

RC 構造の特徴と設計の考え方

1. はじめに

前回は、力とはどういうものか、また力が作用したときにどのようなことがおこっているのかについて考えてみました。今回は代表的な構造形式である鉄筋コンクリートについて、その仕組みや、設計における考え方について説明したいと思います。

2. 鉄筋コンクリートの特徴

よく知られているようにコンクリートの引張強度は、同じコンクリートの圧縮強度の $1/10$ から $1/13$ 程度しかありません。このコンクリートの弱点を、鉄筋で補強したのが鉄筋コンクリートです。今から 150 年ほど前にフランスで発明されたといわれています。コンクリートと鉄筋の組合せは、単に鉄筋がコンクリートを補強しているだけでなく、お互いの長所を生かしたきわめて相性のよい組合せであることがわかってきました。すなわちコンクリートは鉄筋を錆や熱から保護しており、線膨張係数が近い両者は温度変化により同じように膨張、収縮するためによい内部応力を生じない組合せとなっています。正しく設計・製造すれば経済性、耐久性に優れた構造物になる鉄筋コンクリートは、現代の建設にかかせない構造形式となっています。

3. 圧縮力が作用するとき

一般的な鉄筋コンクリート柱の断面を **図 1** に示します。柱の軸方向には主筋と呼ばれる鉄筋が、柱の周辺に近い位置に配されています。また帯筋（フープ）と

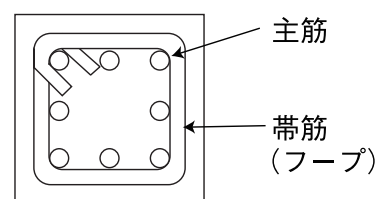


図 1 柱の断面

呼ばれる水平鉄筋が主筋を囲むように配されます。帯筋は通常、高さ方向に一定の間隔で設置されます。

このような柱に上から外力が作用したとき、柱の断面に、圧縮応力が生じることは前回説明したとおりです。力が鉛直に作用していれば、圧縮応力は断面に均等に生じることが予想されます。圧縮力を受けると、受けたものはその長さが小さくなります。単位長さあたりの長さ変化であるひずみの大きさと、そこに生じた応力の比率を静弾性係数またはヤング率といいます。ヤング率が大きいものは、力が作用したときの変形が小さいということです。鉄筋のヤング率はコンクリートのヤング率の 10 倍程度大きい値ですから、鉄筋とコンクリートの圧縮応力が同じであれば、コンクリートのほうが 10 倍大きく縮みます。

実際の鉄筋コンクリートの柱では、鉄筋とコンクリートはしっかりくっついていて、どちらかだけが大きく変形することはありません。鉄筋とコンクリートが同じ変形をしているということは、鉄筋にコンクリートの 10 倍程度の応力が生じていることとなります。このように鉄筋コンクリートの柱では、圧縮力は鉄筋とコンクリートの両者が負担し、鉄筋に生じる応力はコンクリートに生じる応力よりも大きくなっています (**図 2**)。

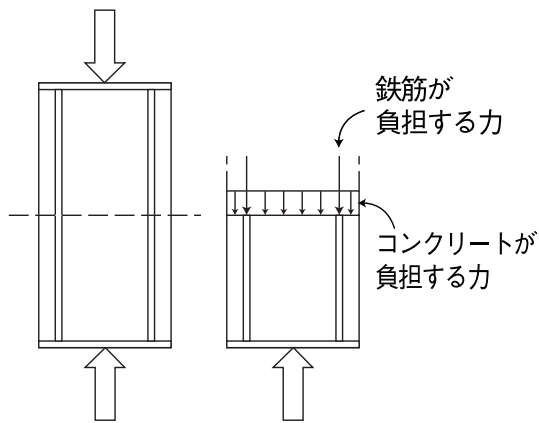


図2 圧縮力を受ける柱

4. 引張力が作用するとき

同じような柱に引張力が作用した場合を考えてみましょう。こんどは鉄もコンクリートも軸方向に伸びます。最初のうちは鉄筋とコンクリートは同じだけ変形します。引張力を受けたときのヤング率は、引張力がさほど大きくない範囲では、圧縮力を受けたときの場合とほぼ同じと考えられますので、引張応力は鉄筋にコンクリートの10倍程度の大きさに生じることになります(図3)。

引張力が大きくなってくるとコンクリートの応力が引張強度に達し、コンクリートが破断してしまいます。破断の方向は力に対して直角方向になり、これがひび割れと呼ばれるものです。純粋な引張力を受けた柱には水平方向にひび割れが入ります。

ひび割れが発生すると、ひび割れをはさんでコンクリートは力を伝達することができなくなります。すな

わち、ひび割れ位置においては、引張力をすべて鉄筋が負担することになります(図4)。

引張力によって柱がたとえば1mm伸びたときにひび割れが発生したとします。このときひび割れ幅が1mmとなれば、コンクリートの長さは力が加わる前の長さとなり、従って応力0の状態に戻るることになります。このようなことは鉄筋とコンクリートが独立に変形できる状態、いかえると鉄筋とコンクリートがまったくくっついていない状態のときにおこります。鉄筋とコンクリートのくっつく力の程度を付着と呼んでいます。通常の鉄筋コンクリートでは鉄筋とコンクリートはある程度の付着がありますので、ひび割れ幅は1mmより小さく、ひび割れから離れたところではコンクリート内部に引張応力が残ることになります。

さらに引張力が強くなると、柱全体はさらに伸びます。付着がない場合には、引張力は鉄筋が負担し、コンクリートのひび割れ幅が大きくなるだけです。付着があれば、別の部分のコンクリートの引張応力が増加して、やがて引張強度を超え、新たなひび割れが生じることになります。このためもとのひび割れ幅はそれほど大きくなりません。付着が大きいほどひび割れの本数は多くなりますが、個々のひび割れ幅は小さく抑えられることになります(図5)。

鉄筋とコンクリートの付着は、丸鋼では小さく、異形鉄筋を使うと大きくなります。また同じ異形鉄筋でも、鉄筋の表面積が大きいほうが付着は大きくなります。太い鉄筋を1本使うより、細い鉄筋を数本使って同じ断面積になるようにすれば、トータルの鉄筋表面

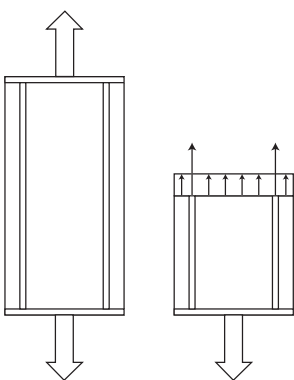
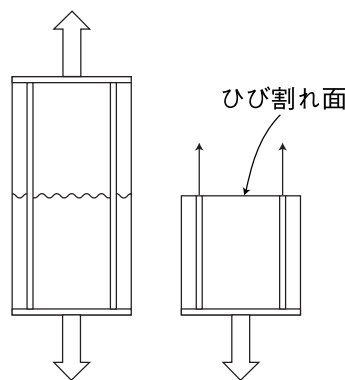
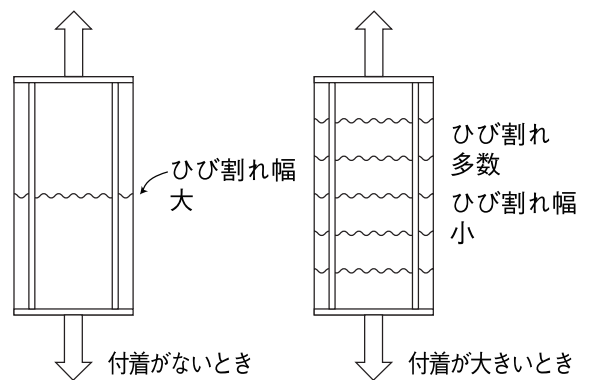
図3 引張力を受ける柱
(ひび割れ前)図4 引張力を受ける柱
(ひび割れ後)

図5 付着によるひび割れの違い

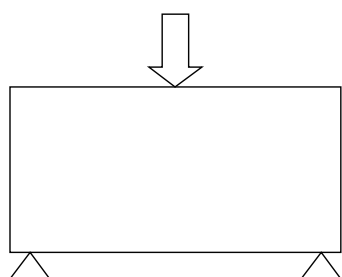


図6 単純梁

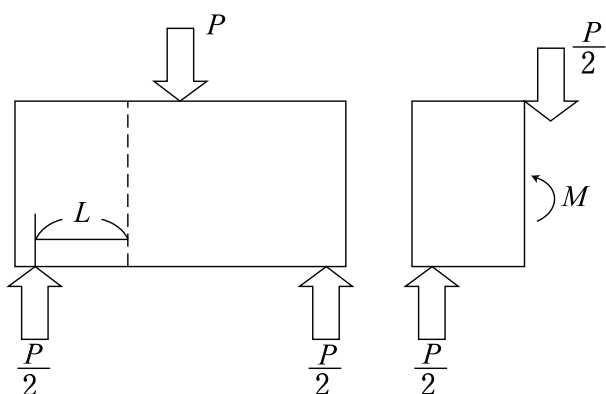


図7 梁断面の応力

積は大きくできますので、ひび割れ幅の抑制を期待することができます。

5. 曲げモーメントが生じるとき

曲げモーメントが生じる例として、両端が支持体の上に載った梁（このような梁を単純梁といいます）の中央部に上から外力が作用した場合を考えてみます（図6）。梁の両端には中央部の外力の反力として、作用した外力の半分の力が上向きに作用することになります。

支持体から距離 L だけ離れた断面に生じる応力を調べてみましょう（図7）。この梁の部分に作用している力には支持体からの反力である $P/2$ があります。これにつりあうような力が支持体から距離 L 離れた断面に作用していることとなります。すなわち上から $P/2$ の力が作用し、さらに $P/2 \times L$ の曲げモーメントが作用します。このようなモーメントを作用させるためには断面の上のほうに圧縮力を、下の方に引張力を作用させる必要があります。

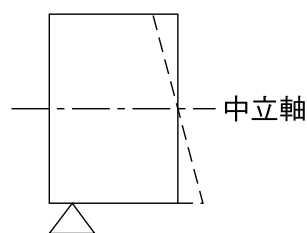


図8 曲げによる変形

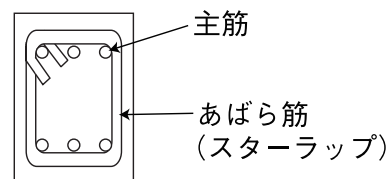


図9 梁の断面

梁の上部に圧縮力が作用することで梁の上部は軸方向に縮みます。逆に下部は伸びることになります。一般に鉄筋コンクリートの設計では、このような曲げを受ける梁で、極端に大きな変形とはなっていない段階では、力を受ける前の断面が力を受けて変形した後も曲面にはならず、平面のままであるとしています。図8のように横から見て長方形の部分が、力を受けて台形になると考えるわけです。

梁の高さ方向の中央付近には伸びも縮みもしない点が生じます。この点を通る軸方向の線を中立軸と呼んでいます。中立軸上では軸方向の応力が0となります。中立軸より上では圧縮応力が生じます。変形は中立軸から遠くなるほど大きくなりますので、応力も上ほど大きくなります。変形後も断面が平面であるとすれば変形は中立軸からの距離に比例することになり、ヤング率が一定であれば応力も中立軸からの距離に比例することになります。

一般に梁の中には図9のように上下に主筋が、さらに主筋をかこむようにあばら筋（スターラップ）が配されています。圧縮側となる梁の上側では、圧縮を受ける柱と同じように鉄筋には同じ位置のコンクリートの10倍程度の応力が生じることになります（図10）。

引張を受ける中立軸より下側ではどうなるのでしょうか。ひび割れが発生するまでは梁の上半分の逆方向の応力が生じていると考えることができます（図10）。応力が大きくなり、ひび割れが発生すると、コンクリー

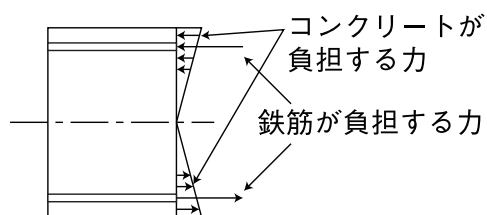


図 10 曲げを受ける梁（ひび割れ前）

トは引張応力を伝えることができなくなります。従ってひび割れ位置では引張力を鉄筋だけで負担することになります。ひび割れから離れたところでは鉄筋とコンクリートの付着の程度に応じてコンクリートに引張応力が残ることになりますが、一般の鉄筋コンクリートの設計ではすべて引張応力は鉄筋が負担するものとして計算していきます。

このように、曲げを受ける梁では、上側のコンクリート部分には中立軸からの距離に比例した圧縮応力が作用し、上側の鉄筋には圧縮応力が、また下側の鉄

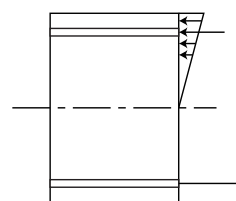


図 11 曲げを受ける梁（ひび割れ後）

筋には引張応力が作用すると考えて設計を進めていきます。力の釣合いを考えると、下側の鉄筋の引張応力の大きさは上側の鉄筋の圧縮応力の大きさより相当大きい数値の応力が生じることになります（図 11）。

6. おわりに

鉄筋コンクリート部材に力が加わったときの状態について考えてきました。次回はさらに大きな力が作用したときに鉄筋コンクリートがどのように壊れていくのかをみていきたいと思えます。