

地震と建築

－ 私の設計手法 －

JSD (株)ジェーエスディー 徐光

1. 地震国である日本において設計で目指すべきこと

2011 年の東日本大震災は、M9.0 と最大規模の地震であったが、日本国内における地震は、1923 年の関東大震災、1978 年宮城県沖地震、1995 年阪神大震災等、数年に一度は M7.0 級の地震が起こっている。

表 1 過去の地震被害例

| | 関東大震災 | 新潟地震 | 十勝沖地震 | 宮城沖地震 | 阪神大震災 | 東日本大震災 |
|-----------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|
| 発生年 | 1923 年 | 1963 年 | 1968 年 | 1978 年 | 1995 年 | 2011 年 |
| マグニチュード | M 7.9 | M 7.5 | M 7.9 | M 7.4 | M 7.3 | M 8.0 |
| 最大震度 | 震度 6 | 震度 5 | 震度 5 | 震度 5 | 震度 7 | 震度 7 |
| 死者・行方不明者数 | 約 10 万人 | 約 20 人 | 約 50 人 | 約 30 人 | 約 6400 人 | 約 2 万人 |
| 全壊・半壊建物数 | 約 21 万棟 | 約 8500 棟 | 約 3600 棟 | 約 7400 棟 | 約 24 万棟 | 約 40 万棟 |

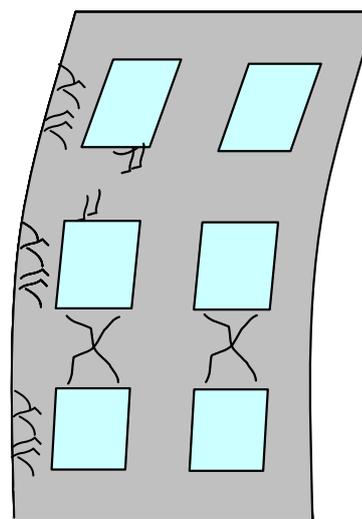
日本において建物を設計することは、地震という自然災害に打ち勝っていくということである。佐野利器によって提案された「震度法」に始まり、大震災が起こるたびに地震力を見直す経緯を辿っている。

近年では、2003 年の十勝沖地震のコンビナートの大火災や、2011 年の東日本大震災の超高層ビルの揺れを経験し、長周期地震動のメカニズムの研究が進み、特に超高層建物に対してどのように設計を行うべきか議論の最中である。

上述のような経緯を経て、現在の建築基準法では、地震に対する設計法が示されており、設計者はそれに従って設計を行っている。中小地震に対しては「許容応力度設計」、大地震に対しては「保有耐力設計」である。許容応力度設計では、中小地震に対して建物は無被害になるように設計を行い、保有耐力設計では、大地震に対して建物の倒壊が起こらない設計をする。つまり、大地震が発生したら、うまく建物を「壊して」地震のエネルギーを吸収させる設計である。

しかし、建物とは施主にとって非常に高価な財産であり、街の景観をつくる文化でもある。この事と、現行法規の「大地震時に建物を壊して倒壊させない」という設計法との間のずれに、設計活動をしていく中で、違和感を覚えた。なるべく①人命を守る②財産を守る③街を創る④歴史を創る、これら全てを網羅した設計を目標に行うべきだと考えている。

この目標に近づく構造種別のひとつとして挙げられるのは、プレストレストコンクリート構造（以下 PC 造）ではないかと考えている。PC 造は、PC 鋼材の緊張力による原点指向型の復元力特性を持つことから、建物が大地震発生後も残留変形を生じさせない弾性設計で、地震後の建物の継続利用が可能となる構造形式である。さらに、免震構造や制振構造、トラス構造、壁構造、軸力系のアーチ構造も弾性設計が可能となると考えている。



建物は変形したまま
ひび割れだらけ
<建物の価値がなくなる！>

図1 大地震時の建物状況

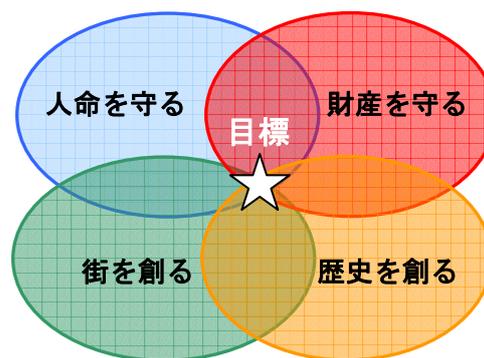


図2 設計の目標

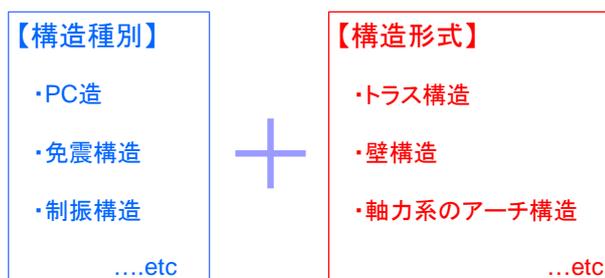


図3 弾性設計可能な組み合わせ例

2. 設計事例

2. 1 M's CORE

<建築概要>

所在地 : 神奈川県川崎市多摩区登戸1842
用途 : 診療所、専用住宅、共同住宅
規模 : 地上10階
敷地面積 : 462.78m²
建築面積 : 348.18m²
延床面積 : 1,998.77m²
最高高さ : 30.75m
構造形式 : 免震構造+PC造

意匠設計 : エーディーネットワーク建築研究所
施工 : 白石建設
PC施工 : 富士ピーエス

<計画概要>

この建物は、1階が診療所、2階が専用住宅、3階から10階がメゾネットタイプも含めた賃貸住宅という構成になっている。できるだけ広い空間が欲しい1階2階部分と、住戸間を壁で区切らなければならない賃貸住宅部分のように、計画の上で求められる構造形式の違いが見て取れた。

さらに、建物用途を考えて、地震の揺れに対して家具の転倒を防ぎ、地震後に無被害である免震構造の計画を行った。東日本大震災以前に設計が終わっていて、当時は免震層の施工中であった。もともと免震構造に対して非常に理解のあったオーナーではあったが、震災経験後、免震構造の採用に対して非常に喜ばれていて、建物価値をより一層高める結果となった。



写真1 建物全景

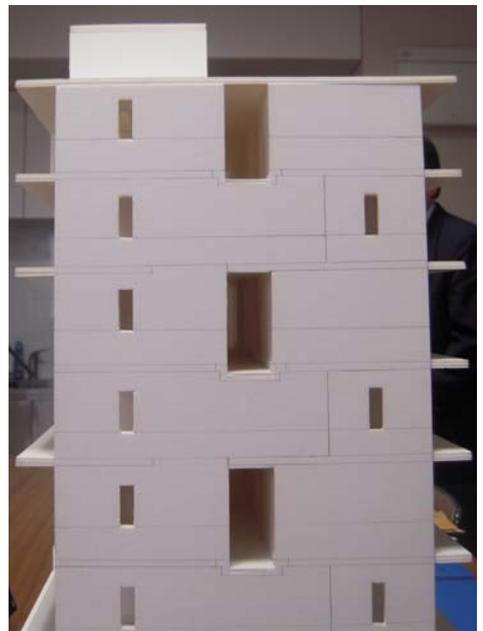


写真2 模型による版割スタディ

<構造計画概要>

①構造計画方針

3階から10階までの規則正しい計画から、壁版と床版のみで構成して同じ部材を繰り返し用いることができるため、PC造を採用した。また、大きい空間が要求される1階、2階はRC造のラーメン構造を採用している。3階からは壁が多くなるため、ラーメンフレームで陵立ち状に壁を受ける梁には、アンボンドPC鋼線を用いてひび割れの抑制、変形制御を行う構造計画している。

基礎は、N値50以上の砂礫層を支持層とする直接基礎を採用し、厚さ1mのマットスラブ状にべた基礎を計画し、地中梁を計画した場合の掘削のボリュームを低減するようにしている。

②PC版割計画

3階以上のPC造部分では、PC版をそのまま仕上げとして見せる計画となっていたため、PC版の割によって出てくる目地の位置に非常に注意して版割計画を行った。まずは、建物全体模型を1/50のスケールで作成し、**写真2**のように、目地位置を模型に書き込んで版割計画を行っていった。この際、壁の縦目地をなるべく出さないよう、住戸間の壁は水平に版割を行い、できるだけ一つの壁版が長くなる計画を行っている。

その結果から、一層分の壁を上下2分割することを利用して、意匠上の変化をつけた計画を行っている。それは、分割された壁の下部の版の鋼製型枠に、縞鋼板を用いてPC版を製作することによって、PC版に模様を付けたことである(**写真4**)。このことについて、PC工場にて試作を何回も繰り返し、上下の壁版のジョイント部分が最も綺麗に見える製作方法を模索している。上下の分割は、家具の高さに合うように、FL+850のレベルにて分割を行っている。



写真4 縞鋼板の模様

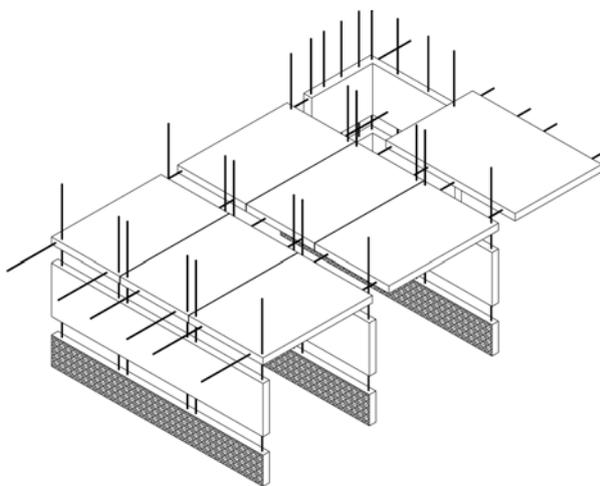


図4 PC版割のパース

床版と壁版の関係は、**図 4** のパースのように床版勝ちとした計画として、壁版に床版を置いて建て方ができるようになっている。床版は上下階の壁版に挟まれ、圧着されることで剛床を成立させる意図もある。さらには、このことにより、PC 建て方中の支保工をなくすことができ、建て方の日数の低減を目的にもしている。

③スケルトンインフィルの完全分離

PC 造を採用する場合、PC 部材は管理された工場にて製作されるため高品質で、さらには、強度も Fc50 を採用しているため躯体寿命が 200 年以上の長寿命にすることができる。しかし、設備機器等のインフィル部分の寿命は 10 年程度と非常に短く、躯体であるスケルトンとの完全分離を行い、設備の更新性を持たせる必要があると考えた。

その方法として、一つ目は設備配管である。**写真 5** のように奇数階の中廊下部分に各住戸の配管を横引きし、両端に PS を配した。仕上げには、デッキを張って通常メンテナンスと将来の設備配管の更新に備える計画を行った (**写真-5**)。そこで、中廊下部分の PC 床版は、凹型にしている。

また、電気配線についても埋め込みを行わないよう計画した。**写真 6** のように、PC 床版の下端に溝をつくり、電気配線用のモールドを嵌め込み、配線を行っている。それに加えて、壁面にも埋め込みをしないため、乾式によってふかし壁「機能壁」を設け、電気配線やエアコンの冷媒管も機能壁内に配管している。

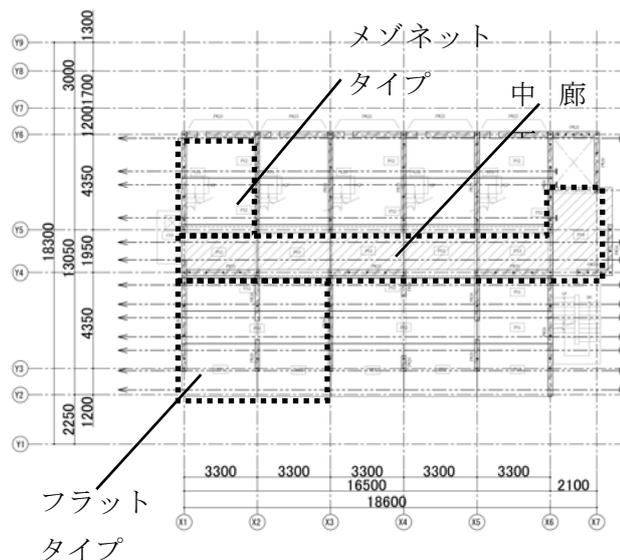


図 5 奇数階伏図

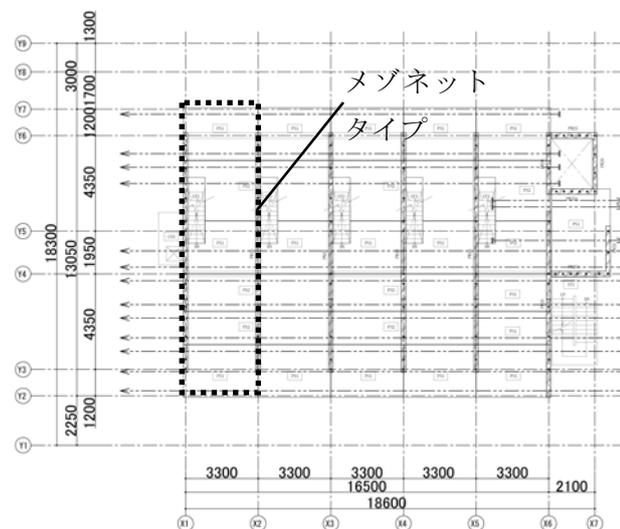


図 6 偶数階伏図

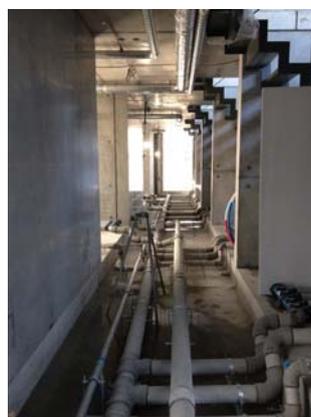


写真 5 設備配管状況



写真 6 天井面の電気配線

以上のように、運搬、建て方条件による版割だけでなく、意匠・設備の条件に対して徹底したPC計画を行った。

④免震計画

免震層の構成は、積層ゴム、弾性すべり支承、U型ダンパーの3種類を組み合わせた免震層を計画し、告示免震の設計ルートによって設計を行った。



写真7 北西側建物全景



写真8 南面側建物夜景

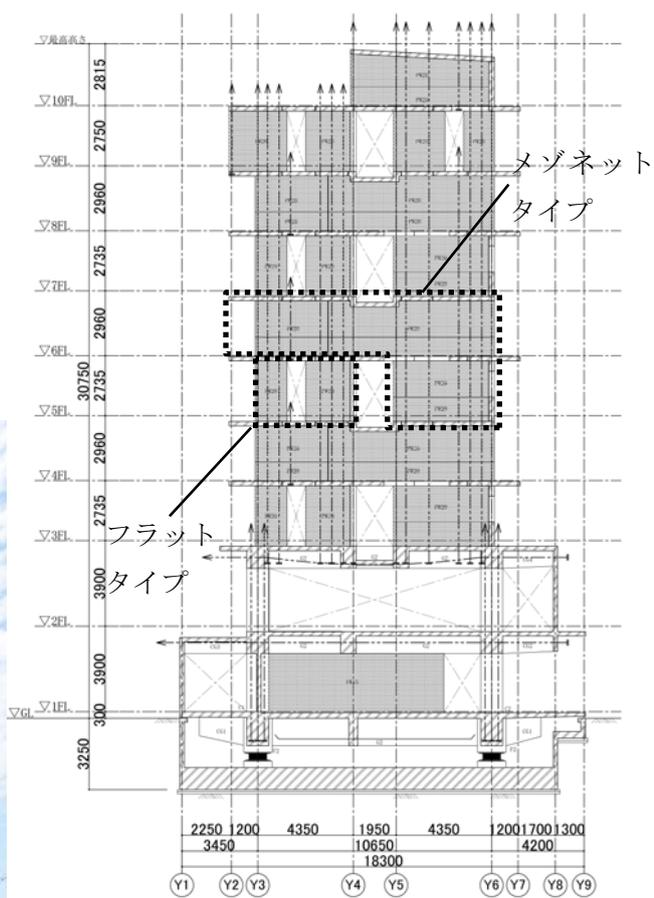


図7 軸組図



写真9 フラットタイプ室内写真

2. 2 東京未来大学 講義棟

<建築概要>

所在地 : 東京都足立区千住曙町

用途 : 学校

規模 : 地上4階

敷地面積 : 8,319.51㎡

建築面積 : 1,117.29㎡

延床面積 : 3,416.16㎡

最高高さ : 18.80m

構造形式 : RC造

意匠設計 : アーブ建築研究所

施工 : 清水建設



写真 10 大講義室内観

<計画概要>

○一般教室の構造計画

学生数を多く確保するためには、1教室あたりの面積をなるべく大きく確保する必要がある。その要求に対応するため、壁と同厚の柱梁で構成した耐震壁付きラーメン構造を採用した。壁厚は、300～350mmとしている。部屋内に柱型が突出することがないため、部屋内の有効面積は最大限に確保することが出来る。教室の幅は9m～10mとなっており、スラブを一律300mmと設定して、小梁は設けず全て版のみで構成した。スラブ内にはアンボンドのPC鋼線にライズを設けて配線し、たわみの制御とひび割れの抑制を行っている。最大9m×30mの平面はフレキシブル性が高く、自由な間仕切りの配置が可能で、将来的に必要なに応じて教室の大きさを自由に変えることができる。小梁を一切無くすことにより、高さ方向にも有利となる。天井高を最大限に活かすことが出来るため、建築上のメリットも大きい。見た目にも版のみで構成されたすっきりとした空間が実現した。

○学生ホールの構造計画とデザイン

1F南側の学生ホールはその機能上、広く大きな空間が要求された。そのため、16m×19.5mの平面に対し空間性と使用性を考慮した構造計画を考える必要があった。上階からはこの平面内に耐震壁が立ち上がってくる。そのため、上階耐震壁の端部柱の位置のみを下階の柱で受けることで、ホール内部の構造的な要素を最小限とするような計画とした(図8)。最終的にホール内には2本の細い柱のみが配置され、透明性の高い木製ハイサッシと共に、広がりのある空間を演出している(写真11)。

この2本の柱の特徴的な形状は、計画上の要求と構造上の要求を同時に満足するものである。柱脚部分において275Φの断面が、上部に行くに連れて広がっていき、2Fレベルの柱頭部分では2300Φとなる。地上レベルでは使用者の邪魔にならないよう、なるべく細く

することに主眼をおき、逆に 2F レベルでは、上階の柱や壁をなるべく広い範囲で受け止めることで、長期及び地震時の変動軸力に対する支圧性を緩和している。

3 層分を支持するこの柱は、ピロティ形式となるため、十分な安全率を確保することを念頭において設計を行った。また同時に柱脚断面を最小限とするため、柱内に 160Φ の丸鋼を挿入して補強を行っている。繰り返しのスタディと明確な設計方針によって、冗長性を与えつつ、スリムなプロポーションの柱を実現させている。

○大講義室の構造計画とデザイン

大講義室のある 4F 部分はセットバックしており、斜線制限を避けるような R 形の屋根形状となっている。また平面形状は、敷地にあわせて台形となっており、45m の長辺方向に対して、短辺方向は 14m~20m と、南側に行くに連れて幅が広がっていく。建築のプランは、長辺方向を 3 つのブロックに分けて、真ん中を EV ホールとし、その両脇を大講義室とするものであった。様々な条件から与えられた独特の外殻に対して、最大 16m のスパンの支え方と、空間性を考慮した構造計画が求められた。

屋根形状が R 形であるため、アーチによって力を伝達するのが自然である。そのため図 9 のように柱梁を一体化したアーチ状のフレームを構成し、これを等間隔に細かく連続させて、一方向に力を伝える構造形式を提案した。同じような形状のフレームが連続するため、プレキャストによる PC の検討を行った。しかし、使用重機の大きさや道路状況・敷地形状・建物形状など様々な条件を考慮していった結果、施工性が悪いと判断し、現場打ちの PRC にて設計を

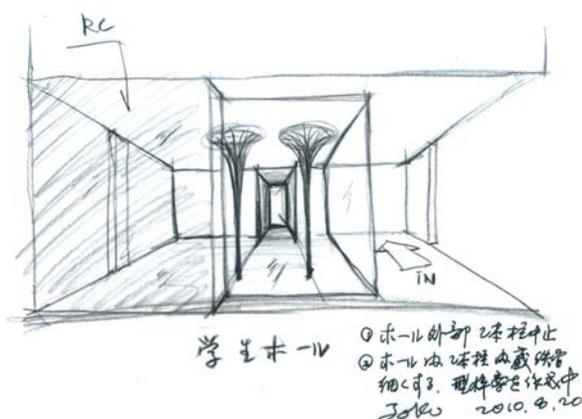


図 8 学生ホールスケッチ



写真 11 学生ホール内観

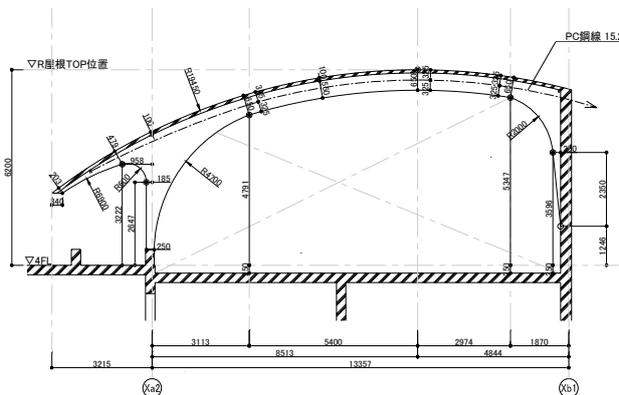


図 9 大講義室のフレーム図

行うことになった。

天井面においては、断面 200×650 のリブ梁が 1.25m ピッチで連続する。リブ内には断面中央に PC 鋼線を配線し、アーチを締めるタガ効果によってひび割れの抑制を行っている。

リブ梁は、スパンの片側では壁に取り付き、梁端部の曲げモーメントを、リブ成を縮めながら壁に伝達させ、やがて壁に吸収される。スムーズな応力伝達とその視覚化を意図した (写真 13)。

またスパンのもう片側においては、緩やかなカーブを描きながら下階の壁の位置を狙って、屋根の荷重を軸力として伝える。圓山氏との打合せを重ね、講義室の使用性と構造の合理性のバランスを協議した結果、現在のカーブ形状となった。スラスト処理は 4F スラブを介して下階の壁で行われる。

コリドールの屋根を支える片持梁は、天秤効果によって、フレーム全体の応力と変形のバランスを整える。これらのアーチ状のフレームを構成する要素を滑らかに一体化することによって、全体の力の流れが自然に表現されたこの独特なリブアーチの形状が誕生した。

台形の平面形状と R 形の屋根形状を組み合わせた外殻に、このリブアーチを、等間隔にはめこんでいくと、壁側において立面的にその形状を刻々と変化させながら空間が広がっていく。敷地形状と斜線制限から偶然生まれたこれらの効果も相まって、大講義室の内部空間は、他にはない独特で魅力的なものとなった。



写真 12 アーチの施工風景

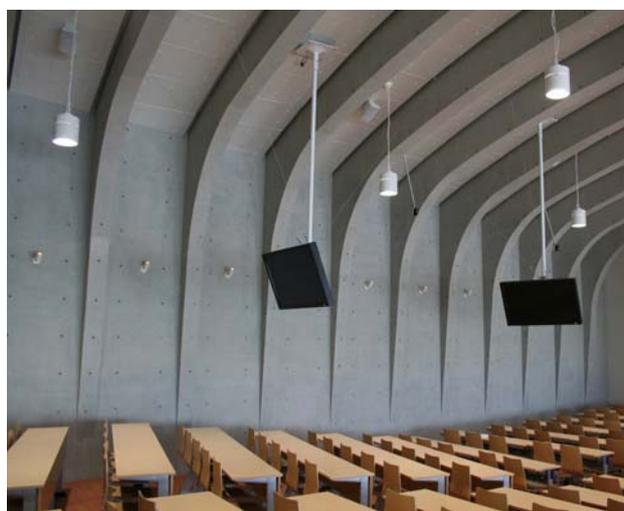


写真 13 アーチ端部



写真 14 コリドール側から見た内観