

(技術資料)

高力ボルト

寺門 三郎

神鋼ボルト㈱

High Strength Bolts

Saburo Terakado

The site connections of bridge or building structures are mainly achieved through the use of high strength bolt connections. At present various types of high strength bolts are used in such structures. These include the high strength hexagon bolt, torshear type high strength bolt, hot dip galvanized high strength hexagon bolt, rustproof high strength bolt, atmospheric corrosion-resistant steel high strength bolt, chloride environment corrosion-resistant steel high strength bolt, fire-resistant steel high strength bolt, and ultra high strength bolt. Most of these bolts are in the 10T (1 000 N/mm²) class. However, the strength of the hot dipped galvanized high strength hexagon bolt is 8T (800 N/mm²), and the ultra high strength bolt is 14T or 15T.

まえばき = 現在，橋梁・建築鋼構造物の継手に高力ボルトが広く利用されている。高力ボルトの材料は，主に低炭素ポロン添加鋼が使われていて，ボルトの強度は 10T (1 000N/mm²) である。なお，溶融亜鉛めっき高力ボルトは 8T (800N/mm²) である。

施工性の向上や鋼材の多様化などに対処して，高力六角ボルト，トルシア形高力ボルト，溶融亜鉛めっき高力ボルト，防錆処理高力ボルト，耐候性鋼高力ボルト，耐火鋼高力ボルトなどが使われている。近年，海塩粒子の飛来する地域でも適用できる海浜海岸耐候性鋼高力ボルトが橋梁に使用されるようになった。また当社は，高性能鋼に適用する 14T (1 400N/mm²), 15T (1 500N/mm²) の超高力ボルトの開発に着手している。本文では，これらの高力ボルトについて報告する。

1. 高力ボルトの種類

1.1 高力六角ボルト

高力六角ボルトは，JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」の F10T に基づき JIS 表示許可工場で製造され，ボルト頭部に F10T と表示され，ボルト 1 個，ナット 1 個，座金 2 個を 1 セットとして，呼び径 M16 ~ M30 が使用されている。

本州四国連絡橋公団は，摩擦接合用太径高力六角ボルト規格(案)で F10T・M27, M30, M36 について規定し，太径高力ボルトも使用可としている。



写真 1 高力六角ボルト

Photo 1 High strength hexagon bolt

高力六角ボルトを写真 1 に示す。

ボルト，ナット及び座金の等級の組合わせを表 1 に，ボルト引張試験片の機械的性質を表 2 に，ボルト製品の機械的性質を表 3 に，ナットの機械的性質を表 4 に，座金の機械的性質を表 5 に示す。

ボルトの締付けトルクを算出するのに用いるセットのトルク係数値は，JIS 規定により，A 種と B 種があり，一

表 1 等級の組合せ

Table 1 Component of set

Component of set	Bolt	Nut	Washer
Grade by mechanical property	F10T	F10	F35

表 2 ボルト引張試験片の機械的性質

Table 2 Mechanical properties of test specimen machined from bolt

Grade of bolt	0.2% Proof stress (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	El. (%)	Re. (%)
F10T	min.900	1 000 ~ 1 200	min.14	min.40

表 3 ボルト製品の機械的性質

Table 3 Mechanical properties of full-size bolt

Grade of bolt	Tensile load (min.)(kN)						Hardness (HRC)
	Nominal size of thread						
	M16	M20	M22	M24	M27	M30	
F10T	157	245	303	353	459	561	28 ~ 38

表 4 ナットの機械的性質

Table 4 Mechanical properties of nut

Grade of nut	Hardness (HRC)		Proof load
	min.	max.	
F10	16	35	Same as tensile load (min.) of bolt in table 3

表 5 座金の機械的性質

Table 5 Mechanical properties of washer

Grade of washer	Hardness (HRC)
F35	35 ~ 45

表6 セットのトルク係数値
Table 6 Torque coefficient of set

Division by lots	Class of set according to torque coefficient	
	A	B
Average value of torque coefficient of one manufacturing	0.11 ~ 0.15	0.15 ~ 0.19
Standard deviation of one manufacturing	max. 0.010	max. 0.013

般に、潤滑性がよいA種が採用されている。セットのトルク係数値を表6に示す。

1.2 トルシア形高力ボルト

トルシア形高力ボルトは、頭部が丸頭で、ボルト先端部に締付けレンチの反力受けのピンテール部があり、ボルト1個、ナット1個、座金1個を1セットとして使用する。ボルト、ナット及び座金の機械的性質は、それぞれ高力六角ボルト(F10T)と同じであるが、ボルト頭部にS10Tと表示し、他のボルトと区別している。トルシア形高力ボルトを写真2に示す。

建築の場合、(社)日本鋼構造協会の規格JSS 09「構造用トルシア形高力ボルト・六角ナット・平座金のセット」があり、ボルトメーカーが建築基準法に則り大臣認定を取得して製作したものが使用される。道路の場合、(社)日本道路協会の「道路橋示方書・同解説」の規定を満足する10T・M20～M24が使用される。

等級の組合わせを表7に、セットの締付けボルト軸力を表8に示す。



写真2 トルシア形高力ボルト
Photo 2 Torshear type high strength bolt

表7 等級の組合せ
Table 7 Component of set

Component of set	Bolt	Nut	Washer
Grade by mechanical property	S10T	F10	F35

表8 セットの締付けボルト軸力
Table 8 Bolt tension of set (kN)

Nominal size of thread	Average bolt tension in a set in one manufacturing lot	Standard deviation of bolt tension of a set in one manufacturing lot
M16	110 ~ 133	max. 8.5
M20	172 ~ 207	max. 13
M22	212 ~ 256	max. 16
M24	247 ~ 298	max. 19
M27	322 ~ 388	max. 24
M30	394 ~ 474	max. 30

1.3 溶融亜鉛めっき高力六角ボルト

溶融亜鉛めっき高力六角ボルトは、JIS B 1186規格のF8Tに準拠している。ボルトの材料は、10Tと同じものを使用して、10Tの焼戻温度(約420)より高い温度(約480)で焼戻し、めっき(温度約480)しても強度が変わらないようにしている。ボルト頭部にF8Tと表示し、ボルト1個、ナット1個、座金2個を1セットとして使用される。溶融亜鉛めっき高力六角ボルトを写真3に示す。

溶融亜鉛めっきは、付着量550g/m²(めっき膜厚換算:約80μm)以上とし、ナットのねじをめっき前にオーバータップし、めっき後は、ねじさらいをしない。座金は、めっきの影響を考慮し、硬さ下限値を25HRCと低くしてある。セットのトルク係数値は、A種としている。等級の組合わせを表9に、溶融亜鉛めっき後のボルト引張試験片の機械的性質を表10に、ボルト製品の機械的性質を表11に、ナットの機械的性質を表12に、座金の機械的



写真3 溶融亜鉛めっき高力六角ボルト
Photo 3 Hot dip galvanized high strength bolt

表9 等級の組合せ
Table 9 Component of set

Component of set	Bolt	Nut	Washer
Grade by mechanical property	F8T	F10	F35

表10 ボルト引張試験片の機械的性質
Table 10 Mechanical properties of test specimen machined from bolt

Grade of bolt	0.2% Proof stress (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	El. (%)	Re. (%)
F8T	min.640	800 ~ 1 000	min.16	min.45

表11 ボルト製品の機械的性質
Table 11 Mechanical properties of full-size bolt

Grade of bolt	Min. tensile load (kN)						Hardness (HRC)
	Nominal size of thread						
	M16	M20	M22	M24	M27	M30	
F8T	126	196	243	283	368	449	18 ~ 31

表12 ナットの機械的性質
Table 12 Mechanical properties of nut

Grade of nut	Hardness (HRC)		Proof load
	min.	max.	
F10	16	35	Same as min. tensile load of bolt in table 11

表13 座金の機械的性質
Table 13 Mechanical properties of washer

Grade of washer	Hardness (HRC)
F35	25 ~ 45

表14 セットのトルク係数値
Table 14 Torque coefficient of set

Division by lots	Class of set according to torque coefficient
	A
Average value of torque coefficient of one manufacturing	0.11 ~ 0.15
Standard deviation of one manufacturing	max. 0.010

性質を表13に、セットのトルク係数値を表14に示す。

2. 高力ボルトの材料

高力ボルトの材料は、高力ボルトが製造された初期にクロム鋼 (SCr4)、クロムモリブデン鋼 (SCM3) など合金鋼¹⁾ が用いられたが、冷間加工性の向上、油焼入から水焼入への熱処理変更、遅れ破壊対策などから、いくつかの変遷があり、現在では、低炭素ボロン添加鋼 (21ATBA など) が主流になっている。使用鋼材に合わせた耐候性鋼高力ボルト (SNC22BA)、耐火鋼高力ボルト (SCM822AFT)、海浜海岸耐候性鋼高力ボルト (SNB22BAT) などもあり、材料の化学成分の例を表15に示す。

3. 高力ボルトの遅れ破壊

高力ボルトは、ボルト成形後に熱処理 (焼入・焼戻) を施すが、強度を 11T 以上にすると、水素脆性や応力腐食などに起因する遅れ破壊により、部材及び高力ボルトに外力が加わらなくても、突然ボルトが脆性的に破損することがある。

高力ボルトの遅れ破壊は、13T (1 300N/mm²) で施工後早い時期に発生し、11T で施工後数力月から十数年を経て発生しており、年数が経過しても遅れ破壊が収斂しないことが知られている。遅れ破壊するとボルトが破損して落下するので、第三者傷害や器物の損傷などの危険があり、継手部に防護ネットを張るとかボルトを取替えるなどの処置が必要となる。

現在、10T (1 000N/mm²) 以下の高力ボルトには遅れ破壊の心配が無いと考えられているので、10T が採用されている。遅れ破壊について十分研究された材料を使用し、製品の引張強さや硬さ、熱処理条件の選定などに細

心の注意を払っているが、遅れ破壊発生の有無を明確に判断できる評価法の確立が望まれる。

高力ボルトの破損は、遅れ破壊のほかに、繰返し荷重などによる疲労破壊、過度の載荷などによる延性破壊があり、それぞれの破壊は、ボルトの破面を観察することにより判別できる。遅れ破壊破面を写真4、疲労破壊破面を写真5、延性破壊破面を写真6に示す。

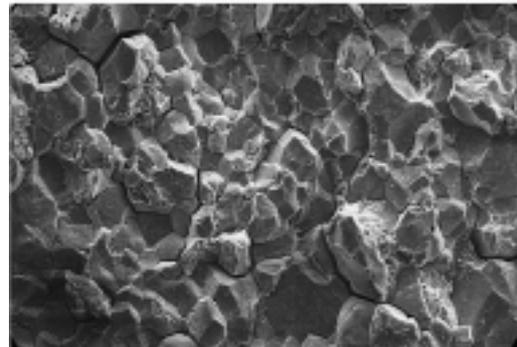


写真4 遅れ破壊破面
Photo 4 SEM micrograph of delayed fracture surface

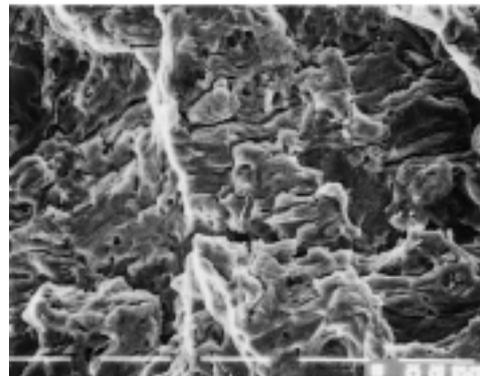


写真5 疲労破壊破面
Photo 5 SEM micrograph of fatigue fracture surface

表15 高力ボルトの材料の化学成分の例
Table 15 Examples of Chemical compositions of material for high strength bolt

Grade of bolt	Material	Chemical compositions (mass%)											
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	B	Al
F8T F10T, S10T	21ATBA	0.21	0.07	0.89	0.019	0.010	0.14	0.01	-	0.01	-	0.0011	add
F10T・W S10T・W	SNC22BA	0.23	0.14	0.82	0.012	0.017	0.83	0.47	-	0.42	-	0.0011	add
F10T・NW S10T・NW	SNB22BAT	0.23	0.30	0.90	0.011	0.013	0.04	1.44	-	0.52	add	0.0011	add
F10T・FR S10T・FR	SCM822AFT	0.23	0.18	0.84	0.011	0.011	1.10	0.02	0.31	0.01	add	N:0.011	

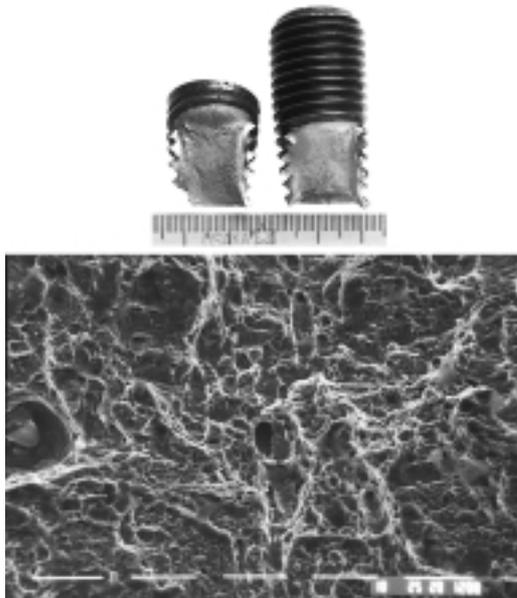


写真6 延性破壊破面
Photo 6 SEM micrograph of ductile fracture surface

4. 特殊な高力ボルト

4.1 防錆処理高力ボルト

海上などに架ける長大橋では、高力ボルト継手の施工後、本塗装までに数カ月を要することがあり、その間にボルトが発錆し、塗装時の塗装下地処理に多くの手間を必要とするだけでなく、下地処理が不完全になると塗装効果が低下する恐れがある。防錆処理高力ボルト²⁾は、ボルト製作時に処理を施し、つぎの条件を具備している。

施工後6カ月から1年の防錆効果を有する。

遅れ破壊を誘起する恐れが無い。

セットのトルク係数値がJIS B 1186のA種を満足する。

締付け時に共回りが無い。

締付け機器などにより塗膜が剥離せず堅牢である。

本塗装下地として上塗り塗装との付着性がよい。

処理コストがボルトセット価格に比して著しく高価になっていない。

防錆処理の処理工程は、つぎのとおりである。

ボルト：りん酸塩被膜処理 特殊プライマ A 塗布処理

ナット：りん酸塩被膜処理 特殊プライマ B 塗布処理

座金：プラスト処理 ジンクリッチペイント塗布処理

また、同様な防錆処理をトルシア形高力ボルトに施した防錆処理トルシア形高力ボルトも橋梁などに使用されているが、ピンテール溝破断部は、締付け後、防錆塗料でタッチアップする。ボルト頭部の表示は、防錆処理前そのまま(F10T, S10Tなど)である。

4.2 耐候性鋼高力ボルト

鋼構造物のメンテナンスコストを低減するための一つの方法として、耐候性鋼を裸使用している。耐候性鋼を使用する部材には、耐候性鋼高力ボルトを使用し、ボルト頭部に、高力六角ボルトはF10T・W、トルシア形高力ボルトはS10T・Wと表示する。ボルトの材料は、一般の高力ボルトの材料をベースに耐候性有効成分のCu, Cr,

Niなどが適量添加されている。

耐候性鋼は、P, Cu, Crなどを含む緻密な非晶質層が地鉄上に切目なく存在し、かつ、この非晶質層は水や酸素が透過しにくいいため後続の腐食反応が起き難くなり、防食効果を発揮する。しかし、海塩粒子が飛来したり、湿潤な環境などでは非晶質層が生成するより早く錆流出が生じ、錆が安定しない場合があり、使用箇所は検討を要する。この錆流出を抑えると同時に安定錆を生成させるために、ボルトにりん酸塩処理などの下地処理を施した後に安定錆を生成させる塗料を塗布する錆安定化処理耐候性鋼高力ボルトも製造されている。錆安定化処理の処理工程は、つぎのとおりである。

ボルト：りん酸塩被膜処理 錆安定化塗料塗布処理

ナット：りん酸塩被膜処理 特殊プライマ B 塗布処理

座金：りん酸塩被膜処理 錆安定化塗料塗布処理

裸使用の大気曝露試験結果を図1に示す。

4.3 海浜海岸耐候性鋼高力ボルト

飛来塩分量が多く一般の耐候性鋼が適用できない海浜海岸地帯などにおいても、裸使用及び錆安定化処理を施して適用できる海浜海岸耐候性鋼が開発され、それに用いる海浜海岸耐候性鋼高力ボルトが製造されている。ボルト頭部に、高力六角ボルトはF10T・NW、トルシア形高力ボルトはS10T・NWと表示する(詳細は、本号P.29「海浜・海岸耐候性鋼板専用高力ボルトの開発」参照)。

4.4 耐火鋼高力ボルト

建築鋼構造物は、火災時に熱で鋼材強度が下がり、建築物としての耐力が低下するので、建築物の安全性を確

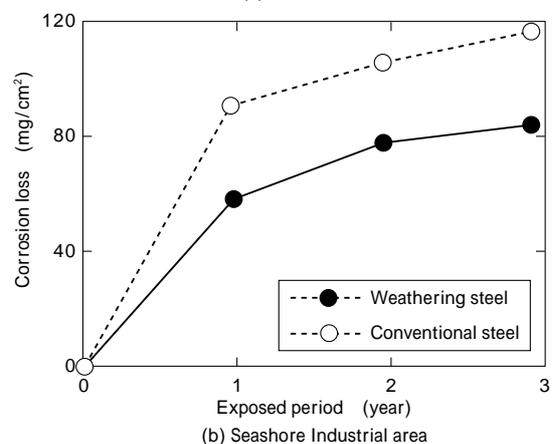
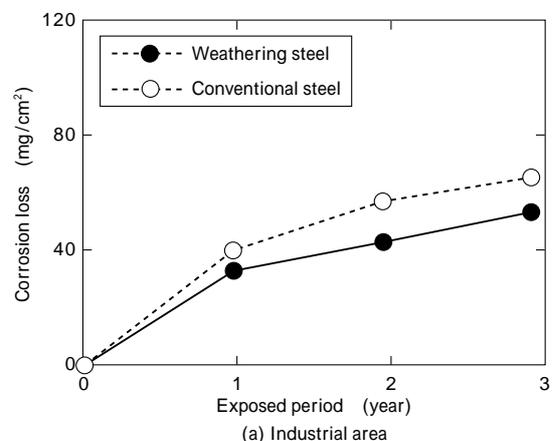


図1 大気曝露試験結果

Fig. 1 Result of exposure test of weathering steel

実なものとするため、その用途、建設される地域に応じて、所定の耐火被覆を施すことが建築基準法で義務づけられている。しかしながら、建築業界では、設計面での室空間の有効利用、施工面での人手不足対策や工期短縮などから耐火被覆の大幅な削減や無耐火被覆へのニーズは高いものがある。建設省（現国土交通省）が中心となって行った総合技術開発プロジェクト「建築物の防火設計法の開発」により、鉄骨建築物の火災時の安全性を評価する新耐火設計法が新設され、建築構造用耐火鋼（鋼材温度 600℃ における耐力が常温規格値の 2/3 以上を有する鋼材、通称 FR 鋼）を使用することによって、耐火被覆の厚さを大幅に軽減したり、場合によっては、無耐火被覆にすることが可能になった。建築構造用耐火鋼には、耐火鋼高力ボルトを使用する。耐火鋼高力ボルト継手部は、高温になると高力ボルトの導入軸力が弛緩するので、材間摩擦力の低下により「すべり」を生じ、このすべりが起こった後は、ボルトがせん断接合状態になり、耐力を有するものである。ボルト頭部に、高力六角ボルトは F10T・FR、トルシア形高力ボルトは S10T・FR、溶融亜鉛めっき高力六角ボルトは、F8T・FR と表示する。耐火鋼の高温引張特性を図 2 に示す。

4.5 超高力ボルト

鋼構造材の高性能化に伴い、高力ボルトの高強度化要望が高まっている。JIS B 1186 に 11T 強度まで規格化されているものの、11T 以上では遅れ破壊する危険性があり、11T は、なるべく使用しないよう括弧付きになっている。更に 14T、15T と超高力ボルトの強度があがるほど遅れ破壊する危険性は高くなる。その一方で、現在遅れ破壊を克服した 14T 超高力ボルトが紹介⁴⁾されており、一部の建築構造部に採用されている。高性能化の市場ニーズがあり、鋼材メーカーは高強度用鋼を開発している。

高力ボルトの遅れ破壊は、応力集中するねじ部や首下部に多発しているが、ボルト軸部からも発生しているので、当社は現行の高力ボルトの仕様も考慮し、耐遅れ破壊性に優れた材料⁵⁾を用いて、14T 及び 15T 高力ボルトの製品化に着手した。10T、12T、14T、15T の遅れ破壊

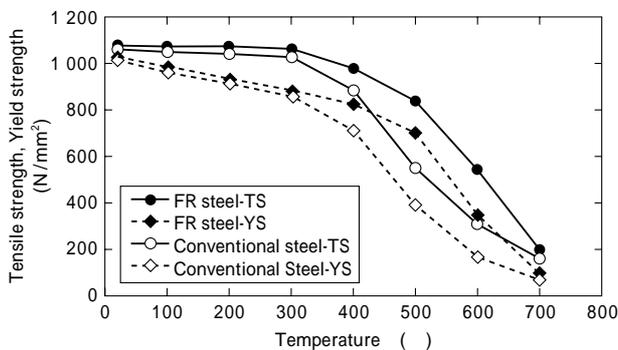


図 2 耐火鋼の引張特性

Fig. 2 Relationship between temperature and strength of FR steel

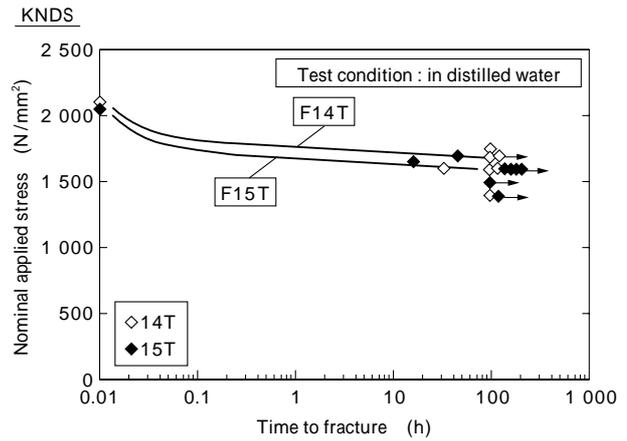
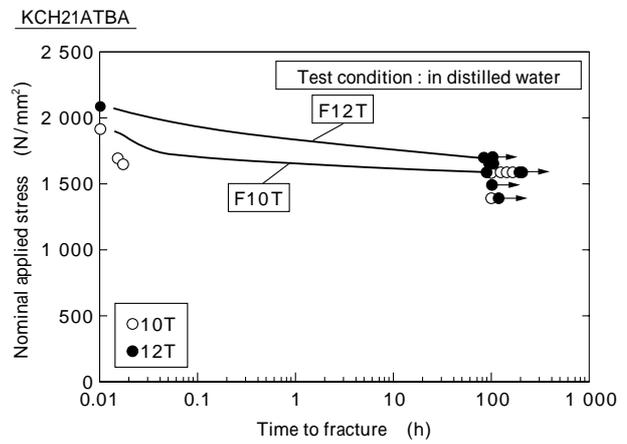


図 3 遅れ破壊試験結果

Fig. 3 Results of delayed fracture test

試験結果を図 3 に示す。

むすび=橋梁、建築の鋼構造物に用いる高力ボルトとして、太径高力ボルト、トルシア形高力ボルト、溶融亜鉛めっき高力ボルト、防錆処理高力ボルト、耐候性鋼高力ボルト、耐火鋼高力ボルトなど、当社は、多様な市場ニーズに応えてきた。この度、高性能化の求めに応じて、超高力ボルトの製品化に着手した。遅れ破壊発生機構を解明し、遅れ破壊発生有無を明確に判断できる評価法を確立する一翼を担い、安心できる高力ボルトを市場に提供する所存である。

参考文献

- 1) 田島二郎：高力ボルト摩擦接合概説，(1966) p.19. 技報堂
- 2) 松山晋作ほか：海洋性環境における防錆高力ボルトのばくろ試験，鉄道技術研究報告，No.132(1986) p.38. 鉄道技術研究所
- 3) 日本鋼構造協会：高力ボルトの遅れ破壊，JSSC vol.15, No.158 (1979) p.42.
- 4) 永田匡宏：日本ねじ研究協会誌，32 巻 2 号 (2001) p.33.
- 5) R&D 神戸製鋼技報，Vol.50, No.1 (2000) p.41.