

# 高力ボルト摩擦接合部のすべり耐力に関する研究

辻 岡 静 雄

## Strength of M20 (FIOT) High-Strength Multibolted Friction-Type Joints

Shizuo TSUJIOKA

This paper deals with the friction-type joint using FIOT, M20 high-strength bolts designed to achieve the yielding of the connected members before the major slip of the joint. The static tests of this friction-type joint with one or more bolts on one line were conducted. The test parameters were the thickness of splice plate and the number of bolts. The slip strength, the effect of the friction force in the joint behavior and the fracture mode are discussed. And then the relationship between the slip strength of the joint and the yield strength of the connected member is investigated.

### 1. 序

高力ボルト摩擦接合は応力の流れが円滑で継手の剛性が高く疲労に強い優れた現場接合であることが広く知られている。しかし、激震時にはすべりが生じることにより骨組の履歴性状がスリップ型となり耐震的には好ましくないと考えられている。そこで、継手のすべり耐力が接合材の降伏耐力を上回るように設計する方法もある。しかしながら、摩擦接合では材の降伏によりすべり耐力が相対的に低下することが知られている。穴部周辺の局所的な降伏、母材の全断面降伏、添え板の降伏、ボルト一本当たりの摩擦力の大きさとその低下特性などによりこの低下性状を一義的に評価することは困難である。すでに、多列ボルト継手に関する既往の研究よりすべり荷重とすべり耐力の相関を調べ、すべり荷重はすべり耐力とほぼ線形関係にあるが、母材降伏耐力近傍からすべり荷重は降伏耐力の0.8-1.0倍と対応しなくなること、ボルト本数が多いほどすべり荷重は降伏耐力に漸近すること、すべり耐力が降伏耐力より十分に大きい場合すべり荷重は降伏耐力より大きくなる傾向があることを報告し、太径高力ボルトの場合について実験的に検討した[1]。その結果、太径高力ボルト接合部でもすべり荷重を降伏耐力より大きくするにはすべり耐力を降伏耐力よりかなり大きくする必要があることを得た。しかし、一般的な高力ボルト接合部を含めて定性的な傾向が得られたに過ぎず、論理的あるいは定量的な評価は行われていないのが現状である。

よって、本研究では、一般的な高力ボルト摩擦接合としてFIOT, M20高力ボルトを用いた多列高力ボルト摩擦接合部を取り上げ、引張力を受ける場合の変形状、すべり耐力と降伏耐力の相関、破断耐力について実験的に検討・考察し、すべり耐力に関する基礎的設計資料を提示するものである。

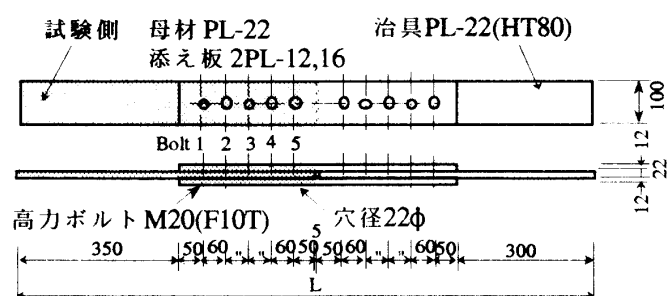


図1 多列高力ボルト摩擦接合試験体 (n = 5)

表1 試験体一覧

試験体		数量	ボルト 列数	添え板 板厚	備考
シリーズ	記号				
A	MB20-1-12	2	1	12	母材: PL-22(SS41) 高力ボルト: M20x85,F10T 摩擦面: グリッドブラスト
	MB20-2-12	2	2		
	MB20-3-12	2	3		
	MB20-4-12	2	4		
	MB20-5-12	2	5		
B	MB20-1-16	2	1	16	母材: PL-22(SS41) 高力ボルト: M20x90,F10T 摩擦面: ショットブラスト
	MB20-2-16	2	2		
	MB20-3-16	2	3		
	MB20-4-16	2	4		
	MB20-5-16	1	5		

表2-a 鋼材の機械的性質

Specimen		Grade	$\sigma_y$ t/cm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ t/cm <sup>2</sup>	E t/cm <sup>2</sup>	$\delta$ %	$\sigma_y/\sigma_B$
Series A	PL-12	SS41	2.88	4.52	2151	28.5	0.64
	PL-22	SS41	2.57	4.19	2152	32.4	0.61
Series B	PL-16	SS41	2.74	4.37	2088	26.8	0.63
	PL-22	SS41	2.57	4.38	2017	32.1	0.59
Series A,B	PL-22	HT80	7.65	9.24	2093	35.3	0.83

表2-b 高力ボルトの機械的性質

Specimen		Grade	$\sigma_y$ t/cm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ t/cm <sup>2</sup>	E t/cm <sup>2</sup>	$\delta$ %	絞り %
Series A	M20x85	F10T	10.24 (10.4)	11.16 (11.4)	2125	15.8 (18.0)	67.0 (67.0)
Series B	M20x90	F10T	9.80 (10.1)	10.71 (11.0)	2093	18.9 (18.0)	68.0 (68.0)

Note: ( ): according to mill sheet

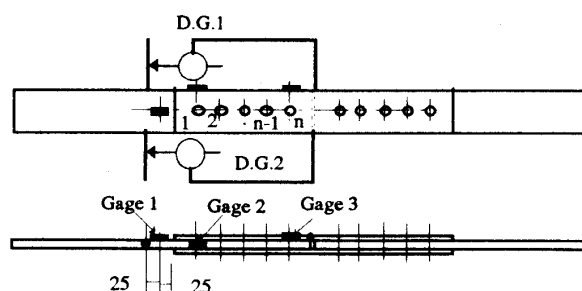


図2 測定方法

## 1. 試験体

試験体は1行多列高力ボルト継手供試体で、高力ボルトとしてF10T,M20を、試験側の母材・添え板には各々PL-22,PL-12あるいはPL-16のSS41鋼板を使用した。なお、治具側はHT80材とし、降伏しないようにした。実験因子は添え板断面積比(=添え板の総断面積/母材全断面積)、高力ボルト列数 $n$ (=1~5)で、すべり耐力が降伏耐力の0.4~2.0倍となるように設計され、試験体総数は19体である。ここに、シリーズA、Bは各々添え板板厚が12mm、16mmで、添え板断面積比がほぼ1.0、1.5に対応する。すべり試験体の形状寸法と概要を図1、表1に示す。なお、試験体名における英文字の後の数字はボルトの呼び径、ボルト列数、添え板板厚、試験体番号の順に表されている。本実験で使用した鋼材と高力ボルトの機械的性質を表2に示しておく。

## 2. 高力ボルトと摩擦面

供試ボルトはM20(F10T,L=85,90)高力ボルトで、試験側の高力ボルトには頭部に2軸歪ゲージを貼付した。本実験に先立ち歪ゲージ値とボルト軸力の関係を求め、初期ボルト張力の導入管理を行うと共に実験中の軸力変動を測定した。

摩擦面にはブラスト処理を全面に施した。また、摩擦面の表面粗さを測定し、十点平均粗さ(Rz)で評価した。その表面粗さの平均値はAシリーズで45~50 $\mu\text{m}$ 、Bシリーズで47~53 $\mu\text{m}$ であった。

## 3. 実験方法と測定方法

試験側の各ボルトの張力導入はギャーレンチ(日本ブラダ製)により行った。総てのボルトを手締めし、一次締付け(標準ボルト張力の80%程度)を試験側のボルトに実施した後、頭部に貼付した歪ゲージの値をもとに標準ボルト張力まで締め付けた。なお、高力ボルトM20(F10T)の標準ボルト張力(公称値)は18.2tである。

実験では100t万能試験機を用いて試験体に引張力を単調加力した。加力中、試験体の継手部平均伸び、各ボルト軸力を歪測定器で計測した。また、母材軸部、第1ボルト部の母材、第 $n$ ボルト部の添え板にも歪ゲージを貼付し軸歪を計測した(図2)。

## 4. 実験結果とその考察

実験値と理論値の一覧を表3に、荷重-伸び関係の一例を図3に示す。また、代表的な荷重-伸び-ボルト軸力関係を図4に掲げる。すべり耐力算定に当たりすべり係数は0.609とした[2]。なお、図中の記号▽、▽、▼、▼は各々主すべり、第1ボルト部母材降伏、母材全面降伏、最大荷重の位置を表す。

### 1) 変形状と崩壊形状

総ての試験体で主すべりが認められたが、 $n=2$ の試験体では主すべりが生じた後母材の欠損部(第1ボルト部)降伏、全面降伏が起こり、母材欠損部で破断した。 $n=3$ の試験体では母材の全面降伏前後で主すべりが生じた。また、 $n \geq 4$ では母材の欠損部降伏、全面降伏後主すべりが生じ、母材欠損部の絞

表 3 実験値と理論値

(単位 ton)

試験体	実験値					理論値						
						すべり	母材			添え板		
	Fye	Fy	Fs	Fmax	sFye	Ps	Pye	Py	PB	sPye	sPy	sPB
MB20-1-12-1			24.47	40.75*		22.17	43.60	55.90	71.08	53.84	69.00	84.47
MB20-1-12-2			24.10	43.37*								
MB20-2-12-1	51.00	58.30	53.20	76.90		44.34						
MB20-2-12-2	50.90	59.10	46.00	77.10								
MB20-3-12-1	52.70	57.00	58.20	77.75	54.00	66.50						
MB20-3-12-2	51.00	57.20	58.80	76.95	53.65							
MB20-4-12-1	53.55	57.40	64.75	77.50	54.15	88.67						
MB20-4-12-2	53.70	57.70	63.30	77.80	56.05							
MB20-5-12-1	53.85	57.70	67.10	78.10	50.30	110.84						
MB20-5-12-2	52.00	57.85	68.75	78.15	53.55							
MB20-1-16-1	25.00	-	19.15	40.45*	36.00	22.17	42.66	54.69	72.70	64.99	83.32	104
MB20-1-16-2	24.00	-	18.00	41.95*	35.00							
MB20-2-16-1	44.00	56.15	34.40	>79.60	62.00	44.34						
MB20-2-16-2	48.00	57.65	37.45	>75.10								
MB20-3-16-1	49.00	56.70	54.15	79.45	63.00	66.50						
MB20-3-16-2	51.80	57.78	58.35	81.15	75.00							
MB20-4-16-1	50.00	58.30	65.40	80.10	65.00	88.67						
MB20-4-16-2	52.45	56.35	66.65	81.20	77.00							
MB20-5-16-1	48.00	58.00	76.15	80.85	55.00	110.84						

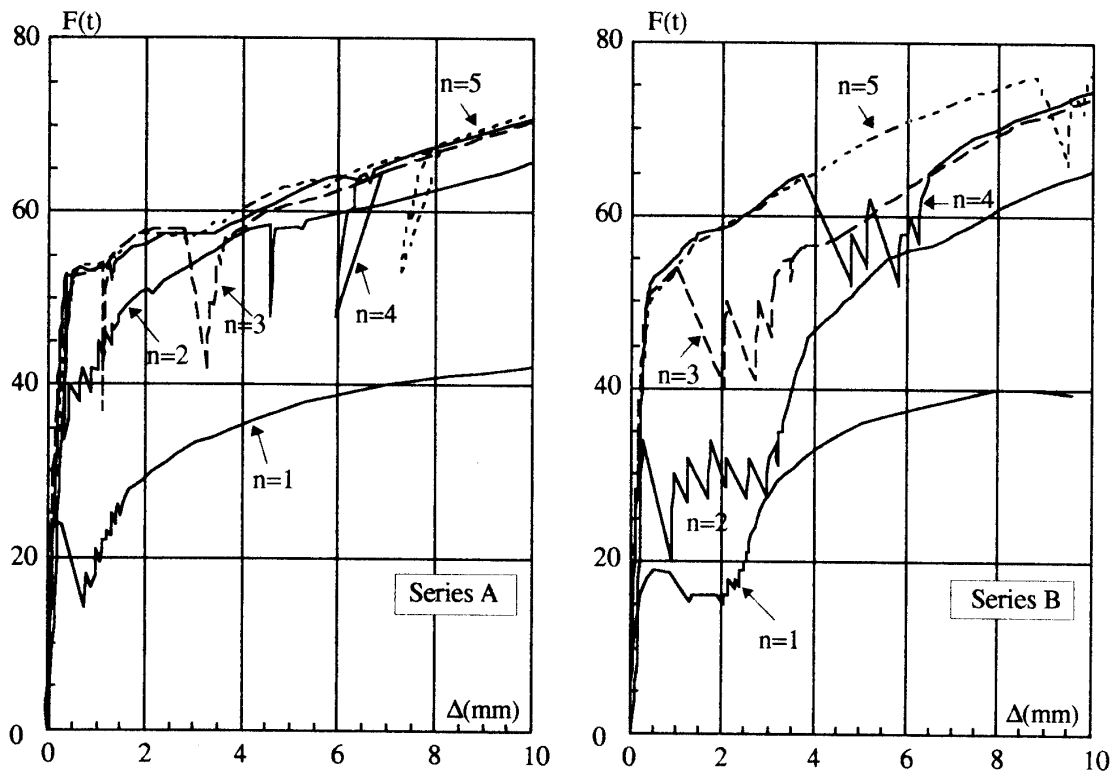


図 3 荷重-伸び関係

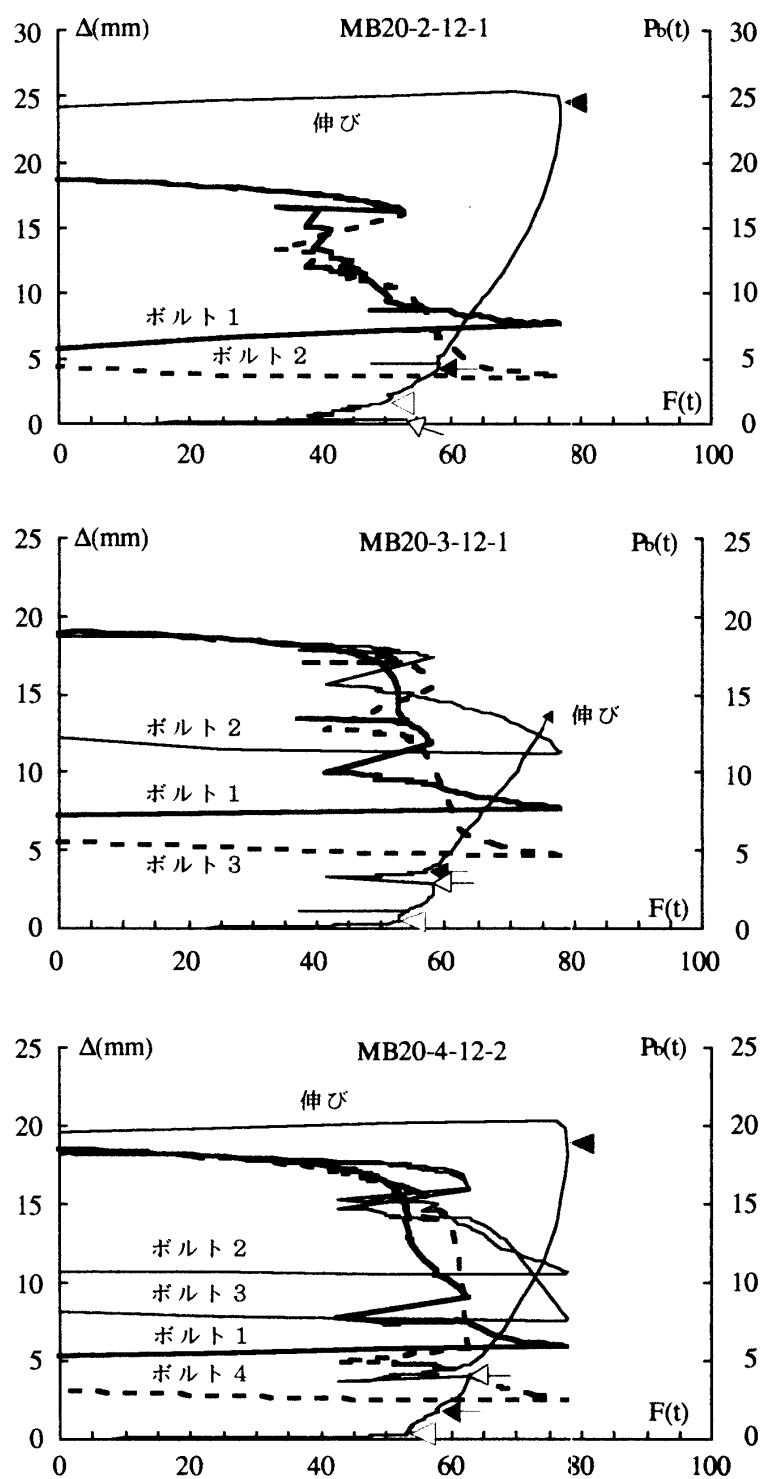


図 4-a 荷重-伸び-ボルト軸力関係 (シリーズ A)

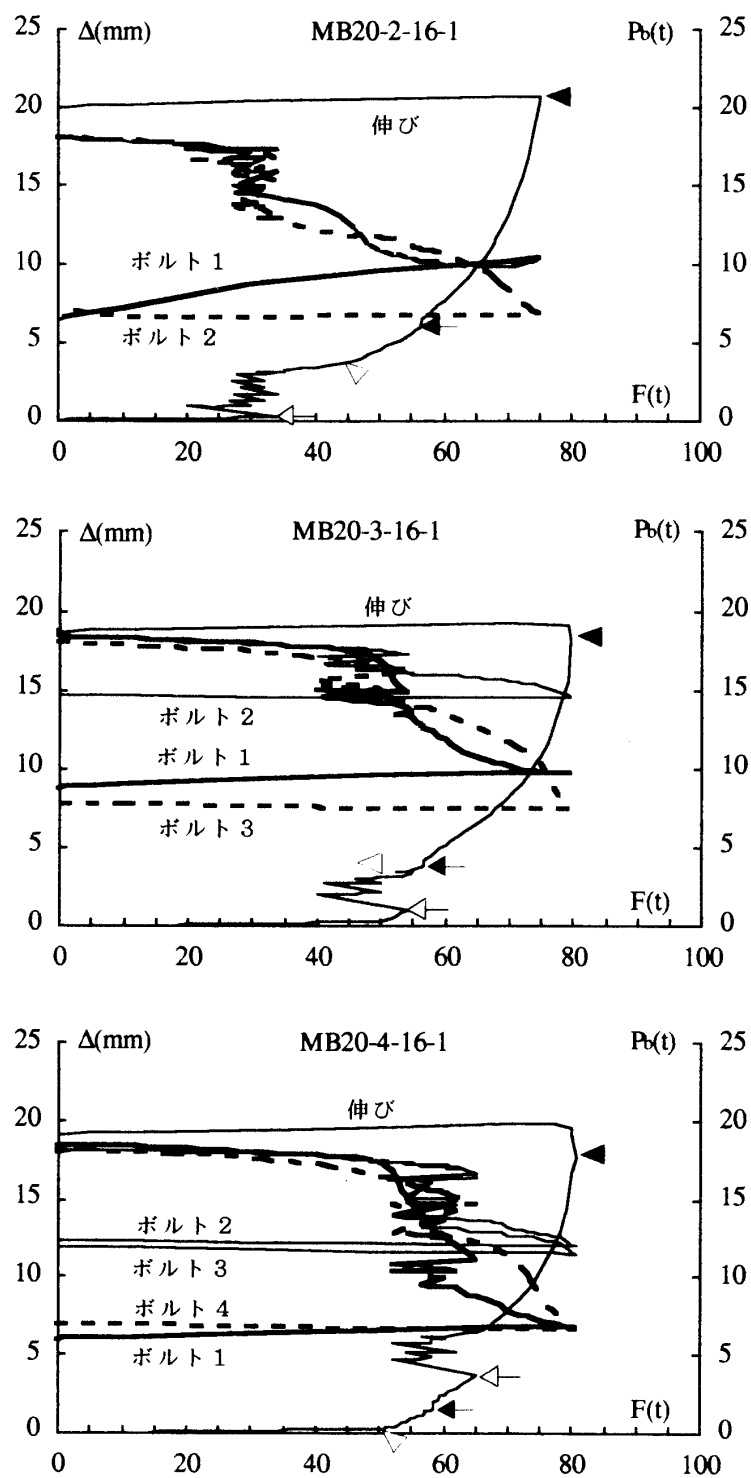


図4-b 荷重-伸び-ボルト軸力関係 (シリーズB)

りで最大荷重が生じた。なお、シリーズ A では添え板の欠損部(第  $n$  ボルト部)降伏も母材の全面降伏以前に認められた。単一ボルト試験体においてシリーズ A では局部(支圧)変形の増大により実験を終了したが、ボルトのせん断変形は小さく、端あき破壊するものと考えられる。しかし、シリーズ B ではボルトのせん断で破断した。一方、 $n \geq 2$  の試験体ではいずれも母材欠損部の絞りで破壊したが実験終了後の観察によればシリーズ A では添え板 PL-12 の欠損部(第  $n$  ボルト部)の絞りも生じていた。

## 2) 降伏耐力と最大耐力

母材の欠損部降伏荷重  $F_{ye}$  は主すべりが先行しない場合欠前面の摩擦面で応力伝達が行われるため理論値  $P_{ye}$  より大きくなり、13-24% 上昇する。これらはボルト列数や有効断面積比と相関はなく、ボルト 1 本のすべり耐力の 33-47% に相当し、太径ボルトの場合と同程度である。また、母材の降伏荷重  $F_y$  は理論値  $P_y$  の 1.02-1.07 倍であった。いずれにおいても実験変数の差異の影響は認められない。

母材欠損部で破断する場合の最大荷重は母材の破断耐力の 1.08-1.12 倍で、従来の 1 行多列ボルトの結果[1]と差異はなく、母材の穴近傍での 2 軸応力の影響が大きいと言える。

## 3) すべり耐力

図 5 にすべり荷重  $F_s$  とすべり耐力  $P_s$  の関係を母材の降伏耐力  $P_y$  で規準化して示す。図中には M30 太径ボルトの実験値も □印で示しておく。 $P_s > P_y$  では材の降伏の影響が認められ、この関係を線型近似すれば次の実験式が得られる。

$$\begin{aligned} F_s/P_y &= -0.0018 + 0.9693 \cdot P_s/P_y \quad (P_s \leq P_y) \\ &= 0.6978 + 0.2863 \cdot P_s/P_y \quad (P_s > P_y) \end{aligned} \quad (1)$$

次に、 $P_s > P_y$  の場合のすべり荷重の簡単な推定方法を示す。端のボルト、すなわち、第 1 ボルト、第  $n$  ボルトのすべり耐力は各々母材、添え板の欠損部降伏荷重に到達すれば無視し、中間部のボルトのすべり耐力は保持されるものとする。これは図 4 の各欠損部降伏荷重レベルにおいて端部のボルト軸力の

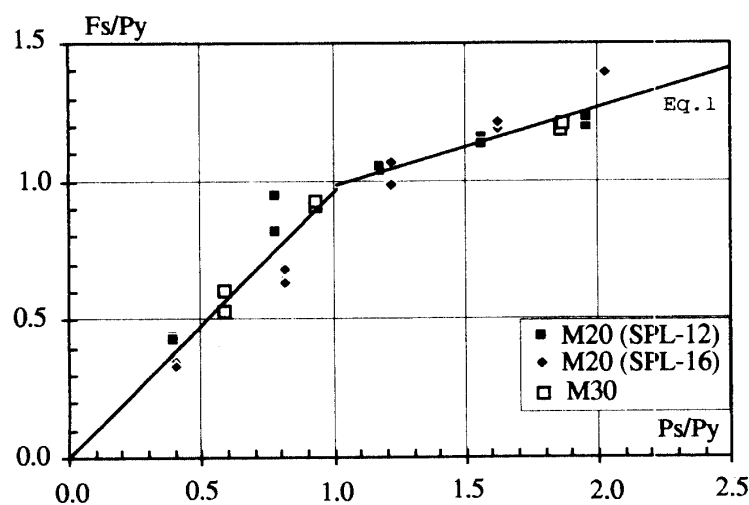


図 5 すべり荷重-すべり耐力関係

抜けが著しいことより安全側の仮定と考えられる。また、各応力状態に応じた内力としてのすべり耐力の総和が外力を下回れば主すべりが生じるものとする。

ところで、各荷重レベルの精度良い推定が必要となる。母材、添え板の欠損部降伏荷重として各実験値の全平均で評価すれば、 $F_{ye}=1.18P_{ye}$ 、 $sF_{ye}=1.01sP_{ye}$ と得られる。これらの評価式によれば、 $n=3$ では第1ボルト部母材降伏時に、 $n \geq 4$ では第 $n$ ボルト部添え板降伏時に外力がすべり耐力を上回ることになり、ボルト本数3~5に対してシリーズAのすべり耐力の推定値は各々51.5t(50.3t)、54.4t(65.6t)、66.5tと得られる(括弧内はシリーズB)。これらは実験値を安全側に推定しているが、その差が大きい場合もあり精度良く評価するためにはボルト軸力の低下性状の把握が必要であろう。

## 5. 結語

本報では、添え板断面積比、高力ボルト列数を実験変数として、多列高力ボルト(M20,F10T)摩擦接合部の引張実験を行い、すべり耐力を検討すると共に、接合部の降伏、引張耐力についても検討・考察した。得られた結論を要約すれば次の通りである。

- 1) 母材の欠損部降伏荷重は理論値より大きくなり、その増加量はボルト1本のすべり耐力の33-47%に相当する。
- 2) 母材欠損部破断の最大荷重は母材の破断耐力の1.08-1.12倍で、これは従来の1行多列ボルト継手の結果と差異はなく、母材の2軸応力の影響が大である。
- 3) すべり耐力は(1)式の実験式で評価できる。また、簡単な評価方法によってすべり荷重を安全側で推定できる。

ところで、本研究は五十嵐定義大阪大学名誉教授、脇山広三大阪大学教授のご指導の下に行ったものである。また、実験に当たり、新日鉄(株)、片山鉄工所(株)、岡本鉄工所(株)、福井工大伊豆蔵庫喜助手の協力を得た。ここに、記して感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 脇山広三、辻岡静雄：太径高力ボルト摩擦接合部のすべり荷重、日本建築学会学術講演梗概集、pp.1553-1554,1990.10.
- 2) 日本建築学会：鋼構造限界状態設計規準(案)・同解説、丸善、pp.218-224,1990.2.

## 記号

B: 標準ボルト張力(=18.2ton,M20)  
 F: 引張荷重  
 $F_s$ : すべり荷重  
 $F_{ye}$ : 欠損部降伏荷重(母材)  
 $P_b$ : ボルト軸力  
 $P_s$ : すべり耐力  
 $P_{ye}$ : 欠損部降伏耐力(母材)  
 $sP_y$ : 軸部降伏耐力(添え板)  
 $\delta$ : 破断伸び  
 $\sigma_y$ : 降伏応力度

E: ヤング係数  
 $F_{max}$ : 最大(破断)荷重  
 $F_y$ : 軸部降伏荷重(母材)  
 $sF_{ye}$ : 欠損部降伏荷重(添え板)  
 $P_B$ : 破断耐力(母材)  
 $P_y$ : 軸部降伏耐力(母材)  
 $sP_B$ : 破断耐力(添え板)  
 $sP_{ye}$ : 欠損部降伏耐力(添え板)  
 $\Delta$ : 伸び  
 $\sigma_B$ : 引張り強さ

(平成3年11月30日受理)