

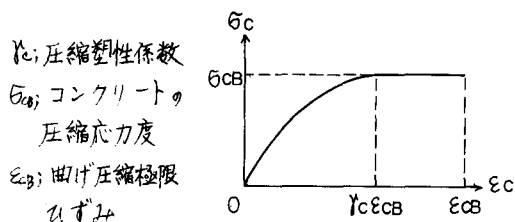
秋田大学 正員。川上 洵
 秋田大学 正員 加賀谷 誠
 秋田大学 正員 徳田 弘

1. まえがき 曲げをうける鉄筋コンクリート曲線部材に限界状態設計法を適用し破壊曲げモーメントそしてひびわれ発生モーメントを求め、直線部材のそれや弾性理論の結果と比較したものである。

2. 破壊曲げモーメント 曲線部材の破壊曲げモーメントも直線部材のそれと同様に次の仮定を行う。

- 1). 平面保持の仮定が成立する。
- 2). コンクリートの引張抵抗は無視する。
- 3). コンクリートの破壊時の応力分布および極限ひびきに関し、図-1のような放物線と矩形の組合せを、また、鉄筋に対して完全弾塑性体を仮定する。

図-1 圧縮部コンクリートの応力-ひびき曲線



また、図-2の場合を Case A とする。中立軸より任意の距離でのひびきを ϵ_{cg} 、コンクリートの圧縮縁でのひびきを ϵ_{cb} とするとき、その比を γ とおくと

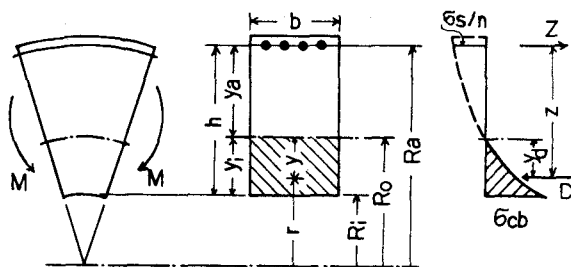
$$\frac{\epsilon_{cg}}{\epsilon_{cb}} = \frac{\gamma}{\epsilon_c} = \frac{R_i}{\epsilon_c} \left(\frac{R_o}{R_i} - 1 \right) - \gamma \quad (1)$$

そしてコンクリートの応力分布は次のとおりである。

$$\frac{\sigma_{cg}}{\sigma_{cb}} = 1 \quad (z = \epsilon_c \sim 1) \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_{cg}}{\sigma_{cb}} = \frac{\epsilon_{cg}}{\epsilon_c \epsilon_{cb}} \left(2 - \frac{\epsilon_{cg}}{\epsilon_{cb}} \right) = \frac{1}{\epsilon_c} \left(2z - \frac{z^2}{\epsilon_c} \right) \quad (z = 0 \sim \epsilon_c) \quad (3)$$

図-2 Case A の曲線部材



これより圧縮力 D は、式(1),(2)を考慮すると

$$\begin{aligned}
 D &= \int_{R_i}^{R_o} \sigma_{cg} dF = \sigma_{cb} b \left(\int_{\epsilon_c}^1 \frac{R_o R_i \gamma_i}{(R_i + \gamma_i z)} dz + \int_0^{\epsilon_c} \frac{1}{\epsilon_c} \left(2z - \frac{z^2}{\epsilon_c} \right) \frac{R_o R_i \gamma_i}{(R_i + \gamma_i z)} dz \right) \\
 &= \sigma_{cb} b R_i \left(\frac{(1 - \gamma_c) \gamma_c}{(R_i + \gamma_c z)} + \frac{R_o R_i}{\epsilon_c} \left[\frac{2}{\epsilon_c} \left\{ \log \left(1 + \frac{\gamma_c}{R_i} \right) - \frac{\gamma_c}{(R_i + \gamma_c z)} \right\} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - \frac{1}{\epsilon_c^2} \left\{ \frac{\gamma_c^2 z^2 + 2 \gamma_c R_i z}{(R_i + \gamma_c z)} - 2 R_i \log \left(1 + \frac{\gamma_c}{R_i} \right) \right\} \right] \right) \quad (4)
 \end{aligned}$$

であり、引張力 Z は、 $Z = A_s \sigma_s$ であり、 $\rho = \frac{A_s}{b h}$ とおくと、力のつりあいより $D = Z$ であるから

$$D = \rho b h \sigma_s \quad (5)$$

である。いま、鉄筋が降伏点 σ_s^* に達すると同時にコンクリート圧縮部が破壊するとき、中立軸の位置は

$$\gamma_i = \frac{h}{\left(\frac{R_o \epsilon_c}{R_i} + 1 \right)} \quad (6)$$

式(5)を式(4)へ代入して求める ρ が ρ^* であり、単鉄筋で設計するか複鉄筋とするかの限界を示す つりあい鉄筋比 である。また、破壊曲げモーメントは、

$$M_B = D (h - \gamma_i + \gamma_d) \quad (7)$$

であり、ここで

$$\begin{aligned}
 \gamma_d &= \frac{1}{D} \int_{R_i}^{R_o} \sigma_{cg} y dF \\
 &= \frac{1}{b} \sigma_{cb} b R_i \gamma_i^2 (1 - \gamma_c) \frac{(R_i \gamma_c + R_i + 2 \gamma_c \gamma_i)}{2 (R_i + \gamma_c \gamma_i)^2} \\
 &\quad + \frac{1}{D} \sigma_{cb} b \frac{R_o R_i}{\epsilon_c} \left\{ - \frac{R_i^2 + 13 R_i \gamma_c + 8 \gamma_c^2}{2 (R_i + \gamma_c \gamma_i)^2} + \frac{(3 R_i + 2 \gamma_c)}{\epsilon_c^2} \log \left(1 + \frac{\gamma_c}{R_i} \right) \right\} \quad (8)
 \end{aligned}$$

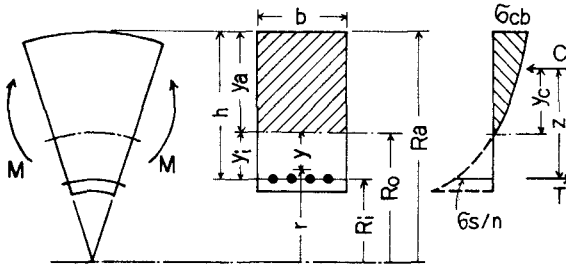
一方、 $\rho < \rho^*$ のとき 式(4)において $\sigma_s = \sigma_s^*$ とおき、 γ_i はトライアル法により決定し、さらに、 $\rho > \rho^*$ のとき、コンクリートの圧縮応力度については σ_{cb} となるが、鉄筋については、 σ_s は σ_s^* であるから

$$\sigma_s = E_s \epsilon_s = E_s \epsilon_{cb} \frac{R_i (h - \gamma_i)}{R_o \gamma_i} \quad (9)$$

であり、式(8)を式(4)へ代入し、 γ_i をトライアル法により決定する。これらの γ_i を式(6),(7)へ代入することにより $\rho < \rho^*$ および $\rho > \rho^*$ に対する破壊曲げモーメントと中立軸から圧縮力作用点までの距離を

得る。一方、図-3の場合が Case B である。

図-3 Case B の曲線部材



Case B においても Case A と同様に破壊曲げモーメントが得られる。その結果のみを示すと、

$$C = \sigma_{cb} b R_0 \left\{ \frac{(1-\beta_c) y_a}{R_0 - \beta_c y_a} + \beta_c b \left[\frac{2}{y_a} \left\{ \log \left(1 - \frac{\beta_c y_a}{R_0} \right) + \frac{\beta_c y_a}{R_0 - \beta_c y_a} \right\} + \frac{1}{\beta_c y_a^2} \left\{ \frac{\beta_c^2 y_a^2 - 2 \beta_c R_0 y_a}{R_0 - \beta_c y_a} - 2 R_0 \log \left(1 - \frac{\beta_c y_a}{R_0} \right) \right\} \right] \right\} \quad (9)$$

であり、つりあい式は、 $C = \phi b h \sigma_c$ (10)

そして、破壊曲げモーメントは、 $M_B = C (h - y_a + y_c)$ である。ここで

$$y_c = \frac{1}{C} \sigma_{cb} b R_0 \left\{ \frac{6 R_0^2 - 13 R_0 \beta_c y_a + 8 \beta_c^2 y_a^2}{2 (R_0 - \beta_c y_a) y_a} + \frac{(3 R_0 - 2 \beta_c y_a)}{\beta_c y_a^2} \log \left(1 - \frac{\beta_c y_a}{R_0} \right) \right\} + \frac{1}{C} \sigma_{cb} b R_0 y_a^2 (1 - \beta_c) \left\{ \frac{R_0 y_c + R_0 - 2 \beta_c y_a}{2 (R_0 - \beta_c y_a)^2} \right\} \quad (11)$$

3. ひびわれ発生モーメント

図-5は、Case A であり、ひびわれ直前の応力状態を示す。引張部の応力分布は、図-4のように仮定する。図-4、引張部コンクリートの応力-ひずみ曲線に；引張弾性係数 E_c^* ；極限曲げ引張ひずみで、 $\epsilon_{ct}^* = (1.85 + 0.02 \sigma_{cs}) \times 10^{-3}$ を用いる。

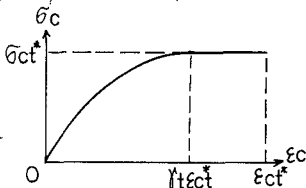
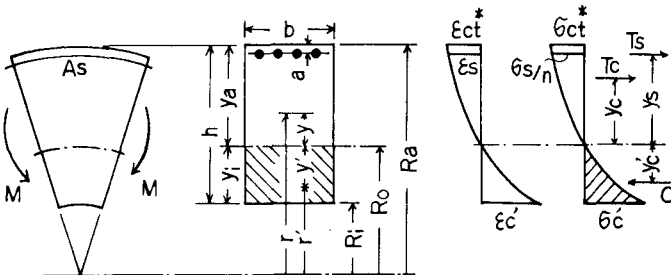


図-5より、コンクリートの圧縮力 C は

$$C = \int_{R_0}^{R_1} \sigma_{cy} dF = E_c \epsilon_{ct}^* b \left\{ -\frac{R_0 R_1}{\beta_c y_c} \left\{ -\frac{y_c}{R_0} - \log \left(1 - \frac{y_c}{R_0} \right) \right\} \right\} \quad (12)$$

図-5 Case A のひびわれ発生モーメント



コンクリートの引張力は、

$$T_c = \int_{R_0}^{R_1} \sigma_{cy} dF = \sigma_{ct}^* b R_0 \left\{ \frac{(1-\beta_c) y_a}{R_0 - \beta_c y_a} \right\} + \sigma_{ct}^* b \frac{R_0 R_1}{\beta_c} \left\{ \frac{2}{y_a} \left(\log \left(1 - \frac{\beta_c y_a}{R_0} \right) + \frac{\beta_c y_a}{R_0 - \beta_c y_a} \right) + \frac{1}{\beta_c y_a^2} \left\{ \frac{\beta_c^2 y_a^2 - 2 \beta_c R_0 y_a}{R_0 - \beta_c y_a} - 2 R_0 \log \left(1 - \frac{\beta_c y_a}{R_0} \right) \right\} \right\} \quad (13)$$

また、鉄筋の引張力 T_s は、

$$T_s = \sigma_s A_s = E_s \epsilon_s \phi b h = E_s \frac{(y_a - a) R_0}{(R_0 - a) y_a} \epsilon_{ct}^* \phi b h \quad (14)$$

式(12)、(13)、(14)より、つりあい式は、

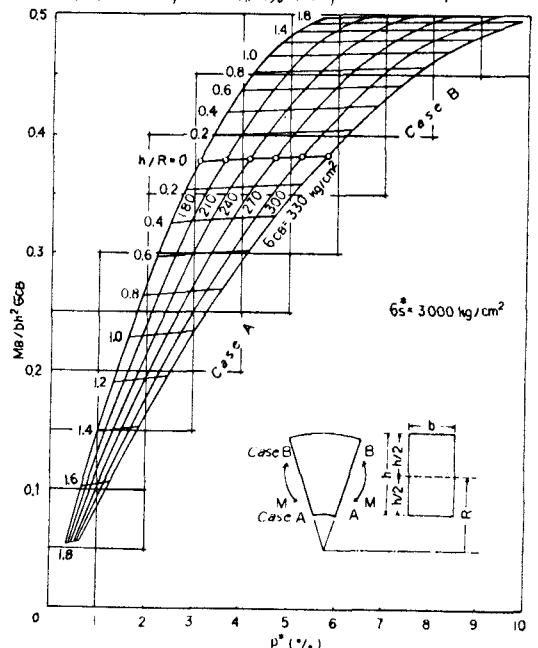
$$C = T_c + T_s \quad (15)$$

これより中立軸の位置が決定し、また、ひびわれ発生モーメントは $M_{cr} = C y_c + T_c y_c + T_s y_s$ で与えられる。ここで、

$$T_c y_c = \sigma_{ct}^* b R_0 \left\{ \frac{6 R_0^2 - 13 R_0 \beta_c y_a + 8 \beta_c^2 y_a^2}{2 y_a (R_0 - \beta_c y_a)^2} + \frac{(3 R_0 - 2 \beta_c y_a)}{\beta_c y_a^2} \log \left(1 - \frac{\beta_c y_a}{R_0} \right) \right\} + \sigma_{ct}^* b y_a^2 R_0 (1 - \beta_c) \frac{(R_0 y_c + R_0 - 2 \beta_c y_a)}{2 (R_0 - \beta_c y_a)^2}$$

同様に、Case B のひびわれ発生モーメントも得られる。

4. 結果 図-6は、 p^* と破壊曲げモーメントの関係 図-6 p^* と破壊曲げモーメント



係であり、 $\sigma_{cs}^* = 3000 \text{ kg/cm}^2$ の場合について示したものである。図中、 $\beta_c = 0$ が、直線部材に相当する。従って Case A と Case B の特殊な場合であり、これは、誘導した式中、対数項を級数展開し、 β_c により、直線部材の結果になることを示す。