

偏心が大きくなる要因と計算方法により異なる剛心位置の注意点

2012年11月

建物の剛心位置が予想外のところにある経験をしたことはありませんか？間違った剛心や偏心率の計算を（知らないうちに）していることもあります。ここでは、剛心とは何か、どのような形状の場合に大きな偏心となるのか、またプログラムの注意点について説明します。

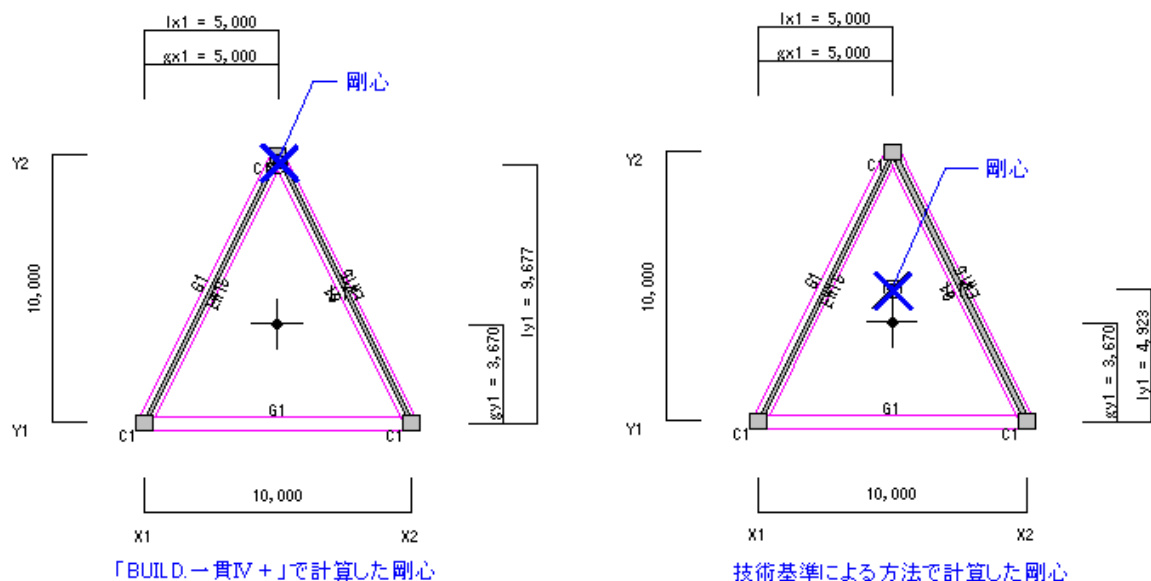
1. 剛心の定義

剛心の定義は、文献により表現が多少は異なっていますが、要約して端的に表現すると以下の内容となります。

“剛心とは、剛床の仮定を前提として平面上にある一点に任意の力を加えた時、ねじれ（床の回転）が生じないで並進変形（加力方向に平行移動する変位）が生ずる点のことです。”

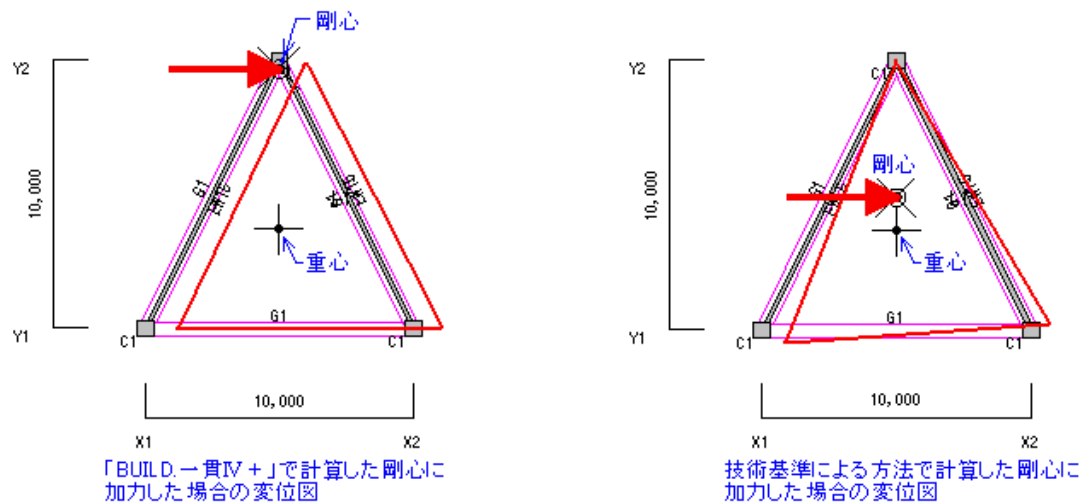
2. 剛心位置に加力した場合の並進変形の確認

図2-1のように、三角形の部材配置で、斜め架構に耐震壁が配置され、底辺に壁が無いモデルで、弊社の一貫計算プログラム「BUILD.一貫IV+」で計算した剛心と2007年版建築物の構造関係技術基準解説書p299に記述されている剛心計算式（以下、技術基準による方法）で計算した剛心は以下の×印位置となります。



【図2-1 三角形の底辺部以外の辺に壁が配置されたモデル】

「BUILD.一貫IV+」で計算した剛心位置と技術基準による方法で計算した剛心位置に対して、X方向に加力した場合の結果が図2-2です。赤線の三角形が加力後の変形図です。



【図 2-2 剛心位置に加力したときの変形】

「BUILD.一貫IV+」で計算した剛心に加力した場合は、X方向変位のみでY方向には変位が生じていません。ねじれ（床の回転）が生じず、並進変形だけが生じているのがわかります。つまり、“1. 剛心の定義” に示されているように、正しい剛心位置であることが確認できます。

技術基準による方法の剛心に加力した場合は、床が回転してしまい、並進変形の状態にはなりません。言い換えれば、技術基準による方法で計算した剛心位置は、（適用範囲を越えて使用したため）剛心の定義からは外れた正しくない位置になるので、注意が必要です。

3. 技術基準解説書による剛心計算の適用範囲

前項の三角形のモデルでもわかるように、傾斜フレームに耐震壁がある場合、剛心位置はかなり重心から離れた位置になります。感覚的には、技術基準による方法で計算した剛心のほうが正しいように思えてしまいますが、この方法は整形な建物にのみ適用できる方法のため、不整形な建物に適用すると、正しくない剛心位置となります。

技術基準解説書には、“整形な建物に適用すること”との記述がないために見逃されている部分ですが、この点に関しては“通達（※1）”にて次のように明示されています。

○本規定（※2）の適用に当たっては、次に掲げる事項に留意されたい。

“層間変位の計算や偏心率の計算において、「一様に変形するものとして（※3）」とあるのは、並進架構（各階が水平力作用時にねじれを生じず、かつ、同一の水平変位となるような架構をいう。）であることから、不整形な建築物は対象外となる。・・・”

- ※1の“通達” : 国住指第 1335 号(平成 19 年 6 月 20 日)の「平成 19 年国土交通省告示第 594 号第 3 関連・第 5 関連」において
- ※2の“本規定” : 平成 19 年国土交通省告示第 594 号第 3・第 5
- ※3の記述 : 技術基準解説書(2007 年版)の P300 の平成 19 国交告示第 594 号第 3・第 5 の項

このように、技術基準による方法の適用範囲は、“不整形な建築物は対象外”となりますが、その理由について説明します。

まず、図 2-1 の右側の剛心位置は、三角形の頂点の方に寄っているように見えますが、実は底辺から頂部までの高さの半分の位置に当たります。

このことは何を意味するかということになりますが、まず基本的なことを整理しておきます。

技術基準による方法は“整形な建物に適用すること”との制限が入っています。これは剛心位置の計算において次のような簡略的な計算をしていることによります。

まず、建物全体の剛性評価や変形及び応力解析は、立体解析により得られた値を使用しています。この計算に簡略的な要素はありません。簡略的な計算をしている部分は、立体解析した変形を用いて剛心等を算出するところを指し、各階の剛心回りのねじり剛性等の評価をする部分の違いに現れます。図 2-1 の斜め方向の壁は、X 方向成分と Y 方向成分の剛性に分けて、X 方向に加力した場合は Y 方向成分の剛性が無視されます。X 方向加力時には加力方向に直交する Y 方向の偏心距離(重心から剛心までの距離)が算出されます。図 2-1 の三角形の例では剛心位置が中点位置にくるか、三角形の頂点位置等にくるかは、Y 方向成分の剛性が無視されたか、考慮されたかに影響を受けてのことです。

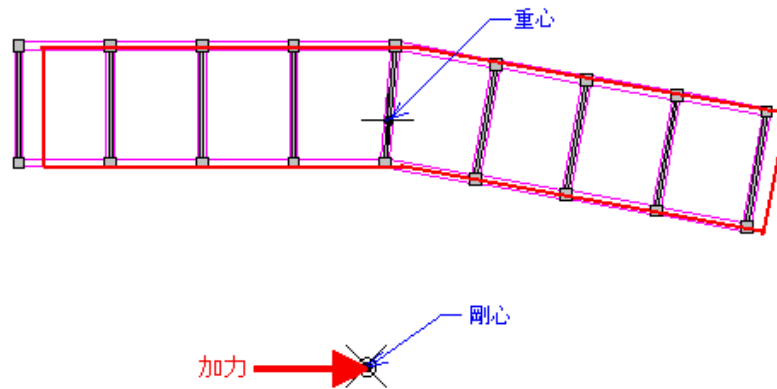
よって、X 方向加力時に壁の Y 方向の壁の剛性成分を無視することは、偏心距離を算出するときの分子にその剛性成分が無視されて加算されないため、偏心距離を小さくする働きをします。

図 2-1 において、技術基準による方法と「BUILD.一貫IV+」の剛心位置が異なるのは、加力方向に対して加力直交方向の剛性成分を無視したか、評価したかに起因しています。

従って、技術基準による方法にて、傾斜フレームに壁がある場合などの不整形な建物へ適用する場合は、偏心が過小評価されることとなりますので採用できません。

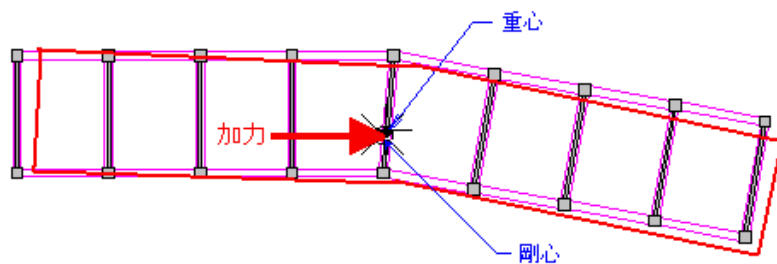
傾斜フレームに耐震壁が配置されている場合の剛心については、次の「へ」の字の平面形状をもつ一階建ての建物を例に剛心位置の違いを紹介します。

○「へ」の字 形状プランで剛心が建物外に位置する例（ 剛心に加力した場合の変形を赤線で図示しています）



【図 3-1 「BUILD. 一貫IV+」の“従来理論法”にて剛心計算した結果剛心位置に加力した時の変形】

上図（図 3-1）の剛心位置に左から右への加力をする、右方向に並進変形をして、床の回転は生じません。このことは、建物の外側に剛心位置があることを意味し、図で示すように偏心距離が大きくなります。



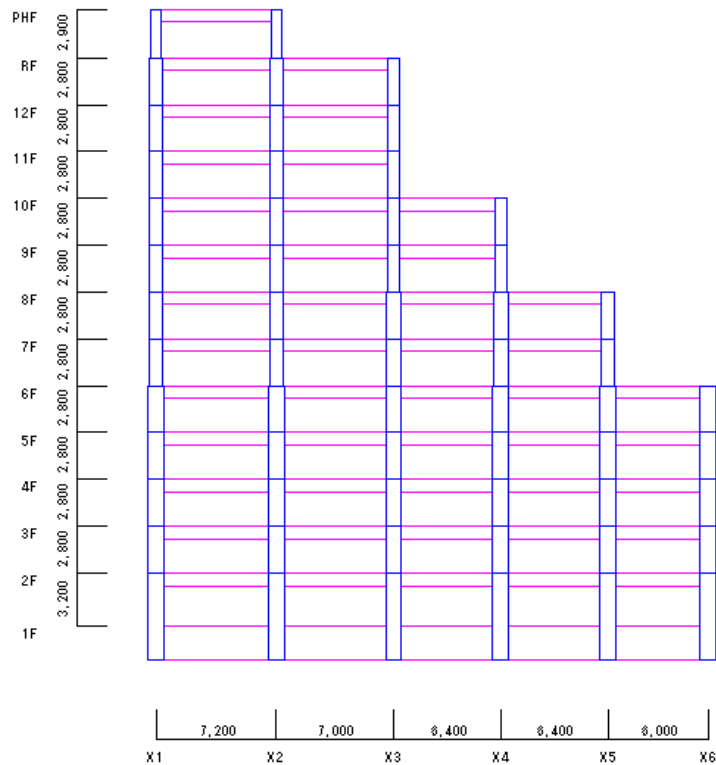
【図 3-2 技術基準による方法で剛心計算した結果で正しい剛心位置でない事例】

図 3-2 の剛心位置に左から右への加力をする、並進変形とならず、右側への変形と時計回りに床が回転する変形が生じます。このことは、並進変形とならないため、技術基準による方法では（不整形な建物であるため）正しい剛心位置でないことを示しています。

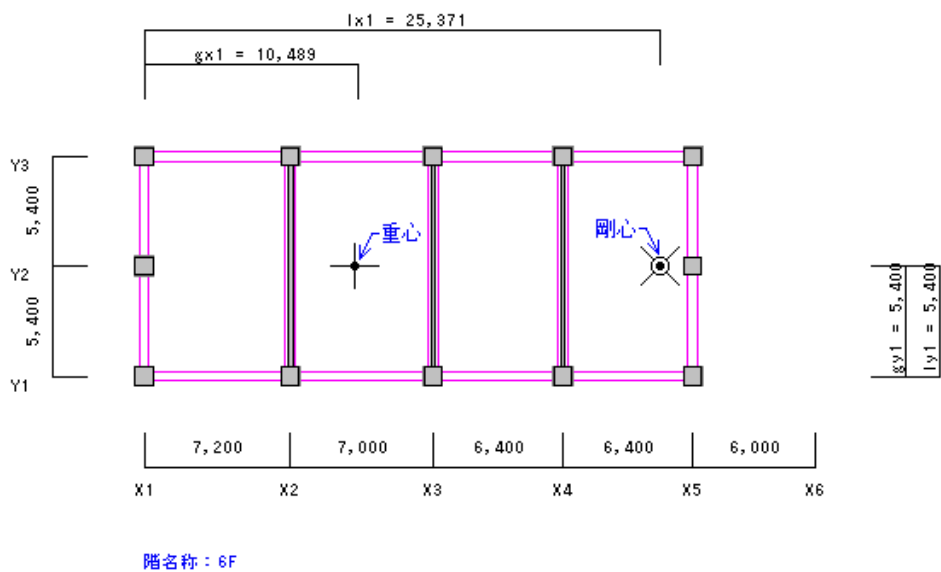
4. セットバックのある建物で、大きな偏心が生じる例

(1) 計算結果の概要

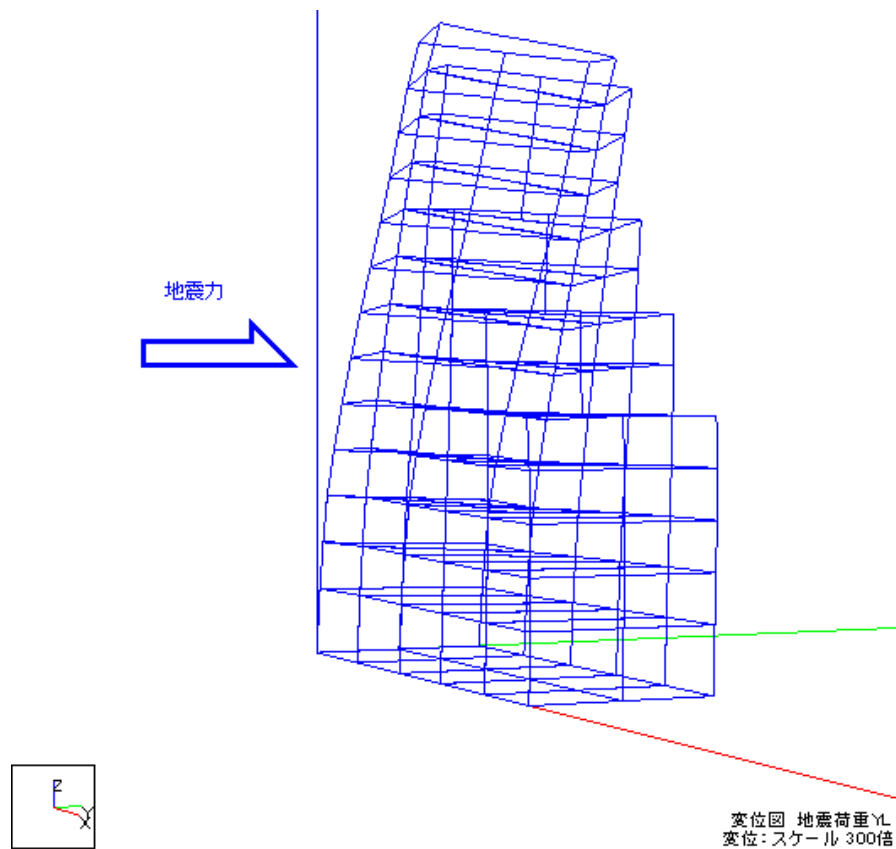
平面形状は整形でも、特定の階で偏心が非常に大きくなる場合があります。例えば、図 4-1 のセットバックしている形状です。この形状での「BUILD.一貫IV+」での計算結果を示します。



この建物を計算して重心・剛心を求めると、Y方向加力時に、6F階の剛心が極端に右側に寄っていて、偏心距離が大きな結果となります。

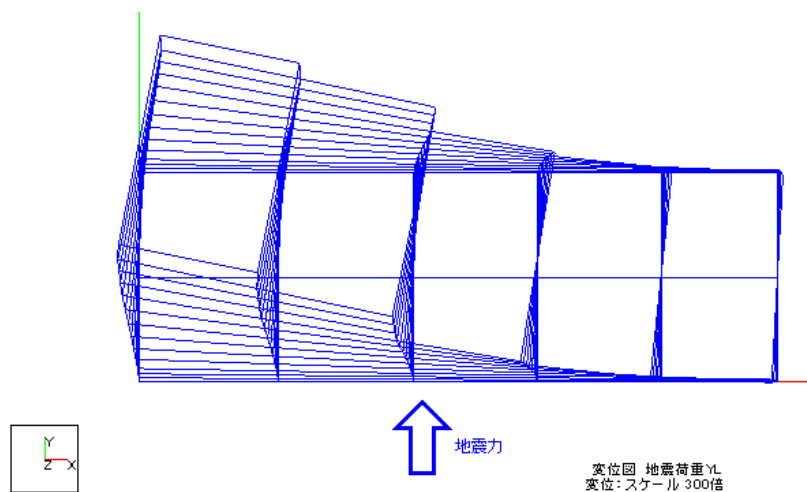


【図 4-2 6F階の重心位置と剛心位置】

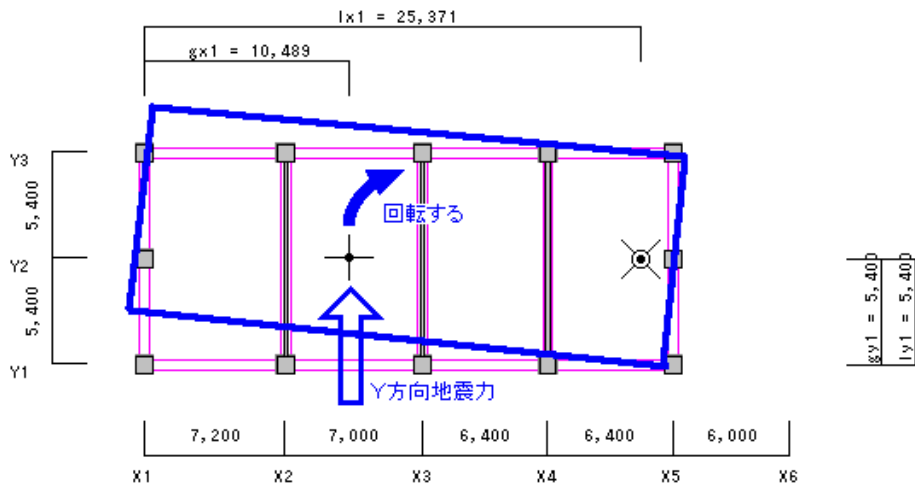


【図 4-3 建物全体の变形イメージ】

建物全体の变形イメージ（図 4-3）でもわかるように、建物がセットバックしているため、非常に大きなねじれが生じ、建物全体がよじれるように变形しています。そのため、6F階において、層の剛床の重心位置にY方向の水平力を加力した場合、X5通りの変位は回転により戻ってしまい、水平力で進んだ変位との相殺で、層間変位量は非常に小さくなる結果となっています。

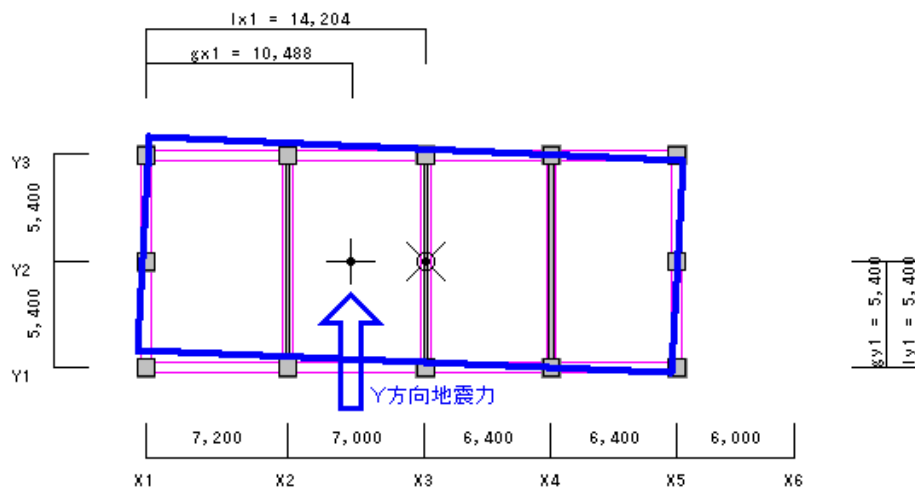


【図 4-4 各層の剛床の变形イメージを重ねて表示し上から俯瞰した図】



階名称：6F

【図 4-5 (6F 層-7F 層間) の層間変形イメージ】



階名称：6F

【図 4-6 柱軸変形を無視した時の (6F 層-7F 層間) の層間変形イメージ】

(2) 剛心位置が右側に大きく寄る理由

図 4-5 において、6F 階の剛心が X5 通り近くに寄っています。Y 方向の地震力が重心位置に作用して剛心を中心に床が回転していることを意味します。回転による変形は図 4-4 でイメージができます。しかし、図 4-2 の平面図や壁の配置からすると、右に大きく寄った剛心位置に違和感を覚える人も多いでしょう。

なぜ、6F 階において、剛心位置が大きく右に寄ったかは、この建物特有のセットバックした立面形状と耐震壁の配置に起因します。左側のスパンは階数が多く、右にいくにしたがって階数が少なくなっているため、重心は当然左側に寄ります。また、図 4-3 による立体的な変形でイメージできるように、X2～X4 通りが連層壁のため、5F 階前後において曲げ変形が大きくなる傾向を示しています。

つまり、せん断変形のみの変形を示す建物なら、剛心位置が右側に大きく寄らないわけですが、左側がより高層であるためにせん断変形だけではなく連層壁による曲げ変形も大きく加わることになり、連層壁の変形がこの 6F 階でより大きくなる傾向を示し、床の回転は左側がより大きくなるという図 4-4 のイメージ図のようになりました。それ故に剛心も大きく右側に寄り、偏心距離が大きくなったと言えます。

5. 偏心距離と剛心率による保有水平耐力の割増

建物が偏心をすることで問題なのは、建物が並進変形とならずに、剛心から大きく離れた柱や耐力壁の変形が増し、負担せん断力がそこに偏ることで、バランスの悪いせん断力分担となるために、小さな地震力で一部のフレームが崩壊に至るからです。

前述した高層でセットバックした建物において、図 4-5 のように剛心から離れた X1 通りに、より大きな（偏った）変形が生じました。この変形にはせん断変形の他に曲げ変形が含まれます。曲げ変形とは建物全体が曲げ変形することを指し、つまり、6F 階より下層の柱には軸力により、引張で伸びる（Y1 通りの）柱と圧縮で縮む（Y3 通りの）柱が存在して、建物全体を曲げようとする曲げ変形が加わっています。

このような下層階の曲げ変形により建物が傾いたことで増大した 6F 階の水平変位は、柱や耐力壁のせん断力を増加させる効果は小さく、せん断力が増えずに変形だけが増大しているという、悪さをしない変形だと言えます。つまり、悪さをしない変形が加わったものの、あたかも悪さをする変形と同類として計算上はその変形を加算しているため偏心率を大きくさせ、保有水平耐力の割増に影響を与えることになりました。

そこで悪さをしない変形部分を取り除いたうえで偏心率等を算出する意味で、柱の軸変形を止めて計算をすると、図 4-5 で偏心距離（重心から剛心までの距離）が約 15(m) であったものが、4 分の 1 の約 4(m) 弱となり、偏心率は 5 分の 1 となりました。（図 4-6 参照）

この建物は、柱の軸変形に伴う建物の曲げによる変形成分が、偏心に大きく関わっている事例と言えます。また図 4-6 における 6F 階は偏心のない平面配置となっていて、剛心位置も 6F 階の中央に移りました。このことをもってこのセットバックした高層建物のモデル化を建物の曲げ変形を無視して解析すればよい、と短絡的にいうことはできません。この建物はセットバックしているため柱軸力は偏っているという特性をもった建物ですので、この軸力をどこまで気に掛けるかという工学的な判断が偏心率に留まらずに伴う建物です。

構造設計において、偏心率を小さく抑えることはもっとも重要な構造計画と言えます。しかし構造計画を変更することは意匠設計者との攻防において容易に受け入れられないところかもしれません。とはいえ、構造計画に際しては平面的にも立体的にもバランスのよい配置を目指すことを第一に考えることは必要です。その上で計算上のモデル化を的確な工学的判断のもとで適切に対処することになります。

6. 精度の高い偏心計算をする改良理論法

今まで説明したように、「BUILD.一貫IV+」の剛心計算は不整形な建物にも適用できる、かなり精度の高い計算をしています。しかし、この計算でも完全でなく、計算精度に影響を及ぼして計算誤差を生じる時があります。

例えば、加力方向の角度を変えても、剛心位置に変化は無く一定のはずです。しかし、加力方向の角度を変えれば、変形状態も変わり、その変形から剛心位置が算出されるため、全く影響がないかということ（基本的には影響はないのですが）、計算誤差により剛心位置が正しくないところを示す場合が、不整形な建物の時に非常に稀にですが起こります。

そこで、現状の剛心計算手法（以下、“従来理論法”とここでは呼びます）において稀に起こる上述の弱点を改良したのが“改良理論法”（※4）と呼んで、すでに昨年（2011年11月30日 Ver. 1.60）から利用できるようにしています。

計算理論の詳細は、ユーザーズマニュアル Vol.1 の「3.3.3 偏心率」の「(1) 2) 改良理論法」をご参照下さい。改良理論法の選択は、許容応力度計算データの[BAS3]の7項目にて指定できます。

※4 参考文献：「不整形立体架構の剛心と偏心率の計算方法の提案」（栗田哲、吉村貴司、千葉一樹） 日本建築学会大会学術講演梗概集 2010年9月）

7. 改良理論法と各剛心計算手法に関するまとめ

剛心や偏心率の計算手法と適用範囲についてまとめると以下の通りです。

① 技術基準による方法：

剛心や偏心率の計算において、柱、耐力壁とも、加力直交方向の剛性成分を無視している。よって、整形な建物（加力方向又は加力直交方向にのみ壁配置）以外には適用できない。

② 従来理論法：

柱は加力直交方向の剛性成分を無視しているが、耐震壁は加力直交方向の剛性成分を考慮している。よって、通常の建物では問題なく適用できるが、耐力壁がX方向、Y方向共に全く無く、かつ柱が不規則に配置されている建物には適用できない。

③ 改良理論法：

柱、耐震壁とも、加力直交方向の剛性成分を考慮している。加力方向（角度）が変わっても剛心計算結果に影響を与えない。よって、全ての建物に問題なく適用できる。許容応力度計算データの[BAS3]の7項目にて入力指定できる。

セットバックした高層建物（図 4-1）の事例は、平面的に整形な柱・壁の配置のため、①②③のいずれの方法を採用しても、剛心位置、偏心距離、偏心率等は同じ結果となります。剛心計算に違いが出る不整形な建物とは、耐力壁が斜めに配置された場合で、加力方向または加力直交方向に耐力壁が配置されている場合には違いは少ないようです。

この改良理論法を採用している一貫計算プログラムは、まだ「BUILD.一貫IV+」くらいで市販プログラムではあまりみあたりませんが、大臣認定プログラムの性能評価においては、改良理論法が必須とされていますので、今後は、改良理論法による計算が一般的になってくるものと考えます。

「BUILD.一貫IV+」において、剛心位置計算手法は、前述した「②従来理論法」と「③改良理論法」が選択できます。一方「①技術基準による方法」は、不整形な建物に適用すると（適用範囲外の剛心計算方法のため）危険側になるので、今まで採用できないようにしていました。しかしながら、他社ソフトメーカーが採用しているためか、一部のユーザーの皆さんからはこの機能を追加してほしいという要望も寄せられていました。

そこで本文を通して、剛心計算における「①技術基準による方法」の注意事項は十分伝えることが出来たことと、保有水平耐力の割増にも関係して、工学的な判断を要する場面も出てくるところでもありますので、参考として計算できるように「①技術基準による方法」の選択も近々可能としたいと考えています。

尚、機能を開示する時は、あらためてメッセージの出力や、注意事項についてお知らせ致します。

（株式会社 構造ソフト）