問題 1

(1) $p = \dfrac{A_s}{bd} = \dfrac{1800}{250 \times 480} = 0.015$ $\underline{1.5\%}$ //

(2) $M_{cr} = \dfrac{f_b I}{h/2} = \dfrac{4.0 \times \frac{250 \times 550^3}{12}}{550/2} = 5.042 \times 10^7$ [N·mm]

$= \underline{50.4 \text{ [kN·m]}}$ //

(3) $n = \dfrac{E_s}{E_c} = \dfrac{2.0 \times 10^5}{2.5 \times 10^4} = 8$

$Z_n = pdn\left(-1 + \sqrt{1 + \dfrac{2}{np}}\right) = 0.015 \times 480 \times 8 \times \left(-1 + \sqrt{1 + \dfrac{2}{8 \times 0.015}}\right) = 184.5$ [mm]

$\sigma_s = \dfrac{M_{cr}}{A_s(d - Z_n/3)} = \dfrac{5.042 \times 10^7}{1800 \times (480 - \frac{184.5}{3})} = \underline{66.9 \text{ [N/mm}^2\text{]}}$ //

(4) $M = \sigma_s \cdot A_s \cdot \left(d - \dfrac{Z_n}{3}\right)$

条件より σ_s に 120 N/mm² を代入

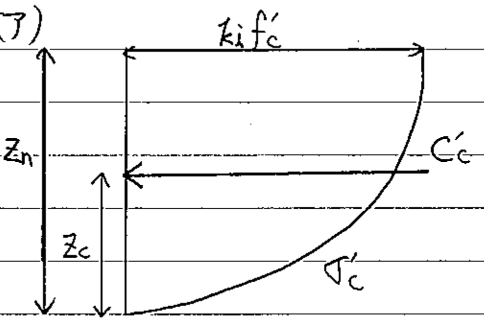
$M = 120 \times 1800 \times \left(480 - \dfrac{184.5}{3}\right) = 9.04 \times 10^7$ [N·mm]

$= \underline{90.4 \text{ [kN·m]}}$ //

(5) $M_y = A_s f_y \left(d - \dfrac{Z_n}{3}\right) = 1800 \times 400 \times \left(480 - \dfrac{184.5}{3}\right) = 3.013 \times 10^8$ [N·mm]

$= \underline{301.3 \text{ [kN·m]}}$ //

(6) (ア)



(イ) $C'_c = \int_A \sigma'_c(z)\, dA$

$$C'_c = \int_0^{y_0} k_1 f'_c \left\{ 2\left(\frac{\varepsilon'_c}{\varepsilon'_0}\right) - \left(\frac{\varepsilon'_c}{\varepsilon'_0}\right)^2 \right\} b\, dy + \int_{y_0}^{z_n} k_1 f'_c\, b\, dy \cdots ①$$

(ア)より $\varepsilon'_c = \varepsilon'_u \dfrac{y}{z_n} \cdots ②$

①へ②を代入

$$C'_c = \int_0^{y_0} k_1 f'_c \left\{ 2\left(\varepsilon'_u \frac{y}{\varepsilon'_0 z_n}\right) - \left(\varepsilon'^2_u \frac{y^2}{\varepsilon^2_0 z_n^2}\right) \right\} b\, dy + \int_{y_0}^{z_n} k_1 f'_c\, b\, dy$$

$$C'_c = \left[k_1 f'_c \left\{ 2\frac{1}{2}\left(\varepsilon'_u \frac{y}{\varepsilon'_0 z_n}\right) - \frac{1}{3}\varepsilon'^2_u \left(\frac{y^3}{\varepsilon'^2_0 z_n^2}\right) \right\} b \right]_0^{y} + \left[k_1 f'_c\, y \right]_{y_0}^{z_n} b$$

$$C'_c = k_1 f'_c \left\{ \varepsilon'_u \frac{y_0^2}{\varepsilon'_0 z_n} - \frac{1}{3}\varepsilon'^2_u \frac{y^3}{\varepsilon'^2_0 z_n^2} \right\} b + \left\{ k_1 f'_c z_n - k_1 f'_c y_0 \right\} b \cdots ③$$

(ア)より $y_0 = z_n \dfrac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u} \cdots ④$

③へ④を代入

$$C'_c = k_1 f'_c \left\{ \varepsilon'_u \frac{1}{\varepsilon'_0 z_n} \times z_n^2 \frac{\varepsilon'^2_0}{\varepsilon'^2_u} - \frac{1}{3}\varepsilon'^2_u \frac{1}{\varepsilon'^2_0 z_n^2} \times z_n^3 \frac{\varepsilon'^3_0}{\varepsilon'^3_u} \right\} b$$

$$+ \left\{ k_1 f'_c z_n - k_1 f'_c z_n \frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u} \right\} b$$

$$C'_c = k_1 f'_c \left\{ z_n \frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u} - \frac{1}{3} z_n \frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u} \right\} b + \left\{ k_1 f'_c z_n - k_1 f'_c z_n \frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u} \right\} b$$

$$C'_c = k_1 f'_c\, b\, z_n \left(1 - \frac{1}{3}\frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u}\right)$$

$$= k_1 f'_c\, b\, z_n \left(1 - \frac{1}{3}\frac{2000\times10^{-6}}{3500\times10^{-6}}\right)$$

$$C'_c = 0.810 \times k_1 f'_c\, b\, z_n = 0.688 f'_c\, b\, z_n$$

(ウ) $M_u = C'_c \times Z_c + T_s(d - Z_n)$ から求まる

$$Z_c = Z_n - \frac{\int_A \sigma'_c(z)\, z\, dA}{\int_A \sigma'_c(z)\, dA} = \frac{k_1 f'_c b Z_n^2 \left\{\frac{1}{2} - \frac{1}{12}\left(\frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u}\right)^2\right\}}{k_1 f'_c b Z_n \left(1 - \frac{1}{3}\frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_c}\right)}$$

$$= \frac{Z_n\left\{\frac{1}{2} - \frac{1}{12}\left(\frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u}\right)^2\right\}}{\left(1 - \frac{1}{3}\frac{\varepsilon'_0}{\varepsilon'_u}\right)} = 0.584 Z_n$$

$T_s = C'_c$ より

$0 = 0.688 f'_c b Z_n - A_s f_y$

$$Z_n = \frac{A_s f_y}{0.688 f'_c b} = \frac{1800 \times 400}{0.688 \times 35 \times 250} = 119.6 \text{ [mm]}$$

$M_u = C'_c \cdot Z_c + T_s(d - Z_n)$

$M_u = 0.688 \times 35 \times 250 \times 119.6 \times 0.584 \times 119.6 + 1800 \times 400 \times (480 - 119.6)$

$= 3.098 \times 10^8$ [N·mm]

$= 309.8$ [kN·m]

(7) $C_c' = \int_A \sigma_c'(z)\, dA$

$= \int_{\alpha z_n}^{z_n} k_{ii} f_c'\, b\, dy = \left[k_{ii} f_c'\, b y \right]_{0.2 z_n}^{z_n} = 0.8\, k_{ii} f_c'\, b z_n$

$= 0.68 f_c'\, b z_n$

$z_c = 0.6 z_n$

$T_s = C_c'$ より

$0 = 0.68 f_c' b z_n - A_s f_y$

$z_n = \dfrac{A_s f_y}{0.68 f_c' b} = \dfrac{1800 \times 400}{0.68 \times 35 \times 250} = 121.0\ [\mathrm{mm}]$

$M_u = 0.68 \times f_c' b z_n \times 0.6 z_n + A_s f_y (d - z_n)$

$= 0.68 \times 35 \times 250 \times 121 \times 0.6 \times 121 + 1800 \times 400 \times (480 - 121)$

$= 3.107 \times 10^8\ [\mathrm{N \cdot mm}]$

$= \underline{310.7\ [\mathrm{kN \cdot m}]}$

(8) 釣り合い鉄筋比より

$\beta = k_{ii} \left(1 - \frac{1}{3} \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_u}\right) = 0.688$

$p < \dfrac{f_c'}{f_y} \dfrac{\beta}{1 + \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_u}}$

$p < \dfrac{35}{400} \times \dfrac{0.688}{1 + \frac{400/2.0 \times 10^5}{3500 \times 10^{-6}}} = 0.0383$

上限値 3.83%

下限値はひび割れ発生直後に鉄筋が降伏すると考え

$\sigma_s = \dfrac{M_{cr}}{A_s(d - \frac{z_n}{3})} \leq 400$ の時の p_b（鉄筋比をもとめる。）… ①

$A_s\left(d - \frac{z_n}{3}\right) = p_b b d \times \left\{ d - p_b d n \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n p_b}} \right) \right\}$ … ②

問題1の(2)より

$M_{cr} = 5.042 \times 10^7$ … ③

$p_b = 0.0024$ と仮定

①へ②と③を代入

$\sigma_s = \dfrac{M_{cr}}{A_s(d - \frac{z_n}{3})} = 387.7\ [\mathrm{N/mm^2}] \leq 400$ $\underline{\text{ok!}}$

$p_b = 0.0023$ と仮定

同様に計算する

$\sigma_s = \frac{M_{cr}}{A_s(d-\frac{z_n}{3})} = 404.0$ [N/mm²] $\not< 400$ NG

よって下限値は 0.24%

答 $0.24\% < p_b < 3.83\%$

問題2

$n=3$, $s=50$mm と仮定し, 条件に合うか照査する.

$A_s = nA_{s0} = 3 \times 500 = 1500$ [mm²]

曲げ耐力 M_u

条件より

$M_u = 0.68 f'_c b z_n \times 0.6 z_n + A_s f_y (d - z_n)$ …①

$z_n = A_s \times \frac{f_y}{0.68 \times f'_c \times b} = 63.0$ [mm] …②

①へ②を代入

$M_u = 0.68 \times 40 \times 350 \times 63 \times 0.6 \times 63 + 1500 \times 400 \times (400 - 63.0)$

$= 2.249 \times 10^8$ [N·mm]

$= 224.9$ [kN·m]

$P_{mu} = \frac{2 \times M_u}{a} = \frac{2 \times 224.9}{\frac{2000[mm]}{1000}} = 224.9$ [kN]

せん断耐力 V_u

$V_u = V_c + V_s$

$V_c = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vc} b d = 123211$ [N] $= 123.2$ [kN]

$f_{vc} = 0.20 \times \sqrt[3]{f'_c}$

$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$

$\beta_p = \sqrt[3]{100p}$

$\beta_n = 1.0$

$V_s = A_w f_y (\sin\alpha + \cos\alpha)\frac{z}{s}$

$\alpha = 90°$ $z = \frac{d}{1.15}$

よって $V_s = 150 \times 400 (\sin 90° + \cos 90°) \times \frac{\frac{400}{1.15}}{50}$

$= 417391 [N] = 417.4 [kN]$

$V_u = V_c + V_s = 123.2 + 417.4 = 540.6 [kN]$

$P_{vu} = 2 \times V_u = 2 \times 540.6 = 1081.2 [kN]$

条件① 曲げ引張破壊となる。

$p = \frac{A_s}{bd} = \frac{1500}{350 \times 400} = 0.0107$ 1.1%

釣り合い鉄筋比

$p_b = \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{0.688}{1 + \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_u'}} = 0.044$ 4.4%

$p < p_b$ なので曲げ引張破壊である。

$1.1 < 4.4$ %

条件② P_{vu}が P_{mu}の2倍以上

$P_{vu} = 1081.2 [kN]$

$P_{mu} = 224.9 [kN]$

$\frac{P_{vu}}{P_{mu}} = \frac{1081.2}{224.9} = 4.8 > 2$ よって P_{vu}はP_{mu}の2倍以上ある。

以上のことより $n = 3$, $s = 50$ では 条件①,② を満足する。

問題3　圧縮を正とする。

(1)

下縁

$$\sigma'\left(\frac{h}{2}\right)=\frac{P}{bh}+\frac{Pe}{I}\times\frac{h}{2}-\frac{M}{I}\times\frac{h}{2}$$

~~条件より M は 0~~

$P=400000$ [N]

$$=\frac{400000}{250\times500}+\frac{400000\times100}{\frac{250\times500^3}{12}}\times\frac{500}{2}$$

$$=7.04\ [\mathrm{N/mm^2}]$$

上縁

$$\sigma'\left(-\frac{h}{2}\right)=\frac{P}{bh}-\frac{Pe}{I}\,\frac{h}{2}$$

$$=-0.64\ [\mathrm{N/mm^2}]$$

(2)

- コンクリートの収縮
- コンクリートのクリープ
- PC鋼材のリラクセーション

(3) $\sigma'\left(\frac{h}{2}\right)=\frac{P}{bh}+\frac{Pe}{I}\times\frac{h}{2}$　下縁の式を用いる。

プレストレスが 80% 残った状態

$P=400000\times0.8=320000$ [N]

$$\sigma'=\frac{320000}{250\times500}+\frac{320000\times100}{\frac{250\times500^3}{12}}\times\frac{500}{2}=5.632\ [\mathrm{N/mm^2}]$$

$$M_{cr}=\frac{(\sigma'+f_b)\times I}{h/2}=\frac{(5.632+5)\times\frac{250\times500^3}{12}}{500/2}=1.108\times10^8\ [\mathrm{N\cdot mm}]$$

$$=110.8\ [\mathrm{kN\cdot m}]$$

問題4

(1) ○

(2) ×

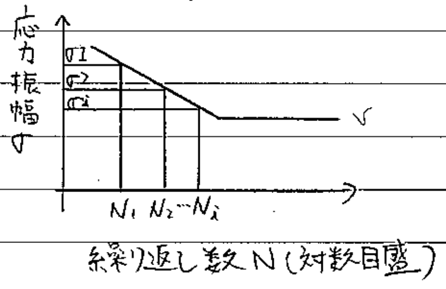
(3) ×

(4) ○

(5) ○

問題5

(1) いろいろな振幅の応力がランダムに発生している状態を，σ_1，σ_2，…，σ_iなどの異なる振幅の応力が単独に繰り返されたものの和として寿命を推定する。



図よりこれらの応力振幅がそれぞれn_1, n_2, …, n_i回繰り返されたとき，その損傷度をn_1/N_1, n_2/N_2, …, n_i/N_iと考え，それら個々の損傷度の和を全体の損傷度Dとします。そして，$D \geq 1$になった時疲労破壊が起こると考える。

(2) 疲労試験において，似通った試験片の破壊を引き起こすために必要とされる繰り返し数(N)に対する応力(S)をプロットした線図のこと。

(3) プレストレス効果により曲げひび割れ発生モーメントを高くできるので，ひび割れ発生前の高い剛性を維持でき，スパンを長くしてもたわみが小さい。高強度材料を用いるので断面を小さくでき死荷重を小さくできる。

(4)「設計」は人間の意志により形，大きさ，使用材料を決める創造的行為。「照査」は科学的方法論に則った計算により構造物の発揮する性能を算定する客観的行為。

(5) 耐震設計においては人命の損失につながる構造物の崩壊を防ぐことが大前提である。そのため構造物は，地震動の繰り返し作用を塑性的な変形により吸収する十分な靭性を有していなければならない。