

9条 骨組の解析

1. 床スラブから梁に加わる鉛直荷重は、床スラブ上の荷重状態および床スラブの周辺条件を考慮して定める。等分布荷重を受ける長方形スラブを支える梁は、梁の交点から描いた2等分線および梁に平行な直線から作られる台形または三角形の部分の荷重を受けるものとみなすことができる〔図9.1参照〕。

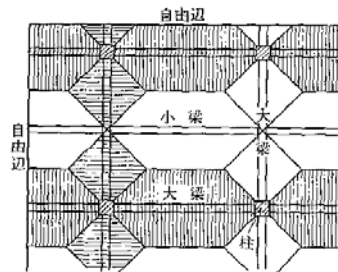


図9.1 等分布荷重を受ける長方形スラブを支える大梁および小梁の荷重範囲

2. ラーメンの面内にある壁体の重量は、直接柱に伝わるものとみなすことができる。ただし、基礎および開口の状況によっては、これによらず適当に考える。
3. 積載荷重については、満載荷重時について算定するほか、必要に応じ部分的載荷による影響を考慮する。
4. 大梁に剛接支持される小梁の曲げモーメントは、大梁のねじれ抵抗による拘束を考慮し、連続梁として算定する。

5. 架構のモデル化

(1) 柱・梁のモデル化

柱・梁を8条に示す、剛性を持つ線材と置換し骨組み解析を行う。この際、以下の項目を適切に考慮する。

i) 剛域の考慮

柱梁接合部などの材の接合部、ハンチの部分、腰壁・垂れ壁が材に接する部分などが応力に及ぼす影響については、部材を適当な剛域または曲げに対して剛でせん断変形のみする領域と変断面材から構成されるものと考えて算定する。ただし、この影響が小さい場合には、これを無視した場合の応力を適当に増大させてよい。

ii) 接合部の考慮

柱梁接合部のモデル化の方法として、柱梁接合部を曲げ変形に対しては剛でせん断変形する領域として取り扱うことができる。

iii) 特殊な架構では発生する応力・変形を考え、ふさわしいモデルを考慮する

(2) 耐震壁のモデル化

i) 耐震壁要素のモデル化

ii) 基礎支点のモデル化

6. 地震力を受ける架構の解析

地震力を受けるラーメンおよび耐震壁から構成される骨組の解析にあたっては、下記による
ことができる。

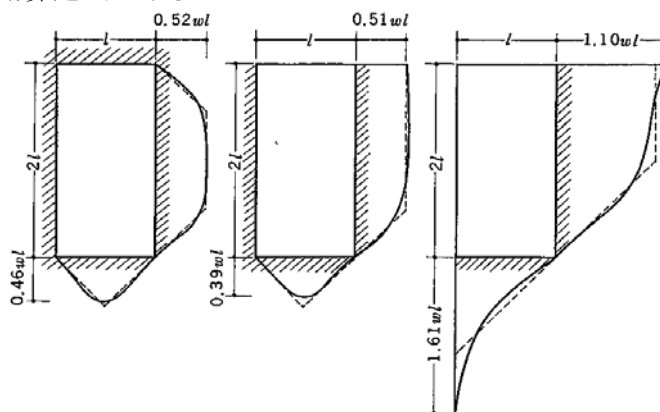
- (1) 水平力は、一般にはラーメン方向となる互いに直交する2方向に別々に作用するものとする。ただし、建築物の平面が特殊な形状の場合などでは、必要に応じて、特に不利な方向に作用する場合も考える。
- (2) 水平力は、床の位置に集中して作用するものとする。層の中間に作用する力の影響が大きいときは、別にその影響を加算する。
- (3) 一般に、床は水平面内に剛なものと仮定する。特に、剛なものと考えられない場合には、床の変形を考慮するかまたはその影響を考慮した適当な補正を行う。
- (4) 水平力による各層のせん断力の作用中心と、その層の剛性の中心（剛心）とはなるべく一致させるように計画し、一致しない場合は、ねじれの影響を考慮する。
- (5) 柱の鉛直変位による直交梁・直交壁の影響が無視できない場合には、その影響を適切に考慮する。
- (6) 片持ちのバルコニー等の建物外壁から突出する部分については、地震時鉛直力の影響を適切に考慮する。
- (7) 軸力や水平変位が大きい場合はP-Δ効果の影響を適切に考慮する。

7. コンクリートのひび割れによる剛性低下の影響を適切に考慮した解析

部材のひび割れ強度を上回る応力が生じる鉄筋コンクリート造建築物の構造性能を把握するためには、ひび割れによる剛性低下による影響を適切に考慮した部材の力と変形関係に基づく増分解析を行うことが望ましい。

1. 床スラブから梁に伝わる荷重

床スラブから梁に伝わる荷重は、梁の両側のスラブの反力の和に等しい。等分布荷重を受ける4辺固定スラブ、3辺固定1辺自由スラブまたは2隣辺固定2隣辺自由スラブの反力は解図9.1¹⁾に示すとおりであり、条文の仮定によって相当よい近似が得られる。集中荷重を受ける長方形スラブを4辺で支持する場合については前条の解説を参照されたい。付6は床梁の曲げモーメントおよびせん断力計算用算定式である。



(実線は精解¹⁾，破線は本条の規定によるもの)

解図 9.1 等分布荷重を受ける長方形スラブの反力

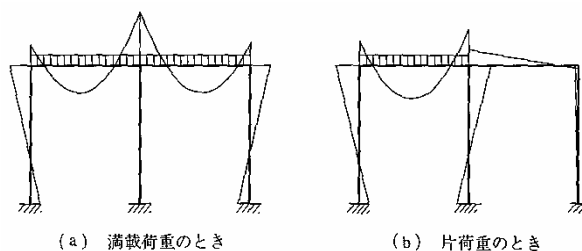
2. ラーメンの面内にある壁体からの荷重

ラーメンの面内にある鉄筋コンクリート壁体は、梁・柱と一体となって剛な構造体を形造る。例えば、ある1層に存在する壁体はその上下縁と梁との間のせん断力の作用によってこのラーメンでは板梁のようになり、ラーメンの応力は小さく、壁体はそれ自身せん断部材となるであろう。また、上下縁のせん断力が0であるとしても左右縁と柱との間のせん断力によって支えられたせいの高い梁と考えて十分である。

したがって、壁体自身の重量は直接柱へ伝達されるとみてよい。ただし、これはあくまで現場打ちの鉄筋コンクリート造の壁の場合であって、例えばブロック造の壁のような場合には、その壁体重量は直下の梁にかかるとしなければならない。

3. ラーメンに加わる積載荷重

ラーメンに加わる荷重のうち、積載荷重はいつも全箇所にて荷重が存在しているとは限らず、場合によっては、あるスパンにて荷重が加わり、隣のスパンの荷重は予定ほどには加わらないという場合も生じる。すなわち、積載荷重が部分的に減少することが起こり得る。一方、ラーメン各部の応力はラーメンの全箇所にて荷重が全部載ったとき、すなわち満載荷重時に最大になるとはかぎらない。かえって、ある箇所の荷重が少ないときのほうが応力が大きくなる事実がある。例えば、解図9.2のような2スパンラーメンの内柱についていうと、その軸方向力は左右の両スパンにて荷重があったときが最大であるが、曲げモーメントについて考えるならば、満載荷重のときは0であって、左右のつり合いの破れたとき、すなわち、左右のいずれか一方だけに荷重があるときに値が大きくなる。このように各箇所の各応力の種類によって、それぞれに特有の最も不利な荷重状態、換言すれば積載荷重の最も不利な減少状態が存在する。したがって、ラーメンの各部応力の算定にあたっては、まず固定荷重と積載荷重が全部予定どおり加わった時、すなわち全荷重が加わったときについて考え、次に積載荷重が部分的に減少したことにより増大する応力のことを考えあわせて、その補正を行うようにする。

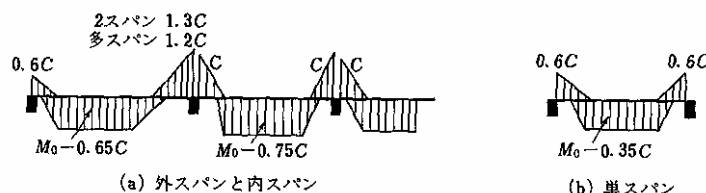


解図 9.2 対称 2 スパンラーメンの曲げモーメント

さて、この際、積載荷重が予定荷重に対してどの程度に減少した場合を目標とするかが次の問題となるが、倉庫などでは積載荷重が部分的にまったくない場合があり得るから、そのような荷重状態に対して準備すべきであり、事務所建築に属するものでは積載荷重が部分的に半減した場合に対して準備することが妥当と考えられる。予定した積載荷重が固定荷重に比べて小さいときには、その部分的減少による影響も小さいことから、特に補正を要しない場合もあり得る。~~なお、均等ラーメンに対する曲げモーメントの数値については文献2)を参照されたい。~~

4. 大梁に支持された小梁の応力

スパン長さがほぼ等しく、各スパンがほぼ等しい荷重を受ける連続小梁の最大正負曲げモーメントは、解図 9.3 によることができる。ただし、 C は両端固定梁の固定端モーメント、 M_0 は単純梁の中央部正曲げモーメントとする。解図 9.3 は、隣接 2 スパンの長いほうが短いほうの 1.2 倍以下で積載荷重が固定荷重の 2 倍以下の連続小梁に対して用いることができるものである。

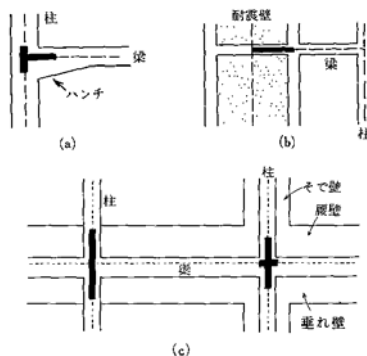


解図 9.3 等分布荷重を受ける連続小梁の正負最大曲げモーメント

5. 架構のモデル化

(1) 柱・梁のモデル化

i) 剛域の考慮 鉄筋コンクリート骨組の応力を計算するために、一般にラーメンを線材で置き換えている。この場合、各節点は剛節点と考え 1 点で表され、部材はスパン中央の断面 2 次モーメントを一様に持っているものと考え、固定法やたわみ角法あるいはせん断力分布係数法などの解法を用いたり、またはコンピューターによる構造解析を行っている例も多い。しかし、実際の骨組には解図 9.4(a)のようにハンチがあったり、また、ハンチがなくとも、柱、梁は幅をもっているから、節点近くでは断面は無限大に近くなる。解図 9.4(b)のように耐震壁も線材として取り扱うようなときには、断面 2 次モーメントが大きくなる範囲はきわめて広くなる。解図 9.4(c)のように、腰壁・垂れ壁あるいはそで壁など、耐震壁として取り扱われないような薄い壁やブロック壁に剛接される部材も、これらの壁に接する部分の断面 2 次モーメントは大きくなる^{23)~26)}。



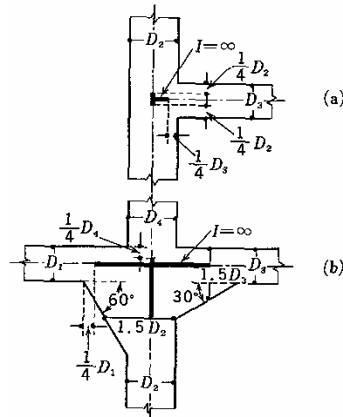
解図 9.4 種々の材接合部の剛域の設定

このような断面 2 次モーメントが無限大と考えてよいような範囲〔解図 9.4 の太線部分〕を剛域とよび、一種の変断面材として取り扱うことができる。

鉄筋コンクリート骨組では、次のような剛域を考えればよいことが一般に認められている。

- ① 材の端がほかのコンクリート材あるいは鉄筋コンクリート材に剛に接合されるときは、その縁より材せいの 1/4 入った点で定める〔解図 9.5(a)参照〕。

- ② 材が軸に対し 25° 以上の傾斜をするハンチをもつ場合には、材のせいが 1.5 倍の点をもって定める。ただし、ハンチの傾斜が 60° 以上のときは、ハンチの起点より材せいの $1/4$ 入った点で定める [解図 9.5(b)参照]。



解図 9.5 材接合部の等価剛域長

- ③ 左右のハンチ差異，その他によって上に定めた点が 2 点以上同時に存在する場合には，剛とみなすことができる部分大きいほうによる。

この剛域の定め方の根拠は，奥田 勇の実験結果²⁷⁾によったもので，種々の分布の曲げモーメントに対し，解図 9.6 に示すような剛域を考えれば，接合部の剛性をよく表しうることが確かめられている。

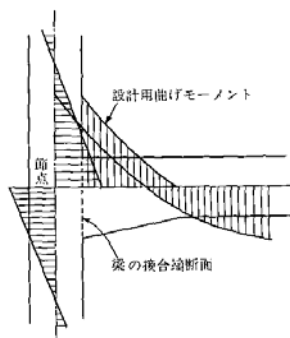
なお，剛域を考えた計算法については，文献^{28)~31)}を参照されたい。

変断面材をもつラーメンを解くのは多少面倒である。解図 9.4 の (a) に示す材の接合部などのように，それがラーメンの応力や変形に及ぼす影響が小さい場合の緩和策としては，例えば次のような方法で設計用曲げモーメントを定めることも考えられる。

形 式	剛域の限度 x	図 8.16 による決め方
A	$x=0.215 D$	$x=0.25 D$
B	$\alpha=30^\circ$ $\alpha=45^\circ$ $x=(1.57\sim 1.86) D$ $x=(1.46\sim 1.50) D$	$x=1.50 D$
C	$\alpha=45^\circ$ $\alpha=60^\circ$ $x=(0.32\sim 0.39) D$ $x=(0.17\sim 0.20) D$	$x=0.25 D$

解図 9.6 材接合部の等価剛域長の設定方法

- 鉛直荷重に対する算定にあたっては，その節点曲げモーメントをもって材の接合端断面 [解図 9.7 参照] の曲げモーメントとし，これに伴って，節点より反曲点までの曲げモーメント図を材の中心に向かって移動させ，各部の設計用曲げモーメントとする。
- 水平荷重に対する算定にあたっては，各部の曲げモーメントの値をもって，その箇所設計用曲げモーメントの値とみなす。



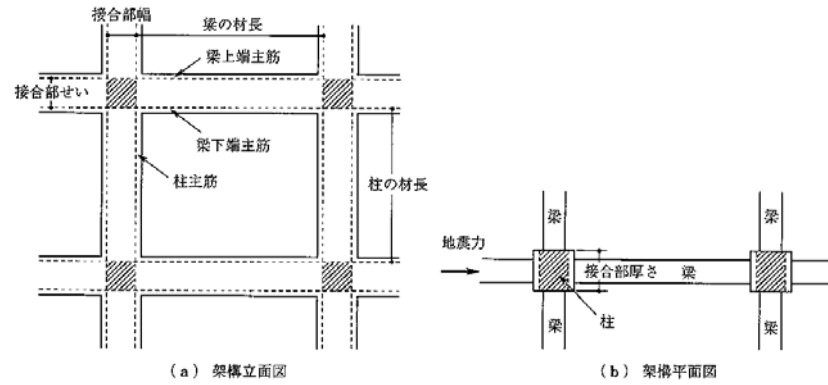
解図 9.7 鉛直荷重に対する設計用曲げモーメントの設定方法

ii) 接合部の考慮 一方、純ラーメン構造の柱梁接合部のモデル化の方法として、曲げ変形に対しては剛であるが、せん断変形は考慮する領域として取り扱われることがある。このことは、以下の点からみて利便性を有している。

- ①鉄筋コンクリート造の柱梁接合部においては、鉄骨造の柱梁接合部のように明快なせん断変形をずるとして評価することは難しいが、解析技術の進歩により純ラーメン構造においては以前に比べて全体としての応力変形状をより良く追跡することができる。
- ②柱梁接合部のせん断強度に対する検討にあたって、柱梁接合部の設計用応力を存在応力で考えたい場合にはこれを直接算定することができる。
- ③特に純ラーメン構造においては、柱、梁部材の弾塑性特性をフェイスに近い危険断面で評価できることが、材端における危険断面において弾塑性特性を導入する解析を行う上でも、またそれらの設計上の評価を行う際にも都合がよい。
- ④柱梁接合部のせん断変形に対する弾塑性復元力特性を直接解析に導入して骨組全体の非線形解析を実施することが可能となる。

以上のことから、柱梁接合部をせん断変形する領域と仮定する場合、接合部の領域としては、柱、梁フェイス位置で区画することが考えられる。しかしながら、柱、梁の曲げ変形する可とう領域が若干柱梁接合部にくい込むことを想定して、図 9.8 に示すように柱、梁主筋のかぶり厚程度まで追い込んで仮定する方が、十字形架構の有限要素解析による解析結果や、高層鉄筋コンクリート造の中小地震における地震時挙動（曲げひび割れ以前の弾性範囲内の挙動）をより良く模擬できるようである³²⁾。なお、この場合の柱梁接合部せん断剛性の評価に際しては柱の全高さ×有効幅（15 条 4 を参照）を有効断面積として採用することが多い。また、この時必要となるコンクリートせん断弾性係数は、5 条で与えられる式により算定する。

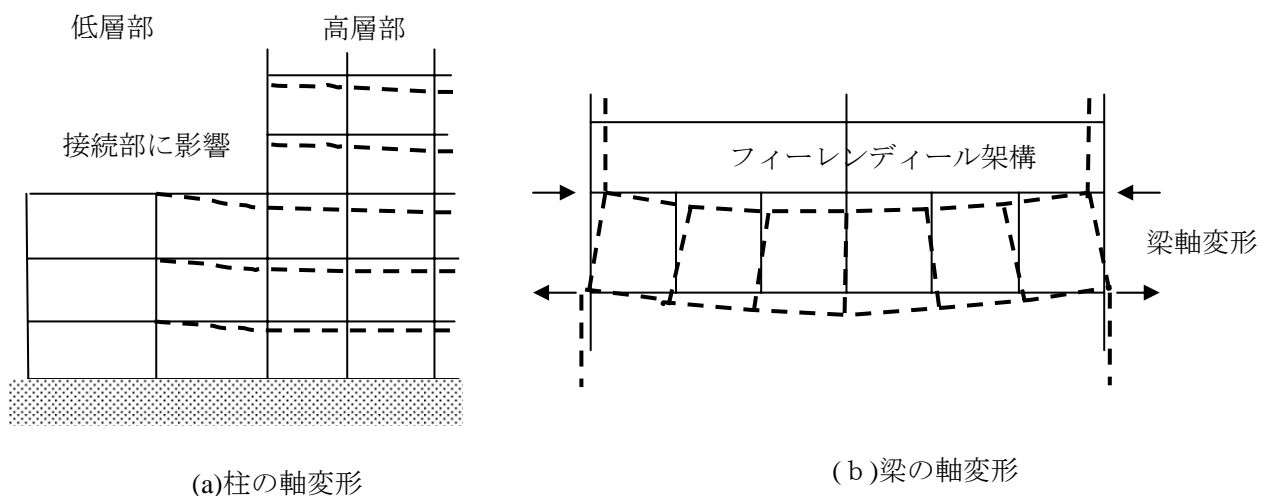
また、高層鉄筋コンクリート造などを対象とした水平力に対する解析において、柱梁接合部は一般に解析上は軸方向変形しないものとして扱っているが、実際は柱梁接合部においても軸方向変形すると考えられる。このため、柱の軸方向剛性に対応する断面積 A に、「柱の材長/階高」を乗じることにより低減するなどの補正方法を導入し、柱梁接合部における軸方向変形分を柱の軸方向変形分を含めて評価することもある。



解図 9.8 柱梁接合部のせん断変形考慮時の解析上の領域設定

iii) 特殊な架構に対する考慮 常時荷重時には通常の場合は軸変形を考慮することは少ない(8条2-1-1.3参照)。しかし、高層建物等で軸剛性の異なる柱が並存する場合には、施工の段階で徐々に軸変形が増加し、柱間に軸変形の差が現れ、取り付く梁や床に比較的大きな部材角が発生する恐れがある。特に高層部に低層部等が取り付く場合には、高層部の柱の軸変形が施工につれて進み、低層部との接続部の床、梁に支障を生じる可能性がある。この軸変形には勿論クリープ変形量を含んで考える必要がある。このような恐れがある場合には、施工段階を考えた解析が必要であり、施工時に変形を考えた柱長さとする、あるいは後打ち帯を設けて低層部との連結の施工時期をずらすなどの対策が考えられる。

柱抜けなどにより階に渡ってトラス架構やフィーレンディール架構が形成される場合は上下弦材となる梁に軸力が生じる。この場合に、通常のように剛床が仮定された解析を行っているとき梁の軸剛性を過大に想定し、鉛直変形を過小に評価してしまう。また断面設計においても軸力を考慮しないため危険側となる場合がある。この場合には剛床条件をはずし、有効範囲を適切に判断した梁の軸剛性を評価し、変形量を求めると同時に断面設計にも考慮する必要がある。



解図 9.9 軸変形の影響

(2) 耐震壁のモデル化

i) 耐震壁要素のモデル化

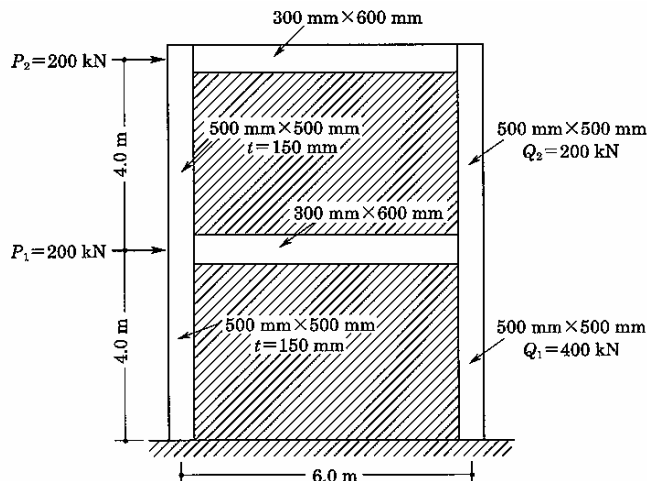
ii) 基礎支点のモデル化

鉛直荷重を受けるラーメンの応力算定に際しては、基礎支点を鉛直方向固定としてモデル化してよい。これは、基礎支点毎の沈下量を簡単に推定することが困難なために行う一便法であるが、対象とする不静定構造物に対する近似算定の応力解析の範囲において、工学的には十分な取り扱い方である。ただし、支持層の異なる杭基礎を併用した建物、杭基礎と直接基礎を併用した建物、あるいは埋立地で杭先端支持層の沈下が設計上無視できない建物などでは、基礎支点ばねを適切にモデル化しなければならない。

一方、水平荷重に対する応力算定時の基礎支点のモデル化は、上部構造におけるせん断耐力や曲げ耐力以上に注意を要する。

一般に、耐震壁の剛性は無壁ラーメンのそれに比べて著しく高い。例えば、解図 9.9 に示す 2 層 1 スパンの例について基礎固定として計算した剛性は、同じ柱・梁を持つ無壁ラーメンの剛性に対し、1 階で 53 倍、2 階で 37 倍になっている。水平力は、その剛性に応じて耐震壁や柱に分担されるから、耐震壁の負担せん断力は極めて大きくなる。これに対する耐震壁の耐力として特に問題になるのは、水平力により基礎反力として働く引張力が大きくて、鉛直荷重と合成してもなお引張力となる場合である。直接基礎の場合、基礎は引張力に対して抵抗ができないので、引張側の基礎の底版面は地盤面と離れるいわゆる浮上がりも生じることになり、基礎とともに耐震壁が回転し、水平力に対する抵抗が増大しなくなる。解図 9.9 の例で、耐震壁の負担力を図のように仮定すると、基礎反力は 400kN となり、鉛直荷重による基礎反力がこれ以下（例えば、300kN）の場合には、この耐震壁に解図 9.9 のような水平力を負担する能力がないことになる。

このように浮上がりが起こるところまでいかなくても、基礎に加わる力が大きいために、基礎は引張側で上昇し圧縮側で沈下することにより回転を起こすはずで、そのため剛性が低下する。したがって、通常、基礎固定の仮定は許されない。解図 9.9 の例で、まず基礎固定として剛性を算出したが、これに対し基礎の回転角 $1/5000$ が生じるものとして剛性を計算し直すと、基礎固定時よりずっと低下して、1 階で 15 倍、2 階で 11 倍となる。また、基礎の回転角 $1/1000$ が生じるとした場合には、1 階で 4 倍、2 階で 3 倍となる。なお、上記の数値は耐震壁が独立して立っている場合である。



解図 9.2 2層独立耐震壁架構

多層の場合も同様に基礎の耐力に注意すべきである。多層耐震壁では負担しうるせん断力は、直接基礎の場合浮上がり現象が生じるかどうか、杭基礎の場合耐震壁側柱直下の杭に引拔力が生じるかどうか、また、この引拔力の大きさが杭の引拔抵抗力以内にあるかどうか大きく左右される。一般には、耐震壁の前後左右にラーメンが連続して、いわゆる境界効果と呼ばれる耐震壁に隣接する梁からの曲げ戻し効果^{10),17)}を生じることになり、周囲に十分強固なつなぎ梁や基礎梁を設ければ、相当大きなせん断力を負担させても、ある程度の基礎回転をおさえることもできる。しかし、直接基礎、杭基礎のいずれの場合も、基礎反力の検討は最も重要で、これによって耐震壁の耐力が決まる場合も多いから、応力算定に先立って概算するとともに、せん断力決定後の検定も怠ってはならない。

なお、付 12 に耐震壁の基礎回転量を計算するための資料を示すので参照されたい。

6. 地震力を受ける骨組みの解析

本条 7 項は、水平力すなわち地震力および風圧力に対する構造解析を行う場合の仮定について述べたものである。

(1) 水平力の作用方向

水平力は一般に互いに直交するラーメンの方向となる直交 2 方向に別々に作用するものとして考えて計算してよく、同時に直交 2 方向の水平力は考える必要はない。これは、一般に矩形の平面を有する建築物の場合、直交 2 方向がラーメンの方向に一致し、構造力学上、水平力の作用方向と変位の方向が一致する方向として立体ラーメンの「剛性の主軸」と定義され⁶⁾、この二つの互いに直交する剛性の 2 主軸に別々に水平力を作用させて構造計算を行って架構の応力を求めることが力学的に明快で考えやすいからである。しかし、本来建物に入力される地震動により作用する地震力は任意の方向からのもので、構造設計上はあらゆる方向からの水平力に対して安全性を確認する必要がある。この場合、本項の主旨は、直交 2 方向のラーメンから構成される通常の矩形平面をもつ建物では上記のラーメン方向である二つの剛性の主軸に別々に水平力を作用させた解析で得られる部材応力を主体に本規準による設計を行えば、概ね

任意方向からの水平力に対して安全性が確保されるという考え方に基づくものである。したがって、建築物の平面が特殊な形になっている場合、斜行するラーメンを含む場合、ラーメン方向が直交2方向であってもL字形や段形などの不整形な平面立面をもつ多層建物の場合などでは、前記の剛性の主軸が直交2方向と一致せず、斜めに傾くことになるので^{7),8)}、特に不利な方向の水平力に対しても応力を計算すべきである。また、前記の矩形平面を有する建築物の場合でも、高層になった場合や柱本数が少ない場合には、斜め方向の水平力に対して隅柱などが軸方向力に対し不利となり、建築物の安全性に及ぼす影響が大きくなるので検討を必要とする場合もある。この場合の斜め解析方向は、設計上最も不利な方向とするが、梁が架かっている直交2方向の耐力および耐力時の変形がほぼ等しい場合には、斜め45°方向としてよい⁹⁾。これらのように、斜め方向の水平力に対して解析する必要がある場合には、立体解析によるのが望ましい。

また、ある方向に作用する水平力の向きについては、弾性（線形）解析時等、正加力（左から右への加力）時の部材応力から負加力（右から左への加力）時の部材応力が推定できる場合には正加力時の解析のみを行えばよい。しかし、部材のひび割れ、降伏、基礎の浮き上がりなどによる復元力特性の非線形性を考慮する場合等で、正加力時の部材応力から負加力時のそれを容易に推定できない場合には、正加力時だけでなく負加力時についても解析する必要がある。

(2) 水平力の作用位置

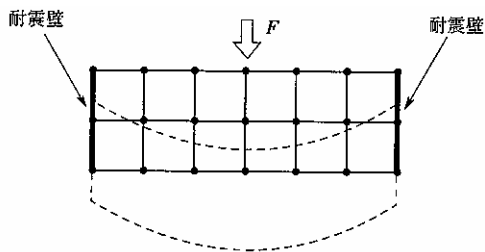
地震力による水平力としては、質量が集中する床位置に集中荷重として加わるほかに、層の中間にも、柱や壁の質量による荷重が分布荷重として加わることになるが、簡単のため、この荷重を上下に振り分けて、床位置の集中荷重とみなして差し支えない。この仮定は、普通の建築物では結果に大差を与えない。

中間荷重の影響が大きい場合、例えば階高が著しく高いとき、階の途中に大きな庇があるときなどでは、別にその影響を加算する必要がある。また、風圧力による場合もまったく同様のことがいえる。

(3) 剛床仮定

水平力は床を通じて柱や壁に伝わるものであるから、床は水平方向に力を受けてその方向にいくらか変形することが考えられる。しかし、この変形は、普通、柱や壁の水平変位に比べてずっと小さいために無視することが許される。これが剛床の仮定である。この仮定により、建物にねじれが起こらないかぎり、同じ層の柱や壁の相対水平変位は相等しいことになり、応力解析が単純化される。

ただし、吹抜け等により平面における床スラブの欠損が大きい場合や、建物平面形状が細長い場合には、床を剛と考えられない場合もある。解図9.？のような細長い平面形の建築物で、短辺方向の耐震壁の間隔が長い場合には、端部の耐震壁に比べ中央部のラーメンの柱に大きな相対変位が起こり、柱の負担せん断力が増し、端部の耐震壁は変位が小さく負担が減る。このようなときには、床の変形（剛性）を考慮した立体解析を行うか、適切に計算を補正する必要がある。



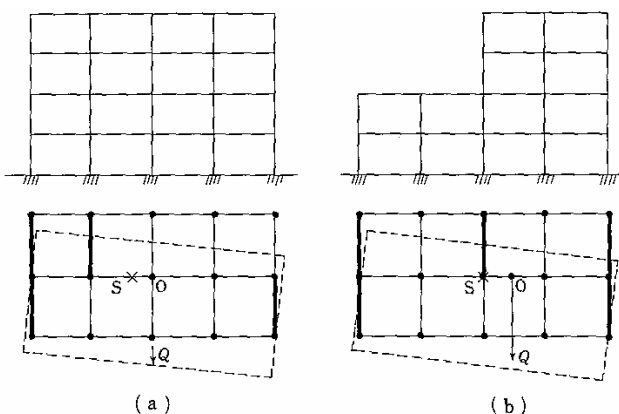
解図 9.7 水平力に対して床が剛でない場合の床の変形

(4) 床のねじれ回転の影響

せん断力の合力の中心と柱，耐震壁などの骨組の剛性の中心（剛心）とが一致しない場合は建築物全体にねじれが起こる．例えば，解図 9.8(a)のように，ある階の耐震壁の配置がかたよっていると，剛心（S）はせん断力の合力線とずれ，偏心によるねじれが起こる．また，解図 9.7(b)のように，建物上階の一部が高いと下階のせん断力の作用中心（O）は建築物の一方に偏し，剛心（S）がほぼ中央にあれば，やはりねじれが起こることになる．

このねじれによって骨組に不利な応力が生じ，耐震性が低下するから偏心を避けるように計画すべきである．やむを得ず鉛直部材を偏心が生じるように配置するときは，それと直交方向の両端部に剛性の高い耐震壁をおき，建築物全体としてのねじれ剛性を高めてねじりモーメントに抵抗するような計画とすることが望ましい．

ねじれが生じる建築物の水平力に対する構造計算では，このねじれ変形を考慮して，骨組を 3 次元架構として扱った立体解析か，または擬似的に水平加力方向のラーメンのみならず直交方向のラーメンの抵抗を考慮した擬似立体解析を行うことが望ましい．この場合，水平力は各階床の重心位置に作用させることになり，当該階のねじれ変形は，当該階以上の水平力の大き



解図 9.8 せん断力の中心（O）と剛心（S）とが一致せずねじれる場の床の変形

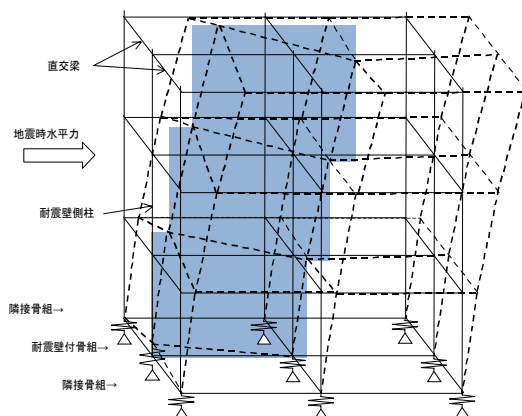
さとそれらの作用点である重心位置により定まる当該階層せん断力の作用中心と剛心との間の偏心距離によるねじりモーメントと剛心回りのねじれ剛性に左右される．柱の軸方向変形の影響が無視できない多層立体架構では，架構を構成する柱，耐震壁などの抵抗要素の剛性が当該階に作用する層せん断力ばかりでなく他の層に作用する水平力の影響を受けるので，D 値法¹⁰⁾などで当該階における負担せん断力と層間変位の関係で純せん断型として一義的に定義す

ることが難しい。したがって、骨組の抵抗要素の配置が対称性をもって配置される場合などを除いて、剛心位置は構造力学的意味で水平力の分布に左右されることになるので^{7),8)} 注意を必要とする。すなわち、この種の立体架構では、水平力の分布を仮定して応力変形解析を実施してその結果から当該階の抵抗要素の剛性を層間の等価せん断剛性（等価な D 値に相当する）として定めることにより、解析の結果として剛心位置を定めることが可能になる。

なお、 D 値法などを用いて応力解析を行う際に、偏心のある場合の計算は、文献 10) を参照されたい。

(5) 直交効果の影響

耐震壁に曲げ・回転変形が生じると、耐震壁側柱に取付く直交梁や直交壁は、耐震壁側の節点と隣接骨組側の節点との鉛直変位の差によって、強制変形を受ける。この結果、直交梁や直交壁に生じたせん断力が耐震壁引張側柱の鉛直変位を抑える働きをする。耐震壁側柱でなくても、チューブ構造の隅角部柱、高層部と低層部の境界部柱などのように、柱の軸方向変形による隣接骨組の柱との鉛直変位差が大きくなる場合も同様である。これら直交梁・直交壁の影響が無視できない場合は、立体解析等によりその影響を適切に考慮する必要がある。



解図 9.9.2 直交梁による拘束の影響をうける耐震壁付骨組の地震時変形状況例

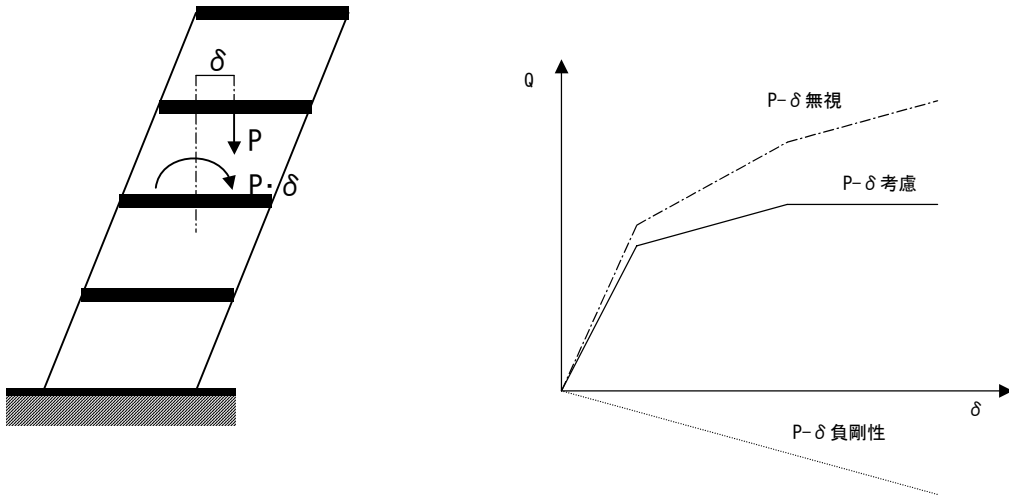
(6) 地震時鉛直力の影響

片持ちのバルコニー等の建物外壁から突出する部分については、地震時鉛直力の影響も考慮しておく必要がある。地震時鉛直力としては、鉛直方向の振動の励起、不静定次数の低い部材であることなどを考慮し、 $1G$ (G : 重力加速度) 程度を考慮した設計を行うのが望ましい。たとえば短期の許容応力度が長期の 1.5 倍である場合には、そのことを考慮して常時荷重を $4/3$ ($=2/1.5$) した応力に対して長期許容応力度以下となるように設計する方法もある。片持ち部材だけでなく、大スパン部材など、鉛直方向の振動の励起が予想される場合には、同様の検討を行うのが望ましい。

(7) P- δ 効果

地震時水平力を受けて架構の水平変形が大きくなると、P- δ 効果による付加的な応力および水平変形が発生する。P- δ 効果の影響は、層の水平荷重-層間変形関係においては見かけ上剛性が低下することになる。(図)また、付加曲げモーメントの増加により建物の転倒モーメントが増加するため柱軸力だけではなく基礎に対する圧縮力および引抜力が増大する。

通常の建物では、地震時の変形制限を設けて P- δ 効果の影響を無視して設計することができるが、超高層建物や大きな水平変形を許容する建物では P- δ 効果による付加的な応力や水平変形が無視できなくなる場合もあり、この影響を適切に評価することが必要である。



7. 部材の力と変形関係を適切に評価した増分解析

地震時の水平力に対する構造解析を弾性解析により応力を算出すると、耐震壁が混在するラーメン架構で構成された建築物では、耐震壁あるいは耐震壁に接続する部材に応力が集中しラーメン架構を構成する部材の応力は極めて小さくなる。また、ラーメン架構で構成された建築物でも、顕著に異なるスパンで構成された建築物や剛性が大きく異なる部材で構成された建築物では短スパン架構の部材や剛性が大きい部材に応力が集中する。しかし、負担する応力が大きい部材は、実際にはひび割れ発生に伴い剛性低下が生じ、部材の応力分布が変化し弾性解析の場合よりも小さくなる。一方、応力が小さい部材は弾性解析の場合よりも大きくなる。このような架構を弾性解析による応力により断面設計すると、応力が集中する部材は過大な配筋量になったり、断面を大きくしさらに応力集中を招く結果となる。一方、弾性解析で負担する力が小さい部材は逆に危険側の断面設計となる。

また、短期の地震荷重に対してひび割れによる剛性低下を考慮した増分解析により層間変形角を算出すると、弾性解析による場合よりもかなり大きくなり 1/200 程度にまで達する例もあり、鉄筋コンクリート造建築物でも鉄骨造建築物と同程度の変形が生じる場合がある。

さらに、国土交通省告示第 594 号第 2 第 3 号では、耐力壁が層せん断力の 1/2 以上負担する場合のラーメン架構の柱は、支持する地震時重量に層せん断力係数を乗じたせん断力の 25% 以上のせん断力を負担するよう規定が設けられている。しかし、部材の剛性低下を適切に考慮した増分解析による場合はこの規定を満足しなくてもよく、ひび割れによる剛性低下を考慮した解析の有

意性が認められている。

増分解析法は各部材ごとに応力と変形関係のルールを定め、水平力を段階的に増加させ、段階ごとに各部材の応力状態に応じて剛性を変化させて解析を行う方法である。一般には線材置換した部材の端部に剛塑性ばねを設ける方法が用いられる。この部材モデルで構成された平面骨組モデルを剛床仮定により連成したモデルや立体的挙動が無視できない場合は立体骨組モデルが用いられる。立体解析では、柱モデルには2方向曲げと軸方向力の3軸降伏相関関係を考慮する必要がある。

★10 条 参考文献

- 1) 東 洋一・小森清司・自由辺と固定辺を持つ矩形版の曲げ, 日本建築学会論文報告集, No.60(昭33.10).
- 2) 二見秀雄・無限均等矩形架構における垂直荷重による各部設計曲能率について, 日本建築学会大会論文集(昭 8.4).
- 3) 十代田昭三・鉄筋コンクリート小梁の終端スパンにおける曲げ応力に就いて, 日本建築学会研究報告, No.31(昭 30.5).
- 4) M.P. Collins, P. Lampert・Redistribution of Moments at Cracking-The key to Simpler Torsion Design, Publication No.71-21, Dept. of Civil Engineering, University of Toront, Feb. 1971.
- 5) 狩野芳一・鈴木 茂・ねじりを受ける縁ばりの曲げとせん断に対する耐力・靱性について, 第8回 コンクリート工学年次講演会論文集(1986).
- 6) 武藤 清・耐震設計シリーズ 4, 構造物の動的設計, pp.91■93, 丸善(1966).
- 7) 福澤栄治・不整形平面をもつ高層建築物の立体振動に関する研究, 東京都立大学学位論文(昭 59.2).
- 8) E. Fukuzawa・Proposal of Center and Principal Axes of Rigidity in a Three-Dimensional Highrise Building Structure with an Irregular-Shaped Floor Plan, Theoretical and Applied Mechanics Vol.33, Proceedings of the 33rd Japan National Congress for Applied Mechanics Science Council of Japan, 1985.
- 9) 勅使河原正臣、平石久廣、岡田恒男、村上雅也、久保哲夫:NewRC 構造設計ガイドラインの概要ー設計方向の検討ー, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.335~336, 1993 年 9 月
- 10) 武藤 清・耐震設計シリーズ 1, 耐震計算法, 丸善(1963).
- 11) 大沢 胖・並列ラーメンの塑性計算, 日本建築学会論文報告集, No.56(昭 32.8).
- 12) 坂 静雄・弾性範囲における耐震壁の応力変形及び剪力負担, 建築学会論文集, No.4(昭 12.3).
- 13) 鬼武信夫・有壁ラーメンの横力分布係数略算法, 日本建築学会研究報告, No.10(昭 26.4).
- 14) 鬼武信夫・弾性地盤上の有壁ラーメン, 日本建築学会研究報告, No.16(昭 26.12).
- 15) 鬼武信夫・耐震壁と桁行ラーメンの剛度, 日本建築学会研究報告, No.21(昭 28.3).
- 16) 枝長又夫・公式の横力分布係数による有壁平面ラーメンの解法, 日本建築学会論文報告集, No.55(昭 32.2).
- 17) 梅村 魁・大沢 胖・高層建築物の境界効果の略算法, 日本建築学会研究報告, No.37(昭 31.12).
- 18) 坂 静雄・耐震壁の横力負担に関する開口の影響, 学術振興会報告 2(昭 17).
- 19) 大沢 胖・山脇和三郎・細矢富雄・高層開口耐震壁のゴム模型実験, 日本建築学会研究報告, No.32(昭 30.5).

- 20) 富井政英・鉄筋コンクリート板のせん断抵抗に関する研究, 東京大学生産技術研究所報告 6(昭 32.1).
- 21) 蓼 慧明・鉄筋コンクリート造有孔壁に関する実験的研究, 日本建築学会論文集, No.69(昭 36.10).
- 22) 横山梯次・山田周平ほか・高層建築の耐震壁の実験, 日本建築学会関東支部研究発表会(昭 41.6).
- 23) 菅野俊介・溶接金網を使用する鉄筋コンクリート耐震壁の破壊実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(昭 45.10).

- 24) 壁谷沢寿海・松本和行・高強度コンクリート造耐震壁の曲げ性能に関する実験的研究, 第8回日本地震工学シンポジウム, pp.1353■1358(1990).
- 25) 今西達也・平石久広・福山 洋・田中義成・二方向変形を受ける高強度 RC 造耐震壁の変形性能に関する実験研究, その 1, その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.375■376, 1992 年8月.
- 26) 日本建築学会・靱性設計小委員会報告書(終局強度型耐震設計法に関連する最新の研究成果), 面材WG 報告書, 1992 年8月.
- 27) 国土開発技術研究センター・建設省総合技術開発プロジェクト・鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発・構造性能分科会報告書, 1993 年3月.

- 28) 日本建築センター・建築物の構造規定・建築基準法施行令第3章の解説と運用・, 1997 年版.