



# 鋼構造における高力ボルト接合

田中 淳夫\*

High Strength Bolted Connections in Steel Structures

Atsuo TANAKA

**Synopsis :** In this paper basic concept, brief history, state-of-the-art and future research and development items about high strength bolted connections in steel structures are mentioned.

High strength bolted connections are generally used as site connections of steel building and bridge structures. Most predominant high strength bolted connections are high strength bolted grip joints, where high preload in bolts and high slip coefficient at connection surface are required. Tension type connections, where high preload in bolts are generally required, are also used in various type of structures.

Tensile strength of usual high strength bolt (which are called F10T) is  $1,000\text{ N/mm}^2$ , and that of hot dip galvanized high strength bolt (F8T) is  $800\text{ N/mm}^2$ . But recently super high strength bolts, whose tensile strength is larger than  $1,400\text{ N/mm}^2$ , were developed and already used in actual building structures. Nearly 150,000 ton high strength bolts are yearly used in building structures and 15,000 ton in bridge structures.

Research and development items about high strength bolted connections expected in near future are strengthening of tensile strength such as  $2,000\text{ N/mm}^2$ , size up of bolt diameter, improvement of corrosion resistance and fire resistance efficiency, chemical treatment of nuts, heightening of slip coefficient of connection surface, improvement of tightening methods of bolts and so on.

**Key words:** high strength bolt; bolt preload; slip coefficient; delayed fracture; domestic demand; research and development items.

## 1. 鋼構造と高力ボルト接合

鋼構造は、建築分野では現在最も多く用いられている構造種別である。土木分野でも鋼橋を主体として様々な構造物で広く使用されている。鋼構造物の製作・施工上の特徴は、専門の鉄骨製作工場において工業製品である鋼材（鋼板や型钢）を様々な形状をもつ構造部材に加工・製作し、建設現場に運ばれたそれらの部材相互を接合して完成するところにある。従って、工場における部材製作でも工事現場における組立てでも接合技術は非常に重要な位置を占める。このとき、工場における部材製作のための接合には主として溶接が用いられ、工事現場における接合は高力ボルト接合が主体となる。鋼構造におけるこれらの接合部は、設計・製作・施工のすべての面でそれぞれが適切に行われて初めて所定の品質が確保されるものであり、当然その品質は構造体全体の構造品質を大きく左右するものでもある。

溶接接合部の品質は、設計面ではあまり大きな問題はないが、部材の製作時には使用する鋼材の種類、溶接法と溶接条件、作業環境、接合部の組立て精度、溶接工の技量等様々な要因の影響を大きく受けるため、入念な準備と施工管理が必要である。これに対して、高力ボルト接合部の構

造品質は、設計時には詳細な検討を要するが、部材の製作・組立て施工については溶接に比べてはるかに少ない管理項目を守れば、十分確保され、一般的にみて溶接接合に比べて構造的な信頼性ははるかに高い。

## 2. 高力ボルト接合の基本とその沿革

高力ボルト接合の構造的な特徴でみると、建築構造物では常時の使用条件において接合部ですべり（接合部におけるずれ）を生じないこと、大地震等の非常時にはすべりは生じてもよいが接合している部材が十分塑性変形を生じるまで接合部で破断しないことが要求されるのに対して、土木構造物では常時の使用条件においてすべりが生じないことは当然として、さらに疲労による破壊が生じないことが必要とされ、それぞれの分野で設計方針が多少異なっている。しかし、いずれも高力ボルトに大きな初期張力を導入し、それを利用した接合法である点では変わりはない。最も広く使用されている高力ボルト接合は、摩擦接合であり、この接合法についてその特徴を述べる。この接合法は、ボルト軸に垂直な方向の応力を伝達する、いわゆるせん断形式の接合法であるが、伝達する応力を直接ボルト軸で負担するのではなく、ボルトを締め付けてボルトに大きな初期

張力を生じさせることによって接合面間に高い圧縮力を与え、一方接合面の表面にあらかじめ特別な処理をして高い摩擦係数が得られるようにしておいて、これら両者の相乗効果によって接合面間に生じる大きな摩擦抵抗力を利用するものである (Fig. 1)。また、ボルトの軸方向の応力を伝達する引張接合 (Fig. 2) においても、ボルトを締め付けて得られる大きな導入張力を利用して接合部の剛性を高めている点に特徴がある<sup>1)</sup>。従って、高力ボルト接合部の耐力・接合効率を高めるためには、大きな導入張力を得ることが必要であり、ボルト自体をできるだけ高強度とすることが望ましい。後述する様々な要因を考慮して、現在一般的に使用されている高力ボルトは、 $1,000\text{ N/mm}^2$ 以上の引張強さを持つF10Tと呼ばれる強度レベルのものであり、この強度レベルを得るためにボルトの成形後、焼入れ・焼戻しの熱処理を行っている。

高力ボルトがいつ頃から使われるようになったのかは明らかではないが、イギリスで1934年に $600\text{ N/mm}^2$ 級の強度を待つボルトが永久構造物で初めて使われたという報告がある<sup>2)</sup>。その後1938年には、アメリカで高力ボルト接合に関する実務的研究の論文が初めて発表され<sup>3)</sup>、その後はアメリカを中心として積極的に研究が続けられた。中でも1947年に米国内の12の学会および団体の代表者が集まって設立したResearch Council of Riveted and Bolted Jointsによる統一的研究は大きな成果を上げ、1951年にはこのResearch Councilは“Specifications for Assembly of Structural Joints Using High Strength Bolts”を制定し、その後、アメリカでは8T級 (引張強さ $800\text{ N/mm}^2$ 以上)の高力ボルトを用いた高力ボルト接合が一般的に使われるようになった。なお、この規準は1964年には“Specifications for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts”と改訂され、従来の8T級 (ASTM A325)に加えて10T級 (ASTM A490)の高力ボルトをも含めた規準となり、現在も使用されている。

日本では、アメリカにおける研究および普及を受けて、1953年から研究が開始された。初めは旧国鉄の施設局および鉄道技術研究所が共同で研究に取り組み、1954年には高山線飛騨細江・角川間に架設された建設工事用の鉄道トラス橋で高力ボルト摩擦接合の考え方による初めての継手が用いられた。ただし、このときに使われたのは、現在のような焼入れ・焼戻しを施したボルトではなく、引張強さ $600\text{ N/mm}^2$ 、降伏点 $400\text{ N/mm}^2$ の低合金鋼のボルトで、これを降伏点いっぱいまで締め付けて使用した。しかし、その後の研究成果に基づき、1956年頃から焼入れ・焼戻しを施した引張強さ $800\text{ N/mm}^2$ 、降伏点 $640\text{ N/mm}^2$ 級の高力ボルトの実用化が図られ、多くの鉄道橋で使用されるようになった。

建築関係では、1955年頃から、東京大学伸研究室、大阪大学鷺尾研究室、早稲田大学鶴田研究室などで研究が始まり、1957年には早稲田大学の鶴田明教授のグループが

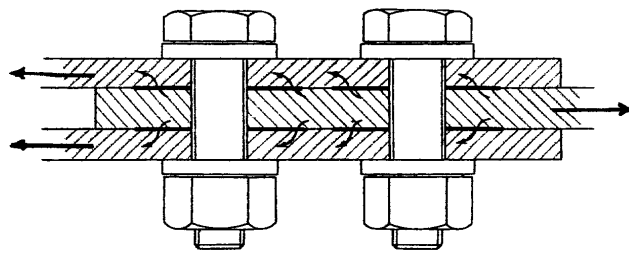


Fig. 1. Friction grip joint.

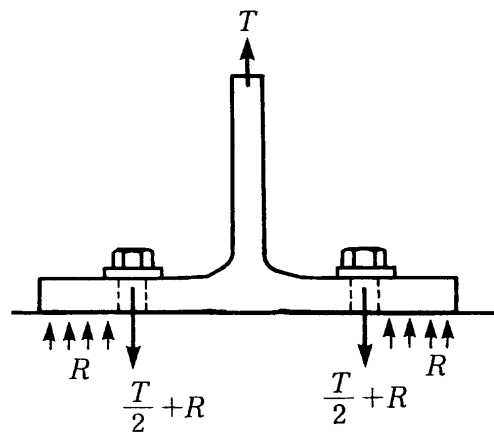


Fig. 2. Tensin type joint.

高力ボルト接合に関する研究を発表し<sup>4)</sup>、以後研究成果が次々と発表されるようになった。

実施面では、1957年に東京電力千葉火力発電所の工事でアメリカの製品が一部に使われたのが初めて、以後1958年には、東京のブリヂストンビルの増築工事に、1959年には大阪の東映会館、富士銀行ビル、興銀ビルなどの新築工事で本格的に高力ボルトが使用されるようになった。建築では、ボルトを含めて建築物に使用する主な構造材は、建築基準法に規定されているもの以外は一般的な使用はできないことになっている。しかし、建設大臣の特別な認定を得たものは使用できる制度があり、当時の高力ボルト接合は、すべて建設大臣の特認によるものであった。これらの工事で使用されたボルトは熱処理をされた8T級のものであったが、規格が未制定であったため、それらの仕様はアメリカの規準や鉄道関係の仕様を参考として、個々の使用者がそれぞれ決めたものであった。このような状況下にあって、1957年10月には、日本建築学会でも高力ボルト摩擦接合の設計および施工に関する規準の作成を図ることとなり、構造標準委員会のもとに高張力鋼小委員会 (主査・横山不学) が設置され、アメリカの規準や上述の実施工事の経験などを参考として、1959年12月号の建築雑誌に「高張力ボルト摩擦接合設計規準案」および「高張力ボルト摩擦接合施工規準案」が発表された。そして、この規準案の内容をとり入れて、1960年2月に建設省から高張力ボルト摩擦接合に関する告示が公示され<sup>5)</sup>、高力ボルト接合の一般的な使用が認められると、普及の速度

を早め、1961年末には、50件以上の建築工事で100万本以上の高力ボルトが使用されるという状況になっている。

このように各方面で、急速に利用され始めた高力ボルト接合であったが、その基本となる高力ボルトについては、その時点に至ってもまだ統一された規格はなく、各使用者がばらばらの仕様で製作させていた。このような状況から共通の規格を作る必要性が生じたため、1964年6月に我が国で最初の高力ボルトの日本工業規格である、JIS B1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」が制定された。このJIS規格の制定を受けて、1965年9月には日本建築学会から前記規準案を修正した「高力ボルト摩擦接合設計施工規準・同解説」が刊行された。この規準では、高力ボルトの強度種別として、JISに規定された1種(F7T)、2種(F9T)、3種(F11T)および4種(F13T)のすべてを対象としていたが、1964年から1966年にかけて土木構造物で使用されたF13Tのボルトが、使用後数ヶ月から数年経って、突然破断するという「遅れ破壊」の事故が相次いだため、この強度レベルのボルトは事実上使用禁止となった。また、F11Tのボルトについても、法的には例外的に建設大臣の特認を受けて使用することとなっていたため、使用実績は少なく実際にはF9Tのボルトのみが一般的に使用されていた。

以上に述べたことは、主として接合部においてボルト軸に垂直の応力が作用する高力ボルト摩擦接合に関するものであるが、ボルトの軸方向の応力を伝達する引張接合についても、摩擦接合とほぼ同時期に研究が開始され、実構造物でも使用されている。すなわち、1955年に佐久間発電所屋外鉄構の現場継手として初めて採用され、1960年には仲、吉本等による引張接合の基本性状に関する研究<sup>9)</sup>が報告されている。1962年にはこれらの成果をとり入れて、神戸ポートタワーの鋼管部材の継手が引張接合で設計されている。以上の例は、いずれも長締め形式の引張接合を用いたものであったが、これより力学性状が複雑な短締め形

式の引張接合についても研究が進められ、1964年頃から、H形鋼を用いたプレファブ架構の接合部や一般的なラーメン骨組の柱梁接合部にも使用されるようになってきている。ただし、建設省告示222号にも、日本建築学会の「設計施工規準」にも、引張接合については許容応力度が定められていなかったため、これらの設計はすべて建設大臣の特認を必要とするものであった。

1970年には高力ボルトのJIS規格が改訂され、強度区分が1種(F8T)、2種(F10T)、3種(F11T)に、ねじ形状がウィット系からメートル系に変更されたことを受けて、高力ボルト接合に関する建設省の告示も改訂された<sup>7)</sup>。ただし、この告示では、高力ボルトの製造・販売の連続性を考慮して、F7T、F8T、F9T、F10T、F11Tの5種類の強度種別のボルトの使用を認めていたため、新しいJIS規格の強度体系に完全に移行するのに数年かかっている。この間に日本建築学会の「高力ボルト摩擦接合設計施工規準」も、改訂JIS規格の内容に合わせて、1972年には「高力ボルト接合設計施工指針」に改訂され、これに則った設計および施工が行われるようになった。1975年頃にはF10TとF11Tのボルトのみが使われるようになったが、その後F11Tの高力ボルトで多くの遅れ破壊が生じたため、現在一般的な構造物ではF10Tの高力ボルトのみが使用されている。なお、1995年頃からより高強度の高力ボルトも開発され、遅れ破壊問題を解決したF14Tクラスの高力ボルトも一部の構造物で使用され始めている。

現在一般的に使われている高力ボルトとその機械的性質をFig. 3およびTable 1に示す。

また、1980年頃から防食性に優れた溶融亜鉛めっきを施した鋼構造物が設計されるようになり、溶融亜鉛めっきを施した高力ボルト（以下亜鉛めっき高力ボルトという）も使用されるようになってその需要量は年々増加してきている。亜鉛めっき高力ボルトは、熱処理した高力ボルトを高温（480℃程度）のめっき槽に漬けるため、強度レベル

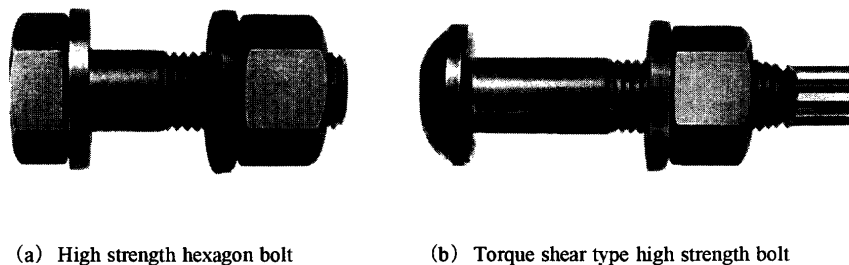


Fig. 3. Shape of high strength bolt.

Table 1. Mechanical properties of high strength bolts.

grade	0.2% off-set stress (N/mm <sup>2</sup> )	tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	elongation (%)	reduction of area (%)
F8T	640 ≤	800 ~ 1,000	16 ≤	45 ≤
F10T	900 ≤	1,000 ~ 1,200	14 ≤	40 ≤

はF8Tクラスである。

さらに、1990年に入ると溶融亜鉛めっきより耐食性に富み、美観的にも優れたステンレス鋼を用いた構造物もごく一部ではあるが設計されるようになり、このような構造物に使用されるステンレス高力ボルト (F10T) も開発され、使用されている。

### 3. 高力ボルトの市場と用途

#### 3.1 建築分野

建築分野では、建築基準法によってある規模（軒の高さ9mまたはスパン13mまたは延べ面積3,000m<sup>2</sup>）を超える鋼構造建築物のボルト接合部は、高力ボルト接合としなければならないことが規定されているため、高力ボルト接合はほとんどの用途の建築物で広く使用されている。Fig. 4に過去12年間の建築および橋梁における鋼材の使用量と高力ボルトの使用量の推移を示す。建築鉄骨で使用される高力ボルトのほとんどはF10Tクラスのトルシア型ボルトであるが、溶融亜鉛めっき高力ボルトも5%程度含まれている。これらのボルトのサイズは、M16~M22がほとんどであるが、プレファブ住宅などではM12、大規模構造物ではM24も使用されている。

2節で述べた意味での高力ボルト接合として使用されるものではないが、システムトラスの接合用として10Tクラスの高強度のボルトも使用されている。システムトラスとは、これを製造するメーカー各社ごとにいずれも標準化された主として球状をした接合中核と鋼管でできた弦材や斜材をそれぞれ1本ずつの接合ボルトで接合して形成する立体トラスである。この場合、ボルトは一般的な高力ボルトと同様の製造法で作られた10T級の高強度のものであり、標準的にはM72までのボルトが使用されているが、実績としてはM110までである。

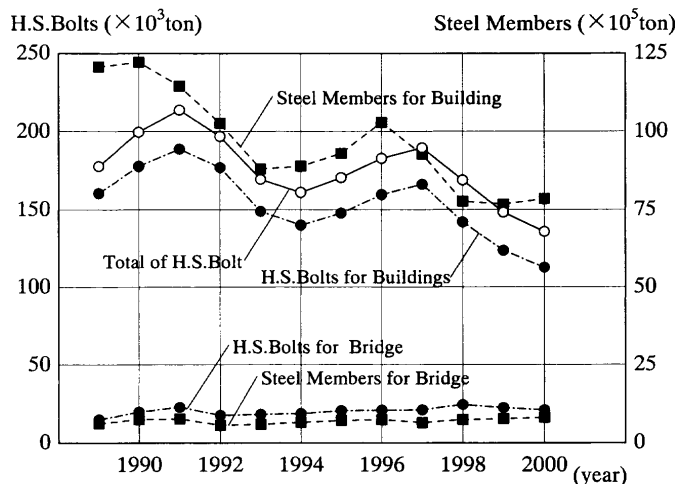


Fig. 4. Domestic demands of steel members and high strength bolts.

#### 3.2 土木分野

土木分野では、高力ボルトは主として鋼橋で使用され、年間1.5~1.6万トン程度の需要がある。この場合、構造体が建築に比べて大きいこともあって、ボルトのサイズは太いものが多く使われており、場合によってはM27, M30, M33といったサイズが使われることもある。また、土木構造物でも一般的な高力ボルト接合とは異なるが、トンネルの内部の構造体として用いるコンクリート製のセグメント同士を緊結するボルトとして10Tクラスの高強度ボルトが使われている。

### 4. 高力ボルトおよびその利用技術への期待

建築分野、土木分野を問わず、これからの構造物に求められる最も重要な点は、環境負荷の軽減であり、その結果、構造物としての長寿命化ないしはリサイクルが必要となる。また、施工面では工事による周辺環境の悪化を極力抑えるために、工期をできるだけ短くするスピード施工も必要である。特に建築分野では構造体・構造材のリサイクル、リユースは、建築物を設計する際の大きなポイントの一つでもある。一方では、構造体としての品質に対する社会的な要求も従来より高いものとなってきている。これらのいずれの点から考えても鋼構造物は、鉄筋コンクリート構造物に比べてはるかに優れており、今後のいっそうの発展が期待される。

さらに、鋼構造物において重要な部位となる接合部に關してみると、高力ボルト接合は、溶接接合に比べて上述のすべての面で明らかに勝っていることが認められる。その意味で、高力ボルト接合そのものが様々な面で発達してゆくことがこれからの鋼構造物の設計・製作・施工において欠かせないものであり、高力ボルト接合についての技術的發展が今後の鋼構造物の発展に大きく貢献するものであることが理解されよう。

そこで、高力ボルト接合の今後の発展に関連すると考えられる項目について、以下に私見を述べてみたい。

#### 4.1 ボルトの高強度化

これまでに述べてきたことから明らかなように、本質的に高力ボルトはできる限り高強度であることが望まれる。高強度の高力ボルトが使用されれば、一つの接合部に使用するボルトの数やサイズが低減され、接合部の小型化、接合部における断面欠損の減少が達成され、接合効率が大きく上昇する。このため、これまでの高力ボルト接合の歴史の中で、この問題は常に取り上げられ、同時に数々の失敗も経験してきている。ボルトの高強度化を阻む最も大きな要因は遅れ破壊である。しかし、最近10年間で遅れ破壊に関する研究によって遅れ破壊の発生要因の検討も進み、その結果遅れ破壊発生の可能性に関する評価法もある程度確立した状況にある。従って、現在では既に、適切な鋼材

を使用し、熱処理条件等をうまく設定することで14Tクラスの高力ボルトが実用化され、いくつかの構造物で使用されている。大型の構造物が増えてきて、非常に厚い部材や高強度の鋼材が使用されるようになってきている現状を考えると、今後はさらに高強度の例えば20Tクラスの高力ボルトの開発が大いに期待される。

#### 4.2 ボルトの太径化

現在、高力ボルトのJIS規格ではM33までの径のボルトが規定されている。ボルトが太径化するとボルトの内部まで全体が均等な強度となるような熱処理が難しくなる。しかし、3節にも述べたように高力ボルト接合として使用されているわけではないが、システムトラスでは引張力を伝達するボルトとして既に直径110mmの10T級のボルトも使われており、この程度までのボルトが使用できれば構造設計的には問題はないと思われる。このようなボルトでは材質を選ぶことがポイントとなり、現状ではかなり高価なものとなっている。従って、ボルトの太径化に関してはコストダウンが大きな課題となろう。また、上記のボルトは、初張力を与えて使用しているわけではなく、今後太径のボルトを通常の高力ボルト並に初張力を与えて使用するためには、締付け器具を開発することも課題となる。この場合、使用する構造物の規模と部材の大きさとの関係からどの程度の径までのボルトが実際必要となるかの構造面からの検討も必要となろう。

#### 4.3 高耐食性

鋼構造物でも構造物によっては、屋外に露出して使用されるものがある。特に橋梁ではこのケースが一般的である。現在、このような場合は防錆・防食上の理由から防錆塗料を塗るか構造物全体を溶融亜鉛めっき処理することで対応している。前者の場合は、数年での塗り替えが必要であり、部位によっては十分な再塗装ができないこともある。このような構造物に使用される高力ボルトでは遅れ破壊発生の可能性が高くなることも考えられ、実際遅れ破壊が生じた例も多い。従って、このような構造物に使用される高力ボルトは、それ自体高い耐食性が要求される。また、溶融亜鉛めっき構造物に使用される溶融亜鉛めっき高力ボルトは、めっき工程の関係から8Tクラスの強度のものしか使えない。しかし、今後、超高強度の高力ボルトが開発されると、ボルトの熱処理温度も現状のものとは変わる可能性があり、その場合にはより高強度の溶融亜鉛めっき高力ボルトが実用化されることも考えられる。

#### 4.4 耐火性

鋼構造物の弱点の一つは熱に弱いことである。建築の構造物では、ある規模以上の建物では構造物を耐火被覆で覆うことが法的に規定されているが、この点は、鋼構造物のコストアップ要因の一つとなっている。このため、耐火鋼（FR鋼）が開発され、現在では一部の構造物で耐火鋼を用いることで耐火被覆を要しないことも許容されるよ

うになってきている。このような構造体では高力ボルトにもFR鋼を使用したものが使われているが、この場合ボルトそのものの耐火性が向上しても、火災時に導入張力が減少することは避けられないので、摩擦接合としての耐火性能が保証されているわけではない。従って、構造物全体としての耐火性能の向上においては、ボルトだけの問題ではなく、摩擦接合部全体としての耐火性能の向上が課題となるので、そのための研究が望まれる。

#### 4.5 ナットの表面処理

高力ボルトのセットでは、ナットに特殊な表面処理を施して、ボルトセットとしてのトルク係数値の低減と安定を確保して、ボルトの導入張力の安定を図っている。降雨、風雪による水濡れ、その後の発錆、また、太陽熱による高温、寒冷地での低温等の温度変化等でこの表面処理に変化が生じるとトルク係数値が変動し、特にトルシアボルトでは安定した導入張力が得られないことがある。これらの理由から、高力ボルトは本締めの日当日ボルト孔に挿入し、その日の内に締付けることとなっており、構造物の仮組み時から使用することは許されていない。今後様々な環境における作業条件を十分考慮した安定性に優れたナットの表面処理方法が開発されれば、条件によっては仮組ボルトとして本締めを使う高力ボルトを使用することも考えられ、施工の簡易化、スピード施工に繋がる可能性がある。

#### 4.6 締付け施工

高力ボルト接合では、初期導入張力の安定が最も重要である。そのため、ボルトの締付け方法には様々な工夫が凝らされているが、すべてのボルトについて基本的に1次締め、マーキング、本締めといった手順は欠かせない。マーキングは、ボルト本締めの起点を示すと同時に締付け後の検査の際の基準ともなっているため、現在の締付け方法では不可避の作業となっていてすべてのボルトに対して行われねばならない。しかし、これらの作業は手作業で行われるため、非常に煩雑で、しばしば手抜きが行われ、ボルト接合部の品質確保上大きな問題となっている。従って、簡易でかつ確実な締付け方法の開発が大いに期待されるところである。

また、ボルトの高強度化、太径化が進めば進むほど締付け機が大きく重くなり、現場での締付け作業が困難となる。従って、ボルトの高強度化、太径化にとっては小型で強力な締付け機の開発が必要不可欠である。

#### 4.7 摩擦面処理

現状の高力ボルト接合を用いている限り、大型構造物等において部材の板厚が厚くなり、鋼材が高強度化するに従って構造物における高力ボルト接合部の占める割合が大きくなる。接合部をできるだけコンパクトにまとめるためには、高力ボルトの高強度化、太径化が必要であるが、同時に摩擦接合面におけるすべり係数を大きくすることも一つの方法である。また、現在使用されている通常の摩擦面

処理では設計で用いるすべり係数は0.4（土木構造物）ないし0.45（建築構造物）が一般的であるが、現状の表面処理によるすべり係数はばらつきが大きく、その適正な評価法も得られていない。簡易で確実なすべり係数の評価法が開発されれば、現状の表面処理法でも条件によっては現状より大きなすべり係数を設定できる可能性もある。一方、添接板に先端の尖った表面加工を施し、その後で熱処理して硬化させることによって0.9程度のすべり係数を得る工法も既の実現している。従って、今後比較的簡単でかつ安定して高いすべり係数の得られる表面処理方法が開発されれば、ボルト1本あたりの許容耐力が大きくなり、接合部の小型化が実現することとなる。

#### 4.8 その他

純粋な高力ボルト接合ではないが、ある値で安定してすべりが生じ、多数回の繰り返し荷重によってもすべり係数が変動しない接合面が得られる場合には、ある規模の地震に対してその部分がダンパーとして働く高力ボルト接合部となる。このような接合部を筋かい材端や梁継手の接合部に使用すれば、構造体をそのまま制振構造として設計することが可能となる。現在制振構造は、高層建築物で汎用されるようになってきているが、このような摩擦ダンパーであれば中低層の構造物にも容易に利用でき、スプリット

ティを用いた半剛の梁端接合部と併用することで、鋼構造建築物の新しいタイプの構造形式が生まれる可能性もある。

## 5. むすび

高力ボルト接合について、その特徴を述べ、技術面からみたこれまでの経緯をまとめ、これからの更なる発展のために解決すべきと考えられる項目を示した。高力ボルト接合の発展は鋼構造物の発展に直接関係するものであるため、今後の様々な技術開発が望まれる。

### 文 献

- 1) 高力ボルト接合設計施工指針，日本建築学会，東京，(1993)，11.
- 2) P.S.A.Berridge: "The Use of High Strength Bolts in Railway Girder Bridge", Preliminary Publication of the 6th Congress of the IABSE, IABSE, Zurich, (1960).
- 3) M.Wilson, F.Willer and L.Thomas: "Fatigue Tests on Riveted Joints", *Bull. No. 302 Eng. Exp. Stat., Univ. of Illinois*, (1938).
- 4) 鶴田 明，豊福武彦，寺田貞一：日本建築学会論文報告集 No. 57, 日本建築学会，東京，(1957), 469.
- 5) 建設省告示 第222号，(1960).
- 6) 仲 威雄，吉本昌一：日本建築学会関東支部 第28回学術講演会，日本建築学会，東京，(1960), 69.
- 7) 建設省告示 第1309号，(1970).