

ヴィジュアル版建築入門 3

建築の構造

ヴィジュアル版建築入門編集委員会編

担当編集委員 神田 順

彰国社

編集委員代表

布野修司(京都大学)

委員(巻数順)

藤森照信(東京大学)

中川 武(早稲田大学)

* 神田 順(東京大学)

小玉祐一郎(神戸芸術工科大学)

小嶋一浩(東京理科大学、C+Aパートナー)

隈 研吾(隈研吾建築都市設計事務所)

古谷誠章(早稲田大学)

西村幸夫(東京大学)

小谷部育子(日本女子大学)

古阪秀三(京都大学)

(* 本巻担当編集委員)

著者(執筆順)

神田 順(東京大学)

安藤邦廣(筑波大学)

柏木裕之(武蔵野女子大学)

中島正愛(京都大学防災研究所)

梅田幹夫(日本設計)

内田保博(鹿児島大学)

石丸辰治(日本大学)

松村秀一(東京大学)

渡辺邦夫(構造設計集団(SDG))

小堀 徹(日建設計)

今川憲英(東京電機大学、TIS&Partners)

佐々木睦朗(名古屋大学)

関 洋之(梓設計)

和田 章(東京工業大学)

坪井善昭(東京芸術大学)

金田充弘(オーヴ・アラップアンドパートナーズ)

西谷 章(早稲田大学)

大杉文哉(久米設計)

中田捷夫(中田捷夫研究室)

芳村 学(東京都立大学)

井上範夫(東北大学)

浅野美次(日建設計)

山中昌之(大林組)

山崎真司(東京都立大学)

田村幸雄(東京工芸大学)

丹野吉雄(竹中工務店)

目次

『ヴィジュアル版建築入門』編集にあたって	布野修司	3
----------------------	------	---

序 構造から建築に向けて	神田 順	7
--------------	------	---

I 類型としての構造・工法

1 木造	安藤邦廣	10
2 組積造	柏木裕之	18
3 鋼構造	中島正愛	26
4 鉄筋コンクリート造	梅田幹夫	34
5 鉄骨鉄筋コンクリート構造	内田保博	42
6 免震・制震構造	石丸辰治	50
7 工業化構法	松村秀一	62

II 実例に見る構造・工法

1 アーチ構造	渡辺邦夫	72
2 カテナリーアーチ	小堀 徹	82
3 球形・円筒・複葉シェル	今川憲英	90
4 HPシェル	佐々木睦朗	98
5 トラス屋根	関 洋之	106
6 トラスと斜材	和田 章	118
7 ケーブル吊り屋根	坪井善昭	126
8 吊り構造	金田充弘	136
9 壁式構造	西谷 章	144
10 地下構造	大杉文哉	152
11 梁と柱の構成	中田捷夫	160
12 ピロティ構造	芳村 学	168
13 センターコア形式	井上範夫	176
14 両端コア形式	浅野美次	184
15 チューブ構造	浅野美次	192
16 大架構ラーメン	山中昌之	198
17 スーパーラーメン	山崎真司	206
18 制振構造	田村幸雄	214
19 空気膜構造	丹野吉雄	222

図版・写真出典		230
---------	--	-----

参考文献		233
------	--	-----

索引		235
----	--	-----

序

構造から建築に向けて

●

神田 順

建築が構造で成り立っていることは確かである。兵庫県南部地震で、20世紀の技術が欠点を顕わにしたことや、2001年9月のニューヨーク、ワールドトレードセンタービルの崩落は、建築構造の意味をエンジニアのみでなく、あらゆる人に改めて問いかける。もっとも、構造を考えたら建築ができるというものではない。多くの優れた建築が、建築家と構造エンジニアの協同によっていることも指摘できるが、構造安全の問題と形態の魅力は、次元を異にしていることにも注意したい。構造形態が、建築家のアイデアによる場合も少なくないし、エンジニアが形態を生む場合もある。

本巻では、建築の構造を主に、材料・工法の視点からと、構成・形態の視点から、それぞれ「類型としての構造・工法」と、「実例にみる構造・工法」と題して、建築構造のヴィジュアルな分析を試みる。

両方の視点の構造に共通していえることは、力学を基本にしていることである。その力学も、第一には重力場における力学で、いわゆる静的な力のつり合いと、風や地震といった変動する外力に対する動的な力のつり合いの両者を含む。重力場において屋根をかけて空間を構成することは建築の基本であり、それを成り立たせるためにどうするか、ということから構造ははじまる。屋根を受けるために梁が必要となり、梁を受けるために柱が必要になる。柱は基礎によって支えられ安定した地面にのる。梁が省略される場合もあれば柱が省略される場合もある。

力学のまわりの工学の問題は、別の巻で扱うので、ここではあまり立ち入らない。しかし、特にわが国では、地震に対する構造物の安全性の問題が、一方の大きな関心事である。今や建築構造学にあって、振動理論は不可

欠になっており、視覚的にとらえた構造からも、振動理論に基づく形態が現れる。それが、動的な構造の問題について理解の一助になることを期待している。

30年前までは、慣性力や減衰力を構造設計者が意識して設計を進めるということは、きわめてまれであったし、学部の講義でも必ずしもカリキュラムに含まれていなかった。ここでは、振動学も、ヴィジュアルに学んで、読者は気楽にページをめくってほしい。

「類型としての構造・工法」では、構造の主要材料として、木、石、煉瓦、鉄、鉄筋コンクリート、鉄骨鉄筋コンクリートといった材料が使われるときの、力学的特徴や工法としての特徴をヴィジュアルに説明する。そして、揺れに対処するための免震・制振(制震)といった新しい技術、それにあらゆる構造に取り込まれている工業化構法の現状を紹介する。

「実例にみる構造・工法」では、まさにさまざまな構造形態の面白さを、実例を通して紹介する。構造の形態は、まさに力学のヴィジュアル化であり、その様子を見ることは、謎解きの面白さも含んでいる。世の中の建築を見て、ぜひ自分の構造を描いてみてほしい。ここで取り上げた実例は、そのときに大いに参考になろう。その積み重ねが、構造の理解を深める。

アーチは構造的に、とても魅力的な形態であり、多くの建築家、構造エンジニアが挑戦している。単純なアーチひとつがそのまま形態になる場合もあるが、屋根の複雑な形状のなかに、アーチを見つける場合も少なくない。特に、シェル構造は、曲面を構成しており、アーチの組み合わせとして力の流れを見ることがができる。

トラスは、アーチと対照的にシャープな直線をデザインに生かすことができる。繰り返し現れる三角形のパタ

ーンは、魅力的な建築の表層の形としても、多くの実例がある。もっともトラスが経済的な断面を可能にするというだけの理由で用いられることも少なくない。鉄骨トラスでシェルの曲面を構成することも可能であるが、そこではトラスを感じさせないことが多い。構造は表に現れるときと、裏に隠れるときがある。

吊り構造は建築の例は少ないものの、アーチがその基本は圧縮力による力の伝達なのに対して、引張力による力の伝達という対比が、建築を構成するとき、興味深い検討を必要とする。一般に吊り構造は、力の流れが集中して、構えとして大がかりになることが多く、きわめて自己主張的であるともいえる。

柱と梁で構成される建築は、当たり前のようにあるが、それだけに構造のあり方の基本を理解するうえでは大切である。ラーメン構造というドイツ語による専門用語が定着していることは、わが国の構造工学の歴史を感じさせるものである。また、木造建築に襖と障子という日本の文化が、柱で屋根を支える構造を古くから展開しており、ピロティ形式という西洋近代建築のひとつの類型が、わが国に受け入れられやすい状況になっていたともいえる。そしてそれが、耐震的な弱点となり、それを克服するために、さらにラーメン構造の耐震性を高める技術の開発にもつながっているというあたりが興味深い。

柱のように、床の重量を点で受けるのではなく、線で直接受ける場合は、壁式構造となる。建築基準法による構造規定が構造計算によるとうたっていることが、面の中の応力を評価することは計算上面倒という理由で、壁式構造の建築がつくりにくかったという見方も成り立つのは残念なことである。これからは、計算機による有限要素法の解析が、簡便になってきたこともあり、抵抗少なく壁式構造が生まれる期待をもっている。

地下のように、大きな土圧や水圧を受ける場合には壁がもちろん大きな役割を果たす。土圧や水圧は、コンクリート壁の厚さから読み取ることができる。

高層ビルも耐震性のためには、耐震壁を配置するといふという一般論が成り立つが、一方、超高層ビルになると、単にラーメン構造と耐震壁配置といったとらえ方よりは、はるかに平面計画や構法計画と表裏となる構造デザインが現れる。耐震要素を集中させたコアの配置によるパターン。一般の基準階と、1階や大空間を要する階との組み合わせを可能にする、大架構の形式、さらには、

スーパーラーメンやチューブ構造といった、超高層特有の構造形式にまで展開してきている。

構造の基本は、今までは長く変化しないものであったが、機械に依存する構造が生まれたことにより、新しい時代を迎えた。制振構造や空気膜構造がそれである。そのようなときに、構造の安全性をどのように考えるか、それは新しくはじまった建築構造の問いでもある。

建築構造は進化を続ける。

建築家の構造的アイデアやエンジニアの創造性も、多くの場合、過去の建築やその他の構造物からの発想による。もちろん自然界の樹木や貝殻などが発想の原点になることもあろう。そのためにも、多くの建築の構造を見て、設計者のねらいや工夫をさぐることは大切である。形だけから読み取れないことも多い。しかし、見て、考えることがスタート台である。そして、力学を中心とした工学の体系の援軍を得て、それを現実のものにすることが、建築にかかわるものの役割でもある。地震や航空機衝突といった条件をどのように割り切るかの答えはひとりひとりが考える問題である。ここには多くの優れた実例が解説されているが、すべてがいつも正解ではない。

建築家と構造エンジニアの協同は、わが国では丹下健三と坪井善勝がよく知られており、代々木の国立屋内総合競技場は代表的な例である。木村俊彦は、多くの建築家の空間の実現にかかわっており、著名なものだけでも、大谷幸夫の京都国際会館、横文彦の藤沢市秋葉台文化体育館、原広司の梅田スカイビルなどがあげられる。最近では伊東豊雄と佐々木睦朗の仙台メディアテークにも構造エンジニアとしてのかかわりが強く見られる。

建築構造を、建築家の空間のアイデアをエンジニアが実現のために計算したもの、という単純な図式で理解するのは適切でないように思う。空間をどのように構築すべきかという問いに対して、ともに形態と力の流れに関する蓄積を補完しながら、具体化に向けての検討を繰り返して形ができていく。模型が必要なときもあれば、計算が必要なときもある。実験で検討されるときもある。重力の場や風や地震といった自然界の作用は物理的な存在であり、昔も今も変わらない条件である。そして、そこに空間がつくられると、力も生じ変形も生じる。ヴィジュアルに表現された、多くの建築にエンジニアの思いを想像しつつ、構造を考えてもらいたい。

I 類型としての 構造・工法

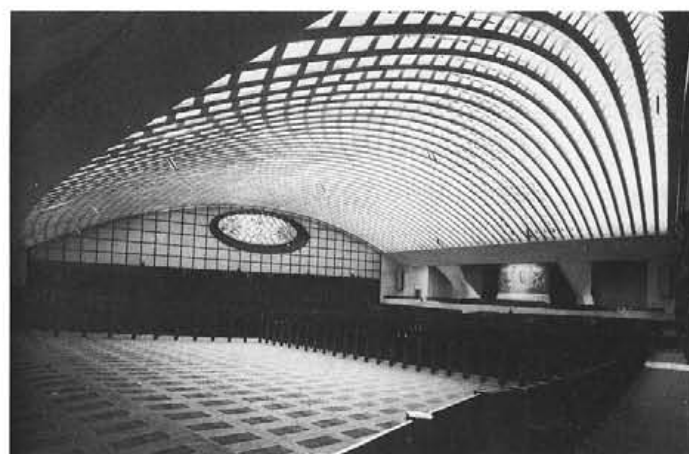


図1-15 ヴァチカン法王説教ホール／設計・構造：P.ネルヴィ、1971年。PC構造の放物線状の屋根で覆われた世界最大の室内説教空間



図1-16 ジェファソン・メモリアルアーチ／設計：E.サーリネン、構造：F.シヴィラッド、1964年。スパン、高さとも200m。サーリネンは完成を見ることもなく他界し、仕事はケヴィン・ローチ、ジョン・ディンケルが引き継いだ。西部開拓使の入り口。通称ゲートウェイアーチ



図1-17 IBM移動パビリオン／設計：R.ピアノ、構造：P.ライス、1986年。幅48m、高さ6m、奥行48m、34本のアーチで構成される。アーチはポリカーボネート製の6個のピラミッド形のエレメントからなり、集成材とアルミダイキャストで接続されている

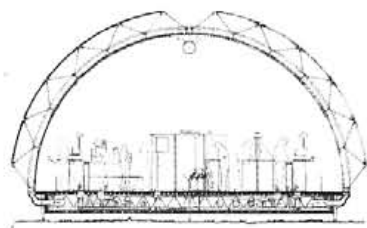
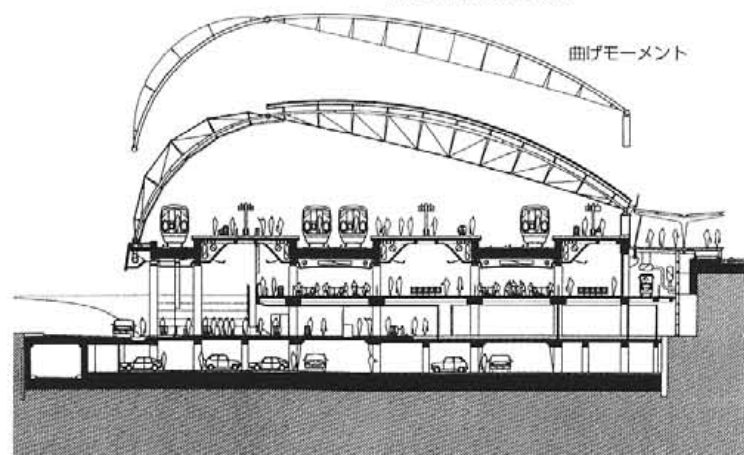


図1-18 セビリア万国博覧会未来館／設計：Martorell, Bohigas, Mackay、構造：オーヴ・アラップアンドパートナーズ、P.ライス、1992年。アーチを構成する要素は、20cm角の花崗岩を接着樹脂で組み合わせた80cm角、長さ5mの中空ブロック。石という素材の新たな使い方を追究した



図1-19 ウォータールー・インターナショナル・ターミナル／設計：N.グリムショウ、構造：A.ハント、1993年。非対称の3ヒンジ弓形張弦アーチトラス。断面図の上の図は曲げモーメントを図化したもので、下の屋根断面図と比較すると圧縮材と引張り材との関係を忠実に形態に置き直していることがわかる。圧縮材は座屈の問題があるので相応に大きな部材になる。そのためそこに屋根材を置き、引張り側にはその性質を疎外しないように純粋な形態を保持している



	変形	曲げモーメント	軸力
柱脚固定			
柱脚ピン			
ローラー			
ピン+ローラー			
タイビーム			

図1-20 アーチの支持方法による変形と応力／アーチの支点を固定、ピン、ローラーにしたとき本体に発生する変形と応力は大幅に変わってしまう。適切なタイビームを入れれば支点がピンの場合と変わらない状況をつくり出すことができる。ローラー支点、すなわち脚部が水平に動いてしまうような支点環境ではアーチの効果は消滅する

ルアーチのコンベが行われ、若きエーロ・サーリネンが、父エリエルをも押さえて当選した。この1964年に完成したアーチは、西部への発展の門と位置づけられ、巨大ではあるが他の建物を圧倒することなく、特に街の象徴的建物である裁判所をアーチの額縁に収めたものであった(図1-16)。フロンティア・スピリッツにならって当時の技術の限界に挑戦したこのアーチは懸垂曲線を描き、圧倒的形態をアーチで表現している。

1992年のセビリア万国博覧会未来館でピーター・ライスは、現代の石造アーチを実現した(図1-18)。古典的の石造では引張りには抵抗できないので、十分な重量でアーチの連力線が断面を外れないようにしてきたが、ここではアーチの内側にテンション材を配し、これで屋根を吊って張力を導入し、重さを付けるのと同じ効果を与え、従来の石の組積とはまったく違うスレンダーなアーチをつくることに成功した。翌1993年に、ロンドン・パリ間の新幹線が開通し、ロンドン側の終着駅ウォータールー

の駅舎の上屋が3ヒンジ弓形アーチで完成した(図1-19)。ここに発生する曲げモーメントを、圧縮材と引張り材とに分離して空間構成に圧倒的な迫力を生み出した。

2. アーチの支持方法

アーチは、ほかの構造でも同じであるが、その支持方法によってアーチ自身に発生する応力や変形がまったく異なってしまう(図1-20)。脚部を頑丈に固定すればアーチ自身は軽快となるが、実際の設計では脚部の固定方法とその反力を満足する基礎構造が過大なものとなってしまうので、それらのバランスを図らなければならない。

多くの場合、支持方法で問題になるのは脚部に発生する水平分力(スラスト力)である。水平分力に無抵抗であればちょうどローラー支承のように脚部は水平に広がりアーチ自身の応力と変形は最大になる。

脚部が広がらないようにするために、水平方向にタイビームを入れてもタイビームそのものが伸びてしまえば、

曲面のほかに、ある曲面形を必要な構成曲面に裁断し、曲面ユニットを取り出し、そのユニットを複数組み合わせることで曲面を構成する複葉シェルがある。

2. 曲面の幾何学的認識

曲面空間の曲面構造をデザインするには、直線的材料で構成されるラーメン構造に使用する直線幾何学だけでは不十分である。それは曲面の構造デザインの認識、すなわち具体的に曲面の性格を認識するか？ 具体的に曲面構成を計画に展開するか？ そしてその構造的デザイン認識の結果を建築の設計および施工において、曲面構成の性質を合理的に実現するかが構造デザインの質、ひいては建築空間の質に深く関係する。言い換えれば「かたち」の性質を知ることこそが、建築とその架構の性質の決定につながるからである。

先にも述べたが、私たちは空間や形を認識するとき、幾何学を用いる。その理由は、感覚の視覚表現である「図面」が描きやすく、ある空間や形に「力」が作用したときの架構内の力の流れを知るための架構解析モデルが作りやすく、そのうえ架構を構成する部材の製作や建設手順をシンプルに他人に伝えることが容易だからである。前述の建築とシェル曲面の関係のごとく、曲面は多種多様に存在する。その多様な球形シェルや曲面

構造を簡明にそして平易に認識できるのが、図3-17の幾何学的空間認識図である。これはガウス曲率をもとにし、空間の形を平面および曲面の幾何形態として表した空間形態認識図である。

K.F.ガウス(1777~1855)が考案したガウス曲率は、曲面の曲率中心がその曲面のどちら側に位置するかに注目し、面が曲率半径をもつときは曲面を境に正と負で分類し、面が平面のときは「零」と定義し、認識する曲面を形づくる複数の曲率半径を乗じた結果が正負または「零」により面を認識する方法である。たとえば、球形ドーム曲面は曲率半径の中心が曲面の片側に位置するが、ガウス曲率は「 $K > 0$ 」となる(図3-17a)。円筒曲面で円筒の母線は曲率半径が「0」であり、円筒の曲率半径は円筒の中心となる面、ガウス曲率は「零」 $K = 0$ となる(図3-17b)。そして、ラッパ状のホルン曲面やHP曲面は、曲面を定義する曲率半径は、曲面の両側に位置するため、ガウス曲率は「負」 $K < 0$ となる(図3-17c)。

3. シェル曲面の架構構成

a. 直線曲面の構成

シェル曲面の構成は曲面を構成する素材により異なる。湿式素材である鉄筋コンクリートのシェル曲面は曲

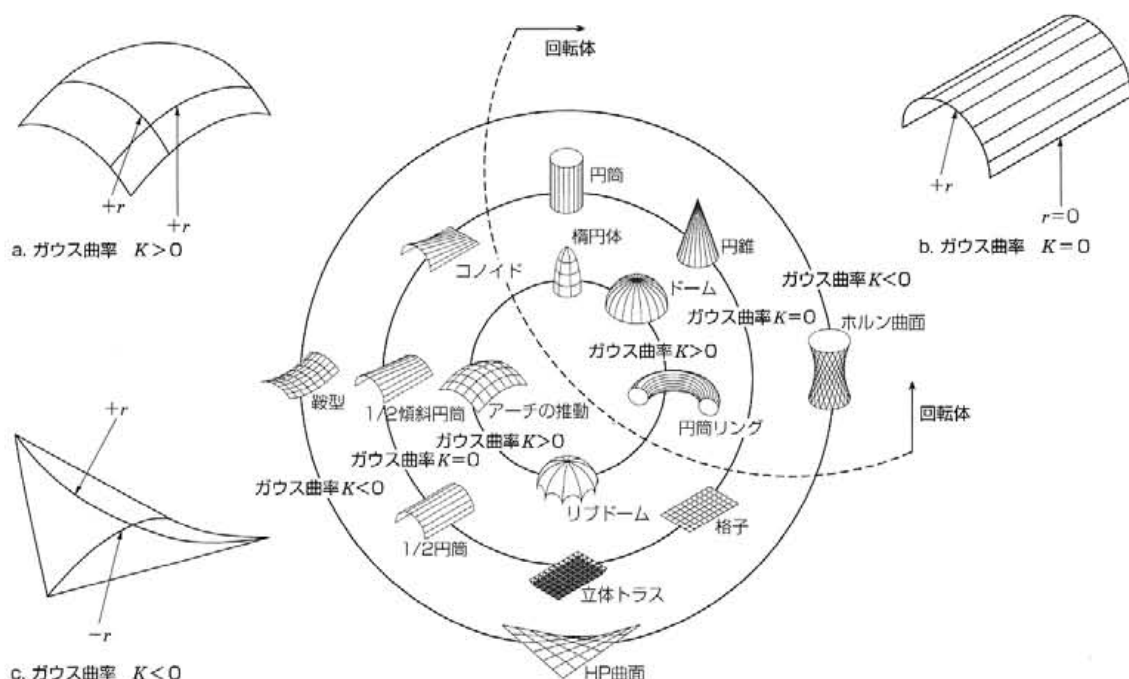


図3-17 ガウス曲率 K をもとにした平面および曲面の幾何学的空間認識図

面を連続した曲面として構成できる(図3-18)。しかしながら湿式素材であるためコンクリートが固まり曲面としての性能を発揮するまでは約4週間必要であり、その4週間のあいだ曲面を維持する木や鋼の直線材と薄い面的材料であらかじめ曲面を構成する必要がある。図3-19にシェル曲面の構成方法を示す。

それぞれのシェルは以下のように形づくられている。
(a)タイプ：両サイドのアーチに直線を平行移動させる方法か、2本の平行した直線上をアーチが平行移動してできる曲面。
(b)タイプ：平行するアーチと直線上を長さが異なる直線が平行移動してできる曲面。
(c)タイプ：四辺形平面の相対する角点が上下した点を直線で結び、その相対する辺を均等分割した点を結ぶとできる曲面。
(d)タイプ：相対するアーチを平行移動してできる曲面。
(e)タイプ：任意曲線を両方向ともに平行移動してできる曲面。

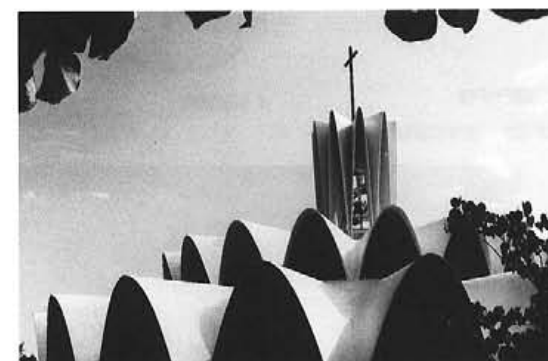


図3-18 オバタの教会／設計：G.オバタ、1962年。ライズの高い大中小のシェルを三段重ね連続させた空間

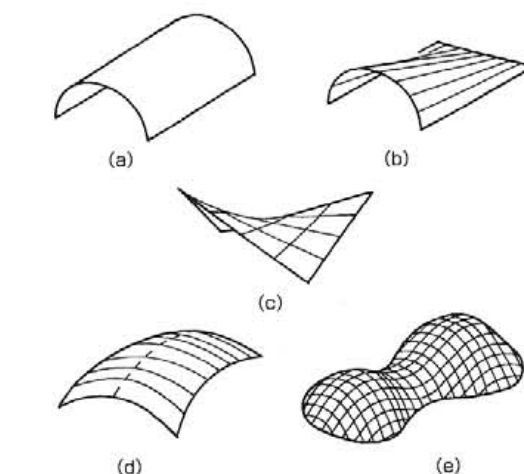


図3-19 シェル曲面の構成方法

b. 線による曲面構成

乾式素材であり、そして線材である木や鋼を使用し、曲面を構成する場合は、コンクリートシェルと異なり線部材で構成するため、特殊な銅板曲面を除き、曲面は不連続な多面体となるが視覚的には連続面として認識可能な線曲面となる(図3-20)。

c. 単一線曲面の構成

球形シェルの架構構成は図3-21に示すごとく6種類の基本形がある。6種類のうち、曲面構成上部材長さが均一にしやすいのがパラレルラメラ、3方向グリッドそしてジオデシック線曲面であり、シュベッドラー、ネットワーク、そして放射線曲面の構成材は各緯度線内では等長の部材は存在するが、緯度線ごとに部材角度が異なるために材長が異なることになる。また、これらの6種類の基本形は曲面にそった単層架構と複層架構があり、比較的小さい空間は単層架構で、大スパンには複層架構が多用されている。

6種類の球形ドームの基本線曲面を、複層架構システ



図3-20 モントリオール万国博覧会アメリカ館／設計：B.フラー、1967年。球と直線で構成するジオデシックドーム

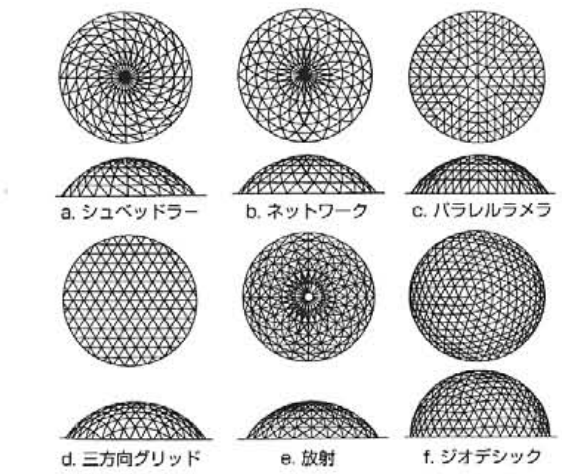


図3-21 単一球形シェルの直線による構成方法

a. ダレス国際空港ターミナルビル

外側に傾斜したRC片持ち柱のあいだに張られた一方向吊り屋根(タイプ①:幅50m、長さ180m)。ケーブル張力の水平成分は柱の曲げ抵抗で処理(支持⑤)しているが、柱を傾斜させることにより、柱脚曲げモーメントを減ずる力学的効果と、外部や内部空間に軽快感や緊張感を与える造形的効果をもたらしている。不均衡荷重や、風による変形や振動は、プレキャストパネルの重さ(屋根重量約1,765kN:制御①)やケーブルにそうRCリブの曲げ抵抗(制御②)で防いでいる。単純明快な全体構成、傾斜柱の変断面の形状、柱頭部の納まりなど造形的・構造的に完成度の高い建造物である(図7-6)。

b. ノースカロライナのラーリー競技場

二つの傾斜したRC交差アーチのあいだに張られた、吊りと押えのケーブルネットによる二方向吊り屋根(タイプ②:短軸98m、長軸115m)。押えケーブルで吊りケーブ



図7-6 ダレス国際空港ターミナルビル/設計: E. サリーネン、構造: アンマン&ウィットニー、1962年

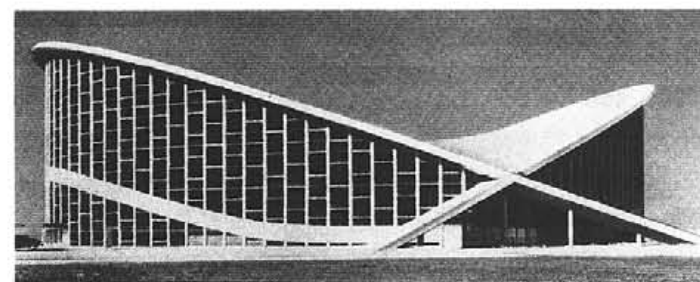


図7-7 ノースカロライナのラーリー競技場/設計: ノヴィツキー&デイトリック、構造: F. シヴィラッド、1953年

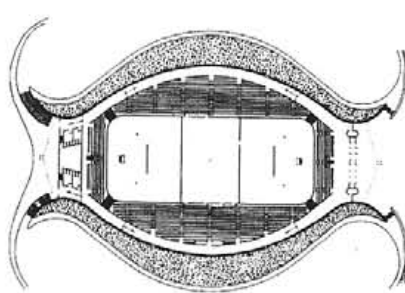
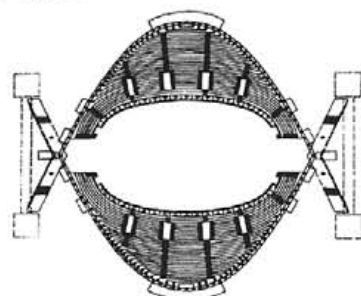
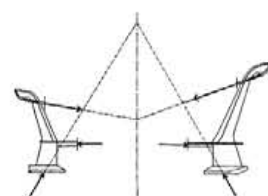


図7-8 イェール大学インガルス・ホッケーリンク/設計: E. サリーネン、構造: F. シヴィラッド、1959年

ルを押し下げてプレストレスを与える形式(制御⑤)で、仕上げ材も含めて294N/m²と非常に軽い屋根が可能となった。ただ、屋根面上部では曲率が小さく(鞍形面から外れて平面に近く)プレストレスの効果が少ないので、後に、屋内の屋根と外周柱のあいだにステイケーブル(制御④)を張り、耐風安定性を高めている。屋根荷重の水平成分は、アーチ(支持①)に圧縮力として吸収され地盤に導かれる。制御方法や支持方法の面で斬新な機軸が提案され、大スパンのケーブル吊り屋根構造として先駆的役割を果たした建造物である(図7-7)。

c. イェール大学のホッケーリンク

中央のRCアーチと外周の曲面状のRC壁とのあいだに張られた、吊りと押えのケーブルネットによる二方向吊り屋根(タイプ②)。吊りケーブルは、背骨となる中央アーチ(スパン73.2m)から1.8m間隔で張り渡され、外壁に定着させている。さらに、中央アーチの両側に吊りケーブル



と直行方向に各9本の押えケーブルを張り、プレストレスを与え(制御⑤)耐風安定性を高めている。ケーブル張力は中央アーチの両側でバランス(支持①⑦)させているが、片側屋根面に荷重が加わるとアーチは変形する。アーチ両側にそれぞれ3本の補助ケーブルを設けて変形を防いでいるが、スマートな解決法とはいえない(図7-8)。

d. ユチカ市公会堂

24本のRC柱で支持された直径72.3mの外周のRCコンプレッションリング(支持②)と中央の鉄骨テンションリングのあいだに、上下2層のケーブルを架け渡した車輪方式の放射方向吊り屋根(タイプ③)。放射状に張られた72本のケーブルのサグ比(サグ:直径)は1:12である。上向きと下向き荷重には、各々下弦と上弦ケーブルが働き、さらに上下ケーブルに異なった初期張力を導入することにより、上下2層の振動数を変えて風による振動(フラッタ)を防いでいる(制御⑤)。建築的には洗練されていないが、ケーブル吊り屋根の耐風安定性を高めるための新機軸を提案した先駆的な建造物である(図7-9)。

e. フランクフルトのルフトハンザ格納庫

中央コアからRC波形シェルを両側にもち出し、水平張力をバランスさせた斜張方式の複合式吊り屋根(タイプ⑤)。スパン55.7mのシェル内端は中央のRCラーメンにピン支持され、外端は約980kNの張力の加わった高張力鋼ストランドロープで吊り上げられ、格納庫用のフリースペースが確保されている。温度差によるシェル先端の鉛直変位は45cmである(制御①、図7-10)。

f. マントーバのブルゴ製紙工場

自定式吊り橋の原理を応用した懸垂方式の複合式吊り屋根(タイプ⑤)。中央スパン163m、全長249m、幅30mのトラス組屋根は、2本の巨大なRC門形支柱(高さ45m)のあいだに張られた4本のアイバーケーブル(eye bar:先端に接合用の丸い孔がつけられた鋼板)から吊られている。4本のメイントラスは直角方向と45度方向のサブトラスで結ばれ、立体的な剛性を高めている。アイバーケーブル端部はサイドスパンでメイントラスに定着して、ケーブル張力の水平成分を屋根トラスに圧縮力としてつり合わせている(制御①、図7-11)。

3. 国立屋内総合競技場の概要

1950年代から60年代にかけて、吊り橋や斜張橋の原理を応用したサスペンション構造が欧米を中心に普及し

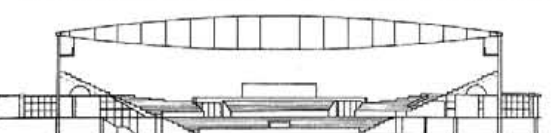


図7-9 ユチカ市公会堂/設計: ゲエローン&セルツァー、構造: L. ゼットリン、1960年



図7-10 フランクフルトのルフトハンザ格納庫/設計: O. エイベル、構造: H. ベッカー、1959年

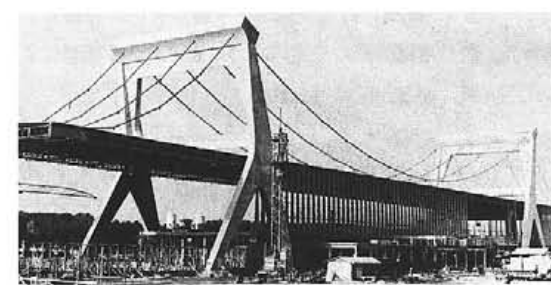


図7-11 マントーバのブルゴ製紙工場/設計: G. コブレ、構造: P. ネルグヴィ、1961年

はじめ、わが国でも1960年に一方向吊り屋根のブリヂストン体育館(構造: 松井源吾、設計: 菊竹清訓、メインスパン16m、サイドスパン10m)、1961年に二方向吊り屋根の西条市体育館(構造: 岡本剛、設計: 坂倉準三、スパン: メインスパン48m、横断面の最大スパン43.2m)が実現しているが、国立屋内総合競技場(構造: 坪井善勝、設