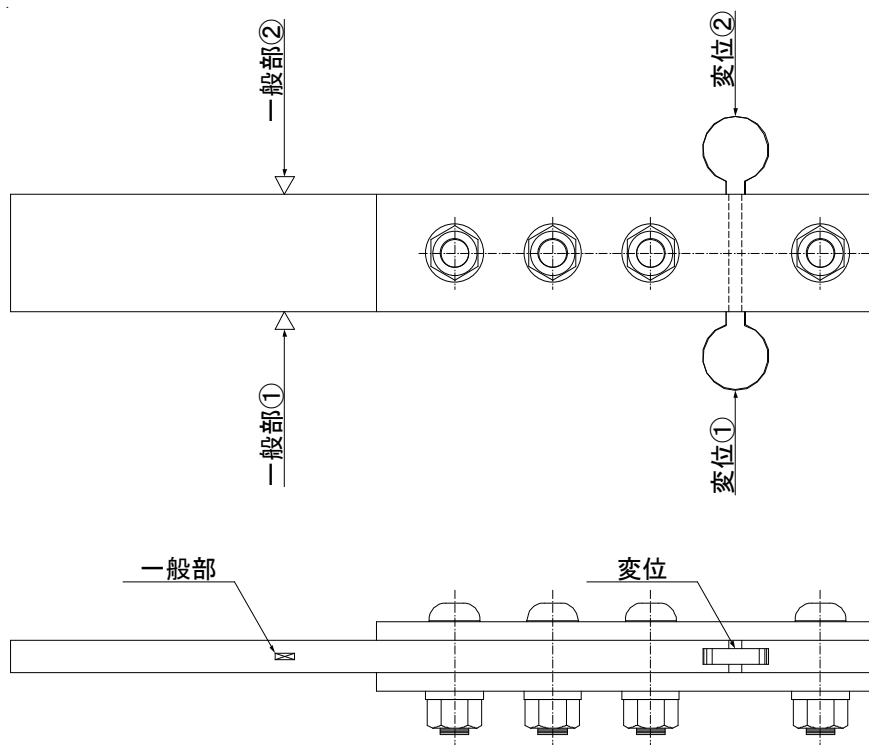


図-3.2 乾燥膜厚測定位置図

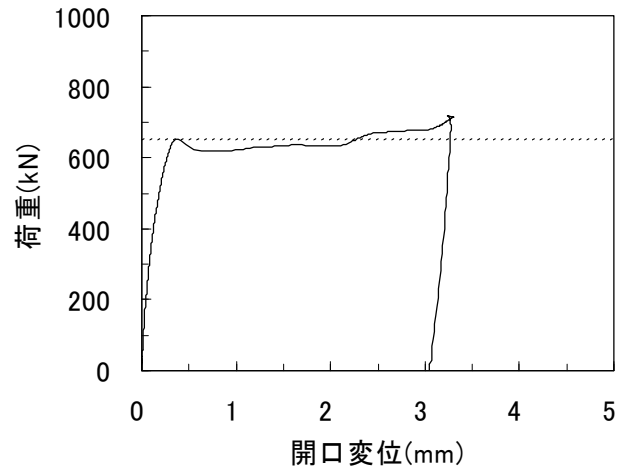


(a) 各試験ケースの-1

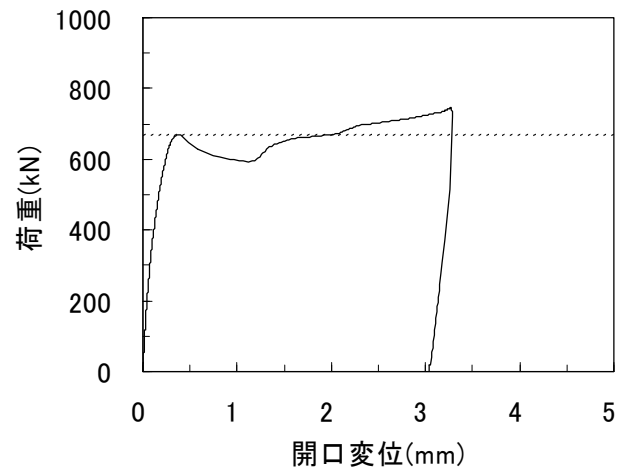


(b) 各試験ケースの-2, -3

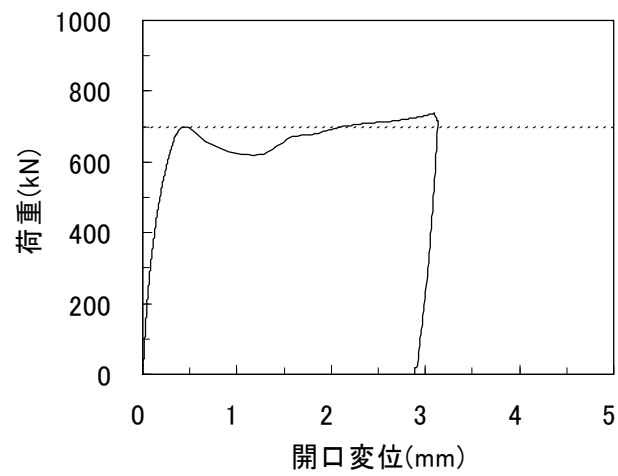
図-3.3 変位・ひずみ測定位置図



(a) Case1-1

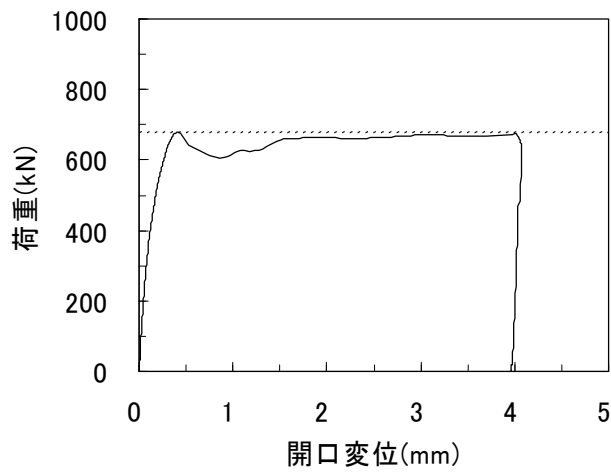


(b) Case1-2

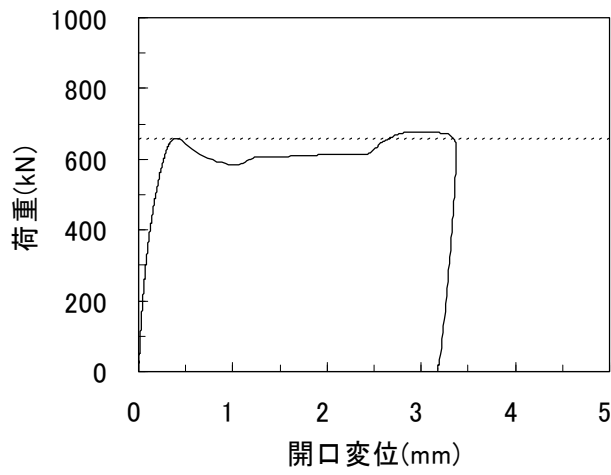


(c) Case1-3

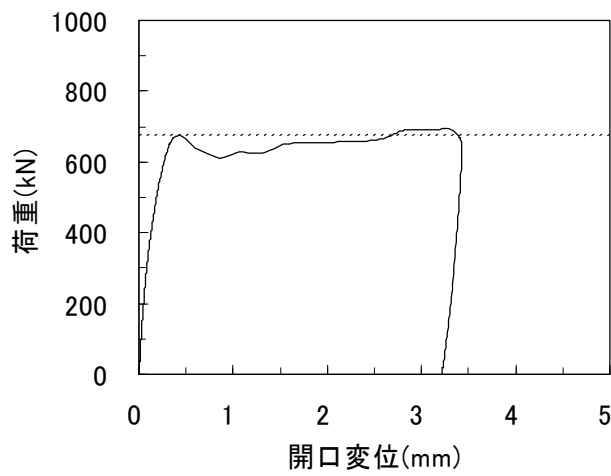
図-3.4.1 荷重-開口変位の関係 Case1



(a) Case2-1

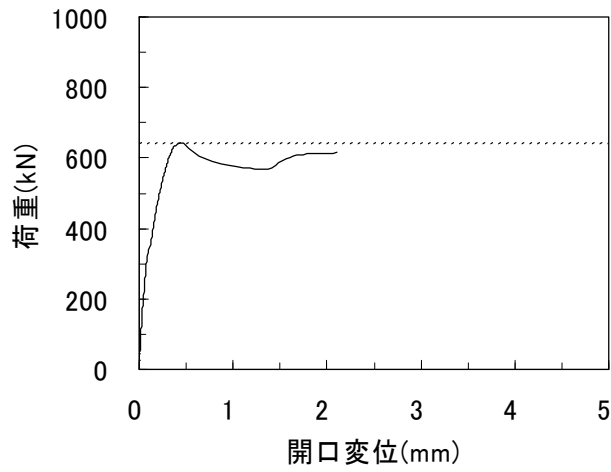


(b) Case2-2

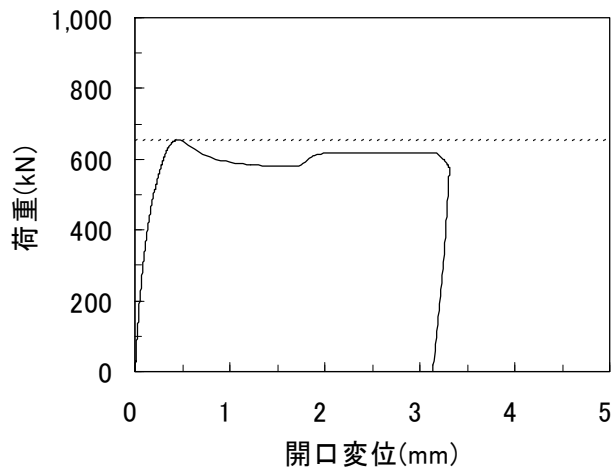


(c) Case2-3

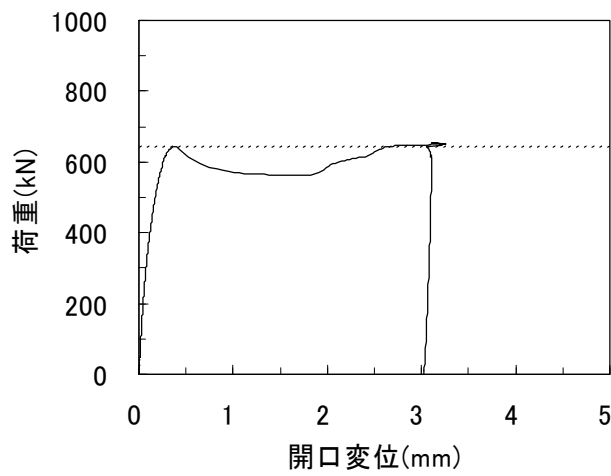
図-3.4.2 荷重-開口変位の関係 Case2



(a) Case3-1

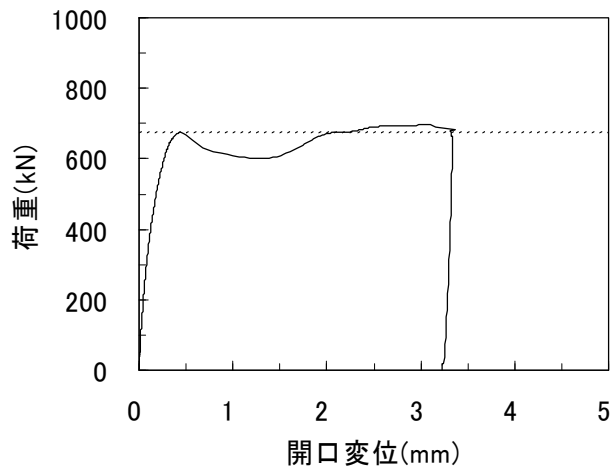


(b) Case3-2

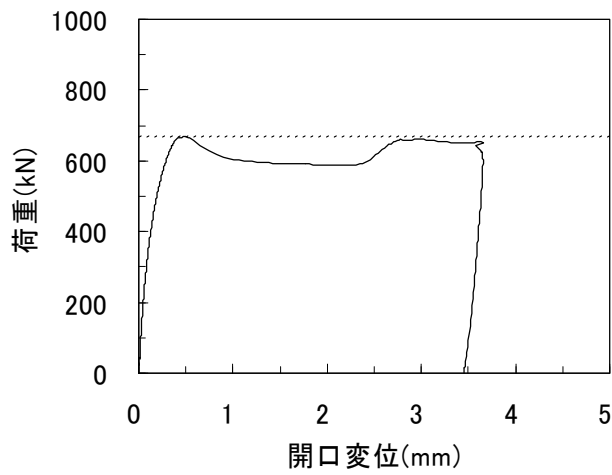


(c) Case3-3

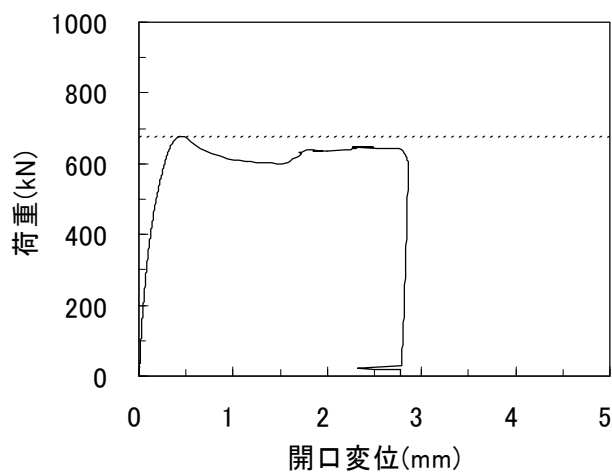
図-3.4.3 荷重-開口変位の関係 Case3



(a) Case4-1

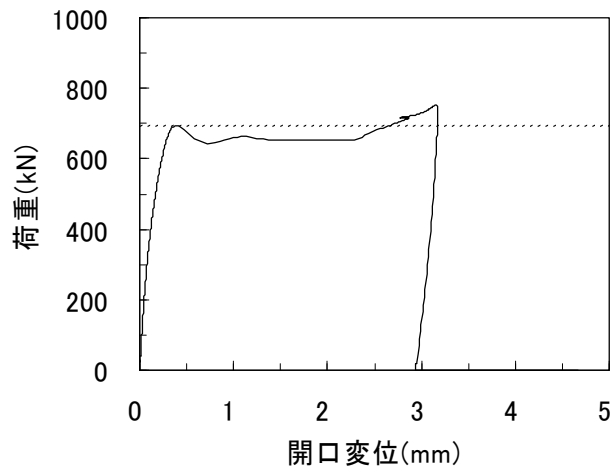


(b) Case4-2

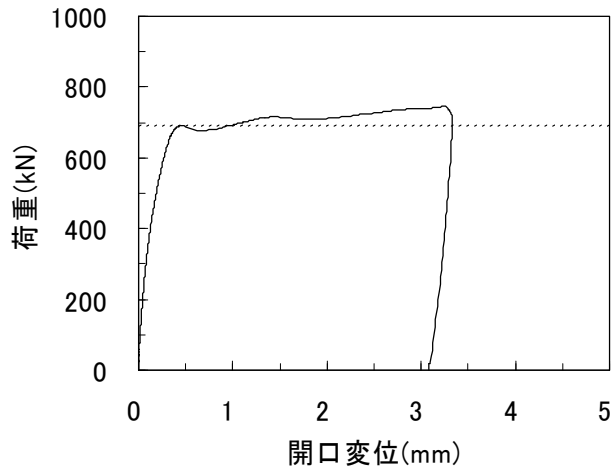


(c) Case4-3

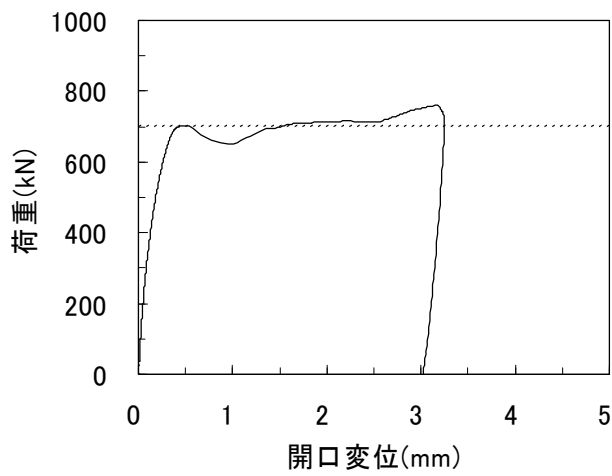
図-3.4.4 荷重-開口変位の関係 Case4



(a) Case5-1

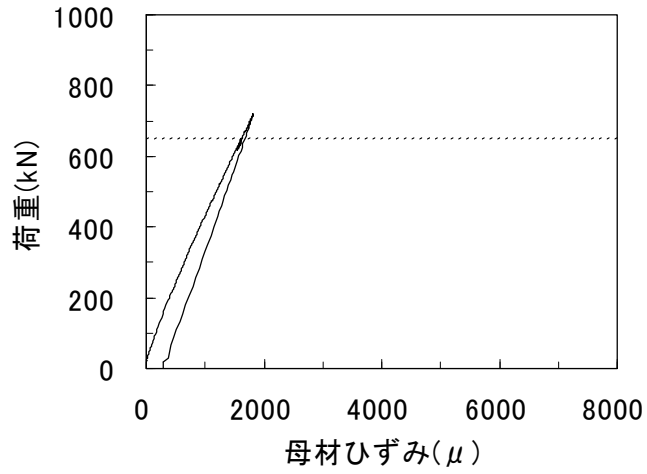


(b) Case5-2

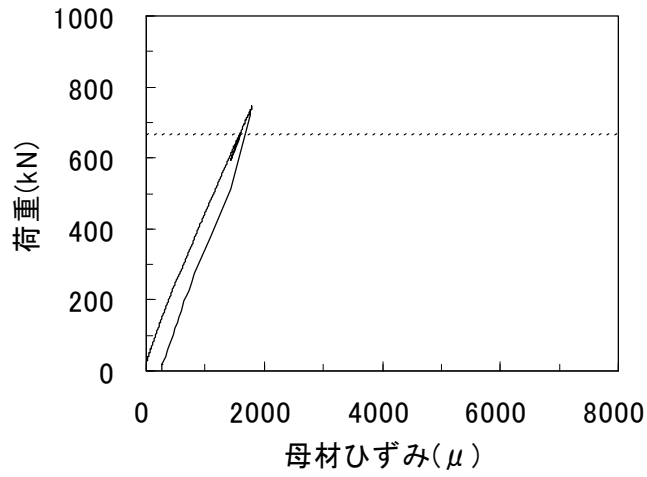


(c) Case5-3

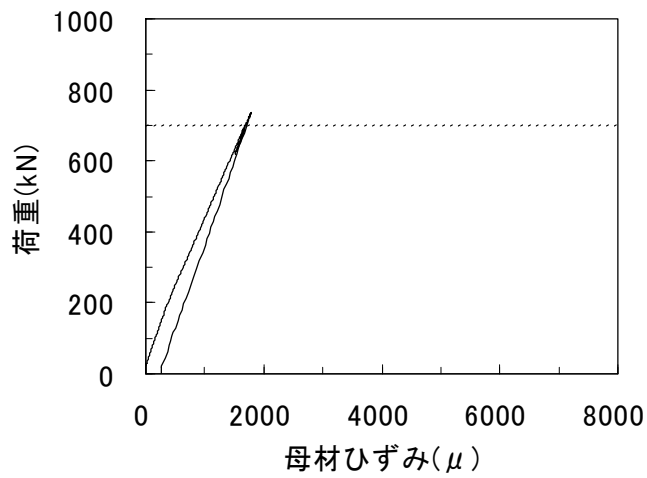
図-3.4.5 荷重-開口変位の関係 Case5



(a) Case1-1

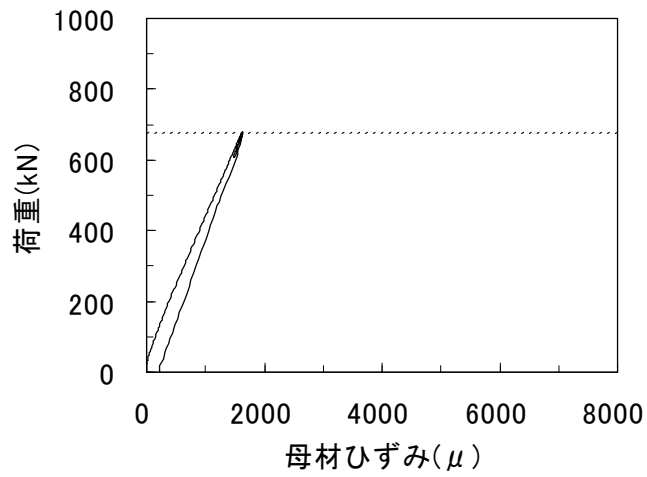


(b) Case1-2

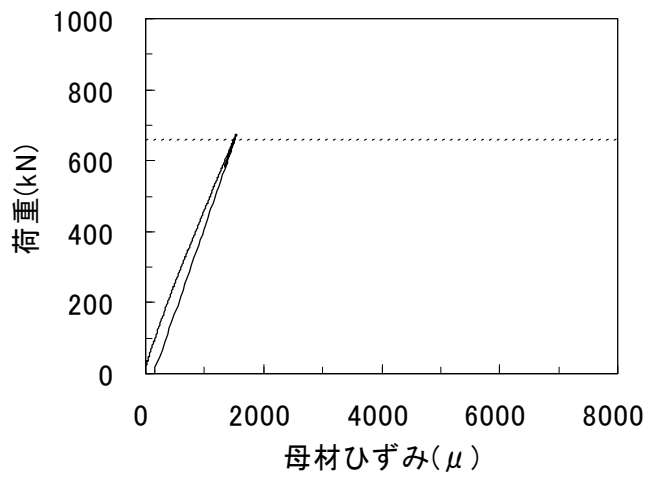


(c) Case1-3

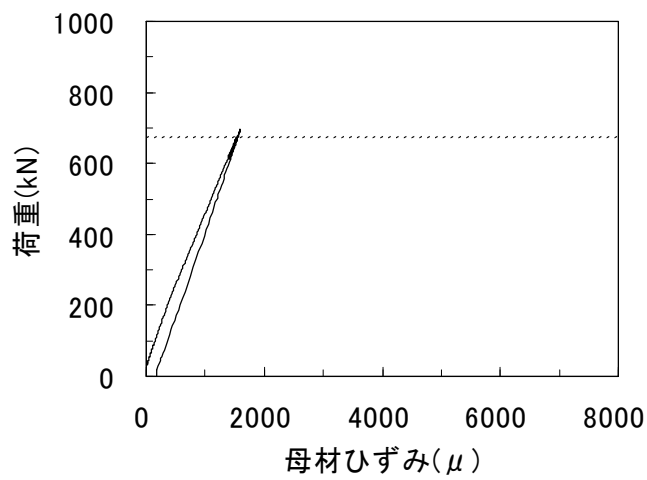
図-3.5.1 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case1



(a) Case2-1

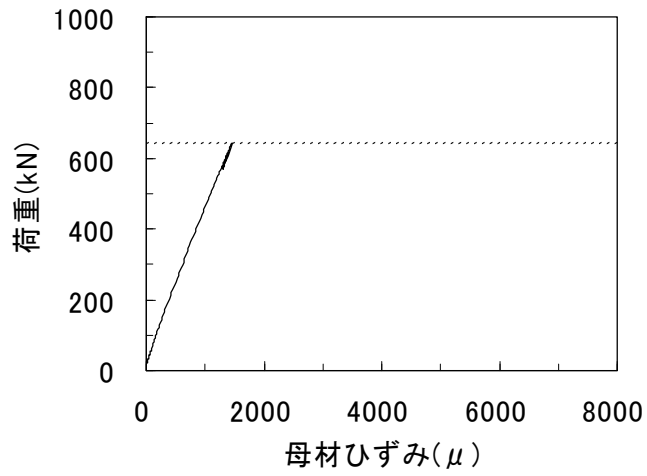


(b) Case2-2

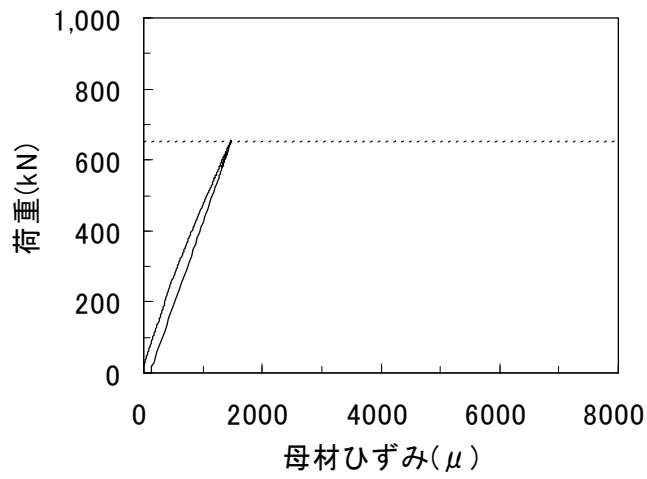


(c) Case2-3

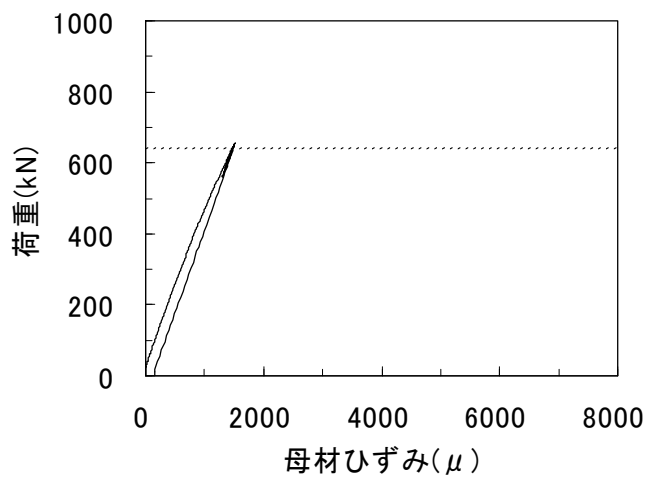
図-3.5.2 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case2



(a) Case3-1

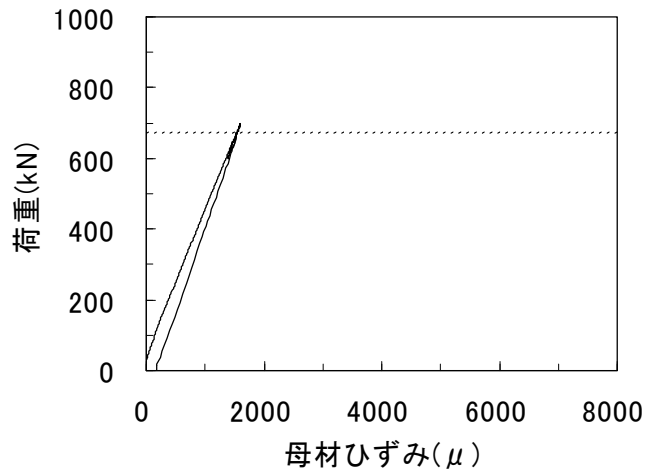


(b) Case3-2

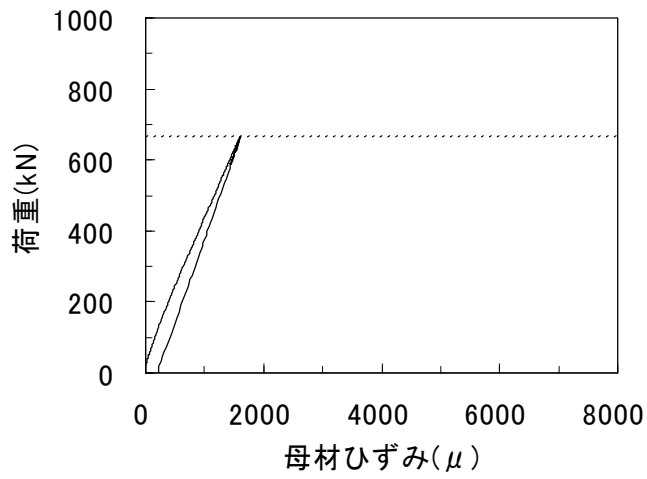


(c) Case3-3

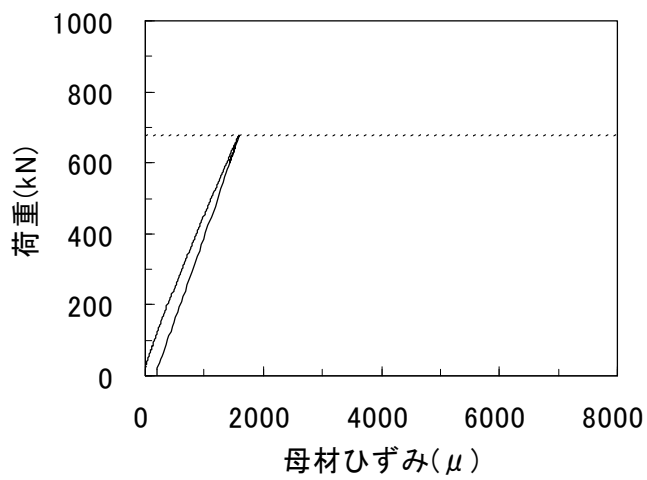
図-3.5.3 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case3



(a) Case4-1

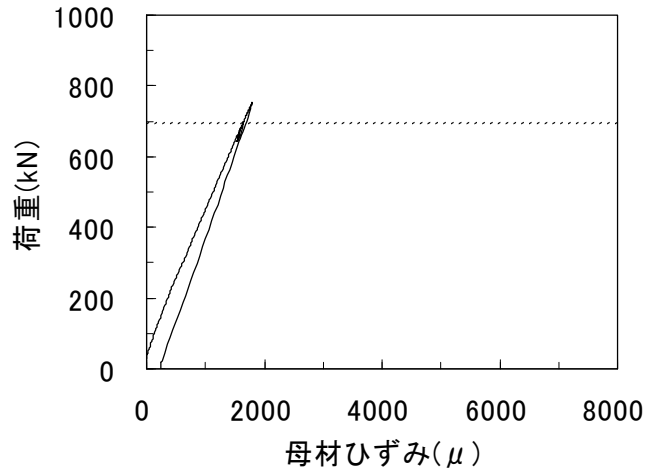


(b) Case4-2

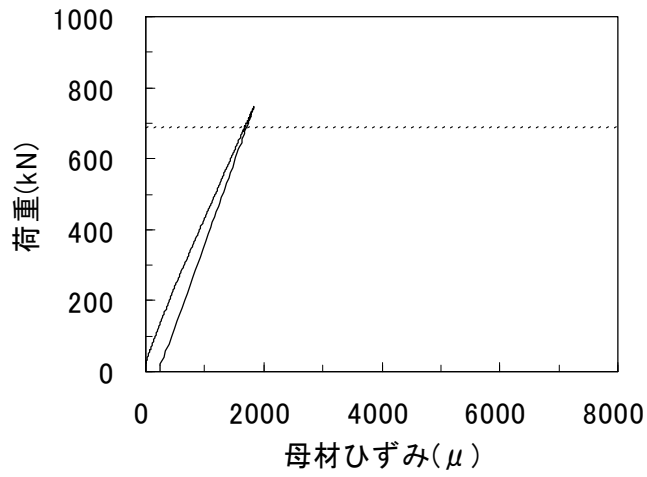


(c) Case4-3

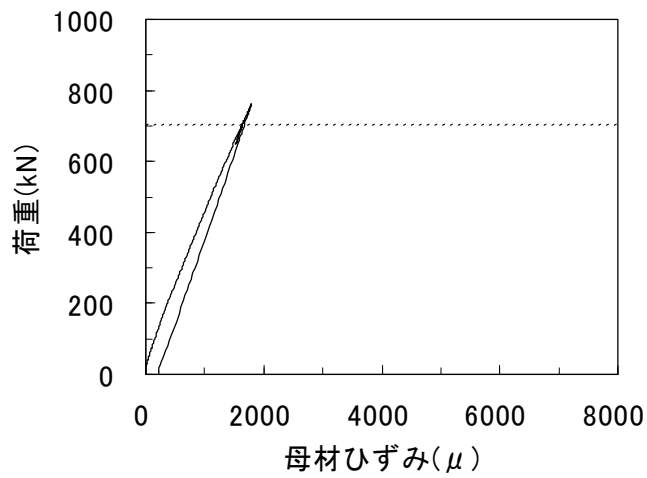
図-3.5.4 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case4



(a) Case5-1

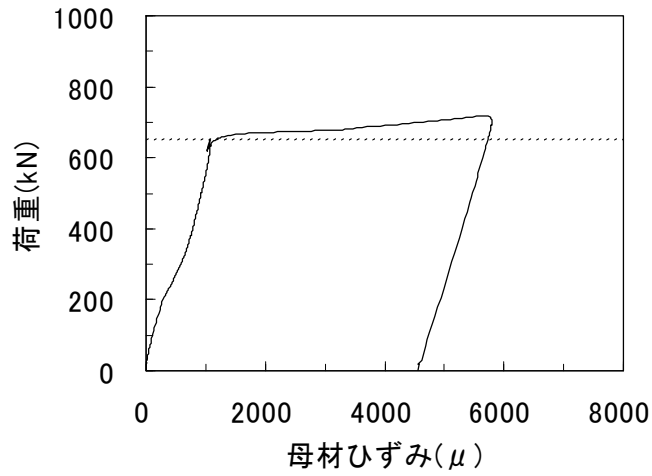


(b) Case5-2

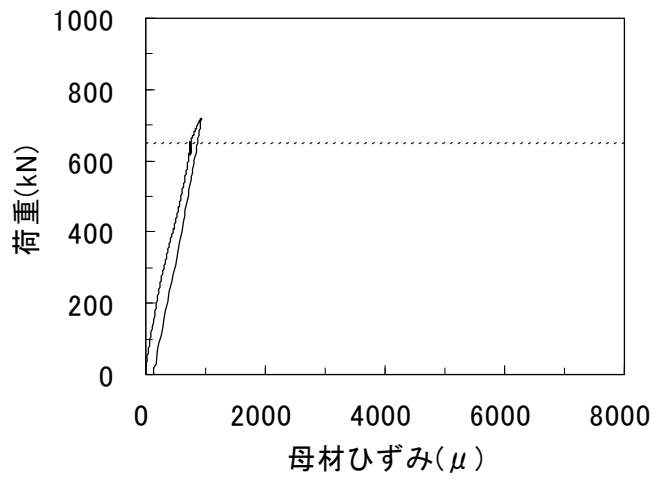


(c) Case5-3

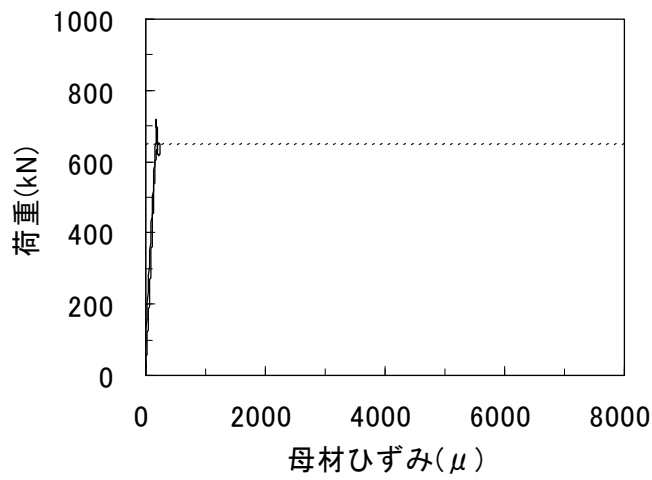
図-3.5.5 荷重-母材ひずみの関係 (一般部) Case5



(a) ボルト 1

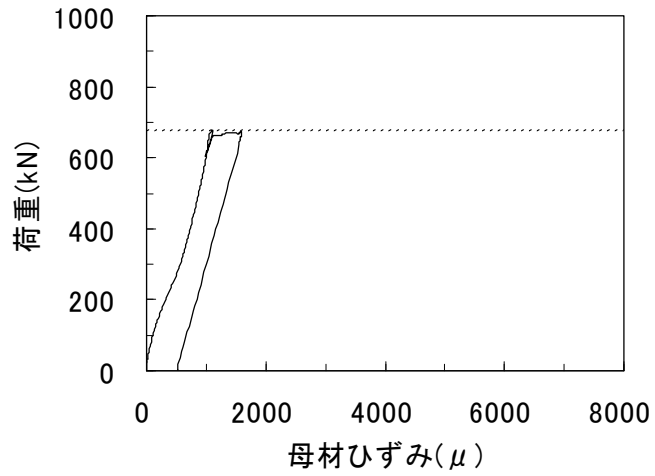


(b) ボルト 2

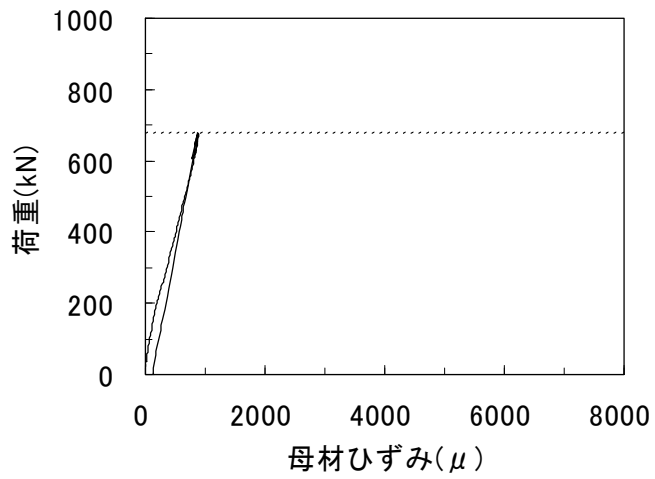


(c) ボルト 3

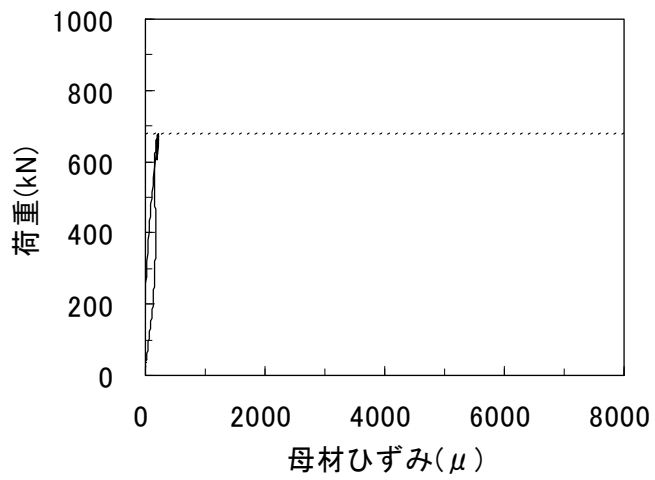
図-3.6.1 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case1



(a) ボルト 1

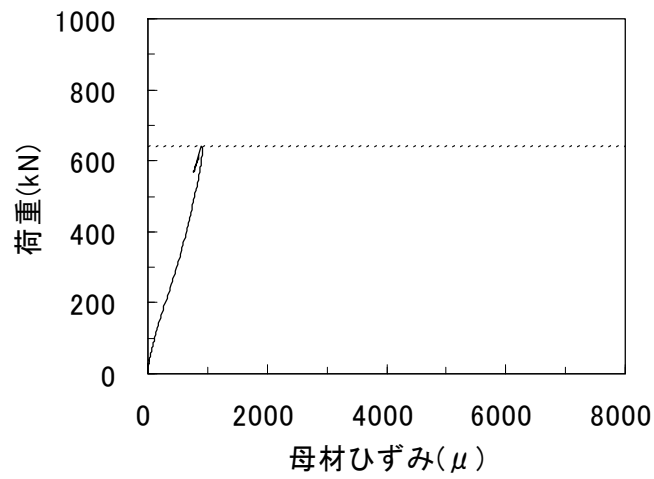


(b) ボルト 2

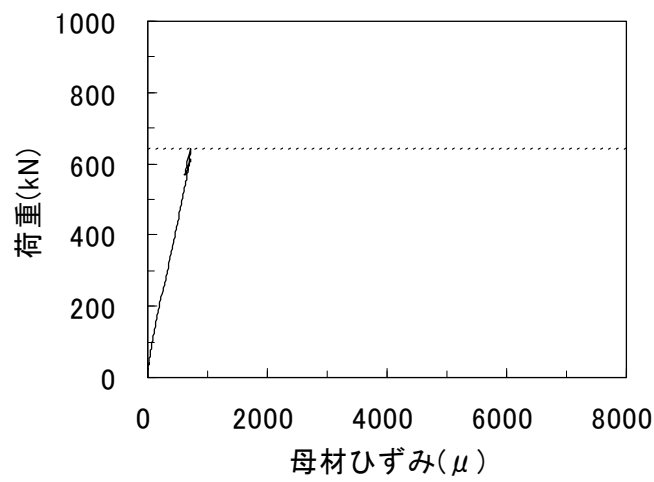


(c) ボルト 3

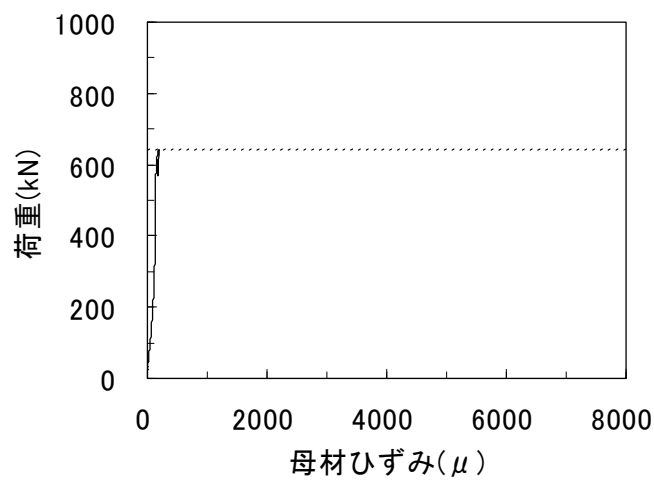
図-3.6.2 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case2



(a) ボルト 1

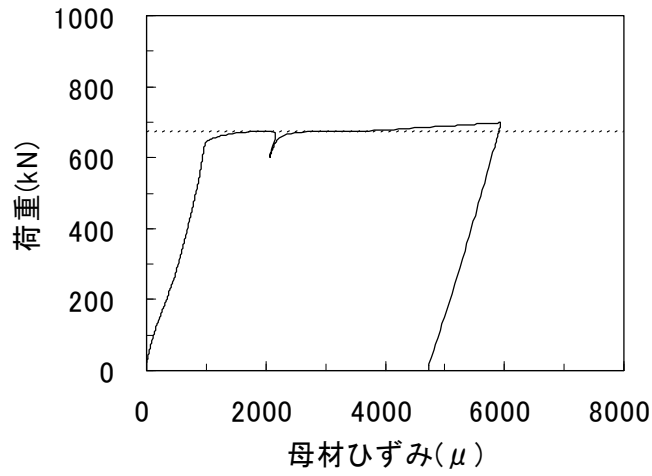


(b) ボルト 2

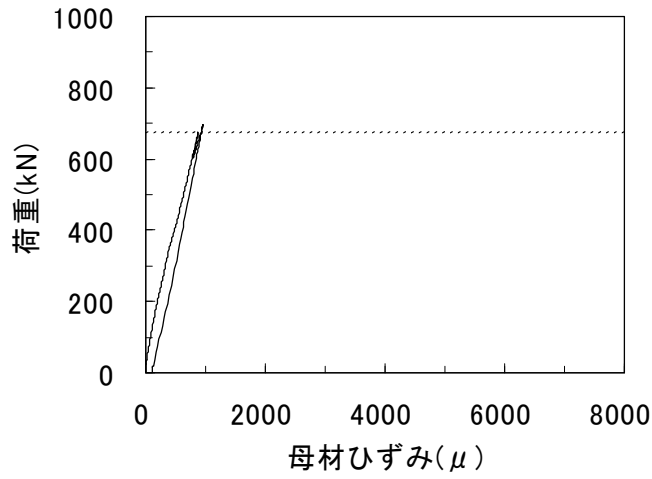


(c) ボルト 3

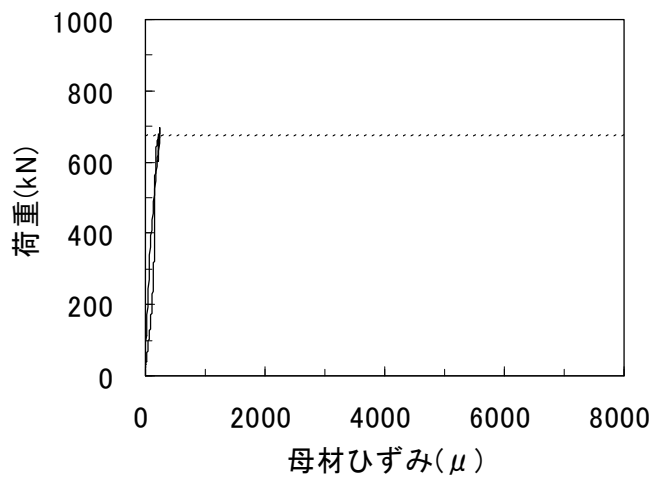
図-3.6.3 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case3



(a) ボルト 1

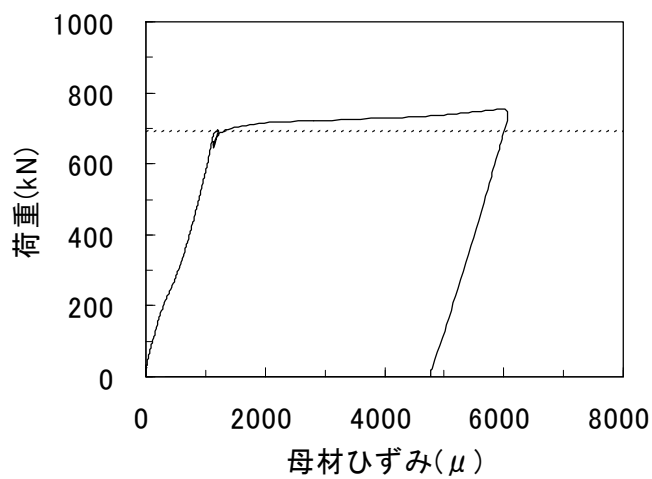


(b) ボルト 2

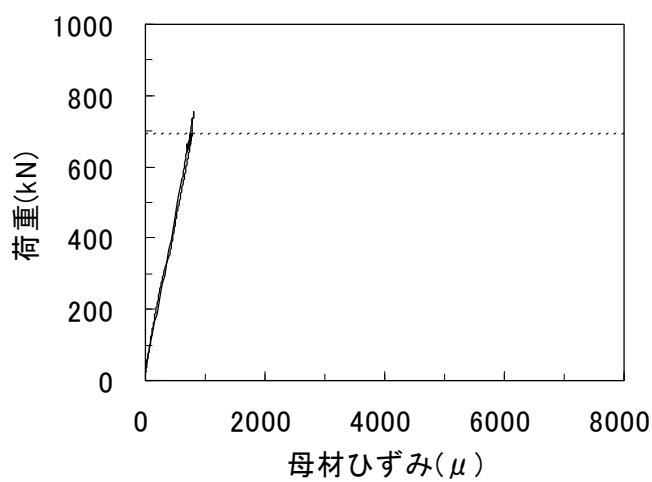


(c) ボルト 3

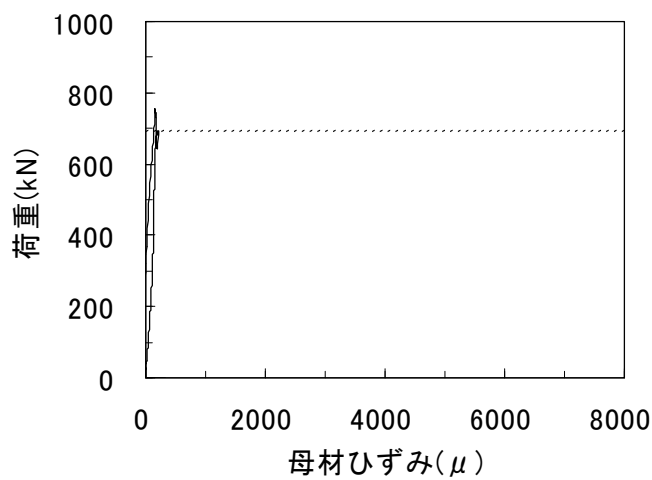
図-3.6.4 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case4



(a) ボルト 1

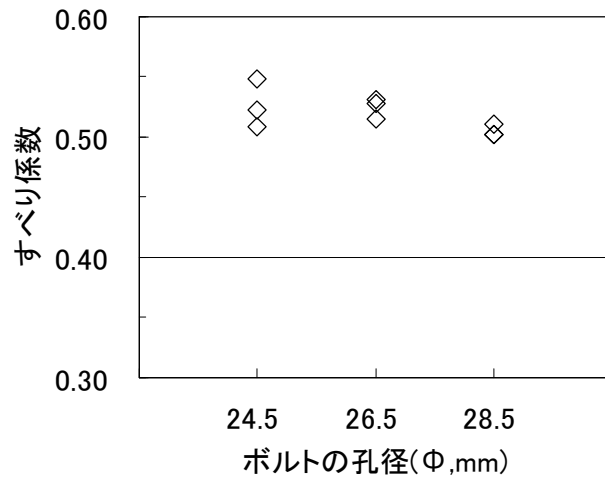


(b) ボルト 2

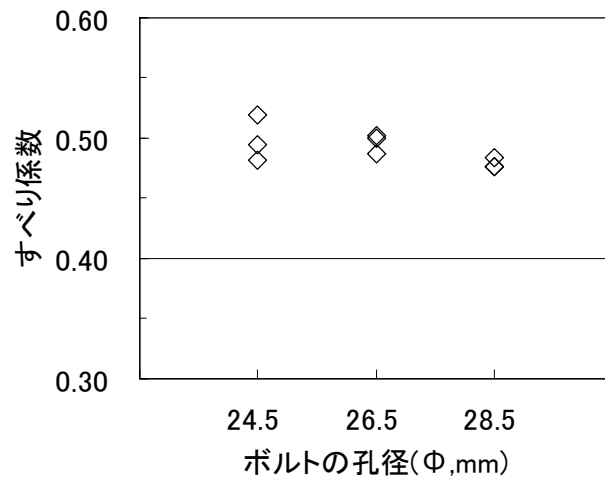


(c) ボルト 3

図-3.6.5 荷重-母材ひずみの関係 (ボルト孔位置) Case5

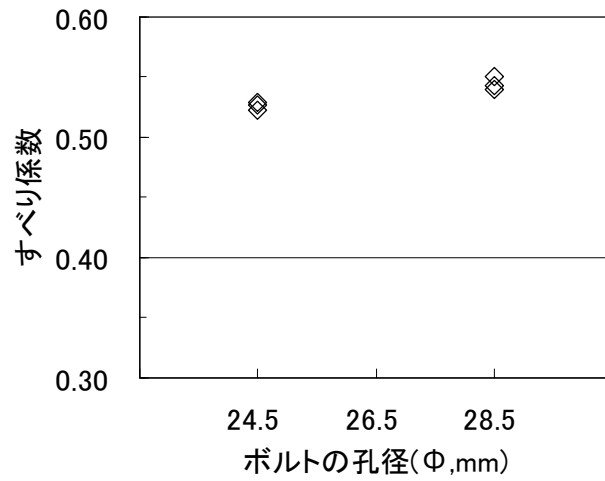


(a) 締付け軸力 (213kN) で整理

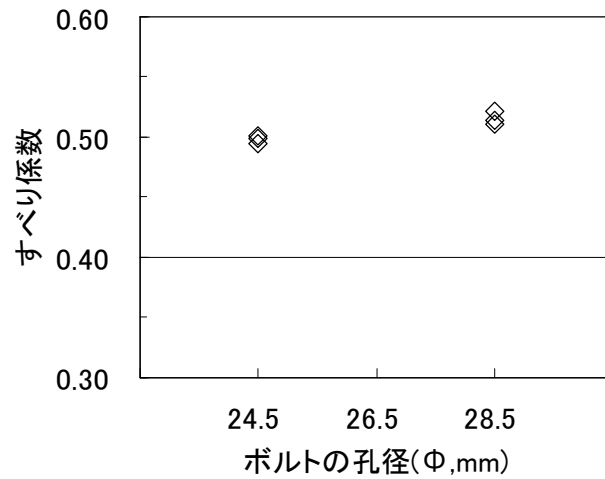


(b) 設計軸力 (225kN) で整理

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

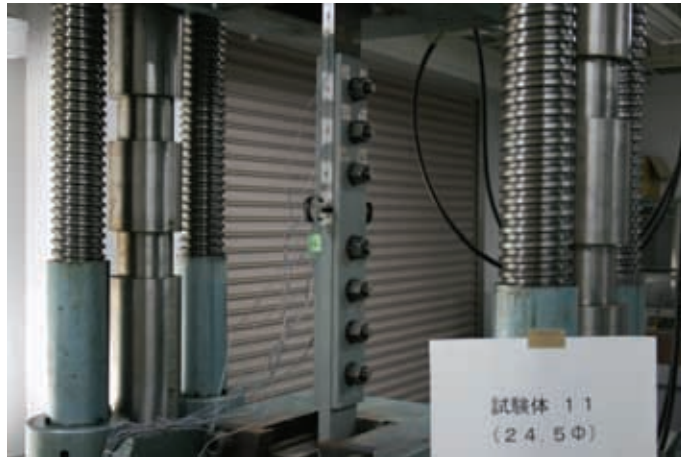


(a) 締付け軸力 (213kN) で整理



(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

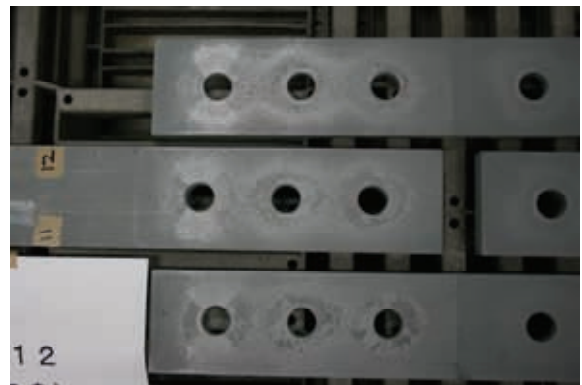


(c) ゲージの配置状況

写真-3.1 試験開始前の試験体の状況写真



(a) Case1-1

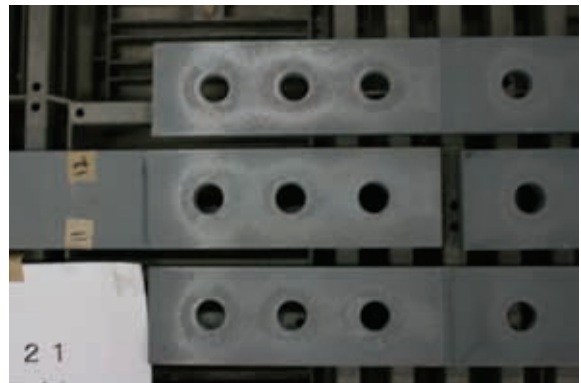


(b) Case1-2



(c) Case1-3

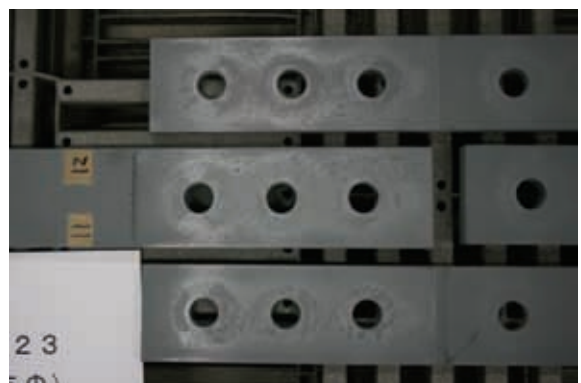
写真-3.2.1 すべり耐力試験後の摩擦接合面 Case1



(a) Case2-1

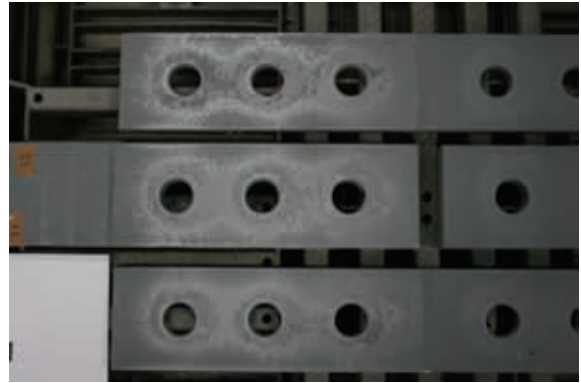


(b) Case2-2

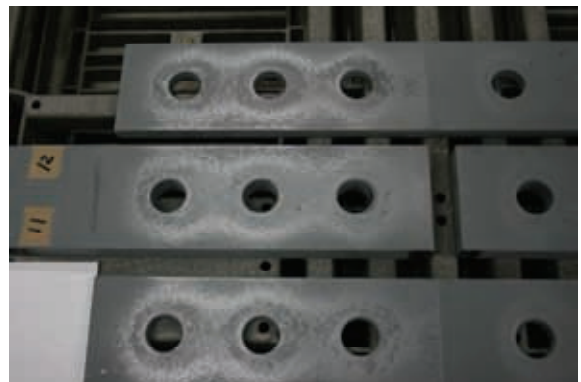


(c) Case2-3

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

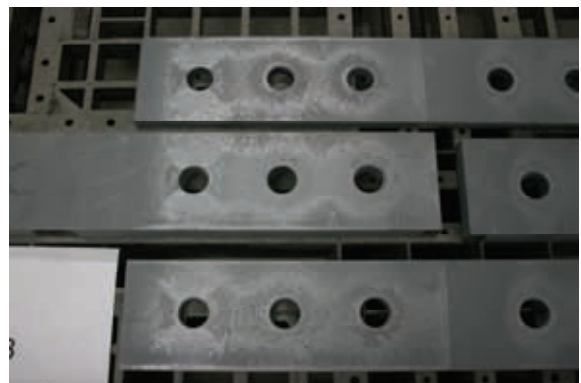
写真-3.2.4 すべり耐力試験後の摩擦接合面 Case4



(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．

施工部会 報告書-II (No.072-II)

編 集 鋼橋技術研究会 施工部会 ボルトW/G
発 行 平成21年7月
発 行 所 鋼橋技術研究会
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-11-5 吉泉ビル5F
TEL.03-3249-0163

※当該資料の内容を複製したり他の出版物へ転載するような場合は、
必ず鋼橋技術研究会の許可を得てください。

印刷・製本 有限会社 アズ・クリエイト