

# 鉄筋コンクリート部材の破壊

## 1. はじめに

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、圧縮、引張、および曲げを受けたときに部材内部に生じる応力について説明しました。今回はその力がさらに大きくなったとき、鉄筋コンクリート部材がどのように壊れていくのかについて考えてみたいと思います。

## 2. 圧縮力が作用するとき

鉄筋コンクリートの柱が軸方向に圧縮されたときに、コンクリートと鉄筋の両者に圧縮応力が生じること、ヤング係数がコンクリートより大きい鉄筋に、より大きな応力が発生することを前回お話ししました。力がさらに大きくなって圧縮応力が材料の圧縮強度を超えるようになると、その材料は壊れていきます。鉄筋コンクリートの場合通常先にコンクリートが壊れます。

コンクリートの圧縮試験を見たことがある方はわかりやすいと思いますが、コンクリートが圧縮力によって壊れるときは、最初にひび割れが発生し、そのひび割れが大きくなり、最後にはいくつかの塊にばらばらに分かれてしまいます。こうなってしまうと、もはや力を支えることはできなくなります。圧縮試験における力と変形の関係例を図1に示します。

鉄筋コンクリートで圧縮力によりコンクリートが壊れてしまうと、力は鉄筋に集中します。鉄筋はコンクリートのようにばらばらに壊れることはありません。鉄筋の壊れ方は座屈と呼ばれる壊れ方になります。細長いものを押しつぶそうとしたとき、つぶれたりばら

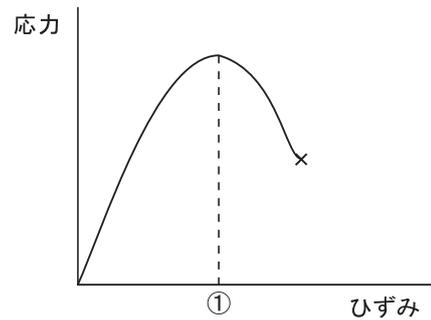


図1 圧縮を受けるコンクリートの応力・ひずみ関係例

ばらになってしまうより先に、横にグニャと曲がってしまうのが座屈です。鉄筋が座屈してしまうと、ほとんど力を支えることができなくなります。

## 3. 引張力が作用するとき

引張力が作用したときも、初めはコンクリートと鉄筋の両方に引張応力が生じ、その大きさの比率が両者のヤング係数の比率になることは、圧縮のときと同様です。引張の場合はコンクリートの引張強度が小さいため、早い時期にコンクリートにひび割れが発生します。ひび割れが発生するとコンクリートは引張力を伝達できなくなりますから、鉄筋だけで負担することになります。このことから、設計ではコンクリートは引張力を負担しないものと考えています。

コンクリートにひび割れが発生した後は、単純に鉄筋の引張試験をしていることと同じになります。引張試験をしたときの力と変形の関係の例を図2に示します。鉄筋を引っ張ると、初めは力の強さに比例して伸びていきますが、ある力に達すると変形が急激に進むようになります。このような現象を降伏と呼んでいます。鉄筋が降伏すると荷重を増やさなくても変形が進

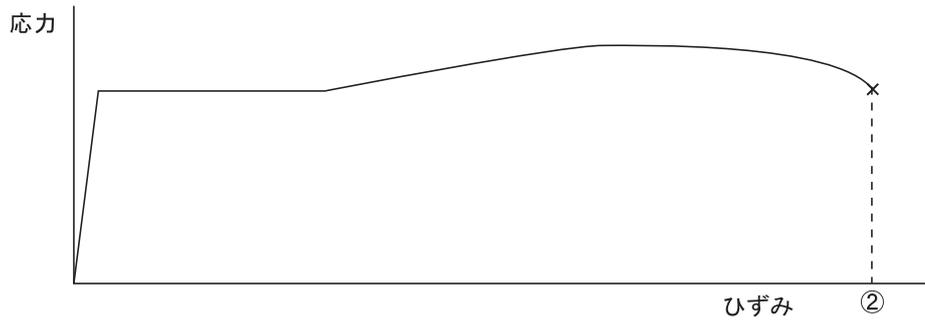


図2 引張を受ける鉄筋の応力・ひずみ関係例

みます。しかしある程度変形が進むと、さらに力を加えないと変形が進まなくなります。そこでさらに力を加えていくと、最後に鉄筋が切れて終わります。コンクリートの最大圧縮応力時のひずみ（図1の①）は0.2%程度ですが、鉄筋が引張で切れるときのひずみ（図2の②）は30%程度であり、両者の差は非常に大きいものなのです。

#### 4. 曲げが作用するとき

鉄筋コンクリートの梁のように曲げを受ける部材では、梁の断面の片側には圧縮応力が、反対側には引張応力が生じます。柱では通常これにさらに圧縮力が作用することになります。柱では曲げによる引張応力が荷重による圧縮応力を超えるまでは、部材断面に引張応力が生じないこととなります。

大きな曲げ力がかかったときの部材の壊れ方は、圧縮側で壊れるか、引張側で壊れるかで変わってきます。

圧縮側で壊れる場合、コンクリートの応力が圧縮強度を超え、その部分のコンクリートがばらばらになっていき、さらに圧縮側の鉄筋が座屈して、部材全体が壊れた側に傾いていきます。

引張側で壊れる場合、コンクリートにひび割れが発生した後、鉄筋が降伏し、変形が進んでいきます。圧縮側のコンクリートが強い場合は、最後には鉄筋が切れることとなります。一般に、圧縮側で壊れると急激な壊れ方になりやすく、引張側で壊れると粘りのある壊れ方になります。

圧縮側で壊れるか、引張側で壊れるかは、コンクリートの強度と鉄筋の量で決まってきます。コンクリート

の強度が小さいと圧縮側で壊れやすくなります。鉄筋が少なければ引張側で壊れますし、多く入っていれば圧縮側で壊れることとなります。曲げ力の大きさが引張側の鉄筋が降伏する大きさになったとき、圧縮側のコンクリートの応力がちょうど圧縮強度に達するような鉄筋の量を、釣合い鉄筋比と呼んでいます。圧縮側で壊れると、壊れ方が急激になるおそれがあるため、一般に鉄筋の量を釣合い鉄筋比以下にして、コンクリートが圧縮で壊れる前に、引張側の鉄筋が降伏するように設計しています。

鉄筋の量を釣合い鉄筋比以下にしても、コンクリートの強度が所定のものより小さい場合には圧縮側で壊れる可能性がでてきます。建物の安全性を確保するために、所定の強度を下回らないようにすることが大切であることがわかつてきます。

#### 5. せん断力による破壊

建物の構造安全性を考えると、建物を壊す力の代表は地震です。地震による力は、建物を横から押す力と考えることができます。

柱の上部を横から押した場合を考えてみましょう。図3のように柱の根元に曲げによる応力が生じ、力がくる側に引張応力が、反対側に圧縮応力が働きます。地震による水平力から生じる柱の根元の引張力によって降伏しないだけの鉄筋を配し、そのときの圧縮側に生じる曲げによる圧縮応力と、荷重を支えることによる圧縮応力の和が、コンクリートの圧縮強度を超えないようにすることで、この柱は地震による曲げ力に耐えることができるはずで

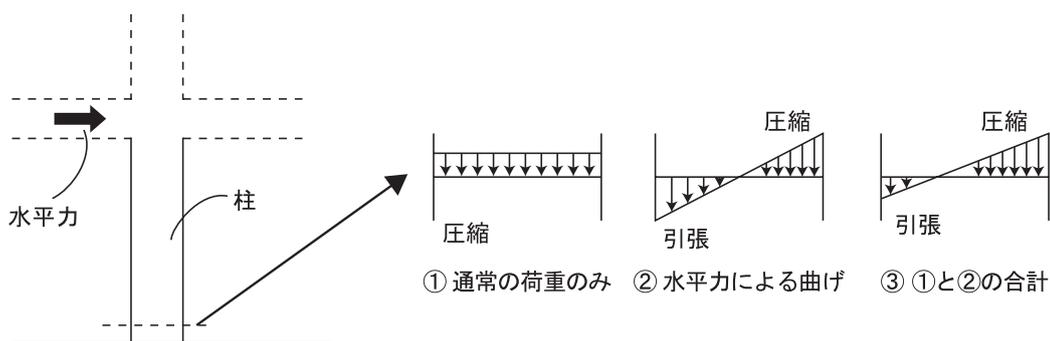


図3 水平力を受ける柱脚部の応力

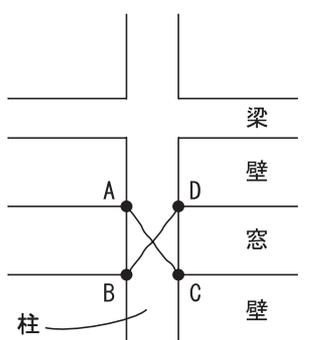


図4 柱のせん断ひび割れ

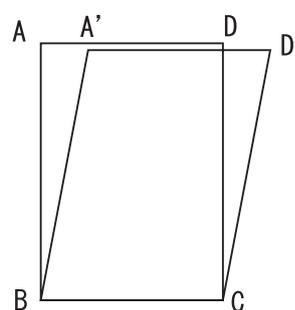


図5 せん断を受ける部分

1968年5月におこった十勝沖地震で、いくつかの鉄筋コンクリートの校舎が壊れました。その壊れ方は柱の根元でコンクリートがつぶれて壊れたのではなく、**図4**のように柱の中央部でX字型のひび割れが発生し、柱の中央部がつぶれるような壊れ方でした。これは曲げによる破壊ではなく、せん断力による破壊だったのです。

壊れた柱には窓の部分を除いて上下に壁がついていました。地震による水平力を受けた建物は上部が押されて変形しようとしています。柱に壁がついていない場合は柱全体が変形するはずですが、壁がついている部分は変形が押さえられるため、壁のない窓の部分に変形が集中することになりました。変形が集中するということは、力が集中することと同じことであり、窓の高さの柱に大きな水平方向にずらそうとする力であるせん断力が作用して壊れたのです。

窓の高さの柱の部分を取り出してみると、地震による水平力によって**図5**のように変形します。図のBDの距離が大きくなっており、この方向に引張力が働

ていることがわかります。この引張力に対抗するために、BD方向に鉄筋を入れることが考えられます。地震による力はあらゆる方向に作用しますので、少なくとも4方向に斜めの鉄筋を入れることが望まれます。しかし、このような配筋をすると、鉄筋を組むのが困難だけでなく、コンクリートの充填も困難になります。

そこで、軸方向にはすでに主筋が入っているのですから、水平方向に鉄筋を加えることで、主筋とあわせてこの斜めの引張力に対抗することが考えられます。これが主筋を取り囲むように配する帯筋（フープ）の働きです。

帯筋は十勝沖地震より前にも入れられていましたが、十勝沖の教訓に基づき、この帯筋の量が増やされることになったのです。

帯筋の量が増やされる以前に設計・建設された建物については、せん断に対する備えが十分でないものがある可能性があります。このような建物には耐震補強が施されます。耐震補強では、せん断に対する耐力向

上が図られます。せん断に対して一番効果のある方法は壁を増設することですが、使い勝手が悪くなります。壁のかわりにすじかい（ブレース）を増設することも効果があります。

柱のせん断耐力を高めるためには帯筋を増やせばいいのですが、かぶりコンクリートをはつって帯筋を増やし、コンクリートを打ち直すのは大変です。そこで、実際には柱の外側に鉄板や炭素繊維などを巻きつけ、補強する方法がとられています。

## 6. おわりに

コンクリートは経済性、耐久性に優れた材料ですが、壊れるときに脆く、急激に耐力を失ってしまうことに気をつけなければなりません。これに対し鉄は降伏という現象を示し、粘り強い性質を持っています。コンクリートの品質を確保し、鉄の粘りを引き出せるように鉄筋コンクリートの構造物を作っていくことが大切なのです。