

## 建築構造デザイン 第5回 公共建築

都市・建築学専攻  
教授 前田匡樹

2018/11/22 建築構造デザイン 1

## 公共建築の特徴

- 高い安全性が求められる。
- 不特定多数が利用するため広いスペースが必要→大スパン、高層
- 都市の縮小、過密化に伴い多機能併用型の施設が多くなってきた。  
例, 木町通小学校=市民センター+小学校  
仙台メディアテーク  
=市民図書館+ギャラリー+イベントスペース

→構造形式が複雑になりやすい。

2018/11/22 建築構造デザイン 2

## 学校建築

- 変遷
- 明治以前 木造建築、木造校舎
- 明治時代 煉瓦校舎の普及
- 大正9年(1920)日本初の鉄筋コンクリート造校舎
- 神戸市 須佐小学校
- その後 地震や火災に強いRC造校舎が広く普及。
- ~1980年 学校不足→量的整備
- 1980年以降 教育の多様化→質的整備

2018/11/22 建築構造デザイン 3

## 学校建築

- 一般的な特徴
- ラーメン構造による均一な教室群
- いわゆる片側廊下式・分棟型の校舎
- しかし・・・  
近年はこれらを見直し、空間を自由に使えるようにしたフレキシブルな学校が増えている。

2018/11/22 建築構造デザイン 4

## 旧来の学校の典型的な構造

南北方向: 壁構造  
→耐力壁が力を負担

東西方向: 純ラーメン構造  
→柱が力を負担

幼稚園: 平屋、小学校: 2-3階建、高校: 4階建  
集合住宅と同様の一文字型平面

2018/11/22 建築構造デザイン 5

## 立教大学ロイドホール

日建設計×清水建設  
地下2階 地上7階  
RC造+鉄骨造(Pca造)

2018/11/22

### 建築計画

地下2階:集密書庫  
 地下1階~地上3階:図書館  
 4~7階:研究室等.

重荷重ゾーンが多い図書館フロアには高い強度が求められる。

強度と剛性に優れたPca床版を使用。

図 - 1 軸組図 (南北断面)

### 耐震壁によるコアの設置

コアを作る事で柱の少ない開放的な空間ができる。

図 - 2 床梁伏図 (2階)

### 梁一体型曲面PC床版システム図

底梁一体型曲面PC床版 (幅1650mm)  
 曲面PC床版 (幅1650mm)  
 PCa 間柱 @3300  
 SRC大梁  
 SRC柱 @6600

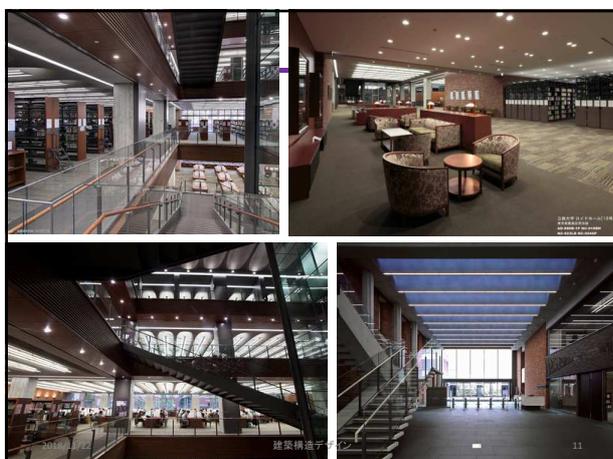
建物高さを抑えつつ、できる限り内部空間を確保する。天井を曲面に加工することで、図書館に落ち着きとやわらかさをもたらす。

2018/11/22 建築構造デザイン

### 構造・意匠・設備の三位一体のPCa床版

軸地ダクトを設置し 外気を手熱 電動用器による自然換気  
 ハイサイドライトによる天井光の取り入れ LEDライン照明を巡る高気密と断熱を一体とし 各階空間に利用 暖められた外気を各階空間に利用  
 書架中木部から空調吹出 書架間は吹出口の無いフラットな通路を実現 PC床版の形状を利用した空調ダクトメインルート  
 曲面形状のPC床板 大梁 PC形状を利用したLEDスリット照明

2018/11/22



### 剛柔論争

「柔構造」と「剛構造」のどちらが地震に強いか

- 関東大震災(1923年)後~昭和初期
- 柔構造派:真島健三郎(海軍技師、建築構造エンジニア)
- 剛構造派:佐野利器、武藤清(東京帝国大学教授)

2018/11/22 建築構造デザイン

### 剛構造と柔構造

#### 剛構造

- 壁など水平抵抗要素が多く固い建物
- 比較的短周期
- ex. 鉄筋コンクリート造  
壁式構造  
耐震壁付ラーメン

#### 柔構造

- 壁やブレースなど水平抵抗要素が少ない／無い建物
- 比較的長周期
- ex. 鉄骨造、木造  
免振構造  
純ラーメン

2018/11/22
建築構造デザイン
13

### 佐野利器(剛構造派)の主張

- サンフランシスコ大地震(1906年)
- 「家屋耐震構造論」(1914年東京帝国大学学位論文)
  - 建物の周期が地震動の周期よりも短いと全地震力が建物に作用するが、建物の周期の方が大きい場合はその地震力が建物全体にかかってくることなく、しばしば非常に有利になる
- 関東大震災(1923年)などの建物被害
  - 鉄骨造(柔構造)の変形による(設備・仕上げの)被害 丸ビル、郵船ビル
  - 鉄骨造の火災による被害 丸善ビル
- 市街地建築物法に震度法による耐震設計の導入
  - 建物の重量の0.2倍の水平力に対して構造材料が許容応力度に収める

2018/11/22
建築構造デザイン
14

### 佐野利器、武藤清：家屋耐震並耐風構造—常盤書房1935

結論 (第2章振動論-弾性震動論が記述されている)

之を要するに、地震時に於ける家屋の振動、震力分布或いは又その耐震性は今日の振動理論を以て説明し得ないものもある。然し乍ら耐震の理論も基をなすものは振動の理論である。之本章の重要な所以である。然し、実際の家屋の耐震性の複雑なるを考へるときは、吾々は大乘的立場より判断して家屋構造を選定しなければならない。斯くて帰納される最善の設計方針は現在一般に使用されているもの即ち、震度を出来るだけ大きく採って設計して強度を確保する方法となる。

「震度とは家屋に水平耐力を与え、地震に備へんが為に取りべき水平力の係数である。」

2018/11/22
建築構造デザイン
15

### 耐震設計 (建築基準法1950年) の考え方

- 剛構造で弾性設計が基本
- 設計用地震力 = 建物重量 × 水平震度

地震力

層せん断力

水平力

水平変形

終局 2次設計

降伏 1次設計

ひび割れ

2018/11/22
建築構造デザイン
16

### 耐震設計 (建築基準法1950年) の考え方

- 設計用水平震度 (k = 0.2)
- 許容応力度 (許容応力度 ≈ 材料強度)
- 建物を剛にする (強くする)
- 余裕を持たせる

地震時水平力/重量 ≈ 地動震度 × 応答倍率 (東京山の手) ③

$$0.3 \approx 0.3 \times 1.0$$

建物強度/重量 ≈ 設計用水平震度 × 材料安全率 × 構造余裕度 相当強度 ① × ② × ④(経験、直観?)

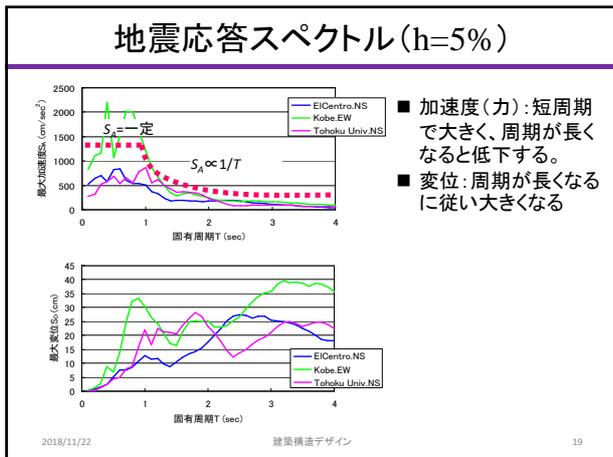
$$0.3 \approx 0.2 \times 1.0 \times 1.5$$

2018/11/22
建築構造デザイン
17

### 真島健三郎(柔構造派)の主張

- 「耐震家屋構造の選択に就て」(1924年4月・土木学会誌)
  - 地震の大きさを震度(加速度)で定義することに異議。
  - 建物の固有周期が地震波の固有周期と一致している時に建物は最も大きく揺られる(共振)
  - 建物の周期は揺れている間に伸びることがある。
  - 大地震の揺れの周期は1秒前後である。
  - 従って、1秒よりも周期の長い建物を作れば、共振を避けて大きな揺れを受けない。
- 現在の超高層や免震構造の設計につながる考え方であるが、当時は実際に周期の長い建物を実現することが課題。

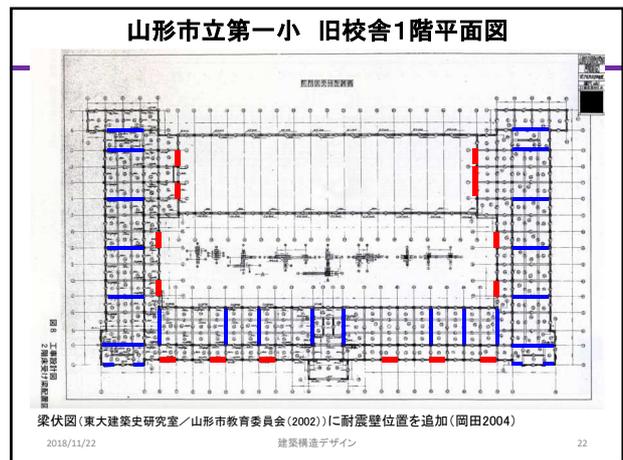
2018/11/22
建築構造デザイン
18



### 建物を地震に対して強くする技術

- 耐震構造  
地震の揺れに耐えるような強い建物を作る。
- 制振構造  
地震のエネルギーを吸収するような装置(ダンパー)を建物に設置し、建物自身の振動を抑える。
- 免震構造  
建物に免震層を設けて長周期化することによって、地震の力を受け流し、地震のエネルギーは免震層で吸収する。

2018/11/22 建築構造デザイン 20

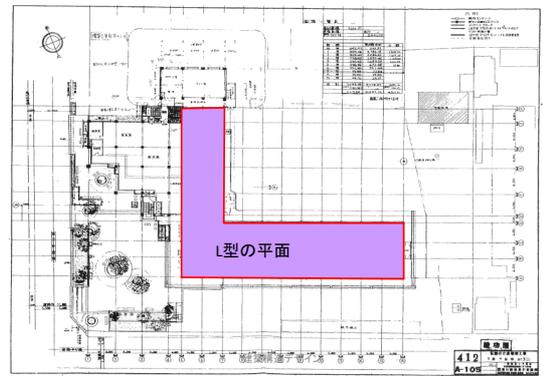


### 弘前市役所 庁舎

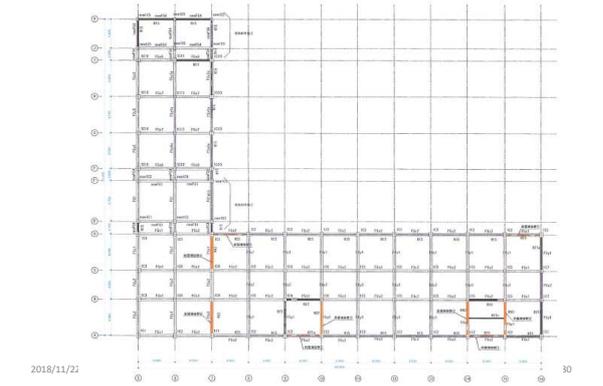
- 設計: 前川國男建築設計事務所
- 構造設計: 横山構造設計事務所
- 竣工: 昭和33年(1953年)
- 構造: RC造4階建、塔屋1階



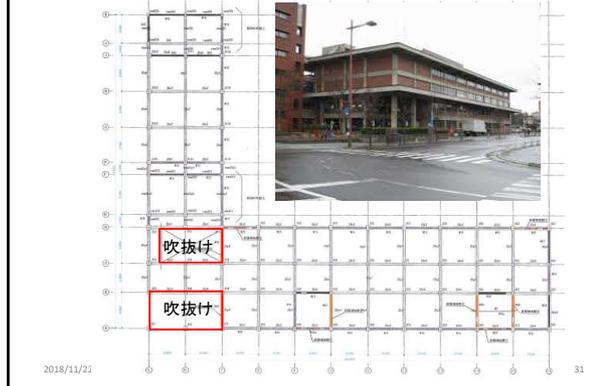
### 弘前市役所庁舎 1階平面図



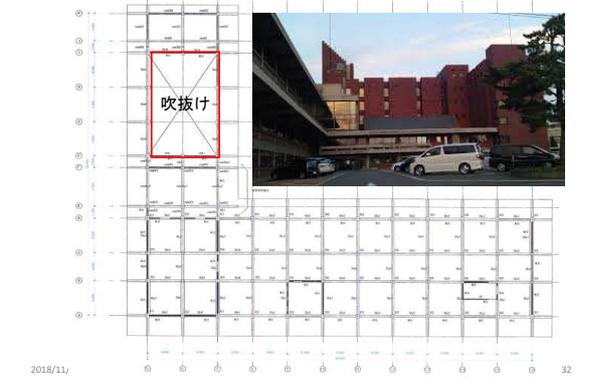
### 弘前市役所庁舎 1階伏図



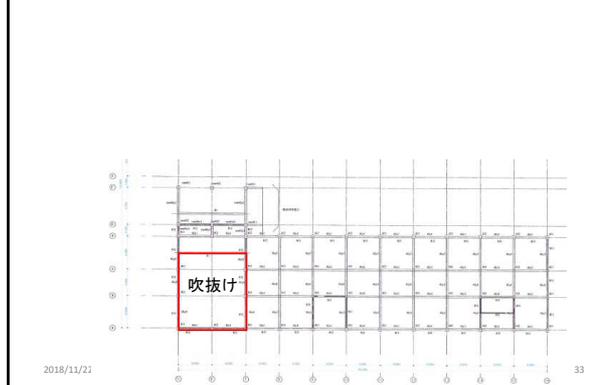
### 弘前市役所庁舎 2階伏図



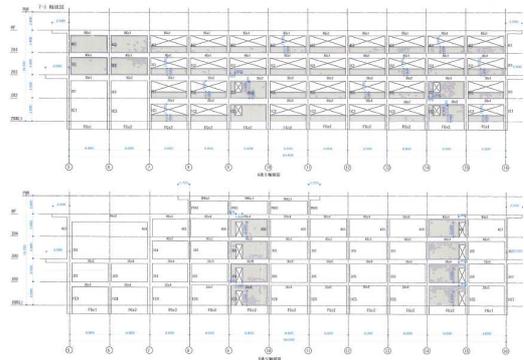
### 弘前市役所庁舎 3階伏図



### 弘前市役所庁舎 4階伏図



### 弘前市役所庁舎 A,B通軸組図



2018/11/22

建築構造デザイン

34

### 東京国際フォーラム

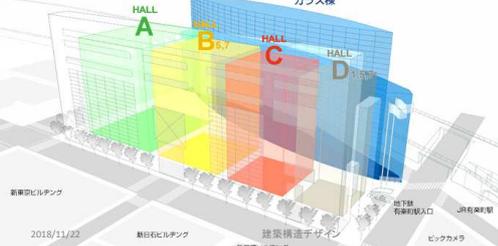


ラファエル・ヴィニオリ×  
構造設計集団(SDG)

2018/11/22

### 東京国際フォーラム

7つのホールや会議施設を持つ  
公的総合文化施設。  
ホールAは世界最大級の屋内コン  
サートホールで、また、ガラス棟と  
呼ばれる大きなアトリウムがある。



2018/11/22

新建築ビルディング

建築構造デザイン

36



空中回廊

ガラスホール  
を支える  
4つの構造要素

大柱

大屋根

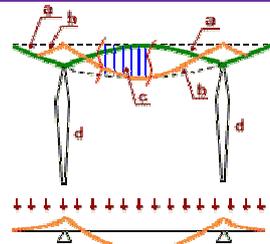
ガラス壁面

### 大屋根

メインアーチ、サスペンション(吊り)  
ケーブル、そして船底を形成するリ  
ブなどから構成。

#### 力の流れ

- 屋根ガラスの重量
- 規則的に配置されたリブ
- リブを貫く2本のメインアーチ
- 大柱



a:メインアーチ b: サスペンションケーブル  
c: 船底を形成する無数のリブ d: 2本の支柱

図1.ガラスホール屋根構造の概形(上)と  
片持ち梁付き梁のモーメント図(下)

2018/11/22

建築構造デザイン

38

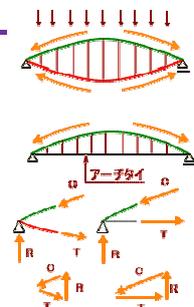
### 大屋根

#### サスペン・アーチ(suspension-arch)

アーチ: 荷重を受けると外向きのスラスト  
を発生  
ケーブル: 逆に内側へ近づこうとする水平力  
を発生。

→組み合わせることでスラストを打ち消す。

この構造形式をサスペン・アーチ構造という。



### リブの役割

1. 屋根ガラス面を受ける梁としての役割
2. 上記荷重をメイン構造へ伝達する荷重伝達材
3. メイン構造体を空間の所定位置に保持する、部材保持材

A:アーチ B:サスペンションケーブル C:タイケーブル  
リブ各部分は生じる曲げモーメントに抵抗できるよう、上下にフランジが付いたH型の断面をしている

2018/11/22 建築構造デザイン 40

### 大柱

#### 地震力への抵抗

コンサートホール側にある会議室等を耐震コアとし、柱途中で地震力(水平力)をここに流す

地震力の伝達(立面)と横力を受ける片持ち柱のモーメント図

会議室廊下の床を三角形状にして大柱をガッチリつかむ

地震力の伝達(平面)

2018/11/22

### ガラス壁面

#### 水平力の流れ

ガラスが受ける水平力は、ケーブルトラスを設けて対処。しかしガラス壁は高く、全長分を負担できない。

→途中に2つ水平トラスを設けて、壁面を3分割、ケーブルはこの間を負担。水平トラスが受けた力はホールをヨコに飛ぶ水平束と水平ブリッジでコアへ伝達。

a:ケーブルトラス b:水平トラス  
c:水平束 d:空中ブリッジ

立面図

平面図

2018/11/22 建築構造デザイン 42



30mのキャンチレバーが作り出す浮遊感

2018/11/22

### 立面構造概念図

約100m

地上1階  
地下1階  
地下2階

約32m

コアとなる支柱ゾーン

大きな力がかかりやすい!

片持ち梁 応力図

2018/11/22 建築構造デザイン 45

### キャンチレバー詳細

- 全体は鋼板構造。

鋼管にはなっていない、連続したスリットがあいており構造的には不安定。  
 中間の間仕切りに応力を集中させることで構造的に成立させる。

### 東北大学人間・環境系実験研究棟

基準階のS字状の平面  
 トラス状の柱が強調された外観

以下の資料は、日本設計の提供

### 建築概要

建設地：仙台市青葉区荒巻字青葉6-6  
 建築主：国立大学法人 東北大学  
 設計者：建築・構造 (株)日本設計, 国立大学法人 東北大学  
 (設計協力: 千葉学建築計画事務所)  
 設備 (株)T・S・G, 国立大学法人 東北大学  
 監理者：国立大学法人 東北大学  
 施工者：建築 佐藤工業(株)  
 主用途：大学  
 建築面積：2,552.73m<sup>2</sup>  
 延べ床面積：7,586.58m<sup>2</sup>  
 階数：地上5階/地下0階/搭屋1階  
 建物高さ：20.30m (基準階階高：3.80m)  
 構造形式：基礎免震構造  
 構造種別：鉄骨鉄筋コンクリート造(一部RC造、S造)

2018/11/22 建築構造デザイン 48

### 建築計画概要(1) 断面構成

3~5階 研究室・教員室  
 2階 講義室・製図室・演習室  
 1階 講義室・ギャラリー・事務室・機械諸室

2018/11/22 建築構造デザイン 50

### 建築計画概要(4) 3階(基準階)平面図

S字状に研究室を配置  
 各研究室に対して  
 採光・通風・眺望に配慮した計画  
 室内空間のフレキシビリティを確保するため、アウトフレームとしている。

- 研究室・教員室
- ゼミ室
- 廊下

2018/11/22 建築構造デザイン 53

### 構造計画概要

- 2~R階  
 架構形式：トラス柱付ラーメン構造  
 (トラス柱：アウトフレーム)  
 構造種別：(トラス柱) SRC造  
 (梁) SRC造(一部SC、S)
- 1階  
 架構形式：純ラーメン構造  
 構造種別：(柱) SRC造  
 (2階梁) SRC造  
 (1階梁) RC造
- 免震層(基礎免震)  
 免震部材：天然ゴム系積層ゴム支承  
 鉛プラグ入り積層ゴム支承  
 直動転がり支承  
 オイルダンパー
- 基礎  
 場所打ちコンクリート杭(アースドリル拡底工法)

2018/11/22 建築構造デザイン 56

### 構造設計方針

東日本大震災で被災した教訓による  
青葉山キャンパスの施設整備方針

- ① 研究棟は、「免震構造」とする。
- ② 地盤特性を考慮して、階数は5~6階程度にする。

#### 構造設計方針

- ① 免震周期4秒程度を目標とする。
- ② 上部構造の1次固有周期は、0.5秒以下を目標とする。
- ③ 建築計画に整合した構造計画

S字平面の地震時の挙動に対して、建物全体の剛性を高めて変形を抑制する。  
大梁のセットバックによる柱が強調された外観を実現する架構形式、構造種別の選定する。

東北地方太平洋沖地震における強震記録

建築構造デザイン 57

### 構造スタディ(検討モデル図)

#### 【基本モデル】

純ラーメンモデル  
柱:1000×1000

トラス柱モデル  
柱:700×700 (断面積1/2)

#### 【大梁セットバック検討モデル】

大梁端部をピン接合とする

純ラーメンモデル

トラス柱モデル

2018/11/22 建築構造デザイン 58

### 構造スタディ(変形図)

#### 【基本モデル】

純ラーメンモデル

トラス柱モデル

#### 【大梁セットバック検討モデル】

純ラーメンモデル

トラス柱モデル

変形 4倍

変形 1/4

変形 1.5倍

2018/11/22 建築構造デザイン 59

### 構造スタディ(曲げモーメント図)

#### 【基本モデル】

純ラーメンモデル

トラス柱モデル  
曲げ応力 小

#### 【大梁セットバック検討モデル】

純ラーメンモデル

トラス柱モデル

差が小さい

2018/11/22 建築構造デザイン 60

### 構造スタディ(軸力図)

#### 【基本モデル】

純ラーメンモデル

トラス柱モデル  
軸力が支配的

#### 【大梁セットバック検討モデル】

純ラーメンモデル

トラス柱モデル

差が小さい

2018/11/22 建築構造デザイン 61

### トラス柱とオフセット梁との接合部の検討

1,050

トラス柱を強調するためにオフセット

【柱】  
鉄骨 : 軸力、曲げ、せん断に抵抗  
コンクリート: 振り応力に抵抗

【外周スラブ】  
柱の振れを抑制する目的で、柱幅の1/2まで厚さ250mmのスラブを設ける。

2018/11/22 建築構造デザイン 62