

## 構造設計Ⅲ

### 第10回 構造設計の概要 (その1 構造計画)

## 鉄筋コンクリート造の長所

- 剛性が高く、重いため、風等で揺れにくい
- 遮音性、蓄熱性、耐火性に優れている
- 型枠さえあれば自由な形態を造り出せる
- 鉄骨造と比較して材料費が安い
- 重いため、津波に流されにくい

2

## 鉄筋コンクリート造の短所

- 施工コストが高い
- 解体コストが高い
- リサイクル効率が悪い
- 品質管理が難しい
- 自重が大きいため、基礎構造のコストが高く、スパンを飛ばせない
- コンクリートにひび割れが発生しやすい

3

## ロンシャンの礼拝堂 ル・コルビュジエ



4

## グッゲンハイム美術館 フランク・ロイド・ライト



5

## 住吉の長屋 安藤忠雄



6

Shinichi  
Ogawa



SEASIDE VILLA Thailand

7

## 鉄骨造の長所

- 強度が大きく粘り強いため耐震性に優れている。
- 主に工場で作成するため品質管理が容易
- 工期が短い
- 解体、リユース、リサイクルが容易
- RCに比較して自重が小さくスパンを飛ばせる

8

## 鉄骨造の短所

- 剛性が低い(よく揺れる)
- 座屈に注意が必要
- 遮音性、耐火性に劣る
- 錆による経年劣化がある

9

## ファンズワース邸 ミースファンデルローエ



10

## リボンチャペル 中村拓志 / NAP建築設計事務所



11

Shinichi  
Ogawa



104 X  
Yamaguchi, Japan

12

## モード学園コクーンタワー 丹下都市建築設計



13

## 木造の長所

- 軽量で、加工しやすい
- 工期が短い
- 環境に優しい(循環型)
- 調湿効果がある
- 増改築が容易
- 集成材等で品質のばらつきがなくなり、耐火木材の開発で大規模建築も造れるようになった

14

## 木造の短所

- 一般に耐火性に劣る
- 湿気によって腐りやすい
- シロアリなどの虫害がある

15

## 法隆寺



16



相馬 こどものみんなの家  
伊東豊雄



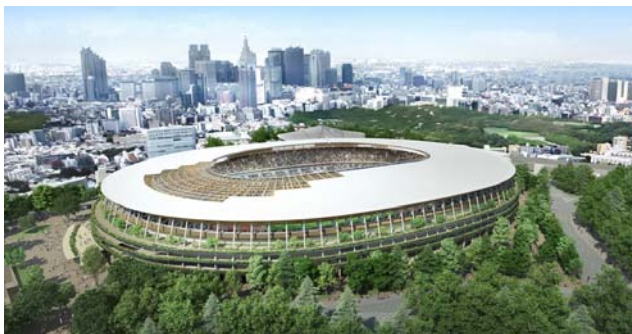
17

出雲ドーム



18

新国立競技場  
隈研吾



19

東京に「世界一高い木造ビル」の構想 住友  
林業



20

## 鉄骨鉄筋コンクリート造の長所

- 剛性、強度ともに高い
- 鉄骨造に比べて耐火性に優れ、座屈に強い
- RC造より断面を小さくできる

21

## 鉄骨鉄筋コンクリート造の短所

- 施工が煩雑で、工期が長いため、コストがかかる

22

## 横浜ランドマークタワー 設計:三菱地所



23

## あべのハルカス 設計:竹中工務店



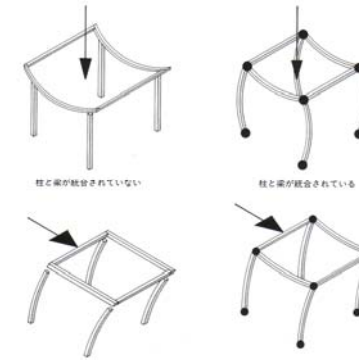
24

## ラーメン構造の特徴

- 柱・梁の枠組（骨組）として地震に耐える構造。柱と梁は剛接されていることが必要。なお、ラーメン（Rahmen）はドイツ語の額縁の意味。
- 開口部を取りやすく、力の流れが明解であるため設計が容易。
- 剛性が不足する場合は、ブレースや耐震壁を付加する。

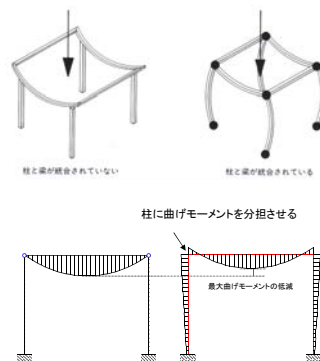
25

## ラーメン構造のしくみ



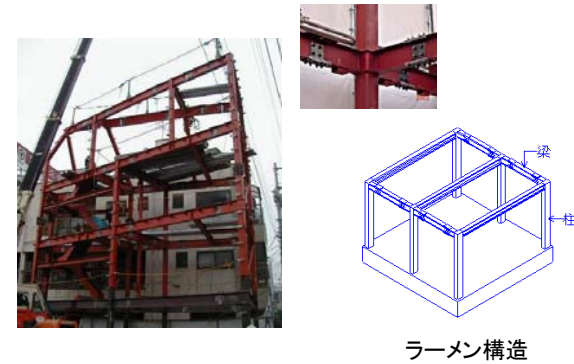
26

## ラーメン構造の原理



27

## 鉄骨ラーメン構造



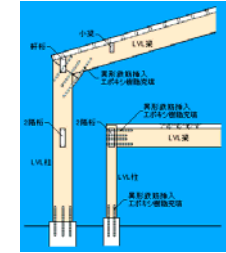
28

### RC造ラーメン構造



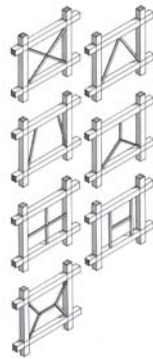
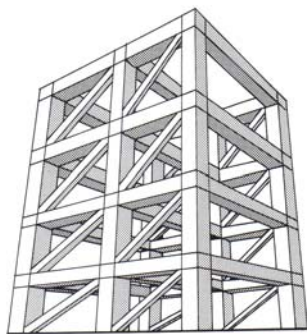
29

### 木造ラーメン構造



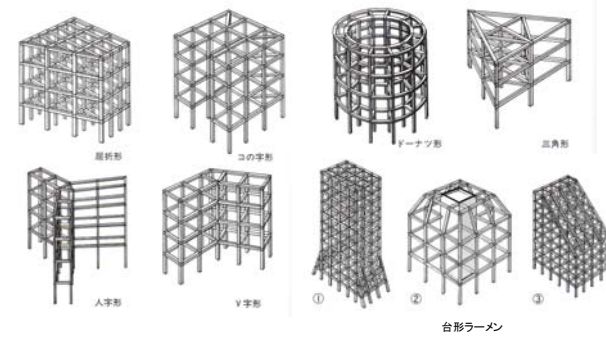
30

### ブレース付きラーメン構造



31

### 特殊なラーメン構造



32



## スーパーラーメン



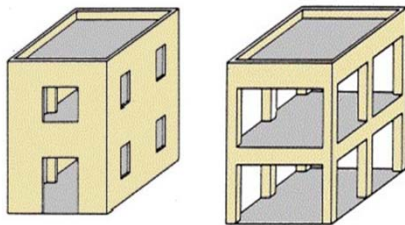
33

## 壁式構造の特徴

- 耐震壁によって地震に抵抗する構造。
- 開口部を大きく取れない。
- 2次設計の必要がなく、構造設計が容易。
- 主に低層建築物に用いられる。

34

## 壁式構造とラーメン構造の違い



<https://hikarinobe.com/contents/housing-complex-renovation-1466>

35

## 壁式構造建物の例



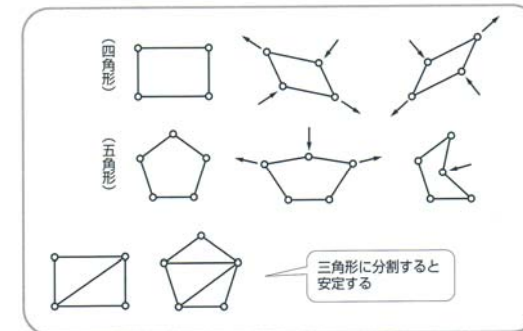
36

## トラス構造の特徴

- 主に部材の軸力で荷重に耐える構造。三角形の部材連結を基本とする。
- 部材の曲げモーメントが小さいため、部材を細くし、軽量化できる。
- 屋根構造、大スパンの梁、シェル構造として用いられる。

37

## 三角形は最も安定した形



38

## 平行トラス

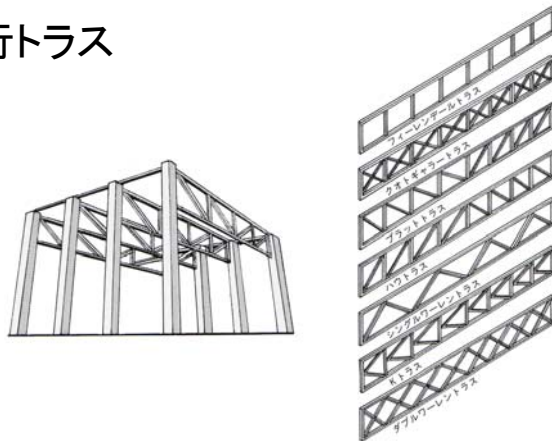
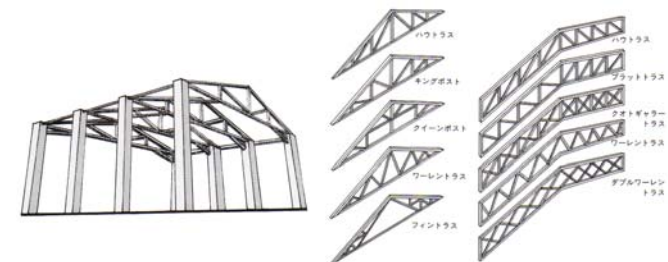


図1 平行トラスのバリエーション

39

## 屋根トラス

図1 山形トラスのバリエーション  
図2 山形平行トラスのバリエーション

40

### トラス構造の例(1)



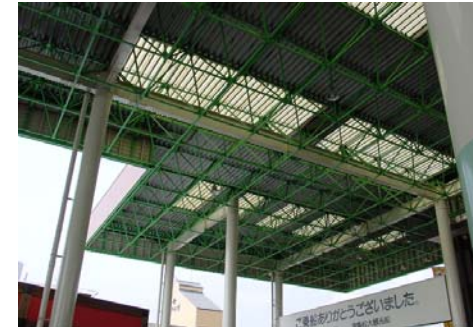
平行トラス構造



屋根形トラス構造

41

### トラス構造の例(2)



宮島フェリー乗り場

42

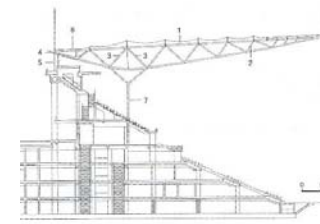
### トラス構造の例(3)



幕張メッセ

43

### トラス構造の例(4)



- 1 放射方向トラス
- 2 トラス梁
- 3 三角鉄骨トラス
- 4 扇方向トラス
- 5 外柱 鋼管φ323.9mm
- 6 内柱 鋼管φ323.9-354.6/10-80mm
- 7 扇状支柱

ワールドカップ 2006 ベルリンスタジアム

44

## アーチ・シェル構造の特徴(1)

- 梁または平板を曲線または曲面にすることで、曲げモーメントを軸力あるいは面内力(圧縮・引張力)に変えて荷重に耐える構造。
- 主に屋根構造として用いられる。
- 圧縮力が支配的となるため、RC構造と相性が良い。また、RC構造では、型枠さえ作れば、曲面を作ることが容易。

45

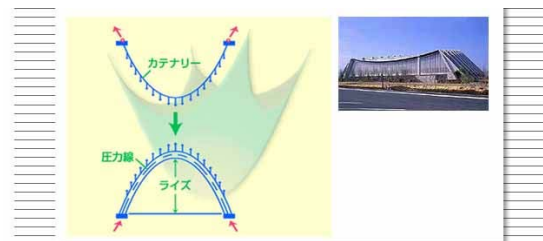
## 引張・圧縮力で支える方が有利



46

## カテナリーとは？

カテナリーとは重力が生み出す「かたち」の一つで、例えば紐の端と端を持って垂らしたときに描く放物線を「カテナリー曲線」といいます。この曲線は自然に吊した状態での力学的に最適な形を示しており、ドームなどの大空間の設計に応用されています。



[http://www.kajima.co.jp/gallery/const\\_museum/kuukan/gijutsu/g\\_list/02.html](http://www.kajima.co.jp/gallery/const_museum/kuukan/gijutsu/g_list/02.html)

47

## スイスのシクリ社オフィス (ハインツ・イスラー)



48

## シェル構造の例 シドニーオペラハウス



<http://www.kentikusi.com/gallery/>

設計者ヨルン・ウッツォン



[http://www.art-ntc.co.jp/pages/tantei/tantei\\_img/operH/operahouse.html](http://www.art-ntc.co.jp/pages/tantei/tantei_img/operH/operahouse.html)

49

## 東京カテドラル(丹下健三)



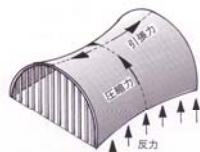
50

## EPシェル・鞍形シェル・HPシェル

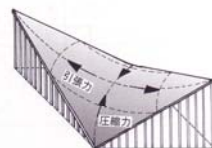


EP シェル

Elliptic Paraboloid



鞍形シェル



HP シェル

Hyperbolic Paraboloid

51

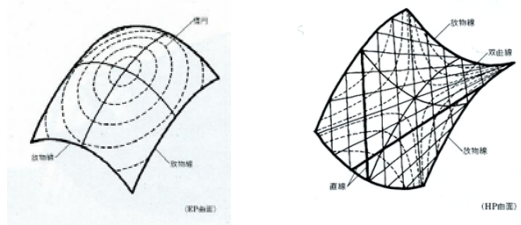
## HPシェルの例 東京大学弥生講堂アネックス



52



## なぜEPシェル？ HPシェル？



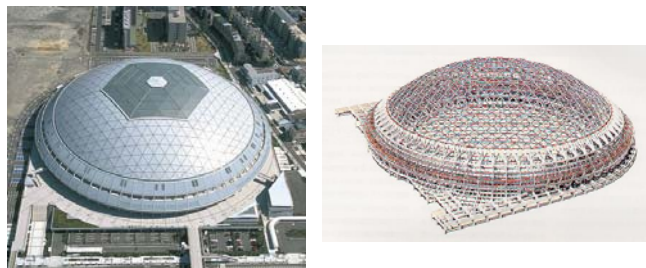
53

## アーチ・シェル構造の特徴(2)

- 骨組で形成されるシェル構造をスペース・フレームまたはラチスシェルと呼ぶ。大型のドーム等はラチスシェルが多い。ラチスシェルの部材は、鉄骨や木材が利用される。

54

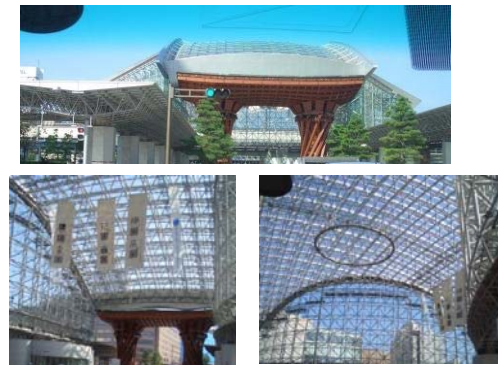
## 単層ラチスシェルの例



名古屋ドーム 竹中工務店

55

## 複層ラチスシェルの例 (東広場 もてなしドーム)



<https://coreplan.exblog.jp/4763993/>

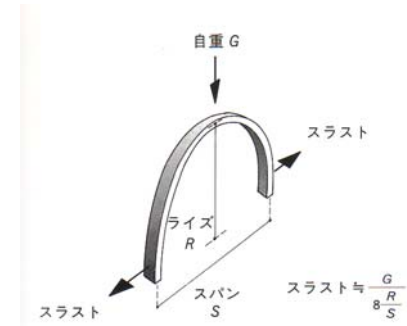
56

## アーチ・シェル構造の特徴(3)

- アーチやシェルの支持点では、外側に広がる力が働く。これをスラストと呼ぶ。このスラストは、浅いシェル・アーチほど大きい。このスラストを受け止めるため、タイバーやテンションリングが用いられる。また、スラストを打ち消す自己釣合構造として張弦梁やサスペンアーチがある。

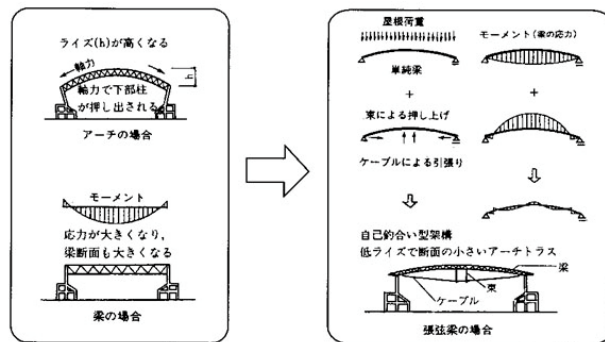
57

## スラストとライズの関係



58

## 張弦梁構造



59

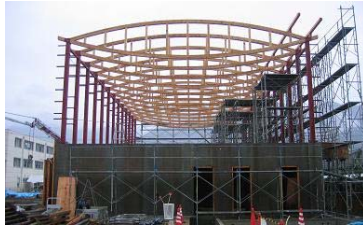
## 張弦梁構造の例



灰塚小学校体育館

60

## サスペンアーチ構造の例



信州学園さゆり幼稚園体育館



61

## 膜・ケーブル構造の特徴(1)

- 膜構造は、軽量で透光性があるため、ケーブルや鉄骨骨組と組み合わせることで、主に屋根構造として利用される。
- 膜やケーブル構造は、曲げや圧縮には抵抗せず、引張力で支える構造。空気膜構造もこの一種。したがって、ケーブルも膜も初期張力の導入が必要となる。

62

## 膜構造の特徴

- 軽い
  - 材料の軽量性、高強度性を生かし、優れた経済性、施工性で大規模な空間を実現することができます。
- 明るい
  - 透光性に優れ、反屋外的な明るい空間、柔らかな雰囲気の内部空間を創造できます。
- 自由
  - 曲面を生かしたユニークな外観、デザイン性に富んだ造形が、個性を主張するとともに、シンボリックな建物として地域のランドマーク効果も期待できます。

<http://www.makukouzou.or.jp/maku01.html>

63

## 膜材料

- 膜材料は、繊維織物を被覆材で両側面からコーティングしたもので、現在主に用いられている種類は、下表のように分類されています。

	膜材料A種	膜材料B種	膜材料C種
織物業材	ガラス繊維	ガラス繊維	ポリエステル繊維など
被覆材	四ふっ化エチレン樹脂	塩化ビニル樹脂	塩化ビニル樹脂
引張強度	300～500kgf/3cm	200～300kgf/3cm	100～300kgf/3cm
耐屈曲性	ガラス繊維が使われているため、接合加工、梱包、輸送時などに出来るだけ折れ曲げないよう配慮が必要		優れている
防火性能	燃えない	燃え抜けにくい	燃え広がらない

※ 一般的に使用されている膜材料の引張強度です。

<http://www.makukouzou.or.jp/maku01.html>

64

## 膜構造の例



65

## 空気膜ドーム



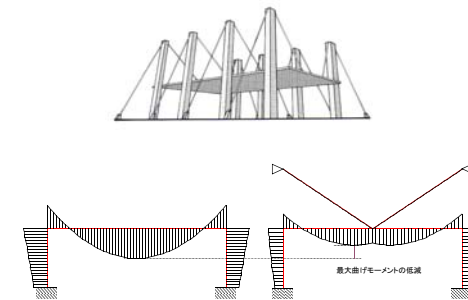
66

## 膜・ケーブル構造の特徴(2)

- スタジアムや空港の屋根等で、ケーブル等によるテンション構造(吊り構造)が用いられることもある。これは、屋根を支える構造の曲げモーメントを低減するためである。

67

## テンション構造の原理



68

# 豊田スタジアム



[http://www.taiyokogyo.co.jp/wc\\_stadium/camp/toyota/](http://www.taiyokogyo.co.jp/wc_stadium/camp/toyota/)

69

# 吊り上げられた屋根部



70

# 西日本総合展示場



設計: 川口 衛

[http://www.kitakyu-fc.com/pub/guide/location/kokust\\_con.html](http://www.kitakyu-fc.com/pub/guide/location/kokust_con.html)

71

# 仁川国際空港



72

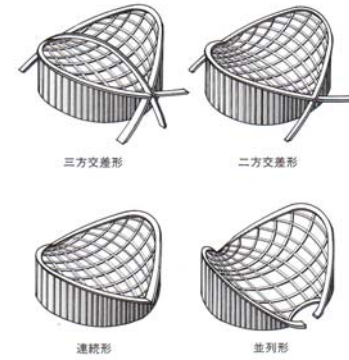


## 代々木体育館(丹下健三)



73

## ダブルテンションの種類



74

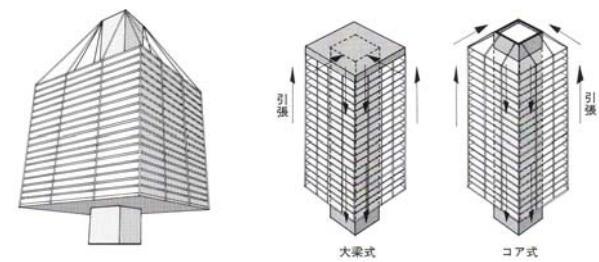
## 西部ガスミュージアム



<http://f1.aacafe.ne.jp/~uratti/kyusyu/kyusyu.htm>

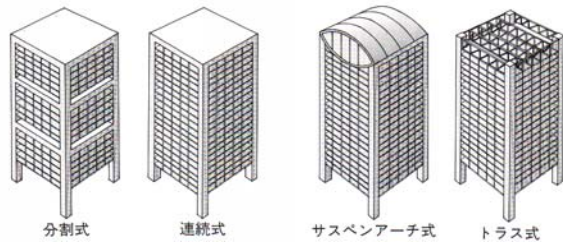
75

## フロアテンション



76

## フロアテンションのバリエーション



77

## テンセグリティ構造



78

## 参考資料

本PPTには、下記文献の図を引用しています。

- 宮元健次著「初めての構造デザイン」(学芸出版)
- 川口衛, 松谷宥彦, 川崎一雄, 阿部優著「建築構造のしくみ 力の流れとかたち」(彰国社)

79