

【新技術紹介】

鋼管構造技術

住友金属工業KK 西田 芳弘*

I 緒言

鋼管が力学的に有利であることは古くから知られていた。しかし昔は加工技術が未熟で鋼管同志の接合部などに問題があったため構造物への利用は遅れていたが、最近では溶接技術の発展と機械、材料、建築各関係者の努力により加工法、設計上幾多の問題が解決され、第二次大戦中から次第に鋼管構造への応用が試みられ、戦後急速な展開をみた。

当社では、いち早く鋼管構造の優秀さに注目し、構造物として完璧な溶接構造による鋼管建築を開発して来た。そして昭和33年和歌山製鉄所にわが国初の本格的鋼管構造建家を建設し、じらい社内外に延 100,000 坪わたる実施例を造り、さらに全国各大学研究所の指導、協力のもとに研究実験を行ない、新たな技術の開発および改良に努めてきた。

また昭和34年には世界屈指の鋼管メーカーであり、鋼管構造技術では最も先進的なドイツのマンネスマン社と技術提携をした。その研究、技術の一部を基礎として、日本建築学会より「鋼管構造計算規準、同解説」が昭和37年出版され、急速な普及を見た。その結果、スパンが60 mにもおよぶ羽田空港ジェット機の格納庫のような大規模なものから工場、体育館等の一般的なもの、および高さ100 mのスマートなポートタワーにまで鋼管が採用されている。(写真1)

また最近では外国の例にみられるように高層ビルの柱に適用される場合が多くなった。これは鋼管のもつ座屈耐力の良さはもちろんであるが、塑性域における靱性に期待されるためである。また耐火被覆の容易さ、地下工法にパイルカラム法を採用し得る利点などを有するため、今後の超高層ビルに適用されるものと期待される。

更に最近の例では、大成建設株式会社設計施工による朝日放送ビルでは、鋼管の内外にコンクリートを充填して、累加強度方式を採用した9階ビルが出現した。この種の工法は、日本建築学会の「鋼管コンクリート構造小委員会」で審議されている。

2. 鋼管構造の特長

1. 単材としての鋼管

単一部材としての鋼管はあらゆる方向に同じ二次モーメント・回転半径、言い換えれば強度を持っている。また座屈強度と振れ耐力に優れている。振れ耐力は一般の構造物においては特に計算に現われないが、構造物としての剛性がきわめて大きくなり、大架構の場合の変形の累積をおさえ、建設過程における取扱を容易ならしめる。

また曲げ材としては特に顕著ではないが山形鋼に比べてはるかに良好な性質をもっている。特に二方向から曲げが掛るような場合は等方性の威力を充分発揮する。次に局部外力に対しては円筒形シエルの効果を有するので、局部座屈に対しても強い抵抗を示す。鋼材の座屈性能を

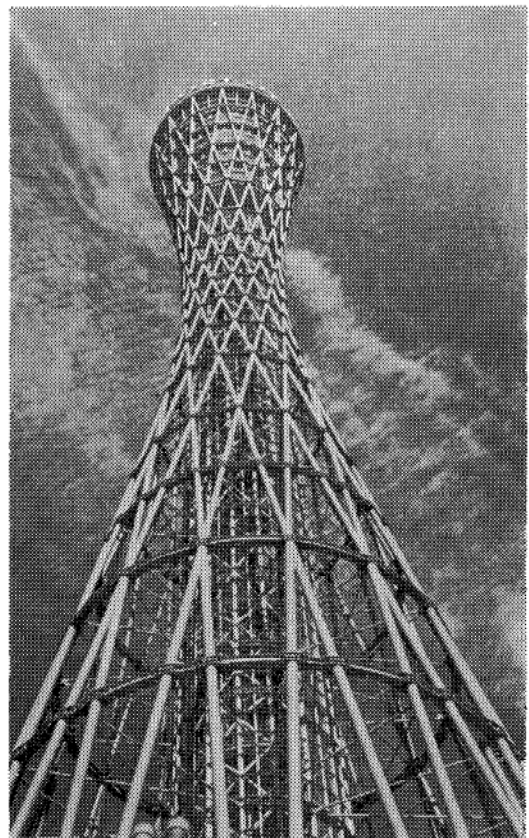


写真1 神戸ポートタワー

* 製品開発部開発第一課副長

示す方法として H. Gerbeau は i^2/A による比較を提唱している。また捩れ耐力についてはそれぞれ次の近似式で表わし得る。

$$\text{円筒形部材 } Mt'' \approx \frac{D}{2} A \cdot \tau$$

$$\text{形鋼材 } Mt'' \approx \frac{\eta \cdot \epsilon \cdot p \cdot \delta}{3} A \cdot \tau$$

h, δ ……断面を形成している単一の矩形の長さと同幅

η ………実験から求められた形状係数

p ……… $h \cdot \delta / A$: 構成矩形の全面積にたいする比

これらの式で表わされる断面性能を各種鋼材の常用サイズの中から近似断面のものを選んで第1表に示した。さらにこの表には長柱圧縮耐力と単純支持梁の中央集中荷重耐力を付記した。さらに単材としての鋼管の二、三の問題をあげてみよう。管壁に起こる局部座屈と断面の変形によって起る屈状は W. M. Willson の実験によれば肉厚が半径の 0.015 以上あれば問題ないとされており、通常の場合、肉厚は局部座屈の問題より防食と溶接工作とを主体にして決定される。次に鋼管が特に露出構造物として有利な点は風圧係数が 0.7 で形鋼に比して小さいことで、鉄塔等の構造物に最適であると言える。またしばしば問題になる腐食については鋼管の管端を閉鎖することによって内面から発錆が防止でき、相当の薄肉材でも形鋼に劣ることはないと考えられる。

2. 鋼管で構成された構造体

鋼管構造は上記のような鋼管の利点を十分発揮できるような設計を行なうことによって、形鋼構造に比して40~50%の重量軽減が可能になる。建設費の相場はきわめて幅広かつ変動しやすいので、一概に建設価格を論ずることはできないが、欧州では鋼管素材および加工費が形鋼のそれに比べてトン当たり 1.7 倍前後ならば十分建設費の低減が得られるとされており、わが国でも有効な設計で加工程度が同じであれば、鋼管構造は十分安価であることが幾多の実例で立証されている。総括して鋼管構造の特長を述べると

- (1) 所要鋼材が大幅に低減できる。
- (2) 各節点が剛接合に近く、また部材が捩れにきわめて強いので構造体自体に計算外の大きな剛性を内蔵し、振動面においてもまた大架構においても非常に有利な構造となる。
- (3) 各部材の内部はすべて密閉されるので腐食のおそれがない。外部も平滑な凸面であるため腐食の危険度は少なくまた塗装面積も少なくすみ、ペンキの耐久度も大きい。
- (4) 近代的な構造美を構成する。写真2の例に示すように各国デザイナーたちが、“美しい骨組”として丸みのある、しかも単純な構成をとれる鋼管を使用して構造美をうたっている。

3. 材料と加工

材料は計算規準では STK 41 および高張力鋼管 STK 50 の2種類に限定されている。仮設建築に流用されがちな足場管 (STK 51) や瓦斯管・水道管等は使用してはならないことになっている。

鋼管は溶接構造を建前とするために形鋼の場合と根本的に異なった加工法が出現する。その主なものを例記すると。

- (1) 等方性があり、すべて相似形なので原寸、野書が

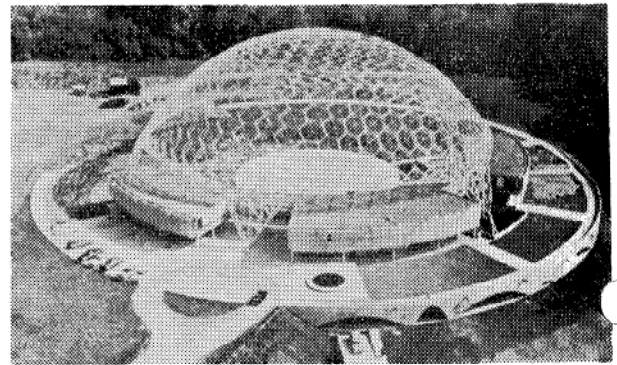


写真2 フーラードーム(米)

表 1

	断面積 (A) cm ²	単重 (W) kg/m	最小回転半径 (i) cm	i^2/A	長期座屈耐力 T $l_k=6m$	長期曲げ耐力 中央集中荷重……T (スパン 6 m)	長期振り耐力 T—cm
ϕ —216.3×5.8	38.36	30.1	7.44	1	45.5	2.1	3,300
2L—100×100×10	38.00	29.8	3.03	0.17	9.3	0.5	11
2L—125×75×10	38.00	29.8	3.96	0.28	15.4	0.8	11
I—150×125×8.5	46.15	36.2	2.92	0.20	10.5	2.5	14
2[—150×75×6.5	47.42	37.2	2.27	0.11	5.1	2.5	11

省略され、縮尺現図または数値計算によって加工に流すことができる。

(2) 直接溶接継手部の切断には専用機械(pipe cutter)が必要であり、加工機械の多くが形鋼と異なる。

(3) もちろん治具組立ての必要はあるが、剛性が大きいあるためそれが非常に容易である。

(4) 鋼管材の運搬が容易であり、その機械化が可能である。

等である。

鋼管加工の中で特に重要なのは切断と溶接である。直接加工の中で特に重要なのは切断と溶接である。直接溶接を前提とした切断は支管と母管の支点で支管切断面が母管外周壁に沿って複雑な相貫曲線となり、同時に必要な開光をとりつつ切断されねばならない。この精度をもって能率的に切断加工するためには自動鋼管切断機(ドイツの Müllev 社製, Primz Rudolpa 社製, 米国の Steffan 社製など)を使用することが必須の条件となる。

溶接は溶接技術と溶接棒の進歩によって十分信頼度が高まってきているが、現在のところ手溶接が多い。これは溶接工の良否によって大いに左右される。また溶接は他の構造素材の場合と同様極力下向溶接とし、溶接歪に注意しなければならない。

4. 海外における鋼管構造の成長

組織上の発展過程をみると、ヨーロッパ各国では鋼管メーカーが中心となって、鋼管構造の推進を計画している。すなわちヨーロッパの五大鋼管メーカーであるシュワード・ロイド社(英)マンネスマン社(独)、フェニックス・ラインロール社(独)、パロレックス社(仏)、ダルミネ社(伊)は、鋼管構造クラブを結成し技術交換を計っている。

技術面ではドイツ、規格あるいは法規面ではイギリス、ドイツ、普及の度合からはイギリス、イタリアがドイツ



写真3 立体トラス(オクタプラッテ構造)



写真4 アスケレ狭橋(全長532m, 主径間278m, 両端固定アーチ, アーチ主管 $3800\phi \times 14 \sim 22$)

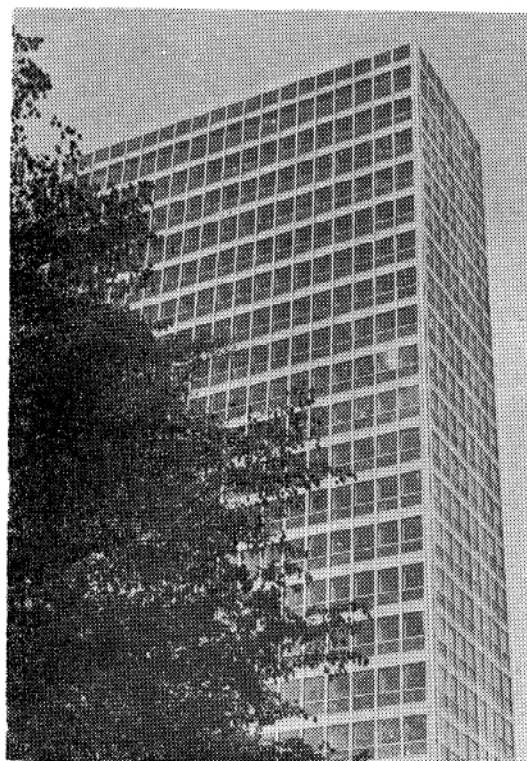


写真5 マンネスマンビル社屋

より進んでいるようである。

ドイツの DIN およびイギリス B・S は鋼管構造に関して相当完備した規準となっている。わが国の規準と目立って異なっている点としては、DIN では使用条件と肉厚によって防食条件が異なっていることと、鋼管同志の溶接接手の効率が一律の0.65で、工場設備と溶接技術の程度によっては0.95の許可が与えられていること、また B・S でも使用条件によって肉厚が定められていることなどである。共通的に考えられることは、一般の恒久的構造物には3mm以上の肉厚が推奨されている。

一方アメリカでは、ヨーロッパとは多少違った発展経過を辿っている。すなわち坪当り鋼材量よりも鋼管の相似性と溶接構造の特性を活かし、構造の単純化を計ってプレファブ化することにより、工業的量産方式をとっていることである。したがってヨーロッパにおける鋼管構造の研究の中心が軽量化のための技術に対し、アメリカでは立体トラス等に見られる組立方式か、ブロック架構方式等がある。組織的にはアメリカナショナル・チューブ社が鋼管構造の開発に力を入れているが、ほとんど建築家個人の努力によって開拓されているようである。

表2 海外の一例

国籍	名称	規模	建設年代
オーストラリア	メルボルンオリンピック水泳場	スパン72.00m	1954
西ドイツ	ハノーバー見本市公会館	スパン68.00m	1958
アメリカ	コロラド空軍教会	スパン 26.00m トラス背28.00m	1960
イタリー	ローマ空港格納庫	片持梁トラス アーム長さ52.00m	1960
スウェーデン	アスケレーフヨルド橋	スパン278.00m	1960

5. わが国における鋼管構造の発展

わが国の建築界は木材の代用として鋼管構造をとり入れ、独自の発展を遂げてきた。これをバックアップして昭和36年には「JIS G 3444 一般構造用炭素鋼鋼管」ができ、いわば建築土木の構造用専門の鋼管が各種鋼管の

一分野として確立されるに至った。この趨勢に鑑み当社では昭和33年和歌山製鉄所に分塊圧延工場を建設し、わが国の本格的鋼管建築一鉄骨造りとしての鋼管建築一の嚆矢とした。つづいて昭和31年ドイツ・マンネスマン社、鉄塔についてはスイス・モーターコロンプス社と技術提携し積極的に海外の優秀な技術をわが国に紹介する一方、その開発に努めた。日本建築学会同年、鋼管構造小委員会が発足し、次いで昭和37年には「鋼管構造計算規準・同解説」が発表された。

次に当社において、欧州より導入せる技術を各大学の指導により再検討しつつ、日本における鋼管構造の可能性と将来性を追求するに役立つ建家を紹介する。

——当社和歌山製鉄所内主要鋼管実施例——

1. 分塊圧延工場

わが国における本格的鋼管建築に先鞭をつけた建家であるその工事は実験的建築であるため多くの技術的製作に関しては直接溶接とガセット継手を考案採用したが現場継手は溶接の不安をなくするため極力リベット打ちとした。

管端は平面または半球型のプレートを溶接し閉鎖密閉して防錆を行なった。

2. 電縫管工場

この工場の特徴は、(1)鋼管シェル構造の採用、(2)球継手(特許)およびキャップ式継手の採用、(3)全溶接構造の採用である。

シェル構造はその部材のほとんどが曲げにより決定されるため、鋼管の有利性を最も発揮できると考察により採用されたが、さらに実施に当つてはシェル主材を母屋としても利用し大幅な鋼材節減ができた。

本工事実施の結果、鋼管シェルは鋸屑根に比べて鋼材使用量を大幅に減じうることに、大スパンが可能であり、空間の利用度が大きく、意匠的に美しく、美術建築への適用が可能であることが確認された。部材の集中箇所である柱頭に用いた球継手は集中部の切断溶接を可能かつ容易とした。キャップ式継手は逃げをとり、現場仮止めも可能である。

3. 製品倉庫

設計にあたっては、鋼管構造の経済性の検討を目標として、母屋、胴縁、クレーンガーダーおよびクレーン本体まで鋼管を使用して、その設計上、施工上の比較を行

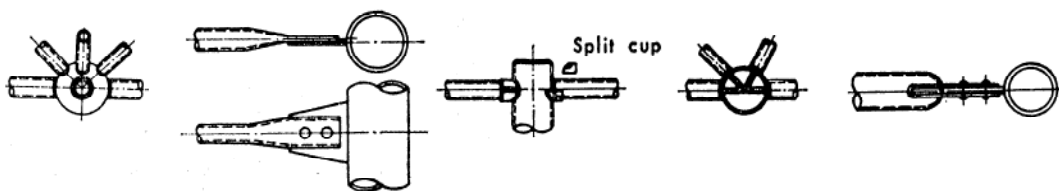


図1 各種継手

なった。これにより鋼管構造が在来形鋼に比して強度上十分の余力を有しながら、採算面においても優位に立つことの実証ができた。細部にわたっての設計上の重量比較を表3に示す。

表3

	鋼管構造 全重量 (ϕ kg)	標準形鋼構 全重量 (Lkg)	$\phi/L \times 100\%$
トラス	142,284	305,952	46.5
軸組	206,342	308,370	66.9
母屋胴縁	124,576	205,248	60.7
総計	473,202	819,570	57.7

4. 熱延工場

前述の工場の建家で各種の試みを実施し、多くの経験に基づき、この61,000 m^2 におよぶマンモス工場の鋼管建築が最も合理的であるという点に配慮されて実施された。

5. 冷延工場冷延工場は、完成された技術にプラスさるべき新しい技術を駆使している。すなわち、支柱材に溶接用高張力鋼管 (STK 50) の使用およびコンクリートの充填を実施した。

表4

	355.6 $\phi \times 12$ (STK50)	355.6 $\phi \times 12$ (STK41)	355.6 $\phi \times 16$ (STK41)
Acm ²	129.5	129.5	170.7
i cm	12.2	12.2	12.0
λ	53	53	54
ω	1.19	1.13	1.13
N TON	240	188	242
耐力比	1	0.77	1.01
鋼材価格比	1	0.91	1.19
耐力比/価格比	1	0.85	0.85

条件 { STK50 α の価格は STK41の10%高とする
 $l_k=6,500m$

	355.6 $\phi \times 12$ (STK50) コンクリート充填	355.6 $\phi \times 16$ (STK50) コンクリートなし
Aeq cm ²	177.4	170.7
Iep cm	22,380	24,700
iep cm	11.2	12.0
λ_{ep}	58	54
ω	1.23	1.20
N TON	317	313

STK 50 の使用に関しては、素材のコスト高のため概念的にその適応が困難なように思われるが、かえって有利となる場合がある。

コンクリート充填についてはコンクリート 28 日、強度300kg/cm²、パイプ座屈長 $l_k=6,500m$ 、コンクリートのヤング係数比 $n=18$ とし比較すると表4のようになる。

6. 体育館

本建家は、鋼管構造によるアーチ架構で、面積1,092m²、スパン41mである。

1. 松下電子工業株式会社工場

概要；坪数 3,528m²

スパン 28m 桁行 126m

軒高 10.2m

特長

(1) ドイツ・マンネスマン社より技術導入したオクタプラッテ構造による立体トラス骨組である。

(2) 各部材の継手には球継手が用いられている。

2. ダイキン工業 (株) 塚製作所第5工場

概要；坪数 947.7m²

スパン 27m 桁行 36m

軒高 18.578m

特長；円筒シエルを鋼管で構成し、大スパン架構として近代的構成美を呈している。

3. 日本航空ジェット機格納庫

概要；坪数 11,553m²

スパン 60m \times 2 桁行 60m

軒高 はり下 15m

はり上 23.67m

特長

(1) スパン60mを架構し、鋼管構造としては本邦最大である。

(2) 鋼管の継手はすべて鋼管どうしの直接溶接で、ガセットや球面体などの媒介物を用いず、単純な骨組が美

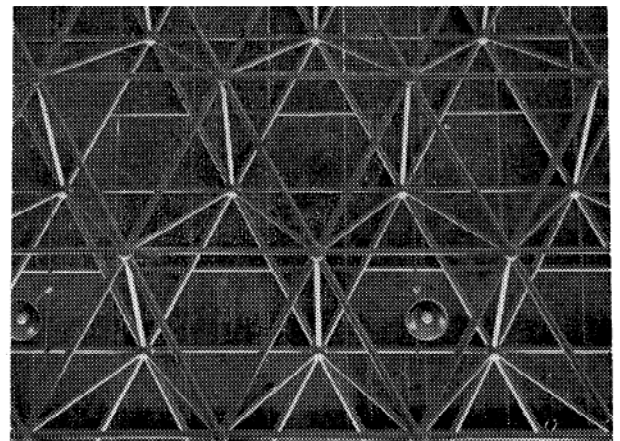


写真6 松下電子工業KKN.T工場

しく見える。

4. 麻生産業 荻田工場

概要；坪数 1,420坪
 スパン 22.9m
 クレーン 15t×3台

特長；屋根梁は正三角断面の立体架構でアーチ型式を採用している。

5. 朝日放送ビル

概要；坪数 延 11,315.4m²
 地上部 9,988.8m²
 規模 地下2階 地上9階
 塔屋3階
 所要鋼材 587T

特長

- (1) 単一材——スパイラル鋼管を使用して加工費の低減を計った。
- (2) 内外コンクリートを充填して強度を増大せしめ、中層ビルの経済性を重視した。
- (3) 梁、柱の仕口については(図2)のようなダイヤフラムを用い、実験により効果を確認した。

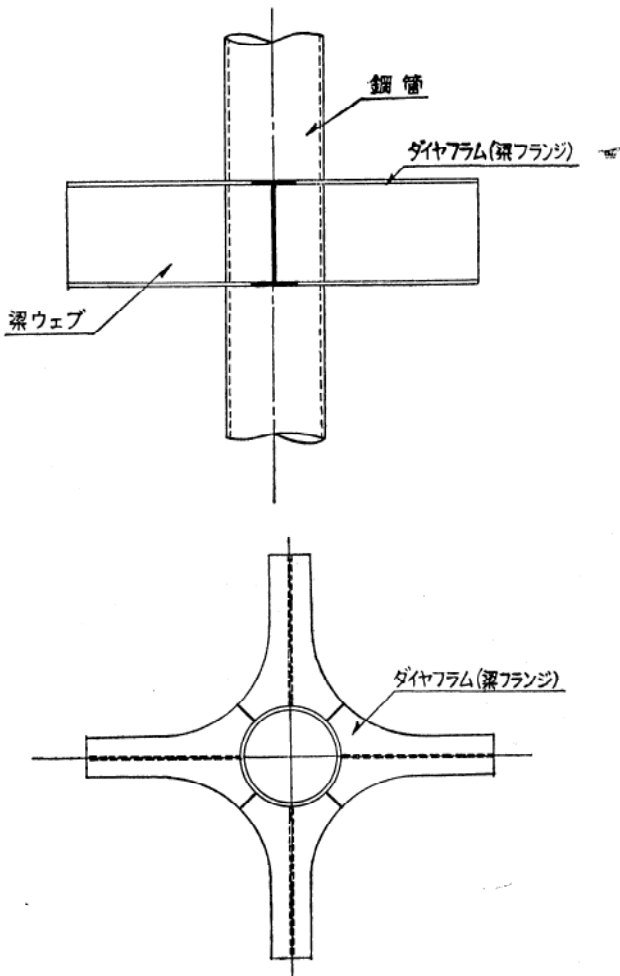


図2 仕口図

6. 鋼管構造の将来と見通し

以上述べたように鋼管は管端切断の機械化と溶接技術を背景として従来の鋼材と比肩し得るまでに利用価値が高まっている。

しかし構造用鋼の活用範囲はこれにとどまらず次のようにその可能性はさらに拡大される。

1. 立体骨組による大架構

大スパン架構，大容量の空間を構成するシエル構造，折版構造，ドーム構造等の立体的仕口は鋼管で容易に形成できる。これ等はすでに諸外国では，ドイツ・マンネスマン社のオクタプラッテ構造を始め米国のフォーラードーム等に見られ，わが国の建築家もその方面に興味をもちつつある。

これらを規格化し，ユニット組立により自由な空間を築き上げるような方向に進んでゆくべきであろう。

2. 露出構造物，特殊構造物への展開

密閉断面による防錆上の有利さと表面の円滑さによる塗料の経済性等の材料的見地に加え，形状による風圧力の低減は，パイプを屋外構造物に適した素材にしている。スイスのモーター・コロムブス社より技術導入した当社のM・C式鉄塔は，特殊な継手工法と鋼管内部にコンクリート充填による強度の増加が特長となっているが，それらの技術は鳴門海峡横断鉄塔にも導入されている。

またスエデンのアスケレ峽湾にかかる固定アーチ鋼橋の場合，風洞実験の結果箱型リブに比し鋼管のアーチリブは1/4であった模様である。このような例に示すように，鋼管構造は栈橋，ドルフィン，灯標架台無線塔，広告塔，建設機械，荷役機械，照明塔などにも広く利用される。

3. プレファブ建築の適用

軽量で局部変形を起しにくく，工場加工と運搬に適している利点を利用して，規格化された倉庫や工場を始め住宅建築にも適用できる。

すなわち，鋼管構造の短所は現場加工にあるから，長所である工場加工に重点をおいた規格品の大量生産は，現場施工を確実に，しかも簡易化に役立つ。さらにパイプ本来の導管である性格を加味することもできる。

4. 高層ビルへの適用

今や31m以上の高層建築の出現の気運にあり，高層ビルは構造主体骨組としてはコンクリートを捨てて鉄骨構造に進もうとしている。高層ビルに適用する場合の利点として，

- (1) この種構造には塑性域において靱性のある材料が要求されるが，鋼管は閉鎖断面でしかも中にコンクリートを充填することにより大きな終局耐力を期待し得る。その結果建物の有効面積が大きくとれる。

(2) 柱，梁の仕口において，XY 両方向の力に対し，円滑に力の伝達を行ない得る。

(3) 耐火被覆等の仕上が開放断面に比し施工が簡単である。

(4) 地下工法にパイルコラム法が採用できて工期の短縮，地階施工が円滑に行ない得る。

すなわち，大径厚肉鋼管が杭であり，施工支柱であり，しかも最終的には地下階の本柱となる工法で，床施工が一階基準に上階，下階へ同時に施工出来るので最近の高層ビルにはよく用いられている。その点鋼管は上部構造との結合も簡単でこの種工法には鋼管がもつとも適した材料である。