

鋳鉄板を用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験

大阪市立大学大学院 学生会員 ○池田 裕哉
 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

日之出水道機器(株) 佐伯 英一郎
 日之出水道機器(株) 飛永 浩伸

1. はじめに

近年、鋼構造物の溶接部における疲労損傷事例が数多く報告されている。厳しい重車両交通の実態から、将来の疲労損傷の増大も懸念されており¹⁾、疲労損傷の発生を抑えられる構造が求められている。近年、靱性に優れた球状黒鉛鋳鉄²⁾を用いた土木構造物の検討が進められている。鋳鉄は製作を鋳造で行うため、鋼材では製作できない複雑な形状や溶接部が無い部材の製作も可能である。本研究では、鋳鉄板で製作された部材を高力ボルト摩擦接合継手で接合することを想定し、鋳鉄板の表面処理をパラメータとしたすべり耐力試験を行った。

2. 試験体

試験体の形状を表-1 および図-1 に、表面処理条件を表-2 に示す。使用ボルトは M22 (F10T) である。試験体はすべり先行となるように、すべり/降伏耐力比 β を、すべり係数を 0.4 と仮定して 0.66 とした。母材は全て FCD 材 (鋳鉄) とし、連結板に SM 材を用いたものを SF シリーズ、連結板にも FCD 材を用いたものを FF シリーズとする。SM 材は全てグリッドブラスト (以下ブラスト) 処理を施し、無機ジンクリッチペイント (以下無機ジンク) を塗装した。FCD 材はスチールショットのみを施した鋳肌面、鋳肌面に直接無機ジンクを塗装したもの、鋳肌面にブラスト処理を施した後に無機ジンクを塗装したものの 3 パターンを用意した。それぞれの組み合わせで計 6 シリーズの試験体を作成している。ブラスト処理面の粗さは Ra8 μ m 以上、Rz50 μ m 以上を目標とし、無機ジンクの塗膜厚さは 75 μ m~110 μ m とした。実際には鋳肌面、無機ジンク面の表面粗さは、Ra が 11.4~19.6 μ m, Rz が 60~100.3 μ m, 塗膜厚さは 77~98.3 μ m であった。試験体への軸力導入はひずみゲージの値で管理した。ボルトのキャリブレーション結果をもとに、設計ボルト軸力の 1 割増しである 225.5kN を目標に軸力を導入した。実際に導入された試験前軸力を表-3 に示す。

3. すべり試験

試験はボルト軸力のリラクゼーションを考慮し、締付け完了から約 72 時間後に行った。載荷装置には 1,000kN 万能試験機を用いた。計測項目は母板同士の相対変位、ボルト位置における母板と連結板の相対変位、ボルト軸力とした。

キーワード 鋳鉄, 高力ボルト, すべり試験, すべり耐力
 連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138

表-1 試験体の形状

| ボルトの等級 | 呼び径 | 孔径 | 部材厚 | 側板厚 | 板幅 | はしあき | ピッチ |
|--------|-----|------|-------|-------|-------|------|------|
| | | d/mm | t1/mm | t2/mm | w/mm | e/mm | p/mm |
| F10T | M22 | 24.5 | 28.0 | 16.0 | 100.0 | 55.0 | 80.0 |

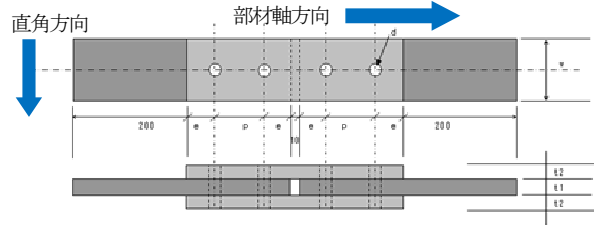


図-1 試験体の形状

表-2 表面処理条件

| 供試体名 | 材料 | 連結板 | | | 母板 | | | | 供試体数量 |
|------|-----|-----|----------|-------|-----|----|----------|-------|-------|
| | | 鋳肌 | グリッドブラスト | 無機ジンク | 材料 | 鋳肌 | グリッドブラスト | 無機ジンク | |
| SF1 | SM | — | ○ | ○ | FCD | ○ | — | — | 5 |
| SF2 | | — | ○ | ○ | FCD | ○ | — | ○ | 5 |
| SF3 | | — | ○ | ○ | FCD | ○ | ○ | ○ | 5 |
| FF1 | FCD | ○ | — | — | FCD | ○ | — | — | 5 |
| FF2 | | ○ | — | ○ | FCD | ○ | — | ○ | 5 |
| FF3 | | ○ | ○ | ○ | FCD | ○ | ○ | ○ | 5 |

4. 試験結果

試験結果の一覧を表-3 に、各試験体のリラクゼーションによる軸力低下率を図-2 に、すべり係数を図-3 に示す。すべり係数 μ の算出には文献3)より式(1)を用いた。ボルト軸力には試験前軸力を用いた。すべり荷重は内側ボルト位置における母板と連結板の相対変位が 0.2mm に達するまでに荷重が低下した場合はその最大荷重, 低下しなかった場合は 0.2mm に達した時の荷重とした。

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

ここに、 μ : すべり係数 P : すべり荷重

m : 接合面の数 (=2) n : ボルト本数 (=2)

N : 試験前ボルト軸力

図-2 に示すように、無機ジンクを塗装していない FF1 は軸力低下が少ない。それ以外は 6.3~7.4%の軸力低下となった。

図-3 に示されるように、母板と連結板ともに鋳肌面のままである FF1 のすべり係数の平均値は 0.221 と低い値となった。また、連結板のみ無機ジンク塗装を行い、母板は鋳肌面のままである SF1 もすべり係数 0.344 と低い値であった。これらの結果から、接合面が鋳肌のままではすべり係数 0.4 以上を確保することは難しいと判断される。これは、後述する FCD 材の形状により、母板と連結板の接触面が小さいことと、鋳肌面の最大高さ粗さ Rz や十点平均粗さ

Rzjis がブラスト面のそれよりも小さいことが原因であると考えられる。

SF2 と SF3 の比較より、連結板に SM 材を用いた継手において、母板の FCD 材に無機ジンクを塗装する場合は下地にブラスト処理を行った方がすべり係数が 14%程度高くなった。それぞれの母材の無機ジンク塗装前の表面粗さを比較すると、算術平均粗さ Ra はどちらのシリーズも 15.5 μ m と同じであったが、最大高さ粗さ Rz と十点平均粗さ Rzjis は SF2 でそれぞれ 76.5 μ m と 52.1 μ m, SF3 でそれぞれ 88.5 μ m と 56.2 μ m とブラスト処理を施した SF3 シリーズの方が高かった。これより、同じ算術平均粗さの場合、粗さが平均的に分布している表面よりも、粗さが高い部分と低い部分が混在している表面の方がすべり係数が高くなる可能性があると考えられる。しかし、FF2 と FF3 を比較すると、すべり係数の差は 2.5%と小さく、連結板に FCD 材を用いた場合は、ブラスト処理による粗さの向上がすべり係数に与える影響よりも、後述する FCD 材の形状の方がより支配的であったためと考えられる。

表面処理方法が同じである SF3 と FF3 を比較すると、連結板に SM 材を用いた SF3 の方が 21%程度すべり係数が高い。図-4 に SF3 と FF3 の試験後のすべり面の状態を示す。図に示されるように、すべりによって無機ジンクが剥がれることのできるすべり痕の面積が SF3 の方が大きい。これは図-5 に示すように、FCD 材の製造過程で部材軸直角方向のそりが存在し、母板と連結板の接触面積が小さくなったためと考えられ、そのため、連結板に FCD 材を用いた FF3 のすべり係数が低くなったと考えられる。

まとめ

鋳鉄を用いた部材の接合を想定して、母板に鋳鉄を用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験を行った。得られた結果を以下に示す。

1. 母板、連結板ともに鋳肌粗面の継手と、母板は鋳肌粗面、連結板は無機ジンクを塗装した SM 材を用いた継手のすべり係数は 0.4 を下回った。これは FCD 材の鋳

造過程でできる部材の形状が主な原因であり、鋳肌面の最大高さ粗さ Rz や十点平均粗さ Rzjis がブラスト面よりも小さいことも影響している。

2. 母板に無機ジンクを塗装した FCD 材、連結板に無機ジンクを塗装した FCD 材もしくは SM 材を用いた継手は、すべり係数 0.4 以上を確保することができた。連結板に SM 材を用いた場合、母板は下地にブラスト処理を行った後に無機ジンクを塗装した方が、ブラスト処理を行わない場合よりもすべり係数は 14%程度高くなった。しかし、連結板に FCD 材を用いた場合は、形状の影響によりすべり係数の上昇率は 2.5%程度と低かった。
3. 母板と連結板ともにブラスト処理を行って無機ジンクを塗装した継手では、連結板に SM 材を用いた方が、FCD 材よりも 21%程度すべり係数は高くなった。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編, P192, H24.3
- 2) 山田銃一, 塚原茂雄：鋳鉄の熱処理と力学的性質 P56,57, 2004.4
- 3) 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), 2006.12

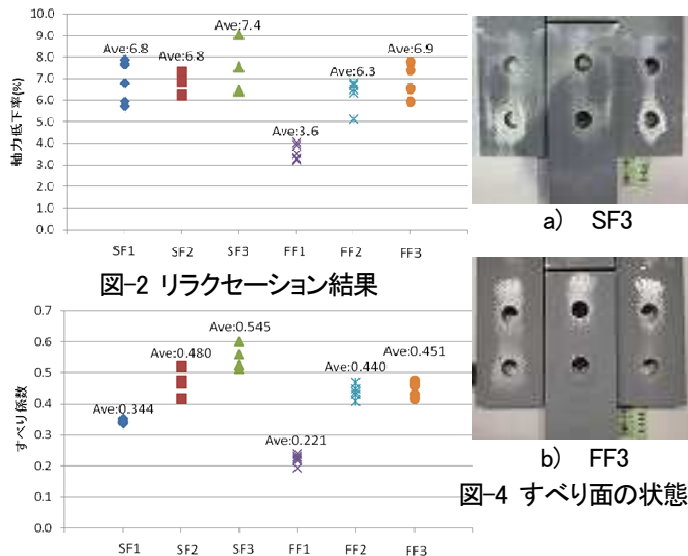


表-3 試験結果

| 試験体名 | 試験前軸力 (kN) | 軸力低下率 (%) | 低下率(平均) (%) | すべり荷重 (kN) | すべり係数 | すべり係数(平均) | 試験体名 | 試験前軸力 (kN) | 軸力低下率 (%) | 低下率(平均) (%) | すべり荷重 (kN) | すべり係数 | すべり係数(平均) |
|-------|------------|-----------|-------------|------------|-------|-----------|-------|------------|-----------|-------------|------------|-------|-----------|
| SF1-1 | 211.7 | 5.72 | 6.80 | 293.4 | 0.346 | 0.344 | FF1-1 | 217.6 | 3.54 | 3.61 | 201.9 | 0.232 | 0.221 |
| SF1-2 | 210.5 | 6.80 | | 287.0 | 0.341 | | FF1-2 | 216.9 | 3.93 | | 194.4 | 0.224 | |
| SF1-3 | 209.2 | 7.68 | | 282.4 | 0.337 | | FF1-3 | 218.4 | 3.25 | | 168.2 | 0.193 | |
| SF1-4 | 211.4 | 5.94 | | 298.1 | 0.352 | | FF1-4 | 219.6 | 3.30 | | 211.0 | 0.240 | |
| SF1-5 | 211.1 | 7.85 | | 290.1 | 0.344 | | FF1-5 | 216.8 | 4.05 | | 189.1 | 0.218 | |
| SF2-1 | 207.7 | 7.36 | 6.84 | 431.1 | 0.519 | 0.480 | FF2-1 | 211.4 | 6.51 | 6.30 | 380.3 | 0.450 | 0.440 |
| SF2-2 | 209.6 | 6.85 | | 398.5 | 0.475 | | FF2-2 | 210.7 | 6.80 | | 395.4 | 0.469 | |
| SF2-3 | 208.4 | 6.24 | | 349.1 | 0.419 | | FF2-3 | 210.5 | 6.36 | | 345.4 | 0.410 | |
| SF2-4 | 209.3 | 6.88 | | 391.7 | 0.468 | | FF2-4 | 214.1 | 5.14 | | 376.1 | 0.439 | |
| SF2-5 | 208.8 | 6.88 | | 435.6 | 0.521 | | FF2-5 | 209.8 | 6.70 | | 360.8 | 0.430 | |
| SF3-1 | 208.0 | 6.43 | 7.41 | 427.2 | 0.514 | 0.545 | FF3-1 | 208.1 | 6.56 | 6.85 | 358.1 | 0.430 | 0.451 |
| SF3-2 | 209.9 | 6.50 | | 439.6 | 0.524 | | FF3-2 | 211.9 | 6.56 | | 354.5 | 0.418 | |
| SF3-3 | 209.3 | 7.55 | | 469.4 | 0.561 | | FF3-3 | 209.4 | 7.76 | | 398.8 | 0.476 | |
| SF3-4 | 207.2 | 7.52 | | 436.3 | 0.526 | | FF3-4 | 209.4 | 7.41 | | 391.6 | 0.467 | |
| SF3-5 | 207.3 | 9.05 | | 499.4 | 0.602 | | FF3-5 | 210.8 | 5.94 | | 388.5 | 0.461 | |