

## 第14章 ひび割れと変形

### 練習問題14 - 1

解説:正しい

鉄筋コンクリートのひび割れに関する基本事項である。

b. 誤り

- ・許容ひび割れ幅は0.01~0.03mm程度 0.1~0.3mm程度である。
- ・コンクリートのかぶりが大きいほど，許容ひび割れ幅は小さくしなければならない。  
かぶりが小さいほど（腐食しやすいので），許容ひび割れ幅は小さくしなければならない。

c. 誤り

丸鋼を用いた場合，異形鉄筋に比べて，ひび割れ幅は大きくなる（例えば，土木学会標準示方書のひび割れ幅算定式によれば，ひび割れ幅は1.5倍となる）。ただし，許容ひび割れ幅は，異形鉄筋，丸鋼の区別には関係なく，外的な要因（環境条件）によって，決定する。

d. 誤り

引張硬化(tension stiffening)は，使用限界の照査に重要であり，終局耐力時では消散し，考えない。

e. 正しい

ひび割れと変形に関する使用限界状態の照査方法を述べたもので，いずれも正しい。

正解: a.とe.

### 練習問題14 - 2

解説:

a. 誤り

崩壊時にまでは，検討しない。使用荷重時における使用性を照査する。

b. 誤り

終局耐荷力の低下はほとんど関係しない。使用状態での検討事項である。

c. 正しい

力学的な原因（断面力）によるひび割れ開口を示したものの。この他，コンクリートの収縮に起因するもの，マスコンクリートの温度応力によるもの，などが考えられる。

d. 正しい

ひび割れ開口幅の主たる要因を示したものの。すなわち，軸方向筋の引張応力，コンクリート収縮量，鉄筋の表面形状（異形鉄筋か丸鋼か）

e. 誤り

土木学会の標準示方書では、一般の環境、腐食性環境、特に厳しい腐食性環境の3つに分類されている（特に厳しい腐食性環境が、許容値が最も小さい）。一般に、塩素物イオンの飛来程度、乾湿の繰り返しなどで、海洋地域、海水の飛沫帯がとくに重要となる。

**正解:** b.とc.

#### 練習問題14 - 3

**解説:**

a. 誤り

曲げひび割れ発生荷重は断面の剛性（EI）とコンクリートの曲げ引張強度に影響され、鉄筋の降伏点には影響されない。引張鉄筋の降伏は、曲げひび割れ発生のかなり後の現象である。

b. 正しい

曲げひび割れ幅は鉄筋の応力度に影響される。引張鉄筋量が増えると同一荷重下（同一曲げモーメント）での鉄筋の応力度が減少するため、曲げひび割れ幅は小さくなる。

c. 正しい

圧縮鉄筋を配置することによりコンクリートのクリープひずみを低減することができ、その結果、クリープによるたわみを低減することができる。

d. 正しい

鉄筋応力一定、鉄筋断面積一定の場合、鉄筋径が太いほど鉄筋表面積は減少し、曲げひび割れ幅は大きくなる。

e. 誤り

たわみは断面の曲げ剛性（EI）に反比例する。引張鉄筋量が多いと換算断面2次モーメントが大きくなるため、同一荷重に対するたわみは小さくなる。

**正解:** a.とe.

#### 練習問題14 - 4

**解説:**

a. 不適當

曲げひび割れ発生荷重は主として断面の曲げ剛性（EI）に影響を受けるが、鉄筋のヤング係数（ $E_s$ ）は降伏点を大きくしてもほとんど変化しない。

b. 不適當

鉄筋径を変えないで本数を増やすと曲げ剛性は増加するが、その増加量は本数には比例せず、ごくわずかである。

c. 適當

鉄筋の総断面積を変えないで本数を減らすと、同一荷重下の付着応力度が増加し、その結果、ひび割れ幅は大きくなる。

d. 不適當

鉄筋の本数を変えないで径を細くすると、同一荷重下の鉄筋応力度が増加し、その結果、ひび割れ幅は大きくなる。

正解: c.

#### 練習問題14 - 5

解説:

曲げモーメント  $M$  を受ける部材の断面の縁応力度 は次式で表される。

$$\sigma = \frac{M}{I} y = \frac{M}{Z}$$

ここに、 $I$ : 中立軸に関する断面 2 次モーメント

$y$ : 中立軸から断面縁までの距離

$Z$ : 中立軸に関する断面係数 ( $= I/y$ )

したがって、断面の応力度は用いる部材の断面形状に関係するが、材料の種類やヤング係数  $E$  には関係しないことがわかる。設問では正方形らしき断面形状が示されており、その高さを  $h$ 、幅を  $b$  とすれば、 $I = bh^3 / 12$ 、 $y = h/2$  より、 $Z = bh^2 / 6$  と表される。これを基準として、例えば高さを 2 倍 ( $2h$ ) にすれば、 $I = b(2h)^3 / 12 = 8bh^3 / 12$ 、 $y = (2h) / 2 = h$ 、 $Z = I/y = 4bh^2 / 6$  となり、 $I$  の増加に伴って  $Z$  も増加し、その結果として は減少する。

一方、図のような载荷条件の場合、部材の最大たわみ は支点からの距離を  $x$ 、スパン長を  $l$  とすると次式で表される。

$$\delta = \int_{x=0}^{l/2} \frac{M_x}{EI} dx$$

すなわち、 はヤング係数  $E$  および断面 2 次モーメント  $I$  に反比例することがわかる。

以上のことから、誤っているのは a. である。なお、ここで示した関係式をよく理解しておくことが必要である。

正解: a.

#### 練習問題14 - 6

解説と解答

断面 2 次モーメント  $I_g$ 、 $I_{cr}$  の算定

ヤング係数比  $n = E_s/E_c = 200 \times 10^3 / (25 \times 10^3) = 8.0$

$A_s = 4-D29 = 2570\text{mm}^2$ 、 $n_p = 8.0 \times 2570 / (400 \times 500) = 0.1028$

- ・ 曲げひび割れ発生以前の断面（状態：全断面有効）

$$\begin{aligned} \text{断面図心から上縁までの距離 } y_1 : y_1 &= (bh^2 / 2 + nA_s d) / (bh + nA_s) \\ &= (400 \times 550^2 / 2 + 8.0 \times 2570 \times 500) / (400 \times 550 + 8.0 \times 2570) \\ &= 294\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{断面図心から下縁までの距離 } y_2 : y_2 = h - y_1 = 550 - 294 = 256\text{mm}$$

全断面有効とした図心軸に関する断面二次モーメント  $I_g$  :

$$\begin{aligned} I_g &= b(y_1^3 + y_2^3) / 3 + nA_s(d - y_1)^2 \\ &= 400 \times (294^3 + 256^3) / 3 + 8.0 \times 2570 \times (500 - 294)^2 = 6498 \times 10^6\text{mm}^4 \end{aligned}$$

なお，この場合，計算の簡略化のために鉄筋を無視し，

$$I_g = bh^3 / 12 = 400 \times 550^3 / 12 = 5546 \times 10^6\text{mm}^4$$

として計算を行ってもよい。

- ・ 曲げひび割れ発生以降の断面（状態：中立軸以下のコンクリートを無視した RC 断面）

$$\text{中立軸比 } k : k = np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = -0.128 + \sqrt{0.128^2 + 2 \times 0.128} = 0.362$$

$$\text{中立軸位置} : x = kd = 0.362 \times 500 = 181\text{mm}$$

ひび割れ断面の図心軸に関する断面二次モーメント  $I_{cr}$  :

$$I_{cr} = bx^3 / 3 + nA_s(d - x)^2 = 400 \times 181^3 / 3 + 8.0 \times 2570 \times (500 - 181)^2 = 2883 \times 10^6\text{mm}^4$$

スパン中央の短期たわみの算定

- ・ 曲げひび割れの発生限界モーメント  $M_{crd}$

コンクリートの曲げひび割れ強度  $f_{bck}$  はコンクリート標準示方書によれば次式で与えられる。

$$f_{bck} = k_{0b} k_{1b} f_{tk}$$

$$f_{tk} = 0.23 f'_{ck}{}^{2/3} = 0.23 \times 24^{2/3} = 1.91\text{N/mm}^2$$

$$k_{0b} = 1 + \frac{1}{0.85 + 4.5(h/l_{ch})}, \quad l_{ch} = G_F E_c / f_{tk}, \quad G_F = 10(d_{max})^{1/3} \cdot (f'_{ck})^{1/3} \text{ より,}$$

$$G_F = 10 \times (20)^{1/3} \times (24)^{1/3} = 78.3\text{N/m} = 0.0783\text{N/mm}$$

$$l_{ch} = 0.0783 \times 25 \times 10^3 / (1.91)^2 = 537\text{mm}$$

$$k_{0b} = 1 + 1 / [0.85 + 4.5 \times (550 / 537)] = 1.18$$

$$k_{1b} = \frac{0.55}{\sqrt[4]{h}} = \frac{0.55}{\sqrt[4]{0.55}} = 0.64$$

よって， $f_{bck} = 1.18 \times 0.64 \times 1.91 = 1.44\text{N/mm}^2$

断面に曲げひび割れが発生する限界の曲げモーメント  $M_{crd}$  は，

$$M_{crd} = f_{bck} I_g / y_2 = 1.44 \times 6498 \times 10^6 / 256 = 36.6 \times 10^6\text{N} \cdot \text{mm} = 36.6\text{kN} \cdot \text{m}$$

- ・ 換算有効断面二次モーメント  $I_e$

スパン中央の曲げモーメント  $M_{dmax}$  :

$$M_{dmax} = P L / 4 = 50 \times 8 / 4 = 100 \text{kN} \cdot \text{m} > M_{crd}$$

$M_{dmax} = 100 \text{kN} \cdot \text{m} > M_{crd}$  曲げひび割れが発生している。

$$M_{crd} / M_{dmax} = 36.6 / 100 = 0.365$$

曲げ剛性を部材全長にわたって一定とする。 Branson の 3 乗式を用いる

換算有効断面二次モーメント  $I_e$  :

$$\begin{aligned} I_e &= (M_{cr} / M_{dmax})^3 I_g + [1 - (M_{cr} / M_{dmax})^3] I_{cr} \\ &= 0.366^3 \times 6498 \times 10^6 + (1 - 0.366^3) \times 2883 \times 10^6 = 3060 \times 10^6 \text{mm}^4 \end{aligned}$$

以上の諸数値を用いると、スパン中央の短期たわみ は次のようになる。

$$= P L^3 / (48 E_c I_e) = 50 \times 10^3 \times 8000^3 / (48 \times 25 \times 10^3 \times 3066 \times 10^6) = 7.0 \text{mm}$$

### 練習問題 14 - 7

#### 解説:

a. 正しい

下記の文章はいずれも、正しい記述であり、疲労問題に関する基本事項である。

- ・ S - N 線図は、縦軸に応力パラメータ S , 横軸に疲労寿命 N をとり、右下がりの図となる。
- ・ 応力パラメータ S として応力振幅または最大応力とすることが多く、横軸の N は通例 log スケールとなる( コンクリート材料の場合: semi-log 関係, 鉄筋棒鋼の場合: log-log 関係となる )。
- ・ 応力パラメータ S を応力振幅とした場合、同一の応力振幅に対して、下限応力が小さいほど N が大きくなる(長寿命となる)。

b. 誤り

地震荷重は偶発荷重であり、疲労限界状態の照査の対象とはならない。

c. 正しい

ひび割れ断面の変形に際しては、通例、Branson の実験式に基づく有効断面 2 次モーメントを用いる。

d. 誤り

鉄筋量を増加することにより、ひび割れ幅を制御することはできるが、閉合させることができない。

e. 誤り

終局限界状態に対して OK であっても、使用限界状態の照査を省略することはできない。限界状態設計法における設計照査は、終局限界状態、使用限界状態、疲労限界状態の 3 限界状態すべてに対して、個々に行う必要がある。

**正解:** a. , b. x , c. , d. x , e. x