

ライナープレート矩形立坑の計算

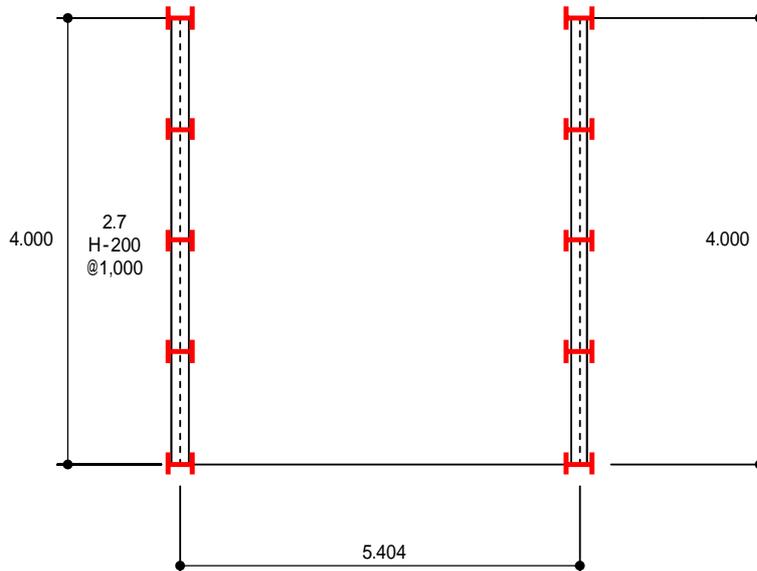
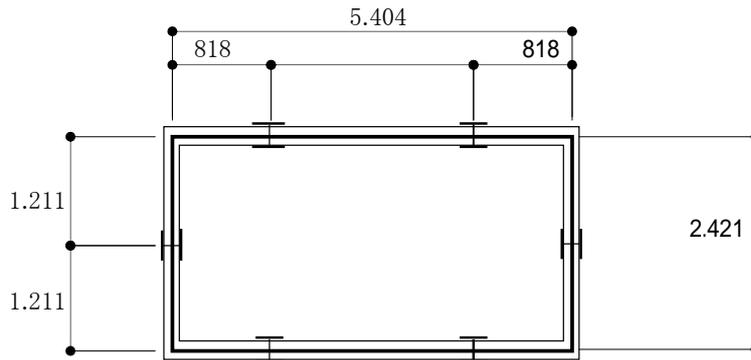
1. 設計条件

短径 B = 2.421 m
 長径 L = 5.404 m
 深さ H = 4.000 m

上載荷重 W = 10.000 kN/m²
 湿潤土の単位体積重量 γ_t kN/m³

NO	深度(m)	γ_t kN/m ³
1	10.000	20.000

静止土圧係数 K = 0.500
 ライナープレート 許容応力度 σ_{La} = 180.0 N/mm²



2. 外力の計算

ライナープレート及び補強リングを仮定して限界深さを試算すると次のようである。

	採用板厚	t (mm)	2.7			
ライナープレート	断面積	$A_L(\text{cm}^2)$	39.76			
	断面係数	$Z_L(\text{cm}^3)$	46			
	断面2次モーメント	$I_L(\text{cm}^4)$	141			
補強リング	形式		H-200			
	間隔 (m)	$l_H(\text{m})$	1.000			
	断面積	$A_H(\text{cm}^2)$	63.53			
	断面係数	$Z_H(\text{cm}^3)$	472			
	断面2次モーメント	$I_H(\text{cm}^4)$	4720			
	継手ボルト		M20			
限界深さ	(m)		4.682			

ここで深度を次のように設定して外力及び応力度の計算を行う。

外力は次式によってもとめる。

$$Ph = K \cdot (\gamma t \cdot H + W)$$

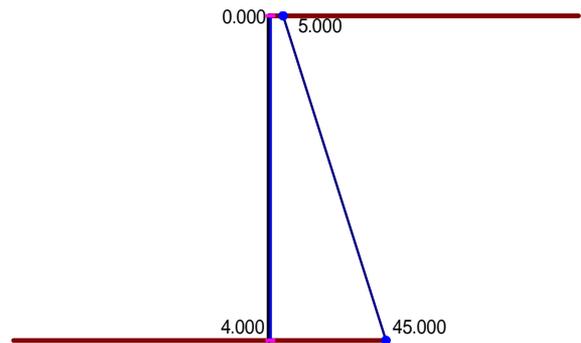
K : 静止土圧係数

γt : 土の単位体積重量 (kN/m³)

H : 層厚 (m)

W : 上載荷重 (kN/m²)

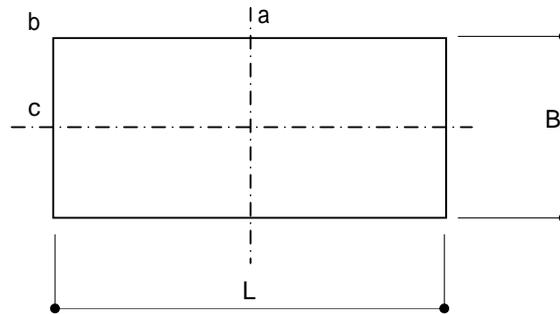
但し、 $P_a \geq 0$



採用板厚	t(mm)	2.7			
採用深度	H(m)	4.000			
湿潤土の単位体積重量 γt	(kN/m ³)	20.000			
外力 Ph	(kN/m ²)	45.000			

3. 外枠の設計

4方向より荷重を受ける矩形のラーメン構造として計算する。
 ラーメンの基本寸法を下図のように符号する。



$$k = B/L = 0.4480$$

$$\begin{aligned} M_a &= \frac{1}{24} (-2k^2 + 2k + 1) ph \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{24} \times (1.4946) \times ph \times 5.4040^2 = 1.8186 \cdot ph \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= -\frac{1}{12} (k^2 - k + 1) ph \cdot L^2 \\ &= -\frac{1}{12} \times (0.7527) \times ph \times 5.4040^2 = -1.8318 \cdot ph \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_c &= \frac{1}{24} (k^2 + 2k - 2) ph \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{24} \times (-0.9033) \times ph \times 5.4040^2 = -1.0991 \cdot ph \end{aligned}$$

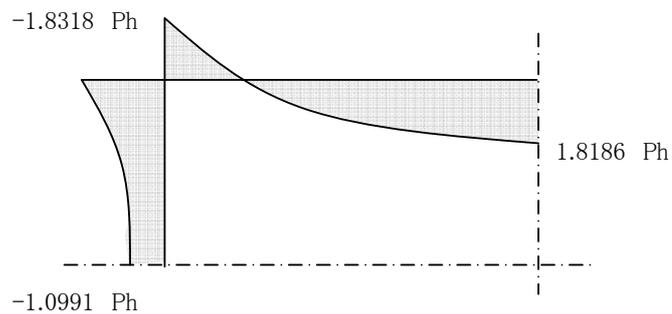
M : 曲げモーメント (kN・m/m)

N : 軸力 (kN/m)

ph : 側圧 (kN/m²)

L : 立坑長径

B : 立坑短径



軸方向力

深度 H(m)		0 ~				
		4.000				
短辺 N _{bc} = 1/2 · L · Ph	(kN)	121.59				
長辺 N _{ba} = 1/2 · B · Ph	(kN)	54.47				

応力度の検討(短辺)

深度 H(m)	0 ~				
最大曲げモーメント Mmax(kN・m)	4.000				
軸力 Nbc = 1/2・L・Ph (kN)	82.43				
ライナープレート 板厚 t (mm)	121.59				
分担モーメント $M_L = M_{max} \cdot I_L / (I_L + I_H)$	2.70				
分担軸力 $N_L = N \cdot A_L / (A_L + A_H)$	2.39				
細長比 $\lambda_L = \varnothing k / iL$ ($\varnothing k = B/2 = 1.2105$)	46.80				
断面2次半径 $i_L = \sqrt{I_L / A_L}$	64.29				
許容圧縮応力度 $\lambda \leq 18$ $\sigma_{LN_a} = 210 \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$ $18 < \lambda \leq 92$ $\sigma_{LN_a} = \{210 - 1.23(\lambda - 18)\} \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$ $92 < \lambda$ $\sigma_{LN_a} = 1800000 / (6700 + \lambda^2) \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$	18.83				
応力度照査 $N_L / (A_L \cdot \sigma_{LN_a}) + M_L / (Z_L \cdot \sigma_{La})$	131.20				
判定	0.38				
	≤ 1.0				
	OK				
補強リング	H-200				
分担モーメント $M_H = M_{max} - M_L$	80.04				
分担軸力 $N_H = N - N_L$	74.79				
細長比 $\lambda_{LN_a} = \varnothing k / iL$ ($\varnothing k = B/2 = 1.2105$)	14.04				
断面2次半径 $i_L = \sqrt{I_L / A_L}$	86.19				
許容圧縮応力度 $\lambda \leq 18$ $\sigma_{HN_a} = 210$ $18 < \lambda \leq 92$ $\sigma_{HN_a} = \{210 - 1.23(\lambda - 18)\} \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$ $92 < \lambda$ $\sigma_{HN_a} = 1800000 / (6700 + \lambda^2)$	210.00				
応力度照査 $N_H / (A_H \cdot \sigma_{HN_a}) + M_H / (Z_H \cdot \sigma_{Ha})$	0.86				
判定	≤ 1.0				
	OK				

応力度の検討(長辺)

深度 H(m)	0 ~				
最大曲げモーメント Mmax(kN・m)	4.000				
軸力 Nba = 1/2・B・Ph (kN)	82.43				
ライナープレート 板厚 t (mm)	54.47				
分担モーメント $M_L = M_{max} \cdot I_L / (I_L + I_H)$	2.70				
分担軸力 $N_L = N \cdot A_L / (A_L + A_H)$	2.39				
細長比 $\lambda_L = \varnothing k / iL$ ($\varnothing k = L/2 = 2.7020$)	20.97				
断面2次半径 $i_L = \sqrt{I_L / A_L}$	143.49				
許容圧縮応力度 $\lambda \leq 18$ $\sigma_{LN_a} = 210 \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$ $18 < \lambda \leq 92$ $\sigma_{LN_a} = \{210 - 1.23(\lambda - 18)\} \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$ $92 < \lambda$ $\sigma_{LN_a} = 1800000 / (6700 + \lambda^2) \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$	18.83				
応力度照査 $N_L / (A_L \cdot \sigma_{LN_a}) + M_L / (Z_L \cdot \sigma_{La})$	56.53				
判定	0.38				
	≤ 1.0				
	OK				
補強リング	H-200				
分担モーメント $M_H = M_{max} - M_L$	80.04				
分担軸力 $N_H = N - N_L$	33.50				
細長比 $\lambda_L = \varnothing k / iL$ ($\varnothing k = L/2 = 2.7020$)	31.35				
断面2次半径 $I_L = \sqrt{I_L / A_L}$	86.19				
許容圧縮応力度 $\lambda \leq 18$ $\sigma_{HN_a} = 210$ $18 < \lambda \leq 92$ $\sigma_{HN_a} = \{210 - 1.23(\lambda - 18)\} \cdot (\sigma_L / \sigma_H)$ $92 < \lambda$ $\sigma_{HN_a} = 1800000 / (6700 + \lambda^2)$	193.58				
応力度照査 $N_H / (A_H \cdot \sigma_{HN_a}) + M_H / (Z_H \cdot \sigma_{Ha})$	0.83				
判定	≤ 1.0				
	OK				

4. 補強リングの設計

①たわみ量の計算

補強リングに生じるたわみ量は次式で与えられる。大きなたわみが生じる長径側について計算する。

$$\delta_H = - \frac{\beta_H \cdot M_{\max} \cdot L}{8 \cdot E \cdot \frac{I_H}{\varnothing_H}} + \frac{5 \cdot Ph \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \frac{I_H}{\varnothing_H}}$$

深度 H(m)	0 ~				
	4.000				
δ_H : 補強リングのたわみ量 (mm)	21.98				
β_H : 補強材の分担比	0.971				
E : 補強リングの弾性係数 (N/mm ²)	200000				
M _{max} : 最大曲げモーメント (kN・m)	82.43				
Ph : ライナープレートに作用する土圧強度 (kN/m ²)	45.00				
I _H : 補強リングの断面二次モーメント (cm ⁴)	4720				
L : 長辺の長さ (mm)	5404				
\varnothing_H : 補強リングの間隔 (mm)	1000				
許容たわみ量 $\delta_a = L/200$ (mm)	27.02				
判定	OK				

②継手部の設計

1) 継手位置の算定

長辺方向の曲げモーメントは図1に示すようになることから、曲げモーメントが0となる位置付近に継手を設けるものである。曲げモーメントが0となる位置は次式により求める

$$|M_B| - \frac{P_h \cdot L}{2} x + \frac{P_h}{2} x^2 = 0$$

深度 0m ~ 4.000m

MB = 82.43

Ph = 45.00

L = 5.404

上値を代入して X1 = 0.795

X2 = 4.609

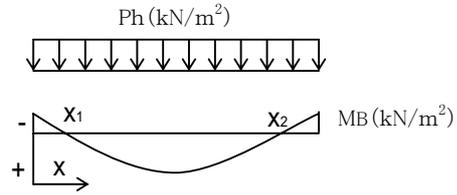


図1 長辺側モデル図

となるが、これにライナープレートのボルト孔位置を考慮して継手位置を求める。

まず、ボルト孔のピッチ数は

$$n_1 = (X_1 - 33) / 157 = 4.854$$

$$n_2 = (X_2 - 33) / 157 = 29.146$$

したがって、n1 = 5.0 とすると

n2 = 29.0

$$X_1' = (n_1 \times 157) + 33 = 818 \text{ mm}$$

$$X_2' = (n_2 \times 157) + 33 = 4586 \text{ mm}$$

一方、短辺側では曲げモーメントは図2に示すようになり、継ぎ手を設ける位置は曲げモーメントが最小となるスパン中央となる。

$$X = 2.421 / 2 = 1.2105 \text{ m}$$

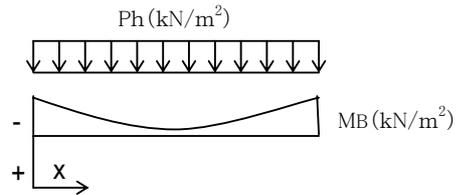


図2 短辺側モデル図

同じように各深度ごとに求めると次のようである。

深度 H(m)		0 ~			
		4.000			
Mmax:最大曲げモーメント	(kN・m)	82.43			
Ph :ライナープレートに作用する土圧強度	(kN/m ²)	45.00			
L :長辺の長さ	(m)	5.404			
	X1 (m)	0.795			
	X2 (m)	4.609			
ボルト孔のピッチ数	n1=(X1-33)/157 (m)	5.0			
	n1=(X2-33)/157 (m)	29.0			
長辺継手位置	X1'=(n1×157)+33 (m)	818			
	X2'=(n2×157)+33 (m)	4586			
短辺継手位置	X= B/2 (m)	1211			

2) 継手ボルトの検討

長辺の継手ボルトに作用するせん断力 Q_{tB} は、

$$Q_{tB} = \frac{1}{2} N_T + Q_m = \frac{1}{2} N_T + \frac{M_T}{H}$$

$$= \frac{\alpha_H \cdot N_{BA}}{2} + \frac{\beta_H \cdot |M_T|}{H}$$

ここに、

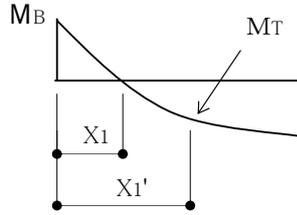
Q_m : 曲げモーメントによる換算せん断力 (kN/m)

$$Q_m = \frac{M_T}{H}$$

H : 補強リング高 (m)

M_T : X_1' の位置における曲げモーメント (kN・m)

$$M_T = M_B + \frac{P_h \cdot L}{2} X - \frac{P_h}{2} X^2$$



また、短辺方向の継手ボルトに作用するせん断力 Q_{tB} は、

$$Q_{tB} = \frac{1}{2} N_T + Q_m = \frac{1}{2} N_T + \frac{M_T}{H}$$

$$= \frac{H \cdot N_{BC}}{2} + \frac{\beta_H \cdot |M_T|}{H}$$

継ぎ手ボルトに発生するせん断応力度 τ_b は次式により照査される。

$$\sigma_b = \frac{Q_{tB}}{6 \times A_b}$$

長辺方向

深度 H(m)	0 ~			
	4.000			
Mmax:最大曲げモーメント (kN・m)	82.43			
Ph :ライナープレートに作用する土圧強度 (kN/m ²)	45.00			
L :長辺の長さ (m)	5.404			
α_H :補強材の分担比	0.615			
分担軸力 $\alpha_H \cdot N_{BA}$ (m)	33.501			
X_1' :長辺方向の継手位置 (m)	0.818			
M_T : X_1' の位置における曲げモーメント (kN・m/m)	1.974			
β_H :補強材の分担比	0.971			
H : 補強リング高 (m)	0.200			
作用するせん断力 Q_{tB} (kN)	26.33			
継手ボルト	規 格	M20		
	断面堰 A_b (mm ²)	245.0		
せん断応力度 τ_b (N/mm ²)	17.9			
許容応力度 300 N/mm ² 判 定	OK			

短辺方向

深度 H(m)	0 ~			
	4.000			
B :短辺の長さ (m)	2.421			
X_1' :短辺方向の継手位置 (m)	1.211			
M_T : X_1' の位置における曲げモーメント (kN・m/m)	-49.462			
作用するせん断力 Q_{tB} (kN)	277.530			
継手ボルト	規 格	M20		
	断面堰 A_b (mm ²)	245.0		
せん断応力度 τ_b (N/mm ²)	188.8			
許容応力度 300 N/mm ² 判 定	OK			

3) 継手板の検討

中立軸N.A(中立軸)に関する断面Zpは次式で計算する。

$$Z_p = 2 \times \frac{\frac{(B-2 \times 2.5) \cdot t}{12} + (B-2 \times 2.5) \cdot t \cdot \left(\frac{H}{2} + \frac{H}{2} \right)^2}{\frac{H}{2} + t}$$

また、継手に発生する曲げ応力度 σ_p は次式により照査される。

$$\sigma_p = \frac{\alpha_H \cdot N_{BA}}{A_p / \ell_H} + \frac{\beta_H \cdot |M_T|}{Z_p / \ell_H}$$

$$\sigma_p = \frac{\alpha_H \cdot N_{BC}}{A_p / \ell_H} + \frac{\beta_H \cdot |M_C|}{Z_p / \ell_H}$$

ただし、 A_p : 継手板の断面堰(mm²)

$$A_p = 2 \times (B - 2 \times 2.5) \cdot t$$

t : 継手板の厚さ(mm)

長辺方向

深度 H(m)	0 ~				
	4.000				
Mmax:最大曲げモーメント (kN・m)	82.43				
Ph :ライナープレートに作用する土圧強度 (kN/m ²)	45.00				
L :長辺の長さ (m)	5.404				
α_H :補強材の分担比	0.615				
分担軸力 $\alpha_H \cdot N_{BA}$ (kN)	33.501				
X1':長辺方向の継手位置 (m)	0.818				
MT : X1'の位置における曲げモーメント (kN・m/m)	1.974				
β_H :補強材の分担比	0.971				
H : 補強リング高(m) (mm)	200				
中立軸N.A(中立軸)に関する断面Zp (mm ³)	361542.9				
継手板	厚さ t (mm)	PL-12			
	断面堰 A_p (mm ²)	3600.0			
継手に発生する曲げ応力度 σ_p (N/mm ²)	14.6				
許容応力度Ha 210 N/mm ² 判定	OK				

短辺方向

深度 H(m)	0 ~				
	4.000				
Mc : C点の曲げモーメント (kN・m)	-49.46				
NBC:分担軸力 (kN)	121.59				
継手板	規 格	PL-12			
	断面堰 A_p (mm ²)	3600.0			
継手に発生する曲げ応力度 σ_p (N/mm ²)	153.6				
許容応力度Ha 210 N/mm ² 判定	OK				