

建築用アンカーボルトメーカー協議会創立 20 周年記念講演

－鋼構造建築物と構造用アンカーボルトのこれまでを振り返って－

田中 淳夫

はじめに

建築用アンカーボルトメーカー協議会が創立されて今年で 21 年が経っていることを改めてお祝い申し上げます。

私は、このアンカーボルトの JIS 規格が初めて規定される以前から、その規格の作成に関与してきた関係から、建築構造用アンカーボルト規格の作成・使用に関連する様々な経緯についてまとめておく良い機会であると考え、構造用アンカーボルトにどのような役割があり、どのようにして規格が生まれたのかについて、ここで述べることにします。

1. 建築鉄骨構造物とその柱脚について

建築物として用いられる鉄骨造構造物の規模とその割合を示したものが図 1 です。

鉄骨造の階数別比率（2018 年）

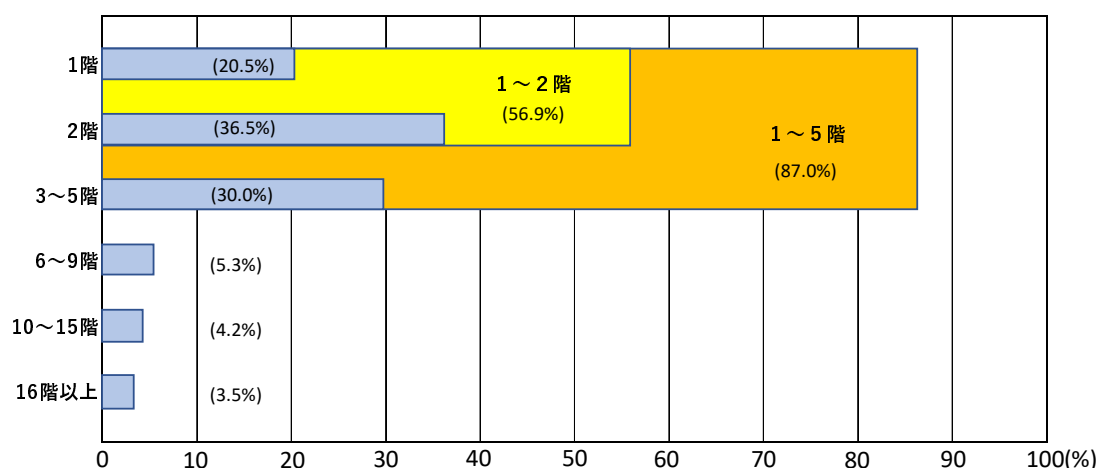


図 1 鉄骨造建築物の規模とその割合

ここに見られるように、鉄骨造建築物では平屋が全体の約 20%程度で 1～2 階建てを合わせると 57%弱です。これより鉄骨造建築物の大半が規模の小さい建築物を中心に利用さ

れていることがわかるとおもいます。また、建築物の鉄骨造構造体で使われている柱脚の種類を示したものが、**図2**です。

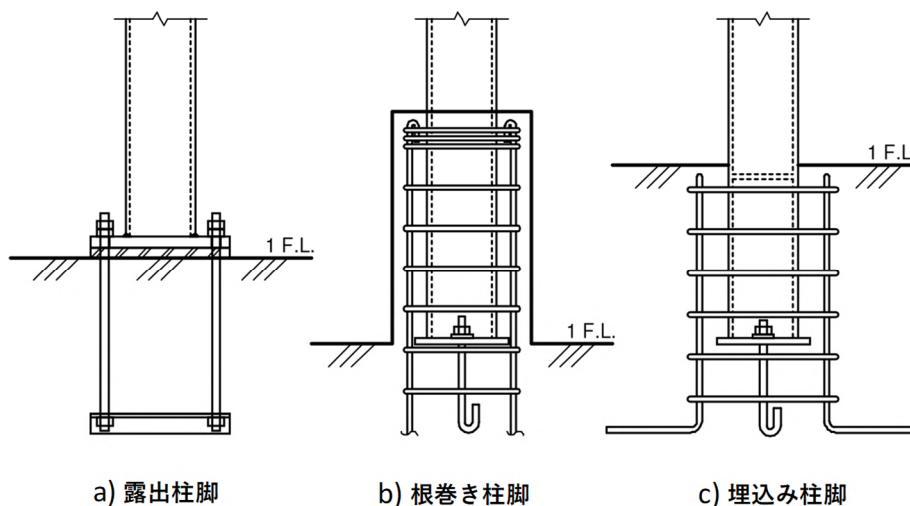


図2 鉄骨造建築構造物に使われている柱脚の種類

実際の建築構造物で使用されている柱脚の種類による割合を示したものが**図3**です。

これらの図から、鉄骨造建築物に使われている柱脚のほとんどが露出柱脚であることがわかります。根巻き柱脚が20%弱ありますが、根巻き柱脚は、柱の下部を、室内を走行しているフォークリフト等から保護する目的もあり、主として工場や倉庫で使われています。一般的な鉄骨造構造物では露出柱脚が主体です。

柱脚の形式 (2010年)

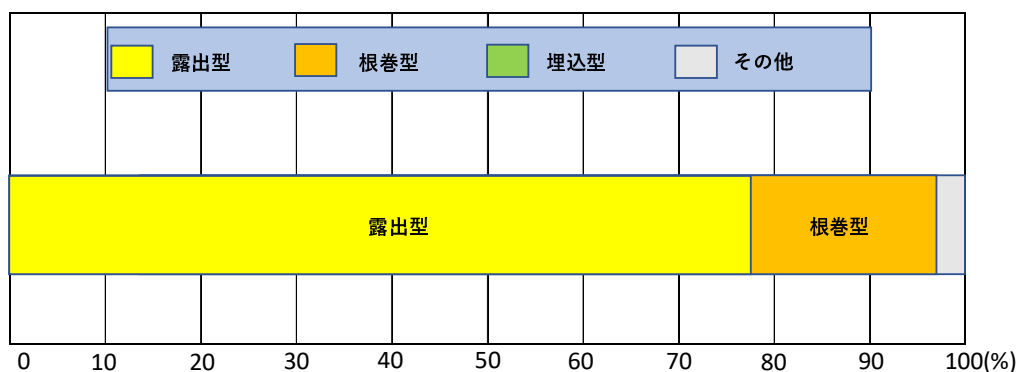


図3 鉄骨建築物における柱脚の種類

2. 露出柱脚の構造特性と設計上の基本

露出柱脚の構造設計法の考え方は大きく分けて2つあります。一般的に見て最も広く使われているのが保有耐力設計の考え方に基づいたもので、柱脚部の最大曲げ耐力を柱材の曲げ耐力の1.3倍程度以上となるように設計する方法で、保有耐力接合形式と言われるものです。この形式の柱脚では、大地震を受けてもアンカーボルトは終始弾性状態を保ち、大地震時にも塑性変形は生じません。このような柱脚をもつ骨組の復元力特性は、図4に示すような紡錘形となり、柱脚としてのエネルギー吸収能力は、非常に大きなものとなります。しかし、一方で経済的に見た場合にはかなり不経済となることはやむを得ません。

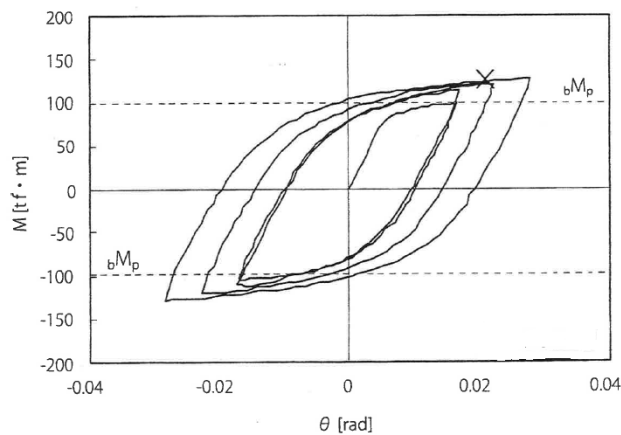


図4 保有耐力接合形式露出柱脚の復元力特性（紡錘型）

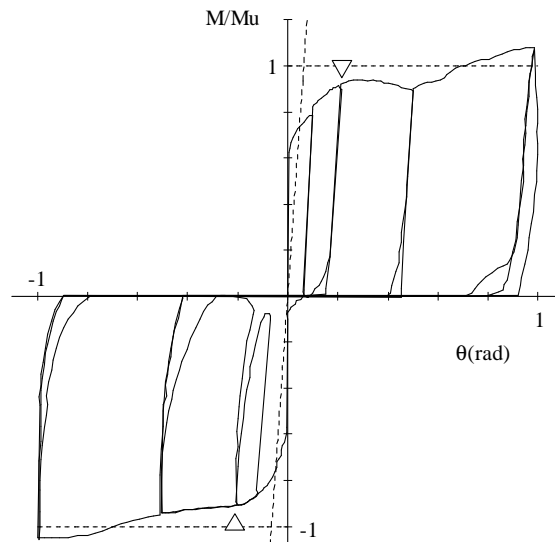


図5 非保有耐力接合形式露出柱脚の復元力特性（スリップ型）

もう一つの設計法は、大地震時における骨組全体のエネルギー吸収能力をアンカーボルトに期待せずに、柱脚部以外の構造部材に期待するものです。この場合、大地震時には、柱脚部におけるアンカーボルトは大きな塑性変形を生じることになります。ただし、そのような塑性変形が生じてもボルトは最後まで破断しないことが必要となります。このような柱脚は、非保有耐力接合形式といわれ、その復元力特性は、図5に示すようなスリップ型となります。

以上に述べた柱脚部の構造設計の考え方のどちらを採用するかは、構造設計者および建築物の設計者の判断によります。

3. 建築における構造用アンカーボルトの構造特性

日本で鉄骨造構造物が建設され始めた当初から、工場で製作された鉄骨の柱を基礎のコンクリートに定着するためにアンカーボルトが使用されてきました。しかし、鉄骨構造がさほど重要な建物に使われなかったため、その長い歴史の中で、柱脚の構造特性を十分認識しなかったため、建築構造用のアンカーボルトは本来必要となる構造性能を理解しない状況の中で使用されてきたのが現実です。鉄骨造構造物が建築用として使用された当初から、工場の建屋や倉庫などの平屋ないし2階建て程度の低層建築物にしか使用されないことが一般的であったためです。

1961年にH形鋼のJIS規格が制定され、本格的な鉄骨造建築物が設計、製作されるようになるまでは、鉄骨造構造物の柱の構造材は、山形鋼を組み合わせたものがほとんどで、このような鉄骨造構造物の露出柱脚に使用されるアンカーボルトは鉄筋コンクリート構造に使用される丸鋼に切削でねじ加工を施したものが一般的でした。すなわち、基本的に塑性変形能力のあるアンカーボルトの使用が想定されていない状況にあったといえます。

その結果、1995年に発生した阪神淡路大震災において鉄骨造建築物の露出柱脚の破断が大量に生じました。その状況は図6・写真1に示すとおりです。

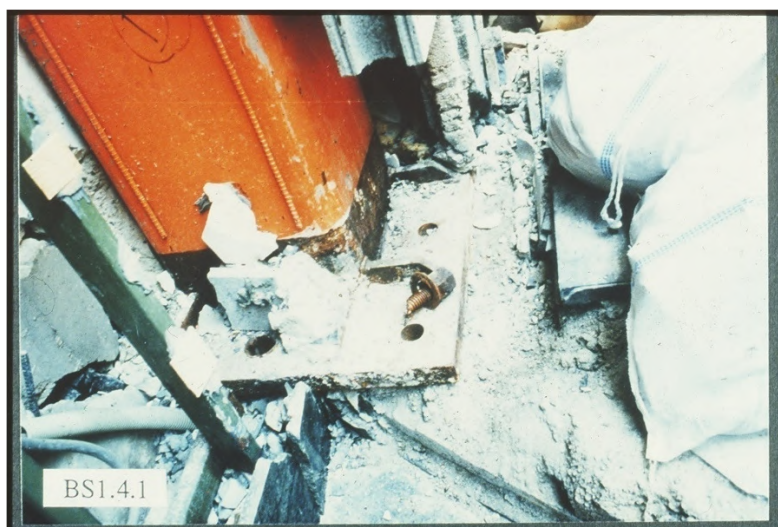


写真1 阪神淡路大震災で破損したアンカーボルト

被害レベル別の露出柱脚各部の損傷件数

建物被害 レベル	アンカーボルト 破断	ベースプレート 溶接部破断	ベースプレート 変形
倒壊	25	4	4
大破	50	1	5
中破	29	1	1
小破	8	0	1
合計	112	6	11
	86.8%	4.7%	8.5%

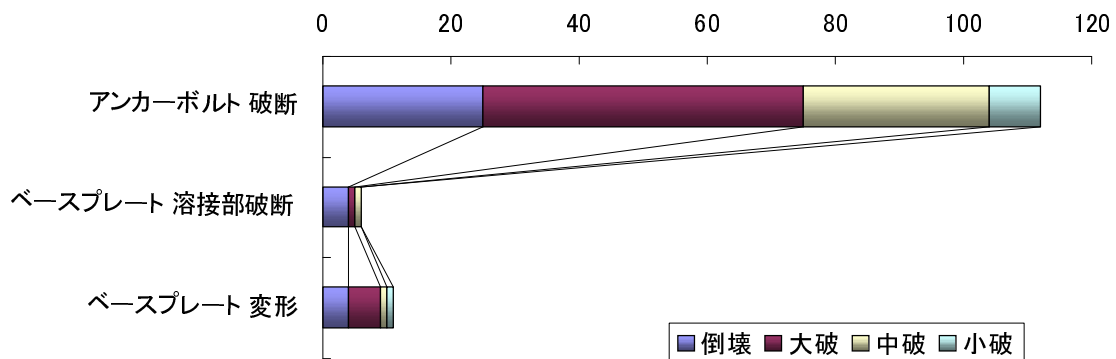


図6 阪神大震災における被害レベル別の露出柱脚各部の損傷件数

このような現象が起きた原因は、当時の露出柱脚に使用していたアンカーボルトの材質がSS41 (SS400) またはSR24 (SR235) であって、それらの鋼材は、強度のみが規定されていたため、降伏比の規定はないものであったことによります。更に当時使われていたアンカーボルトは、ボルト軸部に切削でねじ加工したもので、その結果、当然のこととして多くの露出柱脚でこのようなアンカーボルトのねじ部破断が生じたわけです。

この事態を受けて、(社)日本鋼構造協会では鉄骨造建築物の健全な普及のためには、塑性変形能力のあるアンカーボルトの使用を基本とする対策が必要であるとの認識の基に、1997年に露出柱脚に使うアンカーボルトの規格制定が検討されました。鋼材としては、当時JIS規格が制定されたばかりの建築構造用棒鋼であるSNR材を使用したアンカーボルトであれば、ねじ部の加工を工夫すれば大きな引張り力を受けた時、ねじ部破断に先立って軸部が十分な塑性変形を生じる構造特性を持つものが可能となると考えられたためです。そのための検討作業においては、アンカーボルトのねじ部の加工およびねじ部の有効断面積とボルト材の断面積に関する規定が適切なものであることが必要となることが明らかとなりました。その点を考慮したアンカーボルトの規格制定にあたって、特に重要視した点は、ボルトの形状、ねじ部詳細と構造性能の関係です。

まず、想定したアンカーボルトは直線状のものとし、その両端にねじ部を有するものとし、基礎のコンクリートに埋まる側にはアンカーボルトの定着を確実なものとするためにナットを2枚使用し、その間に所定の強度を持つ鋼板による定着板を挟み込む形状を基本とすることにしました。当時、一般的に用いられていたアンカーボルトは、基礎コンクリート内に埋まる部分に90度の折り曲げ加工を施して先端に定着用フックを有するものが中心でした。しかし、この形式のアンカーボルトではその定着長さが不十分な場合、アンカーボルトに引張り力が作用するとボルトが引き抜けるケースが多々見られ、そのようなケースを避け、基礎コンクリートへの定着を確実なものとする必要性から上述した定着法を採用したものであります。その形状と露出柱脚における基本的な部位の名称を図7に示します。

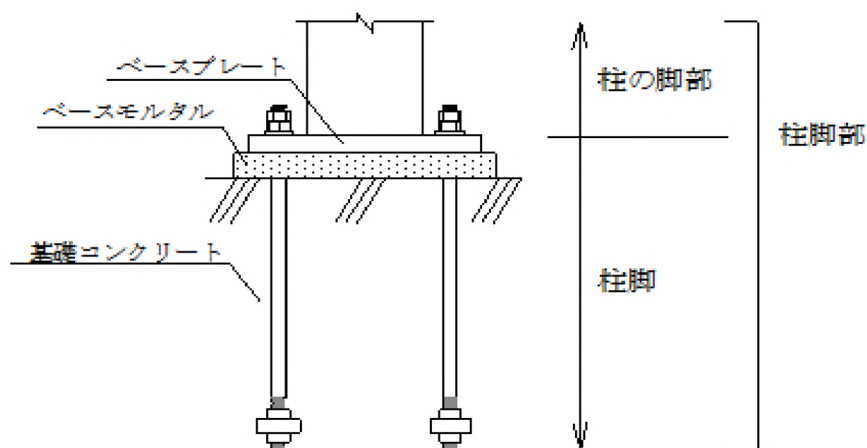


図7 構造用アンカーボルト (ABR・ABM) の各部の名称

次に建築構造用アンカーボルトの構造性能を十分確保するための、ボルトの両端に加工するねじ加工について述べます。

ねじの加工法には一般にねじ部を機械加工で切削加工する場合と転造機にかけてねじ部を転造加工する場合があります。丸鋼を使った通常の切削加工では、ねじ部の有効断面積は軸部に比べて75%程度になります。この場合、ボルトに引張り力が作用すると軸部が塑性化して十分な伸びが生じる前にねじ部が破断することになり、これでは塑性変形能力のあるアンカーボルトは得られません。

そこで建築構造用として想定したアンカーボルトでは、鋼線材の降伏比を0.75以下とし、更にねじ部の有効断面積を確保するために、一般に使われている並目ねじではなく、細目ねじを採用することとしました。このような配慮をした結果得られた塑性変形能力に富んだ構造用アンカーボルトがABMアンカーボルトです。更に、通常の並目ねじを有するアンカーボルトの規格品も必要であるとの認識から、そのようなねじを有するアンカーボルトの規定も設けることとしました。

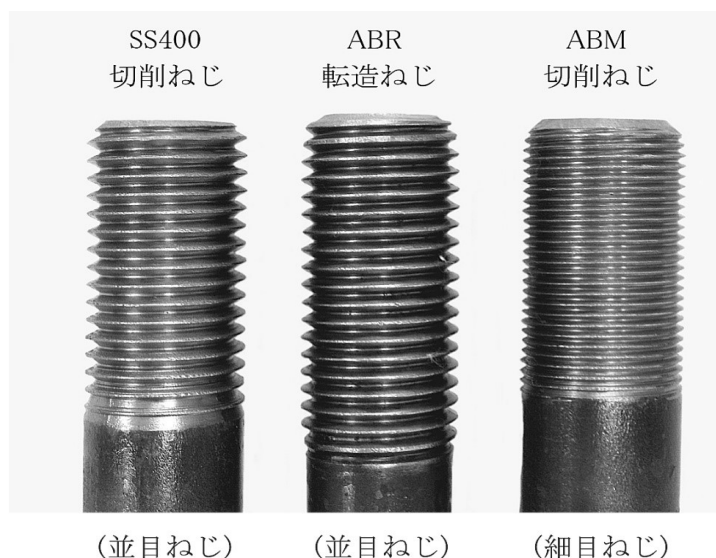


写真2 ねじの加工と軸部の関係

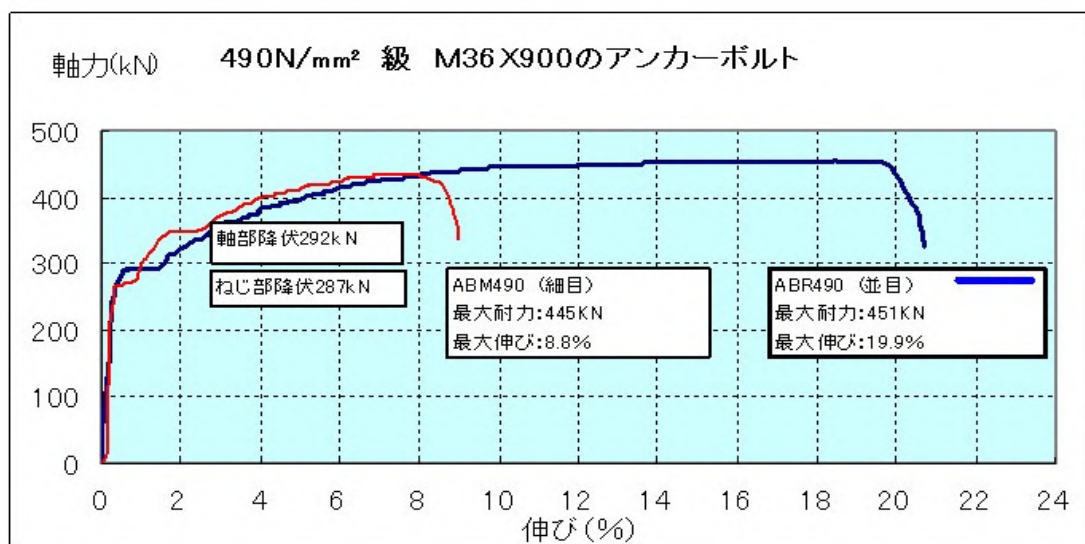


図8 構造用アンカーボルトの耐力と伸びの関係

その規格で使用する鋼線材は、通常の SNR 規格材とし、軸部の断面積がねじ部の有効断面積とほぼ同じとなるような精密圧延を行った棒鋼とすることとしました。これが、ABR アンカーボルトです。これらのアンカーボルトの軸部とねじ部の関係を示したのが写真2です。これらの規格を満たすよう製造された建築構造用のアンカーボルトの構造特性を示したものが図8です。この図は、ABR、ABM アンカーボルトに引張力が作用した場合のボルト材に生じる力とボルト全体の変形量の関係を示したものです。この図から判るように、これらのアンカーボルトは、地震で大きな引張力が作用した場合、地震力が小さい範囲では弾性状態を保持しますが、鋼材の降伏点を超えるような大きな力が作用した場

合にはボルトのねじ部が塑性変形することになります。通常の建築構造物では大地震時に構造体に生じる水平変形は、柱の部材角でみて1/50程度です。この場合、アンカーボルトに生じる塑性変形量は、5～8mm程度です。図8から判るようにこの程度の塑性変形量はアンカーボルト全体の塑性変形量の数%にしか当たらず、アンカーボルトのねじ部には損傷は生じません。従って、大地震が生じた場合、ベースモルタルに破壊が生じても地震の後で建物を垂直に建て直してベースプレート下部にベースモルタルを再度注入し、伸びたアンカーボルトを締め直すことによって、構造体の補修は容易に実施できることになります。

これに対し、保有耐力接合の構造体では、大地震によって柱自体の脚部に局部変形が生じる可能性が高く、そのような個所の補修には大きな手間と費用がかかることとなります。参考として熊本地震で塑性変形したABRを利用したアンカーボルトの変形状況を写真3に示します。



写真3 熊本地震で塑性変形したABR アンカーボルト（震源地付近）

4. 構造用アンカーボルトの規格の変遷

このような経緯で、日本で初めて塑性変形能力に富んだ露出柱脚用のアンカーボルトの規格が制定されたのが2000年6月です。それらの規格が、日本鋼構造協会規格JSS II 13（建築構造用転造ねじアンカーボルト(ABR)・ナット・座金のセット）とJSS II 14（建築構造用切削ねじアンカーボルト(ABM)・ナット・座金のセット）です。これらの規格は前述したボルトの原材料の棒鋼とねじ部の加工方法によって二種類に分かれています。

ABR アンカーボルトは、原材料の棒鋼の径がボルトのねじ部の有効径と同じになるよう精密圧延されたSNR材であり、そのねじ部に特別な下加工をせずにそのまま転造加工したものです。ABM アンカーボルトは、原材料の降伏比を0.75以下とするSNR材で、ねじ部は細目ねじを切削加工したものです。図8に見るようにABR アンカーボルトは、ABM アンカーボルトに比べて最大耐力に至るまでの塑性変形能力が約2倍あります。しかし、通常的设计をした場合、地震時に生じるアンカーボルトの最大変形量は5mm程度であるので、この差はABR アンカーボルトを使った露出柱脚とABM アンカーボルトを使った露出柱脚の構造耐力上の優位な差とは考えられないものです。なお、これらのアンカーボルトに使われる鋼材は、強度的にSNR400とSNR490の二種類があります。

これらのJSS規格は、2010年10月に基本的な内容をほとんど変更しないままでJIS規格となりました。すなわち、JIS B1220：2010 構造用転造ねじアンカーボルト、JIS B1221：2010 構造用切削ねじアンカーボルトです。更に2015年12月に、これまでのJIS B1220（ABR）とJIS B1221（ABM）を統合して新しいJIS B1220：2015 構造用両ねじアンカーボルトセットに改正されました。

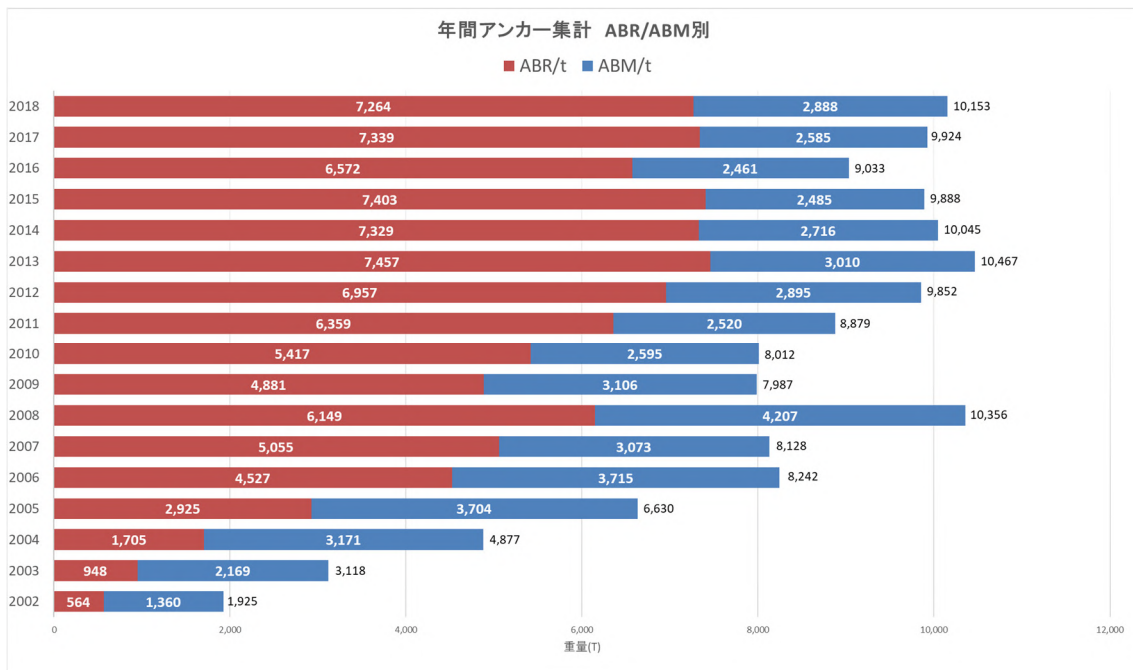


図9 構造用アンカーボルトの製造・普及状態

なお、これらの構造用アンカーボルトの規定（JSS 規格）が制定された当時、間髪を入れずにその構造特性に着目したアンカーボルトメーカーが多数あり、それらのメーカーが結集して 2000 年 10 月に建築用アンカーボルトメーカー協議会を発足させ、その後、構造用アンカーボルトが短期間に広く普及しました。その状況を示したのが、図 9 です。

現在、構造用アンカーボルトはこのように ABR と ABM に大別されています。ボルト自体の構造特性をみると ABR の方が ABM より優れているとも考えられますが、前述したとおり、通常の鉄骨造建築物に使用されている限り、そのような差は実質的にほとんどないと考えて構いません。ABR アンカーボルトと共に ABM アンカーボルトの規格ができた最も大きな理由は、当時転造ねじ加工ができる最大サイズが多くのボルトメーカーで M60 以下であったため、大型構造物に使われる、より太径のアンカーボルトの需要に応える必要があったためです。また、上述したように ABR アンカーボルトは、材料となる線材の有効断面積がねじ部の有効断面積とほぼ同等となるように精密転造されていますが、需要のあまり大きくない太径のボルトに使う鋼線材を製造するメーカーがないことも大きな要因です。

また、これらのアンカーボルトには、構造設計面での違いもあります。すわなち、ABR アンカーボルトを用いた場合、設計で用いる柱脚におけるアンカーボルトの呼び径が同じサイズの ABM アンカーボルトを使用した場合に比べて柱脚部の回転剛性に 15% 程度の違いが生じるため、柱脚のみが骨組の剛性に与える影響を考えると ABR を用いた場合の方が骨組の水平変形が 15% 程大きくなります。鉄骨造建築物の設計には、耐力的な条件の他に剛性面（建物の変形量）の規定があり、それが建物の水平変形の制限（1/200 以下）です。この点から見たとき、ABM を使用した方が構造上有利であるとする設計者もいることは事実です。

以上