



第4話 図芯と部材の接合

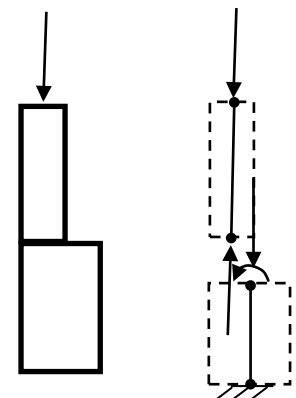
構造力学を初めて学ぶ学生は図芯と中立軸を混乱することが多い。図芯は断面の重心、つまり断面一次モーメントがゼロの位置であり、材軸方向に伸ばしたものが図芯軸である。一般に、断面内の座標は、図芯軸に直交する平面を考え、 $y-z$ 座標を配置する。一方、中立軸は、梁が曲げられるとき、断面内に圧縮領域と引張領域が生じるが、その境界つまり応力が零の位置を材軸方向に伸ばした軸である。この2つの定義により図芯軸と中立軸が決定されるが、軸力を受けない純曲げの状態では、図芯位置と中立軸位置が一致する。これが混乱の元となる。

図芯軸が1本の線で表される場合は、**線材**と呼ばれる。さらに、図芯軸が直線となる場合は**直線材**、曲がっている場合は**曲線材**という。直線材は梁・柱に使われ、代表的な曲線材はアーチである。2次元材として、図芯に相当するものが面であると**面材**と呼び、この面が平面であると**平板**、曲面であると**曲面板**あるいは**シェル**と呼ぶ。面材では、ベルヌーイ・オイラー仮定に相当するものを、キルヒホッフ・ラブ仮定という。これについては、他のテキストを参照されたい。

部材の座標は、一般に図芯を原点とするが、必ずしもそうでない場合もある。図芯を原点にとると、断面二次モーメントは最小となり、一般に使用される断面性能はこの図芯に対する性能である。梁理論では、断面内の応力とひずみは、平面保持の仮定と法線保持の仮定を用いることで、図芯軸の伸縮やたわみから求められる。つまり、部材内の応力・ひずみは図芯軸の変形から求められる。その変形状態は、面外荷重や部材両端の境界から決定され、その荷重も境界も図芯軸に対して与えられることになる。このことの重要さは次の例から分かる。

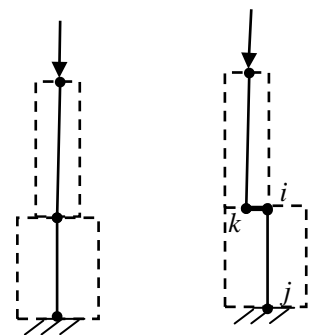
図1(a)のように梁せいが異なる部材と部材が剛接合した場合について考える。接合部における力の釣合は同図(b)のようになり、下部の柱には軸力と共に曲げモーメントが発生する。しかし、図芯を用いて接合すると自動的に図2(a)のようになり、結果、軸力のみとなり、実際の応力状態を表せない。

実際の断面状況を表すには如何なる方法があるか考えてみよう。理論的方法では、図2(b)のように下部柱の図芯位置を実際の位置に合わせて移動させ、接合部である節点での力の釣合や変形の適合より求める。両部材の接合部は同一節点でないため、下部柱の上端の節点*i*の変位と断面力を、上部柱の節点*k*に座標変換する。下式は下部柱の*i, j*間の釣

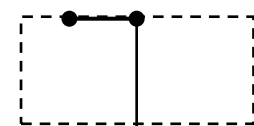


(a) 断面形状 (b) 力の釣合

図1 断面形状と力の釣合



(a) 図芯を材軸 (b) 材軸を移動



(c) 下部材の節点間の座標変換
図2 接合部の解析モデル

合式を表す。ここでは、平面骨組の部材座標系における釣合式である。図3に示すように、k点はz方向に d_z ずれているものとする。

$$\mathbf{p} = \mathbf{k}\mathbf{u}; \quad \mathbf{p}^T = \begin{pmatrix} P_i & Q_i & M_i & P_j & Q_j & M_j \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{u}^T = \begin{pmatrix} u_i & v_i & \theta_i & u_j & v_j & \theta_j \end{pmatrix}$$

節点iの回転角 θ_y 、ここでは θ_i によって、節点kでは軸方向変位 $d_z\theta_i$ が生じる。曲げモーメントも同様、結果、両節点間の変位と断面力の関係は次式で与えられる。

$$\begin{Bmatrix} u_k \\ v_k \\ \theta_k \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & d_z \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \end{Bmatrix}; \quad \begin{Bmatrix} P_i \\ Q_i \\ M_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ d_z & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_k \\ Q_k \\ M_k \end{Bmatrix}$$

上の関係を用いると、z方向に d_z シフトした節点kと部材他点である節点jに関する部材座標系における釣合式が得られる。この釣合式の剛性行列を用いることで、図芯にずれがある部材間の接合が可能となり、先に示した力の釣合が得られる。これをシフト操作という。

上記のように部材接合部で図芯以外の接合点を考慮して、剛性行列や釣合を評価するソフトはそれほど多くはない。一般には、図芯軸による釣合が用いられる場合が大半である。その場合はどのような方法で、実際の応力状態を評価するか考えてみよう。最もよく用いられる方法として両部材の図芯間に、図4のようにシフト要素を挿入する方法である。この要素は剛体とするため、例えばヤング係数を100倍に設定すると良い。これで上のシフト操作と同様の効果が得られる。

実際の構造では、その接合部で図心位置が一致しない場合が多数見られる。具体的にその処理法を考えてみよう。第1に、図5(a)の大梁と小梁の接合部であり、明らかに図芯位置は一致しない。しかし、図心位置のずれは全体の挙動に大きく影響しないとして無視し、図芯位置で接合しているとする場合が多い。第2にRC造の大梁と床板では、同図(b)の太線のように有効巾を定義し、T型梁として図芯位置を求め、断面性能を求める。有効巾の決め方に難しさはあるが、梁と床板は一体として評価され、便利である。

最後に、図芯のずれを積極的に利用する方法がある。図5(c)の水門の骨組とプレートなどに使用される鉄骨塀である。骨組に組み込まれたプレートは面内のせん断要素として働くが、骨組から図芯にずれがあると面外荷重に対し、平板として働くだけでなく、骨組と一体となって、先のT型梁と同様に曲げ剛性を高める効果がある。いずれにしても、技術者がこれらを判断することになる。

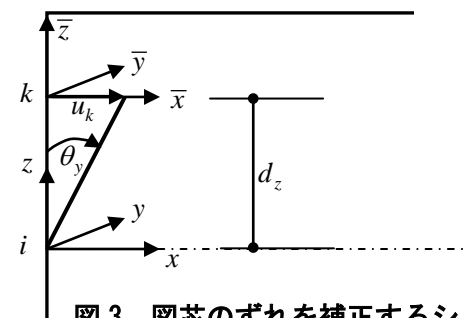


図3 図芯のずれを補正するシフト操作

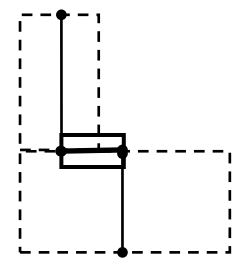
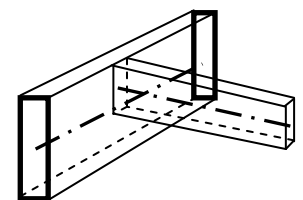
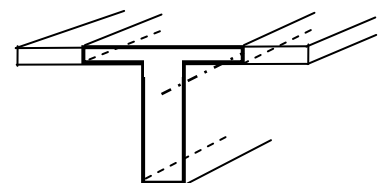


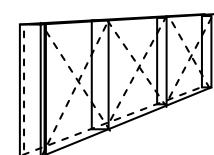
図4 シフト要素の挿入



(a) 大梁と小梁の接合部



(b) 大梁と床板の接合部



(c) 水門の骨組とプレート

図5 図芯がずれる例