

S14T を用いた摩擦接合継手における連結板の構造諸元がすべり耐力に与える影響

大阪公立大学大学院 学生員 ○小西 美里
大阪公立大学大学院 学生員 佐倉 亮

大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司
大阪公立大学大学院 正会員 林 厳

1. 研究背景および目的

14T クラスの高力ボルト S14T は、10T クラスの高力ボルト S10T より導入軸力が高く、S10T より連結板の降伏やリラクセーションが生じやすい。道路橋示方書¹⁾では、摩擦接合継手（以下、継手）に S14T を用いる際の被接合材は、SM570 または SBHS500 とすることが規定されている。文献²⁾より、鋼種 SM490Y の 14T クラスのボルト継手のすべり係数は、鋼種 SM490Y の 10T クラスのボルト継手に比べて 10%程度低いことがわかってはいるが、すべり先行型にのみ検討されており、すべり／降伏耐力比 β が 1.0 程度であるすべり・降伏連成型（以下、連成型）における検討はなされていない。

本研究では、すべり先行型および連成型において、ボルト等級（S14T、S10T）と鋼種（SM570、SM490Y）をそれぞれ組み合わせた摩擦接合継手が板の塑性化、すべり耐力に与える影響を FEM 解析により検討する。

2. 解析手法

表-1 に解析ケースを、図-1 に解析モデルを示す。解析ソルバーに Abaqus/Standard2022 を使い、継手長さを 790mm とした継手を、遊間部中央、板幅方向で対称性を

を考慮してモデル化した。解析パラメータは、ボルトの等級、鋼種、連結板／母材降伏耐力比 γ とした。

表-1 に示すように、連成型では $\beta \geq 1$ となるように 1.04 ～1.08、すべり先行型で 0.70 程度となるよう設定した。また、 β は板幅を変更することで揃えている。連結板厚の違いによる接触圧力の影響を評価するため、 γ を変化させたケースも設定した。使用要素は、8 節点低減積分ソリッド要素を基本とした。接触条件は、図-1 に示すように部材間にクーロン摩擦モデルを付与した。

ボルト軸力は、M22S14T の設計軸力(=299kN)、M22S10T の設計軸力(=205kN)である。引張荷重は締付完了後、母材端面に一律な強制変位として与えた。材料特性は図-2 に示すように、母材および連結板は SM570・SM490Y、ボルトセットは S14T・S10T とし、ひずみ硬化を $E/100$ で考慮したバイリニア型で再現した。また、解析の最大荷重をすべり荷重 P_{slip} とした。

3. 試験結果と考察

連成型 ($\gamma=1.26$) の荷重－相対変位関係と荷重－ボルト軸力低下率関係を図-3、図-4 にそれぞれ示す。相対変位 (δ_1 , δ_2 , δ_3) の測定位置は、 δ_1 は母材縁端部か

表-1 解析ケース

解析ケース	ボルトの種類 (M22)	鋼種	母材板厚 t_m (mm)	連結板板厚 t_s (mm)	板幅 w (mm)	母材純断面降伏耐力 P_{ym} (kN)	連結板純断面降伏耐力 P_{ys} (kN)	すべり／降伏耐力比 β_d	連結板／母材降伏耐力比 γ_d	連結板に生じる垂直応力 σ_u (N/mm ²)	連結板に生じる垂直応力 σ_l (N/mm ²)
S10T-12-19-SM570-Y	S10T	SM570	19	12	65	346	437	1.07	1.26	283.5	161.4
S14T-12-19-SM570-Y	S14T	SM570	19	12	85	517	653	1.04	1.26	413.5	235.5
S10T-12-19-SM490Y-Y	S10T	SM490Y	19	12	75	341	430	1.08	1.26	283.5	161.4
S14T-12-19-SM490Y-Y	S14T	SM490Y	19	12	100	509	643	1.06	1.26	413.5	235.5
S14T-16-22-SM490Y-Y	S14T	SM490Y	22	16	90	512	744	1.05	1.45	413.5	205.9
S10T-12-19-SM570-S	S10T	SM570	19	12	85	517	653	0.71	1.26	283.5	161.4
S14T-12-19-SM570-S	S14T	SM570	19	12	115	774	977	0.70	1.26	413.5	235.5
S10T-12-19-SM490Y-S	S10T	SM490Y	19	12	100	509	643	0.72	1.26	283.5	161.4
S14T-12-19-SM490Y-S	S14T	SM490Y	19	12	135	745	941	0.72	1.26	413.5	235.5
S14T-16-22-SM490Y-S	S14T	SM490Y	22	16	120	746	1085	0.72	1.45	413.5	205.9

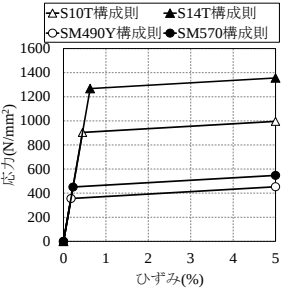


図-2 材料特性

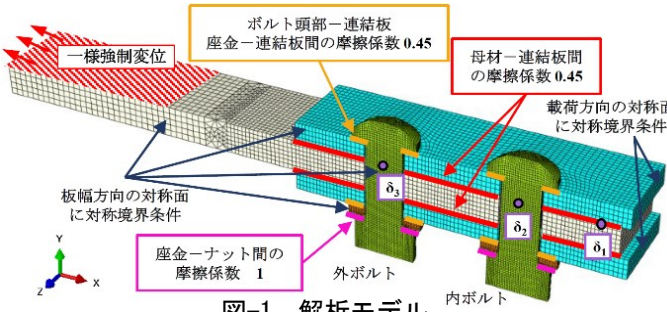
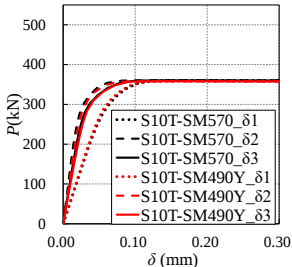
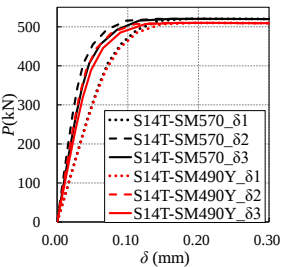


図-1 解析モデル



(a) S10T



(b) S14T

図-3 荷重－相対変位関係

キーワード S14T ボルト、2 面摩擦接合継手、すべり耐力
連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪公立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL&FAX 06-6605-2765

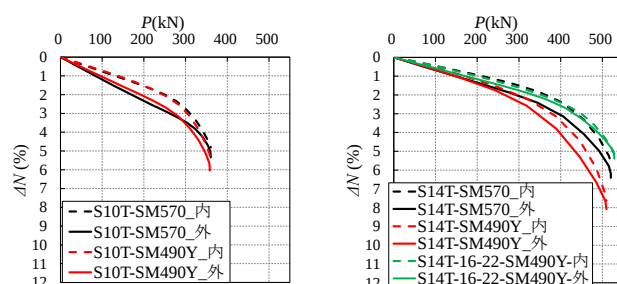
ら 10mm, δ_2 は内ボルト位置, δ_3 は外ボルト位置である。

図-3 より, 相対変位は, すべてのケースで δ_1 が最も大きく, δ_2 が最も小さくなった。また, S10T では鋼種による相対変位の挙動の違いは見られないが, S14T では δ_2 と δ_3 では SM570 より SM490Y の方が大きくなった。これは, SM490Y のケースでは, 図-5 のようにボルト締付け完了時に上連結板(頭部側)はボルト孔周辺が板厚方向に全域, 下連結板(ナット側)は板厚中心付近まで降伏するためである。

図-4 より, S10T では内ボルトでは鋼種による違いは認められないが, 外ボルトでは SM490Y の方が傾きの変化が大きく, 300kN 程度で軸力低下率が逆転している。また, S14T では, 弾性挙動時から SM490Y の方が軸力低下率は大きく, すべり時の軸力低下率では約 1.5%大きい。一方, S14T における $\gamma=1.45$ の軸力低下率は, $\gamma=1.26$ の SM570 より小さくなった。図-4, 図-5 のような傾向は, すべり先行型でも同様であった。

図-6 に各ケースのすべり係数を示す。 $\gamma=1.26$ における連成型のすべり係数は, 同ボルト等級内で比較すると, SM490Y より SM570 の方が 1.9~2.4%高く, 同じ鋼種内では S14T より S10T の方が 0.9~1.4%高くなった。一方, すべり先行型のすべり係数は, $\gamma=1.26$ のケースでは S14T-12-19-SM490Y のみ 2.3%低くなったが, その他のケースは同程度であった。文献 2)の形状を揃え β が揃っていなかった際は 10%程度低下したことから, β が同程度であればすべり係数の差は小さいと考えられる。また, $\gamma=1.45$ である S14T-16-22-SM490Y のすべり係数は, β によらず, S10T-12-19-SM570 と同程度であった。

図-7 に連成型の S10T-12-19-SM570 以外のすべり荷重 P_{slip} 時の, 図-8 に S14T-12-19-SM490Y と S14T-16-22-SM490Y の上連結板の接触面の Mises 応力コンター図を示す。S14T-12-19-SM570 と S10T-12-19-SM490Y は, 内ボルト孔位置では連結板が, 外ボルト孔位置では母材が主に降伏している。S14T-12-19-SM490Y は, 内ボルト孔位置では連結板と母材が, 外ボルト孔位置では母材が主に降伏している。導入軸力が高いことで S10T-12-19-SM490Y より降伏進展と軸力低下率が大きく, すべり係数は低くなったと考えられる。S14T-16-22-SM490Y($\gamma=1.45$)の板厚方向の降伏進展は S10T-12-19-SM490Y($\gamma=1.26$)のそれと同程度である。これは, 図-8 に示すように接触圧力が低下することによって板幅方向の降伏進展が抑制されることですべり係数は高くなったと考えられる。



(a) S10T (b) S14T
図-4 荷重-ボルト軸力低下率関係

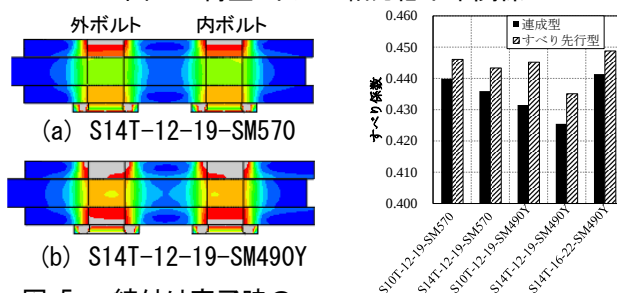


図-5 締付け完了時の Mises 応力コンター図

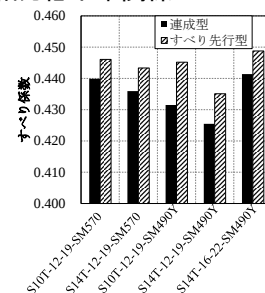


図-6 すべり係数

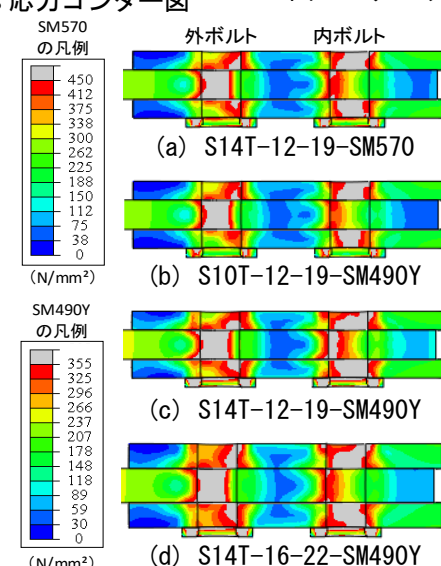


図-7 母材・連結板・座金の Mises 応力コンター図

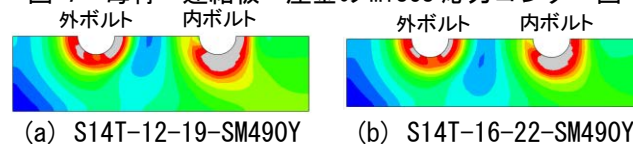


図-8 上連結板の接触面の Mises 応力コンター図

5. まとめ

- 1) S14T は, 鋼種を SM570 から SM490Y とすると, すべり/降伏耐力比 β によらず, すべり係数は低下した。
- 2) 連結板厚を 12mm から 16mm にすると, すべり係数が約 3%向上した。すべり係数には締付け完了時の連結板の降伏が影響し, 連結板の降伏が板厚中心までとなるような板厚では, S14T に対し, SM490Y も適用可能と考えられる。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編, 2017.
- 2) 森猛, 網谷岳夫, 内田大介：高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数に対するボルト軸力の影響, 土木学会論文集 A1, Vol.75, No.1, pp58-66, 2019.