

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) 2800 × (H) 2500 × (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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

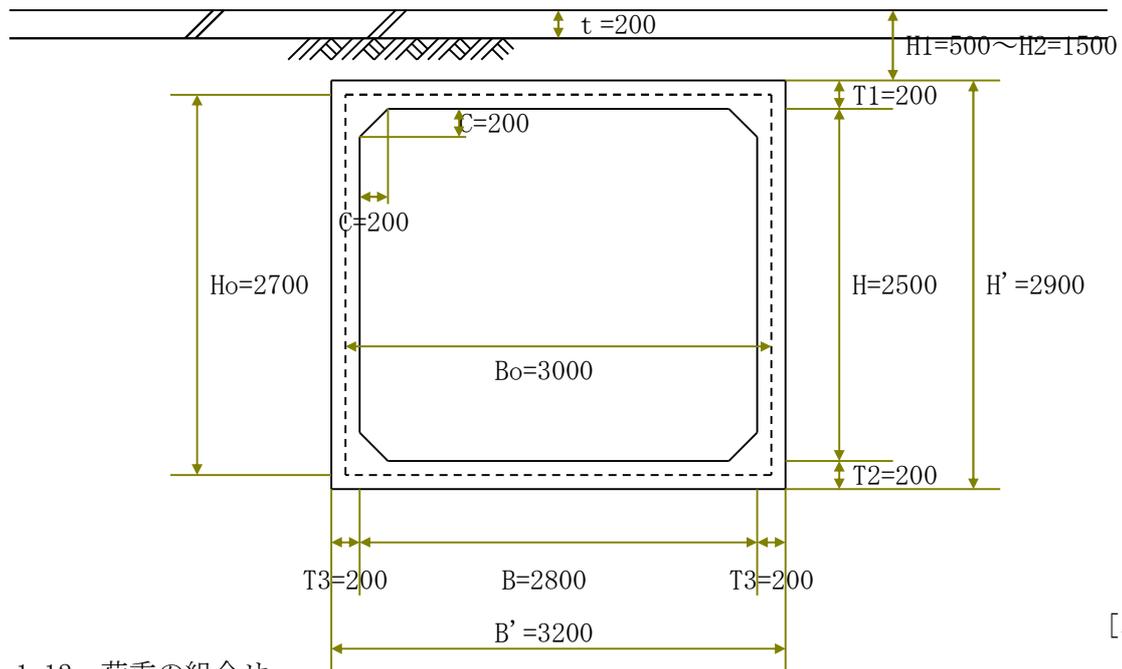
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

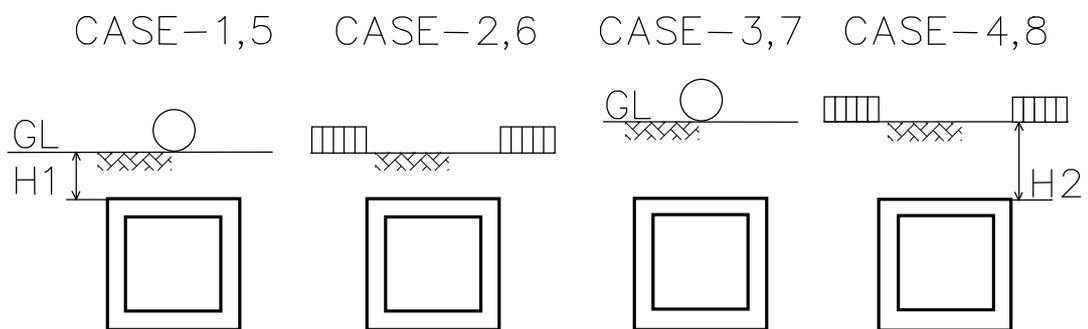
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 23$	$\phi 23$	*****	(mm)
断面積	415.50	415.50	*****	(mm ²)
設計引張力	350000	350000	*****	(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

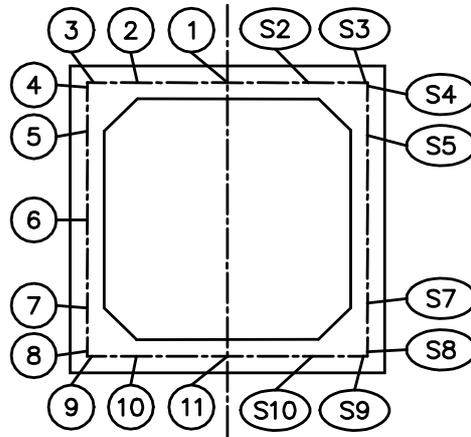
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

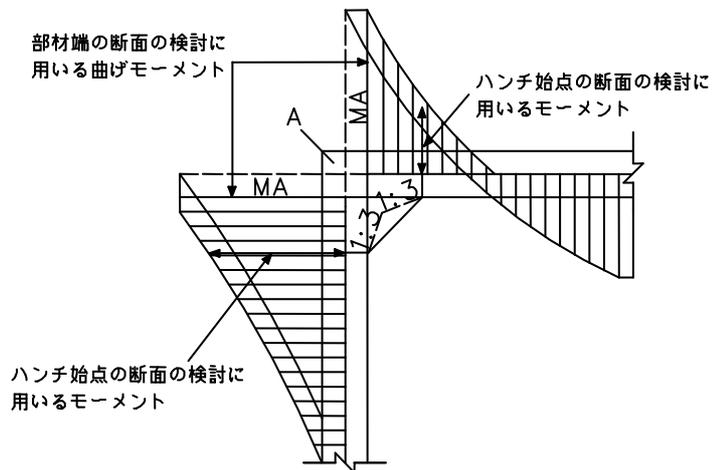
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

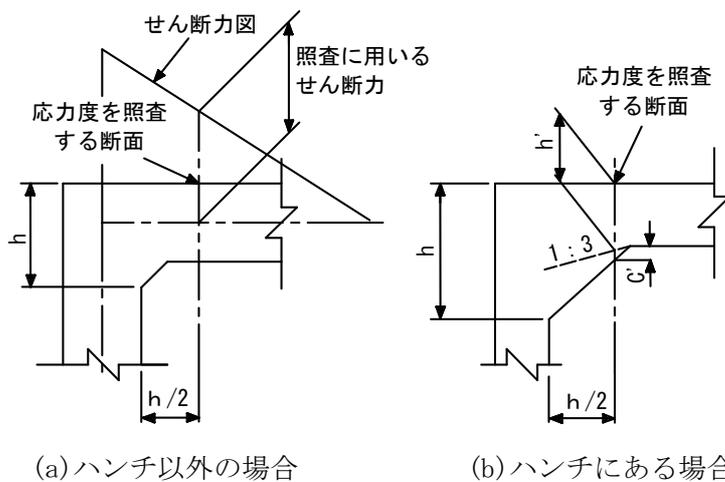
せん断力



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

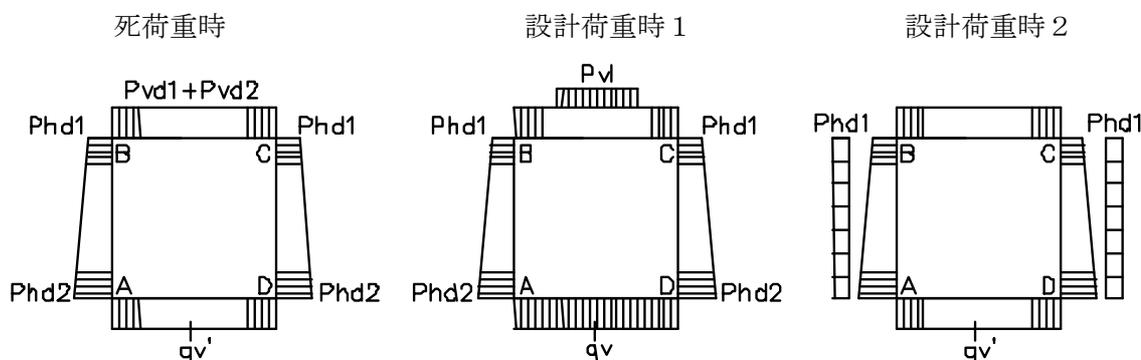
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

3 断面力の算定 (CASE-1, 2)

3.1.1 設計荷重

- (1) 頂版自重 $P_{vd1} = \gamma_c \times T1$
- (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}	4.900	4.900	4.900
P _{vd2}	9.900	9.900	9.900
P _{hd1} = P _{hd1}	5.850	5.850	*****
P _{hd1} = P _{hd1} + P _q	*****	*****	10.850
P _{hd3} = P _{hd3}	*****	*****	*****
P _{hd3} = P _{hd3} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5}	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd2} = P _{hd2}	30.150	30.150	*****
P _{hd2} = P _{hd2} + P _q	*****	*****	35.150
P _{hd4} = P _{hd4}	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	70.909	0.000
q _v	*****	52.637	*****
q _{v'}	24.273	*****	24.273

注) q_{v'}は、P_{v1} = 0 とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ ラーメン係数} \quad \alpha &= (H_0 \times T_1^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 \beta &= (H_0 \times T_2^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 N_1 &= 2 + \alpha \\
 N_2 &= 2 + \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \text{ 荷重項} \quad CAD &= q_v \times B_0^2 / 12 \\
 CBC &= \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_0^3 + P_{v1} \times u \\
 &\quad \times (3 \times B_0^2 - u^2)\} / (24 \times B_0) \\
 CAB &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 \\
 CBA &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60
 \end{aligned}$$

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）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.9000	0.9000	0.9000
β	0.9000	0.9000	0.9000
N1	2.9000	2.9000	2.9000
N2	2.9000	2.9000	2.9000
CAD (kN・m/m)	18.205	39.478	18.205
CBC (kN・m/m)	11.100	41.307	11.100
CAB (kN・m/m)	12.411	12.411	15.449
CBA (kN・m/m)	9.459	9.459	12.496
θ_A	-2.489	-14.891	-0.890
θ_B	1.424	16.117	-0.174
MAB (kN・m/m)	-15.965	-26.076	-17.404
MAD (kN・m/m)	15.965	26.076	17.404
MBA (kN・m/m)	9.818	26.802	11.257
MBC (kN・m/m)	-9.818	-26.802	-11.257

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。

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

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

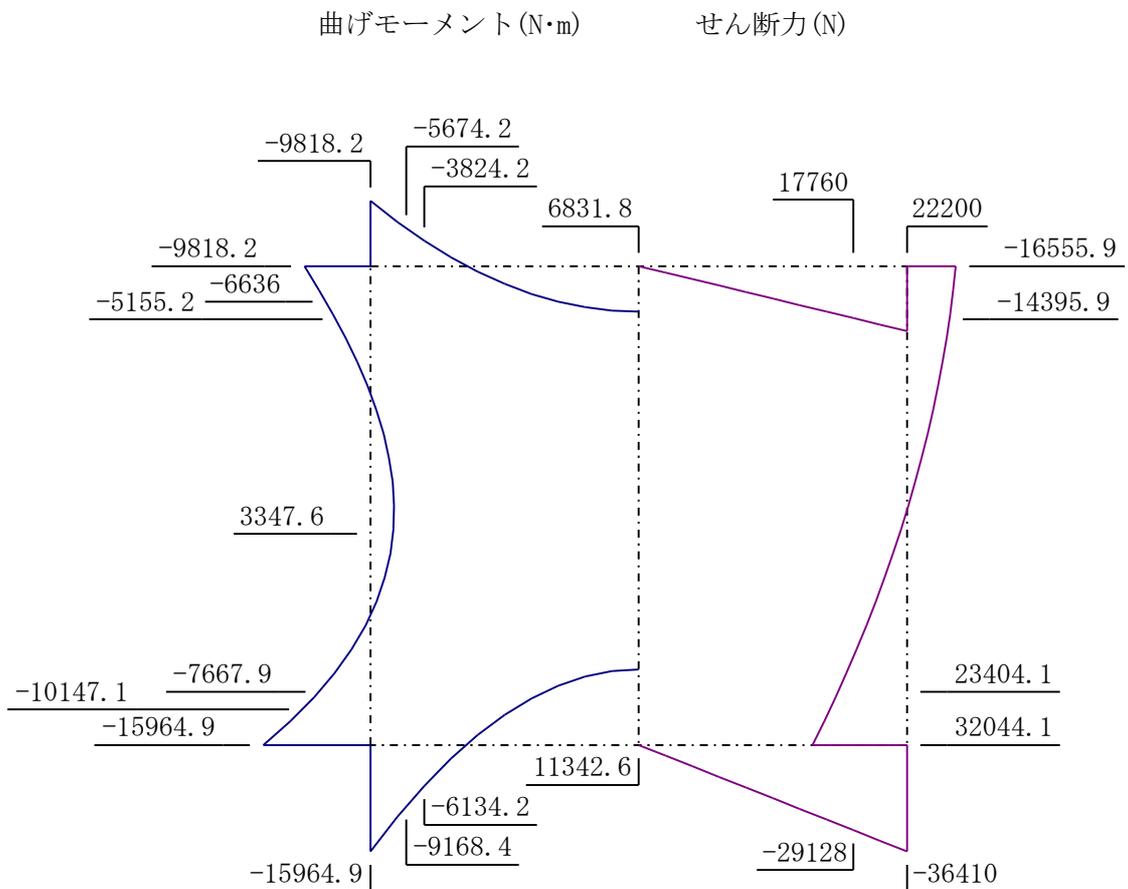
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	22.200	64.745	22.200
S CB (kN/m)	-22.200	-64.745	-22.200
Mmax (kN・m/m)	6.832	40.903	5.393
S AD (kN/m)	36.410	78.955	36.410
S DA (kN/m)	-36.410	-78.955	-36.410
Mmax (kN・m/m)	11.343	33.141	9.904
S AB (kN/m)	32.044	29.499	38.794
S BA (kN/m)	-16.556	-19.101	-23.306
x (m)	1.190	1.190	*****
	1.330	*****	1.330
Mmax (kN・m/m)	3.348	-9.793	*****
Mmax (kN・m/m)	3.517	*****	6.633

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。

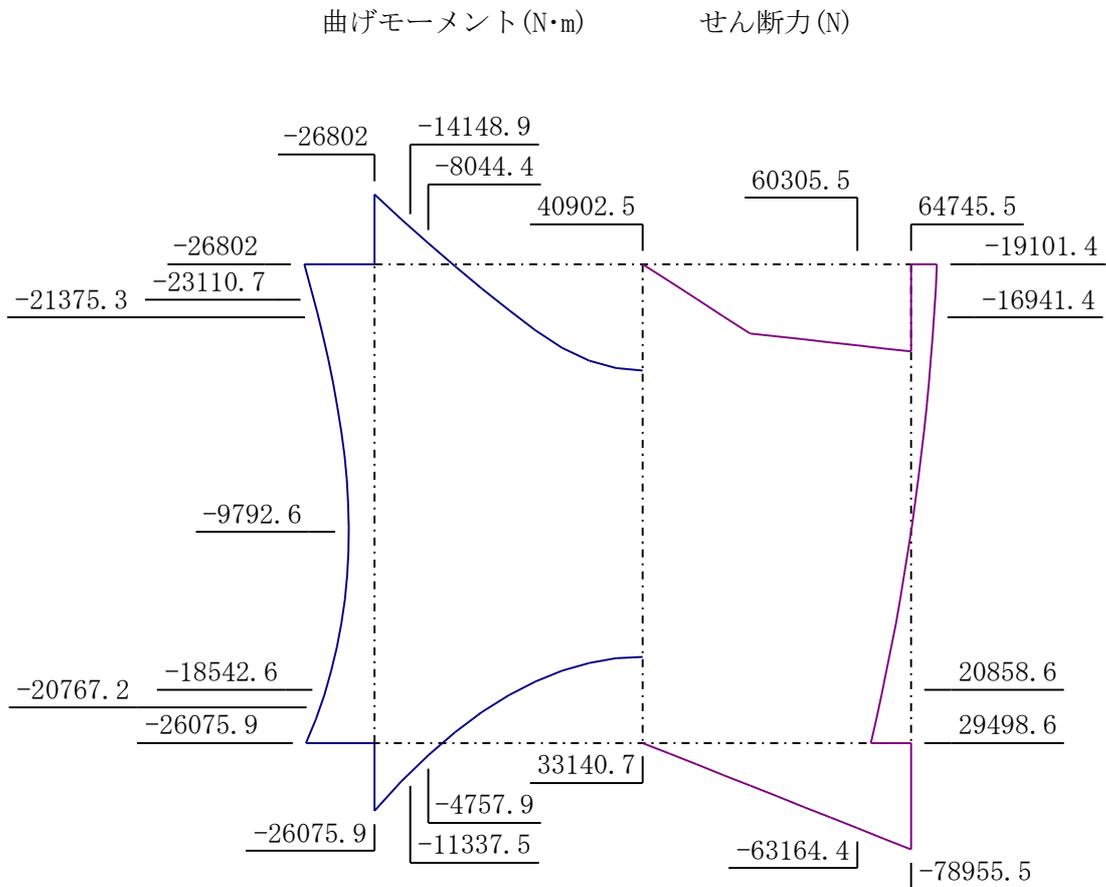
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/ 単位長]			
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)	軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.100	-9818	22200	16556
	2 ハッチ始点	0.300	-5674	***	16556
	S2 τ点	0.300	-3824	17760	16556
	1 中央	1.500	6832	0	16556
底版	9, S9 端部	0.100	-15965	36410	32044
	10 ハッチ始点	0.300	-9168	***	32044
	S10 τ点	0.300	-6134	29128	32044
	11 中央	1.500	11343	0	32044
側壁	4, S4 上端部	2.600	-9818	-16556	22200
	5 上ハッチ点	2.400	-6636	***	23253
	S5 上τ点	2.400	-5155	-14396	23779
	6 中間	1.190	3348	*****	30147
		1.330	3517	*****	29410
	S7 下τ点	0.300	-7668	23404	34831
	7 下ハッチ点	0.300	-10147	***	35357
	8, S8 下端部	0.100	-15965	32044	36410



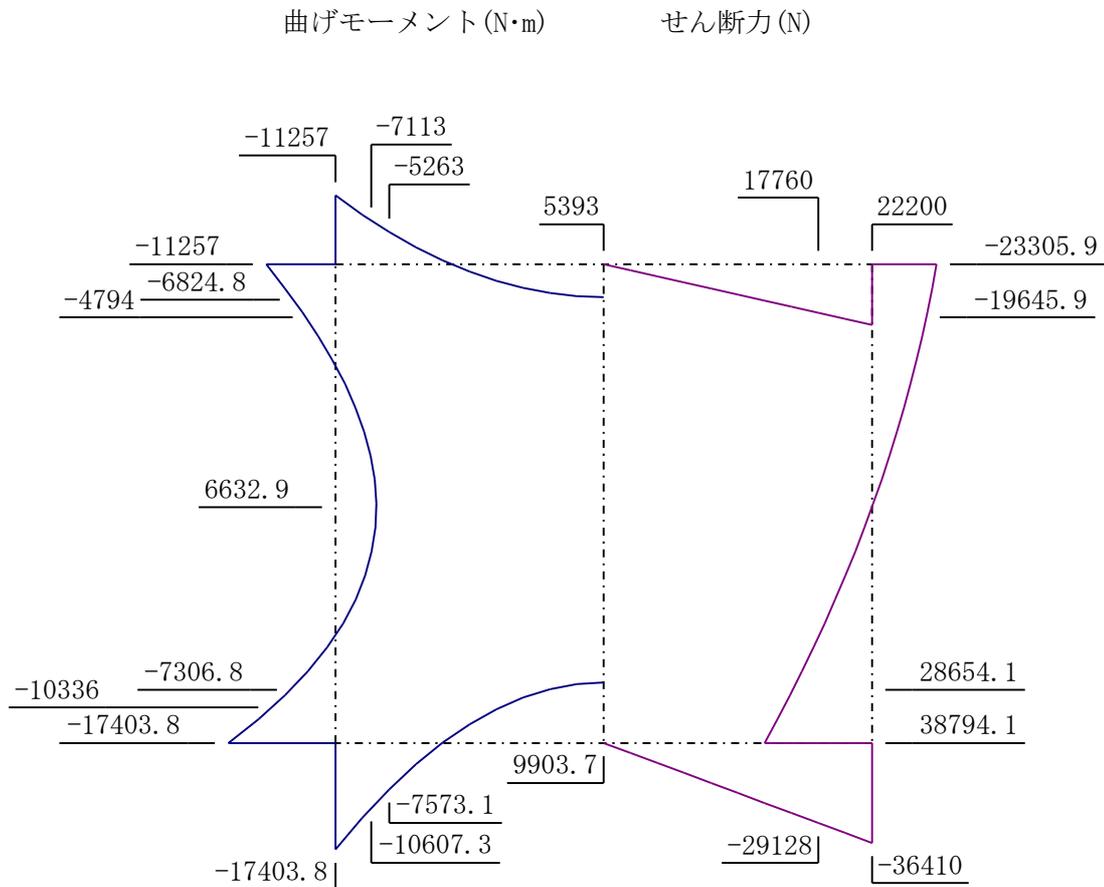
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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	0.100	-26802	64746	19101
	2 ハッチ始点	0.300	-14149	***	19101
	S2 τ点	0.300	-8044	60306	19101
	1 中央	1.500	40903	0	19101
底版	9, S9 端部	0.100	-26076	78956	29499
	10 ハッチ始点	0.300	-11338	***	29499
	S10 τ点	0.300	-4758	63164	29499
	11 中央	1.500	33141	0	29499
側壁	4, S4 上端部	2.600	-26802	-19101	64746
	5 上ハッチ点	2.400	-23111	***	65798
	S5 上τ点	2.400	-21375	-16941	66324
	6 中間	1.190	-9793	0	72693
	S7 下τ点	0.300	-18543	20859	77377
	7 下ハッチ点	0.300	-20767	***	77903
	8, S8 下端部	0.100	-26076	29499	78956



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

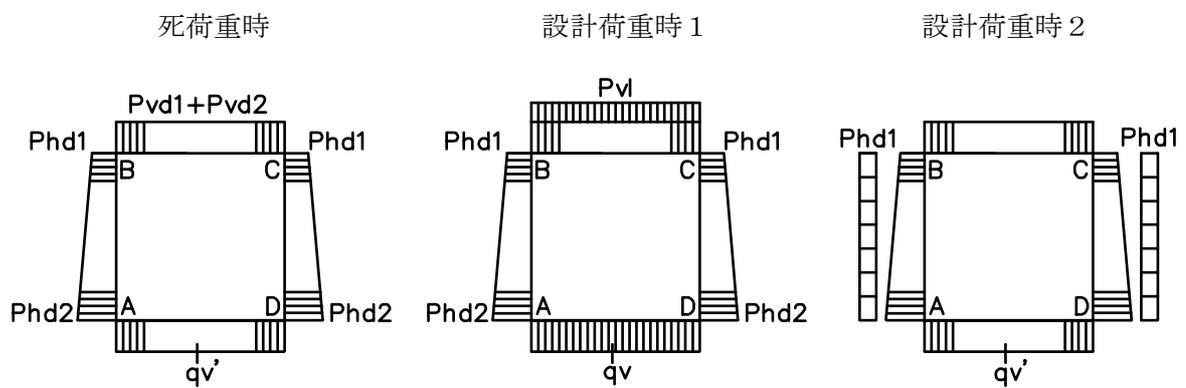
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.100	-11257	22200	23306
	2 ハッチ始点	0.300	-7113	***	23306
	S2 τ点	0.300	-5263	17760	23306
	1 中央	1.500	5393	0	23306
底版	9, S9 端部	0.100	-17404	36410	38794
	10 ハッチ始点	0.300	-10607	***	38794
	S10 τ点	0.300	-7573	29128	38794
	11 中央	1.500	9904	0	38794
側壁	4, S4 上端部	2.600	-11257	-23306	22200
	5 上ハッチ点	2.400	-6825	***	23253
	S5 上τ点	2.400	-4794	-19646	23779
	6 中間	1.330	6633	0	29410
	S7 下τ点	0.300	-7307	28654	34831
	7 下ハッチ点	0.300	-10336	***	35357
	8, S8 下端部	0.100	-17404	38794	36410



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 $u = a + 2 \times H2 = 3.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 3.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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}	4.900	4.900	4.900
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	14.850	14.850	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	19.850
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	39.150	39.150	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	44.150
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	68.864	*****
$q_{v'}$	42.273	*****	42.273

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

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

$$\beta = (H_o \times T^2) / (B_o \times T^3)$$

$$N1 = 2 + \alpha$$

$$N2 = 2 + \beta$$

(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

$$\theta A = \{N1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N1 \times N2 - 1)$$

$$\theta B = \{N2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N1 \times N2 - 1)$$

(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	0.9000	0.9000	0.9000
β	0.9000	0.9000	0.9000
N1	2.9000	2.9000	2.9000
N2	2.9000	2.9000	2.9000
CAD (kN・m/m)	31.705	51.648	31.705
CBC (kN・m/m)	24.600	44.543	24.600
CAB (kN・m/m)	17.879	17.879	20.916
CBA (kN・m/m)	14.926	14.926	17.964
θA	-6.717	-17.213	-5.118
θB	5.652	16.148	4.053
MAB (kN・m/m)	-25.660	-36.157	-27.099
MAD (kN・m/m)	25.660	36.157	27.099
MBA (kN・m/m)	19.513	30.010	20.952
MBC (kN・m/m)	-19.513	-30.010	-20.952

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。

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

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

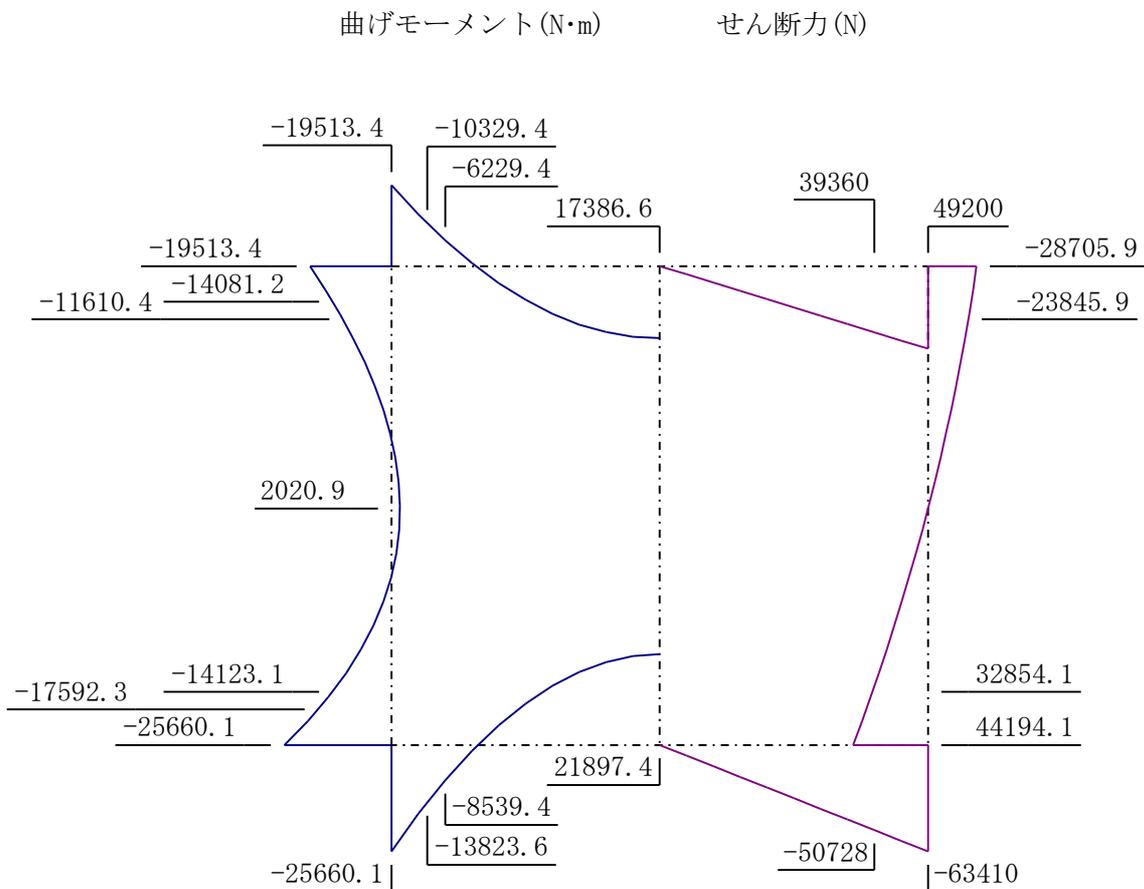
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	49.200	89.086	49.200
SCB (kN/m)	-49.200	-89.086	-49.200
Mmax (kN・m/m)	17.387	36.805	15.948
SAD (kN/m)	63.410	103.296	63.410
SDA (kN/m)	-63.410	-103.296	-63.410
Mmax (kN・m/m)	21.897	41.316	20.459
SAB (kN/m)	44.194	44.194	50.944
SBA (kN/m)	-28.706	-28.706	-35.456
x (m)	1.333	1.333	*****
	1.336	*****	1.336
Mmax (kN・m/m)	2.021	-8.476	*****
Mmax (kN・m/m)	2.021	*****	5.138

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。

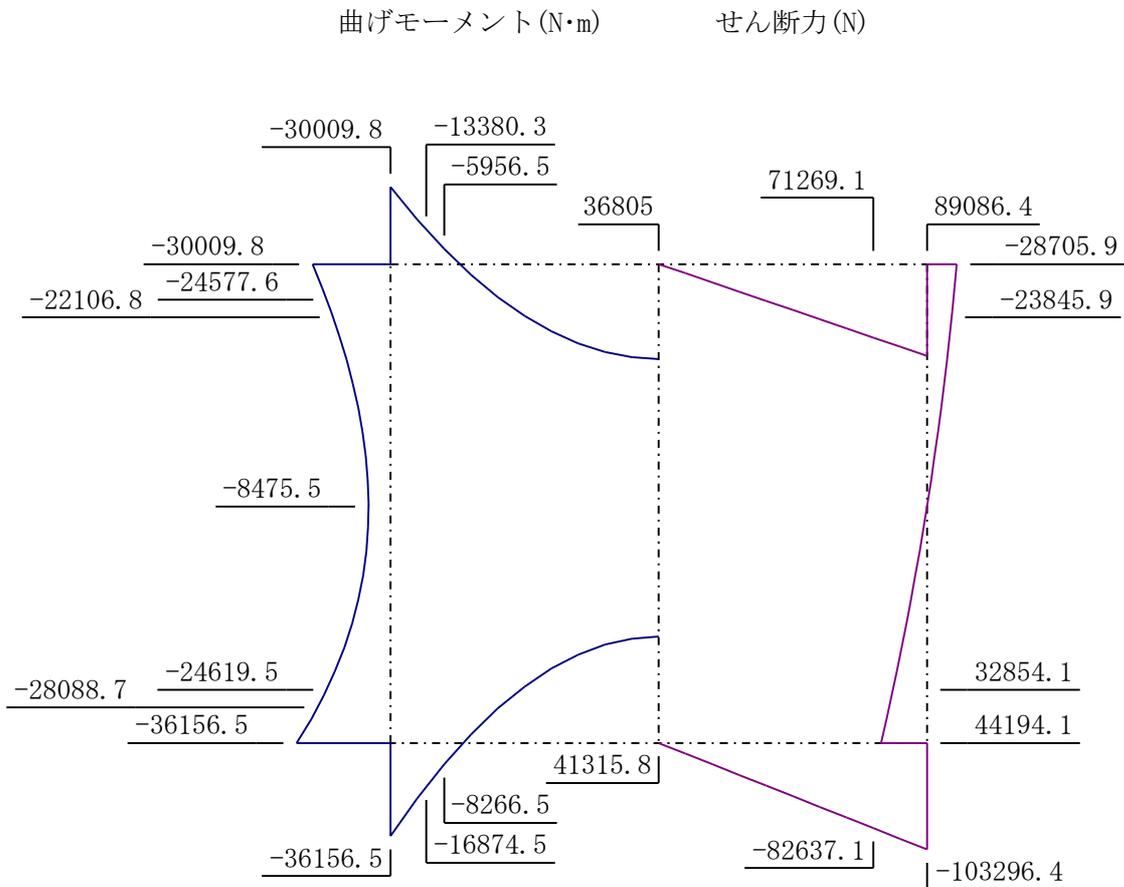
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	[/ 単位長]	
				せん断力 S (N)	軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.100	-19513	49200	28706
	2 ハッチ始点	0.300	-10329	***	28706
	S2 τ点	0.300	-6229	39360	28706
	1 中央	1.500	17387	0	28706
底版	9, S9 端部	0.100	-25660	63410	44194
	10 ハッチ始点	0.300	-13824	***	44194
	S10 τ点	0.300	-8539	50728	44194
	11 中央	1.500	21897	0	44194
側壁	4, S4 上端部	2.600	-19513	-28706	49200
	5 上ハッチ点	2.400	-14081	***	50253
	S5 上τ点	2.400	-11610	-23846	50779
	6 中間	1.333	2021	*****	56395
		1.336	2021	*****	56379
	S7 下τ点	0.300	-14123	32854	61831
	7 下ハッチ点	0.300	-17592	***	62357
	8, S8 下端部	0.100	-25660	44194	63410



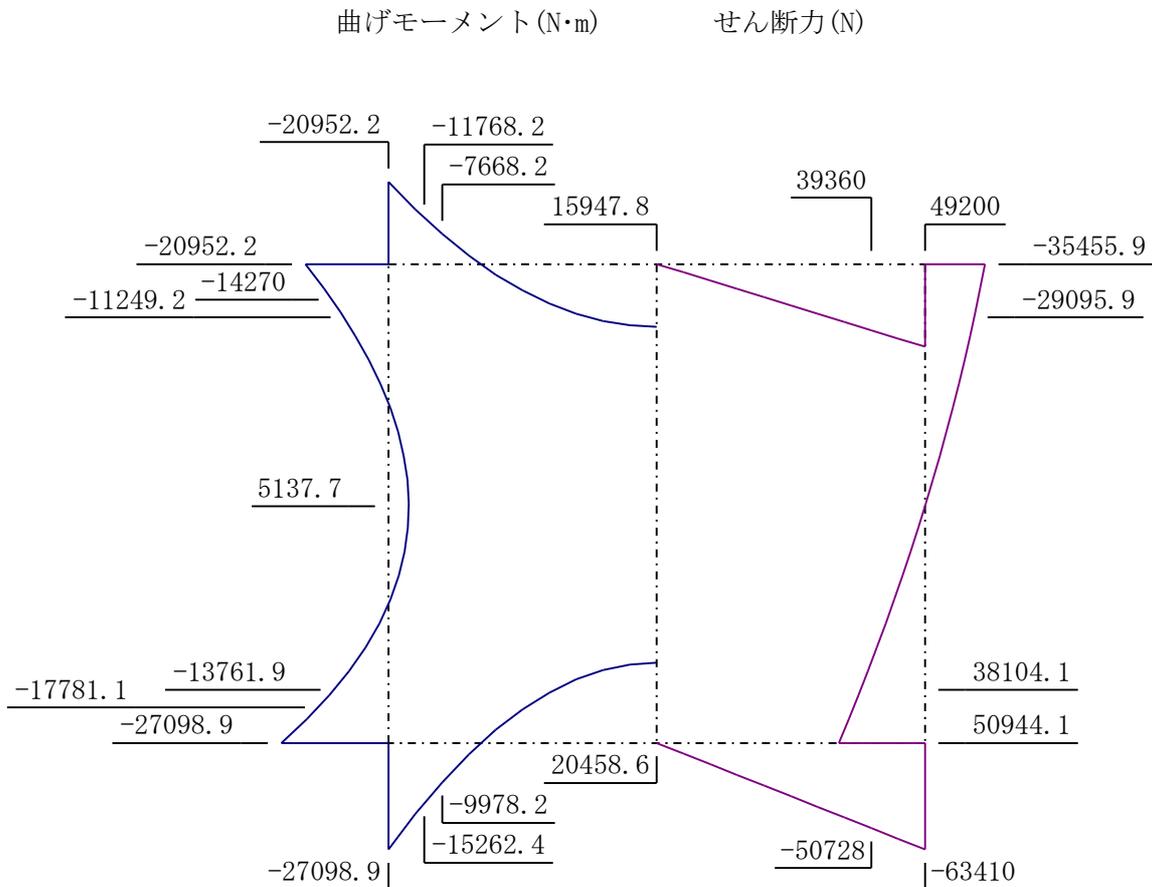
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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	0.100	-30010	89086	28706
	2 ハチ始点	0.300	-13380	***	28706
	S2 τ点	0.300	***	71269	***
	1 中央	1.500	36805	0	28706
底版	9, S9 端部	0.100	-36157	103296	44194
	10 ハチ始点	0.300	-16875	***	44194
	S10 τ点	0.300	***	82637	***
	11 中央	1.500	41316	0	44194
側壁	4, S4 上端部	2.600	-30010	-28706	89086
	5 上ハチ点	2.400	-24578	***	90139
	S5 上τ点	2.400	***	-23846	***
	6 中間	1.333	-8476	0	96281
	S7 下τ点	0.300	***	32854	***
	7 下ハチ点	0.300	-28089	***	102244
	8, S8 下端部	0.100	-36157	44194	103296



(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	0.100	-20952	49200	35456
	2 ハッチ始点	0.300	-11768	***	35456
	S2 τ点	0.300	***	39360	***
	1 中央	1.500	15948	0	35456
底版	9, S9 端部	0.100	-27099	63410	50944
	10 ハッチ始点	0.300	-15262	***	50944
	S10 τ点	0.300	***	50728	***
	11 中央	1.500	20459	0	50944
側壁	4, S4 上端部	2.600	-20952	-35456	49200
	5 上ハッチ点	2.400	-14270	***	50253
	S5 上τ点	2.400	***	-29096	***
	6 中間	1.336	5138	0	56379
	S7 下τ点	0.300	***	38104	*****
	7 下ハッチ点	0.300	-17781	***	62357
	8, S8 下端部	0.100	-27099	50944	63410



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 引張応力の作用する コンクリート面積の 0.5%	(cm^2)
	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	26.67	2666.7	158024.69	13.33	11851.85
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
中央	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67

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	φ23	3.00	4.155	350000	2.83	外側
ハチ始点	φ23	3.00	4.155	350000	-0.50	外側
τ点	φ23	3.00	4.155	350000	-0.50	外側
中央	φ23	3.00	4.155	350000	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	842.36	4.47	-0.35	98.85	25.27	718.24	0.853	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.08	115.99	25.27	701.10	0.832	3
τ点	842.36	5.29	0.05	115.53	25.27	701.55	0.833	3
中央	842.36	5.29	-0.13	112.92	25.27	704.17	0.836	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.47	-0.35	98.85	25.27	718.24	0.853	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.08	115.99	25.27	701.10	0.832	3
τ点	842.36	5.29	0.05	115.53	25.27	701.55	0.833	3
中央	842.36	5.29	-0.13	112.92	25.27	704.17	0.836	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.47	-0.35	98.85	25.27	718.24	0.853	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.04	115.47	25.27	701.61	0.833	1
τ点	842.36	5.29	0.03	115.27	25.27	701.82	0.833	1
中央	842.36	5.29	-0.05	114.09	25.27	703.00	0.835	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.47	-0.35	98.85	25.27	718.24	0.853	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.04	115.47	25.27	701.61	0.833	1
τ点	842.36	5.29	0.03	115.27	25.27	701.82	0.833	1
中央	842.36	5.29	-0.05	114.09	25.27	703.00	0.835	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	1.65	0.11	1.22	2.97	3
ハチ始点	1.55	0.14	5.03	6.72	3
中央	2.61	0.14	3.73	6.48	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-1.65	0.11	5.50	3.96	3
ハチ始点	-1.55	0.14	3.71	2.31	3
中央	-2.61	0.14	5.05	2.58	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	2.53	0.11	1.22	3.86	3
ハチ始点	2.12	0.10	5.03	7.25	1
中央	6.14	0.10	3.72	9.96	1
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-2.53	0.11	5.50	3.07	3
ハチ始点	-2.12	0.10	3.72	1.69	1
中央	-6.14	0.10	5.04	-1.00	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	-40.513	2.22	4.78	8.5	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-19.101	0.98	8.02	2.2	0.0	0.000	0.000	1
中央	55.218	-3.12	12.14	4.1	63.6	3.977	2.043	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 16	— 6	D 13	— 6	9.759 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	8889	28.706	89.086	895.28	3.46	0.50	-0.071	3
τ 点	100.0	5000	28.706	71.269	874.48	4.52	0.53	-0.062	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	-9.818	-16.984	-55.223	-45.563	-55.223	1
ハチ始点	-5.674	-8.475	-28.563	-24.053	-28.563	1
中央	6.832	34.071	94.058	69.534	94.058	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	12.465	4.280	16.2	23.2	0.069	0.008	169.45	3.1	1
ハチ始点	12.465	4.280	9.5	16.5	0.069	0.014	94.49	3.3	1
中央	12.465	9.759	10.5	16.5	0.069	0.014	130.16	1.4	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	26.67	2666.7	158024.69	13.33	11851.85
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
中央	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67

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	φ23	3.00	4.155	350000	2.83	外側
ハチ始点	φ23	3.00	4.155	350000	-0.50	外側
τ点	φ23	3.00	4.155	350000	-0.50	外側
中央	φ23	3.00	4.155	350000	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	842.36	4.47	-0.46	97.20	25.27	719.89	0.855	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.10	116.38	25.27	700.71	0.832	3
τ点	842.36	5.29	0.06	115.79	25.27	701.30	0.833	3
中央	842.36	5.29	-0.16	112.42	25.27	704.67	0.837	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.47	-0.46	97.20	25.27	719.89	0.855	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.10	116.38	25.27	700.71	0.832	3
τ点	842.36	5.29	0.06	115.79	25.27	701.30	0.833	3
中央	842.36	5.29	-0.16	112.42	25.27	704.67	0.837	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.47	-0.46	97.20	25.27	719.89	0.855	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.10	116.38	25.27	700.71	0.832	3
τ点	842.36	5.29	0.06	115.79	25.27	701.30	0.833	4
中央	842.36	5.29	-0.16	112.42	25.27	704.67	0.837	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.47	-0.46	97.20	25.27	719.89	0.855	3
ハチ始点	842.36	5.29	0.10	116.38	25.27	700.71	0.832	3
τ点	842.36	5.29	0.06	115.79	25.27	701.30	0.833	4
中央	842.36	5.29	-0.16	112.42	25.27	704.67	0.837	3

5.2.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 σ_m (N/mm ²)	N/A _c (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	2.17	0.17	1.22	3.55	3
ハチ始点	2.07	0.22	5.02	7.32	3
中 央	3.28	0.22	3.73	7.24	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.17	0.17	5.51	3.51	3
ハチ始点	-2.07	0.22	3.71	1.86	3
中 央	-3.28	0.22	5.05	1.99	3
			$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	3.05	0.17	1.22	4.44	3
ハチ始点	2.53	0.22	5.02	7.77	3
中 央	6.20	0.22	3.73	10.15	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-3.05	0.17	5.51	2.63	3
ハチ始点	-2.53	0.22	3.71	1.40	3
中 央	-6.20	0.22	5.05	-0.93	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	-48.811	1.62	5.56	6.0	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-22.781	0.59	8.74	1.3	0.0	0.000	0.000	3
中央	55.776	-3.02	12.40	3.9	59.1	3.692	1.957	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 16	— 6	D 13	— 6	9.759 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	8889	44.194	103.296	897.34	3.53	0.58	-0.093	3
τ 点	100.0	5000	44.194	82.637	874.17	4.59	0.62	-0.082	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	-25.660	-10.496	-59.599	-61.466	-61.466	3
ハチ始点	-13.824	-3.051	-25.598	-28.687	-28.687	3
中央	21.897	19.418	77.013	70.237	77.013	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	12.465	4.280	16.2	23.2	0.069	0.008	169.45	2.8	3
ハチ始点	12.465	4.280	9.5	16.5	0.069	0.014	94.49	3.3	3
中央	12.465	9.759	10.5	16.5	0.069	0.014	130.16	1.7	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	-30.010	89.086	33.69	9.83	38.770	3
	上ハチ点	-23.111	65.798	35.12	6.50	27.388	1
側壁	中 間	6.633	29.410	22.55	6.50	8.545	2
	下ハチ点	-28.089	102.244	27.47	6.50	34.735	3
	下端部	-36.157	103.296	35.00	9.83	46.314	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	38.770	10.97	14.47	26.67	6.144
	上ハチ点	27.388	9.22	12.72	20.00	7.714
側壁	中 間	8.545	5.15	8.65	20.00	1.657
	下ハチ点	34.735	10.38	13.88	20.00	8.823
	下端部	46.314	11.99	15.49	26.67	7.667
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 10 - 12	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	8.848	4.33	105.2	0.0
	上ハンチ点	100.00	9.759	6.633	5.78	129.0	0.0
	中間	100.00	4.280	5.378	2.16	67.0	0.0
	下ハンチ点	100.00	9.759	6.935	7.06	146.1	0.0
	下端部	100.00	9.759	8.767	5.22	128.6	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	60.306	17.760	71.269	39.360				
	M			-5.957					
	N			28.706					
	最大			○					
底版 τ点	S	63.164	29.128	82.637	50.728				
	M			-8.267					
	N			44.194					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-16.941	-19.646	-23.846	-29.096				
	M				-11.249				
	N				50.779				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	20.859	28.654	32.854	38.104				
	M				-13.762				
	N				61.831				
	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	20.0	3.5	16.5	1.400	D10-6	4.280	0.259	0.959
底版 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D10-6	4.280	0.259	0.959
側壁上 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D16-3 D13-3	9.759	0.591	1.255
側壁下 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D16-3 D13-3	9.759	0.591	1.255

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	-5.956	874.5	28.706	0.200	0.00667	-0.01	30.122	2.000
底版 τ 点	-8.266	874.2	44.194	0.200	0.00667	-0.01	30.628	2.000
側壁上 τ 点	-11.249	0.0	50.779	0.200	0.00667	0.00	1.693	1.151
側壁下 τ 点	-13.762	0.0	61.831	0.200	0.00667	0.00	2.062	1.150

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	0.959	2.000	0.725
底版 τ 点	0.270	1.400	0.959	2.000	0.725
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.255	1.151	0.546
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.255	1.150	0.545

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	71.269	16.5	0.432	0.725
底版 τ 点	82.637	16.5	0.501	0.725
側壁上 τ 点	29.096	16.5	0.176	0.546
側壁下 τ 点	38.104	16.5	0.231	0.545

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上