

梁の軸応力—本題の前に—

本題に入る前にまず、次のことを確認しておきましょう。図-1 は誰でもご存じのはずの単純梁に集中荷重が作用した場合の M, Q 図です。あまりにも簡単すぎて、何の目新しさのないようにみえますが、この図から極めて大事な性質を読み取ってもらわなければなりません。それは、まず荷重（力）の作用は、① M 図に対しては、角変化をもたらし、傾きを変化させるのに対し、 Q 図に対しては、階段状の大きさの変化をもたらすということ、② その変化の大きさは、いずれにおいても図-1 に示すように荷重（力）の大きさに等しいということです。

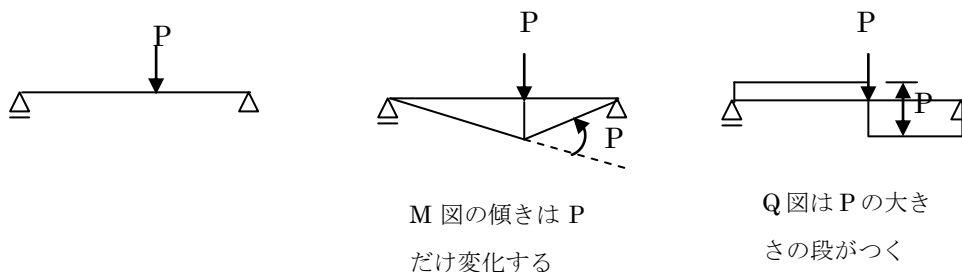


図-1

この性質は、骨組が単純梁だから成立するのだと考えてはいけません。どんな骨組であっても、また荷重が複数になっても、個々の荷重点で成立する大事な性質です。

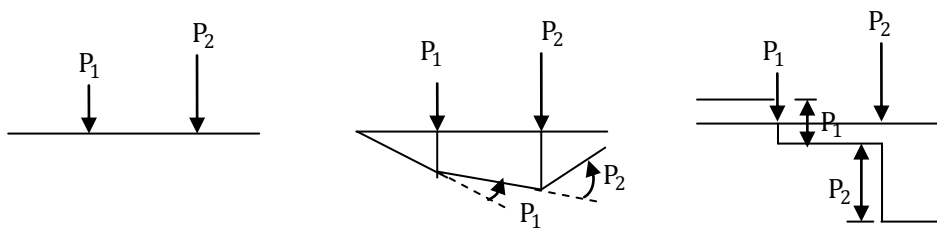


図-2

従って、 M 図、あるいは Q 図が与えられたとき、それがどのような荷重によるものかは簡単に知ることができます。図-3 はその簡単な例です。

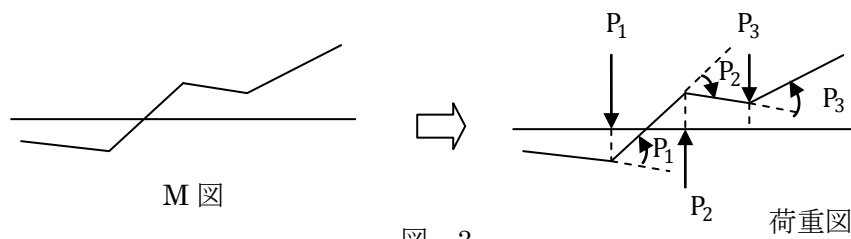


図-3

ただし、荷重がモーメントである場合には、少々様子が異なります。まず **M 図** には段が付きますが、その左右の傾きには変化はありません。段がついて傾きが同じということは、モーメント荷重の左右の **M 図** は、平行ということで、これがモーメント荷重の場合の大きな特徴です。すなわち、モーメント荷重は傾きを変えないという意味で、**M 図** に変化を与えないのです。ところで $\frac{dM}{dx} = -Q$ という関係があったことを思い出してください。これは **M 図** の傾きの大きさがせん断力 **Q** ということですから、**M 図** の傾きの変化がないのであれば、当然せん断力 **Q** の変化はないということになり、モーメント荷重点では、**Q 図** に何の変化も生じないこととなります。すなわち、**Q 図** は、図-4 に示すように、モーメント荷重があるのに、それを無視したかのように、一直線に進行していくこととなります。

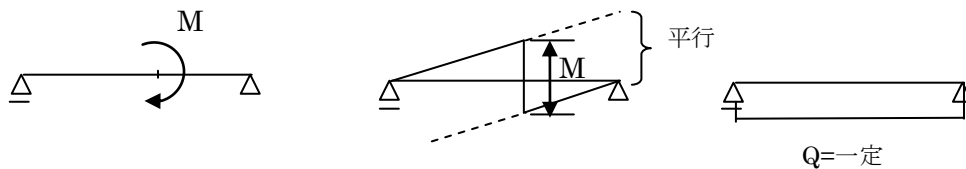


図-4

さて、ここで練習問題です。図-5 のような **M 図** に対応する荷重とはどのようなものになるのでしょうか。**M 図** に段がついていますから、モーメント荷重が作用していることは確かですが、左右の **M 図** の傾きが同じでないという点が肝心のところです。

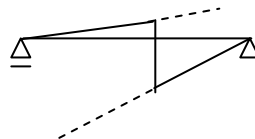


図-5

答は図-6 に示す通り、モーメントの荷重点と同じ点に集中荷重が作用した場合にあたります。

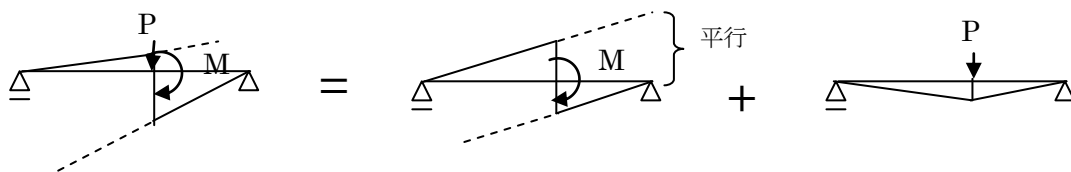
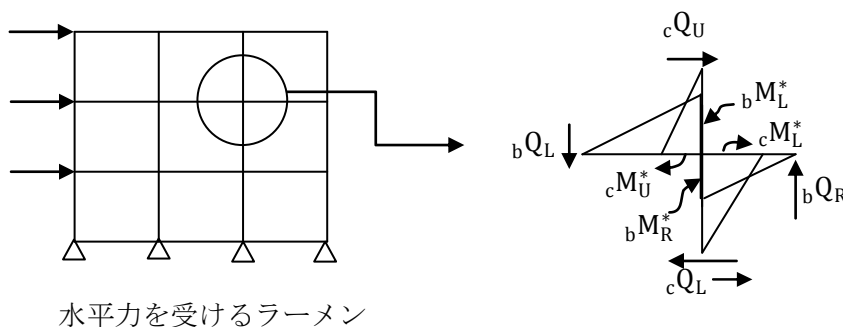


図-6

同一の点にモーメント荷重と集中荷重を作用させるなんて、作為的な、問題のための問題と思われるかもしれませんが、そうではありません。図-7 の水平力を受けるラーメンの節点まわりの応力図がまさにこれに該当するのです。



水平力を受けるラーメン

図-7

図-7 にて、左右の梁の材端モーメント bM_L^* 、 bM_R^* の和と上下の柱の材端モーメント cM_U^* 、 cM_L^* の和が等しいことは誰でもご存知でしょう。そこで

$$M^* = bM_L^* + bM_R^* = cM_U^* + cM_L^*$$

とおき、梁、柱の応力をそれぞれ独自に切り出しますと、図-8 となります。

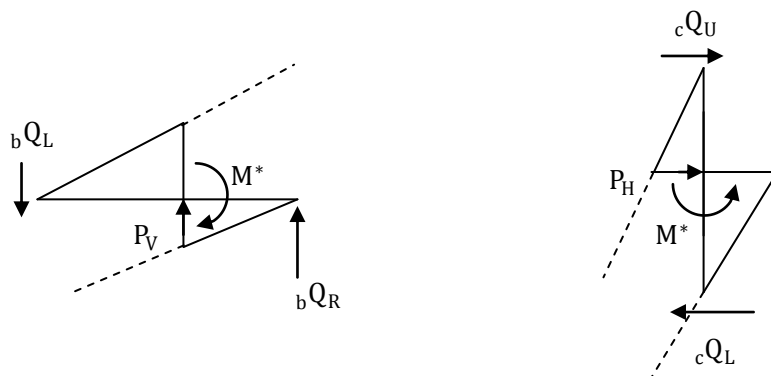


図-8

左右の梁のせん断力 bQ_L, bQ_R の大きさは一般的には等しくなりません。上下の柱せん断力 cQ_L, cQ_R についても事情は同じですから、節点の左右で M 図の傾きが異なるのが普通であって、これらの応力図は同一点にモーメント荷重 M と集中荷重 P_V あるいは P_H が作用した場合のものにほかなりません。では、この集中荷重 P_V, P_H はどこからくるのでしょうか。節点にこれに該当する外力が作用しているのであれば話は別ですが、そうでないとすれば、内力により起因しているはずで、図-7において省略してしまった柱、梁の軸力によるほかありません。すなわち、図-9に示したように、梁における P_V は、柱軸力 cN_U, cN_L の差、柱の P_H は、梁の軸力 bN_L, bN_R の差として導かれることがわかります。

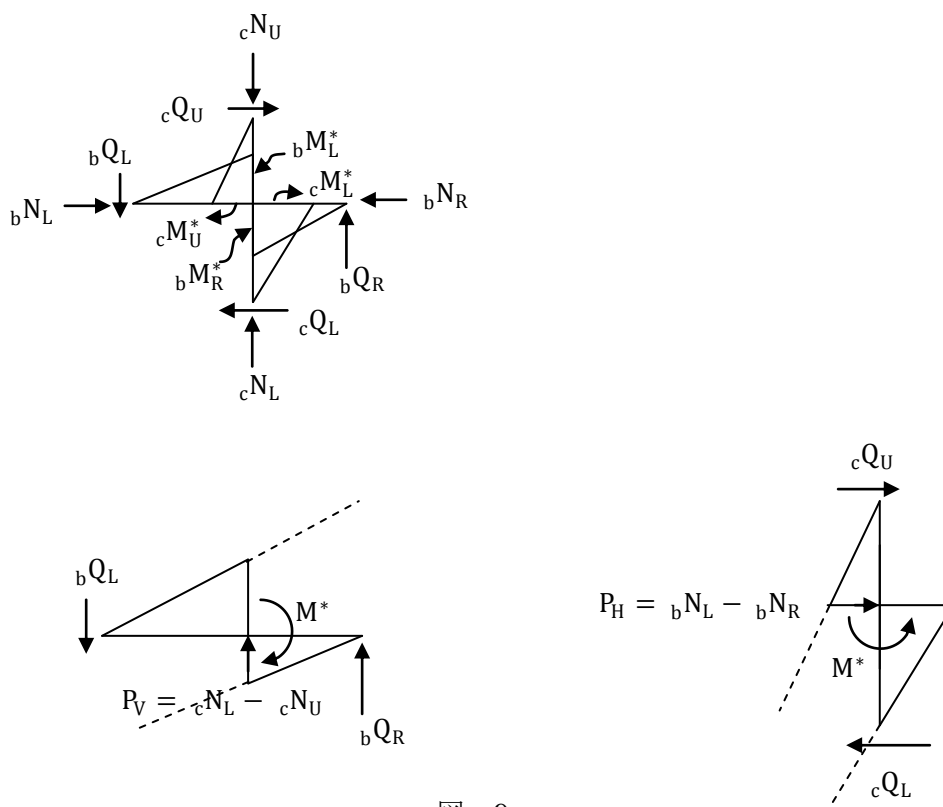


図-9

そしてまた、簡単な力の釣り合いから次の関係が成立していなければならないこともわかります。

$$\begin{aligned}
 P_V - bQ_L + bQ_R &= 0 & \rightarrow & & cN_L - cN_U &= bQ_L - bQ_R \\
 P_H - cQ_L + cQ_U &= 0 & \rightarrow & & bN_L - bN_R &= cQ_L - cQ_U
 \end{aligned}$$

上記のうち、 P_V については、地震時における付加軸力としておなじみのもので、左右の梁のせん断応力が等しい場合は付加軸力がゼロ、内柱はこの状態に近いので、均等なラーメンにおける内柱については付加軸力をゼロとみなしてよいということにつながります。問題は梁軸力の差として決定される P_H です。断面設計の段階では、梁であるならば軸力はゼロとして設計します。この感覚からいえば、 $bN_L = 0, bN_R = 0$ のはずなのに、その差

$P_H = {}_bN_L - {}_bN_R$ が問題なのだということです。面食らうかも知れませんが、釣り合い、特に水平力に対する釣り合いが一般的に成立するためには、 $P_H \neq 0$ 、従って梁には絶対に軸応力を生じていなければならないのです。このことは、 $P_H = 0$ のときを考えてみればわかります。 $P_H = {}_cQ_L - {}_cQ_U$ ですから、 ${}_cQ_L = {}_cQ_U$ となりますが、これは上階の柱せん断力=下階の柱せん断力ということになり、階ごとに柱のせん断力が変化してはならないということになって、各層の層せん断力が変化する水平荷重に対する釣り合いが実現できないことになってしまうからです。このようなわけでパネルゾーンの力学を考える上では、梁の軸力が釣り合いを維持する重要なファクターとなることに注意してください。というのも鋼構造接合部設計指針の第5章柱梁接合部パネルの項において、図-10の応力状態を基本モデルとして論を展開しているわけですが、この図には梁の軸力の存在をうっかりしてかどうかわかりませんが、抜け落ちています。これでは何としても理論が成立しないことになるからです。また、パネルゾーンにおけるせん断力の記号 ${}_pQ$ も不適當で、 ${}_pQ_b$ 、 ${}_pQ_c$ とに分離して表示しなければいけません。

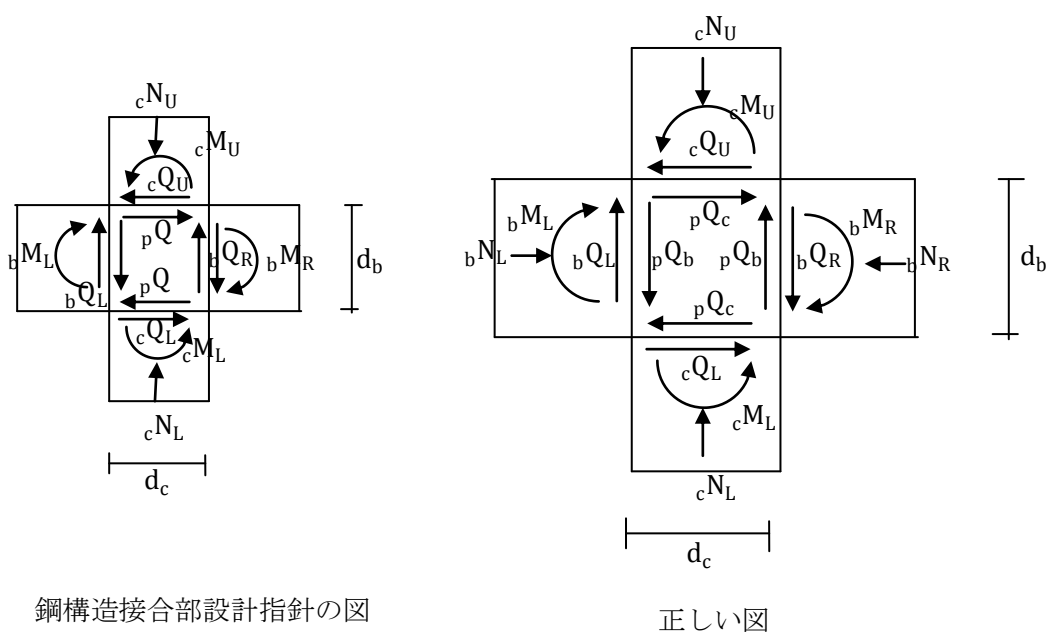
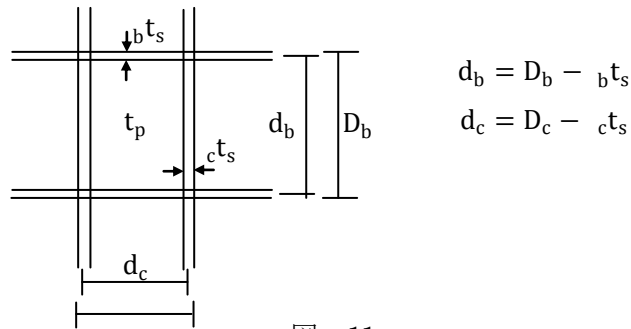


図-10

記号の約束

パネルゾーンの力学は、広がりのある節点についての力学です。従って、幾何学的な点として理想化された節点の力学にくらべ、やや複雑なことになるのは当然のことです。まずH形鋼におけるパネルゾーンを基本とし、図-11のようにその寸法を定めます。パネルゾーン周りの補剛材は、梁、柱のフランジ厚と同じとは限りませんので、スチフナー(stiffner)の意味で添え字に“s”を用いていることに注意してください。またパネル関係には添え字に“p”を使うこととします

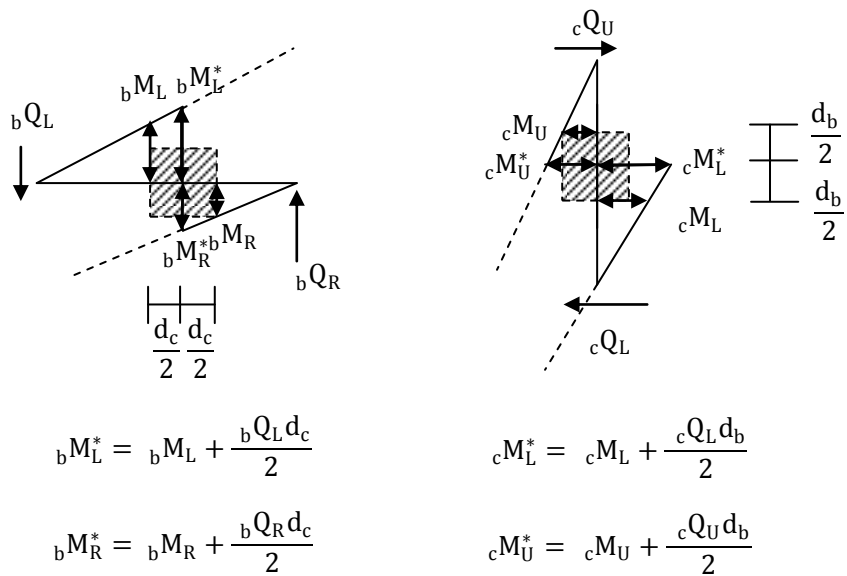


$$d_b = D_b - b t_s$$

$$d_c = D_c - c t_s$$

図-11

パネルには広がりがありますから、いわゆるフェイスモーメント（材端モーメント）と、パネル中心についてのモーメントとは区別しなければなりません。ここでは図-12 に示すようにアスタリスク “*” のついたものは、パネル中心に関するものとして区別します。



$$b M_L^* = b M_L + \frac{b Q_L d_c}{2}$$

$$b M_R^* = b M_R + \frac{b Q_R d_c}{2}$$

$$c M_L^* = c M_L + \frac{c Q_L d_b}{2}$$

$$c M_U^* = c M_U + \frac{c Q_U d_b}{2}$$

図-12

このとき、フェイスモーメントとパネル中心に関するモーメントの間には、同図に示した関係があり、さらにモーメントの釣り合いから

$$b M_L^* + b M_R^* = c M_L^* + c M_U^*$$

の関係がありますから、

$$b M_L + b M_R + \frac{b Q_L + b Q_R}{2} d_c = c M_L + c M_U + \frac{c Q_L + c Q_U}{2} d_b$$

の関係が成立します。重要な基本式ですので注意しておいてください。

剛棒－薄板構造モデル

パネルゾーンは、直訳すれば、「羽目板領域」とでもなるでしょうか、枠のなかに板を嵌めた部分をいいます。薄い板だけでは、力を加えると面外に曲がって逃げてしまいますから、がっしりとした補強枠の中に嵌めこんでこれを押さえると、著しく強度が上昇し、しっかりしたものとなることはよく知られたことです。そしてまた、こうしたパネルに力を加えてむりやり変形させると、^{ひしがた}菱形になることもお分かりのはずです。

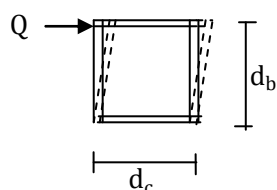


図-12

これよりパネルゾーンの力学では、「パネルゾーンではせん断変形のみ生ずる」、もっと強調していえば「パネルゾーンでは、完全なせん断変形のみを生じ、軸変形、曲げ変形は生じない」と考え、次のようなモデルに理想化してしまいます。すなわち、パネル枠を伸びも縮みも、また曲がりもしない剛な棒とし、これらがピン接合されているなかに板が嵌めこまれているとするのです。これにより、長方形パネルなら、力を受けた後も枠は直線のまま、伸びも縮みもしませんから、枠の平行性が保たれた、いわゆるひし形の変形しか許されないこととなります。

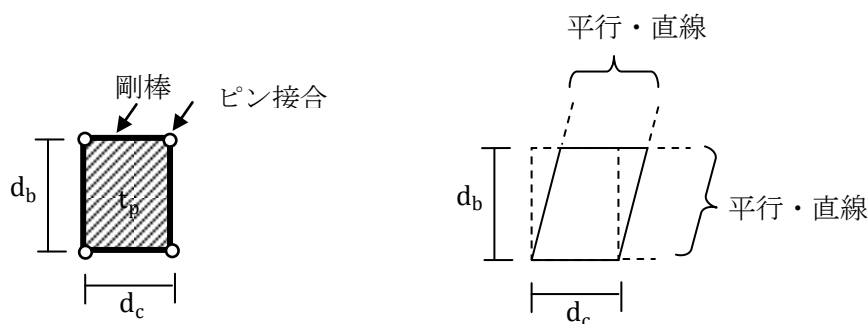


図-13

繰り返しになりますが、この変形には、長さの変化はありませんから、軸応力度におけるようなひずみ度によって表現することはできません¹。もっぱら、図-14に示すように、角の変化として捉えるよりほかありません。これをせん断ひずみ角といい、ギリシャ文字 γ に

¹ ヤング係数 E は、長さの変化における剛性を表します。従って、角の変化における剛性として使うことはできません。角の変化については、せん断弾性係数 G としなければなりません。なお、ヤング係数 E とせん断弾性係数 G とは独立ではなく $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ 、ただし、 ν : ポアソン比、という関係が理論的に導かれます。

よって表します。その際、せん断ひずみ角を定義する辺は、図-14 に示したように、短辺、長辺のいずれを基準としてもよいことに注意してください。

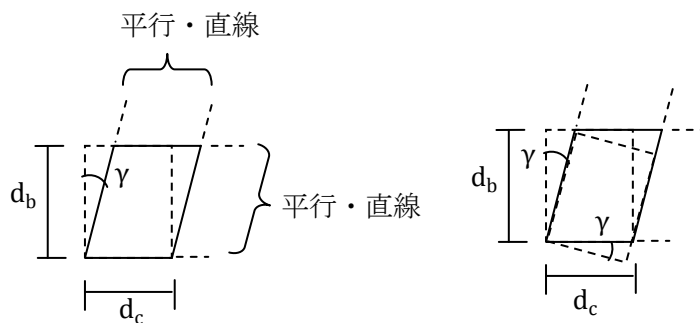


図-14

座標系 x - y 軸に対して各辺が角 θ_c 、 θ_b の剛体回転した場合、せん断ひずみ角を取り出すには、図-15 のように、任意の一边に変形前の形を乗せることによって考えていくのが適当でしょう。角 θ_c 、 θ_b が同符号か、異符号かによって異なるように見えるかも知れませんが、 θ_c 、 θ_b を符号込みの値とすれば、これらの差として γ が決定されることになります。

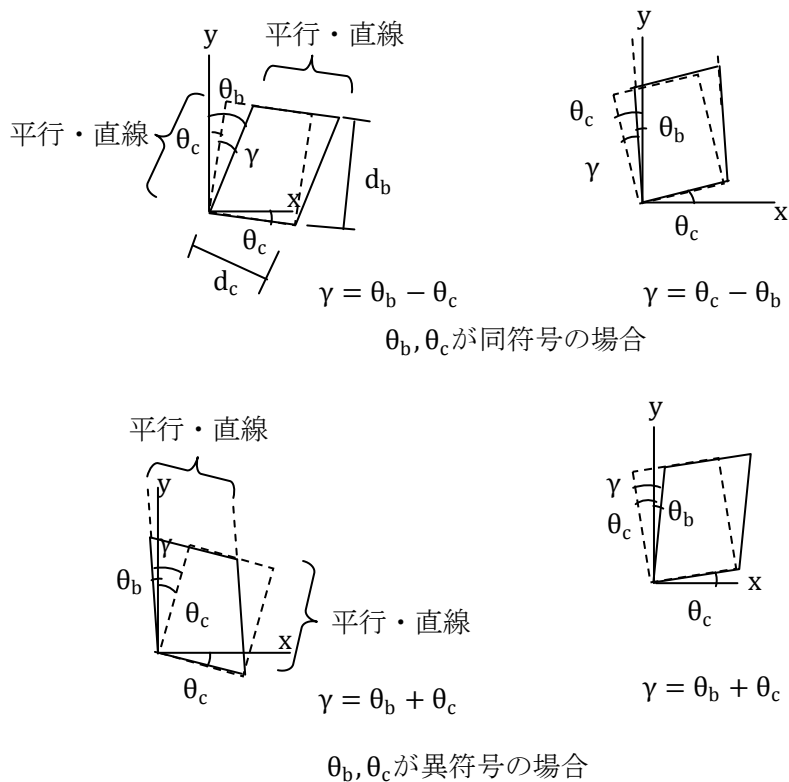


図-15

なお、図-13,14,15 は変形を誇張して描いてあります。実際の変形はいわゆる「微小回転・微小変形」の範囲となりますので、変形後のパネル幅 d_c 、パネルのせい d_b は、変形前と変わらないこと、従って $d_c \times d_b$ 、すなわち面積は、変形前と変形後とで変わりありません。この面積にパネル板厚を乗ずると、パネル体積となりますが、この値も変形前と変形後とでは変わりありません。すなわち、せん断変形とは、体積変化がないということになります²。

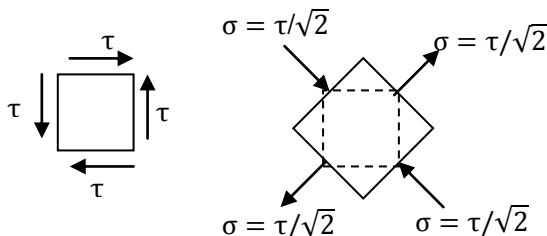
² 単位長さ $1 \times 1 \times 1$ の物体に x 方向に σ_x の軸応力度（引張）を作用させたとき、 $\sigma_x = E\varepsilon_x$ により ε_x のひずみを生じ、 x 方向の長さは $1 + \varepsilon_x$ となります。このとき、同時に y 、 z 方向に $-\nu\varepsilon_x$ のひずみを生じ、辺の長さが $1 - \nu\varepsilon_x$ に変化します。これをポアソン効果といい、 ν をポアソン比といいます。これらにより結果として体積は、始め $1^3 = 1$ であったものが、 $(1 + \varepsilon_x)(1 - \nu\varepsilon_x)^2$ に変化します。 ε_x^2 以上の高次の項を省略しますと、

$$(1 + \varepsilon_x)(1 - \nu\varepsilon_x)^2 \cong 1 + (1 - 2\nu)\varepsilon_x$$

と $(1 - 2\nu)\varepsilon_x$ だけ体積が増加することになります。ただし、これは引張の場合で、圧縮であれば、

$$(1 - \varepsilon_x)(1 + \nu\varepsilon_x)^2 \cong 1 - (1 - 2\nu)\varepsilon_x$$

となって、 $(1 - 2\nu)\varepsilon_x$ だけ減少します。引張ると断面が細くなり、圧縮すると太くなることから、引張のときは体積が減少、圧縮のとき体積膨張のように見えますが、実際はこの逆になっているところが面白いところです。なお、 $\nu = 0.5$ であれば、体積変化 = 0 となりますが、ポアソン比 ν の値は理論的に 0.5 未満（コンクリートなら $1/6 = 0.17$ 、鉄なら 0.3）の値しかとれません。すなわち、軸応力度を受けて体積が変化しない物質はこの世に存在しないのです。ところで、純せん断状態は、次の図にしめすように、大きさが同一の圧縮、引張の軸応力の組合せに等価です。すると、やはりせん断変形においても体積変化を生ずるのではないかという印象を受けますが、片や引張、片や圧縮で大きさが同一ですから、ポアソン効果が互いに打ち消されてしまい、体積変化がないということになるのです。



さて、では標準的な長方形ラーメンが水平力を受けたとき、パネルゾーンの変形はどのようになるのでしょうか。図-16のごく何の変哲もない応力図は、 Σ 柱のモーメント= Σ 梁のモーメントの関係がありますから、鉛直方向の柱のM図と水平の梁のM図とを組み合わせたものとみることができます。これに広がりのあるパネルゾーンの存在を組み合わせると(b)のような応力を組み合わせということになりますが、このとき、パネルゾーンにおけるM図の傾きは、柱、梁部材におけるそれと逆であって、いわゆる逆せん断応力になっていることがわかります。従って、当然変形も逆せん断変形となって、(c)のような変形状態になっていなければなりません。このような変形に対応する釣り合いを考えていくのがパネルゾーンの力学ということになります。

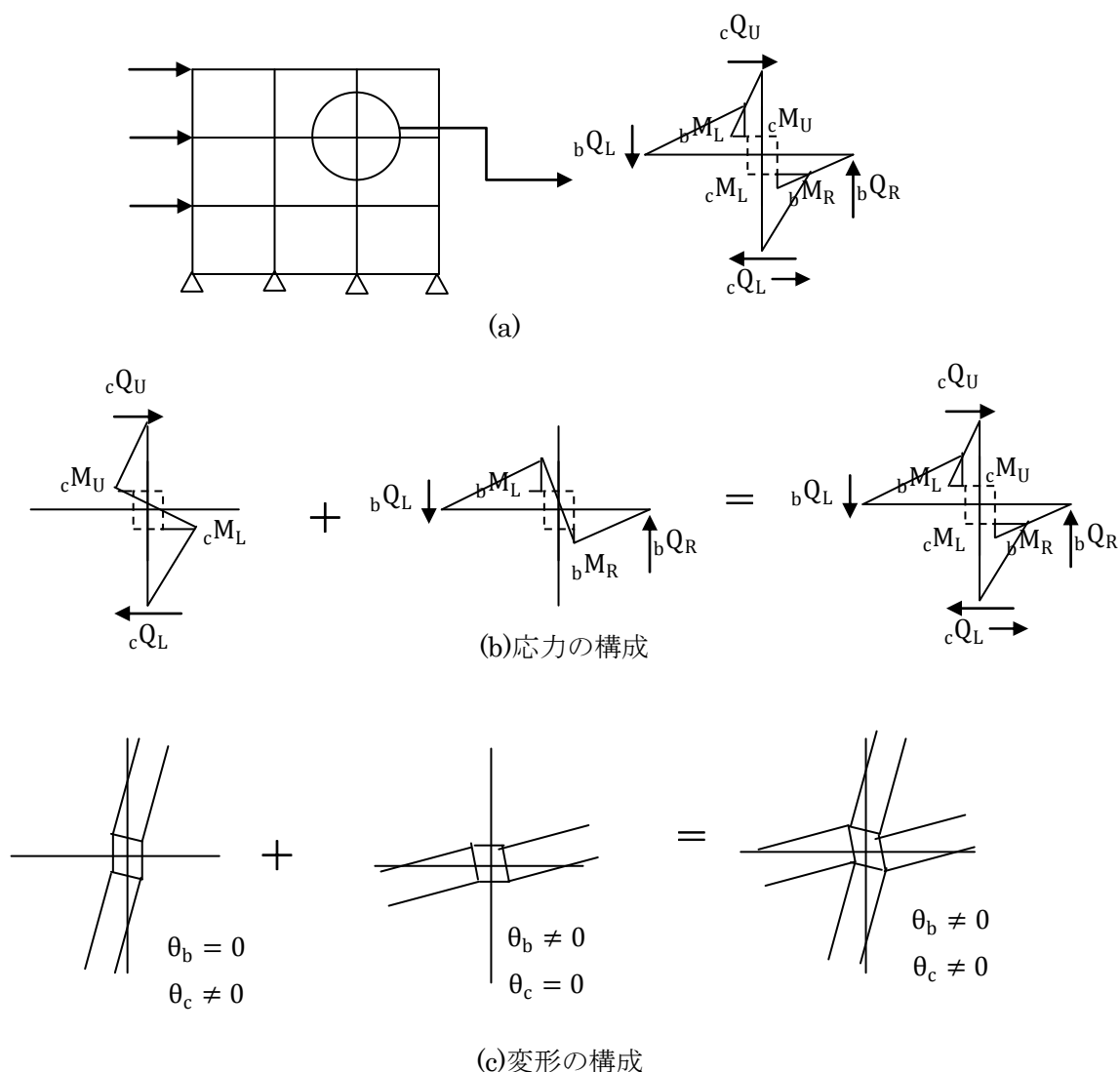


図-16

パネルゾーンにおける釣り合い

パネルゾーン端における材端応力を図-17 のように定めると、パネルゾーン部分にはこれと符号反対、大きさ等しい外力が作用することになります。

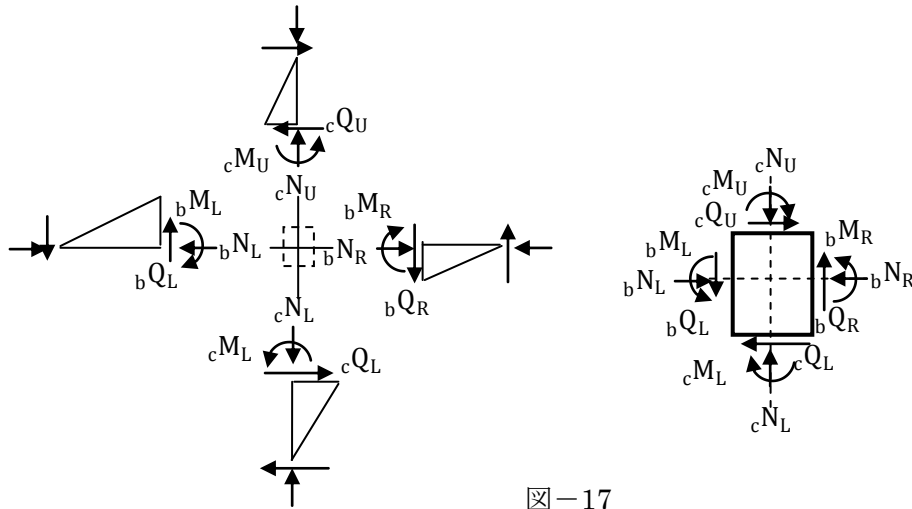


図-17

当然のことながら、これらの外力は釣り合っていないからなりませんから、次式が成り立ちます。

$$\sum X = 0 \quad cQ_U - cQ_L = bN_R - bN_L \cdots (1)$$

$$\sum Y = 0 \quad bQ_R - bQ_L = cN_R - cN_L \cdots (2)$$

$$\sum M = 0 \quad cM_U + cM_L + \frac{cQ_U + cQ_L}{2} d_b = bM_L + bM_L + \frac{bQ_R + bQ_L}{2} d_c \cdots (3)$$

これらの式はパネル全体についてであって、パネル枠とパネル板とにまだ分離されていないことにくれぐれも注意してください。パネル全体については以上のような諸力が作用していますが、パネル板についてはすでに述べた通り、純粋なせん断変形しか生じないとしていることを思い出してください。すなわち、パネル板に作用して、変形させている外力は、せん断力しかありません。パネル板の変形がどうなるかもすでに述べたとおりですから、この変形に合致するような外力は、図-18 に示すようなものでなければならないことがわかります。

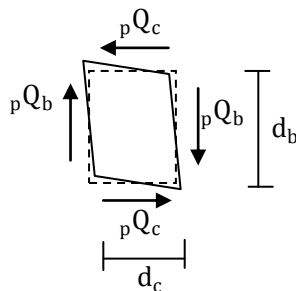


図-18

これらは同じく釣り合っていないければなりませんから

$${}_pQ_c d_b = {}_pQ_b d_c \cdots (4)$$

の関係を満たしていなければなりません。ではパネル枠はどうなるのでしょうか。上記のようにパネルを変形させているせん断力の反力が作用してくることになりますから、結局図-19 のようになっていることがわかります。これらもまた当然のごとく、釣り合っていないければなりません。これによってやっとパネルの負担しているせん断応力と、パネル端における諸力との関係を導くことができるわけです。

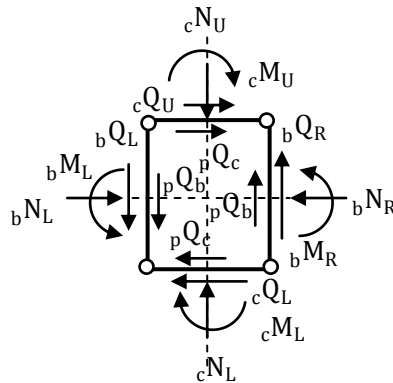


図-19

さて、その釣り合いですが、パネルゾーンを構成しているパネル板を外してしまいますと、ピン接合された4本の剛棒からなる不安定骨組となっていますから、仮想仕事の原理によって求めるのがもっともふさわしいということになります。図-20は、底辺を固定してせん断ひずみ角 γ を仮想変形として与えたもので、これにより上辺は水平方向に $\delta = \gamma d_b$ 移動しますから、釣り合い式でいえば $\sum X = 0$ を検討する場合があります。同図において記号が省略され、破線で示された力、モーメントは仕事をしないことが明らかなので始めから除去した成分です。

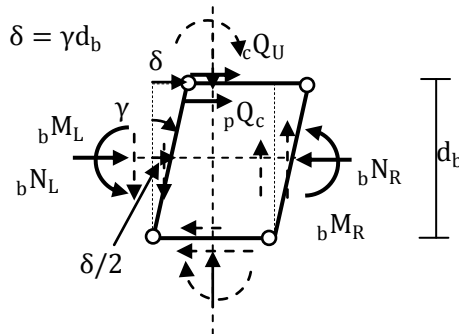
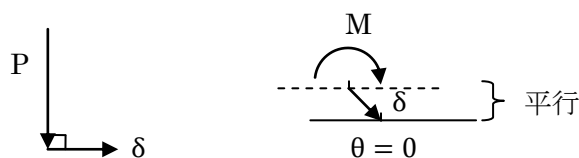


図-20

仮想仕事の原理を体得するには、このようにまず与えられた仮想変位に対して仕事をしない成分をすばやく見出すことが鍵となります。要点は 2 つで、集中荷重などいわゆる力については、「作用点の変位が力の作用方向に対して直角なら仮想仕事はゼロ」、モーメント荷重であれば、「モーメントが作用している部材が平行移動しているだけで回転してしないなら仮想仕事はゼロ」ということです。



P と δ が直角なら
仮想仕事=0

M の作用点が回転しないなら仮想仕事=0
平行移動量 δ は無関係

図-20 仮想仕事がゼロとなる 2 つの場合

これ以外は、力と変位が同じ向きなら+、反対向きなら-、同様にモーメントの回転作用方向と、部材の回転が同じなら+、反対なら-と符号付けしたいだけのことです³。図-20 の系に対して仮想仕事の原理式は次のようになります。

$$(cQ_U + pQ_c)\delta + ({}_bN_L - {}_bN_R)\frac{\delta}{2} - ({}_bM_L + {}_bM_R)\gamma = 0$$

cQ_U, pQ_c の作用点の変位は δ で同じ向きであるからその仕事は $(cQ_U + pQ_c)\delta$ 、 ${}_bN_L, {}_bN_R$ の作用点の変位は $\frac{\delta}{2}$ 、ただし、 ${}_bN_L$ と ${}_bN_R$ は符号反対なので $({}_bN_L - {}_bN_R)\frac{\delta}{2}$ の仕事、モーメント ${}_bM_L, {}_bM_R$ の回転作用方向と回転角 γ の方向は反対なので $-({}_bM_L + {}_bM_R)\gamma$ の仕事、これらの総和がゼロというのが仮想仕事の原理なので、上式が導かれていることをしっかり押さえておいてください。さて、(1)式より ${}_bN_L - {}_bN_R = cQ_L - cQ_U$ の関係があり、また $\delta = \gamma d_b$ ですから、これらを代入することにより

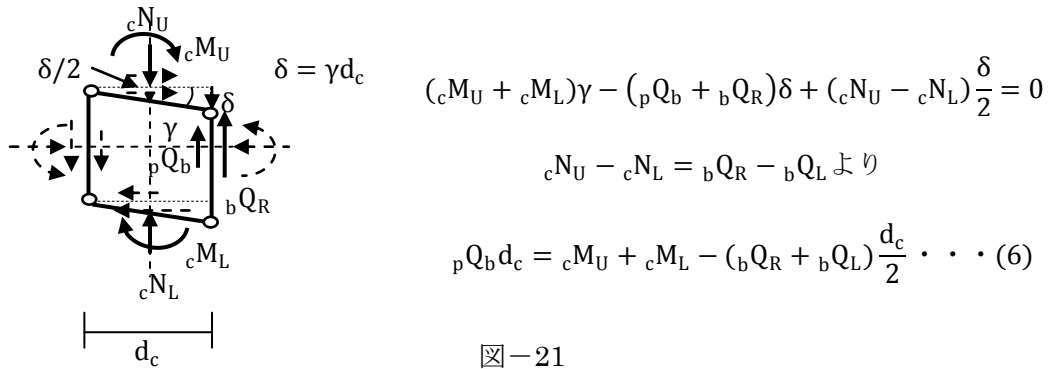
$$(cQ_U + pQ_c)\gamma d_b + (cQ_L - cQ_U)\frac{\gamma d_b}{2} - ({}_bM_L + {}_bM_R)\gamma = 0$$

となり、これを整理して次式となります。

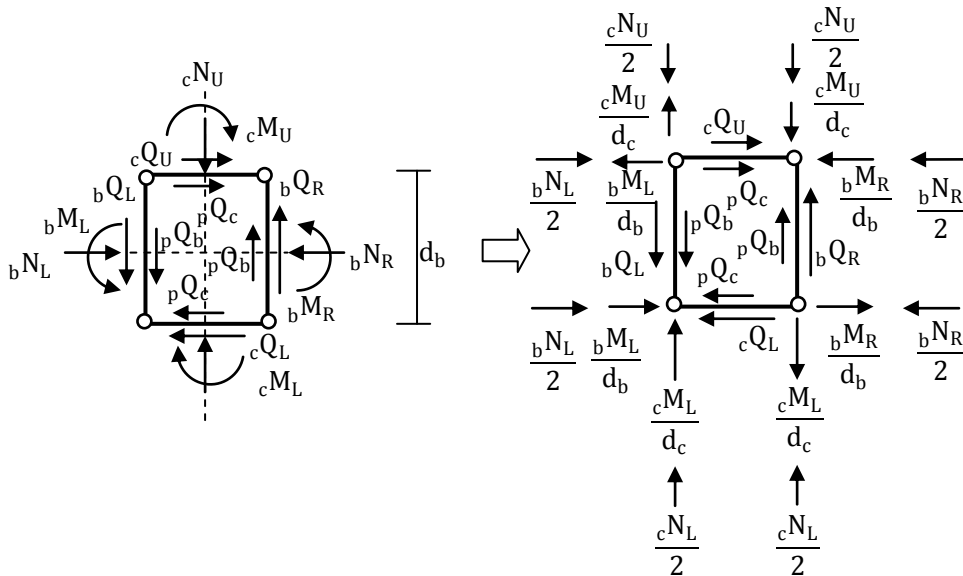
$$pQ_c d_b = {}_bM_L + {}_bM_R - (cQ_L + cQ_U)\frac{d_b}{2} \cdots (5)$$

³ 力のなす仕事は、力×変位で力×回転角ではありません。同様にモーメントのなす仕事はモーメント×回転角でモーメント×変位ではありません。前者について誤る人は少ないのですが、後者については、混乱してモーメントに変位を掛ける人が少なくありません。くれぐれも注意してください。

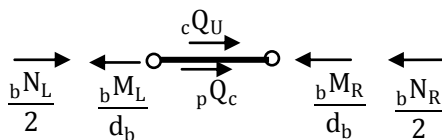
これらと全く同様にして、今度は側辺を固定して下方にせん断変形角を仮想変形として与えれば、釣り合い式 $\sum Y = 0$ に対応する仮想仕事式を誘導することができます。手順はまったく同一ですから、途中経過は省略して結果だけを図-21 に示しておきます



<参考>比較のために通常の釣り合い式により誘導する手順を示しておきます。まず最初に軸力、材端モーメントをパネルの剛な枠に作用する軸力に置換します。軸力は材軸中心に作用していますから、剛なパネル枠に 1/2 ずつに、材端モーメントはパネル寸法を腕長さとする偶力に置換します。



こうしておいて、パネルの上枠部分を切り出し、水平方向の力のみを取り出すと次の図のようになります。



これに $\sum X = 0$ を適用すれば次式となります。

$$\sum X = 0 \quad {}_pQ_c + {}_cQ_U + \frac{{}_bN_L - {}_bN_R}{2} - \frac{{}_bM_L + {}_bM_R}{d_b} = 0$$

${}_cQ_L - {}_cQ_U = {}_bN_L - {}_bN_R$ の関係より

$${}_pQ_c + {}_cQ_U + \frac{{}_cQ_L - {}_cQ_U}{2} - \frac{{}_bM_L + {}_bM_R}{d_b} = 0$$

となって(5)式と同一の式を導くことができます。

$${}_pQ_c = \frac{{}_bM_L + {}_bM_R}{d_b} - \frac{{}_cQ_L + {}_cQ_U}{2}$$

(6)式を導くには、鉛直の左右いずれかの側枠を切りだせばよいことは容易に想像できるでしょう。

上記の(5),(6)式がパネル板におけるせん断応力の算定式で、 ${}_pQ_c d_b, {}_pQ_b d_c$ は、これをモーメントのかたちで表現したものにはかたがたありませんから、パネルモーメントと呼ぶことにします。ところで(4)式より ${}_pQ_c d_b = {}_pQ_b d_c$ でしたから、(5),(6)式は同一のパネルモーメントを表す2つの式ということになります(ちなみに「鋼構造接合部設計指針」の第5章柱梁接合部パネルにおいては(5)式しか示されておらず、少々不親切です)。

(5),(6)式はパネルモーメントの定義式というべきものですが、次の(5'),(6')式のように書き換えると、モーメントに関する釣り合い式ということになって、釣り合いの構造が見えてきます。図-22 はこれを図示したもので、大変興味深い構造になっていることがわかります。

$${}_bM_L + {}_bM_R = ({}_cQ_L + {}_cQ_U) \frac{d_b}{2} + {}_pQ_c d_b \cdots (5')$$

$${}_cM_U + {}_cM_L = ({}_bQ_R + {}_bQ_L) \frac{d_c}{2} + {}_pQ_b d_c \cdots (6')$$

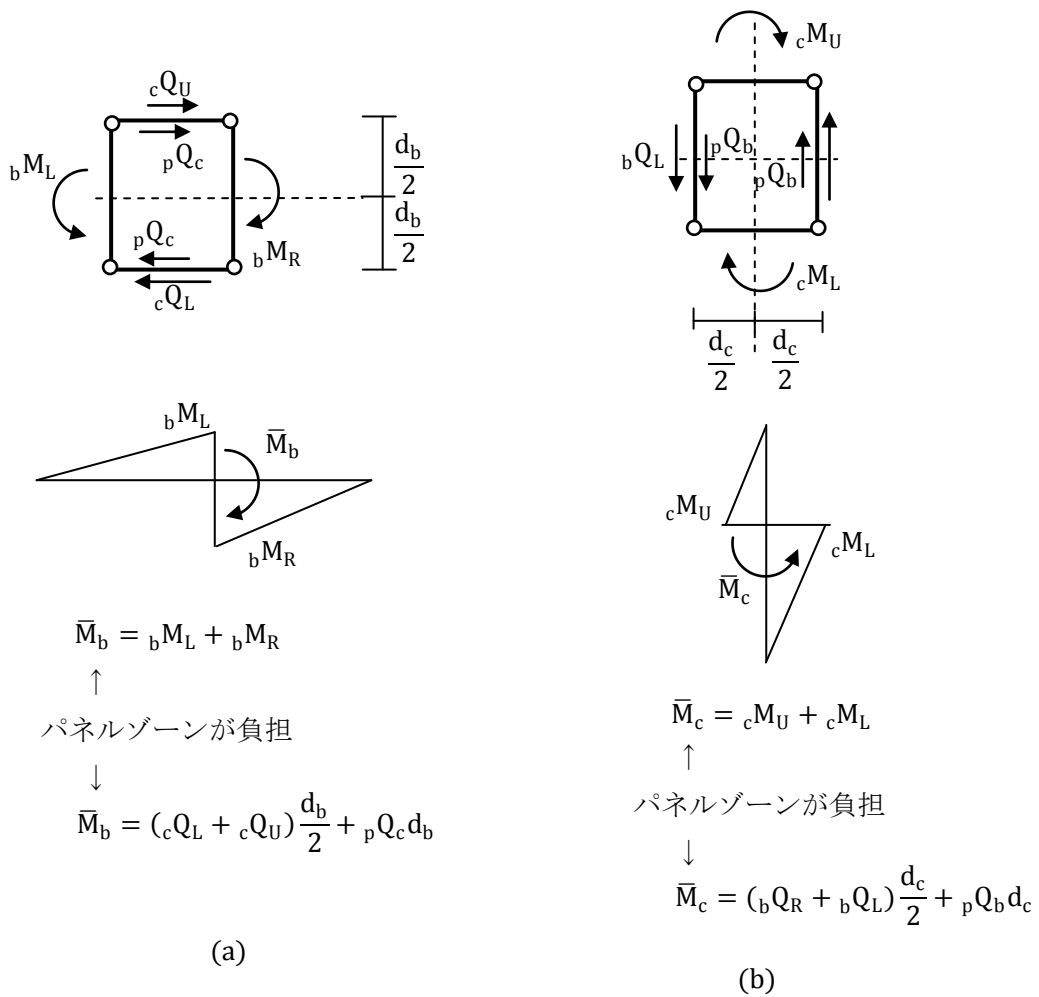
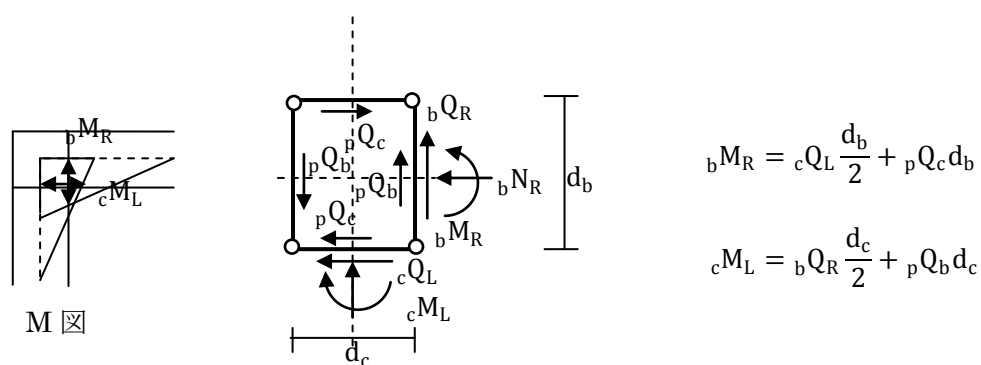
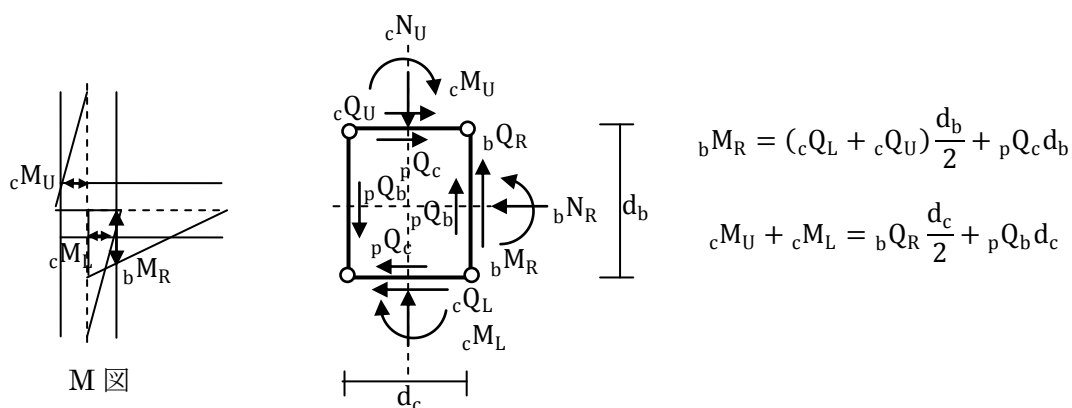
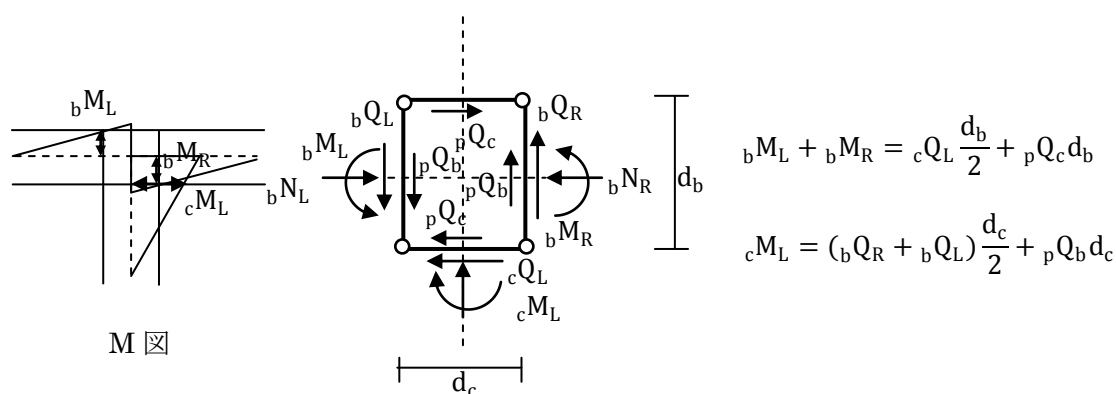


図-22

すなわち、例えばパネルゾーンの左右、梁の応力状態に注目しましょう。パネルゾーンを外してしまい、パネル端における材端モーメント ${}_bM_L, {}_bM_R$ を連結してみますと、その M 図は、 ${}_bM_L + {}_bM_R$ の大きさの段がついたものになっています。 M 図に段がつくということは、その点に外力としての曲げモーメント $\bar{M}_b = {}_bM_L + {}_bM_R$ が作用しているからで、このモーメントはパネルゾーンより与えられていると考えざるを得ません。では、パネルゾーンの方ではどのような仕組みでこのモーメントを負担しているかということ、ひとつはパネル板の負担するモーメント ${}_pQ_c d_b$ であって、残りは梁と直交する柱のせん断力 ${}_cQ_L, {}_cQ_U$ の、しかもパネル中心に対してなすモーメント $({}_cQ_L + {}_cQ_U) \frac{d_b}{2}$ によるという構成になっています。柱についてもまったく同じで、煩瑣を厭わず繰り返しますと、パネル端における材端モーメント ${}_cM_U, {}_cM_L$ を連結すると、 M 図は ${}_cM_U + {}_cM_L$ の大きさの段がついたものになっている、この段はパネルゾーンより与えられていると考えざるを得ない、パネルゾーンはこのモーメントをパネル板のせん断力と直交する梁のせん断力とによる2つのモーメント、 ${}_pQ_b d_c$ と $({}_bQ_R + {}_bQ_L) \frac{d_c}{2}$ とにより負担しているというわけです。(5),(6)式 (そしてまた(5'),(6')式も)

において、梁を表す記号 **b** と柱記号 **c** が微妙に交錯しているのは、このように梁の **M** 図の成立に柱のせん断力が、また柱の **M** 図の成立に梁のせん断力が、というように互いに助け合っているからであって、また梁については(5)式、柱については(6)式とそれぞれについてきれいに分離しているのは、梁、柱が直交しているという条件によることがわかります。なお、以上+型節点を中心に述べてきましたが、これによってト型、L型、T型、さらには連続梁の節点をすべてカバーしていることに注意してください。これらの節点は、+型節点から該当する部材がない場合として扱えばよいからで、念のためこれらそれぞれの場合の釣り合い式を図-23に示しておくこととします。



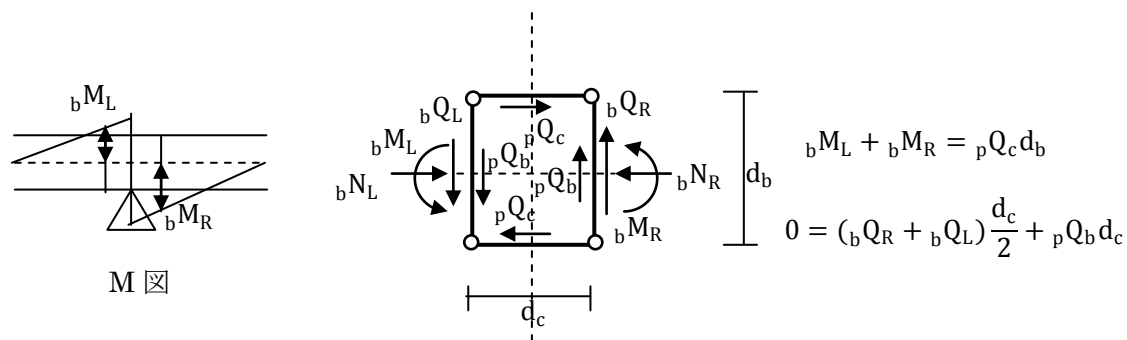


図-23

パネルゾーンまわりの計算は、あまりポピュラーなものではありませんので、ここで数値計算例を示しておくことにします。節点まわりの材端モーメントから、パネル端における材端モーメントを決定する過程、また最終結果の検算の2点に注意しなければなりません。また符号は、左から水平荷重が作用した時の標準的なM図における符号を正としています。これに反する場合は、材端モーメント、せん断力とも負として扱わなければなりません。また、検算式の根拠は、 $pQ_c d_b = pQ_b d_c$ ですから、パネルの板厚 t_p を乗じますと

$$pQ_c d_b t_p = pQ_b d_c t_p$$

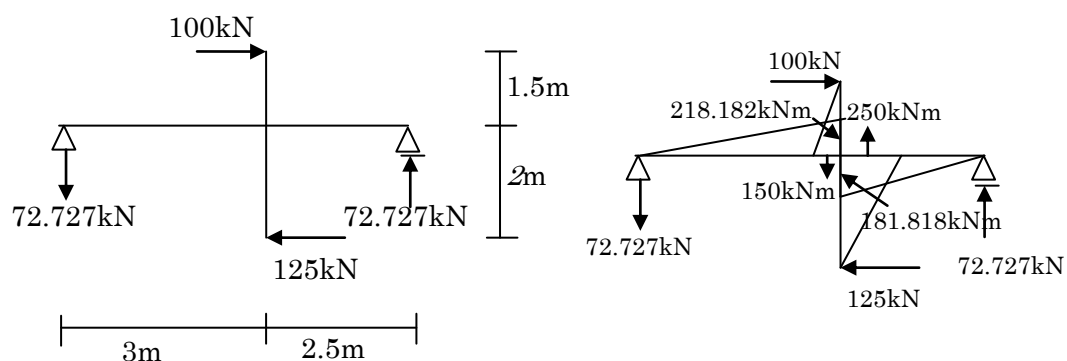
よって

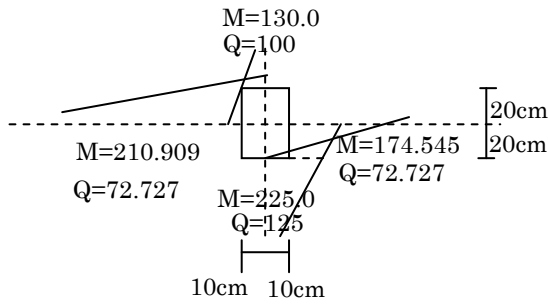
$$\frac{pQ_c}{d_c t_p} = \frac{pQ_b}{d_b t_p}$$

となりますが、これらは

$$\tau_c = \frac{pQ_c}{d_c t_p}, \quad \tau_b = \frac{pQ_b}{d_b t_p} \quad \rightarrow \tau = \tau_c = \tau_b$$

ということを意味するからです。





パネル柱 20cm×40cm

パネル柱位置における材端モーメントの計算

$$218.182\text{kNm} - 72.727 \times 0.1 = 210.909$$

$$181.818 - 72.727 \times 0.1 = 174.545$$

$$250 - 125 \times 0.2 = 225.0$$

$$150 - 100 \times 0.2 = 130.0$$

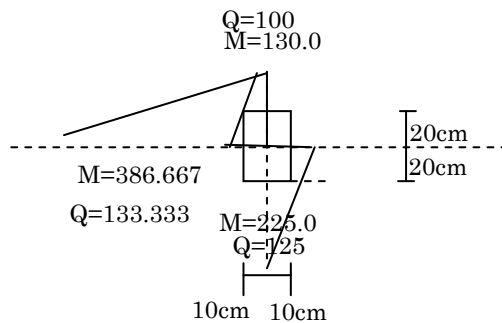
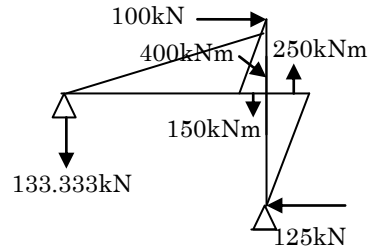
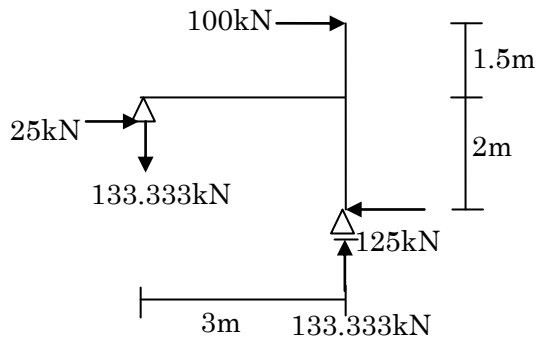
$$210.909 + 174.545 = (100 + 125) \times 0.2 + 0.4_p Q_c \rightarrow 340.454 = 0.4_p Q_c \rightarrow_p Q_c = 851.135\text{kN}$$

$$130 + 225 = (72.727 + 72.727) \times 0.1 + 0.2_p Q_b \rightarrow 340.455 = 0.2_p Q_b \rightarrow_p Q_b = 1702.273\text{kN}$$

検算

$$\tau_c = 851.135 / (20 \times t) = 42.557 / t_p$$

$$\tau_b = 1702.273 / (40 \times t) = 42.557 / t_p \quad \tau_c = \tau_b \quad \text{o.k}$$



パネル柱 20cm×40cm

パネル柱位置における材端モーメントの計算

$$400\text{kNm} - 133.333 \times 0.1 = 386.667$$

$$250 - 125 \times 0.2 = 225.0$$

$$150 - 100 \times 0.2 = 130.0$$

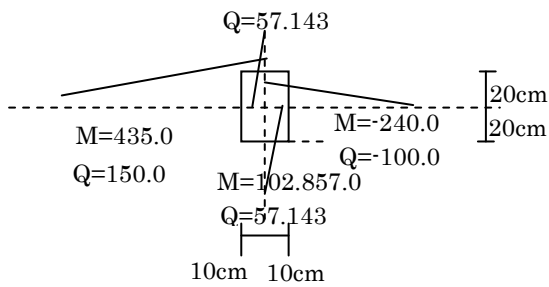
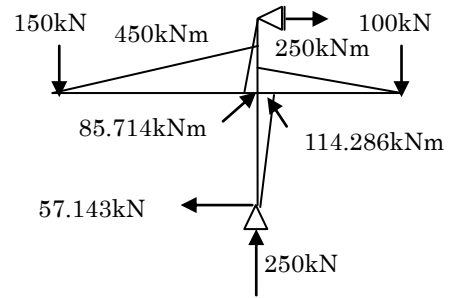
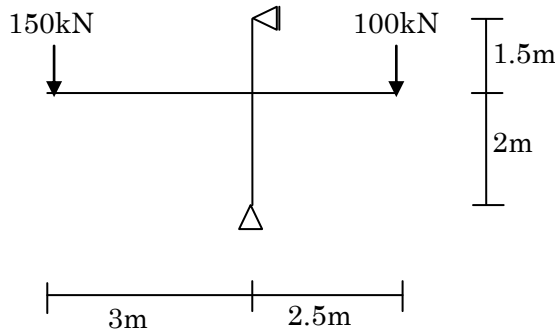
$$386.667 = (100 + 125) \times 0.2 + 0.4_p Q_c \rightarrow 341.667 = 0.4_p Q_c \rightarrow_p Q_c = 854.168\text{kN}$$

$$130 + 225 = 133.333 \times 0.1 + 0.2_p Q_b \rightarrow 341.667 = 0.2_p Q_b \rightarrow_p Q_b = 1708.334\text{kN}$$

検算

$$\tau_c = 854.168 / (20 \times t) = 42.708 / t_p$$

$$\tau_b = 1708.334 / (40 \times t) = 42.708 / t_p \quad \tau_c = \tau_b \quad \text{o.k}$$



パネル枠 20cm × 40cm

パネル枠位置における材端モーメントの計算

$$450 \text{ kNm} - 150 \times 0.1 = 435.0$$

$$250 - 100 \times 0.1 = 240 \rightarrow -240.0 \quad \text{符号注意!}$$

$$85.714 - 57.143 \times 0.20 = 74.285$$

$$114.286 - 57.143 \times 0.2 = 102.857$$

$$435.0 - 240.0 = (57.143 + 57.143) \times 0.2 + 0.4_p Q_c \rightarrow 172.143 = 0.4_p Q_c \rightarrow Q_c = 430.357$$

$$74.285 + 102.857 = (150 - 100) \times 0.1 + 0.2_p Q_b \rightarrow 172.142 = 0.2_p Q_b \rightarrow Q_b = 860.710$$

検算

$$\tau_c = 430.357 / (20 \times t) = 21.518 / t_p$$

$$\tau_b = 860.710 / (40 \times t) = 21.518 / t_p \quad \tau_c = \tau_b \quad \text{o.k}$$