

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) 2500 × (H) 1800 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 0.500 ~ H2 = 1.500 [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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

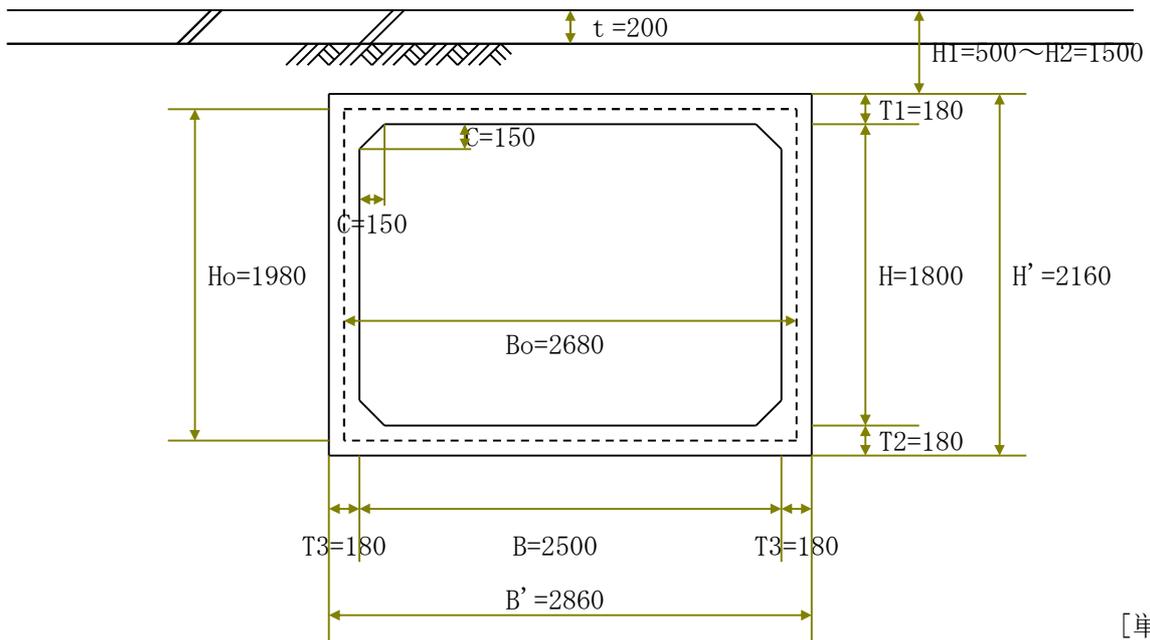
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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 : $E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

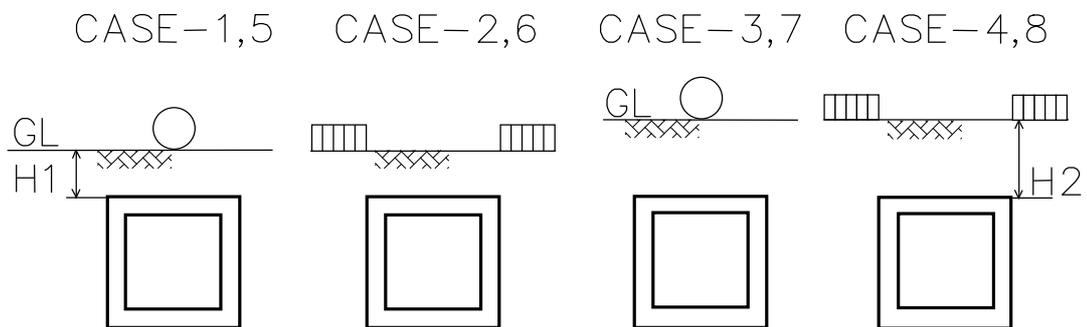
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 19$	*****	(mm)
断面積	346.40	283.50	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	240000	*****	(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

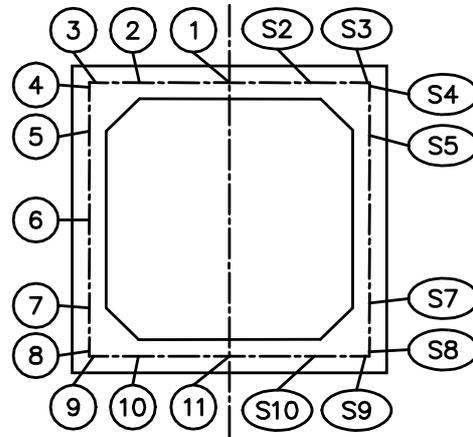
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

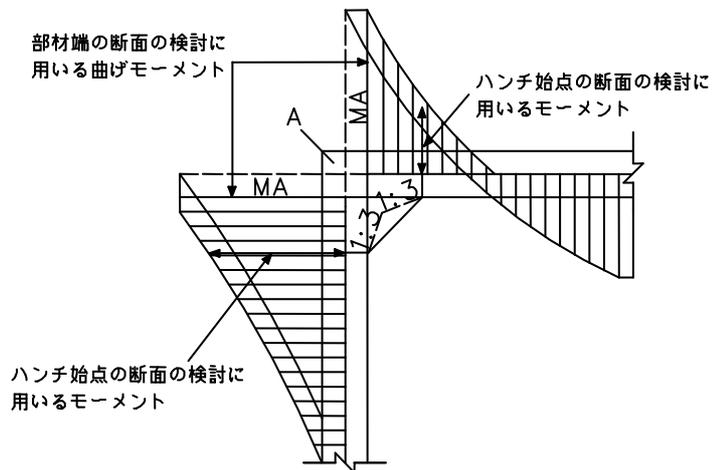
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

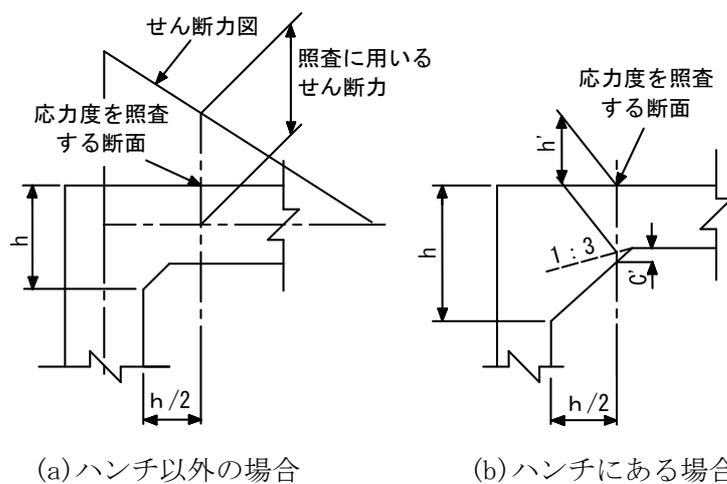
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



(a)ハンチ以外の場合

(b)ハンチにある場合

b)について

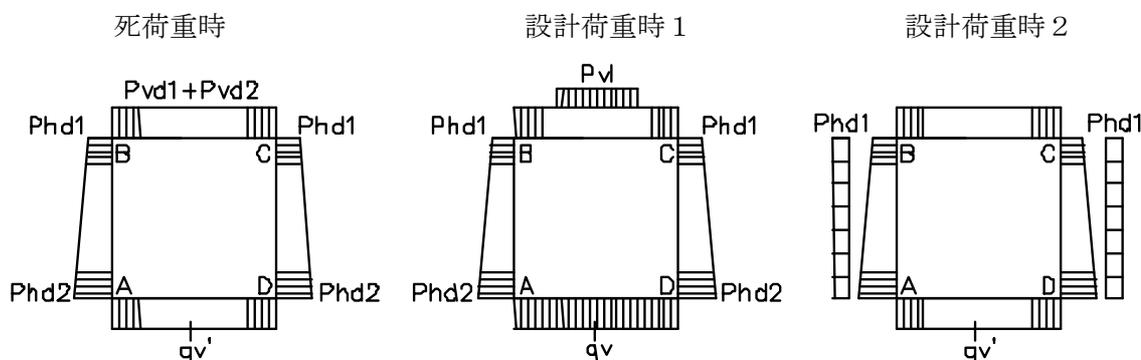
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

3 断面力の算定 (CASE-1, 2)

3.1.1 設計荷重

- (1) 頂版自重 $P_{vd1} = \gamma_c \times T1$
- (2) 鉛直土圧 $P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - tb) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb \}$
- (3) 水平土圧 $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = K_a \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H1 = 1.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 1.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) \} / B_o$



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)
P _{vd1}	4.410	4.410	4.410
P _{vd2}	9.900	9.900	9.900
P _{hd1} = P _{hd1}	5.760	5.760	*****
P _{hd1} = P _{hd1} + P _q	*****	*****	10.760
P _{hd3} = P _{hd3}	*****	*****	*****
P _{hd3} = P _{hd3} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5}	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd2} = P _{hd2}	23.580	23.580	*****
P _{hd2} = P _{hd2} + P _q	*****	*****	28.580
P _{hd4} = P _{hd4}	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	70.909	0.000
q _v	*****	52.988	*****
q _{v'}	21.238	*****	21.238

注) q_{v'}は、P_{v1} = 0 とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ ラーメン係数} \quad \alpha &= (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) \\
 \beta &= (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) \\
 N_1 &= 2 + \alpha \\
 N_2 &= 2 + \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \text{ 荷重項} \quad CAD &= q_v \times B_o^2 / 12 \\
 CBC &= \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \\
 &\quad \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) \\
 CAB &= (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 \\
 CBA &= (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60
 \end{aligned}$$

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）

$$\begin{aligned}
 (3) \text{ たわみ角} \quad \theta_A &= \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) \\
 \theta_B &= \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1)
 \end{aligned}$$

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.7388	0.7388	0.7388
β	0.7388	0.7388	0.7388
N1	2.7388	2.7388	2.7388
N2	2.7388	2.7388	2.7388
CAD (kN・m/m)	12.711	31.715	12.711
CBC (kN・m/m)	8.565	35.165	8.565
CAB (kN・m/m)	5.375	5.375	7.008
CBA (kN・m/m)	4.211	4.211	5.844
θ_A	-3.761	-15.858	-2.821
θ_B	2.963	17.093	2.024
MAB (kN・m/m)	-9.933	-19.999	-10.627
MAD (kN・m/m)	9.933	19.999	10.627
MBA (kN・m/m)	6.376	22.537	7.070
MBC (kN・m/m)	-6.376	-22.537	-7.070

3.1.3 各部材の断面力

(1) 頂版

1) せん断力

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

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC}$$

(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。

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

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

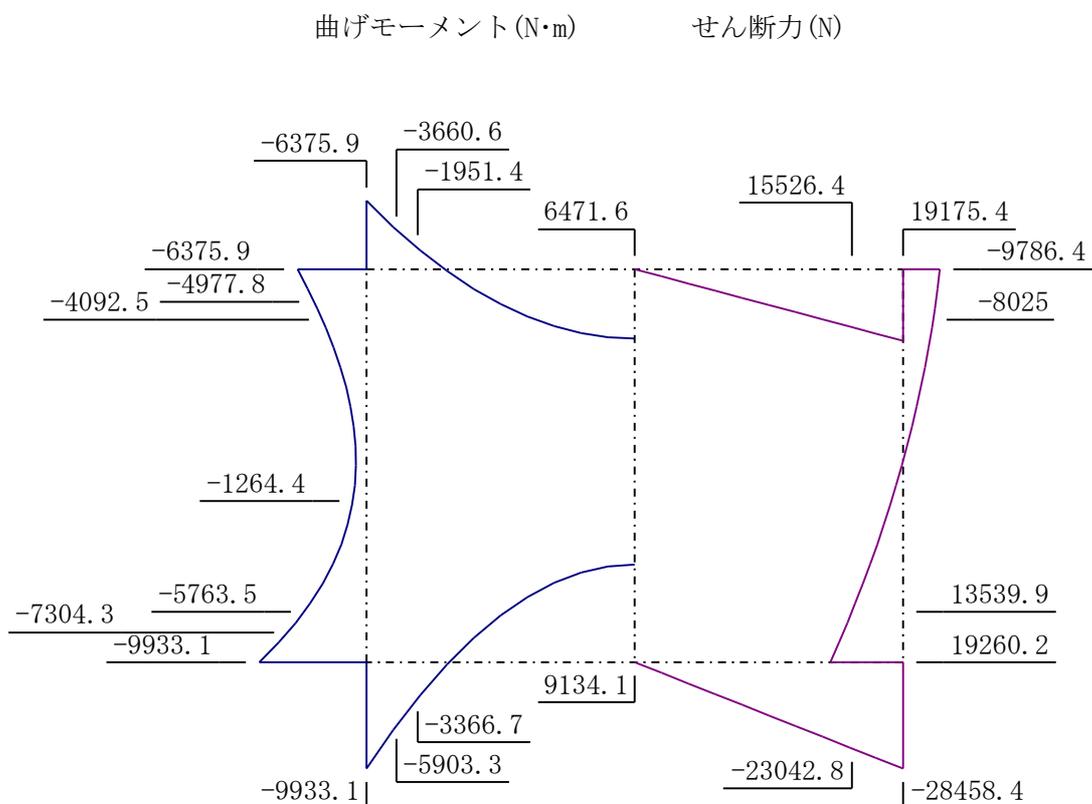
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	19.175	61.721	19.175
S CB (kN/m)	-19.175	-61.721	-19.175
Mmax (kN・m/m)	6.472	34.557	5.777
S AD (kN/m)	28.458	71.004	28.458
S DA (kN/m)	-28.458	-71.004	-28.458
Mmax (kN・m/m)	9.134	27.574	8.440
S AB (kN/m)	19.260	16.182	24.210
S BA (kN/m)	-9.786	-12.865	-14.736
x (m)	0.812	0.812	*****
	1.007	*****	1.007
Mmax (kN・m/m)	-1.264	-13.830	*****
Mmax (kN・m/m)	-0.962	*****	0.793

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。

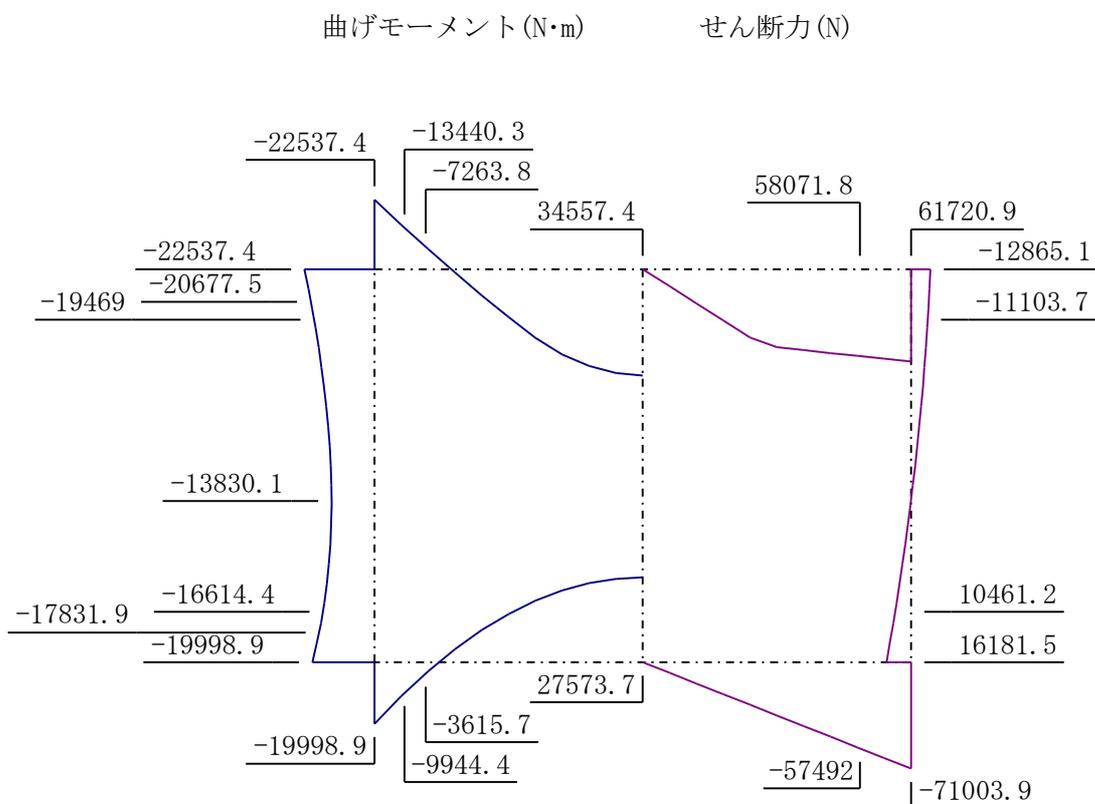
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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	0.090	-6376	19175	9786
	2 ハッチ始点	0.240	-3661	***	9786
	S2 τ点	0.255	-1951	15526	9786
	1 中央	1.340	6472	0	9786
底版	9, S9 端部	0.090	-9933	28458	19260
	10 ハッチ始点	0.240	-5903	***	19260
	S10 τ点	0.255	-3367	23043	19260
	11 中央	1.340	9134	0	19260
側壁	4, S4 上端部	1.890	-6376	-9786	19175
	5 上ハッチ点	1.740	-4978	***	19879
	S5 上τ点	1.725	-4093	-8025	20371
	6 中間	0.812	-1264	*****	24652
		1.007	-962	*****	23737
	S7 下τ点	0.255	-5764	13540	27263
	7 下ハッチ点	0.240	-7304	***	27755
	8, S8 下端部	0.090	-9933	19260	28458



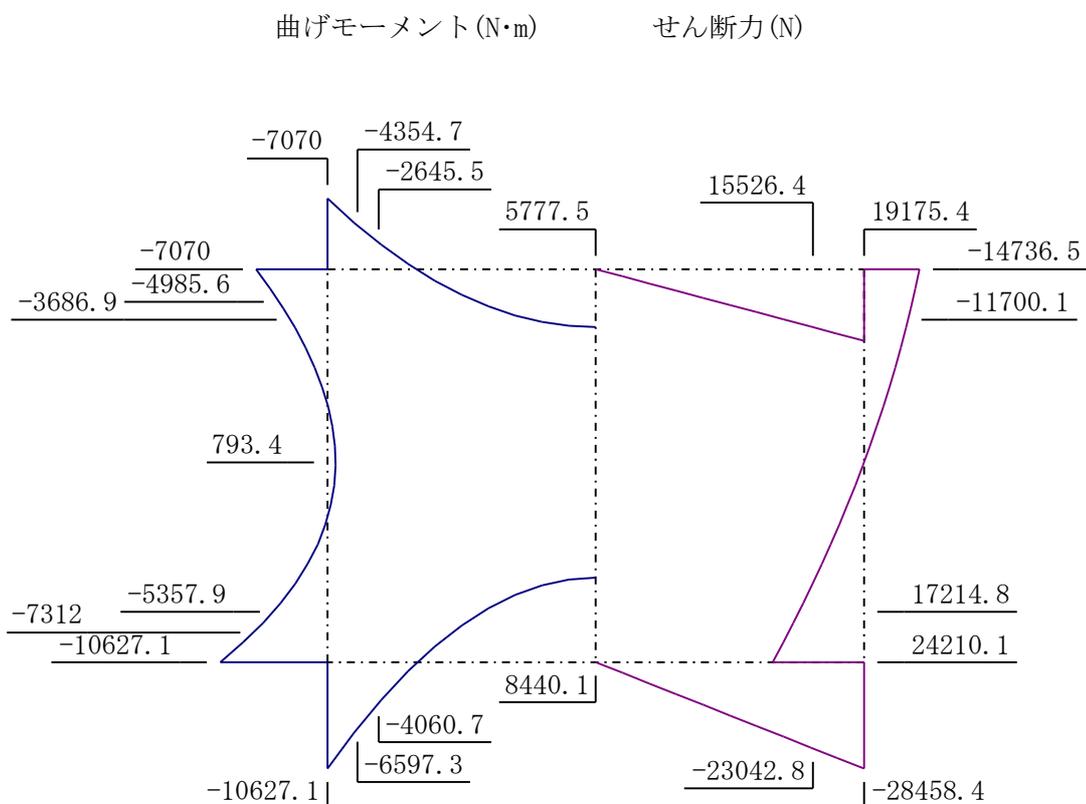
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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	0.090	-22537	61721	12865
	2 ハッチ始点	0.240	-13440	***	12865
	S2 τ点	0.255	-7264	58072	12865
	1 中央	1.340	34557	0	12865
底板	9, S9 端部	0.090	-19999	71004	16182
	10 ハッチ始点	0.240	-9944	***	16182
	S10 τ点	0.255	-3616	57492	16182
	11 中央	1.340	27574	0	16182
側壁	4, S4 上端部	1.890	-22537	-12865	61721
	5 上ハッチ点	1.740	-20678	***	62424
	S5 上τ点	1.725	-19469	-11104	62916
	6 中間	0.812	-13830	0	67197
	S7 下τ点	0.255	-16614	10461	69808
	7 下ハッチ点	0.240	-17832	***	70301
	8, S8 下端部	0.090	-19999	16182	71004



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

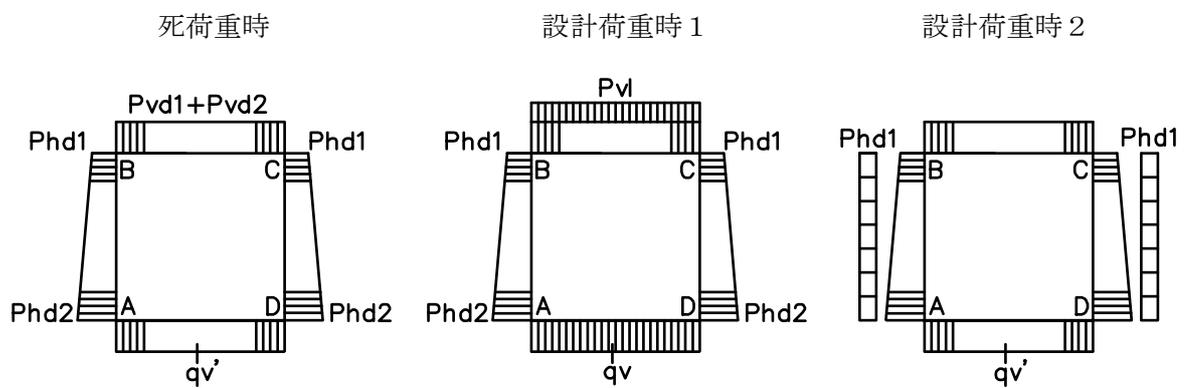
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長] 軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.090	-7070	19175	14737
	2 ハッチ始点	0.240	-4355	***	14737
	S2 τ点	0.255	-2646	15526	14737
	1 中央	1.340	5778	0	14737
底板	9, S9 端部	0.090	-10627	28458	24210
	10 ハッチ始点	0.240	-6597	***	24210
	S10 τ点	0.255	-4061	23043	24210
	11 中央	1.340	8440	0	24210
側壁	4, S4 上端部	1.890	-7070	-14737	19175
	5 上ハッチ点	1.740	-4986	***	19879
	S5 上τ点	1.725	-3687	-11700	20371
	6 中間	1.007	793	0	23737
	S7 下τ点	0.255	-5358	17215	27263
	7 下ハッチ点	0.240	-7312	***	27755
	8, S8 下端部	0.090	-10627	24210	28458



3. 断面力の算定 (CASE-3, 4)

3.2.1 設計荷重

- (1) 頂版自重 $Pvd1 = \gamma c \times T1$
- (2) 鉛直土圧 $Pvd2 = \alpha \times \{ \gamma s \times (H2 - t - tb) + \gamma a \times t + \gamma b \times tb \}$
- (3) 水平土圧 $Phd1 = Ka \times \{ \gamma a \times t + \gamma b \times tb + \gamma s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $Phd2 = Ka \times \{ \gamma a \times t + \gamma b \times tb + \gamma s \times (H2 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $Pq = Ka \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H2 = 3.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 3.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $Pv1 = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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 設計荷重時 1 設計荷重時 2
 (kN/m²) CASE-3 CASE-4
 (kN/m²)

Pvd1	4.410	4.410	4.410
Pvd2	27.900	27.900	27.900
Phd1 = Phd1	14.760	14.760	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	19.760
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	32.580	32.580	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	37.580
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	26.591	0.000
qv	*****	65.829	*****
qv'	39.238	*****	39.238

注) qv' は、Pv1=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

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

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

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60$$

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) $Phd1 \sim Phd5$ 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	0.7388	0.7388	0.7388
β	0.7388	0.7388	0.7388
N1	2.7388	2.7388	2.7388
N2	2.7388	2.7388	2.7388
CAD (kN・m/m)	23.485	39.401	23.485
CBC (kN・m/m)	19.339	35.254	19.339
CAB (kN・m/m)	8.315	8.315	9.949
CBA (kN・m/m)	7.151	7.151	8.784
θ_A	-8.266	-17.419	-7.326
θ_B	7.468	16.621	6.529
MAB (kN・m/m)	-17.378	-26.532	-18.072
MAD (kN・m/m)	17.378	26.532	18.072
MBA (kN・m/m)	13.821	22.974	14.515
MBC (kN・m/m)	-13.821	-22.974	-14.515

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。

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

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

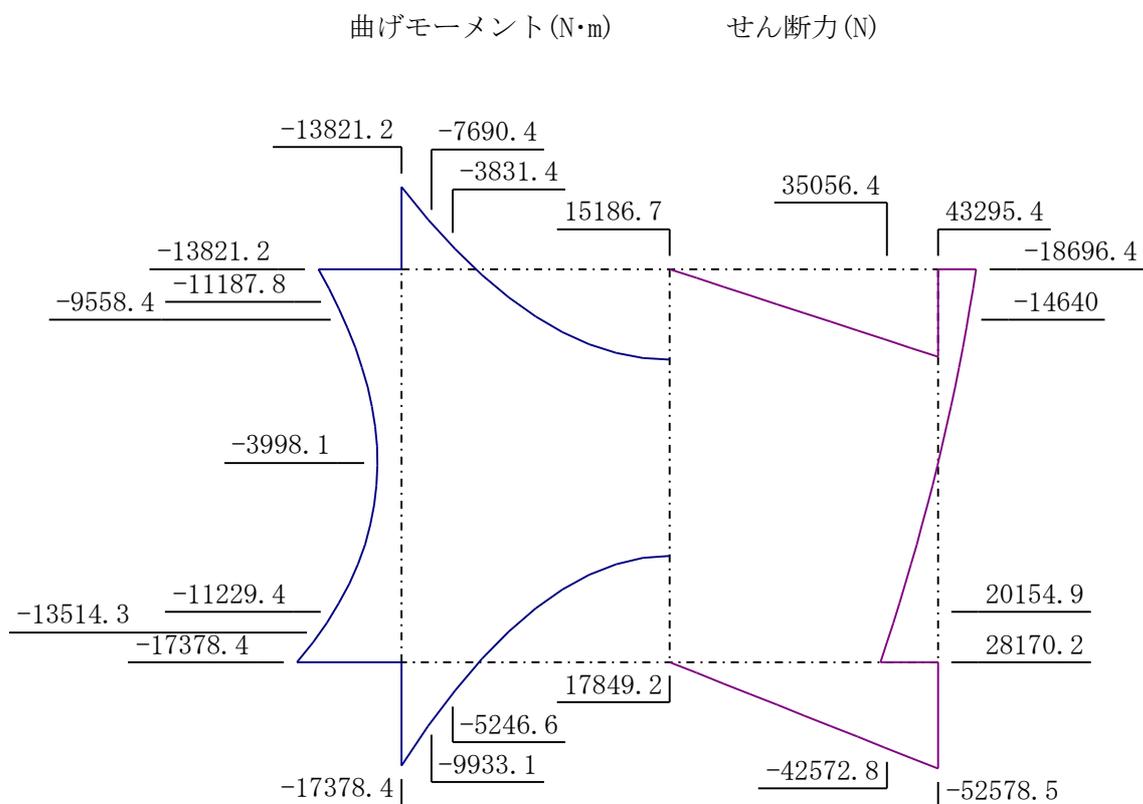
計算値	死荷重時	設計荷重時1 CASE-3	設計荷重時2 CASE-4
SBC (kN/m)	43.295	78.927	43.295
SCB (kN/m)	-43.295	-78.927	-43.295
Mmax (kN・m/m)	15.187	29.907	14.493
SAD (kN/m)	52.578	88.210	52.578
SDA (kN/m)	-52.578	-88.210	-52.578
Mmax (kN・m/m)	17.849	32.569	17.155
SAB (kN/m)	28.170	28.170	33.120
SBA (kN/m)	-18.696	-18.696	-23.646
x (m)	1.004	1.004	*****
	1.001	*****	1.001
Mmax (kN・m/m)	-3.998	-13.151	*****
Mmax (kN・m/m)	-3.998	*****	-2.242

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。

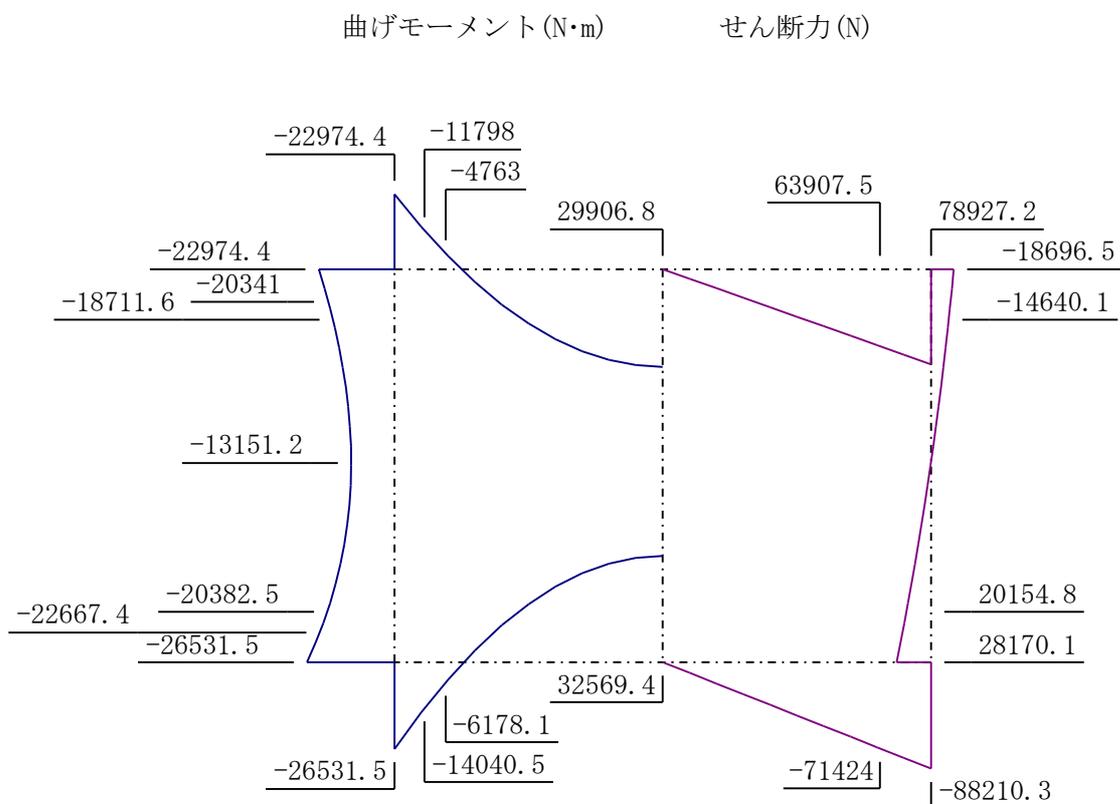
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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	0.090	-13821	43295	18696
	2 ハッチ始点	0.240	-7690	***	18696
	S2 τ点	0.255	-3831	35056	18696
	1 中央	1.340	15187	0	18696
底版	9, S9 端部	0.090	-17378	52579	28170
	10 ハッチ始点	0.240	-9933	***	28170
	S10 τ点	0.255	-5247	42573	28170
	11 中央	1.340	17849	0	28170
側壁	4, S4 上端部	1.890	-13821	-18696	43295
	5 上ハッチ点	1.740	-11188	***	43999
	S5 上τ点	1.725	-9558	-14640	44491
	6 中間	1.004	-3998	*****	47871
		1.001	-3998	*****	47885
	S7 下τ点	0.255	-11229	20155	51383
	7 下ハッチ点	0.240	-13514	***	51875
	8, S8 下端部	0.090	-17378	28170	52579



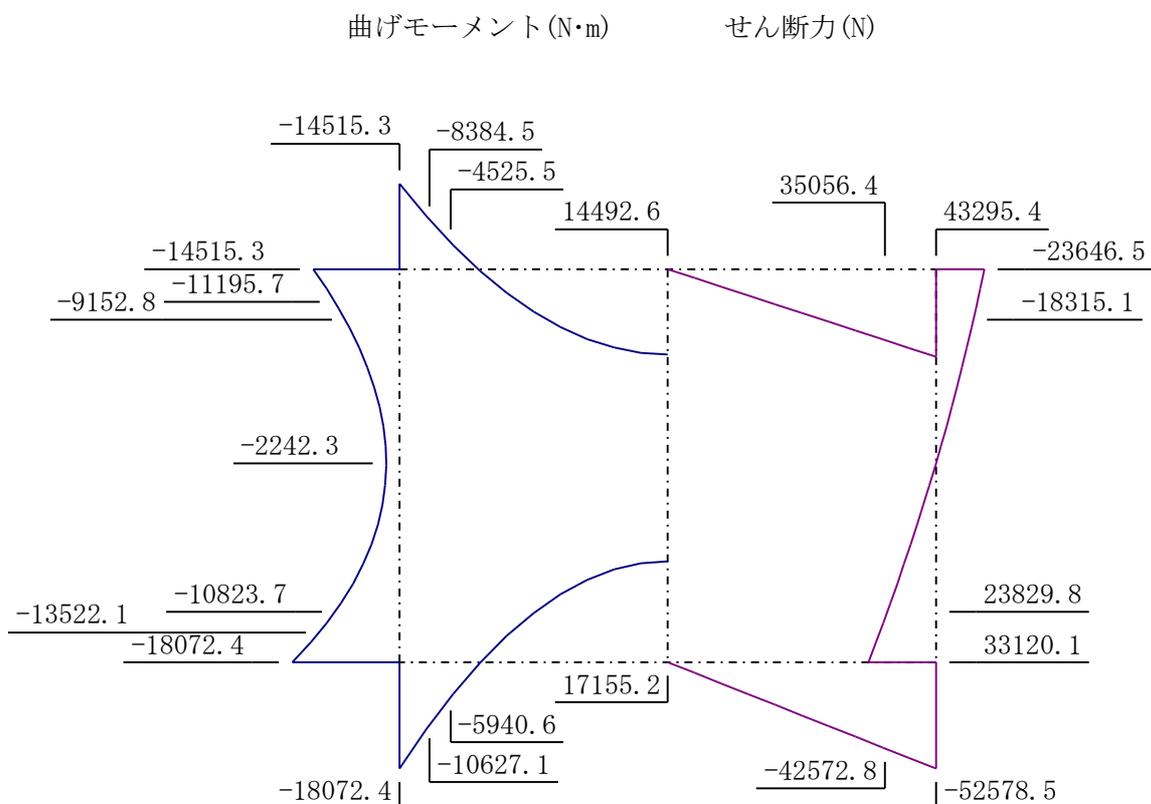
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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	0.090	-22974	78927	18697
	2 ハッチ始点	0.240	-11798	***	18697
	S2 τ点	0.255	***	63908	***
	1 中央	1.340	29907	0	18697
底版	9, S9 端部	0.090	-26532	88210	28170
	10 ハッチ始点	0.240	-14041	***	28170
	S10 τ点	0.255	***	71424	***
	11 中央	1.340	32569	0	28170
側壁	4, S4 上端部	1.890	-22974	-18697	78927
	5 上ハッチ点	1.740	-20341	***	79631
	S5 上τ点	1.725	***	-14640	***
	6 中間	1.004	-13151	0	83503
	S7 下τ点	0.255	***	20155	***
	7 下ハッチ点	0.240	-22667	***	87507
	8, S8 下端部	0.090	-26532	28170	88210



(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	0.090	-14515	43295	23647
	2 ハッチ始点	0.240	-8385	***	23647
	S2 τ点	0.255	***	35056	***
	1 中央	1.340	14493	0	23647
底版	9, S9 端部	0.090	-18072	52579	33120
	10 ハッチ始点	0.240	-10627	***	33120
	S10 τ点	0.255	***	42573	***
	11 中央	1.340	17155	0	33120
側壁	4, S4 上端部	1.890	-14515	-23647	43295
	5 上ハッチ点	1.740	-11196	***	43999
	S5 上τ点	1.725	***	-18315	***
	6 中間	1.001	-2242	0	47885
	S7 下τ点	0.255	***	23830	*****
	7 下ハッチ点	0.240	-13522	***	51875
	8, S8 下端部	0.090	-18072	33120	52579



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 有効プレストレス

(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	23.00	2300.0	101391.67	11.50	8816.67
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
中央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

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	1.50	外側
ハチ始点	φ21	3.00	3.464	290000	-1.00	外側
τ点	φ21	3.00	3.464	290000	-1.00	外側
中央	φ21	3.00	3.464	290000	1.00	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	3.98	-0.20	94.32	25.12	717.74	0.857	3
ハチ始点	837.18	5.01	0.16	113.53	25.12	698.54	0.834	3
τ点	837.18	5.01	0.08	112.35	25.12	699.72	0.836	3
中央	837.18	5.01	-0.31	106.54	25.12	705.52	0.843	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	3.98	-0.20	94.32	25.12	717.74	0.857	3
ハチ始点	837.18	5.01	0.16	113.53	25.12	698.54	0.834	3
τ点	837.18	5.01	0.08	112.35	25.12	699.72	0.836	3
中央	837.18	5.01	-0.31	106.54	25.12	705.52	0.843	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	3.98	-0.20	94.32	25.12	717.74	0.857	3
ハチ始点	837.18	5.01	0.08	112.30	25.12	699.77	0.836	1
τ点	837.18	5.01	0.04	111.78	25.12	700.29	0.836	1
中央	837.18	5.01	-0.13	109.21	25.12	702.86	0.840	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	3.98	-0.20	94.32	25.12	717.74	0.857	3
ハチ始点	837.18	5.01	0.08	112.30	25.12	699.77	0.836	1
τ点	837.18	5.01	0.04	111.78	25.12	700.29	0.836	1
中央	837.18	5.01	-0.13	109.21	25.12	702.86	0.840	1

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	1.57	0.08	1.97	3.62	3
ハチ始点	1.42	0.10	5.38	6.91	3
中 央	2.81	0.10	2.72	5.63	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.57	0.08	4.51	3.03	3
ハチ始点	-1.42	0.10	2.69	1.37	3
中 央	-2.81	0.10	5.43	2.72	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.61	0.08	1.97	4.66	3
ハチ始点	2.49	0.07	5.39	7.95	1
中 央	6.40	0.07	2.71	9.18	1
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.61	0.08	4.51	1.99	3
ハチ始点	-2.49	0.07	2.69	0.28	1
中 央	-6.40	0.07	5.41	-0.92	1
				$\sigma_t > -1.5$	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	-31.015	1.10	5.60	3.8	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-18.144	-0.57	8.84	1.1	3.1	0.194	0.545	1
中央	46.652	-3.13	11.44	3.9	60.6	3.787	1.934	1

----- 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

5.1.6 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	6612	18.697	78.927	745.88	3.32	0.51	-0.078	3
τ 点	100.0	4050	18.697	63.907	727.15	4.14	0.53	-0.067	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	-6.376	-16.162	-48.692	-38.314	-48.692	1
ハチ始点	-3.661	-9.780	-29.208	-22.849	-29.208	1
中央	6.472	28.086	78.628	58.748	78.628	1

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	13.0	19.5	0.069	0.009	118.01	2.4	1
ハチ始点	10.392	4.280	8.0	14.5	0.069	0.014	70.10	2.4	1
中央	10.392	7.602	10.0	14.5	0.069	0.012	100.44	1.3	1

$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$ 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	23.00	2300.0	101391.67	11.50	8816.67
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
中央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

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	φ19	3.00	2.835	240000	1.50	外側
ハチ始点	φ19	3.00	2.835	240000	-1.00	外側
τ点	φ19	3.00	2.835	240000	-1.00	外側
中央	φ19	3.00	2.835	240000	1.00	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	846.56	3.29	-0.26	84.17	25.40	736.99	0.871	3
ハチ始点	846.56	4.15	0.20	102.88	25.40	718.28	0.848	3
τ点	846.56	4.15	0.11	101.43	25.40	719.73	0.850	3
中央	846.56	4.15	-0.37	94.28	25.40	726.89	0.859	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	846.56	3.29	-0.26	84.17	25.40	736.99	0.871	3
ハチ始点	846.56	4.15	0.20	102.88	25.40	718.28	0.848	3
τ点	846.56	4.15	0.11	101.43	25.40	719.73	0.850	3
中央	846.56	4.15	-0.37	94.28	25.40	726.89	0.859	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	846.56	3.29	-0.26	84.17	25.40	736.99	0.871	3
ハチ始点	846.56	4.15	0.20	102.88	25.40	718.28	0.848	3
τ点	846.56	4.15	0.11	101.43	25.40	719.73	0.850	3
中央	846.56	4.15	-0.37	94.28	25.40	726.89	0.859	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	846.56	3.29	-0.26	84.17	25.40	736.99	0.871	3
ハチ始点	846.56	4.15	0.20	102.88	25.40	718.28	0.848	3
τ点	846.56	4.15	0.11	101.43	25.40	719.73	0.850	3
中央	846.56	4.15	-0.37	94.28	25.40	726.89	0.859	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	1.97	0.12	1.66	3.75	3
ハチ始点	1.84	0.16	4.53	6.52	3
中央	3.31	0.16	2.29	5.75	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-1.97	0.12	3.79	1.94	3
ハチ始点	-1.84	0.16	2.26	0.58	3
中央	-3.31	0.16	4.58	1.43	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	3.01	0.12	1.66	4.79	3
ハチ始点	2.60	0.16	4.53	7.28	3
中央	6.03	0.16	2.29	8.48	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-3.01	0.12	3.79	0.90	3
ハチ始点	-2.60	0.16	2.26	-0.18	3
中央	-6.03	0.16	4.58	-1.30	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	-35.818	-0.11	5.89	0.4	0.2	0.013	0.202	3
ハチ始点	-18.955	-1.04	8.25	2.0	10.4	0.651	1.005	3
中央	43.969	-3.35	10.64	4.3	72.2	4.515	2.155	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

5.2.6 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	6612	28.170	88.210	626.81	2.85	0.58	-0.112	3
τ 点	100.0	4050	28.170	71.424	612.13	3.56	0.60	-0.097	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	-17.378	-9.153	-45.475	-45.104	-45.475	3
ハチ始点	-9.933	-4.107	-23.182	-23.869	-23.869	3
中央	17.849	14.720	60.004	55.368	60.004	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	8.505	4.280	13.0	19.5	0.069	0.007	103.17	2.3	3
ハチ始点	8.505	4.280	8.0	14.5	0.069	0.012	62.81	2.6	3
中央	8.505	5.941	10.0	14.5	0.069	0.010	83.32	1.4	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	-22.537	61.721	36.52	8.00	27.475	1
	上ハチ点	-20.677	62.424	33.12	5.50	24.111	1
側壁	中 間	-13.830	67.197	20.58	5.50	17.526	1
	下ハチ点	-22.667	87.507	25.90	5.50	27.480	3
	下端部	-26.532	88.210	30.08	8.00	33.588	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 As (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	27.475	9.24	12.74	23.00	6.004
	上ハチ点	24.111	8.65	12.15	18.00	8.038
側壁	中 間	17.526	7.38	10.88	18.00	4.323
	下ハチ点	27.480	9.24	12.74	18.00	8.248
	下端部	33.588	10.21	13.71	23.00	6.671
					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 16 - 6
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 6

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	9.759	7.529	4.30	102.5	0.0
	上ハンチ点	100.00	9.759	6.047	6.39	133.9	0.0
	中間	100.00	9.759	6.611	4.31	77.2	0.0
	下ハンチ点	100.00	9.759	6.299	7.04	137.4	0.0
	下端部	100.00	9.759	7.834	5.08	113.4	0.0

σ_c < σ_{ca} σ_s < σ_{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	58.072	15.526	63.907	35.056				
	M			-4.763					
	N			18.697					
	最大			○					
底版 τ点	S	57.492	23.043	71.424	42.573				
	M			-6.178					
	N			28.170					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-11.104	-11.700	-14.640	-18.315				
	M				-9.153				
	N				44.491				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	10.461	17.215	20.155	23.830				
	M				-10.824				
	N				51.383				
	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	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-6	4.280	0.295	0.995
底版 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-6	4.280	0.295	0.995
側壁上 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-3 D13-3	9.759	0.673	1.304
側壁下 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-3 D13-3	9.759	0.673	1.304

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	-4.763	727.1	18.696	0.180	0.00540	-0.01	15.103	2.000
底版 τ 点	-6.178	612.1	28.170	0.180	0.00540	-0.01	13.087	2.000
側壁上 τ 点	-9.153	0.0	44.491	0.180	0.00540	0.00	1.335	1.146
側壁下 τ 点	-10.824	0.0	51.383	0.180	0.00540	0.00	1.541	1.142

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	0.995	2.000	0.752
底版 τ 点	0.270	1.400	0.995	2.000	0.752
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.304	1.146	0.565
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.304	1.142	0.563

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	63.908	14.5	0.441	0.752
底版 τ 点	71.424	14.5	0.493	0.752
側壁上 τ 点	18.315	14.5	0.126	0.565
側壁下 τ 点	23.830	14.5	0.164	0.563

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上