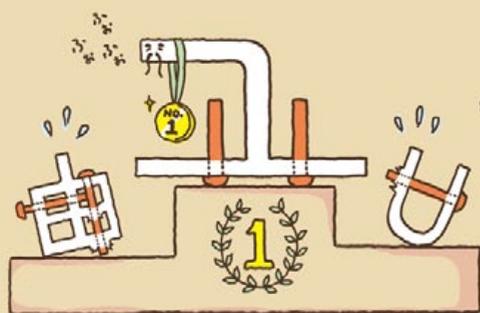


意匠設計者でもスラスラわかる

建築2次部材の 構造計算

山本満
四井茂一 著



「二型界」では
おやじが一番だな
ボルトとの相性を
バックヤード

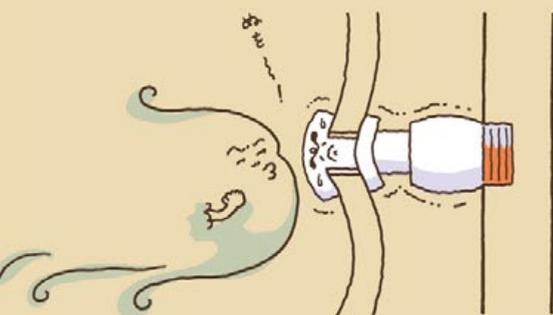
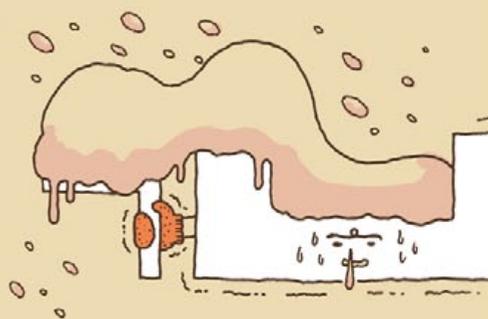


とうちゃん
おっかれ

ぶらん



おれたちぞ
かんはるやと
ブランクも
しつかり
やれよー



いい湯
じつは
どき
フシ
まんまり
つかると
サビるからな
ほかに

はじめに

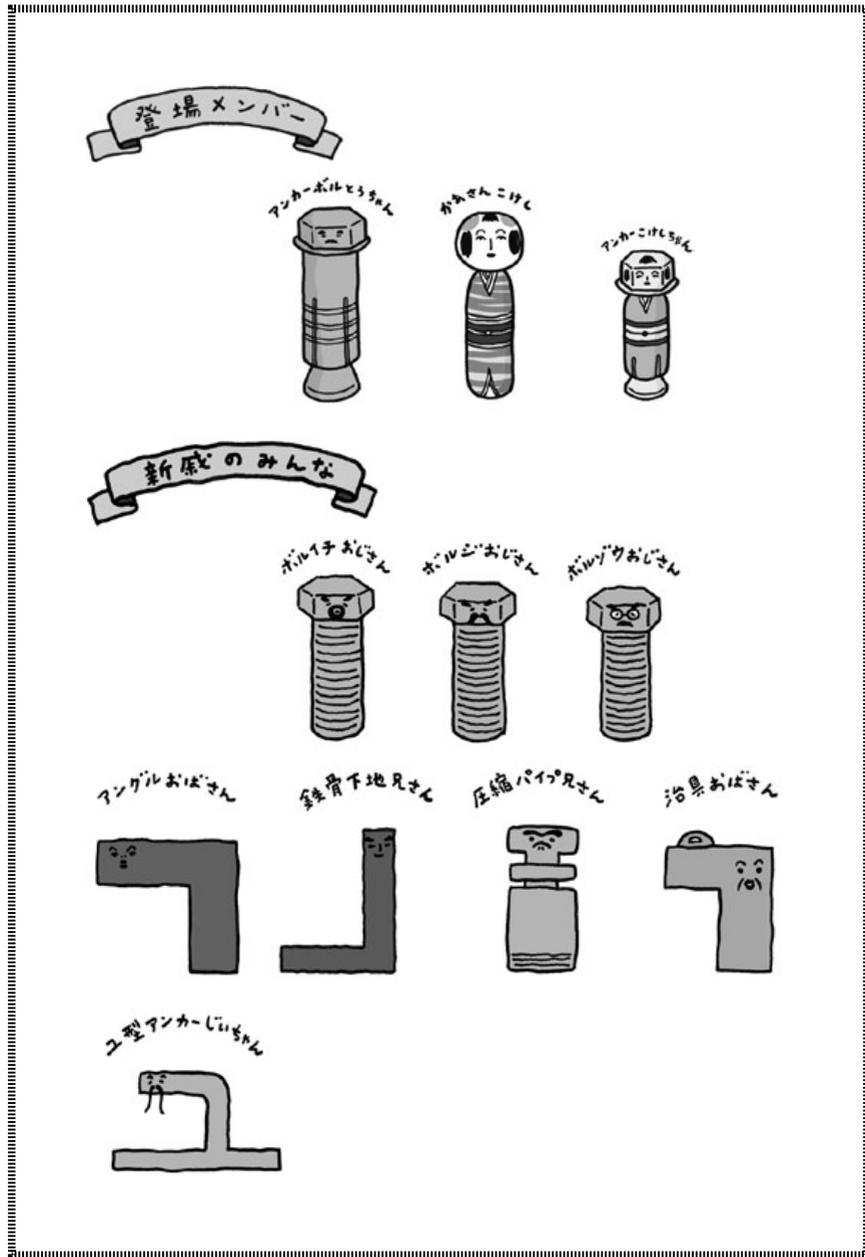
構造計算を使いこなせば、もっと仕事がしやすくなる。そう感じながら、多くの人々が日々構造計算に苦勞する姿があります。2次部材だからと軽視し、構造計算を疎かにしたばかりに、大きな事故となり、一生取り返しのつかない事態を抱えたであろう報道も後を絶ちません。構造計算は専門家の仕事だと気に留めなかったけれど、他人ごとではなく、必要な技術だと気づく人が増えています。一方、世の中には建築構造計算に関しての書籍が溢れ、ネットで無料の良質な情報に接することができます。でも、いざ始めようとする、どれを選べば良いのかわからず先に進めないのが現実ではないでしょうか。また、構造計算は勉強したけれど、2次部材ではどう計算するのか自信が持てないという人もおられるでしょう。そんな建築2次部材の構造計算に関する問いに答えるために、この本はあります。

私たちは、現在、建築施工図を描く事務所を主宰していますが、その前は、建築設計事務所に長く勤務しておりました。自分は意匠設計が専門だから構造はわからないと言われている所帯ではなかったので、何でもやりました。建物の構造計算は専門家にお任せしますが、設計変更があれば自分たちで計算を直しました。構造計算書はトレーシングペーパーのレポート用紙に電卓片手に鉛筆で1字1字書きます。夏は紙がべたべた腕にくっつき、気持ちが悪い。コンピューターは数億円、FAXもまだない時の話です。

事務所開設以来、北は択捉島、南は沖縄にわたる4,000件を超える建設工事に関わりました。辞書と首っ引きで、英語やロシア語で図面を描く経験もさせていただきました。そんな各地の現場で、製品と下地の強度、取付け方法の信頼性など、建築2次部材の強度に関わる相談を多く受け（それが解決しないと図面が描けませんから）解決して来ました。

自然災害が起こるたびに法律が強化され、もう人の手には負えなくなり、建築では手書きの構造計算書は姿を消しました。それでは、これまでの計算法はもう古くて使えないのか？ そうではありません。建築構造計算とは、自然の摂理に従って考え、建物が壊れないことを確認する手段です。それは、ダ・ヴィンチの時代から先人が培った経験を数値で表したもので、その基本はたった数十年で覆るものではないでしょう。法律の定めのない手摺やルーバーなど2次部材には、これまでの計算法を使うのが実務家の解決手段でしょう。

建築構造計算は、自然災害から人命と財産を護ることを主眼としています。2次部材も同じはずですが、これまで、構造計算をする習慣はありませんでした。そこ



装丁・デザイン 小林義郎

イラスト すずきみほ

に時間とお金をかけるメリットがなかったからでしょう。でも今、必要とする人が増えています。それは、災害や事故の報道を目にするたびに、人々の安全への目が厳しくなるからです。天井下地の基準が設けられたのはそのひとつです。大きな天井が崩れ落ちるテレビ映像は、衝撃でした。公共施設の手摺が人混みに押されて倒れることがあると知らされた事故も起こり、驚きを呼びました。これらはもう想定外では済まされず、人災と思われるようになりました。2次部材への注目が高まるのは、最前線の方々がこの事態に危機感を募らせている現れなのでしょう。

そうは言っても、いまさら構造計算を使いこなすのは難しそうです。それに、構造計算とは無縁だったのに矢面に立たされている人もあります。そんな人々を見るにつけ、構造計算する人がもっと増えて、誰にとっても当たり前技術になれば良いのにと感じます。それを実現する方法があるだろうかと考えを進め、読めば作れる料理本のようなツールがあれば役立つだろうかと思に至りました。しかし、2次部材では見当たらないのです。そこで、ないのなら作ってしまえと、私たちが経験した建築2次部材の構造計算を料理のレシピのように再構成したのが本書です。その一部を紹介すれば、手摺、カーテンウォールのファスナー、看板塔、クレーンで吊り上げる治具など20例です。計算手順とその裏付けとなる情報をできる限り示しています。

建築2次部材には様々な用途のものがあり、形状も設置状況も千差万別です。加えて、それを構成する部品を考えると計算対象はどのくらいの数なのでしょう。計算は、これをひとつひとつ吟味して行います。私の見るところ、この種類と数を前に、適切な解決法が浮かばず先に進めない人が多いのです。でも、計算例を料理レシピのように並べてみると、そこには共通した解決法があると気づきます。それを知って、恐れるに足らずと、あなたに勇気が湧けば成功です。

これはレシピ集なので、教科書のように最初から順に読んで学ぶものではありません。どこから始めても効果が得られるよう作られています。興味のあるところから始めてください。

そんな訳で、これは私たちの経験に基づくもので、アカデミックな厳密さよりも実務的なわかり易さを重視しています。表現が厳密でないなどの指摘を頂くかもしれません。あらかじめご容赦のうえご利用ください。

2017年1月

山本満・四井茂一

目次

はじめに …………… 3

1. 建築2次部材の構造計算を理解するための前準備 …………… 7

2. 建築2次部材の構造計算 …………… 13

■ベースプレートとアンカーボルト①

あと施工アンカーで取り付けした手摺 …………… 14

■ベースプレートとアンカーボルト②

4本のあと施工アンカーで取り付けした手摺 …………… 22

■手摺の支柱

コンクリート壁に取り付けした手摺の支柱 …………… 27

■鉄骨下地

風を受けるベランダ壁の鉄骨下地 …………… 34

■吊りボルト、接合ボルト

吊り材で取り付けられた内部天井下地 …………… 39

■吊りボルト

風が吹き付ける軒天井下地 …………… 46

■外壁下地①

外壁ユニットの横胴縁 …………… 51

■外壁下地②

外壁ユニットのファスナー …………… 56

■ガセットプレート、接合ボルト

接合ボルトで取り付けした片持ち梁の庇 …………… 61

■ブラケット、接合ボルト	
接合ボルトで取り付けた軒先のブラケット	68
■床補強材	
床開口部の蓋受け材	73
■溝蓋	
自動車が上を走る溝蓋	79
■サイン板の基礎	
自立する強化ガラスのサイン板	84
■吊り支柱	
天井吊りサインの下地	87
■モニュメントの柱	
丸パイプ4本の合成柱	94
■化粧壁を支える持出し材	
化粧壁を支える圧縮パイプ	101
■手摺①	
手摺を支える細い支柱	106
■手摺②	
手摺のU型アンカー	113
■吊り材	
天井を貫通する吊りパイプ	118
■治具	
クレーンで吊り上げる治具	122
おわりに	131
参考図書および文献	133

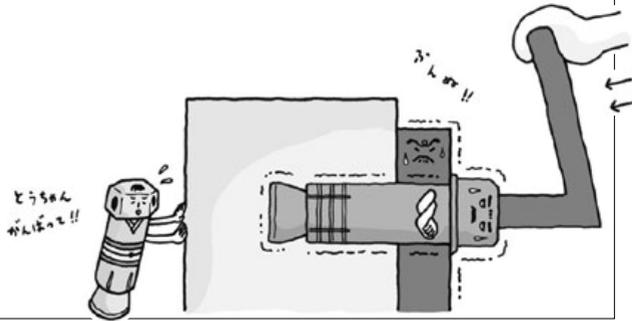
1

建築2次部材の 構造計算を 理解するための前準備

ベースプレートとアンカーボルト ①

あと施工アンカーで 取り付けた手摺

オフィスビルの
屋上パラベットの
手摺を取り付けます。
この手摺は
どのようにすれば
“もつ”でしょうか？



▶ 概要

コンクリート打設後にあと施工アンカーで留めます。
1.2 × 6.5 × 15cmのスチール製ベースプレートにM12
のアンカーボルト2本で留めています。図1がその様
子で、このアンカー部分を計算します。

▶ 計算のポイント

手摺に働くのは人が押す力です。日本建築学会の指
針によれば、2人で押す力を約150kgとしています。
人が押しくら饅頭のように押し寄せる場所でなければ
これで十分でしょう。また、日本金属工業協同組合
の指針では1人が力いっぱい押す、または4人並んで
押す力を1,500N/mとし、それは公共施設の通路およ
び大規模オフィスの避難経路を適用用途としています。
これらの指針から支柱に働く荷重を1,500N/mと想定
します。

次に計算する部位と手順を決めます。ここではどう



パラベットに取り付く手摺

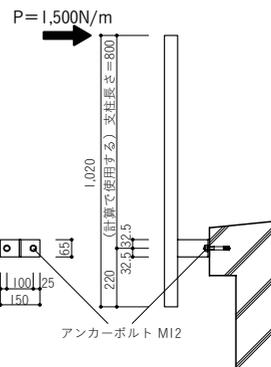


図1

破壊されるかを知ることが必要です。アンカーボルト
が、人が押す力に負けて抜け落ちる、せん断力によ
って切断される、アンカーボルトが引っ張られて周辺の
コンクリートが破断する、の三つを考えます。せん断
力はボルト軸に垂直に働く力で、今回の状況ではほと
んど考えられませんが除外します。

次にベースプレートです。アンカーが絶対に抜け落
ちないとすれば、そこを基点にプレートが折れ曲がる
可能性があります。これらを考慮して、計算項目は以
下の三つとします。

- 1 | アンカーボルトは引き抜かれないか？
- 2 | コンクリートは破断しないか？
- 3 | ベースプレートは曲がらないか？

▶ 条件の整理

- ☆ (計算で使用する) 支柱長さ $L = 80\text{cm}$
 - ☆ 支柱ピッチ 90cm
 - ☆ ベースプレート $1.2 \times 6.5 \times 15\text{cm}$
 - ★ $P = 1,500\text{N/m}$
 - ★ 水平荷重 $1,500\text{N/m} \times 0.9\text{m} = 1,350\text{N}$
 - ◎ ヤング係数 $E = 20,500,000\text{N/cm}^2$
 - ◎ 構造用鋼材の許容曲げ応力度 $f_b = 23,500\text{N/cm}^2$
(短期)
 - アンカーボルト M12 の許容引張力 $T = 13,140\text{N}$
(メーカー報告値)
- ヤング係数はこの節では使いませんが、上記は、毎
回羅列するのがお約束です。

1 | アンカーボルトは引き抜かれないか？

▶ STEP 1 力学の計算

引抜力は、つり合いの計算で求めます (図2)。つ
り合いの計算は動かない点を見ることがポイントとな

ここに挙げた数値は三つの根拠に分
類できます。普段意識することはない
のですが、押さえておく頭の整理
に非常に役立ちます。
☆は物件固有の寸法です。★の根
拠は、日本建築学会による指針を基
にしています。手摺を押す力はほか
にも複数の指針があり、状況により
採用する指針を決めています。◎の
根拠は日本建築学会の『鋼構造設
計規準—許容応力度設計法』です。
建築で扱う数値は多岐にわたります
ので、法の定めのないものはここから
引用するのが一般的でしょう。
経験上、引用する数値の根拠を自
覚することは結果の自信に直結しま
す。今後このほかにも重要な根拠が
登場します。

ります。荷重は支柱の先端に水平に働きます。そのときアンカー部には図3の力が働きます。図3のB点はアンカーの位置、A点はベースプレートの上端です。手摺の先端に荷重Pが働くと、A点を支点にしてB点にボルトを引き抜く力Qが働きます。

図4のA点は動かないので、この点でのモーメントのつり合いを考えます。図3のQと図4のQhは方向が反対で大きさは同じです。Qはボルトを引っ張る力で、Qhはそれに耐える力（応力）です。A点には、支柱先端の水平荷重Pにその距離をかけたモーメント(PM)が働き、それに対してB点にはQhによるモーメント(QM)が働き、つり合います。その様子を式で表すと下式になります。

QM = PM より、

$$Qh \times 3.25\text{cm} = P \times 76.75\text{cm}$$

この式を整理すると

$$Qh = P \times \frac{76.75\text{cm}}{3.25\text{cm}}$$

となり、アンカーボルトに必要な引張耐力がわかります。

[アンカー引抜力を求める]

$$Q = 1,350\text{N} \times \frac{76.75\text{cm}}{3.25\text{cm}} = 31,880.77\text{N}$$

STEP 2 比較

引抜力がアンカーボルトの許容耐力より小さければ、手摺は“もつ”ことになります。

ここで四つ目の数値区分が登場します。試験値です。

アンカーボルトはM12、埋込み深さ4.5cm以上とします。その耐力はメーカー試験結果により引張耐力95%、信頼下限値13,140Nと報告されています。個

つり合いとはシーソーの関係をいいます。図の支点Aは、距離bに働く荷重Pによりねじられ、このままでは右に傾きます。このときのねじる力をモーメントと呼び、その大きさはP×b(力×距離)で表します。ここで、Qh×a=P×bであれば左右のモーメントはつり合い、シーソーは動くことはありません。

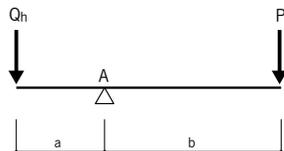


図2

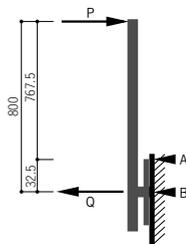


図3

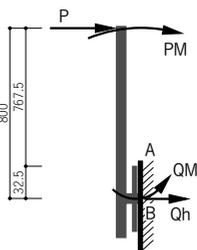


図4

別の部品強度はメーカーの報告を採用するのが安心です。

アンカーは2本であるから、

$$\begin{aligned} \text{アンカーの許容引張力 } T &= 13,140\text{N} \times 2\text{本} \\ &= 26,280\text{N} \end{aligned}$$

$$31,880.77\text{N} > 26,280\text{N}$$

上記の比較より、アンカー許容耐力が引抜力を下回るためOUTとなります。

STEP 3 判定

この結果を受けてSTEP1の引抜力の計算式に注目します。この式の分母を大きくすれば引抜力は小さくなるのがわかりますので、ベースプレートの縦寸法を大きくして再計算します。

再計算 1 | アンカーボルトは引き抜かれないか?

STEP 1 力学の計算

先の計算では $\frac{31,880.77}{26,280} = 1.21$ となり、2割ほど

OUTとなりました。そこで今回はベースプレートの縦寸法を6.5cmから10cmへと5割ほど大きく変更します(図5)。

[アンカーの引抜力を求める]

$$Q = 1,350\text{N} \times \frac{75\text{cm}}{5\text{cm}} = 20,250\text{N}$$

STEP 2 比較

アンカーは2本であるから、

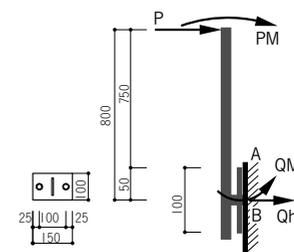


図5

アンカーの許容引張力 $T = 13,140\text{N} \times 2\text{本}$
 $= 26,280\text{N}$

$20,250\text{N} < 26,280\text{N}$

上記の比較により、アンカーの許容耐力が引抜力を上回るためOKとなります。

▶ **STEP 3 判定**

上記の比較式を分数で表すと、1より小さいので許容耐力に余裕があるとわかります。

$\frac{20,250\text{N}}{26,280\text{N}} = 0.77 < 1.0$

2 | コンクリートは破断しないか？

▶ **STEP 1 力学の計算**

庭の雑草を抜こうとしたら、根に絡んだ土ごとごとそり抜けて尻もちをついた経験はないでしょうか？
 同じように、アンカーが健全でもコンクリートごとごとそり抜けてしまったら、それは絶望的な光景です。
 日本建築学会では、各種合成構造設計指針の中で、そんな悪夢を見ないための計算を示しています。図6のコーン形状を計算の基準とします。

[コンクリート破断による許容強度を求める]

許容引張力 $T = \frac{2}{3} \times 0.75 \times 0.31\sqrt{F_c} \times \text{有効水平投影面積}$

$F_c = 24\text{N/mm}^2$

有効水平投影面積 = $28,528.79\text{mm}^2$ より、

許容引張力 $T = \frac{2}{3} \times 0.75 \times 0.31\sqrt{24} \times 28,528.79$
 $= 21,663\text{N}$

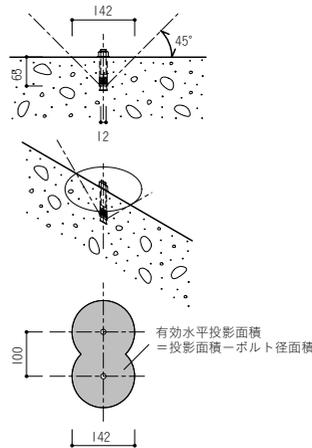


図6

$\frac{2}{3}$ は低減率と呼ばれる数値で、長期荷重用=1.0、短期荷重用= $\frac{2}{3}$ です。
 0.75は施工のバラツキによる低減率です。0.31 $\sqrt{F_c}$ はコーン状破壊に対するコンクリート強度で、 F_c はコンクリート設計基準強度24N/mm²。有効水平投影面積は図のアミガケ部分です。円の重複部分は除外します。この面積は埋込み深さが大きいほど大きくなります。

▶ **STEP 2 比較**

[アンカー引抜力 (アンカーボルト2本分)]

$Q = 1,350\text{N} \times \frac{75\text{cm}}{5\text{cm}} = 20,250\text{N} < T = 21,663\text{N}$

上記の比較により、アンカー許容耐力が引抜力を上回るためOKとなります。

▶ **STEP 3 判定**

上記の比較式を分数で表すと、1より小さいのでもちます。

$\frac{20,250\text{N}}{21,663\text{N}} = 0.94 < 1.0$

もう少し余裕をもつためには、埋込み深さを深くすればより安全です。

3 | ベースプレートは曲がらないか？

▶ **STEP 1 力学の計算**

アンカーボルトは2本ですが、片方の1本を計算します。図7の断面図を見てください。変更したベースプレートで計算します。ベースプレートにはアンカーボルトの位置で引張力Qが、端を支点に曲げモーメントが働きます。断面図の三角形はベースプレートに働くモーメントを示しています。

次に平面図ではベースプレートが荷重に対し有効に働く範囲をアミガケで示しています。ボルト芯から左右45度ずつの扇形の範囲です。ここでは材端で幅7.5cmとなりました。

[アンカー引抜力を求める (アンカーボルト1本分)]

$Q = 1,350\text{N} \times \frac{75\text{cm}}{5\text{cm}} \div 2\text{本} = 10,125\text{N}$

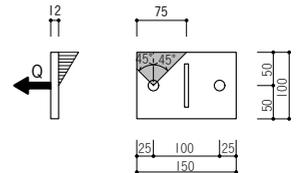


図7

扇形の角度は安全を考慮してもっと小さくとも考えられますが、構造材ではないこともあり、ここでは45度を採用しています。

[ベースプレートに働くモーメントを求める]

モーメントが最大となるベースプレート端で計算します。

$$M = 10,125\text{N} \times 5\text{cm} = 50,625\text{Ncm}$$

[ベースプレートの断面係数を求める]

矩形の断面係数は、その断面寸法を横： b 、縦： h と

して $Z = \frac{bh^2}{6}$ で算出されます。

$$\text{断面係数 } Z = \frac{7.5\text{cm} \times (1.2\text{cm})^2}{6} = 1.8\text{cm}^3$$

[曲げ応力度を求める]

曲げ応力度は、 $\sigma = \frac{M}{Z}$ (M : モーメント、 Z : 断面係数) より計算します。

$$\sigma = \frac{50,625\text{Ncm}}{1.8\text{cm}^3} = 28,125\text{N/cm}^2$$

▶ STEP 2 比較

曲げ応力度 σ が鋼材の許容曲げ応力度 f_b を超えなければ“もつ”といえます。

$$\frac{28,125\text{N}}{23,500\text{N}} = 1.196 > 1.0$$

1を超えてしまったため、これももちません。

▶ STEP 3 判定

手順ではSTEPを戻って再計算するのですが、このまま簡単に確認してみましょう。

[ベースプレートの横寸法を20cmに広げ計算] (図8)

横寸法15cmのベースプレートではもたなかったのに、20cmのもので計算します。

$$\text{断面係数 } Z = \frac{10\text{cm} \times (1.2\text{cm})^2}{6} = 2.4\text{cm}^3$$

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{Z} = \frac{50,625\text{Ncm}}{2.4\text{cm}^3} \\ &= 21,093.75\text{N/cm}^2 < 23,500\text{N/cm}^2 \\ &= \frac{21,093.75}{23,500} = 0.9 < 1.0 \end{aligned}$$

1を下回ったため“もつ”となりますが、ほかにも適切な組合せがあるかもしれません。

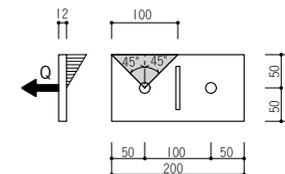


図8

鋼材の許容曲げ応力度（短期）は $23,500\text{N/cm}^2$ とします。建築基準法施行令の定めを根拠とし、日本建築学会の『鋼構造設計規準—許容応力度設計法』に記載されています。

・ベースプレートの厚さが1.6cmではどうでしょう。

$$\text{断面係数 } Z = \frac{7.5\text{cm} \times (1.6\text{cm})^2}{6} = 3.2\text{cm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{10,125\text{N} \times 5\text{cm}}{3.2\text{cm}^3} = 15,820\text{N/cm}^2$$

$$\frac{15,820\text{N}}{23,500\text{N}} = 0.673 < 1.0$$

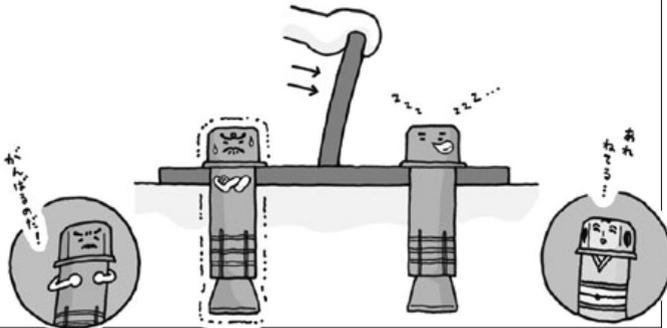
1を下回ったため“もつ”となりますが、1.6cmはちょっと厚いかもれません。



ベースプレートとアンカーボルト ②

4本のあと施工アンカーで 取り付けた手摺

アンカーボルトが4本の
手摺が“もつ”には、どう
考えれば良いでしょうか？



▶ 概要

高さ100cmの手摺に1,500Nの水平力が働きます。ベースプレートは1.2×26×26cm、アンカーボルトはあと施工アンカー4本とします(図1)。

▶ 計算のポイント

前節の例に倣ってアンカーボルト、コンクリート、ベースプレートを順に計算します。

水平力はベースプレートの端、図2のA点を基点に手摺を転倒させます。この動きには図2の下向き矢印b点のアンカーが抵抗します。b点には奥行き方向にもう1本アンカーボルトがあり、合計2本で抵抗します。そこでここでは、このb点の2本のアンカーボルトの引抜力を計算します。計算項目は、こちらも前節同様、以下の三つとします。

1 | アンカーボルトは引き抜かれないか？

2 | コンクリートは破断しないか？



4本のアンカーボルトで留めた手摺

3 | ベースプレートは曲がらないか？

▶ 条件の整理

支柱長さ $L = 100\text{cm}$

水平荷重 $P = 1,500\text{N/m}$

ヤング係数 $E = 20,500,000\text{N/cm}^2$

ベースプレート $\text{E-}1.2 \times 26 \times 26\text{cm}$

構造用鋼材の許容曲げ応力度 $f_b = 23,500\text{N/cm}^2$
(短期)

アンカーボルトM12の許容引張力 $T = 13,140\text{N}$
(メーカー報告値)

アンカーボルトの埋込み深さ 6.5cm

1 | アンカーボルトは引き抜かれないか？

▶ STEP 1 力学の計算

[アンカーの引抜力を求める(アンカー2本分)]

$$Q = 1,500\text{N} \times \frac{100\text{cm}}{21\text{cm}} = 7,142.86\text{N}$$

▶ STEP 2 比較

引抜力がアンカーボルトの許容耐力より小さければOKです。メーカーによる許容引張力は13,140Nです。

アンカーは2本であるから、

$$\begin{aligned} \text{アンカーの許容引張力 } T &= 13,140\text{N} \times 2\text{本} \\ &= 26,280\text{N} \end{aligned}$$

$$7,142.86\text{N} < 26,280\text{N}$$

上記の比較より、アンカーの許容耐力が引抜力を上回るためOKとなります。

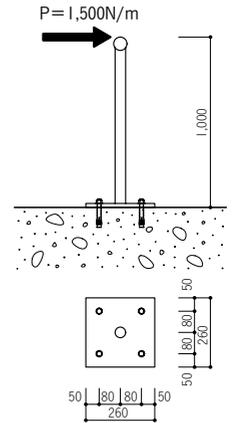


図1

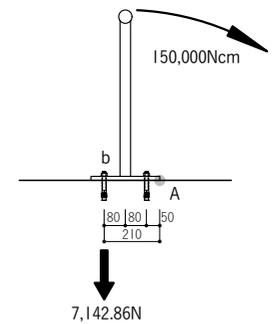


図2