

高力ボルトの列数が支圧接合の荷重伝達機構に及ぼす影響

大阪大学大学院    学生員    ○谷口    侑也

大阪大学大学院    正会員    亀井    義典

大阪大学大学院    正会員    奈良    敬

1. まえがき

平成 14 年に改訂された道路橋示方書<sup>1)</sup>(以下、道示)では、高力ボルト支圧接合に関する項目が設けられている。しかし現場施工では高力ボルト摩擦接合を用いたものが多く、打込み式ボルトを用いた支圧接合の実績はあるが、高力ボルト摩擦接合に比べて施工性が劣るなどの問題点が指摘されている。そこで、本報告では、載荷当初から高力ボルトとボルト孔が支圧しているモデルに加え、通常の高力ボルトを用いたクリアランスを有する支圧接合(以下、非支圧接合)についても対象とし、クリアランスの有無による高力ボルトの伝達せん断力の相違について言及する。支圧接合の荷重伝達機構について解析的な見地から考察を行うとともにボルト列数が支圧接合に与える影響についても考察を行う。

2. モデル諸元

表-1 にモデル諸元、図-1 に 1 行 3 列のモデル図を示す。本解析では、高力ボルト片側 1 行の 2 面せん断継手とする。初期導入ボルト軸力は、全ボルトに対して道示の設計軸力 165kN の 1 割増し 181.5kN を導入する。ボルト孔径は道示に従い支圧接合、非支圧接合共に 21.5mm とし、ボルト間隔  $d$ 、縁端距離  $e$  についても同様にそれぞれ 70mm, 50mm とする。また板幅  $b$ 、母材厚  $t_1$ 、連結板厚  $t_2$  をそれぞれ 100mm, 20mm, 11mm に設定した。母材降伏強度  $N_{FYn}$  および連結板降伏強度  $N_{SYn}$  の算出に際しては、降伏応力度 355 MPa を用い、すべり強度・母材降伏強度比 ( $\beta = N_{SL}/N_{FYn}$ )、連結板・母材降伏強度比 ( $\gamma = N_{SYn}/N_{FYn}$ ) は表値のようになる。また弾性係数は  $2.0 \times 10^5$  MPa, ポアソン比は 0.3 とする。解析では対称性を考慮し継手全体の 1/8 モデルとし、初期ボルト軸力導入後、外力として継手端部に強制変位を与える。なお本解析は高力ボルト接合を対象に開発された弾塑性有限変位解析プログラム (SABOL)<sup>2)</sup>を用いた。

表-1 モデル諸元

|     | 高力ボルト<br>(B10T.M20) |     | 鋼種     | 板幅( $b$ ) | 板厚(mm)      |              | $\beta$<br>( $=N_{SL}/N_{FYn}$ ) | $\gamma$<br>( $=N_{SYn}/N_{FYn}$ ) |
|-----|---------------------|-----|--------|-----------|-------------|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
|     |                     |     |        |           | 母材( $t_1$ ) | 連結板( $t_2$ ) |                                  |                                    |
| S-3 | 1行3列                | 非支圧 | SM490Y | 100       | 20          | 11           | 0.77                             | 1.1                                |
| S-5 | 1行5列                |     |        |           |             |              | 1.29                             |                                    |
| S-7 | 1行7列                |     |        |           |             |              | 1.8                              |                                    |
| S-9 | 1行9列                |     |        |           |             |              | 2.41                             |                                    |
| T-3 | 1行3列                | 支圧  | SM490Y | 100       | 20          | 11           | 0.77                             | 1.1                                |
| T-5 | 1行5列                |     |        |           |             |              | 1.29                             |                                    |
| T-7 | 1行7列                |     |        |           |             |              | 1.8                              |                                    |
| T-9 | 1行9列                |     |        |           |             |              | 2.41                             |                                    |

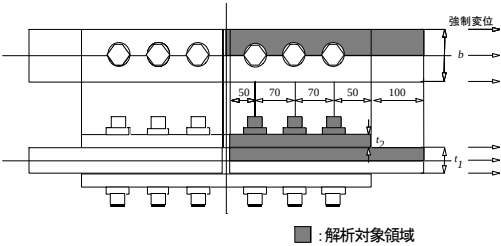


図-1 モデル図

3. 解析結果

図-2 に荷重-全伸び関係を示す。図の縦軸は載荷荷重  $P$  を母材降伏強度設計値  $N_{FYn}$  で無次元化した値  $P/N_{FYn}$ 、図の横軸は全伸びを継手全長で無次元化した値を表す。S-3 のモデルは主すべりが発生し、挙動にも表れている。一方 T-3 のモデルは載荷当初から支圧を考慮しているためすべりの挙動は表れない。また、S-7, T-7 のモデルは  $\beta$  値のうへでは降伏先行型に区分されるためすべり強度に達する前に全断面降伏に至る。

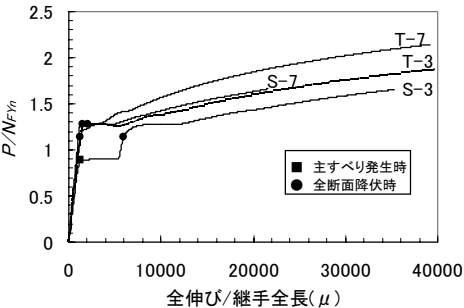


図-2 荷重-全伸び関係

図-3 に S-3, S-7, T-3, T-7 の母材-連結板間の伝達せん断力の分布を示す。ここでいう伝達せん断力とは接触面で摩擦およびボルトのせん断により母材-連結板間で伝達される力である。図の横軸は各ボルト列を表している。荷重レベルは載荷荷重  $P$  を母材降伏強度

$N_{FYn}$  で無次元化した値  $P/N_{FYn}$  で表す。3列のモデルでは図中に実線でボルト一本分のすべり強度の公称値 (36.3kN) を示している。S-3 のモデルでは、主すべりが発生する  $P/N_{FYn}$  が 0.8 付近で全ボルト列がほぼ均等に力を分担している。これは内側・外側ボルト列で摩擦抗力が損なわれ、大きな伝達せん断力を分担できず中央ボルト列に移行したためである。それに対し T-3 のモデルでは摩擦抗力が損なわれた状態でも最外列と中央ボルト列の荷重分担の差が著しい。一方 S-7 と T-7 のモデルに関しては、荷重レベルが大きくなっても内側・外側ボルト列で大きなせん断力が分担され、S-7 のモデルでは塑性変形の影響で中央ボルト列へ力が流れ込む傾向が認められるが、T-7 のモデルは T-3 のモデルと同様最外列と中央ボルト列の荷重分担の差が著しい。

図-4 に S-3, S-5, T-3, T-5 について高力ボルトのせん断力の分布を示す。ここでいうせん断力とは母材-連結板間の接触面において、ボルトのせん断方向の平均応力にボルトの断面積を乗じた値である。荷重レベルが小さい段階では非支圧接合は

支圧に達していないためボルトのせん断力は発生せず、主すべり発生以後ボルトと孔の支圧によりせん断力が発生する。支圧接合では載荷当初からせん断力が作用する。S-3 のモデルは荷重レベルが大きくなるにつれて全ボルトでせん断力はほぼ均等となり  $P/N_{FYn}=1.6$  のときは各ボルト列のばらつきは 13%以内におさまる。一方、T-3, T-5 のモデルは荷重レベルの増加にともないボルト列全体の伝達力は大きくなるものの載荷当初 2%程度の差であった各ボルトのせん断力のばらつきは、荷重レベルが 1.0 を越えたあたりから内および外側ボルト列に比べて中央ボルト列で卓越する傾向にあり、 $P/N_{FYn}=1.6$  のときは 42%以上に達する。また、S-5 のモデルは降伏先行型であるため荷重レベルが大きくなると塑性変形の影響で最内・最外ボルト列のみが支圧状態に達し、中央ボルト列ではボルトのせん断力の発生は認められない。

#### 4. 強度比較

図-5 に S シリーズ, T シリーズにおける降伏強度比較を示す。図の縦軸は降伏荷重を母材降伏強度で無次元化した値  $P_{FYn}/N_{FYn}$ 、横軸にはボルト列数を表している。両シリーズとも設計値を 1 割以上上回っている。支圧接合と非支圧接合を比較すると 10%以上の強度上昇が認められる。また降伏強度はボルト列数に関係なくほぼ一定の値をとっている。

#### 5. まとめ

- ・非支圧接合では荷重レベルがあがると各ボルト列で受け持つボルトのせん断力はほぼ均等になる。一方支圧接合では荷重レベルがあがると部材の降伏が著しい最内・最外ボルト列でせん断力が小さくなる。
- ・非支圧接合は、主すべりが発生した継手でのみ各ボルト列でせん断力を分担しており、支圧強度を利用することが可能である。
- ・支圧接合では載荷当初から各ボルト列がほぼ均等にせん断力を分担しており、本解析の範囲では高力ボルトの列数による影響は認められない。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，2002.3.  
2) 亀井，西村：高力ボルト摩擦接合継手の主すべり以降の挙動，鋼構造論文集，Vol.8，No.31，pp.17-29，2001.9

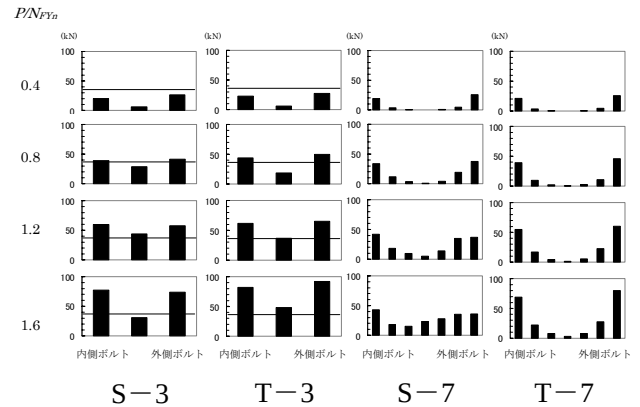


図-3 伝達せん断力の分布

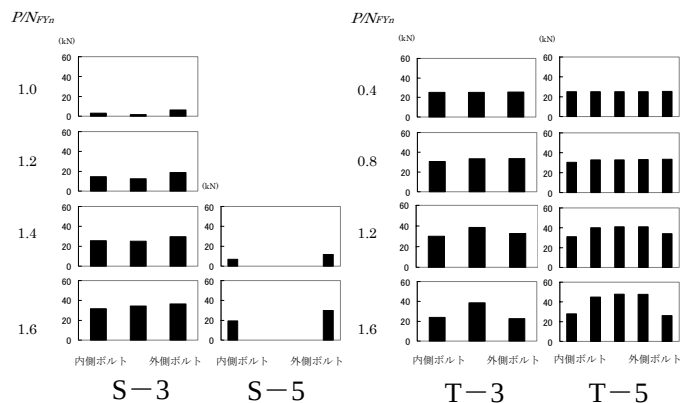


図-4 高力ボルトのせん断力の分布

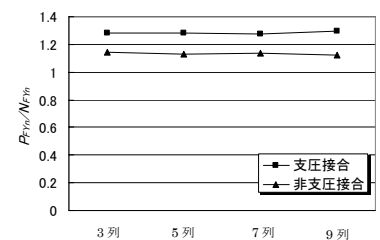


図-5 降伏強度比較