

F18T 超高力ボルト摩擦接合継手の限界状態に関する 2、3 の考察

大阪市立大学大学院 学生員 池田 敬之
 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 正会員 北田 俊行

1. はじめに

1.1 研究目的およびその背景

近年、製作・施工上コストがかかり、かつあまり注目されてこなかった高力ボルト接合部の合理化が求められている。また、その余地も大きい。この最も有効なソリューションの一つとして、高力ボルトをさらに高強度化し、ボルト本数の低減を図った超高力ボルト摩擦接合継手の採用が考えられている¹⁾。実際、物質材料研究機構(NIMS)では、F18Tクラスのボルトが既に開発されている²⁾。しかし、超高力ボルトに導入される高軸力による力学挙動への影響が定量的に把握されておらず、未解明な点も多く、採用される状況には至っていない。

そこで、本研究では、F18Tクラスの超高力ボルトを用いた摩擦接合の最も簡単なモデルに対して有限要素解析を行い、力学的挙動に与える高軸力の影響に関して検討している。すなわち、使用ボルト、ボルト本数、ならびに母材および連結板として使用する鋼種を解析パラメータとし、材料境界非線形性を考慮したFEM解析を行い、すべり/降伏強度比とすべり係数 μ_e との関係について考察した。

1.2 すべり/降伏強度比とすべり係数 μ_e の定義

本研究で用いる、すべり/降伏強度比およびすべり係数 μ_e の定義をそれぞれ式(1)および式(2)に示す。これらは、設計時点での摩擦係数や初期導入ボルト軸力などが未知数であることに配慮している。

$$\beta = \frac{P_{SL}}{P_{FYn}} = \frac{0.4 \cdot m \cdot n \cdot N_d}{A_n \cdot \sigma_y} \quad (1)$$

$$\mu_e = \frac{F_{SL}}{m \cdot n \cdot N_0} \quad (2)$$

ここに、

P_{SL} : 設計すべり強度 P_{FYn} : 母材の公称降伏強度
 n : ボルト本数 N_d : 設計ボルト軸力 m : 摩擦面数
 A_n : 純断面積 F_{SL} : すべり荷重 σ_y : 降伏点
 N_0 : 初期導入ボルト軸力 (もしくは標準ボルト軸力)

設計すべり強度 P_{SL} の算定で用いるすべり係数は道路橋示方書で規定されている0.4を、母材の降伏強度 P_{FYn} の算定には公称の降伏点を用いる。また、純断面積の算定で用いる純幅は道路橋示方書に従い、孔径+0.5mmとしている。なお、すべり係数の算定にあたっては、標準ボルト軸力を用いている。

2. 解析モデルと解析ケース

本解析で設定した解析モデルの概要を図-1に、設定した解析ケースを表-1に示す。

解析におけるパラメータは、母材の板厚と連結板の板厚、鋼材の種類、およびボルト列数である。これらをパラメータとし、すべり/降伏強度比を変化させた。本解析では、すべり係数の値に大きく影響すると考えられる静止摩擦係数および初期導入ボルト軸力については、それぞれ0.6および一本あたり191kN(標準導入軸力)の一定値とし、すべり係数とすべり/降伏強度比との関係に注目している。静止摩擦係数は、すべりが支配的である同様の引張実験結果をもとにキャリブレーションして決定している。また、連結板の特性もすべり強度に影響することから、連結板の降伏強度の公称値と母材の降伏強度の公称値との比がほぼ一定となるように、連結板の板厚を調整して設定している。なお、は式(3)で与えられる。

$$\gamma = \frac{P_{SYn}}{P_{FYn}} \quad (3)$$

ここに、 P_{SYn} は、連結板の公称降伏強度である。

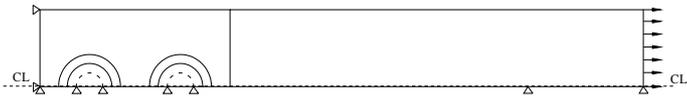
解析モデルは図-1に示すように対称性を考慮して1/8モデルとしている。なお、ボルト配置に関して列方向ボルト間隔は55mm、ボルト孔のはしあきは30mmである。



(a) 断面図

キーワード：超高力ボルト、摩擦接合、限界状態

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橋梁工学分野 TEL:06-6605-2735



(b) 平面図

図-1 解析モデルの形状と境界条件

表-1 解析ケースの内訳

F18T						
解析ケース	母材		連結板			
	板厚	材質	板厚	材質		
1	16	SM490Y	19	SM490Y	0.38	1.02
2	12.5	SM570	19	SM490Y	0.38	1.03
3	12.5	SM570	16	SM570	0.38	1.10
4	10	SM490Y	10	SM570	0.60	1.09
5	8	SM490Y	9	SM570	0.75	1.23
6	7.5	SM490Y	7.5	SM570	0.80	1.09
7	5	SM570	8	SM490Y	0.95	1.09
8	6	SM490Y	6	SM490Y	1.00	1.09
9	5.9	SM490Y	5.5	SM570	1.02	1.02
10	4.5	SM570	6	SM570	1.05	1.15
11	4.3	SM490Y	6.5	SM570	1.40	1.03
12	3.8	SM490Y	3.6	SM570	1.58	1.03
13	3	SM570	4.5	SM490Y	1.58	1.02
14	3	SM570	3.5	SM570	1.58	1.00
F10T						
解析ケース	母材		連結板			
	板厚	材質	板厚	材質		
15	26	SM490Y	40	SM490Y	0.36	1.30
16	18	SM490Y	28	SM490Y	0.51	1.29
17	14.5	SM490Y	22	SM490Y	0.65	1.32
18	10.4	SM490Y	16	SM490Y	0.89	1.30
19	9	SM490Y	14	SM490Y	1.02	1.29
20	7.8	SM490Y	12	SM490Y	1.18	1.30
21	6.5	SM490Y	10	SM490Y	1.42	1.30
22	5.2	SM490Y	8	SM490Y	1.78	1.30

3. 解析結果

解析で得られた とすべり係数低下率 $\mu_e / \mu_{0.38}$ の関係を 図-2 に、すべり発生時の母材の応力コンター（相当応力）を 図-3 に示す。すべり係数低下率は、解析で得られたすべり係数 μ_e を、 $\mu_{0.38}$ におけるすべり係数 $\mu_{0.38}$ で無次元化したものと定義している。

F10T の場合、 < 0.89 ではすべり係数が緩やかに低下し、 > 0.89 ではすべり係数が顕著に低下しているのが確認できる。一方、超高力ボルトである F18T の場合、 < 0.75 において、すべり係数が緩やかに低下し、 > 0.75 において、すべり係数が顕著に低下しているのが確認できる。

図-3 より、 < 0.75 では塑性領域（灰色部分）が現れおらず、 $0.75 < < 0.95$ では局所降伏、さらに > 0.95 ではすべり発生時に全断面降伏が確認できる。このように、すべり発生時における塑性領域の大小がすべり係数の低下に影響を及ぼしており、これはボルトに導入される高軸力とも密接に関係している。

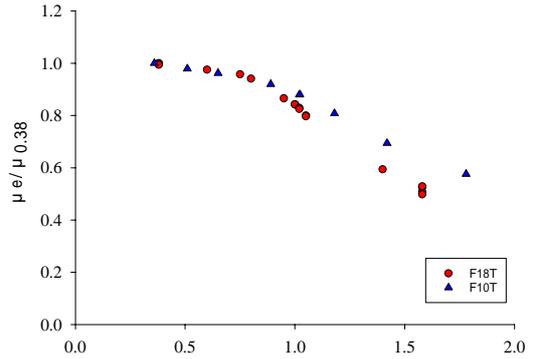


図-2 すべり係数低下率 $\mu_e / \mu_{0.38}$

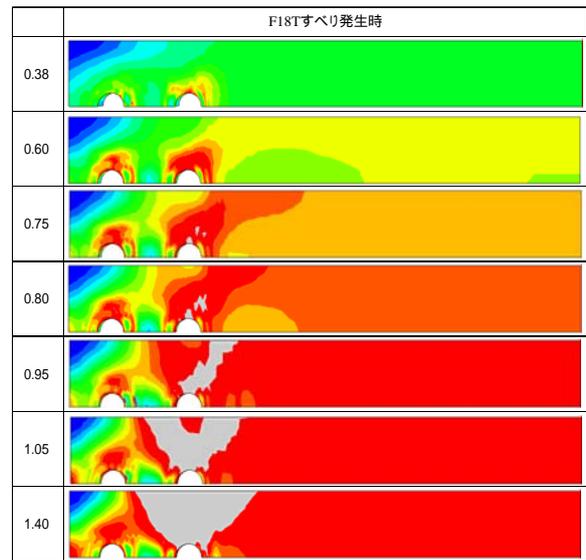


図-3 すべり発生時の母材の応力コンター

4. まとめ

F18T 超高力ボルト引張継手の力学的挙動をボルトに導入される高軸力に注目して解析を行った。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) F10T と F18T との比較から、高い軸力が導入される F18T の方が、すべり係数の低下が の小さい段階から始まることがわかった。
- (2) F10T と F18T との比較から、F18T の方がすべり係数の低下率が大きく、 $0.75 < < 0.95$ では約 10%、 > 0.95 では約 35% の低下を確認できた。

参考文献

- 1) 独立行政法人 物質・材料研究機構：第 7 回 超鉄鋼ワークショップ 使える材料、活かす新構造、pp.50-51、2003.6
- 2) 独立行政法人 物質・材料研究機構：第 8 回 超鉄鋼ワークショップ 新構造の提案と求められる材料技術、pp.36-37、2004.7