間接連結を適用したフィラーを有する高力ボルト摩擦接合継手の すべりおよびすべり後挙動に関する実験的研究

| 大阪市立大学工学部 | 学生員 | 〇古財 | 千寿 |
|-----------|-----|-----|----|
| 九州工業大学大学院 | 正会員 | 高井  | 俊和 |

## 1. 研究背景および目的

近年,鋼橋では製作費削減の観点から一部材一断面で 製作し,継手位置で断面変化させる合理化構造が主流と なっている.その際,高力ボルト摩擦接合継手では,継 手間に板厚差が生じるため,フィラーを挿入する.

平成29年に道路橋示方書(以下,道示)<sup>1</sup>が改訂され, 限界状態設計法に移行した.高力ボルト摩擦接合継手に おいては、すべり後に対する照査も必要性となった.一 方、支圧接合継手では、フィラーの板厚によりボルト本 数の割増しや、図-1のようにフィラーを延長して割り増 しボルトでフィラーと母板を連結する規定(以下,間接 連結)がある.摩擦接合継手のすべり後は支圧接合に移 行すると想定した場合、摩擦接合継手に対して間接連結 の規定の適用が問題となる.しかし、間接連結を適用し た高力ボルト摩擦接合継手の挙動を検討した事例は、著 者らの知る限りではない.

本研究では、フィラーを有する高力ボルト摩擦接合継 手の引張試験を実施し、間接連結が継手のすべりおよび すべり後挙動に与える影響を明らかにすることを目的と している.

#### 2. 引張試験

試験体形状の例を図-2に示す. 試験におけるパラメー タは, 表-1に示すように, ボルト本数, フィラーと厚板 側母板の板厚比で定義する断面変化率, 連結方法とした. 板幅を調整し, 全ての試験体ですべり/降伏耐力比  $\beta$  を 0.6 程度とした.  $\beta$ の算出式を式(1)に示す.

$$\beta = \frac{\mu \cdot m \cdot n \cdot N_d}{A_n \cdot \sigma_y} \tag{1}$$

ここに、 $\mu$ : すべり係数、m: 接合面数、n: ボルト本数、 $N_d$ : 設計ボルト軸力、 $A_n$ : 純断面積、 $\sigma_v$ : 降伏点

接合面処理は、ブラスト処理後、無機ジンクリッチペイントを目標膜厚75µmとして塗布した.鋼種はSM490Y,ボルトは、すべり側に高力六角ボルト(F10T-M16)、固定側にトルシア型超高力ボルト(M22)を使用した.

| 大阪市立大学大学院 | 正会員 | 山口 | 隆司 |
|-----------|-----|----|----|
| 熊本大学大学院   | 正会員 | 森山 | 仁志 |

表-2 に示す設計耐力より,予想破断形式は全ケースで ボルトのせん断破断である.なお,フィラー断面は抵抗 断面として考慮せずに設計耐力を計算している.

載荷は 2000kN 万能試験機を用いて,載荷速度 1kN/s を目標に,ボルト破断が生じるまで載荷した.計測項目 は,図-3に示すように,継手全体変位,相対変位,ひず み分布,ボルト軸力,載荷荷重である.



図-1 支圧接合継手における間接連結の規定



図-2 試験体形状の例(単位:mm) 表-1 試験体パラメータ

|           |           | -                   |                    |                  | •        |            |                 |
|-----------|-----------|---------------------|--------------------|------------------|----------|------------|-----------------|
| 試験<br>ケース | ボルト<br>本数 | 薄板側<br>母板板厚<br>(mm) | フィラー<br>板厚<br>(mm) | 断面<br>変化率<br>(%) | 間接<br>連結 | 板幅<br>(mm) | 試験<br>体数<br>(体) |
| n3-NF     | 3         | 20                  |                    |                  |          | 80         |                 |
| n4-NF     |           | 28                  | -                  | -                | -        | 100        |                 |
| n4-SF20   |           | 22                  |                    | 20               | なし       | 125        |                 |
| n4-LF20   |           | 22                  | 0                  | 20               | あり       | 125        | 2               |
| n4-SF30   | 4         | 10                  | 0                  | 20               | なし       | 140        | 3               |
| n4-LF30   |           | 19                  | 9                  | 50               | あり       | 140        |                 |
| n4-SF50   |           | 14                  | 14                 | 50               | なし       | 190        |                 |
| n4-LF50   |           | 14                  | 14                 | 50               | あり       | 180        |                 |

表-2 設計耐力



キーワード フィラー,高力ボルト摩擦接合継手,間接連結,すべり後挙動

連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学 工学部 応用構造工学研究室 TEL06-6605-2765

# 3. 試験結果と考察

試験結果のまとめを表-3 に示す.すべり荷重は,継手 中央の端部より10mm 位置の母板と連結板の相対変位が 0.2mm に達した時の荷重<sup>2</sup>とした.すべり係数は試験前 軸力より算出し,間接連結の場合はボルト3本として算 出した.全ケースの最大荷重はボルト破断により決定さ れた.

n4-NF に対し,フィラーを挿入した SF はすべり荷重と 最大荷重ともに低下した.その最大荷重の低下量は約 10%であり,ボルト 0.5 本分に相当していた.しかし, 間接連結ありの LF は, n3-NF に対してフィラーの挿入 による荷重低下が抑えられた.

各接合面における荷重と相対変位の関係を図-4 に示 す.間接連結では、フィラーと母板の相対変位が小さく なり、フィラーと連結板、母板と連結板の接合面で同時 にすべりが発生した.よって、間接連結では、フィラー のない継手と荷重伝達メカニズムが類似していると考え られる.しかし、断面変化率が大きくなると、フィラー と母板の相対変位が大きくなる傾向となった.

ボルトの破断状況を図-5 に示す.フィラーを挿入する ことにより,破断面が2面から1面に変化し,間接連結 では継手内側から4本目のボルトが破断せずせん断変形 のみ生じた.破断したボルトのフィラー側の連結板のせ ん断面を確認すると,間接連結なしでは曲げ変形,間接 連結ありではせん断変形が生じていた.これは,図-4か ら分かるように,フィラーと母板と連結板の各接合面の 相対変位の大きさが異なることで,フィラーのボルト孔 壁からボルトが受ける支圧応力が変化したためと考えら れる.

## 4. まとめ

本研究では、間接連結がすべりおよびすべり後挙動に 与える影響について、ボルト本数、断面変化率をパラメ ータとしたフィラーを有する高力ボルト摩擦接合継手の 引張試験を行った.得られた結果を以下に示す.

- (1) すべり先行型で最大荷重がボルト破断により決定 される場合、フィラーを挿入することですべり荷重 と最大荷重は低下するが、間接連結により、フィラ ーによる荷重の低下を抑えることができる.
- (2) LF と SF を比べると、最大荷重とすべり荷重は SF の方が高く、ボルト本数を割増す場合は、連結板と フィラーをともに延長して、全てのボルトを継手内 に入れる方が望ましい.

(3) 間接連結では、フィラーと母板が一体化され、それ により、フィラーと母板の相対変位を抑えることが できる.その結果、継手全体の伸びを抑えることが できる.

### <参考文献>

- 公益社団法人 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 Ⅱ 鋼橋・鋼部材編, 2017.11.
- 2) 社団法人日本建築学会:鋼構造設計指針,第2版,2002.4.20.
  表-3 試験結果のまとめ

| 試験<br>ケース | すべり荷重<br>P <sub>sl</sub><br>(kN) | すべり係数<br><sup>µ</sup> | 最大荷重<br>P <sub>max</sub><br>(kN) | 設計耐力<br><i>P<sub>bod</sub></i><br>(kN) | 最大荷重/<br>設計耐力<br>P <sub>max</sub> /P <sub>bod</sub> |
|-----------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--|---|
| n3-NF     | 549                              | 0.79                  | 843                              | 734                                    | 1.15  |
| n4-NF     | 807                              | 0.87                  | 1165                             | 979                                    | 1.19  |
| n4-SF20   | 700                              | 0.75                  | 1066                             | 979                                    | 1.09  |
| n4-LF20   | 554                              | 0.78                  | 853                              | 734                                    | 1.16  |
| n4-SF30   | 766                              | 0.82                  | 1095                             | 979                                    | 1.12  |
| n4-LF30   | 631                              | 0.90                  | 893                              | 734                                    | 1.22  |
| n4-SF50   | 723                              | 0.77                  | 1020                             | 979                                    | 1.04  |
| n4-LF50   | 592                              | 0.82                  | 838                              | 734                                    | 1.14  |









図−5 ボルトの破断状況