高力ボルトの終局せん断強度

ULTIMATE SHEAR STRENGTH OF HIGH STRENGTH BOLTS

橋本 篤秀*, 山田 丈富**
Atsuhide HASHIMOTO and Tomohisa YAMADA

In this paper, the double shear tests are carried out to determine the shear strength of single 4T, F8T, and F10T bolts and to investigate the effect of initial internal tension for the bolt shear strength, and the ultimate strength of bolts subjected to combined tension and shear loading are examined.

The results may be summarized as follows :

- (1) The equation (8)~(16) may be used regardless of initial internal tension to determine the shear strength of bolts. The ultimate shear load may be calculated on bolt section according to the location of the shear planes.
- (2) The ultimate strength of bolts subjected to combined tension and shear loading can be represented by the ellipse equation (17).

Keywords : high strength bolt, shear strength, tensile strength, interaction, ultimate strength

高力ボルト, せん断強度, 引張強度, 相関関係, 終局強度

1. 序

鋼構造物の高力ボルトによる接合形式には, 主として摩擦接合と引張接合がある。

高力ボルト摩擦接合では締め付けられた接合部材間の摩擦力で応力を伝達させるものとして, 滑りを生じない範囲で設計するようにしている。そのため高力ボルトが直接せん断力を受けることにはならない。しかし, 終局的には滑りを生じた後高力ボルトが孔縁に接触し, ボルト軸部にせん断力が作用する状態になり, 接合部の終局耐力は母材の破壊か高力ボルトのせん断破壊によって決定される。

現在, 締め付け板厚に対する高力ボルトの首下長さの選択の基準と JIS B 1186 による高力ボルトのねじ部寸法等の関係をとりまとめると表一1となり, ナット側の鋼材が 12 mm 程度以下のときはせん断面にねじ部が存在することがあり得ることが認められる。

また, 高力ボルト引張接合形式による筋かい端接合部等のよう

に, せん断抵抗をその材間圧縮力による摩擦抵抗に期待する場合, 摩擦抵抗が無くなった後に終局状態となるとときには, 外的な引張力(ボルトの初張力ではない)とせん断力がボルトに同時に作用することになる。

したがって, ボルトの円筒部だけでなくねじ部の単純せん断時の終局せん断応力度(以降, 終局せん断強さと称す), およびボルトの終局強度に関する外的な引張り とせん断の相関関係を定量化することが必要である。ボルトの終局せん断強さに関する系統立てた実験による研究は Wallaert ら¹⁾, またボルトの強度の引張り とせん断の相関関係に関する研究は終局強度については Ches-

表一1 高力ボルト首下長さとナット下ねじ部長さ関係

単位: mm

呼び径	締付厚に 加える長さ	JIS・JSSによる		座金 厚さ	ナット下のねじ部長さ			ナット下の ねじ部長さ の変動幅
		ねじ部長さ	許容差		標準長さ	許容差に よる変動長	ねじ部長さ による誤差	
M 16	30 (25)	30	+5 -0	4.5	9.0 (9.5)	14~9 (14.5~9.5)	+3.0 -2.0	17~7 (17.5~7.5)
M 20	35 (30)	35	+6 -0	4.5	9.0 (9.5)	14~9 (15.5~9.5)	+3.0 -2.0	17~7 (18.5~7.5)
M 22	40 (35)	40	+6 -0	6.0	12.0 (11.0)	18~12 (17~11)	+3.0 -2.0	21~10 (20~9)
M 24	45 (40)	45	+6 -0	6.0	12.0 (11.0)	18~12 (17~11)	+3.0 -2.0	21~10 (20~9)

() 内はトルシア型高力ボルトの場合の数値

本報の一部は, 文献5), 6) で発表している。

* 千葉工業大学建築学科 教授・博士(工学)

** 千葉工業大学建築学科 講師・修士(工学)

Prof., Dept. of Architecture, Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.
Lecturer, Dept. of Architecture, Chiba Institute of Technology,
M. Eng.

son ら²⁾, 降伏強度については田口ら^{3),4)}によって行われている。

これらの既往の研究では、ボルトの終局せん断強さに対してボルトの初張力・ボルト径・グリップ長さ・継手板の鋼材の種類はほとんど影響しないことを明らかにしている。さらに、せん断面位置に対応したボルトの有効断面積によって評価をすれば、せん断面位置によらず終局せん断強さとボルト素材の引張強さの比はほぼ等しくなるとしている。

しかし、JIS 規格のボルトを用いた著者の実験^{5),6)}では、せん断面位置に対応したボルトの有効断面積によって評価をしても終局せん断強さとボルト素材の引張強さの比は等しくならない結果となっている。また、ボルトの初張力の影響についてはボルト円筒部がせん断面となる場合のデータしかなく、初張力導入時に降伏すると予想されるねじ部がせん断面となる場合の検討はなされていない。

本報は、F10T, F8T の高力ボルト、および SS400 材による 4T レベルの中ボルトについて、せん断面が円筒部およびねじ部となる場合の終局せん断強さを実験で確認し、ボルトのせん断強さの評価式並びにそれにせん断位置に対応したボルトの有効断面積を乗じた終局せん断強度評価式を統計的手法により新たに提唱する。そして、既往の研究によるデータを整理し、ボルトにせん断力と外的引張力が同時に作用する場合の終局強度の評価式を示す。さらに、ボルトのせん断面がねじ部となり、初張力によりねじ部が局部的に降伏しているときの終局せん断強さについて確認実験を行い、初張力の有無によらずさらにねじ部については降伏状態にあっても提唱した終局せん断強度評価式が成立することを示す。なお、高力ボルトの単純引張時の性状については、文献 7), 8) に発表している。

2. 供試体および実験方法

供試ボルトは、JIS B 1186 の規格品の F10T, F8T および溶融亜鉛めっきされた同規格を満たす F8T の高力ボルトと、JIS B 1180 の 4T に該当する溶融亜鉛めっきされた SS400 材の中ボルトを用いた。ただし、めっきしたボルトについてはその状態での機械的性質は、F8T 高力ボルト・4T レベルの中ボルトともそれぞれの JIS 規格値を充足しているため、めっきによる影響は無視した。

ボルトのせん断面位置は図-1 に示すように、二せん断面が共に円筒部となる AA 形式、一面が円筒部で一面がねじ部となる AC 形式、二面共にねじ部となる CC 形式の 3 タイプとした。このせん断面位置の調整は適正中板厚を用いるとともにボルト頭側に座金を入れて調整した。供試体の一覧は表-2 に示す通りであり、各ボ

図-1 せん断面位置

図-2 実験装置例

表-2 供試体一覧

鋼種	Znメッキ	ボルト 呼び径 × 首下サイズ	ボルト本数		
			AA 形	AC 形	CC 形
F10T	無	M16 × 85	6	6	6
		M20 × 90	6	6	6
		M22 × 95	6	6	6
F8T	無	M20 × 90	6	0	6
		M22 × 95	6	0	6
	有	M20 × 90	6	6	6
		M22 × 100	6	6	6
SS400 (4Tレベル)	有	M20 × 80	6	6	6
		M22 × 85	6	6	6

表-3 供試ボルトの機械的性質

鋼種	Znメッキ	ボルト	降伏点 σ_y (tf/cm ²)	引張強さ σ_{u0} (tf/cm ²)	伸び El (%)	絞り ϕ (%)
F10T	無	M16 × 85	10.23	10.82	18.3	65.0
		M20 × 90	10.15	10.77	18.7	66.8
		M22 × 95	9.98	10.68	18.4	66.5
F8T	無	M20 × 90	8.22	8.86	20.5	71.3
		M22 × 95	7.76	8.51	22.0	71.3
	有	M20 × 90	7.86	8.62	24.9	71.2
		M22 × 100	7.93	8.69	28.4	71.2
SS400 (4Tレベル)	有	M20 × 80	2.94	4.79	26.9	68.2
		M22 × 85	2.74	4.77	27.0	68.2

JIS Z 2201 4号試験片による

表-4 ボルトと鋼材の組合せ

鋼種	Znメッキ 450 g/m ²	ボルト	板厚 (mm)			穴径 (mm)	鋼材状況
			外板	中板*	外板		
F10T	無	M16 × 85	12	22	12	17.0	SM490
		M20 × 90	12	22	12	21.5	
		M22 × 95	12	22	12	23.5	
F8T	無	M20 × 90	12	22	12	21.5	SS540 Znメッキ処理 550g/m ²
		M22 × 95	12	22	12	23.5	
	有	M20 × 90	12	25	12	21.5	
		M22 × 100	12	25	12	23.5	
SS400 (4Tレベル)	有	M20 × 80	10	15	10	21.5	
		M22 × 85	10	15	10	23.5	

* せん断面位置が CC 形式の場合は中板に板厚 15mm (SS540) を使用。

トの機械的性質 (JIS Z 2201 4号試験片による) は表-3 に示すとおりである。使用したボルトの呼び径は、M16, M20, M22 である。同一実験に対して各 6 本ずつとした総数 150 本の供試体について実験を実施した。

載荷は母材破断の無いように設計した図-2に例示するような二面せん断の摩擦接合形式の試験体を用いて、200 tf 万能試験機を用いて単調引張りにより破断に至らしめた。ボルトと加力用鋼板の組み合わせは表-4に示すとおりとし、最初はボルトの初張力は導入せず、外板と中板にすき間の無い程度に手締めした。軸力を導入した場合については6項に記述している。また、実験に先立ってボルト各部の寸法測定を行ったが、いずれも許容寸法内にあるので、結果の整理には公称寸法を用いることとした。

3. 結果と考察

各供試体について、実験による最大せん断力 Q_{AA} , Q_{AC} , Q_{CC} (tf), これらをそれぞれのせん断面に対応したボルトの公称断面積で除した実験による最大せん断応力度、すなわち終局せん断強さ τ_{AA} , τ_{AC} , τ_{CC} (tf/cm²), ならびにこれらの終局せん断強さを表-3に示したボルト素材の引張強さ σ_{u0} で除した値 (τ_u/σ_{u0}) を示すと表-5となる。また、AA, AC, CC 形式についての最終破断状況例をそれぞれ写真-1~3に示す。

ここで、二面せん断の場合であるので、終局せん断強さは(2)~(4)式によった。

写真-1 最終破断状況 (AA形式, F8T Zn M22)

写真-2 最終破断状況 (AC形式, F8T Zn M22)

写真-3 最終破断状況 (CC形式, F8T Zn M22)

$$\tau_u = \begin{cases} \tau_{AA} : \text{二せん断面が共に円筒部の場合} \\ \tau_{AC} : \text{せん断面が円筒部とねじ部の場合} \\ \tau_{CC} : \text{二せん断面が共にねじ部の場合} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\tau_{AA} = Q_{AA} / (2 A_b) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau_{AC} = Q_{AC} / (A_b + A_e) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau_{CC} = Q_{CC} / (2 A_e) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 A_b : ボルト円筒部公称断面積 (cm²)

A_e : ボルトねじ部公称有効断面積 (cm²)

これらの結果より、 τ_u/σ_{u0} の値がせん断面位置およびボルトの材種により変化することが分かる。

既往の研究で取り上げられているもの以外で、ボルトの終局せん断強さに影響を与える因子として考えられるものは、ボルト素材の引張強さ、降伏比・伸び性能・破壊靱性・ボルト形状・不完全ねじ部とせん断面位置の関係等である。しかし、実用に供されている状況ではボルトはJISで素材および形状が規定されており、さらに本実験ではせん断面を確実にねじ部や円筒部になるようにしているため、結果の整理に際しせん断面位置およびボルト素材の引張強さとの関係に着目した。

図-3~図-5に、終局せん断強さとボルト素材の引張強さの比 (τ_u/σ_{u0}) とボルト素材の引張強さ (σ_{u0} (tf/cm²)) の関係をせん断面位置ごとに示す。図中には同一実験6体の平均値およびその分布域を示している。また、せん断面位置ごとの全データに基づく回帰式は次の(5)~(7)式となる。相関係数はそれぞれ、0.79, 0.95, 0.97である。

$$\tau_{AA}/\sigma_{u0} = 0.744 - 1.17 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau_{AC}/\sigma_{u0} = 0.863 - 2.60 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\tau_{CC}/\sigma_{u0} = 1.053 - 5.22 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0} \quad \dots\dots\dots (7)$$

なお、図中にはこれらの回帰直線と95%信頼域を示し

図-3 $\tau_u/\sigma_{u0} - \sigma_{u0}$ 関係 (AA形)

[illegible]

AA形式では、 τ_u/σ_{u0} の平均値はボルト素材の引張強さ(σ_{u0})の増大とともに0.7から0.6に減少している。さらに、ねじ部がせん断面となるとボルト素材の引張強さ(σ_{u0})の影響が大きくなり、CC形式では、4Tレベ

図—6 は、既往の文献^{1), 2)}に示されている実験結果のうち、本報と同じ載荷形式を採っている実験で AA 形

図-4 $\tau_u/\sigma_{u0}-\sigma_{u0}$ 関係 (AC 形)

図-6 $\tau_u/\sigma_{u0}-\sigma_{u0}$ 関係 (AA 形, 既往実験データを含む)

図-5 $\tau_u/\sigma_{u0}-\sigma_{u0}$ 関係 (CC 形)

図-7 引張荷と圧縮荷の比較

式の場合について前出の図-3 に重ねてプロットしたものである。なお、ボルトは ASTM 材であり、プロットしたデータは同一実験の平均値である。これからも、本報で算定した回帰式が十分妥当であると判断できる。

図-7 は、同様に圧縮荷荷の場合の既往の実験結果^{1), 3)}を示したものである。図中には比較のため引張荷荷の場合の回帰直線 (5) 式を示している。引張荷荷の場合に比べ、 τ_u/σ_{u0} の値がすべてのボルト素材の引張強さにわたり大きくなっている。これは、引張荷荷の場合、中板が引張力により薄くなり、ボルトに曲げ応力の効果が入り耐力が低下するのに対し、圧縮荷荷では中板が厚くなり外板との摩擦抵抗が付加されるためであると推察される。このことから、圧縮荷荷状態のボルトについては引

張荷荷の場合の終局せん断強さの評価式を用いることでボルトの終局せん断強さを安全側に評価できると言える。

4. ボルトの終局せん断強度評価式

以上の実験結果および考察より、ばらつきを考慮してボルトの終局せん断強さの評価を回帰式 (5)~(7) の 95 % 信頼下限を採用することとすると次式となる。

$$\tau_{AA} = (0.702 - 1.17 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0}) \times \sigma_{u0} \dots\dots\dots (8)$$

$$\tau_{AC} = (0.819 - 2.60 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0}) \times \sigma_{u0} \dots\dots\dots (9)$$

$$\tau_{CC} = (0.992 - 5.22 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0}) \times \sigma_{u0} \dots\dots\dots (10)$$

ただし、本実験で使用したボルトの引張強さを考慮し、適用範囲は次式とする。

表—6 終局せん断強さとボルト素材の引張り強さの比 (τ_u/σ_u)

	せん断面位置		
	A A 形	A C 形	C C 形
F 1 0 T	0. 5 9	0. 5 6	0. 4 4
F 8 T	0. 6 1	0. 6 1	0. 5 7
4 T	0. 6 5	0. 7 1	0. 7 8

$$4.0 \leq \sigma_u \leq 12.0 \text{ (tf/cm}^2\text{)}$$

さらに、ボルトの終局せん断強度の評価式は、二面せん断の場合せん断面に対応した有効断面積を用いて次式となる。

$$Q_{AA} = 2 A_b \times \tau_{AA} \dots\dots\dots (11)$$

$$Q_{AC} = (A_b + A_e) \times \tau_{AC} \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_{CC} = 2 A_e \times \tau_{CC} \dots\dots\dots (13)$$

同様に、一面せん断の場合の終局せん断強度評価式は次式となる。

$$Q_A = A_b \times \tau_{AA} \dots\dots\dots (14)$$

$$Q_C = A_e \times \tau_{CC} \dots\dots\dots (15)$$

ここで、 Q_A 、 Q_C はそれぞれ、せん断面が円筒部、ねじ部の場合の終局せん断強度を示す。

なお、F 10 T、F 8 T、4 T レベルの SS 400 のボルトの終局せん断強さとボルト素材の引張強さの比 (τ_u/σ_u) をそれぞれの引張強さの公称値を用いて表すと表—6 となる。すなわち、安全をみて 95 % 信頼限界を考慮するとボルトの終局せん断強さの公称値は、ボルト素材の公称引張強さにこれらの値を乗じたものを採用するのが妥当である。

ただし、F 10 T ボルトのせん断面位置がねじ部の場合については、引張強さの JIS 規定値である 10~12 tf/cm² の範囲において τ_u/σ_u の低下率が引張強さの増大率より上回るため、安全を考慮し (10) 式に $\sigma_u = 12$ tf/cm² を代入したときの値を用いている。

5. ボルトの終局時の引張りとせん断応力度の相関関係

ボルトに軸方向の引張力とせん断力が同時に働く場合の終局強度に関しては、文献 2) に ASTM A 325 と A 354 BD の高力ボルトの円筒部とねじ部に関し、それぞれ別々の式で実験式を与えている。これらの実験データから、応力度に換算する際に、せん断面に対応した有効断面積を用いたもので整理し直し、せん断面が円筒部とねじ部それぞれについて、縦軸に終局引張応力度とボルト素材の引張強さの比 ($\sigma_{\max}/\sigma_u$)、横軸に終局せん断応力度とボルト素材の引張強さの比 ($\tau_{\max}/\sigma_u$) をとったものが、図—8 と図—9 である。

これらより、 $\sigma_{\max} = 0$ の時 $\tau_{\max} = \tau_u$ であることから、 τ_u/σ_u と 1.0 をそれぞれ短径の 1/2、長径の 1/2 とする楕円でボルトの終局強度に関する引張りとせん断応力度の相関関係が与えられると判断できる。これを式で表すと次式となる。

図—8 ボルトの終局強度に関する引張りとせん断応力度の相関関係 (せん断面：円筒部)

図—9 ボルトの終局強度に関する引張りとせん断応力度の相関関係 (せん断面：ねじ部)

$$(\sigma_{\max}/\sigma_u)^2 + (\tau_{\max}/\tau_u)^2 = 1 \dots\dots\dots (16)$$

ここで、 $\sigma_{\max}$ と $\tau_{\max}$ は組合せ応力時の終局引張応力度と終局せん断応力度である。また、 τ_u は式 (8)~(10) による終局せん断強さである。

6. ボルト初張力の影響

初張力導入時に降伏すると予想されるねじ部がせん断面となる場合について、提唱した終局せん断強度評価式が適用できるか否かを、ボルトの初張力の大きさを変数としたせん断実験により検証した。

供試ボルトは、JSS II 09 に規定されているトルシア型高力ボルト S 10 T M 22×130 を用いた。初張力の大きさを実験変数とし、初張力無しの 0 tf からねじ部がほぼ全断面降伏する 1.4 B_0 まで変化させた。ここで、 B_0

表—7 試験体および実験結果一覧

ボルト	せん断面	ボルト初張力 (tf)	最大荷重時		
			ボルト張力 (tf)	最大せん断力 (tf)	τ_u/σ_u
1 M22 ×130	AC形	0.08B ₀	0.26B ₀	43.4	0.576
		0.89B ₀	0.44B ₀	44.8	0.594
		0.98B ₀	0.63B ₀	40.7	0.540
		1.26B ₀	0.67B ₀	43.4	0.576
		1.39B ₀	0.60B ₀	42.9	0.569

B₀ = 20.5 tf (設計ボルト張力)

表—8 供試ボルトの機械的性質

ボルト製品 軸力ひずみ校正値 (×10 ⁻² /tf)	4号試験片			
	降伏点 σ_y (tf/cm ²)	引張強さ σ_u (tf/cm ²)	伸び El(%)	絞り ϕ (%)
127.5	10.60	11.03	18.7	66.2

写真—4 ボルト破断状況 (初張力の影響)

は設計ボルト張力である。初張力の導入は、ボルト円筒部に添付したひずみゲージにより制御した。加力用鋼板にはSM490材を用い、外板16mm、中板22mmの二面せん断形式の試験体とし、ボルトの円筒部とねじ部が確実にせん断面になるように、ボルト頭側に座金を入れて調整した。表—7に試験体の一覧を示す。また、実験による最大せん断力時に摩擦による付加抵抗が働かないように、摩擦面はペンキ仕上げのうえ潤滑油を塗布した。なお、供試高力ボルト軸力-ひずみ校正結果とJIS Z 2201 4号試験片による機械的性質を表—8に示す。

表—7に実験結果を、写真—4にボルトの破断後の状況を示す。このように試験体数は少ないが初張力の大きさによらず実験による最大せん断力はほぼ同じとなった。

図—10は、ボルトの終局せん断強さとボルト素材の引張強さの比とボルト素材の引張強さの関係を示した前出の図—4に、初張力を導入した実験結果をプロットしたものである。いずれも95%信頼限界内であり、せん断面がねじ部の場合でも過度に塑性化させない限り初張力の有無にかかわらず本報で提唱した終局せん断強度評価式が適用できると判断できる。

図—11はせん断力とボルト張力の関係を全試験体について示したものである。縦軸は載荷時のせん断力を(6)(12)式による最大せん断力の計算値で除した値、

図—10 $\tau_u/\sigma_u - \sigma_u$ 関係 (AC形, 初張力の影響)

図—11 せん断力とボルト張力の関係

横軸はボルト張力を設計ボルト張力で除した値を示す。このように最大せん断力に達したとき初張力を導入したものはボルト張力が0.44B₀~0.67B₀程度まで減少し、一方初張力を入れないものでは0.26B₀にまで上昇する現象を示している。これは、せん断面が円筒部の場合の既往の実験⁹⁾において、初張力の大きさによらず実験による最大せん断力時のボルト張力は0.5B₀程度になることが示されており、本研究でも同様な傾向となった。この現象が、ボルトの終局せん断強さに対し初張力の存在があまり影響しないという結果の一因と推定できる。

7. 結 論

JIS B 1186に規定される1種・2種高力ボルトのセットでボルト径がM16、M20、M22のボルトの製品およびJIS B 1180の4TレベルのSS400の中ボルトの製品に関しせん断実験を行い、既往の実験と合わせて以下

の結論を得た。

1) ボルトの終局せん断強さの評価式はボルトの初張力の有無にかかわらず、せん断面位置に応じて次式で表される。

$$\tau_{AA} = (0.702 - 1.17 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0}) \times \sigma_{u0} \dots\dots\dots (8)$$

$$\tau_{AC} = (0.819 - 2.60 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0}) \times \sigma_{u0} \dots\dots\dots (9)$$

$$\tau_{CC} = (0.992 - 5.22 \times 10^{-2} \times \sigma_{u0}) \times \sigma_{u0} \dots\dots\dots (10)$$

ただし、 $4.0 \leq \sigma_{u0} \leq 12.0$ (tf/cm²)

また、ボルトの終局せん断強度評価式は、せん断面位置に対応した有効断面積を用いて次式となる。

$$Q_{AA} = 2 A_b \times \tau_{AA} \dots\dots\dots (11)$$

$$Q_{AC} = (A_b + A_e) \times \tau_{AC} \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_{CC} = 2 A_e \times \tau_{CC} \dots\dots\dots (13)$$

$$Q_A = A_b \times \tau_{AA} \dots\dots\dots (14)$$

$$Q_C = A_e \times \tau_{CC} \dots\dots\dots (15)$$

2) ボルトの終局強度に関する軸方向引張りとせん断応力度の相関関係は次式となる。

$$(\sigma_{\max} / \sigma_{u0})^2 + (\tau_{\max} / \tau_u)^2 = 1 \dots\dots\dots (16)$$

ここで、終局せん断強さ (τ_u) はせん断面に応じて式 (8) ~ (10) を用いる。

参考文献

- 1) J.J. Wallaert and J.W. Fisher: Shear Strength of High-Strength Bolts, Journal of the Structural Division,

ASCE, Vol.91, ST3, pp.99~125, 1965.6

- 2) E. Chesson, Jr., N.L. Faustino, and W.H. Munse: High-Strength Bolts Subjected to Tension and Shear, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.91, ST5, pp.155~180, 1965.10
- 3) 田口武一, 坂井正美, 山本次郎: 引張り力を同時に受けるボルトのせん断実験 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1119~1120, 昭和44年8月
- 4) 田口武一, 青木博文, 佐々木昌克: 高力ボルト支圧接合におけるボルトの剪断機構に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1049~1050, 昭和49年10月
- 5) 橋本篤秀: 高力ボルトの剪断強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1833~1834, 昭和57年10月
- 6) 橋本篤秀: 溶融亜鉛メッキボルト (F8T・4T) の剪断強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1485~1486, 昭和58年9月
- 7) 橋本篤秀: F10T 高力ボルト単純引張り時の荷重・変形性状, 日本建築学会構造系論文報告集, 第309号, pp.11~20, 昭和56年11月
- 8) 橋本篤秀: 溶融亜鉛めっき高力ボルト (F8T) の単純引張り時性状, 日本建築学会構造系論文報告集, 第338号, pp.77~87, 昭和59年4月
- 9) 田口武一, 坂井正美, 山本次郎: 高力ボルト支圧接合に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.871~872, 昭和43年10月

(1992年1月10日原稿受理, 1992年7月6日採用決定)