

第Ⅰ部門 高力ボルト摩擦接合継手の接合面接触圧とすべり係数の関係に関する実績調査

(株) IHI インフラシステム 正会員 ○高木 夢菜 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 林 厳 大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司

1. はじめに

高力ボルト摩擦接合継手には F10T, S10T ボルトが一般に用いられるが, F14T 級の高強度高力ボルトの適用が進められている. 文献 1) では, 導入ボルト軸力が増加すると, 母板-添接板間の接合面に作用する接触圧が増加し, すべり係数が低下する傾向を示すことが報告されている. 道路橋示方書 2) では, 安全側の評価として接触圧によらず, 接合面に無機ジンクリッチペイント (以下, 無機ジンク) を塗布した場合の設計すべり係数は 0.45 と規定している.

本研究では, 無機ジンクを塗布した摩擦接合継手を対象に, 接触圧がすべり係数に与える影響を明らかにすることを目的に既往実験の調査を行った.

2. 文献調査の手法

接触圧とすべり係数の関係を評価するために, 表-1 に示す抽出条件のすべり試験体を対象とした 3). データ抽出を行った文献の概要を表-2 に示す. ここで, 実験データの評価に用いるすべり係数は式(1)より算出した. また, 評価に用いるボルト軸力は, 設計ボルト軸力 N_0 と試験前軸力 N_1 である.

$$\mu_0 = \frac{F}{nmN_0}, \mu_1 = \frac{F}{nmN_1} \tag{1}$$

ここに, μ_0, μ_1 : すべり係数, F : すべり耐力(kN), n : ボルト本数, m : 摩擦面数, N_0 : 設計軸力(kN), N_1 : 試験前軸力(kN)である.

接合面の平均的な接触圧 (以下, 公称面圧 σ_n) は, 式 (2)より算出した. 接触圧の作用範囲は, ボルト頭部と座金の接触部分から, 板厚方向に 45° の角度で接触圧が広がるものとして, 接触面積を算出した (図-1).

$$\sigma_{n0} = \frac{N_0}{A} = \frac{N_0}{\pi(r_2^2 - r_1^2)}, \sigma_{n1} = \frac{N_1}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} \tag{2}$$

ここに, σ_{n0}, σ_{n1} : 公称面圧(N/mm²), A : 接触圧分布面積(mm²), r_1 : ボルト孔径(mm), r_2 : 接触圧の分布半径(mm)である.

3. 文献調査の結果

ボルト等級別 (10T, 14T) に対して t 分布の予測区間 90% (片側超過確率 5%) とした標本の予測区間推定結果を表-3, 図-2 に示す. 表-3, 図-2 より, 10T より 14T の

表-1 実験データの抽出条件

項目	条件
接合面処理	ブラスト処理+無機ジンクリッチペイント
摩擦面数	2面
ボルト本数	2本または3本 (1行継手)
すべり降伏耐力比	0.8未満
塗膜厚	片面当たり 50-100μm
孔形状	標準孔

表-2 データ抽出した文献 3)

発行年	ボルト等級	ボルト軸径	添接板厚 [mm]	ボルト配置	試験パラメータ	抽出データ数
1990	F10T	M22	12	1行2列	ボルト等級	3
1998	F10T	M22	12	1行2列	-	3
2014	F10T	M22	20 26 38	1行3列	母板厚 ボルト列数	11
2014	F10T	M22	16	1行2列	-	4
2015	S10T S14T	M22 M24	16	1行2列	孔径 ボルト等級 呼び径	26
2016	F6T F8T F10T	M22	12	1行2列	ボルト軸力	9
2020	F10T	M22	9	1行2列	-	3
2020	F10T S10T	M22	9 22	1行2列	ボルト等級 板厚	12
2021	F10T S14T	M22	16	1行3列	-	10
2022	F10T	M22 M30 M36	12	1行2列	呼び径 添接板厚 ボルトピッチ	24
2023	F10T	M22	12	1行2列	締付け軸力	9

総データ数 114

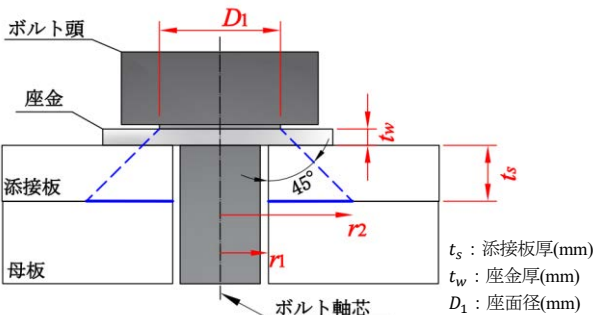


図-1 接触圧の作用範囲

方が公称面圧の範囲に対するすべり係数の変動が大きく, すべり係数の平均値が低い. また, 10T と 14T の 90%予測区間の下限値は, それぞれ 0.475, 0.448 となり, 14T において 0.45 を下回った.

σ_{n0} - μ_0 関係, σ_{n1} - μ_1 関係を図-3 に示す. また, 図-3 には, 実験結果に対する線形近似線と, 90%予測帯を併記している. 図-3 の近似線は, 決定係数 R^2 が最も大きな

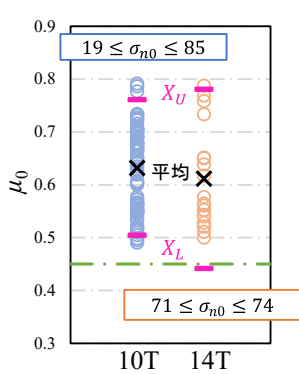
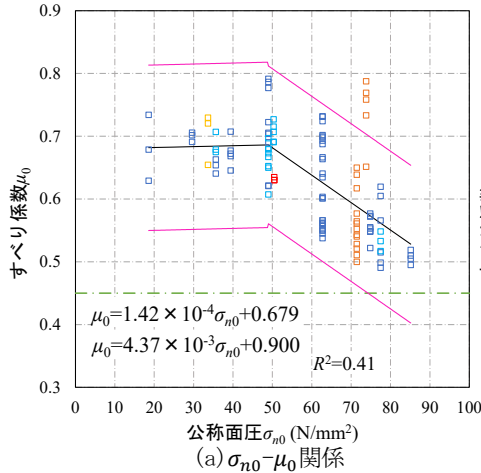
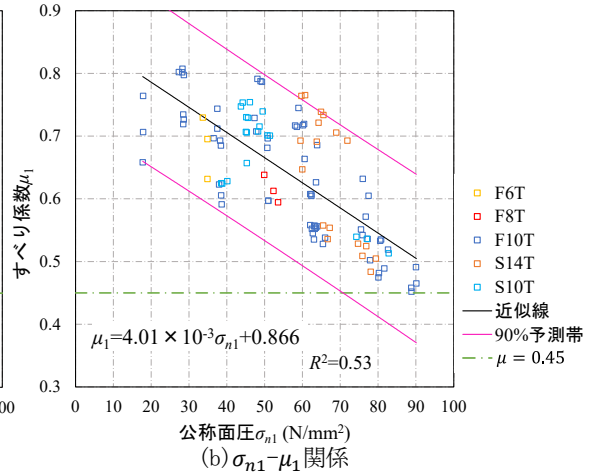


図-2 等級別の予測区間



(a) σ_{n0} - μ_0 関係



(b) σ_{n1} - μ_1 関係

表-3 等級別の予測区間推定結果

	n	β	u	$\bar{X}$	X_L	X_U
10T	μ_0	96	1.670	0.077	0.633	0.761
	μ_1	96	1.670	0.098	0.639	0.803
14T	μ_0	18	1.787	0.095	0.611	0.781
	μ_1	18	1.787	0.102	0.630	0.813

n : 標本数, β : 10%フラクティル値(目標信頼性指標),
 u : 不偏分散の平方根, $\bar{X}$: 標本平均,
 X_L : 予測区間の下限値, X_U : 予測区間の上限値

図-3 公称面圧とすべり係数の関係

表-4 継手形状別の公称面圧 (N/mm²)

ボルト等級		F8T			F10T			F14T		
ボルト呼び		M20	M22	M24	M20	M22	M24	M20	M22	M24
設計軸力 [kN]		133	165	192	165	205	238	242	299	349
添接板厚 [mm]	9	64	62	62	80	78	77	117	113	113
	12	51	51	51	63	63	64	92	92	93
	16	39	39	41	48	49	50	70	71	74
	22	27	29	30	34	36	37	50	52	55
	26	22	24	25	28	30	31	41	43	46
	30	19	20	21	23	25	27	34	37	39

黄色背景: 公称面圧 70N/mm²以上

る区間数としている。

図-3 より、公称面圧が高いほどすべり係数が低下する傾向が見られるが、いずれもすべり係数が設計基準の 0.45 を下回るものはなかった。また、S14T に着目すると、試験前軸力で評価した公称面圧 σ_{n1} は、軸力導入からリラクセーションによるボルトの軸力低下にばらつきが生じたため、設計ボルト軸力で評価した公称面圧 σ_{n0} よりも面圧分布が大きくなる。設計ボルト軸力で評価した σ_{n0} - μ_0 関係では、同じ公称面圧でのばらつきが大きい、試験前軸力で評価した σ_{n1} - μ_1 関係では、試験体ごとに異なる試験前軸力を考慮するため、負の相関が強く表れている。

すべり試験結果全体としては、設計ボルト軸力の評価では(図-3(a))、線形近似線から分かるように、 $\sigma_{n0} < 49.0$ ではほぼ横ばいであり、公称面圧との相関は見られないが、 $\sigma_{n0} \geq 49.0$ では強い負の相関を示している。一方、試験前軸力の評価では(図-3(b))、1区間での線形近似が最も決定係数が大きくなり、全ての面圧範囲において負の相関がある。近似線の特徴に差が生まれる理由としては、実際の面圧状態を評価できているためである。また、90%予測帯の下限値線において、すべり係数 μ_0 、 μ_1 が 0.45 を下回る公称面圧は、 σ_{n0} では 75N/mm²以上、 σ_{n1} では 70N/mm²以上となる範囲であった。

公称面圧 σ_{n0} が 70N/mm²以上となる継手形状(ボルト軸力と添接板厚の関係)を明らかにするため、継手形状別に公称面圧を算出した。対象とした継手形状は、F8T、

F10T、F14T 高力ボルトの M20、22、24 の設計ボルト軸力、添接板厚は 9mm~30mm とした。その結果を表-4 に示す。公称面圧が 70N/mm²を上回る継手形状は、F10T の添接板厚 9mm、および F14T の添接板厚 9mm、12mm、16mm であった。

4. まとめ

本研究では、接合面に無機ジンクを塗布した高力ボルト摩擦接合継手のすべり試験を対象として文献調査を実施し、接合面の公称面圧とすべり係数の関係を設計ボルト軸力および試験前軸力で評価した。

その結果、設計ボルト軸力で評価したすべり係数と公称面圧の関係は、公称面圧 $\sigma_{n0} < 49.0$ ではほぼ横ばいの近似線となり、 $\sigma_{n0} \geq 49.0$ では負の相関を示した。また、試験前軸力で評価した公称面圧 $\sigma_{n1} \geq 70$ において近似線の 90%予測帯(片側超過確率 5%)がすべり係数 0.45 を下回った。今後は、高面圧となる継手構成を対象に詳細に分析するとともに、面圧の評価方法や統計手法などの違いによる影響を検討する予定である。

<参考文献>

- 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, 58-66, 2019.
- 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編, 2017.
- 例えば, 網谷岳夫, 内田大介, 平野雄大, 関根英人: 太径高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数に対する添接板厚・ボルトピッチの影響, 構造工学論文集, Vol. 68A, pp. 361-373, 2022.