

金属工事におけるボルト接合部のすべり係数の評価とその適用

SLIP COEFFICIENT OF BOLTED JOINT IN METAL WORK AND ITS APPLICATIONS

黒澤 未來^{*1}, 吉敷 祥一^{*2}, 佐藤 秋雄^{*3}, 巽 信彦^{*4}*Miku KUROSAWA, Shoichi KISHIKI, Akio SATO
and Nobuhiko TATSUMI*

Metal work refers to a series of processes that manufactures and constructs various metal finishing materials. In this paper, three steps of fundamental experiments of bolted joints in metal work were conducted. The test results show that the slotted hole reduces slip coefficient by about 30% and the slip coefficient of the surface treatments for rust and corrosion prevention is about half smaller than that of the surface in high strength bolted friction joints. Furthermore, from the experiments on the examples of metal finishing materials, the structural safety of the bolted joint against external forces was investigated.

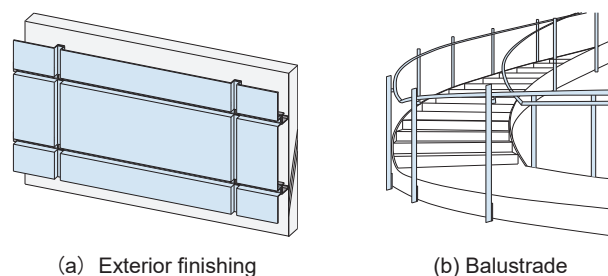
Keywords: Metal work, Slotted hole, Bolted joint, Slip coefficient, Exterior finishing, Balustrade

金属工事, スロット孔, ボルト接合部, すべり係数, 外装仕上げ材, 手すり

1. はじめに

建物の内外部において、各種の金属仕上げ類を施工することを金属工事という。具体的には、床、壁、天井、およびそれらの取り合い部に対して化粧を目的とした表面仕上げ類 (Fig.1 (a)), 空間の遮断や人の転落防止のためのフェンス類や手すり類 (Fig.1 (b)), 開口部において人の転落防止や光の調整を行う面格子類、および設備機器等の点検のために設けられるはしご・キャットウォーク類等がある¹⁾。金属仕上げ類は既製金物と製作金物(オーダー金物)に分類されるが、仕様対象としては既製金物が中心であり、製作金物に対する仕様や安全検証への言及は少ない。

金属仕上げ類を構造躯体に取り付ける際には、主としてボルトやねじによる機械的接合が用いられる。機械的接合には、構造躯体の施工誤差を吸収するためのスロット孔の使用が必須である。また、部材表面には錆や浸食を防ぐための塗装を施すのが通例である。現状ではボルト接合部にて位置決めを行い、固定には現場にて溶接を施している。しかし、溶接後に塗装し直す手間を省き、溶接による火災リスクを抑えるため、近年では非溶接化、すなわちボルト接合のみによる固定に対する要求が高まっている²⁾など。この場合、意匠性や機能性、および構造躯体に対する変形追従等の耐震性を保証する観点から接合部のすべりを防ぐことが重要となるが、金属工事におけるボルト接合部のすべり抵抗に関する定量的な検討はこれまでになされてい



(a) Exterior finishing

(b) Balustrade

Fig.1 Examples of metal finishing materials

建築・土木の分野では、高力ボルト摩擦接合部のすべり抵抗の指標としてすべり係数に関して多くの研究が行われている。ボルト孔にスロット孔や拡大孔を使用すると、正味断面における降伏耐力が低下することで接合部のすべりが早期に発生することが分かっており³⁾⁻⁶⁾など、欧州の基準では、スロット孔および拡大孔に対してすべり係数の低減係数を示している⁷⁾。また、接合面の粗さとすべり係数の間にも相関が認められている⁸⁾⁻¹¹⁾など。特に、北後ら¹⁰⁾は中心線平均粗さ R_{a75} を、森ら¹¹⁾は算術平均粗さ R_a および平均長さ RS_m による R_a^2/RS_m を、それぞれすべり係数の評価に適した粗さパラメータであると指摘している。現在、建築分野では「建築工事標準仕様書JASS6鉄骨工事」¹²⁾にてショットブラストまたはグリットブラストによる摩擦面の最大高さ粗さに $50\mu mR_c$ 以上を求め、0.45以上のすべり係数の確保を期

^{*1} 日本学術振興会 特別研究員・修士 (工学)
(東京工業大学大学院 博士後期課程)

^{*2} 東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所
教授・博士 (工学)

^{*3} 菊川工業

^{*4} 東京工業大学科学技術創成研究院未来産業技術研究所
助教・博士 (工学)

JSPS Research Fellow, M.Eng. (Doctoral Student, Tokyo Institute of Technology)

Prof. F.I.R.S.T., I.I.R., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

Kikukawa Kogyo

Assist. Prof. F.I.R.S.T., I.I.R., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

本研究では、金属工において溶接工程を省略したボルト接合部のすべり係数を把握するとともに、実際の金属仕上げ類に対する適用可能性を確認する。本論文ではまず、金属仕上げ類に特有なスロット孔や防錆・防食塗料を使用したボルト接合部の実験から、高力ボルト摩擦接合部と比較したすべり係数の位置づけを確認する。次いで、ボルト接合部の具体的な適用例である外装仕上げ材(以下、外装材、Exterior finishing)の取り付け部と手すり(Balustrade)の取り付け部を対象とした構造実験を実施し、外装材に作用する風圧力と手すりに作用する人的外力に対するボルト接合部の安全性を検討する。

2. すべり係数評価試験の計画

本章では、金属工におけるボルト接合部のすべり係数を評価するための実験計画について述べる。

2.1 試験体の概要

試験体の寸法をTable1およびFig.2に示す。試験体は、金属工事への採用を想定したボルト接合部である。ボルト接合部は、母材(Inner pl.)と2枚の添板(Outer pl.)、および両者を締め付けるボルトによって構成される。母材の板厚は12mm、添板の板厚は6mmであり、幅は共通して65mmとしている。これらの寸法は、「鋼構造接合部設計指針」¹³⁾におけるすべり係数評価試験を参考に、部材の正味断面に基づく降伏耐力に対する予測すべり荷重の比が1.0以下になるように決定した。ただし、予測すべり荷重はすべり係数を0.6、初期導入張力を標準ボルト張力として算出している。母材と添板の材質は、非構造部材を想定して一般構造用鋼板(SS400)またはオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)を用いる。試験体に使用した母材および添板について、JIS-1A号引張試験片より得られた材料特性をTable2に示す。なお、使用するボルトは溶融亜鉛めっき高力ボルト(M12(F8T)、首下長さ50mm)としている。

2.2 実験パラメータ

実験パラメータは、ボルト接合部の表面処理の種類とボルト孔形状、およびボルトの導入張力とする。表面処理は、金属工において一般的である(i)溶融亜鉛めっき2種40(HDZ)、(ii)溶融亜鉛めっき2種40とリン酸塩処理(HDZP)、(iii)電気亜鉛めっき3級の有色クロメート処理2級(EP)、(iv)電気亜鉛めっき3級の有色クロメート処理2級と一液形変性エポキシ樹脂錆止めペイント(EPJP)、(v)ステンレスの梨地(SUS)の5種類とする。

ボルト孔形状は、Table1に示す6種類である。まず、(a)Type1は「鋼構造接合部設計指針」¹³⁾に記載の試験体と同形状であり、標準試験体として全ての表面処理において用意し、すべり係数の基準値の算出

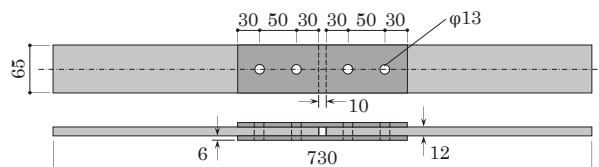


Fig.2 Dimensions of standard specimen (Type1)

Table2 Mechanical properties of specimens in chapter2 and 3

	Thickness [mm]	σ_y [N/mm ²]	σ_u [N/mm ²]	Y.R. [%]	ϵ_u [%]
SS400	12	294	453	65	29
	6	288	424	68	28
SUS304	12	275	647	43	51
	6	269	667	40	50

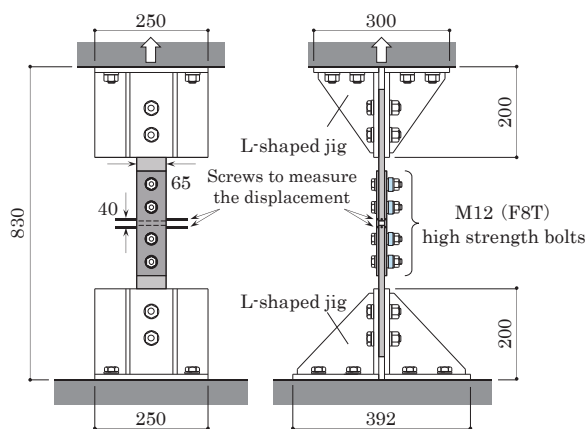


Fig.3 Setup of slip coefficient evaluation test

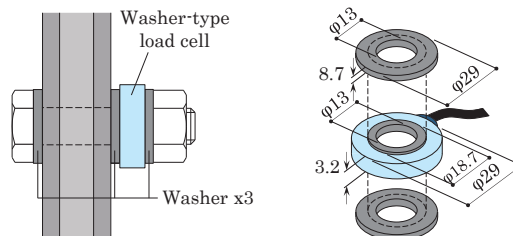


Fig.4 How to measure axial force of bolts

Table1 Specimen list in chapter2 and 3

Surface treatment	The shape of bolt holes					
	(a) Type1	(b) Type2	(c) Type3	(d) Type4	(e) Type5	(f) Type6
	Outer pl. : round x2 Inner pl. : round x2	round round	vertical slot round	horizontal slot round	vertical slot horizontal slot	horizontal slot vertical slot
(i) Hot dip galvanizing (HDZ)	5	5	5	5	5	5
(ii) Hot dip galvanizing with phosphate coating (HDZP)	5	—	—	—	5	5
(iii) Electroplated zinc colored chromate coating (EP)	5	—	—	—	5	5
(iv) Electroplated zinc colored chromate coating with rust resisting paint (EPJP)	5	—	—	—	5	5
(v) Satin finished design coating of stainless steel (SUS)	5	—	—	—	5	5

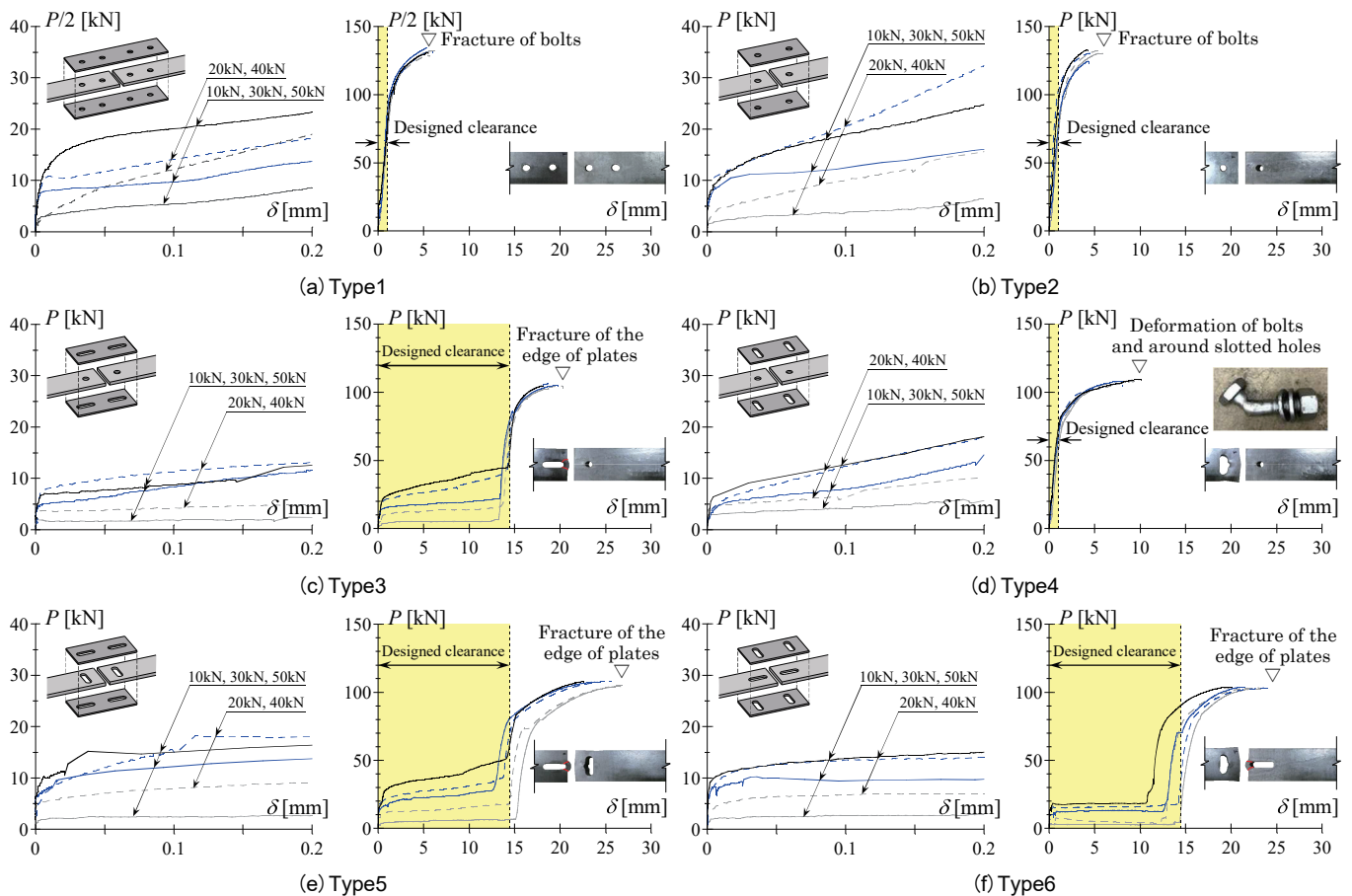


Fig.5 Load and deformation relation of slip coefficient evaluation test (in case of HDZ)

に用いる。これに対して、金属工事に用いるボルト接合部においては、応力方向のボルト本数を1本とすることが多く、かつ応力方向および応力直交方向にスロット孔を設ける。ここで、応力方向にスロット孔長径を設けたものを縦スロット孔、応力直交方向にスロット孔長径を設けたものを横スロット孔と呼ぶ。スロット孔の長径は「鋼構造接合部設計指針」¹³⁾において提示されている $2.5d$ (d はボルトの呼び径)よりさらに大きく、躯体の施工誤差を $\pm 15\text{mm}$ 程度吸収できる $3d$ 以上となっている。上記の影響を検証するため、(b) Type2では応力方向のボルト本数を1本とし、(c) Type3および(d) Type4では添板のボルト孔をスロット孔とする。最後に金属工事における実接合部の形状を想定して、添板と母材に直交するスロット孔を設けた(e) Type5と(f) Type6を用意する。なお、Type2~Type4は溶融亜鉛めっき処理のみを用意する。

上述した表面処理とボルト孔形状の各組合せにつきボルトの初期導入張力を10kN, 20kN, 30kN, 40kN, 50kNに設定した5種類の試験体を用意し、実験を行った。これは、金属工事におけるボルト接合部では張力管理がほとんど行われていないことを勘案したものである。すなわち、高力ボルト(M12(F8T))の標準ボルト張力50.4kNを上限として幅広く設定し、導入張力の違いによる影響を確認する。

2.3 荷重方法

試験体のセットアップをFig.3に示す。試験体は、上下それぞれをスチフナ付きL字形治具(L-shaped jig)によって挟み込み、試験機に固定する。スチフナ付きL字形治具と試験体は、試験体より高強度かつ太径の高力ボルト(M16(F10T))による摩擦接合とし、試験部分より

先にすべりが生じないように設計する。また、上下の治具はそれぞれ高力ボルト(M20(F10T))により試験機に引張接合している。

試験体のセットアップは、まず2枚の母材をそれぞれスチフナ付きL字形治具に接合し、試験機に固定した後に実験対象であるボルト接合部の締め付けを行う。なお、本実験では計測機器等の制限からボルトのリラクセーションは考慮せず、締め付けから10分程度で荷重を開始した。実験は単調引張荷重とし、ボルト接合部がすべり出し、最大耐力後の耐力低下が確認できるまで行う。荷重速度はすべり量0.2mmまでは0.1mm/minとし、それ以降は2.0mm/minとする。

2.4 計測計画

2.4.1 表面粗さ

実験に先立ち、まず試験体の表面粗さの測定を行った。表面粗さは、触針式粗さ測定器を用いて最大高さ粗さ R_z を測定する。測定は、母材の両面と添板の片面(母材との接触面)においてボルト孔周りの3箇所、1試験体当たり合計12箇所について行った。

2.4.2 すべり係数

実験中は、試験機に組み込まれたロードセルにより軸方向力 P を得る。また、母材および添板の側面には、それぞれ試験体の中央から20mmの位置に計測用ねじ棒を合計12箇所設置する(Fig.3)。設置したねじ棒に対して、母材側に変位計を、添板側にターゲットを取り付けて計測した母材と添板の相対変位の平均値からすべり量 δ を得る。また、母材と添板を接合する段階からボルトの導入張力をFig.4に示すワッシャー形ロードセルにより計測する。すべり係数 μ は、実験によって得られたすべり耐力 P_s を用いて次式により算出する。

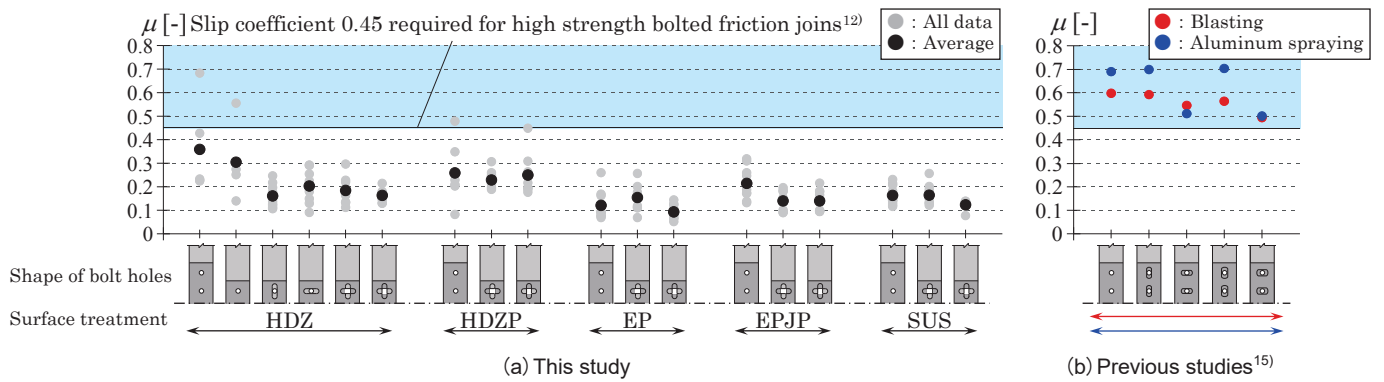


Fig.6 Slip coefficient obtained from slip coefficient evaluation test

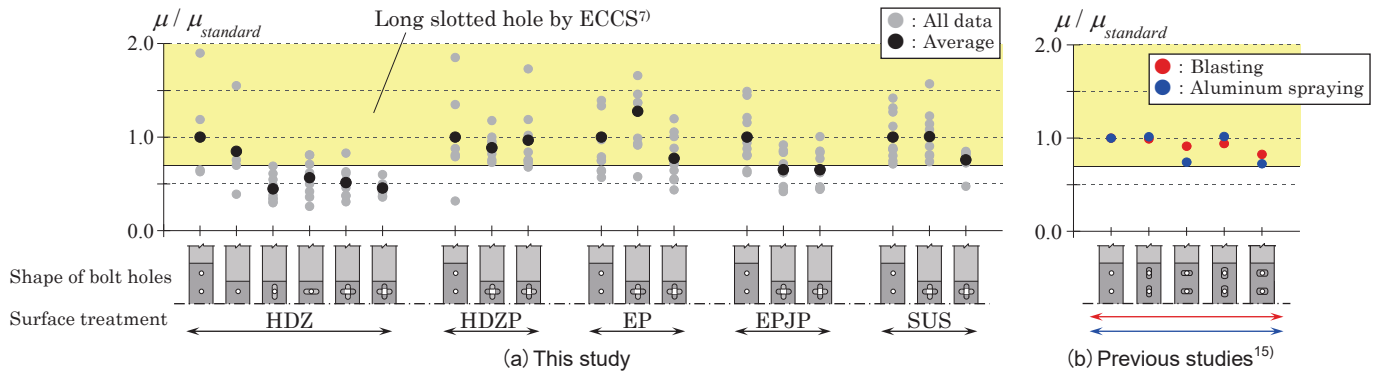


Fig.7 The value standardized by μ of standard specimen Type1

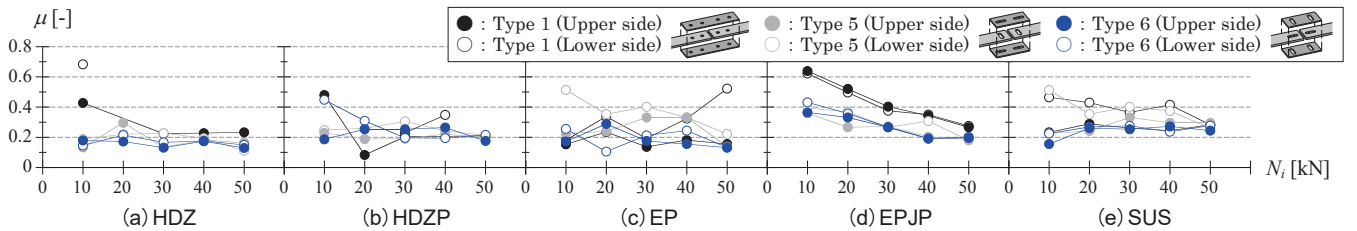


Fig.8 Slip coefficient and initial tension

$$\mu = \frac{P_s}{m \cdot \sum N_i} \quad (1)$$

ここで、すべり耐力 P_s は「鋼構造接合部設計指針」¹³⁾に倣って決定する。すなわち、すべり量が0.2mmに達するまでに明瞭な主すべりなどによって最大の荷重が得られた場合はその荷重とし、明瞭な主すべりが生じなかった場合はすべり量0.2mmに対応する荷重としている。 $N_i (i=1, 2)$ はボルトの初期導入張力であり、締め付け終了時の計測値である。 m は摩擦面の数であり、本実験では2である。

3. すべり係数評価試験の結果

3.1 荷重変形関係と最終破壊状況

ボルト孔形状ごとの荷重変形関係を、表面処理が溶融亜鉛めっき(HDZ)の場合を例にFig.5に示す。図の縦軸はボルト1本あたりの軸方向力 P/n (n は片側接合部の応力方向に配置されたボルト本数)であり、横軸はすべり量 δ である。また、線種によってボルトの導入軸力を区別している。各図の左側には、すべり耐力を評価するすべり量0.2mmまでの結果を示している。

標準試験体であるType1とボルト本数が1本であるType2では、ボ

ルト孔形状が丸孔であり、かつ孔周りにめっきが附着しているためにすべり量1mm以下でボルトが支圧状態に移行したことが推測され、耐力が上昇し続けている。なお、溶融亜鉛めっきを施した試験体(HDZ, HDZP)のうち、すべり量0.2mm以下で支圧剛性を発揮したと考えられる試験体は、結果から除いている¹⁴⁾。これに対して、添板のみが縦スロット孔であるType3では、15mm程度のすべり量まで荷重をほぼ一定に維持したまま変形が進み、その後支圧状態に移行している。また、添板のみが横スロット孔であるType4は、支圧状態に移行するまでのすべり量は丸孔のType1やType2とほとんど変わらないが、支圧状態に移行してから破断に至るまでの変形量が他と比較して大きい。横スロット孔と縦スロット孔を組み合わせたType5とType6では、ボルトの支圧状態に移行するまではType3と、支圧状態に移行した後はType4と同様の挙動を示している。最終的には、ボルト孔形状が丸孔であるType1とType2はボルトのせん断破断に、縦スロット孔を含むType3, Type5, Type6では縦スロット孔のはしめけ破断に至った。一方、横スロット孔と丸孔を組み合わせたType4では、横スロット孔の添板端部の著しい変形(はしめけ)とボルトの曲げ変形が確認された。

3.2 すべり係数とボルト孔形状

表面処理とボルト孔形状の組合せごとのすべり係数をFig.6に示す。図には、(a)本実験結果と、(b)スロット孔を用いた高力ボルト摩擦接合部における実験結果¹⁰⁾を示す。図の縦軸はすべり係数であり、横軸はボルト孔形状である。また、表面処理ごとにすべり係数を標準試験体のすべり係数で除して基準化した値をFig.7に示す。図には、文献7)に規定される、標準孔のすべり係数に対する長スロット孔(ボルト孔の長径が呼び径の2.5倍以下)のすべり係数の比率を黄色の範囲で示している。

まず、(a)本実験結果について述べる。一般に、高力ボルト摩擦接合部において要求されるすべり係数は0.45以上¹²⁾であるのに対して、実験結果のほとんどがその範囲を下回っている。溶融亜鉛めっき(HDZ)においてボルト孔形状の違いを比較すると、標準試験体からボルト本数を1本にしたType2では、すべり係数が標準試験体に比べて2割程度低下している。添板あるいは添板と母材の両方にスロット孔を設けたボルト孔形状に関しては、すべり係数がさらに低下している。この傾向は、電気亜鉛めっき(EP)の一部の結果を除けば、表面処理の違いによらず同様である。なお、文献7)ではスロット孔を母材に設けた接合部が対象であり、本実験にて扱うType3~Type6は対象ではないが、一部の試験体では同等の低下率が得られた。

次いで(b)既往の実験結果をみると、すべり係数はすべて0.5以上を確保しており、スロット孔におけるすべり係数は3割以上低下していることが分かる。(a)本実験結果と(b)既往の実験結果を比較すると、金属工事におけるボルト接合部のすべり係数はばらつきが大きい、平均値をみると高力ボルト摩擦接合部の半分程度である。一方、スロット孔におけるすべり係数の低下率は高力ボルト摩擦接合部と大差はないことが分かる。

3.3 導入張力の影響

ボルトの導入張力とすべり係数の関係を表面処理ごとにFig.8に示す。図の縦軸は、表面処理ごとの実験結果であり、横軸はボルトの初

期導入張力 N_i である。また、線の色によって試験体形状を区別している。実験から得られたすべり係数は前述したようにばらつきが大きいことを考慮すると、本実験の範囲において初期導入張力によるすべり係数への影響は小さいといえる。一方、ボルトの導入張力は、ボルトの締め付け時から荷重開始時まで0~3%程度低下し、すべり耐力の到達時まで0~40%程度低下している。本実験では安定させていない締め付け直後からの導入張力の低下がすべり係数のばらつきの一因として考えられる。

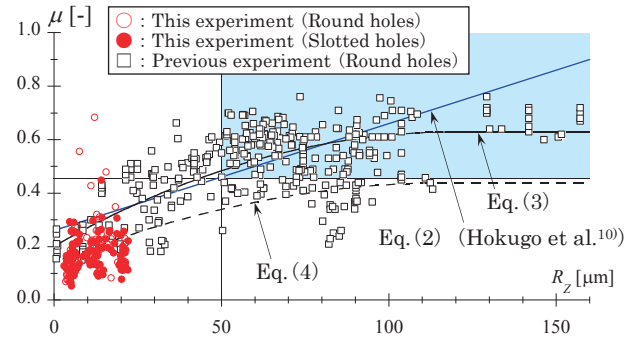
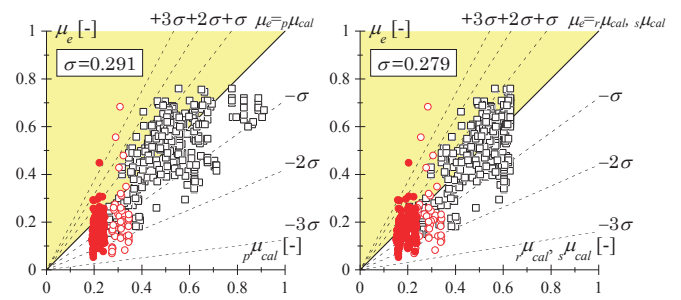


Fig.9 Slip coefficient and surface roughness



(a) Previous regression Eq. (2)

(b) Proposed Eq. (3), (4)

Fig.10 Comparison of experimental and calculated slip coefficient

Table 3 Previous studies on slip coefficient and surface roughness

Year No.	Authors	Surface treatment	Evaluation index of surface roughness	Nominal diameter of bolt	Type of steel	Number of data	$\frac{cal P_s / cal P_y}{R_z} \mu$		
							(Upper row: minimum, Lower row: maximum)		
1987 9)	Wakiyama et al.	Grit blasting, Sand blasting, Sandpaper	R_{max}, R_a	M16 (F10T)	SS41, SM50	23	0.09	0.647	0.16
1996 10)	Kamura and Hokugo	Grinding, Grit blasting, Shot blasting	R_{max}, R_z, R_a	M20 (F10T)	SS400	30	0.8	37.9	0.37
2011 11)	Mori et al.	Blasting	R_z, R_a, R_{zjis}	M22 (F10T)	SM490	98	0.54	8.6	0.17
1990 16)	Noguchi et al.	Grinding, Grit blasting, Shot blasting	R_{max}, R_z, R_a	M20 (F10T)	SS41, SM50	60	0.8	29.9	0.34
1995 17)	Tsujioka	Shot blasting	R_{max}, R_z, R_a	M16 (F10T)	SS400	24	0.85	29.2	0.29
1996 18)	Kamura and Hokugo	Grit blasting, Shot blasting	R_{max}, R_z, R_a	M20 (F10T)	SS400	18	0.8	50.1	0.45
1999 19)	Kohashi and Satou	Blasting, Hot dip galvanizing (phosphate)	R_y	M16, M20, M24 (F8T, HDZ)	SS400	18	0.74	21.4	0.50
2008 20)	Mori et al.	Shot blasting, Inorganic zinc rich paint, Organic	R_a	M22 (F10T)	SM490	44	0.58	(53.3)	0.34
2011 21)	Kuwahara et al.	Grit blasting, Shot blasting	R_z, RS_m	M22 (S10T, S14T)	Ultra high strength steel,	34	0.29	29.1	0.42
2014 22)	Tamba et al.	Blasting, Inorganic zinc rich paint	R_z, R_a, R_{zjis}	M22 (F10T)	SS400	30	0.54	84.4	0.71
2015 23)	Yagihashi et al.	Grinding, Sand blasting, Belt sander	R_z, R_{zjis}, R_q	M16 (F10T)	SUS329J4L	24	0.5	6.3	0.19
2016 24)	Ikeda et al.	Grinding (Hot dip galvanizing)	R_{zjis}	M16, M20 (F8T, HDZ)	SS400	6	0.58	(7)	0.15
							0.72	(100.9)	0.76
							0.58	(23.6)	0.30
							0.72	(28.4)	0.43

The parameter shown in red were used to evaluate the maximum height roughness. R_z in parentheses is obtained using the conversion formula in 11).

※Slip coefficient for design 0.45 is used¹²⁾.

3.4 表面粗さの影響

すべり係数と表面粗さの関係をFig.9に示す。図の縦軸はすべり係数 μ であり、横軸は最大高さ粗さ R_z である。○は標準孔を用いた本実験結果(Type1およびType2)であり、●はスロット孔を用いた本実験結果(Type3~Type6)である。また、標準孔を用いた高力ボルト摩擦接合部のすべり係数に関する既往の実験結果^{9)~11),16)~24)}(Table3)を□で示す。なお、既往の実験結果においては複数の粗さパラメータが混在しているが、各パラメータ間には高い相関がある¹¹⁾ことから、Table3中に赤字にて示した粗さパラメータを最大高さ粗さ R_z に換算している。一般に鋼構造部材に求められるすべり係数0.45、およびブラスト処理面に期待される最大高さ粗さ $50\mu\text{m}$ ¹²⁾を満たす範囲を水色で示すと、本実験結果のほとんどがすべり係数と最大高さ粗さのいずれにおいても上記の規定値の半分以下であることが分かる。

ここで、北後ら¹⁰⁾により錆のない接合面に対して提案されているすべり係数 μ_{cal} の回帰式((2)式)を青色の直線で図中に示す。

$$\mu_{cal} = 0.004R_z + 0.260 \quad (2)$$

(2)式によると、最大高さ粗さが $50\mu\text{m}$ のときに0.46のすべり係数が確保されることになり、高力ボルト摩擦接合部のすべり耐力を評価する上で有用である。ここで、本実験結果のほとんどが(2)式によるすべり係数を大きく下回っていること、かつ既往研究におけるすべり係数が最大高さ粗さ $100\mu\text{m}$ を越えた辺りから頭打ちになっていることを考慮して、標準孔の試験体を対象に最小二乗法による2次多項式の近似を行った。算出した(3)式を黒色の実線で、さらに(3)式に対してすべり係数を3割低下させた(4)式を黒色の破線で図中に示す。ただし、(3)式において最大高さ粗さが $120\mu\text{m}$ に達した時点で一定の値を保つように修正した。

$$\mu_{cal} = \begin{cases} -2.98 \times 10^{-5} R_z^2 + 7.14 \times 10^{-3} R_z + 0.201 & (0 \leq R_z \leq 120) \\ 0.629 & (120 < R_z) \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{cal} = 0.7 \mu_{cal} \quad (4)$$

すべり係数の実験値と計算値の関係をFig.10に示す。図の縦軸は実験値 μ_e であり、(a)の横軸は(2)式によって評価したすべり係数 μ_{cal} 、

(b)の横軸は(3)式、(4)式によって評価したすべり係数 $r\mu_{cal}$ 、 $s\mu_{cal}$ である。図には、すべり係数の計算値に対する実験値から求めた標準偏差 $\pm\sigma$ 、 $\pm 2\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$ を破線で示す。(b)における標準偏差は(a)と比較してやや小さくなっているものの、(a)、(b)ともにばらつきが大きいことが分かる。特に本実験結果はボルト孔周りのめつきやボルトの導入張力の低下のばらつきにより、既往の実験結果より比較的ばらつきが大きくなっているものと考えられる。

4. 外装材の取り付け部の実験

本章では、金属工事におけるボルト接合部の具体的な適用例の1つ目として外装材(Exterior finishing)の取り付け部(Fig.11)を対象とし、ボルト接合部の載荷実験を実施する。

4.1 風圧力と必要すべり係数

まず、外装材の取り付け部のボルト接合部に作用する風圧力を算出する。風圧力 W に対してボルト接合部のすべりを生じさせないとき、(1)式よりすべり係数の必要値は次式で表せる。

$$\mu \geq \frac{W}{m \cdot \sum N_i} = \frac{W}{N_1} \quad (5)$$

なお、ボルト接合部は応力方向のボルト本数が1本($\sum N_i = N_1$)の1面摩擦($m=1$)であり、風圧力の負担面積は 1m^2 とする。Fig.12に示す中層建築物を想定すると、正圧時に 2350N 、負圧時に 1710N 程度の風圧力が設計用風圧力として算出される(建物高さ 30m と軒の高さの平均、外壁材の取り付け高さとも 30m とした場合)。また、導入張力 N_1 は普通ボルト(M12(強度区分4.8))の降伏軸力の約7割である 20kN とすると、必要なすべり係数 μ_{sp} は正圧時に0.12、負圧時に0.085となる。

Table4 Mechanical properties of specimens in chapter4

	Thickness	σ_y	σ_u	Y.R.	ε_u
	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[%]
SS400	6	295	441	67	35
	4	362	490	74	40
SUS304	6	301	669	45	60
	4	281	661	43	62

Table5 The number of specimens in chapter4

Strength of bolt	Loading direction	Surface treatment				
		HDZ	HDZP	EP	EPJP	SUS
10.9	+	5	5	5	5	5
	-	5	5	5	5	5
4.8	+	5	-	-	-	5
	-	5	-	-	-	5

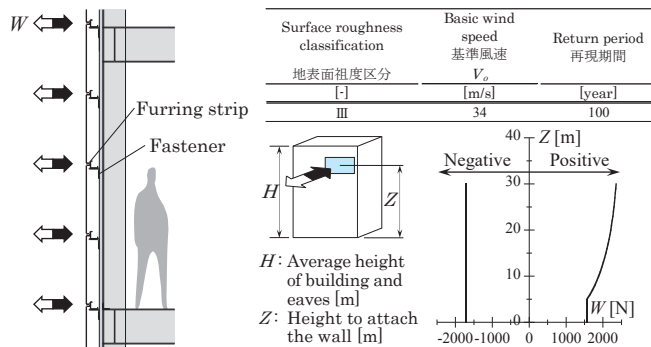


Fig.11 Exterior finishing

Fig.12 Wind pressure

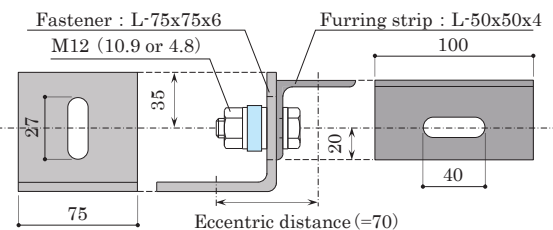


Fig.13 Dimensions of specimen (Fastener and furring strip)

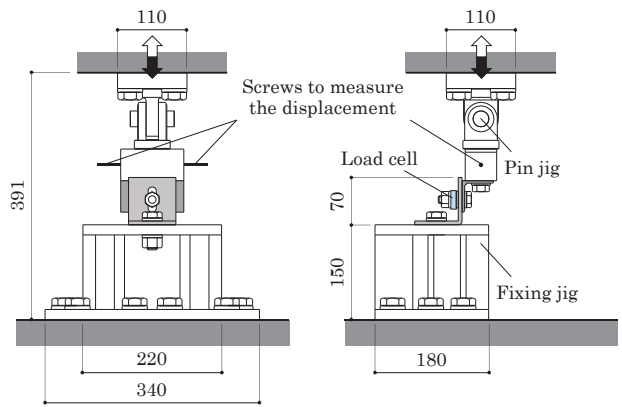
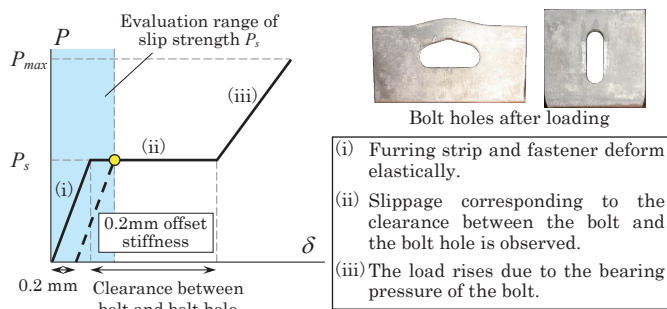
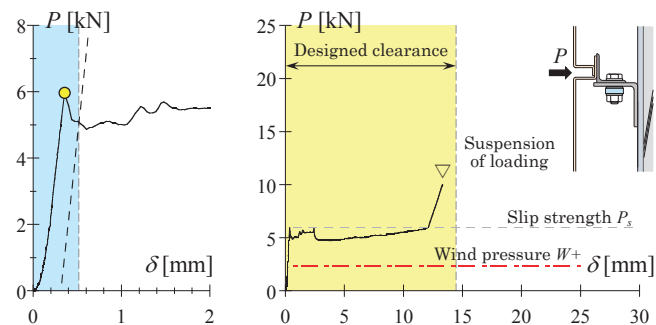


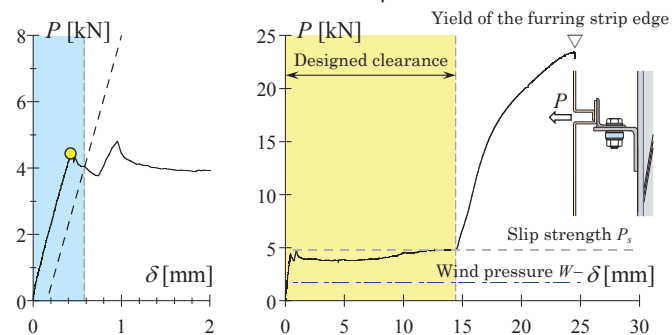
Fig.14 Setup of experiment on exterior finishing



(a) Overview of load and deformation relation



(b) Positive wind pressure



(c) Negative wind pressure

Fig. 15 Load and deformation relation of experiment on exterior finishing (in case of SUS)

4.2 試験体の概要と実験パラメータ

試験体の寸法をFig.13に示す。試験体は、外装パネルを支持する胴縁(Furring strip, 等辺山形鋼L50x50x4)、構造躯体に取り付くファスナ(Fastener, 等辺山形断面L75x75x6)、および両者を締め付けるボルトによって構成される。これらの寸法は、ボルト接合部のすべりに先行して胴縁の有効断面における降伏が生じることのないように決定した。ファスナおよび胴縁の材質は、すべり係数評価試験の試験体と同様に一般構造用鋼板(SS400)またはオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)である。試験体に使用したファスナおよび胴縁について、JIS-12B引張試験片より得られた材料特性をTable4に示す。

試験体の一覧をTable5に示す。実験パラメータはボルト接合部の表面処理の種類、ボルトの強度、および荷重方向である。表面処理は2.2節に示した5種類であり、ボルトは呼び径M12の高力ボルト相当材(実験当時に高力ボルトの入手が困難であったことから強度区分10.9の普通ボルトを代用)、普通ボルト(強度区分4.8)の2種類である。なお、普通ボルト(強度区分4.8)には一般的なゆるみ留めであるスプリングワッシャーを介在させている。荷重方向は、外装材に作用する風圧力の正圧時、負圧時を想定した2方向とする。

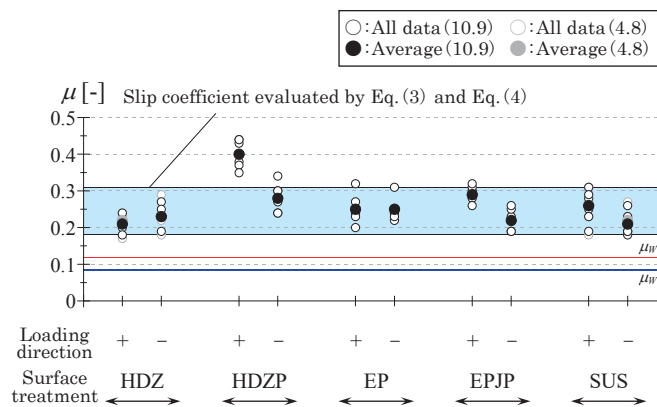


Fig. 16 Slip coefficient of exterior finishing

4.3 荷重方法と計測計画

試験体のセットアップをFig.14に示す。ファスナは固定治具を介して、胴縁はピン治具を介してそれぞれ試験機に固定する。ボルトの締め付けは、呼び径M12普通ボルト(強度区分4.8)の降伏軸力の約7割である20kNを目標とし、2章で示したワッシャー形ロードセルにより管理する。実験は、圧縮(正圧)または引張(負圧)側への単調荷重とする。

実験中は、ピン治具下部の計測用ねじ棒位置と固定治具の上面の相対変位をボルト接合部のすべり量 δ としている。ここで、 δ には胴縁とファスナ自体の変形が含まれるため、実験で得られた荷重変形関係の初期剛性の0.2mmオフセット直線と荷重変形曲線が交差する点までの最大荷重をすべり耐力としている。

4.4 表面粗さによるすべり係数の予測

3章では、金属工におけるボルト接合部の表面粗さからすべり係数の傾向を示した。本実験の試験体においても最大高さ粗さ R_z を測定して(3)式、(4)式を適用すると、0.18~0.31程度のすべり係数が得られる。これは、4.1節にて算出した必要すべり係数を上回っており、風圧力に対するボルト接合部のすべり抵抗は確保できるものと予想される。

4.5 荷重変形関係

実験より得られた荷重変形関係を、ステンレスの場合を例にFig.15に示す。図の縦軸は軸方向力 P であり、横軸は胴縁とファスナの相対変位 δ である。(a)は荷重変形関係の概要、(b)は圧縮荷重(正圧)時の結果、(c)は引張荷重(負圧)時の結果である。(b)、(c)の左側は荷重初期の結果であり、0.2mmオフセット剛性を黒色の破線で示している。(b)、(c)の右側は荷重終了までの結果であり、4.1節にて算出した風圧力 W を赤色および青色の一点鎖線で示している。

3章のすべり係数評価試験の結果と比較すると初期剛性は低く、0.2~1.0mm程度ですべりを伴って剛性が低下している。引張荷重時には、おおよそ設計クリアランスまで接合部のすべりにより変形が進行し、その後は支圧状態に移行して急激に耐力が上昇していると考えられる。最終的には、胴縁の横スロット孔はしあき部分の局所的な降伏により耐力の低下がみられたため、荷重を終了した。なお、圧縮荷重時には胴縁の一部が躯体を想定した固定治具と接触することで急激に耐力が上昇したため、実験を中断している。

4.6 すべり係数

荷重方向と表面処理ごとのすべり係数をFig.16に示す。黒色で示し

た高力ボルト相当材と灰色で示した普通ボルトの結果はほとんど重なっており、ボルトの強度による違いはほとんど生じていないことが分かる。すべり係数は、溶融亜鉛めっきの試験体を除けば圧縮荷重時に高い傾向にある。これは引張荷重時にはファスナが変形することで試験部分のボルト接合部に面外方向の力が作用し、圧縮荷重時よりもボルトの導入張力が低下するためであると考えられる。

4.1節にて求めた必要すべり係数 μ_{WT} 、 μ_{WT} をそれぞれ赤色および青色の実線で示し、4.4節にて表面粗さから求めたすべり係数の範囲を水色で示す。実験結果のほとんどが水色で示した範囲に収まっていることから、ボルト接合部を一面せん断としたことによるすべり係数への影響は小さいことが分かる。また、すべり係数のばらつきを考慮しても設計風圧力を上回る結果が得られていることが分かる。

5. 手すりの取り付け部の実験

本章では前章に引き続き、金属工事におけるボルト接合部の具体的な適用例の2つ目として手すり (Balustrade) の取り付け部 (Fig.17) を対象とし、ボルト接合部の載荷実験を実施する。

5.1 手すりの強度グレード

真鍋ら²⁵⁾は、人間の行動に基づいて手すりに生じる水平荷重を分析し、Table6に示す手すりの強度グレードを提案している。本実験では、手すりの持ち手 (Handrail) の支持間隔距離を1mと仮定し、Table6に示した数値をそのまま強度の比較対象とする。設計では、手すりの取り付け部であるボルト接合部は、反力に対してすべりが生じないようにする必要がある。

5.2 試験体の概要と実験パラメータ

試験体の詳細をFig.18に示す。試験体は、手すりの取り付け部を模したボルト接合部であり、現状の溶接による固定を前提としたディテールを採用している。試験体は、手すり子 (Baluster)、ささら等に取り付くブラケット (Bracket)、および両者を締め付けるボルトによって構成される。手すり子は板厚9mm、幅65mm、材長1,330mmの平鋼とし、ブラケットは板厚12mmの鋼板にささら等への接合を兼ねるエンドプレートを取り付けたT字形断面部材となっている。手すり子およびブラケットの材質は、すべり係数評価試験の試験体と同様に一般構造用鋼板 (SS400) またはオーステナイト系ステンレス鋼 (SUS304) である。試験体に使用した手すり子およびブラケットについて、JIS-1A引張試験片より得られた材料特性をTable7に示す。

試験体の一覧をTable8に示す。実験パラメータはボルト接合部の表面処理の種類とボルトの強度である。表面処理は2.2節に示した5種類のうち、電気亜鉛めっき (EP) を除いた4種類である。ボルトの強度は4.2節に示した2種類である。

5.3 載荷方法と計測計画

試験体のセットアップを、計測計画を兼ねてFig.19に示す。試験体は、手すり子を90度回転させて水平に設置し、反力治具 (Reaction jig, 断面: H200x200x8x12, 長さ: 1,530mm) を用いて試験部分となる接合部を張り出させている。試験体はブラケット側を反力治具の張り出し部分に固定し、手すり子側は人的外力等の作用点に仮定した位置に両端ピンの載荷治具 (Loading jig) を接続している。試験体は、ブラケットを反力治具に、手すり子を載荷治具にそれぞれ固定した後、実験対象であるボルト接合部の締め付けを行った。ボルトの締め付けは、4章と同様に20kNを目標として管理する。実験は、手す

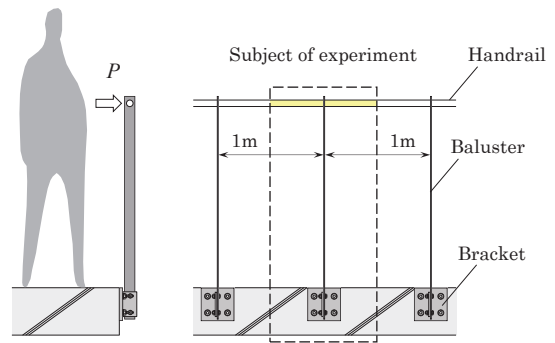


Fig.17 Balustrade

Table6 The grades for strength of balustrade²⁵⁾

Grade	Load [N/m]	Remarks
0	-	"Fence" that does not apply out-of-plane load 面外荷重が掛からない「柵」
1	735	Minimum load for handrails 手すりの最低基準
2	980	General load 一般的な荷重
3	1225	Load related to evacuation 避難行為にかかわる荷重
4	1470	Load equivalent to "Evaluation Standard for Quality Housing Component" for handrails BL墜落防止手すり基準(1)相当
5	1960	Load between (1) and (2) BL基準の中間の値
6	2940	Load equivalent to "Evaluation Standard for Quality Housing Component" for handrails BL墜落防止手すり基準(2)相当
7	2940 ≤	Larger load さらに大きな荷重が掛かる用途

Table7 Mechanical properties of specimens in chapter5

	Thickness	σ_y	σ_u	Y.R.	ϵ_u
	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[%]
SS400	12	307	457	67	29
	9	296	419	71	28
SUS304	12	288	648	44	52
	9	294	652	45	55

Table8 The number of specimens in chapter5

Strength of bolt	Surface treatment			
	HDZ	HDZP	EPJP	SUS
10.9	5	5	5	5
	5	5	5	5
4.8	5	5	5	5
	5	5	5	5

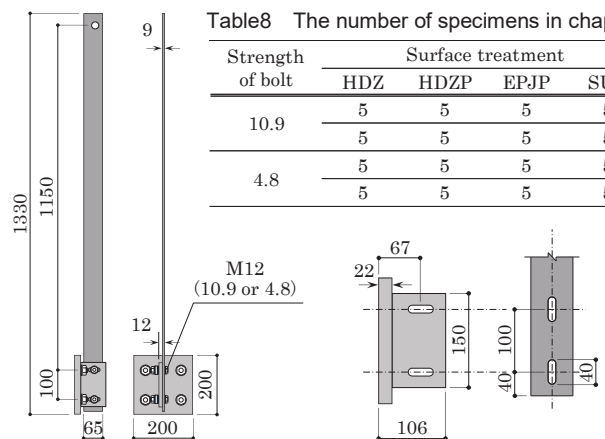


Fig.18 Dimensions of specimen (Baluster and bracket)

りが人的外力によって面外に変形する方向への単調載荷である。

変位計は、絶対変位として加力点位置の鉛直変位 d_0 、ブラケットと反力治具の接合部分の鉛直変位 d_1 、 d_2 を計測し、反力治具の変形を除去した手すり子の変形 Δ を次式により算出する。なお、絶対変位は鉛

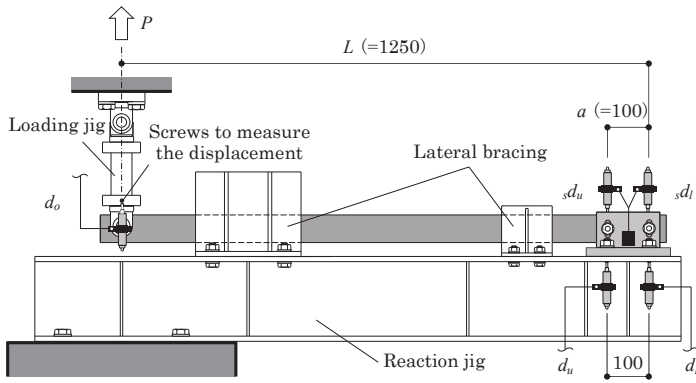


Fig. 19 Setup of experiment on balustrade

※ d_u, d_l are the average of the displacement at the front and back.

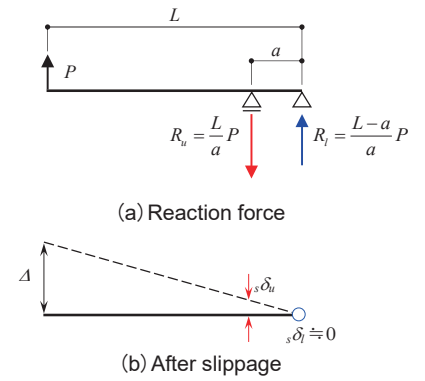


Fig. 20 Mechanical model of balustrade

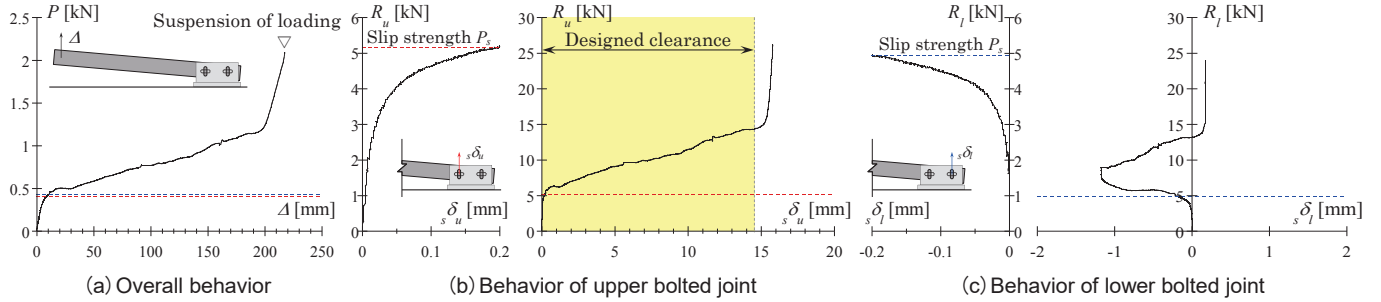


Fig. 21 Load and deformation relation of experiment on balustrade (in case of HDZ)

直上向きを正とする。

$$\Delta = d_o - \frac{d_u + d_l}{2} - \frac{d_u - d_l}{a} \cdot \left(L + \frac{a}{2} \right) \quad (6)$$

ここで、 L は加力点から下部ボルトまでの距離、 a はボルト間距離である。試験体の力学モデルをFig.20に示す。試験部分であるボルト接合部がピン接合であると仮定すると、手すりの面外荷重 P から上部ボルト位置、下部ボルト位置における反力 R_u, R_l は次式で求められる。

$$R_u = \frac{L}{a} P \quad (7)$$

$$R_l = \frac{L-a}{a} P \quad (8)$$

上記の反力と、各ボルト位置における手すり子とブラケットの相対変位 δ_u および δ_l より、ボルトのすべり挙動を確認する。

5.4 表面粗さによるすべり係数の予測と必要すべり係数

(7)式、(8)式より求めた反力に対してボルト接合部のすべりを生じさせないとき、すべり係数の必要値はそれぞれ次式で表せる。

$$\mu_u \geq \frac{1}{m \cdot \sum N_i} \cdot \frac{L}{a} \cdot P_{G1} = \frac{1}{N_1} \cdot \frac{L}{a} \cdot P_{G1} \quad (9)$$

$$\mu_l \geq \frac{1}{m \cdot \sum N_i} \cdot \frac{L-a}{a} \cdot P_{G1} = \frac{1}{N_1} \cdot \frac{L-a}{a} \cdot P_{G1} \quad (10)$$

ここで、 P_{G1} はTable6に示すグレード1に相当する手すりの面外荷重である。Fig.19に示す L, a より、手すりの取り付け部がすべりに対して安全であるためには、上部ボルト接合部では0.46、下部ボルト接合部では0.42のすべり係数を最低でも確保する必要がある。

一方、本実験の試験体において最大高さ粗さ R_z を測定して(3)式、(4)式を適用すると0.16~0.23程度のすべり係数が得られ、上述した必要すべり係数を大きく下回っていることが分かる。したがって、手すりの強度グレードから予想される人的外力は、本実験で採用する

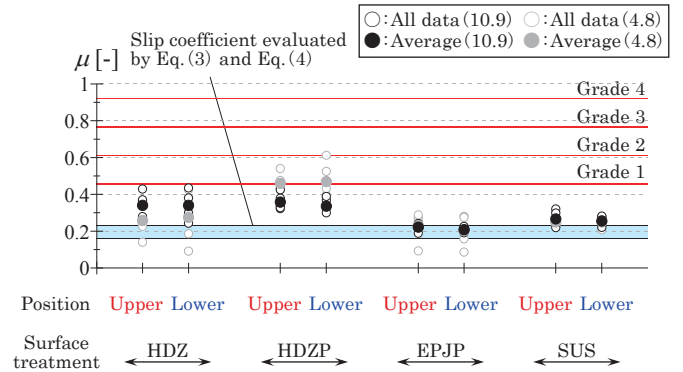


Fig. 22 Slip coefficient obtained from experiment on balustrade

ディテールにて期待されるボルト接合部のすべり抵抗を上回るものと考えられる。

5.5 荷重変形関係

実験より得られた荷重変形関係を、溶融亜鉛めっき(HDZ)の試験体を例にFig.21に示す。図の縦軸は荷重、横軸は変形であり、(a)は手すりの面外荷重 P と手すり子の変形 Δ の関係、(b)は上部ボルト位置における反力 R_u と相対変位 δ_u の関係、(c)は下部ボルト位置における反力 R_l と相対変位 δ_l の関係である。(b)、(c)の左側には、すべり耐力を評価した載荷初期の範囲を示す。

まず手すりの全体挙動をみると、変形が10mm程度、変形角になると0.01(1/100)rad程度からすべりに起因する剛性の低下がみられる。その後緩やかに耐力が上昇して、変形が200~250mm程度からボルトの支圧状態への移行に伴う急激な耐力の上昇が確認できる。しかし、これは変形角にして0.17~0.22(1/6~1/5)radと非常に大きく、支圧状態における耐力の再上昇は設計上期待すべきではないといえる。

次に、ボルト接合部の挙動に注目すると、上部ボルト位置の挙動は、本実験と同様に縦スロット孔と横スロット孔を組み合わせた3章のType5, Type6とほぼ等しい履歴曲線を示していることが分かる。また、上部ボルト位置の挙動と手すりの全体挙動が類似していることから、手すりの力学挙動は上部ボルト位置の性能に支配されているといえる。一方、下部ボルト位置における相対変形は小さく、この位置を回転中心として手すりが変形していると捉えられる。

5.6 すべり係数

ボルト位置と表面処理ごとのすべり係数をFig.22に示す。黒色で示した高力ボルト相当材と灰色で示した普通ボルトの結果はほとんど重なっており、ボルトの強度による違いはほとんど生じていないことが分かる。

5.4節にて示した(9)式を用いて手すりの強度グレードをすべり係数に換算した値を赤色の実線で示し、表面粗さから求めたすべり係数の範囲を水色で示す。実験結果は大きくばらつき、一部の結果は水色で示した範囲を上回っていることから、ボルト接合部を一面せん断としたことによるすべり係数への影響は小さいことが分かる。一方で、実験結果の大半はグレード1に相当するすべり係数以下である。したがって、手すりの取り付け部において溶接工程を省略したボルト接合部を採用する場合には、手すりの支持間隔距離を狭めること、接合面を2面とすること、ボルトピッチを広げて反力を低減すること等の対策が必要であるといえる。

6. まとめ

本研究では、金属工事を想定したボルト接合部のすべり係数評価試験を実施し、すべり係数と基本的な力学挙動を明らかにした。また、外装材および手すりとの構造躯体との接合部を想定した実験を行い、金属工事におけるボルト接合部の適用を検討した。以下に得られた結果をまとめる。

- [1] 金属工事を想定したボルト接合部において、ボルト孔形状が丸孔であっても、応力方向に配置されるボルト本数を2本から1本に減らすとすべり係数は2割程度低下した。また、ボルト本数を1本として、3d以上のスロット孔を採用するとすべり係数は3割程度低下した。
- [2] 金属工事において採用される代表的な表面処理により確保される最大高さ粗さ R_a は5~25 μm の範囲であり、すべり係数は0.20程度であった。これらは、高力ボルト摩擦接合部に設計上要求される条件と比較するといずれも半分程度に相当する。
- [3] すべり係数と最大高さ粗さに関する既往の実験と本実験の結果を併せて、(3)式、(4)式によりすべり係数の傾向を示した。ただし、金属工事におけるボルト接合部のすべり係数を接合面の表面粗さから予測する場合には、ばらつきの大きさから高い安全率を設定する必要があるといえる。
- [4] 外装材の取り付け部を想定した実験では、中層建築物を想定した設計用風圧力から外装材の取り付け部のボルト接合部に作用する外力を算出すると、すべり係数が低い負圧時においても十分なすべり耐力を有していることが分かった。
- [5] 手すりの面外荷重における安全に関する強度グレード²⁵⁾と比較すると、本実験で採用したディテールでは手すりの最低基準として設けられたグレード1を下回った。したがって、手すりの

取り付け部において溶接工程を省略したボルト接合部を採用する場合には、手すりの支持間隔距離を狭めること、接合面を2面とすること、ボルトピッチを広げて反力を低減すること等の対策が必要である。

謝辞

本研究は、日本学術振興会特別研究員奨励費(課題番号: 21J12852)の助成を受けて実施しました。また、実験は日本金属工業協同組合による実験・実用化試験事業の一環として行った成果です。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) Architectural Institute of Japan : Japanese Architectural Standard Specification JASS13 Metal Work, 1998.11 (in Japanese)
日本建築学会 : 建築工事標準仕様書・同解説JASS13金属工事, 第2版, 1998.11
- 2) Hayashi, T. et al. : A Study on ALC Nonstructural Wall of Condominium, Part 1 Background of the Research and Outline of Engineering Method by No Welding, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, A-1, pp.193-194, 2008.7 (in Japanese)
林徹, 平田延明, 清水良平, 山田浩光, 神谷昭治 : 集合住宅における非構造造壁のALC化に関する研究—その1—研究背景と無溶接工法の概要について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1分冊, pp.193-194, 2008.7
- 3) Fujimoto, M. and Tanaka, A. : Kadaikowoyusurukoryokuborutomasats usetsugobunoseizyonitsuite, Proceeding of the architectural research meetings, Kanto Chapter, Architectural Institute of Japan, pp.189-192, 1977.7 (in Japanese)
藤本盛久, 田中淳夫 : 過大孔を有する高力ボルト摩擦接合部の性状について(その1 単純引張試験体による実験), 日本建築学会関東支部研究報告集, 構造系, pp.189-192, 1977.7
- 4) Tanaka, A. et al. : Experimental Study on High Strength Bolted Friction Joints with Oversized and Slotted Holes, Steel Construction Engineering, Japanese Society of Steel Construction, Vol.5, No.20, pp.35-44, 1998.12 (in Japanese)
田中淳夫, 増田浩志, 脇山廣三, 辻江静雄, 平井敬二, 立山英二 : 過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部の力学性状, 鋼構造論文集, 第5巻, 第20号, pp.35-44, 1998.12
- 5) Mori, T. et al. : Slip and Yield Resistance of Friction Type of High Strength Bolted Connections with Over-sized Holes, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Vol.2005, No.794, I-72, pp.157-169, 2005.7 (in Japanese)
森猛, 山崎信宏, 山口実浩 : 拡大孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力と降伏耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集, 第2005巻, 794号, I-72, pp.157-169, 2005.7
- 6) Kuwahara, S. et al. : Factors Influencing Slip Coefficient of High Strength Bolted Friction Joints with Slot Holes, Journal of Structural Engineering, Vol.67B, pp.351-356, 2021.3 (in Japanese)
桑原進, 安原慎吾, 加藤あゆみ : スロット孔を使用した高力ボルト摩擦接合部のすべり係数に及ぼす諸変数の影響—すべり試験による検討, 構造工学論文集, Vol.67B, pp.351-356, 2021.3
- 7) ECCS : European Recommendations for bolted connections : in structural steelwork, 1985
- 8) Kimura, T. et al. : Research on High Tensile Bolt Friction Joint (2) Relating to Roughness of Plate Surface and Coefficient of Friction, Transactions of the Architectural Institute of Japan, No.69, pp.657-660, 1961.10 (in Japanese)
木村富夫, 舟橋功男, 木下勝弘, 小林昌一 : 高張力ボルト摩擦接合部の研究(2)(接触面の表面あらさと摩擦係数の関係について), 日本建築学会論文報告集, 第69号, pp.657-660, 1961.10
- 9) Wakiyama, K. et al. : A Study on the Influence of Surface Roughness up on Slip Resistance of the High Strength Bolted Frictional Joint, Proceeding of the architectural research meetings, Kinki Chapter, Architectural Institute of Japan, pp.369-372, 1987.5 (in Japanese)

- 脇山廣三, 八木毅, 山田義智: 高力ボルト摩擦接合部のすべり係数に及ぼす表面粗さの影響に関する実験的研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 構造系, pp.369-372, 1987.5
- 10) Kamura, T. and Hokugo, H.: The Effect of Surface Roughness of High Strength Bolt Frictional Joints on Slip Resistance, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No.485, pp.127-134, 1996.7 (in Japanese)
加村隆志, 北後寿: 高力ボルト摩擦接合の接合面粗さがすべり耐力へ及ぼす影響, 日本建築学会構造系論文集, 第485号, pp.127-134, 1996.7
- 11) Mori, T. et al.: Surface Roughness Parameter and Slip Coefficient of Friction Type of High Strength Bolted Connections, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Series A1, Vol.67, No.2, pp.446-453, 2011.8 (in Japanese)
森猛, 田坂康介, 一宮充, 小笠原照夫: 鋼材の表面粗さパラメータと高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.67, No.2, pp.446-453, 2011.8
- 12) Architectural Institute of Japan: Japanese Architectural Standard Specification JASS 6 Steel Work, 2018.1 (in Japanese)
日本建築学会: 建築工事標準仕様書JASS6鉄骨工事, 第11版, 2018.1
- 13) Architectural Institute of Japan: Recommendation for Design of Connections in Steel Structures, 2012.3 (in Japanese)
日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 第3版, 2012.3
- 14) Funayama, M. et al.: The Report about Slip Test of Hot Dip Galvanized High Strength Bolted Friction Joints with Oversized Holes. Part1 About Two Friction Surfaces, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Structure III, pp.755-756, 2019.7 (in Japanese)
船山聖喜, 永谷仁成, 遠藤健太, 有地康史, 村上慶弘, 三浦正敬, 清水斉: ねじの呼び径+3mmを有する亜鉛めっき高力ボルト接合部のすべり試験結果に関する報告その1 2面摩擦接合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, pp.755-756, 2019.7
- 15) Kume, K. et al.: Slip Coefficient Test of High Strength Bolted Friction Joints with Slotted and Oversized Holes Part 1 Test Plan, Part 2 Test Results, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Structure III, pp.933-936, 2018.7 (in Japanese)
久米健一, 西谷隆之, 石井大吾: スロット孔および過大孔を有する高力ボルト摩擦接合部のすべり係数試験その1 試験計画, その2 試験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III, pp.933-936, 2018.7
- 16) Noguchi, S. et al.: Experimental Studies on Friction Surface of High Strength Bolted Friction Joints Part 1 Slip Capacity Tests, Part 2 Relation between Surface Roughness and Slip Coefficient, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, C, pp.1549-1552, 1990.7 (in Japanese)
野口茂, 北後寿, 加村隆, 法貴慶人: 高力ボルト摩擦接合部の摩擦面に関する実験的研究(その1 すべり耐力実験), (その2 表面粗さとすべり係数の関係), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C分冊, pp.1549-1552, 1990.7
- 17) Tsujioka, S.: Slip Strength and Hysteresis Characteristics of High-strength Bolted Friction-type Joints with Shot-blasted Faying Surface, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No.471, pp.173-179, 1995.5 (in Japanese)
辻岡静雄: ショットブラスト摩擦面を有する高力ボルト接合のすべり荷重と履歴特性, 日本建築学会構造系論文集, 第471号, pp.173-179, 1995.5
- 18) Kamura, T. and Hokugo, H.: Experimental Research Related to Chemical Treatment of Frictional Surfaces of High Strength Bolt Frictional Joints, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No.487, pp.131-140, 1996.9 (in Japanese)
加村隆志, 北後寿: 摩擦面に薬剤処理を施した高力ボルト摩擦接合に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第487号, pp.131-140, 1996.9
- 19) Kohashi, T. and Satou, M.: Study of Relaxation and Slip Tests after Exposure of Friction Joints Treated with Phosphate, Steel Construction Engineering, Japanese Society of Steel Construction, Vol.6, No.21, pp.45-54, 1999.3 (in Japanese)
小端高行, 佐藤正康: りん酸塩処理を施した摩擦接合部のリラクゼーションと経年後のすべり試験, 鋼構造論文集, 第6巻, 第21号, pp.45-54, 1999.3
- 20) Mori, T. et al.: Slip Coefficient and Contact Surface Condition of Friction Type of High Strength Bolted Connections, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Series A, Vol.64, No.1, pp.48-59, 2008.1 (in Japanese)
森猛, 南邦明, 井口進, 山口隆司: 接合面処理方法と品質を考慮した高力ボルト摩擦接合継手すべり係数の提案, 土木学会論文集A, Vol.64, No.1, pp.48-59, 2008.1
- 21) Kuwahara, S. et al.: Slip Strength on Friction Joint of 1000N Class Ultra High Strength Steel with F14T Class High Strength Bolts: Investigation on Application of 1000N Class Ultra High Strength Steel for Buildings, Journal of Structural Engineering, Vol.57B, pp.421-429, 2011.3 (in Japanese)
桑原進, 山本達也, 佐々木正道, 一戸康生, 福田浩司, 川畑友弥, 西尾大, 橋田知幸, 沼田俊之, 多賀謙蔵: F14T級高力ボルトを用いた1000N級鋼(950N/mm²鋼)摩擦接合部のすべり耐力 1000N級鋼の建築構造物への適用性, 構造工学論文集, Vol.57B, pp.421-429, 2011.3
- 22) Tamba, Y. et al.: Slip Factor of High Strength Bolted Frictional Joints with Roughened Steel Surface and Inorganic Zinc Rich Painted Surface, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Series A1, Vol.70, No.1, pp.137-149, 2014.3 (in Japanese)
丹波寛夫, 行藤晋也, 木村聡, 山口隆司, 杉浦邦征: 接合面が鋼材粗面と無機ジンクリッチペイント面の高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数の提案, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.70, No.1, pp.137-149, 2014.3
- 23) Yagihashi, T. et al.: Experimental Study on Slip Strength at Bolted Friction Joints in Duplex Stainless Steel Part 1 Study on Friction Surface Treatment and Slip Coefficient, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Structure III, pp.1019-1020, 2015.7 (in Japanese)
柳橋卓也, 田川泰久, 小田彦彦, 今村しおり, 渡辺徳明: 二相ステンレス鋼板の高力ボルト摩擦接合部におけるすべり性能に関する実験的研究 その1 摩擦面処理とすべり係数に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造III分冊, pp.1019-1020, 2015.7
- 24) Ikeda, Y. et al.: Slip Resistance of High Strength Bolted Frictional Joints with Spheroidal Graphite Cast Iron, Journal of Structural Engineering, A, Vol.62A, pp.705-714, 2016.3 (in Japanese)
池田裕哉, 山口隆司, 佐伯英一郎, 飛永浩伸, 日高哲郎: 球状黒鉛鉄板を用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.705-714, 2016.3
- 25) Manabe, T. et al.: Experimental Measurement of Lateral Load on Balustrade Caused by Various Human Behaviors, AIJ Journal of Technology and Design, Vol.16, No.33, pp.649-654, 2010.6 (in Japanese)
真鍋恒博, 宇津野和俊, 加藤正男, 高橋正明, 片桐恒介: 各種の人間動作によって手摺に生ずる水平荷重の測定実験, 日本建築学会技術報告集, 第16巻, 第33号, pp.649-654, 2010.6

SLIP COEFFICIENT OF BOLTED JOINT IN METAL WORK AND ITS APPLICATIONS

Miku KUROSAWA ^{*1}, *Shoichi KISHIKI* ^{*2}, *Akio SATO* ^{*3}
and Nobuhiko TATSUMI ^{*4}

^{*1} JSPS Research Fellow, M.Eng. (Doctoral Student, Tokyo Institute of Technology)

^{*2} Prof., F.I.R.S.T., I.I.R., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

^{*3} Kikukawa Kogyo

^{*4} Assist. Prof., F.I.R.S.T., I.I.R., Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

Metal work refers to a series of processes that manufactures and constructs various metal finishing materials. When metal finishing materials are bolted to the structural frame, it is common to use slotted holes to absorb construction errors. In addition, the surfaces of the components are also painted to prevent rust and corrosion. In recent years, there has been an increasing demand for abolishing the post-construction welding process because the repairing process can be eliminated and the fire risk is reduced. On the other hand, previous studies of high strength bolted friction joints in the field of architecture and civil engineering have pointed out that the slotted holes and oversized holes reduce the yield strength of the joint section which causes the joints to slip early, and the roughness of joint surfaces also affects the slip resistance.

In this paper, three series of experiments on bolted joints in metal work were conducted. First, from the fundamental experiment reproducing slotted holes and surface treatments peculiar to metal finishing materials, it was found that the surface roughness R_z of 5 to 25 μm and slip coefficient of about 0.20 were secured in bolted joints of metal finishing materials. Also, the slip coefficient of bolted joints with slotted holes is about 30% lower than that with standard holes.

Second, the results of the experiments of exterior finishing material have shown that the slip resistance of the bolted joint is sufficient against the wind pressure expected for medium-rise buildings. In addition, it was observed that the slip coefficient of the tensile loading (negative wind pressure) was lower than that of the compressive loading (positive wind pressure) because the bending moment generated in the specimens varies with the loading direction.

Third, the experiments of bolted joints in balustrade were conducted. Compared with the grades for strength of balustrade based on human behavior proposed by Manabe et al., it was found that the bolted joint details in this study could not have enough slip resistance against external force. When using a bolted joint that eliminates the welding process for the balustrade, it is essential to narrow the support interval distance of the handrail, use two joint surfaces and provide a large bolt pitch to reduce the reaction force.

(2021年5月31日原稿受理, 2021年10月11日採用決定)