

補足 A-4 鉄筋コンクリート長方形断面 de の初降伏時の曲げモーメント (M_{y0}) と曲率 (ϕ_{y0}), ならびに終局曲げモーメント ($M_y = M_u$) の算定法

最初に, 鉄筋コンクリート長方形はりの曲げモーメント (M) と曲率 (ϕ) の関係は, 図 A-4.1 に示すように, 曲げモーメントによる断面内の軸方向ひずみ (ε) は, “平面保持の仮定” により直線分布としており, 軸方向応力 (σ) と ε の関係は, コンクリートおよび鉄筋のそれぞれに対して, 道示 10.4 で示されており, それらを以下のように, 一般的に表されます.

$$\text{コンクリートに対しては, } \sigma_c = f_c(\varepsilon_c) \quad (\text{A-4.1})$$

ここに, σ_c, ε_c : コンクリートの圧縮応力と圧縮ひずみで圧縮を正とし,

$$\text{鉄筋に対しては, } \sigma_s = f_s(\varepsilon_s) \quad (\text{A-4.2})$$

ここに, σ_s, ε_s : 鉄筋の応力とひずみで引張を正としている. なお, 関数 f_c および f_s の詳細は道示 10.4 を参照してください.

図 A-4.1 に示すような, 長方形断面でのひずみ分布および応力分布において, 部材の骨格線の位置に

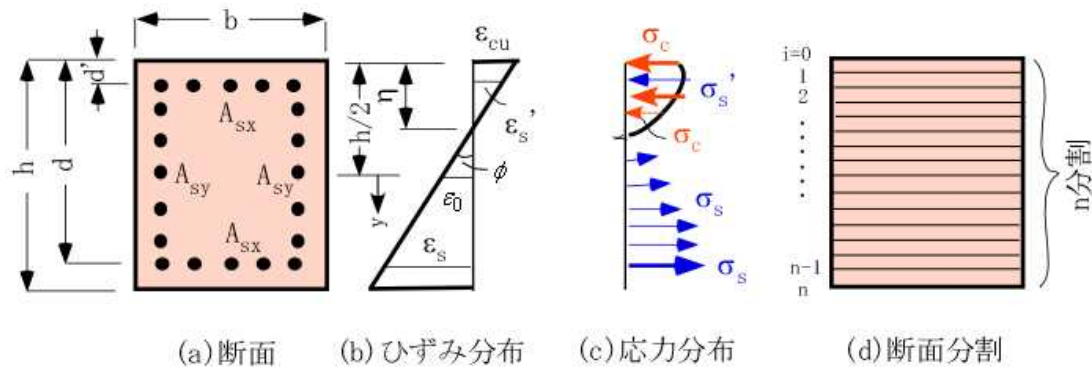


図 A-4.1 鉄筋コンクリート長方形断面はりの曲げひずみと曲げ応力分布

なる断面の中心から下方に距離 y を採れば,

$$M = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_c(y) y dy + \int_{-h/2+d'}^{h/2+d'} a_s(y) \sigma_s(y) y dy, \quad (\text{A-4.3})$$

$$N = b \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_c(y) dy - \int_{-h/2+d'}^{h/2-d'} a_s(y) \sigma_s(y) dy \quad (\text{A-4.4})$$

ここに, M : 曲げモーメント, N : 軸力 (圧縮), b : 断面幅, h : 断面高さ, $a_s(y)$: 単位高さ当たりの分布鉄筋量 (面積), $\sigma_c(y)$: 位置 y でコンクリートの圧縮応力, $\sigma_s(y)$: 位置 y での鉄筋応力, である.

平面保持の仮定に基づき, 断面内のコンクリートおよび鉄筋のひずみは

$$\varepsilon_c = \varepsilon_0 - \phi \cdot y, \quad \varepsilon_s = \varepsilon_0 + \phi \cdot y \quad (\text{A-4.5})$$

ここに, ε_0 : 断面中心でのひずみ, ϕ : 曲率であり, 式(A-4.3)および(A-4.4)より次式を得る.

$$M = b \int_{-h/2}^{h/2} f_c(\varepsilon_c) y dy + \int_{-h/2+d'}^{h/2-d'} a_s(y) f_s(\varepsilon_s) y dy \quad (\text{A-4.6})$$

$$N = b \int_{-h/2}^{h/2} f_c(\varepsilon_c) dy - \int_{-h/2+d'}^{h/2-d'} a_s(y) f_s(\varepsilon_s) dy \quad (\text{A-4.7})$$

ここに、 N は圧縮を正とし、上式の積分は解析的には困難であるので、図 A-4.1(d)に示すように断面を多数の層に分割し（一般に、ファイバーモデルとも呼ばれている）、数値積分法を適用すると、

$$M = b \sum_{i=1}^n \alpha_i f_c(\varepsilon_{ci}) y_i \Delta h_c + \sum_{j=1}^m \alpha_j a_s(y_j) f_s(\varepsilon_{sj}) y_j \Delta h_s \quad (\text{A-4.8})$$

$$N = b \sum_{i=1}^n \alpha_i f_c(\varepsilon_{ci}) \Delta h_c - \sum_{j=1}^m \alpha_j a_s(y_j) f_s(\varepsilon_{sj}) \Delta h_s \quad (\text{A-4.9})$$

ここに、 $i = 1, 2, 3, \dots, n$ 、 n : コンクリート断面の分割点の総数、 Δh : 分割層厚、 α_i は数値積分の重みで、台形公式を適用すると、 $i = 1, n$ では $\alpha_i = 0.5$ 、 $1 < i < n$ では $\alpha_i = 1$ であり、 $j = 1, 2, 3, \dots, m$ 、 m : 鉄筋層の分割点の総数、 Δh_s は鉄筋層の高さ方向の分割間隔であり、 α_j は α_i と同様の数値積分の重み係数である。

式(10.2-8)および(10.2-9)は、与えられた軸力 (N) と曲率 (ϕ) に対して、 M と ε_0 を未知数とする 2 元の非線形連立一次方程式であり、反復・収束計算によって解くことができます。

なお、軸力 (N) については、単柱式鉄筋コンクリート橋脚では、上部工の自重による一定の圧縮軸力が働き、鉄筋コンクリートラーメン橋脚では、自重による一定の圧縮軸力と水平地震慣性力による圧縮と引張の変動軸力が作用することになります。

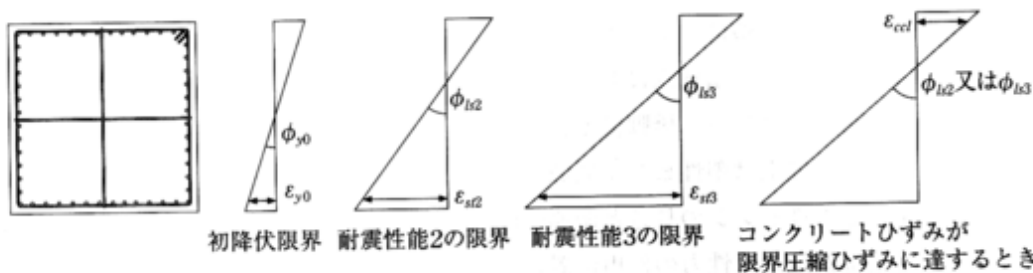


図-解10.3.1 初降伏限界、耐震性能2又は耐震性能3の限界におけるひずみ分布の設定

図 A-4.2 初降伏曲率および許容限界曲率でのひずみ分布

ところで、道示では、図 A-4.2 に示すように、初降伏曲率 (ϕ_{y0})、および耐震性能 2, 3 での許容限界曲率 (ϕ_{ls2} 、 ϕ_{ls3}) でのそれぞれのひずみ分布を用いて、初降伏モーメント (M_{y0}) および終局曲げモーメント ($M_u = M_{ls2,3}$) を式(A-4.8)および(A-4.9)により求め、コンクリートの圧縮限界ひずみ (ε_{ccl}) か、または、鉄筋の引張限界ひずみ(耐震性能 2 では ε_{sl2} 、耐震性能 3 では ε_{sl3}) に最初に到達したときの曲げモーメントが M_u に対応することになります。

以上