

ライナープレート設計計算書

矩形立坑設計

データファイル：sample3.lps

データタイトル：矩形計算例

作成日 ：2005/10/14

目 次

1	入力データ一覧	1
2	設計条件	4
2-1	立坑寸法	4
2-2	土質条件	4
2-3	荷重	4
2-4	許容応力度	4
2-5	係数	4
2-6	水圧	4
3	形状寸法	5
4	外力	6
4-1	土圧	6
4-2	設計区間の最大側圧	7
5	外枠の設計	8
5-1	外枠の断面力の検討	8
5-1-1	断面力算定式	8
5-1-2	断面力図	8
5-1-3	応力度照査	9
5-2	限界深度の算出	17
6	補強材の設計	18
6-1	たわみ量の照査	18
6-2	継手部	22
6-3	継手板の検討	34
7	一覧表	38
8	数量概算表	39

1 入力データ一覧

ファイル名	sample3.lps			
物件名	矩形計算例			
設計条件	矩形立坑			
立坑短径	B	2.421	(m)	
立坑長径	L	5.404	(m)	
立坑上面の深度	H _t	0.000	(m)	
立坑深度	H	4.000	(m)	
ヤング係数	E	2.0×10 ⁵	(N/mm ²)	
ライナープレートの許容応力度	σ _{1a}	180.0	(N/mm ²)	
鋼材の許容応力度	σ _{1ka}	210.0	(N/mm ²)	
土圧強度が一定となる深度		15.000	(m)	
上載荷重	W	10.000	(kN/m ²)	

土質条件

No	深度	静止土圧係数	単位体積重量	
			湿潤	水中
	(m)	K _s	γ _t (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)
1	0.000 ～ 20.000	0.500	20.000	10.000

土圧強度

No	深度	土圧強度	
		P _a (kN/m ²)	
	(m)	上面	下面
1	0.000 ～ 15.000	5.000	155.000
2	15.000 ～ 20.000	155.000	155.000

外枠使用部材

No	深度	ライナー		補強材			
		板厚		呼称			間隔
	(m)	(mm)					(m)
1	1.000	1	2.70	2	H形鋼(生材)	H-125	1.0
2	2.000	1	2.70	3	H形鋼(生材)	H-150	1.0
3	3.000	1	2.70	4	H形鋼(生材)	H-175	1.0
4	4.000	1	2.70	5	H形鋼(生材)	H-200	1.0

補強材継手部

No	長さ方向 x _i (mm)	幅方向 y _i (mm)
1	818.0	1210.5
2	818.0	1210.5
3	818.0	
4	818.0	

継手板使用部材

No	深度 (m)	継手板		ボルト孔径 b _o (mm)	本数 (本)	有効断面積 A _b (mm ² /本)
		幅 B _f (mm)	板厚 t _f (mm)			
1	1.000	125.0	12.0	22.0	4	245.0
2	2.000	150.0	12.0	22.0	4	245.0
3	3.000	175.0	12.0	22.0	4	245.0
4	4.000	200.0	12.0	22.0	6	245.0

ライナープレート部材データ

No	板厚 (mm)	断面積 A (cm ²)	断面係数 Z (cm ³)	断面二次モーメント I (cm ⁴)	断面二次半径 i (cm)
1	2.7	39.760	46.000	141.000	1.880
2	3.2	47.120	54.400	168.000	1.890
3	4.0	58.860	67.400	210.000	1.890
4	4.5	66.220	75.800	238.000	1.900
5	5.3	77.900	88.800	280.000	1.900
6	6.0	88.200	100.000	320.000	1.900
7	7.0	102.900	116.000	376.000	1.910

鋼材データ

No	鋼材名	H	B	t ₁	t ₂	断面積	断面係数	断面二次 モーメント	断面二次半径	
						A (cm ²)	Z (cm ³)	I (cm ⁴)	i _x (cm)	i _y (cm)
1	H形鋼(生材)	100	100	6.0	8.0	21.590	75.600	378.000	4.180	2.490
2	H形鋼(生材)	125	125	6.5	9.0	30.000	134.000	839.000	5.290	3.130
3	H形鋼(生材)	150	150	7.0	10.0	39.650	216.000	1620.000	6.400	3.770
4	H形鋼(生材)	175	175	7.5	11.0	51.420	331.000	2900.000	7.500	4.370
5	H形鋼(生材)	200	200	8.0	12.0	63.530	472.000	4720.000	8.620	5.020
6	H形鋼(生材)	250	250	9.0	14.0	91.430	860.000	10700.000	10.800	6.320
7	H形鋼(生材)	300	300	10.0	15.0	118.400	1350.000	20200.000	13.100	7.550
8	H形鋼(生材)	350	350	12.0	19.0	171.900	2280.000	39800.000	15.200	8.890
9	H形鋼(生材)	400	400	13.0	21.0	218.700	3330.000	66600.000	17.500	10.100
10	H形鋼(リース材)	200	200	8.0	12.0	51.530	366.000	3660.000	8.430	4.220
11	H形鋼(リース材)	250	250	9.0	14.0	78.180	708.000	8850.000	10.600	6.050
12	H形鋼(リース材)	300	300	10.0	15.0	104.800	1150.000	17300.000	12.900	7.510
13	H形鋼(リース材)	350	350	12.0	19.0	154.900	2000.000	35000.000	15.100	8.990
14	H形鋼(リース材)	400	400	13.0	21.0	197.700	2950.000	59000.000	17.300	10.100

2 設計条件

立坑形式：矩形立坑

2-1 立坑寸法

2.421 m (B) × 5.404 m (L) × 4.000 m (H)
立坑上面の深度 $H_t = 0.000$ (m)

2-2 土質条件

土圧係数 静止土圧係数 K_s を用いる。
土圧強度 15.000 m以深で一定とする。

No	深度	静止土圧係数	単位体積重量	
			湿潤	水中
	(m)	K_s	γ_t (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)
1	0.000 ~ 20.000	0.500	20.000	10.000

2-3 荷重

上載荷重 $W = 10.000$ (kN/m²)

2-4 許容応力度

ライナープレート $\sigma_{la} = 180$ (N/mm²)
鋼材 $\sigma_{la} = 210$ (N/mm²)
継手ボルト $\tau_a = 300$ (N/mm²)

2-5 係数

ヤング係数 $E = 2.0 \times 10^5$ (N/mm²)

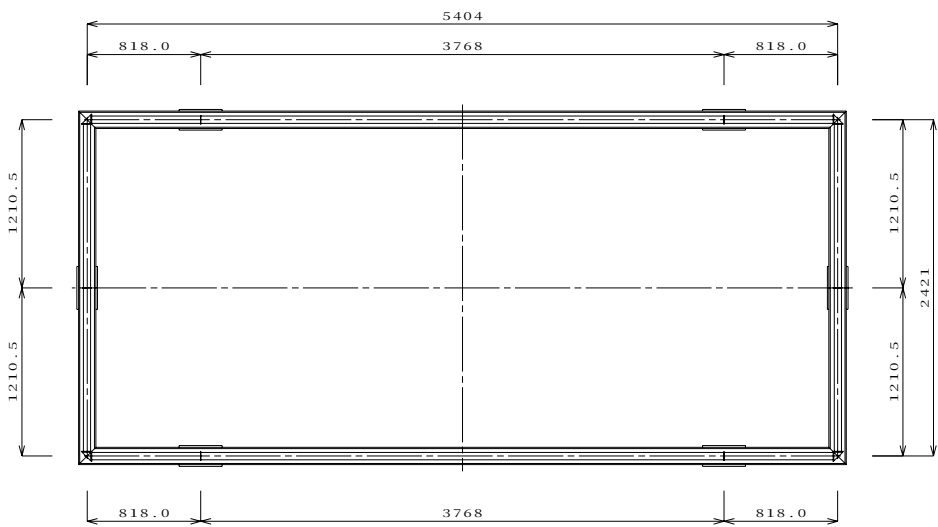
2-6 水圧

水圧は考慮しない。

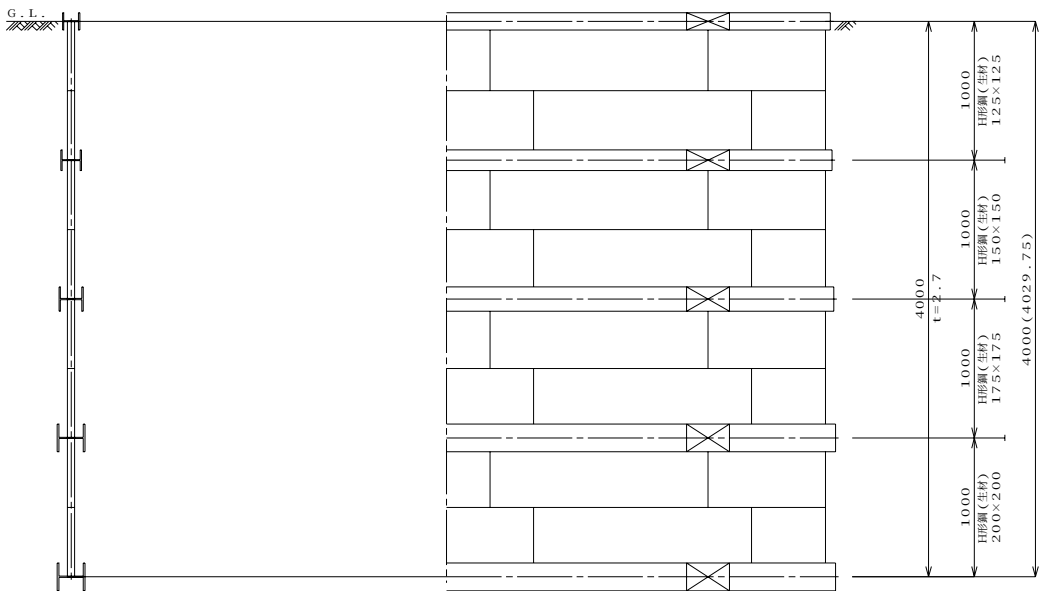
3 形状寸法

単位(mm)

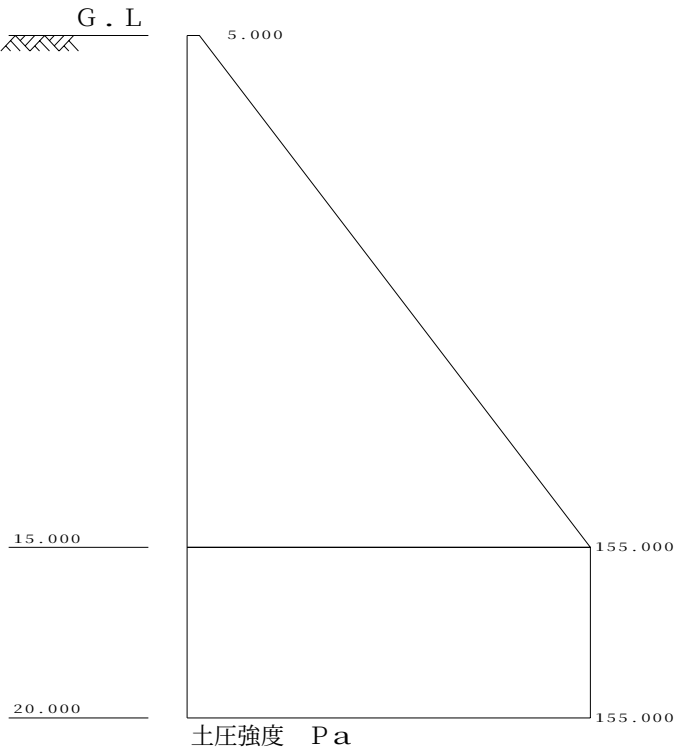
平面図



断面図



4 外力



4-1 土圧

No	深度 (m)	土圧強度	
		P _a (kN/m ²)	
		上面	下面
1	0.000 ~ 15.000	5.000	155.000
2	15.000 ~ 20.000	155.000	155.000

$$P_a = K_s (\Sigma \gamma h + W)$$

- K_s

：静止土圧係数

γ

：土の単位体積重量

(kN/m³)

h

：層厚

(m)

W

：上載荷重

(kN/m²)
- 但し、 $P_a \geq 0$

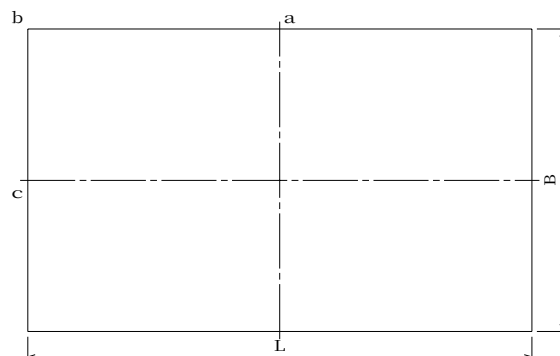
4-2 設計区間の最大側圧

No	深度	側圧
	(m)	P_h (kN/m ²)
1	0.000 ～ 1.000	15.000
2	1.000 ～ 2.000	25.000
3	2.000 ～ 3.000	35.000
4	3.000 ～ 4.000	45.000

5 外枠の設計

5-1 外枠の断面力の検討

外枠は、矩形のラーメン構造として設計する。
ラーメンの基本寸法を下图のように符号する。



5-1-1 断面力算定式

$$k = \frac{B}{L} = \frac{2.421}{5.404} = 0.4480$$

$$M_a = \frac{1}{24} (-2k^2 + 2k + 1) p_h \cdot L^2 = \frac{1}{24} \times (1.4946) \times 5.404^2 \times p_h = 1.8186 \times p_h$$

$$M_b = -\frac{1}{12} (k^2 - k + 1) p_h \cdot L^2 = -\frac{1}{12} \times (0.7527) \times 5.404^2 \times p_h = -1.8318 \times p_h$$

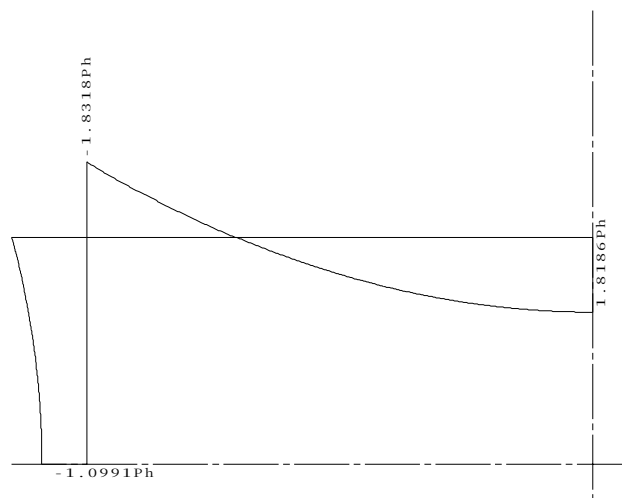
$$M_c = \frac{1}{24} (k^2 + 2k - 2) p_h \cdot L^2 = \frac{1}{24} \times (-0.9033) \times 5.404^2 \times p_h = -1.0991 \times p_h$$

$$N_{b \sim a} = \frac{1}{2} p_h \cdot B = \frac{1}{2} \times 2.421 \times p_h = 1.2105 \times p_h$$

$$N_{b \sim c} = \frac{1}{2} p_h \cdot L = \frac{1}{2} \times 5.404 \times p_h = 2.7020 \times p_h$$

M	: 曲げモーメント	(kN・m/m)
N	: 軸力	(kN/m)
p_h	: 側圧	(kN/m ²)
L	: 立坑長径	5.404 (m)
B	: 立坑短径	2.421 (m)

5-1-2 断面力図



5-1-3 応力度照査

1. 深度 0.000 m ～ 1.000 m ($p_h=15.000 \text{ kN/m}^2$)
- $$M_a = 1.8186 \times 15.000 = 27.279 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$
- $$M_b = -1.8318 \times 15.000 = -27.477 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$
- $$M_c = -1.0991 \times 15.000 = -16.487 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$
- $$N_{b \sim a} = 1.2105 \times 15.000 = 18.158 \text{ (kN/m)}$$
- $$N_{b \sim c} = 2.7020 \times 15.000 = 40.530 \text{ (kN/m)}$$

従って最大断面力は、下記ようになる。

曲げモーメント (短辺)	$M_{\max}$	=	27.47672	(kN・m/m)
	(長辺)	$M_{\max}$	=	27.47672 (kN・m/m)
軸力 (短辺)	$N_{\max}$	=	40.530	(kN/m)
	(長辺)	$N_{\max}$	=	18.158 (kN/m)

A) 短辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm ² /m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm ⁴ /m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm ³ /m)
LP t=2.7 mm	3.976	0.56995	1.410	0.14388	4.600
H-125 @1.0 m	3.000	0.43005	8.390	0.85612	13.400

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times B = 0.5 \times 2.4210 \times 10^3 = 1210.50 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{1210.50}{18.80} = 64.3883$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} \times \frac{1.20}{1.40} = 131.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.56995 \times 40.530 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 131.1} + \frac{0.14388 \times 27.47672 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.522 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{1210.50}{52.90} = 22.8828$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} = 204.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.43005 \times 40.530 \times 10^3}{3.000 \times 10^3 \times 204.0} + \frac{0.85612 \times 27.47672 \times 10^6}{13.400 \times 10^4 \times 210.0} = 0.864 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 52.90 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

B) 長辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は
 各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm^2/m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm^4/m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm^3/m)
LP t=2.7 mm	3.976	0.56995	1.410	0.14388	4.600
H-125 @1.0 m	3.000	0.43005	8.390	0.85612	13.400

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times L = 0.5 \times 5.4040 \times 10^3 = 2702.00 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{2702.00}{18.80} = 143.7234$$

$H_k > 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \frac{1.2 \times 10^6}{6700 + H_k^2} \times \frac{1.20}{1.40} = 56.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.56995 \times 18.158 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 56.4} + \frac{0.14388 \times 27.47672 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.524 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{2702.00}{52.90} = 51.0775$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} = 169.3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.43005 \times 18.158 \times 10^3}{3.000 \times 10^3 \times 169.3} + \frac{0.85612 \times 27.47672 \times 10^6}{13.400 \times 10^4 \times 210.0} = 0.851 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 52.90 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

2. 深度 1.000 m ～ 2.000 m ($p_h=25.000 \text{ kN/m}^2$)

$$M_a = 1.8186 \times 25.000 = 45.466 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$M_b = -1.8318 \times 25.000 = -45.795 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$M_c = -1.0991 \times 25.000 = -27.478 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$N_{b \sim a} = 1.2105 \times 25.000 = 30.263 \text{ (kN/m)}$$

$$N_{b \sim c} = 2.7020 \times 25.000 = 67.550 \text{ (kN/m)}$$

従って最大断面力は、下記のようになる。

$$\text{曲げモーメント (短辺)} \quad M_{\max} = 45.79453 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$\text{(長辺)} \quad M_{\max} = 45.79453 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$\text{軸力 (短辺)} \quad N_{\max} = 67.550 \text{ (kN/m)}$$

$$\text{(長辺)} \quad N_{\max} = 30.263 \text{ (kN/m)}$$

A) 短辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm^2/m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm^4/m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm^3/m)
LP $t=2.7 \text{ mm}$	3.976	0.50069	1.410	0.08007	4.600
H-150 @1.0 m	3.965	0.49931	16.200	0.91993	21.600

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times B = 0.5 \times 2.4210 \times 10^3 = 1210.50 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{1210.50}{18.80} = 64.3883$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} \times \frac{1.20}{1.40} = 131.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.50069 \times 67.550 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 131.1} + \frac{0.08007 \times 45.79453 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.508 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{1210.50}{64.00} = 18.9141$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} = 208.9 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.49931 \times 67.550 \times 10^3}{3.965 \times 10^3 \times 208.9} + \frac{0.91993 \times 45.79453 \times 10^6}{21.600 \times 10^4 \times 210.0} = 0.969 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 64.00 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

B) 長辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は
 各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm^2/m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm^4/m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm^3/m)
LP t=2.7 mm	3.976	0.50069	1.410	0.08007	4.600
H-150 @1.0 m	3.965	0.49931	16.200	0.91993	21.600

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times L = 0.5 \times 5.4040 \times 10^3 = 2702.00 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{2702.00}{18.80} = 143.7234$$

$H_k > 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \frac{1.2 \times 10^6}{6700 + H_k^2} \times \frac{1.20}{1.40} = 56.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.50069 \times 30.263 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 56.4} + \frac{0.08007 \times 45.79453 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.510 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{2702.00}{64.00} = 42.2188$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} = 180.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.49931 \times 30.263 \times 10^3}{3.965 \times 10^3 \times 180.2} + \frac{0.91993 \times 45.79453 \times 10^6}{21.600 \times 10^4 \times 210.0} = 0.950 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 64.00 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

3. 深度 2.000 m ～ 3.000 m ($p_h=35.000 \text{ kN/m}^2$)

$$M_a = 1.8186 \times 35.000 = 63.652 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$M_b = -1.8318 \times 35.000 = -64.112 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$M_c = -1.0991 \times 35.000 = -38.469 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$N_{b \sim a} = 1.2105 \times 35.000 = 42.368 \text{ (kN/m)}$$

$$N_{b \sim c} = 2.7020 \times 35.000 = 94.570 \text{ (kN/m)}$$

従って最大断面力は、下記のようになる。

$$\text{曲げモーメント (短辺)} \quad M_{\max} = 64.11234 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$\text{(長辺)} \quad M_{\max} = 64.11234 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$\text{軸力 (短辺)} \quad N_{\max} = 94.570 \text{ (kN/m)}$$

$$\text{(長辺)} \quad N_{\max} = 42.368 \text{ (kN/m)}$$

A) 短辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm^2/m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm^4/m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm^3/m)
LP $t=2.7 \text{ mm}$	3.976	0.43606	1.410	0.04637	4.600
H-175 @1.0 m	5.142	0.56394	29.000	0.95363	33.100

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times B = 0.5 \times 2.4210 \times 10^3 = 1210.50 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{1210.50}{18.80} = 64.3883$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} \times \frac{1.20}{1.40} = 131.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.43606 \times 94.570 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 131.1} + \frac{0.04637 \times 64.11234 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.438 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{1210.50}{75.00} = 16.1400$$

$H_k \leq 18$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 210.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.56394 \times 94.570 \times 10^3}{5.142 \times 10^3 \times 210.0} + \frac{0.95363 \times 64.11234 \times 10^6}{33.100 \times 10^4 \times 210.0} = 0.929 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 75.00 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

B) 長辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は
 各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm^2/m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm^4/m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm^3/m)
LP t=2.7 mm	3.976	0.43606	1.410	0.04637	4.600
H-175 @1.0 m	5.142	0.56394	29.000	0.95363	33.100

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times L = 0.5 \times 5.4040 \times 10^3 = 2702.00 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{2702.00}{18.80} = 143.7234$$

$H_k > 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \frac{1.2 \times 10^6}{6700 + H_k^2} \times \frac{1.20}{1.40} = 56.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.43606 \times 42.368 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 56.4} + \frac{0.04637 \times 64.11234 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.441 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{2702.00}{75.00} = 36.0267$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} = 187.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.56394 \times 42.368 \times 10^3}{5.142 \times 10^3 \times 187.8} + \frac{0.95363 \times 64.11234 \times 10^6}{33.100 \times 10^4 \times 210.0} = 0.904 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 75.00 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

4. 深度 3.000 m ～ 4.000 m ($p_h=45.000 \text{ kN/m}^2$)

$$M_a = 1.8186 \times 45.000 = 81.838 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$M_b = -1.8318 \times 45.000 = -82.430 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$M_c = -1.0991 \times 45.000 = -49.461 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$N_{b \sim a} = 1.2105 \times 45.000 = 54.473 \text{ (kN/m)}$$

$$N_{b \sim c} = 2.7020 \times 45.000 = 121.590 \text{ (kN/m)}$$

従って最大断面力は、下記ようになる。

$$\text{曲げモーメント (短辺)} \quad M_{\max} = 82.43015 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$\text{(長辺)} \quad M_{\max} = 82.43015 \text{ (kN}\cdot\text{m/m)}$$

$$\text{軸力 (短辺)} \quad N_{\max} = 121.590 \text{ (kN/m)}$$

$$\text{(長辺)} \quad N_{\max} = 54.473 \text{ (kN/m)}$$

A) 短辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm^2/m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm^4/m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm^3/m)
LP $t=2.7 \text{ mm}$	3.976	0.38494	1.410	0.02901	4.600
H-200 @1.0 m	6.353	0.61506	47.200	0.97099	47.200

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times B = 0.5 \times 2.4210 \times 10^3 = 1210.50 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{1210.50}{18.80} = 64.3883$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} \times \frac{1.20}{1.40} = 131.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.38494 \times 121.590 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 131.1} + \frac{0.02901 \times 82.43015 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.379 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{1210.50}{86.20} = 14.0429$$

$H_k \leq 18$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 210.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.61506 \times 121.590 \times 10^3}{6.353 \times 10^3 \times 210.0} + \frac{0.97099 \times 82.43015 \times 10^6}{47.200 \times 10^4 \times 210.0} = 0.864 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 86.20 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

B) 長辺

曲げモーメントはライナープレートと補強材の断面二次モーメントの比で、また軸力は
 各々の断面積の比で分担するものとする。

使用部材	断面積 $A \times 10^3$ (mm^2/m)	η_a	断面二次モーメント $I \times 10^6$ (mm^4/m)	η_i	断面係数 $Z \times 10^4$ (mm^3/m)
LP t=2.7 mm	3.976	0.38494	1.410	0.02901	4.600
H-200 @1.0 m	6.353	0.61506	47.200	0.97099	47.200

η_a : 軸力の分担率

η_i : 曲げモーメントの分担率

ライナープレートの許容圧縮応力度 σ_{LNa} は

$$l_k = 0.5 \times L = 0.5 \times 5.4040 \times 10^3 = 2702.00 \text{ (mm)}$$

$$H_k = \frac{l_k}{i_L} = \frac{2702.00}{18.80} = 143.7234$$

$H_k > 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{LNa} = 1.50 \times \frac{1.2 \times 10^6}{6700 + H_k^2} \times \frac{1.20}{1.40} = 56.4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aL} \cdot N}{A_L \cdot \sigma_{LNa}} + \frac{\eta_{iL} \cdot M_{\max}}{Z_L \cdot \sigma_{La}} = \frac{0.38494 \times 54.473 \times 10^3}{3.976 \times 10^3 \times 56.4} + \frac{0.02901 \times 82.43015 \times 10^6}{4.600 \times 10^4 \times 180.0} = 0.382 \leq 1.0$$

l_k : 有効座屈長

H_k : 細長比

i_L : ライナープレートの断面二次半径 18.80 (mm)

σ_{La} : ライナープレートの許容曲げ応力度 180 (N/mm²)

補強材の許容圧縮応力度 σ_{HNa} は

$$H_k = \frac{l_k}{i_H} = \frac{2702.00}{86.20} = 31.3457$$

$18 < H_k \leq 92$ また仮設構造であるから 5.0 割増とし

$$\sigma_{HNa} = 1.50 \times \{140 - 0.82(H_k - 18)\} = 193.6 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{\eta_{aH} \cdot N}{A_H \cdot \sigma_{HNa}} + \frac{\eta_{iH} \cdot M_{\max}}{Z_H \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{0.61506 \times 54.473 \times 10^3}{6.353 \times 10^3 \times 193.6} + \frac{0.97099 \times 82.43015 \times 10^6}{47.200 \times 10^4 \times 210.0} = 0.835 \leq 1.0$$

i_H : 補強材の断面二次半径 86.20 (mm)

σ_{Ha} : 補強材の許容曲げ応力度 210 (N/mm²)

5-2 限界深度の算出

限界深度表

No	板厚 (mm)	補強材		限界深度 (m)	側圧 (kN/m ²)	許容外圧 (kN/m ²)
		鋼材名・呼称	間隔 (m)			
1	2.7			0.000	10.000	4.287
2	3.2			0.000	10.000	5.072
3	4.0			0.000	10.000	6.287
4	4.5			0.000	10.000	7.073
5	5.3			0.000	10.000	8.288
6	6.0			0.000	10.000	9.336

6 補強材の設計

6-1 たわみ量の照査

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。より大きなたわみが生じる長径側について計算する。

1. 深度 0.000 m ～ 1.000 m ($p_h=15.000$ kN/m²)

$$\begin{aligned}\delta_{\text{H}} &= - \frac{\eta_{\text{IH}} \cdot M_{\text{max}} \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot \frac{I_{\text{H}}}{l_{\text{H}}}} + \frac{5 \cdot p_h \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \frac{I_{\text{H}}}{l_{\text{H}}}} \\ &= - \frac{0.85612 \times 27.48 \times 10^3 \times (5404.0)^2}{8 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{0.839 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} + \frac{5 \times 15.000 \times 10^{-3} \times (5404.0)^4}{384 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{0.839 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} \\ &= 48.09 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

δ_{H}	: 補強リングのたわみ量	(mm)
η_{IH}	: 補強材の分担比	
E	: 補強リングの弾性係数	(N/mm ²)
p_h	: ライナープレートに作用する土圧強度	(N/mm ²)
I_{H}	: 補強リングの断面二次モーメント	(mm ⁴)
L	: 長辺の長さ	(mm)
l_{H}	: 補強リングの間隔	(mm)

ここで、許容たわみ量は、

$$\delta_a = \frac{L}{200} = \frac{5404.0}{200} = 27.02 \text{ (mm)}$$

従ってたわみに対する照査は以下のとおりである。

$$\delta_{\text{H}} = 48.09 > 27.02 \text{ (mm)}$$

よって切梁等の支保部材の検討が必要となる。

2. 深度 1.000 m ～ 2.000 m ($p_h=25.000 \text{ kN/m}^2$)

$$\begin{aligned}\delta_{\text{H}} &= - \frac{\eta_{\text{IH}} \cdot M_{\text{max}} \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot \frac{I_{\text{H}}}{l_{\text{H}}}} + \frac{5 \cdot p_h \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \frac{I_{\text{H}}}{l_{\text{H}}}} \\ &= - \frac{0.91993 \times 45.79 \times 10^3 \times (5404.0)^2}{8 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{1.620 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} + \frac{5 \times 25.000 \times 10^{-3} \times (5404.0)^4}{384 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{1.620 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} \\ &= 38.22 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

δ_{H} : 補強リングのたわみ量 (mm)

η_{IH} : 補強材の分担比

E : 補強リングの弾性係数 (N/mm²)

p_h : ライナープレートに作用する土圧強度 (N/mm²)

I_{H} : 補強リングの断面二次モーメント (mm⁴)

L : 長辺の長さ (mm)

l_{H} : 補強リングの間隔 (mm)

ここで、許容たわみ量は、

$$\delta_{\text{a}} = \frac{L}{200} = \frac{5404.0}{200} = 27.02 \text{ (mm)}$$

従ってたわみに対する照査は以下のとおりである。

$$\delta_{\text{H}} = 38.22 > 27.02 \text{ (mm)}$$

よって切梁等の支保部材の検討が必要となる。

3. 深度 2.000 m ～ 3.000 m ($p_h=35.000 \text{ kN/m}^2$)

$$\begin{aligned}\delta_{\text{H}} &= - \frac{\eta_{\text{IH}} \cdot M_{\text{max}} \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot \frac{I_{\text{H}}}{l_{\text{H}}}} + \frac{5 \cdot p_h \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \frac{I_{\text{H}}}{l_{\text{H}}}} \\ &= - \frac{0.95363 \times 64.11 \times 10^3 \times (5404.0)^2}{8 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{2.900 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} + \frac{5 \times 35.000 \times 10^{-3} \times (5404.0)^4}{384 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{2.900 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} \\ &= 28.53 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

δ_{H} : 補強リングのたわみ量 (mm)

η_{IH} : 補強材の分担比

E : 補強リングの弾性係数 (N/mm²)

p_h : ライナープレートに作用する土圧強度 (N/mm²)

I_{H} : 補強リングの断面二次モーメント (mm⁴)

L : 長辺の長さ (mm)

l_{H} : 補強リングの間隔 (mm)

ここで、許容たわみ量は、

$$\delta_{\text{a}} = \frac{L}{200} = \frac{5404.0}{200} = 27.02 \text{ (mm)}$$

従ってたわみに対する照査は以下のとおりである。

$$\delta_{\text{H}} = 28.53 > 27.02 \text{ (mm)}$$

よって切梁等の支保部材の検討が必要となる。

4. 深度 3.000 m ～ 4.000 m ($p_h=45.000 \text{ kN/m}^2$)

$$\begin{aligned}\delta_H &= - \frac{\eta_{IH} \cdot M_{\max} \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot \frac{I_H}{l_H}} + \frac{5 \cdot p_h \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot \frac{I_H}{l_H}} \\ &= - \frac{0.97099 \times 82.43 \times 10^3 \times (5404.0)^2}{8 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{4.720 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} + \frac{5 \times 45.000 \times 10^{-3} \times (5404.0)^4}{384 \times 2.00 \times 10^5 \times \frac{4.720 \times 10^7}{1.0 \times 10^3}} \\ &= 21.98 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

δ_H : 補強リングのたわみ量 (mm)

η_{IH} : 補強材の分担比

E : 補強リングの弾性係数 (N/mm²)

p_h : ライナープレートに作用する土圧強度 (N/mm²)

I_H : 補強リングの断面二次モーメント (mm⁴)

L : 長辺の長さ (mm)

l_H : 補強リングの間隔 (mm)

ここで、許容たわみ量は、

$$\delta_a = \frac{L}{200} = \frac{5404.0}{200} = 27.02 \text{ (mm)}$$

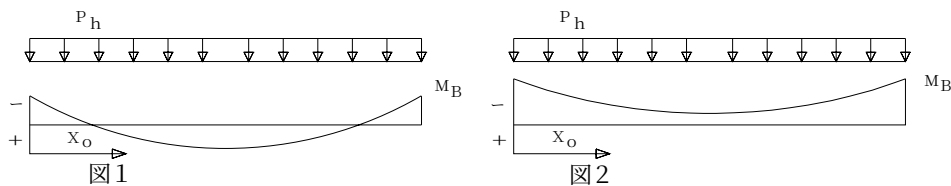
従ってたわみに対する照査は以下のとおりである。

$$\delta_H = 21.98 \leq 27.02 \text{ (mm)}$$

6-2 継手部

1. 深度 0.000 m ～ 1.000 m ($p_h=15.000 \text{ kN/m}^2$)

(1) 継手位置



長辺A-B

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、

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

$$27.48 - \frac{15.000 \times 5.404}{2} x + \frac{15.000}{2} x^2 = 0$$

$x_0 = 794.8 \text{ (mm)}$ 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、継手位置を定める。まずボルト孔のピッチ数は、

$$n_0 = \frac{(x_0 - 33)}{157} = \frac{(794.8 - 33)}{157} = 4.853$$

$n_0 = 5.0$ とすると、

$$x_0 = (n_0 \times 0.157) + 0.033 = (5.0 \times 157) + 33 = 818.0 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X_i (mm)	曲げモーメント M_i (kN・m/m)
1	818.0	0.658
2	818.0	0.658
3	818.0	0.658
4	818.0	0.658

$$M_J = \eta_{\text{it}} \cdot \max(|M_{\text{max}}|) \cdot l = 0.85612 \times 0.658 \times 1.0 = 0.564 \text{ (kN・m)}$$

$$N_J = \eta_{\text{at}} \cdot N \cdot l = 0.43005 \times 18.158 \times 1.0 = 7.809 \text{ (kN)}$$

短辺B－C

曲げモーメントは図2に示すようになることから、継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。すなわち、

$$x_o = \frac{2421.0}{2} = 1210.5 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X _i (mm)	曲げモーメント M _i (kN・m/m)
1	1210.5	-16.487
2	1210.5	-16.487

$$M_J = \eta_{iH} \cdot \max(|M_{\max}|) \cdot l = 0.85612 \times 16.487 \times 1.0 = 14.115 \text{ (kN・m)}$$

$$N_J = \eta_{aH} \cdot N \cdot l = 0.43005 \times 40.530 \times 1.0 = 17.430 \text{ (kN)}$$

M_J : 最大曲げモーメント (kN・m/m)

N_J : 軸力 (kN/m)

l : 補強材設置間隔 1.0 (m)

x_o : 継手位置(計算値) (mm)

x_i : 継手位置(採用値) (mm)

(2) 継手ボルトの検討

長辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{7.809}{2} + \frac{0.564}{0.125} = 8.414 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{8.414 \times 10^3}{4 \times 245.0} \\ &= 8.6 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

短辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{17.430}{2} + \frac{14.115}{0.125} = 121.633 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{121.633 \times 10^3}{4 \times 245.0} \\ &= 124.1 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

P_J : 継手ボルトに作用するせん断力

n : ボルト本数

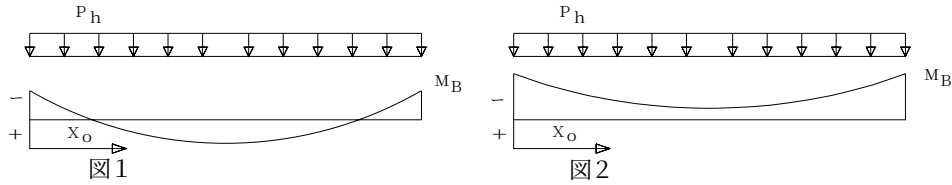
A_b : ボルト 1 本の有効断面積

4 (本)

245.0 (mm²/本)

2. 深度 1.000 m ～ 2.000 m ($p_h=25.000 \text{ kN/m}^2$)

(1) 継手位置



長辺A-B

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、

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

$$45.79 - \frac{25.000 \times 5.404}{2} x + \frac{25.000}{2} x^2 = 0$$

$x_0 = 794.8 \text{ (mm)}$ 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、継手位置を定める。まずボルト孔のピッチ数は、

$$n_0 = \frac{(x_0 - 33)}{157} = \frac{(794.8 - 33)}{157} = 4.853$$

$n_0 = 5.0$ とすると、

$$x_0 = (n_0 \times 0.157) + 0.033 = (5.0 \times 157) + 33 = 818.0 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X_i (mm)	曲げモーメント M_i (kN・m/m)
1	818.0	1.097
2	818.0	1.097
3	818.0	1.097
4	818.0	1.097

$$M_J = \eta_{\text{int}} \cdot \max(|M_{\text{max}}|) \cdot l = 0.91993 \times 1.097 \times 1.0 = 1.009 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

$$N_J = \eta_{\text{att}} \cdot N \cdot l = 0.49931 \times 30.263 \times 1.0 = 15.110 \text{ (kN)}$$

短辺B－C

曲げモーメントは図2に示すようになることから、継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。すなわち、

$$x_o = \frac{2421.0}{2} = 1210.5 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X _i (mm)	曲げモーメント M _i (kN・m/m)
1	1210.5	-27.478
2	1210.5	-27.478

$$M_J = \eta_{iH} \cdot \max(|M_{\max}|) \cdot l = 0.91993 \times 27.478 \times 1.0 = 25.278 \text{ (kN・m)}$$

$$N_J = \eta_{aH} \cdot N \cdot l = 0.49931 \times 67.550 \times 1.0 = 33.728 \text{ (kN)}$$

M_J : 最大曲げモーメント (kN・m/m)

N_J : 軸力 (kN/m)

l : 補強材設置間隔 1.0 (m)

x_o : 継手位置(計算値) (mm)

x_i : 継手位置(採用値) (mm)

(2) 継手ボルトの検討

長辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{15.110}{2} + \frac{1.009}{0.150} = 14.285 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{14.285 \times 10^3}{4 \times 245.0} \\ &= 14.6 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

短辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{33.728}{2} + \frac{25.278}{0.150} = 185.384 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{185.384 \times 10^3}{4 \times 245.0} \\ &= 189.2 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

P_J : 継手ボルトに作用するせん断力

n : ボルト本数

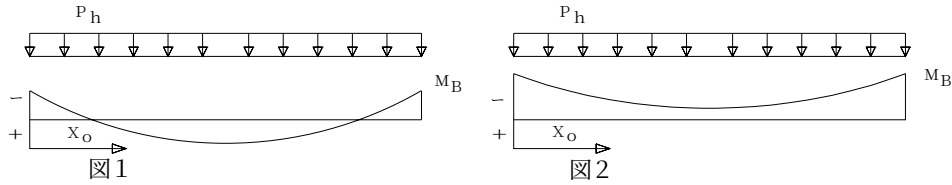
A_b : ボルト 1 本の有効断面積

4 (本)

245.0 (mm²/本)

3. 深度 2.000 m ～ 3.000 m ($p_h=35.000 \text{ kN/m}^2$)

(1) 継手位置



長辺A-B

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、

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

$$64.11 - \frac{35.000 \times 5.404}{2} x + \frac{35.000}{2} x^2 = 0$$

$x_0 = 794.8 \text{ (mm)}$ 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、継手位置を定める。まずボルト孔のピッチ数は、

$$n_0 = \frac{(x_0 - 33)}{157} = \frac{(794.8 - 33)}{157} = 4.853$$

$n_0 = 5.0$ とすると、

$$x_0 = (n_0 \times 0.157) + 0.033 = (5.0 \times 157) + 33 = 818.0 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X_i (mm)	曲げモーメント M_i (kN・m/m)
1	818.0	1.536
2	818.0	1.536
3	818.0	1.536
4	818.0	1.536

$$M_J = \eta_{\text{int}} \cdot \max(|M_{\text{max}}|) \cdot l = 0.95363 \times 1.536 \times 1.0 = 1.465 \text{ (kN・m)}$$

$$N_J = \eta_{\text{att}} \cdot N \cdot l = 0.56394 \times 42.368 \times 1.0 = 23.893 \text{ (kN)}$$

短辺B－C

曲げモーメントは図2に示すようになることから、継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。すなわち、

$$x_o = \frac{2421.0}{2} = 1210.5 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X _i (mm)	曲げモーメント M _i (kN・m/m)
1	1210.5	-38.469
2	1210.5	-38.469

$$M_J = \eta_{iH} \cdot \max(|M_{\max}|) \cdot l = 0.95363 \times 38.469 \times 1.0 = 36.686 \text{ (kN・m)}$$

$$N_J = \eta_{aH} \cdot N \cdot l = 0.56394 \times 94.570 \times 1.0 = 53.332 \text{ (kN)}$$

M_J : 最大曲げモーメント (kN・m/m)

N_J : 軸力 (kN/m)

l : 補強材設置間隔 1.0 (m)

x_o : 継手位置(計算値) (mm)

x_i : 継手位置(採用値) (mm)

(2) 継手ボルトの検討

長辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{23.893}{2} + \frac{1.465}{0.175} = 20.318 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{20.318 \times 10^3}{4 \times 245.0} \\ &= 20.7 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

短辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{53.332}{2} + \frac{36.686}{0.175} = 236.299 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{236.299 \times 10^3}{4 \times 245.0} \\ &= 241.1 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

P_J : 継手ボルトに作用するせん断力

n : ボルト本数

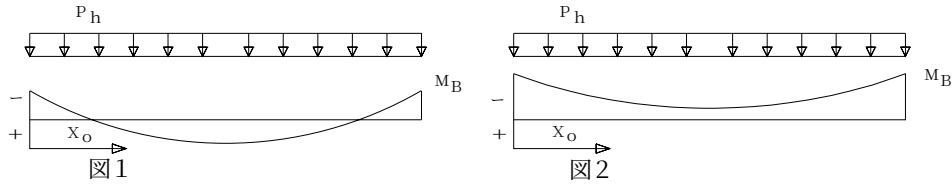
A_b : ボルト 1 本の有効断面積

4 (本)

245.0 (mm²/本)

4. 深度 3.000 m ～ 4.000 m ($p_h=45.000 \text{ kN/m}^2$)

(1) 継手位置



長辺A-B

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、

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

$$82.43 - \frac{45.000 \times 5.404}{2} x + \frac{45.000}{2} x^2 = 0$$

$x_0 = 794.8 \text{ (mm)}$ 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、継手位置を定める。まずボルト孔のピッチ数は、

$$n_0 = \frac{(x_0 - 33)}{157} = \frac{(794.8 - 33)}{157} = 4.853$$

$n_0 = 5.0$ とすると、

$$x_0 = (n_0 \times 0.157) + 0.033 = (5.0 \times 157) + 33 = 818.0 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X_i (mm)	曲げモーメント M_i (kN・m/m)
1	818.0	1.975
2	818.0	1.975
3	818.0	1.975
4	818.0	1.975

$$M_J = \eta_{\text{int}} \cdot \max(|M_{\text{max}}|) \cdot l = 0.97099 \times 1.975 \times 1.0 = 1.918 \text{ (kN・m)}$$

$$N_J = \eta_{\text{att}} \cdot N \cdot l = 0.61506 \times 54.473 \times 1.0 = 33.504 \text{ (kN)}$$

短辺B－C

曲げモーメントは図2に示すようになることから、継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。すなわち、

$$x_o = \frac{2421.0}{2} = 1210.5 \text{ (mm)}$$

継手位置の採用値

i	長さ方向 X _i (mm)	曲げモーメント M _i (kN・m/m)
1	1210.5	-49.461
2	1210.5	-49.461

$$M_J = \eta_{iH} \cdot \max(|M_{\max}|) \cdot l = 0.97099 \times 49.461 \times 1.0 = 48.026 \text{ (kN・m)}$$

$$N_J = \eta_{aH} \cdot N \cdot l = 0.61506 \times 121.590 \times 1.0 = 74.786 \text{ (kN)}$$

M_J : 最大曲げモーメント (kN・m/m)

N_J : 軸力 (kN/m)

l : 補強材設置間隔 1.0 (m)

x_o : 継手位置(計算値) (mm)

x_i : 継手位置(採用値) (mm)

(2) 継手ボルトの検討

長辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{33.504}{2} + \frac{1.918}{0.200} = 26.341 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{26.341 \times 10^3}{6 \times 245.0} \\ &= 17.9 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

短辺では

$$P_J = \frac{N_J}{2} + \frac{M_J}{h} = \frac{74.786}{2} + \frac{48.026}{0.200} = 277.523 \text{ (kN)}$$

従って継手ボルトの発生せん断応力度 τ は

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{P_J}{n \cdot A_b} = \frac{277.523 \times 10^3}{6 \times 245.0} \\ &= 188.8 \leq \tau_a = 300.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

P_J : 継手ボルトに作用するせん断力

n : ボルト本数

A_b : ボルト 1 本の有効断面積

6 (本)

245.0 (mm²/本)

6-3 継手板の検討

1. 深度 0.000 m ～ 1.000 m ($p_h=15.000 \text{ kN/m}^2$)

$$A_J = (B_f - 2b_o) t_f = (125.0 - 2 \times 22.0) \times 12.0 = 972.0 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$Z_J = \frac{A_J(h + t_f)^2}{h + 2t_f} = \frac{972.0 \times (0.125 \times 10^3 + 12.0)^2}{0.125 \times 10^3 + 2 \times 12.0} = 122439.4 \text{ (mm}^3\text{)}$$

従って継手板に発生する曲げ応力度の照査は以下のとおりである。

長辺では

$$\frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{Ha}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{7.809 \times 10^3}{2 \times 972.0 \times 210} + \frac{0.564 \times 10^6}{122439.4 \times 210} \\ = 0.041 \leq 1.0$$

短辺では

$$\frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{Ha}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{Ha}} = \frac{17.430 \times 10^3}{2 \times 972.0 \times 210} + \frac{14.115 \times 10^6}{122439.4 \times 210} \\ = 0.592 \leq 1.0$$

A_J : 継手板の有効断面積

B_t : 継手板の幅 125.0 (mm)

b_o : ボルトの孔径 22.0 (mm)

t_f : 継手板板厚 12.0 (mm)

Z_J : 継手板の断面係数

h : 補強材の高さ 0.1 (m)

σ_{Ha} : 継手板の許容応力度 210 (N/mm²)

2. 深度 1.000 m ～ 2.000 m ($p_h=25.000 \text{ kN/m}^2$)

$$A_J = (B_t - 2b_o) t_f = (150.0 - 2 \times 22.0) \times 12.0 = 1272.0 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$Z_J = \frac{A_J(h + t_f)^2}{h + 2t_f} = \frac{1272.0 \times (0.150 \times 10^3 + 12.0)^2}{0.150 \times 10^3 + 2 \times 12.0} = 191852.7 \text{ (mm}^3\text{)}$$

従って継手板に発生する曲げ応力度の照査は以下のとおりである。

長辺では

$$\begin{aligned} \frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{lla}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{lla}} &= \frac{15.110 \times 10^3}{2 \times 1272.0 \times 210} + \frac{1.009 \times 10^6}{191852.7 \times 210} \\ &= 0.053 \leq 1.0 \end{aligned}$$

短辺では

$$\begin{aligned} \frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{lla}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{lla}} &= \frac{33.728 \times 10^3}{2 \times 1272.0 \times 210} + \frac{25.278 \times 10^6}{191852.7 \times 210} \\ &= 0.691 \leq 1.0 \end{aligned}$$

A_J : 継手板の有効断面積

B_t : 継手板の幅 150.0 (mm)

b_o : ボルトの孔径 22.0 (mm)

t_f : 継手板板厚 12.0 (mm)

Z_J : 継手板の断面係数

h : 補強材の高さ 0.2 (m)

σ_{lla} : 継手板の許容応力度 210 (N/mm²)

3. 深度 2.000 m ～ 3.000 m ($p_h=35.000 \text{ kN/m}^2$)

$$A_J = (B_t - 2b_o) t_f = (175.0 - 2 \times 22.0) \times 12.0 = 1572.0 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$Z_J = \frac{A_J(h + t_f)^2}{h + 2t_f} = \frac{1572.0 \times (0.175 \times 10^3 + 12.0)^2}{0.175 \times 10^3 + 2 \times 12.0} = 276237.5 \text{ (mm}^3\text{)}$$

従って継手板に発生する曲げ応力度の照査は以下のとおりである。

長辺では

$$\begin{aligned} \frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{Ha}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{Ha}} &= \frac{23.893 \times 10^3}{2 \times 1572.0 \times 210} + \frac{1.465 \times 10^6}{276237.5 \times 210} \\ &= 0.061 \leq 1.0 \end{aligned}$$

短辺では

$$\begin{aligned} \frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{Ha}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{Ha}} &= \frac{53.332 \times 10^3}{2 \times 1572.0 \times 210} + \frac{36.686 \times 10^6}{276237.5 \times 210} \\ &= 0.713 \leq 1.0 \end{aligned}$$

A_J : 継手板の有効断面積

B_t : 継手板の幅 175.0 (mm)

b_o : ボルトの孔径 22.0 (mm)

t_f : 継手板板厚 12.0 (mm)

Z_J : 継手板の断面係数

h : 補強材の高さ 0.2 (m)

σ_{Ha} : 継手板の許容応力度 210 (N/mm²)

4. 深度 3.000 m ～ 4.000 m ($p_h=45.000 \text{ kN/m}^2$)

$$A_J = (B_t - 2b_o) t_f = (200.0 - 2 \times 22.0) \times 12.0 = 1872.0 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$Z_J = \frac{A_J(h + t_f)^2}{h + 2t_f} = \frac{1872.0 \times (0.200 \times 10^3 + 12.0)^2}{0.200 \times 10^3 + 2 \times 12.0} = 375603.4 \text{ (mm}^3\text{)}$$

従って継手板に発生する曲げ応力度の照査は以下のとおりである。

長辺では

$$\begin{aligned} \frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{Ha}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{Ha}} &= \frac{33.504 \times 10^3}{2 \times 1872.0 \times 210} + \frac{1.918 \times 10^6}{375603.4 \times 210} \\ &= 0.067 \leq 1.0 \end{aligned}$$

短辺では

$$\begin{aligned} \frac{N_J}{2A_J \cdot \sigma_{Ha}} + \frac{M_J}{Z_J \cdot \sigma_{Ha}} &= \frac{74.786 \times 10^3}{2 \times 1872.0 \times 210} + \frac{48.026 \times 10^6}{375603.4 \times 210} \\ &= 0.704 \leq 1.0 \end{aligned}$$

A_J : 継手板の有効断面積

B_t : 継手板の幅 200.0 (mm)

b_o : ボルトの孔径 22.0 (mm)

t_f : 継手板板厚 12.0 (mm)

Z_J : 継手板の断面係数

h : 補強材の高さ 0.2 (m)

σ_{Ha} : 継手板の許容応力度 210 (N/mm²)

7 一覧表

・外枠

断面力の検討

No	深度	ライナー	補強材		短径		長径	
		板厚	呼称	間隔	ライナー 判定値	補強材 判定値	ライナー 判定値	補強材 判定値
	(m)	(mm)		(m)				
1	1.000	2.70	H-125	1.0	0.522	0.864	0.524	0.851
2	2.000	2.70	H-150	1.0	0.508	0.969	0.510	0.950
3	3.000	2.70	H-175	1.0	0.438	0.929	0.441	0.904
4	4.000	2.70	H-200	1.0	0.379	0.864	0.382	0.835

継手板の検討

No	深度	継手板		ボルト孔径	長径			短径		
		幅	板厚		軸力	曲げ モーメント	判定値	軸力	曲げ モーメント	判定値
	(m)	B _f (mm)	t _f (mm)		N _J (kN)	N _J (kN)		N _J (kN)	M _J (kN)	
1	1.000	125.0	12.0	22.0	7.809	0.564	0.041	17.430	14.115	0.592
2	2.000	150.0	12.0	22.0	15.110	1.009	0.053	33.728	25.278	0.691
3	3.000	175.0	12.0	22.0	23.893	1.465	0.061	53.332	36.686	0.713
4	4.000	200.0	12.0	22.0	33.504	1.918	0.067	74.786	48.026	0.704

継手用ボルトの検討

No	深度	本数	有効断面積	長径せん断応力度			短径せん断応力度		
				作用力	発生 応力度	許容 応力度	作用力	発生 応力度	許容 応力度
	(m)	(本)	A _b (mm ² /本)	P _J (kN)	τ (N/mm ²)	τ _a (N/mm ²)	P _J (kN)	τ (N/mm ²)	τ _a (N/mm ²)
1	1.000	4	245.0	8.414	8.60	300.0	121.633	124.10	300.0
2	2.000	4	245.0	14.285	14.60	300.0	185.384	189.20	300.0
3	3.000	4	245.0	20.318	20.70	300.0	236.299	241.10	300.0
4	4.000	6	245.0	26.341	17.90	300.0	277.523	188.80	300.0

たわみ量の検討

No	深度	たわみ量	許容たわみ量
	(m)	(mm)	(mm)
1	1.000	48.1	27.0
2	2.000	38.2	27.0
3	3.000	28.5	27.0
4	4.000	22.0	27.0

限界深度表

No	板厚 (mm)	補強材		限界深度 (m)	側圧 (kN/m ²)	許容外圧 (kN/m ²)
		鋼材名・呼称	間隔 (m)			
1	2.7			0.000	10.000	4.287
2	3.2			0.000	10.000	5.072
3	4.0			0.000	10.000	6.287
4	4.5			0.000	10.000	7.073
5	5.3			0.000	10.000	8.288
6	6.0			0.000	10.000	9.336

8 数量概算表

名称	サイズ (mm)	数量
ライナープレート	SP-10 t=2.7	32
ライナープレート	SP-7 t=2.7	16
ライナープレート	SP-6 t=2.7	16
ライナープレート	LP-8 t=2.7	32
組立ボルト	M16×30 (4.6 LP用)	776
組立ボルト	M16×45 (8.8 HR用)	490
補強リング	H125×125×6.5×9.0×3768.0	4
補強リング	H125×125×6.5×9.0×2028.5	8
補強リング	H150×150×7.0×10.0×3768.0	4
補強リング	H150×150×7.0×10.0×2028.5	8
補強リング	H175×175×7.5×11.0×3768.0	4
補強リング	H175×175×7.5×11.0×2028.5	8
補強リング	H200×200×8.0×12.0×3768.0	8
補強リング	H200×200×8.0×12.0×2028.5	16
継手板	PL125×12×310	24
継手板	PL150×12×310	24
継手板	PL175×12×310	24
継手板	PL200×12×440	48
継手ボルト	M20×50	576
継手ボルト	M20×60	576