

ゼロからはじめる

[RC+S構造]

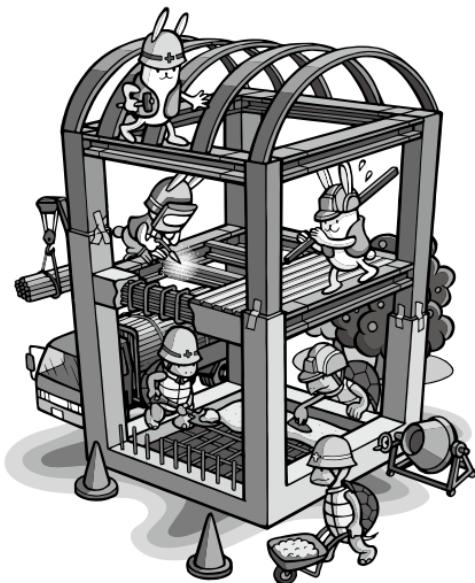
演習

原口秀昭著



ゼロからはじめる
[RC+S構造]
演習

原口秀昭著



彰国社

本書の文中に記載された略号

建築基準法：基準法
建設省告示：建告
国交省告示：国告
日本建築学会 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説：RC 規準
日本建築学会 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説：配筋指針
日本建築学会 壁式構造関係設計規準・同解説：壁規準
日本建築学会 鋼構造設計規準：鋼規準
日本建築学会 鋼構造設計規準－許容応力度設計法：鋼規準－許容
日本建築学会 鋼構造接合部設計指針：鋼接指針
国土交通省など 建築物の構造関係技術基準解説書：技術基準

構造でよく使う英単語・記号

compression：圧縮
tension：引張り
bending：曲げ
stress：応力、張力（を与える）
pre -：事前に
post -：事後に
yield：降伏
elasticity：弾性
plasticity：塑性
ultimate：終局の
allowance：許容
gross：全体
web：構造体の腹部
ratio：比
proportion：比
 σ （シグマ）：垂直応力度
 τ （タウ）：水平応力度（せん断応力度）
 ε （イプシロン）：ひずみ度（変形した長さ／元の長さ）
 θ （シータ）：たわみ角
 δ （デルタ）：変位、変形量

表丁=早瀬芳文
表画=内山良治
本文フォーマットデザイン=鈴木陽子

はじめに

構造力学から建築は遠いなー……

学生時代に授業をさぼっていた筆者が、卒業後にあせって入門書を読んでいたときに感じたことです。構造も勉強せねばと構造力学入門の類を読んでいたのですが、構造力学は抽象化された学問体系となっているため、建築自体からはほど遠いイメージがありました。もう少し建築に近い構造はないものかと。

今回は、RC 造、S 造の具体的な構造の勉強ができるように構成してみました。全体像を見るために各種の構造方式からはじめ、次に材料、構造各部の話へと進めました。わかりにくいとよく言われる保有水平耐力についても、盛り込みました。演習問題は主に、一級、二級建築士の過去問から採用しています。似たような設問を集め、選択肢は少なめに抑えて学習の便を図りました。重複する説明も、重要な事項はそのつど解説を繰り返しています。

すべてのページにイラストを付けること、難しい理屈も簡単にわかるようにイラスト化することを心がけました。とにかく、絵、図、マンガを徹底的に使うことにして、理屈から納得してもらえるように気を配りました。このシリーズは筆者が勤める女子大の学生に、苦手な分野を克服してもらおうとマンガを付けてブログ（<http://plaza.rakuten.co.jp/mikao/>）に載せたのが、そもそものはじまりです。本書で 11 冊目となり、各国で翻訳版も出版されています。

記憶術も各所に盛り込みました。壁構造の壁厚、壁量などの覚えにくいものも、今回、新たに記憶術をつくりてみました。規定値の数字には、参考資料や過去問によって若干の違いがあります。たとえば重ね継手は不可でガス圧接すべき鉄筋径は、日本建築学会の仕様書では D29 以上、建築士過去問では D35 以上とされています。このような場合には建築士受験生のために建築士過去問の数値を採用しています。また、今では不正確な用語とされている「突き合わせ溶接」は、「完全溶込み溶接」に直してあります。

おまえは図や絵を描くのが早いそうだから、図やイラストを多用した本を書くようにと学生時代にアドバイスしてくれたのは、恩師の鈴木博之氏でした。大学院時代に雑誌『都市住宅』の特集号を執筆したのが、物書き稼業のはじまりです。その後、仕事の合間を縫ってひたすら書き続けてきました。鈴木博之氏が最近他界され、手紙に書かれた励ましの言葉が筆者への遺言となっていました。世間の需要から構造の本が多

くなっていますが、筆者の興味はあくまで建築そのものにあります。今後も書き進めていきますので、皆様の勉強のお役に立てていただければ幸いです。

企画を立ててプレッシャーをかけ続けてくれた中神和彦さん、面倒な編集作業をしてくれた彰国社編集部の尾関恵さん、また多くのことを教えてくださった専門家の皆様、専門書の著者の皆様、ブログの読者の方々、質問を投げかけてくれた学生たちに、この場を借りてお礼申し上げます。本当にありがとうございました。

2014年10月

原口秀昭



もくじ

はじめに…3

CONTENTS

1 構造形式

RC ラーメン構造…8 RC 耐震壁付きラーメン構造…10 RC 壁式構造…12 PCa 壁式構造…14 プレストレス構造…16 S ラーメン構造…18 S ブレース付きラーメン構造…20 S 1方向ラーメン構造…22 SRC ラーメン構造…24 LCS 造…26 補強コンクリートブロック造…28 各種の構造…30

2 RC 造

セメント…32 コンクリートの乾燥収縮…38 スランプ…39 骨材…41 AE 剤…43 アルカリ量…45 塩化物イオン量…46 コンクリート関連の数字…47 早強セメント…48 混合セメント…49 コンクリート1m³の質量と重さ…50 ヤング係数…52 ひずみ度とせん断弾性係数…55 線膨張係数…56 コンクリートの強度…57 コンクリートの付着強度…67 鉄筋の強度…68

3 RC 造の梁

曲げ剛性…69 曲げ材の鉄筋とコンクリートの応力度…72 柱径、梁せいいと支点間距離…73 スリーブ…74 梁主筋の位置…75 ラーメンのM図…76 複筋梁…77 鉄筋の定着…78 柱梁の主筋量…82 引張り鉄筋比…83 梁の許容曲げモーメント…85 梁の鉄筋量…87 梁の終局曲げモーメント…88 梁の曲げ破壊…92 柱梁のせん断補強筋…93 柱梁の塑性ヒンジ…97

4 保有水平耐力

保有水平耐力…98 地震層せん断力係数 C_i …102 標準せん断力係数 C_o …103 地震力のかけ方…104 強度と韌性…105 構造特性係数 D_s …106 耐力壁のあるラーメンの保有水平耐力…110 形状係数 F_{es} と必要保有水平耐力…112 耐震計算ルート…114 耐震規定の歴史…116

5 RC 造の柱

クリープ…118 かぶり部分の圧縮力…119 柱隅角部の鉄筋…120 柱梁主筋のフック…121 柱の圧縮力と脆性破壊…122 内柱と外柱…123 柱のせん断強度…124 短柱破壊…125 ピロティの強度、剛性…126 帯筋・あばら筋…127 柱の応力計算 その1…139 柱梁主筋量の決め方…144

6 RC 造のスラブと壁

スラブ…146 構造体の太さ、厚さ…149 耐力壁…151 構造体の鉄筋量…163 鉄筋の継手…166

7 ひび割れ

コンクリートのひび割れ…168

8 RC壁式構造

RC壁式構造の規準…174 RC壁式構造の韌性…175 耐力壁の長さ・開口…176 壁量・壁厚の規準…180 耐力壁の鉄筋…182 壁梁の主筋…184

9 鋼材

鋼の含有物…185 鋼の強度と温度…187 温度、炭素量との関係…190 鋼の硬さと引張り強さ…191 鋼の応力度とひずみ度…192 鋼材の種類…196 基準強度 F …206 SUS304A…211 アルミニウム…215

10 接合

高力ボルト接合…217 高力ボルトと溶接の併用継手…232 普通ボルト接合の注意点…233

11 溶接

溶接継目の3形式…234 エンドタブ、裏はつり…235 溶接金属、溶着金属、熱影響部…236 溶接記号…237 まわし溶接…238 ショートビード…239 パス間温度…240 予熱…241 溶接不良と探傷試験…242 溶接に関する寸法…243 溶接にかかる応力…246 接合部の応力…251

12 S造の接合部

ダイヤフラムの形式…252 柱梁接合部の溶接…253 柱梁接合部の降伏…258 筋かいの保有耐力接合…260 スカラップ…261 エンドタブの組立て溶接…263 柱梁の継手…264

13 板

幅圧比…267 局部座屈とスチフナー…272

14 S造の柱と梁

有効細長比 λ …273 柱の座屈長さ ℓ_k …277 柱の許容応力度…278 梁せい／スパン…279 柱の細長さ、梁の太さ…280 横座屈…281 山形鋼の有効断面積…289 柱脚…290

15 暗記する数字

暗記する数字…298

ゼロからはじめる

[RC+S構造]演習

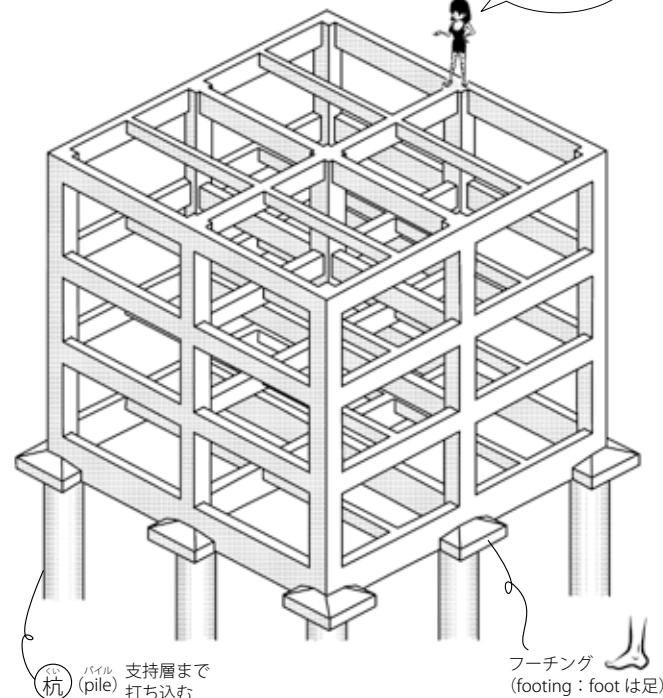
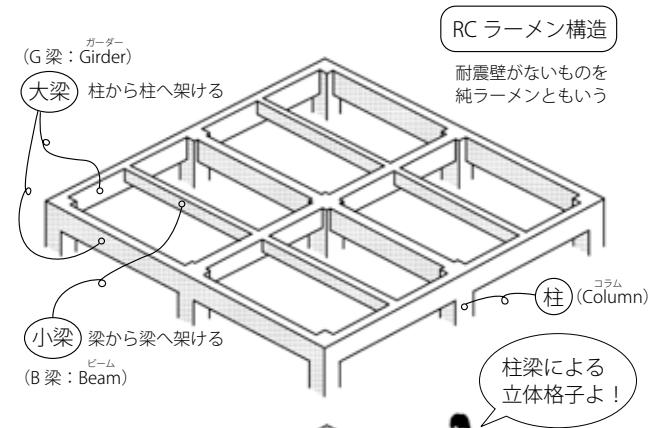
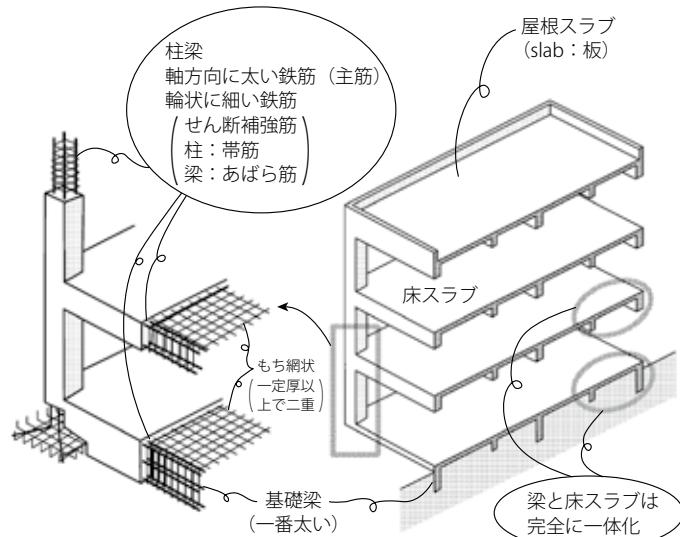
Q RC ラーメン構造とは？

▲ A 鉄筋コンクリートの柱と梁を剛に接合して組み立てる構造です。

RC とは Reinforced Concrete の略で、直訳すると補強されたコンクリートとなります。コンクリートは引張りに対して非常に弱く、すぐに割れてしまいます。そこで鉄筋で補強する鉄筋コンクリートが、19世紀半ばに考案され、現在では大々的に使われています。

ラーメン (Rahmen) とはドイツ語で骨組という意味ですが、建築でラーメンというと、柱梁を直角に固定して (剛 (ごう) 節点として)、それによるフレームだけでもたせる構造です。耐震壁のないラーメンを、純ラーメンと区別していることもあります。

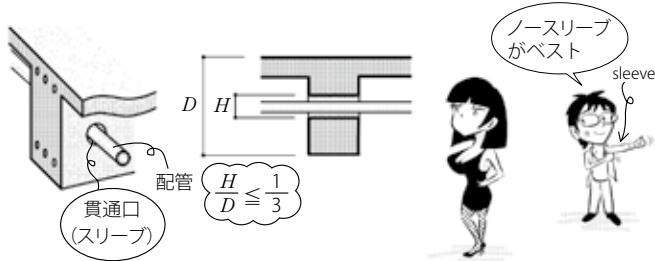
ラーメンはテーブルにたとえるとわかりやすくなります。足(柱)と横棒(梁)で直角を保ち、その上に板(床スラブ)を載せます。横棒を省いて板に直接足を付けると、直角を維持できずに、グラついてしまいます。実際のラーメンでは足元(柱脚)にも太い横棒(基礎梁)を付け、板(床スラブ)と横棒(梁)は完全に一体化しています。



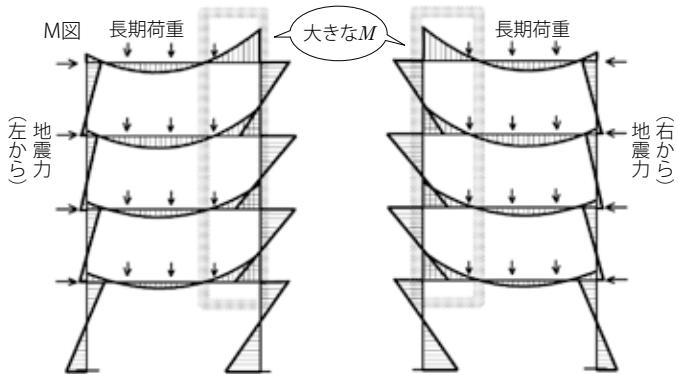
Q 鉄筋コンクリート構造において、

1. 梁に設ける設備用の円形貫通孔の径は、梁せいの1/2とする。
2. 梁に貫通孔を設ける場合には、柱には近接しない方がよい。
3. 梁の地震時応力は材端部で大きくなるので、貫通孔を設ける場合、材端より材中央に設ける方が、梁の韌（じん）性の低下は少ない。

A 貫通孔はスリーブ（sleeve：袖）ともいい、梁、壁に設ける際には位置、大きさ、補強に注意が必要です。直径は梁せいの1/3以下とされています（RC規準解説部 1は×）。

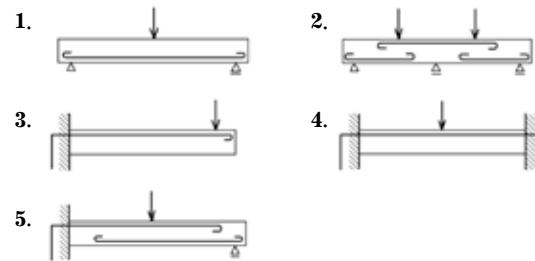


短期（非常時）にかかる地震力によって、梁の端部に大きなモーメント M が生じます。長期（常時）の鉛直荷重による M と足されて、端部の M はさらに大きくなります。せん断力 Q は M の傾き ($Q = \frac{dM}{dx}$) なので、 Q も端部で大きくなります。スリーブは応力の大きな端部を避けて設けなければなりません（2、3は○）。

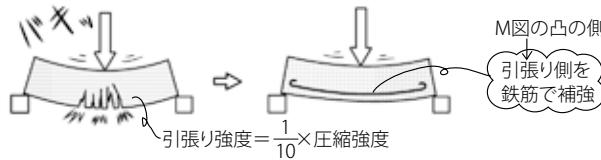


答え ▶ 1.× 2.○ 3.○

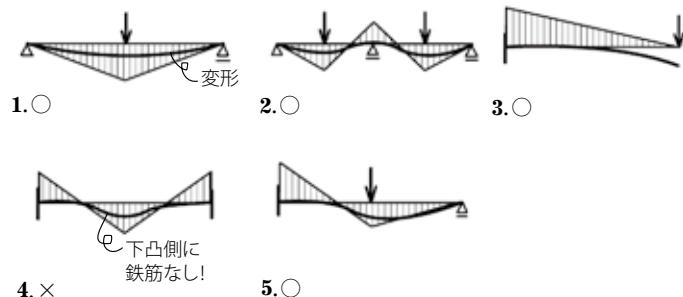
Q 図のような荷重を受ける鉄筋コンクリート構造の梁における主筋の位置のうち、最も不適当なものはどれか。



A コンクリートの引張り強度は圧縮強度の1/10しかありません。引張り側を鉄筋で補強しないと、梁はすぐに割れてしまいます。鋼の強度は、圧縮も引張りも同じで、コンクリートの圧縮強度の約15倍あります。梁の軸方向に入れる主筋は引張りの補強ですが、圧縮にも効いています。



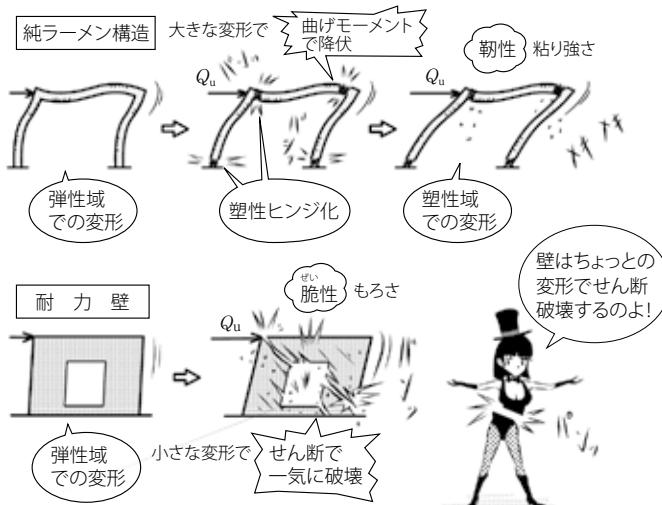
梁のM図と変形の形を考えて、M図の側、凸の側に鉄筋を入れます。実際の梁は左右から地震や風の水平力もかかるので、凸の側が上下に移り、そのため主筋も上下に通しで入れます（複筋梁）。



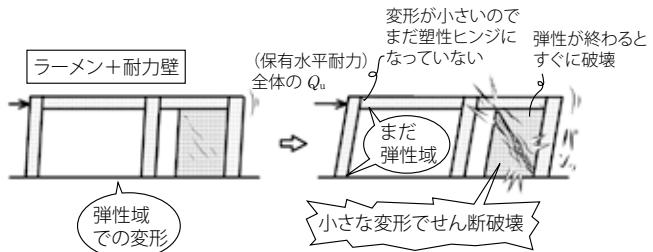
答え ▶ 4

Q 「曲げ降伏型の柱・梁部材」と「せん断破壊型の耐力壁」により構成された鉄筋コンクリート構造の建築物の保有水平耐力は、それぞれの終局強度から求められる水平せん断力の和とすることができます。

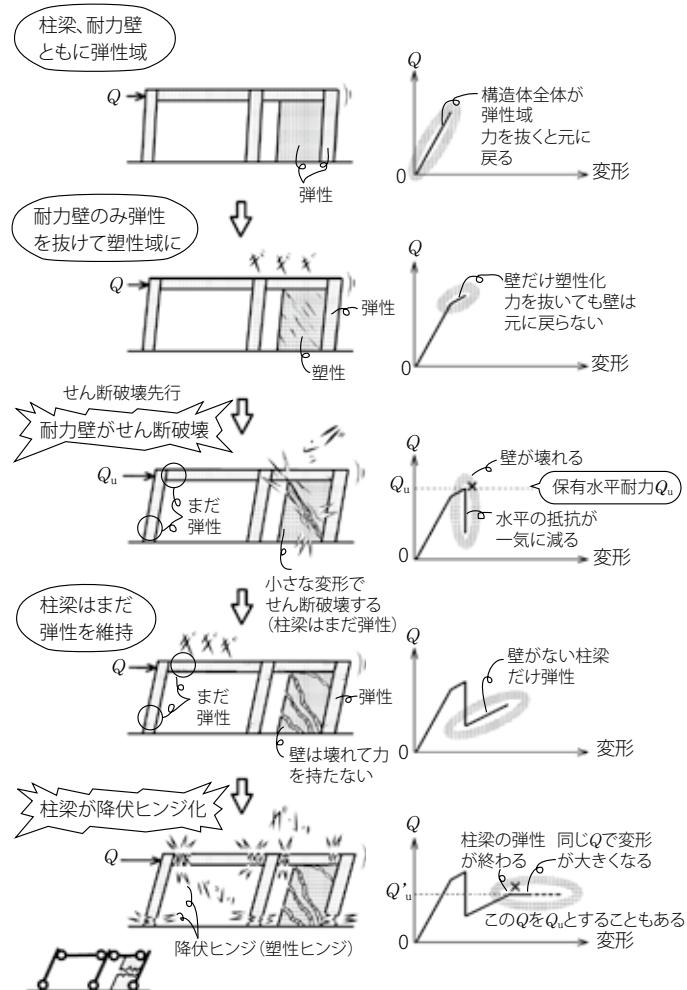
A 柱梁のみの純ラーメンは、大きな変形で曲げ降伏して、塑性ヒンジとなつてゆっくりと粘り強く倒壊します。一方、耐力壁は少しの変形で、せん断破壊し、一気に壊れます。



耐力壁をもつラーメンには、柱梁が曲げ降伏する前に耐力壁がせん断破壊するせん断破壊先行型があります。同時に壊れるわけではないので、純ラーメンの Q_u と耐力壁の Q_u の足し算で全体の Q_u (終局での水平力=保有水平耐力) を計算することはできません (答えは×)。



耐力壁付きラーメンの水平力 Q と変形の関係をまとめてみます。中高層で耐力壁のせん断破壊(脆(ぜい)性破壊)が先行せずに、回転して曲げ降伏、降伏ヒンジ化する場合は下のようにはなりません。



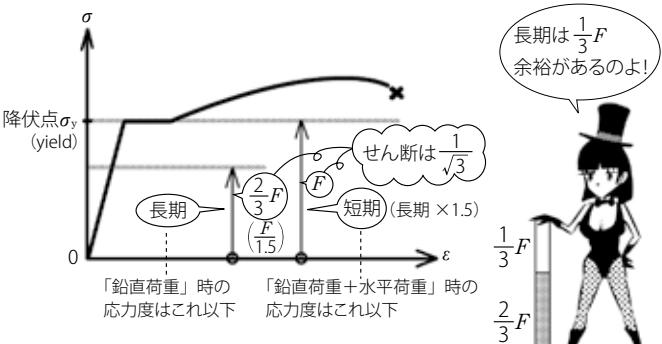
• わかりやすいように1層の耐力壁付きラーメンとしましたが、実際は31mを超えるケースで保有水平耐力を計算します。

答え ▶ ×

Q 1. 鋼材の長期許容応力度は、基準強度Fに基づいて、圧縮、引張り、曲げは $\frac{F}{1.5}$ 、せん断は $\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ である。
 2. 鋼材の長期許容せん断応力度は、長期許容引張り応力度の $1/\sqrt{3}$ である。
 3. SN400の短期許容応力度は、長期許容応力度の2倍である。

A 構造計算で出た各部の応力度は許容応力度以下としなければなりません。鋼は圧縮も引張りも、まったく同じ σ – ε のグラフとなるので、許容応力度も同じです。曲げモーメントは、圧縮、引張りの応力度に分解されるので、曲げ応力度は圧縮、引張りと同じになります。せん断だけは断面に沿った異種の応力なので、他の応力度に $\frac{1}{\sqrt{3}}$ をかけたものとされています。鉛直荷重（長期荷重）のみの場合の $\frac{F}{1.5}$ ($= \frac{2}{3}F$) は、 $\frac{1}{3}F$ 分は F ($\div \sigma_y$) から余裕を持たせていることになります。一方鉛直荷重プラス水平荷重の場合は F となり、降伏点 σ_y （または、引張り強さ $\times 0.7$ ）目いっぱいになります。

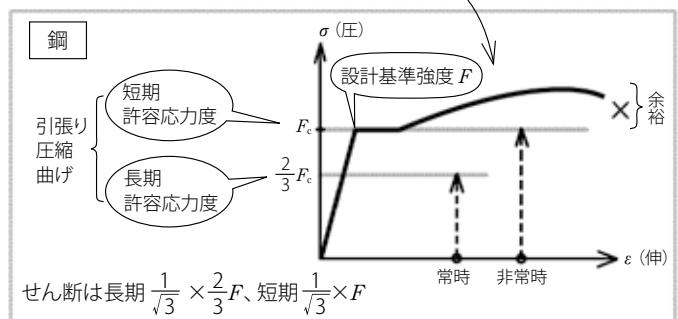
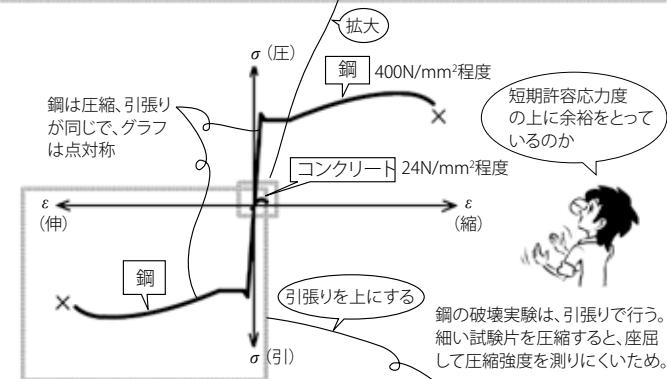
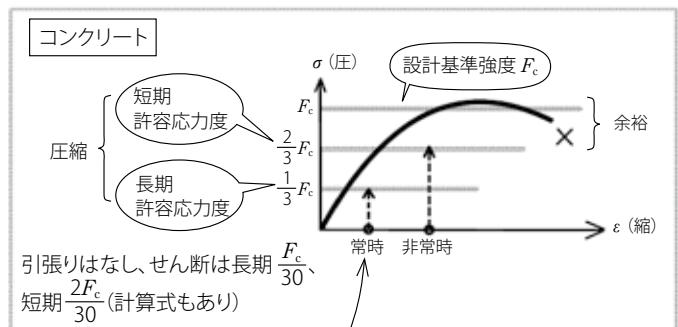
長期許容応力度				短期許容応力度			
圧縮	引張り	曲げ	せん断	圧縮	引張り	曲げ	せん断
F 1.5	F 1.5	F 1.5	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$				長期の 1.5 倍



スーパー記憶術

長期間イ一子でも 専断すると惨になる
 $1.5 \left(\frac{1}{1.5} \right)$ せん断 ルート $\sqrt{3} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right)$

答え ▶ 1.○ 2.○ 3.×



Q	A
比重 コンクリート 鉄筋コンクリート 鋼	2.3 2.4 【RCは西(西洋)から来た】 7.85 【ナンパで難の鉄の女】 $\frac{2.4}{7.85} = \frac{2}{5}$
コンクリートの圧縮強度 約 SN400 の 引張り、圧縮強度 降伏点 SN490 の 引張り、圧縮強度 降伏点	24 (N/mm ²) 【RCは西(西洋)から来た】 σ (圧) 400 (N/mm ²) 235 (N/mm ²) 490 (N/mm ²) 325 (N/mm ²) 0 コンクリート 【トラック一回、兄さんGO!】 400m $\frac{2}{5} = \frac{2}{5}$
コンクリート 長期許容応力度 () F_c 短期許容応力度 () F_c 鋼 長期許容応力度 () F 短期許容応力度 () F (F_c, F : 設計基準強度)	$\frac{1}{3} F_c$ $\frac{2}{3} F_c$ σ (圧) $\frac{2}{3} F_c$ $\frac{1}{3} F_c$ σ (引) $\frac{2}{3} F$ F $\frac{2}{3} F$ コンクリート 鋼 曲
鋼のせん断 における 長期許容応力度 () F 短期許容応力度 () F	$\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2}{3} F$ 【長期間イ一子でも $\frac{1}{\sqrt{3}} F$ 専断すると惨になる】 せん断 ルート 3
ヤング係数 E 鋼 コンクリート	2.05 × 10⁵ (N/mm ²) 2.1 × 10⁴ (N/mm ²) 0 σ ε 【RC】 【鋼】 【コンクリート】

【】内スーパー記憶術

Q	A
コンクリート、鋼の せん断弾性係数 $G = () E$	$G = 0.4 E$ 【おしりがやぶれる】 $\frac{0.4}{0.4} = 1$ せん断
ボアソン比 $\nu = \frac{\epsilon'}{\epsilon} = \frac{1}{3}$ $\epsilon = \frac{4\ell}{\ell}$ 縦ひずみ度 $\epsilon' = \frac{4d}{d}$ 横ひずみ度	0.2 【鬼のお産で腹が出る】 0.3 d () ℓ
コンクリート、鋼の 線膨張係数 $\frac{4\ell}{\ell}$	1 × 10⁻⁵ 【羨望の舞子娘】 線膨張 マイナス 5乗
アルミニウム 比重 鋼の()倍 E 鋼の()倍 線膨張係数 鋼の()倍	$\frac{1}{3}$ 倾き $E = 2.05 \times 10^5$ 【鋼】 $\frac{1}{3}$ 倾き $E = 0.7 \times 10^5$ 【アルミ】 $\frac{2}{3}$ 倾き $E = 2.3 \times 10^{-5}$ 【アルミ】 $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{3}$ 分の1
S造の梁 $\frac{D}{\ell} > \frac{1}{()}$ 木造の梁 $\frac{D}{\ell} > \frac{1}{()}$ RC造の梁 $\frac{D}{\ell} > \frac{1}{()}$	1/15 【純(な)子もH!】 1/12 1/10 【遠いスパンを架け渡す】 梁せい D 有効長さ ℓ (RC規準では $\frac{D}{\ell} \geq \frac{1}{10}$)
有効細長比 $\lambda = \frac{(\)}{(\)}$	座屈長さ ℓ_k $= \frac{\ell_k}{\sqrt{\frac{I}{A}}}$ 断面2次半径 i 【やせたラクダ】 細長比 ラムダ 【ラクダは2時半に昼寝する】 λ 2次半径 分の 座屈長さ

【】内スーパー記憶術