

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

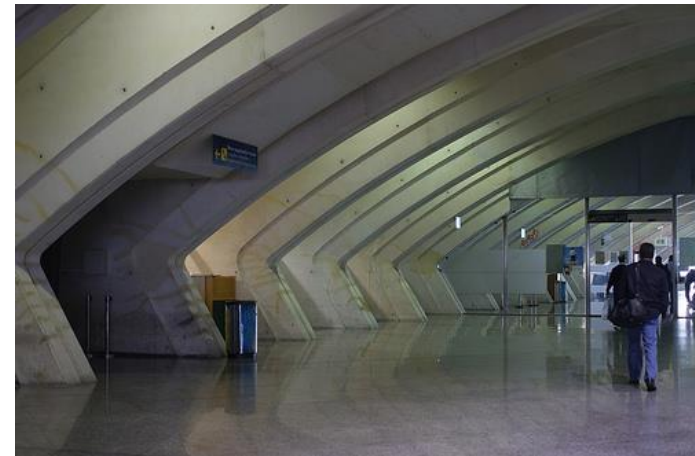
鉄筋コンクリート造の短所

- 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

ロンシャンの礼拝堂 ル・コルビュジエ



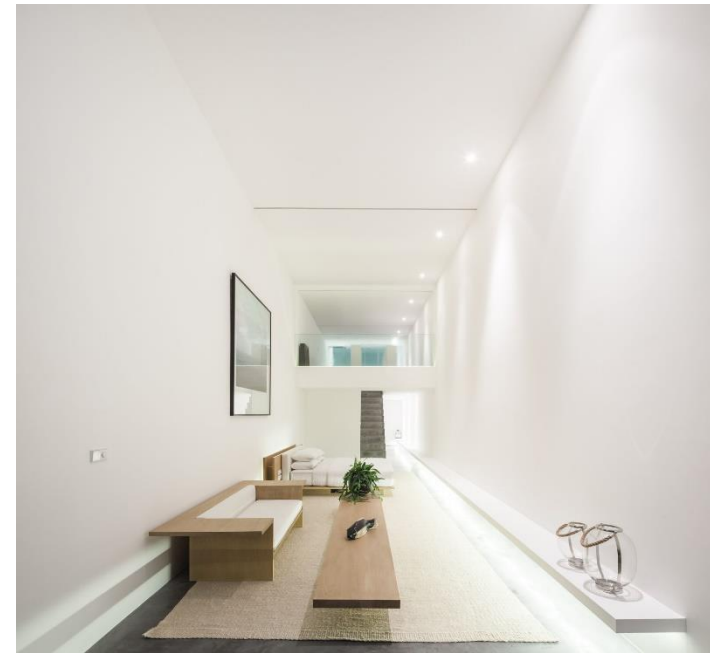
グッゲンハイム美術館 フランク・ロイド・ライト



住吉の長屋 安藤忠雄



**Shinichi
Ogawa**



SEASIDE VILLA Thailand

鉄骨造の長所

- 強度が大きく粘り強いいため耐震性に優れている。
- 主に工場で加工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

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

ファンズワース邸 ミースファンデルローエ

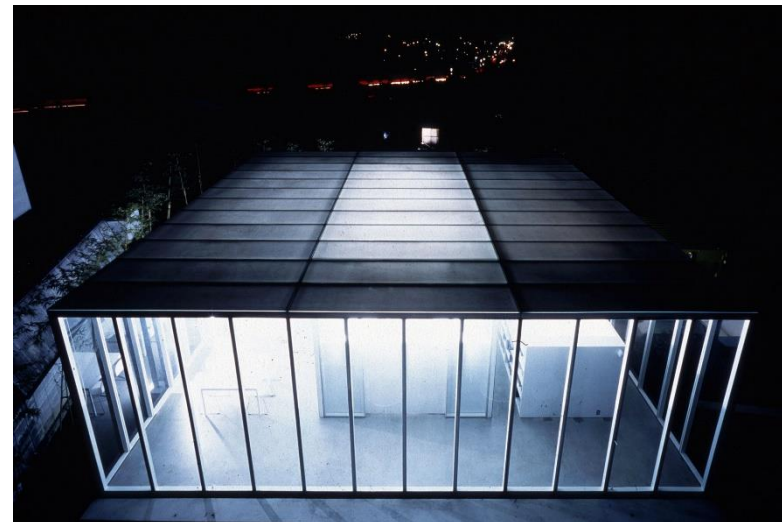


リボンチャペル

中村拓志／NAP建築設計事務所

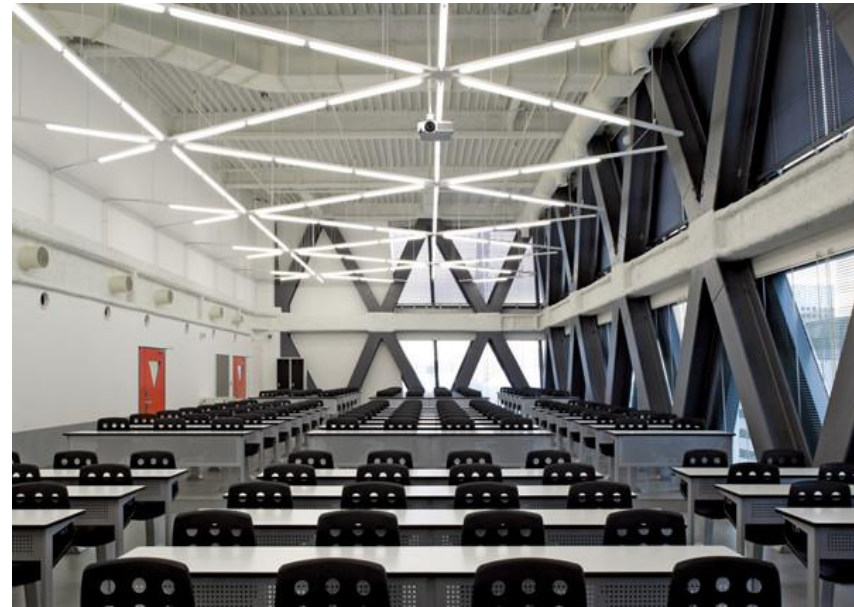


**Shinichi
Ogawa**



104 X
Yamaguchi, Japan

モード学園コクーンタワー 丹下都市建築設計



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

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

法隆寺



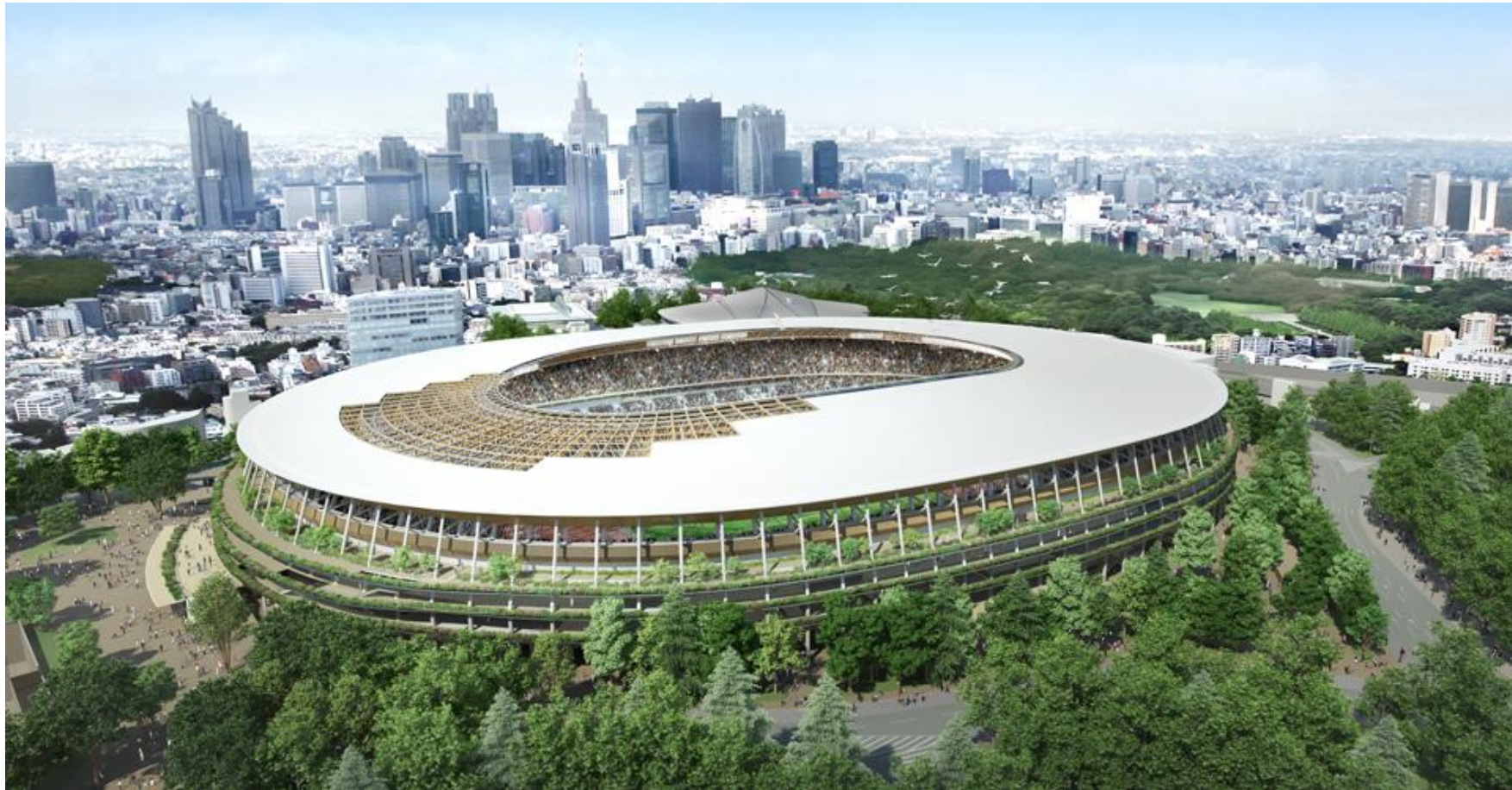
相馬 こどものみんなの家 伊東豊雄



出雲ドーム



新国立競技場 隈研吾



東京に「世界一高い木造ビル」の構想 住友 林業



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

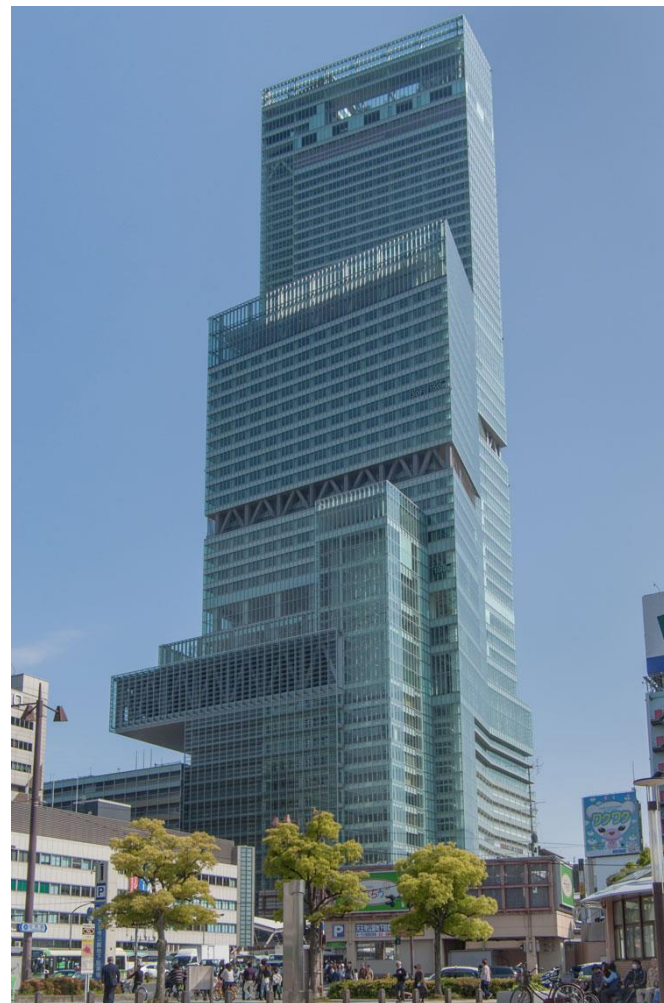
鉄骨鉄筋コンクリート造の短所

- 施工が煩雑で、工期が長い、コストがかかる

横浜ランドマークタワー 設計：三菱地所



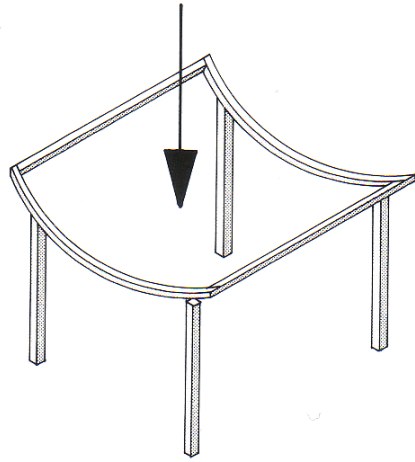
あべのハルカス 設計：竹中工務店



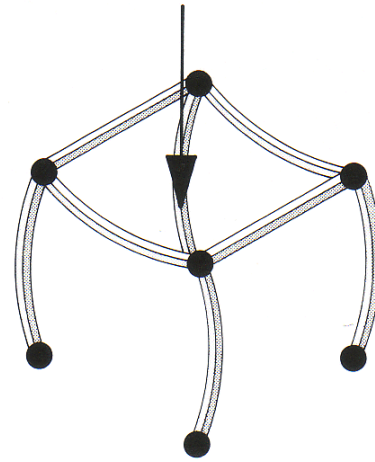
ラーメン構造の特徴

- 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。

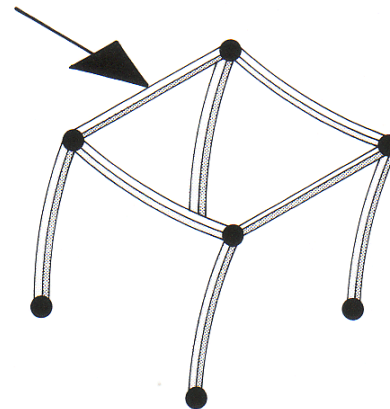
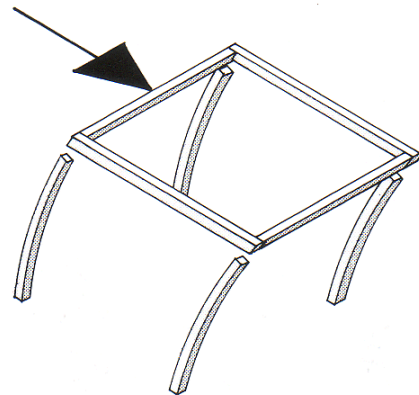
ラーメン構造のしくみ



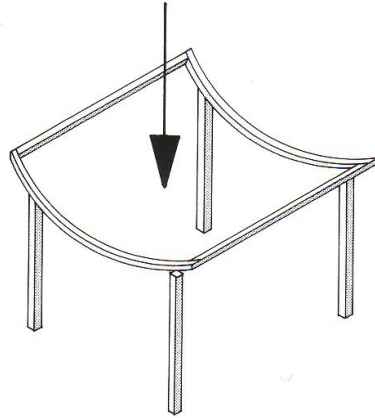
柱と梁が統合されていない



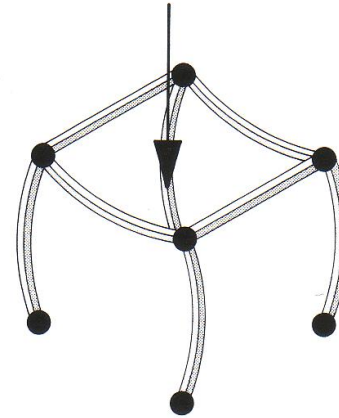
柱と梁が統合されている



ラーメン構造の原理

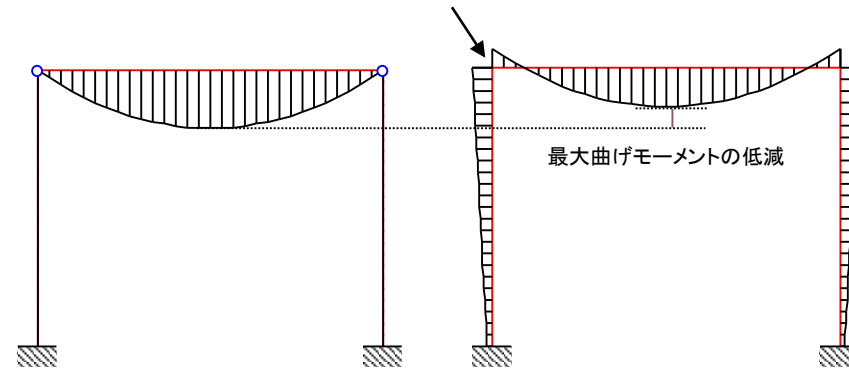


柱と梁が統合されていない

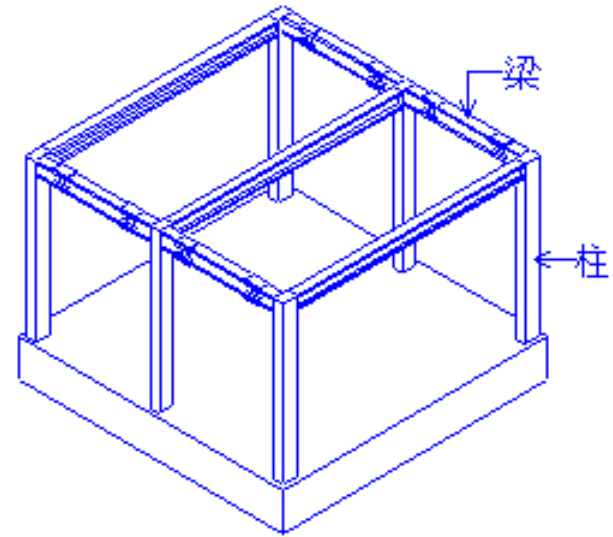


柱と梁が統合されている

柱に曲げモーメントを分担させる



鉄骨ラーメン構造

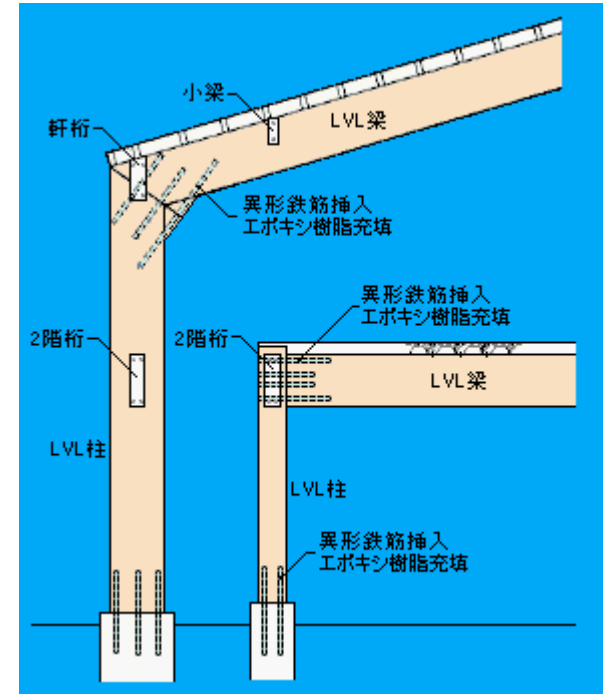


ラーメン構造

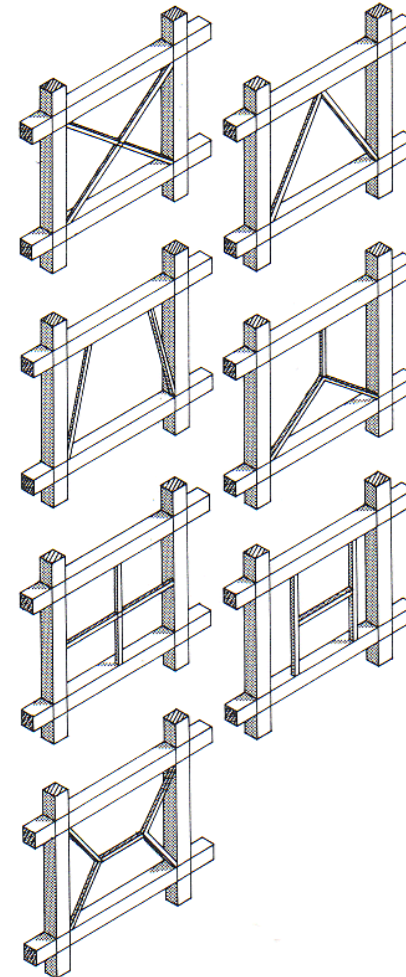
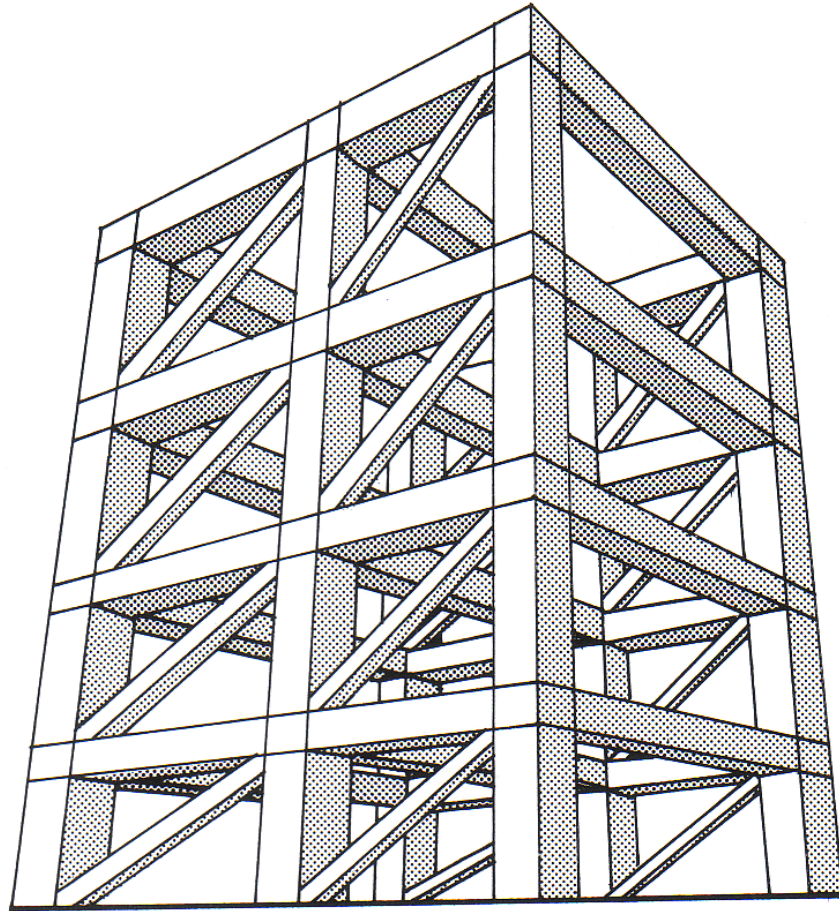
RC造ラーメン構造



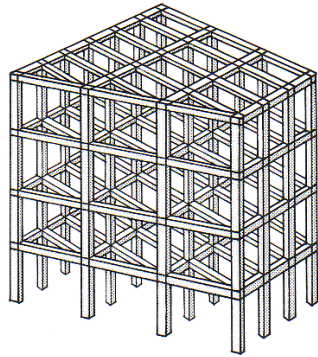
木造ラーメン構造



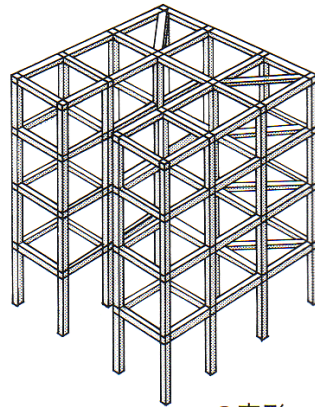
ブレース付きラーメン構造



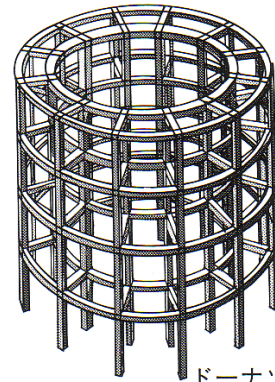
特殊なラーメン構造



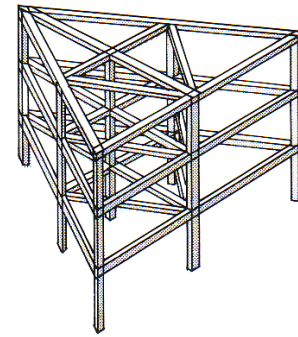
屈折形



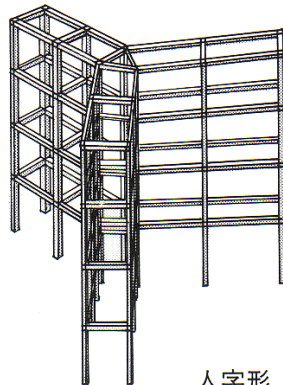
コの字形



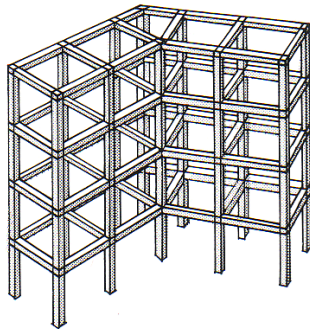
ドーナツ形



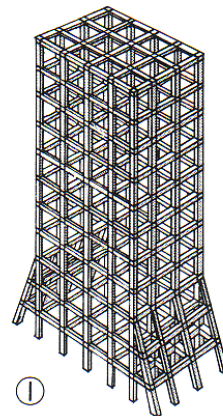
三角形



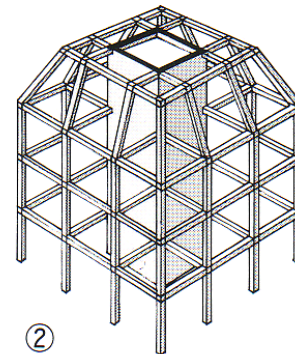
人字形



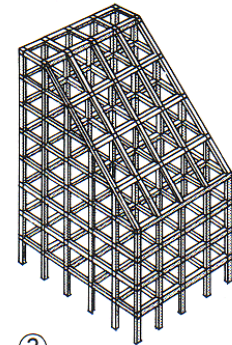
V字形



①



②

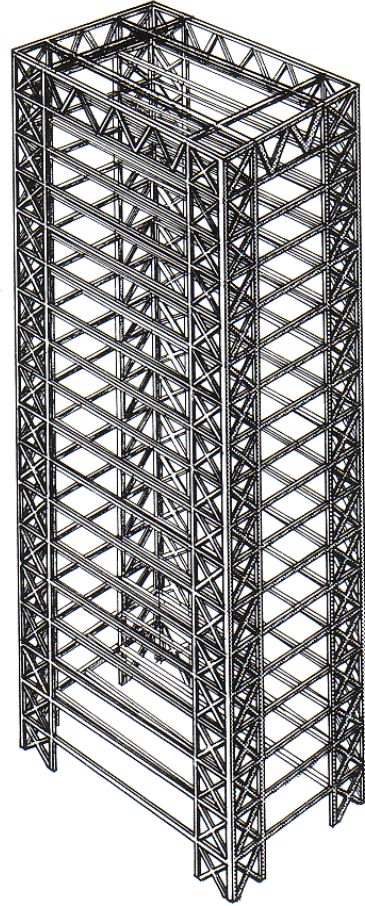


③

台形ラーメン

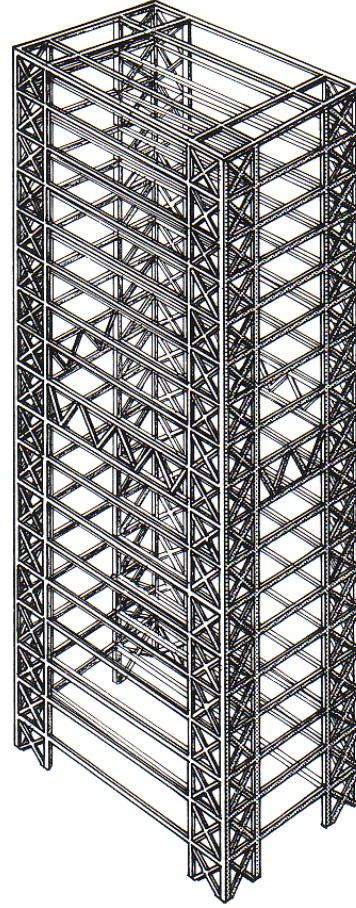
スーパーラーメン

トラスを最上部に設ける



ハットトラス

トラスを中間層に設ける

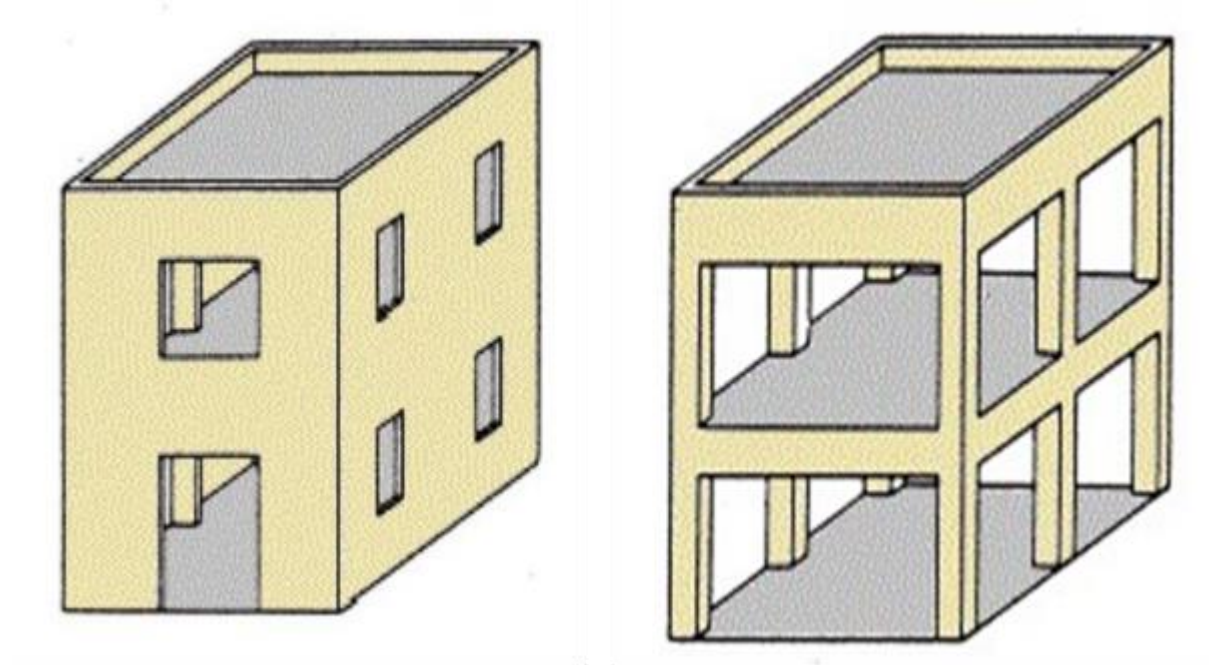


ベルトトラス

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。

壁式構造とラーメン構造の違い



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

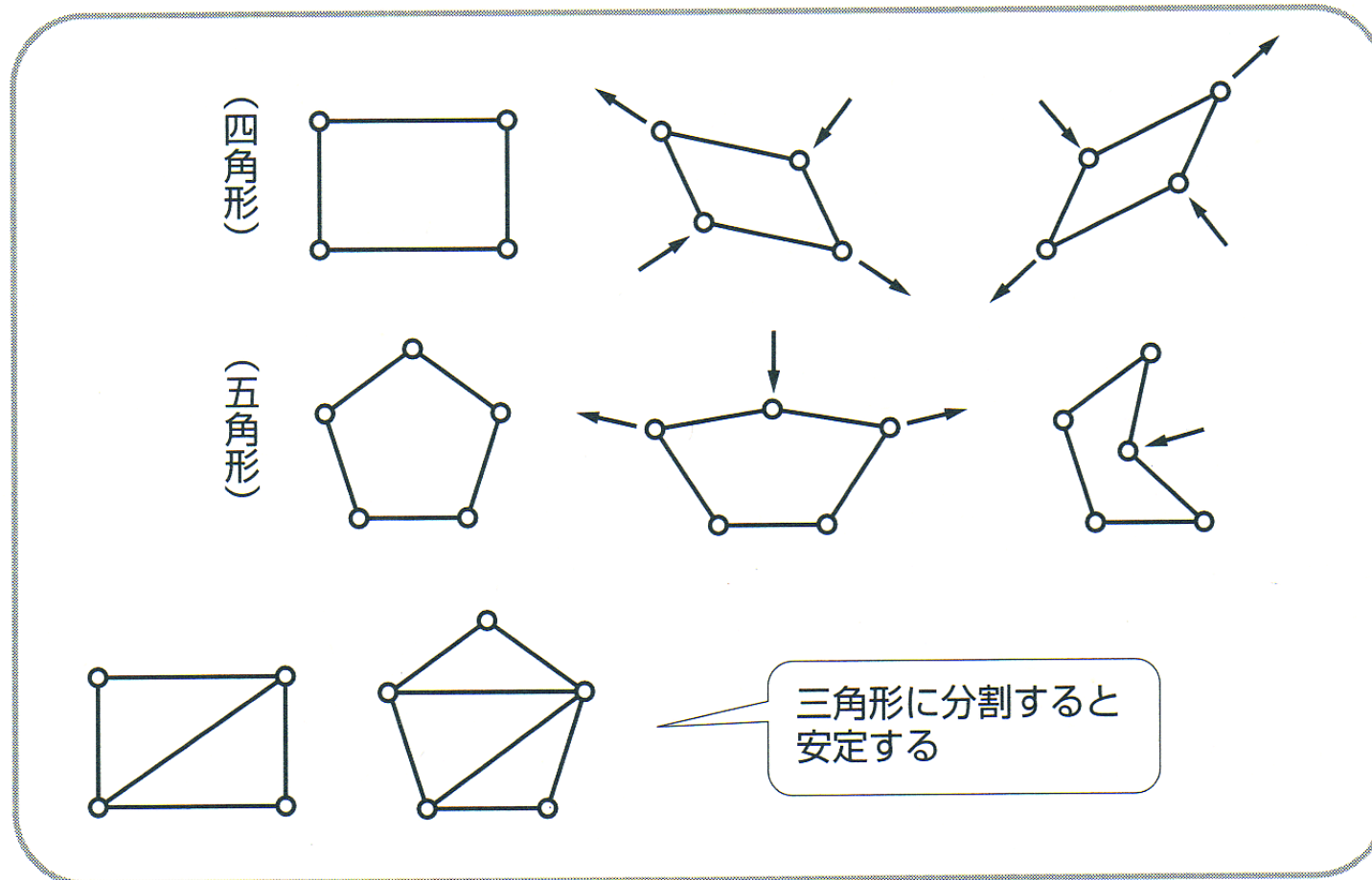
壁式構造建物の例



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。

三角形は最も安定した形



平行トラス

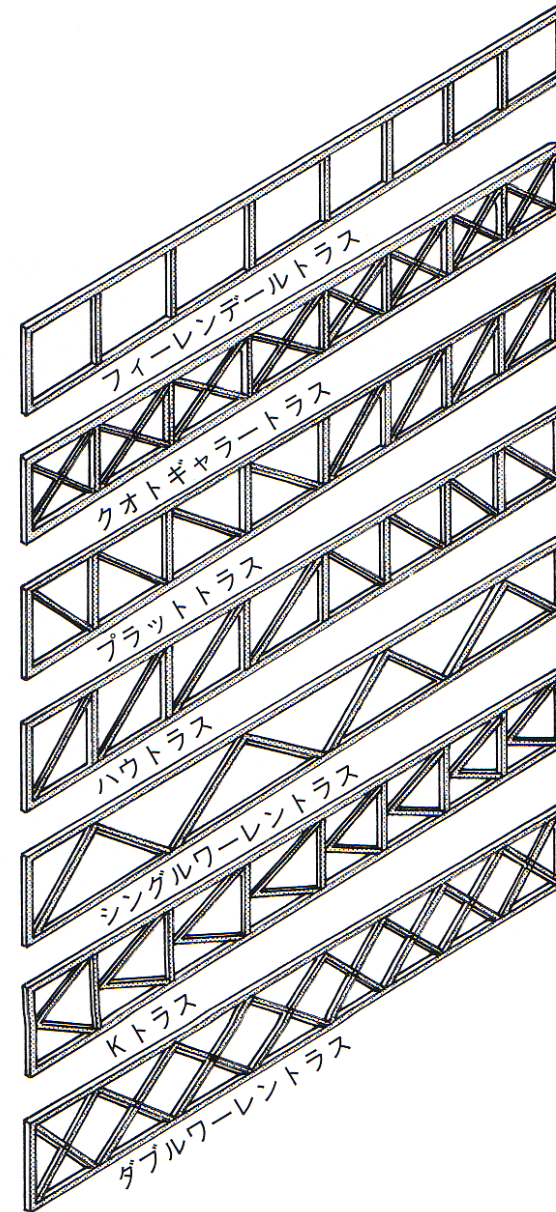
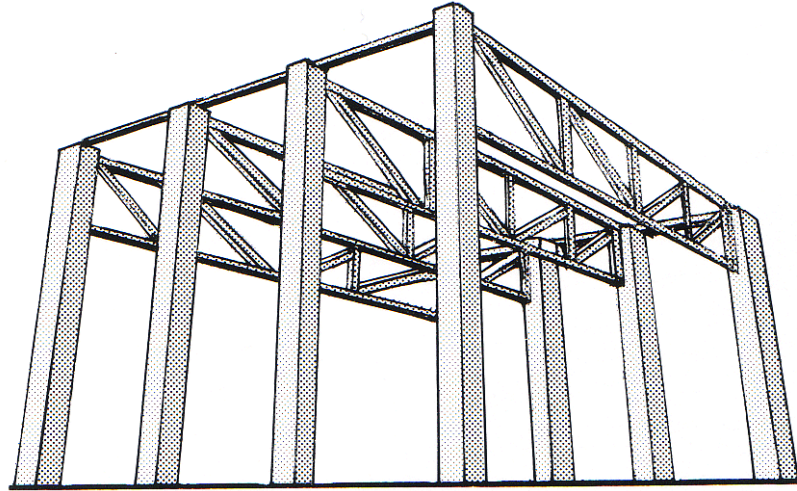


図1 平行トラスのバリエーション

屋根トラス

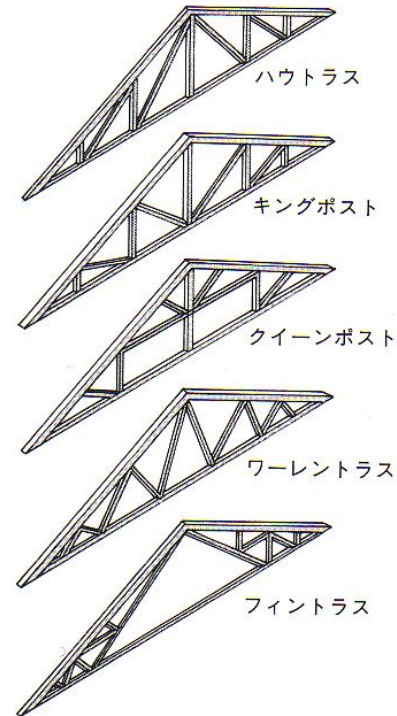
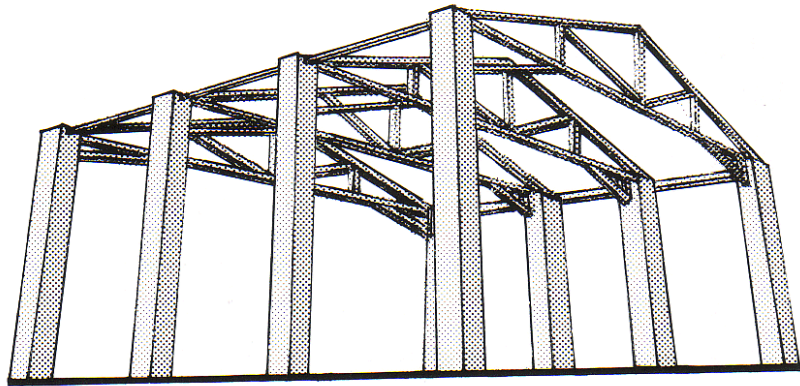


図1 山形トラスのバリエーション

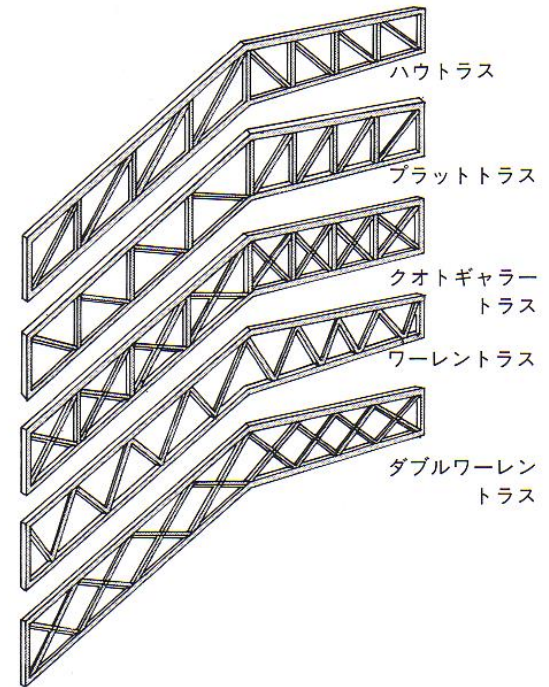


図2 山形平行トラスのバリエーション

トラス構造の例(1)



平行トラス構造



屋根形トラス構造

トラス構造の例(2)



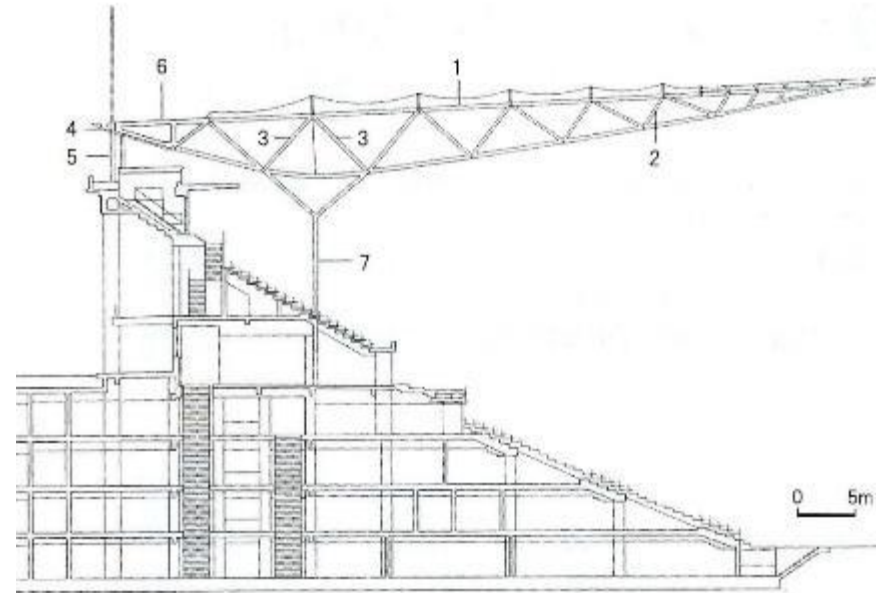
宮島フェリー乗り場

トラス構造の例(3)



幕張メッセ

トラス構造の例(4)



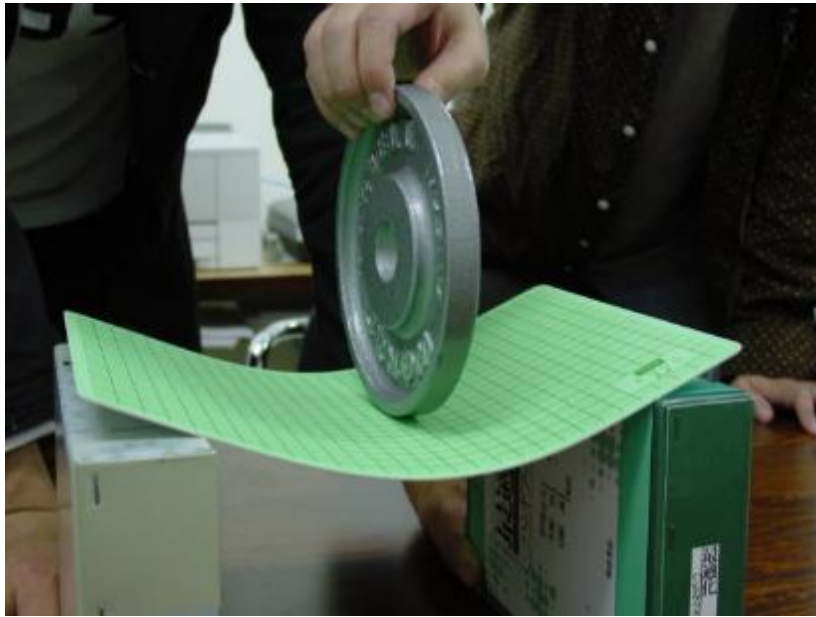
断面図

- | | |
|----------------|-----------------------------|
| 1 放射方向トラス | 4 周方向梁 |
| 上下弦 鋼管φ323.9mm | 5 外柱 鋼管φ323.9-355.6/10-80mm |
| 斜材 鋼管φ273mm | 6 RCリング(カウンターウェイト) |
| 2 トラス梁 | 7 樹状支柱 |
| 3 三角形ラチス梁 | |
| 上下弦 鋼管φ323.9mm | |

アーチ・シェル構造の特徴(1)

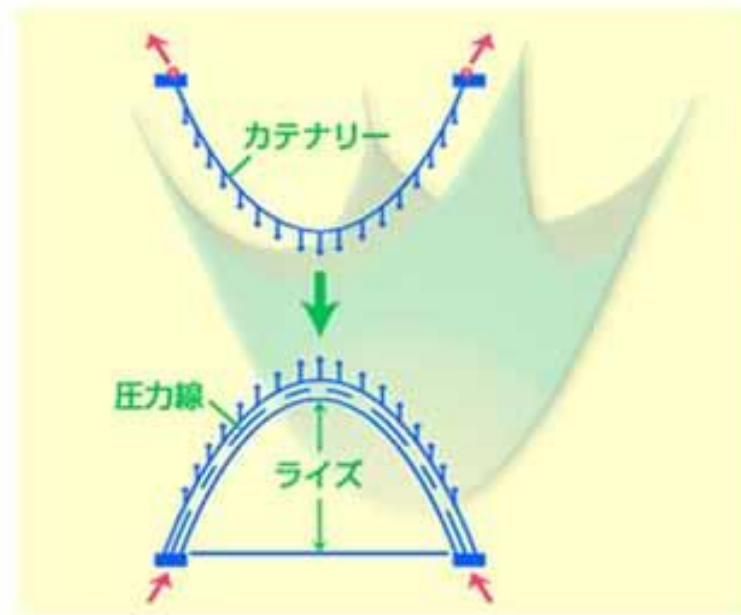
- 梁または平板を曲線または曲面にすることで、曲げモーメントを軸力あるいは面内力(圧縮・引張力)に変えて荷重に耐える構造。
- 主に屋根構造として用いられる。
- 圧縮力が支配的となるため、RC構造と相性が良い。また、RC構造では、型枠さえ作れば、曲面を作ることが容易。

引張・圧縮力で支える方が有利



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。



スイスのシクリ社オフィス (ハインツ・イスラー)



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

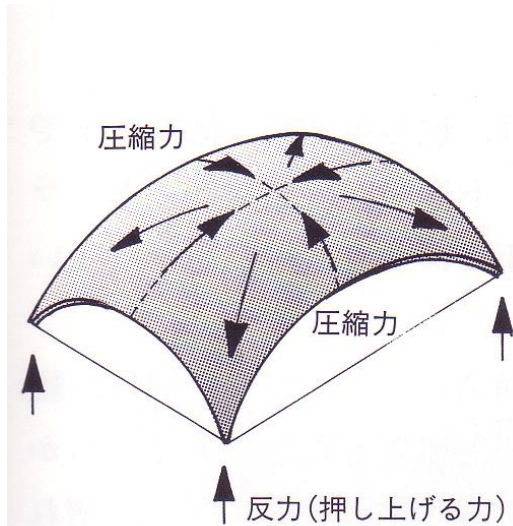


http://www.art-ntc.co.jp/pages/tantei/tantei_img/operH/operahouse.html

東京カテドラル(丹下健三)

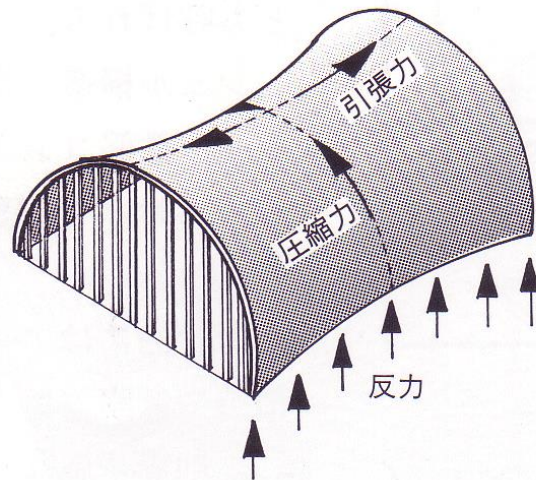


EPシェル・鞍形シェル・HPシェル

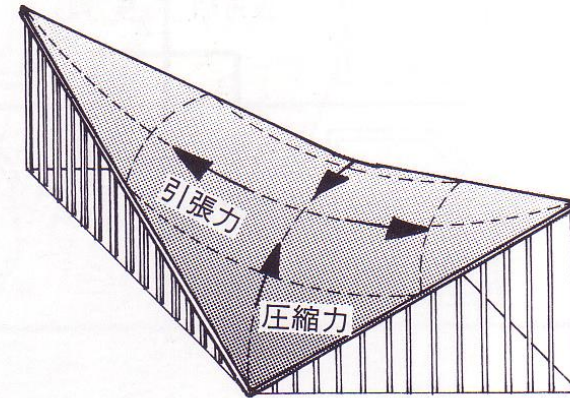


EP シェル

Elliptic Paraboloid



鞍形シェル



HP シェル

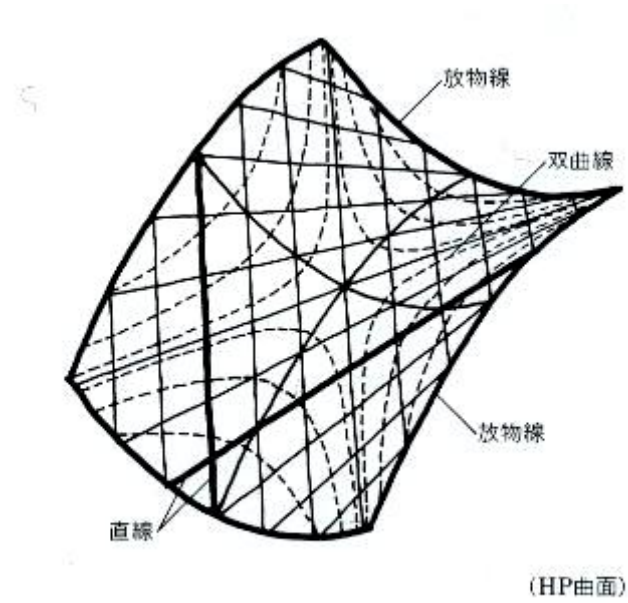
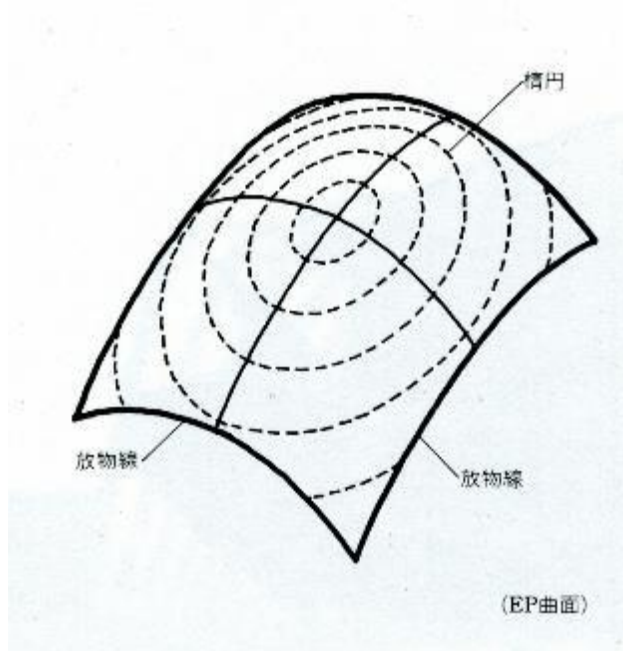
Hyperbolic Paraboloid

HPシエルの例

東京大学弥生講堂アネックス



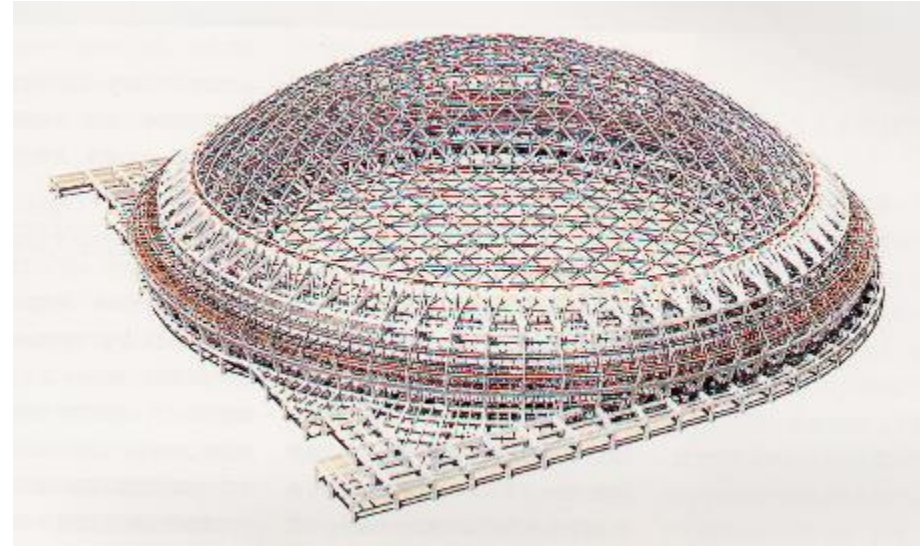
なぜEPシエル？ HPシエル？



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。

単層ラチスシェルの例



名古屋ドーム 竹中工務店

複層ラチスシェルの例 (東広場 もてなしドーム)

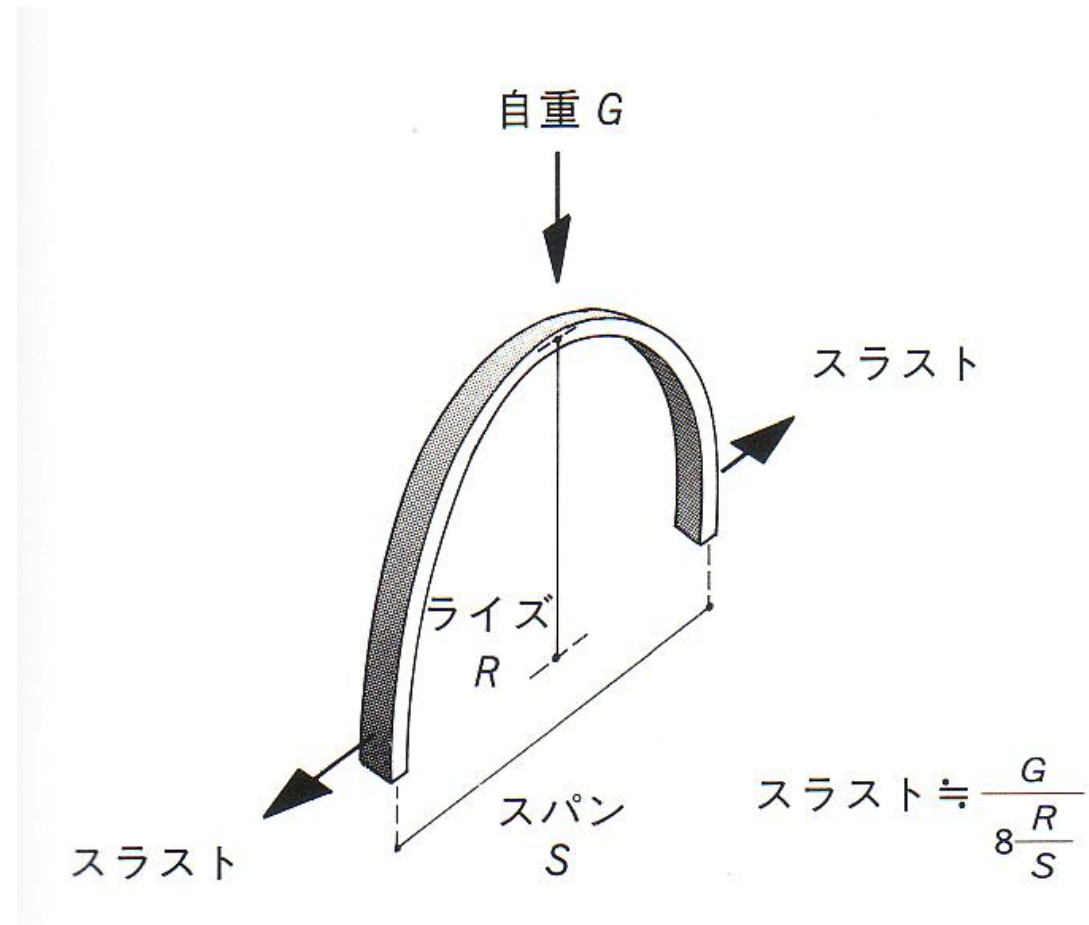


<https://coreplan.exblog.jp/4763993/>

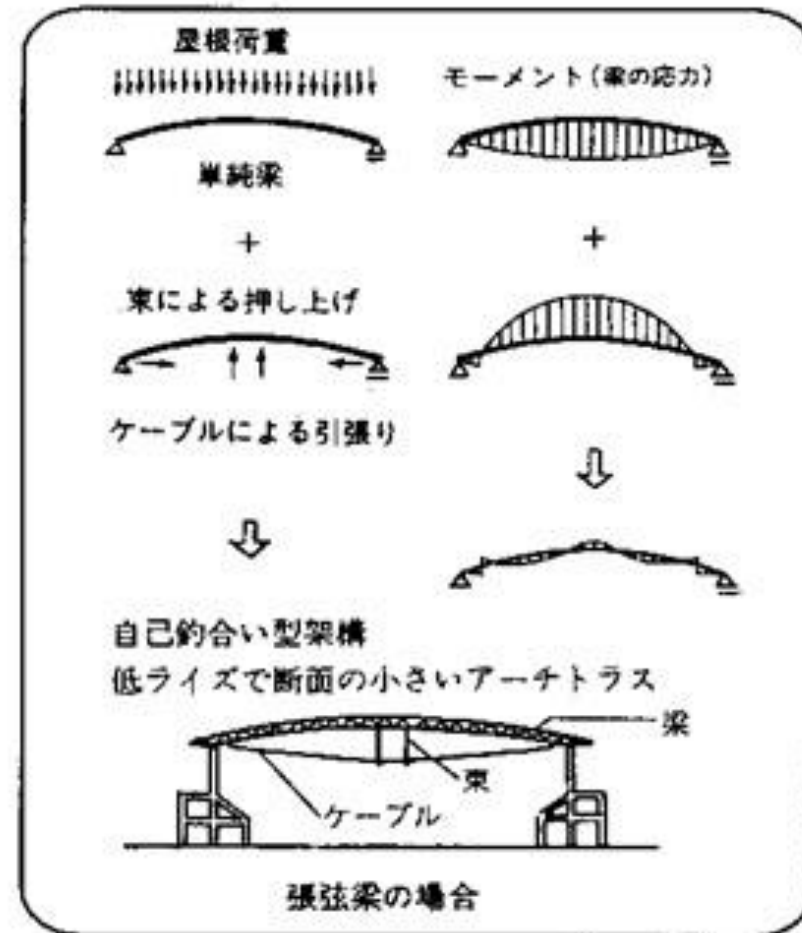
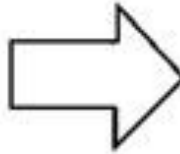
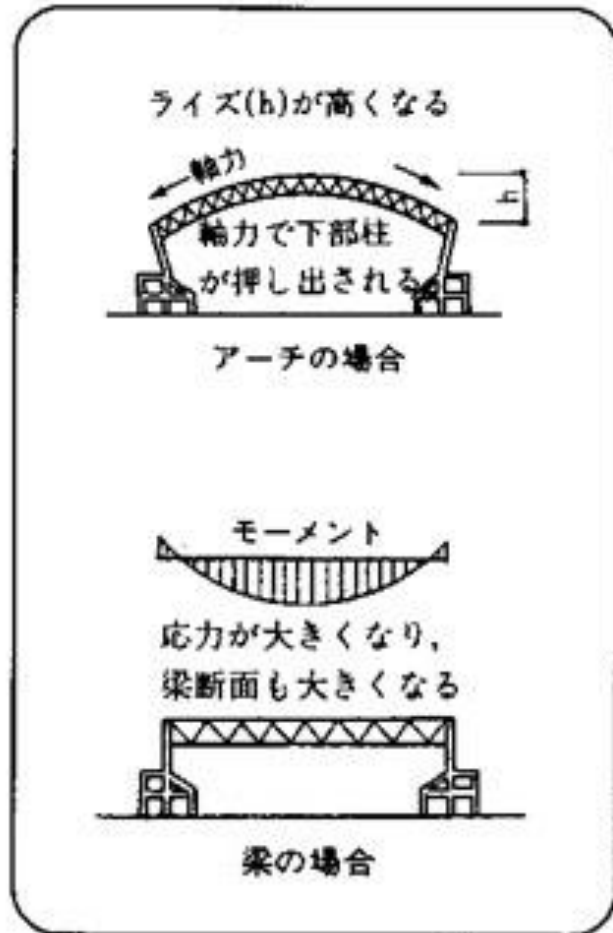
アーチ・シェル構造の特徴(3)

- 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。

スラストとライズの関係



張弦梁構造

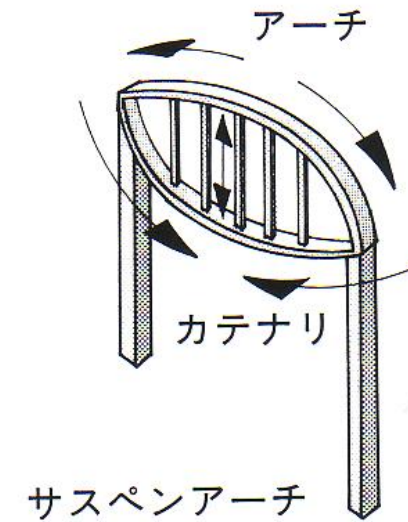


張弦梁構造の例



灰塚小学校体育館

サスペンアーチ構造の例



信州学園さゆり幼稚園体育館

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。

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。

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
織物素材	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り曲げないような配慮が必要		優れている
防火性能	燃えない	燃え抜けない	燃え拡がらない

※ 一般的に使用されている膜材料の引張強度です。

膜構造の例



空気膜ドーム



シルバードーム(1975)



メトロドーム(1982)



BCプレースタジアム(1983)

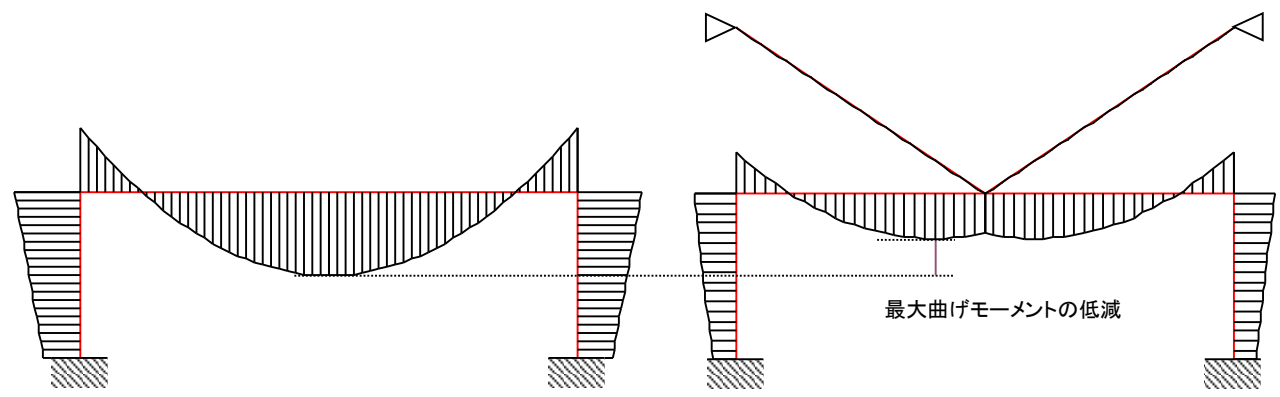
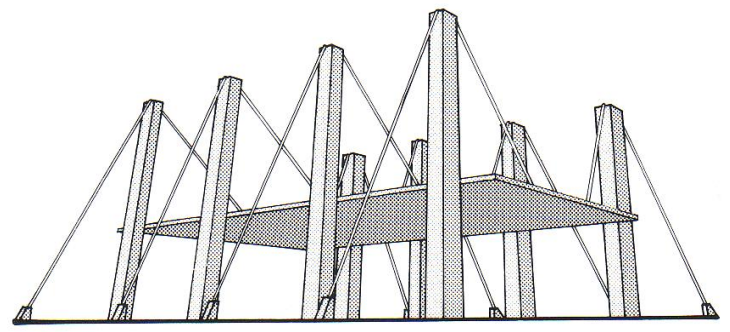


東京ドーム(1988)

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。

テンション構造の原理



豊田スタジアム



http://www.taiyokogyo.co.jp/wc_stadium/camp/toyota/

吊り下げられた屋根部



西日本総合展示場



設計：川口 衛

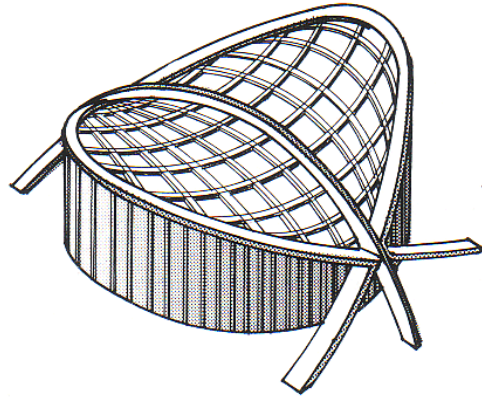
仁川國際空港



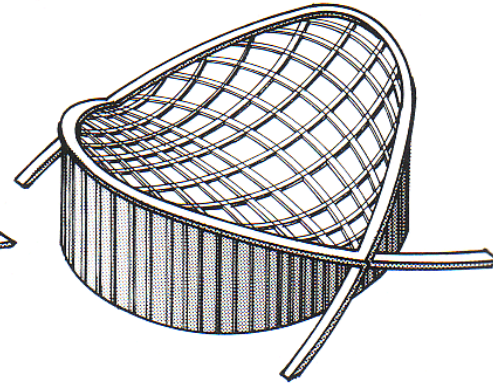
代々木体育館(丹下健三)



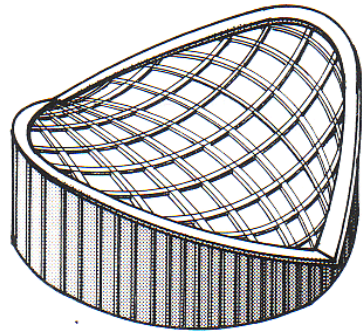
ダブルテンションの種類



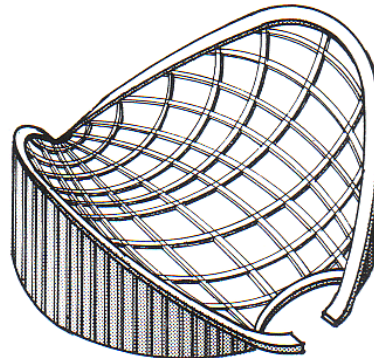
三方交差形



二方交差形



連続形



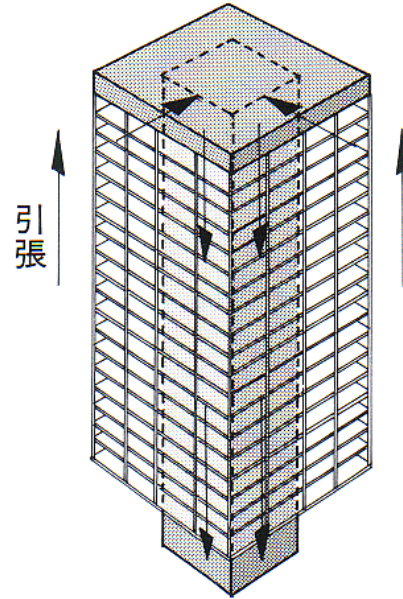
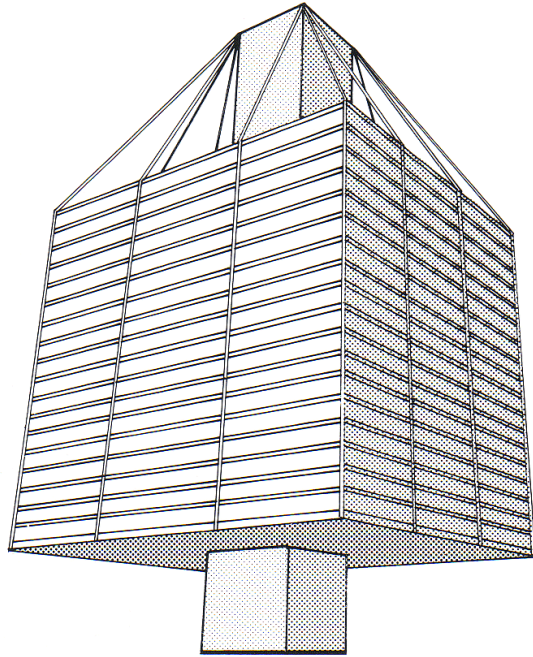
並列形

西部ガスミュージアム

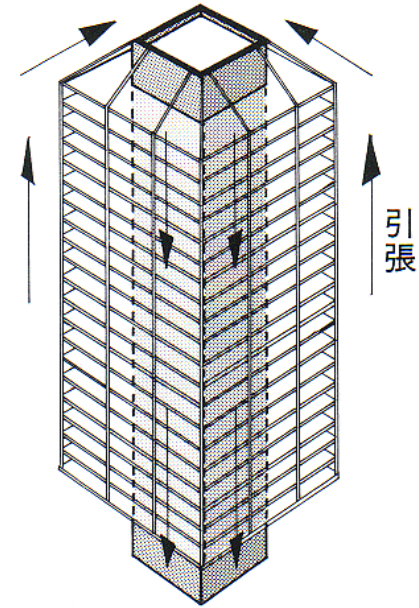


<http://f1.aacafe.ne.jp/~uratti/kyusyu/kyusyu.htm>

フロアテンション

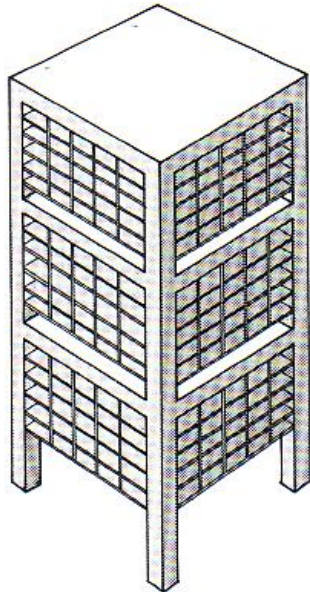


大梁式

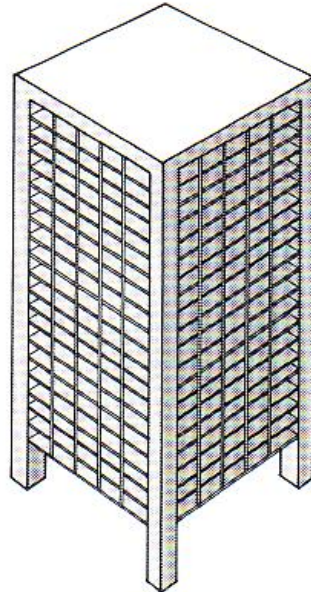


コア式

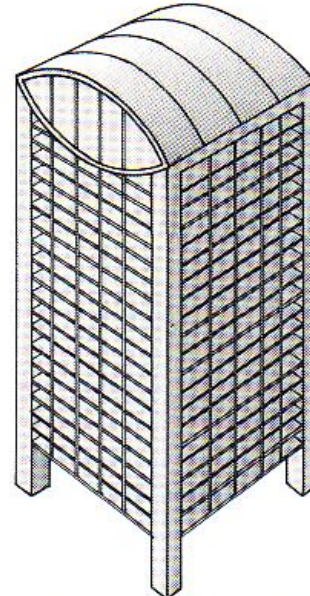
フロアテンションのバリエーション



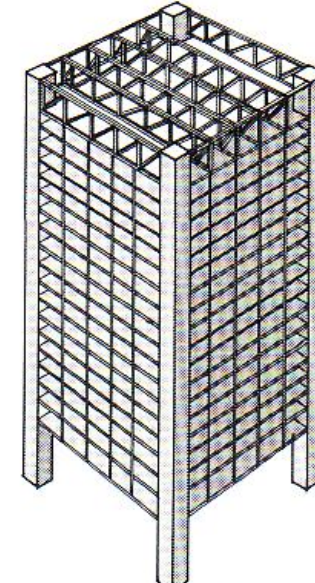
分割式



連続式



サスペンアーチ式



トラス式

テンセグリティ構造



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)