コンクリート構造入門　第３回

力の性質とモーメント、応力

1. はじめに

前回までに、物に力が作用したときにどのように変形するかを考え、長さが長くなるような変形をする部分に引張力が生じること、またその引張力が生じた部分にひび割れが入ること、さらに実際の構造物にはどのようなひび割れが入ることが多いのかといったことをお話ししてきました。

今回は少し原点にたち返って、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たいと思います。

2. 力の釣合い

図１のようにアイススケート場のリンクの上に、表面が平滑な箱が置かれているとします。これを図１①のようにＡという人が一方から押したとすると、箱は押した方向に動き始めます。

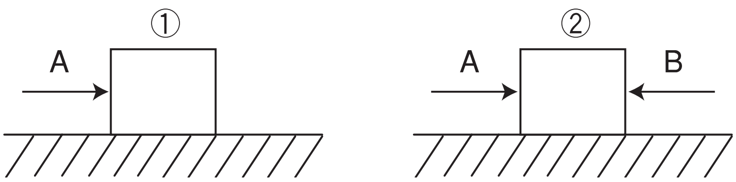

図１　圧縮力と変形

箱を動かないようにするには、図１②のようにＡと反対向きに同じ強さでＢという人が押してやればいいことはすぐにわかります。このように力にはその向きと大きさがあり、向きが反対で大きさが等しい力が作用すると、力が作用した箱が動くことはありません。このような場合、力は互いに釣り合っているといいます。

図１は横からみた状態でしたが、今度は図２のように上からみた場合で考えてみます。図２①ではＡという人が図の上から下に向かって箱を押しており、Ｂという人が右から左に押しています。この結果、箱は左下に向かって動き始めることでしょう。

この箱を動かさないようにするには図２②のように、Ｃという人が左下から右上に向かって押してやればいいはずです。でもＣという人が押す力の大きさはどのくらい必要になるのでしょうか。

この答えは図で解くと簡単です。それぞれの人が押す力を、方向は矢印で、大きさはその矢印の長さで表してみます。図２③のようにＡの押す力の矢印を描き、その矢印の先端からＢの押す力の矢印を描きます。それぞれの矢印の方向は、実際の力の方向に平行になるようにします。つづいて矢印Ｂの先端から矢印Ａの根元にむかって矢印

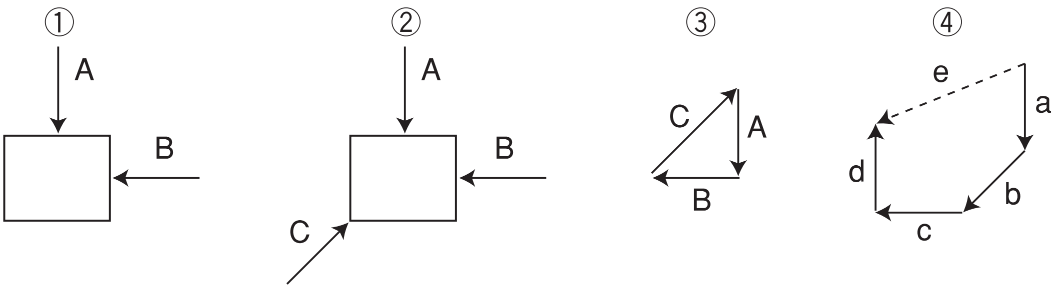

図２　力の釣合い　その２

を描きます。もしCという人が押す力の向きと方向が、最後に描いた矢印と同じであればAとBとCの力が釣り合うことになります。

別の見方をすると、Aの力とBの力が同時に作用するということは、図２③のAの矢印の根元からBの矢印の先端に描いた矢印で表される力と同等であるといえるのです。図２④のようにaからdの複数の力が作用するときに、それぞれの力を矢印で表し、一つの力を表す矢印の先端から次の力を表す矢印を描いていくことで、これらの力の全体は最初の矢印の根元から最後の矢印の先端に向かった矢印eで表される一つの力と同じと考えてよいということです。このような矢印を組み合わせて一つの力と考えるやり方を「力の合成」と呼んでいます。また逆にeという力をaからdの四つの力に分けて考えることもできるわけです。この場合は「力の分解」と呼ばれます。

3. 力のモーメント

図３①のように箱に二つの力が作用している状態を考えてみます。力Aと力Bは大きさが等しく、向きが反対です。とすれば力Aと力Bは釣り合いそうですが、この箱は反時計回りにまわり始めます。力Aと力Bの大きさが同じでも、二つの力が同じ線上にない場合にこのようなことがおこります。この箱をまわそうとする力を「モーメント」と呼んでいます。

モーメントの大きさは力の大きさと、力が作用するところまでの距離を掛けたもので表現されます。図３②のように回転軸（回転中心）からのびた棒に、回転軸からLだけ離れた地点に力Aが作用する場合、この回転軸にかかるモーメントの大きさはLとAの積で表すことができます。

このようにモーメントは力と距離の積ですから、力からの距離が２倍になればモーメントは２倍になり、また力の大きさが２倍になればモーメントは２倍に、さらに距離と力がどちらも２倍になればモーメントは４倍になるわけです。

力からの距離は、回転軸から力の矢印までの最短距離となりますので、力の矢印を延長した直線に回転軸から垂線をおろし、回転軸から垂線と矢印の延長との交点までの距離で求めることができます。

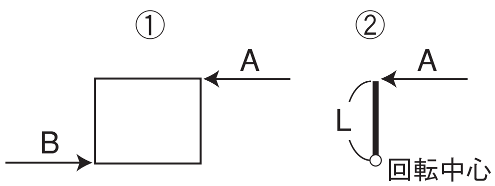

図３　力のモーメント

4. 応　力

これまで物体に外から力が加わった状態について考えてきました。これらの外からの力を一般に「外力」と呼んでいます。

外力を受けた物体の内部には、外力の影響が及んできます。図４①（図１②と同様）のように両側から外力を受けて釣り合っている物体の内部について考えるために、図４②のように二つの物体がくっついて①と同じ状態になっている場合を調べてみます。②の左側をとりだして考えてみると（図４③）この物体にかかる力も釣り合っているはずなので、左からの外力のほかに、右の物体から左向きの力を受けていることがわかります。物体を二つに分けてしまえば、この右の物体からの力も左の物体にとって外力となりますが、①の状態でも一つの物体の中央断面に押し付ける力が作用していることになります。このように物体の内部に面を考え、その面に作用していると考えられる力を「応力」と呼んでいます。この応力は断面力と呼ばれることもあります。①の状態の物体の内部の鉛直面には圧縮応力が生じているというような表現をします。

図４のように断面に垂直に作用する応力を、物体の軸に沿って作用する力であることから「軸力」と呼んでいます。軸力には圧縮力と引張力があります。コンクリート構造物の内部にコンクリートの引張強度以上の引張応力が作用するとひび割れがはいるというのが前回までにお話ししていたことです。

つぎに図５①のように細長い物体に四つの力が作用している場合を考えてみます。AとDの大きさが等しく、BとCの大きさはその２倍であるとすれば、Aと

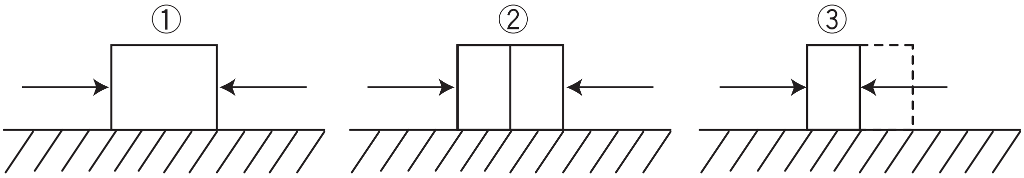

図４　応力　その１（軸力）

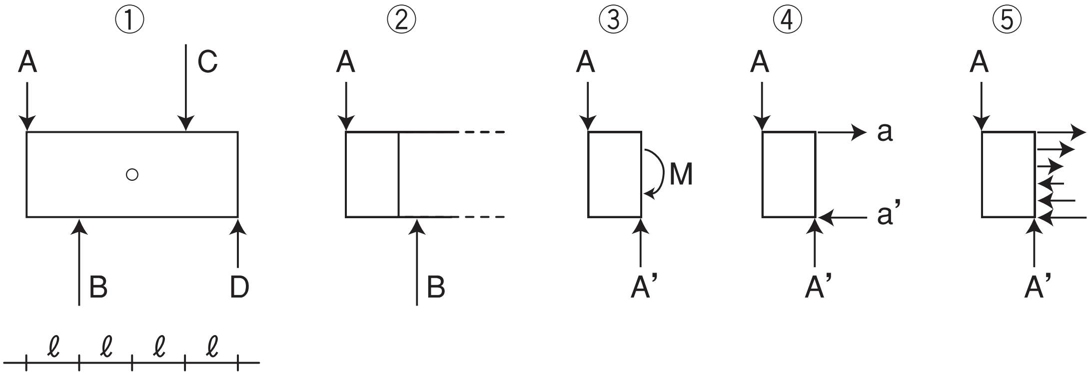

図５　応力　その２（モーメントとせん断力）

C の和はＢとＤの和に等しくなりますから、力が釣り合っていることはすぐにわかると思います。モーメントの釣合いについては、回転軸を物体の中心にとって考えると、反時計回りのモーメントはＡ×21 とＤ×21 の和であり、時計回りのモーメントはＢ×１とＣ×１の和ですから、BC が AD の２倍ということを考えれば時計回りと反時計回りのモーメントの大きさは等しくなり、これも釣り合っていることがわかります。なおモーメントの釣合いを考えるとき、どこに回転の中心をもっていっても結果は同じになります。

つづいて物体の内部の応力について考えてみます。図５②のように力Ａと力Ｂの中間の断面を取り出します。断面の左側の力の釣合いを考えると（図５③）、Ａと大きさが同じで反対向きの力が作用する必要があります。力はこの断面上にしか生じませんから、図のＡ’の力が作用していることになります。ところがＡとＡ’は同一線上にありませんから、ここに物体を回転させようとするモーメントが残ってしまいます。モーメントについても釣り合わせようとすれば、断面に時計回りの回転モーメントＭが作用していると考えなければなりません。

断面にモーメント作用させるには、図５④のようにａとａ’の二つの力を作用させることで実現できます。実際には二つの力でモーメントが発生しているわけではなく、図５⑤のように高さの半分を中心に上にいくほど引張応力が大きくなり、下にいくほど圧縮応力が大きくなるという応力分布となってモーメントが生じているのです。

また図５④のＡ’のように断面に平行な応力を「せん断力」と呼んでいます。せん断力は断面に均等に作用していると考えることができます。

5. おわりに

以上のやり方を組み合わせていけば、構造物に外力が作用したときに、どの部分にどのような応力が生じるのかを解き明かしていくことができます。

一般に構造設計とは、どのような外力が作用するかを決め、その外力によって構造物内部に生じる軸力、モーメント、せん断力を考え、これらの応力が材料の強度と比べて大きくなりすぎないようにすることであるということができるでしょう。