

## 第8章 スラブ・階段・基礎



RC スラブ・梁の配筋状況 (文献 21 より転載)

**キーワード** 周辺支持スラブ フラットスラブ 一方向スラブ 二方向スラブ ストリップ法 押抜きせん断 (パンチングシア) 破壊 柱列帯 柱間帯 降伏線理論 段部スラブ 直交異方性スラブ 独立基礎 複合基礎 連続基礎 フーチング 接地圧

### 8.1 スラブ

#### 8.1.1 スラブの種類

RCスラブは、その支持方法や配筋方法などによって分類できる。支持方法による分類には図 8.1 に示すように、単純支持スラブ、固定支持スラブ、フラットスラブ、およびフラットプレートスラブなどがある。単純支持スラブや固定支持スラブのように、スラブの局辺の全部または一部を支持する形式のスラブを総称して周辺支持スラブという。また、配筋方法による分類には、一方向スラブ、二方向スラブなどがある。

#### 8.1.2 スラブの力学

スラブには、曲げモーメントの他、ねじりモーメントおよびせん断力が作用する。したがって、さまざまな形状や境界および荷重条件などに応じてスラブの力学挙動を正確に解析することは、たとえ弾性範囲に限っても非常に面倒である。ただし、スラブが破壊に至るまでの力学挙動は、一般に釣合い鉄筋比以下の梁の曲げ破壊挙動に類似しており、変形能力が大きい。そこで、実用設計においては、スラブを細長い梁状

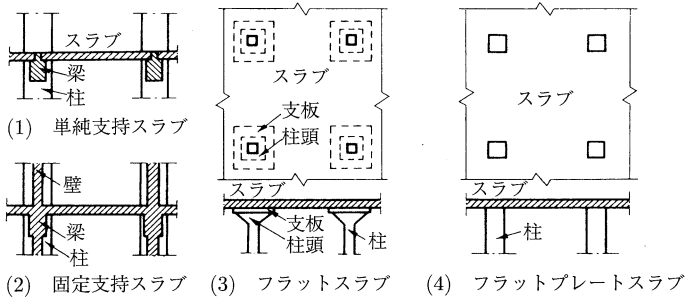
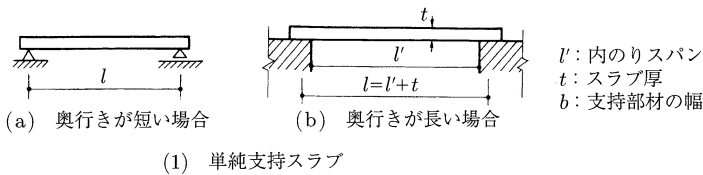
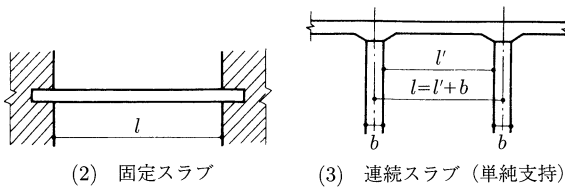


図 8.1 支持方法によるスラブの分類



(1) 単純支持スラブ

図 8.2 スラブのスパン  $l$ 

の細片(ストリップという)に分割し、通常の梁理論を適用した近似計算法が用いられる。この際、スラブのスパンには支持条件に応じて図 8.2 に示す長さを用いる。なお、床スラブには、通常は等分布荷重が作用するとみなしてよい。

### 8.1.3 一方向スラブの応力計算

相対する 2 辺で支持され、長辺と短辺の比が 2 : 1 以上の細長い長方形スラブは、一方向スラブとして取り扱うことができる。土木学会の標準示方書によれば、等分布荷重が作用する一方向スラブの断面算定に際しては、図 8.2 で求められたスパン長さに対する単位幅 1 m のストリップを切り出し、梁理論によって断面力を算定することになっている。また、集中荷重が作用する場合については、集中荷重の分布幅に応じた断面算定用の梁幅を定めている。

荷重を広い範囲に分布させて合理的に負担するため、一方向スラブでも主鉄筋と直角方向に若干の鉄筋(配力鉄筋という)を配置するのが一般的である。この配力鉄筋

は、コンクリートの乾燥収縮や温度変化に伴うひび割れの防止にも役立ち、引張主筋量の1/6以上とするのが望ましい。

### 8.1.4 二方向スラブの応力計算

#### (1) ストリップ法による応力計算

代表的な例として、剛な梁で周辺を囲まれた長方形スラブに等分布荷重が作用している場合について考える。図8.3に示すように、スラブから各辺に平行な単位幅の梁を切り取り、単位面積当たりの分布荷重  $w$  が短辺方向の梁には  $w_x$ 、長辺方向の梁には  $w_y$  の割合で分担されるとすると、これらの梁の中央たわみ  $\delta_x$  および  $\delta_y$  は次式によって与えられる(交差梁理論という)。

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= \frac{1}{384} \cdot \frac{w_x \cdot l_x^4}{EI} \\ \delta_y &= \frac{1}{384} \cdot \frac{w_y \cdot l_y^4}{EI} \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

ここに、 $EI$ ：単位幅の梁(ストリップ)の断面剛性

両方向の梁の中央たわみは等しく、式(8.1)において  $\delta_x = \delta_y$  が成り立つ。さらに、仮定より  $w = w_x + w_y$  であるから、次の関係式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} w_x &= \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} \cdot w \\ w_y &= \frac{l_x^4}{l_x^4 + l_y^4} \cdot w \end{aligned} \right\} \quad (8.2)$$

この分配荷重によって生じる曲げモーメントを図8.3に示す。ただし、ストリップの梁は隣接部分で拘束を受けるため、実際に加わる曲げモーメントはこの値より小さくなる。

ここで、長辺  $l_y$  と短辺  $l_x$  の比が、2:1以上のスラブについて、直交方向のストリップの荷重分担割合を調べてみる。式(8.2)に  $l_x = 1, l_y = 2$  を代入すると、荷重分担割合は、短辺は(x)方向で16/17、長辺(y)方向で1/17となり、短辺方向の分担率が圧倒的に大きい。このことから前項で説明したように、長辺と短辺の比が2:1以上の細長い長方形スラブは、近似的に一方スラブとして取り扱うことができることがわかる。

#### (2) 周辺固定長方形スラブの設計用応力

剛な梁と一体となったスラブは、周辺固定とみなすことができる。RC規準では、このようなスラブが等分布荷重を受けるときの曲げモーメント算定式を表8.1のように与えている。ここで、スパン長さ  $l_x, l_y$  は支持部材間の内のり寸法をとる。また、図

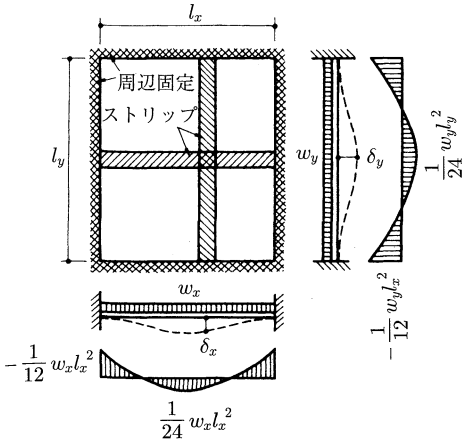


図 8.3 ストリップの曲げモーメント

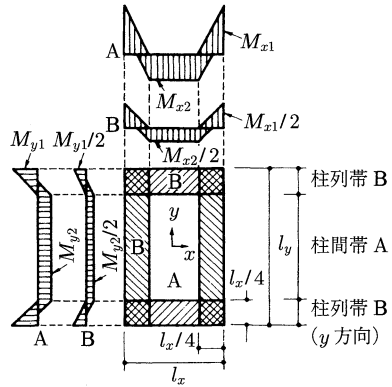


図 8.4 周辺固定長方形スラブの設計用曲げモーメント (RC 規準)

表 8.1 周辺固定長方形スラブの単位幅当たりの設計用曲げモーメント算定式 (RC 規準)

	両端部最大負曲げモーメント	中央部最大正曲げモーメント
短辺 $x$ 方向	$M_{x1} = -\frac{1}{12}w_x \cdot l_x^2 \dots\dots (1)$	$M_{x2} = \frac{1}{18}w_x \cdot l_x^2 \dots\dots (2)$
長辺 $y$ 方向	$M_{y1} = -\frac{1}{24}w \cdot l_x^2 \dots\dots (3)$	$M_{y2} = \frac{1}{36}w \cdot l_x^2 \dots\dots (4)$

注)  $l_x$ : 短辺方向のスパン,  $l_y$ : 長辺方向のスパン  
 $w$ : 荷重 (単位面積当たり),  $w_x = l_y^4 \cdot w / (l_x^4 + l_y^4)$

8.4 に示す幅  $l_x/4$  の四隅部分 B (柱列帯) については、曲げモーメントの値を  $1/2$  とし  
 てよい。

表中の各式はストリップ法による理論式を修正したもので、周辺固定度の事実上  
 の低下を考え、 $M_{x2}$  が理論式による値 (係数が  $1/24$ ) の  $4/3$  倍に割増しされている。  
 また、長辺方向 ( $y$  方向) についてはスパン長さの影響が比較的小さいため、便宜的に  
 $l_y = l_x$  と考え、表中の式 (1) および (2) に  $w_x = w/2$  の関係を代入することによっ  
 て、それぞれ式 (3) および (4) が導かれている。図 8.5 は、等分布荷重を受ける周辺固定  
 スラブの曲げモーメントについて、平面板理論から導かれた厳密解と RC 規準による  
 値を比較したものである。

等分布荷重を受ける周辺固定スラブの固定辺におけるせん断力は、その辺の反力  
 に等しく、図 8.6 に示すような梁への荷重分配法によって近似的に求めることができる。

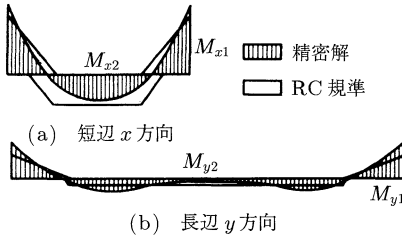


図 8.5 等分布荷重を受ける周辺固定長方形スラブの曲げモーメント

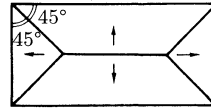


図 8.6 スラブのせん断力の算定用荷重

### 8.1.5 フラットスラブ

#### (1) 構造の特徴

フラットスラブ構造とは、梁を用いることなくスラブを柱頭で直接支持する構造形式をいい、倉庫や車庫のように積載荷重が大きい ( $5 \text{ kN/m}^2$  以上) ため、必然的にスラブ厚が大きくなる場合に適している。この構造は、梁がない分だけ室内空間の利用効率が良いなどの利点があるが、通常のリャーメン構造と比較して剛性・耐力ともに小さく、水平力に対する抵抗能力が劣る。そのため、地震荷重の全部をこの構造形式で負担すべきではなく、梁・柱骨組や耐震壁といった構造要素と併用するのがよい。また、フラットスラブのスラブ厚が不十分である場合、図 8.7 に示すように、支持部分の周辺で押抜きせん断 (パンチングシア) 破壊が生じることがある。この破壊は構造的に致命的な被害をもたらすので、設計には十分な注意を要する (8.1.8 項参照)。

#### (2) RC 規準による応力計算法

■▶ 曲げひび割れが発生する以前のフラットスラブの応力は、長方形スラブの場合と同様に弾性理論から厳密解を得ることができるが、計算が面倒であり実用的でない。そのため、RC 規準では図 8.8 に示すような構造条件を満足するフラットスラブに対して、リャーメン解法 (等価骨組法) と呼ばれる近似解法を採用している。リャーメン解法は、スラブを等価な梁に置き換えた骨組と考え、通常構造計算結果から得られた等価梁の曲げモーメントをスラブに分配する方

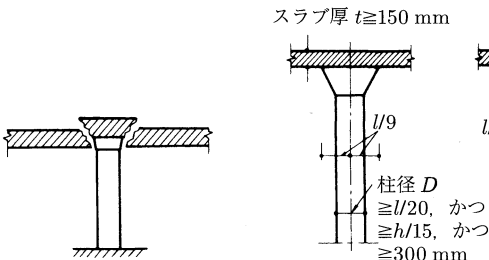


図 8.7 押抜きせん断破壊

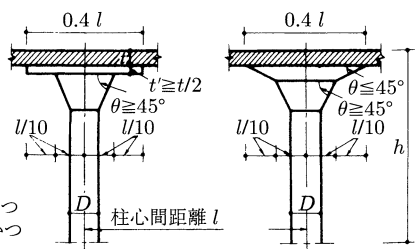


図 8.8 フラットスラブの寸法制限 (RC 規準)

法である。なお、図 8.8 の構造条件を満足するものであれば、二方向ラーメン構造として取り扱うこともできる。



### 8.1.6 スラブの終局曲げ耐力

#### (1) 計算手法の種類

RC スラブの終局曲げ耐力を求める代表的手法には、降伏線理論とストリップ法による 2 種類の方法がある。前者は、仮定したスラブ内のひび割れ線、すなわち降伏線を塑性ヒンジとした崩壊機構に基づく方法で、スラブの崩壊荷重の上限値を与える。また、後者はスラブをストリップ分割し、梁理論と力の釣合い条件を用いる方法で、スラブの崩壊荷重の下限値を与える。ここでは、降伏線理論に基づくスラブの終局曲げ耐力の解析方法を紹介する。

#### (2) 降伏線理論

RC スラブは、押抜きせん断破壊しない限り、一般には曲げ靱(じん)性に富む。すなわち、荷重の増加に伴い、スラブ中央付近で生じた曲げひび割れ降伏域が徐々に伸展し、これがスラブを縦断したとき崩壊(崩壊機構)に至る。この崩壊時には降伏域に無数のひび割れが生じるが、降伏線理論では、この降伏ひび割れ域を図 8.9 に示すような直線の降伏線群に理想化する。

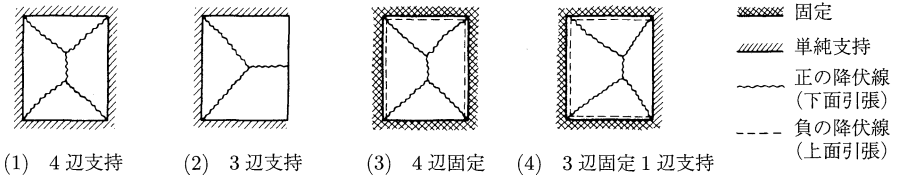


図 8.9 支持条件によるスラブの降伏線の相違

このような理想化に基づき、仮想仕事式を用いて、ある荷重(分布)のもとでのスラブの真の崩壊機構と終局耐力を求める際の計算手順を以下に示す。

- 1) 可能なスラブの降伏線を描き、基本崩壊機構を仮定する。
- 2) 各降伏線位置での塑性モーメント  $M_{pi}$  を求める。
- 3) 降伏線位置に仮想変位  $\delta$  を与え、塑性モーメント  $M_{pi}$  による内力の仮想仕事の和  $U_I$  を次式によって求める。

$$U_I = \sum |M_{pi} \cdot \theta_i| \quad (8.3)$$

ここに、 $M_{pi}$  :  $i$  番目の降伏線の塑性モーメント

$\theta_i$  :  $i$  番目の降伏線の回転角

- 4) スラブに作用する荷重  $W_j$  が、仮想変位  $\delta_j$  に対してなす外力仕事  $U_E$  の和を次式によって求める。

$$U_E = \sum (W_j \cdot \delta_j) \quad (8.4)$$

ここに、 $W_j$  :  $j$  番目の分割スラブに作用する荷重合力

$\delta_j$  : 荷重合力  $W_j$  の作用点の変位量

5)  $U_I = U_E$  の関係から、仮定した崩壊機構に対する荷重 (分布) を求める。

6) 以上の計算を可能なすべての崩壊機構について行い、荷重 (分布)  $W$  の値が最小となる場合をもって真の崩壊機構を決定する。このときの  $W$  がスラブの終局耐力である。 ◀■

### 8.1.7 大たわみと振動障害

スラブが大スパン化する傾向に伴い、剛性不足による大たわみ、ひび割れ、および振動障害が多発するようになった。この種の障害は、スラブ厚と密接な関係がある。

大たわみに関する苦情は、実態調査により、たわみが短辺方向スパン長さ  $l_x$  の  $1/200$  以上になると多くなることが明らかになっている。これに対応して、各国の床スラブに対するたわみの制限値は、 $(1/200 \sim 1/500)l_x$  と定められており、RC 規準ではスラブの長期たわみを  $l/250$  として、スラブの最小限厚さの算定式を導いている (表 8.2 参照)。

表 8.2 スラブ厚の最小値 (RC 規準)

支持条件	スラブ厚 $t$ [mm]
周辺固定	$t = 0.02 \left( \frac{\lambda - 0.7}{\lambda - 0.6} \right) \left( 1 + \frac{w_p}{10} + \frac{l_x}{10000} \right) l_x$
片持ち	$t = \frac{l_x}{10}$

- 注) 1)  $\lambda = l_y/l_x$ ,  $l_x$  : 短辺方向の有効スパン長さ [mm],  
 $l_y$  : 長辺方向の有効スパン長さ [mm],  
 ただし、有効スパン長さとは、梁、その他支持部材間の内のり寸法をいう。
- 2)  $w_p$  : 積載荷重と仕上げ荷重の和 [kN/m<sup>2</sup>]
- 3) 片持ちスラブの厚さは支持端について制限する。  
 その他の部分の厚さは適当に低減できる。

床スラブに過大なたわみが生じると、跳びはねや歩行によって振動障害が生じることがある。また、スラブの剛性が低下すれば、著しいたわみ障害がない場合でも、空調機械・建設工事・交通機関などによって有感レベルに達する床振動が生じることがある。こうした問題に対処するためにも、スラブ厚に対する慎重な配慮が必要である。

### 8.1.8 スラブの断面設計

#### (1) 断面計算

フラットスラブを含め、スラブ断面は、スラブ厚の最小限規定によって一般に釣合い鉄筋比以下となるため、梁と同様の許容応力度設計式によって曲げ設計を行うこと

ができる。

$$M_D \leq M_A = a_t \cdot f_t \cdot j = a_t \cdot f_t \cdot \frac{7}{8}d \quad (8.5)$$

ここに、 $M_D$ ：応力計算により求めた単位幅当たりの設計用曲げモーメント

$M_A$ ：単位幅当たりのスラブの許容曲げモーメント

$a_t$ ：単位幅当たりの引張鉄筋断面積の合計

$f_t$ ：鉄筋の引張許容応力度

$j$ ：スラブ断面の応力中心距離

$d$ ：スラブの有効せい

ここで、スラブ厚が小さいため、配力筋の方向ごとに有効せいが異なることに注意が必要である。

通常のスラブ厚であれば、せん断補強設計を必要としない。一方、フラットスラブの場合には、柱頭まわりでの押抜きせん断破壊に対する検討を省くことはできない(図 8.7 参照)。また、床スラブでも集中荷重が作用するような場合には、荷重点周囲において同様な検討を要する。

## (2) 構造制限

■▶ RC 規準では、スラブに次のような構造制限を設けている。また、二方向スラブの配筋例を図 8.10 に示しておく。

- 1) 床スラブの厚みは、表 8.2 に示す値以上、かつ、80 mm 以上とする。また、フラットスラブの厚みは 150 mm 以上とする。
- 2) スラブの引張鉄筋には、D10 以上の異形鉄筋あるいは鉄線の径が 6 mm 以上の溶接金網を用い、正負の最大曲げモーメントを受ける部分では、その間隔を表 8.3 に示す値とする。
- 3) 鉄筋比は、スラブの各方向の断面積について 0.2 % 以上とする。
- 4) フラットスラブ構造では、図 8.8 に示した柱寸法の制限を満足しなければならない。

表 8.3 スラブの補強筋間隔の制限値(普通コンクリートを用いた場合、RC 規準)

短辺方向	200 mm 以下 径 9 mm 未満の溶接金網では 150 mm 以下
長辺方向	300 mm 以下、かつスラブ厚の 3 倍以下 径 9 mm 未満の溶接金網では 200 mm 以下



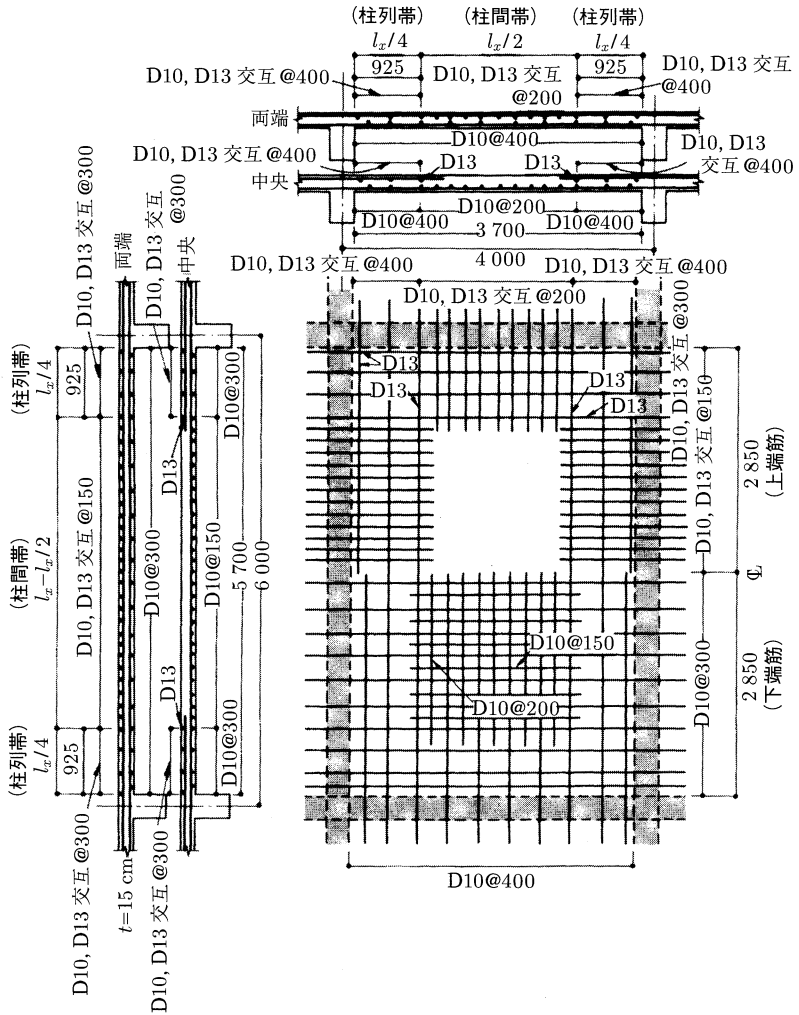


図 8.10 二方向スラブの配筋例 (RC 標準の図に加筆)

## 8.2 階段

### 8.2.1 階段の種類

RC 造の階段の構造形式は設置場所や用途などによって異なり、かなり多様である。図 8.11 は階段の例を示したものである。一般に、普通規模の階段では踊り場と段部が一体化した折板形式のものが多い。また、大規模な階段では踊り場あるいは段部を梁が支持した形式のものが用いられる。

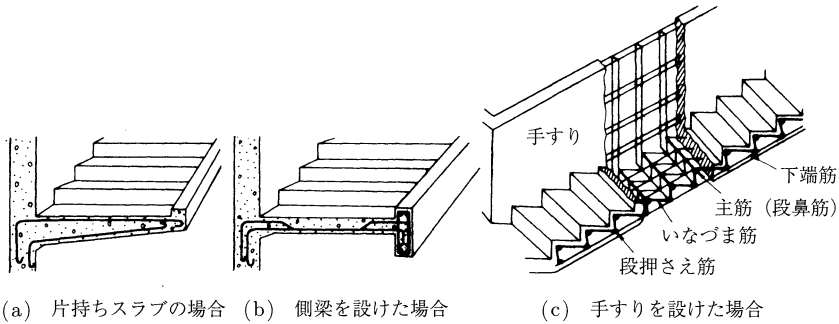


図 8.11 階段の構造

## 8.2.2 階段の応力計算法

## (1) スラブへの分割

階段の段部は、傾斜した床スラブ（段部スラブという）と考えることができる。したがって、階段の各部を周辺固定スラブ、3辺固定1辺自由スラブ、片持ちスラブなどにモデル化して構造計算を行う。

図 8.12 は、階段の主な構造形式を幾つかのスラブに分割して考えた例を示したものである。図 (a) は、踊り場および段部スラブの周辺が壁または梁で支持された階段であり、これら二つの構成要素は周辺固定スラブと考えてよい。これに対して図 (b) の階段では、踊り場は周辺固定スラブ、段部は3辺固定スラブとして扱う。図 (c) は梁支持のない階段であり、踊り場は3

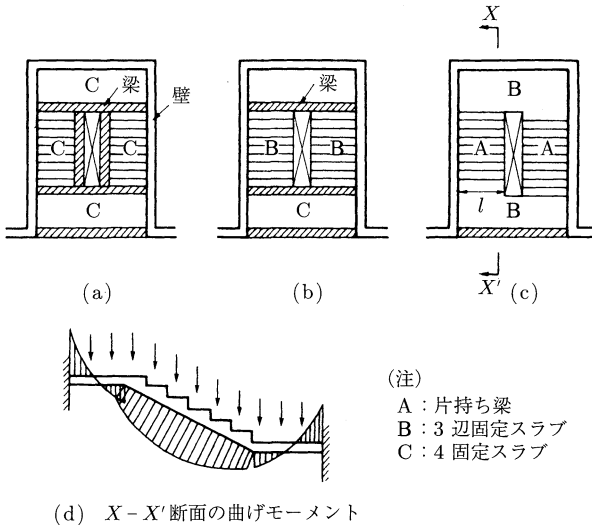


図 8.12 階段のスラブへの分割

辺固定スラブとして扱う。また、段部スラブはその幅が約 1.5 m 以下のときは、これを壁で支えられた片持ちスラブとしてよく、幅がそれ以上の場合には図 (d) に示したように踊り場と段部スラブをひと続きの折板構造として取り扱うのがよい。

(2) 応力の算定

応力の算定にあたって、踊り場は等方性スラブと見なせるが、段部スラブでは異方性を考慮しなければならない。実験資料によれば、段部スラブの幅方向の傾斜方向に対する曲げ剛性比は、およそ 3.0 である。図 8.13 は、3 辺固定 1 辺自由の直交異方性床スラブが等分布荷重を受けたときの応力分布を示したものである。

階段は、水平板である踊り場と傾斜板である段部スラブとから構成されているので、これらの構成要素にはともに曲げモーメントと軸力が生じている。この曲げモーメントと軸力を縁応力(引張)に換算すると、一般に、縁応力に占める軸力の割合は 20 % 前後となる。

踊り場および段部が梁および壁で支持された階段で、図 8.13 のような床スラブの曲げモーメント分布図を利用して各部の設計用応力を求めることができる。この手法による場合には、上記の点を踏まえ、得られた設計用曲げモーメントを 25 % 程度割増しすることによって軸力の影響を考慮することもできる。

この他、段部スラブについては、これを踏み面部分で切断し、各要素を独立な片持ち梁として取り扱う設計法もしばしば用いられる。

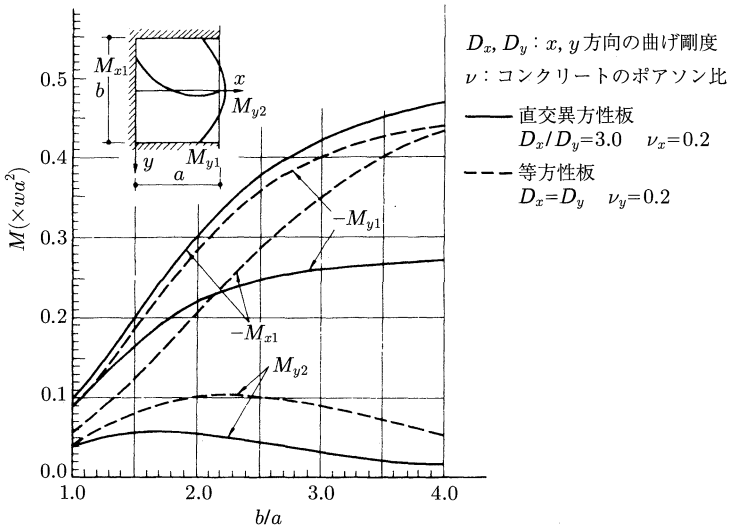


図 8.13 等分布荷重  $w$  を受ける 3 辺固定 1 辺自由の直交異方性床スラブの曲げモーメント分布 (RC 規準)

### 8.2.3 階段の断面設計

■▶ 所要鉄筋量の算定には、床スラブの場合に準じ、釣合い鉄筋比以下の梁の算定式がそのまま適用できる。すなわち、

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j \tag{8.6}$$

ここで、記号の意味は式 (8.5) と同じであり、応力中心距離  $j$  の算定に必要な段部スラブの厚さ  $t$  としては、一般に図 8.14 に示すように段形を無視した厚さをとる。または図 8.15 に示すように、下端圧縮に対して  $j = 7d/8$ 、上端圧縮に対しては  $j = 0.8d$  としてもよい。 ◀■

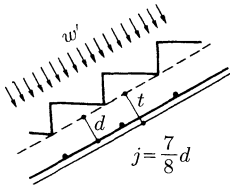
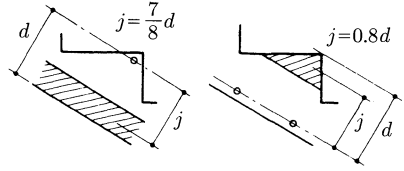


図 8.14 段部スラブの厚さ  $t$  と有効せい  $d$



(a) 下端圧縮の場合 (b) 上端圧縮の場合

図 8.15 段部スラブの応力中心距離  $j$  (RC 規準)

## 8.3 基礎

### 8.3.1 基礎の種類

基礎は上部構造の応力を地盤に伝達するために設けられた構造部分であり、図 8.16 に示すようにフーチング基礎とベタ基礎がある。また、フーチング基礎は連結状態に

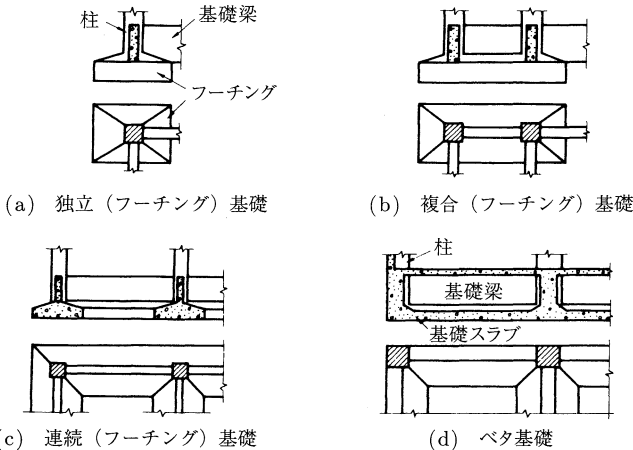


図 8.16 基礎の種類

よって独立基礎、複合基礎、および連続基礎(布基礎)に分類できる。これらの基礎は、荷重を地盤に直接伝える直接基礎と、杭によって伝える杭基礎に分けられるが、ここでは直接基礎についてのみ説明する。

### 8.3.2 基礎の力学

基礎スラブに作用する荷重には、上部構造の重量、基礎の自重、基礎上部に埋め戻された土の重量などがあり、基礎スラブの底面には地盤からの反力としての圧力が生じる。これを接地圧(または、地盤反力)という。ただし、広がりを持つ地盤が応力によって影響を受ける範囲や厳密な拘束条件を設定することができないため、接地圧の正確な分布形状を知ることは非常に困難である。そこで、通常はこれを直線分布するものと仮定する。したがって、基礎スラブは床スラブの場合とは逆に、上部構造の柱によって支持され、下部の地盤から直線的に分布する荷重を受ける力学モデルであると考えることができる。

### 8.3.3 独立基礎の設計

#### (1) 設計のポイント

基礎の設計は、おおよそ3段階に分けて行われる。すなわち、i) 基礎底面積の算定、ii) 曲げ設計、およびiii) セン断設計である。

段階 i) では、地盤から最大接地圧が地盤に応じて定められた許容値耐力を超えないように基礎底面積を算定する(図 8.17 参照)。段階 ii), iii) では、応力計算によって

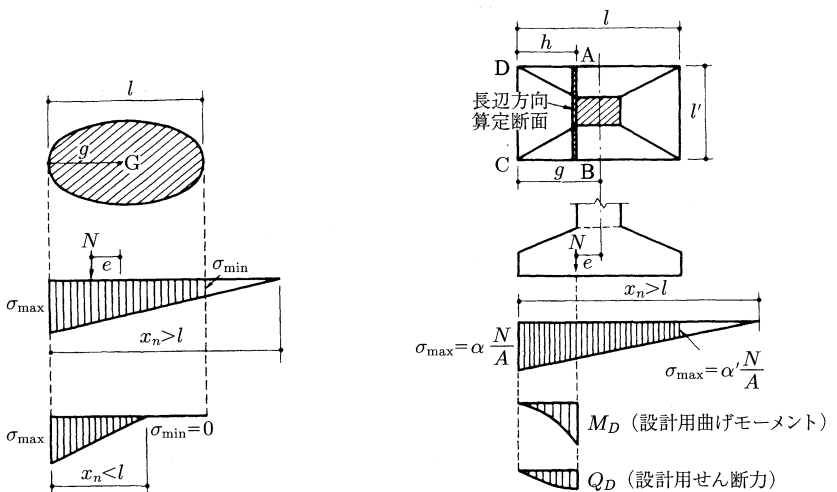


図 8.17 任意形底面の接地圧 (RC 規準)

図 8.18 長方形底面の接地圧と応力の算定

求められた曲げモーメントおよびせん断力の最大値が、それぞれの許容値を超えないように断面設計する (図 8.18 参照)。

## (2) 基礎底面積の算定

■▶ 図 8.17 に示すような任意形底面に、鉛直荷重  $N$  と曲げモーメント  $M$  が作用している状態は、偏心距離  $e = M/N$  の位置に  $N$  が作用していることに等しい。一般に、地盤と基礎底面との間に引張力は生じない。したがって、接地圧が直線分布すると仮定すれば柱部材の断面応力と類似するため、最大接地圧縁から中立軸までの距離  $x_n$  は、式 (4.7) と同様にして求められる。

$$x_n - g + e = I_n / S_n \quad (8.7)$$

ここに、 $g$  : 最大接地圧縁から基礎底面の重心までの距離

$S_n, I_n$  : 中立軸に関する断面 1 次および 2 次モーメント

最大および最小接地圧は、式 (4.5) と同様に考えて次式で与えられる。

$$\sigma_{\max} = x_n \cdot N / S_n, \quad \sigma_{\min} = (x_n - l) \cdot N / S_n \quad (8.8)$$

この関係を偏心がない場合の平均接地圧 ( $N/A$ ) を用いて表せば、

$$\sigma_{\max} = \alpha \cdot N / A, \quad \sigma_{\min} = \alpha' \cdot N / A \quad (8.9)$$

ここで、 $\alpha$  および  $\alpha'$  は、底面縁接地圧の平均接地圧に対する比率である。

$$\alpha = x_n \cdot A / S_n, \quad \alpha' = (x_n - l) \cdot A / S_n \quad (8.10)$$

基礎スラブ底面の形状と偏心の大小に応じて  $\alpha$  と  $\alpha'$  が求まり、接地圧が算定できる。一方、設計変数である基礎底面積  $A$  は、最大接地圧が地盤に応じて定められた許容地耐力  $f_e$  以下になるように与えればよい。すなわち、

$$\sigma_{\max} = \alpha \cdot N / A \leq f_e \quad (8.11)$$

中立軸が底面外にある場合 ( $x_n \geq l$ ) の長方形底面について、 $\alpha$  と  $\alpha'$  を求めてみる。図 8.18 より、底面形状に関する諸量は

$$\left. \begin{aligned} S_n &= (x_n - l/2) \cdot l \cdot l' \\ I_n &= \{l^2/12 + (x_n - l/2)^2\} l \cdot l' \\ g &= l/2 \end{aligned} \right\} \quad (8.12)$$

となる。これを式 (8.7) に代入すると、次式が得られる。

$$x_n = \frac{l\{1 + l/(6e)\}}{2} \quad (8.13)$$

すなわち、偏心距離  $e$  が  $l/6$  以下 (この範囲を、底面の核という) であれば、中立軸は底面の外に位置し、全底面に接地圧が作用する。式 (8.12) と式 (8.13) を式 (8.10) に代入すれば、 $\alpha$  および  $\alpha'$  が求められる。

$$\alpha = 1 + 6e/l, \quad \alpha' = 1 - 6e/l \quad (8.14)$$

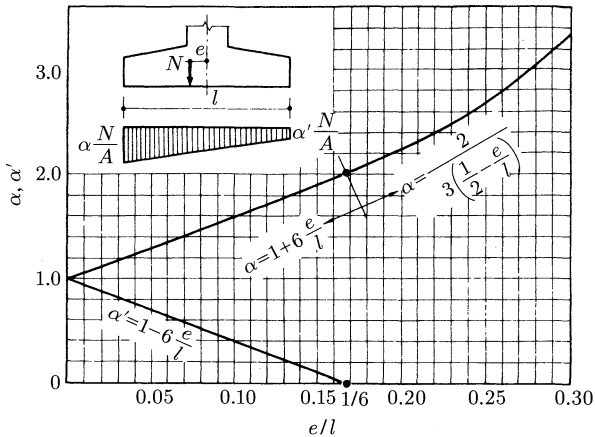


図 8.19 底面縁接地圧の算定係数 (RC 規準の図に加筆)

同様にして、 $e > (l/6)$  の場合について次式を得る。

$$\alpha = \frac{2}{3(0.5 - e/l)} \tag{8.15}$$

以上によって得られた  $\alpha, \alpha'$  と  $e/l$  との関係を図 8.19 に示す。

偏心の大きさ ( $e/l$ ) は、 $1/3$  以下になるのが望ましい。ただし、やむを得ず偏心が大きくなる場合には、一般には剛な基礎梁を設け、柱脚の曲げモーメントを基礎梁に負担させる方法がとられる。この場合、基礎梁が十分に剛 (剛比が柱の 2~3 倍以上) であれば、接地圧を等分布と仮定することができる。

### (3) 応力計算

基礎スラブが曲げ破壊する位置は柱との境界面であり、せん断破壊はその面より基礎スラブの有効せいだけ離れた位置に生じるのが普通である。ただし、RC 規準では簡単のため、独立基礎・長方形基礎スラブの設計用せん断力の算定断面は、曲げモーメントの算定断面に一致させている。また、その断面位置は基礎スラブ厚が一定の場合には柱表面に (図 8.18 参照)、基礎スラブ厚が変化する場合には、柱面と平行で柱面より外側の位置に適宜設定することになっている。なお、断面設計用の応力算定には、基礎の自重および埋戻し土の重量は含まない。

図 8.18 に示した片持ち梁 ABCD の柱面 AB における設計用せん断力  $Q_D$ 、および曲げモーメント  $M_D$  は、次式で与えられる。

$$Q_D = \int_0^h \sigma \cdot l' \cdot dx, \quad M_D = \int_0^h \sigma \cdot l' \cdot x \cdot dx \tag{8.16}$$

なお、基礎スラブのパンチングシアに対しては、柱の表面から基礎スラブの有効せいの  $1/2$  の位置 (図 8.20 参照) で安全性を確かめる。

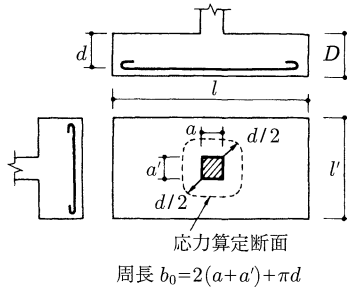


図 8.20 パンチングシアに対する算定断面

#### (4) 断面設計

曲げモーメントに対する断面設計は梁と同様に考え、算定断面の幅は基礎スラブの全幅としてよい。

せん断力に対する断面設計は、先に示したように片持ち梁の端面とパンチングシアの仮想端面の2断面について行う。

片持ち梁端面の許容せん断力  $Q_A$  は、次式によって求める。

$$Q_A = l \cdot j \cdot f_s \quad (8.17)$$

ここに、 $l$ ：基礎スラブの全幅

$j$ ：基礎スラブの応力中心距離 ( $= 7d/8$ )

$d$ ：基礎スラブの算定断面の有効せい

$f_s$ ：コンクリートの許容せん断応力度

上式は梁の許容せん断力を与える式 (5.22) で、あばら筋比  $p_w = 0.002$ 、かつ、 $\alpha = 1$  とした場合に相当する。したがって、許容せん断力の算定において、あばら筋の効果は考慮していない。これは、基礎スラブにひび割れが生ずることを避けるため、設計用せん断力  $Q_D$  が許容せん断力  $Q_A$  を上回る場合には、基礎スラブの厚さを増して許容せん断力を増加させる以外にない。

一方、パンチングシアに対する許容せん断力  $Q_{PA}$  は、次式によって求める。なお、式中の係数は破壊安全率が約 1.5 以上になるように、実験結果に基づいて決められている。

$$Q_{PA} = 1.5b_0 \cdot j \cdot f_s \quad (8.18)$$

ここに、 $b_0$ ：算定断面の全長 (図 8.20 参照)

基礎スラブの配筋例を図 8.21 に示す。なお、基礎スラブの最小厚は、通常 25 cm 以上とする。また、基礎スラブが長方形の場合の配筋例を図 8.22 に示す。図のように、



長辺方向(③)の鉄筋は等間隔に配置するが、短辺方向の鉄筋は、次式で計算される量を柱脚付近(①)に集中的に配置するように規定されている。

$$\frac{\text{短辺長さ相当幅(柱直下)に入れる鉄筋量}}{\text{短辺方向の鉄筋全所要量}} = \frac{2}{\lambda + 1} \quad (8.19)$$

ここに、 $\lambda$  : 長辺の短辺に対する比

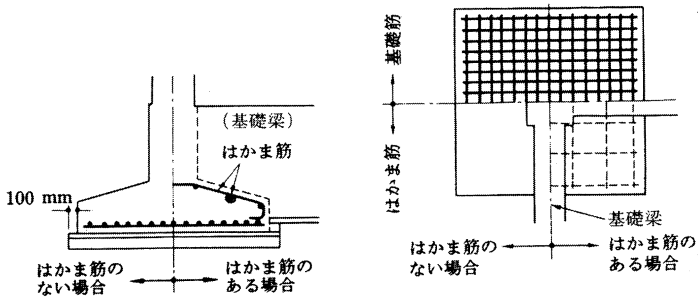


図 8.21 独立基礎の配筋例 (RC 造配筋指針)

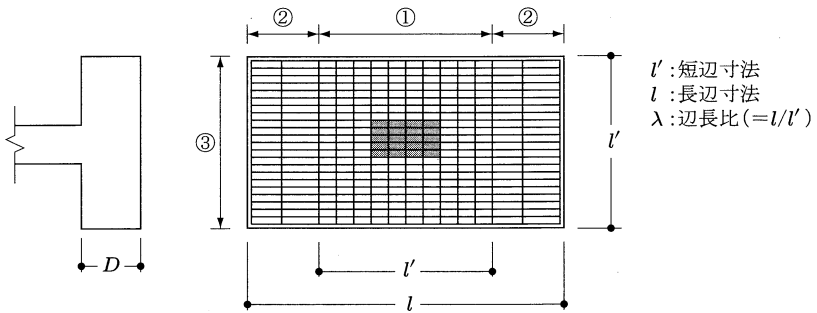


図 8.22 長方形スラブの配筋例 (RC 規準)

### 8.3.4 複合基礎の設計

#### (1) 基礎底面積の算定

基礎底面積およびその形状は、最大接地圧が次式を満足するように定める。

$$\sigma_{\max} = \sum N/A + M/Z \leq f_e \quad (8.20)$$

ここに、 $\sum N$  : 全鉛直荷重 (柱軸力+基礎重量+埋戻し土の重量)

$M$  : 偏心モーメント

$Z$  : 基礎底面の重心に関する断面係数

不同沈下を避けるため接地圧が基礎底面に平均的にかかるように設計すべきであり、底面形状の図心と荷重合力の中心をなるべく一致させる必要がある。

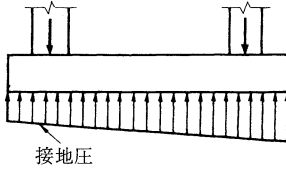


図 8.23 基礎スラブの応力の算定

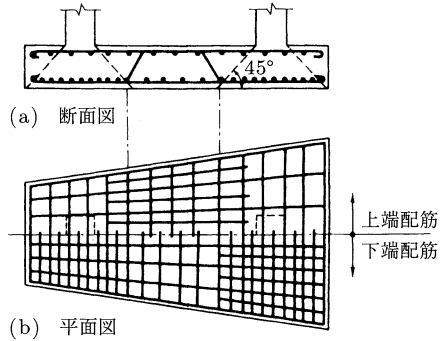


図 8.24 複合基礎の配筋例 (RC 配筋指針)

## (2) 応力計算と断面設計

長辺方向の設計用せん断力および曲げモーメントは、図 8.23 に示すような柱脚固定の単純梁として算定する。一方、短辺方向は独立基礎と同様に行う。また、算定応力に対する断面計算と配筋は、独立基礎に準じて行うことができる。複合基礎の配筋例を図 8.24 に示す。

### 8.3.5 連続基礎の設計

#### (1) 基礎底面積の算定

連続基礎では、曲げモーメントのすべてを基礎梁が負担し、接地圧は基礎スラブ底面に一様に分布すると考えてよい。したがって、各柱の支配域面積  $A$  を図 8.25 中の斜線部分のように仮定した上で、次の条件を満足するように基礎スラブの底面積を定める。

$$N/A \leq f_e \quad (8.21)$$

なお、基礎の不同沈下を避けるため、接地圧は基礎スラブ全体でほぼ均等に分布されることが望ましい。

#### (2) 応力計算と断面設計

連続基礎の基礎スラブは、基礎梁の側面で固定された片持ち梁と考え、基礎梁と直交する方向に対して応力計算と断面設計を行う。なお、基礎梁と平行する方向には、図 8.26 に示したように適当な用心鉄筋を配置しておく。

基礎梁については、接地圧による応力と上部構造からの応力を加算し、通常の梁の設計 (第 3 章および 6 章) に準じて断面設計を行う。

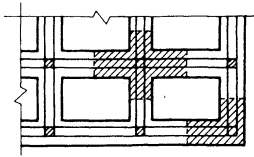


図 8.25 各柱の支配域

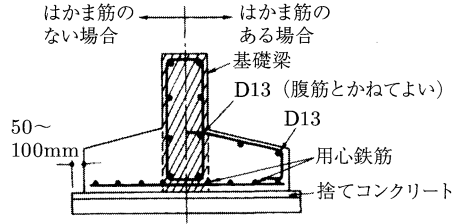


図 8.26 連続基礎の配筋 (RC 造配筋指針)

**演習問題 8**

1. 二方向スラブの実用設計における仮定を述べよ。
2. フラットスラブの応力計算の考え方を述べよ。
3. 片持ちスラブの最小厚さはいくらか。ただし、はね出し部分の有効スパン長さを  $l_x$  とする。
4. 階段の各部のスラブへのモデル化について述べよ。
5. 独立基礎、複合基礎、および連続基礎の接地圧を比較せよ。
6. 次の条件で周辺固定長方形スラブの設計を行う。
  - 短辺スパン  $l_x = 3.7 \text{ m}$ ，長辺スパン  $l_y = 5.7 \text{ m}$
  - (積載+仕上げ) 単位荷重  $w_p = 8 \text{ kN/m}^2$ ，コンクリート単位重量  $24 \text{ kN/m}^3$
  - 1) スラブ厚を算定せよ。
  - 2) 設計用曲げモーメントを RC 規準式を用いて算定せよ。
7. 次の仮定のもとで、階段段部の主筋 (段鼻筋) の設計用曲げモーメントを求めよ。
  - 1) 段部を 3 辺固定スラブと見なした場合 (図 8.12(b) 参照)
  - 2) 段部を各踏み面部分 (0.28 m) で切断した片持ちスラブと見なした場合  
ただし、以下の条件を用いる。
    - 図 8.13 において、 $a = 1.5 \text{ m}$ ， $b = 3.3 \text{ m}$  (水平投影長さ  $b' = 2.8 \text{ m}$ )
    - 固定荷重  $8 \text{ kN/m}^2$ ，積載荷重  $3 \text{ kN/m}^2$
8. 図 8.18 に示した長方形基礎底面の接地圧を検討する。
  - 1) 接地圧の合力を求めよ。
  - 2) 接地圧を検討せよ。
 ただし、以下の条件を用いる。
  - 長期柱荷重： $N_c = 700 \text{ kN}$ ， $M = 20 \text{ kN}\cdot\text{m}$
  - 長期許容地耐力  $f_e = 200 \text{ kN/m}^2$
  - 基礎と埋戻し土の平均単位重量  $20 \text{ kN/m}^3$
  - $l = 2.5 \text{ m}$ ， $l' = 1.8 \text{ m}$ ，G.L. から基礎底面までの深さ  $1.2 \text{ m}$