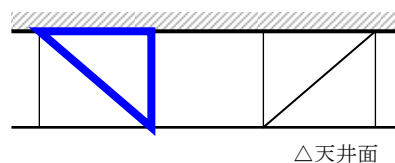
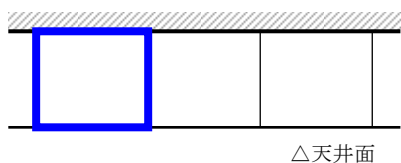


わかる!! V字理論 ~

①ブレース(筋交い)とは?

筋交いとは、一般に縦材と横材で組んでいく工法（例えば軸組工法）の対角線に使用する、横方向の力に耐えるために設置する補強材を指し、特に鉄骨造では「ブレース」と呼ばれています。

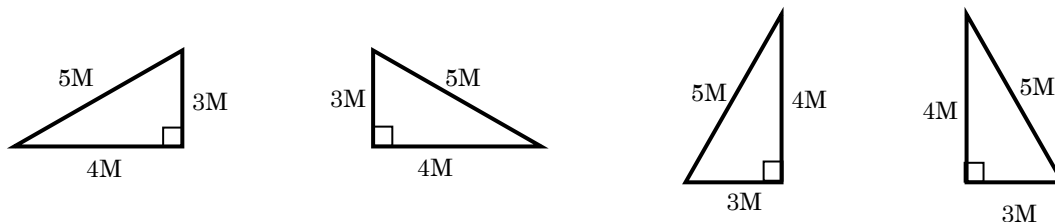
在来工法の軽天も横（側面）から見ると、縦材（吊りボルト）と横材（野縁、野縁受け）で出来ていますので、構造的には下図（左）のように、「四角形」になっています。これでは横方向の力に弱い為、下図（右）のようにブレースを入れて「三角形」を作ることがあります。



②なぜ「三角形」なのか

三角形は3つの辺と3つの角から出来ています。三角形は辺の長さが決まると3つ全ての角度が決まり、三角形の形自体が決まります。

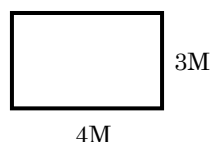
例えば、 $3M \times 4M \times 5M$ の三角形は必ず下図の様になります。



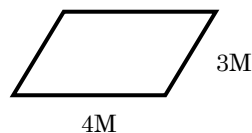
向き等は色々になりますが、 $3M \times 4M \times 5M$ の三角形は必ず「直角三角形」になります。この様な三角形の性質を利用したのが「ブレース」です。

つまり、三角形を作り、辺の長さが変わらない（部材の長さが変わらない）様にすれば、形は変わらないことになります。

「四角形」では、辺の長さが、 $3M \times 4M$ と決まっても、下図のように、長方形と平行四辺形ができます。



長方形



平行四辺形

この様に、四角形では部材長さが変わらなくても、形が変わってしまいます。軽天に置き換えて考えてみれば、天井がぶらぶら動く様子が想像できると思います。

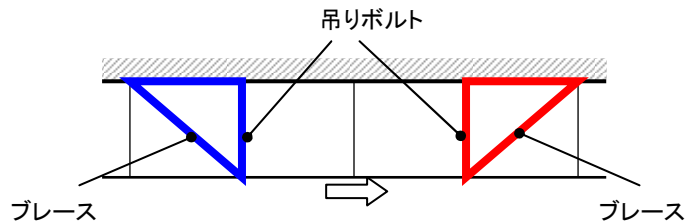
③ブレースの強度はどこで決まる

ここまでの説明で、ブレースで三角形を作ることの大切さをわかっていただけたと思います。ここでは、そのブレースの強度について解説したいと思います。

※以降の説明は、ブレースを設置した在来工法が「トラス」であるかのように説明します。

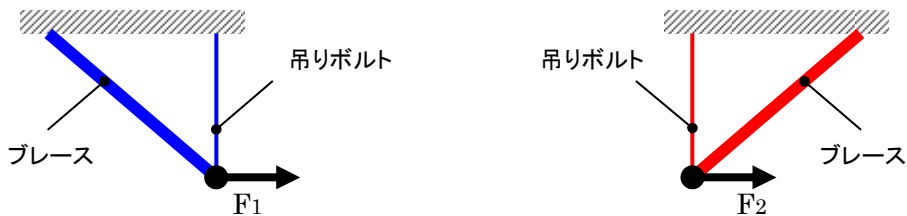
これは、数多くの実験結果より「トラス」として扱うことが適当であると考えられる為です。

天井下地（軽天）に下図の様にブレースを設置した場合、地震等による横方向の力に対しては、青（左）と赤（右）それぞれの三角形で耐えることになります。



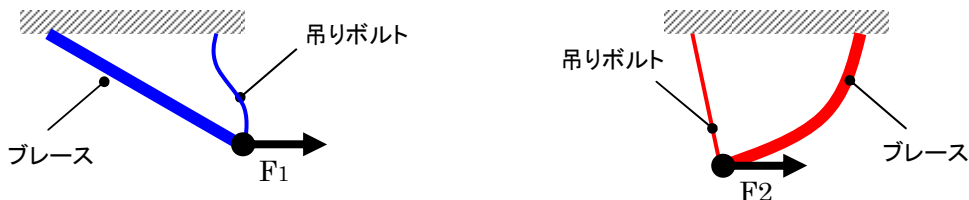
ここで、インサートピッチが変わらないとすると、「吊りボルト」と「ブレース」の長さが変わらなければ三角形の形は変わりませんので、「吊りボルト」又は「ブレース」が曲がるまでがブレースの耐力と考えられます。

下図（左）を引張ブレース、下図（右）を圧縮ブレースと一般に呼ぶこととします。



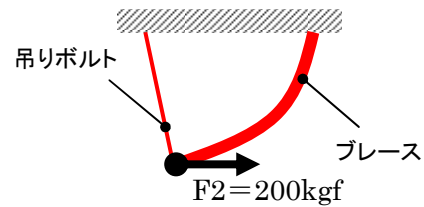
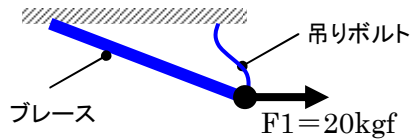
引張ブレースに力（ F_1 ）が掛かると、吊りボルトが座屈（曲がり）します。圧縮ブレースに力（ F_2 ）が掛かるとブレースが座屈（曲がり）します。

つまり、引張ブレースの耐力（強度）は吊りボルトで決まり、圧縮ブレースの耐力（強度）はブレースで決まります。

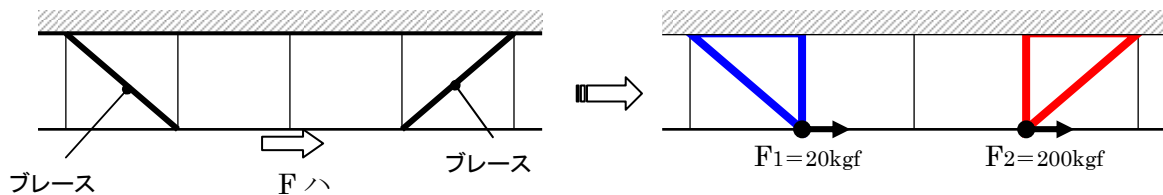


④V字はなぜ2倍強いのか

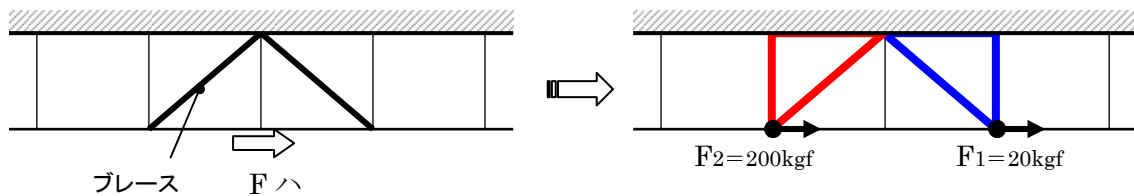
ここで、ちょっと大袈裟ですが、引張ブレースは $F_1=20\text{kgf}$ で「吊りボルト」が変形（座屈）してしまうとします。また、圧縮ブレースは $F_2=200\text{kgf}$ で「ブレース」が変形（座屈）するとします。



逆（ハ）の字配置や山型配置の場合、圧縮ブレースと引張ブレースが一对で配置されているので、 $F_1+F_2=220\text{kgf}$ がこのブレースの耐力になります。

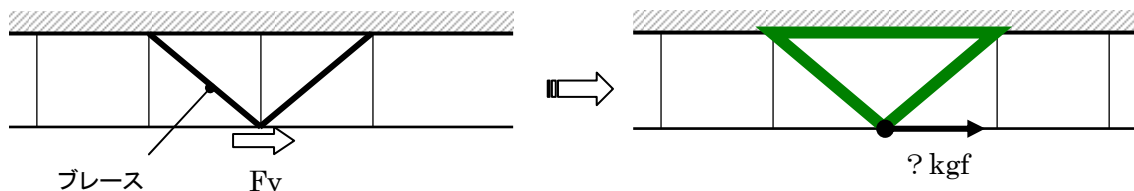


逆（ハ）の字配置



山型配置

V字ブレースを配置した場合、下図の様に「吊りボルト」に関係なく、大きな三角形（緑）が形成されます。ここが「V字理論」の肝になります。真ん中の吊りボルトを含んだ説明は、少し複雑になりますので、後で詳しく説明します。



☆ちょっと休憩☆

この先で重要になるポイントを、「ざっくり」解説します。

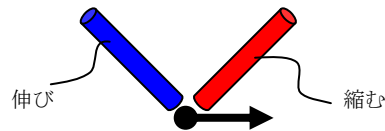
吊りボルトやブレース材（鉄）は、同じ力であれば、引張っても、圧縮しても同じだけ伸び、縮みます。

例えば、下図の様に鉄の筒を引張った場合と圧縮した場合の歪量（伸び、縮み）は同じです。

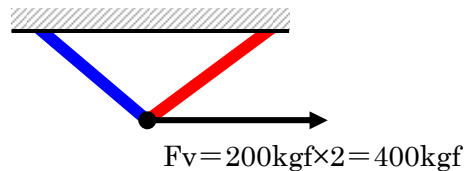


ですので、ブレースとして斜めに設定されても同様に、引張と圧縮は同じ力が掛かり、変形量も同じになります。

つまり、V字配置した大きな三角形の場合、引張ブレースと圧縮ブレースにはそれぞれ同じ大きさの力が作用します。



ブレース材は引張っても切れない部材とすると、大きな三角形は圧縮ブレース（赤）が座屈するまで、引張ブレース（青）も一緒に頑張るので、V字配置のブレースの耐力は、圧縮ブレースの耐力（200kgf）の2倍になることがわかんと思います。



つまり軽天では、一番細い「吊りボルト」に力を掛けないように、ブレースをV字に配置し、大きな三角形を作ることが重要で、これが圧縮ブレースの2倍の耐力を有するV字ブレースであり、「V字は2倍強い」となります。これが「V字理論」です。

株式会社 桐井製作所 (2011/3)

KIRII ホームページはこちらから ⇒ <http://www.kirii.co.jp/>

～（続）わかる!! V字理論 ～

⑤座屈ってなに？

V字ブレース最終章は、少し難しくなりますので、いくつか専門的な内容を先に説明しながら進めていきます。

③で吊りボルトやブレースの「座屈」によって耐力が決まると説明しました。「座屈」とは、文字通り膝カクンされた時のように部材がガクッと折れ曲がってしまうことを表します。吊り天井の場合、一般的な建築物（躯体）の設計で考える「座屈」とは違う現象が起こることが実験でわかりました。これを使いこなすことによって、「V字ブレースはもっと強い!!」に繋がります。

☆ちょっと休憩☆

部材の変形（破壊）には色々あり、そのひとつが「座屈」ですので、ここでは部材の破壊について少し触れておきます。

※破壊の定義は難しいので、今回は「圧縮力や引張力によって、形が変わって基に戻らない」ことを破壊と考えます。

一般的には、「圧縮破壊」「引張破壊」「曲げ破壊」「せん断破壊」「座屈破壊」等が考えられます。（部材は複合的に使ったり、回転や振れも生じたり、更に疲労などでも破壊しますので様々なケースがあります。）

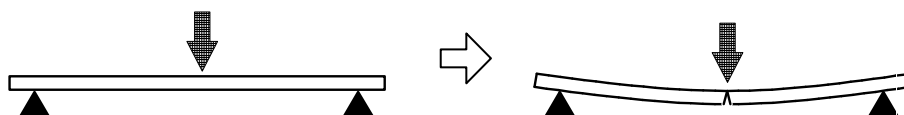
・圧縮破壊：圧縮力によって、潰れること。

（生卵を踏んだら潰れた→タマゴが圧縮破壊）

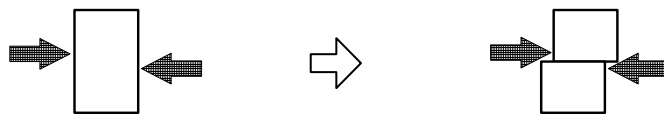
・引張破壊：引張力によって、伸びて、ちぎれること。

（綱引きをしていたら真ん中で綱が切れた→綱が引張破壊）

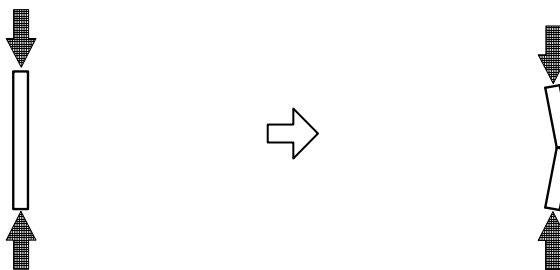
・曲げ破壊：曲げ力によって、曲がったり折れたりすること。



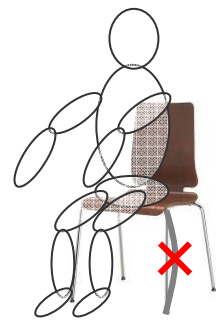
・せん断破壊：せん断力（ズレを生じさせる力）によって、ズレたり、滑ったりすること。



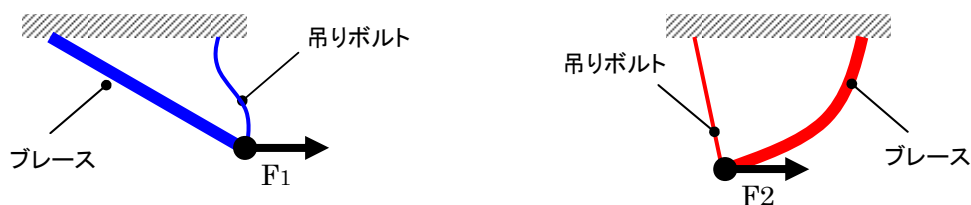
・座屈破壊：圧縮力によって、潰れずに外方向に変形すること。



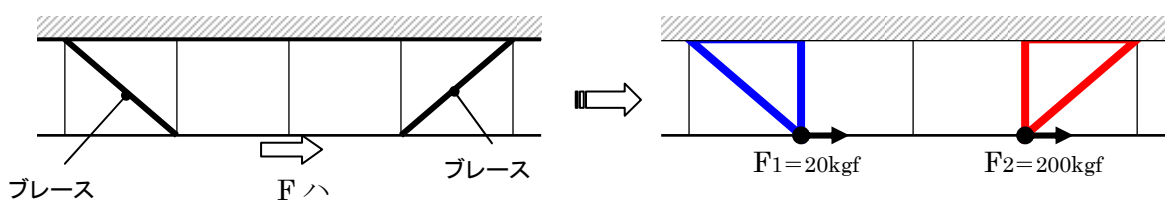
一般的に「座屈」というと致命的な破壊を想像します。右の写真の様な4本脚の椅子をイメージして下さい。この椅子に重量オーバーの〇〇さんが座ったとします。重量オーバーですので、どこかが壊れる訳ですが、今回は脚1本が座屈したとします。4本の内1本が座屈しただけなのに、もうこの椅子には座れません。座っていればどんどん破壊が進行していきます。また、一度壊れてしまうと、椅子から立ち上がっても基には戻りません。このように「座屈」は「危うく・致命的」な破壊と考えられています。



しかし、(ここからが重要です)上から吊り下がっている吊り天井は、③で説明したように吊りボルトが座屈しても、ブレースが座屈しても、重力に逆らって上に持ち上がります。よって、「座屈」したとしても致命的な破壊にはならず、安定的に変形が進みます(これは実験で確認されています)。この性質を利用したのが「(続) V字理論」です。

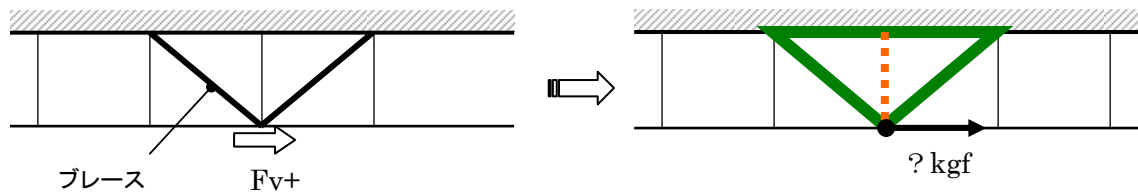


下図の様に逆 (ハ) の字でブレースが配置されている場合に、吊りボルトがブレースより先に座屈したとしても、ブレースが座屈するまで吊りボルトは変形しながらも $F1$ を保持しながらガンバルので、 $F1+F2$ がこのブレースの耐力になります。(これは④で説明済みです)



⑥V字ブレースはもっと強い!!

ここでは、V字ブレース（緑の大きな三角）の真ん中に吊りボルト（オレンジ色の点線）がある場合です。⑤の逆（ハ）の字では、引張ブレースの耐力（F1）と圧縮ブレースの耐力（F2）が足し算できることを説明しました。



④で、軽天では一番細い「吊りボルト」に力を掛けないように、ブレースをV字に配置し、大きな三角形を作ることが重要だと説明しました。ブレースをV字に配置した場合、真ん中の吊りボルトには、V字ブレースが変形をして初めて力が掛かります。

よって、真ん中に吊りボルトがあるV字ブレースの耐力 F_{v+} は

$$F_{v+} = (\text{V字ブレースの耐力}) + (\text{吊りボルトの増分})$$

※V字ブレースの耐力=圧縮ブレースの耐力の2倍（V字理論）

※吊りボルトの増分=引張ブレースの耐力

$$F_{v+} = (\text{圧縮ブレースの耐力} \times 2) + (\text{引張ブレースの耐力})$$

圧縮ブレースの耐力の2倍プラス α 設計上利用出来るのが、「V字理論+（続）V字理論」のあわせ技であり、V字ブレースはもっと強いとなります。

※(注意)この考え方は、V字ブレースの真ん中に吊りボルトが必ず必要な為、天井ふところが様々な在来天井(Power 天井等)には適用せず、天井ふところが比較的安定しているグリッドシステム天井(耐震 Power eグリッド等)に適用しています。

株式会社 桐井製作所 (2011/3)

KIRII ホームページはこちらから ⇒ <http://www.kirii.co.jp/>