

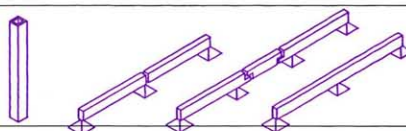
図説テキスト

建築構造

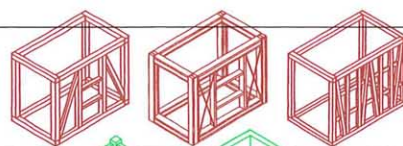
— 構造システムを理解する —

第二版

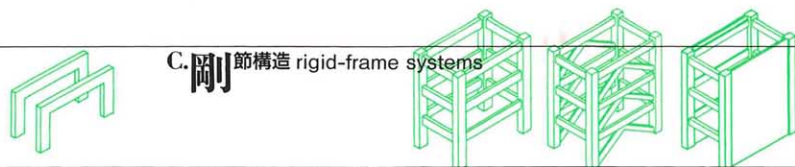
A. 柱と梁構造 post & beam systems



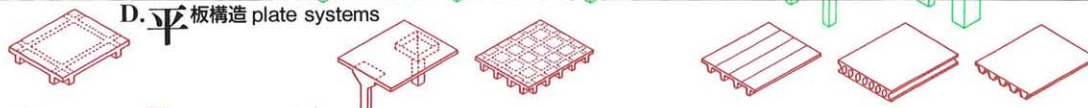
B. 滑節構造 hinged-frame systems



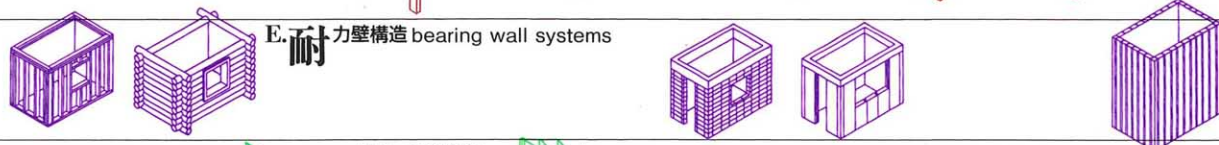
C. 剛節構造 rigid-frame systems



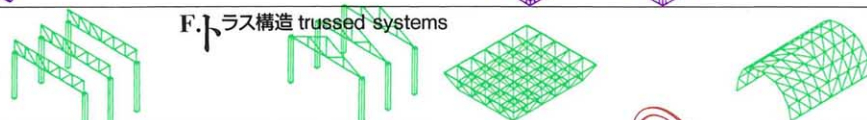
D. 平板構造 plate systems



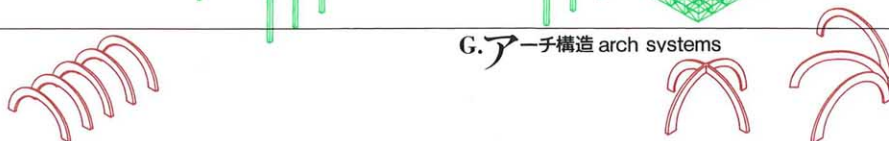
E. 耐力壁構造 bearing wall systems



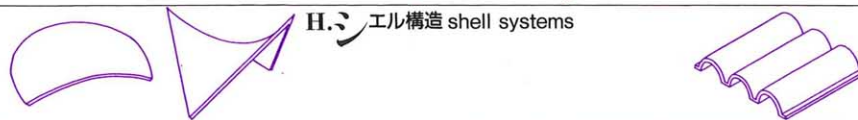
F. トラス構造 trussed systems



G. アーチ構造 arch systems



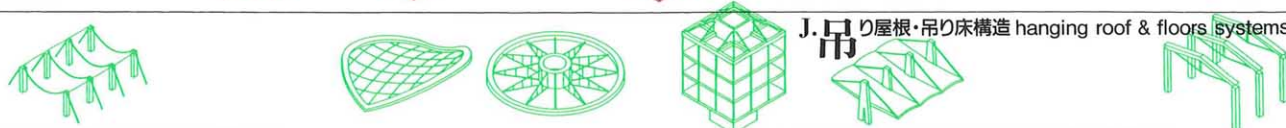
H. シェル構造 shell systems



I. 折板構造 folded plate systems



J. 吊り屋根・吊り床構造 hanging roof & floors systems



K. テント構造 tent systems



L. 空気膜構造 pneumatic systems



建築構造システム研究会

編集委員

坪井善昭（東京藝術大学名誉教授）

斎藤孝彦（斎藤孝彦建築設計事務所所長）

林田 研（研建築設計事務所代表）

渡辺武信（渡辺武信設計室所長）

執筆者（50音順）

東 武史（元松田平田設計常務取締役）

小見康夫（東京都市大学工学部建築学科准教授、小見建築計画室代表）

大浦修二（田栄商会 一級建築士事務所）

梶山英幸（N & C 一級建築士事務所代表）

斎藤孝彦（上掲）

坪井善昭（上掲）

納賀雄嗣（Noga & Company 代表）

波多野純（日本工業大学工学部生活環境デザイン学科教授、波多野純建築設計室代表）

林田 研（上掲）

藤居秀男（藤居設計事務所所長）

松永 務（アドリエ M アーキテクト代表）

三井所清典（芝浦工業大学名誉教授、アルセッド建築研究所所長）

山田周平（元日本建築構造技術者協会専務理事）

渡辺武信（上掲）

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

本書の使い方

本書の構成

本書は現在の日本の大学、および工業高校、専門学校の建築学科において行われている構造の教育方法に対する疑問をきっかけにして生まれた。建築を設計するには、当然、さまざまな構造システムの特徴を的確に理解していなければならない。しかし、構造を理解することと、構造そのものを設計することとはあきらかに違う。建築教育を受ける学生のうち、かなりの数の者は設計（建築意匠）、施工、監理の分野に進み、また建築計画、建築史の研究者になる者も少なくない。つまりすべての学生が構造の専門家になるわけではないのである。

これまでの建築学科の構造教育は、このような現状を認識せず、すべての学生に「構造の専門家になるための初歩」を教えていたように思われる。その結果、建築デザインなどの構造以外の分野を目指す者が、数式が苦手のために構造難いになり、あげくのはてには建築の道に進むことを断念したりすることも起こりかねないのが現状である。

本書の編集委員（コア・スタッフ）は建築家（建築設計者）3名と構造設計者1名から成り立っているが、建築家3人は自分たちが学校で受けた教育を振り返って、学んだことが実務ではあまり役に立たない一方で、本当に役立つ肝心のことを学ばなかったということを実感している。また構造設計者であるコア・スタッフは、一人前の建築家がしばしば構造の基本的理解に欠けていることを感じていた。

コア・スタッフはいずれも常勤または非常勤で建築教育に携わっているが、そうした経験の中で、もし心ある建築教育者が現在の構造教育の弊害を認識したとしても、望ましい形、つまり構造の専門家になるためではない構造教育の教科書として使いやすいテキストは存在しないことも感じている。

私たちコア・スタッフの考えるところでは、建築の構造システムは単に設計のために必要な技術にとどまらず、さまざまな専門的技術がそれぞれに含んでいる驚きや不思議に満ちたものであり、それを学ぶことは本来、もっと楽しいことであるはずなのだ。そこで私たちは知的な驚きや楽しみをもたらすテキストを作ろうと企てたのである。

本書は主として「これから建築構造を学ぼうとする人」を読者に想定し、構造の専門家でなくても「このくらいは心得おきたい」領域に内容をしばって、広く浅く、そして楽しみながら建築の構造を理解するためのテキストとして構成されている。しかしながら、本書はまた建築を学び終えて既に実務についている方にとっても、構造に関する知識を確認し整理しなおす「構造再入門」としても役立つであろう。そのことはコア・スタッフの建築家たちが「これは自分にも役立つのではないか」と思う、という形で確認しつつあるところである。本書は各章が構造システムごとに独立し完結する形で記述され、必ずしも順を追って通読しなくてもよいように構成されている。したがって例えば、さまざまな構造システムの全体像を概観したい場合は、各章の初めの二段組の頁だけを飛ばし読みしてもよい。その後、必要や興味に応じて2頁目からの詳しい説明を特定箇所だけ読んでよいだろう。

さらに理解を深める工夫として、関連する章はSS（Structural Systemsの略）で表示して関係性を示しており、分類

は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

チャートはすべてこの表記にならっている。各章ごとの構造システムでは、基本語・重要語は「キーワード」としてまとめ、太字の単語は用語解説として巻末に簡単な説明を付している。なお、当用漢字にない専門用語にはルビをふって、理解を深める一助としている。

また本書の構造システムごとの取扱いは、日本の建築の現状に対応してウエイト付けがされている。すなわち、もっとも広く使われている木構造や鉄筋コンクリート構造については、2頁目からかなり専門に踏み込んだ記述をしている一方、シェルなど大きな空間やスパンに適用される構造システムについては、特徴の概要を記して、「そういう構造もある」ことに読者の興味と好奇心を呼び起こす程度にとどめた。

本書は、各章は各分野の専門家によって執筆されたが、その原稿を4名のコア・スタッフがすべて目を通して協議し、執筆者の了解も得て「構造の専門家にならない人」にとって分かりやすく、また楽しく学べるように調整を図った。したがって、あり得べき用語の不適切さなど、表層の文責はコア・スタッフが負うべきものである。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

※この表は、目次と対応する。目次は、この表の左側の欄を参照してください。

目次

本書の使い方3

I 建築の構造システム

- 1 建築構造を学ぶ人たちに8
材料の違いより、考え方の違いを理解する
力のコントロールのしかたによる分け方
構造部材の形による分け方
建物の広がる方向による分け方
- 2 建築の構造素材を理解する10
構造素材の特性を理解する
木材系構造素材の特性
コンクリート系構造素材の特性
鋼材系構造素材の特性
膜材系構造素材の特性
力をどう流すか
- 3 構造システムのいろいろ14
構造の役割
構造を二つの系に分けて理解する
重層構造システム・鉛直方向に展開する構造システム
単層構造システム・水平方向に展開する構造システム
構造システムの分類チャート I (重層構造システム)
構造システムの分類チャート II (単層構造システム)

II 木材系の構造システム

- 1 軸組木構造 (木造在来構法)24
軸組の基本
小屋組の構造
地震に対する工夫
壁と床の構造
基準尺度と真々設計・内法設計
- 2 軸組木構造 (木造伝統構法)28
軸組と屋根の構造
古代建築の軸部
斗拱
屋根の構造

- 和様と禅宗様
- 3 枠組壁構造 (ツー・バイ・フォー構法)32
枠組壁構造の組立順序
枠組壁構造の床組と壁組
枠組壁構造の小屋組
 コーヒーブレーク
 - 4 丸太組構造 (ログハウス)36
丸太組のからくり
壁材の樹種と断面形状
壁材の取縮と建物の納まり
丸太組構造の構造計画
 - 5 ヘビーティンバー構造 (集成材構造)40
構造用集成材と接合金物
技術基準および防火設計法
耐震要素・床・小屋組
ヘビーティンバー構造の二つの事例
 - 6 木造大スパン構造44
木造大スパン構造の接合部
木造大スパン構造のいろいろ
木造大スパンの可能性—ハイブリッド構造
 コーヒーブレーク

III コンクリート系の構造システム

- 7 補強コンクリートブロック構造50
 コーヒーブレーク
- 8 型枠コンクリートブロック構造51
- 9 壁式鉄筋コンクリート構造52
耐力壁の壁量と壁の厚さ
耐力壁の配筋の原理
耐力壁の鉄筋の名称と役割
壁梁・基礎梁・基礎
 コーヒーブレーク
- 10 鉄筋コンクリートラーメン構造56
単純梁の応力と初期の鉄筋コンクリート梁
鉄筋の配し方の原理
梁の鉄筋の名称と役割
柱の鉄筋の名称と役割

- コーヒーブレーク
- 11 鉄骨鉄筋コンクリートラーメン構造60
鉄骨鉄筋コンクリート梁のタイプ
鉄骨鉄筋コンクリート柱のタイプ
柱・梁接合部と柱脚
 コーヒーブレーク
 - 12 鉄筋コンクリートシェル構造64
シェル構造のいろいろ
 コーヒーブレーク
 - 13 鉄筋コンクリート折板構造66
折板構造のいろいろ
 - 14 プレキャストコンクリート構造68
大型パネル工法の構造計画
大型パネル構造の応力の流れ
大型パネルの接合部の種類
 コーヒーブレーク
 - 15 プレストレストコンクリート構造72
プレストレストコンクリートの工法
プレストレストコンクリートの応用
無柱空間と耐久性を期待した事例
 コーヒーブレーク

IV 鋼材系の構造システム

- 16 軽量鉄骨系プレハブ構造78
軽量鉄骨の種類と構造原理
軽量鉄骨を用いた一般構法
軽量鉄骨系プレハブ構造の主体構法
各部構法 (屋根・外壁)
 コーヒーブレーク
- 17 鉄骨ラーメン構造82
柱・梁の接合部
柱・梁の断面形
柱・梁の座屈
鉄骨造の接合法
 コーヒーブレーク
- 18 鉄骨平面トラス構造86
平面トラスの構造原理

- 平面トラスのタイプ
- 19 鉄骨立体トラス構造 (スペースフレーム構造)88
立体トラスの接合法
 - 20 ケーブル構造 (吊り構造)90
1 方向吊り屋根の特性
2 方向吊り屋根の特性
放射式吊り屋根の特性
ビーム式吊り屋根の特性
複合式吊り屋根の特性
吊り床の特性

V 膜材系の構造システム

- 21 テント構造 (膜構造)96
吊り膜方式の特性
ケーブル膜方式の特性
骨組膜方式の特性
 コーヒーブレーク
- 22 空気膜構造 (ニューマチック構造)98
空気支持膜構造の特性
空気膨張膜構造の特性
 コーヒーブレーク

VI 建物を支える構造システム

- 23 基礎と地盤102
地盤を調べる
建物を支える二つの方法
地盤を掘削する工法
地盤を不安定にする地下水の作用
- 24 制振 (制震) 構造と免震構造106
制振 (制震) 構造の原理と特徴
免震構造の原理と特徴
 コーヒーブレーク

用語解説109

あとがき112

2 軸組木構造(木造伝統構法)

TIMBER FRAMED STRUCTURES

キーワード

基礎 亀腹 礎石 礎盤 足固め貫 地覆 頭貫 長押
地長押 縁長押 内法長押 差鴨居 梁 組物 斗拱 肘木
虹梁 扱首(合掌) 丸桁 飛檐垂木 地垂木 野小屋 枯木

■日本では、建築は常に木造によって建てられ、その技術は、自らの蓄積と海外からの技術導入によって精緻に整備された。海外からの最初の影響は、飛鳥・奈良時代に仏教とともに伝えられた大陸の建築である。

それ以前の建築が、掘立柱、素木、直線材、茅や檜皮といった自然の材料による屋根など、素朴で明快な意匠であるのに対して、大陸伝来の建築は、基礎の上に礎石立ての柱、極彩色、曲線の多用、瓦葺きの屋根と、大自然に対して人間がなし得た偉業を謳歌するものであった。

■平安時代の後半、大陸との交流が途絶えると、野小屋による

穏やかな屋根の曲線、外部と内部の中間に位置する縁など、自然を友とする、建築の国風化がなされた。

鎌倉時代には、大仏様、禅宗様が大陸から移入された。大仏様は、部材の規格化、貫の多用による構造の強化など大規模建築を造るのにふさわしい技術をもたらした。禅宗様は、詰組など、繊細で濃密な意匠をもたらした。一方、従来の技術も和様として整備された。

近世になると建築の種類は多様化し、城郭建築などの大規模な建築を短期間に完成させる必要から、丁場分け(ジョイント・ベンチャー)などの生産システムの合理化がなされた。



写真-1 復原・足利学校庫裡

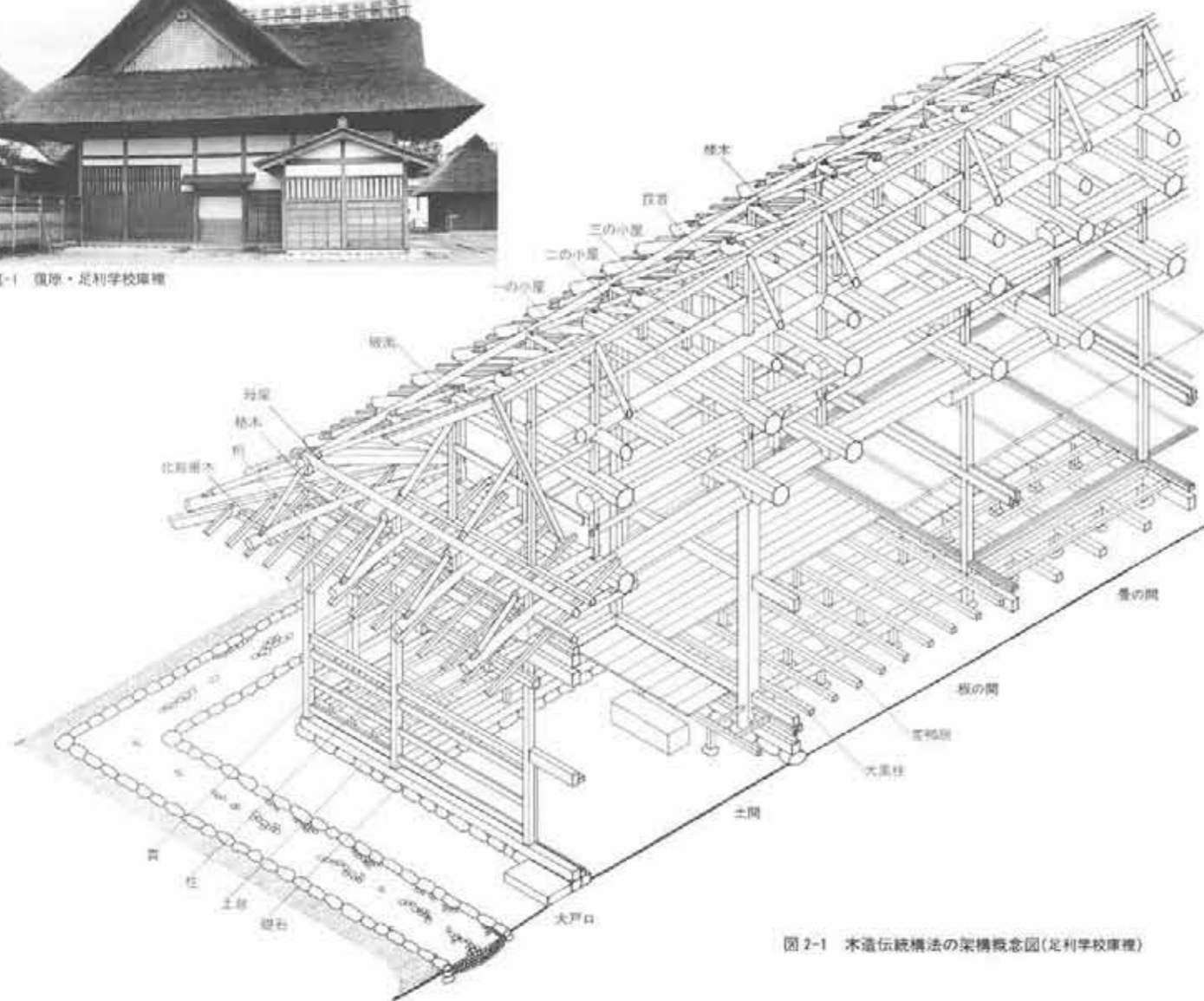


図2-1 木造伝統構法の架構概念図(足利学校庫裡)

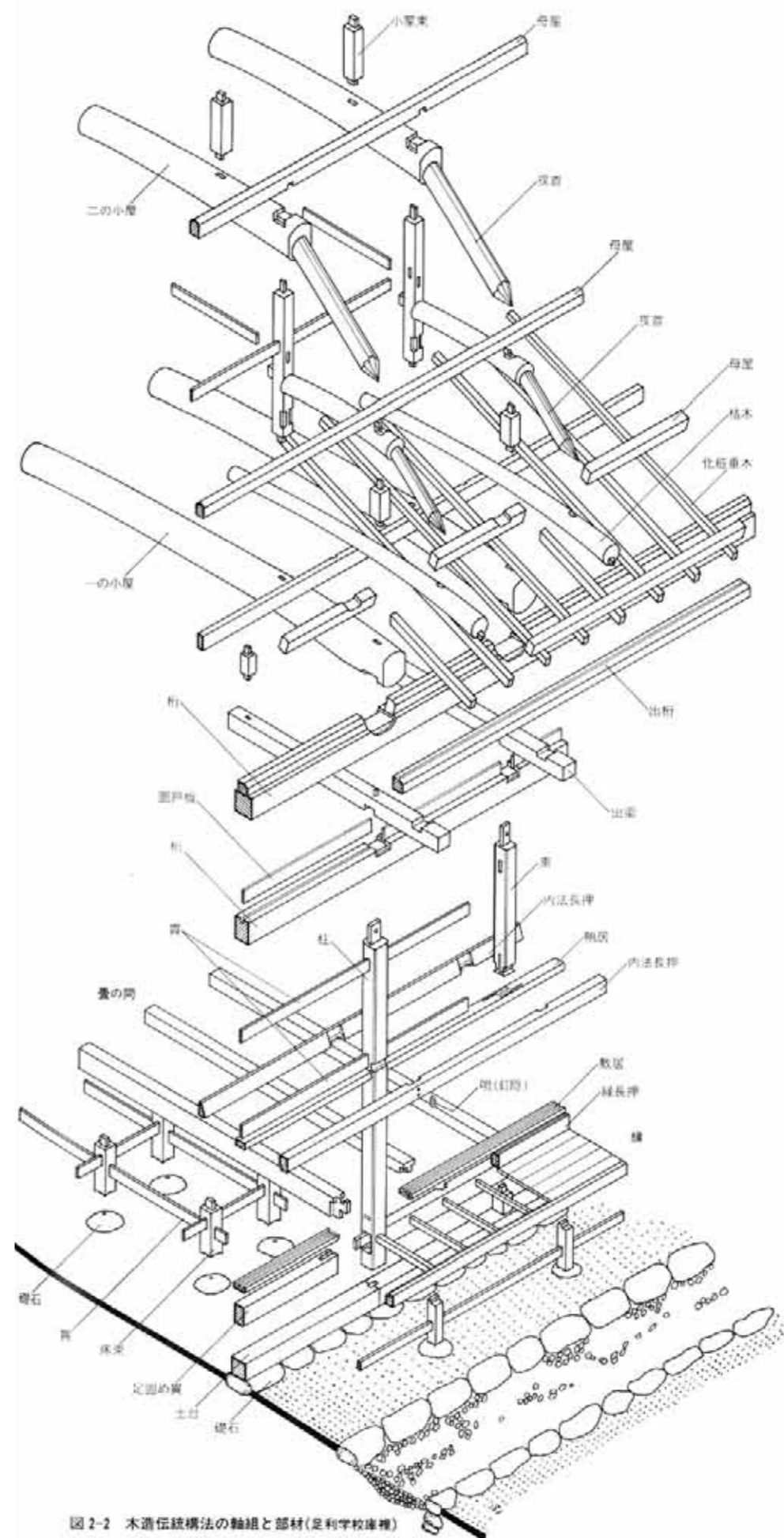


図2-2 木造伝統構法の軸組と部材(足利学校庫裡)

軸組と屋根の構造

■図2-1、図2-2とも、江戸時代中期の足利学校庫裡を、当時の構法にならって復原した図である。入母屋造、茅葺きの大規模な建物である。

図2-1に示すように、妻側の大戸口を入るとかまどのある土間があり、板の間が狭く。土間と板の間の境には大黒柱が立つ。板の間の奥には畳の間が並ぶ。

図2-2は、畳の間とその外に付く縁の組立の様相を示している。

■軸組

自然石の礎石を並べ柱を立てる。側柱(外周の柱)は、土台をすえた上に立てている。土間まわりの軸部(図2-1)は、貫と差鴨居で固められ、桁がのる。

一般の敷居・鴨居は、力学的に重要でない造作材であるが、差鴨居・差敷居は大断面の材木を柱に柄差しとするため、構造上軸部を固めるのに有効である。

畳の間まわりの軸部(図2-2)は、足固め貫・縁長押(雨戸の敷居を兼ねる)・内法長押(雨戸の鴨居を兼ねる)・貫・桁で固められている。

長押は化粧材と思われがただが、柱に大きな釘止め(釘の頭を隠すために六葉・眼などの釘隠を打つ)、軸部を固める働きをする。

日本建築の場合、特殊な建築(江戸地震の間・火の見櫓など)を除くと、筋違を用いることは少ない。障子や襖など開口部が多く、壁の少ない日本建築にあって、軸部の剛性を保っているのは、足固め貫、差鴨居など柱と仕口で結ばれた大断面の横材である。

一方、木造在来構法では、土台のすぐ上に床がくるため、足固め貫が採用できず、剛性を壁量に頼っている。

■屋根の構造

この建物の屋根は茅葺きである。小屋は一の小室、二の小室、三の小室と3段に丸太を組む。さらに、屋根勾配に合わせて丸太の扱首(合掌)を組み、屋中竹や垂木竹を縄網の目のように縛り、束ねた茅を下から順に葺く。

軒は、せかい造(出梁出桁)と呼ばれる格式のある構法によっている。出梁を突き出させ、出桁をのせ、さらに化粧垂木を出し、軒天井を設ける。

このように大きく跳ね出した屋根の場合、軒先にかかる荷重は大きく、枯木を必要とする。枯木は、軒裏の見えないところで天枓のような働きをし、軒先を跳ね上げる。

6 木造大スパン構造

TIMBER LONG SPAN STRUCTURES

■木造の構造システムにはさまざまな種類があるが、その鍵となるのは構造部材と接合部である。この二つの組合せから多くの架構が生み出され、内部空間から要求される広さや高さ、また空間のイメージにより選択されていく。

これらの架構形式は、大きく平面トラス(plane truss)形式とそれ以外の形式に分けることができる。

平面トラスとは、木材を同一面上で組み合わせて一つの複合梁を構成するもので、山形トラス(gable roof truss)や平行弦トラス(parallel chord truss)はその代表的なものである。

山形トラスは、部材を三角形に組み合わせ、その集合体をつくり、全体も三角形の形、一方の平行弦トラスは、一對の平行な部材の間を垂直材や斜材でつないだ形となる。

これらのトラスでは、部材に曲げ応力がほとんど生じないので、細い部材で構成することができ、また自重も軽いといった特徴がある。

キーワード

立体トラス スペースフレーム アーチ 3ピンアーチ
シェル ドーム ハイブリッドテンション ラチス 集成材
ボルト接合 引張りボルト 剪断ボルト ジベル接合 車知
剛接合 ピン接合 膜応力 スラストカ

このような平面トラス構造(⇒SS-18)から、さらに自由な形で大空間をおおう構造システムとして、立体トラス(space truss)(⇒SS-19)、アーチやシェル(⇒SS-12)、ドーム、さらにハイブリッド・テンション(hybrid tension)(⇒SS-20)といったより軽快な架構がある。

スチールの金物やピンなどの接合部材と集成材などの木材を効果的かつ立体的に組み合わせて、大空間を実現するために考えられた架構が、これである。

■こうした架構は、鉄骨造と同様の構成でありながら、木材という自然素材の豊かさとあいまって、独自の空間表現が可能となる。

さらに、木材とスチールのそれぞれの材料特性を最大限に生かそうとする構造システムは、今後ますます多様な手法開発が期待される構造である。

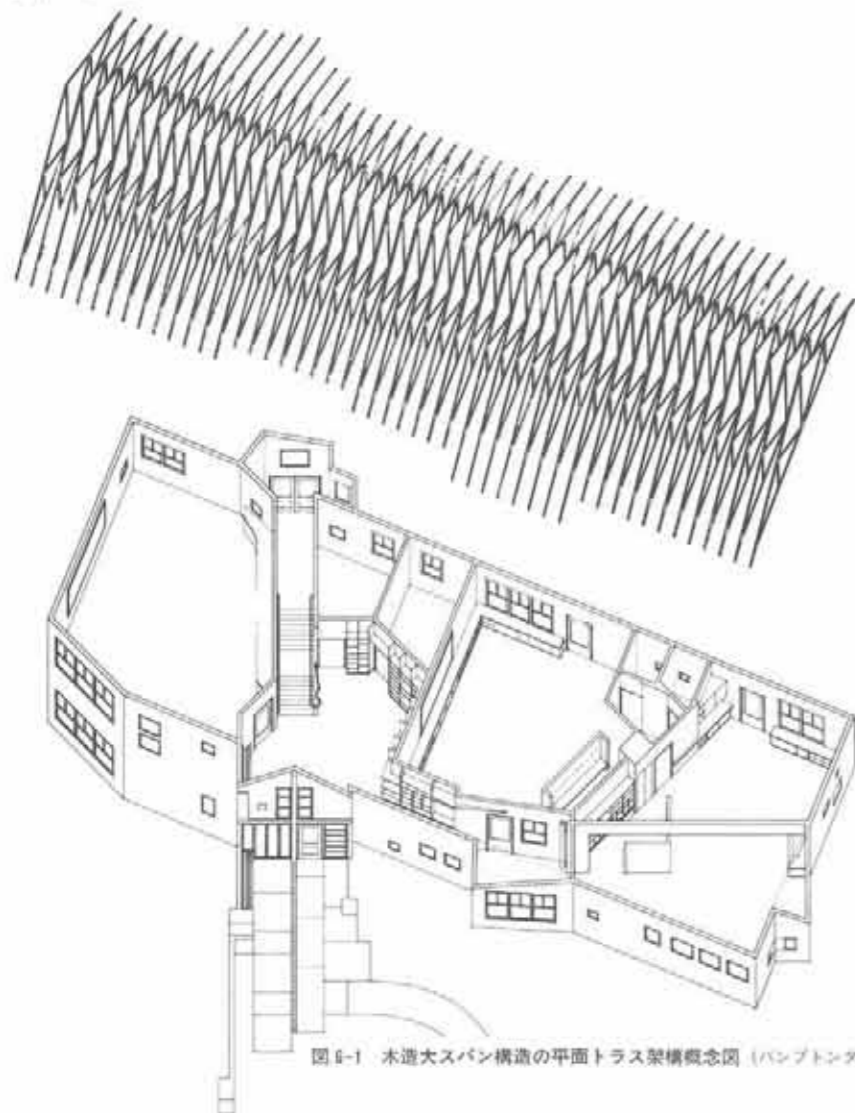


図 6-1 木造大スパン構造の平面トラス架構概念図 (パンプトンタウンシップの女学校 Bahin Cywinski Jackson, Architects アメリカ)



全景



内部部

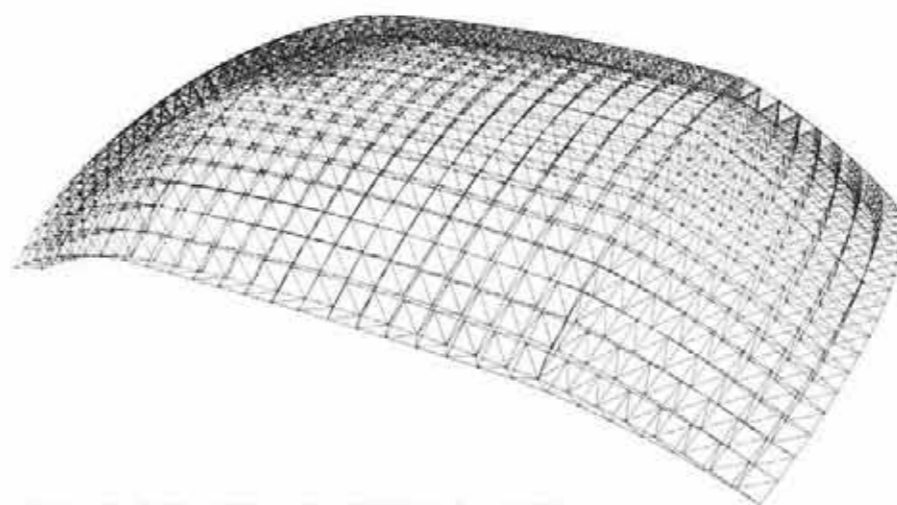


図 6-2 トラスシステムのCG (小国町歴史館: 藤デザイン事務所)

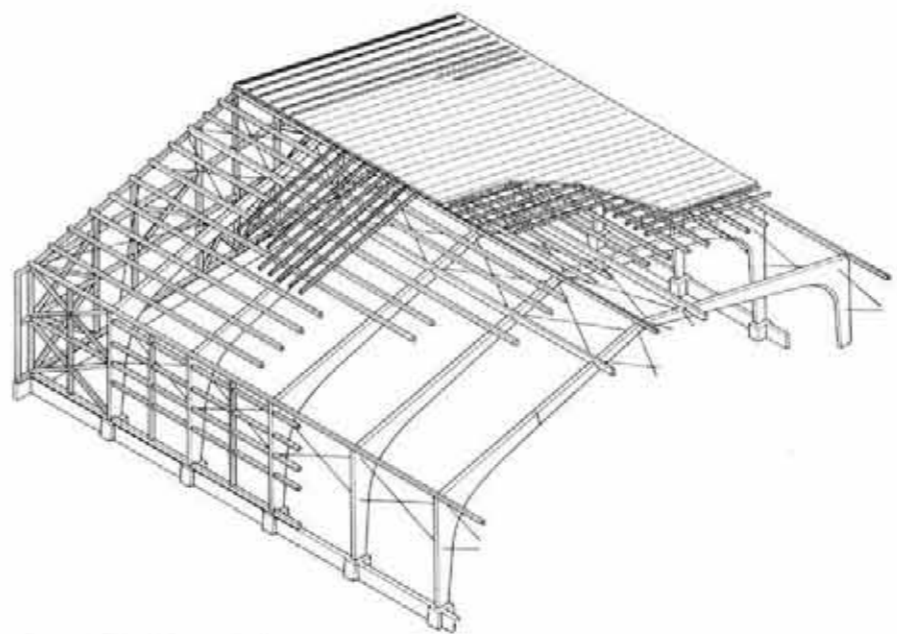


図 6-3 集成材架構の3ピン式アーチ

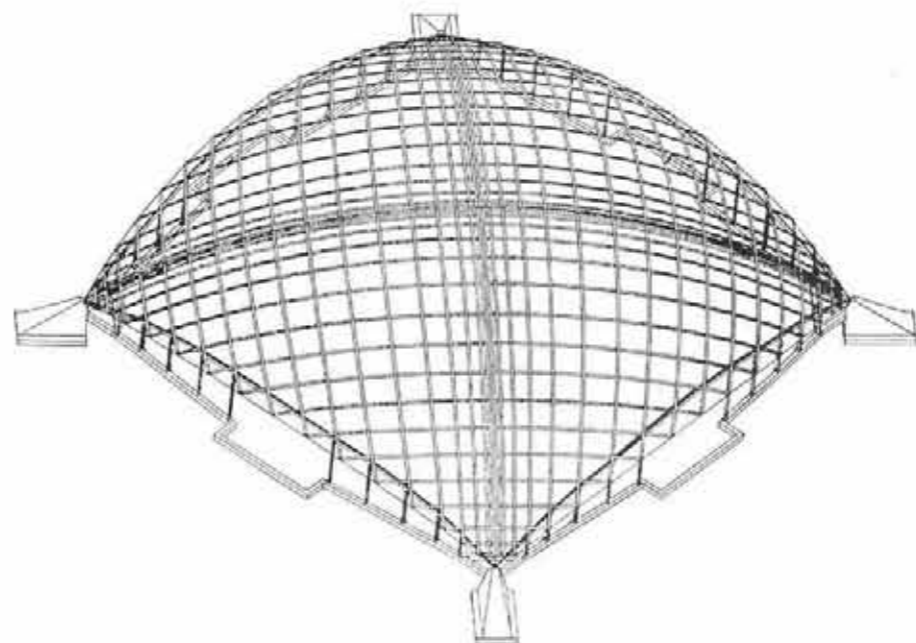


図 6-4 シェル架構 (ローザンタ工科大学: Dan Badic & Assoc. スイス)

木造大スパン構造の接合部

■限られた寸法の部材を組み合わせて骨組をつくるため、木造建築には必然的に接合部がある。木造建築の設計、とりわけ大スパンになるほど、接合部をいかにつくるかが大きなポイントとなる。

一般の木造建築では、木材を加工し、部材同士を継手・仕口により接合する機会が多いが、大スパン構造では、大断面の木材や集成材をボルト、ジベルおよび金物を用いた接合を行うのが一般的である。

鉄骨造と違って木材と接合具の間にはガタやゆりみが生じる可能性が多い。また、ガタがない場合でも、荷重がかかってくる段階で、木材へのめり込みに伴うすべりを生じるので、設計の際にはこのことを考慮することが必要になる。

また、部材の収縮などによって、接合部に木材の繊維と直角方向の力が加わることが想定される場合は、木材に割れを生じないようにすることが重要である。この場合の工夫としては、ボルト穴に適当な遊びを設ける方法がある。

これらのことは、木材が異方性を示す材料であり、他の構造における接合部とは異なった挙動が起ることを示している。これが木造の重要な点である。

また、柱脚部などに雨水や結露水などの水分が停滞すると、木材の耐久性を損なう恐れがあるので、こうした接合部まわりの処理にも十分な配慮が必要である。

■ボルト接合

木造用ボルトは、ボルトに加わる力により、引張りボルトと曲げボルトに大別される。引張りボルトは、座金が木材にめり込むことにより、引張りに抵抗させる接合である。このため、所定の寸法の座金を用いたり、木材のめり込みが生じるときには、座金の下に堅木敷板を用いたりする。曲げ(剪断)ボルトは、木材と木材、あるいは木材と鋼板等に開けた穴にボルトを挿入して、部材間の剪断力に抵抗させる接合である。

木造では、次のような二面剪断ボルト接合がよく用いられる。木材を両側とする接合部、鋼板を添え板とする接合部、主材の切込みに鋼板を挿入した接合部などである。

■ジベル接合

ジベル接合は、木材と木材、木材と鋼材の接合面に、堅木もしくは金属性の一種の車知を挿入する接合である。一般にはボルトを併用して、剪断力に抵抗させる。接合方式により彫込みジベルと圧入ジベルの二種がある。

前者は、木材の彫込み部にジベルを挿入し、ボルトで締め付ける接合である。後者は、彫

9 壁式鉄筋コンクリート構造

REINFORCED CONCRETE BOX FRAME STRUCTURES

キーワード

壁式構造 耐力壁 (耐震壁) 壁梁 小梁 床スラブ
 屋根スラブ 連続フーチング基礎 (布基礎) 基礎梁
 剪断補強筋 曲げ補強筋 隅角部補強筋 斜め補強筋
 縦筋 横筋 上端筋 下端筋 あばら筋 複配筋 単配筋
 壁厚 壁量 壁率 開口部 片持ちスラブ

■鉄筋コンクリート (一般に RC と略称する) 造の耐力壁、壁梁、スラブで構成される構造システムである (図 9-1)。

■RC ラーメン構造 (→ SS-10) のような柱や梁の凹凸がないために、型枠工事や仕上げ工事が簡単になり屋内空間をすみずみまで有効に利用できるなど、施工上や機能上の利点をもつ。柱や梁の骨組よりも変形しにくく (剛性が高く)、地震力などの水平荷重に対して強い抵抗力をもっている。

■原則として、規模は地上 5 階以下、軒高 16 m 以下、各階の階高 3 m (最上階は 3.3 m) 以下の建物に限られている。国土交通省告示 (平成 13 年) の階高の規定は、階高 3.5 m 以下、軒高 20 m 以下に緩和された (層間変形角が 1/2,000 以内および保有水平耐力の検討を行った場合は適用しない)。平面の形が不整形で、捻れの心配がある建物には用いないほうがよい。開口部のとり方にも制約があり、増改築のときに壁の取壊しや位置の変更がむずかしい、などの難点がある。

■この構造システムが適用している建物は、部屋の面積が小さく

(間仕切り壁が多く) 開口部が比較的少ないものや積載荷重の小さなもので、RC 造の住宅や 5 階以下の共同住宅のほとんどが壁式構造で建てられている。

■標準的なスパンは、平面が矩形に近く、耐力壁が約合いよく配置された場合で、4~7 m を目安とする。

■設計にあたっては、次の点に配慮する必要がある。

- 1) 基準値 (表 9-1、表 9-2) 以上の十分な壁量と壁厚をとる
- 2) 地震時に建物に振じれが生じないように耐力壁は平面上約合いよく配置する
- 3) 耐力壁の上部は壁梁でつないで耐力壁相互の一体性を保つ
- 4) 上下階の耐力壁は連続するように配置する
- 5) 建物のコーナー部には直角に交わる耐力壁を設ける
- 6) RC の床スラブや屋根スラブで架構全体を一体化して立体的剛性を高める
- 7) 最下階耐力壁の下部は剛性の高い基礎梁でつなぎ、安定した連続フーチング基礎 (布基礎) で支持する

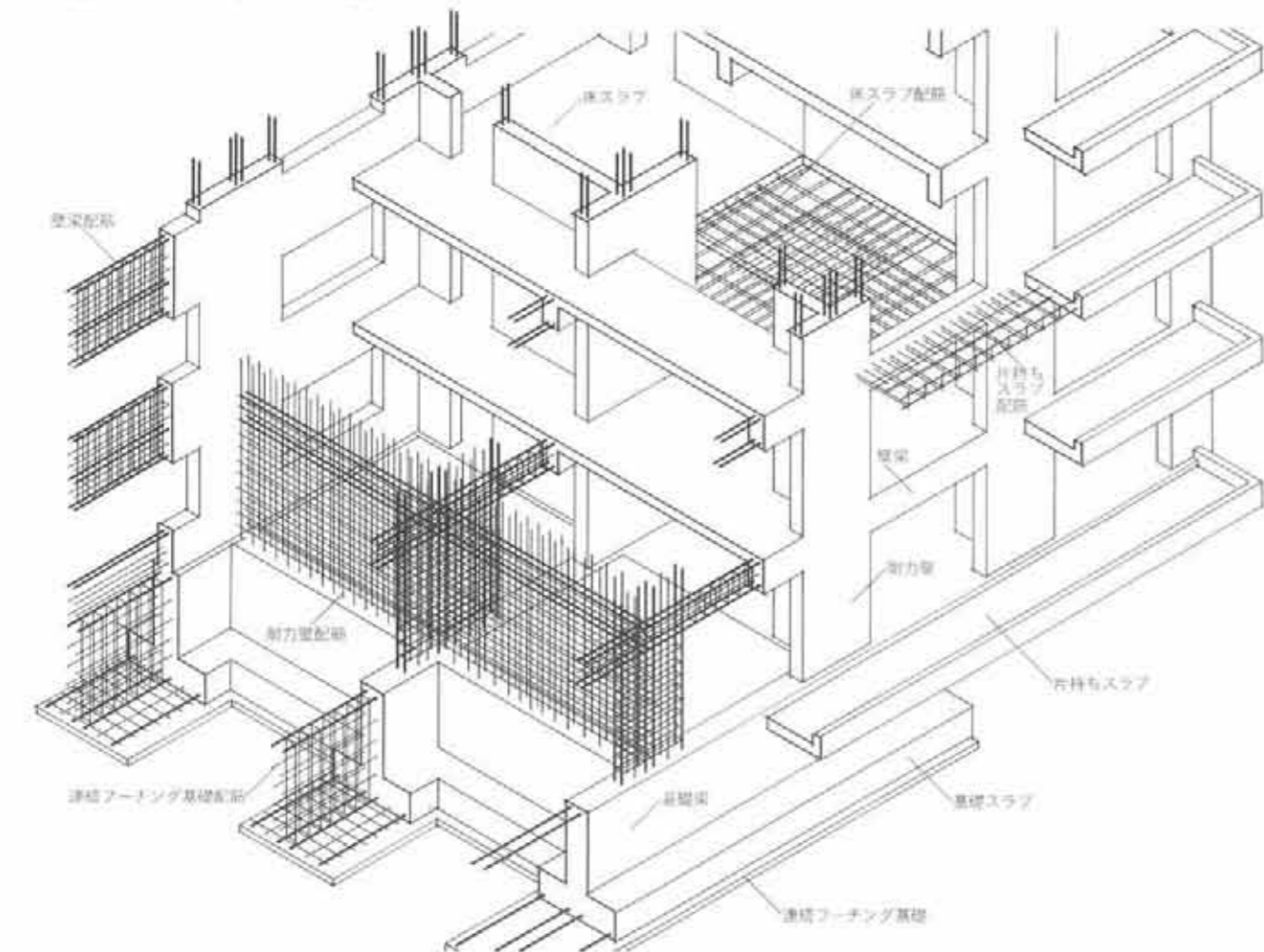


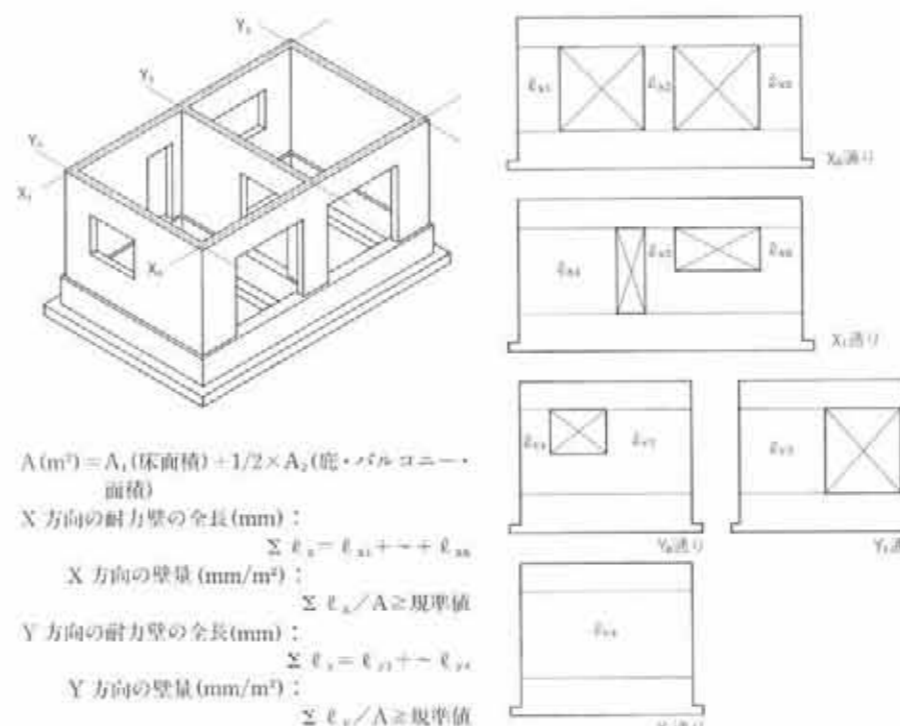
図 9-1 壁式鉄筋コンクリート構造の架構概念図

階		壁量 (mm/m ²)
地上階	平屋、最上階から数えて 3 つめの階以上の階	120
	最上階から数えて 4 つめの階以下の階	150
地下階		200

表 9-1 耐力壁の最小壁量 (参考/日本建築学会: 壁構造関係設計規準)

階	壁の厚さ t_w (mm)	備考	
地上階	平屋	120 かつ $h/25$	h : 構造耐力上主要な鉛直支点間の距離 (mm)
	2 階建の各階	150 かつ $h/22$	
	3, 4, 5 階建の最上階	150 かつ $h/22$	
その他の階	180 かつ $h/22$		
地下階	180 かつ $h/18$		

表 9-2 耐力壁の最小厚さ (参考/日本建築学会: 壁構造関係設計規準)



$$A (m^2) = A_1 (\text{床面積}) + 1/2 \times A_2 (\text{庇・バルコニー面積})$$

X 方向の耐力壁の全長 (mm): $\sum \ell_x = \ell_{x1} + \dots + \ell_{xn}$

$$X \text{ 方向の壁量 (mm/m}^2\text{)}: \sum \ell_x / A \geq \text{規準値}$$

Y 方向の耐力壁の全長 (mm): $\sum \ell_y = \ell_{y1} + \dots + \ell_{yn}$

$$Y \text{ 方向の壁量 (mm/m}^2\text{)}: \sum \ell_y / A \geq \text{規準値}$$

図 9-2 壁量の算出 (耐力壁の架構図と断面図)

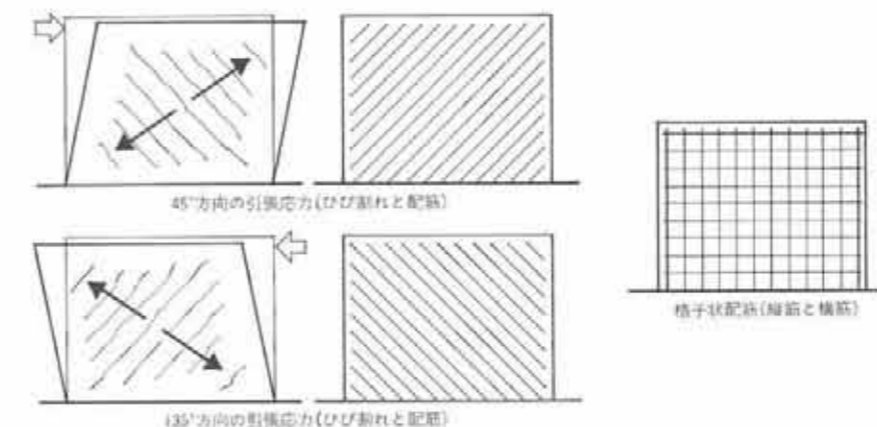


図 9-3 耐力壁の配筋の原理

耐力壁の壁量と壁の厚さ

■壁量とは、梁間 (X 方向) と桁行 (Y 方向) それぞれの方向の耐力壁の水平面方向の長さの合計 $\sum \ell_x$ (mm)、 $\sum \ell_y$ (mm) を、その階の床面積 A (m²) で割った値をいう。なお、上の階にバルコニーや連続した庇がある場合は、その面積の半分を床面積に加算する。

■壁量は階数と高さに応じて最小値 (表 9-1) が定められ、この規準値以上の壁量を保つように設計しなければならない。

たとえば、床面積 70 m²、庇面積 10 m² の平屋の場合、梁間・桁行それぞれの方向の耐力壁の水平方向の長さの合計は、

$$(70 + 10/2) m^2 \times 120 \text{ mm/m}^2 = 9,000 \text{ mm}$$

以上必要になる (図 9-2)。

■壁量に含めることができる耐力壁は、水平面の長さ l が 450 mm 以上で、かつその部分の壁の高さ (h) の 30% 以上ある場合に限られている。

長さが高さのわりに小さい (縦に細長い) 壁は、構造特性が柱に近いので曲げ変形の可能性があり、有効な耐力壁とはならないからである。

■耐力壁の厚さは、規準値 (表 9-2) に示す数値も以上とするが、一般階の内壁は 180 mm 以上、外壁は 200 mm 以上とするのが望ましい。

■地下階の場合、規準値では 180 mm 以上、片面が土に接する部分は、普通コンクリートを用いる場合 190 mm 以上、1 種・2 種軽量コンクリートでは 200 mm 以上と規定されている。

しかし、外壁は圧圧や水圧を受ける場合が多く、また曲げ補強筋の径やかぶり厚さなどを考慮すると、普通コンクリートでも、外壁 210 mm 以上、内壁 200 mm 以上とするのが望ましい。

耐力壁の配筋の原理

■建物に地震力のような水平方向の力 (水平荷重) が働くと、ラーメン構造の柱と梁には主として曲げ応力が生じるのに対して、壁式構造の耐力壁には面内剪断応力が生じる (耐力壁の面内方向に水平荷重が働く場合)。

■この面内剪断応力は、垂直方向に対しおおよそ 45 度あるいは 135 度方向に引張応力 (斜張力) として働き、引張りに弱いコンクリートの耐力壁は斜め (引張力の主応力方向と直角方向) に剪断ひび割れを起こす (図 9-3)。そのため、耐力壁の強度や剛性が低下するので、縦横方向に格子状に剪断補強筋 (図 9-4) を入れて、ひび割れの発生と進行を防ぐ。

12 鉄筋コンクリートシェル構造

REINFORCED CONCRETE SHELL STRUCTURES

キーワード

シェル 膜応力 曲率 曲率半径 推進面 回転面 線織面
母線 剛性 曲げ剛性 圧縮帯 拘束作用 補剛効果 圧力線
アーチ作用 カテナリー作用 梁作用

■鳥の卵や蛤は薄い殻でおおわれているだけで、骨のような支えがなくても自立する。そして、動植物の中身を保護している殻の形のほとんどが曲面で、力の集まるところの曲面の曲りぐあい（曲率）が大きいことは、経験的に誰でも知っている。

シェル（Shell、貝殻）構造は、自然のつくりだす形と力の関係の原理を応用した構造システムである（図12-1）。

■薄い曲面の一部に集中して力を加えると変形したり壊れたりするが、全体に均等な力を加えると曲面は大きな抵抗力をもつ。つまり、局所的な荷重による曲げ応力や剪断応力には弱い、曲面全体に均一に広がる荷重に対しては圧縮応力や引張応力により強く抵抗する、という力学的特性をもっている。

このように、シェル面の中立軸にそって圧縮応力や引張応力が主応力として作用し、曲げ応力や剪断応力は二次的な応力となる。この応力状態を「膜応力」といい、テント構造（⇒SS-21）や空気膜構造（⇒SS-22）は、圧縮応力や曲げ応力のない

膜応力の作用する構造システムである。また、膜応力の大きさは曲面の曲率半径に比例しているため、動植物の殻と同じように、シェル面の曲率が大きいほど有利になる。

■シェル構造は、曲面の形と力の流れ方の違いにより、次の五つのタイプ（図12-2）に分類される。

- 1) 筒形シェル (long shell)：任意の曲線を直線の（母線）にそって平行移動させたスパン方向に長いシェル
- 2) 筒形シェル (short shell)：任意の曲線を直線の（母線）に沿って平行移動させた横断面方向に長いシェル
- 3) 球形シェル (spherical shell)：任意の曲線を1本の軸のまわりに回転させたドーム状のシェル
- 4) 鞍形シェル (hyperbolic paraboloidal shell)：平行の直線群が互いに振れてできた鞍形状のシェル
- 5) 自由曲面シェル：幾何学的な形態によらない曲率の変化する自由な曲面を用いたシェル



図12-1 架構概念図 写真12-1 アルハシラスの市場 構造：E. トロバ スペイン 1933年（写真：松江泰治）

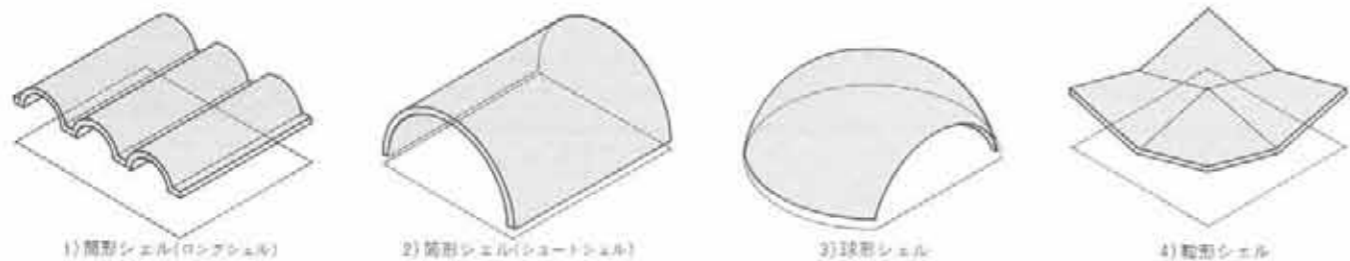


図12-2 鉄筋コンクリートシェル構造のタイプ

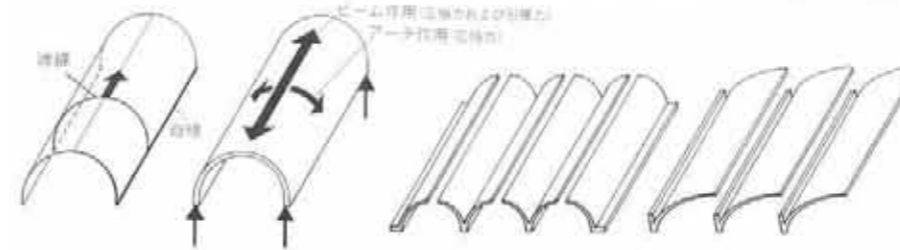


図12-3 ロングシェルの形と単純化された力の流れ方

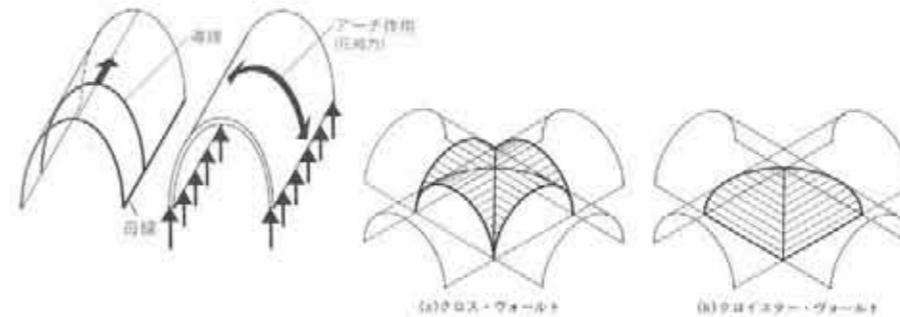


図12-4 ショートシェルの形と単純化された力の流れ方

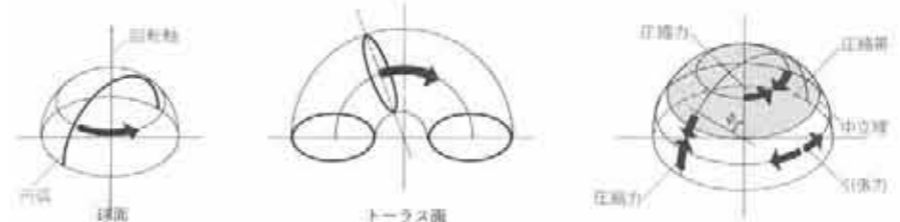


図12-5 球形シェルの形と単純化された力の流れ方

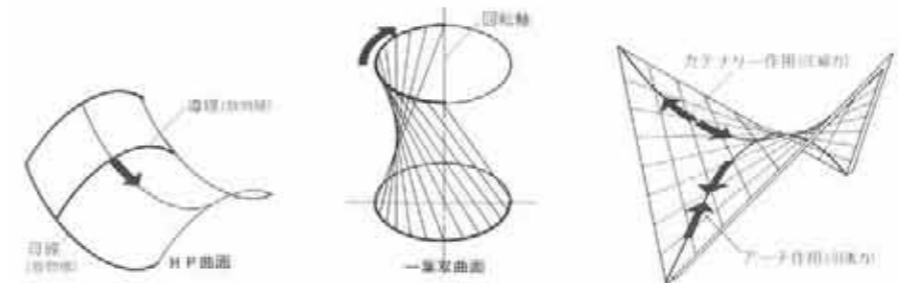


図12-6 鞍形(HP)シェルの形と単純化された力の流れ方

参考文献

1) 井井善昭・田中義吉・東武史共著「空間と構造フォーム」 建築知蔵社 1980年

シェル構造のいろいろ

■ロングシェル（筒形シェル、図12-3）
横断面の形は円弧が多く、スパン中央付近は頂部に圧縮力、下部に引張力が作用する曲面板状の梁として働く。シェル面の自由端は変形しやすく大きな応力を受けるので、その部分の厚みを増すか、垂直板、水平板、傾斜板などのリブを設けて補剛する。シェルを円弧方向に連続させ、工場や体育館などの細長い平面をおおう事例が多い。

■ショートシェル（筒形シェル、図12-4）
横断面方向に圧縮力の作用するヴォールト（vault）として働き、横断面の形は円弧よりも圧力線に近い放物線や圧力線と一致する懸垂線が合理的である。筒形シェルを相貫したクロスヴォールトやクロイスターヴォールトでは円弧断面が多い。正三角形、正方形、正六角形などの平面形をおおうのに適し、隣接するシェル相互の拘束作用や交差部アーチの補剛効果により、架構全体の剛性は極めて高い。

■球形シェル（ドームシェル、図12-5）
回転軸を中心をもつ円弧で構成。経線方向には圧縮力のみが働き、荷重はアーチ作用で下部に伝えられ、緯線方向は上部に圧縮力、下部に引張力が作用する。RCシェルでは圧縮応力のみが作用する圧縮帯を用いるのが有利である。

■鞍形シェル（HPシェル、図12-6）
鉛直面内の下向きに開いた放物線を、上向きに開いた放物線上で平行移動させた双曲放物面をHP曲面という。アーチ作用（圧縮力）とカテナリー作用（引張力）により荷重を伝える。

■自由曲面シェル
逆さ吊り模型による曲面（引張力のみで釣り合った形）を上下逆にすると、圧縮力のみが作用するシェルができる。幾何学的曲面によらない自然な形をしたシェルが可能で、あらゆる平面形をおおうこともできる。

☐コーヒープレーク RC シェルの先駆者

■1920年代、鉄筋コンクリート造を組構造の延長として捉えていた当時の建築家や構造技術者たちの中で、鉄筋コンクリートの特性を理解して平面板や曲面の可能性を追い求めた構造技術者がいた。軽やかなアーチ構造を数多く築いたスイスのR. マイヤール（1872-1940）である。

■スイス博覧会（1939）のセメント館は、彼が橋梁設計で蓄積したノウハウが随所に生かされ、新素材の鉄筋コンクリートの極めて高い可能性を世に訴えた。



スイス博覧会セメント館（1939年）

■スパンは約20m、厚さわずか8cmのヴォールト状の曲面板は、2列のアーチ状のリブ、リブに連続したブリッジ、シェル基部に張り出したバルコニー、などで補剛さ



れ、大粒な鉄筋コンクリート板として安定を保っていた。
■S. ギーディオンはこれを「写し上げる」とする卵の気球のよう」と評した。

19 鉄骨立体トラス構造 (スペースフレーム構造)

STEEL SPACE TRUSS STRUCTURES

キーワード

立体トラス 四角錐 三角錐 節点 格子 三次元 弦材
斜材 丸パイプ材(鋼管) L形鋼 H形鋼 ボールジョイント
ハイテンボルト(高張力ボルト) スペースフレーム ドーム
円筒シェル HP シェル

■立体トラス(Space Truss)とは、直交して格子をなす2方向のトラス、あるいは正3角形グリッド(斜め格子)をなす3方向のトラスが、斜めの材(ウェブ材)を共有する形に組み立てられた構造システムである。

■立体トラスは平面トラスの単純な組み合わせではない、ということに注意しなければならない。それぞれの方向のトラスの上弦材は一つの平面内でグリッドを作っているが、この面を上構造の面という意味で上構面と呼ぶ。同じように下弦材がつくる平面グリッドを下構面と呼ぶ。上構面と下構面とは当然平行している。この状態で上構面と下構面のグリッドの交点が上下にピッタリ重なってれば「平面トラスの単純な組合せ」になる。立体トラスでは上構面と下構面のグリッドを、いわば半駒ずらし、そのずれた上構面の交点と下構面の交点を斜めの材で結ぶ。この操作によって材の構成が(したがって力の流れが)三次元的になり、「立体」トラスになるのである(図19-1)。

■節点に荷重が加わると、力は弦材や斜材の引張応力や圧縮応力として伝達される。力が弦材方向だけでなく、斜材を通じて斜め方向に、つまり一つの面内を出て三次元的にも伝わるのが立体トラスの特徴である。

したがって立体トラスは、梁として線的に働く平面トラスとは対照的に、全体としてスラブのような面として働く。

■立体トラスは、通常、広い面積をおおう屋根などに使われる。平面的な立体トラスで数十m角、曲面にすると直径200mくらいの面積をおおうことができる。

■立体トラスの最大の難点は、節点の接合が立体的になり、したがって複雑になることである。このような接合部分を鋼板を組み立ててつくるのはなかなかむずかしい。

最近では、機械式接合用のボールジョイントや、節点の形に合わせてパイプを自動的に切り出す技術が発達してきたので、丸パイプ材の立体トラスは比較的容易につくることができる。

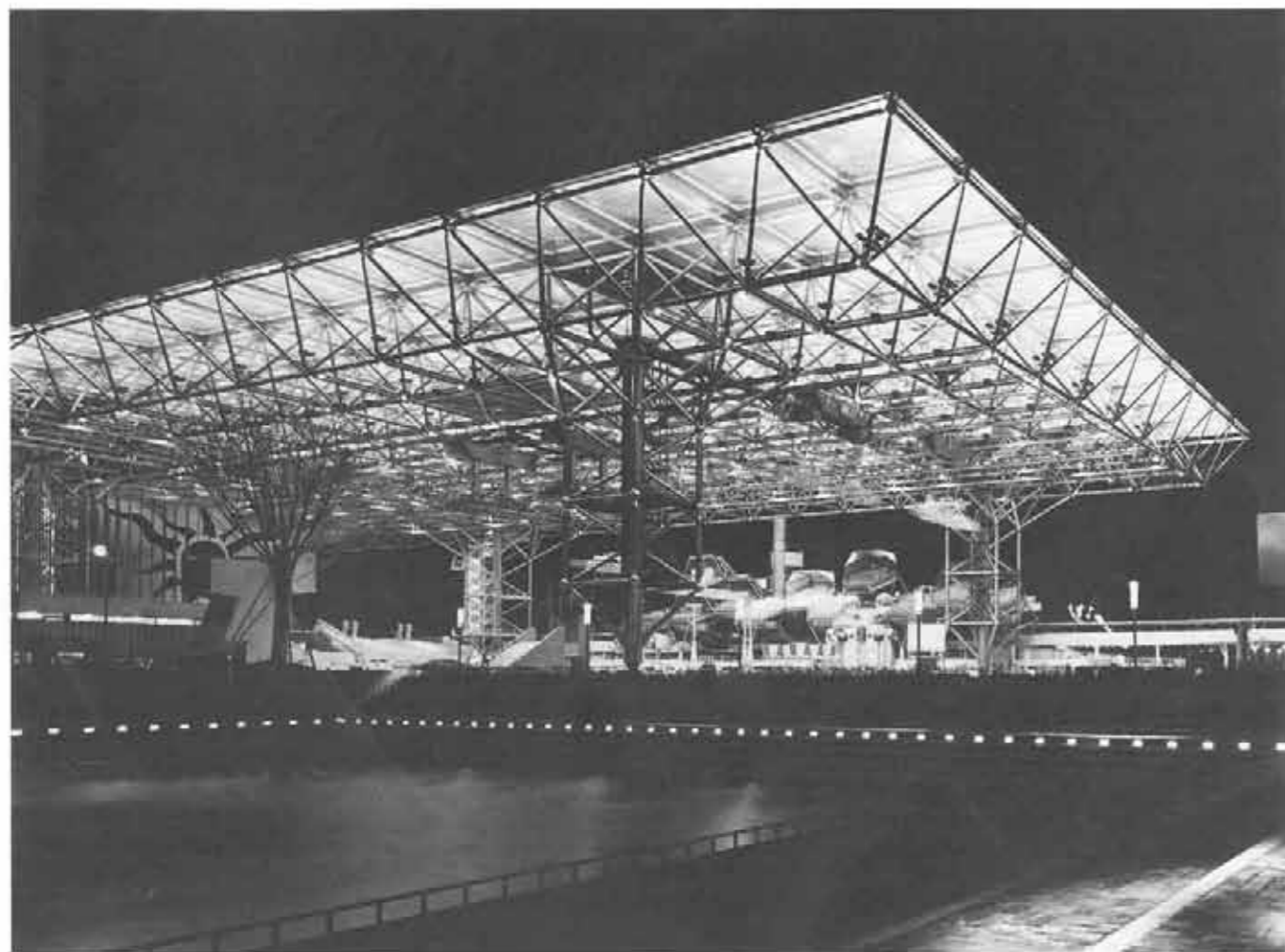


写真19-1 日本万国博覧会お祭り広場の大屋根 設計:丹下健三 構造:坪井善勝 日本 1970年

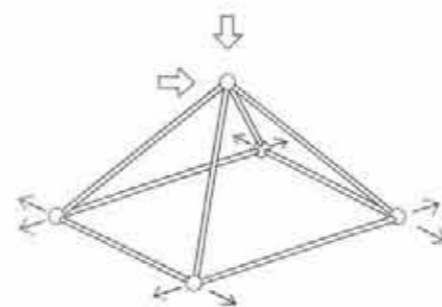


図19-1 立体トラスの原理

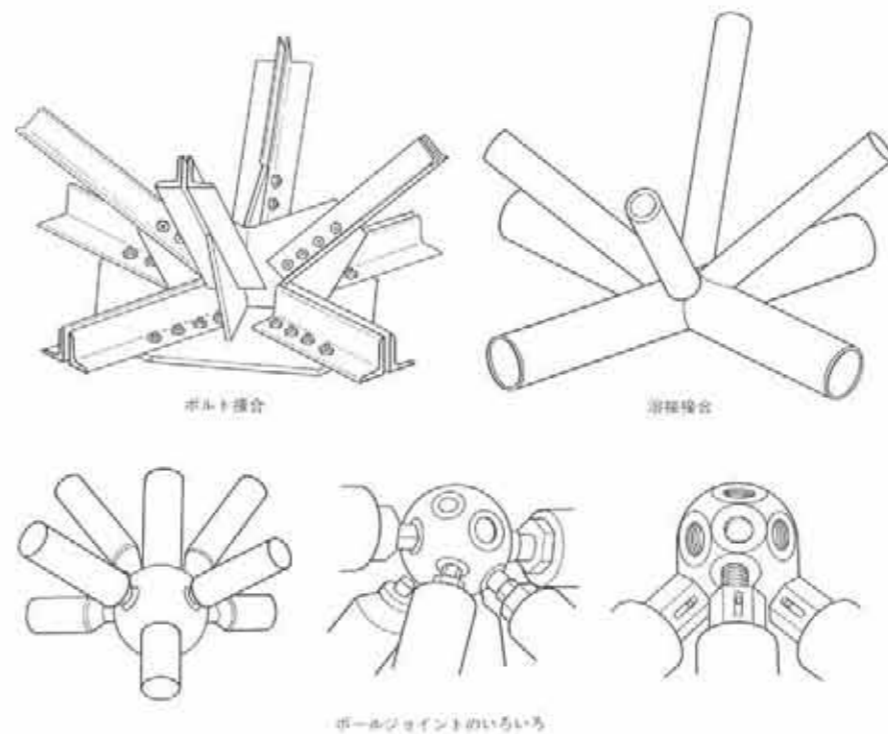


図19-2 立体トラスの接合法

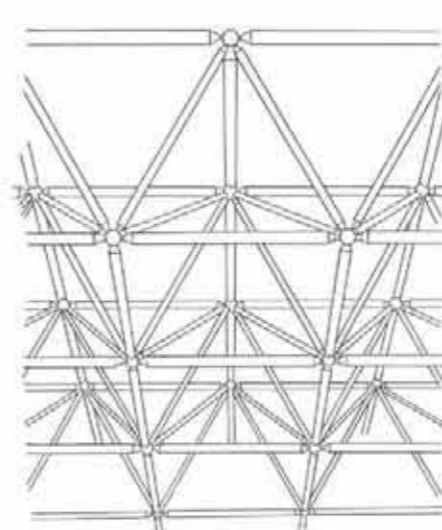


図19-3 立体トラスの架構図

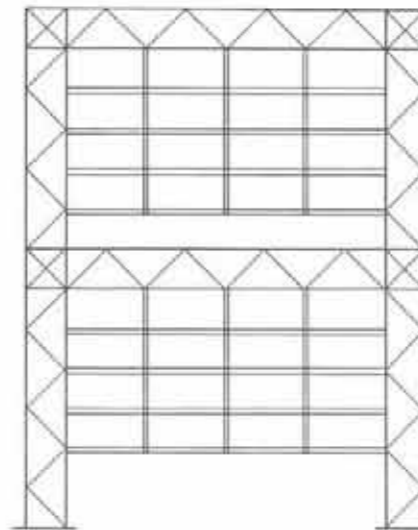


図19-4 スーパーストラクチャー
断面を1層とする大型クーラーをつくり、その中にサブ構造で気体床をつくる。内部空間の多様性や機械器具の自由度を高める。

立体トラスの接合法

■平面トラスの基本単位が力学的に安定した三角形であるのと同様、立体トラスの基本単位は四角錐、あるいは力学的に安定した三角錐である。

平面トラスの外力に対する抵抗は面内に限られ、その平面の直角の方向に対しては節点が自由に動く。これに対して、立体トラスの節点は三次元の斜材によってどの方向にも拘束されている。つまり立体トラスは節点に加わるどの方向の力も他の部材に流すことができる。

■立体トラスは、節点に集まる材の軸がずれないように正確に接合しなければならない。接合法には次の三つがある。

- 1) 接合部材にハイテンボルトで止める
- 2) 直接部材同士を突き合わせ部接する
- 3) ボールジョイントにねじ込み接合する

1)は、アングル、H形鋼、パイプなど種々の断面形状の材に対応できるが、複雑な角度構成の接合部材をつくるのがむずかしい。接合部材が大きくなりやすく、立体トラスの美しさを損ねやすい。

2)は、トラス材の端部を部材同士が相互に貫きあう複雑な相貫形に合わせて切断しなければならない。この相貫形を単純化するには、部材断面がその中心軸に対して均等なほうがいいので、丸パイプが使われることが多い。今日では丸パイプの端部を相貫形に合わせてカットする自動切断機が使われている。

3)は、最近あるいは鉄鋼製のボールにねじ孔を開け、トラス材の端部に仕込んだボルトをねじ込む方法である。接合材の角度の自由度が比較的高いので、複雑な曲面構成をつくるのに適する。

■立体トラスは、大空間を覆う屋根構造によく用いられる。その形状は、平板や折板、ドーム、筒形シェル、HPシェルなど板構造理論で解析可能なものが多いが、力学的に可能なら、理論上はどんな複雑な形状をつくることもできる。ただし実用上は、トラス部材の構成の複雑さやジョイント部材の限界から、幾何学的に単純な平面や曲面が、その組合せとするのが普通である。

■個々のトラス部材は、それぞれの負担する力に応じた断面が採用される。

圧縮力を受ける材は、座屈を起こさないような太さが必要になる。引張力しか受けない材は、断面積さえ確保できれば、細くてもかまわない。

その結果、でき上がった立体トラスの部材のひとつひとつを見ていくと、力がどのように流れているかが分かり、そのような力学的緊張感が、立体トラスを美しく見せる要因の一つとなっている。