

千鳥配置された高力ボルト摩擦接合継手の荷重伝達機構に関する解析的研究

大阪市立大学大学院 学生会員 ○山階 清永  
 大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀

大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司  
 大阪市立大学大学院 学生会員 高井 俊和

1. 研究目的および方針

鋼橋の部材の現場連結には高力ボルト摩擦接合継手が採用されることが多い。一般にボルト配置には矩形配置と千鳥配置がある。引張力を受けるI型断面桁のフランジ連結部では、孔引きによる板厚の増加を避けるため、図-1に示すような千鳥配置と矩形配置を組み合わせた砲台配置の摩擦接合継手が多く見受けられる。

また、近年、施工の省力化・維持管理の簡易化を狙いとした少数主桁橋の事例が多くなっており、そのフランジ継手部では板厚・ボルト列数が増加する傾向にある。一方、高力ボルトが多列となる厚板継手では、ボルトに作用する力が不均等になり、すべり耐力が低下することが明らかとなっている。<sup>1)</sup>

そこで本研究では、厚板・多列継手を対象とし、砲台配置された高力ボルト摩擦接合継手の、先端ボルト行数の違いによる荷重伝達の性状やすべり耐力への影響をFEM解析により検討する。

2. 解析モデル

解析対象はI型断面桁における引張フランジの高力ボルト摩擦接合継手を模擬した2面せん断継手とした。解析モデルは、既往の研究<sup>1)</sup>を参考に作成し、要素長5mm程度のソリッド要素で分割している。母板、連結板、ボルト、座金の接触面にはすべりや固着・離間を考慮できる接触境界を与えた。解析には汎用構造解析プログラムABAQUS/Standard<sup>2)</sup>を用いた。

解析ケースの諸元を表-1および図-2に示す。ボルトのピッチ、ゲージおよび縁端距離は、道路橋示方書<sup>3)</sup>を参考に設定し、全ケースで共通としている。

砲台配置の解析ケース(SG-9\_4topおよびSG-9\_2top)ではすべり/降伏耐力比 $\beta$ が同等となるよう設定し、砲台配置の先端ボルト行数によるすべり耐力への影響を



図-1 砲台配置の事例

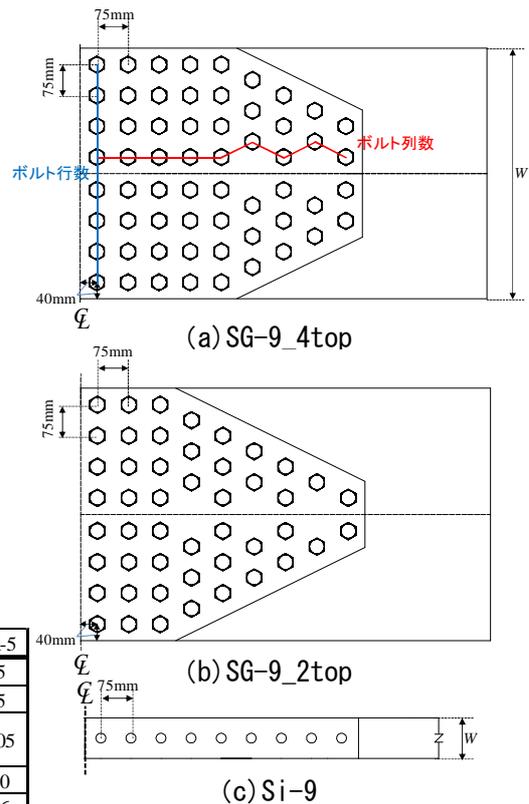


図-2 解析モデル

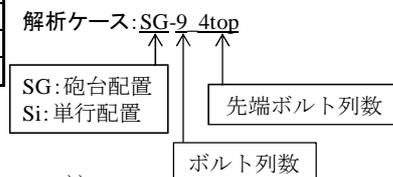
表-1 解析ケースの諸元

| 解析ケース                    |                      | SG-9_4top | SG-9_2top | Si-9 | Si-8 | Si-7 | Si-6 | Si-5 |
|--------------------------|----------------------|-----------|-----------|------|------|------|------|------|
| ボルト列数                    |                      | 9         | 9         | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    |
| ボルトM22(F10T)<br>孔径24.5mm | ボルト本数 $n$            | 60        | 48        | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    |
|                          | 導入軸力 $N_I$<br>(kN/本) | 205       | 205       | 205  | 205  | 205  | 205  | 205  |
| 母材 SM490Y                | 板厚 $t_m$ (mm)        | 62        | 50        | 50   | 50   | 50   | 50   | 50   |
| 連結板 SM490Y               | 板厚 $t_c$ (mm)        | 32        | 26        | 26   | 26   | 26   | 26   | 26   |
| 試験体幅 $W$ (mm)            |                      | 610       | 610       | 102  | 94   | 85   | 76   | 68   |
| 解析すべり/母板降伏耐力比 $\beta$    |                      | 1.32      | 1.31      | 1.31 | 1.30 | 1.31 | 1.31 | 1.30 |
| 解析連結板/母材降伏耐力比 $\gamma$   |                      | 1.07      | 1.08      | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 1.08 |
| 摩擦係数 $\mu$               |                      | 0.50      |           |      |      |      |      |      |

$\beta = (\text{すべり耐力}) / (\text{母板純断面降伏耐力})$

$\gamma = (\text{連結板純断面降伏強度}) / (\text{母板純断面降伏耐力})$

$(\text{すべり耐力}) = (\text{摩擦係数}(0.5)) \times (\text{ボルト本数}) \times (\text{摩擦面数}) \times (\text{設計ボルト軸力}(205\text{kN}))$



キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, 千鳥配置, 砲台配置, 厚板・多列継手  
 連絡先 〒658-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 TEL 06-6605-2765

検討する。また、これに加えて、砲台配置の $\beta$ と $\gamma$ を等しくなるように板幅を調整し、1行配置のモデル5ケースを設定した。

### 3. 解析結果と考察

#### 3.1 すべり係数

図-3 に各ケースのボルト列数とすべり係数の結果を示す。なお、砲台配置における列数の数え方は図-2 (a) 中に示す通りとした。砲台配置において、先端ボルト行数4行のケースおよび2行のケースで比較すると、2行としたものの方が2%程度すべり係数が低下していることがわかる。さらに、砲台配置(先端2行および4行)のすべり係数は、7列および8列の単行配置のケースの平均値程度である。また、同じボルト列数で砲台配置および単行配置を比較すると、単行配置が最もすべり係数が低く、砲台配置はその1.1倍程度のすべり係数となった。

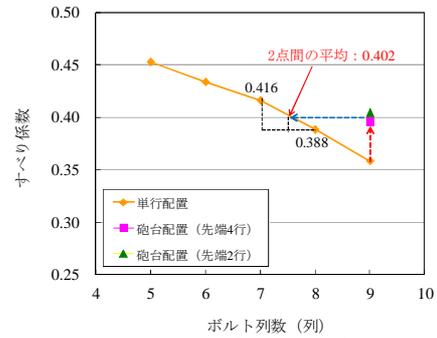


図-3 すべり係数

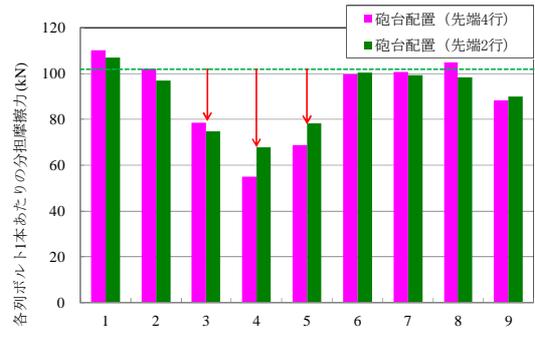


図-4 各列ボルト1本あたりの分担摩擦力

#### 3.2 接合面に作用する摩擦力

図-5 に砲台配置の先端2行ケースおよび4行ケースのすべり発生時における各列ボルト1本あたりの分担摩擦力を示す。図より、砲台配置の先端2行ケースおよび4行ケースで分担摩擦力の分布傾向はよく一致しており、いずれも矩形配置から千鳥配置に変化する境界前後で分担摩擦力が低下している。このように、分担摩擦力の分布傾向が一致していることですべり係数もほぼ一致したと考えられる。

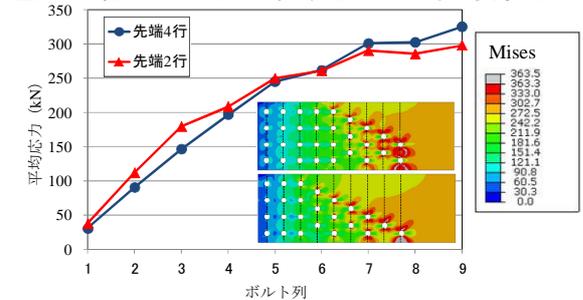


図-5 すべり時における応力分布

#### 3.3 すべり発生時における各ボルト列の平均応力

図-5 に砲台配置の先端2行ケースおよび4行ケースにおけるすべり発生時の各ボルト列に作用する平均応力の分布を示す。図中にはすべり時のミーゼス応力分布も併記している。図より、いずれのケースともに継手外側のボルト孔近傍において、局所的に降伏しているものの、平均応力では、降伏点に達しておらず、断面降伏には至っていないことがわかる。

### 4. まとめ

- 1) 砲台配置の先端ボルト2行ケースおよび4行ケースの、すべり時における分担摩擦力の分布傾向は一致した。
- 2) 砲台配置において、先端ボルト行数4行のケースと2行のケースでは、4行の方が2%程度すべり係数が低下したが、荷重伝達機構の観察からその差は有意ではなく、同じと考えられる。

- 3) 砲台配置において先端ボルト2行ケースおよび4行ケースにおいて外側ボルト孔で局所的に降伏するものの平均応力では降伏に達しておらず、全断面の降伏には至らない。
- 4) 2行ケースの方がすべり係数がやや高くなったが、局所降伏の影響は見られず、降伏先行型の継手において先端2行としても問題ないと考えられる。
- 5) 同じボルト列数(9列)において、砲台配置のすべり係数は単行配置の1.1倍程度であった。さらに砲台配置(9列)のすべり係数は単行配置の7列および8列の平均値程度であった。

#### 〈参考文献〉

- 1) 独立行政法人土木研究所、公立大学大阪市立大学：高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書、共同研究報告書428号、2012年
- 2) SIMULIA：Abaqus Analysis User's Manual, Ver6.9, 2009.
- 3) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説、II鋼橋編、2012年