

第3章 種々の表面処理を施した高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験

3.1 試験体

3.1.1 供試鋼材

(1) 供試鋼材

供試鋼材は、板厚 22mm と 12mm の溶接構造用圧延鋼材 JIS G3106 SM490Y である。それらの鋼材の機械的性質と化学成分（ミルシート値）を表-3.1 に示す。

(2) 供試鋼材の加工

ボルト継手試験体の母板は幅 120mm、長さ 600mm、板厚 22mm、添接板は幅 120mm、長さ 460mm、板厚 12mm である。ボルト孔として直径 24.5mm（ボルトの呼び径 22mm + 2.5mm）の円孔を母板に 3 つ、添接板に 6 つ設けている。母板と添接板の形状・寸法をそれぞれ図-3.1(a), (b) に示す。なお、供試鋼材の寸法はすべり係数 $\mu = 0.5$ と仮定し、すべり/降伏耐力比 β （以下、 β 値）が 0.8 程度になるように設定した。

(3) 鋼板表面処理

供試鋼材に施した下地処理および表面処理は以下に示す 9 種類である。

- ① グリッドブラスト Sa2.5（標準）
- ② グリッドブラスト Sa2（軽い）
- ③ グリッドブラスト Sa2.5 + 赤錆発生（1 週間海岸部曝露）
- ④ グリッドブラスト Sa2.5 + 無機ジンクリッチペイント（標準）
- ⑤ グリッドブラスト Sa2.5 + 無機ジンクリッチペイント（薄膜）
- ⑥ グリッドブラスト Sa2.5 + 無機ジンクリッチペイント（厚膜）
- ⑦ 高摩擦有機ジンクリッチペイント（標準）
- ⑧ 高摩擦有機ジンクリッチペイント（薄膜）
- ⑨ 母板：高摩擦有機ジンクリッチペイント（標準） + 添接板：無機ジンクリッチペイント（標準）

無塗装処理面は、グリッドブラスト Sa2.5（標準）、グリッドブラスト Sa2（軽い）および赤錆面の 3 種類で、赤錆はグリッドブラスト(Sa2.5)処理後、海岸部の工場のヤードに 1 週間放置して発錆させたものである。塗装処理面は無機ジンクリッチペイントの膜厚を標準、薄膜、厚膜と変化させた 3 種類、高摩擦有機ジンクリッチペイントは標準、薄膜の 2 種類、母板に無機ジンクリッチペイント（標準）、添接板に高摩擦有機ジンクリッチペイント（標準）を施したものの計 6 種類である。なお、無機ジンクリッチペイントはニッペジンキー 1000P（日本ペイント）、高摩擦有機ジンクリッチペイントはニッペジンク 8000SC（日本ペイント）を使用した。各塗料の成分を表-3.2 に示す。

全ての鋼材の表面には、黒皮や錆などをグリッドブラスト(Sa2.5)により除去した後、切断や溶接などの加工、組み立て工程の期間中の錆発生を防ぐために一次防錆塗料と

して無機ジンクリッチプライマー塗装を行なった。無機ジンクリッチプライマーは塗装のりが悪いため、グリッドブラスト(Sa2.5)処理を施してその上に無機ジンクリッチペイントを塗装しているが、高摩擦有機ジンクリッチペイントは付着性が良いことから、無機ジンクリッチプライマーの上に高摩擦有機ジンクリッチペイントを直接塗装した。したがって、無機ジンクの塗装過程はグリッドブラスト(Sa2.5)〔黒皮・錆などの除去〕→無機ジンクリッチプライマー〔一次防錆塗料〕→グリッドブラスト(Sa2.5)→無機ジンクリッチペイントであり、高摩擦有機ジンクの塗装過程は、グリッドブラスト(Sa2.5)〔黒皮・錆などの除去〕→無機ジンクリッチプライマー〔一次防錆塗料〕→高摩擦有機ジンクリッチペイントの順となっている。

3. 1. 2 表面粗さ測定

表面粗さはレーザー変位計(3次元形状測定システム:EMS98AD-3D、レーザー:KEYENCE/LT-8110)により測定を行った。測定基準長さは8mmであり、測定点数は母板2枚の両面3ヶ所、添接板2枚の片面3ヶ所で、試験体一体あたり計18点測定した。表面粗さ測定結果の平均値、標準偏差と変動係数を表-3.3(a)~(i)、表面処理ごとの表面粗さの平均値を表-3.4に示す。

無塗装処理面では、グリッドブラスト Sa2.5 で $Ra(ave)=15.2\mu\text{m}$ となり、Sa2 の場合 ($Ra(ave)=11.3\mu\text{m}$) と比較すると $4\mu\text{m}$ 程度粗くなっている。赤錆面の表面粗さは $Ra(ave)=12.1\mu\text{m}$ であり、グリッドブラスト Sa2.5 に錆を発生させることで表面粗さが小さくなる傾向が認められる。一方、塗装処理面は、無塗装のものに比べ表面粗さが小さくなっており、塗膜によって表面が滑らかになっていることがわかる。高摩擦有機ジンクリッチペイント塗装面は、無機ジンクリッチペイントを塗装したものに比べ表面が若干粗くなっているが、これは通常、有機ジンクリッチペイントが表面粗さを確保するための特殊な配合を行なっているためと考えられる。

3. 1. 3 塗膜厚測定

膜厚測定計 LE-900 により塗装処理面の膜厚測定を行なった。測定点数は母板2枚の両面3ヶ所、添接板2枚の片面3ヶ所で、試験体一体あたり計18点測定した。膜厚測定結果の平均値、標準偏差、変動係数を表-3.5(a)~(f)、表面処理ごとの膜厚の平均値を表-3.6に示す。

3. 1. 4 継手試験体の製作

すべり耐力試験に用いる試験体は、母板2枚を突合せて添接板2枚で両面添接した2面せん断継手である。ボルトのセット(ボルト、ナット、座金)はF10T-M22である。ボルトのセットの機械的性質とトルク係数値を表-3.7に示す。

ボルトの締付けはトルクレンチを用いて道路橋示方書に従い、所定の設計ボルト軸力205kNが得られるよう以下の手順で行った。

- ① 母材と添接板の円孔の位置を合わせ、ボルト軸が円孔の中心に位置するよう設置する。
- ② 予備締めを行う。(ボルトの締付け順序は中央から外に向かって行う。)

- ③ 一次締め：トルクコントロール法により所定の軸力の 6 割程度の軸力が生じるように締付ける。
- ④ 二次締め：トルクコントロール法（トルク値 $Tr=655kN\cdot mm$ ）により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る。

ここでは 3.1.1(3)に示す表面処理 9 種類につき各 3 体ずつ、合計 27 体の試験体を製作した。試験体の形状と寸法を図-3.2 に示す。

3. 2 すべり耐力試験

3. 2. 1 試験方法

(1) すべり耐力試験

継手試験体を製作してから 12~24 時間後にすべり耐力試験を行った。引張試験には、載荷能力 1960kN(200tonf)の万能試験機 UH-200A（写真-3.1 参照）を用いた。試験体両端部からそれぞれ 100mm までの範囲を試験機のチャックではさみ、試験体の主すべりと全断面降伏の双方が生じるまで引張荷重を徐々に載荷した。

(2) 測定項目

測定項目は、母板間の開口変位と継手側面のひずみである。ひずみゲージは母材、添接板に貼付し鋼板の降伏を測定できるようにした。なお、添接板は各表面処理で 1 体のみひずみ測定を行なった。開口変位は母板突合せ開口部にクリップゲージを設置して測定した。ひずみゲージの貼付位置およびクリップゲージの設置箇所を図-3.3 に示す。また、ひずみゲージとクリップゲージの設置状況をそれぞれ写真-3.2 と写真-3.3 に示す。

試験中、弾性域では試験機の荷重を目安に 50kN ごとに、降伏荷重またはすべり荷重に近づくと 20kN、あるいは 10kN ごとに荷重、開口変位、各ひずみの測定を行った。また、降伏が生じた後は母板ボルト外側（母板こぼ面）のひずみを目安にして測定を行った。

(3) すべり耐力と降伏耐力の定義

主すべり時に試験機に記録される最大荷重（すべり荷重）をすべり耐力と定義する。主すべりは以下の 2 つの項目のうちどちらか一方が起こった時を主すべりと定義した。

- ① 継手部がすべったときに大きな音が発生し荷重が下がる。
- ② 荷重が急に下がり開口変位が大きくなる。

降伏耐力は 0.2%耐力で定義した。0.2%耐力は母板の継手部外側ボルト側面での荷重-ひずみ関係のグラフ上において、荷重 0、ひずみ 0.2%の点から荷重-ひずみ曲線の初期勾配に平行な線を引き、荷重-ひずみ曲線と交わった点とした。

3. 2. 2 試験結果

(1) すべり係数

表-3.8 にすべり耐力試験で得られたすべり耐力とすべり係数を示す。すべり係数は式(3.1)により算出した。

$$\mu = \frac{P_s}{m \cdot n \cdot N} \quad (3.1)$$

- μ : すべり係数
- P_s : すべり耐力 (すべり荷重)
- N : 設計ボルト軸力 (205kN)
- m : 摩擦面の数 (2面)
- n : 接合面片側のボルト全本数 (3本)

ボルト締付け時には標準ボルト軸力を導入したが、締付け時からすぐにリラクゼーションが始まることを考慮して、すべり係数の算出には設計ボルト軸力を採用した。

すべり係数の平均値はグリッドブラスト Sa2(軽い)で 0.36 と低くなったが、赤錆面(1週間海岸部曝露)と無機ジंकリッチペイント(標準)では 0.6 以上、無機ジंकリッチペイント(厚膜)と高摩擦有機ジंकリッチペイント(標準)では 0.5 以上の高いすべり係数が得られた。以上のように、摩擦面の表面処理状態に応じて、すべり係数は 0.35 ~ 0.65 と広い範囲で変化している。

表面処理ごとに比較すると、グリッドブラスト処理の場合、表面が粗い Sa2.5 は Sa2 と比較してすべり耐力が約 0.09 高くなっていることから、無塗装処理面のすべり係数は表面粗さに依存すると考えられる。また、赤錆を発生させた継手においては、表面粗さの平均がグリッドブラスト Sa2 と同程度にも関わらず、すべり係数の平均が 0.655 と非常に高くなっている。したがって、すべりは錆層で生じていると考えられ、錆層の強度がすべり耐力を支配すると考えられる。

塗装処理を施した試験体では、塗料の種類および膜厚の違いによって、すべり係数にも大きな差が認められる。無機ジंकリッチペイントを施した継手のすべり荷重は、薄膜では低い標準の膜厚で平均 0.6 程度と非常に高くなった。しかし、厚膜になると標準の場合と比べ若干低い値を示した。高摩擦有機ジंकリッチペイントを施した継手では無機ジंकと同様に薄膜よりも標準膜厚の方がすべり荷重が高くなっている。また、高摩擦有機ジंकと無機ジंकを組み合わせた接触面では、高摩擦有機ジंक(標準)の場合とほぼ同程度のすべり係数であることから、異種の塗料を組合わせた場合は、強度が低い方の塗膜ですべりが発生すると考えられる。

(2) 降伏耐力

表-3.8 にすべり耐力試験で得られた降伏耐力を示す。赤錆面(1週間海岸部曝露)の試験体は、すべり耐力が降伏耐力とほぼ同程度まで大きくなっており、図-3.24 からすべりと降伏がほぼ同時に起きていることが認められる。その他の試験体は全てすべり先行となった。また、表-3.9 に示すミルシート値に対する各試験体の降伏耐力比は、いずれの場合もほぼ 1.0 となっており、一旦すべりが生じた場合の降伏耐力は、母板の純断面積から計算される降伏耐力と等しいと言える。

(3) 荷重 - 開口変位関係

図-3.4～図-3.12 に、本試験で得られた荷重と母板間開口変位の関係を示す。開口変位は試験体の左右で測定しているが、ここではその平均値を示している。

(i) グリッドブラスト処理面

図-3.4(a)～(c)に、グリッドブラスト(標準)処理を施した試験体で測定した荷重と開口変位の関係を示す。試験体 1 の結果が図-3.4(a)である。主すべりが発生するまで荷重が増すにしたがって、開口変位もほぼ直線的に比例して大きくなっている。この状態では、母板と添接板間のすべり、母板と添接板のすべりも生じず、単に母板と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。荷重が 450kN 程度に達すると、荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなっている。これは、微小なすべりあるいは、母板もしくは添接板の局所的な塑性変形によりこのような挙動が生じたものと予想される。荷重が 510kN 程度でピーク値を示しており、このとき A 側で大きな音とともにすべりが生じ、1.5mm 程度の開口変位が生じている。その後、継続的にすべりが生じている。ボルト孔のクリアランスは、母板・添接板とも 2.5mm であり、ボルトは孔の中央に設置しているので、単純に考えて A 側が支圧状態となるまで 1.25mm のすべりが生じることになる。開口変位が 3.5mm となった時に、再び大きな音とともにすべりが生じている。これは、B 側のすべりである。試験体 2、3 においても同様の挙動が観察された。

図-3.5(a)～(c)に、グリッドブラスト(軽い)処理を施した試験体で測定した荷重と開口変位の関係を示す。試験体 3 の結果が図-3.5(c)である。グリッドブラスト(標準)と同様、弾性域では荷重が増すにしたがって開口変位もそれに比例して大きくなっている。荷重が 400kN 付近で荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなり、420kN 程度でピーク値を示すと A 側で音とともにすべりが生じ、1.0mm 程度の開口変位が生じている。このときのすべり時の音と開口変位は、グリッドブラスト(標準)と比較すると小さいものであった。その後、継続的にすべり、開口変位が 3.0mm のところで、荷重がゆっくり下がるとともに開口変位も徐々に大きくなっている。音は鳴らなかったが、これは B 側で生じたすべりである。試験体 1、2 においても同様の挙動が観察された。

このように同じグリッドブラスト処理でも違ったすべり挙動を示したのは、グリッドブラスト(標準)に比べてグリッドブラスト(軽い)の表面粗さが小さく、接触面の凹凸の噛み合いが弱かったためだと考えられる。すなわち、グリッドブラスト面の継手部がすべり時に大きな音を発生するのは、ある程度の表面粗さが確保されている場合のみ生じると考えられる。

(ii) 赤錆面

図-3.6(a)～(c)に、赤錆面の試験体で測定した荷重と開口変位の関係を示す。試験体 1 の結果が図-3.6(a)である。グリッドブラスト処理面の試験体と同様、弾性域では荷重が増すにしたがって開口変位もそれに比例して大きくなっている。荷重が 750kN 付近で荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなり、780kN 程度でピーク値

を示しているが、そして、このときの荷重で B 側が大きな音とともにすべり、2.0mm 程度の開口変位が生じている。その後も音を立てながら継続的にすべりが生じて、グリッドブラスト処理面とは異なったすべり挙動を見せた。そして、開口変位が 4.0mm となったときに再び A 側で大きなすべりが生じている。試験体 2、3 においても同様の挙動が観察された。

このようなすべり挙動が見られたのは、赤錆接合面の場合、締付けによる接触圧で錆層同士が一体化されたためだと考えられる。よって錆面のすべりは接触面の錆層によるせん断強さが関係していると予想される。

(iii) 無機ジンクリッチペイント塗装面

図-3.7(a)～(c)に、無機ジンクリッチペイント(標準)を施した試験体で測定した荷重と開口変位の関係を示す。試験体 1 の結果が図-3.7(a)である。グリッドブラスト(標準)と同様、弾性域では、荷重が増すにしたがって開口変位もほぼ直線的に比例して大きくなっている。荷重が 720kN 付近で荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなり、荷重 750kN 程度でピーク値を示している。このとき A 側で大きな音とともにすべりが生じ、1.8mm 程度の開口変位が生じている。その後継続的にすべり、開口変位が 3.5mm となったときに再び B 側で大きなすべりが生じている。このすべりでは音が鳴らず、荷重がゆっくり下がるとともに開口変位も徐々に大きくなっていった。試験体 2、3 においても同様の挙動が観察された。

図-3.8(a)～(c)に、無機ジンクリッチペイント(薄膜)を施した試験体で測定した荷重と開口変位の関係を示す。試験体 1 の結果が図-3.8(a)である。荷重が 450kN 付近で荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなり、荷重 500kN 程度でピーク値を示している。このとき音を立てずに B 側にすべりが生じ、0.8mm 程度の開口変位が生じている。その後継続的にすべり、開口変位が 3.0mm となったところで、荷重がゆっくり下がり開口変位も徐々に大きくなっている。このすべりでも音は発生しなかったが、これは A 側のすべりであった。試験体 2、3 においても同様の挙動が観察された。

図-3.9(a)～(c)に、無機ジンクリッチペイント(厚膜)処理をした試験体で測定した荷重と開口変位の関係を示す。試験体 2 の結果が図-3.9(c)である。荷重が 600kN 付近で荷重-開口変位関係の若干傾きが緩やかとなり、荷重 660kN 程度でピーク値を示している。このとき B 側で大きな音とともにすべりが生じ、2.0mm 程度の開口変位が生じている。その後継続的にすべりが生じて、開口変位が 3.5mm となったときに、再び A 側で音とともに大きなすべりが生じた。試験体 1,3 においても同様の挙動が観察された。

(iv) 高摩擦有機ジンクリッチペイント塗装面

図-3.10(a)～(c)に、高摩擦有機ジンクリッチペイント(標準)を施した試験体での荷重と開口変位の関係を示す。試験体 2 の結果が図-3.10(b)である。グリッドブラスト(標準)と同様、弾性域では、荷重が増すにしたがって開口変位もそれに比例して大きくなっている。荷重が 550kN 付近で荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなり、荷重 600kN 程度でピーク値を示している。このとき音は鳴らずに、A 側ですべ

りが生じて、荷重がゆっくり下がるとともに開口変位も徐々に大きくなっている。1.2mm程度の開口変位が生じた後、荷重は再び上がっていき、その後は継続的にすべりを生じている。そして、開口変位が2.8mmとなったときにB側で大きなすべりが生じている。このすべりでも音が鳴らず、A側と同じような挙動を示した。試験体1、3においても同様の挙動が観察された。

図-3.11(a)～(c)に、高摩擦有機ジンク(薄膜)処理をした試験体での荷重と開口変位の関係を示す。試験体3図-3.11(c)である。荷重が480kN付近で荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなり、荷重520kN程度でピーク値を示している。このとき、音は鳴らずにA側にすべりが生じ、1.0mm程度の開口変位が生じている。その後、微小なすべりが生じるものの、荷重が上がり続けたことでB側のすべりは判断できなかった。試験体1、3においても同様の挙動が観察された。

高摩擦有機ジンクは塗料の成分に付着力があることで、このようなすべり挙動を示したと考えられる。

(v) 母材:高摩擦有機ジンク(標準)塗装面、添接板:無機ジンク(標準)塗装面

図-3.12(a)～(c)に、母板に高摩擦有機ジンクリッチペイント(標準)、添接板に無機ジンクリッチペイント(標準)を施した試験体での荷重と開口変位の関係を示す。試験体1の結果が図-3.12(a)である。グリッドブラスト(標準)と同様、弾性域では、荷重が増すにしたがって開口変位もそれに比例して大きくなっている。荷重が550kN付近で荷重-開口変位関係の傾きが若干緩やかとなり、630kN程度でピーク値を示している。このとき音は鳴らずにA側ですべりが生じ、1.0mm程度の開口変位が生じている。その後継続的にすべり、開口変位が3.8mmとなったときに再びB側で大きな音とともにすべりが生じている。試験体2,3においても同様の挙動が観察された。

(4) 荷重 - ひずみ関係

(i) 母板一般部

図-3.13～3.21に各試験で得られた荷重と添接板が接触していない位置の母板こぼ面(母板一般部)で測定したひずみの関係を示す。なお、ここで示しているひずみは、左右こぼ面の平均値である。

グリッドブラスト(標準)の試験体で得られた荷重-ひずみ関係(母板一般部)を示したものが図-3.13(a)である。このタイプに限らず、ほとんどの試験体の一般部において荷重-ひずみ関係は線形を保っている。すべりが生じた時、ひずみは一時的に減少するものの、再び荷重が加えられれば荷重-ひずみ関係は線形を保っている。これは、ここで行った試験の範囲内では一般部に降伏が生じないことを示している。

図-3.15(c)は赤錆の試験体の荷重-ひずみ関係(母板一般部)を示したものである。荷重-ひずみ関係は線形を保っているが、荷重が1000kNを過ぎた付近でB側のひずみが急激に増大している。これは母板一般部に降伏が生じたことを示している。

(ii) 母板外側ボルト側面

各試験体の荷重と母板外側の円孔を含む断面のこぼ面でのひずみとの関係の例を

図-3.22～図-3.30に示す。なお、ここで示すひずみは左右のこぼ面で測定したひずみの平均値である。

図-3.22(a)はグリッドブラスト(標準)の試験体の荷重とひずみの関係(母板外側ボルト側面)を示したものである。荷重が510kNとなった時にA側ですべりが生じている。このすべりにより、荷重とひずみはともに減少している。この時点では、荷重-ひずみ関係はほぼ直線であり、ひずみは弾性挙動を示している。また、すべり後の荷重-ひずみ関係も荷重780kN程度までは線形を保っている。その後徐々に非線形の程度が大きくなり、塑性ひずみが生じて母板が降伏している。これは、すべり先行型の典型的な荷重-ひずみ関係であり、ほとんどの試験体でこのような挙動を示した。

赤錆状態の試験体のB側での荷重-ひずみ関係を示したものが図-3.24(a)である。この試験体では、荷重が800kN程度で荷重-ひずみ関係に非線形が見られるものの、ひずみが1500 μ 付近ですべりが生じている。このように降伏の兆しが見られても、0.2%耐力で定義する降伏耐力以前にすべりが生じる試験体も見られた。これは、すべり降伏同時型の典型的な荷重-ひずみ関係であり、すべり耐力の最も高かった赤錆状態の試験体だけに見られた。

(iii) 添接板内側ボルト側面

各試験体の荷重と添接板内側の円孔を含む断面のこぼ面でのひずみとの関係の例を図-3.31(a)～(i)に示す。なお、ここで示すひずみは左右のこぼ面で測定したひずみの平均値である。

全ての試験体において、荷重が900～1000kN程度でひずみが急激に増大している。これは添接板に降伏が生じたことを示している。

(5) 試験終了後の試験体

試験終了後の試験体の摩擦面の状況および円孔周辺の拡大写真を写真-3.4～写真-3.12に示す。

試験後の試験片には、すべりにより生じた傷がボルト孔周辺に見られる。無機ジンクリッチペイントを施した試験体では、薄膜の試験体で塗膜が剥がれて鋼材の地肌が見えた。標準膜厚の試験体では一部地肌が見えているものの塗料の大部分が付着したままである。厚膜の試験体では試験後も塗膜が残っているものの、継手解体時に塗膜が剥がれ落ちた。以上のことから、塗装処理を施した場合、薄膜ではすべりが界面で起こるためすべり係数が低くなると考えられる。標準の場合は、完全に塗膜間ですべりが発生するためすべり耐力が高くなったと考えられる。しかし、厚膜になると塗膜間ですべりが発生するものの、塗膜に割れが生じる易くなることから標準膜厚の場合よりもすべり耐力が低下したと思われる。

表-3.1 供試鋼材の機械的性質および化学成分

種類	機械的性質				化学成分 (%)												
	材質	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000	Cu ×100	Ni ×100	Cr ×100	B ×1000	Mo ×100	V ×100	Pcm ×1000	Ceq ×100
添接板	SM490YA	406	542	26	15	37	142	19	5	2	2	2	1	0	5	24	41
母板	SM490YB	402	546	28	15	38	148	14	4	2	1	1	2	0	5	24	42

表-3.2 塗料の成分

塗料		成分 (%)					乾燥塗膜中 亜鉛含有量 (%)	亜鉛末50% 平均粒径 (μm)
種類	製品名	粉末	塗料液			硬化剤		
		亜鉛末	エチル シリケート	エポキシ 樹脂	添加剤	ポリアミド アミン		
無機 ジンクリッチペイント	ニッペジンキー 1000QC	75.0	25.0	-	-	-	85	10
高摩擦有機 ジンクリッチペイント	ニッペジンク 8000C	71.3	-	14.3	9.5	5.0	88	10

表-3.3 表面粗さ測定結果(その1:無塗装)

試験体 番号	鋼材	測定 面	グリッドブラスト(Sa2.5)(標準)				グリッドブラスト(Sa2.0)(軽い)				赤錆(1週間海岸部曝露)			
			算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv	算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv	算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv
			平均 (1面)	平均 (鋼材)			平均 (1面)	平均 (鋼材)			平均 (1面)	平均 (鋼材)		
1	母板 (A側)	表	14.1	15.3	2.89	0.189	10.7	11.9	0.84	0.071	9.9	10.7	0.89	0.084
		裏	13.1				12.5				10.9			
	母板 (B側)	表	19.6	14.9	1.80	0.121	12.4	10.1	0.62	0.061	10.1	14.8	3.85	0.260
		裏	14.5				12.0				11.9			
	添接板(ボルト頭側)	16.2	9.7	17.6										
添接板(ナット側)	13.6	10.5	12.1											
2	母板 (A側)	表	13.9	15.6	1.97	0.126	10.0	12.7	1.87	0.147	12.2	11.1	0.96	0.086
		裏	14.2				14.4				9.8			
	母板 (B側)	表	18.1	15.1	1.39	0.092	13.3	11.5	0.94	0.082	11.1	15.1	3.77	0.250
		裏	16.2				13.0				11.1			
	添接板(ボルト頭側)	16.1	12.2	17.7										
添接板(ナット側)	14.2	10.9	12.4											
3	母板 (A側)	表	17.1	15.2	2.23	0.147	14.9	12.7	1.63	0.128	12.6	11.2	1.40	0.125
		裏	12.7				12.5				9.5			
	母板 (B側)	表	17.1	16.2	2.45	0.151	11.0	11.6	0.22	0.019	10.7	14.4	0.22	0.015
		裏	14.0				12.3				12.1			
	添接板(ボルト頭側)	18.0	11.4	14.5										
添接板(ナット側)	14.5	11.8	14.2											

表-3.3 表面粗さ測定結果(その2:無機ジंकリッチペイント)

試験体 番号	鋼材	測定 面	無機ジंकリッチペイント(標準)				無機ジंकリッチペイント(薄膜)				無機ジंकリッチペイント(厚膜)			
			算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv	算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv	算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv
			平均 (1面)	平均 (鋼材)			平均 (1面)	平均 (鋼材)			平均 (1面)	平均 (鋼材)		
1	母板 (A側)	表	12.2	8.5	2.76	0.325	7.0	6.6	1.38	0.209	8.1	7.9	1.82	0.231
		裏	7.5				5.6				6.4			
	母板 (B側)	表	8.6				8.3				10.4			
		裏	5.7				5.3				6.8			
	添接板(ボルト頭側)	7.9	13.2				10.1				4.25			
添接板(ナット側)	11.6	7.1	17.0	7.8	7.9	0.120								
2	母板 (A側)	表	11.7	7.7	2.76	0.359	5.5	5.7	0.77	0.136	7.2	8.1	0.97	0.120
		裏	6.7				5.5				7.9			
	母板 (B側)	表	7.0				6.7				9.5			
		裏	5.4				4.9				7.8			
	添接板(ボルト頭側)	9.4	7.3				10.7				4.72			
添接板(ナット側)	9.3	14.0	7.8	7.6	0.36	0.047								
3	母板 (A側)	表	11.3	8.4	2.00	0.238	5.9	7.3	2.08	0.285	6.2	7.3	1.30	0.179
		裏	7.3				5.4				8.2			
	母板 (B側)	表	7.9				8.0				8.7			
		裏	6.9				9.9				6.2			
	添接板(ボルト頭側)	11.4	11.8				10.2				2.25			
添接板(ナット側)	12.0	8.6	7.9	9.0	1.58	0.175								

表-3.3 表面粗さ測定結果(その3:高摩擦有機ジंकリッチペイント)

試験体 番号	鋼材	測定 面	有機ジंकリッチペイント(標準)				有機ジंकリッチペイント(薄膜)				有機ジंक+無機ジंक			
			算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv	算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv	算術平均粗さ Ra (μm)		標準 偏差 σ	変動 係数 Cv
			平均 (1面)	平均 (鋼材)			平均 (1面)	平均 (鋼材)			平均 (1面)	平均 (鋼材)		
1	母板 (A側)	表	7.8	9.8	2.14	0.218	9.7	9.1	1.29	0.142	10.1	11.7	2.72	0.232
		裏	8.3				7.8				14.7			
	母板 (B側)	表	12.3				8.2				8.8			
		裏	10.9				10.6				13.2			
	添接板(ボルト頭側)	13.6	9.7				10.5				1.04			
添接板(ナット側)	10.3	11.2	10.8	11.2	0.59	0.053								
2	母板 (A側)	表	7.4	9.6	2.39	0.248	8.7	9.8	0.82	0.084	11.8	11.0	1.39	0.126
		裏	7.6				10.4				12.6			
	母板 (B側)	表	11.1				9.7				9.6			
		裏	12.1				10.5				10.1			
	添接板(ボルト頭側)	10.1	9.4				9.9				0.73			
添接板(ナット側)	12.2	10.5	14.2	14.2	0.04	0.003								
3	母板 (A側)	表	8.3	10.5	3.38	0.322	8.5	8.6	0.53	0.061	9.6	10.7	1.89	0.177
		裏	7.3				7.9				13.3			
	母板 (B側)	表	14.8				9.1				10.9			
		裏	11.4				9.0				9.0			
	添接板(ボルト頭側)	12.6	11.2				11.3				0.22			
添接板(ナット側)	16.7	11.5	10.4	10.7	0.48	0.045								

表-3.4 表面粗さ測定結果(平均値)

試験体 摩擦面処理	算術平均粗さRa (μm)				Ra(ave)
	番号	母板	添接板	平均	
ショットブラストSa2.5 (標準)	1	15.3	14.9	15.2	15.2
	2	15.6	15.1	15.4	
	3	15.2	16.2	15.5	
ショットブラストSa2 (弱い)	1	11.9	10.1	11.3	11.3
	2	12.7	11.5	12.3	
	3	12.7	11.6	12.3	
赤錆面	1	10.7	14.8	12.1	12.1
	2	11.1	15.1	12.4	
	3	11.2	14.4	12.3	
無機ジंकリッチペイント (標準)	1	8.5	9.8	8.9	8.9
	2	7.7	9.3	8.2	
	3	8.4	11.7	9.5	
無機ジंकリッチペイント (薄膜)	1	6.6	10.1	7.8	7.8
	2	5.7	10.7	7.3	
	3	7.3	10.2	8.3	
無機ジंकリッチペイント (厚膜)	1	7.9	12.8	9.5	9.5
	2	8.1	7.6	7.9	
	3	7.3	9.0	7.9	
高摩擦有機ジंकリッチペイント (標準)	1	9.8	11.9	10.5	10.5
	2	9.6	11.1	10.1	
	3	10.5	14.7	11.9	
高摩擦有機ジंकリッチペイント (薄膜)	1	9.1	10.5	9.5	9.5
	2	9.8	9.9	9.8	
	3	8.6	11.3	9.5	
高摩擦有機ジंक(母板) + 無機ジंक(添接板)	1	11.7	11.2	11.5	11.5
	2	11.0	14.2	12.1	
	3	10.7	10.7	10.7	

表-3.5 膜厚測定結果(その1:無機ジンクリッチペイント)

試験体番号	鋼材	測定面	位置	無機ジンクリッチペイント(標準)					無機ジンクリッチペイント(薄膜)					無機ジンクリッチペイント(厚膜)				
				膜厚(μm)			標準偏差 σ	変動係数 Cv	膜厚(μm)			標準偏差 σ	変動係数 Cv	膜厚(μm)			標準偏差 σ	変動係数 Cv
				膜厚(1箇所)	平均(1面)	平均(鋼材)			膜厚(1箇所)	平均(1面)	平均(鋼材)			膜厚(1箇所)	平均(1面)	平均(鋼材)		
1	母板(A側)	表	1	60.4	65.3	82.3	17.63	0.214	34.9	35.1	41.7	13.11	0.314	96.9	107.0	123.8	29.80	0.241
			2	61.3					32.8					108.0				
			3	74.2					37.6					116.0				
		裏	1	100.0					66.8					150.0				
			2	105.0					35.5					120.0				
			3	119.0					47.8					208.0				
	母板(B側)	表	1	75.5	81.3	63.8	7.13	0.112	30.6	28.2	44.1	5.51	0.125	121.0	109.7	139.3	25.13	0.180
			2	86.5					27.7					108.0				
			3	81.9					26.4					100.0				
		裏	1	75.9					60.5					125.0				
			2	72.3					49.5					119.0				
			3	75.1					50.3					114.0				
	添接板(ボルト頭側)	1	66.2	61.9	49.2	46.4	44.1	5.51	0.125	180.0	142.0	139.3	25.13	0.180				
		2	66.4							46.3					123.0			
		3	53.2							43.7					123.0			
添接板(ナット側)	1	59.7	65.7	35.5	41.8	44.1	5.51	0.125	161.0	136.7	139.3	25.13	0.180					
	2	63.1							40.2					119.0				
	3	74.4							49.7					130.0				
2	母板(A側)	表	1	88.4	78.3	86.7	23.30	0.269	32.1	31.2	39.2	12.13	0.309	120.0	118.3	107.8	19.23	0.178
			2	70.6					27.1					122.0				
			3	76.0					34.5					113.0				
		裏	1	129.0					58.6					148.0				
			2	122.0					43.6					107.0				
			3	113.0					34.8					107.0				
	母板(B側)	表	1	94.9	83.0	76.8	19.72	0.257	26.1	27.7	50.9	3.79	0.074	81.3	82.7	141.8	13.85	0.098
			2	80.2					31.5					74.4				
			3	73.9					25.4					92.3				
		裏	1	59.1					53.9					111.0				
			2	68.2					46.3					109.0				
			3	64.6					56.4					109.0				
	添接板(ボルト頭側)	1	91.1	93.5	47.6	49.6	50.9	3.79	0.074	145.0	148.7	141.8	13.85	0.098				
		2	97.6							51.1					134.0			
		3	91.7							50.2					167.0			
添接板(ナット側)	1	65.4	60.0	53.9	52.2	50.9	3.79	0.074	136.0	135.0	141.8	13.85	0.098					
	2	67.3							46.3					142.0				
	3	47.4							56.4					127.0				
3	母板(A側)	表	1	68.8	64.3	75.4	19.31	0.256	24.9	31.9	40.0	12.53	0.313	117.0	115.7	123.7	15.87	0.128
			2	60.2					39.9					113.0				
			3	63.9					31.0					117.0				
		裏	1	57.6					61.8					102.0				
			2	54.6					39.6					109.0				
			3	59.2					63.2					124.0				
	母板(B側)	表	1	81.2	76.3	70.3	25.23	0.359	32.2	29.7	43.6	6.63	0.152	117.0	119.3	117.2	10.40	0.089
			2	74.2					30.6					121.0				
			3	73.6					26.3					120.0				
		裏	1	115.0					44.1					147.0				
			2	101.0					47.1					144.0				
			3	95.9					39.4					153.0				
	添接板(ボルト頭側)	1	93.5	92.8	39.6	38.5	43.6	6.63	0.152	124.0	113.0	117.2	10.40	0.089				
		2	95.8							36.9					110.0			
		3	89.2							39.1					105.0			
添接板(ナット側)	1	50.3	47.7	44.0	48.7	43.6	6.63	0.152	114.0	121.3	117.2	10.40	0.089					
	2	53.1							47.2					116.0				
	3	39.6							54.8					134.0				

表-3.5 膜厚測定結果(その2:高摩擦有機ジンクリッチペイント)

試験体番号	鋼材	測定面	位置	有機ジンクリッチペイント(標準)					有機ジンクリッチペイント(薄膜)					有機ジンク+無機ジンク					
				膜厚(μm)			標準偏差 σ	変動係数 Cv	膜厚(μm)			標準偏差 σ	変動係数 Cv	膜厚(μm)			標準偏差 σ	変動係数 Cv	
				膜厚(1箇所)	平均(1面)	平均(鋼材)			膜厚(1箇所)	平均(1面)	平均(鋼材)			膜厚(1箇所)	平均(1面)	平均(鋼材)			
1	母板(A側)	表	1	66.2	63.4	72.5	16.83	0.232	45.2	39.9	47.6	13.75	0.289	103.0	104.6	111.3	15.20	0.136	
			2	63.5					43.1					111.0					
			3	60.6					31.3					99.9					
		裏	1	79.9					44.5					124.0					
			2	80.8					42.0					141.0					
			3	94.0					61.4					112.0					
	母板(B側)	表	1	46.9	52.4	89.1	63.5	8.01	0.126	41.2	39.8	51.8	10.99	0.212	95.9	93.4	95.7	34.14	0.357
			2	61.2						47.5					92.4				
			3	49.2						30.6					91.9				
		裏	1	80.6						81.8					123.0				
			2	94.6						55.2					120.0				
			3	92.2						47.3					122.0				
添接板(ボルト頭側)	1	73.6	68.7	63.5	8.01	0.126	55.2	47.4	51.8	10.99	0.212	68.1	65.7	95.7	34.14	0.357			
	2	64.1					43.5					64.1							
	3	68.5					43.6					64.9							
添接板(ナット側)	1	64.8	58.2	63.5	8.01	0.126	62.4	56.2	51.8	10.99	0.212	124.0	125.7	95.7	34.14	0.357			
	2	50.2					40.1					141.0							
	3	59.6					66.2					112.0							
2	母板(A側)	表	1	40.3	46.6	69.3	20.29	0.293	39.0	37.7	45.5	7.47	0.164	107.0	107.0	104.1	25.56	0.246	
			2	55.1					42.1					103.0					
			3	44.4					31.9					111.0					
		裏	1	81.8					45.1					117.0					
			2	64.8					57.4					134.0					
			3	64.5					42.6					133.0					
	母板(B側)	表	1	62.7	62.3	97.8	68.5	13.93	0.203	42.6	48.0	51.9	9.21	0.177	60.5	65.3	64.2	8.27	0.129
			2	58.1						44.2					69.9				
			3	66.1						57.3					65.6				
		裏	1	93.2						54.0					103.0				
			2	97.2						43.8					121.0				
			3	103.0						46.0					124.0				
添接板(ボルト頭側)	1	86.6	80.3	68.5	13.93	0.203	62.1	49.4	51.9	9.21	0.177	67.9	68.8	64.2	8.27	0.129			
	2	79.5					42.2					78.3							
	3	74.7					43.8					60.2							
添接板(ナット側)	1	50.2	56.7	68.5	13.93	0.203	55.5	54.5	51.9	9.21	0.177	54.0	59.5	64.2	8.27	0.129			
	2	59.8					45.6					61.3							
	3	60.0					62.3					63.3							
3	母板(A側)	表	1	57.5	52.8	68.7	17.07	0.248	38.0	39.7	45.1	15.09	0.334	115.0	109.3	110.1	21.43	0.195	
			2	37.7					44.4					103.0					
			3	63.3					36.6					110.0					
		裏	1	58.5					35.1					142.0					
			2	77.6					48.6					134.0					
			3	80.1					41.6					130.0					
	母板(B側)	表	1	59.3	59.2	90.8	59.9	12.92	0.216	33.4	34.8	48.5	5.69	0.117	85.9	80.4	72.0	17.11	0.238
			2	57.0						40.9					76.5				
			3	61.2						30.0					78.7				
		裏	1	90.2						86.8					104.0				
			2	94.6						50.4					124.0				
			3	87.7						55.4					118.0				
添接板(ボルト頭側)	1	73.4	69.4	59.9	12.92	0.216	42.8	44.4	48.5	5.69	0.117	55.1	56.7	72.0	17.11	0.238			
	2	63.5					41.5					58.5							
	3	71.3					48.9					56.6							
添接板(ナット側)	1	38.6	50.3	59.9	12.92	0.216	56.5	52.6	48.5	5.69	0.117	90.4	87.2	72.0	17.11	0.238			
	2	52.4					48.9					80.6							
	3	59.9					52.5					90.6							

表-3.6 膜厚測定結果（平均）

試験体		膜厚 (μm)					
摩擦面処理	番号	母板	添接板	平均	平均(ave)	合計	合計(ave)
無機ジंकリッチペイント (標準)	1	82.3	63.8	73.1	75.9	146.1	151.8
	2	86.7	76.8	81.8		163.5	
	3	75.4	70.3	72.9		145.7	
無機ジंकリッチペイント (薄膜)	1	41.7	44.1	42.9	43.3	85.8	86.5
	2	39.2	50.9	45.1		90.1	
	3	40.0	43.6	41.8		83.6	
無機ジंकリッチペイント (厚膜)	1	123.8	139.3	131.6	125.6	263.1	251.2
	2	107.8	141.8	124.8		249.6	
	3	123.7	117.2	120.5		240.9	
高摩擦 有機ジंकリッチペイント (標準)	1	72.5	63.5	68.0	67.1	136.0	134.1
	2	69.3	68.5	68.9		137.8	
	3	68.7	59.9	64.3		128.6	
高摩擦 有機ジंकリッチペイント (薄膜)	1	47.6	51.8	49.7	48.4	99.4	96.8
	2	45.5	51.9	48.7		97.4	
	3	45.1	48.5	46.8		93.6	
高摩擦有機ジंक(母板) + 無機ジंक(添接板)	1	111.3	95.7	103.5	92.9	207.0	185.8
	2	104.1	64.2	84.2		168.3	
	3	110.1	72.0	91.1		182.1	

表-3.7 ボルトセットの機械的性質とトルク係数値

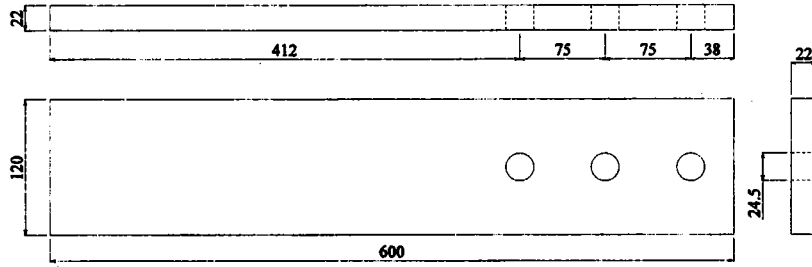
等級	ねじの 呼び×長さ	ボルト						ナット	座金	トルク係数値 (平均値)
		4号試験片				製品		製品	製品	
		耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	引張荷重 (kN)	硬さ (HRC)	硬さ (HRC)	硬さ (HRC)	
F10T	22×90	1043	1080	18	66	325	33	25	39	0.135

表-3.8 すべり耐力試験結果（すべり荷重、降伏荷重、すべり係数）

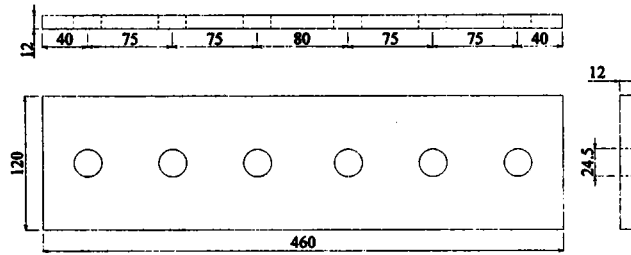
試験体		すべり発生順	降伏荷重 (kN)	すべり荷重 (kN)	すべり係数			
摩擦面処理	試験体番号				すべり係数	平均	標準偏差	
ショットブラストSa2.5 (標準)	1	A	先	815.1	563.1	0.458	0.441	0.015
		B	後	812.5	563.1	0.458		
	2	A	先	789.4	540.5	0.439		
		B	後	806.5	540.5	0.439		
	3	A	後	817.3	538.6	0.438		
		B	先	807.3	510.1	0.415		
ショットブラストSa2 (弱い)	1	A	先	825.8	437.5	0.356	0.355	0.012
		B	-	832.1	-	-		
	2	A	先	832.1	453.2	0.368		
		B	後	815.4	453.2	0.368		
	3	A	後	810.9	419.9	0.341		
		B	先	841.6	419.9	0.341		
赤錆面	1	A	後	849.8	812.3	0.660	0.655	0.038
		B	先	846.2	782.8	0.636		
	2	A	先	854.7	829.9	0.675		
		B	後	874.2	843.7	0.686		
	3	A	後	879.4	849.5	0.691		
		B	先	853.3	714.0	0.580		
無機 ジンクリッチペイント (標準)	1	A	先	855.6	737.7	0.600	0.604	0.004
		B	後	853.8	748.5	0.609		
	2	A	後	840.3	745.6	0.606		
		B	先	848.5	745.6	0.606		
	3	A	後	843.0	736.7	0.599		
		B	先	840.5	741.6	0.603		
無機 ジンクリッチペイント (薄膜)	1	A	後	838.7	506.2	0.412	0.408	0.009
		B	先	827.1	497.4	0.404		
	2	A	先	828.3	509.1	0.414		
		B	後	843.5	512.1	0.416		
	3	A	後	864.2	503.3	0.409		
		B	先	831.9	479.7	0.390		
無機 ジンクリッチペイント (厚膜)	1	A	先	829.8	635.7	0.517	0.533	0.012
		B	後	813.0	635.7	0.517		
	2	A	後	857.5	678.9	0.552		
		B	先	833.9	663.2	0.539		
	3	A	後	823.4	659.2	0.536		
		B	先	829.9	659.2	0.536		
高摩擦有機 ジンクリッチペイント (標準)	1	A	後	840.3	648.4	0.527	0.497	0.014
		B	先	854.9	595.5	0.484		
	2	A	先	872.9	605.3	0.492		
		B	後	859.1	608.2	0.494		
	3	A	先	857.4	604.3	0.491		
		B	後	851.6	604.3	0.491		
高摩擦有機 ジンクリッチペイント (薄膜)	1	A	後	831.5	-	-	0.416	0.014
		B	先	853.9	487.6	0.396		
	2	A	-	843.8	-	-		
		B	先	844.4	525.8	0.427		
	3	A	-	837.5	-	-		
		B	先	852.3	522.9	0.425		
高摩擦有機 ジンクリッチペイント (母板) + 無機 ジンクリッチペイント (添接板)	1	A	後	831.0	606.3	0.493	0.509	0.011
		B	先	843.7	606.3	0.493		
	2	A	先	815.9	634.7	0.516		
		B	後	818.3	634.7	0.516		
	3	A	先	823.7	635.7	0.517		
		B	後	827.2	635.7	0.517		

表-3.9 ミルシート値に対する実験値の降伏耐力比

試験体		降伏耐力 (kN)		降伏耐力比 (実験値/ミルシート値)		すべり係数 (平均値)	
摩擦面処理	試験体番号	ミルシート値	実験値	耐力比	平均		
ショットブラストSa2.5 (標準)	1	A	844.6	815.1	0.97	0.96	0.441
		B	844.6	812.5	0.96		
	2	A	844.6	789.4	0.93		
		B	844.6	806.5	0.95		
	3	A	844.6	817.3	0.97		
		B	844.6	807.3	0.96		
ショットブラストSa2 (弱い)	1	A	844.6	825.8	0.98	0.98	0.355
		B	844.6	832.1	0.99		
	2	A	844.6	832.1	0.99		
		B	844.6	815.4	0.97		
	3	A	844.6	810.9	0.96		
		B	844.6	841.6	1.00		
赤錆面	1	A	844.6	849.8	1.01	1.02	0.655
		B	844.6	846.2	1.00		
	2	A	844.6	854.7	1.01		
		B	844.6	874.2	1.04		
	3	A	844.6	879.4	1.04		
		B	844.6	853.3	1.01		
無機 ジンクリッチペイント (標準)	1	A	844.6	855.6	1.01	1.00	0.604
		B	844.6	853.8	1.01		
	2	A	844.6	840.3	0.99		
		B	844.6	848.5	1.00		
	3	A	844.6	843.0	1.00		
		B	844.6	840.5	1.00		
無機 ジンクリッチペイント (薄膜)	1	A	844.6	838.7	0.99	0.99	0.408
		B	844.6	827.1	0.98		
	2	A	844.6	828.3	0.98		
		B	844.6	843.5	1.00		
	3	A	844.6	864.2	1.02		
		B	844.6	831.9	0.98		
無機 ジンクリッチペイント (厚膜)	1	A	844.6	829.8	0.98	0.98	0.533
		B	844.6	813.0	0.96		
	2	A	844.6	857.5	1.02		
		B	844.6	833.9	0.99		
	3	A	844.6	823.4	0.97		
		B	844.6	829.9	0.98		
高摩擦有機 ジンクリッチペイント (標準)	1	A	844.6	840.3	0.99	1.01	0.497
		B	844.6	854.9	1.01		
	2	A	844.6	872.9	1.03		
		B	844.6	859.1	1.02		
	3	A	844.6	857.4	1.02		
		B	844.6	851.6	1.01		
高摩擦有機 ジンクリッチペイント (薄膜)	1	A	844.6	831.5	0.98	1.00	0.416
		B	844.6	853.9	1.01		
	2	A	844.6	843.8	1.00		
		B	844.6	844.4	1.00		
	3	A	844.6	837.5	0.99		
		B	844.6	852.3	1.01		
高摩擦有機 ジンクリッチペイント (母板) + 無機 ジンクリッチペイント (添接板)	1	A	844.6	831.0	0.98	0.98	0.509
		B	844.6	843.7	1.00		
	2	A	844.6	815.9	0.97		
		B	844.6	818.3	0.97		
	3	A	844.6	823.7	0.98		
		B	844.6	827.2	0.98		



(a) 板厚 22mm (母板)



(b) 板厚 12mm (添接板)

図-3.1 供試鋼材の形状と寸法

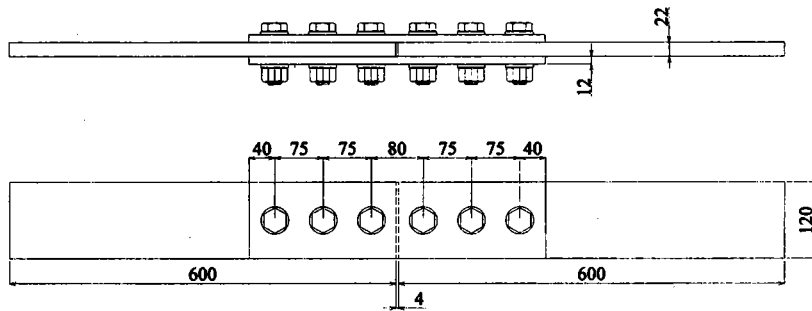
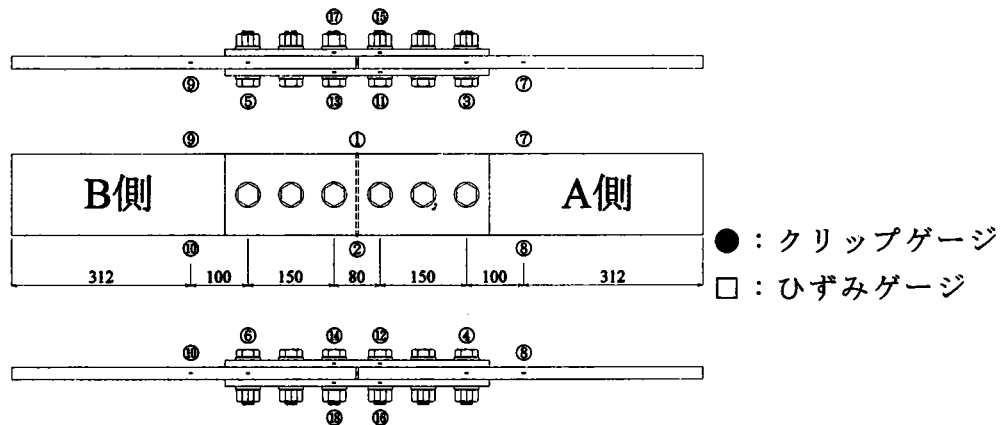


図-3.2 継手試験体の形状と寸法



- ①, ② : クリップゲージ
- ③, ④, ⑤, ⑥ : ひずみゲージ (母板外側ボルト側面)
- ⑦, ⑧, ⑨, ⑩ : ひずみゲージ (母板一般部)
- ⑪, ⑫, ⑬, ⑭, ⑮, ⑯, ⑰, ⑱ : ひずみゲージ (添接板内側ボルト側面)

図-3.3 ひずみゲージ貼付位置およびクリップゲージ設置位置

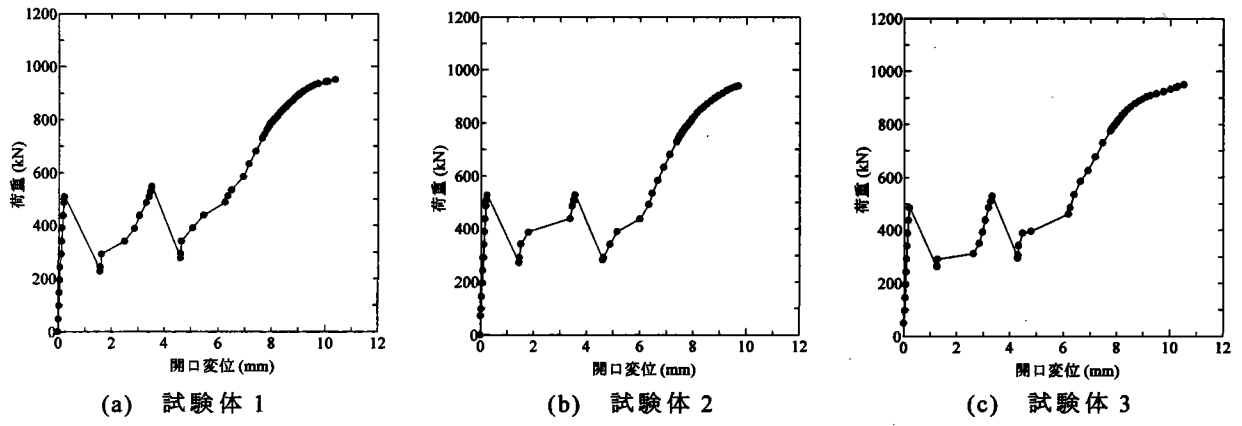


図-3.4 荷重-開口変位関係 [グリッドブラスト Sa2.5(標準)]

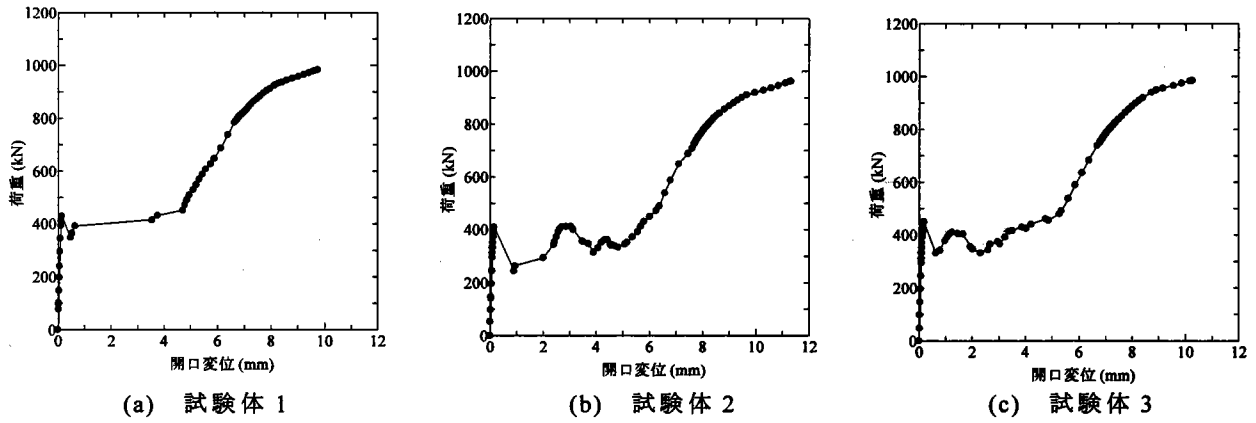


図-3.5 荷重-開口変位関係 [グリッドブラスト Sa2(軽い)]

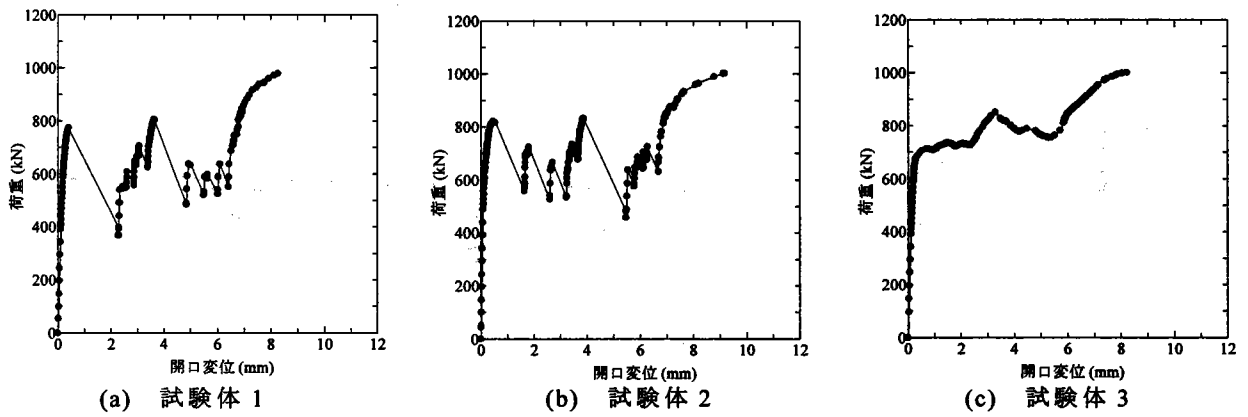


図-3.6 荷重-開口変位関係 [赤錆面(1週間海岸部曝露)]

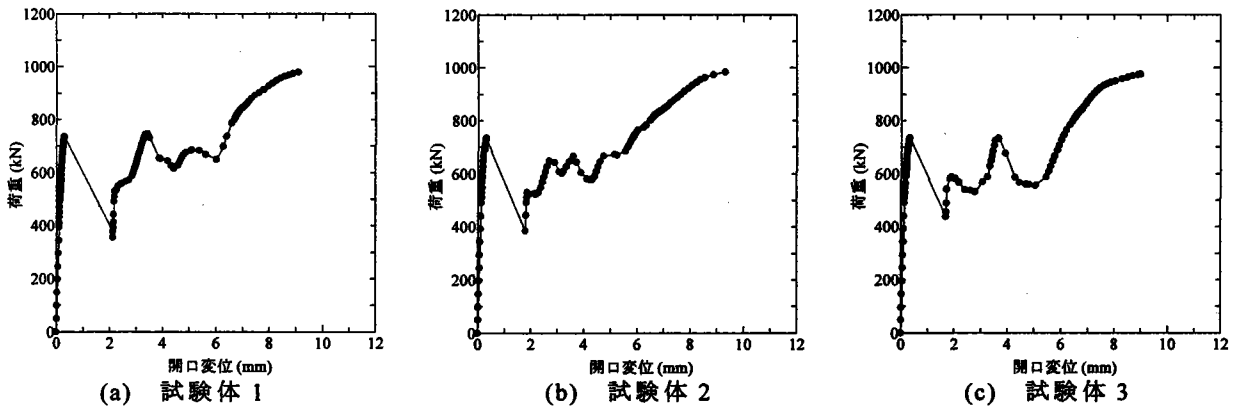
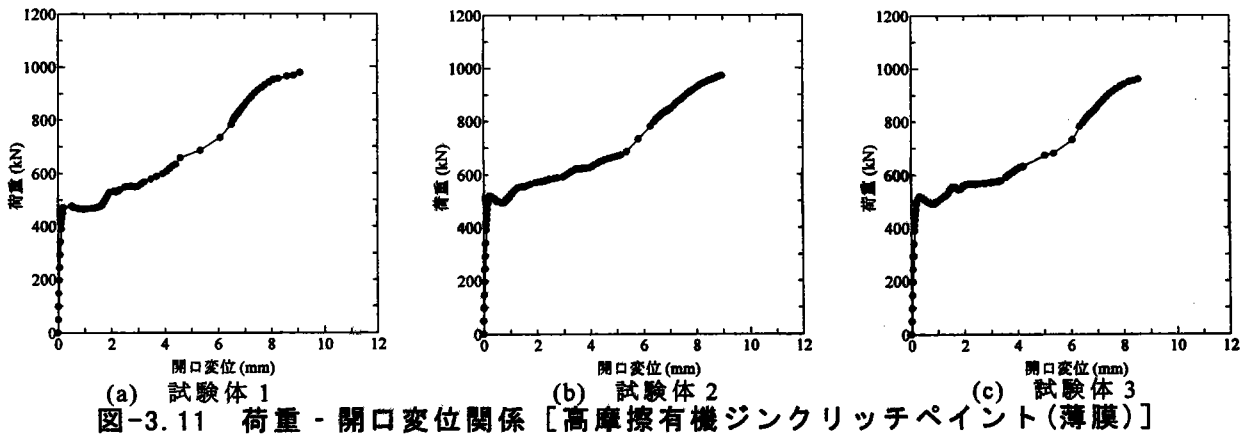
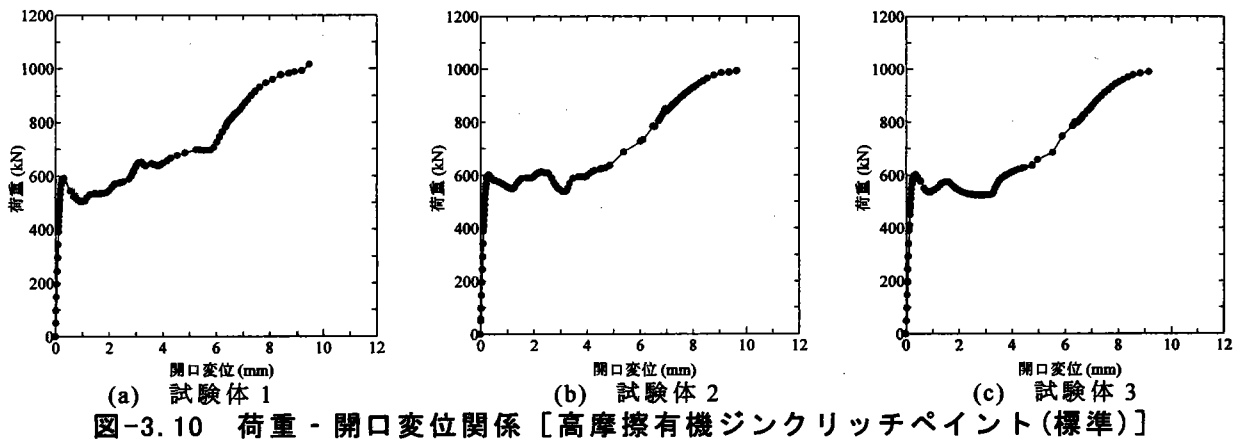
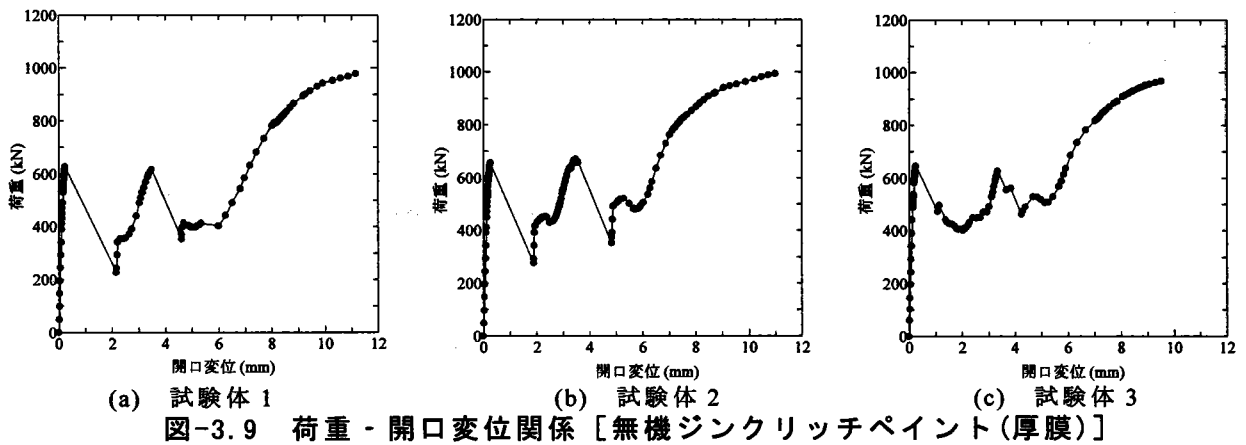
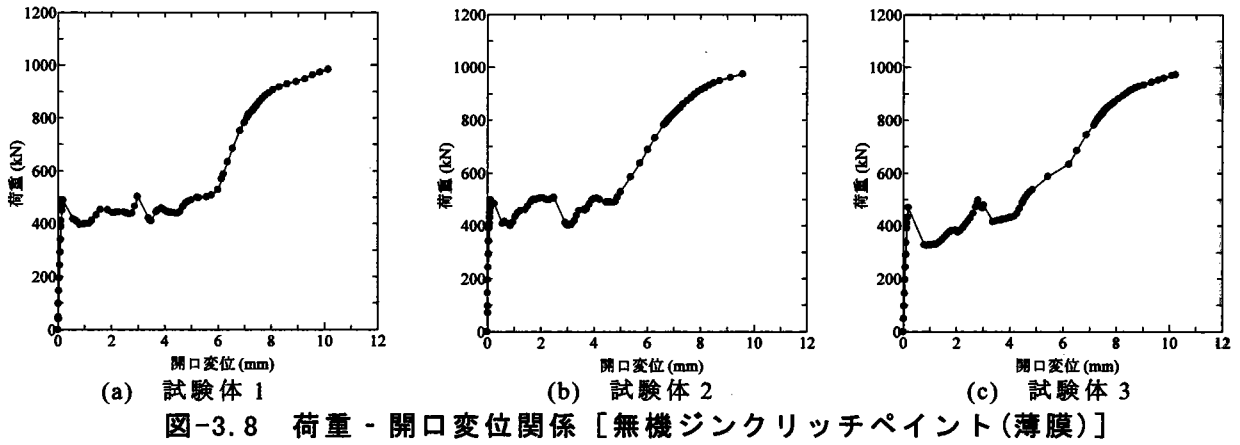


図-3.7 荷重-開口変位関係 [無機ジンクリッチペイント(標準)]



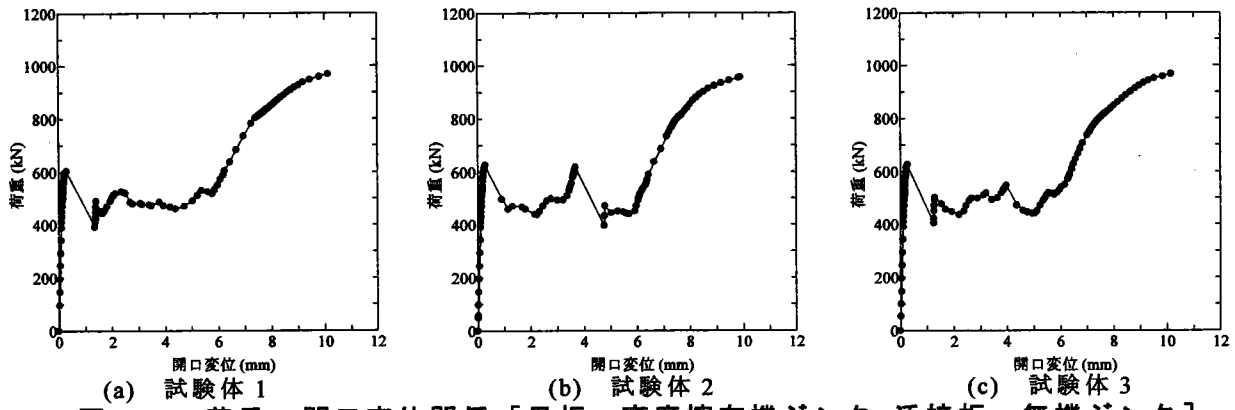


図-3.12 荷重 - 開口変位関係 [母板：高摩擦有機ジンク，添接板：無機ジンク]

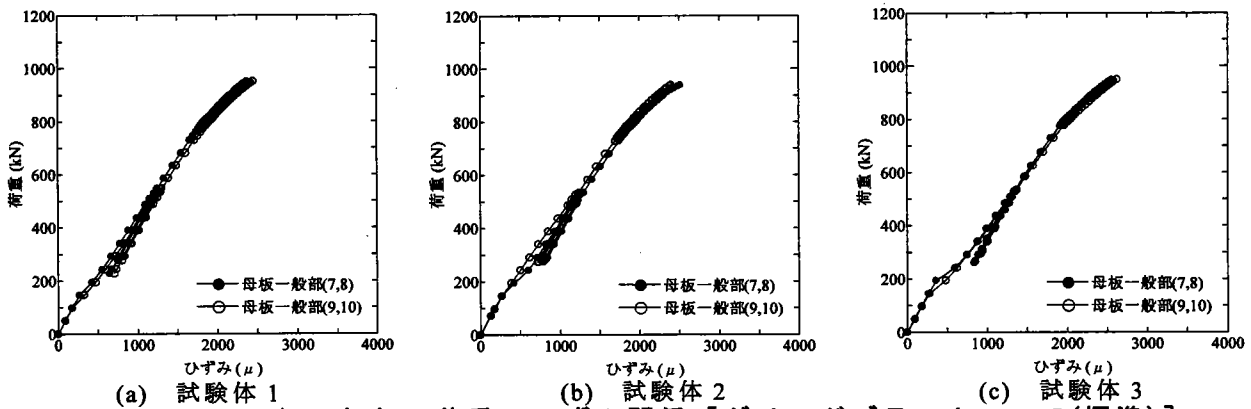


図-3.13 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [グリッドブラスト Sa2.5(標準)]

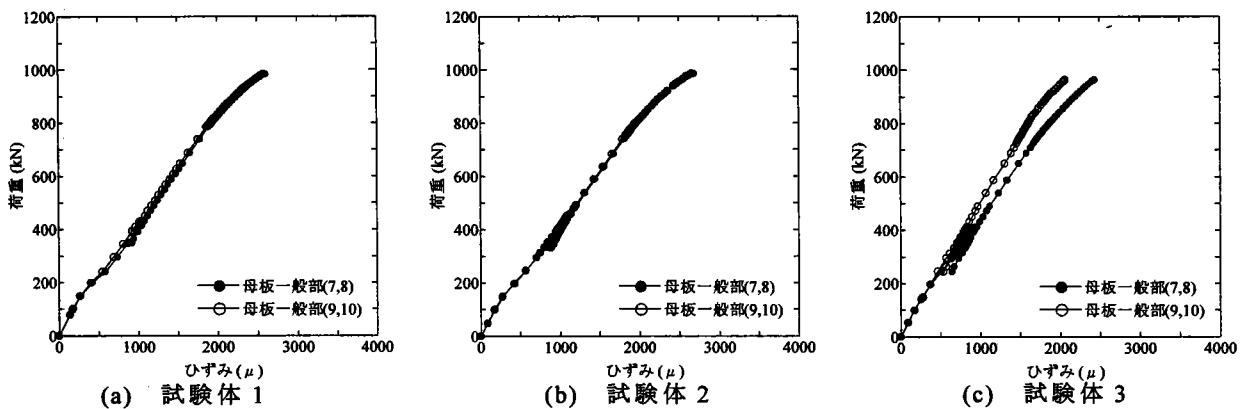


図-3.14 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [グリッドブラスト Sa2(軽い)]

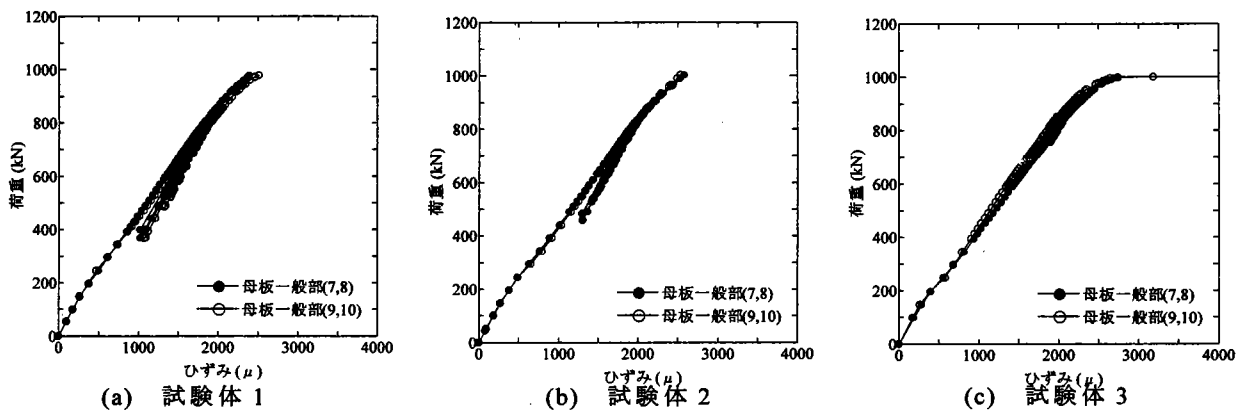


図-3.15 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [赤錆面(1週間海岸部曝露)]

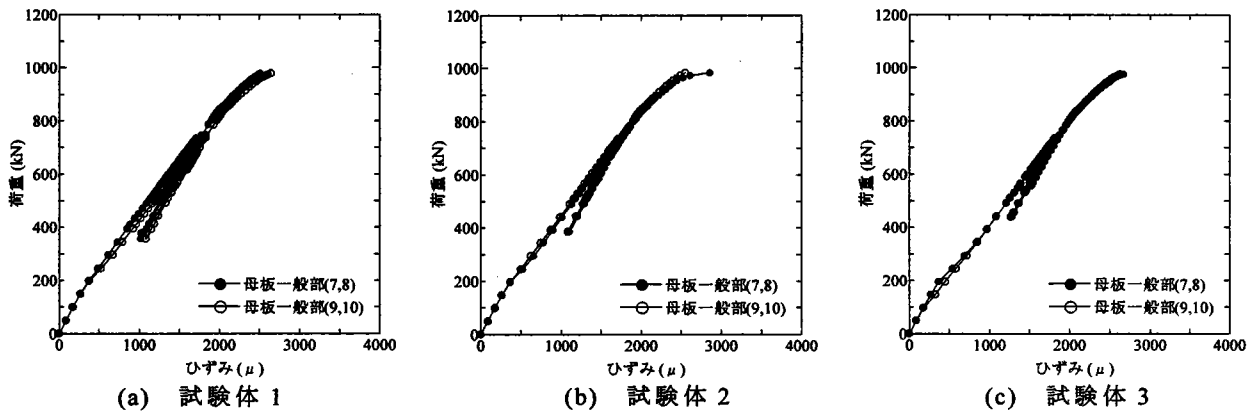


図-3.16 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [無機ジンクリッチペイント(標準)]

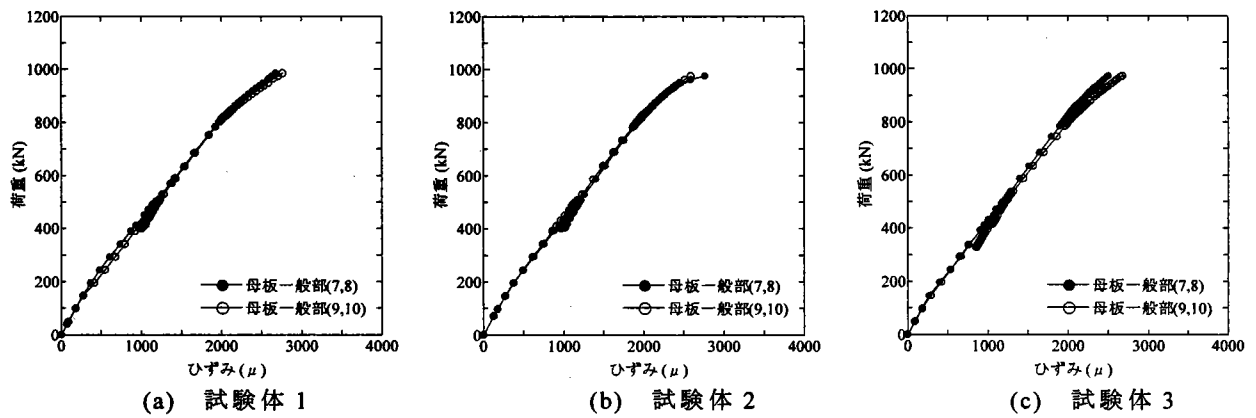


図-3.17 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [無機ジンクリッチペイント(薄膜)]

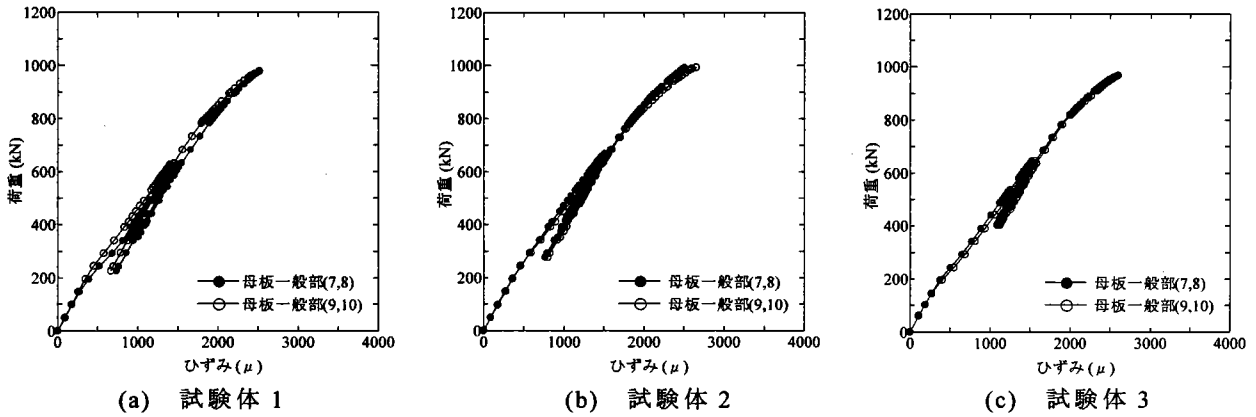


図-3.18 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [無機ジンクリッチペイント(厚膜)]

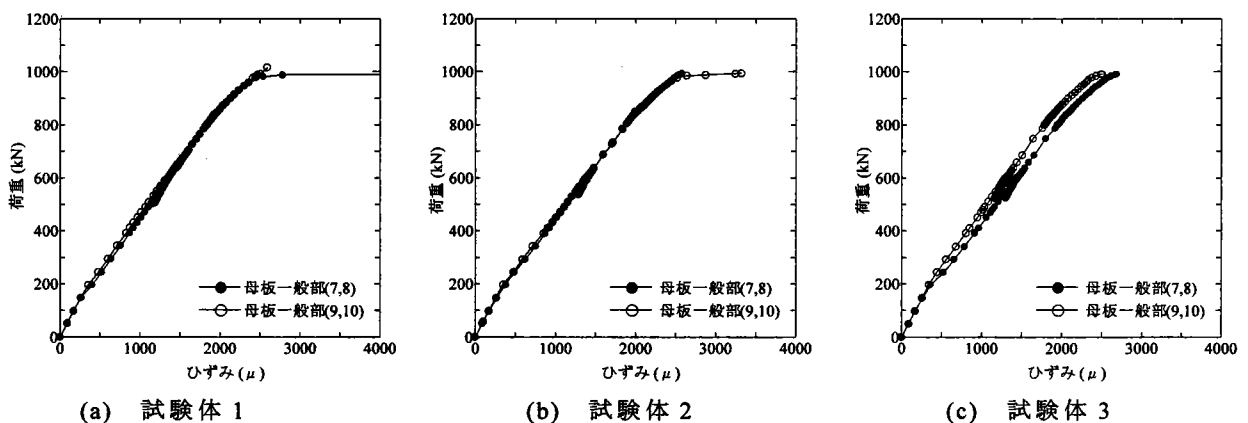
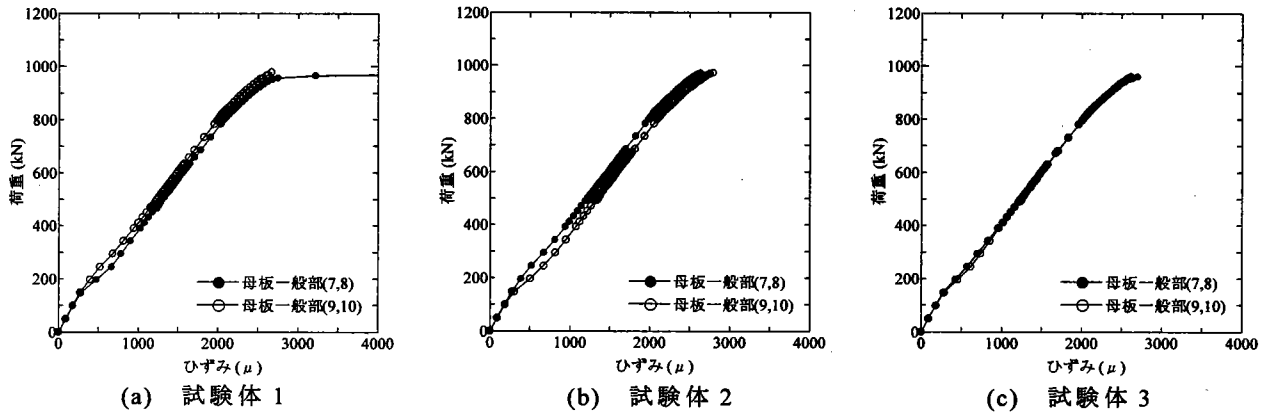
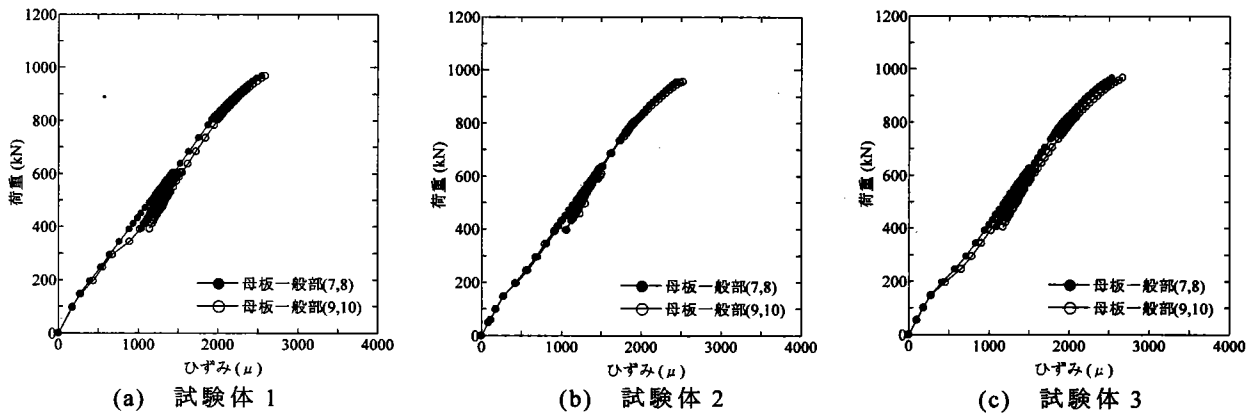


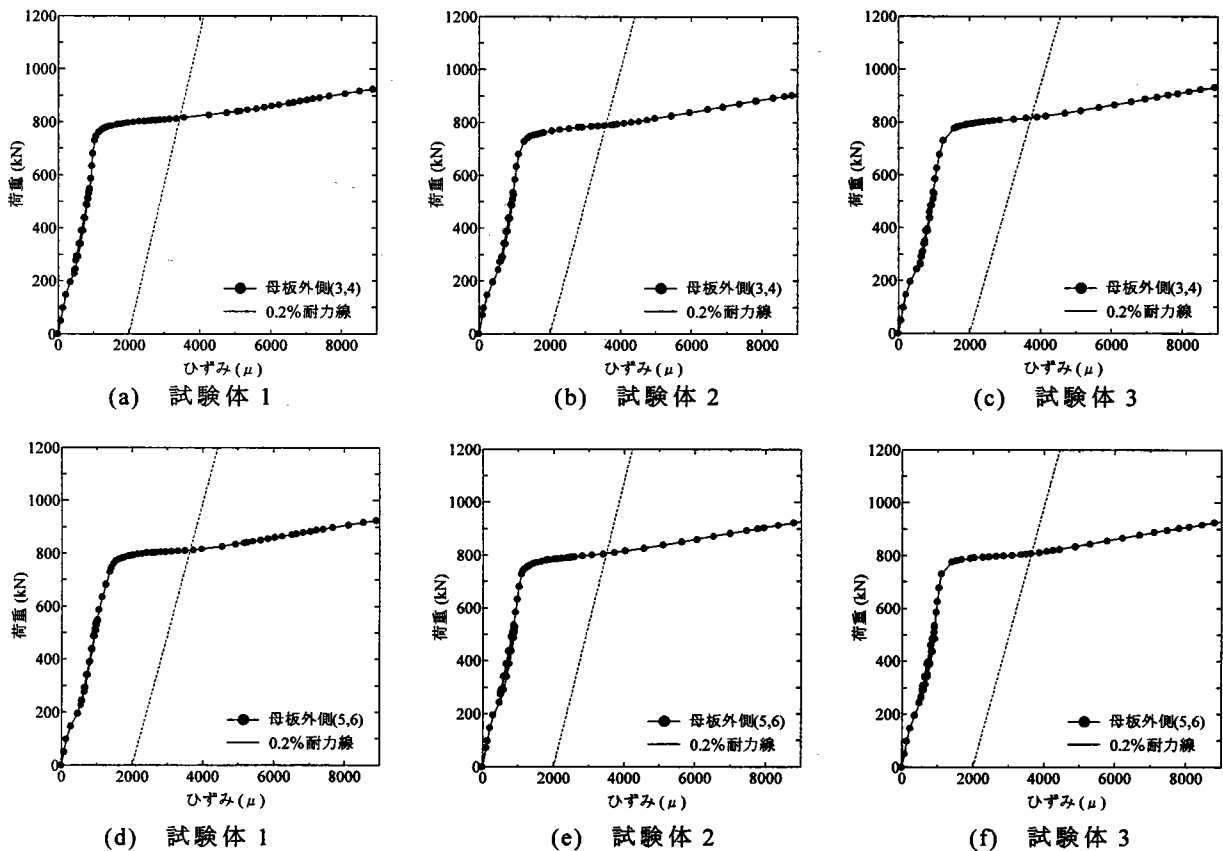
図-3.19 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [高摩擦無機ジンクリッチペイント(標準)]



(a) 試験体 1 (b) 試験体 2 (c) 試験体 3
 図-3.20 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [高摩擦無機ジンクリッチペイント(薄膜)]



(a) 試験体 1 (b) 試験体 2 (c) 試験体 3
 図-3.21 母板一般部の荷重 - ひずみ関係 [母板：高摩擦無機ジンク, 添接板：無機ジンク]



(a) 試験体 1 (b) 試験体 2 (c) 試験体 3
 (d) 試験体 1 (e) 試験体 2 (f) 試験体 3
 図-3.22 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [グリッドブラスト Sa2.5(標準)]

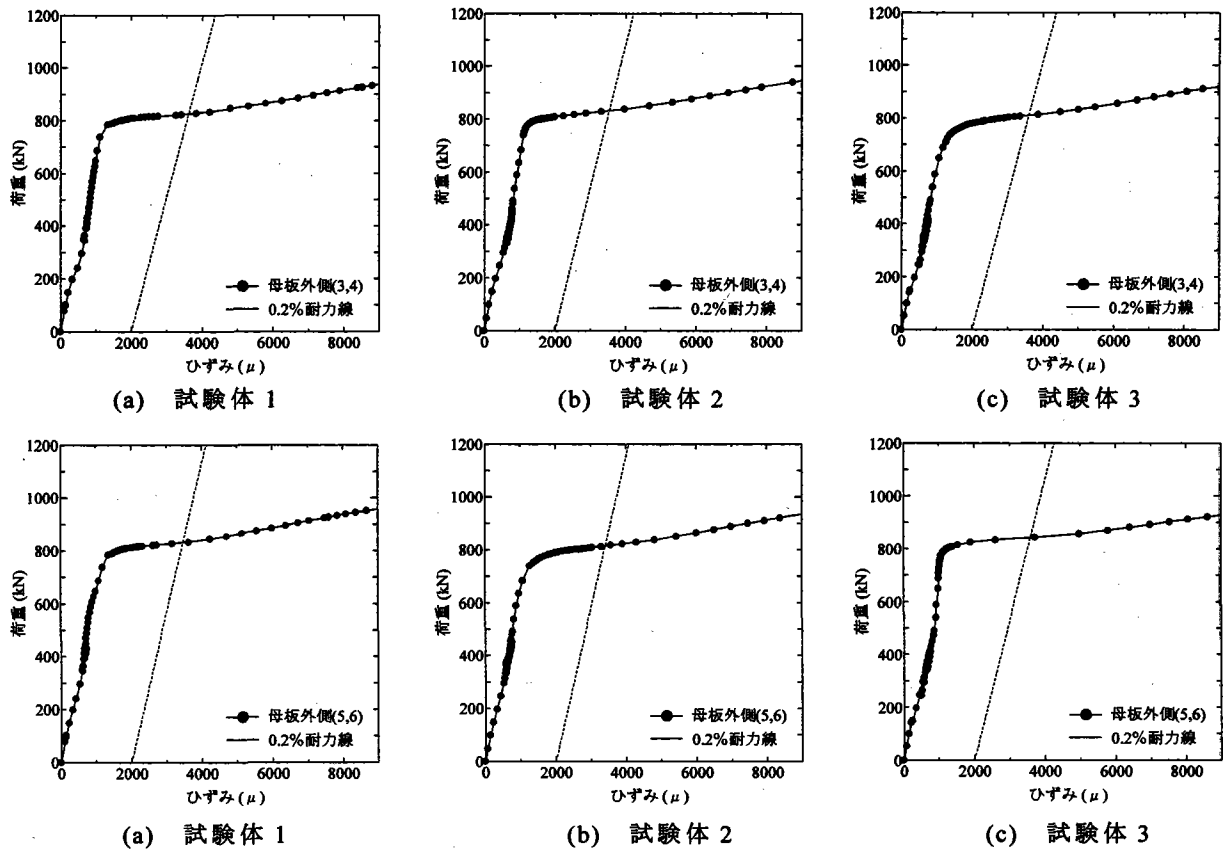


図-3.23 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [グリッドブラスト Sa2(軽い)]

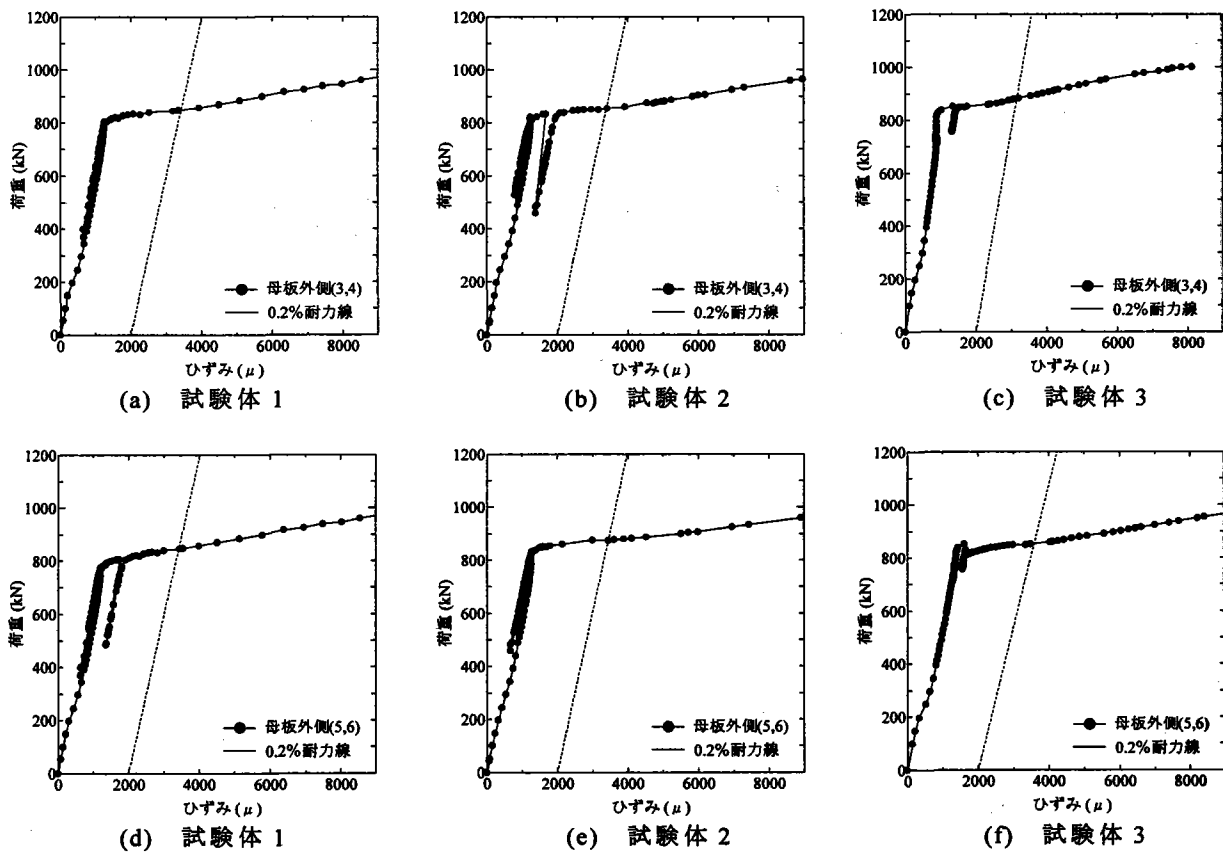


図-3.24 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [赤錆面(1週間海岸部曝露)]

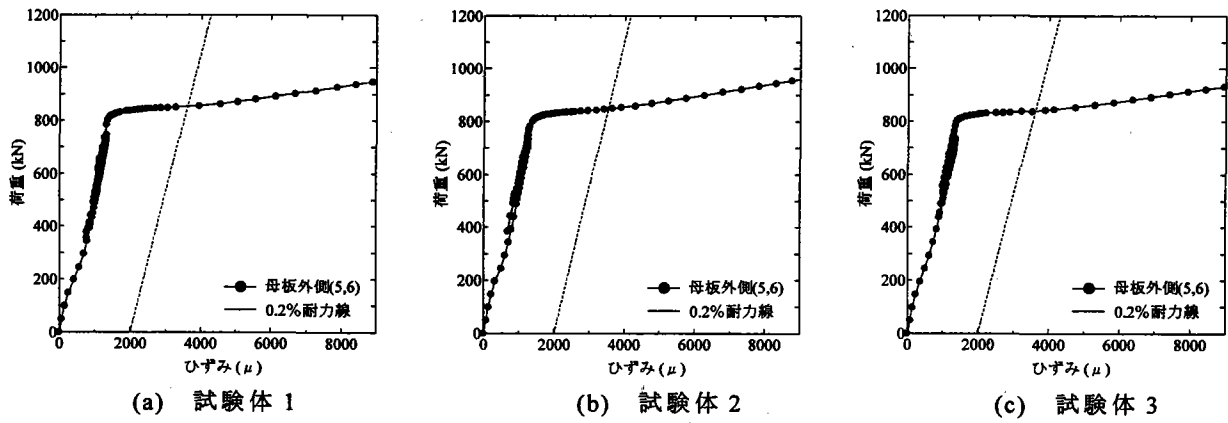
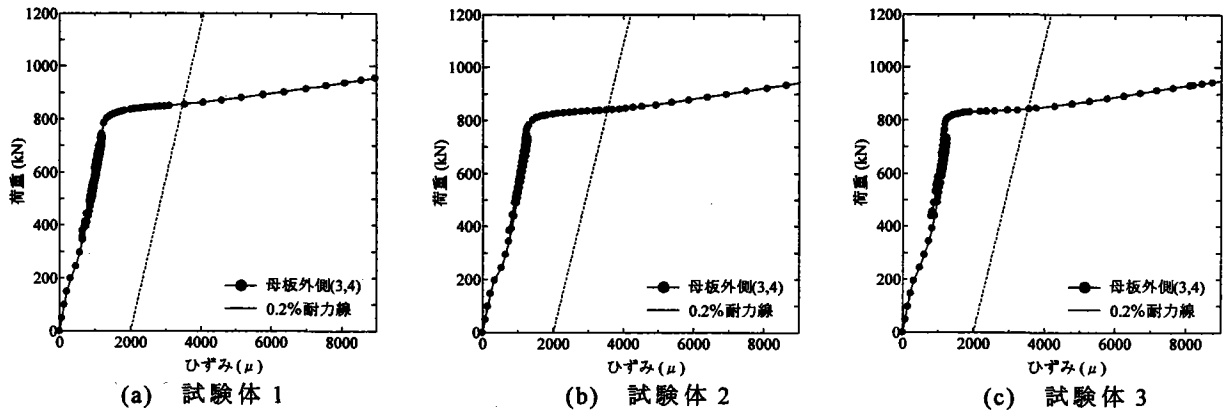


図-3.25 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [無機ジंक(標準)]

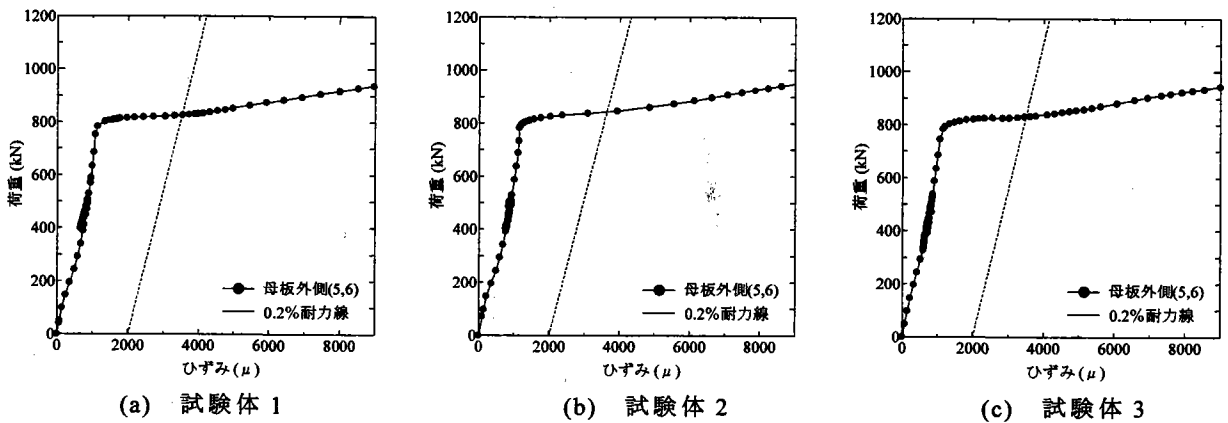
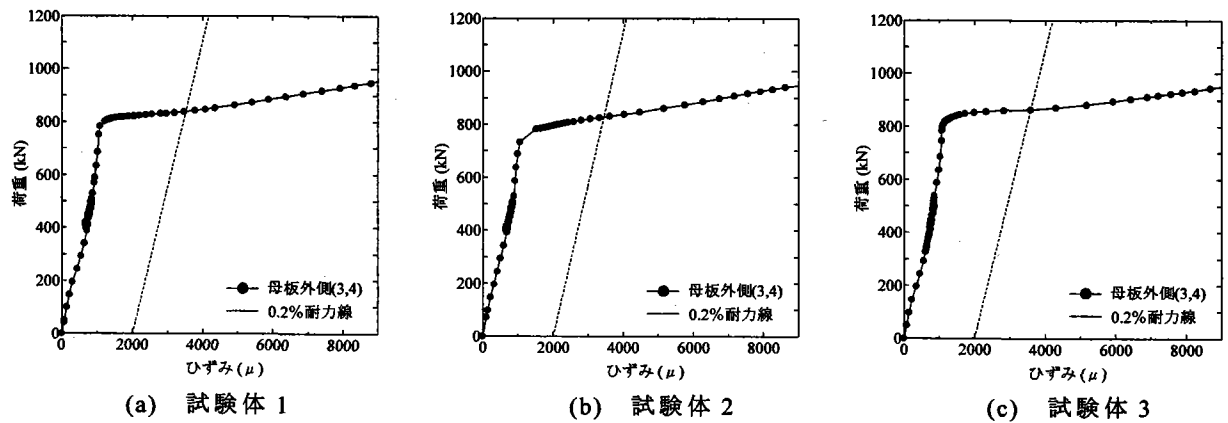
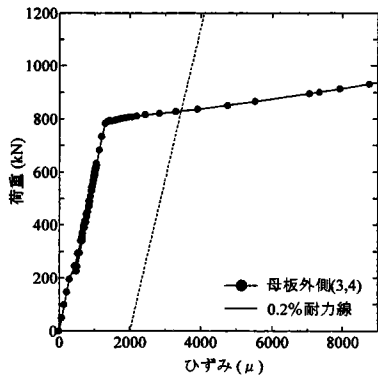
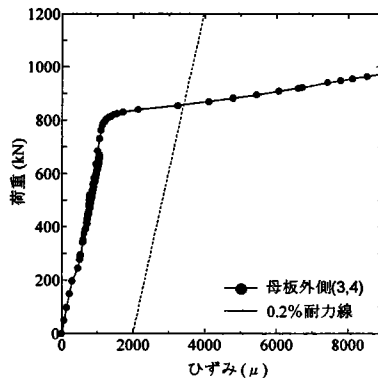


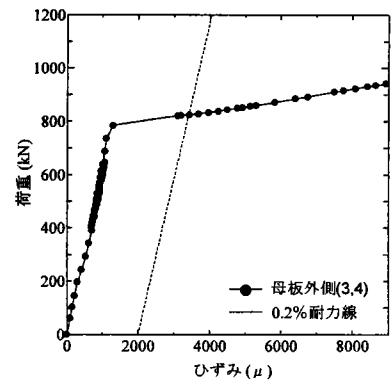
図-3.26 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [無機ジंक(薄膜)]



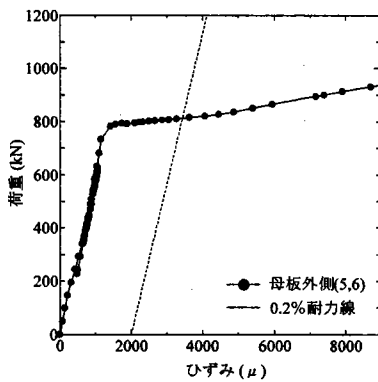
(a) 試験体 1



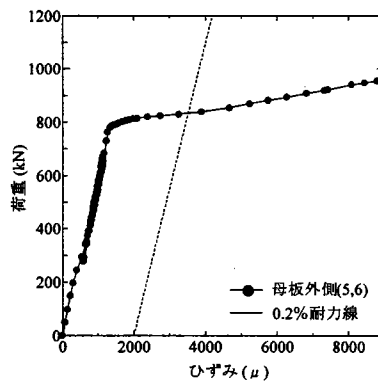
(b) 試験体 2



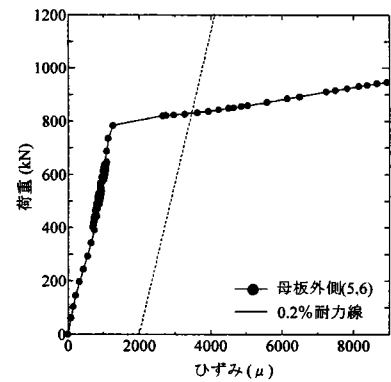
(c) 試験体 3



(a) 試験体 1

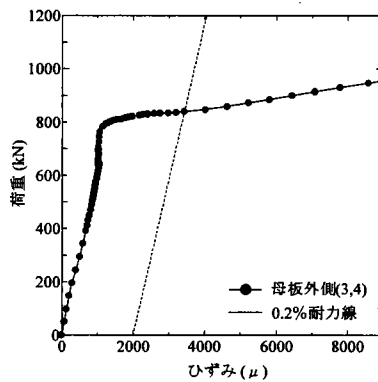


(b) 試験体 2

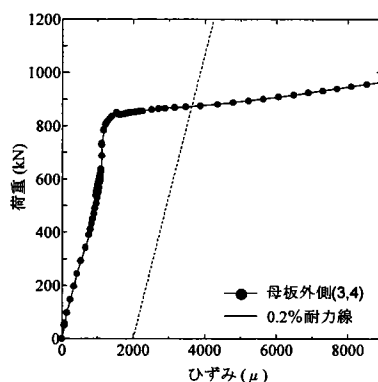


(c) 試験体 3

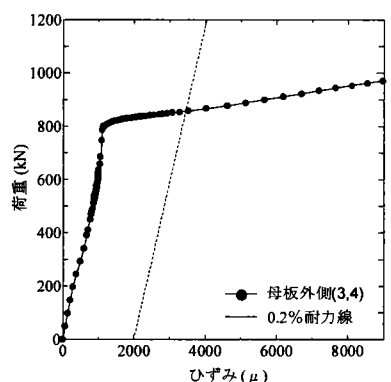
図-3.27 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [無機ジंक(厚膜)]



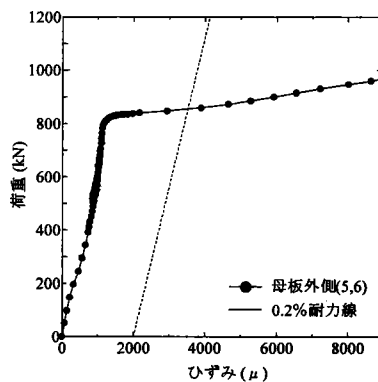
(a) 試験体 1



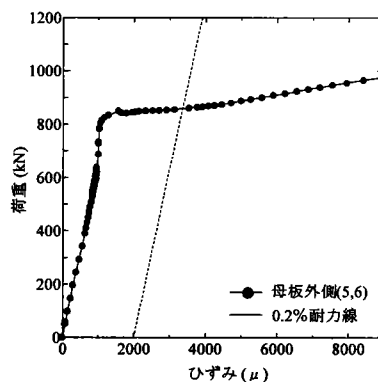
(b) 試験体 2



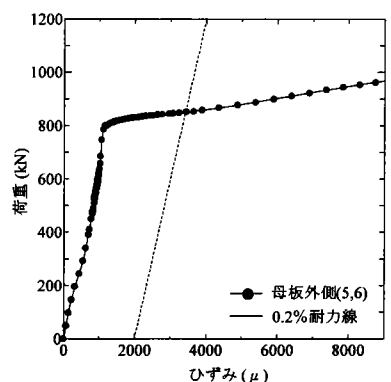
(c) 試験体 3



(d) 試験体 1

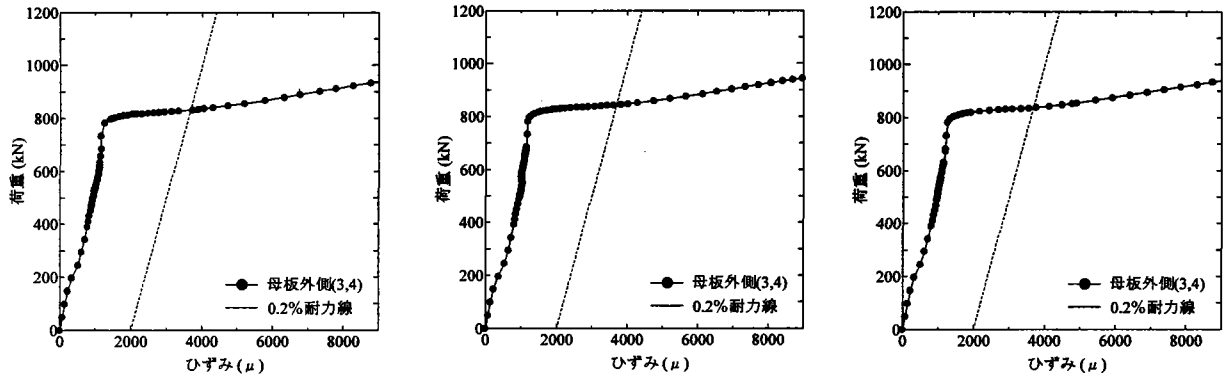


(e) 試験体 2

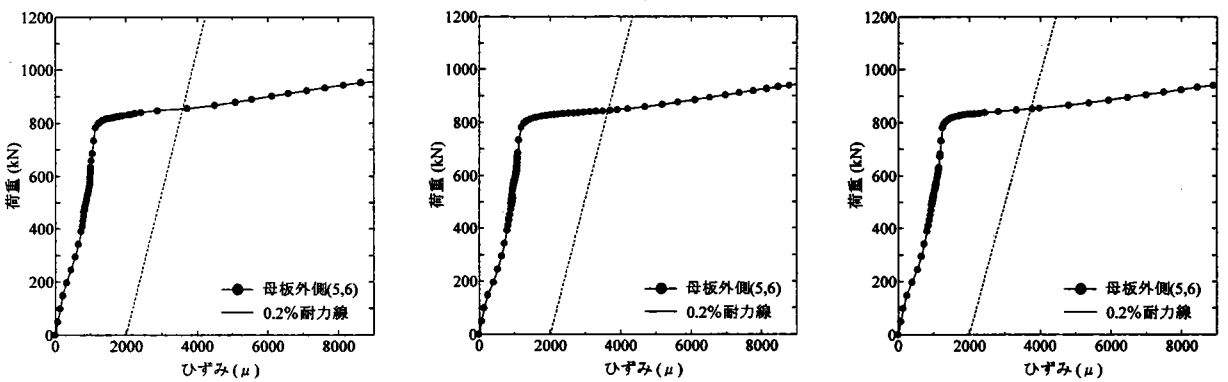


(f) 試験体 3

図-3.28 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [高摩擦有機ジंक(標準)]

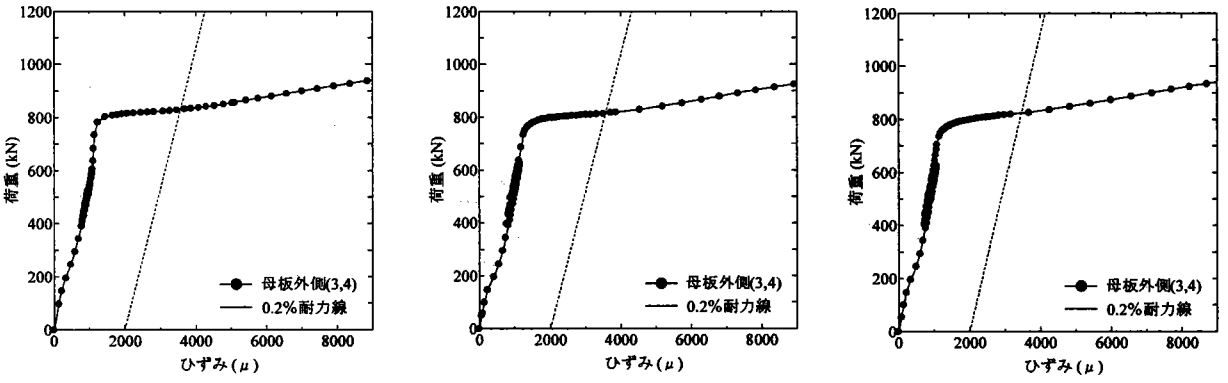


(a) 試験体 1 (b) 試験体 2 (c) 試験体 3

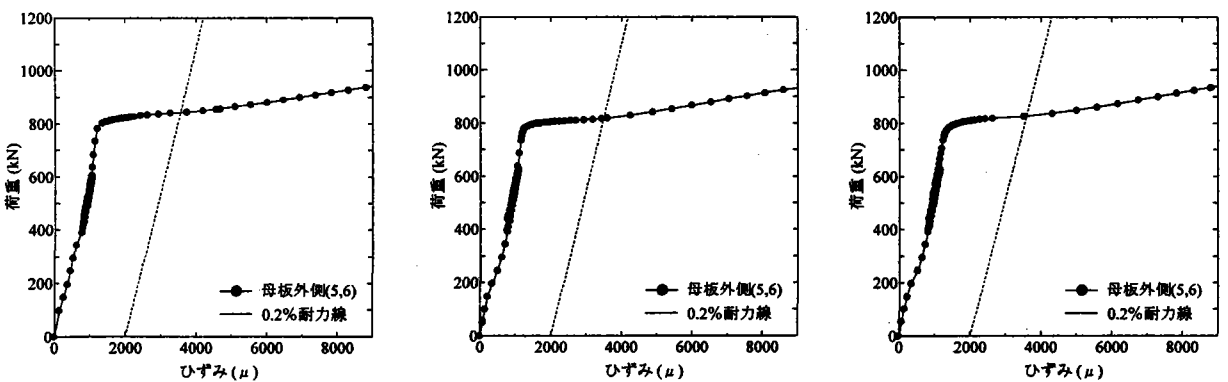


(d) 試験体 1 (e) 試験体 2 (f) 試験体 3

図-3.29 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [高摩擦有機ジンク(薄膜)]

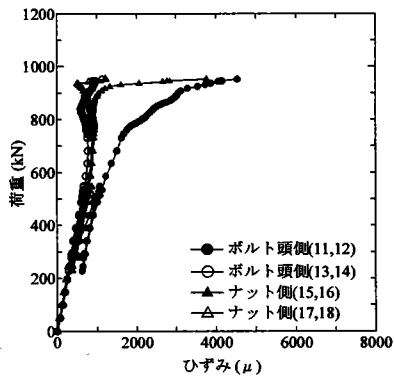


(a) 試験体 1 (b) 試験体 2 (c) 試験体 3

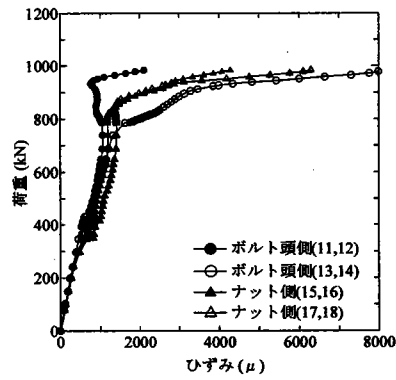


(a) 試験体 1 (b) 試験体 2 (c) 試験体 3

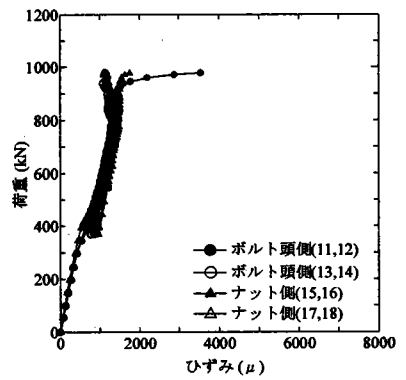
図-3.30 母板外側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係 [高摩擦有機ジンク+無機ジンク]



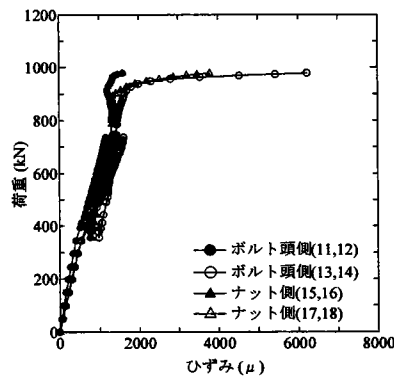
(a) プラスト Sa2.5 (標準)



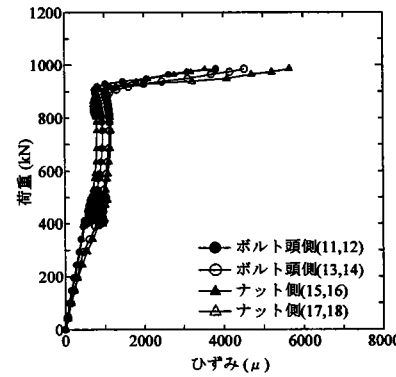
(b) プラスト Sa2 (軽い)



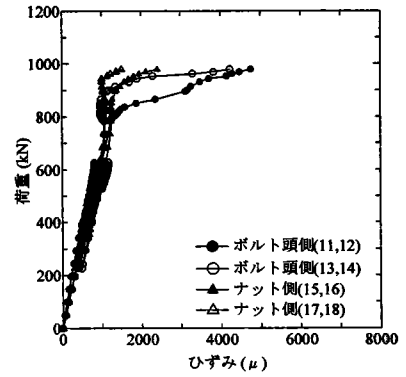
(c) 赤錆面(1週間海岸部曝露)



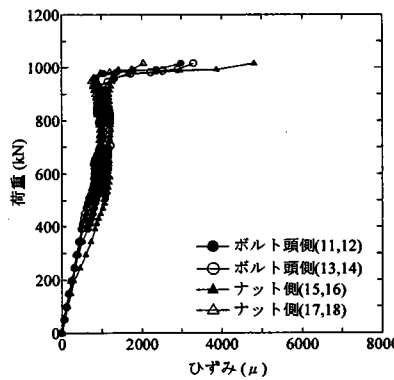
(d) 無機ジंक (標準)



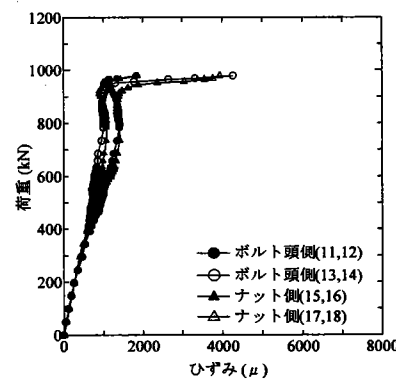
(e) 無機ジंक (薄膜)



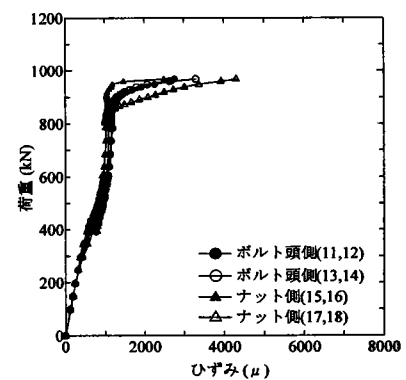
(f) 無機ジंक (厚膜)



(g) 高摩擦有機ジंक標準



(h) 高摩擦有機ジंक(薄膜)



(i) 母板:有機ジंक 添接板:無機ジंक

図-3.31 添接板内側ボルト側面の荷重 - ひずみ関係



写真-3.1 試験機の概観

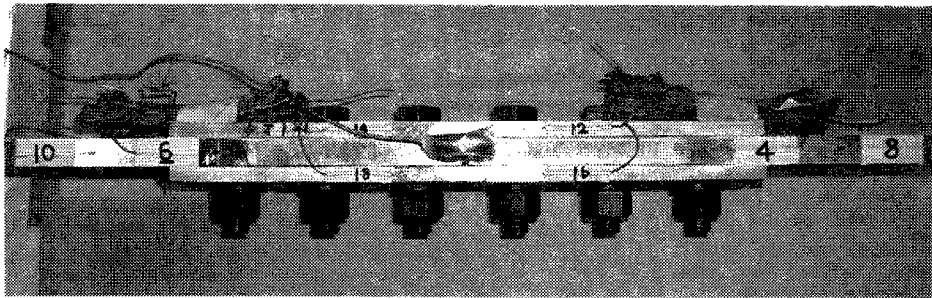


写真-3.2 ひずみゲージの貼付け状況

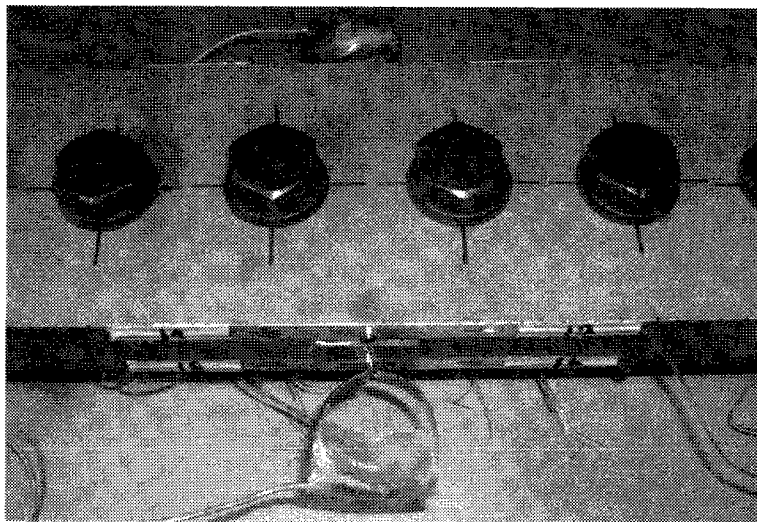
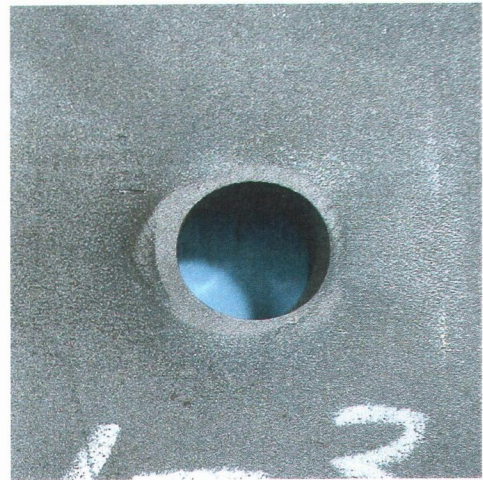
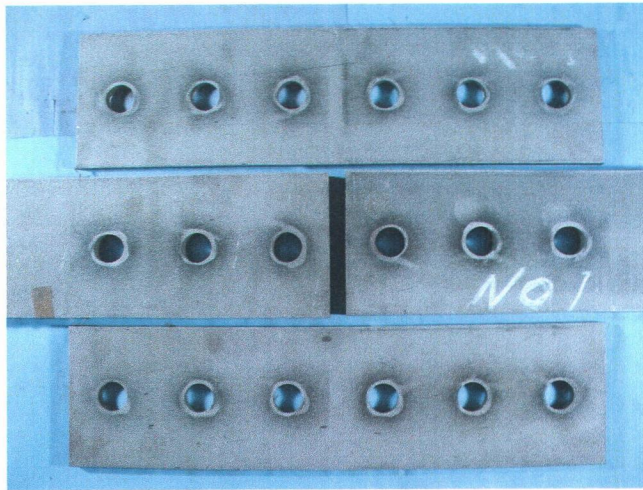
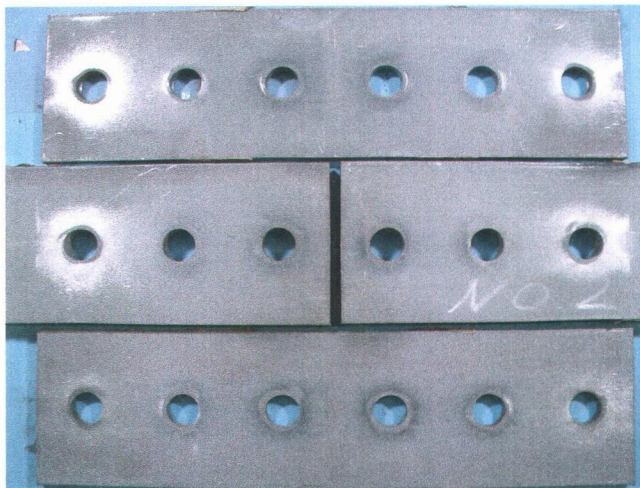


写真-3.3 クリップゲージの設置状況



(a) 全体写真
 写真-3.4 試験後の摩擦面の状況 [ショットブラスト Sa2.5(標準)]

(b) 円孔周辺拡大写真



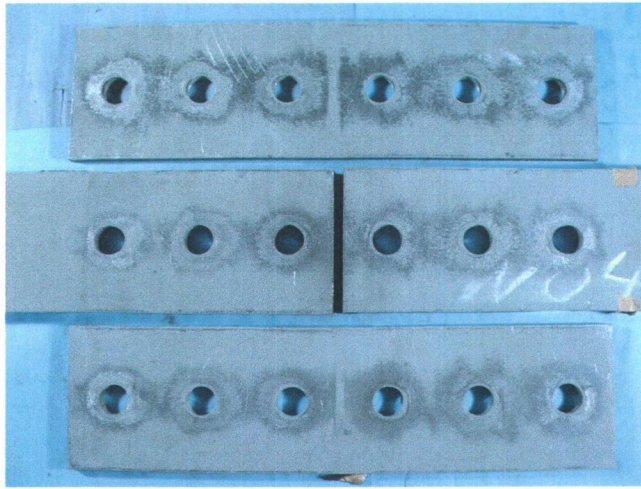
(a) 全体写真
 写真-3.5 試験後の摩擦面の状況 [ショットブラスト Sa2(軽い)]

(b) 円孔周辺拡大写真

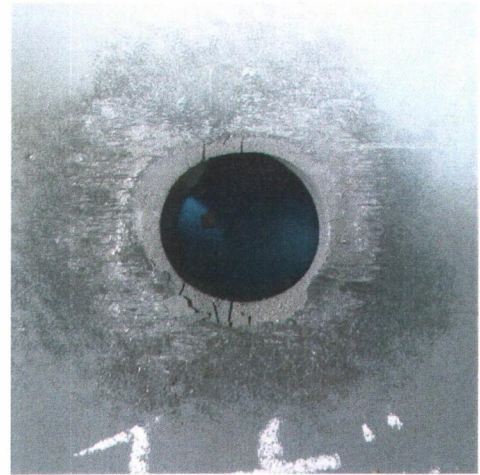


(a) 全体写真
 写真-3.6 試験後の摩擦面の状況 [赤錆面(1週間海岸部曝露)]

(b) 円孔周辺拡大写真

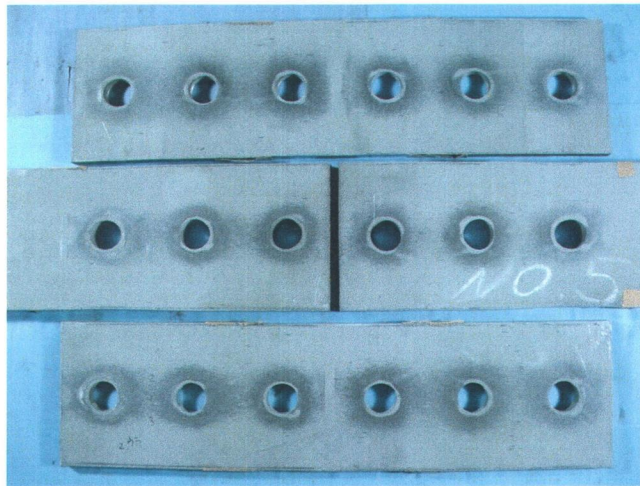


(a) 全体写真



(b) 円孔周辺拡大写真

写真-3.7 試験後の摩擦面の状況 [無機ジंकリッチペイント(標準)]

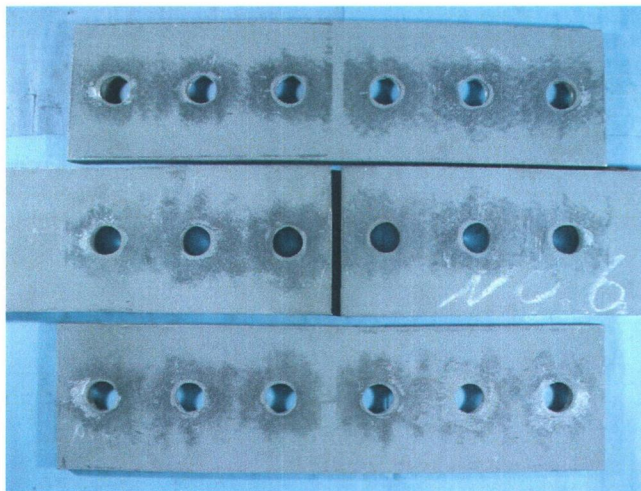


(a) 全体写真

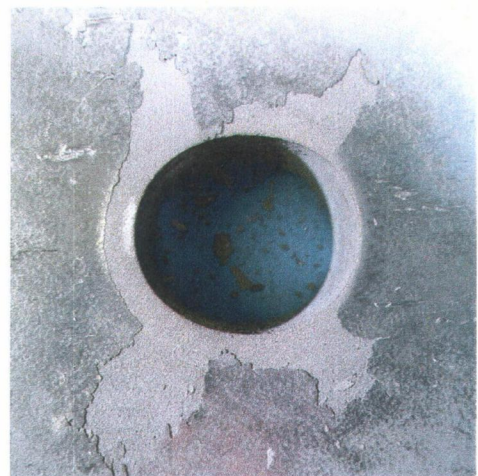


(b) 円孔周辺拡大写真

写真-3.8 試験後の摩擦面の状況 [無機ジंकリッチペイント(薄膜)]

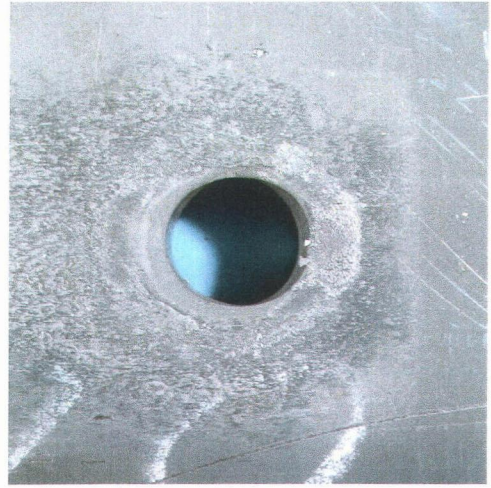
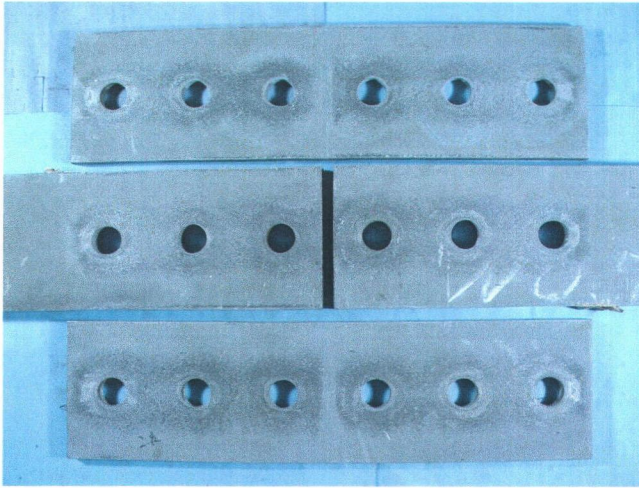


(a) 全体写真



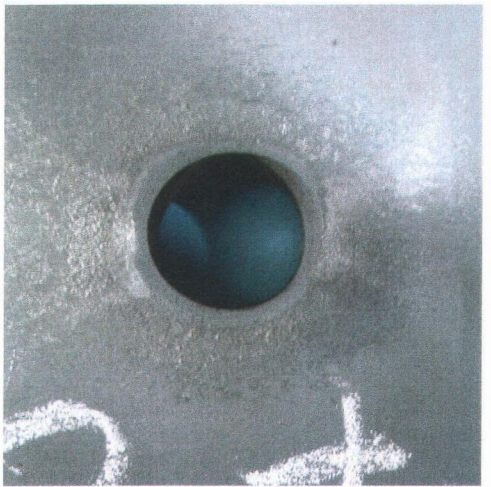
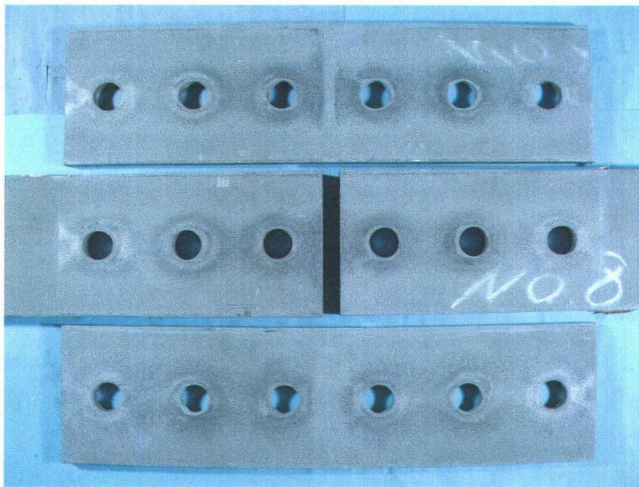
(b) 円孔周辺拡大写真

写真-3.9 試験後の摩擦面の状況 [無機ジंकリッチペイント(厚膜)]



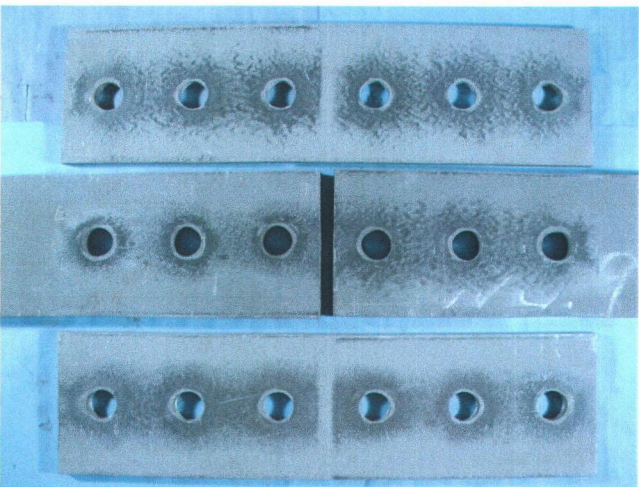
(a) 全体写真
 写真-3.10 試験後の摩擦面の状況 [高摩擦有機ジンクリッチペイント(標準)]

(b) 円孔周辺拡大写真

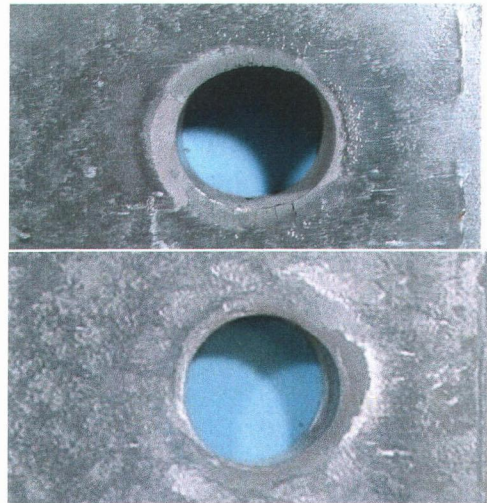


(a) 全体写真
 写真-3.11 試験後の摩擦面の状況 [高摩擦有機ジンクリッチペイント(薄膜)]

(b) 円孔周辺拡大写真



(b) [高摩擦有機ジンク(標準)]



(a) 全体写真

(c) [無機ジンク(標準)]

写真-3.12 試験後の摩擦面の状況 [母板：高摩擦有機ジンク、添接板：無機ジンク]