

特 別 講 演

建築における新構造の発展*

坪 井 善 勝**

The Development in the Building Structures.

Yoshikatsu Tsuboi

概説 建築構造の発達

特に鋼材を主とした構造（骨組）が現在いかに行われているか、建築物の中で鋼材がいかにはなばなしい役割りを演じているかを述べ、建築のもつ生命は構造体に宿り、構造体できわめて重要な役割りを果たしているのが鋼であることを説明する。本論は建築物が近代産業の中でいかに成長したかを述べ、かつこれを近世の建築と比較し、今後の発展は一つに材料と構造技術の開発にかかっていることを結論する。建築は、その効用と同時に造形が伴わねばならない。鉄が開発される前は石、煉瓦、木が構造の主体であり、これに天然セメント石灰が補助的に使用された。ルネッサンス以前の建築は全部これらの材料で造られ、しかもそれぞれの時代にすばらしい様式が完成され、美しい街造りと個々の建物の美を今日に残している。そして材料の取扱いに起因する彫刻との密接な関係が結ばれ、金力と人力を投入して壮麗な殿堂が築かれたのである。多くの人はそれらの建築と現代の建築とを比較して、芸術の香りのない現代建築をなげき、また建築への美の期待の裏切りを嘆ずるであろう。ミース・ファン・デル・ローエ（米）はかつて“現代建築は鉄とガラスの建築である”といい、故ル・コルビジエは“建築は住むための容器である”といつて建築のリアリティが因襲を克服すべきを論じた。好むと好まざるとに拘らず現代産業の波の中で人間生活は変貌し、建築もまた経済と時間との中にもまれて、ここ1世紀の間にめまぐるしく変転した。第1次、第2次世界戦争と現代建築は、また不可思議な縁をもつ。すなわち建築は工業技術の発展とともにそのあり方が変化する。しかし、なおかつ美と伝統とが尊重されるのが建築なのである。また材料と構造法とが国際的に共通となり一見各国いづれ

も同じような様式の建築がはんらんしているかに見えても、例えば前述のミースの建築には郷土ドイツのにおいがその堅実な作品の中に見られるし、コルビジエの建築はフランス的で奔放であり、彫刻的絵画的で空間に躍動する造形を心ゆくばかり楽しんでいる。特別な目的のものや、めぐまれた特殊な条件のもとに生れた建築にはその一般性を認めない——とは一理のある建築の見方である。しかしいかなる条件の下で生れようとも、すぐれた意欲的な建築は次に建築する人々への先駆となることはいなめない。新しい技術は伝統、いわばしきたりだけからは生れない。建築にはこれを推進するための新鮮な感覚と、正しい判断による材料の選択と、工法の意欲的開発を必要とする。

次に、建築の当面の問題である、

1. 高層ビル
2. 大スパン構造とスペースフレーム

に焦点を合わそう。中小規模の建築構法の発展は特殊（高層、大スパン）構法の実現によつて誘導されるものであり、また空高くそびえる建築と、柱なしの豊かな空間を作る大スパン構造とは現代人の生活意欲と知性のシンボルであるからである。われわれ建築家の立場から材料、特に鋼材をとりあげるとき建築に対しその役割りを果している材料供給者の比重は極めて大きい。したがつて構造される建築への理解とその実体への愛着は直接に建築の良否につながっている。1, 2, を述べるに当つて、建築構造の発展を過去より現代へと跡づけ次の時代のそれを予測することにしよう。

またここに挙げる例は過去のものを含めて大部分すぐれた建築として評価されたものをとりあげる。

1. 高層ビルの発展

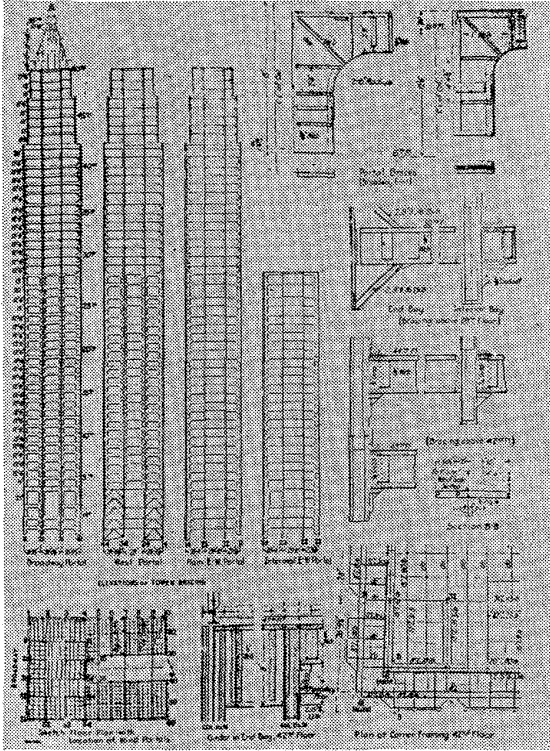
高層ビルは米国においてはなばなく発展し、第1次大戦前では、

- A) ウール・ウォース・タワー（1911～13）60階地

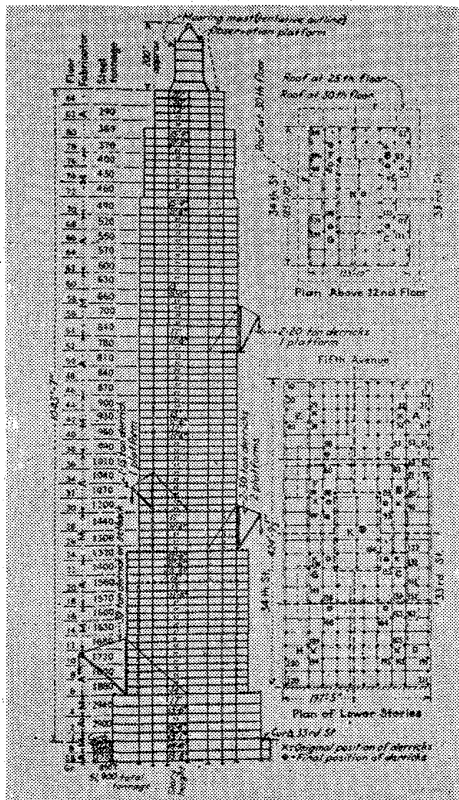
* 日本鉄鋼協会第70回講演大会特別講演会（昭和40年10月14日）にて講演

** 東京大学教授 工博

上高さ 234 m が代表的建築であつたが(1図), スカイスクレーパー (Skyscraper) と名づけられる高層建築は第1次大戦後に発展した. つぎの B, C がその代表的なものである.



第 1 図 Wool Worth Tower.



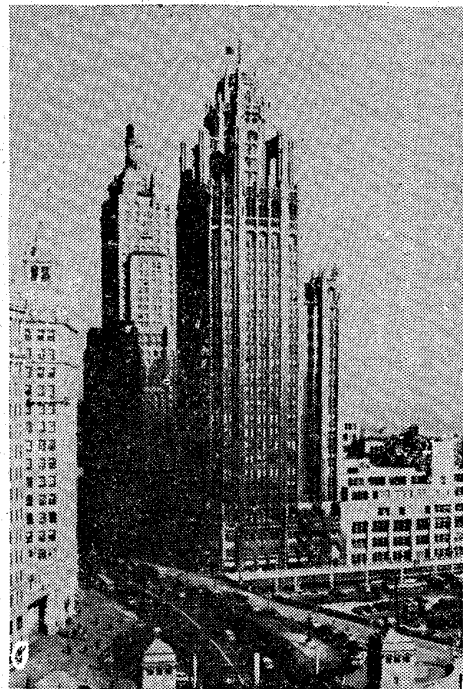
第 2 図 Empire State Bldg.

B) エムパイヤー・ステート・ビル (1929~31) 102 階, 380 m (2 図)

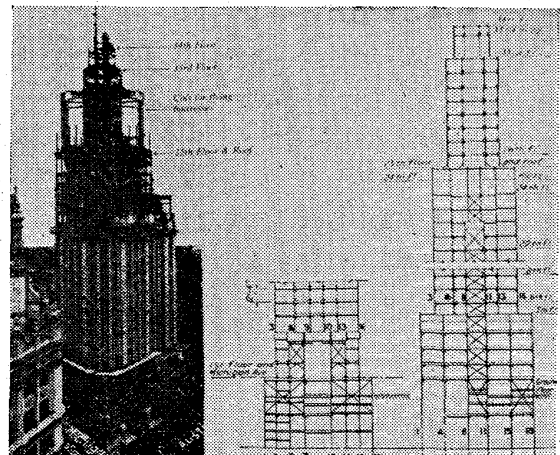
C) クライスラー・ビル (1930) 77 階, 319 m

A) ウール・ウォース・タワー*に使用した鋼材は, 24,100 t \$1,250,000=(全工費 7,500,000)×16²/₃% であるといわれる.

B) エムパイヤー・ステート・ビル*は1916年に制定された N.Y. 市建築法規に従いセットバックして計画され, 1930年6カ月間に57,000 t の鉄骨が組立てられた. 建築後米空軍機が 79 階にあたり巾 15 吋, 長さ 19 呎の外壁のはりが内側に 18 吋もへこみその他



(A)



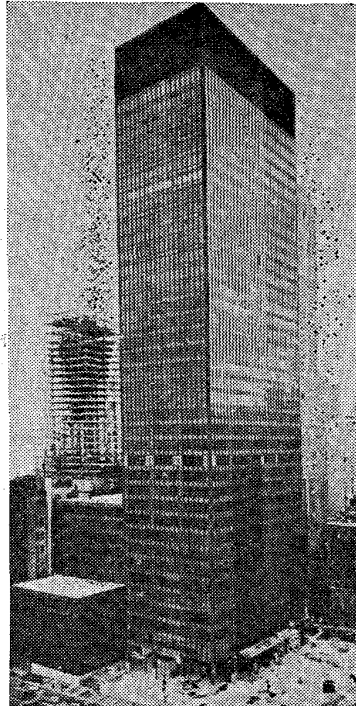
(B)

第 3 図 Tribune Tower.

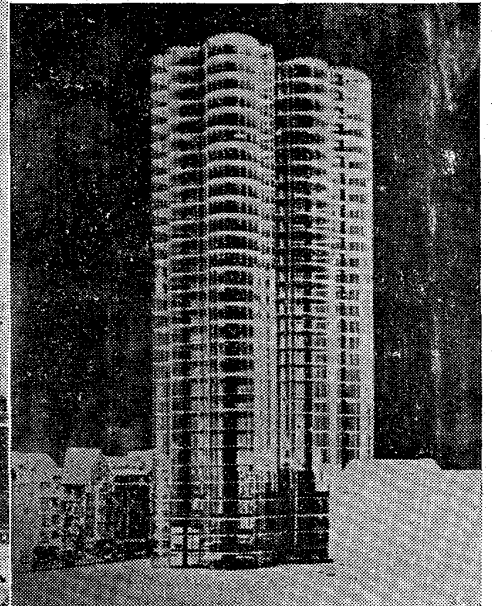
* C. W. Cordit; American Building Art (N. Y. Oxford Univ. Press 1961) による.



第4図 国連ビル



(A)



(B)

第5図 ミースの高層建築

の破壊による損害などの修理費だけでウール・ウォースの全工費の1/10である\$750,000を使ったという。

カーテンウォールの発達により鉄・アルミの壁を用いるようになってから建物は軽量となり、柱、はり、床ばり、で構成されるフレームは剛節構造を作り Wind bracing (すじかい)が必ずしも必要でなくなった。

Tribune Tower. Chicago (1923~25) の骨組が美しいといわれるが、これにはウインドブレイシングが合理的に配置されている。(3図)

電弧溶接が1881年に発明され、1920年 Electric Welding Company of America N. Y. の工場にはじめて電弧溶接が用いられた。

電弧溶接は主として低層大スパン構造に用いられたが、Skidmore; Inland Steel Bldg., Chicago 1955~57 (19階) は溶接接手でスパン77ftのはりをもち、ガラスカーテンウォールを使用している。塔屋部分はウインドブレースとなり、鉄筋コンクリート床で、事務所部分と塔屋とがつながれていて耐風的になつている。現在高張力鋼およびハイテンションボルトの開発は建物の構造断面の減少や工事の簡易化に大きな役割をつとめている。以下現代の高層建築の代表的なものを紹介する。

1) United Nations Secretariat Bldg., (国連ビル) N. Y. 1950 は3400人を収容し、外装は白色大理石緑色ガラスアルミニウムグリルを使用し

ている。(4図)

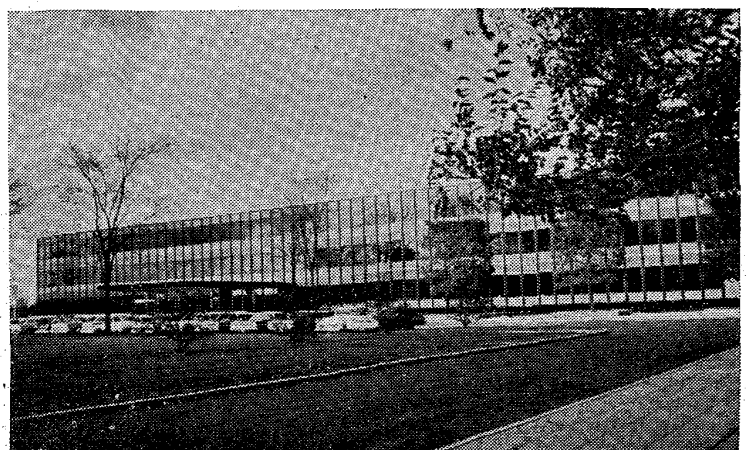
2) Mies van der Rohe and Philip Johnson; Seagram Building N. Y. 1958 Mies の鉄、ガラスの夢(第5図B 1921のスケッチ)は現実には、ブロンズのカーテンウォールで囲まれた鉄骨スカイスクレーパーとなつて実現された。(5図A)

3) E. Saarinen; General Motors Comp., Michigan 1951, この建物は高層ではないがスティンレススチールがふんだんに使用された。(6図)

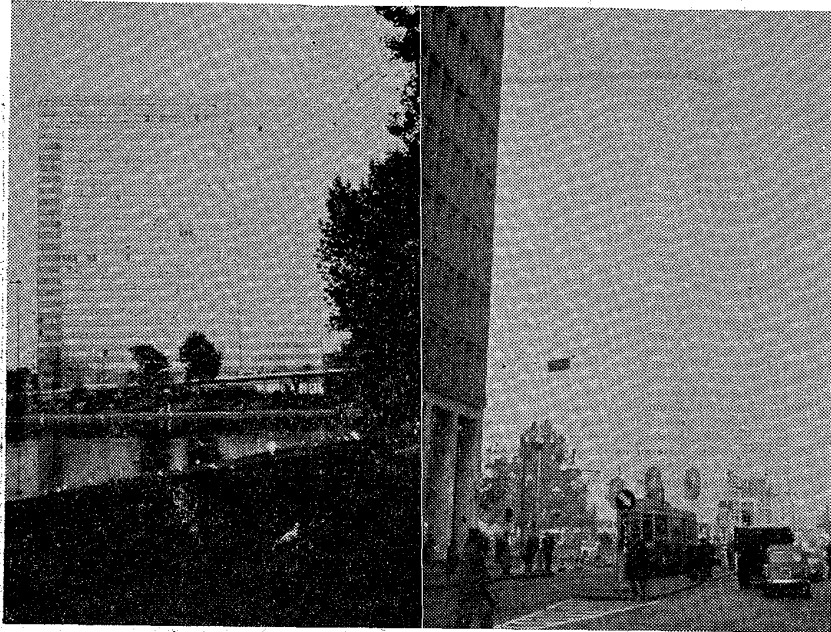
4) 欧州における鉄骨ビルの例2つを示す。図Bは平面が矩形でなく、ダイナミックな立面をもっている。

独 Tyssen Haus. (7図A)

伊 Nervi; Gio ponti: Hallidie Bldg. (7図B)



第6図 General Motors 研究所



(A) (B)
第7図 欧州の高層建築

2. 日本における高層ビルの発展

1923年の関東震災は一般建築構造のありかたについてきつい教訓を残した。市街地建築物法施工規則は、構造法の面からきびしい制限を与え高層ビルは一般に31m(約10階)を限度として施工されるにいたつた。これ以上の高層ビルは日本では全く夢でしかなかったのである。そしてまた日本独自の耐震耐火建築が発生した。

前に述べた外国の例は、

A) 鉄骨構造

と名づけるものであり、これに対して、

B) 鉄筋コンクリート構造

なるものが全世界で行われている。鉄筋コンクリート構造物は現在において最も多く実施されている、半恒久的耐火構造である。この構造の長所は比較的低廉なコンクリートが圧縮力に対して必要な強度をもち、かつ耐火性能と内部の鉄筋の防食の役割をもつこと、設計上からは求める構造物の形態がすこぶる自由であることなどあり、その主な欠陥は構造物自身が重いことや工期の長いことなどあつて、工場生産(プレファブ化)の方式は、A)に比べると立ちおくられている。このA)、B)の長所を同時にかねた。

C) 鉄骨鉄筋コンクリート

なる構造が7、8階以上の建築を対象として、発達した。

耐震、耐風、耐火構造であつて、他国にその例を見ないものである。もちろん、鉄骨コンクリート Composite

Structure なるものは外国でも使われているが、これに鉄筋を付加し、A)、B)両者の強度の和に近い強さを期待する例はないと言つてよい。この構造は現在のわが国の高層ビルの大部分に用いられているものである。

第2次大戦後は、いろいろな意味で日本建築は諸外国に対してその質を高く評価せしめた。これは他の工業と同様であつて、日本自身も国際的な観点から自国を批判し、その将来の発展に対してのあがきを感じている。ここで構造的な問題として重要なまた現在において最も真剣にとり組まれているのは、地震に対してである。これは大都市における空地の確保とならんで31mを越える建物の許可となつて現われた。地震と言う震動源による

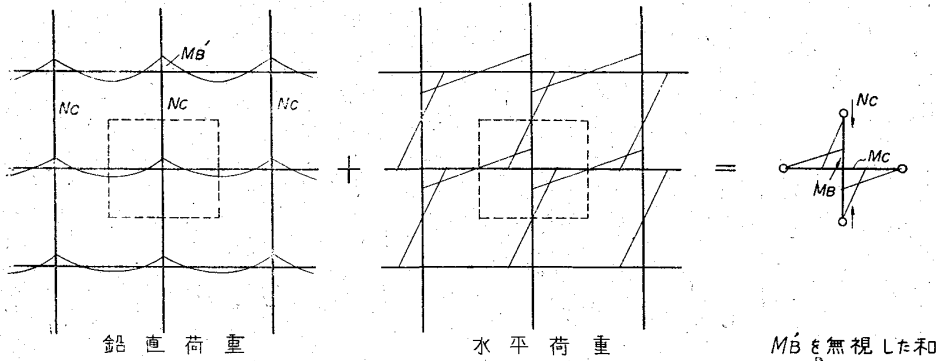
建物の振動の応答とくに過渡振動の問題が大きくとりあげられた。これに拍車をかけたのが米国における地震およびこれに対する建物の振動の実測の成功である。いわゆる剛構造物として地震動に頑として抵抗する代りに柔な構造として(振動周期を長くして)地震波の建物への浸入を避けることや、建物に靱性を期待して振動エネルギーを建物が吸収することの実現が却つて高層なほどまた純鉄骨構造(A)になるほど、容易であると言つことが判明し、建物は軽くそして高くすることが、耐震的に発展性のある構造であるとして、現にいくつかの建物が設計されまた完成したものもある。ホテル大谷(1964)は地上17階、全高72m、三井ビルは地上36階、全高150mである。いわゆる超高層建築とは、このような建物を言うのである。前節に外国の例を示したが、地震国におけるわが国の鉄骨構造はいざこれを設計して見ると、米国において活用されているワイドフランジ、ハイテンションボルトなどが、また溶接技術の信頼などを含めても、仲々軽快な構造を造ることのむづかしさを感じるものである。高層ビルは、構造体自身が全工費の17%で設計することは不可能である。すなわち高層ビル程構造躯体の占める役割が増してくる。われわれが先輩方が開発された水平力を受ける構造物の特性や力学的計算法など、また最近特に行われている鉄骨鉄筋コンクリート(C)ではあまり問題とされなかつた挫屈すなわち、材料の強度が活用される以前に材料の断面形で建物の強さがきまつてしまうようなことがらば、重要な研究課題として、日本的な研究の枠の内で生長しつつある。また構

造物の生命として、地震、風圧に対しては、はり、柱の結合部 (Joint) の設計は非常に興味のあるものであり、全体に用いられている鋼材の寸法と結合形式をみることによつていかに外国の場合と異つた工夫がなされているか、またこの部分により豊かに鑄鋼品*が活用されるならば、あるいは現に飛行機の機体で行われているとい

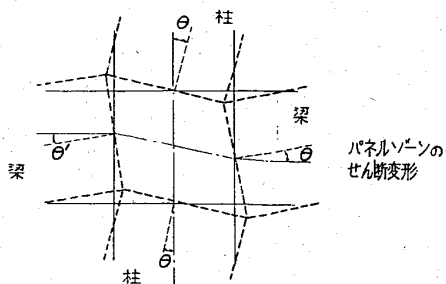
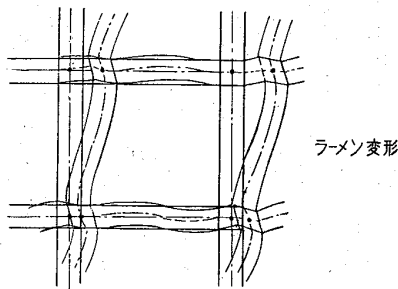
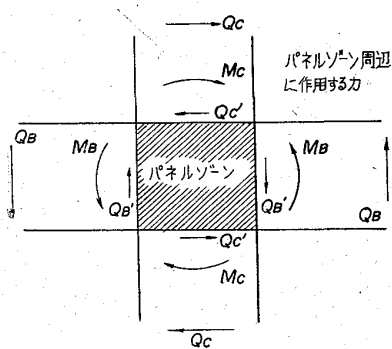
う、削り加工が許されるならばもつと自由な継手が可能であると思うのである。(8図)

以下は、日本における超高層建築の仕口 (Joint) の数形式を示したものであり、はり、柱の地震時における力の流れが付記されている。

以下、建築設計における例をかかげる。



第8図(A) 建物の部材の応力



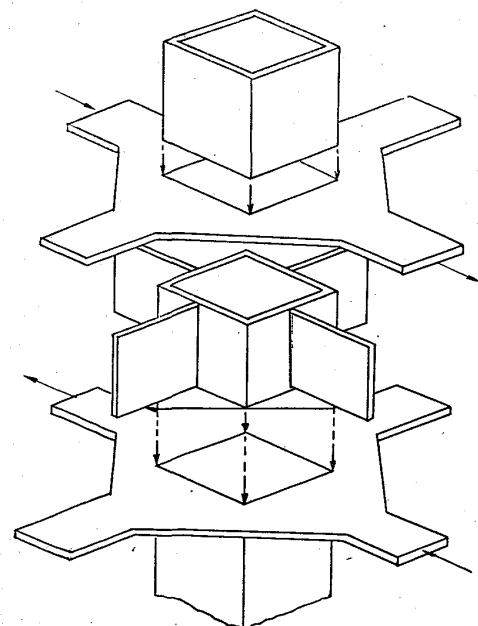
第8図(B) 節点の応力と変形

一つは、鉄骨鉄筋コンクリートによる高層ビルの鉄骨 (図9A, 地上15階) 純鉄骨ではあるがいわゆるラーメン構造からは逸脱したいわばトラス構造 (工場の小屋のような斜材を用いた鉄骨構造) とフィーレンデル桁 (高層ラーメン=フレームを横に用いたはり) との結合であるような構造体 (図9B 地上20階) をかかげるこれらの

スケールは建築構造物と橋梁構造物との近接を感じしめるものである。図9Cは独乙における鉄骨骨組の詳細 (Stahlbau 1963より) を参考に示したものである。

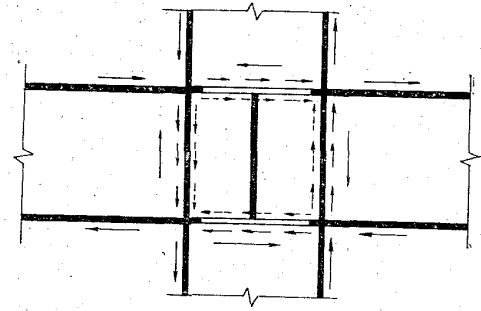
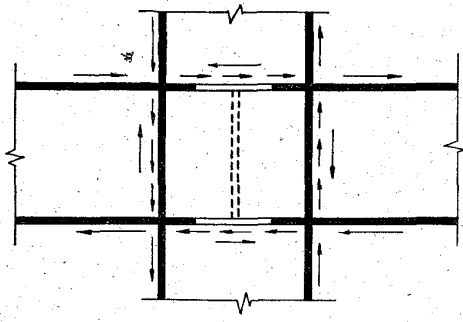
はりのせいや仕口部のせいや、柱断面をできるだけ小さくすることは内部空間の構成に重要な条件であり、これは建築構造物の実現に極めて重要なことである。そのために苦勞して生れる合理的断面は、また新しい構造美の創作につながることを信じる。

いかなる仕上 (finishing) の方法も不満足な構造骨組を糊土することはできないのである。現代建築の美は構造体の合理性の上のみ現われるものである。



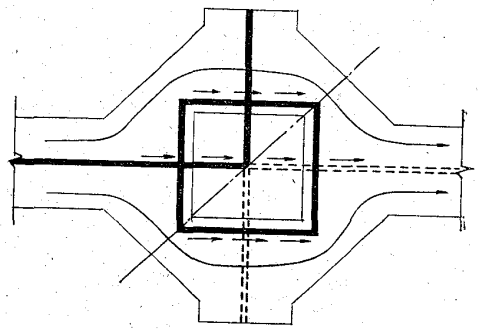
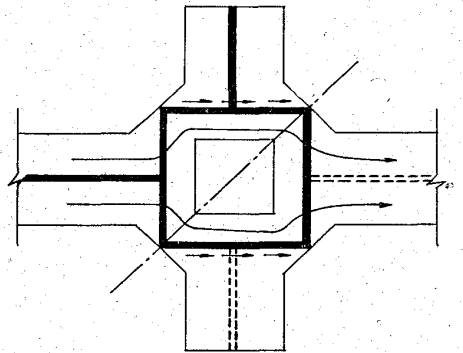
第8図(C) 節点にかかる力

* 著者らは、オリンピック水泳場で炭素鋼鑄鋼品 SC.46 (SS 39 相当) を存分に活用した。



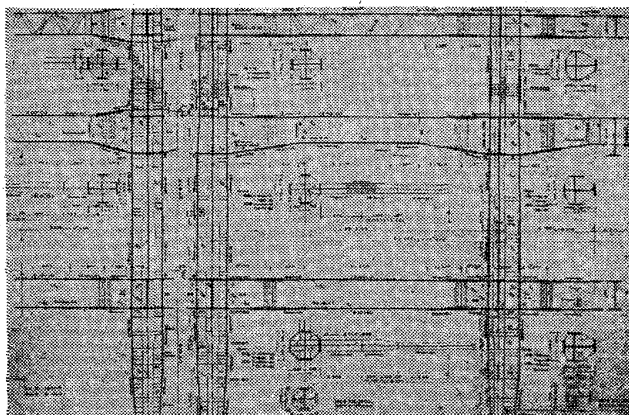
第8図(D) 節点における力の流れの各種 (D~G)

第8図(F)

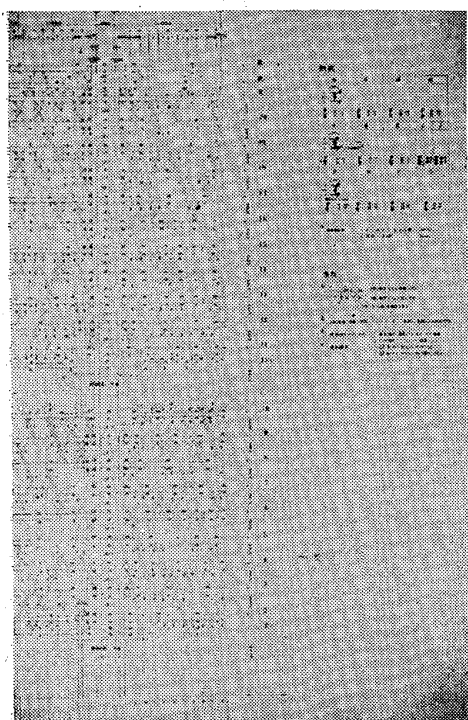


第8図(E)

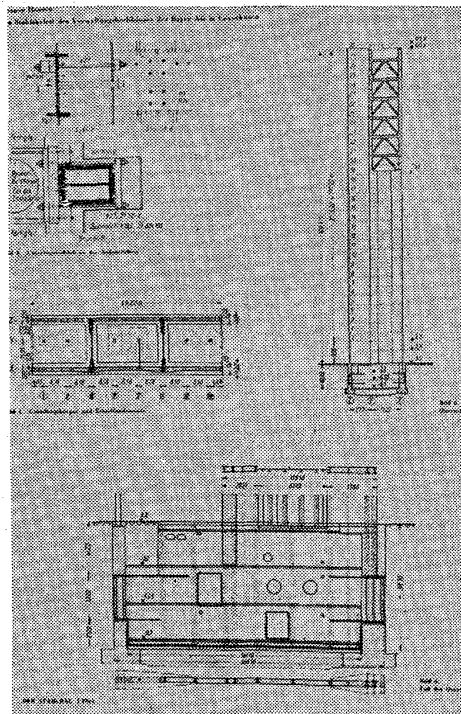
第8図(G)



第9図(A) 鉄骨鉄筋コンクリート造



第9図(B) 純鉄骨造



第9図(C) ドイツの鉄骨造

3. 建築構法と鋼材量

現在 4, 5 階建の建築の大部分は鉄筋コンクリート (R. C) 構造である。英国でも (ブラジルでも) 高層建築も R. C で行われている。高強度異形鉄筋は, R. C 構造の発達に大いに寄与している。R. C 構造はコンクリートが主体となる構造であるが, 鋼材すなわち鉄筋がもつコンクリートの引張応力やせん断応力, さらに圧縮力に対する補助の役割りは非常に大きく, その量は $0.1 \sim 0.4$ t/坪である。ちなみに, 昭和 39 年度政府施設住宅で, 公営, 改良, 公庫住宅 (公団住宅, 厚生年金住宅その他 87,000 戸は別) だけをとれば,

$$230,500 \text{ 戸} \times 69.2\% (\text{不燃率}) \times 13.4 \text{ 坪/戸} \times 0.1 \text{ t/坪}$$

表 1 建物に使用される鉄の量

	規 模	構 造	総 面 積	鉄 骨	鉄 筋
A(純鉄骨)	地上 20 階	地上 S	37,900 m ² (11,500坪)	8,300 t	1,450 t
	地下 3 階	地下 S. R. C		0.219 t/m ² 0.721 t/坪	0.0382 t/m ² 0.126 t/坪
B(鉄骨鉄筋)	地上 15 階	地上 S. R. C	31,333 m ² (9,478坪)	2,695 t	2,421 t
	地下 3 階	地下 R. C		0.086 t/m ² 0.285 t/坪	0.077 t/m ² 0.255 t/坪
C(純鉄骨)	地上 18 階	地上 S	29,590 m ² (9,000坪)	4,500 t	1,180 t
	地下 5 階	地下 S. R. C		0.152 t/m ² 0.5 t/坪	0.04 t/m ² 0.132 t/坪

* R. C 構造の鉄筋量は 0.2 t/坪 より多いのが一般の建物であるが, ここにいう住宅はブロック造を含むので 0.1 t/坪とした。

≒214,000 t の鉄筋を必要とする。

これを市場価格に換算すると、
(3.2~3.5 万円/t)

$$3.3 \times 21.4 \text{ 万 t} = 70 \text{ 億円}$$

であつて 40 年度の日本の予算の 4 兆 (建設投資もほぼ同額とみて) に対して、

$$\frac{70}{40000} = \frac{1.78}{1000}$$

の比率を示している。しかしわれわれの経験では鉄筋コンクリート構法の工事費は鉄筋 (加工費とも)、コンクリート、型枠の工事費の割合がほぼ 1:1:3/4~1:3/4:3/4 となつている。

以下純鉄骨、鉄骨鉄筋コンクリートにおける鋼材量を著者の経験だけについて述べるならば、表 1 の通りである。

4. 日本の建築と欧米の建築

日本の建築と欧米のそれとの本質的差異は荷重条件による、風についてみるに $\text{独} = 1/2 \rho V^2$ (DIN 1055) = 80 kg/m² (地上 20 m まで)

$$\text{日本} = 120 \sqrt{h} = 3.2 \times 80 \text{ kg/m}^2 (h = 20 \text{ m})$$

すなわち風について見れば、独乙の建物の 3 倍以上の強さが要求されている。

地震では、最下層におけるせん断力(ベースシャー)がベースシャー係数 (C_B) × 建物の全重量で示される。従つて C_B の値の大小が要求される建物の強さと考えると、 $C_B = 3.6/T$ および 0.2 (日本、 T は建物の振動周期) を 1 とすると、米、独、伊のそれは 1/2 以下である。すなわち欧米の構造ディテールを日本のそれに直すのには部材断面を 2~3 倍に拡大しなければならない。

5. 鉄 塔

スカイスクレーパーでもなく、超高層ビルともいわないが、鉄塔は一つのモニュメント的役割をもつ。

パリ、エッフェル塔は展望台ではあるがパリのシンボルである。この塔は高さ 312 m で 1889 年に建設されたが、内藤博士による東京タワー (1958 年) は高さ 120 m の位置に 27 m 角の展望台が 225 m の位置に径 13 m の円形作業台が設けられ、塔全体の高さは 253 m この上にスーパーターンアンテナおよびスーパーゲーンアンテナ 80 m をもち、エッフェル塔よりも高く、風に対しては速度圧約 500 kg/m² で設計されているのに、

使用鋼材 3,600 t

鉄 数 1,200,000 本

であつてエッフェル塔に使われたそれらの量の半分以下である。構造解析の進歩とともに鋼の材質の進歩がこの結果となつてあらわれたのである。これに用いられた主要鋼材は、

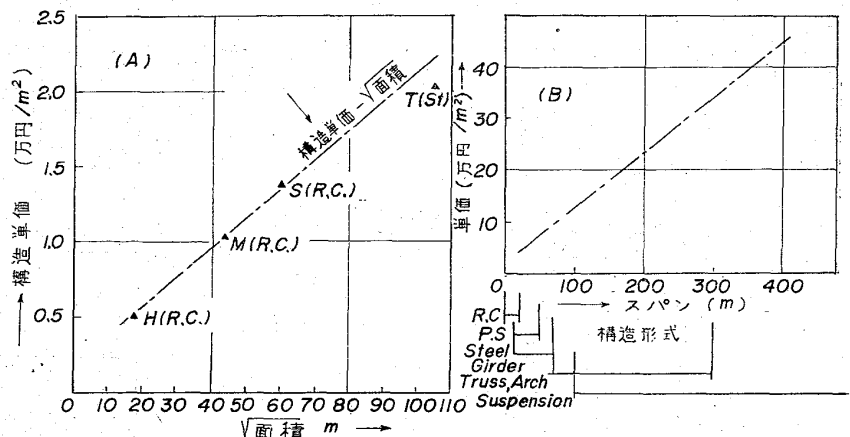
降伏点 > 23 kg/mm², 引張強さ 41~50 kg/mm²; アンテナ部分には、

降伏点 37~40 kg/mm², 引張強さ 53~54 kg/mm²
破壊伸 36~37% の特殊鋼である。

6. 大スパン構法とスペースストラクチャー

建築物の柱が建物の使用上の障害となるようなものは劇場、公会堂、競技場、各種工場などであり、また一般にスパン (柱間隔) は大きい方が建物のフレキシビリティ (自由な間取り) のために有利である。同じばに分布する同じ大きさの荷重に対して線材 (直線材曲線材) のスパンを l とすると力学的には、 l に比例するものはせん断力であり、 l^2 に比例するものはモーメントであり、 l^4 に比例するものはたわみである。構造材の断面は l の大小に応じて強度や剛性 (撓みにくさ) を確保しなければならない。 l の値は通常のラーメン構造では鉄筋コンクリートにおいては 10 m 以下、鉄骨鉄筋コンクリートでは 15 m 以下が普通である。これはそれ以上の l がとれないというのではなく、簡単にいえばある程度 (例えば鉄筋コンクリートで 6m 鉄骨鉄筋で 8m) 以上では構造単価が l に比例するからである。スパン l が大きくなる場合荷重特に構造体の自重をできるだけ小さくすることが必要になつてくる。

第 10 図 (A), (B) は道路公団の橋梁の単価と構造法 (1960)



第 10 図 (A) 大スパン構法の規模と構造単価例 (坪井研究室)
第 10 図 (B) 橋梁の規模と単価、構造形式 (日本道路公団資料より)

と、著者の体験によるスポーツ施設、展示場におけるこれらの関係を示したものである(1961)。

二方向にスパンの大きな構造体を大スパン構造、スペースストラクチャと名づける。この構造は超高層ビルとは異なり面で囲まれた大きな空間に豊かな開放感を与える。この構造法では構法の開拓が多彩な形態を生み、建築家には枠型箱型の構造概念を越えて自由な造形の分野が提供された。構造学的には高層ビルを裏付けるものは主として骨組の力学であり、スペースストラクチャを成立させるものは面の力学である。スペースストラクチャは、

- (1) 鉄筋コンクリートによるシェル構造
- (2) 鉄骨による立体トラス

さらに、

- (3) ロープを利用した吊り構造

に大別される。スパンの割合にせい(厚さ)の小さい曲面をもつ、構造体をシェル(Shell)という。シェルは曲面、殻ともいい鶏卵の殻を拡大したものと考えると鶏卵の殻の厚さはその長径に対して1:100である。スパン100mに対してせいが1m程度のものは明らかにシェルである(晴海国際貿易センター、オリンピック水泳場は丁度これに当る)。鉄筋コンクリートシェルには色々な形式があるが、大部分の厚さは1:500程度で十分実現される(松山体育館の例)。

(1)の特長は自由形態が得られることであり、(2)の長所は工場生産による部材の単一化と組立の迅速であり、(3)は橋梁における吊り橋の経験を生かしさらにネットワークの構成で大空間をつくるという吊り橋の理論を越えた意欲的な構造法である。

これらについて今後改良および発展のための問題は次節以下にこれを述べる。

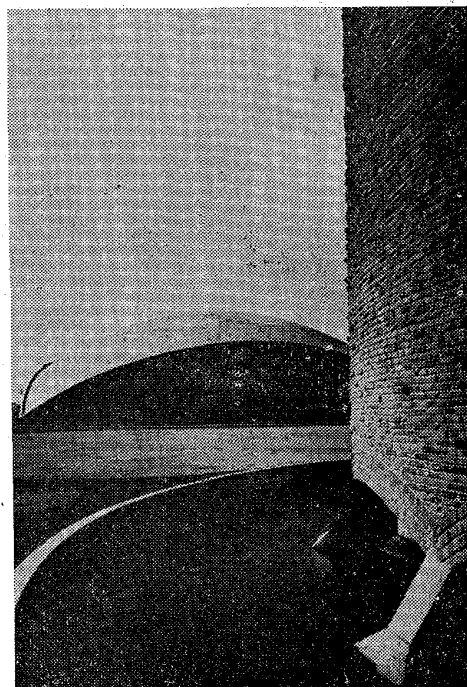
7. 鉄筋コンクリートシェル構造

1924年ドイツのツアイス・デイビダッグ(Z-D)が薄肉鉄筋コンクリート切断球殻の強さを実物で示し、1926年デュッセルドルフにスパン23mの円筒殻を実施した。古来ドームは数多く造られている。しかしその重量は紀元前26年ローマパルテオン(スパン43.5m)は 9t/m^2 、サンピエトロ(1546年、スパン42m)は 6.7t/m^2 で重量の減少は1570年間で25%であった。Z-D工法は厚さ4~8cmの鉄筋コンクリートの薄殻であるため重量は 150kg/m^2 以下で設計される。鉄筋コンクリートシェルの最大のもは現在パリ工業センター(1959年)でスパン200mである。これらの殻には球

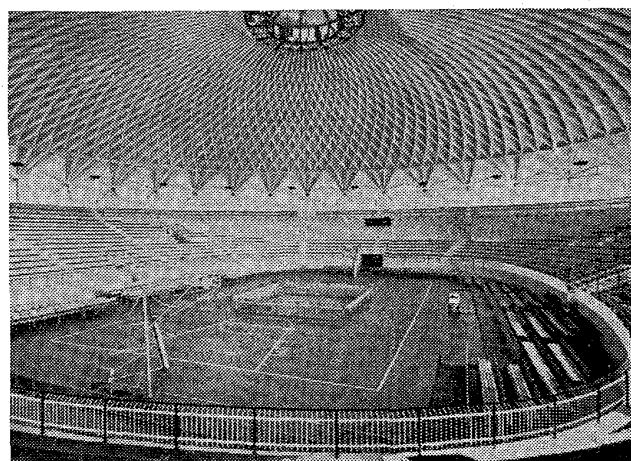
形、錐形、円筒形、鞍形などがあつて、曲面のもつ特性すなわち主として面内の応力3成分が外力に抵抗し曲げや面に直角のせん断力が比較的少ないという理論および経験の事実が連続体である曲面構造を成立させた。これらのシェルは、P.S工法の発達、工場生産による構造体の構造単位への分割などによつて施工期間の短縮へ向いつつあり、これを裏づけるためには高強度鉄筋や鋼線の発達を期待している。

鉄筋コンクリートシェルは自由空間を造るために多くの建築家たちに好まれている。以下の建物はシェル構造の数種を掲げたものである。

E. サリネン: MIT オーデイトリアム, -1955
球殻(第11図)



第11図 球殻の例

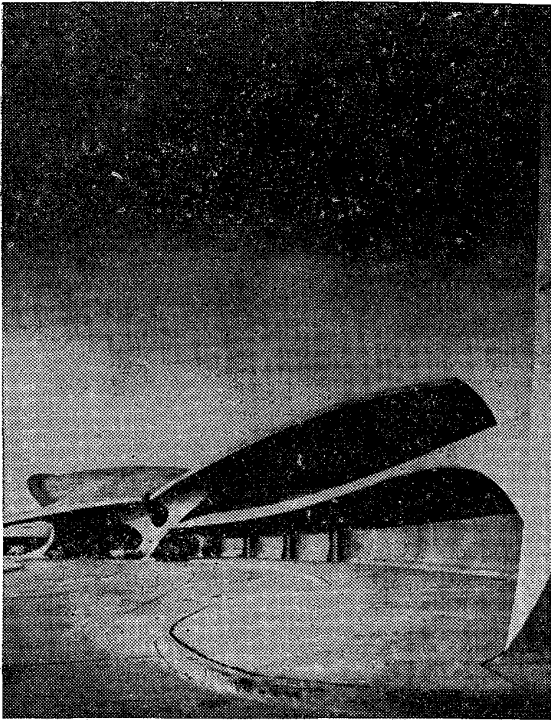


第12図 球殻の例

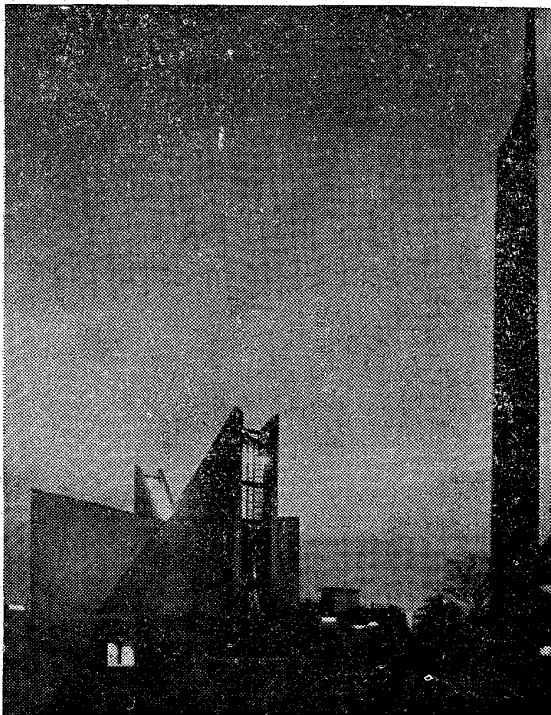
P. L. ネルビ: ローマオリンピック競技場, 1960
球 殻 (第 12 図)

E. サリネン: ダレス空港, -1962
球 殻 (第 13 図)

丹 下, 坪 井: カトリック教会, 1964
鞍形殻 (第 14 図)



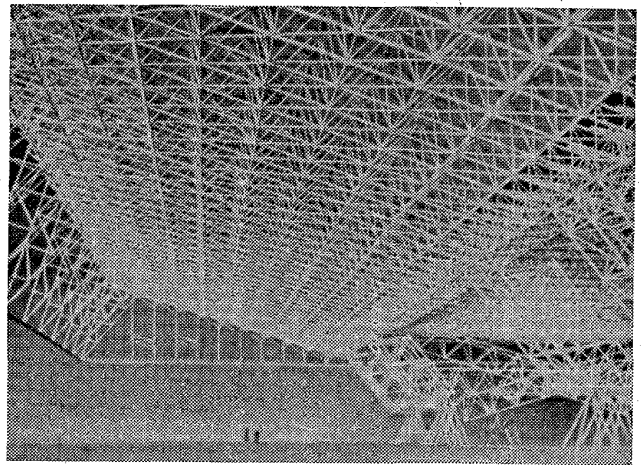
第 13 図 球 殻 の 結 合



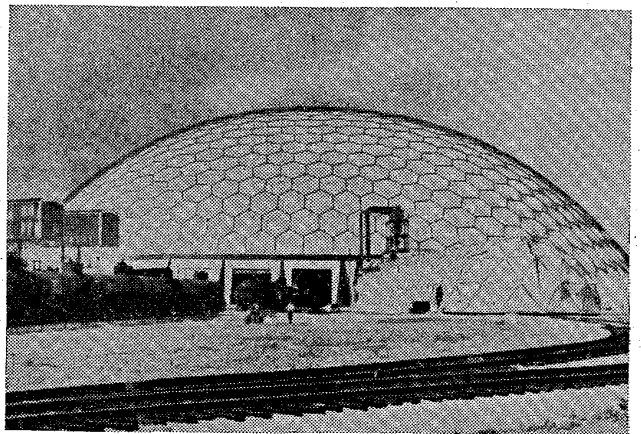
第 14 図 鞍 形 殻

8. スペースフレーム, 鉄骨立体トラス

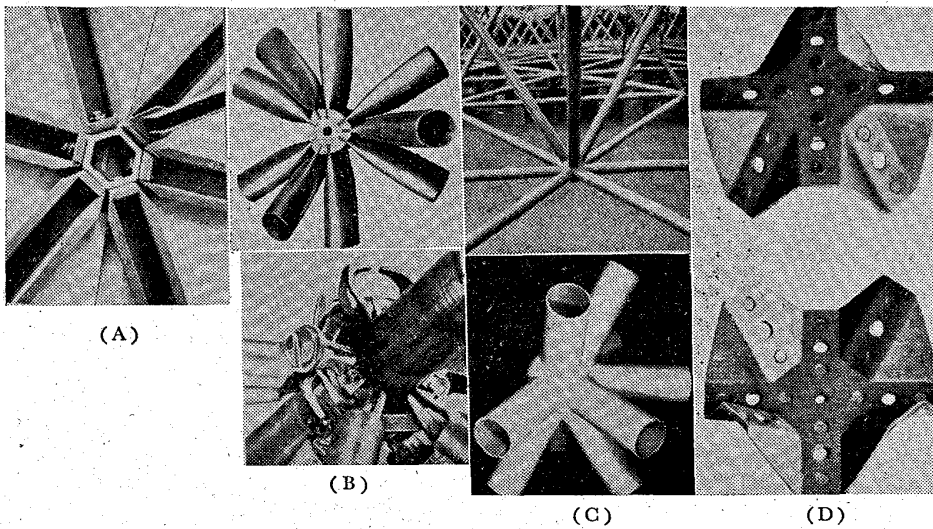
鉄骨立体トラスは鉄骨を骨組とする平面板あるいはシェル(曲面板)である。さらに建築の工業化, 部材の規格化, 標準化, 部材の互換性, 組立, 分解, 運搬などの見地から可及的同一単位(例えば4面体)で大きな面を構成するのがスペースフレームである。1930年以後コンラット・ワックスマン(第15図)は大きな平面板をユニットで構成するために種々の接合部の詳細を研究しまたこれを実施して新しい平板構造を開拓し, バックミンスター・フーラー(第16図)は主として正六角形のユニットによる球形ドームの開発に成功している。Z. S. MAKOWSKI 博士 (Battersea College of Technology) はロンドンにおいてスペースフレームの研究会を主催し1966年世界会議をロンドンで催すことになっている。彼の著書 *Räumliche Tragwerke aus Stahl: Dusseldorf* が英国でなく技術開発に積極的なドイツから先に出版されたことは興味あることである。第17図は氏の著書によりこれらの構造に工夫されたジョイントの各種を示したものである。日本でも立体トラスの発達にはシェル構造



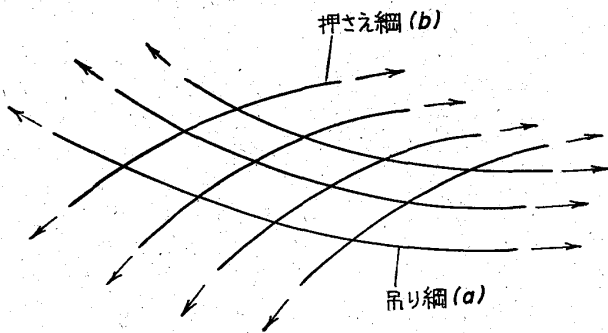
第 15 図 ワックスマンのスペース フレーム



第 16 図 フーラーのドーム



第 17 図 スペース フレームのジョイント



第 18 図 吊り屋根の構成

の発達と平行している。以下の図はこれらの数例を示したものである。筆者らによる晴海国際貿易センターはスパン 120 m をもち 1959 年に建設された。

9. 吊り構造

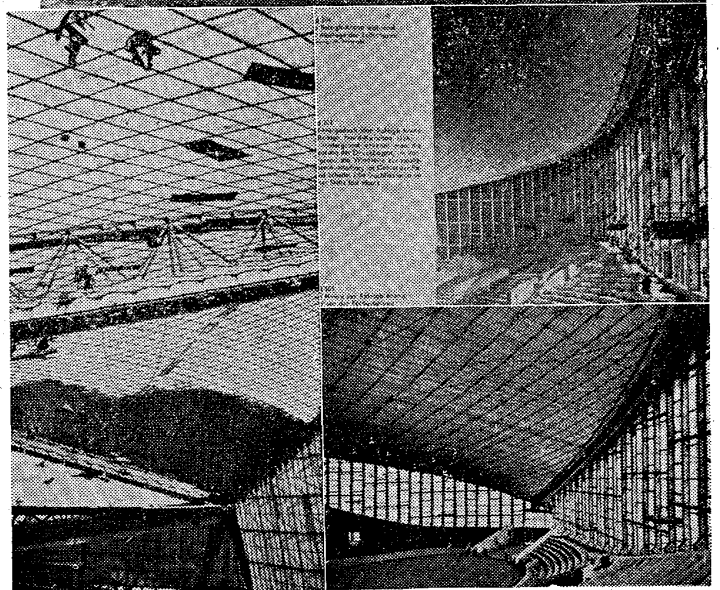
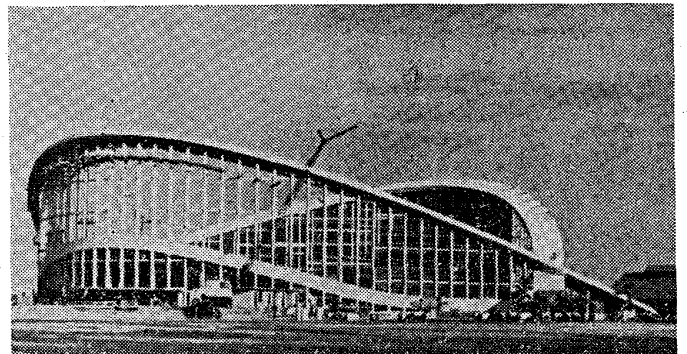
吊り構造は橋梁の吊橋と原理的には同じであるもの、すなわち長大スパンをもつ梁(曲げ材)を何個かの点でロープの張力で吊り上げて曲げ材(橋では補剛桁)の曲げモーメント減じる構造 (A) がある。この (A) とは理念を全く異なる次の構造 (B) がある (第 18 図参照)。たるんだロープに同じ重量の錘を一様にかけると懸垂線を作る。この懸垂線は他の荷重によって形を変えるがこの荷重を除くと元の形すなわち懸垂線に戻る。この能力すなわち復元力の大小は最初の錘の重量の大小による。錘りを用いないで一方向に数多く並列させたロープの群 (これを吊り綱という) に対して直角方向に別群のロープ (これを押え綱という) を渡して吊り綱を押えつげると二つの方向のロープの群は全部引張の状態となりこの引張り力は錘りの代りをして曲面の剛性を確保する。このような構造 (B) は

プレテンションをもつ網目 Net Work で鞍形曲面をなし、これはテントを想像すると理解できる。この構造は1953年頃から行われ、書物では F. Otto (独) の著書 *Das Hängende Dach* (1954) がまとまっており 1962 年パリで開かれた国際シエル会議 (i. a. s. s.) の研究発表の主要テーマとなつた。第 19 図は M. Nowicki らによる Raleigh 競技場 (1953) である。

この工法は曲面を作ること自身にかなり進歩的な工学的問題を

含む。すなわち材料、主としてロープの強度、接合部金物の設計と製作、ロープしめつけの方法、組立の順序と精度など建築構造各部の精密さが従来の構造よりは強く要求され、力学的にも振動問題の解明などで極めて興味をもたれるが、ダイナミックな空間構成には重要な役割

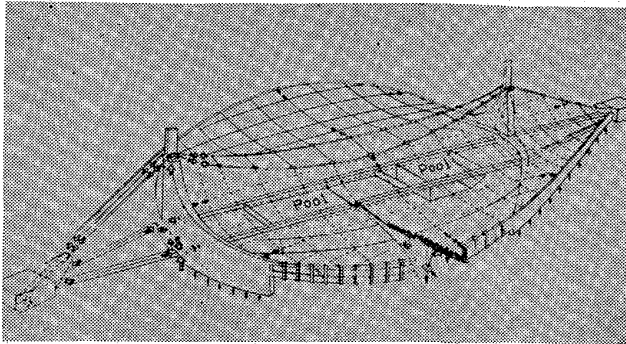
(A)



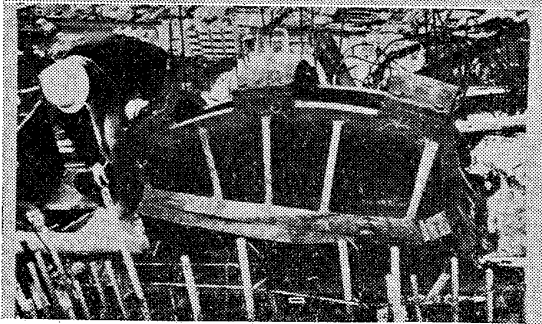
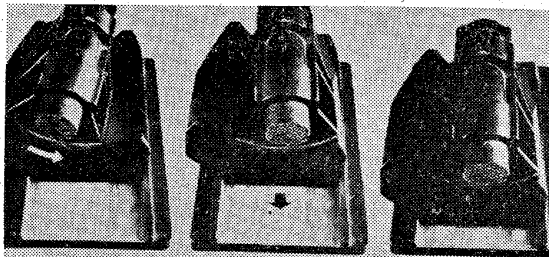
(B)

(C)

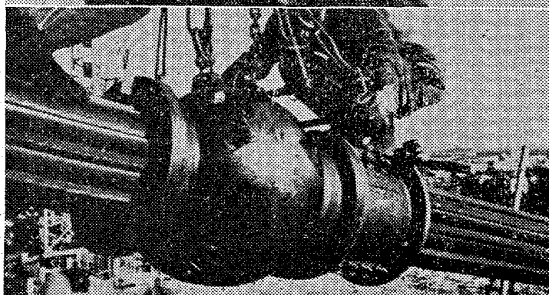
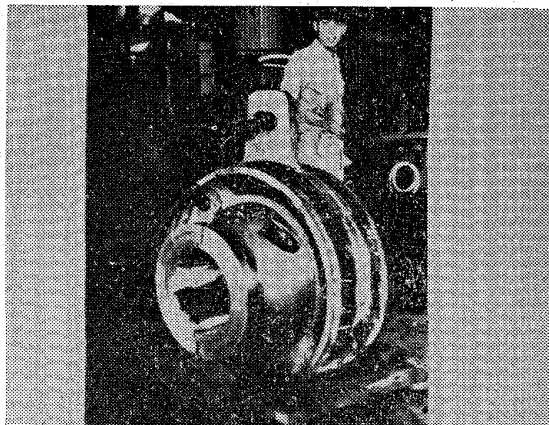
第 19 図 吊り屋根をもつ競技場 (独)



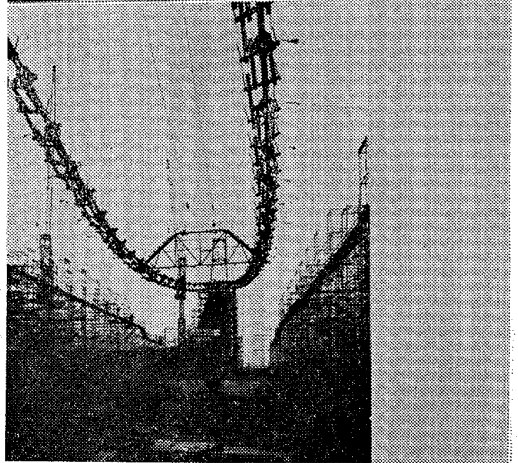
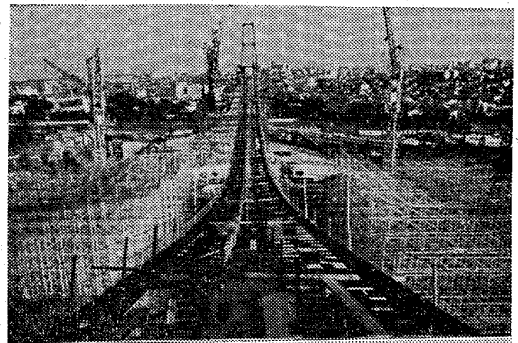
第 20 図(A) 構造の概要と力の流れ



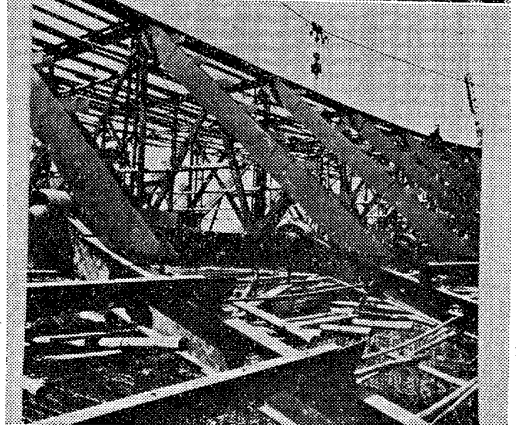
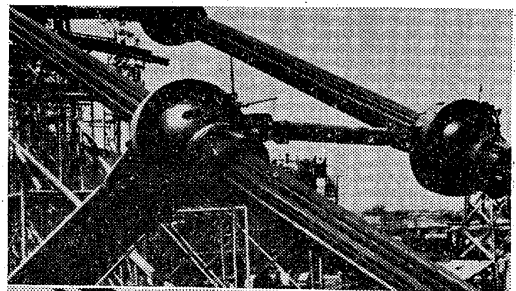
第 20 図(B) 回転サドルの発案



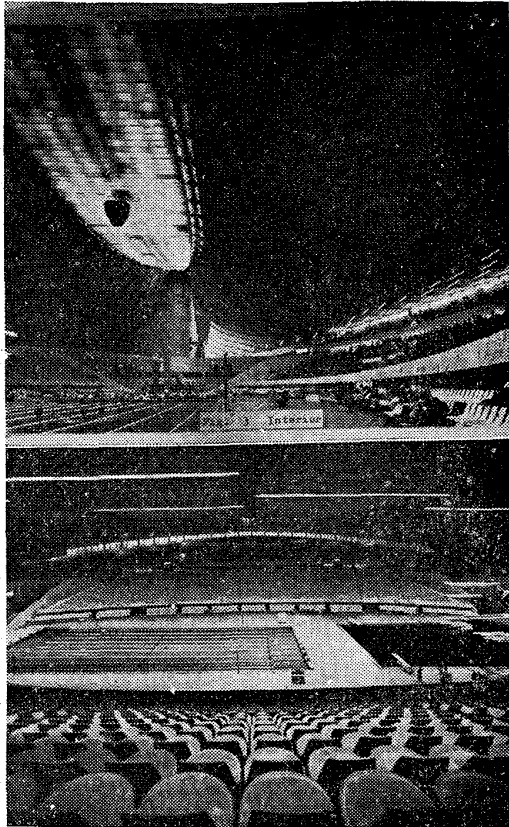
第 20 図(C) 球形バンドとすべり止めバンド



第 20 図(D) メインロープの横開き



第 20 図(E) メインロープと吊り鉄骨 (後でこれと直角方向にわたされた押え鋼でしめつけられる)



第 20 図(F) 完成した屋内競技場

を果す構造法であるといえる。

建築構造法は常に進歩し大スパン構造の開拓には世界各国とも真剣であり、強度、溶接性、靱性、加工性、耐食性の高い鋼材を要求し、これらを結合する鋳鋼品の発展と共にスペースフレームは進歩して止まないであろう。終りに丹下および著者によるオリンピック屋内競技場(1964)の構造詳細(第 20 図)を掲げる。

—1965年10月5日