

鉄筋コンクリート(1) 課題

収縮を受ける鉄筋コンクリートの発生応力とひび割れ判定

吉川/岡/五明

コンクリートのみが、収縮（乾燥収縮）を受けると、鉄筋コンクリートの両材料に応力が発生する（コンクリートには引張応力、鉄筋には圧縮応力が発生）。このうち、コンクリートの引張応力を算出し、ひび割れ発生の判定を行う。

演習課題の手順；

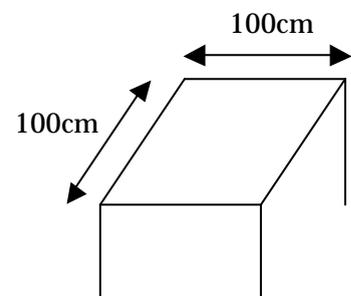
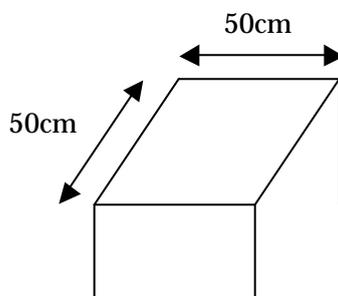
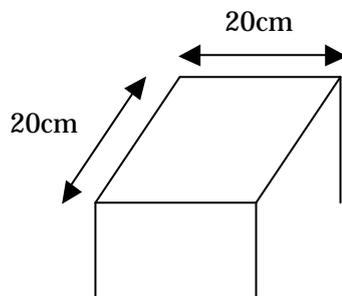
面寸法を決定： 下記のいずれかから選択（多少の変更は各自の判断にて OK です）

20cm * 20cm, 鉄筋 4 本：

50cm * 50cm, 鉄筋 8 本：

100cm * 100cm, 鉄筋 12 本：

鉄筋の総断面積：Ac = ？



鉄筋の設計（径と本数）

- 必要鉄筋断面積： $A_s = A_c \times p$: $p \cong 1\%, p \cong 2\%$ の 2 ケースを考える。

巻末 (p.208), 付録, 表 - 1 から選ぶ $A_s = ?$

- あらためて, $p = A_s / A_c$ から, 鉄筋比を算出。
- ここで, 鉄筋の弾性係数 E_s を決める。降伏強度は, 本問の場合, 不必要である。

コンクリートの品質・力学的性質の決定：

- 表 2-8 (p21) から, 任意の f_c', E_c を選択
- 引張強度の算出： $f_c' \Rightarrow f_t$ (式(2.13), p20 を用いて算出)

収縮ひずみの仮定/コンクリート応力/ひび割れ判定

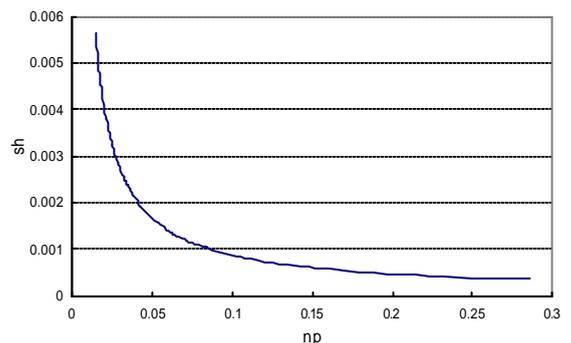
最後の例（上記の試算の 3 番目だけ）にて, ひび割れが発生するように, 数値を調整する必要がある。

$$e_{sh} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{np}{1+np} E_c e_{sh} \Rightarrow \text{ひび割れ発生?}$$

* e_{sh} の計算：下式を用いて, 算定。

$$e_{sh}^* = \frac{f_t}{E_c} \cdot \frac{1+np}{np}$$

上記の一連の試算について, 工学的にコメントせよ。



演習課題の解答例：

解答例 #1

断面寸法を決定： 20cm * 20cm

$$A_c = 400\text{cm}^2$$

鉄筋の設計（径と本数）

$p \cong 1\%$ の場合：

- ・必要鉄筋断面積： $A_s = A_c \times p$ $A_s = 400 \times 0.01 = 4\text{cm}^2$
- ・新しい $A_s = D10 @ 6 = 4.28\text{cm}^2$ を用いて，鉄筋比 $p = A_s / A_c = 4.28 / 400 = 1.07\%$ を算出．
- ・ここで，鉄筋の弾性係数 $E_s = 200\text{kN/mm}^2$

コンクリートの品質・力学的性質の決定：・表 2-8 (p21) から，任意の f_c' , E_c を選択

$$f_c' = 30\text{N/mm}^2, E_c = 28\text{kN/mm}^2 \quad \text{引張強度の算出： } f_t = 0.23 \times 30^{(2/3)} = 2.22\text{N/mm}^2$$

収縮ひずみの仮定/コンクリート応力/ひび割れ判定

$$e_{sh} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0764}{1+0.0764} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 200 \times 10^{-6} = 0.397\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 600 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0764}{1+0.0764} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 600 \times 10^{-6} = 1.193\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 1200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0764}{1+0.0764} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 1200 \times 10^{-6} = 2.385\text{N/mm}^2 > f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生}$$

* s_{sh} の計算：下式を用いて，算定．

$$e_{sh}^* = \frac{f_t}{E_c} \cdot \frac{1+np}{np} = \frac{2.22}{28000} \cdot \frac{1+0.0764}{0.0764} = 1120 \times 10^{-6}$$

考察：

解答例 #2

断面寸法を決定： 20cm * 20cm

$$A_c = 400\text{cm}^2$$

鉄筋の設計（径と本数）

$p \cong 2\%$ の場合：

- ・必要鉄筋断面積： $A_s = A_c \times p$ $A_s = 400 \times 0.02 = 8\text{cm}^2$
- ・新しい $A_s = D16 @ 4 = 7.94\text{cm}^2$ を用いて，鉄筋比 $p = A_s / A_c = 7.94 / 400 = 1.99\%$ を算出．
- ・ここで，鉄筋の弾性係数 $E_s = 200\text{kN/mm}^2$

コンクリートの品質・力学的性質の決定：・表 2-8 (p21) から，任意の f_c' , E_c を選択

$$f_c' = 30\text{N/mm}^2, E_c = 28\text{kN/mm}^2 \quad \text{引張強度の算出： } f_t = 0.23 \times 30^{(2/3)} = 2.22\text{N/mm}^2$$

収縮ひずみの仮定/コンクリート応力/ひび割れ判定

$$e_{sh} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.142}{1+0.142} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 200 \times 10^{-6} = 0.695\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 400 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.142}{1+0.142} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 400 \times 10^{-6} = 1.391\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 800 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.142}{1+0.142} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 800 \times 10^{-6} = 2.782\text{N/mm}^2 > f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

* s_{sh} の計算：下式を用いて，算定．

$$e_{sh}^* = \frac{f_t}{E_c} \cdot \frac{1+np}{np} = \frac{2.22}{28000} \cdot \frac{1+0.142}{0.142} = 638 \times 10^{-6}$$

考察：

解答例 #3

断面寸法を決定： 50cm * 50cm

$$A_c = 2500\text{cm}^2$$

鉄筋の設計（径と本数）

$p \cong 1\%$ の場合：

- ・必要鉄筋断面積： $A_s = A_c \times p \quad A_s = 2500 \times 0.01 = 25\text{cm}^2$
- ・新しい $A_s = D29 @ 4 = 25.7\text{cm}^2$ を用いて，鉄筋比 $p = A_s / A_c = 25.7 / 2500 = 1.03\%$ を算出．
- ・ここで，鉄筋の弾性係数 $E_s = 200\text{kN/mm}^2$

コンクリートの品質・力学的性質の決定：・表 2-8 (p21) から，任意の f_c' , E_c を選択

$$f_c' = 30\text{N/mm}^2, E_c = 28\text{kN/mm}^2 \quad \text{引張強度の算出： } f_t = 0.23 \times 30^{(2/3)} = 2.22\text{N/mm}^2$$

収縮ひずみの仮定/コンクリート応力/ひび割れ判定

$$e_{sh} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0734}{1+0.0734} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 200 \times 10^{-6} = 0.382\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 600 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0734}{1+0.0734} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 600 \times 10^{-6} = 1.149\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 1200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0734}{1+0.0734} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 1200 \times 10^{-6} = 2.298\text{N/mm}^2 > f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生}$$

* e_{sh} の計算：下式を用いて，算定．

$$e_{sh}^* = \frac{f_t}{E_c} \cdot \frac{1+np}{np} = \frac{2.22}{28000} \cdot \frac{1+0.0734}{0.0734} = 1160 \times 10^{-6}$$

考察：

解答例 #4

断面寸法を決定： 50cm * 50cm

$$A_c = 2500 \text{cm}^2$$

鉄筋の設計（径と本数）

$p \cong 2\%$ の場合：

- ・必要鉄筋断面積： $A_s = A_c \times p$ $A_s = 2500 \times 0.02 = 50 \text{cm}^2$
- ・新しい $A_s = D25 @ 10 = 50.7 \text{cm}^2$ を用いて，鉄筋比 $p = A_s / A_c = 50.7 / 2500 = 2.03\%$ を算出．
- ・ここで，鉄筋の弾性係数 $E_s = 200 \text{kN/mm}^2$

コンクリートの品質・力学的性質の決定：・表 2-8 (p21) から，任意の f_c' , E_c を選択

$$f_c' = 30 \text{N/mm}^2, E_c = 28 \text{kN/mm}^2 \quad \text{引張強度の算出： } f_t = 0.23 \times 30^{(2/3)} = 2.22 \text{N/mm}^2$$

収縮ひずみの仮定/コンクリート応力/ひび割れ判定

$$e_{sh} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.145}{1+0.145} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 200 \times 10^{-6} = 0.709 \text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 400 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.145}{1+0.145} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 400 \times 10^{-6} = 1.417 \text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 800 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.145}{1+0.145} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 800 \times 10^{-6} = 2.834 \text{N/mm}^2 > f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

* e_{sh} の計算：下式を用いて，算定．

$$e_{sh}^* = \frac{f_t}{E_c} \cdot \frac{1+np}{np} = \frac{2.22}{28000} \cdot \frac{1+0.145}{0.145} = 627 \times 10^{-6}$$

考察：

解答例 #5

断面寸法を決定： 100cm * 100cm

$$A_c = 10000 \text{cm}^2$$

鉄筋の設計（径と本数）

$p \cong 1\%$ の場合：

- ・必要鉄筋断面積： $A_s = A_c \times p$ $A_s = 10000 \times 0.01 = 100\text{cm}^2$
- ・新しい $A_s = D41 @ 8 = 107\text{cm}^2$ を用いて，鉄筋比 $p = A_s / A_c = 107 / 10000 = 1.07\%$ を算出．
- ・ここで，鉄筋の弾性係数 $E_s = 200\text{kN/mm}^2$

コンクリートの品質・力学的性質の決定：・表 2-8 (p21) から，任意の f_c' , E_c を選択

$$f_c' = 30\text{N/mm}^2, E_c = 28\text{kN/mm}^2 \quad \text{引張強度の算出：} f_t = 0.23 \times 30^{(2/3)} = 2.22\text{N/mm}^2$$

収縮ひずみの仮定/コンクリート応力/ひび割れ判定

$$e_{sh} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0764}{1 + 0.0764} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 200 \times 10^{-6} = 0.398\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 600 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0764}{1 + 0.0764} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 600 \times 10^{-6} = 1.193\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{sh} = 1200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.0764}{1 + 0.0764} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 1200 \times 10^{-6} = 2.386\text{N/mm}^2 > f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生}$$

* s_{sh} の計算：下式を用いて，算定．

$$e_{sh}^* = \frac{f_t}{E_c} \cdot \frac{1 + np}{np} = \frac{2.22}{28000} \cdot \frac{1 + 0.0764}{0.0764} = 1120 \times 10^{-6}$$

考察：

解答例 #6

断面寸法を決定： 100cm * 100cm

$$A_c = 10000\text{cm}^2$$

鉄筋の設計（径と本数）

$p \cong 2\%$ の場合：

- ・必要鉄筋断面積： $A_s = A_c \times p$ $A_s = 10000 \times 0.02 = 200\text{cm}^2$
- ・新しい $A_s = D51 @ 10 = 203\text{cm}^2$ を用いて，鉄筋比 $p = A_s / A_c = 203 / 10000 = 2.03\%$ を算出．
- ・ここで，鉄筋の弾性係数 $E_s = 200\text{kN/mm}^2$

コンクリートの品質・力学的性質の決定：・表 2-8 (p21) から，任意の f_c' , E_c を選択

$$f_c' = 30\text{N/mm}^2, E_c = 28\text{kN/mm}^2 \quad \text{引張強度の算出：} f_t = 0.23 \times 30^{(2/3)} = 2.22\text{N/mm}^2$$

収縮ひずみの仮定/コンクリート応力/ひび割れ判定

$$e_{sh} = 200 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.145}{1 + 0.145} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 200 \times 10^{-6} = 0.709\text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{.sh} = 400 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.145}{1+0.145} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 400 \times 10^{-6} = 1.418 \text{N/mm}^2 < f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

$$e_{.sh} = 800 \times 10^{-6} \Rightarrow s_c = \frac{0.145}{1+0.145} \cdot 2.8 \times 10^4 \cdot 800 \times 10^{-6} = 2.837 \text{N/mm}^2 > f_t' \Rightarrow \text{ひび割れ発生なし}$$

*_{sh}の計算：下式を用いて，算定．

$$e_{.sh}^* = \frac{f_t}{E_c} \cdot \frac{1+np}{np} = \frac{2.22}{28000} \cdot \frac{1+0.145}{0.145} = 626 \times 10^{-6}$$

考察：