

構造 Q-05

合成梁

せん断補強筋

ひび割れ拡大防止筋

デッキ合成スラブを用いた合成梁を設計する際、デッキ合成スラブのひび割れ拡大防止筋（溶接金網）と合成梁のせん断補強筋との関係はどうなりますか。

構造 A-05

合成梁の設計については、日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」の第1編の第4章に詳細に述べられており、4.5.2 床スラブのせん断抵抗の項に、せん断補強筋について解説されています。4.5節の解説の考え方について、以下に説明します。

1. 長期荷重時

考え方はT型RCスラブと同じです。右図の断面に作用するせん断力  $Q$  とすると、床スラブのある断面に働くせん断応力は、その断面より外側の床スラブに働く垂直応力の梁軸方向での差が集積したものであるため、有効幅先端でゼロ、床スラブ付け根で最大となり下式で与えられます。

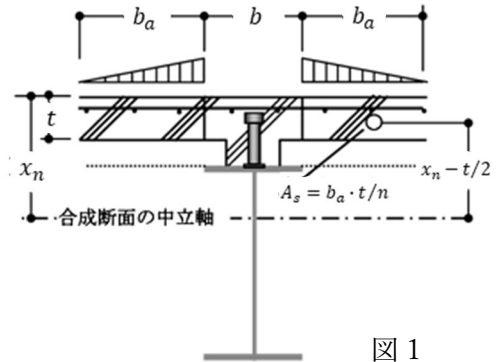


図1

$$\tau_x = \frac{Q \cdot c S_x'}{t \cdot c I_n}$$

$\tau_x$  : 床スラブ付け根に作用する面内せん断応力度

$c I_n$  : 合成断面の等価断面二次モーメント

$$p_t < \frac{t_1^2}{\{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)\}} \text{ の場合 } \quad c I_n = \frac{B \cdot x_n^3}{3 \cdot n} + s I + s a \cdot (s d - x_n)^2$$

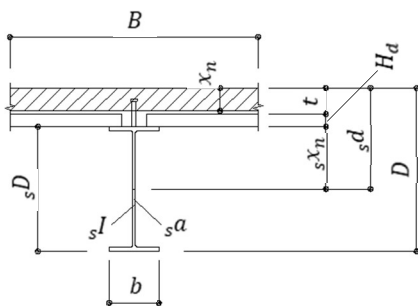
(中立軸はスラブ内にある)

$$x_n = n \cdot p_t \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{2}{n \cdot p_t}} - 1 \right) \cdot s d$$

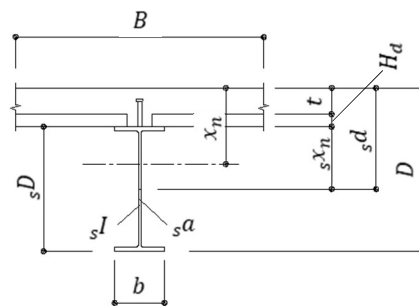
$$p_t \geq \frac{t_1^2}{\{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)\}} \text{ の場合 } \quad c I_n = \frac{B \cdot t}{n} \cdot \left\{ \frac{t^2}{12} + \left( x_n - \frac{t}{2} \right)^2 \right\} + s I + s a \cdot (s d - x_n)^2$$

(中立軸はスラブ外にある)

$$x_n = \frac{t_1^2 + 2 \cdot n \cdot p_t}{2 \cdot (t_1 + n \cdot p_t)} \cdot s d$$



中立軸がスラブ内の場合



中立軸がスラブ外の場合

正曲げモーメントを受ける合成梁

- $B$  : 合成梁の弾性剛性算定に用いる床スラブの有効幅 (mm)  
 $x_n$  : 合成断面の中立軸 (mm)  
 $n$  : コンクリートに対する鋼材のヤング係数比 (= 15)  
 ${}_s l$  : 鉄骨梁の断面二次モーメント (mm<sup>4</sup>)  
 ${}_s a$  : 鉄骨梁の全断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 ${}_s d$  : 床スラブ上端から鉄骨梁の図心までの距離 (mm)  
 $p_t$  : 中立軸の位置を導き出す係数 ……  $p_t = {}_s a / (B \cdot {}_s d)$   
 $t_1$  : 中立軸の位置を導き出す係数 ……  $t_1 = t / {}_s d$   
 $t$  : 有効スラブ厚さ (デッキ山上のコンクリート厚さ) (mm)  
 ${}_c S_x'$  : 中立軸に対する床スラブ付け根より外側の床スラブの等価断面一次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$${}_c S_x' = \frac{b_a \cdot t}{n'} \cdot \left( x_n - \frac{t}{2} \right)$$

- $b_a$  : 床スラブの協力幅 (mm)  
 $n'$  :  ${}_c S_x'$ を算出する際に用いるコンクリートに対する鋼材のヤング係数比 (=  ${}_s E / E_c$ )  
 ${}_s E$  : 鋼材のヤング係数  
 $E_c$  : コンクリートのヤング係数

[ラーメン材および連続梁の場合]

$$[a < 0.5 \cdot l] \text{ の場合 } b_a = \left( 0.5 - 0.6 \cdot \frac{a}{l} \right) \cdot a$$

$$[a \geq 0.5 \cdot l] \text{ の場合 } b_a = 0.1 \cdot l$$

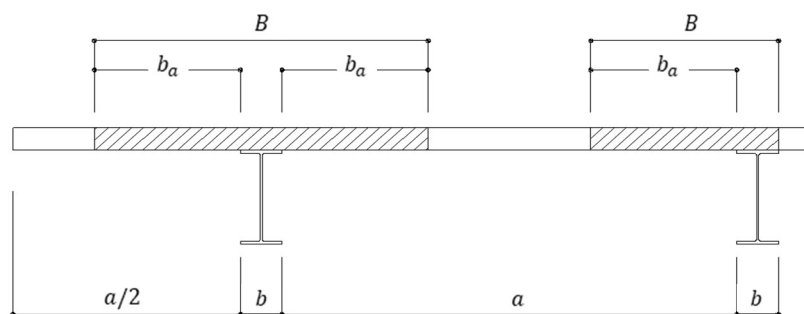
[単純梁の場合]

$$[a < l_0] \text{ の場合 } b_a = \left( 0.5 - 0.3 \cdot \frac{a}{l_0} \right) \cdot a$$

$$[a \geq l_0] \text{ の場合 } b_a = 0.2 \cdot l_0$$

- $l$  : ラーメン材または連続梁のスパン長さ (mm)  
 $l_0$  : 単純梁のスパン長さ (mm)  
 $a$  : デッキ長さ方向の梁内々間距離 (mm)  
 $b$  : 鉄骨梁のフランジ幅 (mm)

長期荷重時にこの最大せん断応力度をせん断ひび割れ発生応力以下にとどめるよう、 $\tau_x < F_c/15$ を推奨しています。この $\tau_x$ が $F_c/15$ を超えるとスラブ厚の変更が必要となります。



弾性剛性算定に用いる床スラブの有効幅

2. 終局状態時

指針 4.5.5 式、4.5.6 式より必要鉄筋量は、下端筋、上端筋ともそれぞれ下式以上としているため、デッキ合成スラブでのシングル配筋にあてはめて、下式の 2 倍以上配筋するものとします。

$$\left. \begin{aligned} p \cdot r \sigma_Y &\geq 0.63 \tau_u - 0.16 \sqrt{F_c} \\ p \cdot r \sigma_Y &\geq 0.281 \end{aligned} \right\} \quad (\text{N/mm}^2)$$

- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $p$  : せん断面単位面積当たりの直交する床スラブ下端または上端の鉄筋断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $r \sigma_Y$  : 床スラブ下端または上端の鉄筋の降伏応力度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $\tau_u$  : 曲げ終局時における面内せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

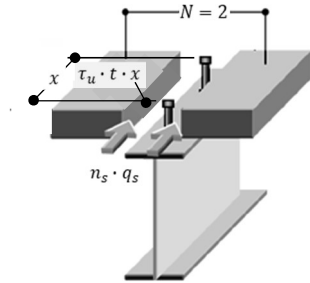


図 2

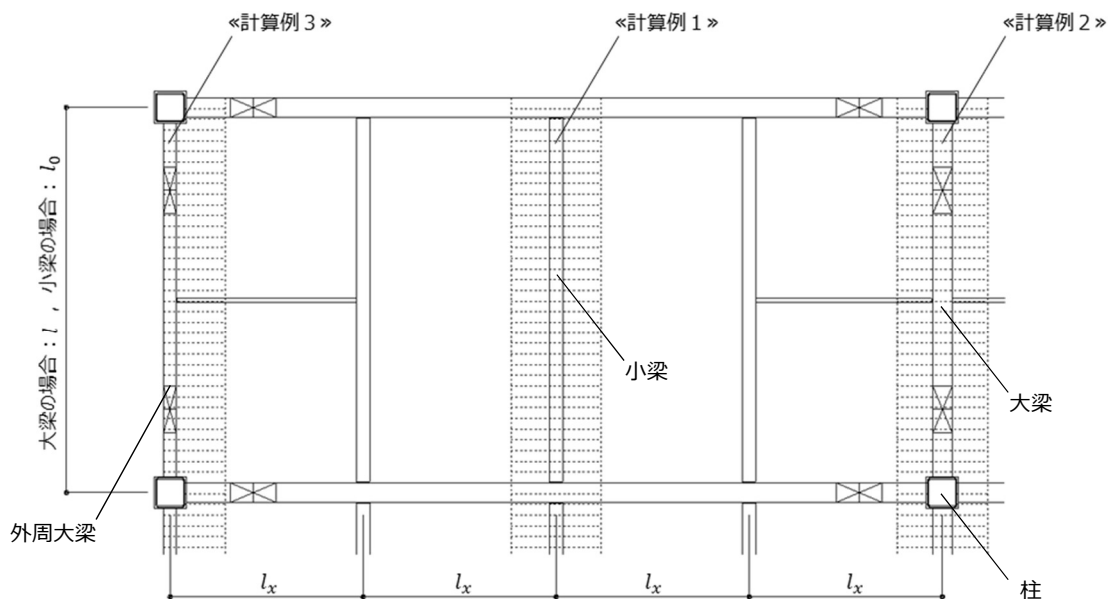
この面内せん断応力度  $\tau_u$  はシヤコネクターの耐力と結び付けて、下式で算出されます。

$$\tau_u = \frac{n_s \cdot q_s}{N \cdot t \cdot x} \quad (\text{N/mm}^2)$$

- $n_s$  : 1 組のシヤコネクターの本数 (本)
- $q_s$  : 規定されるシヤコネクターの耐力 (N)
- $N$  : 面内せん断ひび割れの数 (T 梁では  $N=2$ 、L 梁では  $N=1$ )
- $x$  : シヤコネクター (頭付きスタッド) の間隔 (mm)

《参考》

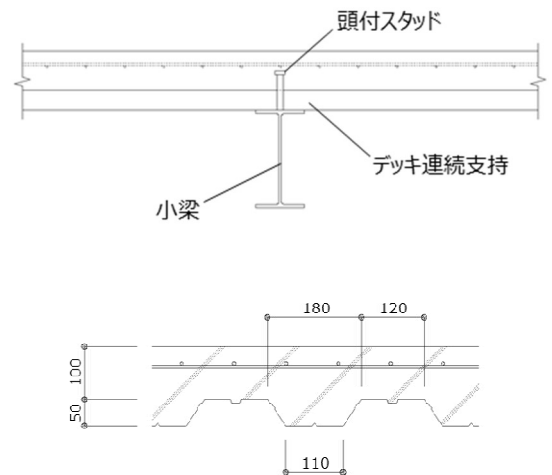
大梁を合成梁として設計する場合、終局状態時の塑性ヒンジ位置を算出して頭付きスタッドの算定を行います。鉛直荷重時が支配的でなければ不完全合成梁として設計することができません。また、床スラブ有効幅、梁サイズが大きいため、通常、せん断補強筋は多く要求されます。以上から、せん断補強筋は溶接金網とは別途に設計することが望ましいです。



計算例の伏図

≪計算例1≫ 小梁, 連続支持, 頭付スタッド貫通

スパン  $l_0 = 6.00$  (m) 、小梁 H-250x125x6x9  
 合成スラブ用デッキプレート H50-t1.2  
 山上コンクリート厚さ=100 (mm) 、 $F_c = 21$  (N/mm<sup>2</sup>)  
 ひび割れ拡大防止筋 :  $\phi$  6-100×100  
 固定荷重  $W_{DL} = 2,500$  (N/m<sup>2</sup>)  
 積載荷重  $W_{LL} = 3,900$  (N/m<sup>2</sup>) 仕上げ等含む  
 小梁間隔  $l_x = 3.00$  (m) 、合成梁有効幅 =  $B$  (mm)



$$B = 2 \times b_a + b, \quad b_a = \left(0.5 - 0.3 \cdot \frac{a}{l_0}\right) \cdot a$$

$$B = 2 \times \left(0.5 - 0.3 \times \frac{2875}{6000}\right) \times 2875 + 125 = 2 \times 1024 + 125 = 2173 \text{ (mm)}$$

頭付きスタッド  $\phi 16@300$ ,  $L = 90$  (mm)

$$q_s = \alpha \cdot (0.5 \cdot s_{ca} \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}) = 1.0 \times (0.5 \times 201 \times \sqrt{21 \times 21518}) = 67558 \rightarrow 67.5 \text{ (kN)}$$

$$\alpha = \left(\frac{0.85}{\sqrt{n_d}}\right) \cdot \left(\frac{b_d}{H_d}\right) \cdot \left(\frac{L}{H_d} - 1.0\right) = \left(\frac{0.85}{\sqrt{1}}\right) \times \left(\frac{145}{50}\right) \times \left(\frac{90}{50} - 1.0\right) = 1.97 > 1.0$$

よって  $\alpha = 1.0$  となる。

$$E_c = 21000 \cdot \left(\frac{\gamma}{23}\right)^{1.5} \cdot \sqrt{\frac{F_c}{20}} = 21000 \times \left(\frac{23}{23}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{21}{20}} = 21518 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$L$  : 頭付きスタッドの溶接後の長さ (mm)

$\alpha$  : 連続支持の場合における頭付スタッドの耐力の低減係数

$n_d$  : 1本の溝の中の頭付スタッドの本数

$b_d$  : デッキプレートの溝の平均幅 (mm)

$H_d$  : デッキプレートの全せい (mm)

$s_{ca}$  : 頭付スタッドの軸部断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\gamma$  : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

不完全合成梁として設計する。施工時に支保工は設けない

1. 長期荷重時

$$Q = \frac{1}{2} \cdot W_{LL} \cdot l_x \cdot l_0 = \frac{1}{2} \times 3.9 \times 3.0 \times 6.0 = 35.1 \text{ (kN)}$$

$$p_t = \frac{s a}{B \cdot s d} = \frac{3960}{2173 \times 275} = 0.0066$$

$$\frac{t_1^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)} = \frac{(t/sd)^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t/sd)} = \frac{0.36^2}{2 \times 15 \times (1 - 0.36)} = 0.0067$$

$$p_t \leq \frac{t_1^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)} \text{ となり, 中立軸は床スラブ内にある。}$$

$$x_n = n \cdot p_t \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{2}{n \cdot p_t}} - 1 \right) \cdot s d = 15 \times 0.0066 \times \left( \sqrt{1 + \frac{2}{15 \times 0.0066}} - 1 \right) \times 275 = 98.1 \text{ (mm)}$$

$$\begin{aligned} c I_n &= \frac{B \cdot x_n^3}{3 \cdot n} + s I + s a \cdot (s d - x_n)^2 \\ &= \frac{2173 \times 98.1^3}{3 \times 15} + 3960 \times 10^4 + 3697 \times (275 - 98.1)^2 \\ &= 20088 \times 10^4 \text{ (mm}^4\text{)} \end{aligned}$$

$$c S_x' = \frac{b_a \cdot t \cdot (x_n - t/2)}{n'} = \frac{1024 \times 100 \times (98.1 - 100/2)}{(205000/21518)} = 517 \times 10^3 \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$\tau_x = \frac{Q \cdot c S_x'}{t \cdot c I_n} = \frac{35100 \times 517 \times 10^3}{100 \times 20088 \times 10^4} = 0.90 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \frac{F_c}{15} = 1.4 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \text{OK}>$$

2. 終局荷重時

$$\tau_u = \frac{n_s \cdot q_s}{N \cdot t \cdot x} = \frac{1 \times 67500}{2 \times 100 \times 300} = 1.13 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$p = \frac{0.63 \cdot \tau_u - 0.16 \sqrt{F_c}}{r \sigma_Y} = \frac{0.63 \times 1.13 - 0.16 \times \sqrt{21}}{235} = -0.09 \times 10^{-3}$$

$$p = \frac{0.281}{r \sigma_Y} = \frac{0.281}{235} = 1.19 \times 10^{-3}$$

いずれかの大きい値を用いる

( $r \sigma_Y = 235 \text{ N/mm}^2$  で算出)

$$a_t = 2 \cdot p \cdot t \cdot 1000 = 2 \times 1.19 \times 10^{-3} \times 100 \times 1000 = 238.0 \text{ (mm}^2\text{/m)}$$

鉄線 6 $\phi$  - 100 $\times$ 100 ( $a_t = 282 \text{ mm}^2\text{/m}$ ) < OK >

《計算例 2》 大梁, デッキプレート分割, 頭付スタッド直打ち

スパン  $l = 12.0$  (m) 、大梁 H-588×300×12×20、小梁 H-500×200×10×16

合成スラブ用デッキプレート H75-t1.2

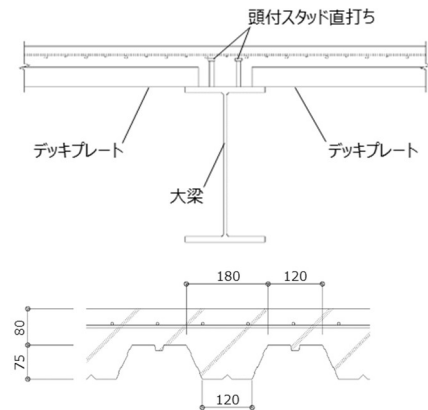
山上コンクリート厚さ=80 (mm) 、 $F_c = 18$  (N/mm<sup>2</sup>)

ひび割れ拡大防止筋 :  $\phi 6-150 \times 150$

固定荷重  $W_{DL} = 2,810$  (N/m<sup>2</sup>)

積載荷重  $W_{LL} = 3,900$  (N/m<sup>2</sup>) 仕上げ等含む

小梁間隔  $l_x = 3.2$  (m) 、合成梁有効幅 =  $B$  (mm)



$$B = 2 \times b_a + b, \quad b_a = \left(0.5 - 0.6 \cdot \frac{a}{l}\right) \cdot a$$

$$B = 2 \times \left(0.5 - 0.6 \times \frac{2950}{12000}\right) \times 2950 + 300 = 2 \times 1040 + 300 = 2380 \text{ (mm)}$$

頭付きスタッド $\phi 16@300$  (2列) ,  $L = 110$  (mm)

$$q_s = 0.5 \cdot s_c a \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c} = 0.5 \times 201 \times \sqrt{18 \times 19922} = 60182 \text{ N} = 60.1 \text{ (kN)} \quad (1 \text{ 本あたり})$$

$$E_c = 21000 \cdot \left(\frac{\gamma}{23}\right)^{1.5} \cdot \sqrt{\frac{F_c}{20}} = 21000 \times \left(\frac{23}{23}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{18}{20}} = 19922 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$L$  : 頭付きスタッドの溶接後の長さ (mm)

$s_c a$  : 頭付きスタッドの軸部断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\gamma$  : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

不完全合成梁として設計する。施工時に支保工は設けない

### 1. 長期荷重時

$$Q = \frac{1}{2} \cdot W_{LL} \cdot l_x \cdot l_0 = \frac{1}{2} \times 3.9 \times 3.2 \times 12.0 = 74.9 \text{ (kN)}$$

$$p_t = \frac{s_a}{B \cdot s_d} = \frac{18720}{2380 \times 449} = 0.018$$

$$\frac{t_1^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)} = \frac{(t/s_d)^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t/s_d)} = \frac{(80/449)^2}{2 \times 15 \times (1 - 80/449)} = 0.001$$

$p_t \geq \frac{t_1^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)}$  となり, 中立軸は床スラブ外にある。

$$x_n = \frac{t_1^2 + 2 \cdot n \cdot p_t}{2 \cdot (t_1 + n \cdot p_t)} \cdot s_d = \frac{0.18^2 + 2 \times 15 \times 0.018}{2 \times (0.18 + 15 \times 0.018)} \times 449 = 285.6 \text{ (mm)}$$

$$\begin{aligned}
 {}_c I_n &= \frac{B \cdot t}{n} \cdot \left\{ \frac{t^2}{12} + \left( x_n - \frac{t}{2} \right)^2 \right\} + {}_s I + {}_s a \cdot ({}_s d - x_n)^2 \\
 &= \frac{2\,380 \times 80}{15} \times \left\{ \frac{80^2}{12} + \left( 285.6 - \frac{80}{2} \right)^2 \right\} + 114\,000 \times 10^4 + 18\,720 \times (449 - 285.6)^2 \\
 &= 241\,224 \times 10^4 \quad (\text{mm}^4) \\
 {}_c S_{x'} &= \frac{b_a \cdot t \cdot (x_n - t/2)}{n'} = \frac{1\,040 \times 80 \times (285.6 - 80/2)}{205\,000/19\,922} = 1\,985 \times 10^3 \quad (\text{mm}^3) \\
 \tau_x &= \frac{Q \cdot {}_c S_{x'}}{t \cdot {}_c I_n} = \frac{74\,900 \times 1\,985 \times 10^3}{80 \times 241\,224 \times 10^4} = 0.77 \quad (\text{N/mm}^2) < \frac{F_c}{15} = 1.2 \quad (\text{N/mm}^2) < \text{OK} >
 \end{aligned}$$

## 2. 終局荷重時

$$\begin{aligned}
 \tau_u &= \frac{n_s \cdot q_s}{N \cdot t \cdot x} = \frac{2 \times 60\,100}{2 \times 80 \times 300} = 2.50 \quad (\text{N/mm}^2) \\
 p &= \frac{0.63 \cdot \tau_u - 0.16 \sqrt{F_c}}{r \sigma_Y} = \frac{0.63 \times 2.50 - 0.16 \times \sqrt{18}}{235} = 3.81 \times 10^{-3} \\
 p &= \frac{0.281}{r \sigma_Y} = \frac{0.281}{235} = 1.19 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

} いずれかの大きい値を用いる

( $r \sigma_Y = 235 \text{ N/mm}^2$  で算出)

$$a_t = 2 \cdot p \cdot t \cdot 1\,000 = 2 \times 3.81 \times 10^{-3} \times 80 \times 1\,000 = 609.6 \quad (\text{mm}^2/\text{m})$$

鉄線  $6\phi - 150 \times 150$  ( $a_t' = 188 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) に加え、異形鉄筋 D10@150 ( $a_t'' = 475 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) を梁と直行方向に配筋する。  $a_t = a_t' + a_t'' = 663 \quad (\text{mm}^2/\text{m}) < \text{OK} >$

《計算例 3》 外周大梁, 頭付スタッド直打ち

スパン  $l = 12.0$  (m) 、大梁 H-600×200×11×17、小梁 H-400×200×8×13

合成スラブ用デッキプレート H75-t1.2

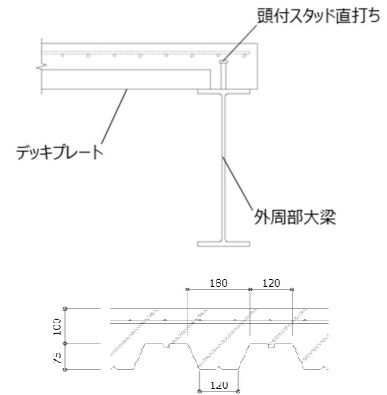
山上コンクリート厚さ=100 (mm) 、 $F_c = 21$  (N/mm<sup>2</sup>)

ひび割れ拡大防止筋 D10×200×200

固定荷重  $W_{DL} = 2,810$  (N/m<sup>2</sup>)

積載荷重  $W_{LL} = 3,900$  (N/m<sup>2</sup>) 仕上げ等含む

小梁間隔  $l_x = 3.2$  (m) 、合成梁有効幅 =  $B$  (mm)



$$B = b_a + b, \quad b_a = \left(0.5 - 0.6 \cdot \frac{a}{l}\right) \cdot a$$

$$B = \left(0.5 - 0.6 \times \frac{3\,000}{12\,000}\right) \times 3\,000 + 200 = 1\,050 + 200 = 1\,250 \text{ (mm)}$$

頭付きスタッド  $\phi 19@300$ 、 $L=120$  (mm)

$$q_s = 0.5 \cdot s_c a \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c} = 0.5 \times 283.3 \times \sqrt{21 \times 21\,518} = 95.2 \text{ (kN)} \quad (1 \text{ 本当たり})$$

$$E_c = 21\,000 \cdot \left(\frac{\gamma}{23}\right)^{1.5} \cdot \sqrt{\frac{F_c}{20}} = 21\,000 \times \left(\frac{23}{23}\right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{21}{20}} = 21\,518 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$L$  : 頭付きスタッドの溶接後の長さ (mm)

$s_c a$  : 頭付きスタッドの軸部断面積 (mm<sup>2</sup>)

$\gamma$  : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

不完全合成梁として設計する。施工時に支保工は設けない

### 1. 長期荷重時

$$Q = \frac{1}{2} \cdot W_{LL} \cdot l_x \cdot l_0 = \frac{1}{2} \times 3.9 \times 3.2 \times 12.0 = 74.9 \text{ (kN)}$$

$$p_t = \frac{s_a}{B \cdot s_d} = \frac{13\,170}{1\,250 \times 475} = 0.022$$

$$\frac{t_1^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)} = \frac{(t / s_d)^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t / s_d)} = \frac{0.21^2}{2 \times 15 \times (1 - 0.21)} = 0.002$$

$$p_t \geq \frac{t_1^2}{2 \cdot n \cdot (1 - t_1)} \text{ となり, 中立軸は床スラブ外にある。}$$

$$x_n = \frac{t_1^2 + 2 \cdot n \cdot p_t}{2 \cdot (t_1 + n \cdot p_t)} \cdot s_d = \frac{0.21^2 + 2 \times 15 \times 0.022}{2 \times (0.21 + 15 \times 0.022)} \times 475 = 309.7 \text{ (mm)}$$

$$\begin{aligned}
 {}_c I_n &= \frac{B \cdot t}{n} \cdot \left\{ \frac{t^2}{12} + \left( x_n - \frac{t}{2} \right)^2 \right\} + {}_s I + {}_s a \cdot ({}_s d - x_n)^2 \\
 &= \frac{1250 \times 100}{15} \times \left\{ \frac{100^2}{12} + \left( 309.7 - \frac{100}{2} \right)^2 \right\} + 75600 \times 10^4 + 13170 \times (475 - 309.7)^2 \\
 &= 168483 \times 10^4 \text{ (mm}^4\text{)} \\
 {}_c S_{x'} &= \frac{b_a \cdot t \cdot (x_n - t/2)}{n'} = \frac{1050 \times 100 \times (309.7 - 100/2)}{205000/21518} = 2862 \times 10^3 \text{ (mm}^3\text{)} \\
 \tau_x &= \frac{Q \cdot {}_c S_{x'}}{t \cdot {}_c I_n} = \frac{74900 \times 2862 \times 10^3}{100 \times 168483 \times 10^4} = 1.27 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \frac{F_c}{15} = 1.4 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \text{OK} >
 \end{aligned}$$

## 2. 終局荷重時

$$\begin{aligned}
 \tau_u &= \frac{n_s \cdot q_s}{N \cdot t \cdot x} = \frac{1 \times 95200}{1 \times 100 \times 300} = 3.17 \text{ (N/mm}^2\text{)} \\
 p &= \frac{0.63 \cdot \tau_u - 0.16 \sqrt{F_c}}{r \sigma_Y} = \frac{0.63 \times 3.17 - 0.16 \times \sqrt{21}}{295} = 4.28 \times 10^{-3} \\
 p &= \frac{0.281}{r \sigma_Y} = \frac{0.281}{295} = 0.95 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

} いずれかの大きい値を用いる

( $r \sigma_Y = 295 \text{ N/mm}^2$  で算出)

$$a_t = 2 \cdot p \cdot t \cdot 1000 = 2 \times 4.28 \times 10^{-3} \times 100 \times 1000 = 856 \text{ (mm}^2\text{/m)}$$

異形鉄筋 D10@200 ( $a_t' = 356 \text{ mm}^2\text{/m}$ ) に加え、異形鉄筋 D13@200 ( $a_t'' = 633 \text{ mm}^2\text{/m}$ ) を梁と直行方向に配筋する。  $a_t = a_t' + a_t'' = 989 \text{ (mm}^2\text{/m)} < \text{OK} >$