

1 設計条件

1.1 一般条件

構造形式	: 一径間ボックスラーメン
内空寸法	: (B) 2000 × (H) 1500 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 1.510 ~ H2 = 3.000 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t _b = 0.000 [m]

1.2 単位容積重量

舗装材	: $\gamma_a = 22.5$ [kN/m ³]
路盤材 (地下水位以上)	: $\gamma_b = 19.0$ [kN/m ³]
路盤材 (地下水位以下)	: $\gamma_{bw} = 10.0$ [kN/m ³]
鉄筋コンクリート	: $\gamma_c = 24.5$ [kN/m ³]
土 (地下水位以上)	: $\gamma_s = 18.0$ [kN/m ³]
土 (地下水位以下)	: $\gamma_w = 9.0$ [kN/m ³]

1.3 土圧係数 (水平) : $K_a = 0.500$ (鉛直) : $\alpha = 1.000$ 1.4 活荷重 (上載) : T' 荷重 横断通行
(輪接地幅 a = 0.20m b = 0.50m)(側載) : $Q = 10.0$ [kN/m²]

1.5 衝撃係数 : i = 0.300

1.6 鉄筋かぶり : 頂版 底版 側壁
: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm1.7 断面力低減係数 (土被り H1) : $\beta = 0.9$ (土被り H2) : $\beta = 0.9$

1.8 許容応力度

1.8.1 鉄筋

引張応力度	: $\sigma_{sa} = 160$ [N/mm ²]
降伏点応力度	: $\sigma_{sy} = 295$ [N/mm ²]
弾性係数	: $E_s = 2.0 \times 10^5$ [N/mm ²]

1.8.2 コンクリート

- (1) 設計基準強度 : $\sigma_{ck} = 40.0 \text{ N/mm}^2$
- (2) プレストレストコンクリート部材
- P S 導入時強度 : $\sigma_{ck}' = 35.0 \text{ N/mm}^2$
- P S 導入直後
- 許容曲げ圧縮応力度 : $\sigma_{cat} = 19.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容曲げ引張応力度 : $\sigma_{tat} = -1.5 \text{ N/mm}^2$
- 設計荷重作用時
- 許容曲げ圧縮応力度 : $\sigma_{ca} = 15.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容曲げ引張応力度 : $\sigma_{ta} = -1.5 \text{ N/mm}^2$
- (死荷重作用時)
- 許容曲げ引張応力度 : $\sigma_{ta}' = 0.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容せん断応力度 : $\tau_a = 0.270 \text{ N/mm}^2$
- 許容斜引張応力度 : $\sigma_{ia} = -1.0 \text{ N/mm}^2$
- (3) 鉄筋コンクリート部材
- 許容曲げ圧縮応力度 : $\sigma_{ca} = 14.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容せん断応力度 : $\tau_a = 0.270 \text{ N/mm}^2$
- (4) 弾性係数 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

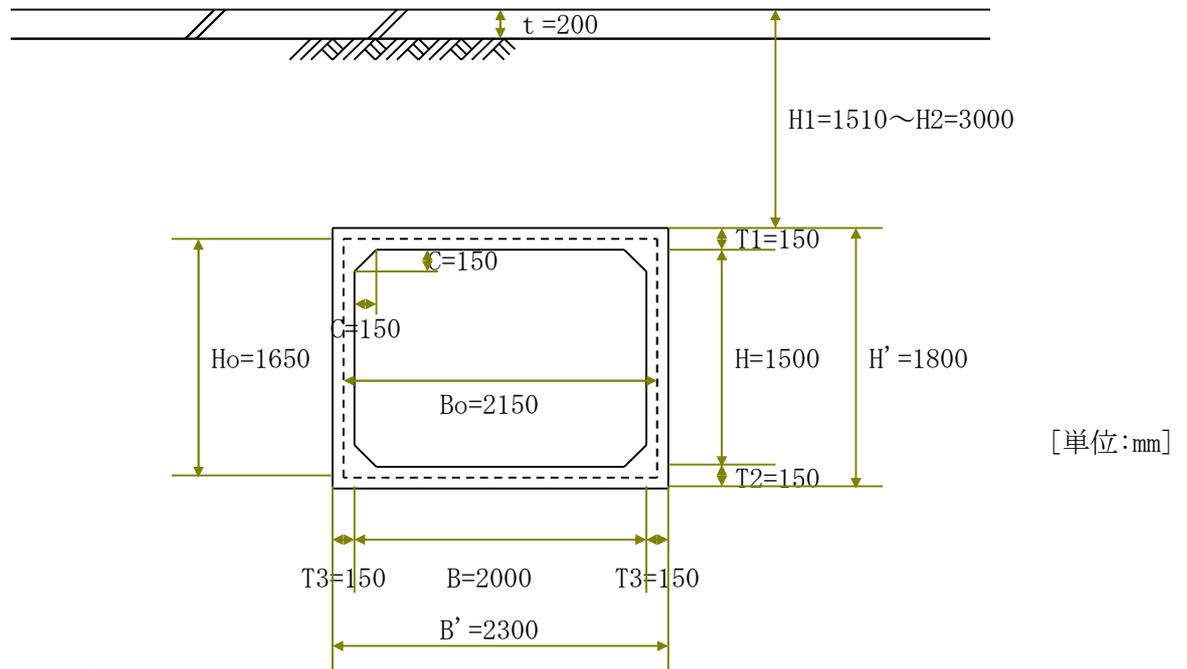
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (1) 許容引張応力度
- 引張強度 : $\sigma_{pu} = 1230 \text{ N/mm}^2$
- 降伏点強度 : $\sigma_{py} = 1080 \text{ N/mm}^2$
- プレストレッシング中 : $\sigma_{pia} = 972 \text{ N/mm}^2$
- プレストレッシング直後 : $\sigma_{pca} = 861 \text{ N/mm}^2$
- 設計荷重作用時 : $\sigma_{pea} = 738 \text{ N/mm}^2$
- (2) 弾性係数 : $E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

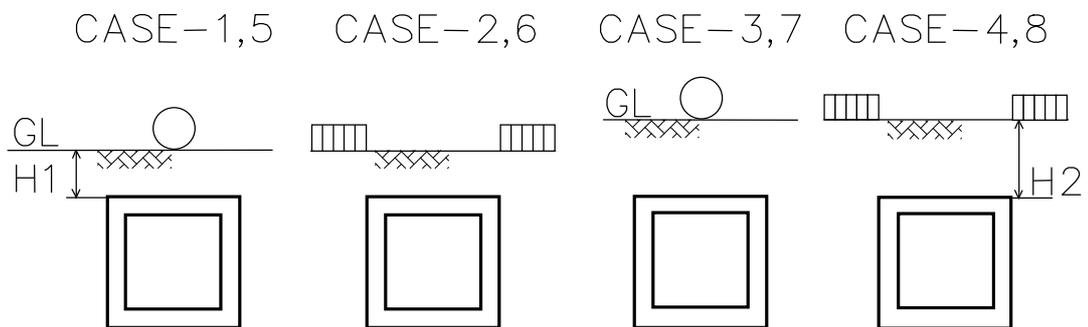
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 21$	*****	(mm)
断面積	346.40	346.40	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	290000	*****	(N)

1.11 標準断面図



1.12 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

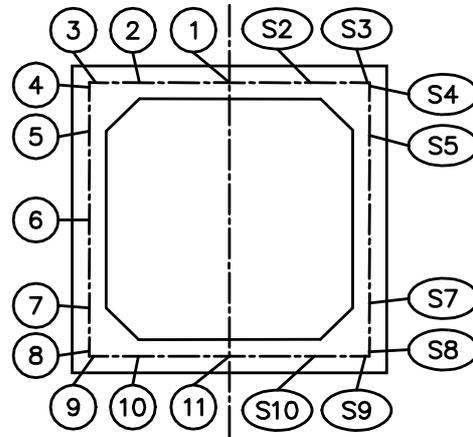
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

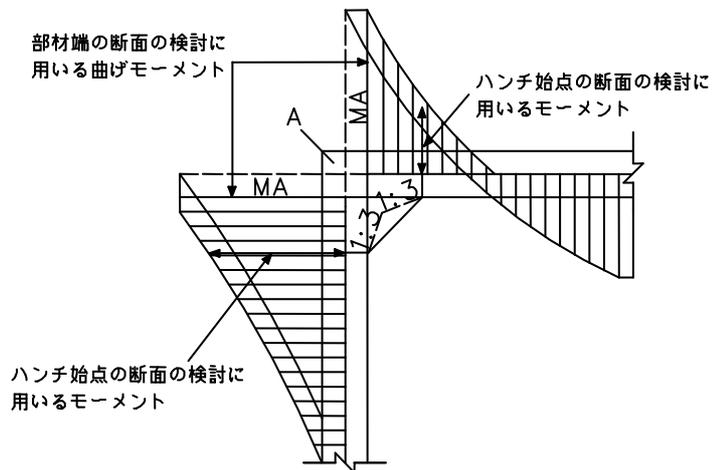
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

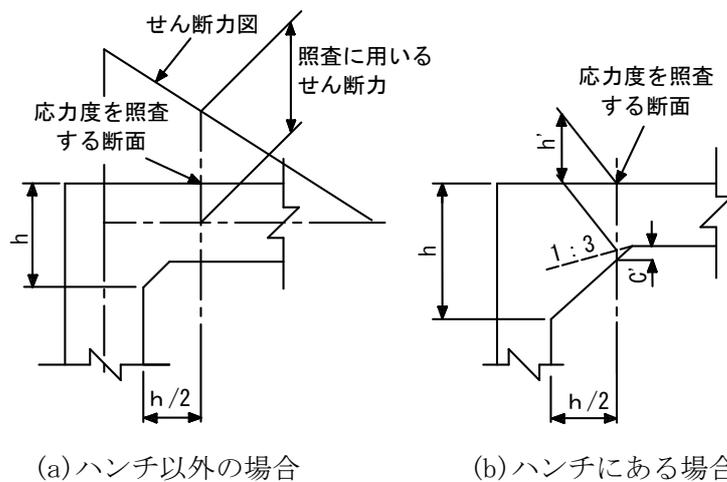
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



b) について

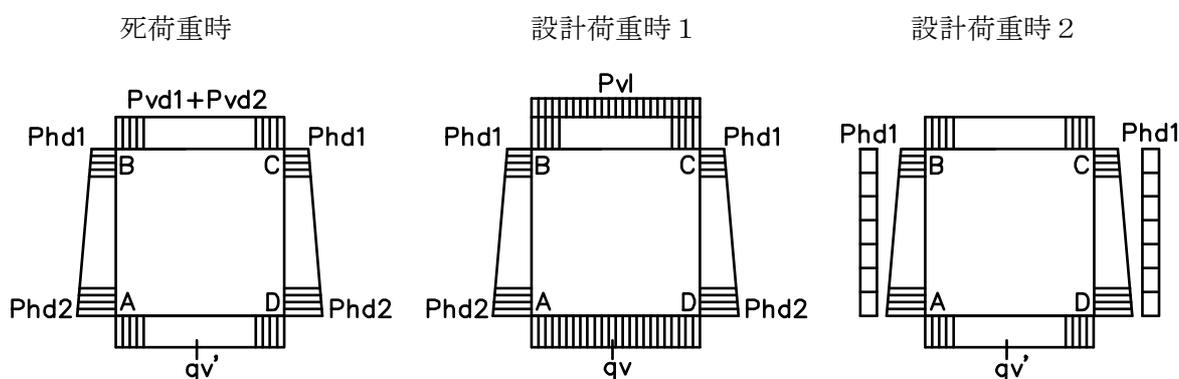
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分 C' の 1/3 まで大きくとります。

$$h' = T + C'/3$$

3 断面力の算定 (CASE-1, 2)

3.1.1 設計荷重

- (1) 頂版自重 $Pvd1 = \gamma c \times T1$
- (2) 鉛直土圧 $Pvd2 = \alpha \times \{ \gamma s \times (H1 - t - tb) + \gamma a \times t + \gamma b \times tb \}$
- (3) 水平土圧 $Phd1 = Ka \times \{ \gamma a \times t + \gamma b \times tb + \gamma s \times (H1 - t - tb + T1/2) \}$
 $Phd2 = Ka \times \{ \gamma a \times t + \gamma b \times tb + \gamma s \times (H1 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $Pq = Ka \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H1 = 3.220 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 3.520 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $Pv1 = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $qv = Pvd1 + Pvd2 + Pv1 + \gamma c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) / Bo$



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-1 (kN/m ²)	設計荷重 2 CASE-2 (kN/m ²)
Pvd1	3.675	3.675	3.675
Pvd2	28.080	28.080	28.080
Phd1 = Phd1	14.715	14.715	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	19.715
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	29.565	29.565	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	34.565
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	26.426	0.000
qv	*****	64.334	*****
qv'	37.908	*****	37.908

注) qv'は、Pv1 = 0 とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ ラーメン係数} \quad \alpha &= (H_0 \times T_1^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 &\beta = (H_0 \times T_2^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 N1 &= 2 + \alpha \\
 N2 &= 2 + \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \text{ 荷重項} \quad CAD &= q_v \times B_0^2 / 12 \\
 CBC &= \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_0^2\} / 12 \\
 CAB &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 \\
 CBA &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60
 \end{aligned}$$

注1) 死荷重時、設計荷重時2のCADは、 $q_v = q_v'$

注2) 死荷重時、設計荷重時2のCBCは、 $P_{v1} = 0$

注3) $P_{hd1} \sim P_{hd5}$ は、水平荷重（設計荷重参照）

$$\begin{aligned}
 (3) \text{ たわみ角} \quad \theta A &= \{N1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N1 \times N2 - 1) \\
 \theta B &= \{N2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N1 \times N2 - 1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (4) \text{ 端モーメント} \quad MAB &= 2 \times \theta A + \theta B - CAB \\
 MAD &= \beta \times \theta A + CAD \\
 MBA &= 2 \times \theta B + \theta A + CBA \\
 MBC &= \alpha \times \theta B - CBC
 \end{aligned}$$

$$MAB + MAD = 0 \quad MBA + MBC = 0$$

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.7674	0.7674	0.7674
β	0.7674	0.7674	0.7674
N1	2.7674	2.7674	2.7674
N2	2.7674	2.7674	2.7674
CAD (kN・m/m)	14.603	24.782	14.603
CBC (kN・m/m)	12.232	22.412	12.232
CAB (kN・m/m)	5.360	5.360	6.494
CBA (kN・m/m)	4.686	4.686	5.820
θA	-4.975	-10.734	-4.333
θB	4.524	10.284	3.883
MAB (kN・m/m)	-10.785	-16.544	-11.277
MAD (kN・m/m)	10.785	16.544	11.277
MBA (kN・m/m)	8.760	14.520	9.253
MBC (kN・m/m)	-8.760	-14.520	-9.253

3.1.3 各部材の断面力

(1) 頂版

1) せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x$$

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2 / 8 + M_{BC}$$

(2) 底版

1) せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x$$

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD}$$

(3) 側壁

1) せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o)$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o)$$

2) 曲げモーメント

節点間の極値は、せん断力が0となる位置に生じる。次式を解いて位置xを求める。

$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o)$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB}$$

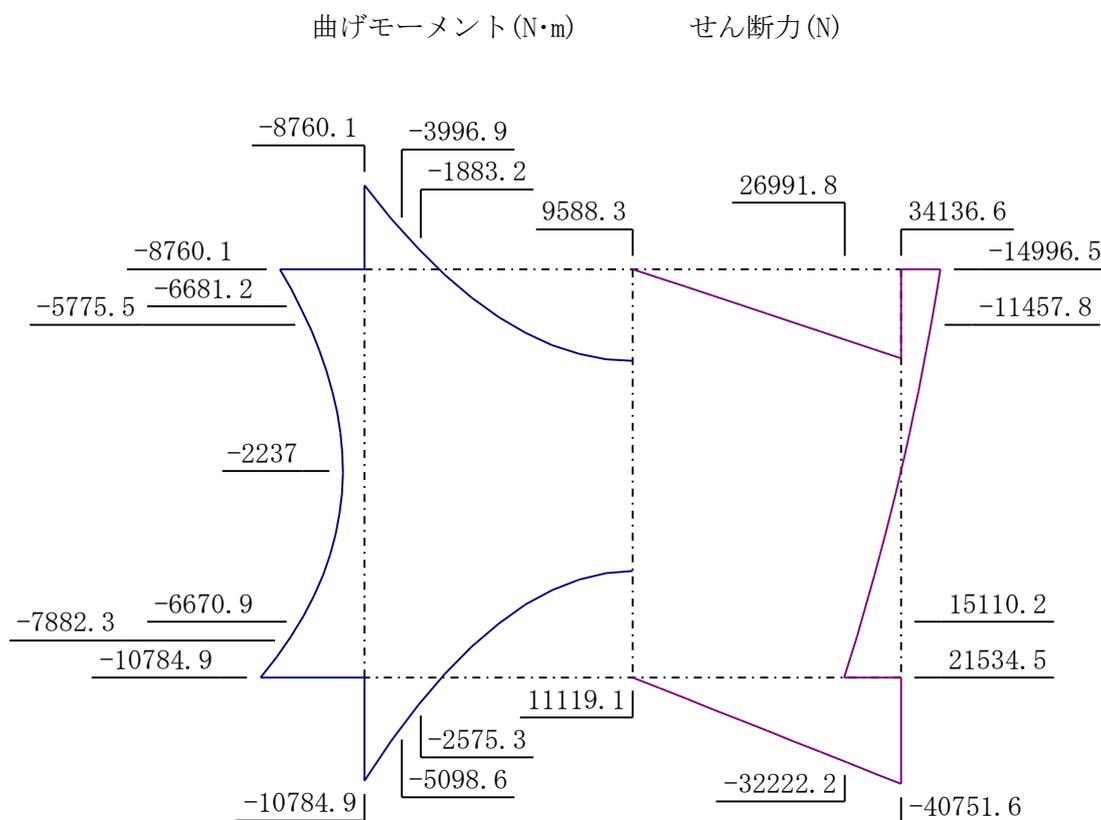
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	34.137	62.544	34.137
S CB (kN/m)	-34.137	-62.544	-34.137
Mmax (kN・m/m)	9.588	19.098	9.096
S AD (kN/m)	40.752	69.159	40.752
S DA (kN/m)	-40.752	-69.159	-40.752
Mmax (kN・m/m)	11.119	20.629	10.627
S AB (kN/m)	21.535	21.535	25.660
S BA (kN/m)	-14.996	-14.996	-19.121
x (m)	0.834	0.834	*****
	0.833	*****	0.833
Mmax (kN・m/m)	-2.237	-7.996	*****
Mmax (kN・m/m)	-2.237	*****	-1.028

注1) 頂版 死荷重時・設計荷重時2は、 $P_{v1} = 0$ とする。

注2) 底版 死荷重時・設計荷重時2は、 $q_v = q_v'$ とする。

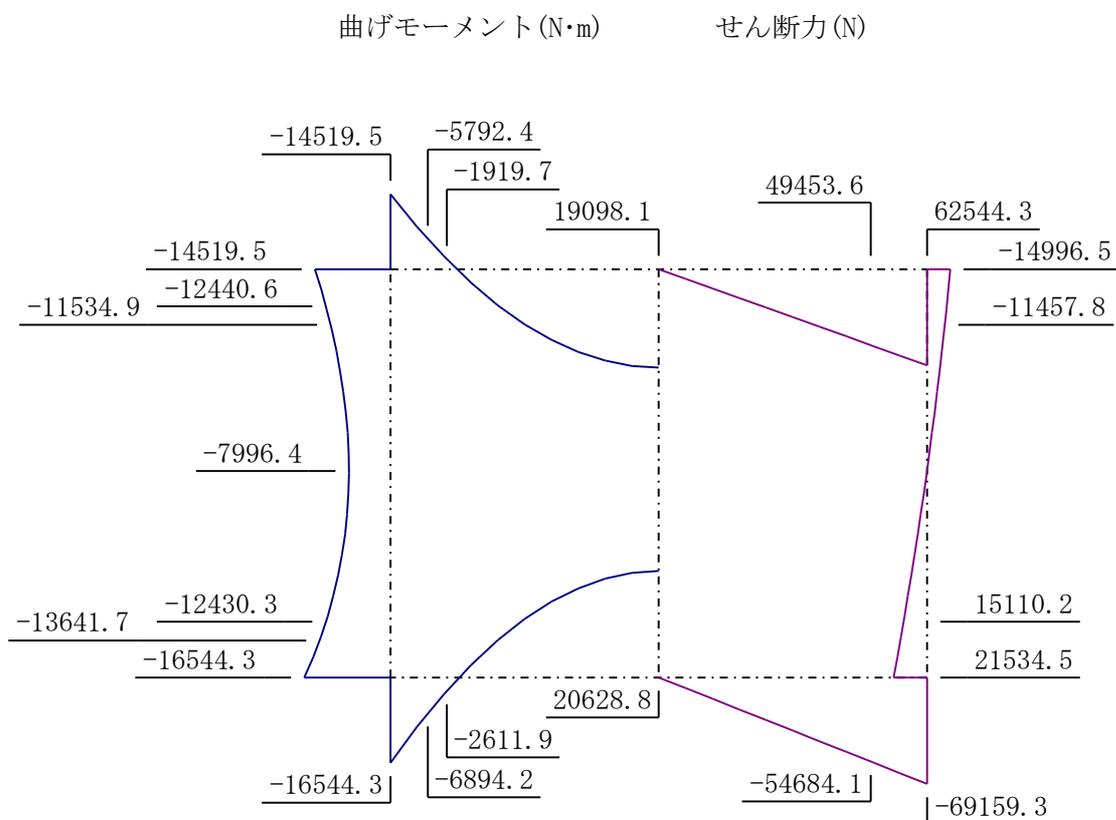
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.075	-8760	34137	14997
	2 ハッチ始点	0.225	-3997	***	14997
	S2 τ点	0.225	-1883	26992	14997
	1 中央	1.075	9588	0	14997
底版	9, S9 端部	0.075	-10785	40752	21535
	10 ハッチ始点	0.225	-5099	***	21535
	S10 τ点	0.225	-2575	32222	21535
	11 中央	1.075	11119	0	21535
側壁	4, S4 上端部	1.575	-8760	-14997	34137
	5 上ハッチ点	1.425	-6681	***	34738
	S5 上τ点	1.425	-5776	-11458	35039
	6 中間	0.834	-2237	*****	37408
		0.833	-2237	*****	37412
	S7 下τ点	0.225	-6671	15110	39850
	7 下ハッチ点	0.225	-7882	***	40150
	8, S8 下端部	0.075	-10785	21535	40752



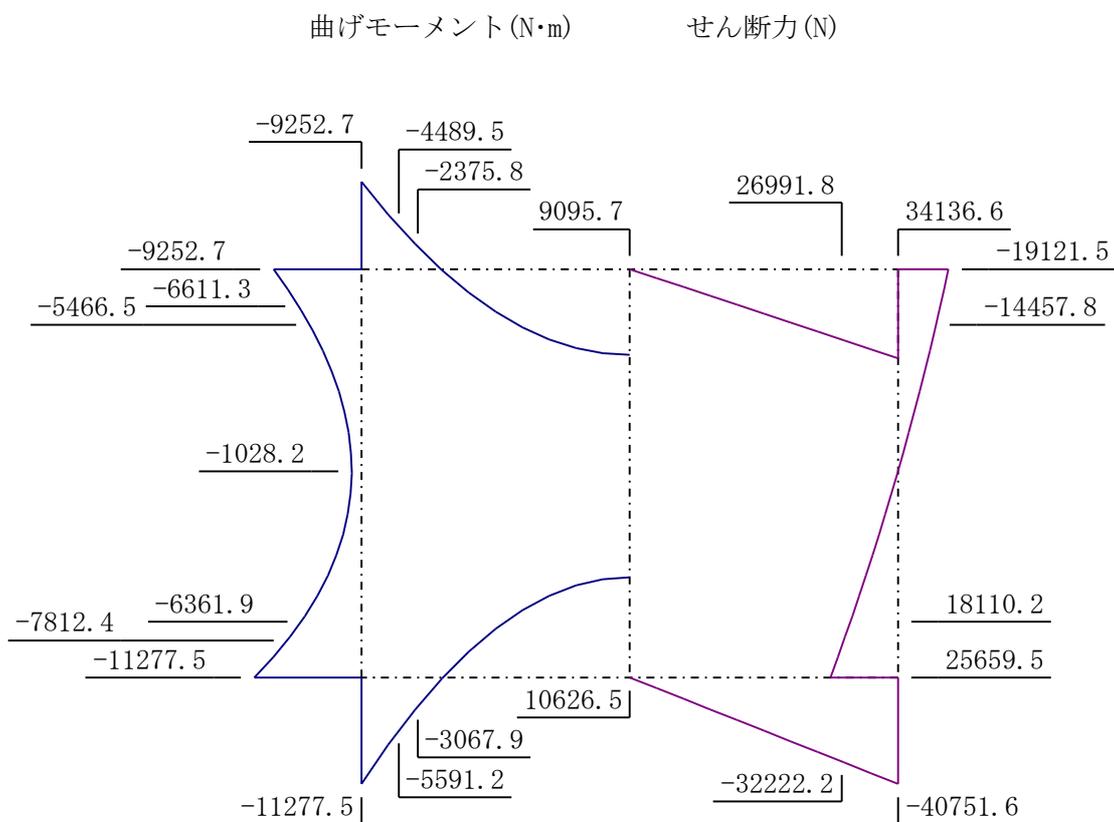
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.075	-14520	62544	14997
	2 ハッチ始点	0.225	-5792	***	14997
	S2 τ点	0.225	-1920	49454	14997
	1 中央	1.075	19098	0	14997
底版	9, S9 端部	0.075	-16544	69159	21535
	10 ハッチ始点	0.225	-6894	***	21535
	S10 τ点	0.225	-2612	54684	21535
	11 中央	1.075	20629	0	21535
側壁	4, S4 上端部	1.575	-14520	-14997	62544
	5 上ハッチ点	1.425	-12441	***	63146
	S5 上τ点	1.425	-11535	-11458	63446
	6 中間	0.834	-7996	0	65816
	S7 下τ点	0.225	-12430	15110	68257
	7 下ハッチ点	0.225	-13642	***	68558
	8, S8 下端部	0.075	-16544	21535	69159



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

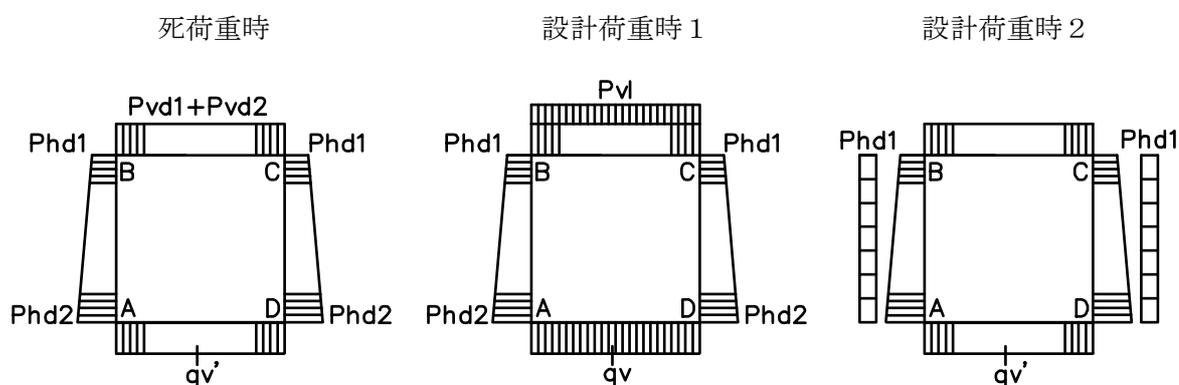
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.075	-9253	34137	19122
	2 ハッチ始点	0.225	-4490	***	19122
	S2 τ点	0.225	-2376	26992	19122
	1 中央	1.075	9096	0	19122
底板	9, S9 端部	0.075	-11278	40752	25660
	10 ハッチ始点	0.225	-5591	***	25660
	S10 τ点	0.225	-3068	32222	25660
	11 中央	1.075	10627	0	25660
側壁	4, S4 上端部	1.575	-9253	-19122	34137
	5 上ハッチ点	1.425	-6611	***	34738
	S5 上τ点	1.425	-5467	-14458	35039
	6 中間	0.833	-1028	0	37412
	S7 下τ点	0.225	-6362	18110	39850
	7 下ハッチ点	0.225	-7812	***	40150
	8, S8 下端部	0.075	-11278	25660	40752



3. 断面力の算定 (CASE-3, 4)

3.2.1 設計荷重

- (1) 頂版自重 $P_{vd1} = \gamma_c \times T1$
- (2) 鉛直土圧 $P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H2 - t - tb) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb \}$
- (3) 水平土圧 $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + H_o) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = K_a \times Q$
- (5) 活荷重 輪分布幅 $u = a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o$



設計荷重値 死荷重時 設計荷重時 1 設計荷重時 2
 (kN/m²) CASE-3 CASE-4
 (kN/m²)

P_{vd1}	3.675	3.675	3.675
P_{vd2}	54.900	54.900	54.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	28.125	28.125	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	33.125
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	42.975	42.975	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	47.975
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	13.724	0.000
q_v	*****	78.453	*****
$q_{v'}$	64.728	*****	64.728

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1}=0$ とした場合の底版反力。

3.2.2 構造解析

(1) ラーメン係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3)$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3)$$

$$N_1 = 2 + \alpha$$

$$N_2 = 2 + \beta$$

(2) 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60$$

注1) 死荷重時、設計荷重時2のCADは、 $q_v = q_v'$
 注2) 死荷重時、設計荷重時2のCBCは、 $P_{v1} = 0$
 注3) $P_{hd1} \sim P_{hd5}$ は、水平荷重(設計荷重参照)

(3) たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$

(4) 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC$$

$$MAB + MAD = 0 \quad MBA + MBC = 0$$

計算値	死荷重時	設計荷重時1 CASE-3	設計荷重時2 CASE-4
α	0.7674	0.7674	0.7674
β	0.7674	0.7674	0.7674
N1	2.7674	2.7674	2.7674
N2	2.7674	2.7674	2.7674
CAD (kN・m/m)	24.934	30.221	24.934
CBC (kN・m/m)	22.564	27.850	22.564
CAB (kN・m/m)	8.402	8.402	9.537
CBA (kN・m/m)	7.728	7.728	8.863
θ_A	-9.099	-12.090	-8.457
θ_B	8.648	11.639	8.007
MAB (kN・m/m)	-17.951	-20.942	-18.444
MAD (kN・m/m)	17.951	20.942	18.444
MBA (kN・m/m)	15.927	18.918	16.419
MBC (kN・m/m)	-15.927	-18.918	-16.419

3.2.3 各部材の断面力

(1) 頂版

1) せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x$$

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC}$$

(2) 底版

1) せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x$$

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD}$$

(3) 側壁

1) せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o)$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o)$$

2) 曲げモーメント

節点間の極値は、せん断力が0となる位置に生じる。次式を解いて位置xを求める。

$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o)$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB}$$

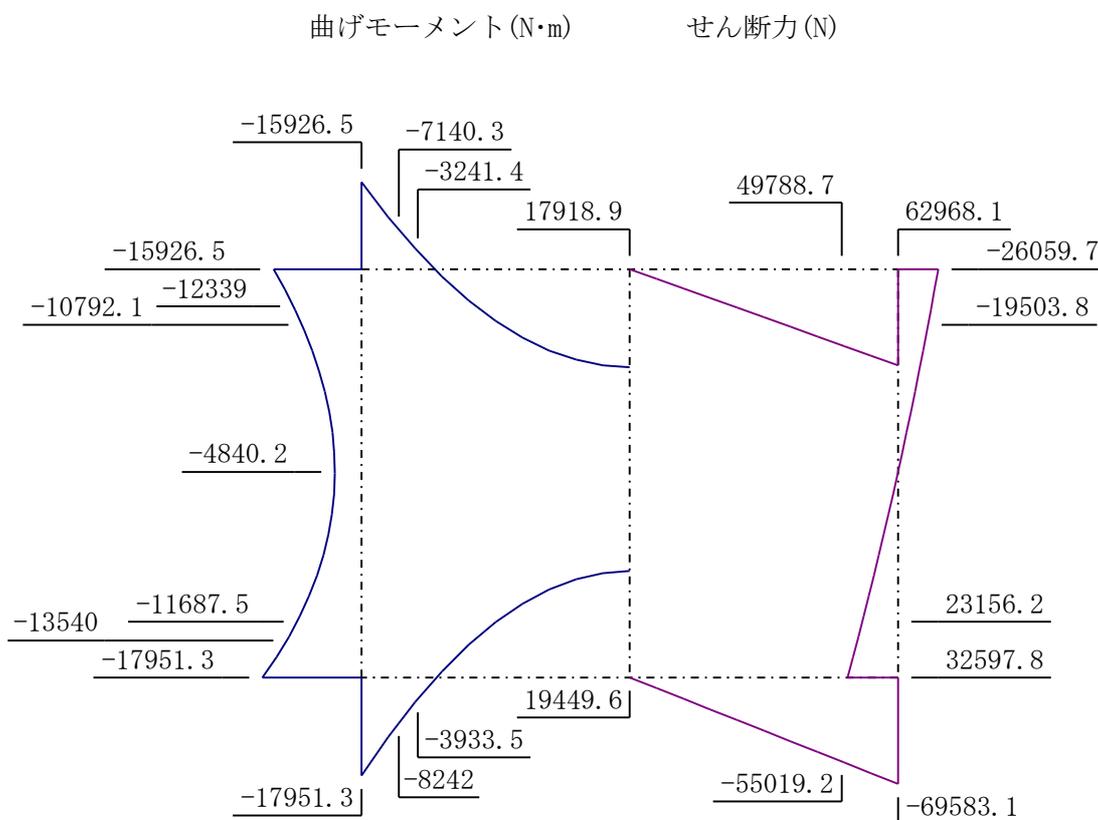
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	62.968	77.722	62.968
SCB (kN/m)	-62.968	-77.722	-62.968
Mmax (kN・m/m)	17.919	22.858	17.426
SAD (kN/m)	69.583	84.337	69.583
SDA (kN/m)	-69.583	-84.337	-69.583
Mmax (kN・m/m)	19.450	24.389	18.957
SAB (kN/m)	32.598	32.598	36.723
SBA (kN/m)	-26.060	-26.060	-30.185
x (m)	0.831	0.831	*****
	0.830	*****	0.830
Mmax (kN・m/m)	-4.840	-7.831	*****
Mmax (kN・m/m)	-4.840	*****	-3.631

注1) 頂版 死荷重時・設計荷重時2は、 $P_{v1} = 0$ とする。

注2) 底版 死荷重時・設計荷重時2は、 $q_v = q_v'$ とする。

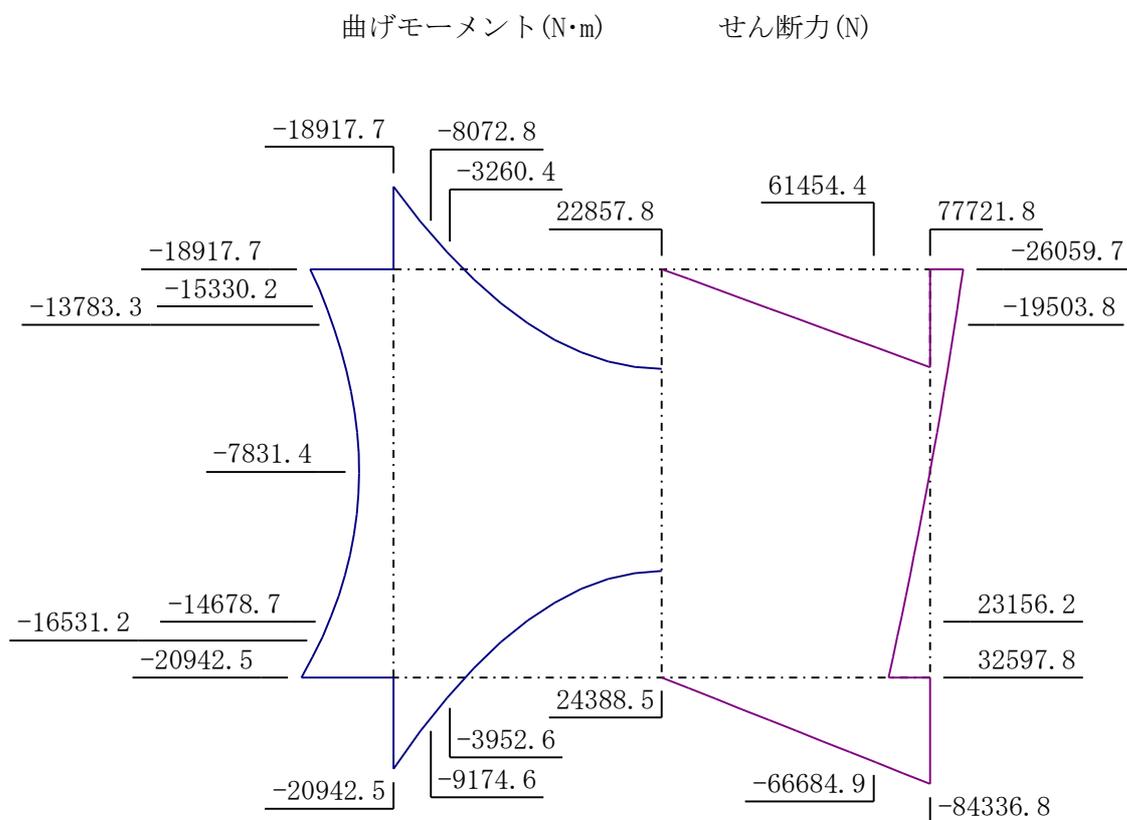
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.075	-15927	62968	26060
	2 ハッチ始点	0.225	-7140	***	26060
	S2 τ点	0.225	-3241	49789	26060
	1 中央	1.075	17919	0	26060
底板	9, S9 端部	0.075	-17951	69583	32598
	10 ハッチ始点	0.225	-8242	***	32598
	S10 τ点	0.225	-3934	55019	32598
	11 中央	1.075	19450	0	32598
側壁	4, S4 上端部	1.575	-15927	-26060	62968
	5 上ハッチ点	1.425	-12339	***	63570
	S5 上τ点	1.425	-10792	-19504	63870
	6 中間	0.831	-4840	*****	66252
		0.830	-4840	*****	66256
	S7 下τ点	0.225	-11688	23156	68681
	7 下ハッチ点	0.225	-13540	***	68982
	8, S8 下端部	0.075	-17951	32598	69583



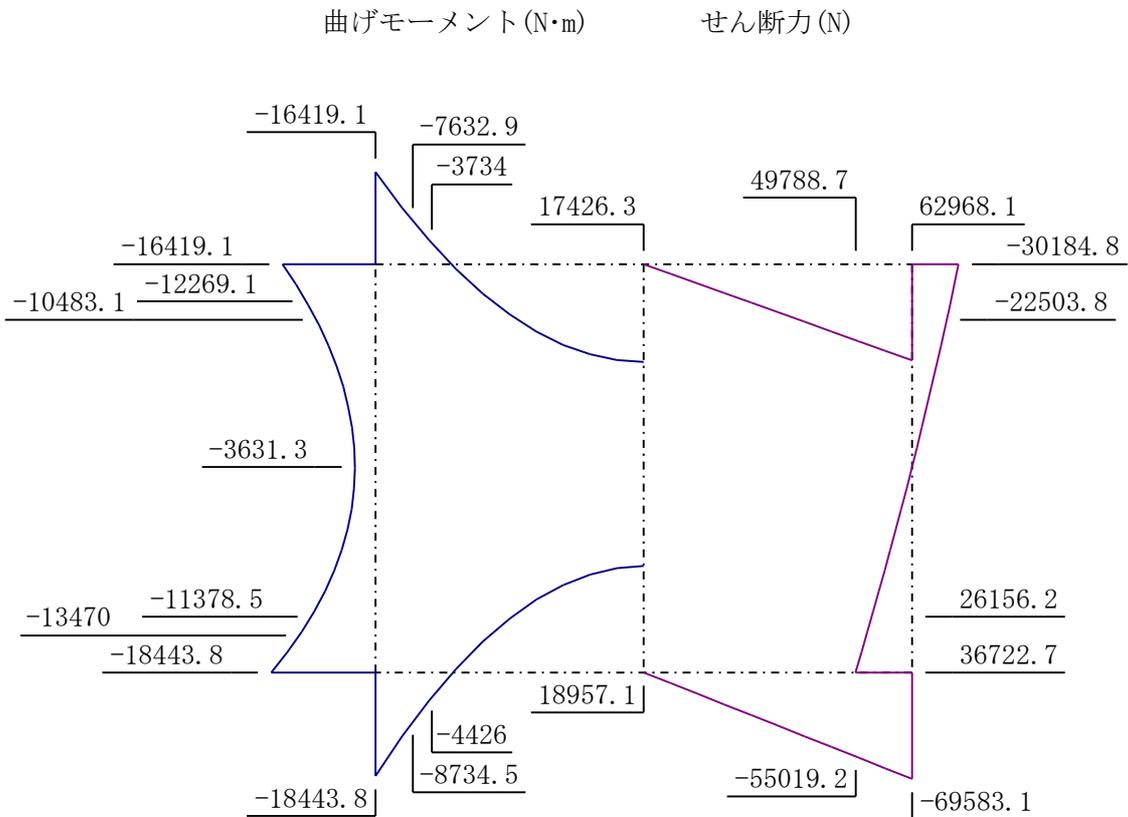
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.075	-18918	77722	26060
	2 ハッチ始点	0.225	-8073	***	26060
	S2 τ点	0.225	***	61454	***
	1 中央	1.075	22858	0	26060
底版	9, S9 端部	0.075	-20943	84337	32598
	10 ハッチ始点	0.225	-9175	***	32598
	S10 τ点	0.225	***	66685	***
	11 中央	1.075	24389	0	32598
側壁	4, S4 上端部	1.575	-18918	-26060	77722
	5 上ハッチ点	1.425	-15330	***	78323
	S5 上τ点	1.425	***	-19504	***
	6 中間	0.831	-7831	0	81005
	S7 下τ点	0.225	***	23156	***
	7 下ハッチ点	0.225	-16531	***	83735
	8, S8 下端部	0.075	-20943	32598	84337



(3) 設計荷重時 2 (CASE-4)

部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.075	-16419	62968	30185
	2 ハッチ始点	0.225	-7633	***	30185
	S2 τ点	0.225	***	49789	***
	1 中央	1.075	17426	0	30185
底版	9, S9 端部	0.075	-18444	69583	36723
	10 ハッチ始点	0.225	-8735	***	36723
	S10 τ点	0.225	***	55019	***
	11 中央	1.075	18957	0	36723
側壁	4, S4 上端部	1.575	-16419	-30185	62968
	5 上ハッチ点	1.425	-12269	***	63570
	S5 上τ点	1.425	***	-22504	***
	6 中間	0.830	-3631	0	66256
	S7 下τ点	0.225	***	26156	*****
	7 下ハッチ点	0.225	-13470	***	68982
	8, S8 下端部	0.075	-18444	36723	69583



4 プレストレスの計算

4.1 荷重による曲げ応力度

$$\sigma_m = \pm M/Z = \pm 6 \times M / (b \times T^2) \times 1000$$

ここに、	σ_m : 曲げ応力度	(N/mm ²)
	M : 曲げモーメント	(kN・m)
	Z : 断面係数	(cm ³)
	B : 部材幅	(cm)
	T : 部材厚	(cm)

4.2 有効プレトレス

(1) 有効係数 η

$$\eta = \sigma_{pe} / \sigma_{pt}$$

$$\sigma_{pt} = P_t / A_p \times 1/100$$

$$\sigma_{pe} = \sigma_{pt} - \Delta\sigma_{pcs} - \Delta\sigma_{pr}$$

$$\Delta\sigma_{pcs} = \frac{[n \times \phi \times (\sigma_{cd} + \sigma_{cpt}) + E_p \times \varepsilon_{cs}]}{[1 + n \times (\sigma_{cpt} / \sigma_{pt}) \times (1 + \phi / 2)]}$$

$$\sigma_{cpt} = N_p \times P_t \times (1 / A_c + e_p^2 / I) \times 10$$

$$\Delta\sigma_{pr} = \gamma \times \sigma_{pt}$$

ここに、	σ_{pt} : 有効引張応力度	(N/mm ²)
	P_t : 緊張作業直後のPC鋼棒引張応力度	(kN)
	A_p : 1本当りのPC鋼棒断面積	(cm ²)
	$\Delta\sigma_{pcs}$: コンクリートの乾燥収縮及びクリープによるPC鋼棒の応力度の減少量	(N/mm ²)
	n : 弾性係数比 ($E_p / E_c = 6.45$)	
	E_p : PC鋼棒の弾性係数 (2.0×10^5 N/mm ²)	
	E_c : コンクリートの弾性係数 (3.1×10^4 N/mm ²)	
	ϕ : クリープ係数 (= 2.5)	
	σ_{cd} : 考えているPC鋼棒位置における永久荷重によるコンクリートの圧縮応力度	(N/mm ²)
	σ_{cpt} : 考えているPC鋼棒位置における緊張作業直後のプレストレス	(N/mm ²)
	ε_{cs} : コンクリートの乾燥収縮度 (= 200 μ)	
	σ_{pt} : 緊張作業直後のPC鋼棒の引張応力度	(N/mm ²)
	N_p : m当りPC鋼棒本数	(本)
	A_c : コンクリート断面積	(cm ²)
	e_p : PC鋼棒偏心量	(cm)
	I : 断面二次モーメント	(cm ⁴)
	$\Delta\sigma_{pr}$: PC鋼棒のリラクゼーションによる引張応力度の減少量	(N/mm ²)
	γ : PC鋼棒の見掛けのリラクゼーション (= 0.03)	

(2) 有効プレストレス σ_{ce}

$$\sigma_{ce} = N_p \times P_t \times \eta \times (1 / A_c \pm e_p / Z) \times 10 \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここに、	N_p	: m当り P C 鋼棒本数	(本)
	P_t	: 引張作業直後	(kN)
	η	: 有効係数	
	A_c	: コンクリート断面積	(cm^2)
	e_p	: P C 鋼棒偏心量	(cm)
	Z	: 断面係数	(cm^3)

4.3 合成応力度

$$\sigma_c = \sigma_m + \sigma_{ce} + N / A_c \times 10$$

ここに、	σ_c	: 合成応力度	(N/mm^2)
	σ_m	: 曲げ応力度	(N/mm^2)
	σ_{ce}	: 有効プレストレス	(N/mm^2)
	N	: 軸方向圧縮力	(kN)
	A_c	: コンクリート断面積	(cm^2)

4.4 引張鉄筋量の計算

(1) 曲げモーメント

引張鉄筋は次の荷重作用に対して、引張応力の作用する区間に配置する。

$$\text{荷重の組み合わせ (永久荷重 + 変動荷重)} \times 1.35$$

(2) 配置鉄筋量

配置鉄筋量は次の 1)、2) のうちいずれか大きい値以上とする。

1) の値

$$\begin{aligned} A_{s1} &= T_c / \sigma_{sa} \times 10 \\ &= b \times x \times | \sigma_{c1} | / (2 \times \sigma_{sa}) \\ \therefore x &= | \sigma_{c1} | / (\sigma_{c2} + | \sigma_{c1} |) \times T \end{aligned}$$

2) の値

$$A_{s2} = 0.005 \times b \times x$$

ここに、	A_{s1}	: 引張鉄筋断面積	(cm^2)
	A_{s2}	: 引張鉄筋断面積	(cm^2)
		引張応力の作用する コンクリート面積の 0.5%	
	T_c	: 断面に生じる引張力の合力	(kN)
	σ_{sa}	: 鉄筋の許容引張応力度	(N/mm^2)
	σ_{c1}	: 引張縁に生じる引張応力度	(N/mm^2)
	σ_{c2}	: 圧縮縁に生じる圧縮応力度	(N/mm^2)
	b	: 部材幅	(cm)
	x	: 引張縁から中立軸までの距離	(cm)
	T	: 部材厚	(cm)

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

$$\sigma_i = 1 / 2 \times [\sigma_x - \sqrt{(\sigma_x^2 + 4 \times \tau^2)}]$$

$$\sigma_x = [P_e / A_c + N / A_c] \times 10$$

$$\tau = S \times G / (b \times I) \times 10$$

$$I = b \times T^3 / 12$$

$$G = b \times T^2 / 8$$

ここに、	σ_i	: 斜引張応力度	(N/mm ²)
	σ_x	: 部材軸方向圧縮応力度	(N/mm ²)
	τ	: せん断応力度	(N/mm ²)
	P_e	: m当り全有効引張力	(kN)
	S	: せん断力	(kN)
	G	: 断面一次モーメント	(cm ³)
	b	: 部材幅	(cm)
	I	: 断面二次モーメント	(cm ⁴)
	T	: 部材厚	(cm)

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

材料強度に関するもの	-----	1.0
荷重作用に関するもの (永久荷重作用)	-----	1.3 または 1.7
(変動荷重作用)	-----	2.5 または 1.7

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

$$M_d = 1.3 \times M_1 + 2.5 \times M_2 \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

$$M_d = 1.7 \times M_1 + 1.7 \times M_2 \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

ここに、	M_d	: 終局荷重作用時曲げモーメント
	M_1	: 永久荷重による曲げモーメント
	M_2	: 変動荷重による曲げモーメント (設計荷重時 - 死荷重時)

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

$$\begin{aligned} M_u = & 0.7 \times (0.93 \times A_p \times \sigma_{pud} \times d_p) \\ & \times [1 - A_p / (1.7 \times b \times d_p) \\ & \times 0.93 \times \sigma_{pud} / \sigma_{ck}] \times 1/1000 \\ & + A_s \times \sigma_{syd} \times d_s \times [1 - A_s / (1.7 \times b \times d_s) \\ & \times \sigma_{syd} / \sigma_{ck}] \times 1/1000 \end{aligned}$$

ここに、	Mu	: 破壊抵抗曲げモーメント	(kN・m)
	Ap	: P C鋼棒断面積	(cm ²)
	As	: 鉄筋の断面積	(cm ²)
	σ pud	: P C鋼棒引張強度	(N/mm ²)
	σ syd	: 引張鉄筋の降伏点応力度	(N/mm ²)
	σ ck	: コンクリートの設計基準強度	(N/mm ²)
	d p	: 圧縮縁からP C鋼棒図心迄の距離	(cm)
	d s	: 圧縮縁から鉄筋図心迄の距離	(cm)
	b	: 部材幅	(cm)
	S f	: 曲げ破壊安全度	

終局つり合い鋼材比が配置される引張鋼材比より大であることを確認する。

$$\begin{aligned}
 P_{pb} &= 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sp}) \\
 &\quad \times \sigma_{ck} / (0.93 \times \sigma_{pud}) + \\
 &\quad 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s) \\
 &\quad \times \sigma_{ck} / \sigma_{syd} \\
 P_{pd} &= A_p / (b \times d_p) + A_s / (b \times d_s) \\
 &\quad \times \sigma_{syd} / (0.93 \times \sigma_{pud}) \times d_s / d_p < P_{pb}
 \end{aligned}$$

ここに、	Ppb	: 終局つり合い鋼材比	
	Ppd	: 引張鋼材比	
	ε cu	: コンクリートの終局ひずみ	(0.0035)
	ε sp	: P C鋼棒の終局ひずみ	(0.015)
	σ pud	: P C鋼棒の引張強さ	(N/mm ²)
	ε s	: 引張鉄筋の降伏ひずみ	(σ syd / E s)

5 PC部材の検討

5.1 頂版

5.1.1 断面諸元

位置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端部	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
ハチ始点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
τ点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
中央	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00

5.1.2 使用PC鋼棒

位置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端部	φ21	3.00	3.464	290000	2.00	外側
ハチ始点	φ21	3.00	3.464	290000	-0.50	外側
τ点	φ21	3.00	3.464	290000	-0.50	外側
中央	φ21	3.00	3.464	290000	0.50	内側

5.1.3 有効係数

計算項/ 位置	σ _{pt}	σ _{cpt}	σ _{cd}	Δσ _{pcs} (N/mm ²)	Δσ _{pr}	σ _{pe}	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	4.87	-0.48	102.24	25.12	709.83	0.848	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.13	124.19	25.12	687.88	0.822	3
τ点	837.18	5.88	0.06	123.17	25.12	688.89	0.823	3
中央	837.18	5.88	-0.32	117.67	25.12	694.40	0.829	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	4.87	-0.48	102.24	25.12	709.83	0.848	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.13	124.19	25.12	687.88	0.822	3
τ点	837.18	5.88	0.06	123.17	25.12	688.89	0.823	3
中央	837.18	5.88	-0.32	117.67	25.12	694.40	0.829	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	4.87	-0.48	102.24	25.12	709.83	0.848	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.13	124.19	25.12	687.88	0.822	3
τ点	837.18	5.88	0.06	123.17	25.12	688.89	0.823	4
中央	837.18	5.88	-0.32	117.67	25.12	694.40	0.829	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	4.87	-0.48	102.24	25.12	709.83	0.848	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.13	124.19	25.12	687.88	0.822	3
τ点	837.18	5.88	0.06	123.17	25.12	688.89	0.823	4
中央	837.18	5.88	-0.32	117.67	25.12	694.40	0.829	3

5.1.4 合成応力度

位置	曲げ応力度 σ_m (N/mm ²)	N/Ac (N/mm ²)	有効プレストレス σ_{ce} (N/mm ²)	合成応力度 σ_c (N/mm ²)	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端部	2.39	0.13	1.48	3.99	3
ハチ始点	1.90	0.17	5.72	7.80	3
中央	4.78	0.17	3.85	8.80	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.39	0.13	5.90	3.64	3
ハチ始点	-1.90	0.17	3.81	2.08	3
中央	-4.78	0.17	5.77	1.17	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	2.84	0.13	1.48	4.44	3
ハチ始点	2.15	0.17	5.72	8.05	3
中央	6.10	0.17	3.85	10.12	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-2.84	0.13	5.90	3.19	3
ハチ始点	-2.15	0.17	3.81	1.83	3
中央	-6.10	0.17	5.77	-0.15	3
				$\sigma_t > -1.5$	CHECK OK

5.1.5 引張鉄筋量

位置	曲げモーメント (kN・m/m)	合成応力度		x (cm)	Tc (kN)	引張鉄筋量		ケース
		外側 (N/mm ²)	内側 (N/mm ²)			As1 (cm ² /m)	As2 (cm ² /m)	
端部	-25.539	2.25	5.48	5.8	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-10.898	1.14	8.86	1.7	0.0	0.000	0.000	3
中央	30.858	-2.22	12.31	2.3	25.5	1.591	1.146	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 10	— 12	D 0	— 0	4.280 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 13	— 6	D 10	— 6	5.941 cm ² /m	> As1 or As2

5.1.6 斜引張応力度

位置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント(cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端部	100.0	5000	26.060	77.722	737.66	3.82	0.58	-0.087	3
τ 点	100.0	2813	26.060	61.454	715.90	4.95	0.61	-0.075	3

$\sigma i > -1.00$ CHECK OK

5.1.7 破壊安全度の検討

終局荷重時の曲げモーメント

位置	M1 (kN・m)	M2 (kN・m)	1.3M1+2.5M2 (kN・m)	1.7(M1+M2) (kN・m)	Md (kN・m)	ケース
端部	-15.927	-2.991	-28.182	-32.160	-32.160	3
ハチ始点	-7.140	-0.933	-11.614	-13.724	-13.724	3
中央	17.919	4.939	35.642	38.858	38.858	3

位置	Ap (cm ² /m)	As (cm ² /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端部	10.392	4.280	12.0	16.5	0.069	0.010	105.91	3.3	3
ハチ始点	10.392	4.280	7.0	11.5	0.069	0.016	57.99	4.2	3
中央	10.392	5.941	8.0	11.5	0.069	0.015	71.73	1.8	3

$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$ CHECK OK

5.2 底版

5.2.1 断面諸元

位置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端部	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
ハチ始点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
τ点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
中央	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00

5.2.2 使用PC鋼棒

位置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端部	φ21	3.00	3.464	290000	2.00	外側
ハチ始点	φ21	3.00	3.464	290000	-0.50	外側
τ点	φ21	3.00	3.464	290000	-0.50	外側
中央	φ21	3.00	3.464	290000	0.50	内側

5.2.3 有効係数

計算項/ 位置	σ _{pt}	σ _{cpt}	σ _{cd}	Δσ _{pcs} (N/mm ²)	Δσ _{pr}	σ _{pe}	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	4.87	-0.54	101.33	25.12	710.73	0.849	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.15	124.47	25.12	687.59	0.821	3
τ点	837.18	5.88	0.07	123.35	25.12	688.71	0.823	3
中央	837.18	5.88	-0.35	117.27	25.12	694.80	0.830	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	4.87	-0.54	101.33	25.12	710.73	0.849	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.15	124.47	25.12	687.59	0.821	3
τ点	837.18	5.88	0.07	123.35	25.12	688.71	0.823	3
中央	837.18	5.88	-0.35	117.27	25.12	694.80	0.830	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	4.87	-0.54	101.33	25.12	710.73	0.849	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.15	124.47	25.12	687.59	0.821	3
τ点	837.18	5.88	0.07	123.35	25.12	688.71	0.823	4
中央	837.18	5.88	-0.35	117.27	25.12	694.80	0.830	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	4.87	-0.54	101.33	25.12	710.73	0.849	3
ハチ始点	837.18	5.88	0.15	124.47	25.12	687.59	0.821	3
τ点	837.18	5.88	0.07	123.35	25.12	688.71	0.823	4
中央	837.18	5.88	-0.35	117.27	25.12	694.80	0.830	3

5.2.4 合成応力度

位置	曲げ応力度 σ_m (N/mm ²)	N/Ac (N/mm ²)	有効プレストレス σ_{ce} (N/mm ²)	合成応力度 σ_c (N/mm ²)	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端部	2.69	0.16	1.48	4.33	3
ハチ始点	2.20	0.22	5.72	8.13	3
中央	5.19	0.22	3.85	9.25	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.69	0.16	5.91	3.38	3
ハチ始点	-2.20	0.22	3.81	1.83	3
中央	-5.19	0.22	5.78	0.81	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	3.14	0.16	1.48	4.78	3
ハチ始点	2.45	0.22	5.72	8.38	3
中央	6.50	0.22	3.85	10.57	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-3.14	0.16	5.91	2.93	3
ハチ始点	-2.45	0.22	3.81	1.58	3
中央	-6.50	0.22	5.78	-0.51	3
				$\sigma_t > -1.5$	CHECK OK

5.2.5 引張鉄筋量

位置	曲げモーメント (kN・m/m)	合成応力度		x (cm)	Tc (kN)	引張鉄筋量		ケース
		外側 (N/mm ²)	内側 (N/mm ²)			As1 (cm ² /m)	As2 (cm ² /m)	
端部	-28.272	1.89	5.94	4.8	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-12.386	0.80	9.31	1.2	0.0	0.000	0.000	3
中央	32.924	-2.71	12.92	2.6	35.2	2.202	1.300	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 10	— 12	D 0	— 0	4.280 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 13	— 12	D 0	— 0	7.602 cm ² /m	> As1 or As2

5.2.6 斜引張応力度

位置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント(cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端部	100.0	5000	32.598	84.337	738.60	3.86	0.63	-0.101	3
τ 点	100.0	2813	32.598	66.685	715.71	4.99	0.67	-0.088	3

$\sigma i > -1.00$ CHECK OK

5.2.7 破壊安全度の検討

終局荷重時の曲げモーメント

位置	M1 (kN・m)	M2 (kN・m)	1.3M1+2.5M2 (kN・m)	1.7(M1+M2) (kN・m)	Md (kN・m)	ケース
端部	-17.951	-2.991	-30.815	-35.602	-35.602	3
ハチ始点	-8.242	-0.933	-13.046	-15.597	-15.597	3
中央	19.450	4.939	37.632	41.460	41.460	3

位置	Ap (cm ² /m)	As (cm ² /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端部	10.392	4.280	12.0	16.5	0.069	0.010	105.91	3.0	3
ハチ始点	10.392	4.280	7.0	11.5	0.069	0.016	57.99	3.7	3
中央	10.392	7.602	8.0	11.5	0.069	0.015	77.07	1.9	3

Ppb > Ppd Sf > 1.0 CHECK OK

6 断面力集計表

各ケースより断面力の最大値を抽出する。

M	: 部材モーメント	(kN・m)
S	: せん断力	(kN)
N	: 軸力	(kN)
e	: M/N偏心位置	(cm)
c	: 部材中心軸と鉄筋間距離	(cm)
Ms	: 軸力を考慮した曲げモーメント	(kN・m)

$$Ms = N \times (e + c) / 100 \quad (\text{kN}\cdot\text{m})$$

但し、軸力は

頂版端部軸力	=	側壁上端部せん断力
底版端部軸力	=	側壁下端部せん断力
側壁上端部軸力	=	頂版端部せん断力
側壁下端部軸力	=	底版端部せん断力

とし、側壁中間点の軸力は側壁自重による軸力を考慮する。

[/ 単位長]

部材	点	M (kN・m)	N (kN)	e (cm)	c (cm)	Ms (kN・m)	CASE M
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	上端部	-18.918	77.722	24.34	6.50	23.970	3
	上ハチ点	-15.330	78.323	19.57	4.00	18.463	3
側壁	中 間	-7.996	65.816	12.15	4.00	10.629	1
	下ハチ点	-16.531	83.735	19.74	4.00	19.881	3
	下端部	-20.942	84.337	24.83	6.50	26.424	3

注1) CASEのMは、曲げモーメント抽出ケースを示す。

注2) ***** 表示は、P C部材。

7 必要有効高および必要鉄筋量

7.1 必要有効高

$$\begin{aligned}
 k &= n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) &&= 0.568 \\
 c1 &= \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} &&= 0.557 \\
 d &= c1 \times \sqrt{(Ms / b)} && \quad h = d + d' < T
 \end{aligned}$$

ここに、 Ms : 軸力を考慮した曲げモーメント (kN・m/m)
 b : 単位長 (cm)
 d' : 鉄筋かぶり (cm)
 h : 必要部材厚 (cm)
 n : ヤング係数比 (15)

7.2 必要鉄筋量

鉄筋の曲げ引張応力度が許容値(σ_{sa})に達する場合の必要鉄筋量(A_s)

$$A_s = [\sigma_c / 2 \times s - N / (b \times da)] / \sigma_{sa} \times b \times da$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \sigma_c^3 + [3 \times \sigma_{sa} / (2 \times n) - 3 \times N \times (e + c) / (b \times da^2)] \times \sigma_c^2 \\
 - 6 \times N \times (e + c) / (n \times b \times da^2) \times \sigma_{sa} \times \sigma_c \\
 - 3 \times N \times (e + c) / (n^2 \times b \times da^2) \times \sigma_{sa}^2 = 0
 \end{aligned}$$

上式を解いて σ_c を求める。また $da = T - d'$ とする。

$$\therefore s = n \times \sigma_c / (n \times \sigma_c + \sigma_{sa})$$

部材	点	Ms (kN・m/m)	必要有効高 d (cm)	必要部材厚 d + d' (cm)	部材厚 T (cm)	必要鉄筋量 A _s (cm ² /m)
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	上端部	23.970	8.63	12.13	20.00	5.416
	上ハチ点	18.463	7.57	11.07	15.00	6.773
側壁	中 間	10.629	5.74	9.24	15.00	2.391
	下ハチ点	19.881	7.86	11.36	15.00	7.391
	下端部	26.424	9.06	12.56	20.00	6.117
					d + d' < T	CHECK OK

8 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

8.1 コンクリート及び鉄筋

$$\sigma_c = N / \{ b \times x / 2 - n \times A_s / x \times (c + T / 2 - x) \}$$

$$\sigma_s = n \times \sigma_c / x \times (c + T / 2 - x)$$

ここに、 N : 軸力 (kN)
 b : 部材幅 (cm)
 T : 部材厚 (cm)
 c : 部材中心軸と鉄筋間距離 (cm)
 A_s : 主鉄筋断面積 (cm²)
 x : 中心軸。次の3次元方程式より求める。 (cm)

$$x^3 - 3 \times (T / 2 - e) \times x^2 + 6 \times n \times A_s / b \times (e + c) \times x - 6 \times n \times A_s / b \times (c + T / 2) \times (e + c) = 0$$

 e : 偏心位置 (M / N) (cm)

配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 12
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0

部材	点	部材幅 b (cm)	使用鉄筋量 A _s (cm ² /m)	x (cm)	実応力度 (N/mm ²)		
					σ _c	σ _s	σ _s '
頂版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハンチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハンチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	7.602	6.520	5.13	117.8	0.0
	上ハンチ点	100.00	7.602	5.030	7.47	144.2	0.0
	中間	100.00	7.602	5.707	3.88	59.1	0.0
	下ハンチ点	100.00	7.602	5.021	8.06	156.0	0.0
	下端部	100.00	7.602	6.488	5.68	131.5	0.0

$$\sigma_c < \sigma_{ca} \quad \sigma_s < \sigma_{sa}$$

CHECK OK

9 せん断力に対する検討

9.1 せん断力照査点の断面力と最大値抽出

部材	断面力	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7	CASE-8
頂版 τ点	S	49.454	26.992	61.454	49.789				
	M			-3.260					
	N			26.060					
	最大			○					
底版 τ点	S	54.684	32.222	66.685	55.019				
	M			-3.953					
	N			32.598					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-11.458	-14.458	-19.504	-22.504				
	M				-10.483				
	N				63.870				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	15.110	18.110	23.156	26.156				
	M				-11.379				
	N				68.681				
	最大				○				

ここに、S：せん断力(kN)、M：モーメント(kN・m)、N：軸力(kN)を示す。

9.2 せん断応力度の検討

コンクリートのせん断応力度は、平均せん断応力度として算出する。

$$\tau = \frac{S}{b \cdot d} \times 10 < C_e \cdot C_{pt} \cdot C_N \cdot \tau_a$$

ここに、 S : せん断力 (kN)
d : 有効高さ (cm)
b : 部材幅 (cm)

各せん断応力度照査位置の許容せん断応力度は、以下の補正係数を乗じて求める。

① 部材断面の有効高 d の影響

次表に示す部材断面の有効高さに関する補正係数(Ce)をτaに乘じる。

有効高さ (m)	0.3 以下	1.0	3.0	5.0	10.0 以上
補正係数(Ce)	1.4	1.0	0.7	0.6	0.5

② 軸方向引張鉄筋比の影響

次表に示す軸方向引張鉄筋比に関する補正係数(Cpt)をτaに乘じる。

鉄筋比は中立軸よりも引張側にある軸方向鉄筋の断面積の総和をbdで除して求める。

引張鉄筋比 (%)	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0 以上
補正係数(Cpt)	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5

③ 軸方向圧縮力の影響

軸方向圧縮力が大きな部材の場合、次式により計算される軸方向圧縮力による補正係数(CN)を τ_a に乗じる。

$$CN = 1 + Mo/M \quad Mo = \{(Pe+N) \cdot Z/Ac + Pe \cdot ep\} \quad \text{ただし } 1 \leq CN \leq 2$$

ここに、CN：軸方向力による補正係数

Mo：有効プレストレス力及び軸方向力によりコンクリートの応力度が引張縁で0となる曲げモーメント(kN・m)

M：断面に作用する曲げモーメント(kN・m)

N：断面に作用する軸方向圧縮力(kN)

Pe：P C鋼棒に作用するm当りの全有効引張力(kN)

Z：図心軸に関する断面係数(m³)

Ac：部材断面積(m²)

ep：P C鋼棒の偏心率＜引張縁側＋／圧縮縁側－＞(m)

照査位置	T (cm)	d' (cm)	d (cm)	Ce	引張鉄筋		Pt (%)	Cpt
					径-本数	As(cm ²)		
頂版 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D10-6	4.280	0.372	1.072
底版 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D10-6	4.280	0.372	1.072
側壁上 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D13-6	7.602	0.661	1.297
側壁下 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D13-6	7.602	0.661	1.297

照査位置	M (kN・m)	Pe (kN)	N (kN)	Ac (m ²)	Z (m ⁴)	ep (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 τ 点	-3.260	715.9	26.060	0.150	0.00375	-0.01	18.549	2.000
底版 τ 点	-3.953	715.7	32.598	0.150	0.00375	-0.01	18.707	2.000
側壁上 τ 点	-10.483	0.0	63.870	0.150	0.00375	0.00	1.597	1.152
側壁下 τ 点	-11.378	0.0	68.681	0.150	0.00375	0.00	1.717	1.151

照査位置	τ_a	補正係数			補正 τ_a
		Ce	Cpt	Cn	
頂版 τ 点	0.270	1.400	1.072	2.000	0.810
底版 τ 点	0.270	1.400	1.072	2.000	0.810
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.297	1.152	0.565
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.297	1.151	0.564

照査位置	せん断力 S (kN)	有効高 d (cm)	せん断応力度 τ (N/mm ²)	補正 τ_a (N/mm ²)
頂版 τ 点	61.454	11.5	0.534	0.810
底版 τ 点	66.685	11.5	0.580	0.810
側壁上 τ 点	22.504	11.5	0.196	0.565
側壁下 τ 点	26.156	11.5	0.227	0.564

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上