

# 複鉄筋矩形 RC 断面の照査用エクセルマクロに関して

日中構造研究所 松原勝己

同上 朴 永軍

## 0. はじめに

RC 構造物を梁要素でモデル化した際の地震時応答値に基づき、RC 断面に対する曲げおよびせん断照査を行うエクセルマクロを作成しました。使用する地震時応答値としては、汎用構造解析ソフト TDAPⅢの動的解析結果（時刻歴波形）を想定し、曲率やせん断力などの応答時刻歴の最大値を照査の対象としています。また、梁要素の RC 断面は、複鉄筋の矩形断面を仮定しています。以下では、マクロで適用した照査方法やデータ入力方法の説明を行います。

エクセルファイルを掲載しているもので、自由に使用していただいて結構ですが、結果の妥当性判断は使用者に委ねるものとします。また、ソースコードも公開しています。

## 1. 照査方法の概要

本マクロにおける RC 断面照査の方法は、「公益社団法人 日本水道協会 水道施設耐震工法指針・解説 2022 年版」を参照した。照査方法の概要を、以下に示す。

### (1)L1 照査

L1 地震動による応答値（曲率、曲げモーメント、軸力、せん断力）に基づき、曲げ（曲率）およびせん断照査を行う。具体的な評価方法は、以下によった。

曲げ（曲率）照査：梁要素の応答曲率が降伏曲率を上回らないとき、OK とする。

せん断照査：梁要素のせん断力がせん断耐力を上回らないとき、OK とする。ただし、せん断耐力の算出には、全ての安全係数を 1.0 とする。

### (2)L2 照査

L2 地震動による応答値（曲率、曲げモーメント、軸力、せん断力）に基づき、曲げ（曲率）およびせん断照査を行う。具体的な評価方法は、以下によった。

曲げ（曲率）照査：梁要素の応答曲率が終局曲率を上回らないとき、OK とする。

せん断照査：梁要素のせん断力がせん断耐力を上回らないとき、OK とする。このとき、安全係数として、コンクリート材料係数  $\gamma_{mc}=1.3$ 、コンクリート部材係数  $\gamma_{bc}=1.3$  および鉄筋部材係数  $\gamma_{bs}=1.15$  を考慮する。

### (3)許容応力度照査

本マクロでは、許容応力度法による断面照査も実施している。通例 L1 地震動に対する照査方法として採用されるものであるが、本マクロでは L1 照査は上記の通り、曲げに対しては降伏照査を、せん断に対してはせん断耐力による照査を採用している。許容応力度照査を付加したのは、水道施設耐震工法指針・解説において、L2 せん断照査により NG が発生した場合、部材が弾性範囲内という条件において、許容応力度照査の適用が許容されていることを参照したものである。具体的な評価方法は、以下によった。

曲げ照査：RC 断面のコンクリート圧縮応力度がコンクリート圧縮許容応力度を上回らないこと、かつ鉄筋引張応力度が鉄筋許容応力度を上回らないとき、OK とする。

せん断照査：RC 断面のせん断応力度が許容せん断応力度を上回らないとき、OK とする。また、せん断応力度が許容せん断応力度を上回っても、せん断補強筋量が必要せん断補強筋量よりも大きいとき、OK とする。

## 2. 限界値の算出方法

### 2.1 終局曲げモーメント（終局曲率）

#### 2.1.1 解析式の誘導

終局曲げモーメントを算出するにあたり、以下の仮定を設ける。

- ① 複鉄筋の矩形断面を仮定する。
- ② 断面内のひずみ分布は、直線分布を仮定する。
- ③ コンクリート圧縮側の応力ひずみ関係を非線形（放物線型）とする（下図参照）。
- ④ 終局時にはコンクリート圧縮縁がちょうど限界ひずみ  $\epsilon_{cu}' (=0.0035)$  に達しているものとする。
- ⑤ コンクリート引張応力は無視する。
- ⑥ 引張鉄筋は降伏しているものとする。すなわち、引張鉄筋降伏前に圧縮限界ひずみに達する破壊モードは考慮しないこととする。
- ⑦ 軸力は断面図心位置に作用するものと仮定する。

以下では、(i) 圧縮側鉄筋が未降伏の場合、(ii) 圧縮側鉄筋が圧縮降伏する場合、および (iii) 圧縮側鉄筋が引張降伏する場合の 3 つのモードに対し、終局曲げモーメントを算出する。

(i) 圧縮側鉄筋が未降伏の場合

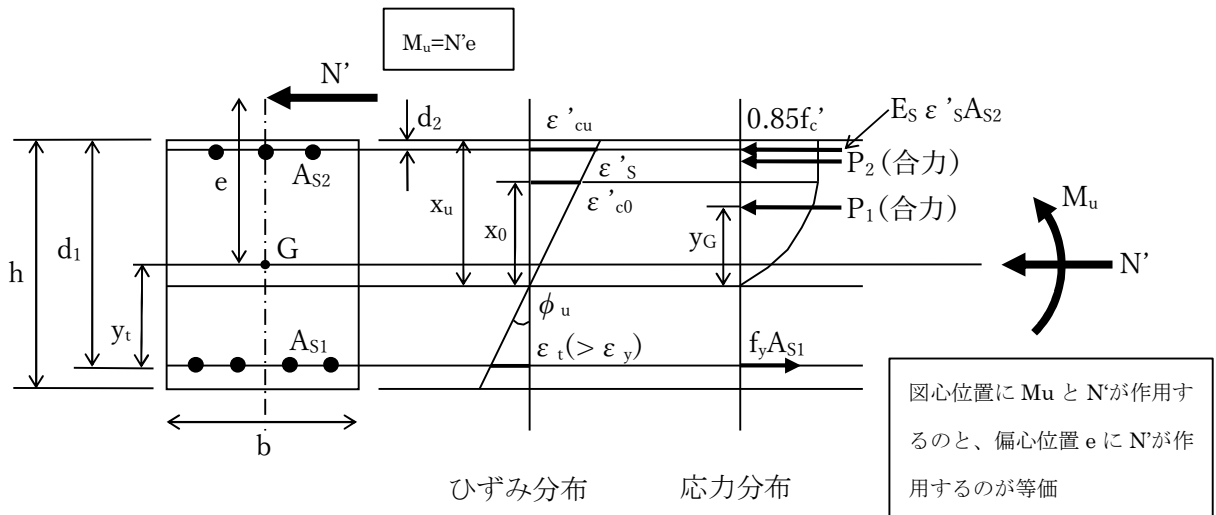


図 2.1-1 終局曲げモーメント算出時の断面仮定

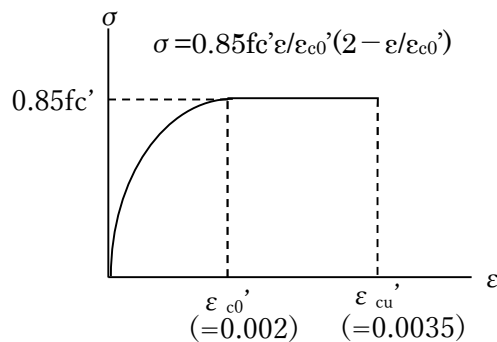


図 2.1-2 コンクリート応力-ひずみ関係（圧縮側）

### 【記号の説明】

$h$  : 部材高さ (m)

$d_1$  : 有効高さ (m)

$b$  : 部材幅 (m)

$y_t$  : 引張鉄筋位置から断面図心位置までの距離 (m)

$d_2$  : 圧縮鉄筋のかぶり (圧縮縁から圧縮鉄筋位置までの距離) (m)

$A_{s1}$  : 引張鉄筋断面積 (m<sup>2</sup>)

$A_{s2}$  : 圧縮鉄筋断面積 (m<sup>2</sup>)

$N'$  : 軸力 (圧縮を正) (kN)

$e$  : 軸力の偏心量 (曲げモーメントを  $M$  として、 $M=N'e$ ) (m)

$x_u$  : 終局時の中立軸位置 (圧縮縁から中立軸までの距離) (m)

$x_0$  : 中立軸からコンクリートひずみが  $\epsilon'_{c0}$  ( $=0.002$ ) になる位置までの距離 (m)

$\epsilon'_{c0}$  : コンクリート応力ひずみ関係において、圧縮応力が  $0.85f'_c$  に達したときのひずみ (無次元)

$f'_c$  : コンクリート強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$\epsilon'_{cu}$  : コンクリートの限界ひずみ ( $=0.0035$ ) (無次元)

$\epsilon'_s$  : 圧縮鉄筋のひずみ (圧縮を正) (無次元)

$\epsilon_t$  : 引張鉄筋のひずみ (無次元)

$\phi_u$  : 終局時の曲率 (1/m)

$f_y$  : 鉄筋降伏強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$E_s$  : 鉄筋ヤング係数 (kN/m<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートヤング係数 (kN/m<sup>2</sup>)

$P_1$  : コンクリート圧縮力のうち、中立軸からひずみ  $\epsilon'_{c0}$  に達する位置までの圧縮応力の合力 (kN)

$P_2$  : コンクリート圧縮力のうち、ひずみが  $\epsilon'_{c0}$  に達した位置から圧縮縁までの圧縮応力の合力 (kN)

$y_G$  : 中立軸位置から  $P_1$  までの距離 (m)

終局曲げモーメントを算出するために、上記の仮定のもとに、①部材軸方向の力の釣り合い式 (コンクリート圧縮応力、圧縮鉄筋圧縮応力、引張鉄筋引張応力および軸力の釣り合い) と②引張鉄筋位置周りのモーメントの釣り合い式 (コンクリート圧縮応力のモーメント、圧縮鉄筋応力のモーメント、曲げモーメントおよび軸力のモーメントの釣り合い) を立式する。そして、前者の①より中立軸位置を算出し、後者の②より終局曲げモーメントを求めることになる。

以下で、終局曲げモーメントの具体的な解析式の誘導を行う。

中立軸位置から、圧縮ひずみ  $\epsilon'_{c0}$  ( $=0.002$ ) となる位置までの距離  $x_0$  は、次式で表される。

$$x_0 = \frac{\epsilon'_{c0}}{\epsilon'_{cu}} x_u \quad (1)$$

また、圧縮鉄筋のひずみ  $\epsilon'_s$  は、次式で表される。

$$\epsilon'_s = \frac{x_u - d_2}{x_u} \epsilon'_{cu} \quad (2)$$

部材軸 (水平) 方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 + E_s \epsilon'_s A_{s2} - f_y A_{s1} \quad (3)$$

ここに、 $P_1$ および $P_2$ は、それぞれ、応力値が $0.85f'_c$ を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が $0.85f'_c$ に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 $P_1$ は中立軸から $x_0$ までの距離の区間の圧縮応力に、 $P_2$ は中立軸から $x_0$ 離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(3)に、上記の式(1)および(2)と「補足資料」の式(補 2)を用い、両辺を $0.85f'_c b d_1^2$ で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ $k_u$ に関する2次方程式として、次式が得られる。

$$(3 - \beta)k_u^2 + 3(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}')k_u - 3\delta\psi_2\gamma = 0 \quad (4)$$

式(4)を $k_u$ に関して解けば、次式を得る。

$$k_u = \frac{-3(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}') + \sqrt{9(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}')^2 + 12(3 - \beta)\delta\psi_2\gamma}}{2(3 - \beta)} \quad (5)$$

ここに、

$$k_u = \frac{x_u}{d_1}, \quad \beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}, \quad \varepsilon_{cu}' = 0.0035, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \delta = \frac{\varepsilon_{cu}'}{\varepsilon_y}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s},$$

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85f'_c b d_1}, \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f'_c b d_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1}, \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1}$$

また、 $k_u$ に関しては、圧縮側鉄筋が未降伏の条件 $-\varepsilon_y < \varepsilon_s' < \varepsilon_y (= f_y/E_s)$ より、

$$\frac{\gamma\delta}{\delta+1} < k_u < \frac{\gamma\delta}{\delta-1} \quad (6)$$

の条件が付与される。

次に、引張鉄筋周りのモーメントの釣り合いにより、次式を得る。

$$M_u + N'y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot (d_1 - \frac{x_u - x_0}{2}) + E_s \varepsilon_s' A_{s2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (7)$$

式(7)に、上記の式(1)および(2)と「補足資料」の式(補 2)および(補 4)を用い、両辺を $0.85f'_c b d_1^2$ で割って無次元化した後、 $M_u$ に関して解けば、次式が得られる。

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f'_c b d_1^2$$

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8}k_u\right) + (1 - \beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2}k_u\right) + \frac{k_u - \gamma}{k_u} \delta\psi_2(1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (8)$$

ここに、 $\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \varepsilon_{cu}' = 0.0035, \quad \delta = \frac{\varepsilon_{cu}'}{\varepsilon_y}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s},$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f'_c b d_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1}, \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1}, \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(6)の条件のもとに、式(5)を用いて $k_u$ をも求め、式(8)により終局曲げモーメント $M_u$ を算定できる。

なお、上記において $y_t$ は引張鉄筋位置から断面図心までの距離であるが、ここでは断面図心を断面中心とした場合を仮定している。断面図心を正確に求める場合には、鉄筋位置、鉄筋断面積、鉄筋ヤング係数、コンクリート断面積、およびコンクリートヤング係数をもとに算出する。その際には、以下の式(9)で算出することができる。

$$y_t = d_1 - y_c \quad (9)$$

ここに、 $y_c = \frac{bh^2 + n(A_{s1}d_1 + A_{s2}d_2)}{bh + n(A_{s1} + A_{s2})}$  (圧縮縁から断面図心までの距離),  $n = \frac{E_s}{E_c}$  (ヤング係数比)

また、終局時の曲率  $\varphi_u$  は、

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_{cu}'}{x_u} \quad (10)$$

以上より、式(5)、(8)および(10)より、終局時の中立軸位置、曲げモーメントおよび曲率が算定できる。

(ii) 圧縮側鉄筋が圧縮降伏する場合

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 + f_y A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (11)$$

ここに、 $P_1$  および  $P_2$  は、それぞれ、応力値が  $0.85f'_c$  を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が  $0.85f'_c$  に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 $P_1$  は中立軸から  $x_0$  までの距離の区間の圧縮応力、 $P_2$  は中立軸から  $x_0$  離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(11)に、上記の式(1)および「補足資料」の式(補 2)を用い、両辺を  $0.85f'_c b d_1^2$  で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ  $k_u$  に関して解けば、次式が得られる。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N}')}{3 - \beta} \quad (12)$$

ここに、 $k_u = \frac{x_u}{d_1}$  ,  $\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}$  ,  $\varepsilon_{cu}' = 0.0035$  ,  $\varepsilon_{c0}' = 0.002$  ,

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85f'_c b d_1} , \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f'_c b d_1} , \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1}$$

また、 $k_u$  に関しては、圧縮側鉄筋が圧縮降伏する条件  $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y (= f_y / E_s)$  より、

$$k_u \geq \frac{\gamma \delta}{\delta - 1} \quad (13)$$

の条件が付加される。

次に、引張鉄筋周りのモーメントの釣り合いにより、次式を得る。

$$M_u + N' y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot (d_1 - \frac{x_u - x_0}{2}) + f_y A_{S2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (14)$$

式(14)に、上記の式(1)と「補足資料」の式(補 2)および(補 4)を用い、両辺を  $0.85f'_c b d_1^2$  で割って無次元化した後、 $M_u$  に関して解けば、次式が得られる。

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f'_c b d_1^2$$

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3} \beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u\right) + (1 - \beta) k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2} k_u\right) + \psi_2 (1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (15)$$

ここに、 $\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}$  ,  $\varepsilon_{c0}' = 0.002$  ,  $\varepsilon_{cu}' = 0.0035$  ,  $\psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f'_c b d_1}$  ,

$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} , \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1} , y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(13)の条件のもとに、式(12)を用いて  $k_u$  を求め、式(15)により終局曲げモーメント  $M_u$  を算定できる。

また、終局時の曲率  $\varphi_u$  は、式(10)と同じである。

(iii) 圧縮側鉄筋が引張降伏する場合

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 - f_y A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (16)$$

ここに、 $P_1$  および  $P_2$  は、それぞれ、応力値が  $0.85f'_c$  を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が  $0.85f'_c$  に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 $P_1$  は中立軸から  $x_0$  までの距離の区間の圧縮応力、 $P_2$  は中立軸から  $x_0$  離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(16)に、上記の式(1)および「補足資料」の式(補 2)を用い、両辺を  $0.85f'_c b d_1^2$  で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ  $k_u$  に関して解けば、次式が得られる。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 + \psi_2 + \bar{N}')}{3 - \beta} \quad (17)$$

ここに、 $k_u = \frac{x_u}{d_1}$  ,  $\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}$  ,  $\varepsilon_{cu}' = 0.0035$  ,  $\varepsilon_{c0}' = 0.002$  ,

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85f'_c b d_1} , \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f'_c b d_1} , \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1}$$

また、 $k_u$  に関しては、圧縮側鉄筋が引張降伏する条件  $\varepsilon_s' \leq -\varepsilon_y (= -f_y/E_s)$  より、

$$k_u \leq \frac{\gamma \delta}{\delta + 1} \quad (18)$$

の条件が付加される。

次に、引張鉄筋周りのモーメントの釣り合いにより、次式を得る。

$$M_u + N' y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot \left( d_1 - \frac{x_u - x_0}{2} \right) - f_y A_{S2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (19)$$

式(19)に、上記の式(1)と「補足資料」の式(補 2)および(補 4)を用い、両辺を  $0.85f'_c b d_1^2$  で割って無次元化した後、 $M_u$  に関して解けば、次式が得られる。

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f'_c b d_1^2$$

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3} \beta k_u \left( 1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u \right) + (1 - \beta) k_u \left( 1 - \frac{1-\beta}{2} k_u \right) - \psi_2 (1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (20)$$

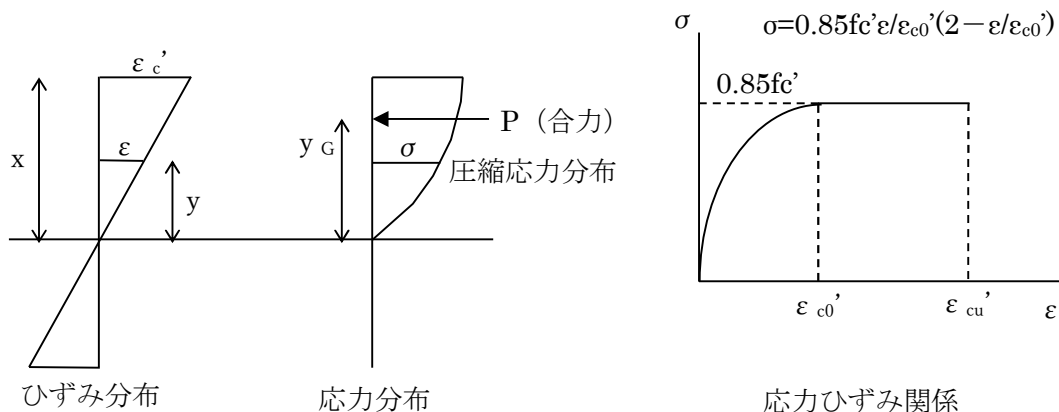
ここに、 $\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}$  ,  $\varepsilon_{c0}' = 0.002$  ,  $\varepsilon_{cu}' = 0.0035$  ,  $\psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f'_c b d_1}$  ,

$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} , \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1} , y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(18)の条件のもとに、式(16)を用いて  $k_u$  をも求め、式(20)により終局曲げモーメント  $M_u$  を算定できる。

また、終局時の曲率  $\varphi_u$  は、式(10)と同じである。

補足資料 コンクリート圧縮応力の合力値と作用位置



中立軸から  $y$  の距離のひずみ  $\varepsilon$  は、

$$\varepsilon = \frac{y}{x} \varepsilon_c'$$

応力  $\sigma$  は、

$$\sigma = 0.85f_c' \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c0}'} \left( 2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c0}'} \right) = 0.85f_c' \left( \frac{2\varepsilon_c' y}{\varepsilon_{c0}' x} - \frac{\varepsilon_c'^2 y^2}{\varepsilon_{c0}'^2 x^2} \right)$$

応力分布の総和  $P$  は、 $b$  を奥行き幅として、

$$P = b \int_0^x \sigma dy = 0.85f_c' \frac{bx}{3} \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \left( 3 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \right) \quad (\text{補 1})$$

特に、 $x=x_0$  および  $\varepsilon_c'=\varepsilon_{c0}'$  のとき、

$$P = 0.85f_c' \frac{2bx_0}{3} \quad (\text{補 2})$$

次に、中立軸位置から合力の作用点までの距離  $y_G$  は、

$$y_G = \frac{b \int_0^x y \sigma dy}{P}$$

$$b \int_0^x y \sigma dy = 0.85f_c' \frac{bx^2}{12} \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \left( 8 - 3 \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \right)$$

したがって、

$$y_G = \frac{8 - 3 \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'}}{4 \left( 3 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \right)} x \quad (\text{補 3})$$

特に、 $x=x_0$  および  $\varepsilon_c'=\varepsilon_{c0}'$  のとき、

$$y_G = \frac{5}{8} x_0 \quad (\text{補 4})$$

## 2.1.2 市販ソフトとの比較（終局曲げモーメント）

### (1) 解析条件

解析条件として、以下の RC 断面を設定する。

部材高さ  $h=80\text{cm}$

部材幅  $b=100\text{cm}$

鉄筋ヤング係数  $E_s=200\text{kN/mm}^2$

鉄筋降伏強度  $f_y=295\text{N/mm}^2$

コンクリートヤング係数  $E_c=23.5\text{kN/mm}^2$

コンクリート設計基準強度  $f'_{ck}=21\text{N/mm}^2$

コンクリート材料係数  $\gamma_c=1.3$

引張側鉄筋断面積  $A_{s1}=13.247\text{cm}^2$  (D16@150)

圧縮側鉄筋断面積  $A_{s2}=13.247\text{cm}^2$  (D16@150)

引張側鉄筋かぶり  $c=10\text{cm}$  (有効高さ  $d_1=70\text{cm}$ )

圧縮側鉄筋かぶり  $d_2=17\text{cm}$

作用軸力  $N'=300\text{kN}$ 、 $1000\text{kN}$  および  $4000\text{kN}$  (3種類を設定)

(軸力作用位置は断面中心とする)

### (2) 解析式による計算結果

#### (a) 軸力 $N'=300\text{kN}$ の場合

2.1.2(1)の解析条件のもとに軸力  $300\text{kN}$  を設定した場合、2.1.1 で示したモードのうち、(iii)の圧縮側鉄筋が引張降伏するケースとなる。この場合、先の解析式に従い、終局時の中立軸比  $k_u$  を算出して圧縮側鉄筋が引張降伏する条件を満足することを確認する必要がある。以下で、その計算を行う。

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85 f'_c b d_1} = \frac{295 \times 1324.7}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 70} = 0.04066$$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f'_c b d_1} = \frac{295 \times 1324.7}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 70} = 0.04066$$

$$\beta = \frac{\epsilon'_{c0}}{\epsilon'_{cu}} = \frac{0.002}{0.0035} = 0.5714$$

$$\bar{N} = \frac{N'}{0.85 f'_c b d_1} = \frac{300000}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 70} = 0.03121$$

式(17)を用いて、中立軸比  $k_u$  を算出する。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 + \psi_2 + \bar{N})}{3 - \beta} = \frac{3 \times (0.04066 + 0.04066 + 0.03121)}{3 - 0.5714} = 0.1390$$

ここで、圧縮側鉄筋が引張降伏する条件として、中立軸比  $k_u$  がある値以下になることを確認する。すなわち、式 2.1.1(18)より、

$$\delta = \frac{\epsilon'_{cu}}{\epsilon_y} = \frac{0.0035}{295/200000} = 2.373$$



$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} = \frac{170}{700} = 0.2429$$

$$k_u \leq \frac{\gamma\delta}{\delta+1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{2.373+1} = 0.1709$$

上記より、中立軸比  $k_u$  が 0.1709 より小さく、圧縮側鉄筋が引張降伏するモードであることがわかる。

次に、終局曲げモーメントを、式 2.1.1(19)により算出する。

$$\begin{aligned} \bar{M}_u &= \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8}k_u\right) + (1-\beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2}k_u\right) - \psi_2(1-\gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.5714 \times 0.1390 \times \left(1 - \frac{8-5 \times 0.5714}{8} \times 0.1390\right) \\ &\quad + (1-0.5714) \times 0.1390 \times \left(1 - \frac{1-0.5714}{2} \times 0.1390\right) \\ &\quad - 0.04066 \times (1-0.2429) - 0.03231 \times \frac{300}{700} = 0.06186 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \bar{M}_u \cdot 0.85f_c'bd_1^2 = 0.06186 \times 0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700^2 = 416200000Nmm = 416.2kNm \\ \varphi_u &= \frac{0.0035}{x} = \frac{0.0035}{0.1390 \times 0.7} = 0.03597 \text{ 1/m} \end{aligned}$$

#### (b) 軸力 $N' = 1000kN$ の場合

2.1.2(1)の解析条件のもとに軸力 1000kN を設定した場合、2.1.1 で示したモードのうち、(i)の圧縮側鉄筋が未降伏のケースとなる。この場合、先の解析式に従い、終局時の中立軸比  $k_u$  を算出して圧縮側鉄筋が未降伏の条件を確認する必要がある。以下で、その計算を行う。

$$\bar{N} = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1} = \frac{1000000}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700} = 0.1040$$

式(5)を用いて、中立軸比  $k_u$  を算出する。

$$\begin{aligned} k_u &= \frac{-3(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}') + \sqrt{9(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}')^2 + 12(3-\beta)\delta\psi_2\gamma}}{2(3-\beta)} \\ &= \frac{-3 \times (2.373 \times 0.04066 - 0.04066 - 0.1040) + \sqrt{9 \times (2.373 \times 0.04066 - 0.04066 - 0.1040)^2 + 12 \times (3 - 0.5714) \times 2.373 \times 0.04066 \times 0.2429}}{2 \times (3 - 0.5714)} \\ &= 0.2025 \end{aligned}$$

ここで、圧縮側鉄筋が未降伏である条件として、中立軸比  $k_u$  がある範囲内にあることを確認する。すなわち、式 2.1.1(6)より、

$$k_u \geq \frac{\gamma\delta}{\delta+1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{2.373+1} = 0.1709$$

$$k_u \leq \frac{\gamma\delta}{\delta-1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{3.373-1} = 0.4198$$

上記より、圧縮側鉄筋が未降伏のモードであることがわかる。

次に、終局曲げモーメントを式 2.1.1(8)により計算する。

$$\begin{aligned}
\bar{M}_u &= \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u\right) + (1-\beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2} k_u\right) + \frac{k_u-\gamma}{k_u} \delta \psi_2 (1-\gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \\
&= \frac{2}{3} \times 0.5714 \times 0.2025 \times \left(1 - \frac{8-5 \times 0.5714}{8} \times 0.2025\right) \\
&\quad + (1-0.5714) \times 0.2025 \times \left(1 - \frac{1-0.5714}{2} \times 0.2025\right) \\
&\quad + \frac{0.2025-0.2429}{0.2025} \times 2.373 \times 0.04066 \times (1-0.2429) \\
&\quad - 0.1040 \times \frac{300}{700} \\
&= 0.09099
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_u &= \bar{M}_u \cdot 0.85 f_c' b d_1^2 = 0.09099 \times 0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700^2 = 612200000 \text{ Nmm} = 612.2 \text{ kNm} \\
\varphi_u &= \frac{0.0035}{x} = \frac{0.0035}{0.2025 \times 0.7} = 0.02469 \text{ 1/m}
\end{aligned}$$

### (c) 軸力 $N' = 4000\text{kN}$ の場合

2.1.2(1)の解析条件のもとに軸力 4000kN を設定した場合、2.1.1 で示したモードのうち、(ii)の圧縮側鉄筋が圧縮降伏するケースとなる。この場合、先の解析式に従い、終局時の中立軸比  $k_u$  を算出して圧縮側鉄筋が圧縮降伏する条件を満足することを確認する必要がある。以下で、その計算を行う。

$$\bar{N} = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1} = \frac{4000000}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700} = 0.4162$$

式(12)を用いて、中立軸比  $k_u$  を算出する。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N}')}{3-\beta} = \frac{3 \times (0.04066 - 0.04066 - 0.4162)}{3-0.5714} = 0.5141$$

ここで、圧縮側鉄筋が圧縮降伏する条件として、中立軸比  $k_u$  がある値よりも大きいことを確認する。すなわち、式 2.1.1(13)より、

$$k_u \geq \frac{\gamma \delta}{\delta-1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{2.373-1} = 0.4198$$

上記より、圧縮側鉄筋が圧縮降伏するモードであることがわかる。

次に、終局曲げモーメントを式 2.1.1(15)により計算する。

$$\begin{aligned}
\bar{M}_u &= \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u\right) + (1-\beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2} k_u\right) + \psi_2 (1-\gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \\
&= \frac{2}{3} \times 0.5714 \times 0.5141 \times \left(1 - \frac{8-5 \times 0.5714}{8} \times 0.5141\right) \\
&\quad + (1-0.5714) \times 0.5141 \times \left(1 - \frac{1-0.5714}{2} \times 0.5141\right) \\
&\quad + 0.04066 \times (1-0.2429) - 0.4162 \times \frac{300}{700} = 0.1797
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_u &= \bar{M}_u \cdot 0.85 f_c' b d_1^2 = 0.1797 \times 0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700^2 = 1219000000 \text{ Nmm} = 1209 \text{ kNm} \\
\varphi_u &= \frac{0.0035}{x} = \frac{0.0035}{0.5141 \times 0.7} = 0.009726 \text{ 1/m}
\end{aligned}$$

### (3) 市販ソフトによる計算結果（終局曲げモーメント）

2.1.2(2)の解析式による算出結果を検証するために、市販ソフトを用いて終局曲げモーメントを計算した。市販ソフトは、RC断面計算（フォーラムエイト）を使用した。解析条件は、2.1.2(1)で提示したものと同一である。市販ソフトによる終局曲げモーメントの算出結果を、表 2.1-1 に示す。また、表 2.1-2 に、解析式と市販ソフトの比較を示す。

解析式による結果は、市販ソフトの結果とほぼ一致していることがわかる。

表 2.1-1 市販ソフトによる終局曲げモーメントの算出結果

CASE-No	形状	LOAD-No	Mc(kN-m)	My0(kN-m)	Mls2(kN-m)	Mls3(kN-m)	$\phi_c(1/m)$	$\phi_{y0}(1/m)$	$\phi_{ls2}(1/m)$	$\phi_{ls3}(1/m)$
1	矩形	1	234.646	346.162	416.197		0.000225511	0.002908510	0.035961118	
1	矩形	2	329.074	542.359	612.034		0.000316262	0.003341299	0.024688143	
1	矩形	3	733.762	1164.670	1208.214		0.000705195	0.005279208	0.009723617	

### 解析条件入力パラメータ

コンクリート 鉄筋

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	16.15
許容曲げ圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	7.00
許容軸圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	5.50
許容せん断応力度(道示Ⅲ) (N/mm <sup>2</sup> )	0.360
許容せん断応力度(道示Ⅳ) (N/mm <sup>2</sup> )	0.220
平均せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.330
平均せん断応力度の最大値 (N/mm <sup>2</sup> )	2.800
許容斜引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.80
許容斜引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1.400
曲げ引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	1.7500
ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.35

コンクリート 鉄筋

設計引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	440.0
降伏点応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	295.0
せん断補強鉄筋引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	440.0
せん断補強鉄筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	295.0
ねじり補強鉄筋引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	440.0
ねじり補強鉄筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	295.0
許容引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	180.00
許容圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	180.00
ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.00

断面力一覧入力

ケースNo.	出力対トル	断面力No.	ケース名称	曲げM(kN-m)	軸力N(kN)	せん断SkN
1	t=800	1	断面力ケース1	0.000	300.000	0.000
1	t=800	2	断面力ケース2	0.000	1000.000	0.000
1	t=800	3	断面力ケース3	0.000	4000.000	0.000

表 2.1-2 解析式と市販ソフトの比較（終局曲げモーメント、終局曲率）

軸力(kN)	解析式(A)		市販ソフト(B)		比 (A/B)	
	Mu(kNm)	$\phi_u(1/m)$	Mu(kNm)	$\phi_u(1/m)$	Mu	$\phi_u$
300	416.2	0.03597	416.2	0.03596	1.000	1.000
1000	612.2	0.02469	612.0	0.02469	1.000	1.000
4000	1209	0.009726	1208.2	0.009724	1.001	1.000

## 2.2 せん断耐力

### 2.2.1 せん断耐力式（棒部材式）

せん断照査では、以下に示すように、構造解析によって算出される発生せん断力（応答せん断力） $V_d$ が、設計せん断耐力 $V_{yd}$ を上回らないことを確認する。なお、L2地震動に対するせん断照査では、以下の記載に示す安全係数（コンクリート材料係数、コンクリート部材係数および鉄筋部材係数）を考慮するが、L1地震動に対するせん断照査では全ての安全係数を1.0とする。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{yd}} \leq 1.0$$

ここに、 $V_d$ ：設計せん断力（発生せん断力）

$V_{yd}$ ：設計せん断耐力

$\gamma_i$ ：構造物係数（=1.0）

なお、上記の設計せん断耐力 $V_{yd}$ については、以下により算出する。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここに、 $V_{cd}$ はせん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力で、コンクリートで負担するせん断力を表すものである。また、 $V_{sd}$ はせん断補強鋼材が受け持つせん断力である。

#### (1) せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力 $V_{cd}$

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

上式のせん断耐力式は、コンクリート強度に依存するせん断強度 $f_{vcd}$ にせん断断面積 $b_w \cdot d$ を乗じて耐力に換算し、さらに有効高、引張鉄筋比および軸力に関する補正をして求められたものである。それぞれの補正係数は、以下に示される。

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{ただし } f_{vcd} \leq 0.72 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$f'_{cd}$ ：コンクリートの設計圧縮強度（N/mm<sup>2</sup>）

（ $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$ ,  $f'_{ck}$ ：設計基準強度,  $\gamma_c$ ：コンクリート材料係数（=1.3））

$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d}$ （ $d$ : mm）ただし $\beta_d \geq 1.5$ となる場合は1.5とする

$d$ ：有効高さ（mm）

$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$  　　ただし $\beta_p \geq 1.5$ となる場合は1.5とする

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

$A_s$ ：引張側鋼材の断面積（mm<sup>2</sup>）

$\beta_n = 1 + 2M_0 / M_{ud}$ （ $N'_d \geq 0$ ）ただし $\beta_n \geq 2$ となる場合は2とする

$= 1 + 4M_0 / M_{ud}$ （ $N'_d \leq 0$ ）ただし $\beta_n \leq 0$ となる場合は0とする

$N'_d$ ：設計軸方向圧縮力

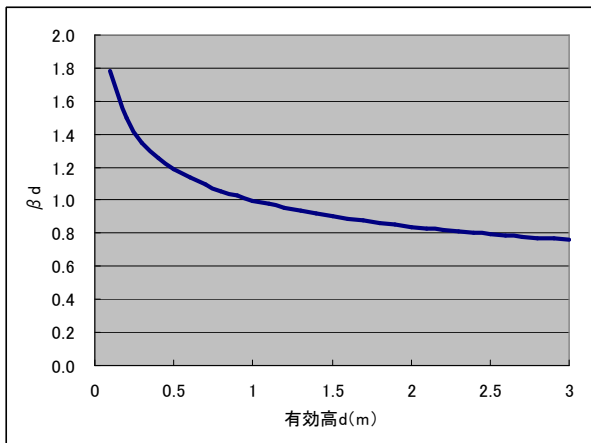
$M_{ud}$ ：軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

$M_0$ ：設計曲げモーメント $M_d$ に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要な曲げモーメント（矩形断面では $M_0 = N'_d \cdot h / 6$ ,  $h$ ：部材の全高）

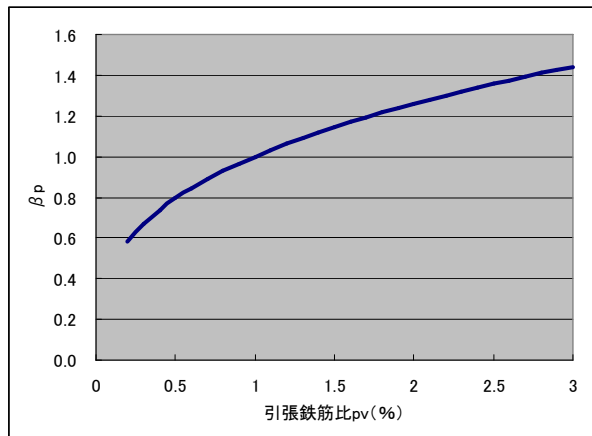
$b_w$ ：腹部の幅（mm）

$d$ ：有効高さ（mm）

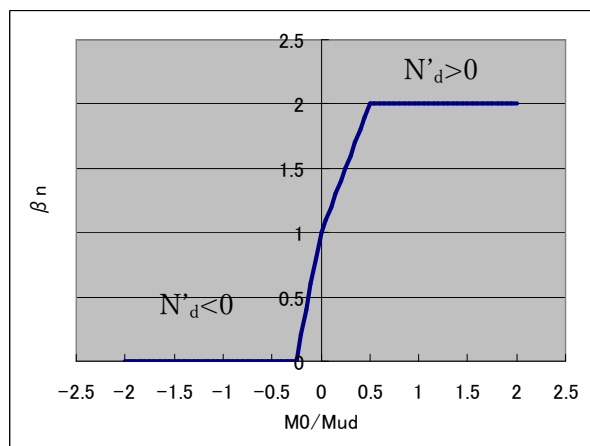
$\gamma_b$ ：コンクリート部材係数（=1.3）



(a)有効高  $d$  に関する補正係数  $\beta_d$



(b)引張鉄筋比  $p_v$  に関する補正係数  $\beta_p$



(c)軸力に対する補正係数  $\beta_n$

図 2.2-1 せん断耐力の補正係数

(2) せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力  $V_{sd}$

$$V_{sd} = (A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s) z / \gamma_b$$

$A_w$  : 区間  $s_s$  におけるせん断補強筋の総断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$s_s$  : せん断補強鉄筋の部材軸方向の配置間隔 ( $\text{mm}$ )

$f_{wyd}$  : せん断補強鉄筋の設計降伏強度で  $400\text{N/mm}^2$  以下とする。ただしコンクリート圧縮強度の特性値  $f'_{ck}$  が  $60\text{N/mm}^2$  以上のときは  $800\text{N/mm}^2$  以下としてよい。

( $f_{wyd} = f_{wy} / \gamma_s \cdot f_{wy}$  : せん断補強鉄筋の降伏強度,  $\gamma_s$  : 鉄筋材料係数 (=1.0) )

$\alpha_s$  : せん断補強鉄筋が部材軸となす角度

$z$  : 圧縮応力の合力作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に  $d/1.15$  としてよい

$\gamma_b$  : 鉄筋部材係数 (=1.15)

## 2.2.2 せん断耐力式（ディープビーム式）

水道施設耐震工法指針によれば、2.2.1 で示した棒部材式によって NG が生じた場合、ディープビーム式の適用が許容されている。また、2.2.1 のせん断耐力式には、せん断スパン比  $a/d$  の補正係数  $\beta_a$  が考慮されていないが、棒部材に対しても  $a/d$  の効果を考慮してもよいことも記載されている。

以下では、ディープビームに対するせん断耐力式およびせん断スパン比を考慮した棒部材のせん断耐力式を示す。

なお、ディープビームか棒部材かの判定は、せん断スパン比  $a/d$  により行い、以下の通りせん断耐力式を適用することとした。

$a/d \leq 2$  のとき : ディープビーム式

$2 < a/d < 5.6$  のとき :  $a/d$  を考慮した棒部材式

$a/d \geq 5.6$  のとき :  $a/d$  を考慮しない棒部材式

ここに、 $a$  : せん断スパン（簡易的に  $a=M/V$  とする場合と曲げモーメント分布から算出する場合の両者を適用した）

$M$  : 応答曲げモーメント

$V$  : 応答せん断力

$d$  : 有効高

### (1) ディープビームのせん断耐力式

$$V_{da} = (\beta_d + \beta_w)\beta_p \cdot \beta_a \cdot \alpha \cdot f_{da} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

ここに、 $\alpha$  : 支圧板の部材軸方向の長さ ( $r$ ) の影響を考慮する係数で、以下による。ただし、一般に  $r/d$  は 0.1 としてよい。また、せん断補強筋の効果を考慮しない場合は  $\alpha=1$  とする。

$$\alpha = (1 + 3.33r/d) / (1 + 3.33 \cdot 0.05)$$

$$f_{da} = 0.19\sqrt{f'_{cd}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d} \text{ (d:mm)} \text{ ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする}$$

$$\beta_w = 4.2\sqrt[3]{100p_w} \cdot \left(\frac{a}{d} - 0.75\right) / \sqrt{f'_{cd}} \text{ ただし、} \beta_w < 0 \text{ となる場合は } 0 \text{ とする}$$

$$\beta_p = (1 + \sqrt{100p_v}) / 2 \text{ ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする}$$

$$\beta_a = 5 / [1 + (a_v/d)^2]$$

$b_w$  : 腹部の幅 (mm)

$d$  : 単純梁の場合は載荷点、片持ち梁の場合は支持部前面における有効高さ (mm)

$a_v$  : 支持部前面から載荷点までの距離（せん断スパン）(mm)

$$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

$A_s$  : 引張側鋼材の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$p_w$  : せん断補強鉄筋比

$$p_w = A_w / (b_w \cdot s_s) \text{ ただし、} p_w < 0.002 \text{ となる場合やせん断補強鉄筋の効果を考慮しない場合は } p_w \sim 0 \text{ とする}$$

$A_w$  : 区間  $s_s$  における部材軸と直交するせん断補強筋の配置間隔 (mm<sup>2</sup>)

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_b$  : 部材係数（一般にせん断補強鉄筋を考慮する場合は 1.2、考慮しない場合は 1.3 とする）

## (2) せん断スパン比を考慮した棒部材のせん断耐力式

せん断スパン比  $a/d$  を考慮したせん断耐力式では、せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力（コンクリート負担分） $V_{cd}$  に、せん断スパン比に依存する補正係数  $\beta_a$  を考慮する。また、せん断補強鋼材が受け持つせん断力  $V_{sd}$  は同一の式で考慮できる。

$V_{cd}$  は、以下の式で表すことができる。

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

ここに、 $\beta_a$  は以下の式で算出し、他の補正係数  $\beta_d$ 、 $\beta_p$ 、 $\beta_n$ 、およびコンクリートの設計せん断強度  $f_{vcd}$  は、せん断スパン比を考慮しない棒部材のせん断耐力式と同一である。

$$\beta_a = 0.75 + 1.4/(a/d)$$

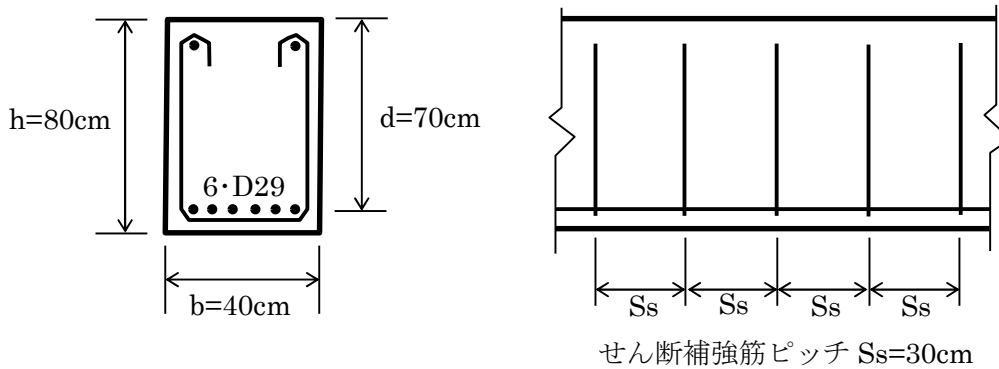
ここに、 $\beta_a < 1.0$  となる場合は 1.0 とする。 $a/d=5.6$  で  $\beta_a=1.0$  となるため、本式の  $a/d$  の適用範囲を、 $2 < a/d < 5.6$  とした。

## 2.2.3 市販ソフトとの比較（せん断耐力）

### (1) 解析条件

2.2.1 で示したせん断耐力式（棒部材式）による計算結果を確認するため、市販ソフトを用いてせん断耐力を算出した。市販ソフトは、RC 断面計算（フォーラムエイト）を用いた。

せん断耐力算出の解析条件を、下図に示す。



部材高さ： $h=80\text{cm}$ （有効高さ  $d=70\text{cm}$ ）

主鉄筋：6本 - D29（芯かぶり 10cm）（D29 の公称断面積： $6.424\text{cm}^2$ ）

せん断補強筋：2本 - D22@300（D22 の公称断面積： $3.871\text{cm}^2$ ）

コンクリート設計基準強度： $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$

鉄筋種類：SD345（降伏強度  $f_y=345\text{N/mm}^2$ ）

軸力： $N=500\text{kN}$

図 2.2-2 せん断耐力算出の解析条件

### (2) せん断耐力式による計算結果

#### (a) せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力 $V_{cd}$

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} = 0.20 \times \sqrt[3]{30/1.3} = 0.569\text{N/mm}^2$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d} = \sqrt[4]{1000/700} = 1.093$$

$$p_v = A_s / b_w d = 6 \times 642.4 / (400 \times 700) = 0.01378 \quad (\text{D29 が 6 本分の鉄筋比})$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} = \sqrt[3]{100 \times 0.01378} = 1.113$$

次に、 $\beta_n$ を計算するために、純曲げ耐力（軸力を考慮しない曲げ耐力）を計算する。以下では簡単のために、単鉄筋での純曲げ耐力を算出する。単鉄筋矩形断面に対する純曲げ耐力  $M_{ud}$  は、次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{ud} &= b d^2 \cdot p f_y (1 - p f_y / 1.7 f_c) \\ &= 400 \times 700^2 \times 0.01378 \times 345 \times (1 - 0.01378 \times 345 / (1.7 \times 30)) \\ &= 8.449 \times 10^8 \text{Nmm} = \underline{\underline{844.9\text{kNm}}} \end{aligned}$$



$$M_0 = N_d \cdot h / 6 = 500 \times 0.8 / 6 = 66.7 \text{ kNm}$$

$$\beta_n = 1 + 2M_0 / M_{ud} = 1 + 2 \times 66.7 / 844.9 = 1.158$$

$$V_{cd} = 1.093 \times 1.113 \times 1.158 \times 0.569 \times 400 \times 700 / 1.3 = 172600 \text{ N} = \underline{172.6 \text{ kN}}$$

(b) せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力  $V_{sd}$

せん断補強鉄筋の部材軸方向ピッチ当たりの断面積  $A_w$

$$A_w = 3.871 \text{ cm}^2 \times 2 \text{ 本} = 7.742 \text{ cm}^2 = 774.2 \text{ mm}^2$$

せん断補強鉄筋が部材軸となす角度  $\alpha_s$

$$\alpha_s = 90^\circ \text{ (スターラップ筋)}$$

$$V_{sd} = (A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s) z / \gamma_b$$

$$= 774.2 \times 345 / 300 \times 700 / 1.15 / 1.15 = 471300 \text{ N} = \underline{471.3 \text{ kN}}$$

(c) 設計せん断耐力

設計せん断耐力  $V_{yd}$

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} = 172.6 + 471.3 = \underline{643.9 \text{ kN}}$$

(3) 市販ソフトによる計算結果 (せん断耐力)

市販ソフトによるせん断耐力の計算結果を、表 2.2-1 に示す。(2)のせん断耐力式による結果とほぼ一致していることがわかる。

表 2.2-1 市販ソフトによるせん断耐力の計算結果

せん断	$V_{yd}(\text{kN})$	644.757				
	$V_{wcd}(\text{kN})$	1293.342				
	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$	0.000 < 1.00				
	$\gamma_i \cdot V_d / V_{wcd}$	0.000 < 1.00				

<解析条件入力パラメータ>

The screenshot displays the software interface for a beam analysis. It includes a 3D model of a beam with dimensions 400mm width and 800mm height. The main window shows the 'No. 2: 断面ケース2' (Section Case 2) with the following data:

No. 2: 断面ケース2	
曲げモーメント (kN·m)	300.000
軸力 (kN)	500.000
せん断力 (kN)	0.000
ねじりモーメント (kN·m)	0.000

Below this, there are two tables for material properties and reinforcement details:

基本定数   材料・構造物係数   部材係数   せん断補強鉄筋   断	
終局限界状態 曲げ・軸耐力	1.10
終局限界状態 軸方向圧縮耐力	1.30
終局限界状態 せん断耐力(コンクリート)	1.30
終局限界状態 せん断耐力(鉄筋鋼材)	1.15
終局限界状態 ねじり耐力	1.30
使用限界状態	1.00
疲労限界状態	1.00
疲労限界状態 せん断耐力(コンクリート)	1.30

コンクリート   鉄筋	
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	30.00
許容曲げ圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	10.00
許容軸圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	8.50
許容せん断応力度(表示Ⅲ) (N/mm <sup>2</sup> )	0.450
許容せん断応力度(表示Ⅳ) (N/mm <sup>2</sup> )	0.250
平均せん断応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.370
平均せん断応力度の最大値 (N/mm <sup>2</sup> )	4.000
許容斜引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	0.80
許容付着応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	1.800
曲げ引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	2.2200
ヤング係数 (×10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.80

コンクリート   鉄筋	
設計引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	490.0
降伏点応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	345.0
せん断補強鉄筋引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	490.0
せん断補強鉄筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	345.0
ねじり補強鉄筋引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	490.0
ねじり補強鉄筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	345.0
許容引張応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	180.00
許容圧縮応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	200.00
ヤング係数 (×10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup> )	2.00

基本定数   材料・構造物係数   部材係数   せん断補強鉄筋   断	
スターラップ 鉄筋量 $A_w$ (cm <sup>2</sup> )	7.742
スターラップ ピッチ $S_s$ (mm)	300.0
スターラップ 角度 $\alpha_s$ (°)	90
折曲鉄筋 鉄筋量 $A_b$ (cm <sup>2</sup> )	0.000
折曲鉄筋 ピッチ $S_b$ (mm)	0.0
折曲鉄筋 角度 $\alpha_b$ (°)	0
せん断有効高さ $d$ (mm)	0.000
引張鉄筋量 $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	38.544
$f_{vcd}$ の低減率 (%)	100

## 2.3 降伏曲げモーメント（降伏曲率）

### 2.3.1 解析式の誘導（その1：コンクリート応力ひずみ非線形）

降伏曲げモーメントの算出にあたり、複鉄筋の矩形断面を仮定する。また、コンクリートの応力ひずみ関係を非線形（放物線型）とする。さらに、引張鉄筋がちょうど降伏ひずみに達しているものとし、コンクリート引張応力は無視する。

(i) 圧縮縁のひずみ  $\varepsilon_c' < \varepsilon_{c0}' (=0.002)$  で、かつ圧縮鉄筋が未降伏の場合

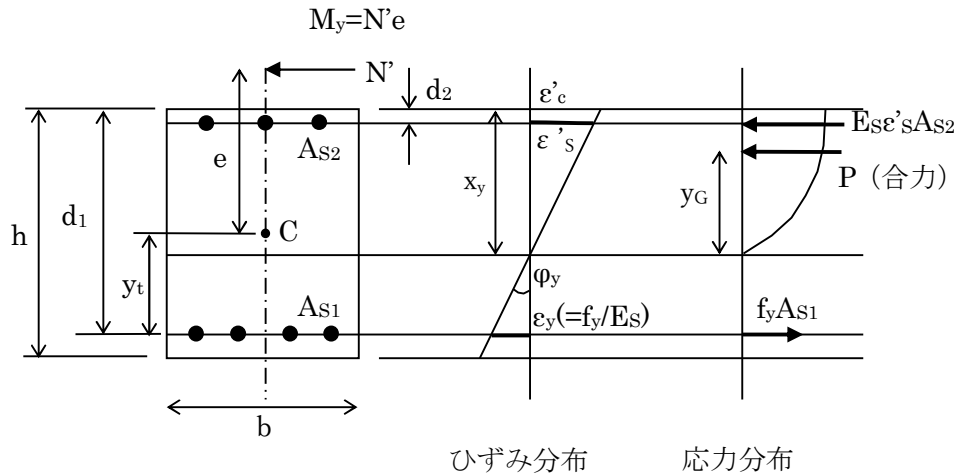


図 2.3-1 降伏時の断面仮定（圧縮縁ひずみが 0.002 未満）

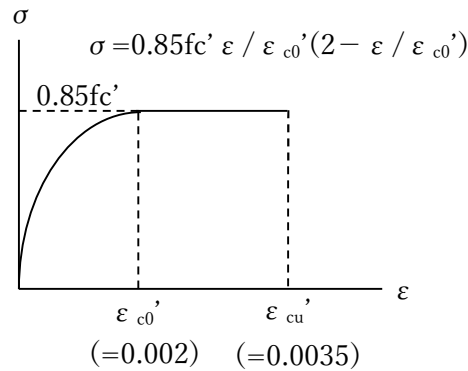


図 2.3-2 コンクリート応力ひずみ関係（圧縮側）

圧縮縁のひずみ  $\varepsilon_c'$  および圧縮鉄筋のひずみ  $\varepsilon_s'$  は、次式で表される。

$$\varepsilon_c' = \frac{x_y}{d_1 - x_y} \varepsilon_y \quad (1)$$

$$\varepsilon_s' = \frac{x_y - d_2}{d_1 - x_y} \varepsilon_y \quad (2)$$

ここに、 $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P + E_S \varepsilon_S' A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (3)$$

ここに、P はコンクリート圧縮応力の合力値である。

式(3)に、上記の式(1)および(2)と先の「補足資料」の式(補 1)を用い、両辺を  $0.85f_c'bd_1^2$  で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ  $k_y$  に関して解けば、次式を得る。

$$\alpha(\alpha + 3)k_y^3 + 3(\psi_1 + \psi_2 + \bar{N}' - \alpha)k_y^2 - 3\{2(\psi_1 + \bar{N}') + \psi_2(1 + \gamma)\}k_y + 3(\psi_1 + \bar{N}' + \psi_2\gamma) = 0 \quad (4)$$

$$\text{ここに、 } k_y = \frac{x_y}{d_1} \quad , \quad \alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'} \quad , \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_S} \quad , \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002 \quad , \quad \psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85f_c'bd_1} \quad , \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f_c'bd_1} \quad ,$$

$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} \quad , \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1}$$

また、 $k_y$  に関しては、圧縮縁ひずみ  $\varepsilon_c' < \varepsilon_{c0}' (=0.002)$  の条件と、圧縮鉄筋が未降伏の条件  $\varepsilon_s' < \varepsilon_y (=f_y/E_S)$  より、

$$k_y < \frac{1}{1+\alpha} \quad \text{および} \quad k_y < \frac{1+\gamma}{2} \quad (5)$$

の条件が付与される。

次に、引張鉄筋位置周りのモーメントの釣り合いより、次式が得られる。

$$M_y + N'y_t = P \cdot (d_1 - x_y + y_G) + E_S \varepsilon_S' A_{S2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (6)$$

上記の式(1)と(2)および先の「補足資料」の式(補 1)と(補 3)を用い、両辺を  $0.85f_c'bd_1^2$  で割って無次元化した後、 $M_y$  に関して解けば、次式を得る。

$$M_y = \bar{M}_y \cdot 0.85f_c'bd_1^2$$

$$\bar{M}_y = \frac{k_y}{3} \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \left( 3 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \right) \left\{ 1 - \frac{4 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'}}{4 \left( 3 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \right)} k_y \right\} + \frac{k_y - \gamma}{1 - k_y} \psi_2 (1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (7)$$

$$\frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} = \frac{\alpha k_y}{1 - k_y}$$

ここに、

$$\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'} \quad , \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_S} \quad , \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002 \quad , \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f_c'bd_1} \quad , \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1} \quad ,$$

$$\bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1} \quad , \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(5)の条件のもとに、式(4)を用いて  $k_y$  を求め、式(7)により、降伏時曲げモーメント  $M_y$  を算定できる。

また、降伏時の曲率  $\varphi_y$  は、次式で得られる。

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_y}{d_1 - x_y} = \frac{1}{d_1 - x_y} \cdot \frac{f_y}{E_S} \quad (8)$$

(ii) 圧縮縁のひずみ  $\varepsilon_c' < \varepsilon_{c0}' (=0.002)$  で、かつ圧縮鉄筋が降伏している場合

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P + f_y A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (9)$$

ここに、 $P$  はコンクリート圧縮応力の合力値である。

式(9)に、式(1)と先の「補足資料」の式(補 1) を用い、両辺を  $0.85f_c'bd_1^2$  で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ  $k_y$  に関して解けば、次式を得る。

$$\alpha(\alpha + 3)k_y^3 + 3(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N}' - \alpha)k_y^2 - 6(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N}')k_y + 3(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N}') = 0 \quad (10)$$

$$\text{ここに、 } k_y = \frac{x_y}{d_1} \quad , \quad \alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'} \quad , \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad , \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002 \quad , \quad \psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85f_c'bd_1}$$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f_c'bd_1} \quad , \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1}$$

また、 $k_y$  に関しては、圧縮縁ひずみ  $\varepsilon_c' < \varepsilon_{c0}' (=0.002)$  の条件と、圧縮鉄筋が降伏する条件  $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y (=f_y/E_s)$  より、

$$k_y < \frac{1}{1+\alpha} \quad \text{および} \quad k_y \geq \frac{1+\gamma}{2} \quad (11)$$

の条件が付加される。

次に、引張鉄筋位置周りのモーメントの釣り合いより、次式が得られる。

$$M_y + N'y_t = P \cdot (d_1 - x_y + y_G) + f_y A_{S2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (12)$$

上記の式(1)と先の「補足資料」の式(補 1)と(補 3)を用い、両辺を  $0.85f_c'bd_1^2$  で割って無次元化した後、 $M_y$  に関して解けば、次式を得る。

$$M_y = \bar{M}_y \cdot 0.85f_c'bd_1^2$$

$$\bar{M}_y = \frac{k_y}{3} \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \left( 3 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \right) \left\{ 1 - \frac{4 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'}}{4 \left( 3 - \frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} \right)} k_y \right\} + \psi_2(1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (13)$$

$$\frac{\varepsilon_c'}{\varepsilon_{c0}'} = \frac{\alpha k_y}{1 - k_y}$$

ここに、

$$\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'} \quad , \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} \quad , \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002 \quad , \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f_c'bd_1} \quad ,$$

$$\bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1} \quad , \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(11)の条件をもとに、式(10)を用いて  $k_y$  を求め、式(13)により、降伏時曲げモーメント  $M_y$  を算定できる。

なお、降伏時の曲率は、式(8)と同じである。

(iii) 圧縮縁のひずみ  $\epsilon_c' \geq \epsilon_{c0}' (=0.002)$  で、かつ圧縮鉄筋が未降伏の場合

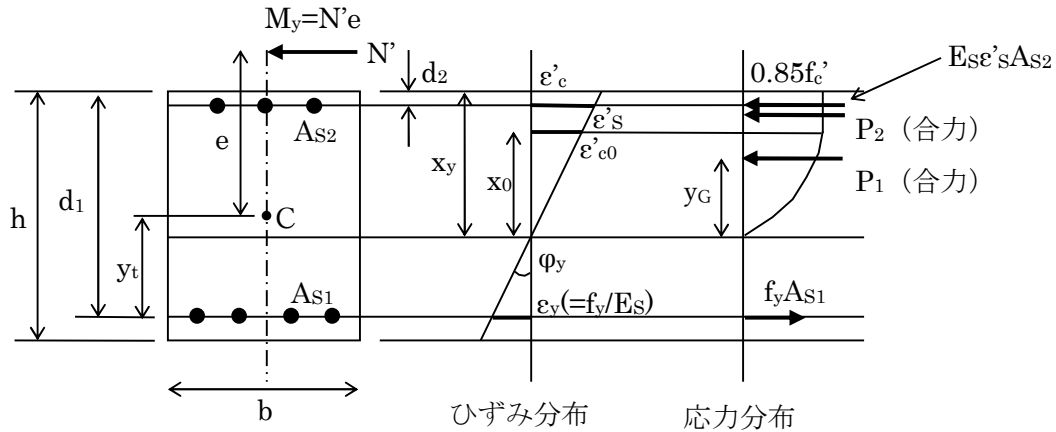


図 2.3-3 降伏時の断面仮定 (圧縮縁ひずみが 0.002 を超える)

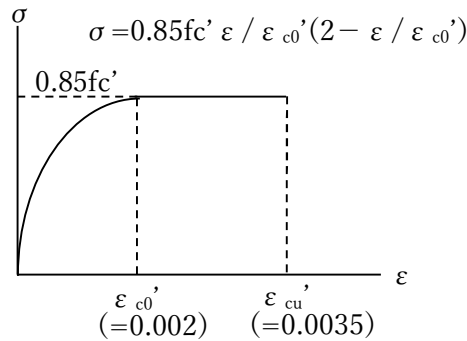


図 2.3-4 コンクリートの応力ひずみ関係 (圧縮側)

中立軸位置から、圧縮ひずみ  $\epsilon_{c0}' (=0.002)$  となる位置までの距離  $x_0$  は、次式で表される。

$$x_0 = \frac{\epsilon_{c0}'}{\epsilon_y} (d_1 - x_y) \quad (14)$$

圧縮縁のひずみ  $\epsilon_c'$  および圧縮鉄筋のひずみ  $\epsilon_s'$  については、前記の式(1)および(2)が同様に成立する。

部材軸 (水平) 方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 + E_s \epsilon_s' A_{s2} - f_y A_{s1} \quad (15)$$

ここに、 $P_1$  および  $P_2$  は、それぞれ、応力値が  $0.85f_c'$  を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が  $0.85f_c'$  に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 $P_1$  は中立軸から  $x_0$  までの距離の区間の圧縮応力、 $P_2$  は中立軸から  $x_0$  離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(15)に、式(2)、式(14)および先の「補足資料」の式(補2)を用い、両辺を  $0.85f_c' b d_1^2$  で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ  $k_y$  に関して解けば、次式を得る。

$$(1 + 3\alpha)k_y^2 - \{2 + 3\alpha(\psi_1 + \psi_2 + \bar{N}' + 1)\}k_y + \{1 + 3\alpha(\psi_1 + \psi_2\gamma + \bar{N}')\} = 0 \quad (16)$$

ここに、 $k_y = \frac{x_y}{d_1}$  ,  $\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'}$  ,  $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$  ,  $\varepsilon_{c0}' = 0.002$  ,  $\psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85 f_c' b d_1}$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85 f_c' b d_1} , \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1} , \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1}$$

式(16)は、 $k_y$ に関して、正の2つの解が存在するが、大きい方の解は $k_y > 1$ となるので、根号の前がマイナスの解を採用する。

すなわち、

$$k_y = \frac{2+3\alpha(1+\psi_1+\psi_2+\bar{N}') - \sqrt{\{2+3\alpha(1+\psi_1+\psi_2+\bar{N}')\}^2 - 4(1+3\alpha)\{1+3\alpha(\psi_1+\psi_2\gamma+\bar{N}')\}}}{2(1+3\alpha)} \quad (17)$$

また、 $k_y$ に関しては、圧縮縁ひずみ $\varepsilon_c' \geq \varepsilon_{c0}' (=0.002)$ の条件と、圧縮鉄筋が未降伏の条件 $\varepsilon_s' < \varepsilon_y (=f_y/E_s)$ より、

$$k_y \geq \frac{1}{1+\alpha} \quad \text{および} \quad k_y < \frac{1+\gamma}{2} \quad (18)$$

の条件が付加される。

次に、引張鉄筋位置周りのモーメントの釣り合いより、次式が得られる。

$$M + N' y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_y + y_G) + P_2 \cdot (d_1 - \frac{x_y - x_0}{2}) + E_s \varepsilon_s' A_{S2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (19)$$

式(19)に、前記の式(2)、式(14)および先の「補足資料」の式(補2)と(補4)を用い、両辺を $0.85 f_c' b d_1^2$ で割って無次元化した後、 $M_y$ に関して解けば、次式を得る。

$$\begin{aligned} M_y &= \bar{M}_y \cdot 0.85 f_c' b d_1^2 \\ \bar{M}_y &= \frac{1}{12} \frac{8\alpha + 5}{\alpha^2} (1 - k_y)^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^2} \{(1 + \alpha)k_y - 1\} \{(1 + 2\alpha) - (1 + \alpha)k_y\} + \frac{k_y - \gamma}{1 - k_y} \psi_2 (1 - \gamma) \\ &\quad - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \end{aligned} \quad (20)$$

ここに、

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'} , \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} , \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002 , \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85 f_c' b d_1} , \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1} , \\ \bar{N}' &= \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1} , \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2} \end{aligned}$$

以上より、式(18)の条件のもとに、式(17)を用いて $k_y$ を求め、式(20)により、降伏時曲げモーメント $M_y$ を算定できる。

なお、降伏時の曲率は、式(8)と同じである。

(iv) 圧縮縁のひずみ  $\varepsilon_c' \geq \varepsilon_{c0}' (=0.002)$  で、かつ圧縮鉄筋が降伏している場合

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 + f_y A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (21)$$

ここに、 $P_1$  および  $P_2$  は、それぞれ、応力値が  $0.85f_c'$  を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が  $0.85f_c'$  に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 $P_1$  は中立軸から  $x_0$  までの距離の区間の圧縮応力、 $P_2$  は中立軸から  $x_0$  離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(21)に、式(14)および先の「補足資料」の式(補 2)を用い、両辺を  $0.85f_c'bd_1^2$  で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ  $k_y$  に関して解けば、次式を得る。

$$k_y = \frac{1+3\alpha(\psi_1-\psi_2+\bar{N}')}{1+3\alpha} \quad (22)$$

ここに、 $k_y = \frac{x_y}{d_1}$  ,  $\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'}$  ,  $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$  ,  $\varepsilon_{c0}' = 0.002$  ,  $\psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85f_c'bd_1}$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f_c'bd_1} , \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1}$$

また、 $k_y$  に関しては、圧縮縁ひずみ  $\varepsilon_c' \geq \varepsilon_{c0}' (=0.002)$  の条件と、圧縮鉄筋が降伏する条件  $\varepsilon_s' \geq \varepsilon_y (=f_y/E_s)$  より、

$$k_y \geq \frac{1}{1+\alpha} \quad \text{および} \quad k_y \geq \frac{1+\gamma}{2} \quad (23)$$

の条件が付加される。

次に、引張鉄筋位置周りのモーメントの釣り合いより、次式が得られる。

$$M + N'y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_y + y_G) + P_2 \cdot (d_1 - \frac{x_y - x_0}{2}) + f_y A_{S2}(d_1 - d_2) \quad (24)$$

式(24)に、前記の式(14)および先の「補足資料」の式(補 2)と(補 4)を用い、両辺を  $0.85f_c'bd_1^2$  で割って無次元化した後、 $M_y$  に関して解けば、次式を得る。

$$\begin{aligned} M_y &= \bar{M}_y \cdot 0.85f_c'bd_1^2 \\ \bar{M} &= \frac{1}{12} \frac{8\alpha + 5}{\alpha^2} (1 - k_y)^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^2} \{(1 + \alpha)k_y - 1\} \{(1 + 2\alpha) - (1 + \alpha)k_y\} + \psi_2(1 - \gamma) \\ &\quad - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \end{aligned} \quad (25)$$

ここに、 $\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'}$  ,  $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$  ,  $\varepsilon_{c0}' = 0.002$  ,  $\psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85f_c'bd_1}$  ,  $\gamma = \frac{d_2}{d_1}$  ,

$$\bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1} , \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(23)の条件のもとに、式(22)を用いて  $k_y$  を求め、式(25)により、降伏時曲げモーメントを算定できる。

なお、降伏時の曲率は、式(8)と同じである。

### 2.3.2 解析式の誘導（その2：コンクリート応力ひずみ線形）

コンクリートの応力ひずみ関係を線形と仮定したとき、降伏曲げモーメントの解析式を誘導する。

この場合の断面仮定は、後掲の図 2.4-1 に示す許容応力度照査における断面仮定と同一となる。ただし、引張鉄筋応力が降伏応力の既知量となり、曲げモーメント  $M$  は作用曲げモーメントではなく、断面諸元と軸力に依存する降伏曲げモーメント  $M_y$  として算出される。

図 2.4-1 を参照し、コンクリート応力分布の直線性より、コンクリート圧縮応力  $\sigma'_c$ （圧縮正）と圧縮鉄筋応力  $\sigma_{s2}$ （引張正）が次式で表される（本項の定式では圧縮鉄筋応力は引張を正とした）。なお、引張鉄筋応力  $\sigma_{s1}$ （引張正）は降伏に達しているとし、 $\sigma_{s1}=f_y$  とする。

$$\sigma'_c = \frac{x_y}{d_1 - x_y} \frac{f_y}{n} \quad (1)$$

$$\sigma_{s2} = -\frac{x_y - d_2}{d_1 - x_y} f_y \quad (2)$$

ここに、 $x_y$ ：降伏時の圧縮縁から中立軸までの距離、 $d_1$ ：有効高、 $d_2$ ：圧縮鉄筋の被り  
 $f_y$ ：鉄筋降伏強度、 $n$ ：ヤング係数比（ $=E_s/E_c$ ）、 $E_c$ ：コンクリートヤング係数、  
 $E_s$ ：鉄筋ヤング係数

軸力と直応力との釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = \frac{1}{2} b \sigma'_c x_y - A_{s2} \sigma_{s2} - A_{s1} f_y \quad (3)$$

ここに、 $N'$ ：軸力（圧縮正）、 $b$ ：断面幅、 $A_{s2}$ ：圧縮鉄筋量、 $A_{s1}$ ：引張鉄筋量  
 式(3)に、式(1)および(2)を代入すると、次式を得る。

$$N' = \frac{1}{2} b x_y \frac{x_y}{d_1 - x_y} \frac{f_y}{n} + A_{s2} \frac{x_y - d_2}{d_1 - x_y} f_y - A_{s1} f_y \quad (4)$$

式(4)を、 $x_y$  に関して整理すれば、次式を得る。

$$b f_y x_y^2 + 2n \{ f_y (A_{s1} + A_{s2}) + N' \} x_y - 2n \{ f_y (A_{s1} d_1 + A_{s2} d_2) + N' d_1 \} = 0 \quad (5)$$

式(5)の両辺に、 $1/(b d_1^2 f_y)$  を乗じると、次式となる。

$$\left( \frac{x}{d_1} \right)^2 + 2n \left\{ \left( \frac{A_{s1}}{b d_1} + \frac{A_{s2}}{b d_1} \right) + \frac{N'}{b d_1 f_y} \right\} \frac{x}{d_1} - 2n \left\{ \left( \frac{A_{s1}}{b d_1} + \frac{A_{s2} d_2}{b d_1 d_1} \right) + \frac{N'}{b d_1 f_y} \right\} = 0 \quad (6)$$

ここで、以下の無次元パラメータを導入する。

$$p_1 = \frac{A_{s1}}{b d_1} \text{ (引張鉄筋比)}, p_2 = \frac{A_{s2}}{b d_1} \text{ (圧縮鉄筋比)}, \gamma = \frac{d_2}{d_1}, \bar{N}' = \frac{N'}{b d_1 f_y}, k_y = \frac{x_y}{d_1} \text{ (中立軸比)}$$

ここで、 $\bar{N}'$  の定義が 2.3.1 の記載とは異なることに注意する必要がある。

上記の無次元パラメータを用い、式(6)は、 $k_y$  に関する 2 次方程式となる。

$$k_y^2 + 2n(p_1 + p_2 + \bar{N}') k_y - 2n(p_1 + \gamma p_2 + \bar{N}') = 0 \quad (7)$$

式(7)を  $k$  について解けば、

$$k_y = -n(p_1 + p_2 + \bar{N}') + \sqrt{n^2(p_1 + p_2 + \bar{N}')^2 + 2n(p_1 + \gamma p_2 + \bar{N}')} \quad (8)$$

式(8)が、降伏時の中立軸比の算定式となる。

したがって、中立軸位置  $x_y$  は、次式で得られる。

$$x_y = k_y d_1 \quad (9)$$



次に、降伏曲げモーメントを求めるために、中立軸位置周りのモーメントの釣り合いを考慮すると、次式を得る。

$$M_y + N'(x_y - y_c) = \frac{1}{2} b x_y \sigma_c' \frac{2}{3} x_y + f_y A_{s1} (d_1 - x_y) - A_{s2} \sigma_{s2} (x_y - d_2) \quad (10)$$

ここに、 $M_y$ ：降伏曲げモーメント、 $y_c$ ：圧縮縁から断面図心までの距離  
式(10)より、降伏曲げモーメント  $M_y$  は、次式で得られる。

$$M_y = b \sigma_c' \frac{x_y^2}{3} + f_y A_{s1} (d_1 - x_y) - A_{s2} \sigma_{s2} (x_y - d_2) - N'(x_y - y_c) \quad (11)$$

ここに、コンクリート応力  $\sigma_c'$  は、式(1)により算出できる。また、圧縮鉄筋応力  $\sigma_{s2}$  は、コンクリート応力を用い次式で算出できる。

$$\sigma_{s2} = -\frac{x_y - d_2}{x_y} n \sigma_c' \quad (12)$$

以上より、コンクリート応力ひずみ関係を線形と仮定したとき、降伏時の中立軸位置  $x_y$ 、コンクリート圧縮縁応力  $\sigma_c'$ 、引張鉄筋応力  $\sigma_{s1}$ 、圧縮鉄筋応力  $\sigma_{s2}$ 、および降伏曲げモーメント  $M_y$  は、次式で算出できる。

$$k_y = -n(p_1 + p_2 + \bar{N}') + \sqrt{n^2(p_1 + p_2 + \bar{N}')^2 + 2n(p_1 + \gamma p_2 + \bar{N}')} \quad (13)$$

$$x_y = k_y d_1 \quad (14)$$

$$\sigma_c' = \frac{x_y}{d_1 - x_y} \frac{f_y}{n} \quad (\text{圧縮正}) \quad (15)$$

$$\sigma_{s1} = -\frac{x_y - d_1}{x_y} n \sigma_c' = f_y \quad (\text{引張正}) \quad (16)$$

$$\sigma_{s2} = -\frac{x_y - d_2}{x_y} n \sigma_c' \quad (\text{引張正}) \quad (17)$$

$$M_y = b \sigma_c' \frac{x_y^2}{3} + f_y A_{s1} (d_1 - x_y) - A_{s2} \sigma_{s2} (x_y - d_2) - N'(x_y - y_c) \quad (18)$$

ここに、 $n$ ：ヤング係数比 (=  $E_s/E_c$ 、 $E_s$ ：鉄筋ヤング係数、 $E_c$ ：コンクリートヤング係数)

$p_1$ ：引張鉄筋比 (=  $A_{s1}/(b d_1)$ )、 $A_{s1}$ ：引張鉄筋量、 $b$ ：断面幅、 $d_1$ ：有効高

$p_2$ ：圧縮鉄筋比 (=  $A_{s2}/(b d_1)$ )、 $A_{s2}$ ：圧縮鉄筋量

$\bar{N}'$ ：無次元化軸力 (=  $N'/(b d_1 f_y)$ )、2.3.1 の記載と定義が異なる)

$N'$ ：軸力、 $f_y$ ：鉄筋降伏強度

$\gamma$ ：圧縮鉄筋被りの有効高に対する比 (=  $d_2/d_1$ )

$y_c$ ：圧縮縁から断面図心までの距離 ( $y_c = h/2$  とした)

### 2.3.3 他のソフトとの比較（降伏曲げモーメント）

#### (1) 解析条件

本マクロでは、2.3.1 および 2.3.2 に示した解析式により、降伏曲げモーメントを算出している。計算結果の検証のため、別ソフト（別途作成したマクロ「矩形 RC 断面の M-N 相互作用図の作成」）を用いて降伏曲げモーメントを計算し、本マクロの結果と比較を行った。

別ソフトでは、終局時や降伏時の曲げモーメントや曲率を、分割法を用いて算出している。また、中立軸比算出に現れる 3 次方程式については、本マクロが解の公式を用いて求解を行ったのに対し、別ソフトでは繰り返し計算により中立軸位置を求めている。

表 2.3-1 に、比較検討に使用した断面諸元を示す。

ケース 1 とケース 2 で、鉄筋降伏強度と鉄筋被りを変更しているが、ケース 1 は軸力が大きくなっても圧縮鉄筋が降伏しないケース、ケース 2 は軸力が大きくなると圧縮鉄筋が降伏するケースである。

表 2.3-1 断面諸元（降伏曲げモーメントの比較）

諸元	ケース 1	ケース 2
断面の全高 (cm)	20	20
断面の幅 (cm)	135	135
鉄筋ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	200	200
鉄筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	345	295
コンクリートヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	29.5	29.5
コンクリート圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	35	35
引張鉄筋断面積 (cm <sup>2</sup> )	12.67	12.67
引張鉄筋かぶり (cm)	6	1
圧縮鉄筋断面積 (cm <sup>2</sup> )	12.67	12.67
圧縮鉄筋かぶり (cm)	6	1
軸力の設定範囲 (kN)	-582~2098	-369~4258

#### (2) 解析結果

表 2.3-2~5 に、本マクロと別ソフトとの比較を示す。別ソフトでは、コンクリート応力ひずみ関係の非線形を考慮している。一方、本マクロでは非線形を考慮した場合と線形を仮定した場合の両者を実施している。

同表によれば、応力ひずみの非線形を考慮した場合には、本マクロと別ソフトで良い一致を示している。一方、本マクロの線形のケースでは、軸力が大きい範囲において別マクロの結果と差異が生じることがわかる。

表 2.3-2 降伏時の比較結果 (ケース 1、コンクリート応力ひずみ非線形)

軸力 nf(i,1) (kN)	本マクロ (My)	MN図 マクロ (My)	比	本マクロ ( $\phi_y$ )	MN図 マクロ ( $\phi_y$ )	比	mody
-582.48	13.016	13.010	1.000	0.01322	0.01322	1.000	1
-485.521	20.879	20.867	1.001	0.01427	0.01426	1.000	1
-388.562	28.727	28.710	1.001	0.01504	0.01504	1.000	1
-291.604	36.447	36.426	1.001	0.01570	0.01570	1.000	1
-194.645	44.028	44.004	1.001	0.01631	0.01631	1.000	1
-97.6863	51.471	51.445	1.001	0.01689	0.01689	1.000	1
-0.72766	58.782	58.753	1.001	0.01744	0.01744	1.000	1
96.23102	65.966	65.933	1.001	0.01797	0.01797	1.000	1
193.1897	73.026	72.992	1.000	0.01849	0.01848	1.000	1
290.1484	79.965	79.929	1.000	0.01900	0.01899	1.000	1
387.1071	86.788	86.749	1.000	0.01950	0.01950	1.000	1
484.0657	93.494	93.455	1.000	0.02000	0.02000	1.000	1
581.0244	100.086	100.045	1.000	0.02050	0.02050	1.000	1
677.9831	106.565	106.523	1.000	0.02100	0.02100	1.000	1
774.9418	112.928	112.885	1.000	0.02151	0.02151	1.000	1
871.9005	119.177	119.132	1.000	0.02201	0.02201	1.000	1
968.8591	125.307	125.262	1.000	0.02253	0.02252	1.000	1
1065.818	131.318	131.272	1.000	0.02305	0.02304	1.000	1
1162.776	137.204	137.158	1.000	0.02357	0.02357	1.000	1
1259.735	142.961	142.913	1.000	0.02411	0.02411	1.000	1
1356.694	148.582	148.536	1.000	0.02466	0.02466	1.000	1
1453.653	154.059	154.012	1.000	0.02523	0.02523	1.000	1
1550.611	159.382	159.336	1.000	0.02581	0.02581	1.000	1
1647.57	164.537	164.493	1.000	0.02641	0.02641	1.000	1
1744.529	169.508	169.462	1.000	0.02704	0.02704	1.000	3
1841.487	174.290	174.247	1.000	0.02769	0.02769	1.000	3
1938.446	178.887	178.844	1.000	0.02837	0.02837	1.000	3
2035.405	183.302	183.257	1.000	0.02908	0.02908	1.000	3
2132.363	187.538	187.495	1.000	0.02982	0.02982	1.000	3
2229.322	191.600	191.554	1.000	0.03060	0.03059	1.000	3
2326.281	195.492	195.447	1.000	0.03140	0.03140	1.000	3
2423.239	199.217	199.173	1.000	0.03224	0.03224	1.000	3
2520.198	202.782	202.734	1.000	0.03312	0.03312	1.000	3
2617.157	206.190	206.143	1.000	0.03404	0.03404	1.000	3
2714.115	209.447	209.401	1.000	0.03501	0.03500	1.000	3
2811.074	212.558	212.510	1.000	0.03601	0.03600	1.000	3
2908.033	215.530	215.483	1.000	0.03706	0.03705	1.000	3

(注) My : 降伏曲げモーメント (単位 kNm)、 $\phi_y$  : 降伏曲率 (単位 1/m)

mody : 1 のとき、圧縮鉄筋未降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 未満

2 のとき、圧縮鉄筋降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 未満

3 のとき、圧縮鉄筋未降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 以上

4 のとき、圧縮鉄筋降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 以上

表 2.3-3 降伏時の比較結果 (ケース 2、コンクリート応力ひずみ非線形)

軸力 nf(i,1) (kN)	本マクロ (My)	MN図 マクロ (My)	比	本マクロ ( $\phi_y$ )	MN図 マクロ ( $\phi_y$ )	比	mody
-369.074	34.131	34.128	1.000	0.00809	0.00809	1.000	1
-274.646	42.780	42.771	1.000	0.00873	0.00873	1.000	1
-180.219	51.085	51.072	1.000	0.00917	0.00917	1.000	1
-85.792	59.109	59.094	1.000	0.00954	0.00954	1.000	1
8.635236	66.896	66.877	1.000	0.00988	0.00988	1.000	1
103.0624	74.476	74.455	1.000	0.01019	0.01019	1.000	1
197.4897	81.872	81.848	1.000	0.01048	0.01048	1.000	1
291.9169	89.099	89.073	1.000	0.01076	0.01076	1.000	1
386.3441	96.170	96.142	1.000	0.01104	0.01104	1.000	1
480.7713	103.097	103.069	1.000	0.01130	0.01130	1.000	1
575.1985	109.887	109.856	1.000	0.01156	0.01156	1.000	1
669.6257	116.548	116.515	1.000	0.01182	0.01182	1.000	1
764.0529	123.086	123.051	1.000	0.01207	0.01207	1.000	1
858.4802	129.505	129.469	1.000	0.01232	0.01232	1.000	1
952.9074	135.810	135.773	1.000	0.01256	0.01256	1.000	1
1047.335	142.005	141.967	1.000	0.01281	0.01281	1.000	1
1141.762	148.093	148.054	1.000	0.01305	0.01305	1.000	1
1236.189	154.076	154.036	1.000	0.01330	0.01330	1.000	1
1330.616	159.957	159.915	1.000	0.01354	0.01354	1.000	1
1425.043	165.737	165.694	1.000	0.01379	0.01379	1.000	1
1519.471	171.418	171.373	1.000	0.01403	0.01403	1.000	1
1613.898	177.000	176.955	1.000	0.01428	0.01428	1.000	1
1708.325	182.485	182.437	1.000	0.01452	0.01452	1.000	1
1802.752	187.872	187.826	1.000	0.01477	0.01477	1.000	1
1897.18	193.161	193.113	1.000	0.01503	0.01502	1.000	1
1991.607	198.353	198.305	1.000	0.01528	0.01528	1.000	1
2086.034	203.446	203.397	1.000	0.01554	0.01553	1.000	1
2180.461	208.440	208.389	1.000	0.01579	0.01579	1.000	1
2274.888	213.332	213.283	1.000	0.01606	0.01606	1.000	1
2369.316	218.121	218.072	1.000	0.01632	0.01632	1.000	1
2463.743	222.360	222.310	1.000	0.01663	0.01662	1.000	2
2558.17	226.304	226.256	1.000	0.01695	0.01694	1.000	2
2652.597	230.079	230.030	1.000	0.01727	0.01727	1.000	2
2747.024	233.675	233.628	1.000	0.01761	0.01761	1.000	2
2841.452	237.076	237.028	1.000	0.01796	0.01796	1.000	2
2935.879	240.264	240.219	1.000	0.01832	0.01832	1.000	4
3030.306	243.222	243.176	1.000	0.01870	0.01869	1.000	4
3124.733	245.948	245.902	1.000	0.01909	0.01909	1.000	4
3219.16	248.441	248.395	1.000	0.01950	0.01949	1.000	4
3313.588	250.701	250.653	1.000	0.01992	0.01992	1.000	4
3408.015	252.729	252.683	1.000	0.02037	0.02037	1.000	4
3502.442	254.523	254.476	1.000	0.02083	0.02083	1.000	4
3596.869	256.085	256.039	1.000	0.02132	0.02132	1.000	4
3691.297	257.414	257.368	1.000	0.02183	0.02183	1.000	4
3785.724	258.511	258.462	1.000	0.02237	0.02237	1.000	4
3880.151	259.374	259.329	1.000	0.02293	0.02293	1.000	4
3974.578	260.005	259.959	1.000	0.02353	0.02352	1.000	4
4069.005	260.403	260.358	1.000	0.02415	0.02414	1.000	4
4163.433	260.569	260.524	1.000	0.02481	0.02480	1.000	4
4257.86	260.501	260.454	1.000	0.02550	0.02550	1.000	4

(注) My : 降伏曲げモーメント (単位 kNm)、 $\phi_y$  : 降伏曲率 (単位 1/m)

mody : 1 のとき、圧縮鉄筋未降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 未満

2 のとき、圧縮鉄筋降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 未満

3 のとき、圧縮鉄筋未降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 以上

4 のとき、圧縮鉄筋降伏かつ圧縮縁ひずみ 0.002 以上

表 2.3-4 降伏時の比較結果（ケース 1、コンクリート応力ひずみ線形）

軸力 nf_inp(i) (kN)	本マクロ (My)	MN図 マクロ (My)	比	本マクロ ( $\phi_y$ )	MN図 マクロ ( $\phi_y$ )	比
-582.48	13.0	13.0	1.001	0.01322	0.01322	1.000
-485.521	20.9	20.9	1.003	0.01423	0.01426	0.998
-388.562	28.9	28.7	1.005	0.01497	0.01504	0.995
-291.604	36.7	36.4	1.008	0.01558	0.01570	0.992
-194.645	44.4	44.0	1.010	0.01614	0.01631	0.989
-97.6863	52.1	51.4	1.012	0.01665	0.01689	0.986
-0.72766	59.6	58.8	1.015	0.01713	0.01744	0.982
96.23102	67.1	65.9	1.018	0.01758	0.01797	0.979
193.1897	74.5	73.0	1.020	0.01801	0.01848	0.975
290.1484	81.8	79.9	1.023	0.01843	0.01899	0.970
387.1071	89.0	86.7	1.026	0.01884	0.01950	0.966
484.0657	96.2	93.5	1.029	0.01923	0.02000	0.961
581.0244	103.3	100.0	1.033	0.01961	0.02050	0.957
677.9831	110.4	106.5	1.036	0.01999	0.02100	0.952
774.9418	117.4	112.9	1.040	0.02035	0.02151	0.946
871.9005	124.4	119.1	1.044	0.02071	0.02201	0.941
968.8591	131.3	125.3	1.048	0.02106	0.02252	0.935
1065.818	138.1	131.3	1.052	0.02141	0.02304	0.929
1162.776	144.9	137.2	1.057	0.02175	0.02357	0.923
1259.735	151.7	142.9	1.062	0.02209	0.02411	0.916
1356.694	158.5	148.5	1.067	0.02242	0.02466	0.909
1453.653	165.2	154.0	1.072	0.02275	0.02523	0.902
1550.611	171.8	159.3	1.079	0.02308	0.02581	0.894
1647.57	178.5	164.5	1.085	0.02340	0.02641	0.886
1744.529	185.1	169.5	1.092	0.02372	0.02704	0.877
1841.487	191.7	174.2	1.100	0.02404	0.02769	0.868
1938.446	198.2	178.8	1.108	0.02435	0.02837	0.858
2035.405	204.7	183.3	1.117	0.02466	0.02908	0.848
2132.363	211.2	187.5	1.126	0.02497	0.02982	0.837
2229.322	217.6	191.6	1.136	0.02528	0.03059	0.826
2326.281	224.1	195.4	1.146	0.02558	0.03140	0.815
2423.239	230.5	199.2	1.157	0.02588	0.03224	0.803
2520.198	236.9	202.7	1.168	0.02618	0.03312	0.791
2617.157	243.2	206.1	1.180	0.02648	0.03404	0.778
2714.115	249.5	209.4	1.192	0.02678	0.03500	0.765
2811.074	255.9	212.5	1.204	0.02707	0.03600	0.752
2908.033	262.1	215.5	1.217	0.02736	0.03705	0.739

(注)本マクロ：コンクリート応力ひずみが線形

MN 図マクロ：コンクリート応力ひずみ非線形

My：降伏曲げモーメント（単位 kNm）、 $\phi_y$ ：降伏曲率（単位 1/m）

表 2.3-5 降伏時の比較結果（ケース 2、コンクリート応力ひずみ線形）

軸力 nf_inp(i) (kN)	本マクロ (My)	MN図 マクロ (My)	比	本マクロ ( $\phi y$ )	MN図 マクロ ( $\phi y$ )	比
-369.074	34.1	34.1	1.000	0.00809	0.00809	1.000
-274.646	42.8	42.8	1.000	0.00872	0.00873	0.999
-180.219	51.1	51.1	1.001	0.00915	0.00917	0.998
-85.792	59.2	59.1	1.002	0.00950	0.00954	0.996
8.635236	67.1	66.9	1.003	0.00982	0.00988	0.994
103.0624	74.7	74.5	1.004	0.01010	0.01019	0.992
197.4897	82.3	81.8	1.005	0.01037	0.01048	0.990
291.9169	89.6	89.1	1.006	0.01063	0.01076	0.987
386.3441	96.9	96.1	1.008	0.01087	0.01104	0.985
480.7713	104.0	103.1	1.009	0.01110	0.01130	0.982
575.1985	111.0	109.9	1.011	0.01133	0.01156	0.980
669.6257	118.0	116.5	1.013	0.01155	0.01182	0.977
764.0529	124.8	123.1	1.014	0.01176	0.01207	0.974
858.4802	131.6	129.5	1.016	0.01196	0.01232	0.971
952.9074	138.2	135.8	1.018	0.01217	0.01256	0.968
1047.335	144.8	142.0	1.020	0.01236	0.01281	0.965
1141.762	151.4	148.1	1.022	0.01256	0.01305	0.962
1236.189	157.8	154.0	1.025	0.01275	0.01330	0.959
1330.616	164.2	159.9	1.027	0.01294	0.01354	0.955
1425.043	170.6	165.7	1.029	0.01312	0.01379	0.952
1519.471	176.8	171.4	1.032	0.01331	0.01403	0.948
1613.898	183.1	177.0	1.034	0.01349	0.01428	0.945
1708.325	189.2	182.4	1.037	0.01367	0.01452	0.941
1802.752	195.3	187.8	1.040	0.01384	0.01477	0.937
1897.18	201.4	193.1	1.043	0.01402	0.01502	0.933
1991.607	207.4	198.3	1.046	0.01419	0.01528	0.929
2086.034	213.4	203.4	1.049	0.01436	0.01553	0.924
2180.461	219.4	208.4	1.053	0.01453	0.01579	0.920
2274.888	225.3	213.3	1.056	0.01470	0.01606	0.915
2369.316	231.1	218.1	1.060	0.01486	0.01632	0.911
2463.743	236.9	222.3	1.066	0.01503	0.01662	0.904
2558.17	242.7	226.3	1.073	0.01519	0.01694	0.897
2652.597	248.5	230.0	1.080	0.01536	0.01727	0.889
2747.024	254.2	233.6	1.088	0.01552	0.01761	0.881
2841.452	259.8	237.0	1.096	0.01568	0.01796	0.873
2935.879	265.5	240.2	1.105	0.01584	0.01832	0.865
3030.306	271.1	243.2	1.115	0.01600	0.01869	0.856
3124.733	276.7	245.9	1.125	0.01616	0.01909	0.847
3219.16	282.2	248.4	1.136	0.01632	0.01949	0.837
3313.588	287.8	250.7	1.148	0.01647	0.01992	0.827
3408.015	293.3	252.7	1.161	0.01663	0.02037	0.816
3502.442	298.7	254.5	1.174	0.01678	0.02083	0.806
3596.869	304.2	256.0	1.188	0.01694	0.02132	0.794
3691.297	309.6	257.4	1.203	0.01709	0.02183	0.783
3785.724	315.0	258.5	1.219	0.01724	0.02237	0.771
3880.151	320.4	259.3	1.235	0.01740	0.02293	0.759
3974.578	325.7	260.0	1.253	0.01755	0.02352	0.746
4069.005	331.0	260.4	1.271	0.01770	0.02414	0.733
4163.433	336.3	260.5	1.291	0.01785	0.02480	0.720
4257.86	341.6	260.5	1.312	0.01800	0.02550	0.706

(注)本マクロ：コンクリート応力ひずみが線形

MN 図マクロ：コンクリート応力ひずみ非線形

My：降伏曲げモーメント（単位 kNm）、 $\phi y$ ：降伏曲率（単位 1/m）

## 2.4 許容応力度照査での応力度算出 (RC 断面弾性計算)

### 2.4.1 曲げ応力度

複鉄筋の矩形断面を仮定し、RC 断面弾性計算によりコンクリート圧縮縁応力および鉄筋応力の算出式を誘導する。

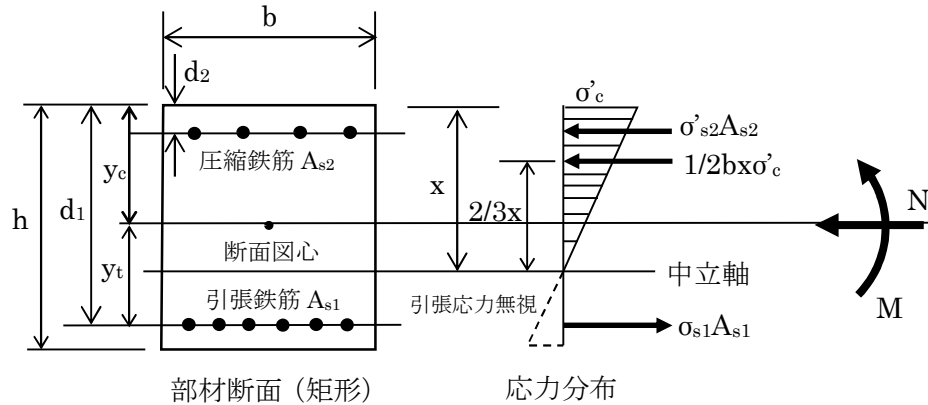


図 2.4-1 許容応力度照査の応力度算出における断面仮定

#### 【記号の説明】

- h : 部材高 (全高)
- d<sub>1</sub> : 有効高 (圧縮縁から引張鉄筋中心位置までの距離)
- d<sub>2</sub> : 圧縮鉄筋の芯かぶり (圧縮縁から圧縮鉄筋中心位置までの距離)
- A<sub>s1</sub> : 引張鉄筋断面積
- A<sub>s2</sub> : 圧縮鉄筋断面積
- b : 部材幅
- x : 圧縮縁から中立軸までの距離
- y<sub>t</sub> : 図心位置 (引張鉄筋位置からの距離)
- y<sub>c</sub> : 図心位置 (圧縮縁からの距離) (y<sub>c</sub>=d<sub>1</sub>-y<sub>t</sub>)
- σ'<sub>c</sub> : 圧縮縁でのコンクリート圧縮応力
- σ<sub>s1</sub> : 引張鉄筋の応力
- σ'<sub>s2</sub> : 圧縮鉄筋の応力
- N' : 部材断面に作用する軸力 (圧縮力を正とする)
- M : 部材断面に作用する曲げモーメント (下縁側に引張を発生させる向きを正とする)
- E<sub>s</sub> : 鉄筋のヤング係数
- E<sub>c</sub> : コンクリートのヤング係数
- n : ヤング係数比 (=E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>) (n=15 とする)

圧縮鉄筋応力  $\sigma'_{s2}$  および引張鉄筋応力  $\sigma'_{s1}$  は、コンクリート圧縮応力  $\sigma'_c$  により、次式で表される。

$$\sigma'_{s2} = E_s \frac{\sigma'_c \frac{x-d_2}{x}}{E_c} = n\sigma'_c \frac{x-d_2}{x} \quad (1)$$

$$\sigma'_{s1} = E_s \frac{\sigma'_c \frac{x-d_2}{x}}{E_c} = n\sigma'_c \frac{d_1-x}{x} \quad (2)$$

RC 断面における軸力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = \frac{1}{2} b\sigma'_c x + A_{s2}\sigma'_{s2} - A_{s1}\sigma'_{s1} \quad (3)$$

また、RC 断面における引張鉄筋位置回りのモーメントの釣り合いにより、次式が成立する。

$$M + N'y_t = \frac{1}{2} b x \sigma'_c \left(d_1 - \frac{x}{3}\right) + A_{s2}\sigma'_{s2}(d_1 - d_2) \quad (4)$$

式(1)および(2)を、式(a3)および(a4)に代入すれば、次式を得る。

$$N' = \frac{bx}{2}\sigma'_c + nA_{s2}\frac{x-d_2}{x}\sigma'_c - nA_{s1}\frac{d_1-x}{x}\sigma'_c \quad (5)$$

$$M + N'y_t = \frac{bx}{2}\sigma'_c\left(d_1 - \frac{x}{3}\right) + nA_{s2}\frac{(x-d_2)}{x}(d_1 - d_2)\sigma'_c \quad (6)$$

したがって、 $(M+N'y_t)/N'$ を計算すれば、 $\sigma'_c$ を消去できる。

$$\frac{M+N'y_t}{N'} = \frac{bx^2(3d_1-x)+6nA_{s2}(x-d_2)(d_1-d_2)}{3bx^2+6nA_{s2}(x-d_2)-6nA_{s1}(d_1-x)} \quad (7)$$

式(7)を中立軸位置  $x$  に関して整理すれば、次式を得る。

$$bd_1 N' x^3 + 3b\{(M + N'y_t) - d_1 N'\}x^2 + 6n\{A_{s1}(M + N'y_t) + A_{s2}(M + N'y_t - (d_1 - d_2)N')\}x - 6n\{A_{s1}(M + N'y_t)d_1 + A_{s2}(M + N'y_t - (d_1 - d_2)N')d_2\} = 0 \quad (8)$$

式(8)の両辺に、 $1/(bd_1^2)$ を乗じれば、次式を得る。

$$d_1 N' \left(\frac{x}{d_1}\right)^3 + 3\{M + N'y_t - d_1 N'\} \left(\frac{x}{d_1}\right)^2 - 6n \left\{ \frac{A_{s1}}{bd_1} (M + N'y_t) + \frac{A_{s2}}{bd_1} (M + N'y_t - (1 - \frac{d_2}{d_1})d_1 N') \right\} \left(\frac{x}{d_1}\right) - 6n \left\{ \frac{A_{s1}}{bd_1} (M + N'y_t) + \frac{A_{s2}}{bd_1} (M + N'y_t - (1 - \frac{d_2}{d_1})d_1 N') \frac{d_2}{d_1} \right\} = 0 \quad (9)$$

ここで、以下のパラメータを定義する。

$$k = \frac{x}{d_1} \text{ (中立軸比)}, p_1 = \frac{A_{s1}}{bd_1} \text{ (引張鉄筋比)}, p_2 = \frac{A_{s2}}{bd_1} \text{ (圧縮鉄筋比)}, \text{ および } \gamma = \frac{d_2}{d_1}$$

式(9)が、上記パラメータにより以下のように表すことができる。

$$N'd_1 k^3 + 3\{M + N'y_t - N'd_1\}k^2 + 6n\{p_1(M + N'y_t) + p_2\{(M + N'y_t) - (1 - \gamma)N'd_1\}\}k - 6n\{p_1(M + N'y_t) + p_2\gamma\{(M + N'y_t) - (1 - \gamma)N'd_1\}\} = 0 \quad (10)$$

さらに、以下の無次元パラメータ  $C$  を定義する。

$$C = \frac{N'd_1}{M} \text{ および } \delta = \frac{y_t}{d_1} = \frac{d_1 - \gamma_c}{d_1}$$

このとき、式(10)を、次式のように書くことができる。



$$Ck^3 + 3\{1 - (1 - \delta)C\}k^2 + 6n[(p_1 + p_2) + \{(p_1 + p_2)\delta - p_2(1 - \gamma)\}C]k - 6n[(p_1 + p_2\gamma) + \{(p_1 + p_2\gamma)\delta - p_2\gamma(1 - \gamma)\}C] = 0 \quad (11)$$

ここで、無次元パラメータ  $\eta$  を、次式で定義する。

$$\eta = \frac{1-(1-\delta)C}{C} = \frac{1}{C} + \delta - 1 = \frac{M}{N'd_1} + \frac{y_t}{d_1} - 1 = \frac{\frac{M}{N'} + y_t - d_1}{d_1} = \frac{\frac{M}{N'} - y_c}{d_1}$$

軸力  $N'$  がゼロでないとき、式(11)の両辺を  $C$  で除し、 $\frac{1+\delta C}{C} = 1 + \eta$  なることを考慮して書き直せば、式(11)は次式となる。

$$k^3 + 3\eta k^2 + 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2(\eta + \gamma)\}k - 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2\gamma(\eta + \gamma)\} = 0 \quad (12)$$

式(12)が中立軸位置  $x$  を算出するための方程式となる。 $k$  に関する 3 次方程式を解けば、中立軸比  $k (=x/d_1)$  を求めることが可能である。

ここに、式(12)は吉川弘道／富山潤著「鉄筋コンクリートの設計 第 2 版 丸善出版」p.129 に示される式と一致している（ただし、吉川らの著書では上記パラメータ  $\eta$  が  $\delta$  と記載している）。

なお、式(12)は軸力  $N'$  がゼロでないときに適用可能であるが、 $N'=0$  の場合には、式(11)において  $C=0$  とし次式が得られる。

$$k^2 + 2n(p_1 + p_2)k - 2n(p_1 + p_2\gamma) = 0 \quad (13)$$

次に、圧縮縁におけるコンクリート応力  $\sigma'_c$  を求める。

式(6)より、

$$\sigma'_c = \frac{M + N'y_t}{\frac{bx}{2}(d_1 - \frac{x}{3}) + nA_{s2}\frac{(x-d_2)}{x}(d_1-d_2)} \quad (14)$$

先に定義したパラメータを用いると、圧縮縁でのコンクリート応力として、次式を得る。

$$\sigma'_c = \frac{6k(\sigma_M + \delta\sigma_N)}{k^2(3-k) + 6np_2(k-\gamma)(1-\gamma)} \quad (15)$$

ここに、 $\sigma_M = \frac{M}{bd_1^2}$  ,  $\sigma_N = \frac{N'}{bd_1}$

また、圧縮鉄筋および引張鉄筋の応力は、式(1)および(2)より、次式で表される。

$$\sigma'_{s2} = n\sigma'_c \frac{x-d_2}{x} = n\sigma'_c \frac{k-\gamma}{k} \quad (16)$$

$$\sigma'_{s1} = n\sigma'_c \frac{d_1-x}{x} = n\sigma'_c \frac{1-k}{k} \quad (17)$$

以上より、許容応力度照査時の曲げ応力度は、下記の式により算出できる。

(1) 軸力  $N' \neq 0$  のときの中立軸算定式

$$k^3 + 3\eta k^2 + 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2(\eta + \gamma)\}k - 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2\gamma(\eta + \gamma)\} = 0 \quad (18)$$

ここに、 $k$  : 中立軸比 ( $=x/d_1$ )

$x$  : 圧縮縁から中立軸までの距離(m)

$d_1$  : 有効高(m)

$$\eta = \frac{e - y_c}{d_1} \text{ (無次元量)}$$

$e$  : 作用軸力に対する作用曲げモーメントの比 ( $=M/N'$ )

$M$  : 作用曲げモーメント(kNm)

$N'$  : 作用軸力(kN)

$y_c$  : 圧縮縁から断面図心までの距離(m)

$n$  : ヤング係数比 ( $=15$ )

$p_1$  : 引張鉄筋比 ( $=A_{s1}/(bd_1)$ )

$p_2$  : 圧縮鉄筋比 ( $=A_{s2}/(bd_1)$ )

$A_{s1}$  : 引張鉄筋断面積(m<sup>2</sup>)

$A_{s2}$  : 圧縮鉄筋断面積(m<sup>2</sup>)

$b$  : 部材幅(m)

$\gamma$  : 有効高に対する圧縮鉄筋被りの比 ( $=d_2/d_1$ )

(2) 軸力  $N'=0$  のときの中立軸算定式

$$k^2 + 2n(p_1 + p_2)k - 2n(p_1 + p_2\gamma) = 0 \quad (19)$$

ここに、 $k$ 、 $n$ 、 $p_1$  および  $p_2$  の定義は、上記(1)の記載と同じ

(3) 応力度の算出式

圧縮縁コンクリート応力  $\sigma'_c$

$$\sigma'_c = \frac{6k(\sigma_M + \delta\sigma_N)}{k^2(3-k) + 6np_2(k-\gamma)(1-\gamma)} \quad (20)$$

ここに、 $\sigma_M = \frac{M}{bd_1^2}$ 、 $\sigma_N = \frac{N'}{bd_1}$ 、 $\delta = \frac{d_1 - y_c}{d_1}$

$k$ 、 $n$ 、 $p_2$ 、 $M$ 、 $N'$ 、 $b$ 、 $d_1$  および  $y_c$  の定義は、上記(1)の記載と同じ

圧縮鉄筋応力  $\sigma'_{s2}$  および引張鉄筋応力  $\sigma_{s1}$

$$\sigma'_{s2} = n\sigma'_c \frac{k-\gamma}{k} \quad (21)$$

$$\sigma_{s1} = n\sigma'_c \frac{1-k}{k} \quad (22)$$

ここに、 $n$ 、 $k$  および  $\gamma$  の定義は、上記(1)の記載と同じ

## 2.4.2 せん断応力度

本マクロでの許容応力度法によるせん断応力に関する照査では、コンクリートせん断応力の照査と必要せん断補強筋量の照査を実施している。土木学会コンクリート標準示方書 2002 年版に準拠した。

### (1) コンクリートせん断応力の照査

コンクリートせん断応力の照査については、以下の通り、コンクリートせん断応力が許容せん断応力度を超えないとき、OK とする。

コンクリートせん断応力： $\tau < \tau_a \rightarrow \text{OK}$

$$\tau = \frac{V}{bjd} \times 1000$$

ここに、 $\tau$ ：コンクリートのせん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$V$ ：応答せん断力 (kN)

$b$ ：部材幅 (mm)

$j$ ： $j=1/1.15$  ( $z=jd$  が圧縮応力の合力位置から引張鉄筋までの距離)

$d$ ：有効高 (mm)

$\tau_a$ ：コンクリートのみで負担する場合の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

### (2) 必要せん断補強筋量の照査

2.4.2(1)の照査において、コンクリートせん断応力 $\tau$ が、許容せん断応力度 $\tau_a$ を超えたとき、必要せん断補強筋量の照査を行う。すなわち、必要せん断補強筋量の使用せん断補強筋量を超えないとき、OK とする。

必要せん断補強筋量： $A_{wn} < A_w \rightarrow \text{OK}$

ここに、 $\tau$ ：コンクリート応答せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_w$ ：せん断補強筋の部材軸方向 1 ピッチあたりの使用せん断補強筋量 (mm<sup>2</sup>)

$A_{wn}$ ：せん断補強筋の部材軸方向 1 ピッチあたりの必要せん断補強筋量 (mm<sup>2</sup>)

$$A_{wn} = \frac{\tau - 0.5 \times \tau_a}{\sigma_{saw}} bs$$

$\sigma_{saw}$ ：せん断補強鉄筋の許容応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_a$ ：コンクリートのみで負担する場合の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$b$ ：部材幅 (mm)

$s$ ：せん断補強筋の部材軸方向ピッチ (mm)

### 2.4.3 市販ソフトとの比較（許容応力度照査時の曲げ応力）

#### (1) 断面諸元および計算ケース

矩形断面に対し、表 2.4-1 の断面諸元を設定した。また、表 2.4-2 に示す通り、断面力を変更した 5 つの計算ケースを考慮した。

表 2.4-1 断面諸元

項目	設定値
断面高さ h(cm)	40
断面幅 b(cm)	100
圧縮鉄筋量 As2(cm <sup>2</sup> )	11.46
引張鉄筋量 As1(cm <sup>2</sup> )	11.46
圧縮鉄筋被り d2(cm)	12
有効高 d1(cm)	28
コンクリート許容応力度(N/mm <sup>2</sup> )	8
鉄筋許容応力度(N/mm <sup>2</sup> )	160

表 2.4-2 計算ケース

ケース番号	曲げモーメント (kNm)	軸力 (kN)	備考
1	34.1	69.3	圧縮軸力・正曲げ
2	-24.5	101.0	圧縮軸力・負曲げ
3	22.9	-82.4	引張軸力・正曲げ
4	8.5	198.5	全断面圧縮
5	-1.9	-103.1	全断面引張

#### (2) 比較結果

表 2.4-3 に、曲げ応力度の計算結果を示す。同表には、本マクロによる結果と市販ソフト（フォーラムエイト「ES」）による結果を示している

同表によれば、本マクロと市販ソフトによる結果は、良い一致を示すことがわかる。

表 2.4-3 比較結果（許容応力度照査における曲げ応力）

ケース番号	本マクロ(A)		市販ソフト(B)		比(A/B)		備考
	コン応力 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋応力 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	比( $\sigma_c$ )	比( $\sigma_s$ )	
1	3.167	78.669	3.167	78.670	1.000	1.000	正曲げ/圧縮軸力
2	2.034	33.462	2.034	33.463	1.000	1.000	負曲げ/圧縮軸力
3	2.478	116.457	2.478	116.455	1.000	1.000	正曲げ/引張軸力
4	0.763	-5.021	0.763	0.000	1.000		全断面圧縮
5	-1.286	55.249	0.000	55.249		1.000	全断面引張

### 3. 3次方程式の解について

降伏曲げモーメントの算出や許容応度照査時の曲げ応力計算には、中立軸比の算出に3次方程式が現れる。この求解には、繰り返し計算を用いることもできるが、本マクロでは3次方程式の解の公式（カルダノの方法）を用いた。以下では、3次方程式の解を示す。

中立軸比  $k$  に関する方程式が、式(1)の3次方程式で表されるものとする。

$$k^3 + Ak^2 + Bk + C = 0 \quad (1)$$

式(1)において、 $k = k' - A/3$  に置き換えれば、次式を得る。

$$k'^3 + Pk' + Q = 0 \quad (2)$$

$$\text{ここに、 } P = -\frac{A^2}{3} + B \quad (2a)$$

$$Q = \frac{2}{27}A^3 - \frac{AB}{3} + C \quad (2b)$$

3次方程式(2)は、解の公式が得られており、式(1)の解を以下の通り求めることができる(\*)。判別式  $D$  の符号により、以下の2通りの実数解が存在する。

$$(1) D = \left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3 > 0 \quad \text{のとき}$$

1個の実数解が存在し（他の2個は複素数解）、式(1)の解が次式で表される。

$$k_1 = \sqrt[3]{r_1} + \sqrt[3]{r_2} - \frac{A}{3} \quad (3)$$

$$\text{ここに、 } r_1 = -\frac{Q}{2} + \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3} \quad (3a)$$

$$r_2 = -\frac{Q}{2} - \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3} \quad (3b)$$

$$(2) D = \left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3 \leq 0 \quad \text{のとき}$$

3個の実数解が存在し、式(1)の解が次式で得られる。特に、 $D=0$  のとき、2個の実数解（1組は重根）となる。

$$k_1 = 2\sqrt[3]{r} \cos\left(\frac{\theta}{3}\right) - \frac{A}{3} \quad (4)$$

$$k_2 = -2\sqrt[3]{r} \cos\left(\frac{\theta}{3} - \frac{\pi}{3}\right) - \frac{A}{3} \quad (5)$$

$$k_3 = -2\sqrt[3]{r} \cos\left(\frac{\theta}{3} + \frac{\pi}{3}\right) - \frac{A}{3} \quad (6)$$

$$\text{ここに、 } r = \sqrt{\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left|\left(\frac{Q}{2}\right)^2 + \left(\frac{P}{3}\right)^3\right|} \quad (4a)$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(-\frac{Q}{2r}\right) \quad (4b)$$

(\*)吉田耕作、雨宮綾夫、伊藤清、加藤敏夫、松島與三、古谷茂（1975）：応用数学便覧、p14、丸善

## 4. 入出力データ

### 4.1 入力データ

入力データは、「断面諸元」、「断面力(L1)」、「断面力(L2)」および「断面力(許容)」の4つのワークシートとなる。以下にそれぞれのワークシートの説明を行う。

#### 4.1.1 シート「断面諸元」

断面諸元を入力するシートである。以下の通り、断面諸元を入力する。

##### (1) 通し番号

1 から順に、設定する断面諸元の番号を入力する。この通し番号が空欄となった時点でデータ入力終了と判断し、断面諸元入力をストップする。

##### (2) 断面 ID

入力する断面諸元の種類を定義するデータである。この断面 ID により断面諸元を判別し、後述の断面力の入力において、断面 ID を指定することにより、照査を実行するための断面諸元を確定させる。断面 ID は、VBA 内では文字データを想定しているが、「1」や「2」などの数字を入力してもよい。

##### (3) 断面高さ $h(\text{cm})$

矩形断面の断面高さ（全高）を、 $\text{cm}$  単位で入力する。

##### (4) 断面幅 $b(\text{cm})$

矩形断面の断面幅を、 $\text{cm}$  単位で入力する。

##### (5) コンクリートヤング係数 $E_c(\text{kN/mm}^2)$

コンクリートのヤング係数を、 $\text{kN/mm}^2$  単位で入力する。

##### (6) 鉄筋ヤング係数 $E_s(\text{kN/mm}^2)$

鉄筋のヤング係数を、 $\text{kN/mm}^2$  単位で入力する。

##### (7) コンクリート強度 $f_c(\text{N/mm}^2)$

コンクリート強度を、 $\text{N/mm}^2$  単位で入力する。

現マクロでは、終局曲げモーメント（終局曲率）の計算ではコンクリート材料安全係数を定義していないが、せん断耐力の計算では、VBA 内で L1 および L2 に対しコンクリート材料安全係数  $\gamma_{mc}$  を定義している。ただし、L1 では  $\gamma_{mc}=1.0$ 、L2 では  $\gamma_{mc}=1.3$  である。

##### (8) 鉄筋降伏強度 $f_y(\text{N/mm}^2)$

鉄筋降伏強度を、 $\text{N/mm}^2$  単位で入力する。

現マクロでは、終局曲げモーメント（終局曲率）の計算では鉄筋材料安全係数を定義していないが、

せん断耐力の計算では VBA 内で L1 および L2 に対し鉄筋ヤング係数  $\gamma_{ms}$  を定義している。ただし、L1 および L2 ともに、 $\gamma_{mc}=1.0$  である。

(9) 上面鉄筋被り  $cu(\text{cm})$

上面側の鉄筋の被り（芯被り）を、 $\text{cm}$  単位で入力する。ここで、上面側とは正曲げ時に圧縮となる側を意味する。

(10) 上面鉄筋量  $asu(\text{cm})$

上面側の鉄筋断面積を、 $\text{cm}^2$  単位で入力する。

(11) 下面鉄筋被り  $cd(\text{cm})$

下面側の鉄筋の被り（芯被り）を、 $\text{cm}$  単位で入力する。ここで、下面側とは正曲げ時に引張となる側を意味する。

(12) 下面鉄筋量  $asd(\text{cm})$

下面側の鉄筋断面積を、 $\text{cm}^2$  単位で入力する。

(13) コンクリート許容応力度  $\sigma_{ca}(\text{N/mm}^2)$

コンクリート圧縮許容応力度を、 $\text{N/mm}^2$  単位で入力する。本データは、許容応力度照査において使用する。

(14) 鉄筋許容応力度  $\sigma_{sa}(\text{N/mm}^2)$

鉄筋引張許容応力度を、 $\text{N/mm}^2$  単位で入力する。本データは、許容応力度照査において使用する。

(15) せん断許容応力度  $\tau_{a1}(\text{N/mm}^2)$

コンクリートせん断許容応力度  $\tau_{a1}$  を、 $\text{N/mm}^2$  単位で入力する。

(16) せん断許容応力度  $\tau_{a2}(\text{N/mm}^2)$

コンクリートせん断許容応力度  $\tau_{a2}$  を、 $\text{N/mm}^2$  単位で入力する。ただし、現マクロでは  $\tau_{a2}$  に対する照査を実施していないので、本データは未使用である。

(17) せん断補強筋量  $aw(\text{cm}^2)$

部材軸方向のせん断補強筋の 1 ピッチ内に存在するせん断補強筋の断面積で、 $\text{cm}^2$  単位で入力する。せん断補強筋が存在しないとき、 $aw=0$  を入力する。

(18) せん断補強筋ピッチ  $pch(\text{cm})$

部材軸方向のせん断補強筋のピッチを、 $\text{cm}$  単位で入力する。

表 4.1-1 シート「断面諸元」の例

通し 番号	断面ID	断面高さ h(cm)	断面幅 b(cm)	コン ヤング係数 ec(kN/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 ヤング係数 es(kN/mm <sup>2</sup> )	コン強度 fc(N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋 降伏強度 fy(N/mm <sup>2</sup> )	上面 鉄筋配り ou(cm)	上面 鉄筋量 asu(cm <sup>2</sup> )	下面 鉄筋配り od(cm)	下面 鉄筋量 asd(cm <sup>2</sup> )	コン許容 σca (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋許容 σsa (N/mm <sup>2</sup> )	せん断許容 τal (N/mm <sup>2</sup> )	せん断許容 τa2 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 補強筋量 aw(cm <sup>2</sup> )	せん断 補強筋ピッチ pch(cm)
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	30	450	25	200	24	345	5	89.37	20	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
2	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	30	450	25	200	24	345	5	43.692	20	89.37	13.5	294	0.675	3	0	12.5
3	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	30	450	25	200	24	345	5	89.37	20	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
4	A-A-要素特性7-池③右壁-上部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
5	A-A-要素特性7-池③右壁-下部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	89.37	13.5	294	0.675	3	0	12.5
6	A-A-要素特性8-池③左壁-上部	45	450	25	200	24	345	5	43.692	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
7	A-A-要素特性8-池③左壁-下部	45	450	25	200	24	345	5	89.37	35	43.692	13.5	294	0.675	3	0	12.5
8	A-A-要素特性9-池③底版-端部	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	128.925	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
9	A-A-要素特性9-池③底版-中央	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	29.79	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
10	A-A-要素特性9-池③底版-柱部	60	450	25	200	24	345	6	29.79	44	59.58	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
11	A-A-要素特性10-池①頂版	45	450	25	200	24	345	9	91.206	28	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5
12	A-A-要素特性11-池①右壁	45	450	25	200	24	345	12	69.678	31	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5
13	A-A-要素特性12-池①左壁	45	450	25	200	24	345	9	69.678	28	69.678	13.5	294	0.675	3	0	12.5
14	A-A-要素特性13-池①底版	60	450	25	200	24	345	12	91.206	41	91.206	13.5	294	0.675	3	3.5748	12.5
15	A-A-要素特性21-池③柱	60	50	25	200	24	345	5	11.613	45	11.613	13.5	294	0.675	3	1.662	10
16	A-A-要素特性22-池①隔壁	45	450	25	200	24	345	12	91.206	28	91.206	13.5	294	0.675	3	0	12.5
17	A-A-要素特性21-池③柱-端部	70	65	25	200	24	345	15	11.613	50	11.613	13.5	294	0.675	3	1.662	10
18	A-A-要素特性21-池③柱-端部 横鉄筋対称配筋(4-D19)-許容	40	100	25	200	24	345	12	11.46	28	11.46	8	160	0.45	2	2.534	12.5

鉄筋配りは、上面（正曲げ圧縮側）からの距離である



#### 4.1.2 シート「断面力(L1)」、「断面力(L2)」および「断面力(許容)」

照査用の作用断面力を入力するシートである。L1 用、L2 用および許容応力度照査用の断面力を区別して入力する。以下に入力すべきデータを示す。

##### (1) 通し番号

1 から順に、設定する断面諸元の番号を入力する。この通し番号が空欄となった時点でデータ入力終了と判断し、断面力入力をストップする。

##### (2) 断面 ID id\_sec(i)

シート「断面諸元」で定義した断面 ID のいずれかを選択して入力する。選択した断面諸元と当該断面力を使用して照査を実施する。

ある程度まとまったグループのデータで断面諸元を定義し、そのグループごとに要素番号と断面力を入力するのがよいので、モデル作成時において、同一の断面諸元を有する要素を同一のグループとしておくのが望ましい。

##### (3) 要素番号 ilem(i)

要素番号を入力する。

##### (4) I,J 端 id\_ij(i)

断面力の I,J 端の区別および MAX,MIN 値の区別を入力する。具体的な入力方法は以下の通りである。

**ABSMAX** : 曲げ照査については、曲げ評価点における曲率が最大となる時刻の曲率、および同じ時刻の I,J 端の断面力のうち絶対値が大きい断面力を用いて照査を行う。せん断照査については、I,J 端のせん断力のうち絶対値が最大となる時刻のせん断力、および同じ時刻の I,J 端の断面力のうち絶対値が大きい断面力を用いて照査を行う。なお、最大値抽出マクロにおいて、isw=1 を指定した場合には、I,J 端の曲げモーメントを使用し、isw=2 を指定した場合には曲げ評価点位置の曲げモーメントを使用する。ここに、曲げ評価点は、非線形梁では TDAP の入力データで指定され (I 端、J 端、あるいは中心位置)、線形梁では中心位置となる。

**I-MAX** : I 端の断面力あるいは曲率の最大値を用いて照査を行う (曲げ照査では曲げ評価点の曲率が最大となる時刻の曲率、および同じ時刻の I 端の断面力を用いる。せん断照査では I 端のせん断力が最大となる時刻のせん断力、および同じ時刻の I 端の断面力を用いる)

**I-MIN** : I 端の断面力あるいは曲率の最小値を用いて照査を行う (曲げ照査では曲げ評価点の曲率が最小となる時刻の曲率、および同じ時刻の I 端の断面力を用いる。せん断照査では I 端のせん断力が最小となる時刻のせん断力、および同じ時刻の I 端の断面力を用いる)

**J-MAX** : J 端の断面力あるいは曲率の最大値を用いて照査を行う (曲げ照査では曲げ評価点の曲率が最大となる時刻の曲率、および同じ時刻の J 端の断面力を用いる。せん断照査では J 端のせん断力が最大となる時刻のせん断力、および同じ時刻の J 端の断面力を用いる)

**J-MIN** : J 端の断面力あるいは曲率の最小値を用いて照査を行う (曲げ照査では曲げ評価点の曲率が最小となる時刻の曲率、および同じ時刻の J 端の断面力を用いる。せん断照査では J 端のせん断力が

最小となる時刻のせん断力、および同じ時刻の J 端の断面力を用いる)

曲げ (曲率) 照査においては、曲げ評価点の応答曲率と I 端あるいは J 端の曲げモーメント (符号のみ使用)、軸力を用いて照査を行う。

せん断照査においては、I 端あるいは J 端のせん断力、曲げモーメント (符号のみ使用)、軸力を用いて照査を行う。

#### (5) 曲げモーメント $mf\_inp(i)$

照査用の曲げモーメントを  $kNm$  単位で入力する。正值 (正曲げ) は断面上面側が圧縮となる曲げモーメント、負値 (負曲げ) は断面下面側が圧縮となる曲げモーメントとする。

#### (6) 軸力 $nf\_inp(i)$

照査用の軸力を  $kN$  単位で入力する。正值が圧縮軸力、負値が引張軸力とする。

#### (7) せん断力 $sf\_inp(i)$

照査用のせん断力を  $kN$  単位で入力する。絶対値で入力する。本マクロではせん断耐力の計算にあたり、上記(5)の曲げモーメントの符号を参照している。

#### (8) 曲率 $ff\_inp(i)$

照査用の曲率を  $1/m$  単位で入力する。絶対値で入力する。本マクロでは終局曲率や降伏曲率の計算にあたり、上記(5)の曲げモーメントの符号を参照している。なお、許容応力度照査では、本データの入力は必要ない。

#### (9) せん断スパン位置

最大値抽出マクロ (後述) において算出されたせん断スパン位置を入力する。最大値抽出マクロにおいて、梁要素中心位置のせん断スパンが固定端に接する場合は「端部」とし、固定端に接しない場合は「中央」と判定している。「中央」と判定された梁要素については、せん断耐力のディープビーム式を適用しないこととする。せん断スパンを  $M/V$  ( $M, V$ : 曲げモーメントおよびせん断力の応答値) で定める場合 ( $iflag4=1$ ) にも、本データが必要である。なお、本データは、L2 断面力に対するせん断照査において使用される。

#### (10) せん断スパン

最大値抽出マクロにより、曲げモーメント分布から算出されたせん断スパンを入力する。本データによりせん断スパン比  $a/d$  を求めてせん断耐力を計算する場合には、マクロ内のフラグ  $iflag4$  を 1 以外に設定しておく必要がある (デフォルト値は 0)。なお、本データは、L2 断面力に対するせん断照査において使用される。

表 4.1-2 シート「断面力(L2)」の例 (一部)

通し 番号	断面ID id_sec(i)	要素番号 ielm(i)	I,J端 id_ij(i)	L2				せん断 スパン 位置	せん断 スパン (m)
				曲げモーメント mf_inp(i) (kNm)	軸力 nf_inp(i) (kN)	せん断力 sf_inp(i) (kN)	曲率 ff_inp(i) (1/m)		
1	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20000	ABSMAX	-208.186	460.663	226.064	1.78E-06	端部	1.317
2	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20001	ABSMAX	-191.756	453.468	206.981	0.004693	端部	1.317
3	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20002	ABSMAX	-152.552	450.282	163.496	0.003103	端部	1.317
4	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20003	ABSMAX	99.8159	392.386	19.3428	0.000963	端部	1.317
5	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20004	ABSMAX	94.1412	255.115	21.1109	0.000733	中央	1.405
6	A-A-要素特性6-池③頂版-端部	20005	ABSMAX	83.2902	254.532	39.3199	0.000569	端部	2.936
7	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20006	ABSMAX	64.334	120.716	57.6871	0.000439	端部	2.956
8	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20007	ABSMAX	60.7265	44.9068	12.1438	0.000415	端部	1.594
9	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20008	ABSMAX	54.4036	41.3532	35.4933	0.000371	端部	1.576
10	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20009	ABSMAX	-88.8803	368.09	167.247	0.000607	端部	1.576
11	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20010	ABSMAX	-233.355	388.537	224.013	1.99E-06	端部	1.576
12	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20011	ABSMAX	-164.231	117.813	194.973	1.4E-06	端部	1.225
13	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20012	ABSMAX	-116.064	98.7268	140.539	0.001622	端部	1.225
14	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20013	ABSMAX	-45.798	94.6283	96.1471	0.000313	端部	1.218
15	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20014	ABSMAX	45.8223	315.466	7.25024	0.000313	中央	1.532
16	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20015	ABSMAX	50.7925	569.677	7.66687	0.000347	中央	1.532
17	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20016	ABSMAX	54.6272	556.891	18.9348	0.000373	中央	1.225
18	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20017	ABSMAX	57.0004	158.286	14.24	0.000389	端部	1.525
19	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20018	ABSMAX	49.8781	152.261	38.9231	0.000341	端部	1.503
20	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20019	ABSMAX	-77.3063	215.956	156.849	0.000528	端部	1.503
21	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20020	ABSMAX	-208.036	236.599	211.543	1.78E-06	端部	1.503
22	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20021	ABSMAX	-164.74	216.599	194.783	1.41E-06	端部	1.211
23	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20022	ABSMAX	-116.17	196.731	140.846	0.001627	端部	1.224
24	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20023	ABSMAX	-46.2088	191.566	97.0754	0.000315	端部	1.224
25	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20024	ABSMAX	53.8191	64.7509	3.74253	0.000367	中央	1.526
26	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20025	ABSMAX	55.6857	62.9479	20.6757	0.00038	中央	1.526
27	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20026	ABSMAX	50.958	190.822	9.75947	0.000348	中央	1.253
28	A-A-要素特性6-池③頂版-中央	20027	ABSMAX	55.8411	187.88	13.6267	0.000381	中央	1.253
29	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20028	ABSMAX	49.0256	181.727	37.3007	0.000335	端部	1.497
30	A-A-要素特性6-池③頂版-柱部	20029	ABSMAX	-76.0229	78.6852	157.334	0.000519	端部	1.497

## 4.2 出力データ

出力のワークシートは、「照査結果(L1)」、「照査結果(L2)」、「照査結果(許容)」および「照査結果(L1 線形)」の4つである。

### 4.2.1 シート「照査結果(L1)」

以下の項目を出力する。

- (1)通し番号
- (2)断面 ID id\_sec
- (3)要素番号 ielm
- (4)I,J 端 id\_ij
- (5)曲げモーメント mf
- (6)軸力 nf
- (7)せん断力 sf
- (8)応答曲率  $\phi$
- (9)中立軸位置 xy

降伏時における中立軸位置 (圧縮縁から中立軸までの距離) を cm 単位で出力する。

- (10)降伏曲げモーメント My

降伏時の曲げモーメントを kNm 単位で出力する。

- (11)降伏曲率  $\phi_y$

降伏時の曲率を 1/m 単位で出力する。

(12)照査値  $\phi / \phi y$

降伏曲率  $\phi y$  に対する応答曲率の比  $\phi / \phi y$  を出力する。

(13)判定 ( $\phi y$ )

$\phi / \phi y$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

(14)有効高補正  $\beta d$

せん断耐力計算時の有効高に関する補正係数  $\beta d$  を出力する。

(15)引張鉄筋補正  $\beta p$

せん断耐力計算時の引張鉄筋比に関する補正係数  $\beta p$  を出力する。

(16)軸力補正  $\beta n$

せん断耐力計算時の軸力に関する補正係数  $\beta n$  を出力する。

(17)コンクリート負担分  $Vc$

せん断耐力のうち、コンクリート負担分  $Vc$  を出力する。ただし、コンクリート材料係数およびコンクリート部材係数は、いずれも 1.0 とする。

(18)鉄筋負担分  $Vs$

せん断耐力のうち、鉄筋負担分  $Vc$  を出力する。ただし、鉄筋材料係数および鉄筋部材係数はいずれも 1.0 とする。

(19)せん断耐力  $Vy$

せん断スパン比  $a/d$  を考慮しない棒部材のせん断耐力  $Vy$  を出力する

(20)照査値  $V/Vy$

せん断耐力  $Vy$  に対する応答せん断力  $V$  の比  $V/Vy$  を出力する。

(21)判定 ( $Vy$ )

$V/Vy$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

表 4.2-1 シート「照査結果(L1)」の例 (一部)

Table with 20 columns: 通し番号, 断面ID, 要素番号, I, J 端, 曲げモーメント, 軸力, せん断力, 応答曲率, 中立軸, 降伏曲率, 降伏曲率, 照査値, 判定, 有効高補正, 引張鉄筋補正, 軸力補正, コンクリート負担分, 鉄筋負担分, せん断耐力, 照査値, 判定. The table contains 30 rows of data for various structural elements.

#### 4.2.2 シート「照査結果(L2)」

以下の項目を出力する。

(1)通し番号

(2)断面 ID  $id\_sec$

(3)要素番号  $ielm$

(4)I,J 端  $id\_ij$

(5)曲げモーメント  $mf$

(6)軸力  $nf$

(7)せん断力  $sf$

(8)応答曲率  $\phi$

(9)中立軸位置  $xu$

終局時における中立軸位置（圧縮縁から中立軸までの距離）を  $cm$  単位で出力する。

(10)終局曲げモーメント  $Mu$

終局時の曲げモーメントを  $kNm$  単位で出力する。

(11)終局曲率  $\phi u$

終局時の曲率を  $1/m$  単位で出力する。

(12)照査値  $\phi / \phi u$

終局曲率  $\phi u$  に対する応答曲率の比  $\phi / \phi u$  を出力する。

(13)判定( $\phi u$ )

$\phi / \phi u$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

(14)有効高補正  $\beta d$

せん断耐力計算時の有効高に関する補正係数  $\beta d$  を出力する。

(15)引張鉄筋補正  $\beta p$

せん断耐力計算時の引張鉄筋比に関する補正係数  $\beta p$  を出力する。

(16)軸力補正  $\beta n$

せん断耐力計算時の軸力に関する補正係数  $\beta n$  を出力する。

(17)コンクリート負担分  $vc$

せん断耐力のうち、コンクリート負担分  $Vc$  を出力する。ただし、コンクリート材料係数およびコンクリート部材係数は、それぞれ 1.3 および 1.3 とする。

(18)鉄筋負担分  $vs$

せん断耐力のうち、鉄筋負担分  $Vs$  を出力する。ただし、鉄筋材料係数および鉄筋部材係数はそれぞれ 1.0 および 1.15 とする。

(19)せん断耐力  $vy$

せん断スパン比  $a/d$  を考慮しない棒部材のせん断耐力  $Vy$  を出力する

(20)照査値  $V/Vy$

せん断耐力  $Vy$  に対する応答せん断力  $V$  の比  $V/Vy$  を出力する。

(21)判定( $Vy$ )

$V/Vy$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

(22) $a(=M/V)$

せん断スパン  $a$  を  $m$  単位で出力する。せん断スパンは、応答曲げモーメント  $M$  および応答せん断力  $V$  により、 $a=M/V$  で計算する。

(23) $a/d$

せん断スパン比  $a/d$  を出力する。

(24)せん断スパン位置

シート「断面力(L2)」に入力したせん断スパン位置を出力する。「端部」あるいは「中央」が出力され、「中央」のとき、せん断耐力式のディープビーム式を適用しない。

(25)ディープ判定

$a/d$  の大きさにより、ディープビームか否かの判定を行う。 $a/d \leq 2$  のとき「ディープビーム」、 $2 < a/d < 5.6$  のとき「棒部材」、また  $a/d \geq 5.6$  のとき「 $a/d$  の適用外」の出力を行う。

(26)せん断耐力  $Vy\_dp$

ディープビーム式あるいはせん断スパン比  $a/d$  を考慮した棒部材式を適用し、せん断耐力  $Vy\_dp$  を出力する。

(27)照査値  $V/Vy\_dp$

ディープビーム式あるいはせん断スパン比  $a/d$  を考慮した棒部材式を適用したせん断耐力に対する応答せん断力の比を出力する。

(28)判定( $Vy\_dp$ )

$V/Vy\_dp$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

(29) $Vmu/Vy$

せん断スパン比  $a/d$  を考慮しないせん断耐力  $Vy$  に対する終局時のせん断力  $Vmu$  の比  $Vmu/Vy$  を出力する。ここに、終局時のせん断力  $Vmu$  は、 $Vmu=Mu/a$  で算出する。

(30)破壊モード判定

$Vmu/Vy$  が 1.0 より大きいとき「せん断」、1.0 以下のとき「曲げ」を出力する。

(31) $Vmu/Vy\_dp$ (ディープ)

ディープビーム式あるいはせん断スパン比  $a/d$  を考慮したせん断耐力式によりせん断耐力  $Vy\_dp$  を計算し、 $Vy\_dp$  に対する終局時のせん断力  $Vmu$  の比  $Vmu/Vy$  を出力する。ここに、終局時のせん断力  $Vmu$  は、 $Vmu=Mu/a$  で算出する。

(32)破壊モード判定(ディープ)

$Vmu/Vy\_dp$  が 1.0 より大きいとき「せん断」、1.0 以下のとき「曲げ」を出力する。

(33)降伏判定

L2 時の応答曲率に対し、降伏判定を行い、「未降伏」あるいは「降伏」の出力、および  $\phi/\phi_y$  の出力を行う。「未降伏」の場合、許容応力度照査の適用対象となる。



#### 4.2.3 シート「照査結果(許容)」

以下の項目を出力する。

- (1)通し番号
- (2)断面 ID  $id_{ij}$
- (3)要素番号  $ielm$
- (4)I,J 端  $id_{ij}$
- (5)曲げモーメント  $mf$
- (6)軸力  $nf$
- (7)せん断力  $sf$
- (8)中立軸位置  $xa$

曲げモーメントと軸力が作用したときの中立軸位置（圧縮縁から中立軸までの距離）を **cm** 単位で出力する。

- (9)コンクリート応力  $sigc$

圧縮縁コンクリート応力を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (10)鉄筋応力  $sig_s$

引張鉄筋応力を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (11)圧縮鉄筋応力  $sig_s2$

圧縮鉄筋応力を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (12)せん断応力  $\tau$

コンクリートせん断応力を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (13)コンクリート許容応力  $\sigma_{ca}$

コンクリート圧縮許容応力度を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (14)鉄筋許容応力  $\sigma_{sa}$

鉄筋引張許容応力度を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (15)許容せん断応力  $\tau_{a1}$

コンクリートせん断許容応力度  $\tau_{a1}$  を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (16)許容せん断応力  $\tau_{a2}$

コンクリートせん断許容応力度  $\tau_{a2}$  を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (17)照査値  $\sigma_c / \sigma_{ca}$

コンクリート許容応力度に対するコンクリート応力の比を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (18)照査値  $\sigma_s / \sigma_{sa}$

鉄筋許容応力度に対する引張鉄筋応力の比を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (19)照査値  $\tau / \tau_{a1}$

せん断許容応力度  $\tau_{a1}$  に対するせん断応力の比を、**N/mm<sup>2</sup>** 単位で出力する。

- (20)判定( $\sigma_c$ )

照査値  $\sigma_c / \sigma_{ca}$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

- (21)判定( $\sigma_s$ )

照査値  $\sigma_s / \sigma_{sa}$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

- (22)判定( $\tau$ )



照査値  $\tau/\tau_{a1}$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

(23)必要せん断補強筋量  $A_{wn}$

照査値  $\tau/\tau_{a1}$  が 1 より小さいとき、せん断補強筋量の照査を行うため、部材軸方向 1 ピッチ内に必要とするせん断補強筋量を、 $cm^2$  単位で出力する。

(24)せん断補強筋量  $A_w$

部材軸方向 1 ピッチ内に配置されているせん断補強筋量を、 $cm^2$  単位で出力する。

(25)せん断補強筋ピッチ  $pch$

せん断補強筋の部材軸方向のピッチを、 $cm$  単位で出力する。

(26)照査値  $A_{wn}/A_w$

せん断補強筋量に対する必要せん断補強筋量の比を出力する。

(27)判定( $A_w$ )

照査値  $A_{wn}/A_w$  が 1 より小さいとき OK を、1 以上のとき NG を出力する。

表 4.2-3 シート「照査結果(許容)」の例

通し 番号	断面ID id_sec(i)	要素番号 elem(i)	L1層 id_l1(i)	曲げモーメント mf_mpt(i) (kNm)	軸力 mf_npt(i) (kN)	せん断力 sf_npt(i) (kN)	中立軸 xa(i) (cm)	コンクリート ひずみ sigc(i) (N/mm2)	鉄筋ひずみ sigr(i) (N/mm2)	圧縮鉄筋 応力sigr2(i) (N/mm2)	せん断 応力 tau(i) (N/mm2)	コンクリート ひずみ sigma (N/mm2)	鉄筋許容 sigma (N/mm2)	せん断許 容 tau1 (N/mm2)	せん断許 容 tau2 (N/mm2)	照査値 tau/tau1	照査値 tau/tau2	照査値 tau/tau1	判定 (sigma)	判定 (tau)	判定 (tau)	必要せん断 補強筋量 Awn(cm2)	せん断 補強筋量 Aw(cm2)	せん断補 強筋ピッチ pch(cm)	照査値 Awn/Aw	判定 (Aw)
1	鉄筋筋対称配筋(4-D19)-許容	1	1	34.31127	49.25927	50	10.342	3.167	78.669	6.569	0.205	B	160	0.45	2	0.398	0.462	0.456	OK	OK	OK	—	2.534	12.5	—	—
2	鉄筋筋対称配筋(4-D19)-許容	1	1	-24.47284	101.0427	50	13.255	2.034	33.482	-3.096	0.205	B	160	0.45	2	0.254	0.209	0.456	OK	OK	OK	—	2.534	12.5	—	—
3	鉄筋筋対称配筋(4-D19)-許容	1	1	22.83878	-82.3881	50	6.774	2.478	116.457	28.671	0.205	B	160	0.45	2	0.310	0.728	0.456	OK	OK	OK	—	2.534	12.5	—	—
4	鉄筋筋対称配筋(4-D19)-許容	1	1	8.6932242	198.9356	50	49.895	0.763	-5.021	-8.691	0.205	B	160	0.45	2	-0.095	-0.031	0.456	OK	OK	OK	—	2.534	12.5	—	—
5	鉄筋筋対称配筋(4-D19)-許容	1	1	-1.8841059	-103.08	50	-15.015	-1.286	55.249	34.688	0.205	B	160	0.45	2	-0.161	0.345	0.456	OK	OK	OK	—	2.534	12.5	—	—

4.2.4 シート「照査結果(L1 線形)」

出力項目は、シート「照査結果(L1)」と同一である。

照査結果(L1)では、降伏曲げモーメント（降伏曲率）の計算においてコンクリート応力ひずみ関係を非線形としたが、一方照査結果(L1 線形)では、コンクリート応力ひずみ関係を線形と仮定した。

## 5. 最大値抽出マクロに関して

動的解析の応答値を用いて RC 断面照査を行うためには、曲率や断面力の時刻歴応答値から最大最小値を抽出する必要がある、また、地震時軸力の影響を考慮するために、曲率照査においては最大最小曲率の発生時刻の軸力値を、またせん断照査においては最大最小せん断力の発生時刻の軸力値を用いるのが望ましいと考えられる。

そこで、TDAPⅢの時刻歴応答値（CSV ファイル）をもとに、同時性を考慮した形で曲率や断面力を抽出することとし、最大最小値の抽出用マクロ「最大値抽出\_TDAPcsv」を作成した。

なお、この最大最小値の抽出用マクロについては、「多段配筋矩形 RC 断面の照査用エクセルマクロに関して」に掲載したものと同一なので、エクセルマクロについてはそちらの項目を参照されたい。

### 5.1 TDAPⅢが出力する時刻歴応答の CSV ファイル

最大値抽出マクロは、TDAPⅢが出力する時刻歴応答の CSV ファイルが必要となる。

表 5.1-1 に、CSV ファイルの出力例を示す。下表に示すように、時刻歴データの前に 6 行のヘッダー行が存在し、その具体的内容は以下である

- 1 行目：解析ケース名（TDAP の入力テキストにて指定する）
- 2 行目：「HISTORY」（TDAP による出力）
- 3 行目：要素タイプ（下記の例では 2 次元梁要素の「BEAM2D」）
- 4 行目：CMP 番号（出力項目の属性を表すもので、例えば I 端の曲げモーメントや J 端のせん断力などを識別する番号。詳細は TDAP の使用手引書を参照のこと）
- 5 行目：ID 番号（梁の要素番号）
- 6 行目：空欄
- 7 行目以降：1 列目が発生時刻で、2 列目以降が時刻歴データ

表 5.1-1 TDAPⅢの時刻歴応答値 CSV ファイルの例（一部）

A-L2-2										
HISTORY										
(TYPE)	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D	BEAM2D
(CMP)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
(ID)	20000	20010	20011	20020	20021	20030	20031	20040	20041	20050
0	1.87395E+	1.76401E+	1.55481E+	1.42767E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07067E+	9.67806E+	8.39939E+	7.43454E+
0.01	1.87395E+	1.76401E+	1.55481E+	1.42767E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07067E+	9.67806E+	8.39939E+	7.43454E+
0.02	1.87395E+	1.76401E+	1.55481E+	1.42767E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07067E+	9.67806E+	8.39939E+	7.43454E+
0.03	1.87395E+	1.76401E+	1.55481E+	1.42767E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07067E+	9.67806E+	8.39939E+	7.43454E+
0.04	1.87395E+	1.76401E+	1.55481E+	1.42767E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07067E+	9.67806E+	8.39939E+	7.43454E+
0.05	1.87395E+	1.76401E+	1.55481E+	1.42767E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07067E+	9.67806E+	8.39939E+	7.43454E+
0.06	1.87394E+	1.76400E+	1.55480E+	1.42766E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07067E+	9.67807E+	8.39941E+	7.43457E+
0.07	1.87393E+	1.76397E+	1.55480E+	1.42764E+	1.28877E+	1.19524E+	1.07069E+	9.67822E+	8.39978E+	7.43491E+
0.08	1.87404E+	1.76406E+	1.55492E+	1.42773E+	1.28889E+	1.19531E+	1.07080E+	9.67888E+	8.40081E+	7.43544E+
0.09	1.87422E+	1.76420E+	1.55511E+	1.42785E+	1.28905E+	1.19539E+	1.07092E+	9.67929E+	8.40158E+	7.43537E+
0.1	1.87436E+	1.76427E+	1.55523E+	1.42789E+	1.28912E+	1.19540E+	1.07096E+	9.67904E+	8.40171E+	7.43493E+

## 5.2 最大最小値の抽出方法

最大値抽出マクロにおいては、要素ごとに入力されるパラメータ  $isw(i)$  の値により、以下に示す 5 通りの抽出が可能である。以下の記載において、 $M$ 、 $N$ 、 $S$  および  $\phi$  は、それぞれ曲げモーメント、軸力、せん断力および曲率を示す。

- (1)  $isw(i)=1$  : ABSMAX を出力。I,J 端の曲げモーメントを使用する。(1 要素 1 個の出力)
- (2)  $isw(i)=2$  : ABSMAX を出力。曲げ評価点の曲げモーメントを使用する。(1 要素 1 個の出力)
- (3)  $isw(i)=3$  : I-MAX および I-MIN を出力。(1 要素 2 個の出力)
- (4)  $isw(i)=4$  : J-MAX および J-MIN を出力。(1 要素 2 個の出力)
- (5)  $isw(i)=5$  : I-MAX、I-MIN、J-MAX および J-MIN の出力。(1 要素 4 個の出力)

上記の ABSMAX や I-MAX 等に対し、抽出される曲率や断面力は、以下の通りである。

### ●曲げ照査の場合

①ABSMAX :  $isw(i)=1$  のとき、曲げ評価点の最大曲率発生時刻における、I,J 端の絶対値が大きい方の  $M$ 、絶対値が大きい方の  $N$ 、および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$ 、あるいは  $isw(i)=2$  のとき、曲げ評価点の最大曲率発生時刻における、曲げ評価点の  $M$ 、I,J 端の絶対値が大きい方の  $N$ 、および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

②I-MAX : 曲げ評価点の最大曲率発生時刻における、I 端の  $M$ 、I 端の  $N$ 、I 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

③I-MIN : 曲げ評価点の最小曲率発生時刻における、I 端の  $M$ 、I 端の  $N$ 、I 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

④J-MAX : 曲げ評価点の最大曲率発生時刻における、J 端の  $M$ 、J 端の  $N$ 、J 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

⑤J-MIN : 曲げ評価点の最小曲率発生時刻における、J 端の  $M$ 、J 端の  $N$ 、J 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

### ●せん断照査の場合

①ABSMAX :  $isw(i)=1$  のとき、I,J 端のせん断力が絶対値最大となる時刻における、I,J 端の絶対値が大きい方の  $M$ 、I,J 端の絶対値が大きい方の  $N$ 、および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$ 、あるいは  $isw(i)=2$  のとき、I,J 端のせん断力が絶対値最大となる時刻における、曲げ評価点の  $M$ 、I,J 端の絶対値が大きい方の  $N$ 、および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

②I-MAX : I 端の最大せん断力発生時刻における、I 端の  $M$ 、I 端の  $N$ 、I 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

③I-MIN : I 端の最小せん断力発生時刻における、I 端の  $M$ 、I 端の  $N$ 、I 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

④J-MAX : J 端の最大せん断力発生時刻における、I 端の  $M$ 、J 端の  $N$ 、J 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

⑤J-MIN : J 端の最小せん断力発生時刻における、I 端の  $M$ 、J 端の  $N$ 、J 端の  $ABS(S)$  および曲げ評価点の  $ABS(\phi)$

### 5.3 応答時刻歴の間引きに関して

最大値の抽出やせん断スパンの算出には、TDAPⅢが出力する応答時刻歴の CSV データを使用しているが、時刻歴データが非常に大きい場合に、時刻歴データをスキップさせて間引きするためのマクロ「時刻歴ピックアップ」を作成した。

スキップ数などの入力パラメータを指定してマクロ「時刻歴ピックアップ」を RUN することで、オリジナルの時刻歴 CSV ファイルから間引いた時刻歴 CSV ファイルを作成できる。詳細は以下の通りである。

#### (1)マクロ名

「最大値抽出\_TDAPcsv」に保存される「時刻歴ピックアップ」

#### (2)入力パラメータ

以下のパラメータをマクロ内で指定する。

**ndat** : オリジナル CSV ファイルの時刻歴ステップ数

**nskp** : 時刻歴をを間引くためのスキップ数 (nskp 個のデータのうち 1 個がピックアップされる)

**dt** : オリジナル CSV ファイルの時間刻み

#### (3)出力データ

出力データは、間引かれた時刻歴 CSV データ、間引かれた時刻歴のステップ数 (**ndat\_new**)、および間引かれた時刻歴の時間刻み (**dt\*nskp**) である。**ndat\_new** および **dt\*nskp** は、シート「入力データ 1」の 2 行目のデータ (時刻歴ステップ数および時間刻み) に書き込まれる。

#### (4)CSV ファイル

付与した例題では、オリジナル CSV ファイルは「L1\_his.csv」であり、間引いた CSV ファイルは「L1\_his\_new.csv」としている。

### 5.4 せん断スパンの算出に関して

せん断耐力式としてディープビーム式やせん断スパン比を考慮したせん断耐力式を適用する場合、梁要素のせん断スパン  $a$  が必要になる。最大値抽出マクロ「最大値抽出\_TDAPcsv」では、梁の曲げモーメント分布からせん断スパンを算出可能である。シート「入力データ 1」のパラメータ **ipsan** を 1 とすることにより、曲げモーメント分布からせん断スパンを算出できる。一方、**ispan** を 1 以外に設定した場合には、曲げモーメント分布からせん断スパンを算出しない (この場合、照査用マクロにおいて **iflag4=1** を設定し、**M/V** によりせん断スパンを算出する)。

曲げモーメント分布からのせん断スパンの算出には、応答せん断力が最大値となる時刻の曲げモーメントの値を用いた。

曲げモーメント分布からせん断スパンを求めるには、節点座標値や節点構成が必要になるので、座標データと要素節点構成データを、テキストファイル「nod&elm」に用意する必要がある。これは、TDAPⅢの入力テキストデータ (**dat** データ) に含まれる「NODE」データと「BEAM2D」データをピックアップしたものを使用すればよい。なお、テキストファイル「nod&elm」の最終行の 1 カラム目に「#」などの文字変数を入力する必要がある。具体的なフォーマットについては、付与した「nod&elm」のデータ例を参照されたい。

## 5.5 入力データ

### 5.5.1 シート「入力データ 1」

「入力データ 1」の入力項目は、以下の通りである。

(1)時刻歴データ数  $ndat$

(2)時刻歴時間刻み  $dt$

(3)抽出要素数  $ne$

(4)せん断スパン計算フラグ  $ispan$

$ispan=1$  : せん断スパンを曲げモーメント分布から算出する

(このとき、I,J 端出力パラメータ  $isw(i)$  を 1 あるいは 2 に設定する)

$ispan \neq 1$  : せん断スパンを曲げモーメント分布から算出しない

(この場合、照査用マクロにおいて  $iflag4=1$  を設定し M/V によりせん断スパンを算出)

(5)通し番号

(6)要素番号

(7) $isw(i)$

I,J 端の断面力出力を規定するパラメータであり、詳細は以下の通りである。

$isw(i)=1,2$  : ABSMAX を出力する。曲げ照査のとき、曲げ評価点の曲率が絶対値最大となる時刻の曲率、および同じ時刻の I,J 端の断面力のうち絶対値が大きい方を出力する。せん断照査のとき、I,J 端のせん断力うち絶対値が最大となる時刻のせん断力、および同じ時刻の I,J 端の断面力のうち絶対値が大きい方を出力する。 $isw(i)=1$  のとき曲げモーメントとして I,J 端の値を、 $isw(i)=2$  のとき曲げモーメントとして曲げ評価点の値を用いる。このとき、梁の 1 要素につき 1 個の出力となる。

$isw(i)=3$  : I-MAX と I-MIN を出力する。曲げ照査のときの I-MAX は、曲げ評価点の曲率が最大値となる時刻の曲率、および同じ時刻の I 端の断面力を出力する。せん断照査のときの I-MAX は、I 端のせん断力が最大となる時刻のせん断力、および同じ時刻の I 端の断面力を出力する。曲げ照査のときの I-MIN は、曲げ評価点の曲率が最小値となる時刻の曲率、および同じ時刻の I 端の断面力を出力する。せん断照査のときの I-MIN は、I 端のせん断力が最小となる時刻のせん断力、および同じ時刻の I 端の断面力を出力する。このとき、梁の 1 要素につき 2 個の出力となる。

$isw(i)=4$  : J-MAX と J-MIN を出力する。曲げ照査のときの J-MAX は、曲げ評価点の曲率が最大値となる時刻の曲率、および同じ時刻の J 端の断面力を出力する。せん断照査のときの J-MAX は、J 端のせん断力が最大となる時刻のせん断力、および同じ時刻の J 端の断面力を出力する。曲げ照査のときの J-MIN は、曲げ評価点の曲率が最小値となる時刻の曲率、および同じ時刻の J 端の断面力を出力する。せん断照査のときの J-MIN は、J 端のせん断力が最小となる時刻のせん断力、および同じ時刻の J 端の断面力を出力する。このとき、梁の 1 要素につき 2 個の出力となる。

$isw(i)=5$  : I-MAX、IMIN、J-MAX および J-MIN を出力する。上記の  $isw(i)=3$  と  $isw(i)=4$  の両者を出力する。このとき、梁の 1 要素につき 4 個の出力となる。

(7)所属部位

梁要素が所属する部位名を入力する。本データはせん断スパンを算出するときに使用する。部位ごとに曲げモーメント分布が描出され、梁要素に本データの部位名の曲げモーメント分布を適用してせん断スパンが算出される。所属部位に含まれる梁要素は、「入力データ 2」において定義される。

## 5.5.2 シート「入力データ 2」

曲げモーメント分布からせん断スパンを算出する際に、モーメント分布を描出する部位とその部位に含まれる要素の関係が必要になる。本データでは、部位名の定義やその部位に含まれる要素番号の入力等を行う。

「入力データ 2」の入力項目は、以下の通りである。

### (1) 通し番号

部位名の数の通し番号を入力する。通し番号が空欄となった時点でデータの読み込みを終了する。

### (2) 部位名

曲げモーメント分布を描出する部位名を入力する。

### (3) 水平 or 鉛直部材

梁要素が水平部材か鉛直部材か認識するためのデータである。水平部材のとき「H」を、鉛直部材のとき「V」を入力する。

### (4) 始点側直交部材厚 (m)

始点側に接続される直交部材の部材厚を入力する。この部材厚の 1/2 により始点部のせん断スパンが補正される。

### (5) 終点側直交部材厚 (m)

終点側に接続される直交部材の部材厚を入力する。この部材厚の 1/2 により終点部のせん断スパンが補正される。

### (6) 要素番号

部位名の属する梁要素の要素番号を入力する。空欄になった時点でデータの読み込みを終了する。

なお、入力する要素番号の附番として、要素番号の始点から終点に向かって要素が連続し、かつ座標値が小さい方から大きい方へ変化しなければならない。予めモデル化において、梁要素の附番順序を考慮しておく必要がある。

表 5.5-1 および 2 に、シート「入力データ 1」および「入力データ 2」の例を示す。

表 5.5-1 シート「入力データ 1」の例 (一部)

1	2	3	4	5	6															
	時刻歴データ数 ndat 時刻歴時刻 dt 抽出要素数 ne せん断スパン計算フラグ ispan	4000	0.01	442	1															
	通し番号	要素番号	isw(i)	所属部位																
	1	20000	2	池③頂版1																
	2	20001	2	池③頂版1																
	3	20002	2	池③頂版1																
	4	20003	2	池③頂版1																
	5	20004	2	池③頂版1																
	6	20005	2	池③頂版1																
	7	20006	2	池③頂版1																
	8	20007	2	池③頂版1																
	9	20008	2	池③頂版1																
	10	20009	2	池③頂版1																
	11	20010	2	池③頂版1																
	12	20011	2	池③頂版2																
	13	20012	2	池③頂版2																
	14	20013	2	池③頂版2																
	15	20014	2	池③頂版2																
	16	20015	2	池③頂版2																
	17	20016	2	池③頂版2																
	18	20017	2	池③頂版2																
	19	20018	2	池③頂版2																
	20	20019	2	池③頂版2																

**せん断スパン計算フラグ ispan**

1のとき：せん断スパンを梁要素の曲げモーメント分布から算出する  
1以外：せん断スパンを梁要素の曲げモーメント分布から算出しない

**I,J端出力のパラメータ isw(i)**

isw(i)=1：I,J端のABSMAXを出力 (曲げモーメントはM1とM2を使用、1要素1個)  
isw(i)=2：I,J端のABSMAXを出力 (曲げモーメントはMzを使用、1要素1個)  
isw(i)=3：I端の出力 (1要素2個、I端のmax,min)  
isw(i)=4：J端の出力 (1要素2個、J端のmax,min)  
isw(i)=5：I,J端の出力 (1要素4個、I,J端のmax,min)

表 5.5-2 シート「入力データ 2」の例 (一部)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	通し番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	部位名	池③頂版	池③頂版	池③頂版	池③頂版	池③頂版	池③頂版	池③頂版	池③底版	池③底版	池③底版	池③底版	池③底版	池③底版
	水平or鉛直部材	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
	始点側直交部材厚(m)	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	終点側直交部材厚(m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	以下、要素番号	20000	20011	20021	20031	20041	20051	20061	20092	20104	20114	20124	20134	20144
		20001	20012	20022	20032	20042	20052	20062	20093	20105	20115	20125	20135	20145
		20002	20013	20023	20033	20043	20053	20063	20094	20106	20116	20126	20136	20146
		20003	20014	20024	20034	20044	20054	20064	20095	20107	20117	20127	20137	20147
		20004	20015	20025	20035	20045	20055	20065	20096	20108	20118	20128	20138	20148
		20005	20016	20026	20036	20046	20056	20066	20097	20109	20119	20129	20139	20149
		20006	20017	20027	20037	20047	20057	20067	20098	20110	20120	20130	20140	20150
		20007	20018	20028	20038	20048	20058	20068	20099	20111	20121	20131	20141	20151
		20008	20019	20029	20039	20049	20059	20069	20100	20112	20122	20132	20142	20152
		20009	20020	20030	20040	20050	20060	20070	20101	20113	20123	20133	20143	20153
		20010						20071	20102					
									20103					

## 5.6 出力データ

### 5.6.1 最大値抽出関連の出力

最大値抽出関連の出力データは、ワークシート「照査用断面力」および「最大最小値」の2つである。

シート「照査用断面力」が照査用マクロで使用する断面力である。シート「最大最小値」は、各要素のI端およびJ端におけるM、N、Sおよびφの最大値と最小値を出力する。

シート「照査用断面力」には、曲率照査用とせん断照査用の両者を出力しているが、それぞれ照査用マクロ「L1 および L2 断面照査\_複鉄筋矩形」の「断面力」シートに貼り付けて使用する。

表 5.6-1 に、シート「照査用断面力」の例を示す。

表 5.6-1 シート「照査用断面力」の例

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	曲率照査										せん断照査								
	通し番号	要素番号	I端orJ端 MAXorMIN	M (kNm)	N (kN)	abs(S) (kN)	abs(φ) (1/m)	isw(i)	発生時刻 (sec)	通し番号	要素番号	I端orJ端 MAXorMIN	M (kNm)	N (kN)	abs(S) (kN)	abs(φ) (1/m)	isw(i)	発生時刻 (sec)	
1	20000	ABSMAX	-208.186	460.663	226.064	1.78E-06	2	9.57	1	20000	ABSMAX	-207.08	458.847	225.697	1.77E-06	2	9.57		
2	20001	ABSMAX	-191.756	453.468	206.981	0.004693	2	9.57	2	20001	ABSMAX	-190.677	451.667	206.589	0.004734	2	9.57		
3	20002	ABSMAX	-152.552	450.282	163.496	0.003103	2	9.57	3	20002	ABSMAX	-151.556	448.558	163.038	0.003113	2	9.57		
4	20003	ABSMAX	99.8159	392.386	19.3428	0.000963	2	9.18	4	20003	ABSMAX	-67.489	450.995	109.137	0.000426	2	9.57		
5	20004	ABSMAX	94.1412	255.115	21.1109	0.000733	2	8.36	5	20004	ABSMAX	-10.8568	456.948	70.8375	3.56E-05	2	9.57		
6	20005	ABSMAX	83.2902	254.532	39.3199	0.000569	2	8.36	6	20005	ABSMAX	71.7241	372.998	42.7413	0.00049	2	8.92		
7	20006	ABSMAX	64.334	120.716	57.6871	0.000439	2	8.34	7	20006	ABSMAX	52.6266	382.905	61.6092	0.000359	2	9.18		
8	20007	ABSMAX	60.7265	44.9068	12.1438	0.000415	2	8.72	8	20007	ABSMAX	20.6384	374.466	88.0425	0.000141	2	9.18		
9	20008	ABSMAX	54.4036	41.3532	35.4933	0.000371	2	8.72	9	20008	ABSMAX	-23.4461	460.661	123.13	0.00016	2	9.19		
10	20009	ABSMAX	-88.8803	368.09	167.247	0.000607	2	9.18	10	20009	ABSMAX	-87.3617	460.388	167.703	0.000596	2	9.19		
11	20010	ABSMAX	-233.355	388.537	224.013	1.99E-06	2	9.18	11	20010	ABSMAX	-232.058	479.183	223.907	1.98E-06	2	9.19		
12	20011	ABSMAX	-164.231	117.813	194.973	1.4E-06	2	8.72	12	20011	ABSMAX	-164.07	117.066	195.035	1.4E-06	2	8.72		
13	20012	ABSMAX	-116.064	98.7268	140.539	0.001622	2	8.72	13	20012	ABSMAX	-115.893	98.0451	140.521	0.001636	2	8.72		
14	20013	ABSMAX	-45.798	94.6283	96.1471	0.000313	2	8.72	14	20013	ABSMAX	-45.405	161.451	96.9074	0.00031	2	8.71		
15	20014	ABSMAX	45.8223	315.466	7.25024	0.000313	2	9.19	15	20014	ABSMAX	3.06441	161.224	63.1784	2.09E-05	2	8.71		
16	20015	ABSMAX	50.7925	569.677	7.66687	0.000347	2	8.98	16	20015	ABSMAX	34.6725	161.789	35.1029	0.000237	2	8.71		
17	20016	ABSMAX	54.6272	556.891	18.9348	0.000373	2	8.98	17	20016	ABSMAX	39.6884	224.423	45.2163	0.000271	2	9.18		
18	20017	ABSMAX	57.0004	158.286	14.24	0.000389	2	8.71	18	20017	ABSMAX	17.0774	218.141	76.0542	0.000117	2	9.18		
19	20018	ABSMAX	49.8781	152.261	38.9231	0.000341	2	8.71	19	20018	ABSMAX	-19.1712	289.173	113.353	0.000131	2	9.19		
20	20019	ABSMAX	-77.3063	215.956	156.849	0.000528	2	9.18	20	20019	ABSMAX	-75.8524	290.393	158.067	0.000518	2	9.19		

なお、照査用マクロでは、同一の断面力および曲率の組み合わせに対し、曲率照査およびせん断照査を同時に実施している。提示した例題では、曲率照査とせん断照査において、断面力および曲率が異なる（発生時刻や値が異なる）ので、両者を別のエクセルファイルに分けて照査を実施している。例題では、エクセルファイル名を、それぞれ「L1 および L2 断面照査\_複鉄筋矩形\_例題 2\_a 曲げ」および「L1 および L2 断面照査\_複鉄筋矩形\_例題 2\_b せん断」としている。

## 5.6.2 せん断スパン関連の出力

せん断スパン関連の出力データは、ワークシート「曲げモーメント分布」、「反曲点と最大点」および「せん断スパン」の3つである。

シート「せん断スパン」が、せん断照査に使用するせん断スパン値である。出力項目は、通し番号、要素番号、部位、発生時刻、区間数、区間、位置、およびせん断スパンである。ここに、区間数とは、ある部位でせん断スパンが計算された数を示し、区間は要素が属する位置を示している。

これらの項目のうち、位置とせん断スパンのデータを、照査用マクロ「L1 および L2 断面照査\_複鉄筋矩形」のシート「断面力(L2)」に貼り付けて使用する。

シート「曲げモーメント分布」は、要素ごとにせん断スパンを算出した曲げモーメント分布（最大せん断力発生時刻の曲げモーメント分布）を出力している。

シート「反曲点と最大点」は、要素ごとに曲げモーメントの反曲点と最大点の座標を出力している。

表 5.6-2 に、シート「せん断スパン」の例を示す。

表 5.6-2 シート「せん断スパン」の例（一部）

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	通し番号	要素番号	部位	発生時刻 (sec)	区間数	区間	位置	せん断スパン(m)
	1	20000	池③頂版1	9.57	4	1	端部	1.317
	2	20001	池③頂版1	9.57	4	1	端部	1.317
	3	20002	池③頂版1	9.57	4	1	端部	1.317
	4	20003	池③頂版1	9.57	4	1	端部	1.317
	5	20004	池③頂版1	9.57	4	2	中央	1.405
	6	20005	池③頂版1	8.92	2	1	端部	2.936
	7	20006	池③頂版1	9.18	2	1	端部	2.956
	8	20007	池③頂版1	9.18	2	2	端部	1.594
	9	20008	池③頂版1	9.19	2	2	端部	1.576
	10	20009	池③頂版1	9.19	2	2	端部	1.576
	11	20010	池③頂版1	9.19	2	2	端部	1.576
	12	20011	池③頂版2	8.72	4	1	端部	1.225
	13	20012	池③頂版2	8.72	4	1	端部	1.225
	14	20013	池③頂版2	8.71	4	1	端部	1.218
	15	20014	池③頂版2	8.71	4	2	中央	1.532
	16	20015	池③頂版2	8.71	4	2	中央	1.532
	17	20016	池③頂版2	9.18	4	3	中央	1.225
	18	20017	池③頂版2	9.18	4	4	端部	1.525
	19	20018	池③頂版2	9.19	4	4	端部	1.503
	20	20019	池③頂版2	9.19	4	4	端部	1.503



## 6. エクセルファイルに関して

### 6.1 エクセル「L1 および L2 断面照査\_複鉄筋矩形 2b\_例題 1」

本エクセルは、「2.限界値の算出方法」に記載した計算例を対象に照査を行った例題である。①L2 曲げ (p.11)、②L2 せん断 (p.17)、③L1 降伏(ケース 1) (p.27)、④L1 降伏(ケース 2) (p.28)、および⑤許容 (p.36) の 5 ケースを対象とした。

上記ケースのうち、L1 降伏については、現況のエクセルでは③に対する断面力のワークシート名(「断面力 L1」)としている。④を計算対象とする場合には、現況のワークシート「断面力(L1)」、「照査結果(L1)」および「照査結果(L1 線形)」の名前を変更し(「断面力(L1)\_ケース 1」など)、かつ「断面力(L1)\_ケース 2」、「照査結果(L1)\_ケース 2」および「照査結果(L1 線形)\_ケース 2」の名前を「断面力(L1)」、「照査結果(L1)」および「照査結果(L1 線形)」に修正する必要がある。

### 6.2 エクセル「L1 および L2 断面照査\_複鉄筋矩形 2b\_例題 2\_a 曲げ」および「L1 および L2 断面照査\_複鉄筋矩形 2b\_例題 2\_b せん断」

本エクセルは、先に掲載した「多段配筋矩形 RC 断面の照査用エクセルマクロに関して」と同じ例題を対象としている。

本エクセルでは、曲げ曲率照査およびせん断照査において、曲率最大値発生時刻とせん断力最大値発生時刻の違いや時刻歴応答解析時での材料修正係数設定値の差異などにより、照査用断面力が異なることを前提に、曲げ照査とせん断照査のエクセルファイルを別々に作成している。

また、複鉄筋 RC 断面を仮定しているために、柱要素の側方鉄筋は無視するモデル化となっていることに注意する必要がある。