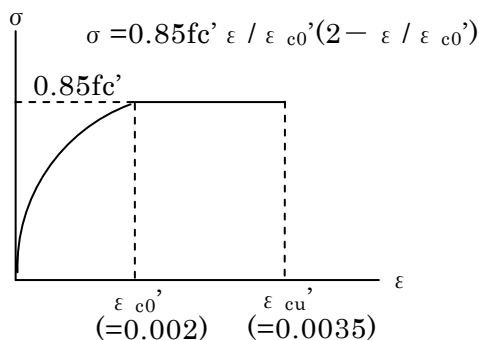
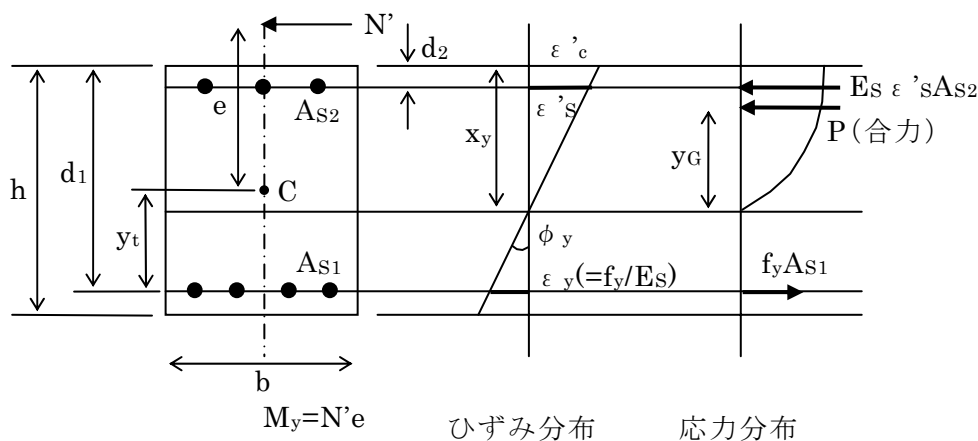


1. 降伏時の耐力と変形

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 $\epsilon_c' < \epsilon_{c0}'$ ($=0.002$) で、かつ圧縮鉄筋が未降伏の場合



応力ひずみ関係（圧縮側）

圧縮縁のひずみ ϵ_c' および圧縮鉄筋のひずみ ϵ_s' は、次式で表される。

$$\epsilon_c' = \frac{x_y}{d_1 - x_y} \epsilon_y \tag{1}$$

$$\epsilon_s' = \frac{x_y - d_2}{d_1 - x_y} \epsilon_y \tag{2}$$

ここに、 $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$

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「補足」の式(1)を用い、両辺を $0.85f_c'bd_1$ 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。

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

$$k_y = \frac{x_y}{d_1}, \quad \alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85f_c'bd_1}$$

ここに、

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f_c'bd_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1}, \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1}$$

また、 k_y に関しては、圧縮縁ひずみ $\varepsilon_c' < \varepsilon_{c0}' (=0.002)$ 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、

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

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「補足」の式(1)と(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。

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

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

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

ここに、

$$\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f_c'bd_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1},$$

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

以上より、式(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 ϕ_y は、次式で得られる。

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

(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「補足」の式(1)を用い、両辺を $0.85f_c'bd_1$ 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。

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

$$k_y = \frac{x_y}{d_1}, \quad \alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}'}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85f_c'bd_1}$$

ここに、

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f_c'bd_1}, \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1}$$

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

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

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「補足」の式(1)と(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。

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

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

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

ここに、

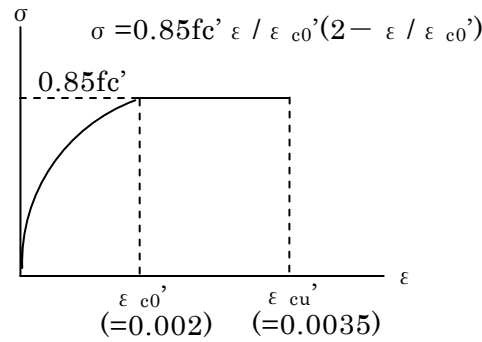
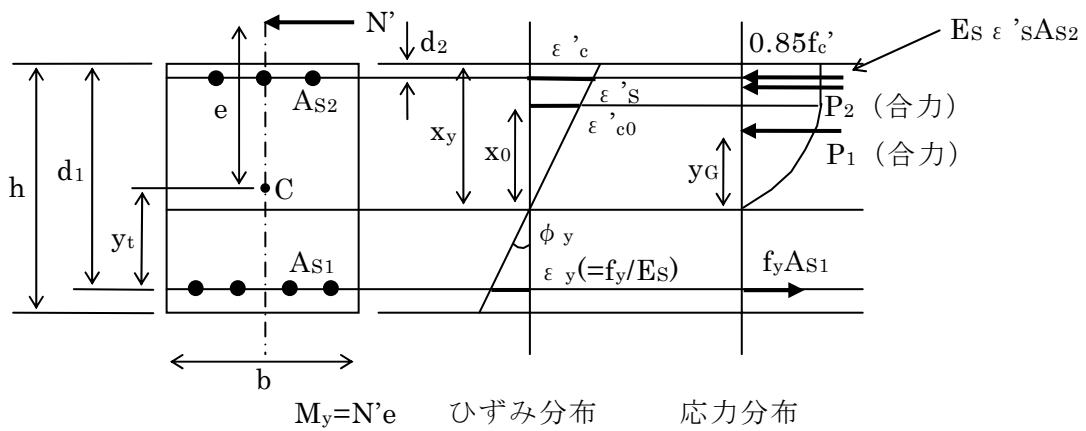
$$\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f_c b d_1},$$

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

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 $\varepsilon_c' > \varepsilon_{c0}' (=0.002)$ で、かつ圧縮鉄筋が未降伏の場合



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

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

圧縮縁のひずみ ε_c' および圧縮鉄筋のひずみ ε_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。

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

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(15)に、式(2)、式(14)および「補足」の式(2)を用い、両辺を $0.85f'_c b d_1$ 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。

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

ここに、

$$k_y = \frac{x_y}{d_1}, \quad \alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85f'_c b d_1}$$

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

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 $\varepsilon_{c'} > \varepsilon_{c0}' (=0.002)$ 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、

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

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。

$$M + N'y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_y + y_G) + P_2 \cdot \left(d_1 - \frac{x_y - x_0}{2}\right) + E_s \varepsilon_s' A_{s2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (19)$$

式(19)に、前記の式(2)、式(14)および「補足」の式(2)と(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_y に関して解けば、次式を得る。

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

$$\bar{M}_y = \frac{1}{12} \frac{8\alpha+5}{\alpha^2} (1-k_y)^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^2} \{(1+\alpha)k_y - 1\} \{(1+2\alpha) - (1+\alpha)k_y\} + \frac{k_y - \gamma}{1-k_y} \psi_2 (1-\gamma)$$

$$- \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (20)$$

ここに、

$$\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f_c' b d_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1},$$

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

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 $\varepsilon_c' > \varepsilon_{c0}' (=0.002)$ 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「補足」の式(2)を用い、両辺を $0.85f_c' b d_1$ 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、

$$k_y = \frac{x_y}{d_1}, \quad \alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85 f_c' b d_1}$$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f_c' b d_1}, \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1}$$

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 $\varepsilon_s' > \varepsilon_y (=f_y/E_s)$ 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。

$$M + N'y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_y + y_G) + P_2 \cdot \left(d_1 - \frac{x_y - x_0}{2}\right) + f_y A_{s2} (d_1 - d_2) \quad (24)$$

式(24)に、前記の式(14)および「補足」の式(2)と(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_y に関して解けば、次式を得る。

$$M_y = \bar{M}_y \cdot 0.85 f_c' b d_1^2$$

$$\bar{M} = \frac{1}{12} \frac{8\alpha + 5}{\alpha^2} (1 - k_y)^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha^2} \{(1 + \alpha)k_y - 1\} \{(1 + 2\alpha) - (1 + \alpha)k_y\} + \psi_2 (1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (25)$$

ここに、

$$\alpha = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_{c0}}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f_c' b d_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1},$$

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

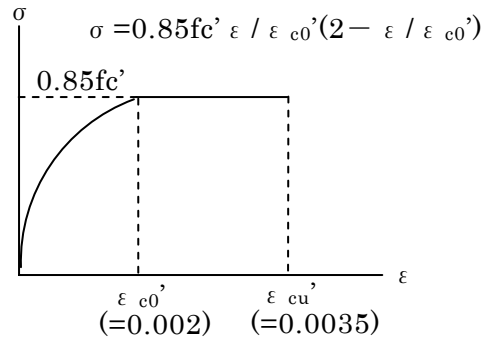
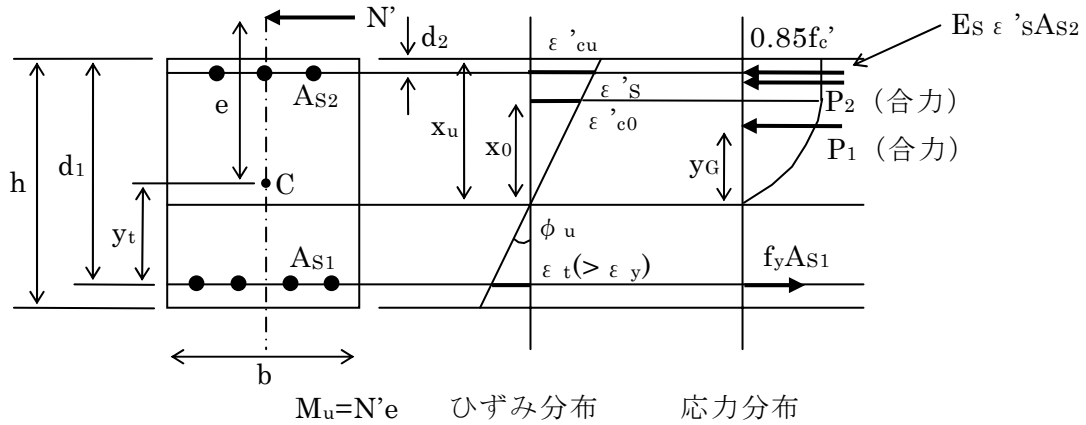
以上より、式(23)の条件のもとに、式(22)を用いて k_y を求め、式(25)により、降伏時曲げモーメントを算定できる。

なお、降伏時の曲率は、式(8)と同じである。

2. 終局時の耐力と変形

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、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し、コンクリート引張応力は無視する。なお、引張鉄筋は降伏しているものとする。

(i) 圧縮鉄筋が未降伏の場合



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。

$$x_0 = \frac{\epsilon_{c0}'}{\epsilon_{cu}'} x_u \quad (26)$$

また、圧縮鉄筋のひずみ ϵ_s' は、次式で表される。

$$\epsilon_s' = \frac{x_u - d_2}{x_u} \epsilon_{cu}' \quad (27)$$

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 + E_s \epsilon_s' A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (28)$$

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(28)に、上記の式(26)および(27)と「補足」の式(2)を用い、両辺を $0.85f_c'bd_1$ 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。

$$k_u = \frac{-3(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}') + \sqrt{9(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}')^2 + 12(3-\beta)\delta\psi_2\gamma}}{2(3-\beta)} \quad (29)$$

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

ここに、 $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$, $\psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85f_c'bd_1}$, $\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f_c'bd_1}$, $\gamma = \frac{d_2}{d_1}$,

$$\bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1}$$

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

$$k_u \leq \frac{\gamma\delta}{\delta-1} \quad (30)$$

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。

$$M_u + N'y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot (d_1 - \frac{x_u - x_0}{2}) + E_s \varepsilon_s' A_{s2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (31)$$

式(31)に、上記の式(26)および(27)と「補足」の式(2)および(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_u に関して解けば、次式が得られる。

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f_c'bd_1^2$$

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8}k_u\right) + (1-\beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2}k_u\right) + \frac{k_u - \gamma}{k_u} \delta\psi_2(1-\gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (32)$$

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

ここに、

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f_c'bd_1} , \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1} , \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1} , \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(30)の条件のもとに、式(29)を用いて k_u を求め、式(32)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 ϕ_u は、

$$\phi_u = \frac{\varepsilon_{cu}'}{x_u} \quad (33)$$

以上より、式(12)、(15)および(16)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。

$$N' = P_1 + P_2 + f_y A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (34)$$

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(34)に、上記の式(26)および「補足」の式(2)を用い、両辺を $0.85f'_c b d_1$ 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。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N}')}{3 - \beta} \quad (35)$$

ここに、

$$k_u = \frac{x_u}{d_1}, \quad \beta = \frac{\varepsilon'_{c0}}{\varepsilon'_{cu}}, \quad \varepsilon'_{cu} = 0.0035, \quad \varepsilon'_{c0} = 0.002, \quad \psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85 f'_c b d_1},$$

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

また、 k_u に関しては、圧縮鉄筋が降伏する条件 $\varepsilon'_s > \varepsilon'_y (=f_y/E_s)$ より、

$$k_u \geq \frac{\gamma \delta}{\delta - 1} \quad (36)$$

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。

$$M_u + N' y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot \left(d_1 - \frac{x_u - x_0}{2}\right) + f_y A_{S2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (37)$$

式(37)に、上記の式(26)と「補足」の式(2)および(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。

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

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3} \beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u\right) + (1-\beta) k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2} k_u\right) + \psi_2 (1-\gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (38)$$

ここに、

$$\beta = \frac{\varepsilon'_{c0}}{\varepsilon'_{cu}}, \quad \varepsilon'_{c0} = 0.002, \quad \varepsilon'_{cu} = 0.0035, \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85 f'_c b d_1},$$

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

以上より、式(36)の条件のもとに、式(35)を用いて k_u をも求め、式(38)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 ϕ_u は、式(33)と同じである。

3. 釣り合い軸力

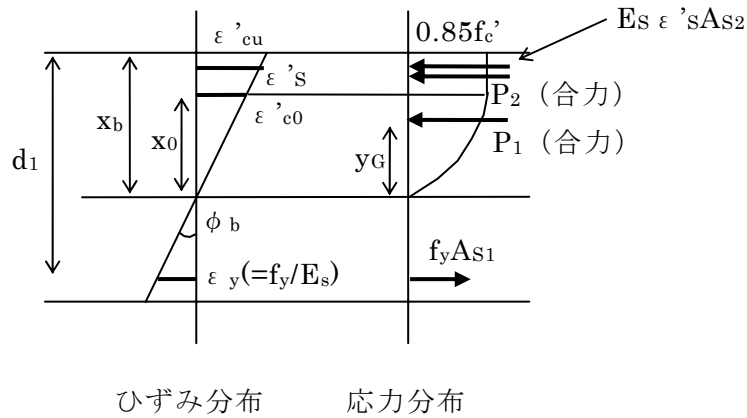
上記の降伏時および終局時の曲げモーメントおよび曲率の算定は、引張鉄筋が降伏後において圧縮縁が限界ひずみ（ $\epsilon_{cu}'=0.0035$ ）に達する破壊モードを仮定している。すなわち、引張鉄筋が降伏する前に圧縮縁が限界ひずみに達するような破壊モードは想定していない。

したがって、引張鉄筋が降伏すると同時に圧縮縁が限界ひずみに達する、「釣り合い軸力（ N_b' ）」よりも小さな軸力が作用する場合を想定していることになる。

以下では、釣り合い軸力を算定する。

引張鉄筋が降伏し、かつ圧縮縁ひずみが $\epsilon_{cu}'=0.0035$ に達しているものとする。

(i) 圧縮鉄筋が未降伏の場合



ひずみ分布に関する条件より、次式が成立する。

$$\frac{x_b}{d_1 - x_b} = \frac{\epsilon_{cu}'}{\epsilon_y} \quad (39)$$

式(39)より、中立軸パラメータ k_b は、次式で求められる。

$$k_b = \frac{\delta}{1 + \delta} \quad (40)$$

ここに、 $k_b = \frac{x_b}{d_1}$, $\delta = \frac{\epsilon_{cu}'}{\epsilon_y}$

釣り合い軸力 N_b' は、式(28)を軸力 N' に関して解くことにより、また釣り合い曲げモーメント M_b' は、式(32)を用いることで、以下のように求めることができる。

$$\begin{aligned} N_b' &= \bar{N}_b' \cdot 0.85f'_c b d_1 \\ \bar{N}_b' &= \frac{2}{3}\beta k_b + (1 - \beta)k_b + \frac{k_b - \gamma}{k_b} \delta \psi_2 - \psi_1 \end{aligned} \quad (41)$$

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

$$\bar{M}_b = \frac{2}{3} \beta k_b \left\{ 1 - \frac{8-5\beta}{8} k_b \right\} + (1-\beta) k_b \left\{ 1 - \frac{1-\beta}{2} k_b \right\} + \frac{k_b - \gamma}{k_b} \delta \psi_2 (1-\gamma) - \bar{N}'_b \frac{y_t}{d_1} \quad (42)$$

ここに、

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

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

また、圧縮鉄筋が未降伏の条件として、

$$k_b \leq \frac{\gamma \delta}{\delta - 1} \quad (43)$$

が付加される。

以上より、式(43)の条件のもとに、式(40)を用いて k_b を求め、式(41)および(42)により釣り合い軸力および釣り合い曲げモーメントが算定できる。

(ii) 圧縮鉄筋が降伏している場合

釣り合い軸力 N'_b は、式(34)を軸力 N' に関して解くことにより、また釣り合い曲げモーメント M'_b は、式(38)を用いることで、以下のように求めることができる。

$$N'_b = \bar{N}'_b \cdot 0.85 f_c' b d_1$$

$$\bar{N}'_b = \frac{2}{3} \beta k_b + (1-\beta) k_b + \psi_2 - \psi_1 \quad (44)$$

$$M_b = \bar{M}_b \cdot 0.85 f_c' b d_1^2$$

$$\bar{M}_b = \frac{2}{3} \beta k_b \left\{ 1 - \frac{8-5\beta}{8} k_b \right\} + (1-\beta) k_b \left\{ 1 - \frac{1-\beta}{2} k_b \right\} + \psi_2 (1-\gamma) - \bar{N}'_b \frac{y_t}{d_1} \quad (45)$$

ここに、

$$\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'} , \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002 , \quad \varepsilon_{cu}' = 0.0035 , \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f_c' b d_1} ,$$

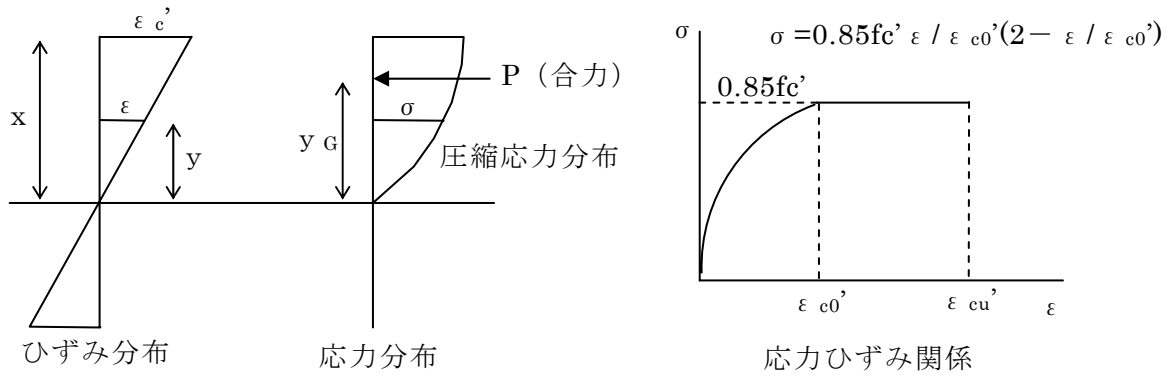
$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} , \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1} , \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

また、圧縮鉄筋が降伏する条件として、

$$k_b \geq \frac{\gamma \delta}{\delta - 1} \quad (46)$$

が付加される。

以上より、式(46)の条件のもとに、式(40)を用いて k_b を求め、式(44)および(45)により釣り合い軸力および釣り合い曲げモーメントが算定できる。



中立軸から y の距離にひずみ ε は、

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

応力 σ は、

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

応力分布の総和 P は、 b を奥行き幅として、

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

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

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

次に、中立軸位置から合力の作用点までの距離 y_G は、

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

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

したがって、

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

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

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