テーパー付き鋳鉄母板を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動

大阪市立大学大学院　学生員　○白井　悠吾
日之出水道機器（株）　正会員　飛永　浩伸
大阪市立大学大学院　正会員　山口　隆司
日之出水道機器（株）　正会員　村山　稔
大阪市立大学大学院　学生員　廣澤　直人

1. 背景および目的

鋼床版などの鋼構造物の疲労対策の観点から，鋳造により複雑な形状を成型できる球状黒鉛鋳鉄を用いた部材構造が検討されている[1)]．鋳鉄部材の接合部には，鋳鉄の溶接性を考慮し，ボルト接合が一般的に採用される．文献 2)では，母材に鋳鉄(FCD450)，連結板に鋼材(SM490)を用い，接合面にブラスト処理を行った無機ジンク塗装面を有した標準試験体にて，0.55 のすべり係数が得られたことが報告されている．しかし，鋳造部材には約 1 度の抜き勾配（以下，テーパー）が必要となるが，このテーパーがすべり係数におよぼす影響はまだ検討されていない．本研究では，テーパー付き鋳鉄母板が高力ボルト摩擦接合継手に与える影響を明らかにするため，テーパー付き鋳鉄母板を有する高力ボルト摩擦接合継手を用いたすべり試験を実施した．

2. 試験体

試験体の形状および寸法を**図-1** に示し，試験体の諸元を**表-1** に示す．すべり側母板の接合面は両側に 1 度のテーパーがついており，遊間側縁端部で最大 4mm の肌すきが生じている．接合面処理はブラスト処理を行った無機ジンク塗装面とした．

試験体への軸力導入は固定側はトルク管理，すべり側はひずみ管理で行った．すべり側高力ボルトには**図-1** に示す位置にひずみゲージを貼り付け，軸力と軸ひずみに対するキャリブレーション試験を行った．キャリブレーション試験結果を用いて，F10T（M22）の設計ボルト軸力の 1 割増しである 225.5kN として締め付けを行い，載荷中も軸ひずみの計測を行った．

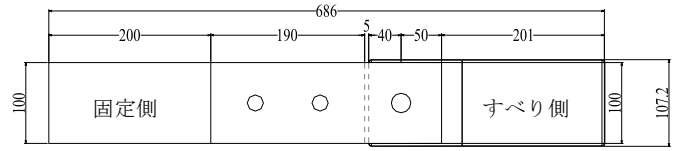
3. すべり試験結果と考察

ボルト軸力のリラクセーションを考慮し，締め付け完了から 1 週間後にすべり試験を行った．締め付け完了から試験前までの時間経過に伴うボルト軸力の低下率を**図-2** に示し，締め付け完了時から試験開始前までのボルト軸力の低下率を**表-1** に示す．

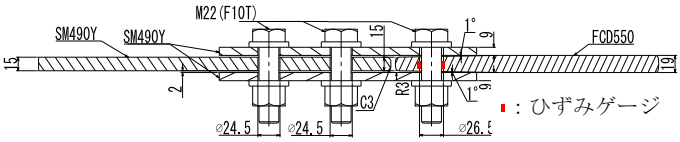
3.1 すべり荷重およびすべり係数の定義

すべり荷重は文献 2)を参考に，本試験体では明確な主すべりが生じなかったため，**図-3** に示す相対変位計測位置で，対称位置にある相対変位量の平均値が 0.2mm に到達した際の荷重をすべり荷重と定義した．

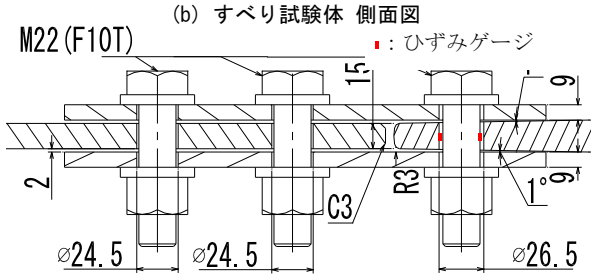
変位計測箇所を**図-3 (b)** に示し，各試験体の相対変位計測箇所におけるすべり荷重を**表-2** に示す．



(a) すべり試験体 上面図



(b) すべり試験体 側面図



(c) すべり試験体 側面図の拡大図

図-1　すべり試験体の形状および寸法（単位：mm）

表-1　試験体の諸元およびボルト軸力低下率

試験体番号	設計すべり係数 μ	設計すべり耐力 kN	すべり/降伏耐力比 β	ボルト軸力低下率(試験直前) %	
t15-1	0.4	164	0.37	13.80	14.11 (平均値)
t15-2				14.17	
t15-3				14.36	

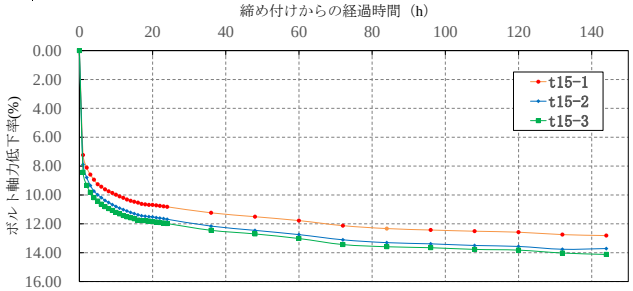


図-2　ボルトの軸力低下率

t15-1 の相対変位計測箇所を**図-3 (a)**，t15-2,3 の相対

キーワード　鋳鉄，テーパー，高力ボルト摩擦接合継手，すべり試験
連絡先　〒558-8585　大阪市住吉区杉本 3-3-138　大阪市立大学大学院　工学研究科　都市系専攻　橋梁工学分野
TEL&FAX 06-6605-2765

試験から得られたすべり係数は，文献 3)を参考に，各試験体から得られた最小のすべり荷重から，式(1)より算出した．**表-2** に各試験体のすべり係数を示す．試験で得られたすべり係数の平均は 0.45 であった．

$$\mu=\frac{P}{m\cdot n\cdot N} \quad (1)$$

ここに，μ：すべり係数　　P：すべり荷重(kN)

m：接合面の数(=2)　n：ボルト本数(=1)

N：試験前ボルト軸力(kN)

3.2 荷重-相対変位関係およびボルト軸ひずみ低下率

t15-2 における荷重-相対変位関係を一例として**図-4** に示す．**図-4** に示すように，荷重の増加とともに，相対変位は増加していき，明確な主すべりが生じる前に，ボルト軸上の変位量が 0.2mm に達した．この時のすべり荷重は 167.5kN，すべり係数は 0.42 であった．t15-1, 3 においても明確な主すべりは確認できなかった．**図-5** に t15-2 における試験開始時からすべり発生直後までのボルト軸ひずみ低下率を示す．テーパーの影響により，締め付け時はボルト孔遊間側の軸ひずみがボルト孔引張側の軸ひずみに比べて約 1900μ 小さく，載荷時も同様に，ボルト孔遊間側の軸ひずみ低下率が大きくなった(**図-5**)．t15-1, 3 についても同様の傾向が見られた．

3.3 すべり試験後の接合面状況

すべり試験後の t15-2 の接合面状況を**図-6** に示す．すべり側母板では，ボルト孔の引張方向に広がったすべり痕が見られ，t15-1,3 においても同様のすべり痕が確認された．

4. 結論

本研究で得られた結論を以下にまとめる．

1)テーパーつき鋳鉄母板を有する高力ボルト摩擦接合継手を用いてすべり試験を行った結果，平均 0.45 のすべり係数を得られた．

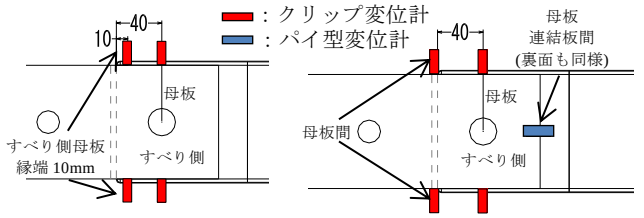
2)既往研究[1)]で得られたすべり係数が 0.55 であったのに対し，本研究で得られたすべり係数が 0.45 だった原因として，テーパーの影響により締め付け時に肌すきが生じ，接触圧が減少したため，すべり係数が減少したと考えられる．

3)テーパーの影響で，締め付け時にボルト孔遊間側軸ひずみとボルト孔引張側軸ひずみに差が生じることで，載荷時の部材の変形にも影響をおよぼし，軸ひずみ低下率が遊間・引張側で異なったと考えられる．

＜参考文献＞
1) 例えば，飛永浩伸，村山稔，佐伯英一郎，玉越隆史，山口栄輝，三木千壽：球状黒鉛鋳鉄の道路橋床版への適用に関する基礎的研究，鋼構造論文集，Vol. 24, No. 95, pp.13-24, 2017.
2) 池田祐哉，山口隆司，佐伯英一郎，飛永浩伸，日高哲郎：球状黒鉛鋳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，Vol62A，pp.705-714，2016
3) 社団法人日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2006
4) 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)，2006.6.

表-2　すべり試験結果

ケース	締め付け導入軸力 (kN)	試験前軸力 (kN)	すべり荷重 P (kN) 縁端10mm	ボルト軸上	母材間	母材-連結板間	すべり係数 μ
t15-1	225.5	194.4	181.1	182.6	-	-	0.466
t15-2	230.9	198.2	-	167.5	169.1	168.5	0.422
t15-3	225.8	193.4	-	183.3	174.1	181.4	0.450
平均値	227.4	195.3	181.1	177.8	171.6	175.0	0.446



(a) t15-1 測定箇所　　(b) t15-2, 3 測定箇所

図-3　相対変位計設置位置（単位：mm）

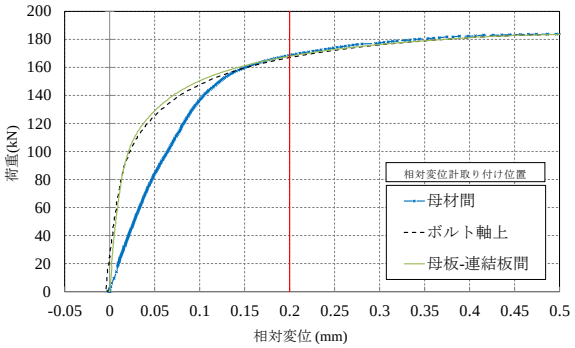


図-4　t15-2 における荷重-相対変位関係

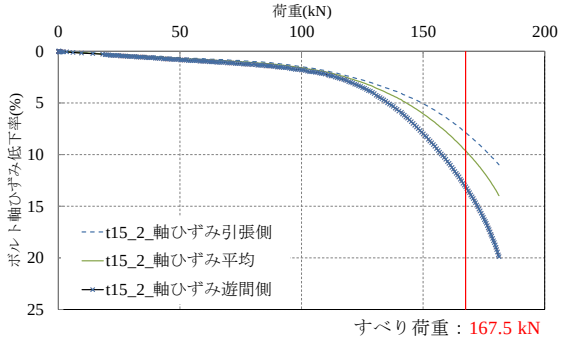
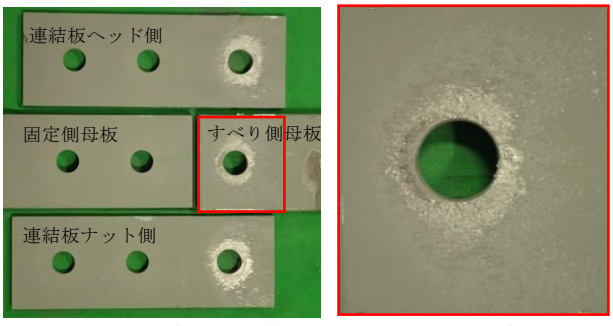


図-5　t15-2 におけるボルト軸ひずみ低下率



(a) すべり試験後の接合面全体図　　(b) すべり側母板拡大図

図-6　t15-2 におけるすべり試験後の接合面状況