

# 鋼管構造についての諸問題

大阪大学工学部 鷺尾 健 三\*

## 1. まえおき

いわゆるパイプを組合せて造るパイプ・ハウス、または、鋼管構造は、日本では、最近数年間に、急に注目され出し、また、普及して来た。そして、鋼管メーカーの編集したカタログ・解説書の類や、日本建築学会の鋼管構造計算規準とその解説など、沢山の参考書類がたやすく、誰にでも、手に入るようになり、実施例も沢山出来た。しかし、私には、それらについて、いわれていること、されていることなどから見て、その考え方に、賛成しかねるものが多い。ここでは、それらを強調しながら鋼管構造の諸問題について解説しよう。

## 2. 鋼管構造とは？

鋼管構造とは、明らかに、鋼管をその主体構造の構成要素とする構造物であつて、家具の類から、大構造物まで、その規模の大小は問わないし、また、その加工・組立の上手下手にも、もちろん、関係がないものである。ただ、規模の大小などによつて、注意すべき重点のおき方は変つて来る。ところが、鋼管構造に限つて、パイプ・ハウスと本格的鋼管建築とか、仮設建築と本建築とかなど、対比して論じられることが多い。パイプ・ハウスを、××社製を指すなど、固有名詞として使うのなら、それでもよいし、仮設的鋼管構造といつて、一時使用の足場などを指すのなら、また、それでもよい。しかし、「鋼管構造」そのものに関する色々な問題を考える場合には、「鋼管構造」を、なるべく広く、色々な場合にまたがらせて考える方が、正しい判断が出来るものと、私は信じている。

鋼管構造は、日本では、最近はじめたもののようにいわれることが多いが、私は、以前からあつたことを指摘したい。このことは、上に述べた、広い立場をとれば容易にわかることである。円形断面を持つ鋼管は他の断面形のものに比べて、圧縮に対して特に有利であり、曲げに対しても、色々な方向に曲がり得る場合には、特定方向の曲げにすぐれている工形断面よりも有利である。したがつて、屋根トランスや柱に使つて有利なことは、初等構造力学の知識さえあれば、誰でも気付くことである。したがつて、昭和の初頭に、日本で鋼管構造を屋根

トランスに使つて見た人があつても、何等不思議はない。ただ、そのままで発達がとまつてしまつたのは、当時は、溶接という技術がなく、リベットとかボルトによる接合方法しか知られていなかったのだから、鋼管を偏平に押しつぶして取りつける必要があり、これでは大変面倒になるからであつた。したがつて、溶接が発達すれば、これによつて、鋼管構造が息をふきかえし、急速に発達することになつたし、また、鋼管構造が主に溶接構造として考えられていることなども、容易に理解出来よう。しかし、これは、リベットやボルトを使つてはいけなないと、それらを排除する意味ではなく、むしろ、逆に、溶接の弱点をおぎない、而者それぞれ、もつとも適した所に使われるべきで、溶接なら溶接ばかりとか、リベットならリベットばかりというような、かたよつたことではいけないということである。

それにしても、鋼管構造は、その発達の歴史が、まだ非常に短いといつてよい。古くからある構造でも同様であるが、まだまだ、研究し、改良・工夫すべきことは多い。ある段階へ来たからといつて、ホッと一安心してしまつては、それまでである。しかし、逆に、その程度では実用する段階に来ていないとするのは、心配性に過ぎる。理想を高く持ち、何時までも、次々に、短所や問題点を見つけ、それを研究・改良する努力を続けながら、何時でも要求に応じられる態勢においておくのが、我々技術者の仕事であると、私は考える。

## 3. 鋼管構造の得失

溶接構造としての鋼管構造は、前に述べたような、構造要素としての鋼管の有利さの他に、普通は鋼管同志を直接溶接して接合するから、接合部分のために余分に使われる鋼材がなく、従来のリベット構造などに比べて、鋼材使用量は、非常に少なく、割高な鋼管価格を補つてあまりがある。その数値は、ここには掲げないが、各社の参考資料に詳しい。ここで問題になるのが、鋼管構造の加工と、その加工費である。

鋼管構造では、鋼管同志をしかに溶接すればよいといつても、在来のアングルなど、平衡があつた形をしている形鋼とちがつて、鋼管は曲面であり、その管端を丁度溶接に都合のよいように切断することが容易でない。それは、円筒形と同筒形が交叉した時の切り口の形

\* 建築工学科教授

がどんなものになるかを考えれば、明らかである。ここで、道は二つに分かれる。第一は、そのような形にうまく切断する方法を工夫することであり、各種の自動切断機の工夫・考案が、それである。今までは、万能の自動ガス切断機が、その一つの目標であったが、鋼管構造が普及して来ると、性能は限定されていても、安価で、設備償却費の負担の少ない、万能でない自動ガス切断機や機械的な自動切断機などが要求されることになるであろう。第二の方向は、二つの円筒形の交叉といったような面倒な形にならぬような工夫をすることで、例えば、管端を偏平に押し潰せば、鋼板の接手と同じことになるしマンネスマン社が特許を持っている球接手のように、ある大きさの球を接合点の中心におけない、どちらから来る鋼管でも、その管端を材軸と直角に平面切断しておけばよいことになる。その他、これに類する工夫が色々あるが、第一に比べて、何等かの余分の鋼材か加工が必要になつて来る。以上、いずれの工夫をするにしても面倒で、それだけ加工費がかさむことになる。したがって、鋼管構造の経済は、普通、鋼材使用量の減少と、鋼管価格と加工費の割高とのバランスと考えてよい。もちろん、全溶接の鋼管構造は、案外剛性が大きで、現場で吊り上げたりなどの建方が比較的楽なようであるし、それより以上に、塗装などの繊維管理が楽で、鋼につきまとう錆の問題も、管端を閉じておけば、外面だけの問題となり、したがって、鋼構造としての寿命は、他種の構造よりも長いといえる。これは、構造物の経済性を考える場合、無視出来ないというよりも、むしろ、重要視すべきことではある。ところで、今の段階では加工費は、鋼管構造加工業者の努力によつて、ある程度下がり、上記のバランスがとれるようになって来たから、次は、構造用鋼管価格の順番ではなかろうか。ところが、鋼管は、油ガスその他の輸送用鋼管としては高価に売れるが、構造用鋼材となると、伸鉄ものなどの他の鋼材の影響なのか、ある程度安くないと売れない。ここに、鋼管構造普及を願う鋼管メーカーの一つの悩みがあるといえる。しかし、私は、日本では、欧州などちがつて、その薄鋼板の増産態勢から考えて、鋼板から造る電綫鋼管類が鋼管の大勢を占めることになり、鋼管メーカーの鋼管構造普及推進の意欲から見ても、やがては、構造用鋼管が増産され、価格も下がり、ますます鋼管構造が有利になつて来るのではないかと思つている。

鋼管構造最大の急所の一つは、屋根・壁、床など、仕上材との関係である。これは、必然的に骨組となり、そのままでは、トリカゴみたいで、建物にはならない、『鋼構造一般』に共通している問題点であるが、構造要素が円筒形である鋼管構造では、特に、その取り付けが困難であり、色々工夫が必要となる。これは、後で述

べる接手の問題の一種とも見られるが、構造材同志の接手については比較的研究されて来たが、仕上材の取り付けは、イワユル一般構造の問題で、設計や建方の時にそれぞれ工夫される位のこと、力を入れて組織的に研究・工夫されることが少かつたようである。これは、第2室戸台風による構造物被害を見ても、主体構造の被害は非常に少なく、大部分が、上記の仕上材の取り付けのような一般構造手法に関係していることからわかることである。鋼管構造の発展のために、それらの研究・工夫の強化が願わしいが、ここでは、むしろ、だからこそ、鉄塔などのように、仕上材の取り付け問題に関係のない時に、なお一層鋼管構造の有利さが発揮されるものであることを、指摘しておきたい。

#### 4. 鋼管構造の接手

前に指摘したように、鋼管構造は、溶接技術のおかげで、溶接構造として発達・普及している。いいかえると、その接手は、原則として、溶接によるものと考えてよい。しかし、工場加工したものを輸送し、現場で組立てることを考えると、接手は、工場加工する時の、イワユル工場接手と、現場組立の時の現場接手の二つに大別される。その中、工場接手は、工場を、設備・人力両面共、それぞれの工場に応じて、その思う通りに強化出来るが、現場では、その時その時によつて条件が異なり、種々の制約を受けることが多い。したがって、工場接手では、それぞれに応じた最善の加工が出来る。すなわち、溶接を中心にするとしても、すぐれた溶接工や溶接機器を十分に駆使することも出来、十分よい溶接々手を得ることが可能である。問題は、したがって、現場接手の方に残ることになる。まず、溶接するにしても、現場では、工場に比べて、普通、その信頼度が落ちると考えてよいのではなかろうか。その上、電源を確保することその他の面で、溶接を実施することさえ困難な場合が多い。しかし、それよりも重大なことは、現場接手などの現場作業の多寡とその速度が、その構造物の建設速度を左右するということである。ところが、最近注目されて来たように、「建設速度」は、その構造物使用開始期日に関係し、その為、構造物を使つて得られる利益に関係する。それは、普通、僅か数日間の繰上げであつても、相当大きな利益が得られるから、構造物の建設費を考える場合、工期短縮によつて得られる利益を加算して考えるようになって来た。これは、構造物の寿命・耐用年限を考えに入れる習慣と共に、最近の重要な進歩といえよう。この「建設速度」の大切なことは、鋼管構造においても、もちろん変りがない。したがって、信頼度が高く、しかも、施工速度の早い現場接手の考案・工夫が、鋼管構造の一つのポイントになつて来る。このこと

は、工場加工の度合をいかに高めても残る問題であり、ここに、高張力ボルトの使用、しかも、それを剪断形式に使うだけでなく、引張形式に使う工夫などが、一つの研究対象となる理由が存在する。鳴門海峡に架けられた送電線のための鉄塔を見ると、これらの苦心のあとに、頭の下がる思いがする。

工場接手で、鋼管と鋼管をじかに溶接で接合する場合にも、問題がないわけではない。ドイツにおける実験の追試から出発して展開している、我々の研究室における溶接トラス節点の研究で見つけたのも、その一つであろうか。その実験結果の一つを写真に入れておくと、それは、構造要素である鋼管のまるい断面形が円でなくなる場合もあることに、普通は注意していないが、節点での部材接合にぐいちがいがあつたり、管径がある程度以上にうすいと、この断面変化の影響が大きく、溶接の良否如何以上に耐力を低下させることがあるということである。それは、トラスの最大耐力を、場合によつては、計算上の耐力の、まだその60~80%にまで低下させる。わかっていることだといつても、何でも、より一層、慎重に、また堅実に行うべきであるという、人生上の一つの一般的注意を想い出させる。日木の、今の建築構造一般に対していえることであるが、近頃のように、お互に妙な悪競争を続け、新奇をねらっていると、やがて大事故を起すことは、いくつかの苦い経験を持つまでもなく、この研究から得られた教訓からも、容易に察せられることである。

## 5. 鋼管構造の企業

日本で鋼管構造を供給する会社、あるいは、加工業者として、仮設的鋼管建築をつくるものと本格的鋼管建築業者の二種などに分類されることが多いが、私は、これに賛成しかねる。いま、鋼管構造を、大きな建物や鉄塔、橋梁などの比較的大規模なものに限定するとしても、その発展の順序からいうと、(1)建築規準法でいう建築でない、物品として扱われていた移動可能な小さい建物を供給していた業者が、自己の経験の上に立つて開始した鋼管建築の供給と、(2)鋼管足場メーカーが、その技術を基盤にして鋼管建築へ進出したものと、(3)造船技術を基盤とするものと、(4)最近にスタートしたものに、従来の建築鉄骨加工技術をもとにして鋼管建築を手がけ始めたものの4群に分類すべきものと考え、(1)と(2)は、自己の実力を考え、営業面その他のすぐれた面を、その推進力とし、おくられていた技術面では、徐々に実力を蓄積、技術を向上させる策をとつたことは、両者共通している。これに反して、(3)は、始めからその技術面の優秀性を誇っているが、(4)がどういう策に出るか、近頃営業を始めたばかりだし、私には、まだ、よくはわからない。

## 写真説明

(左上から) 住友金属工業 和歌山製鉄所 冷間圧延工場

建築面積：32,870m<sup>2</sup> (8棟, 最大スパン40m)

鋼管重量：1,850t

単位鋼材重量：138kg/m<sup>2</sup>

柱には、高張力鋼 STK 50 (降伏点 32kg/mm<sup>2</sup>) を用い、内部にはコンクリートを充填して、累加強度とし、局部座屈を防いでいる。

(左中) 住友金属工業 和歌山製鉄所 製品倉庫

構造：全鋼管構造

建築面積：11,232m<sup>2</sup> (スパン26m, 6棟)

鋼管重量：464t

単位鋼材重量：55kg/m<sup>2</sup>

クレーン、クレーンガーダー、母屋に至るまで全部鋼管を使用した建物で、アングル構造に比し40%以上の鋼材重量の節減ができた。

(左下) 松下電子N.T.工場

屋根鉄骨構造：鋼管オクタブラッチ構造

建築面積：3,528m<sup>2</sup> (スパン28m)

鋼管重量：166t

単位鋼材重量：54kg/m<sup>2</sup> (小屋組のみ)

オクタブラッチ構造は住友金属がドイツ・マンネスマン社と技術提携した立体トラス構造で、大スパンの架設に適している。継手には球継手を用いているので、部材端の加工が簡単で、一節点に数本の部材があつまつても、容易に処理でき、空間に露出したまま使用できる美しい構造である。

(右上) 鳴門海峡横断MC式鉄塔

高さ：鳴門側 (手前) 154.0m, 淡路側 123.5m

鋼管：STK 50, 500~89mmφ

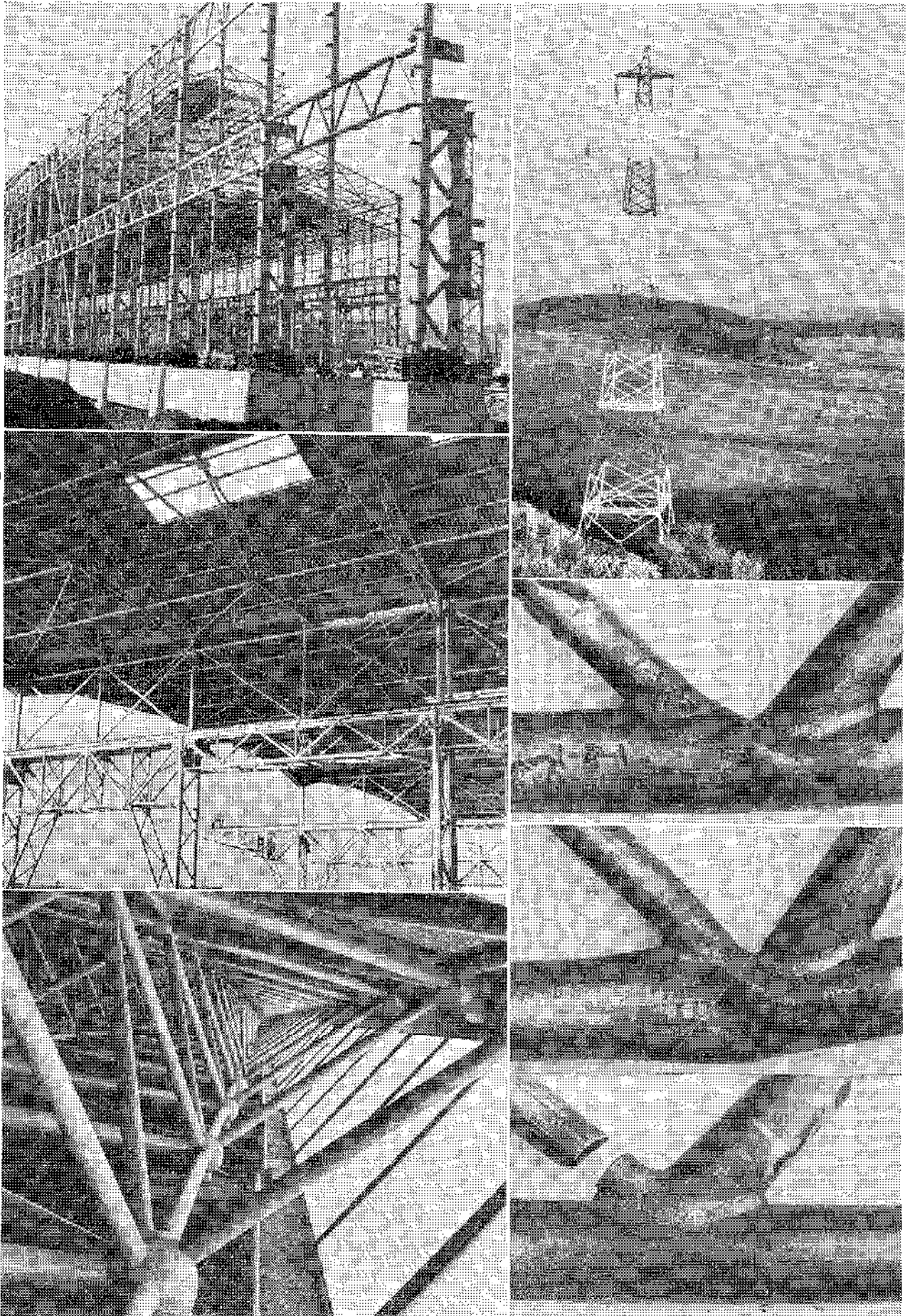
重量：600t, コンクリート充填

海峡橋脚用鉄塔としては世界第3位、MC式鋼管鉄塔では最大の鉄塔で、継手は、鉄塔下部バットジョイント、鉄塔上部フランジジョイント (水密) である。

製作 新三菱重工業

技術協力 住友金属工業

(右下) 節点の破壊の状態を示す。鋼管の断面は3枚の写真ともいずれも同じで、太い管から順に示すと、60.5φ×2.8, 48.6φ×2.3, 33.7φ×2.2 (単位：mm) である。主管の重心線と、支管重心線の交点との喰違い距離をfとし、Dを主管径とすると、上から、f=D/4, f=0, f=-D/4となる。実験はfが変ると、節点の強度や破壊のメカニズムなど、節点の挙動が大きく変化することを示した。



これらの中(1)と(2)を、仮設建築だなどという人があるが、仮設がそうでないかという分け方と、鋼管建築か他種の建築かというのと、また、その技術程度の上下などを、混同しないで、ハッキリ考えて発言してほしいものである。以上あげた4群の企業は、それぞれ違った特色を持っている。いわば、極端には一長一短ともいえようか。例えば、大規模工場を持ち、中央集権的な態勢をとっているものでは、技術面ではすぐれているが、大規模で、それだけ数の少ない建築を対象としない限り、その特徴を強調しにくい。また、地方の、比較的小さい建築を狙うためには、各地に小工場を分散した形態をとらないと、カサの大きい鋼管やその加工物の輸送に参つてしまふし、営業活動にも、分散態勢の方が便利である。しかし、それらの多くの地方小工場を、すべて、技術的に強化することは、今の段階の日本ではむづかしい。あまり大きな難しい建物を手がけず、徐々に、技術面を補強するより仕方がない。

ところが困ることは、どんな商売にもあるように、鋼管建築が有利だということ、何の基盤となる手がかりもなく、技術者もないのに、何とか指導しろと、大学へ駆け込む人達のあることである。これは、我々研究室で経験した事実である。この系統の人達も、また、その後そのまま鋼管建築の看板をかかげ、営業活動を続けていられるところを見ると、第5群として分類すべきかも知れないが、もし、分類するとすれば、その強心臓を基盤とするものというべきであろうか。悲しむべき事案ではある。

鋼管建築の供給には、その工場加工度をあげ、建設速度を早めるのがよいと上に述べたが、これを極端に推し進めると「イワエル Prefab 建築」ということになる。しかし、日本では、その市場を考えて、完全 Prefab で完成品の建物を供給する方がよいか、建築の部分だけを製作する方がよいかということは、企業として、重大問題であるはずである。これについては、問題点の指摘だけに止めて、私の意見を述べることは、差し控えておこう。

最後に、鋼管メーカーや建設業界との関係について述べよう。鋼管建築の供給は、いま述べた Prefab 建築まで徹しない限り、一種の建築鉄骨の加工・建方であり、一方ではその材料である鋼管を供給する鉄鋼メーカーと密接な関係があり、他方では、前に述べたように、鋼管構造だけでは建物にならないから、それを建物に仕上げするために、建設業界との関係が無視出来なくなる。鋼管構造業者の中に、その建築としての仕上げまでやろうとしているものもあるが、少々その工事部または工務部といったような部門を強化して見ても、永い経験を持つ、従来からの建設業者にはかなわない。この点、前述の(4)の群は、今まで既に建築総合請負業者と協力して来てい

るから、有利ではなかろうか。ところが、素材の構造用鋼管は、比較的高価であるから、その供給者である鉄鋼メーカーと結べば、何等かの利益があり、便利ではないかと、考えられないことはない。これは、その系列化をおし進めるのに非常な熱意を示している鉄鋼メーカーにとつては、もとより、望むところであろう。しかし、加工業者として、どの程度まで特定の鉄鋼メーカーと結んでよいのかということは、なかなか難しい問題である。ただ、私にいえることは、簡単な問題でないということだけであろうか。

## 6. あとがき

鋼管構造には、色々指摘したい問題点があり、また、いいたい私見も多いので、ハリキッテ書き始めたが、座談でおしやべりするには表現出来なかつたり、また、どうも活字に固定されてしまうと困るような気のするものもあつたりなど、とうとう竜頭蛇尾に終つた。當のある所を察して、御判読願いたい。