

保証設計やせん断破壊の取扱いをわかりやすく解説

<保有水平耐力時、保証設計時、Ds 算定時の扱いとデータ制御>

2014年4月
株式会社 構造ソフト

保有水平耐力計算におけるせん断破壊の取扱いや、崩壊メカニズム時、保証設計時、Ds算定時の応力の扱いについて、お客様や審査機関から様々な質問が寄せられました。技術基準解説書の新版も出そうと出ないことから、ここでは、その質問を踏まえて構造技術者として経験の浅い方でも理解しやすい表現でまとめました。

1. 保有水平耐力計算の基本

30年前の話になりますが、節点振分法や極限解析法により保有水平耐力計算が始まりました。このときは建物が倒壊したときの最終形を把握することに重点が置かれていました。

その後、荷重増分法による保有水平耐力計算が盛んになり、増分計算途中でも計算をストップする制御ができるようになりました。今まで技術基準解説書の表現は時と共に変化はありましたが、しかし保有水平耐力時とは、建物が倒壊するまで押し切った状態との定義は最初から今まで変わっていないと言えます。

(1) 許容するせん断破壊部材と許容できないせん断破壊部材

せん断破壊の防止について告示(※1)では下記のように示しています。

“せん断破壊を生じないものとした部材に限り、せん断破壊を生じないことを確かめること。”

※1：告示第594号：平19国交告第594号第4第三号ハ

この表現は少し分かり難いので、イメージしやすいように、マンションの壁方向の解析で、荷重増分法による保有水平耐力の計算過程を考えてみます。

荷重増分法にて荷重を徐々に増やした結果、連層壁のせん断力がせん断耐力に達し、ある層の壁がせん断破壊したことで崩壊メカニズムが形成されたとします。

ここでこの時点を保有水平耐力とするためには、このせん断破壊した壁以外の壁や柱・梁が（外力や部材のバラツキ等の変化により）先行してせん断破壊しないように余裕を持った設計をする必要があります。上記の下線部分はこのことを述べています。

すなわち、「せん断破壊を生じないものとした部材に限り」とは、崩壊メカニズムの形成に寄与したせん断破壊部材とは異なる部材を指し、これらの部材はせん断破壊を生じさせないために保証設計をすることを示しています。せん断破壊した部材は、例外として保証設計をする必要がなく「せん断破壊部材」として扱われることをこの告示では示しています。

このように、せん断破壊部材として許容し、保証設計をしない部材が存在する理由は、この部材の耐力を上げることで、耐力を上げる前の保有水平耐力状態よりさらに荷重増分出来ても、崩壊するまで加力すると結局は（この層又は他層の壁が）せん断破壊してせん断破壊から逃れられない建物があるからです。

この連層壁の建物の事例では、その壁がせん断破壊しない限り崩壊形を形成しないわけですから、この壁のせん断破壊は逃れられず、許容するせん断破壊部材と位置づけられます。

(2) 崩壊メカニズムが形成されるまで押し切る設計

マンション等のラーメン方向の構造で靱性設計する建物の場合は、当然、建物が崩壊メカニズムを形成するまで荷重増分することになります。

このとき、メカニズムが形成される前にせん断破壊が先行する部材が発生するときは、その時点を保有水平耐力とする考えもありますが、基本はせん断破壊を先行させないような設計をすることになります。

すなわち、崩壊メカニズムが形成されるまで押し切ることができて、その応力状態（保有水平耐力時応力）においてせん断破壊部材は無く、その応力に割増係数を考慮した保証設計でもせん断破壊を生じさせない設計をすることになります。

一方、マンションの壁方向の解析の場合、脆性破壊を許容する設計でも基本は崩壊メカニズムが形成されるまで押し切ります。このとき壁がせん断破壊する時点で層崩壊となりますので、押し切ると言っても、脆性破壊時の応力状態が得られていることを指しています。

壁方向の解析は、脆性破壊を許容するため、せん断破壊した壁はWDとなるものの、保有水平耐力算出時には入力指定で、WDの壁のせん断力を算入するとして扱います。弊社の一貫構造計算プログラム「BUILD.一貫IV+」では、保有水平耐力計算データ[NST2](Dランク部材の扱い)で入力指定することで可能です。

せん断破壊は脆性破壊を意味しますので、設計上は嫌われるものですが、連層壁のせん断破壊は別です。この設計は、建物自体に靱性を期待せず、期待するのは耐力の大きさとなります。大きな耐力を背景に必要な保有水平耐力を超える十分な保有水平耐力を持たせることで、想定する地震力では壁のせん断破壊による崩壊には至らせないとするものです。

(3) 壁のせん断破壊判定と計算制御

壁方向の解析で脆性破壊を許容する場合も“崩壊メカニズムが形成されるまで押し切る”と表現しましたが、壁がせん断破壊した時点で崩壊メカニズムが形成され不安定となる時は自動的に計算が終了します。しかし壁剛性の第3勾配に少し剛性を持たせていると、不安定とはならず解析は進みますので、壁がせん断破壊して層崩壊が形成される時点で（崩壊と判断できる層間変形角等で）強制的に計算をストップさせる制御は必要です。この崩壊判定のデータ制御も働いているとして“崩壊メカニズムが形成されるまで押し切る”と表現しています。

また、壁のせん断破壊は各通りの連層壁ごと徐々に発生する必要は無く、むしろ同時に一気に発生し崩壊に至るほうが設計方針に合致して耐力も大きくなり、経済設計になります。よって、このとき“崩壊メカニズムが形成されるまで押し切る”と述べても“せん断破壊発生時点で計算ストップする”と述べても設計上は同時点の話と解釈できます。

いづれにしても、壁がせん断破壊して層崩壊しているとの工学的判断は構造設計者がするところで、計算ソフトが自動で決められない領域です。特に連層壁でスパン方向にも壁が連続して配置された連スパン壁のせん断破壊は、1スパンの壁がせん断破壊しても連スパン壁としてはまだせん断破壊していない状態と言えますので、壁のせん断破壊や層崩壊の判定による計算ストップの制御は、構造技術者が層せん断力と変形の関係図等から工学的な判断のもと行うこととなります。

2. 保証設計とせん断破壊判定

(1) 保証設計に関する出力と対処について

保証設計による判定方法は、次のように示されます。

$$(Q_0) + Q_M \times n = Q_d < Q_u$$

Q_0 : 単純支持とした時の長期荷重による梁のせん断力
(柱や耐震壁では関係しません)

Q_M : 崩壊メカニズム時 ((3)の②参照) の部材せん断力

n : せん断破壊判定用割増係数 (技術基準解説書では「割増し係数」)

Q_d : 保証設計用せん断力

Q_u : 部材のせん断耐力

保証設計の検討結果は、「BUILD.一貫IV+」の計算書では「部材のせん断設計」で確認でき、その出力例を示します。

<部材のせん断設計 出力例：耐震壁>

10.3.3 耐震壁のせん断設計

Q_M : メカニズム時のせん断力(kN)
 n : 割増係数
 Q_d : 所要せん断耐力(kN)
 Q_u : せん断耐力(kN)
 判定 : 以下の通り
 OK : 保証設計を満足する
 せん断破壊 : 荷重増分計算でせん断耐力に達した
 保証設計満足せず : 荷重増分計算でせん断耐力に達していないが、保証設計を満足していない

*RC部材で保証設計を満足しない場合は、部材種別をWDとして扱います。
SRC部材では破壊モードを“せん断破壊”として扱います。

10.3.3.3 Y方向左加力

階	通り	軸(i)	軸(j)	符号	Q_M	n	Q_d	Q_u	Q_d/Q_u	判定
3F	X2	Y1	Y2	W18A	1338	1.250	1673	3876	0.43	OK
2F	X2	Y1	Y2	W18	3954	1.250	4943	3954	1.25	せん断破壊
1F	X2	Y1	Y2	W18	4391	1.250	5489	4455	1.23	保証設計満足せず

この出力例では、2Fの耐震壁についてはメカニズム時せん断力がせん断耐力に達しているため、「判定」欄には“せん断破壊”と出力され、1Fの耐震壁についてはメカニズム時せん断力ではせん断耐力に達していないが、割増係数を考慮した保証設計では満足していないため“保証設計満足せず”と出力されています。

「判定」欄が“せん断破壊”の部材については、せん断耐力に達しているためせん断破壊部材であることは明確です。せん断破壊を許容してよい部材以外はせん断破壊をさせないようにせん断補強する必要があります。

“保証設計満足せず”の部材については、冒頭で述べたように告示により保証設計を満足させる必要があります。

この件に関する詳細については次項で説明します。

(3) 保有水平耐力計算における応力状態と用語の定義

「BUILD.一貫IV+」の保有水平耐力計算における出力で使用されている応力状態に関する用語の定義を示します。

技術基準解説書の改訂や新たな大臣認定プログラムの仕様に連動して、プログラムも拡張されるため、時代と共に用語の定義にも変化がみられますので、その辺を注意して確認してください。

①保有水平耐力時応力

保有水平耐力を集計するときの応力状態で、一般には、ラーメン構造ではせん断破壊部材が先行しないようにして、建物が崩壊メカニズムを形成するまで押し切った場合の応力を指します。

一方、連層壁の構造では、壁がせん断破壊して層崩壊するか、又は浮き上がり崩壊時の応力を指します。

②Ds算定時応力（崩壊メカニズム時応力）

一貫計算プログラムに余耐力法（後述）を組み込む以前におけるDs算定時応力は、（浮き上がり崩壊を避けた上で）崩壊メカニズムを形成するまで押し切った場合の応力状態を指していました。

その後、余耐力法を組み込んでからは、ラーメン部材が無い連層壁の構造に対しては、壁がせん断破壊して層崩壊するときの応力をDs算定用として使用します。（この連層壁モデルの事例はラーメン部材がないため余耐力法は適用しません。）

一方、柱・梁のラーメン部材が存在する架構においては、ここの応力は①と同様な応力となり、保証設計における n 倍する前の崩壊メカニズム時応力となります。

この応力からDs算定用の応力にするためには、さらに余耐力法を用いて全体崩壊形にする必要があり、以下の④の応力にてDs算定用の応力になります。

③保証設計時応力

②の応力状態に保証設計用の割増係数 n を乗じた応力を保証設計時応力と呼び、この応力で「せん断破壊を生じないものとした部材（柱・梁・耐力壁）に限り、せん断破壊を生じない」ようにします。

尚、今後認定取得の見通しがついた大臣認定プログラムでは、より安全側になることを考慮した仕様となり、②の応力でなく次項④の応力に対して保証設計用の割増係数 n を乗じた応力を保証設計時応力として採用しています。

④Ds算定時想定崩壊メカニズム時応力

②の崩壊メカニズム時においてラーメン部分の未崩壊層に余耐力法を用いて崩壊形を作り、全体崩壊形としたときの応力状態を指します。この応力が部材種別およびDsを算出するときの応力となります。

つまり、③の保証設計時応力にてせん断破壊を生じさせない設計（保証設計）をし、かつ④の「Ds算定時想定崩壊メカニズム時応力」においても、せん断破壊をさせない設計をします。

もし後者の応力でせん断破壊を許容した場合は、自動的に種別Dとして扱われます。

「Ds算定時想定崩壊メカニズム時応力」との呼び名は、大臣認定プログラムの仕様にて定義されているもので、既存の非認定プログラムでも同じ名称を使って出力しています。

⑤余耐力法について

保有水平耐力計算時に全体崩壊形とならずに未崩壊層が残った場合、この未崩壊層の柱・梁に対して、技術基準解説書P. 365に記載されている応力比を用いた方法にて未崩壊層を崩壊に至らしめる手法を指し、この手法を余耐力法と呼んでいます。

保有水平耐力計算データの[NST4]（種別の制御）の「柱梁の破壊モードの判定」にて、「2：曲げ・せん断応力比を考慮する（余耐力法を意味する）」を選択することで、余耐力法が採用されます。

現在、Ds算定時には基本的に必須機能として選択する必要があります。

3. 「BUILD.一貫IV+」でせん断破壊する時点を保有水平耐力とする方法

前述した通り、ラーメン構造は靱性設計が基本であり、梁と柱は脆性破壊させないという考えですので、計算ストップの制御に関しては耐震壁のみについて記します。

「BUILD.一貫IV+」で、壁のせん断力がせん断耐力に達する時点をもって保有水平耐力時とする計算制御は、保有水平耐力計算データ[U L A 8](変形限界)の「壁せん断変形限界」の塑性率を「1.0-0」と入力することで指定できます。

最初の「1.0」はせん断塑性率が 1.0 に達する時点（部材がせん断破壊する時点）を指し、この時点で計算をストップするため、この時点を保有水平耐力時とすることを意味します。後ろの「0」は D_s 算定用の荷重増分計算の終了条件としては、せん断塑性率による制御をしないことを意味します。

連スパン壁の場合は、前述したように1スパンのみの壁がせん断破壊しても、連スパン壁がせん断破壊した状態とは言えません。故に1スパンの壁がせん断破壊した時点でストップ制御する話にならないことと、あるフレームのある層の壁がせん断破壊しているかだけでなく、建物全体においてある層が層崩壊しているかの確認が必要になります。

この確認は、「ヒンジ発生図」や「層せん断力ー層間変形角関係図」でせん断破壊の発生状態や建物の層崩壊状況を確認して、その時点の層間変形角で計算ストップの制御ができるように、ストップの制御データを入力指定して、再度計算実行することになります。

(株式会社 構造ソフト)