

長尺ボルト摩擦接合引張継手の限界強度と設計法

大阪大学大学院 正会員 亀井義典 大阪大学大学院 学生員 石川 誠
 大阪大学大学院 フェロー 西村宣男 三井造船(株) 正会員 笠間慈弘
 アール・アンド・ディー エンジニアズ(株) 正会員 祝 賢治

1. まえがき

1996年の道路橋示方書の改訂において、板厚制限が緩和されたことにより、フランジ部において50mm程度の大きな板厚が用いられる可能性がある。その際には、それ相応の板厚を有する連結板が必要となり、継手厚が非常に大きくなることが考えられる。連結板厚が大きくなると母材・連結板間の接触面においてボルト軸力による支圧力の作用面積が拡大することになり、継手の挙動およびすべり強度に影響を与えることが懸念される。本報告では、長尺高力ボルト摩擦接合引張継手を対象に弾塑性有限変位解析を行い、継手厚がボルト軸力導入時およびすべり強度に与える影響について考察を加え、最後に設計法に関する検討を行う。

2. 解析モデル

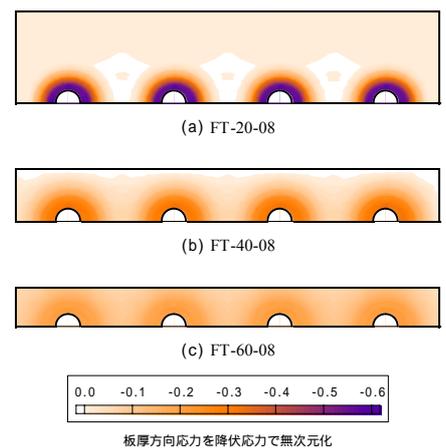
表-1に解析モデルの諸元を示す。本解析では基本的性質を検討するため、モデルとしては、極力簡易なものを考えて高力ボルト片側1行の2面せん断継手とする。列数については、少なすぎるとすべり強度・母材純断面降伏強度比が小さくなり、多すぎるとボルト列の多列化に伴うすべり強度低減の影響が顕著に現れることとなる。よって、これらの影響が少なくなるよう配慮し4列とする。はすべり強度・母材降伏強度比 N_{St}/N_{FYn} 、は連結板・母材降伏強度比 N_{SYn}/N_{FYn} を表す。

表-1 モデル諸元

	高力ボルト		鋼材						
	ボルト間隔 (mm)	初期導入軸力 (tf/本)	降伏強度 (kgf/cm ²)	板幅 (mm)	母材厚 (mm)	連結板厚 (mm)			
FTシリーズ（モデル名：シリーズ名-母材厚-）									
目的：長尺化が「すべり強度」に与える影響を検証するための基礎データ収集									
パラメータ：板厚，									
FT-20-08	80	22.55	3600	149.78	20	10	0.80	1.00	
FT-20-10	80	22.55	3600	124.72	20	10	1.00	1.00	
FT-20-12	80	22.55	3600	108.02	20	10	1.20	1.00	
FT-30-08	80	22.55	3600	108.02	30	15	0.80	1.00	
FT-30-10	80	22.55	3600	91.31	30	15	1.00	1.00	
FT-30-12	80	22.55	3600	80.18	30	15	1.20	1.00	
FT-40-08	80	22.55	3600	87.14	40	20	0.80	1.00	
FT-40-10	80	22.55	3600	74.16	40	20	1.00	1.00	
FT-40-12	80	22.55	3600	66.26	40	20	1.20	1.00	
FT-50-08	80	22.55	3600	74.61	50	25	0.80	1.00	
FT-50-10	80	22.55	3600	64.59	50	25	1.00	1.00	
FT-50-12	80	22.55	3600	57.91	50	25	1.20	1.00	
FT-60-08	80	22.55	3600	66.26	60	30	0.80	1.00	
FT-60-10	80	22.55	3600	57.91	60	30	1.00	1.00	
FT-60-12	80	22.55	3600	52.34	60	30	1.20	1.00	

3. 解析結果

(1) 初期ボルト軸力導入時の影響 図-1に $\mu=0.8$ のモデルの初期ボルト軸力導入時における接触面の板厚方向応力分布を示す。板厚方向応力は、接触面に最も近い母材・連結板間の積分点における板厚方向の応力を平均化した値を降伏応力で無次元化したものを表す。(a),(b),(c)はそれぞれ母材厚20,40,60mmに対応している。



板厚の増加とともに板厚方向応力分布領域が増加し、ボルト孔周辺での応力が小さくなる傾向を明瞭に確認することができる。その結果、板厚が20mmと薄いモデル（FT-20-08）では、応力はボルト孔周辺に集中して比較的大きな応力状態となっている。FT-20-08（母材厚：20mm）では隣り合うボルト列の応力分布領域が独立な状態になっているが、FT-40-08（母材厚：40mm）では、隣り合うボルト列の応力分布領域が重なり合う傾向を示した。また、FT-60-08（母材厚：60mm）では、応力分布領域が板幅を上回るようになり、本来、板幅を上回る領域に作用すべき応力が継手長手方向へ広がり、ボルト間中央の縁端部においても大きな応力が働く結果となった。この傾向は、隣り合うボルト列での応力分布領域の重なり合いを助長し、十分な摩擦抗力を有する摩擦面として機能することにつながる。

キーワード：長尺ボルト，摩擦接合継手，限界強度，設計法

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL：06-6879-7598 FAX：06-6879-7601

(2) すべり強度および継手板厚の評価 図-2にすべり強度をまとめたものを図示する。縦軸は主すべり発生時の荷重 P_{SL} を母材純断面降伏強度の設計値 N_{FYn} で無次元化した値、横軸は母材厚である。また、白抜きの記号は鋼材の降伏が発生した後に主すべりが発生したケースを表している。鋼材の降伏のみで線形限界に至るケースについては図化していない。が =0.8, が =1.0, が =1.2である。なお、図中の点線は 値ごとのすべり強度の設計値 N_{SL} を表している。

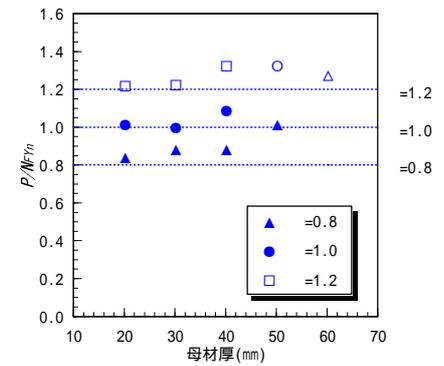


図-2 すべり強度比較

全てのモデルですべり強度 P_{SL} は設計値 N_{SL} を確保しており、本解析の範囲では 値によらず母材厚 (= 連結板厚) が増すほど強度が大きくなる結果となった。母材厚40mmまでの強度上昇は緩やかだが、母材厚50mmのモデルでは20mmのモデルに対して2割程度、母材厚60mmのモデルでは20mmのモデルに対して5割程度の強度増加が認められる。前述のようにボルト軸力による板厚方向応力は45度分布で伝達されると考えられ、母材 - 連結板間の接触面に伝わった板厚方向応力は隣り合うボルト列からの応力が重複することによって十分な摩擦抗力を有する摩擦面として機能すると考えられ、接触面において板厚方向応力の重複領域が大きくなる極厚継手ほど(本解析モデルでは母材厚40mmから)すべり強度が増加することが判る。

4. 設計法に関する検討

板厚をパラメータとした解析を行った結果、本解析の範囲(母材厚60mm以下)では、板厚(連結板厚)が増すと接触面における摩擦抗力が大きくなりすべり強度が上昇することが確認できた。よって、母材厚が大きな極厚継手を設計する際に、通常と同様な方法をとると過剰な設計となる可能性がある。そこで、実橋梁を想定したモデルを試設計により設定し、その解析結果から極厚継手の設計法に関する検討を行う。

(1) 解析モデル 作用応力度が小さく、設計応力度が全強の75% ($2100 \times 0.75 = 1575 \text{ kgf/cm}^2$) にて決定した継手を想定する。鋼材の材質には SM490Y 材を、高力ボルトには F10T・M22 を使用し、母材厚 50mm、連結板厚 25mm の 2 面せん断継手とする。本研究での解析結果から、母材厚 50mm の継手ではすべり強度が 2 割程度増加することを確認した。よって、高力ボルトの許容力を 2 割増加させて、必要ボルト本数を算出することを試みた。図-3 に試設計モデルを示す。以下に試設計の手順を示す。

純断面積の計算

$$\text{An-FLG} \quad (54.0 - 6 \times 2.45) \times 5.0 = 196.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{An-SPL} \quad 2 \times (54.0 - 6 \times 2.45) \times 2.5 = 196.5 \text{ cm}^2$$

必要ボルト本数の算出

$$\text{許容応力度} : 2100 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{設計応力度} : 2100 \times 0.75 = 1575 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{高力ボルトの許容力} : 4800 \times 1.2 = 5760 \text{ kgf}$$

$$\text{必要ボルト本数} : (1575 \times 196.5) / (2 \times 5760) = 27 \sim 30 \text{ 本}$$

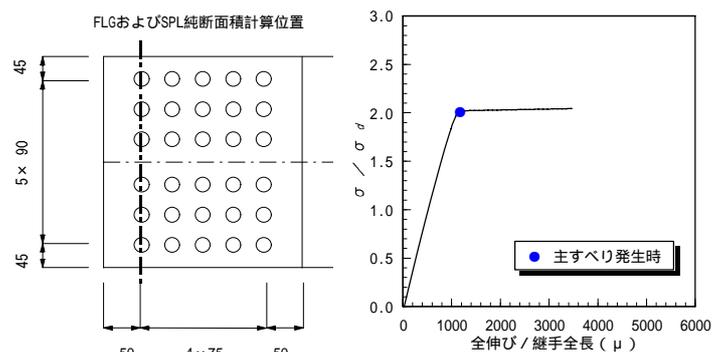


図-4 応力 - ひずみ関係

(2) 解析結果 図-4 に応力 - ひずみ関係を示す。図-3 試設計モデル 縦軸は応力を設計応力度 σ_d (1575 kgf/cm^2) で無次元化した値、横軸は全伸びを継手全長で無次元化した値を表す。主すべり発生時の応力度は安全率 2.0 程度を確保しており、適切な設計となっている。今後、実験的な裏付けが必要ではあるが、本研究の解析結果から、高力ボルトの許容力を母材厚 50mm の継手では 2 割、母材厚 60mm の継手では 5 割増加させて必要ボルト本数の算出を行うことができることが考えられる。

5. まとめ

- 1) 継手厚が大きくなるほど、隣り合うボルト列でボルト軸力による板厚方向応力領域が重なり合うことにより摩擦抗力が増加する。それにともないすべり強度も上昇することを解析的に確認した。
- 2) 極厚継手の特徴を生かした合理的な設計法の検討を行った。