

アンカーボルトの扱いと ルート3における露出型柱脚の検討について分かりやすく解説

2014年10月
株式会社 構造ソフト

はじめに

アンカーボルトには、建て方用アンカーボルトと構造用アンカーボルトがあります。建て方用アンカーボルトも構造用アンカーボルトもJIS規格(日本工業規格)品があり、建築基準法第37条では建築物の主要構造部に使用する材料は日本工業規格又は日本農林規格に適合するものとされています。

また、2010年10月に制定された構造用アンカーボルトのJIS規格品は全て伸び能力があるものとして位置づけられました。

一方、「2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書」(以下、技術基準解説書と呼ぶ)は2010年10月以前のもので、伸び能力が無いアンカーボルトを使うことも想定した記述となっています。

新しい技術基準解説書が刊行されれば整合した記述となりますが、予想以上に遅延しており、2015年版として出る噂に変わっています。ここでは整理する意味で、ご質問の多いルート3における露出型柱脚の検討とルート3で使用するアンカーボルトの扱いに関して、弊社の一貫構造計算プログラム「BUILD.一貫IV+」との対応を絡めて以下に説明します。

1. アンカーボルトに関して

(1) ルート3で露出型柱脚に使用できるアンカーボルト

建て方用アンカーボルトは、建物を建てる際に柱を立てる時の位置決めと一時的な柱の転倒を防ぐ為の構造設計上の耐力を負担しないアンカーボルトを指し、建て方用以外には、住宅用ガレージ、木造住宅程度のアンカーボルトとして使われるにとどまっています。一貫構造計算プログラムで設計する一般的な規模の場合には、ほとんど使われない製品であり、ルート3となると、まず使われないと判断できます。

従って、ルート3で使われるアンカーボルトは構造用アンカーボルトに限定されると考えられますので、以降の説明も構造用アンカーボルトが使われるものとして記述いたします。

2010年10月にアンカーボルトのJIS規格が改正され構造用アンカーボルトとして、以下の二つがJIS規格品として認定されました。

JIS B1220 構造用転造両ねじアンカーボルトセット

JIS B1221 構造用切削両ねじアンカーボルトセット

この二つの構造用アンカーボルトセットはJIS規格品であるために伸び能力のあるアンカーボルトとして使用できます。ゆえにこのJIS規格品のアンカーボルトセットはルート3でも使われるアンカーボルトと位置づけられます。

既製品の露出型柱脚は、以前はベースプレートやアンカーボルトなどを含めた柱脚のシステム全体（構法）が大臣認定の対象になっており、建築基準法旧38条の大臣認定を取得していました。しかし、現在では、（旧38条が廃止されているため）ベースプレートやアンカーボルトは個々に材料の大臣認定（建築基準法第37条の2）を取得しています。また、旧38条の大臣認定のようなシステム全体の構法認定としては、日本建築センターの「任意評定」があり、それを取得しているケースもあります。

そこで、「BUILD.一貫IV+」で扱える既製品の露出型柱脚（※1）について調べたところ、全ての製品が、JIS規格品あるいは「材料の大臣認定」を受けた材料で構成されており、アンカーボルトは伸び能力があるものを使用していることを確認しております。

※1 「BUILD.一貫IV+」で扱える既製品の露出型柱脚は以下の通りです。

会社名(五十音順)	商品名
アイエスケー(株)	ISベース
岡部(株)・旭化成建材(株)	ベースパック I, ベースパック II, ベースパック円形, ベースパックNT
コトブキ技研工業(株)	ジャストベース
日本铸造(株)	NCベースEX II, NCベースEX, NCベース
日立機材(株) 日立金属(株)	ハイベースNEO, ハイベース・エコ, クリアベース, スーパーハイベース(GX), Uボンド

(2)伸び能力のあるアンカーボルトとは

「伸び能力のあるアンカーボルト」とは、軸部の全断面降伏までネジ部が破断しないような性能のものを指します。技術基準解説書のP600の表現ですと、伸び能力のあるアンカーボルトは、以下の4種類が記述されています。

- ・降伏比が0.7程度以下の並目の切削ネジ
- ・降伏比が0.75程度以下の細目の切削ネジ
- ・降伏比が0.75程度以下の転造ネジ
- ・降伏比にかかわらず、ネジ部の有効断面積が軸部と同等以上であるもの

「降伏比」は鋼材の「降伏点」を「引張強さ」で割った値です。その意味は、引張強さの何割の応力で降伏するかを表しています。すなわち、降伏比が低いほど鋼材の降伏後の伸び能力と耐力上昇が大きくなります。建築構造用のアンカーボルトは地震時の大きな塑性歪を吸収し、ボルト降伏後の伸びや耐力を保証するために降伏比を低くしています。また、伸び能力のあるアンカーボルトは降伏比が十分に小さく、軸部が降伏する前にねじ部が破断することはありません。

ただ、技術基準解説書の刊行は2007年であり、2010年10月改正のJIS規格品(※2)との間で、ずれが生じています。構造用としては基本的には以下のJIS規格品を使うことになり、これらは全て伸び能力があるわけですので、設計者がアンカーボルトの伸び能力の有無を気にする必要は無いと言えます。

※2 JIS規格品の内容

JIS B1220 (構造用転造両ねじアンカーボルトセット)

セットの種類を表す記号	ボルトの材料	素材降伏比	加工方法	ねじの種類
ABR400	炭素鋼	80%以下	転造ねじ	メートル並目ねじ
ABR490	炭素鋼	80%以下	転造ねじ	メートル並目ねじ
ABR520SUS	ステンレス鋼	80%以下	転造ねじ	メートル並目ねじ

JIS B1221 (構造用切削両ねじアンカーボルトセット)

セットの種類を表す記号	ボルトの材料	素材降伏比	加工方法	ねじの種類
ABM400	炭素鋼	75%以下	切削ねじ	メートル細目ねじ
ABM490	炭素鋼	75%以下	切削ねじ	メートル細目ねじ
ABM520SUS	ステンレス鋼	75%以下	切削ねじ	メートル並目ねじ

(3) アンカーボルトの強度とベースプレートの破断防止の検討の関係

「BUILD.一貫IV+」では、許容応力度計算時でのベースプレートの検討をもって、ルート3でのベースプレートの破断防止については確認済であるとしております。その理由は次の通りです。

「BUILD.一貫IV+」の許容応力度計算時のベースプレートの検討において引張側の設計用曲げモーメントはアンカーボルトの引張力を短期許容引張耐力において計算しています(次式参照)。

アンカーボルトから決まる引張側の設計用曲げモーメント ${}_bM_d$

$${}_bM_d = P \cdot \frac{a}{b}$$

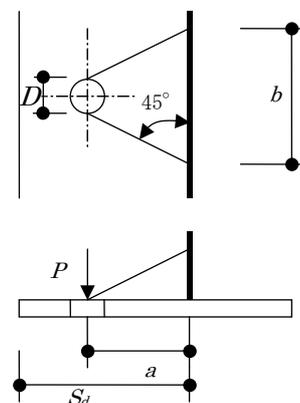
$$P = a_t \cdot f_t$$

a_t : アンカーボルト1本当りの軸断面面積(mm²)

f_t : アンカーボルトの短期許容引張応力度(N/mm²)

$$b : 2a + D$$

D : アンカーボルトの径



ベースプレートの応力(曲げ引張側)

この式で、 f_t はアンカーボルトの短期許容引張応力度ですので、材料強度 F 値と同じ値です。告示改正前は許容応力度計算時の短期許容引張耐力はネジ部断面積にて算出し、降伏引張耐力として軸部断面積にて検討をしていました。

しかし、前項「(2)伸び能力のあるアンカーボルトとは」で説明したように、伸び能力のあるアンカーボルトであれば軸部が降伏する前にねじ部が破断することはないので、短期許容引張応力度として、材料強度 F 値を採用できるわけです。つまり、許容応力度計算時の検討はアンカーボルトの降伏引張耐力による設計用曲げモーメントで検討し、ベースプレートは許容応力度内に納めているわけですので、ルート3でのベースプレートの破断防止についても確認済であることとなります。

(4) 露出型柱脚のヒンジと保有水平耐力

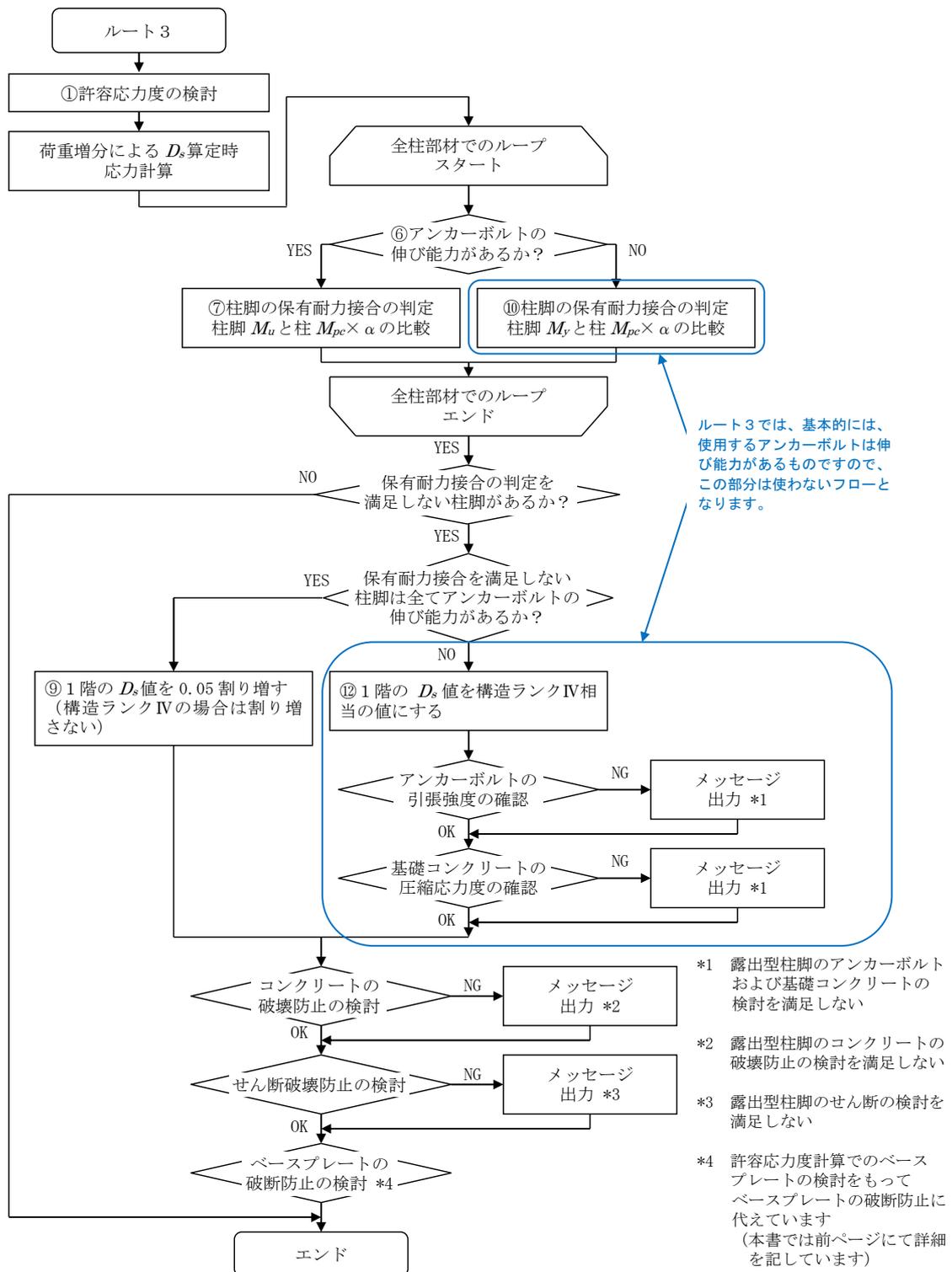
露出型柱脚が降伏した時点を保有水平耐力とする必要がありますか、というご質問を受けることがあります。技術基準解説書のP604に、アンカーボルトの伸び能力が無い場合に、“柱脚が早期に塑性化する可能性が有る場合は、柱脚での弾性限界で上部構造の保有水平耐力を決める等の措置が必要となる”という記述があるので、この記述が、保有水平耐力は露出型柱脚にヒンジが最初に発生した時点で確認する必要があるのでは、という考えの由来になっていると思われまます。

しかし、ルート3の場合、伸び能力があるアンカーボルトを使うこととなりますので、技術基準解説書のP599の付図1.2-25の設計フロー（以下、技術基準設計フローと呼ぶ）を満足できていれば、安定した塑性変形能力を有していると考えられますので、柱脚のヒンジが保有水平耐力時の決定要因にはならないと考えられます。なお、この時の柱脚の曲げ耐力は、母材の耐力と柱脚部の耐力の小さい方の耐力が採用されます。

2. 「BUILD.一貫IV+」と技術基準設計フローとの対応

(1) 「BUILD.一貫IV+」の設計フロー

「BUILD.一貫IV+」におけるルート3での設計フローは、**フロー図-1**の通りです。なお、この設計フローは、技術基準設計フローの内容を計算処理の流れに置き換えたものであり、内容は、技術基準設計フローと同等です。



フロー図-1. 「BUILD.一貫IV+」の設計フロー

フロー図-1における丸数字(①⑥⑦⑨⑩⑫)は、技術基準設計フローの丸数字に対応しています。技術基準設計フロー⑥⑦⑨⑩⑫の各項目について、「BUILD.一貫IV+」で対応している入力や出力は次の通りです。

■フロー⑥：(アンカーボルトの伸び能力があるか?)

伸び能力の有無は、ソフトでは自動判定しておらず、設計者が入力する項目です。建物データの[CME 3]の5項目が入力項目になっていて、省略した場合は、伸び能力ありとして計算します。構造用アンカーボルトABM、ABR を使用した場合は、入力内容に関わらず、常に、伸び能力ありとして計算します。

■フロー⑦, ⑩：(柱脚の保有耐力接合の判定)

柱脚の保有耐力接合を満足させることは、技術基準解説書の表現では、 $Q_u > Q_{mu}$ かつ $M_u(M_y) > \alpha M_{pc}$ ですが(記号名は出力-1の表を参照)、 $Q_u > Q_{mu}$ を満足させることは、露出型柱脚部をせん断破壊させないことを意味し、ここは必ず満足させる必要があります(詳細は以下の「(3)柱脚のせん断破壊判定に関して」の項で説明します)。よって、保有耐力接合を満足するかどうかは、もう一方の判定式 $M_u(M_y) > \alpha M_{pc}$ によることになります。

11 その他

11.1 露出型柱脚

Mu : 柱脚の終局曲げ耐力(kN・m) ボルトの伸び能力ありの場合
 My : 柱脚の降伏曲げ耐力(kN・m) ボルトの伸び能力無しの場合
 α : 柱及びより仕口部の保有耐力接合の安全率
 Mpc : 柱の全塑性曲げモーメント(kN・m)
 Qu : 柱脚の終局せん断耐力(kN)
 QMu : 柱の柱頭、柱脚に塑性ヒンジを仮定したときの柱せん断力(kN)

11.1.1 X方向左加力

Mu(My) > α Mpcの場合: YES
 Mu(My) \leq α Mpcの場合: NO

Qu > Qmuの場合: OK
 Qu \leq Qmuの場合: NG

階	通り	軸	Mu(My)	α	Mpc	α Mpc	判定	Qu	QMu	判定	ボルトの伸び
1F	Y1	X1	560	1.3	581.6	756	NO	600	312	OK	あり
1F	Y1	X2	1001	1.3	581.6	756	YES	843	328	OK	あり
1F	Y1	X3	848	1.3	581.6	756	YES	728	328	OK	あり
1F	Y1	X4	1047	1.3	581.6	756	YES	1011	328	OK	あり
1F	Y2	X1	1228	1.3	581.6	756	YES	1195	328	OK	あり
1F	Y2	X2	1885	1.3	573.8	746	YES	1639	328	OK	あり
1F	Y2	X3	1560	1.3	581.6	756	YES	1427	328	OK	あり
1F	Y2	X4	1864	1.3	581.6	756	YES	1603	328	OK	あり
1F	Y3	X1	1230	1.3	581.6	756	YES	1195	328	OK	あり
1F	Y3	X2	1680	1.3	576.7	750	YES	1630	328	OK	あり
1F	Y3	X3	1533	1.3	581.6	756	YES	1384	328	OK	あり
1F	Y3	X4	1664	1.3	581.6	756	YES	1602	328	OK	あり
1F	Y4	X1	550	1.3	581.6	756	NO	600	310	OK	あり
1F	Y4	X2	989	1.3	581.6	756	YES	926	328	OK	あり
1F	Y4	X3	817	1.3	581.6	756	YES	685	328	OK	あり
1F	Y4	X4	1057	1.3	581.6	756	YES	1025	328	OK	あり

[出力-1. 露出型柱脚]

$M_u(M_y) > \alpha M_{pc}$ の判定は、出力-1の判定欄(YES/NO)で示されます。

$M_u(M_y) > \alpha M_{pc}$ の場合が判定を満足していることを表していて、判定欄に"YES"を表示します。満足していない場合は、判定欄に"NO"を表示します。

(保有耐力接合を満足していなくても、フロー⑨, ⑫でDs値を割り増して保有水平耐力の確認ができれば問題ないので、判定の表現としては、OK/NGではなくYES/NO という表現にしています。)

保有耐力接合を満足しない場合は、次項の「(2)保有耐力接合を満足しない場合の検討項目」に記述している検討が必要です。

■フロー⑨, ⑫：(Ds値の割り増し)

フロー⑦, ⑩において、保有耐力接合を満足していない柱脚がある場合は、Ds値を割り増します。

割り増したかどうかは、以下の出力-2. 構造特性係数の出力の「Ds値」欄の数値に、*印が付いているかどうかで確認できます。

10.9 構造特性係数

Ds値の*印：露出型柱脚の割増があることを示す

10.9.1 X方向左加力

階	構造	フレーム せん断力(kN)	種別	壁 せん断力(kN)	種別	負担率	ブレース せん断力(kN)	種別	負担率	Ds値
5F	S	1588	A	-	-	-	-	-	-	0.25
4F	S	2788	A	-	-	-	-	-	-	0.25
3F	S	3724	A	-	-	-	-	-	-	0.25
2F	S	4456	A	-	-	-	-	-	-	0.25
1F	S	4939	A	-	-	-	-	-	-	0.30*

[出力-2. 構造特性係数]

(2)保有耐力接合を満足しない場合の検討項目

技術基準解説書のP603において、保有耐力接合を満足しない場合は、以下の3つの検討が必要と記述されています。

- i) 基礎コンクリートの破壊の防止
- ii) 柱脚部のせん断破壊の防止
- iii) ベースプレートの破断防止

これらの検討項目について、説明します。

i) 基礎コンクリートの破壊の防止：

「BUILD.一貫IV+」では、以下の **出力-3. 露出型柱脚のコンクリート破壊防止の検討** で検討結果を出力しています。

11.2 露出型柱脚のコンクリート破壊防止の検討

検討1 : コンクリート立上げ部縁辺の圧壊
 検討2 : ベースプレート下のコンクリートの圧壊
 検討3 : 定着板上面のコンクリートの圧壊
 検討4 : アンカーボルト周辺のコンクリートのコーン状せん断破壊
 検討5 : アンカーボルトによるコンクリート立上げ部のコーン状せん断破壊
 検討6 : 列ボルトによるコンクリート立上げ部のせん断破壊防止
 値1 : $Cy/(2 \cdot Bc \cdot x)$ (N/cm²)
 値2 : $Cy/(B \cdot D)$ (N/cm²)
 値3 : $nt \cdot ba \cdot b\sigma_y / Aa$ (N/cm²)
 値4 : $nt \cdot ba \cdot b\sigma_y / Ac$ (N/cm²)
 値5 : $0.54d\sqrt{b\sigma_y/c\sigma_t}$ (cm)
 値6 : $nt \cdot ba \cdot b\tau_y$ (kN)
 Cy : $nt \cdot ba \cdot b\sigma_y + N$
 N : 軸力
 Bc, Dc : 立上げコンクリートの幅・せい
 B, D : ベースプレートの幅・せい
 d : アンカーボルト径
 x : ベースプレート最外縁から立上部最外縁の距離
 e : アンカーボルトの縁端距離
 Aa : 定着板の有効受圧面積
 Ac : 基礎コンクリート割裂面の水平投影面積
 nt : 引張側アンカーボルト本数
 ba : アンカーボルト断面積
 Fc, cσt : コンクリート基準強度・引張強度
 bσy, bτy : アンカーボルトの引張強度・せん断強度
 値の * 印 : 判定がNGであることを示す

検討1: コンクリート立上げ部縁辺の圧壊
 [値1] < [Fc] の時 OK
 検討2: ベースプレート下のコンクリートの圧壊
 [値2] < [Fc/3] の時 OK
 検討3: 定着板上面のコンクリートの圧壊
 [値3] < [5Fc] の時 OK
 検討4: アンカーボルト周辺のコンクリートのコーン状せん断破壊
 [値4] < [cσt] の時 OK
 検討5: アンカーボルトによるコンクリート立上げ部のコーン状せん断破壊
 [値5] < [e] の時 OK
 検討6: 列ボルトによるコンクリート立上げ部のせん断破壊防止
 [値6] < [Bc・e・cσt] の時 OK
 判定: 検討1～検討6の全てがOKの場合にOK。その他の場合はNG。

11.2.1 X方向左加力

階	通り	軸	検討1		検討2		検討3		判定
			値1	Fc	値2	Fc/3	値3	5Fc	
			検討4		検討5		検討6		
			値4	cσt	値5	e	値6	Bc・e・cσt	
1F	Y1	X1	166	3300	97	1100	4459	16500	OK
			152	180	29.63	35.00	633	756	
1F	Y4	X1	160	3300	93	1100	4459	16500	OK
			152	180	29.63	35.00	633	756	

[出力-3. 露出型柱脚のコンクリート破壊防止の検討]

検討内容は、「BUILD.一貫IV+」ユーザーズマニュアルVol.1(計算理論編) (以下、マニュアルと呼ぶ) の「5.5.4 保有水平耐力計算時の検討」の「(1) 1) コンクリートの破壊防止の検討」にて詳細を記述していますので、ご参照ください。

出力-3 の 検討1～検討6 は、マニュアルの「(1) 1) コンクリートの破壊防止の検討」の a) ～ f) に対応しています。

検討4 (マニュアルでは d)) の計算に使うAc(基礎コンクリート割裂面の水平投影面積)は、直接入力がない場合は、最低限考慮できると考えられる面積として

[アンカーボルト長]×[基礎梁幅] をAc に設定しています。

Acの直接入力建物は建物の[CME 3]の17項目で可能です。

検討方法は、“秋山宏「柱脚の耐震設計」(建築技術No.448 1988年12月)”に基づいたものです。

ii) 柱脚部のせん断破壊の防止：

「BUILD.一貫IV+」では、出力-1の Q_u と Q_{mu} の比較によって判定しています（ $Q_u > Q_{mu}$ の場合がOK判定）。

せん断破壊の扱いについては、次項「(3) 柱脚のせん断破壊判定に関して」で説明します。

iii) ベースプレートの破断防止：

この検討については、「1. (3) アンカーボルトの強度とベースプレートの破断防止の検討の関係」で説明したように、許容応力度計算での検討をもって確認済としています。検討結果は、許容応力度計算時の一般露出柱脚のベースプレートに関する出力（出力-4. 一般露出柱脚の計算結果）を参照してください。

5.3.2 一般露出柱脚の計算結果

(1) 記号の説明

tb : ベースプレートの厚 (mm)
 bMa : ベース単位幅の短期許容曲げ耐力 (kN・mm/mm)
 bMd : ベース単位幅の最大短期設計曲げ応力 (kN・mm/mm)

符号	C1	
	1F 階	Y1 通 X1 軸
ベース形状	85.0X 85.0	材質 SN490
アンカーボルト	3- 3- 8-M48	ABR400
Jx Jy	50.0	50.0
	----- X方向 ----- Y方向 -----	
ベース		
tb	55 (mm)	148.7
圧縮bMd/bMa	9.9/bMa=0.07	9.6/bMa=0.06
引張bMd/bMa	126.5/bMa=0.85	126.5/bMa=0.85

※凡例や出力を一部省略して表示しています。

[出力-4. 一般露出柱脚の計算結果]

(3) 柱脚のせん断破壊判定に関して

保有耐力接合の判定（フロー⑦）の技術基準解説書の説明では、「柱脚の Q_u が柱に塑性ヒンジを仮定して計算した崩壊メカニズム時の柱のせん断力を上回ること」とあり、一方、保有耐力接合を満足しない場合（フロー⑨）の説明には、せん断破壊を防止するように記述されています。つまり、言い換えると、せん断破壊の防止は常に満足させなければならないということになります。

「BUILD.一貫IV+」の増分解析では、柱脚のせん断耐力は柱母材のせん断耐力を使っていて、露出型柱脚部はせん断破壊しないということが前提条件となっています。つまり、露出型柱脚部のせん断破壊は許容されないため、せん断破壊しないことを確認しておく必要があります。

それを確認できる出力部は、増分解析で生じうる最大の柱脚せん断力 (Q_{mu}) が露出型柱脚のせん断耐力 (Q_u) を超えていないことを示す **出力-1** の $Q_u > Q_{mu}$ がせん断破壊の防止の確認表となります。

この検討を満足しない場合は、適用範囲外メッセージ「1603 露出型柱脚のせん断の検討を満足しない」を出力しますので、この場合は満足させる必要があります。満足しなければその時点で設計はNGとなります。

なお、ブレースが柱脚に接続している場合は、 Ds 算定時のブレース軸力の水平成分を Q_{mu} に加算して、 $Q_u > Q_{mu}$ の判定を行なっています。

3. おわりに

ルート3での露出型柱脚に求められることは、安定した塑性変形能力の確保です。そのためには、せん断破壊させず、保有耐力接合を満足させるか、保有耐力接合が満足できない場合は、基礎コンクリートの破壊の防止、柱脚部のせん断破壊の防止、ベースプレートの破断防止の確認が必要で(「2. (2)保有耐力接合を満足しない場合の検討項目」参照)、これらを技術基準解説書は求めています。

今まで説明しましたように、技術基準解説書で求めている露出型柱脚に関する検討については、全てのフローに関して、「BUILD.一貫IV+」で対応付けられておりますので、「BUILD.一貫IV+」の結果をそのまま設計に活用することができます。

(株式会社 構造ソフト)