

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 $\Phi 24.5$ 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, $20\mu m \sim 40\mu m$ 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

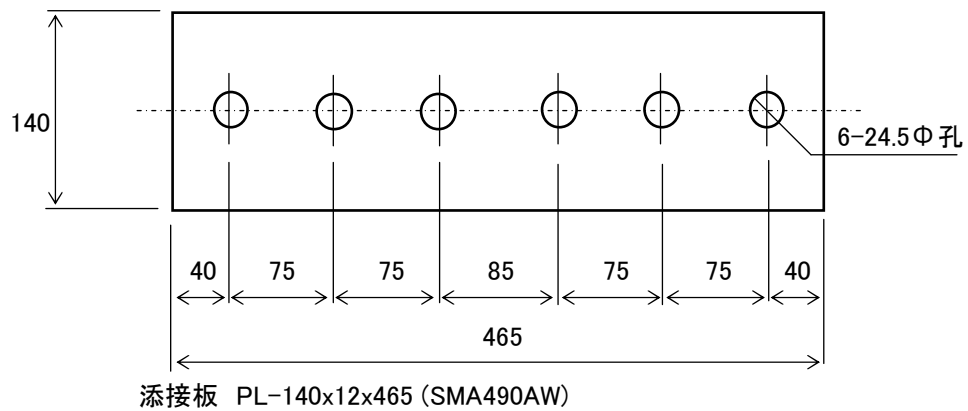
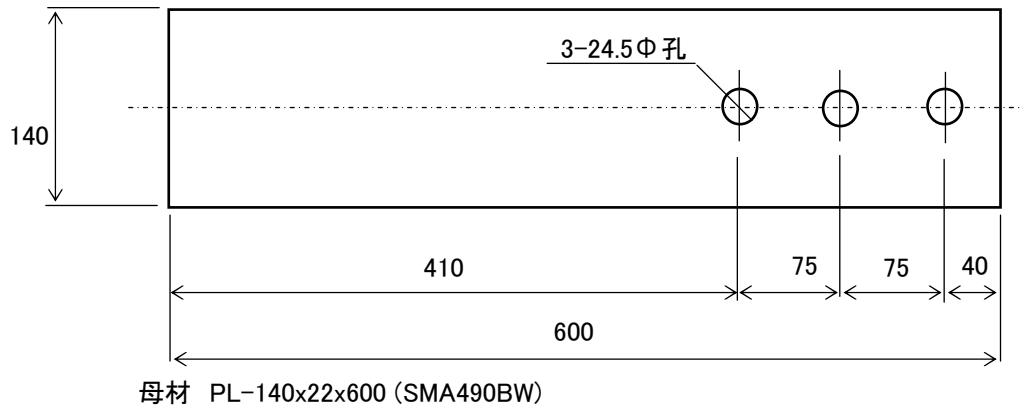


図-2.1 試験鋼材(母材、添接板)の形状と寸法

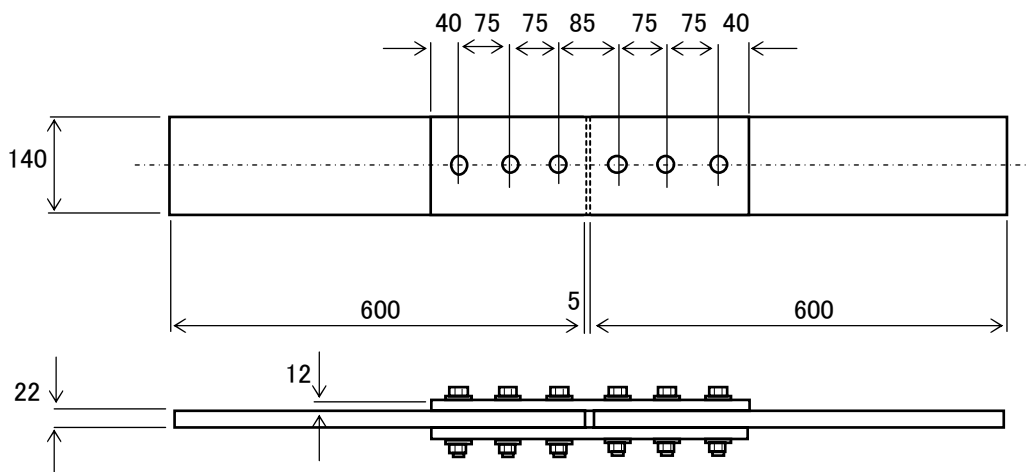


図-2.2 試験体の形状と寸法

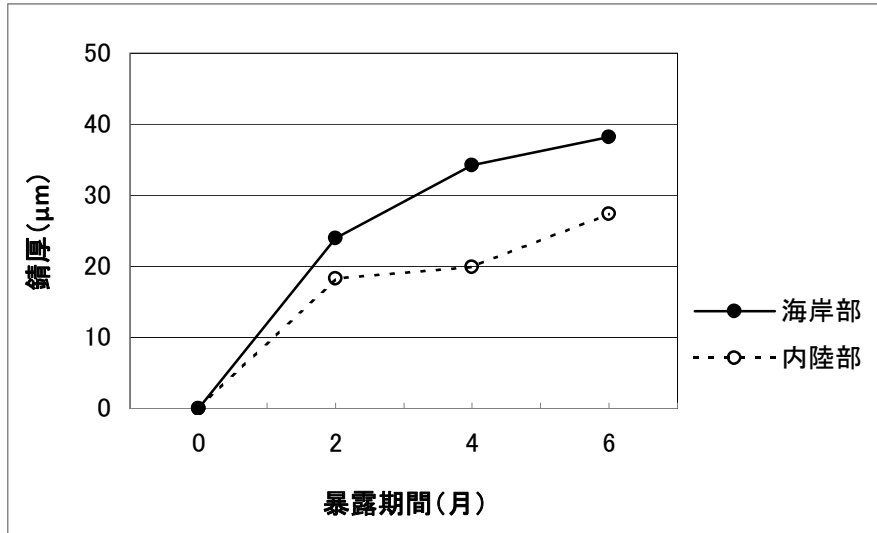


図-2.3 錆厚と暴露期間の関係

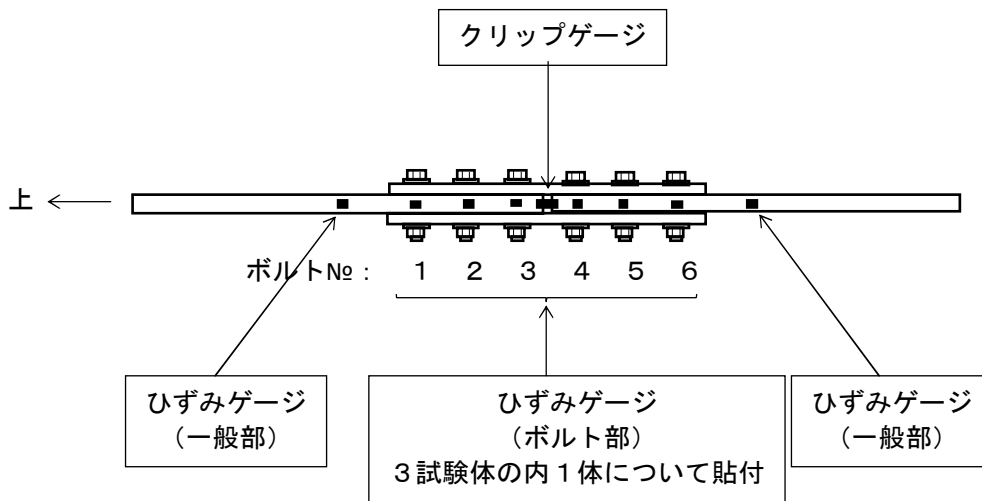
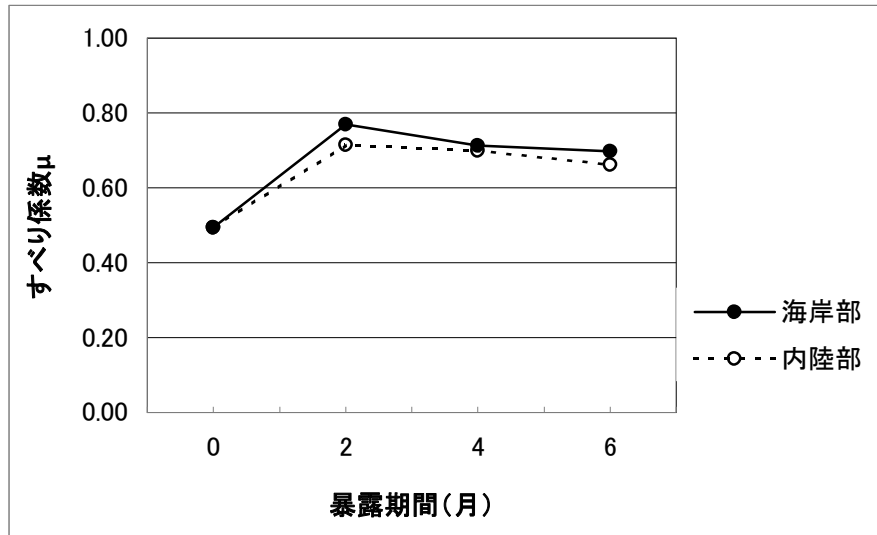
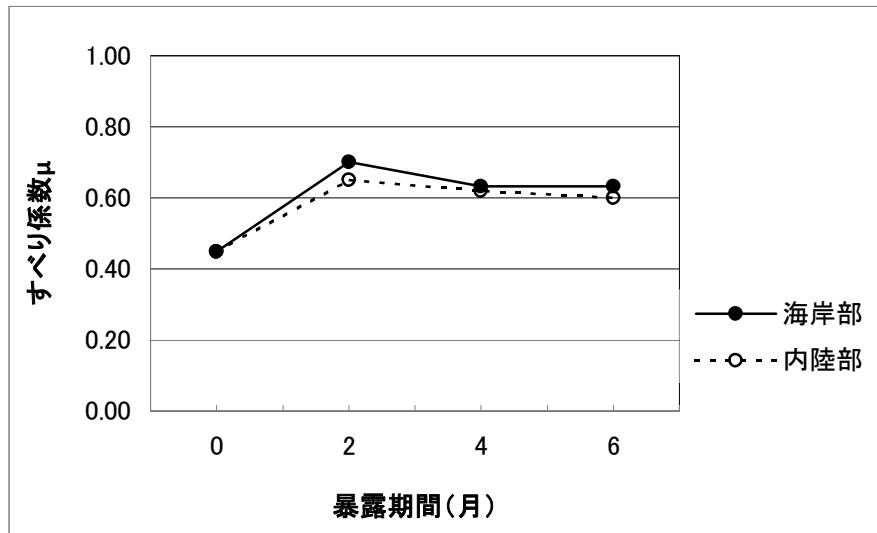


図-2.4 ひずみゲージ、クリップゲージ貼付位置

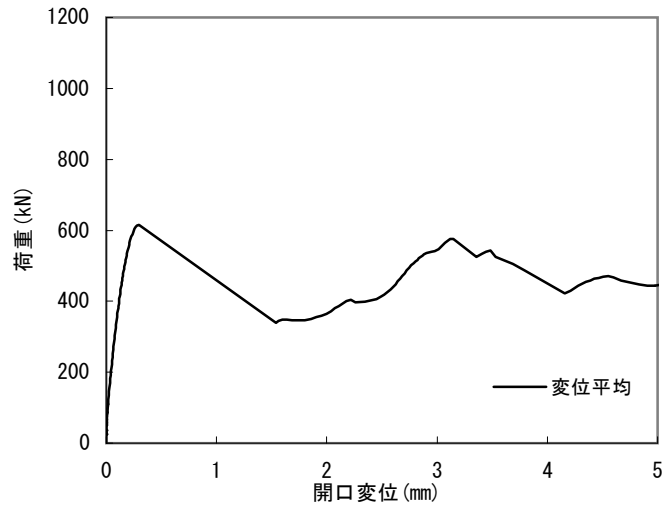


(a) 設計軸力

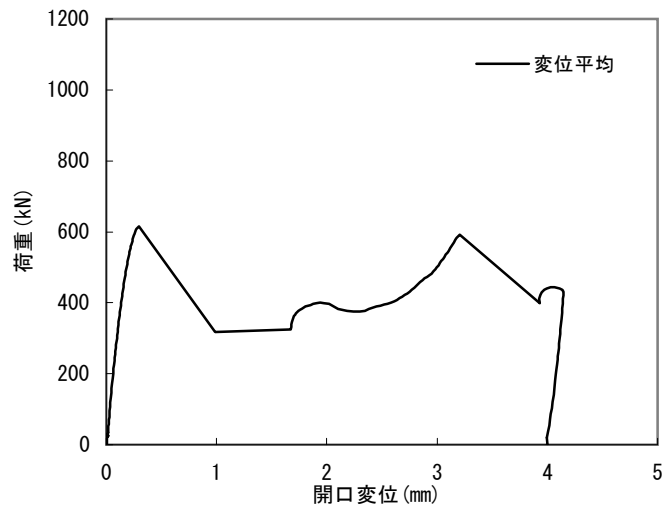


(b) 導入時軸力

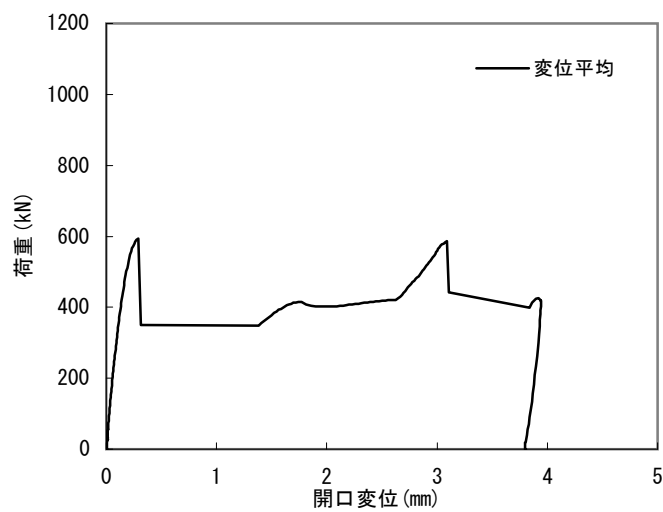
図-2.5 すべり耐力結果



試験体1

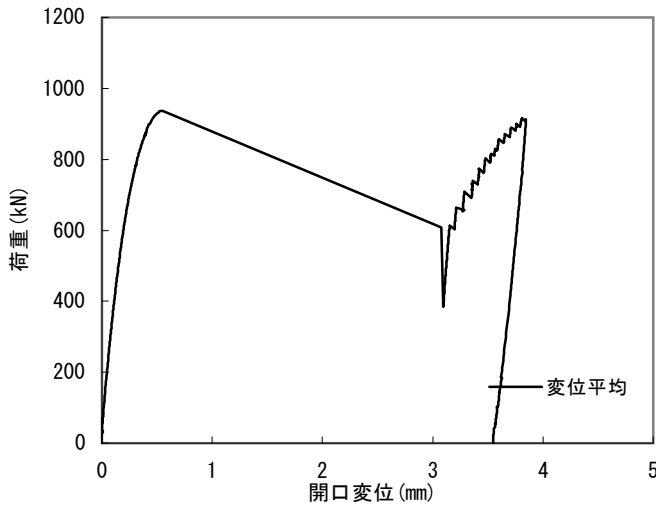


試験体2

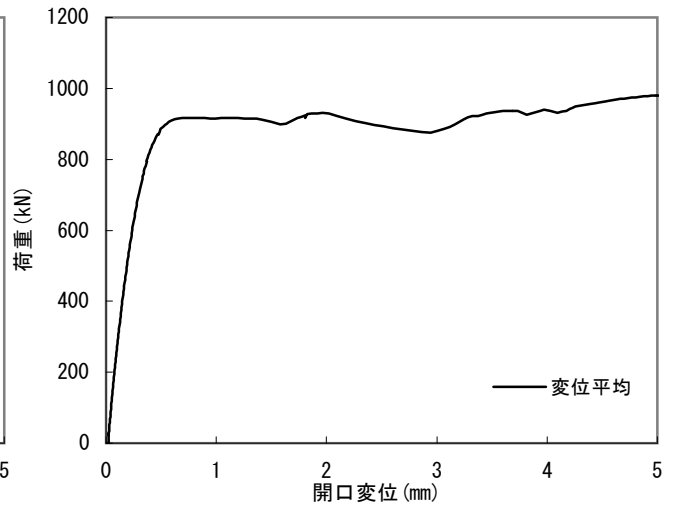


試験体3

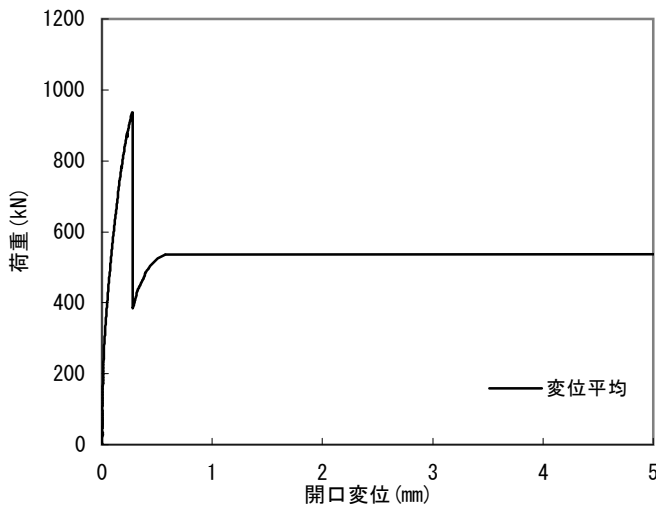
図-2.6 荷重と開口変位関係(暴露期間0ヶ月)



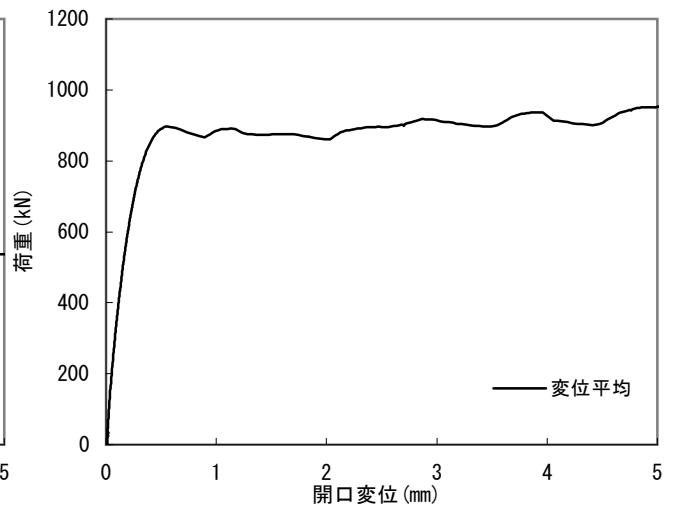
暴露場所:海岸 試験体1



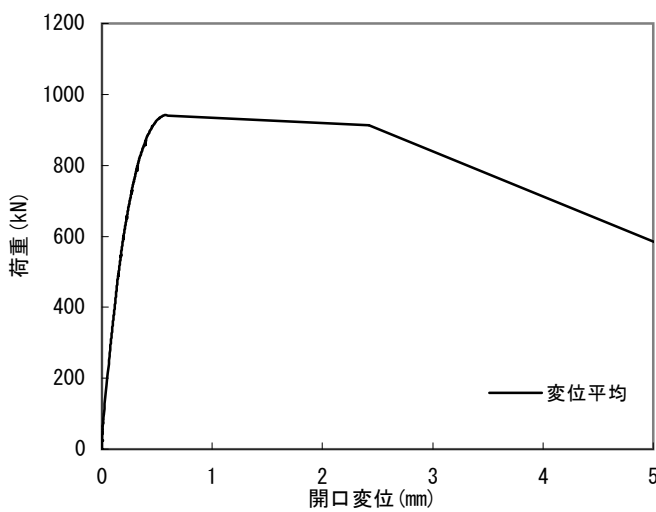
暴露場所:内陸 試験体1



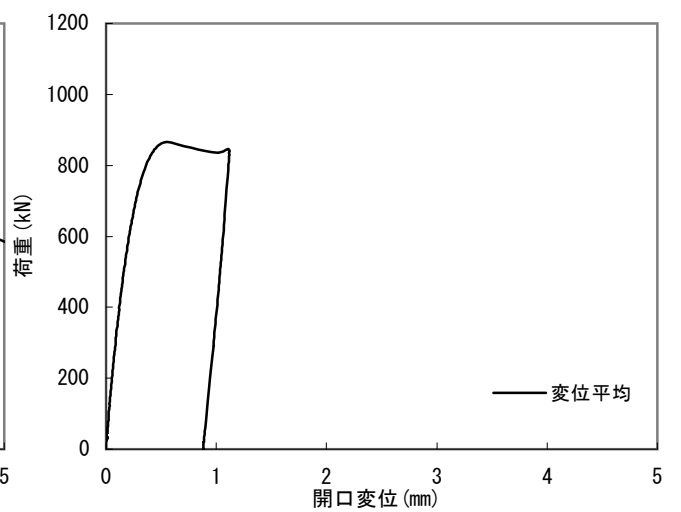
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

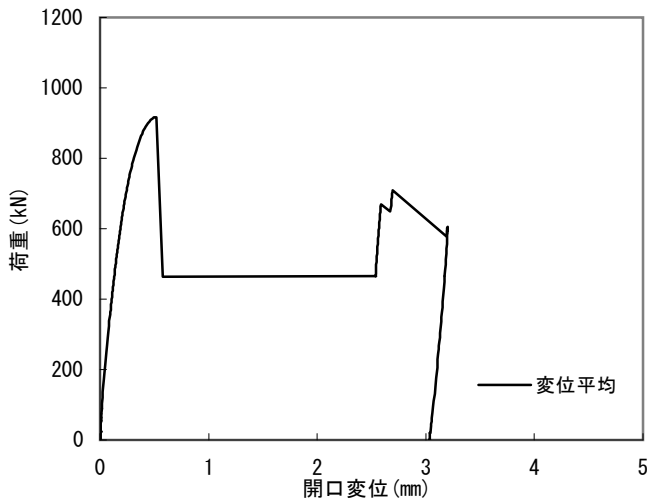


暴露場所:海岸 試験体3

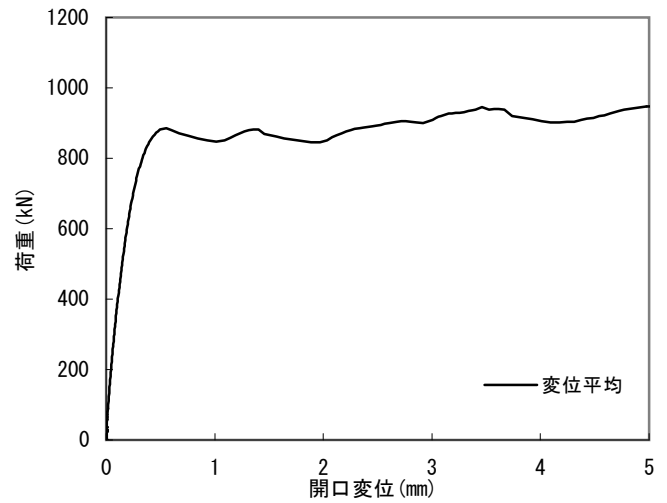


暴露場所:内陸 試験体3

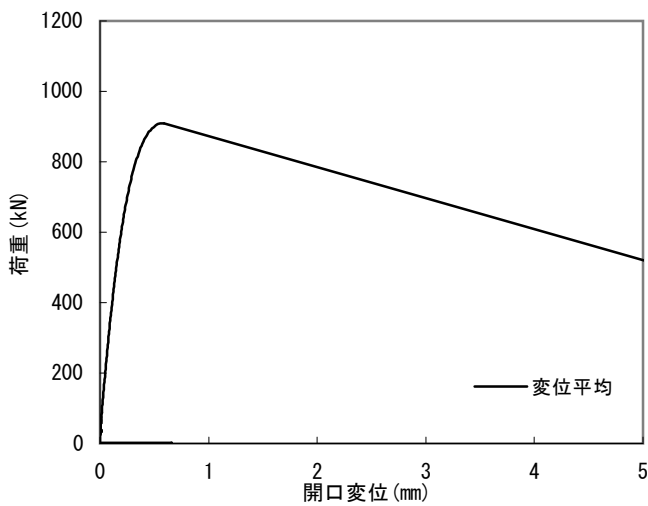
図一2.7 荷重と開口変位関係(暴露期間2ヶ月)



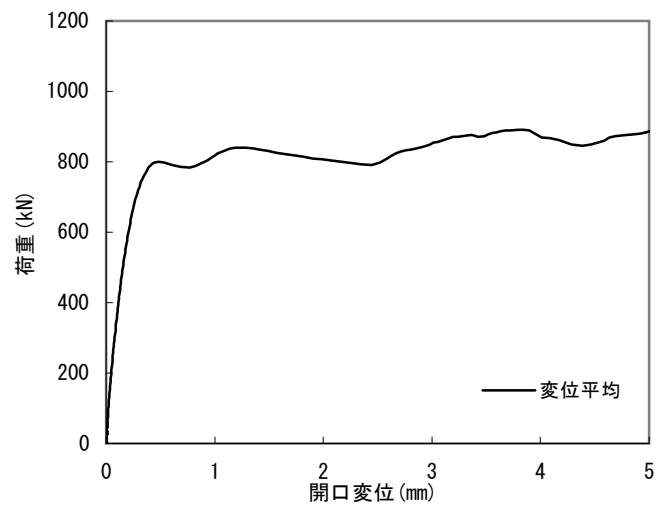
暴露場所:海岸 試験体1



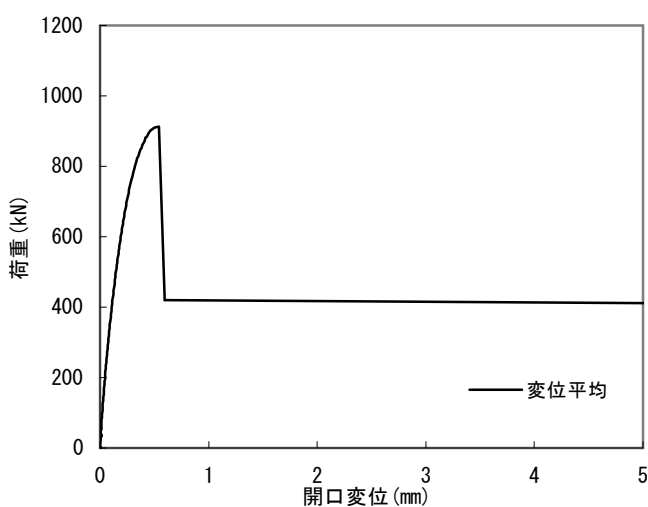
暴露場所:内陸 試験体1



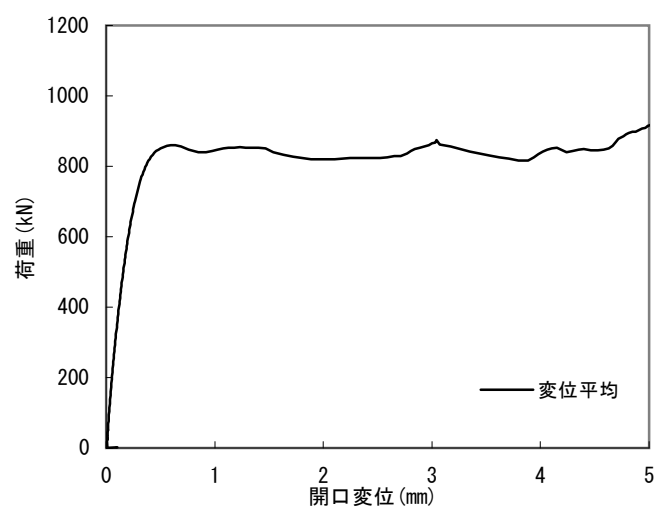
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

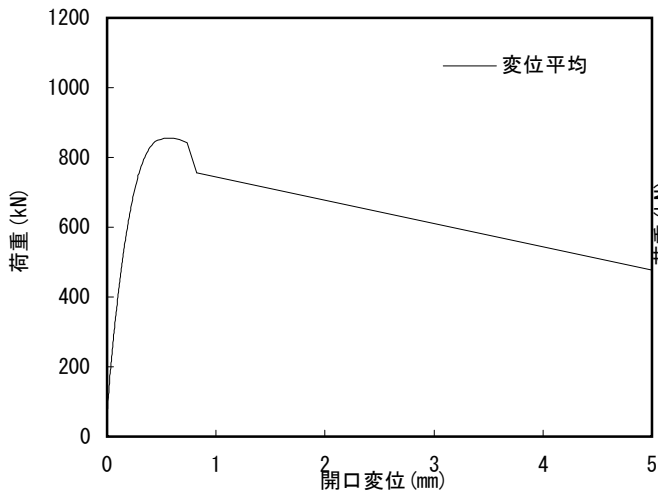


暴露場所:海岸 試験体3

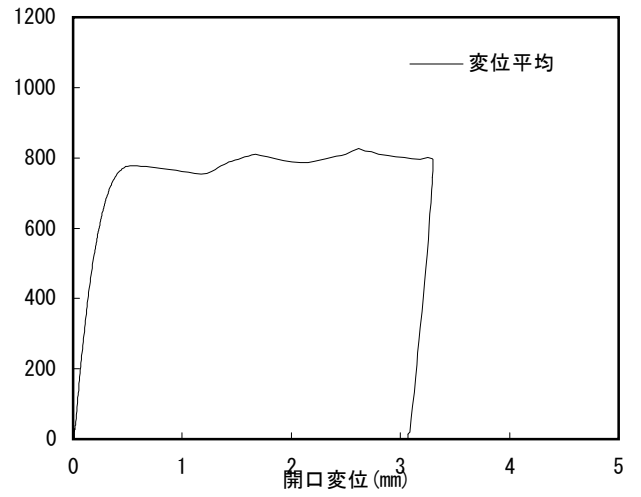


暴露場所:内陸 試験体3

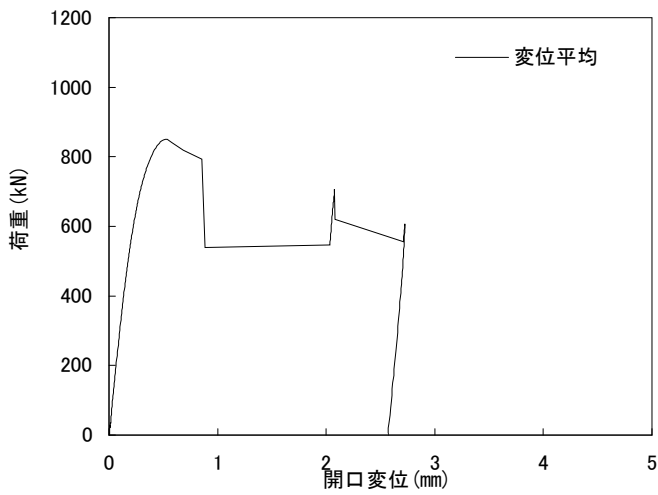
図一2.8 荷重と開口変位関係(暴露期間4ヶ月)



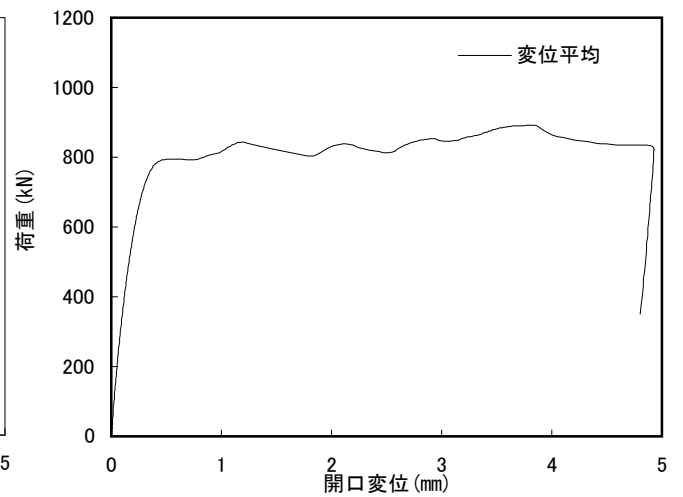
暴露場所:海岸 試験体1



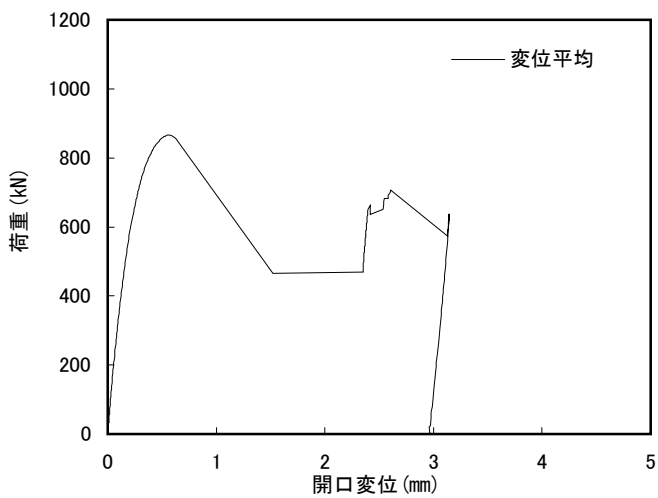
暴露場所:内陸 試験体1



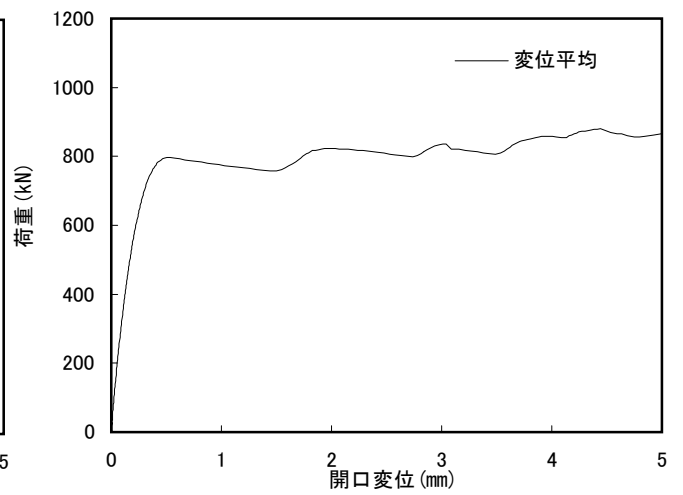
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

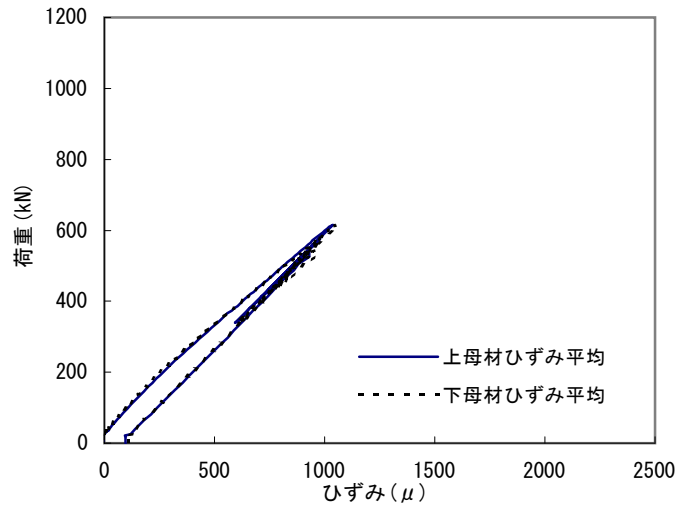


暴露場所:海岸 試験体3

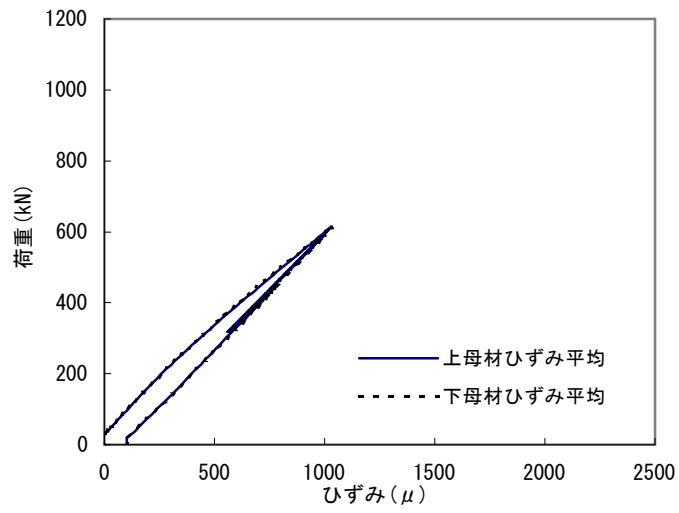


暴露場所:内陸 試験体3

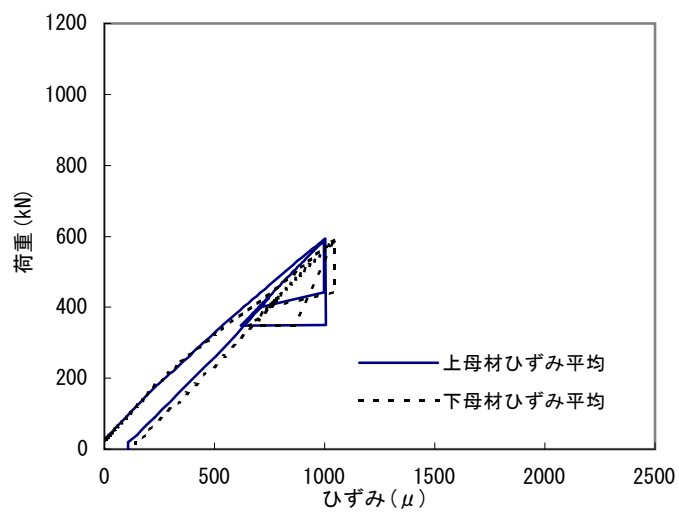
図一2.9 荷重と開口変位関係(暴露期間6ヶ月)



試験体1

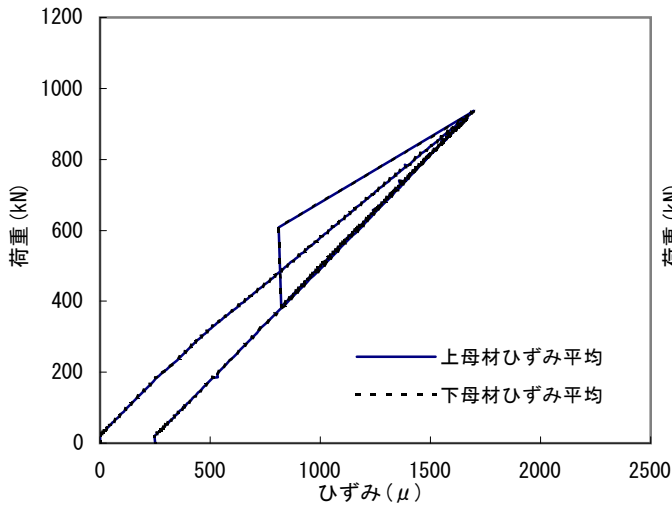


試験体2

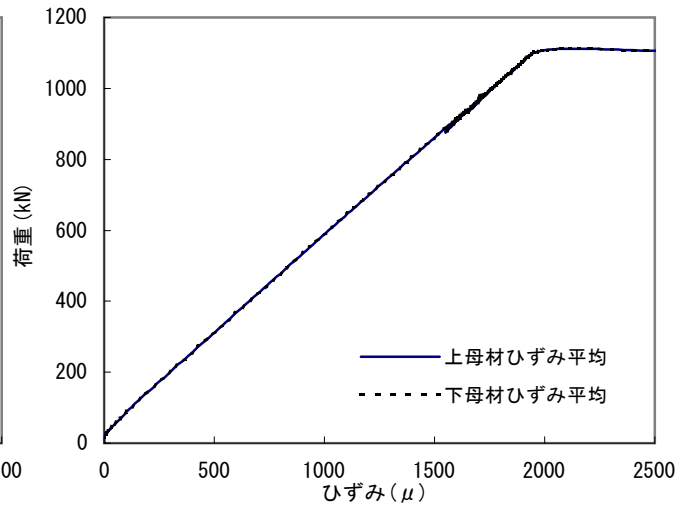


試験体3

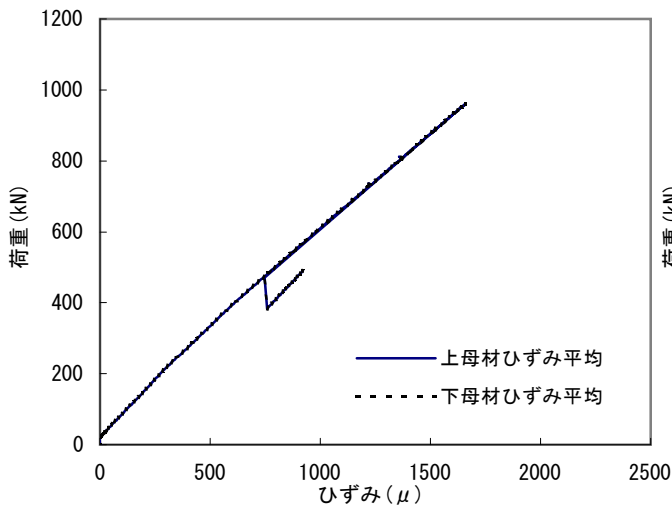
図-2.10 荷重とひずみ関係(暴露期間0ヶ月)母材部



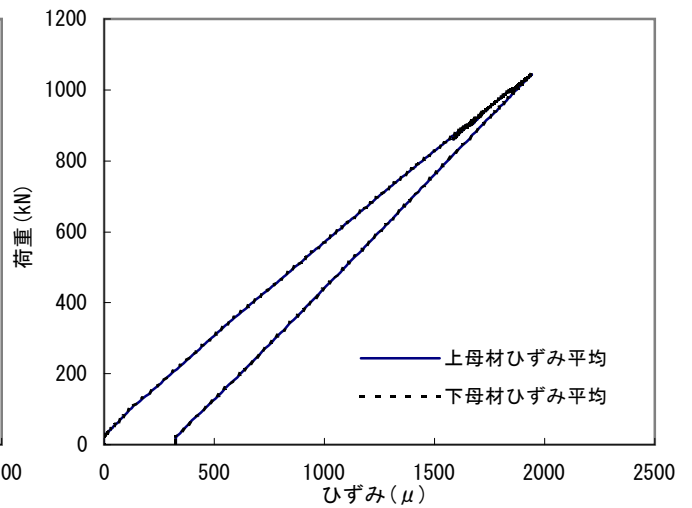
暴露場所:海岸 試験体1



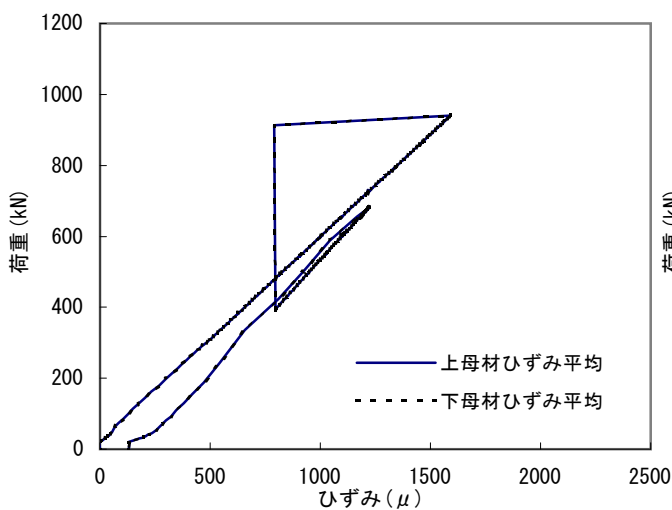
暴露場所:内陸 試験体1



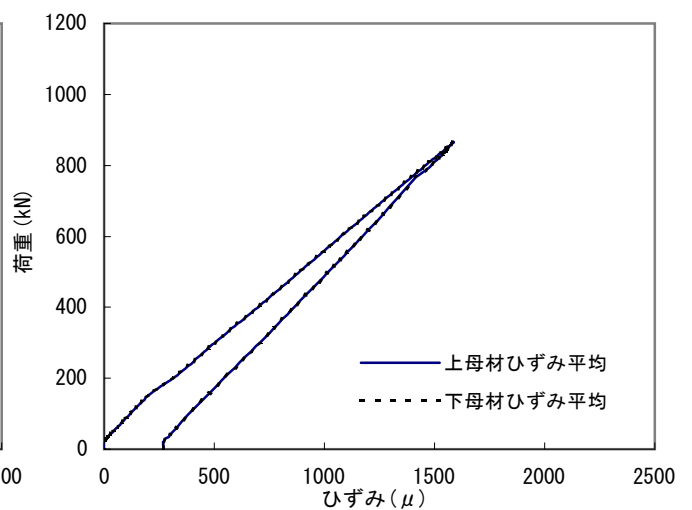
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

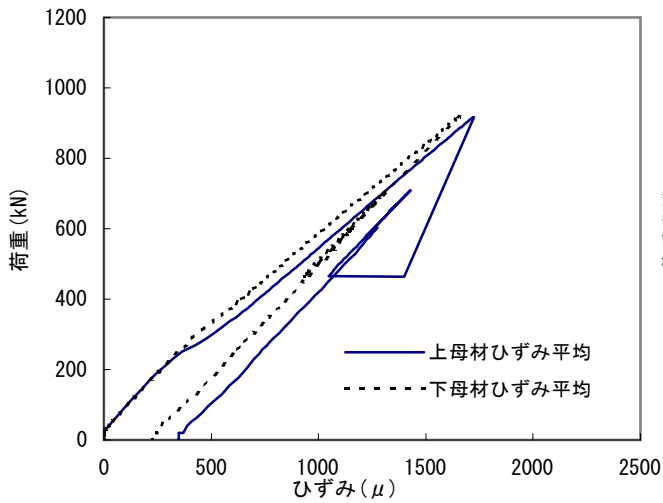


暴露場所:海岸 試験体3

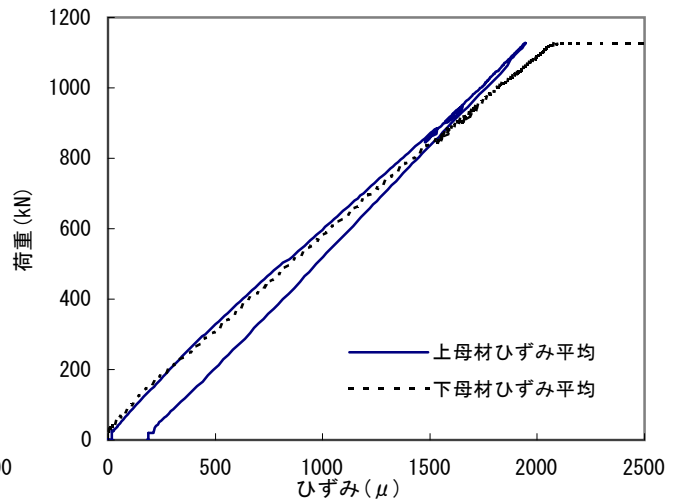


暴露場所:内陸 試験体3

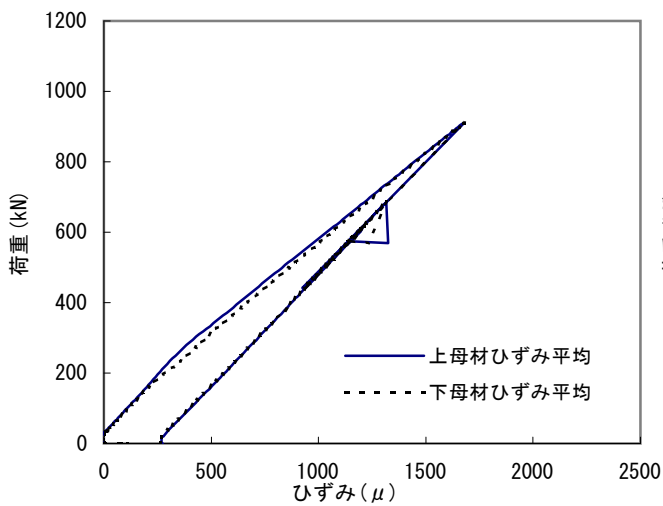
図-2.11 荷重とひずみ関係(暴露期間2ヶ月)母材部



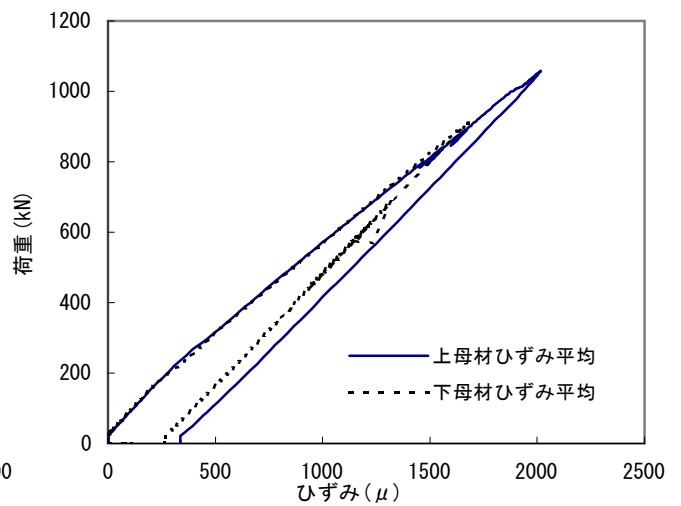
暴露場所:海岸 試験体1



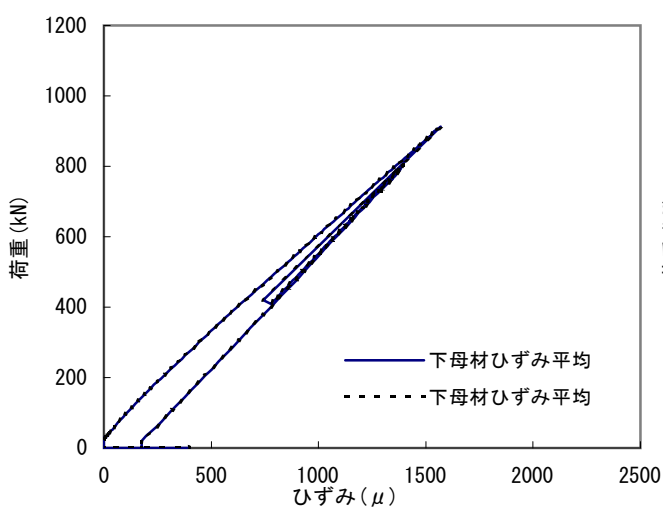
暴露場所:内陸 試験体1



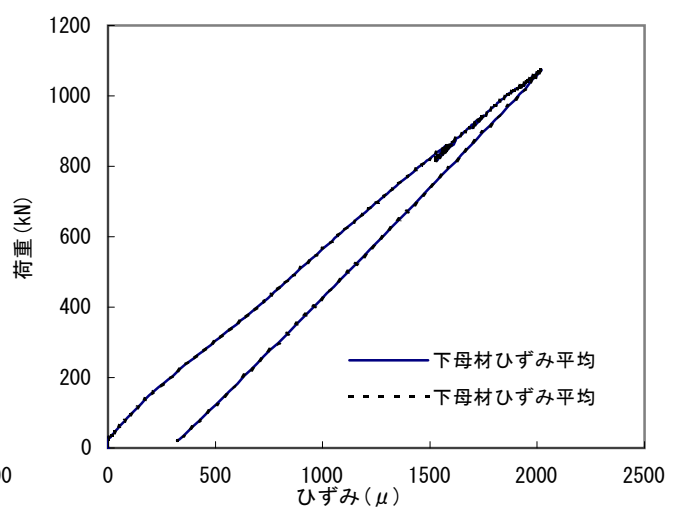
暴露場所:海岸 試験体2



暴露場所:内陸 試験体2

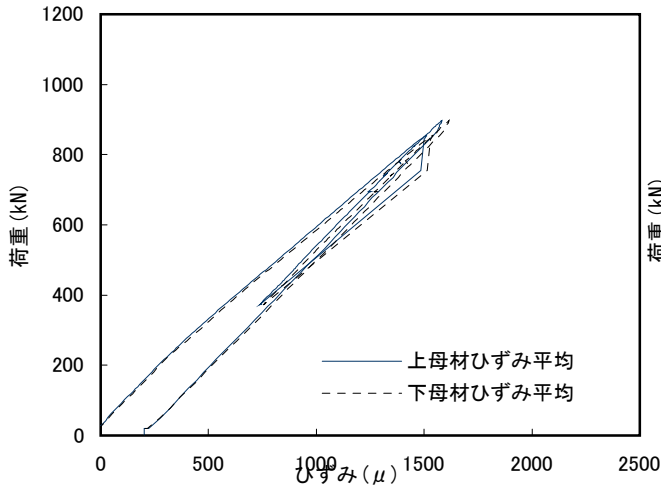


暴露場所:海岸 試験体3

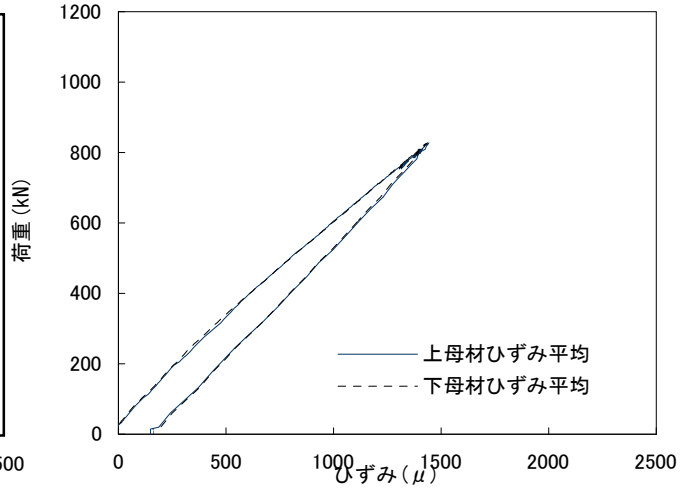


暴露場所:内陸 試験体3

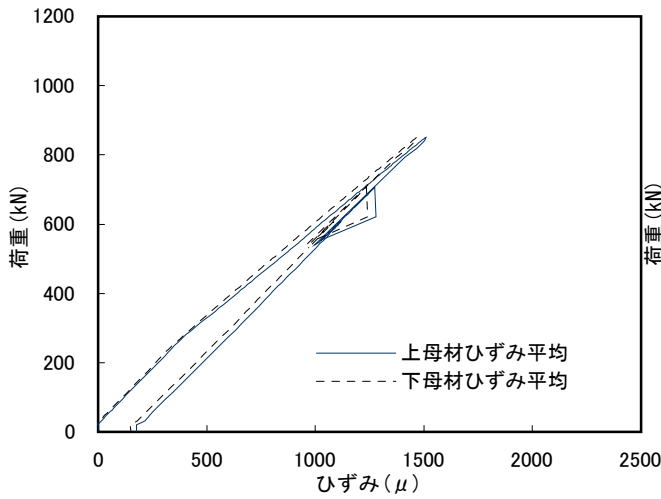
図-2.12 荷重とひずみ関係(暴露期間4ヶ月)母材部



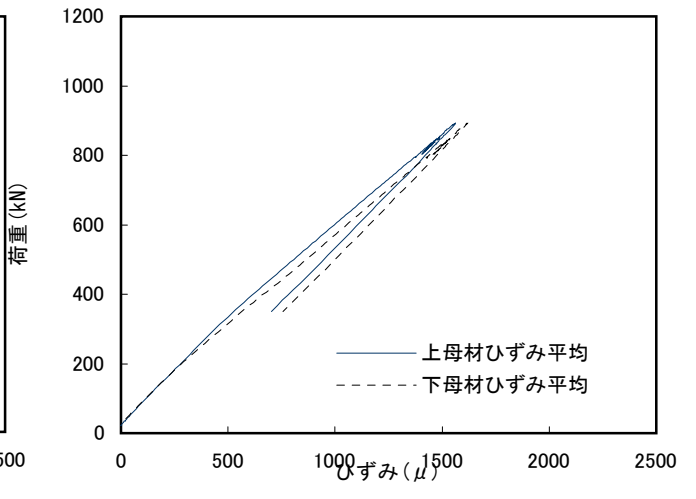
暴露場所:海岸 試験体1



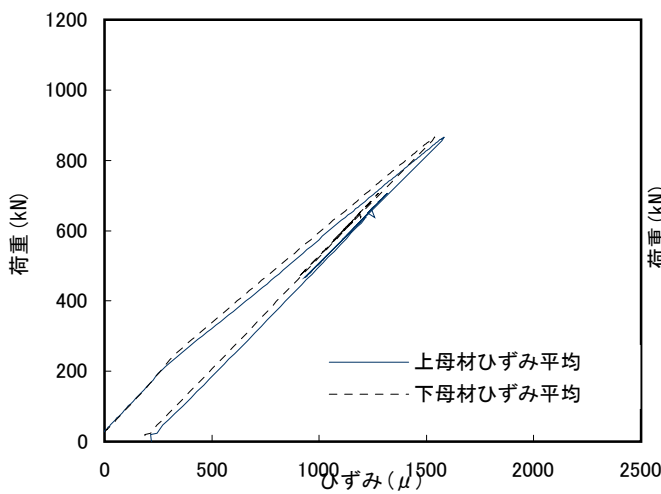
暴露場所:内陸 試験体1



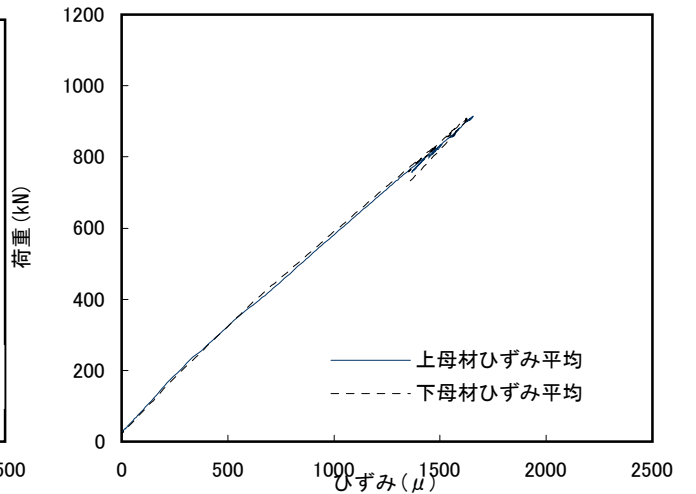
暴露場所:海岸 試験体2



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

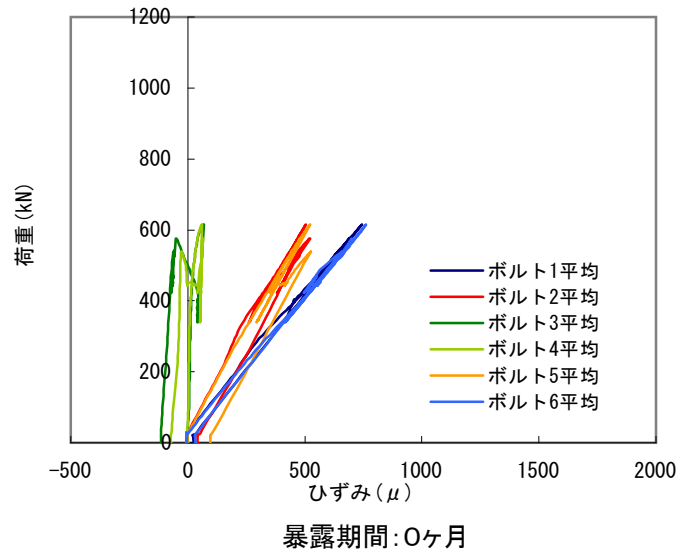
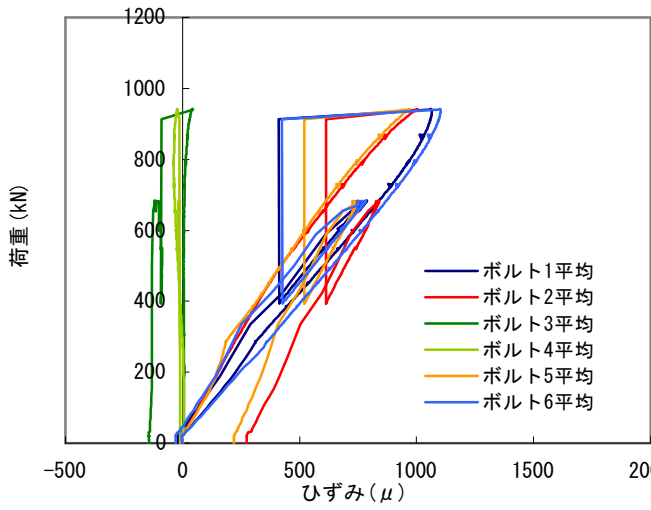
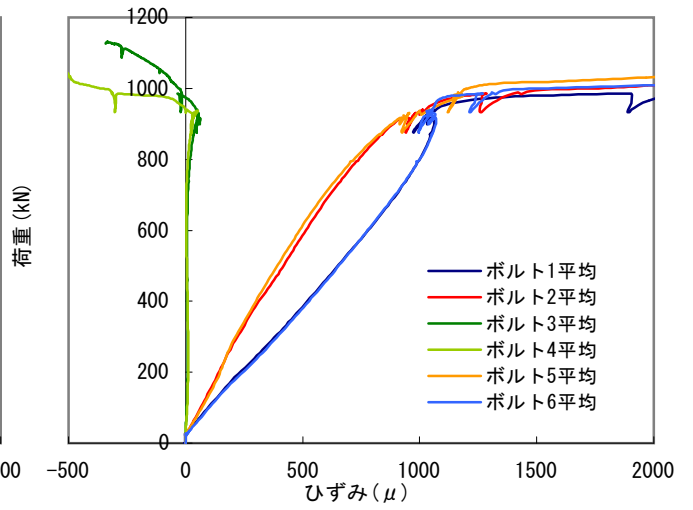


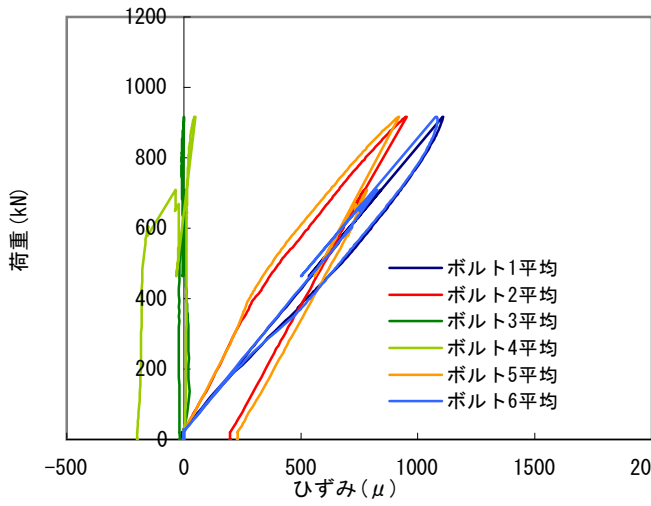
図-2.14.1 荷重とひずみ関係 ボルト部



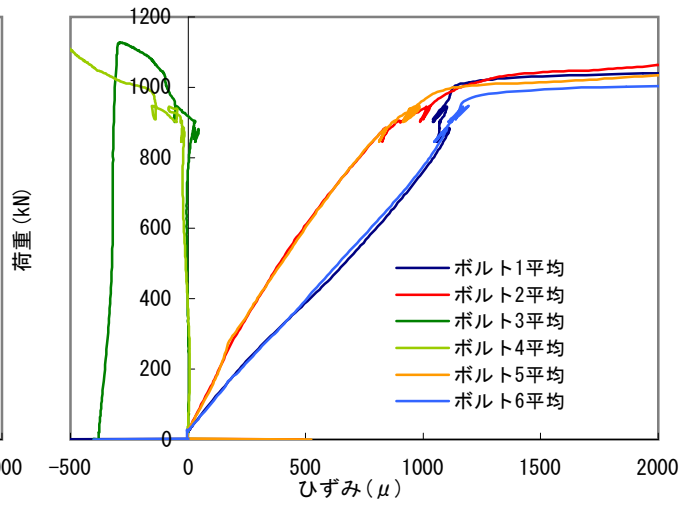
暴露期間:2ヶ月、暴露場所:海岸



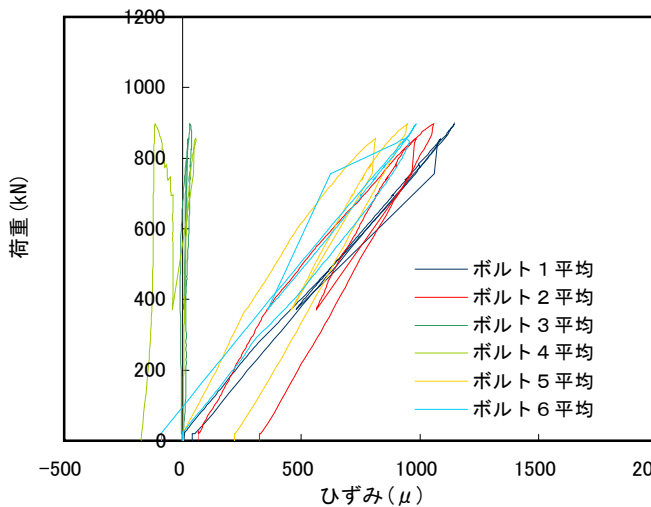
暴露期間:2ヶ月、暴露場所:内陸



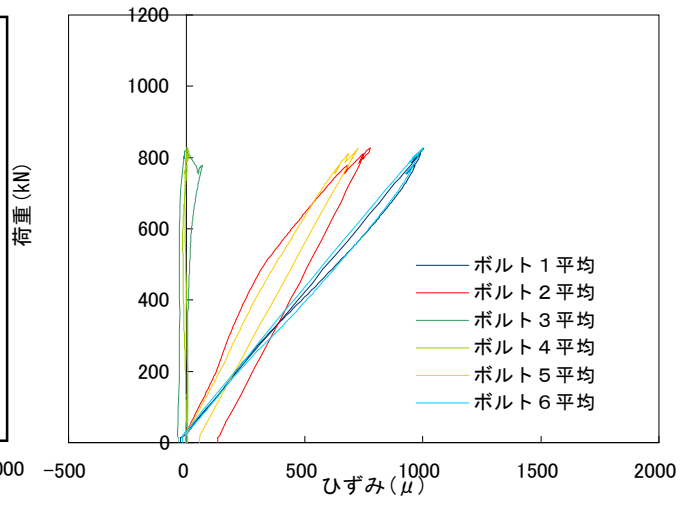
暴露期間:4ヶ月、暴露場所:海岸



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

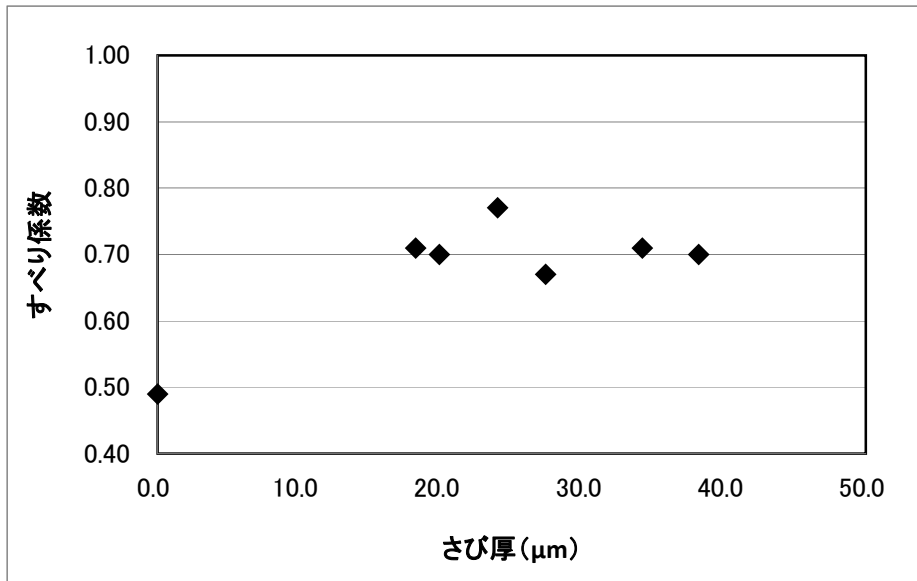


図-2.15 錆厚とすべり係数(設計軸力)

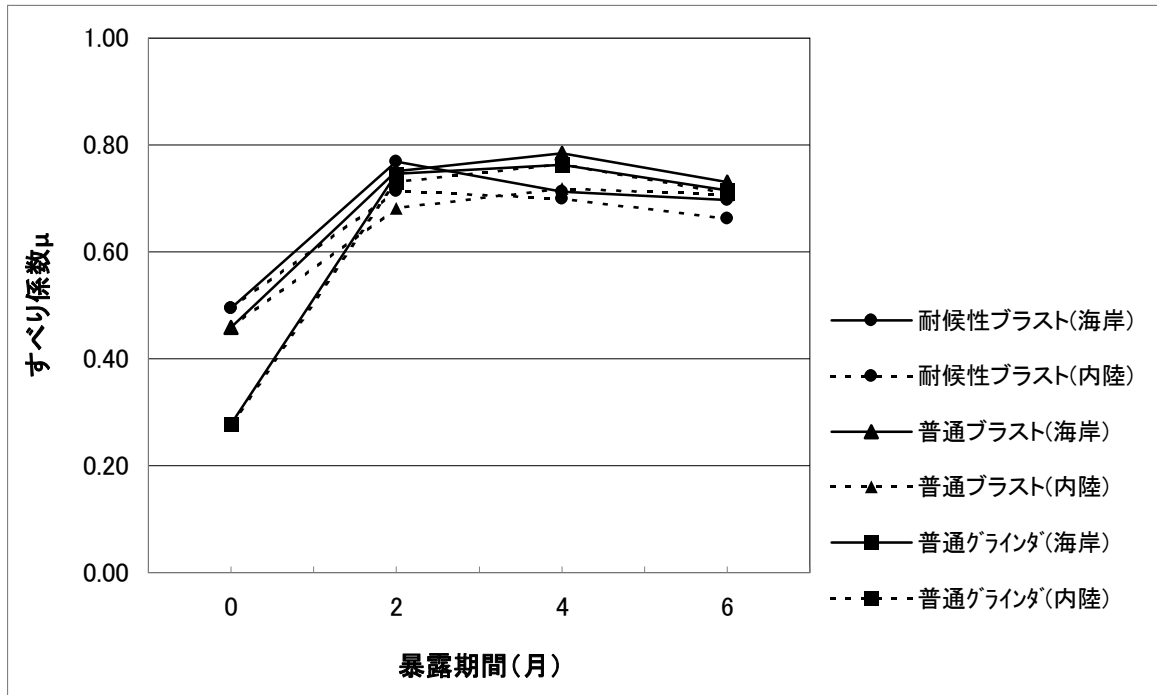


図-2.16 普通鋼材²⁾と耐候性鋼材のすべり係数(設計軸力)

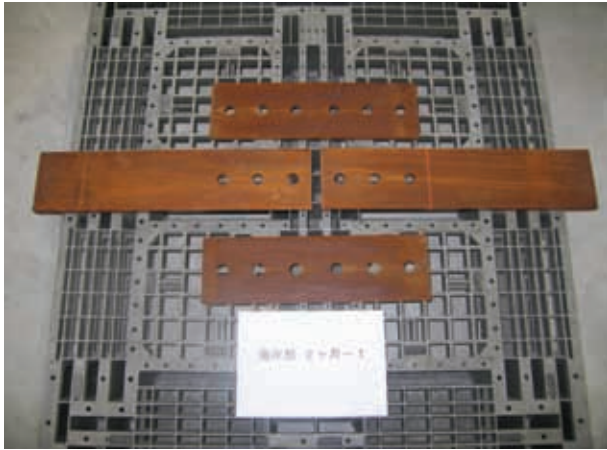


(a) 内陸部

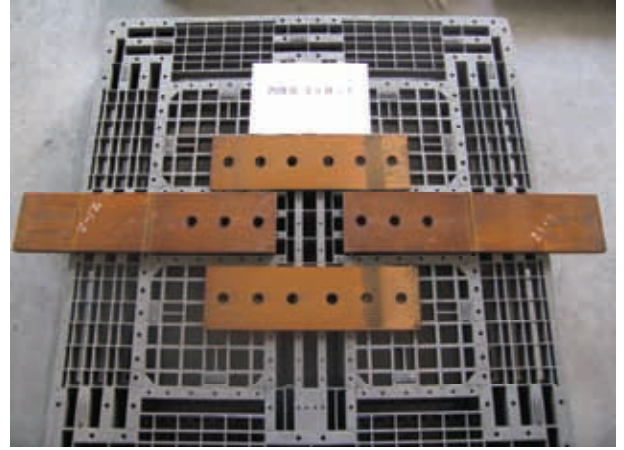


(b) 海岸部

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)



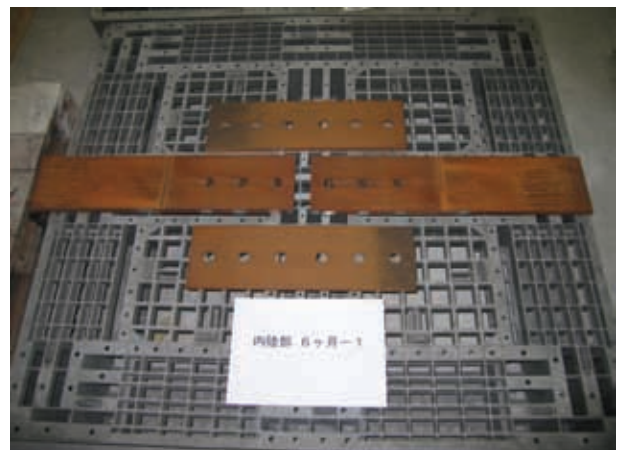
(a) 海岸部 (4ヶ月)



(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



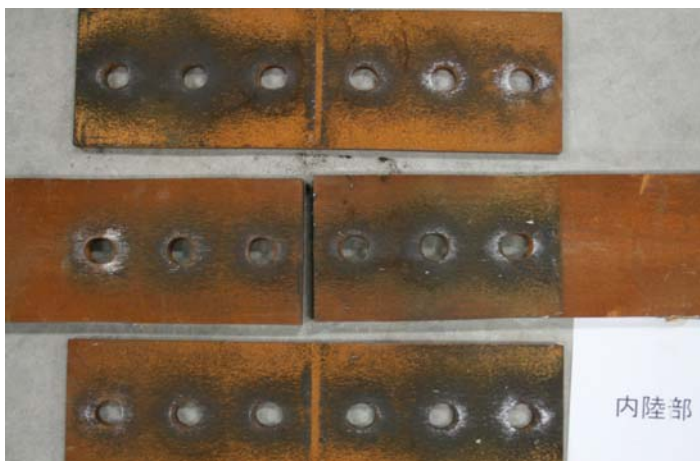
写真-2.5 ゲージ貼付状況



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