

受付 No.

台帳 No. PS404000



CY-SYSTEM (PC)

パワーボックスカルバート

設 計 計 算 書



○内空寸法： 内 幅 (B) 4500 mm
内 高 (H) 1550 mm
長 さ (L) 1000 mm

○設計条件： 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 0.200 m
H2= 1.500 m

千 葉 窯 業 株 式 会 社

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) 4500 × (H) 1550 × (L) 1000 [mm]
土被り	: H1 = 0.200 ~ 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) 40 mm 40 mm 40 mm
: (外側) 40 mm 40 mm 40 mm1.7 断面力低減係数 (土被り H1) : $\beta = 1.0$ (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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

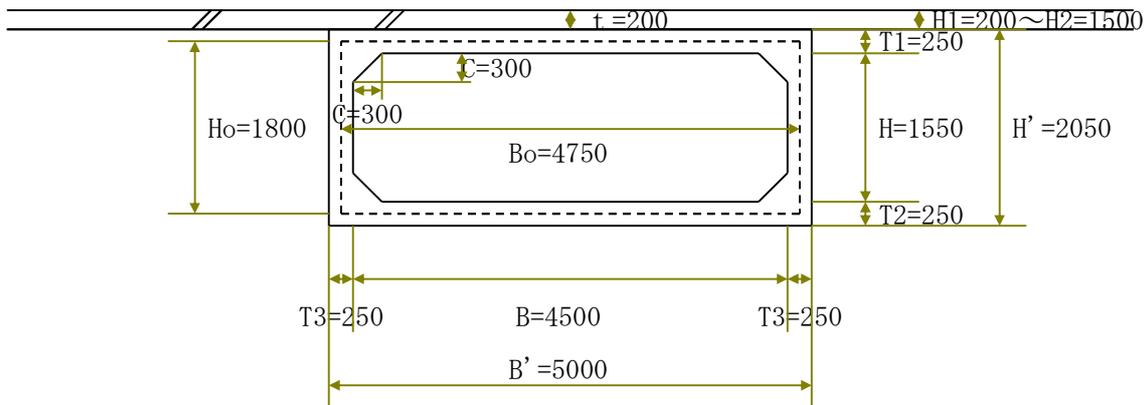
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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

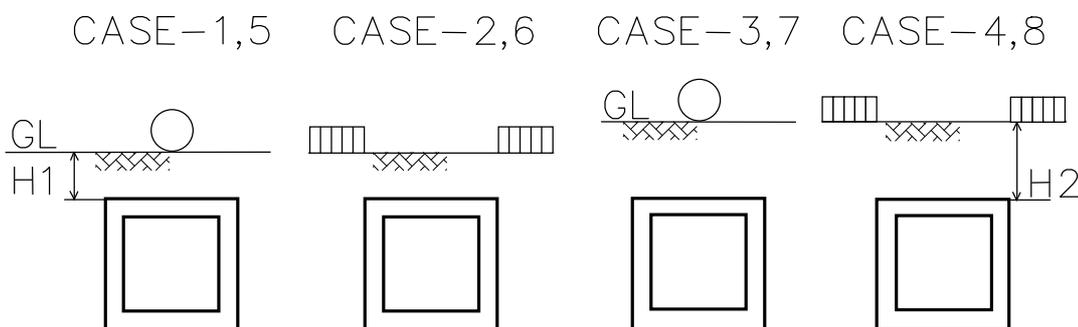
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 32$	$\phi 32$	*****	(mm)
断面積	804.20	804.20	*****	(mm ²)
設計引張力	690000	690000	*****	(N)

1.11 標準断面図



[単位: mm]

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

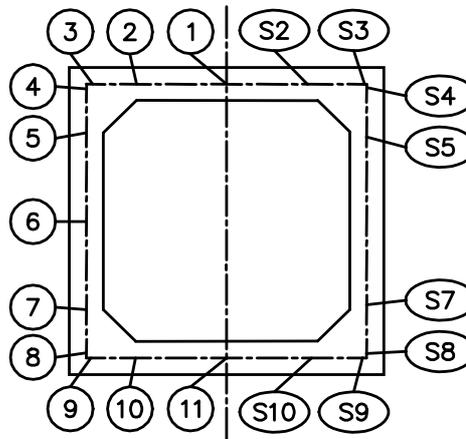
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

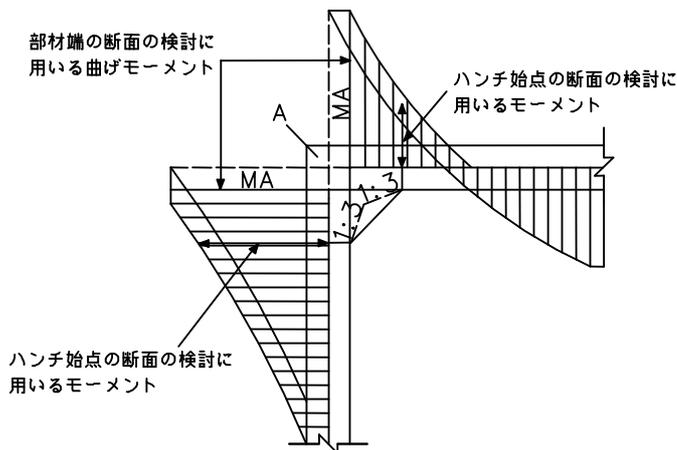
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

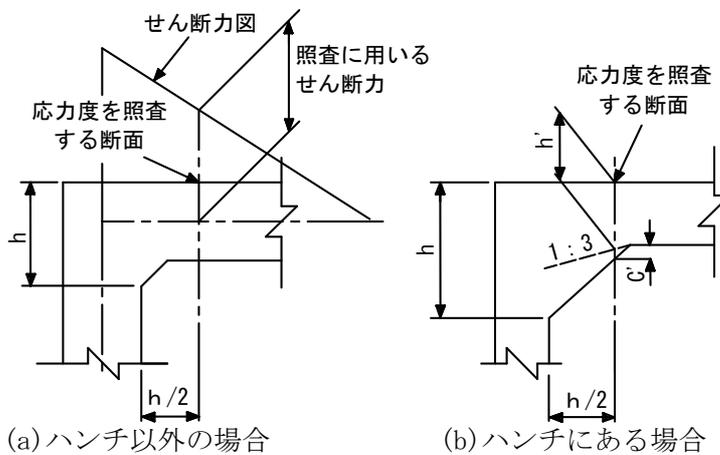
せん断力



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

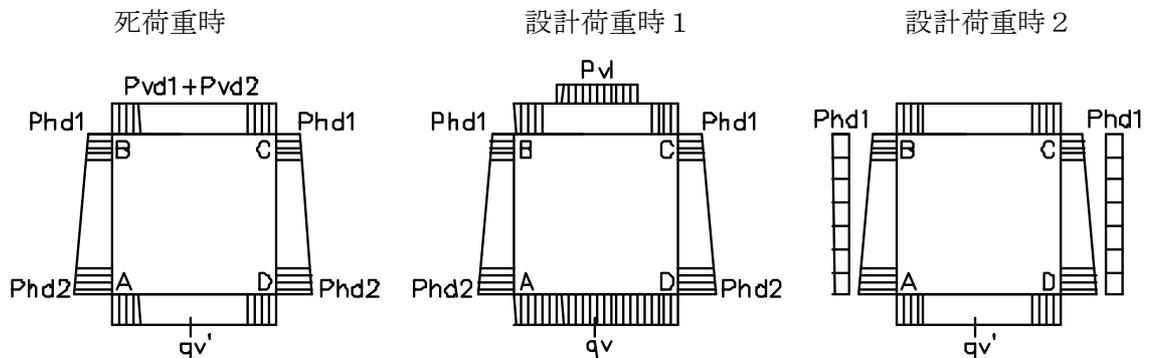
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

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 $u = a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 130.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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)
Pvd1	6.125	6.125	6.125
Pvd2	4.500	4.500	4.500
Phd1 = Phd1	3.375	3.375	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	8.375
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	19.575	19.575	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	24.575
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	157.576	0.000
qv	*****	36.100	*****
qv'	16.196	*****	16.196

注) qv'は、Pv1 = 0 とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

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

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

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）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.3789	0.3789	0.3789
β	0.3789	0.3789	0.3789
N1	2.3789	2.3789	2.3789
N2	2.3789	2.3789	2.3789
CAD (kN・m/m)	30.451	67.875	30.451
CBC (kN・m/m)	19.977	75.815	19.977
CAB (kN・m/m)	3.536	3.536	4.886
CBA (kN・m/m)	2.661	2.661	4.011
θ_A	-17.459	-48.550	-16.480
θ_B	14.618	51.159	13.639
MAB (kN・m/m)	-23.835	-49.477	-24.206
MAD (kN・m/m)	23.835	49.477	24.206
MBA (kN・m/m)	14.438	56.428	14.809
MBC (kN・m/m)	-14.438	-56.428	-14.809

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。

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

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

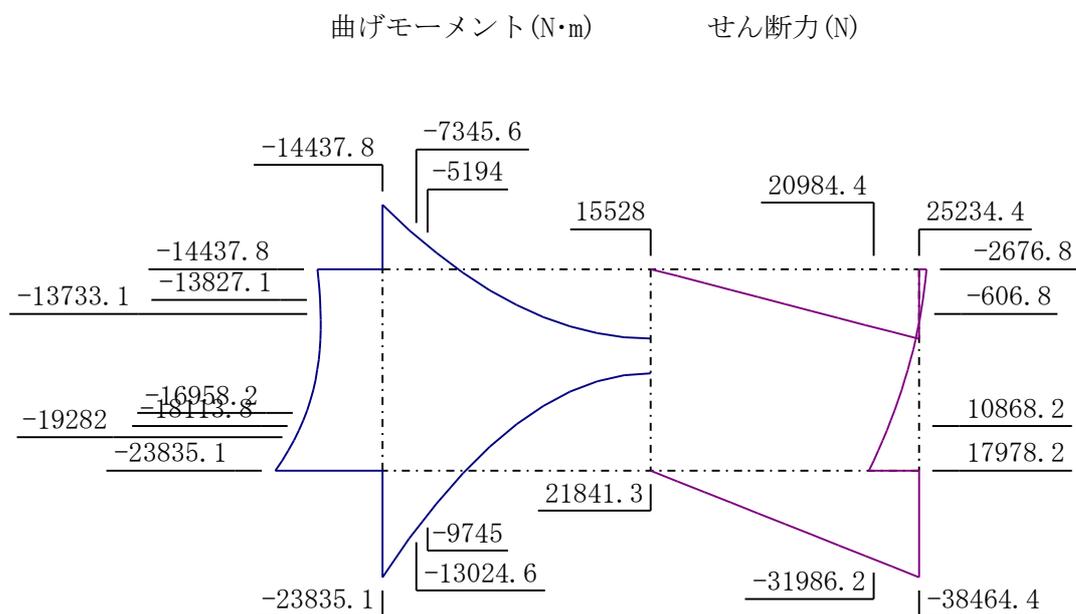
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	25.234	72.507	25.234
S CB (kN/m)	-25.234	-72.507	-25.234
Mmax (kN・m/m)	15.528	78.719	15.157
S AD (kN/m)	38.464	85.737	38.464
S DA (kN/m)	-38.464	-85.737	-38.464
Mmax (kN・m/m)	21.841	52.336	21.470
S AB (kN/m)	17.978	8.896	22.478
S BA (kN/m)	-2.677	-11.759	-7.177
x (m)	0.516	0.516	*****
	1.162	*****	1.162
Mmax (kN・m/m)	-16.958	-47.287	*****
Mmax (kN・m/m)	-13.806	*****	-12.324

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。

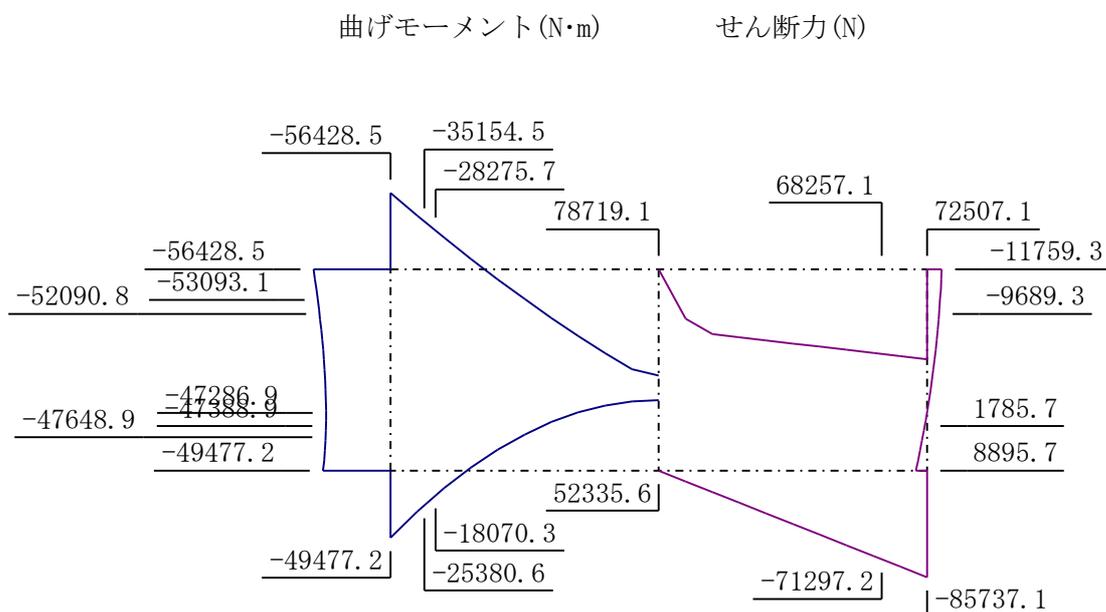
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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	0.125	-14438	25234	2677
	2 ハッチ始点	0.425	-7346	***	2677
	S2 τ点	0.400	-5194	20984	2677
	1 中央	2.375	15528	0	2677
底版	9, S9 端部	0.125	-23835	38464	17978
	10 ハッチ始点	0.425	-13025	***	17978
	S10 τ点	0.400	-9745	31986	17978
	11 中央	2.375	21841	0	17978
側壁	4, S4 上端部	1.675	-14438	-2677	25234
	5 上ハッチ点	1.375	-13827	***	27439
	S5 上τ点	1.400	-13733	-607	28174
	6 中間	0.516	-16958	*****	34672
		1.162	-13806	*****	29924
	S7 下τ点	0.400	-18114	10868	35524
	7 下ハッチ点	0.425	-19282	***	36259
	8, S8 下端部	0.125	-23835	17978	38464



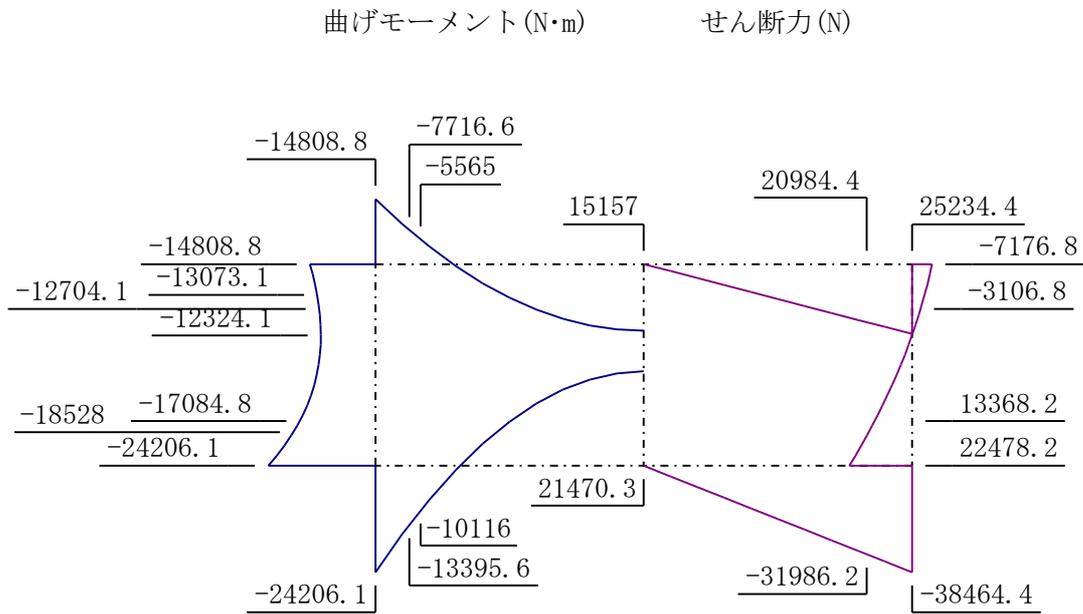
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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	0.125	-56429	72507	11759
	2 ハッチ始点	0.425	-35155	***	11759
	S2 τ点	0.400	-28276	68257	11759
	1 中央	2.375	78719	0	11759
底版	9, S9 端部	0.125	-49477	85737	8896
	10 ハッチ始点	0.425	-25381	***	8896
	S10 τ点	0.400	-18070	71297	8896
	11 中央	2.375	52336	0	8896
側壁	4, S4 上端部	1.675	-56429	-11759	72507
	5 上ハッチ点	1.375	-53093	***	74712
	S5 上τ点	1.400	-52091	-9689	75447
	6 中間	0.516	-47287	0	81945
	S7 下τ点	0.400	-47389	1786	82797
	7 下ハッチ点	0.425	-47649	***	83532
	8, S8 下端部	0.125	-49477	8896	85737



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

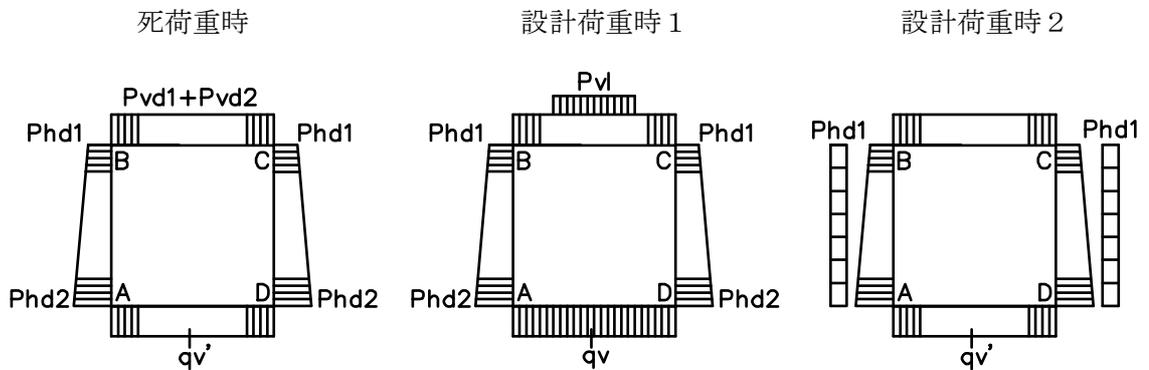
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.125	-14809	25234	7177
	2 ハッチ始点	0.425	-7717	***	7177
	S2 τ点	0.400	-5565	20984	7177
	1 中央	2.375	15157	0	7177
底版	9, S9 端部	0.125	-24206	38464	22478
	10 ハッチ始点	0.425	-13396	***	22478
	S10 τ点	0.400	-10116	31986	22478
	11 中央	2.375	21470	0	22478
側壁	4, S4 上端部	1.675	-14809	-7177	25234
	5 上ハッチ点	1.375	-13073	***	27439
	S5 上τ点	1.400	-12704	-3107	28174
	6 中間	1.162	-12324	0	29924
	S7 下τ点	0.400	-17085	13368	35524
	7 下ハッチ点	0.425	-18528	***	36259
	8, S8 下端部	0.125	-24206	22478	38464



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 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o$



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-3 (kN/m ²)	設計荷重時 2 CASE-4 (kN/m ²)
P_{vd1}	6.125	6.125	6.125
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	15.075	15.075	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	20.075
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	31.275	31.275	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	36.275
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	57.509	*****
$q_{v'}$	39.596	*****	39.596

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

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

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

計算値	死荷重時	設計荷重時1 CASE-3	設計荷重時2 CASE-4
α	0.3789	0.3789	0.3789
β	0.3789	0.3789	0.3789
N1	2.3789	2.3789	2.3789
N2	2.3789	2.3789	2.3789
CAD (kN・m/m)	74.448	108.130	74.448
CBC (kN・m/m)	63.974	106.854	63.974
CAB (kN・m/m)	6.695	6.695	8.045
CBA (kN・m/m)	5.820	5.820	7.170
θ_A	-47.074	-73.474	-46.095
θ_B	44.233	73.355	43.254
MAB (kN・m/m)	-56.609	-80.287	-56.980
MAD (kN・m/m)	56.609	80.287	56.980
MBA (kN・m/m)	47.212	79.056	47.583
MBC (kN・m/m)	-47.212	-79.056	-47.583

3.2.3 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。

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

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

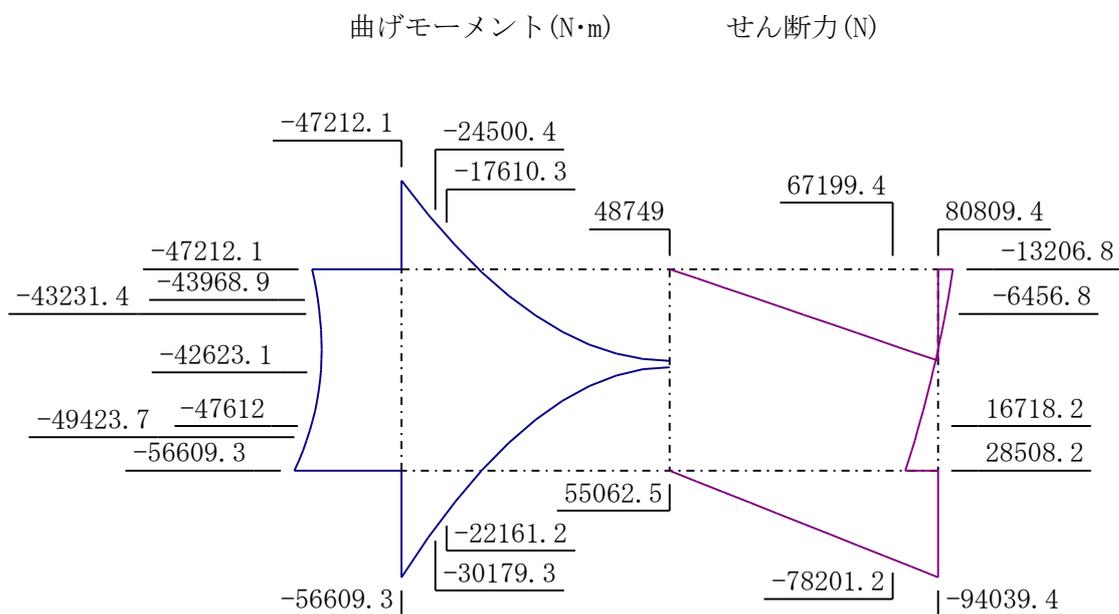
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	80.809	123.355	80.809
SCB (kN/m)	-80.809	-123.355	-80.809
Mmax (kN・m/m)	48.749	83.914	48.378
SAD (kN/m)	94.039	136.585	94.039
SDA (kN/m)	-94.039	-136.585	-94.039
Mmax (kN・m/m)	55.063	81.907	54.691
SAB (kN/m)	28.508	23.971	33.008
SBA (kN/m)	-13.207	-17.744	-17.707
x (m)	0.877	0.877	*****
	1.046	*****	1.046
Mmax (kN・m/m)	-42.623	-70.279	*****
Mmax (kN・m/m)	-42.182	*****	-40.582

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。

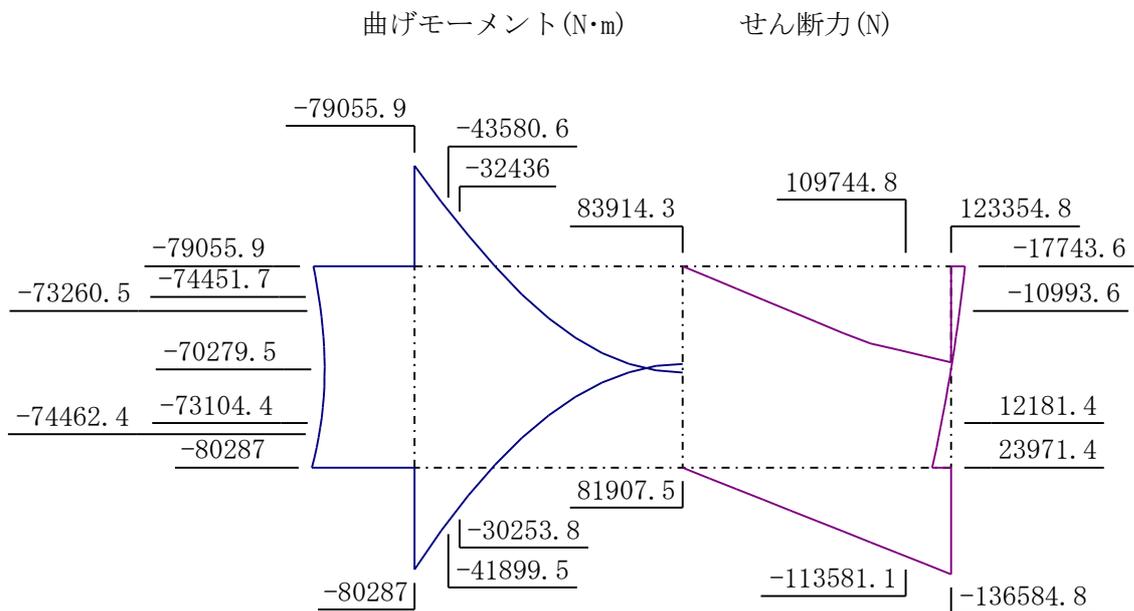
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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	0.125	-47212	80809	13207
	2 ハッチ始点	0.425	-24500	***	13207
	S2 τ点	0.400	-17610	67199	13207
	1 中央	2.375	48749	0	13207
底版	9, S9 端部	0.125	-56609	94039	28508
	10 ハッチ始点	0.425	-30179	***	28508
	S10 τ点	0.400	-22161	78201	28508
	11 中央	2.375	55063	0	28508
側壁	4, S4 上端部	1.675	-47212	-13207	80809
	5 上ハッチ点	1.375	-43969	***	83014
	S5 上τ点	1.400	-43231	-6457	83749
	6 中間	0.877	-42623	*****	87593
		1.046	-42182	*****	86351
	S7 下τ点	0.400	-47612	16718	91099
	7 下ハッチ点	0.425	-49424	***	91834
	8, S8 下端部	0.125	-56609	28508	94039



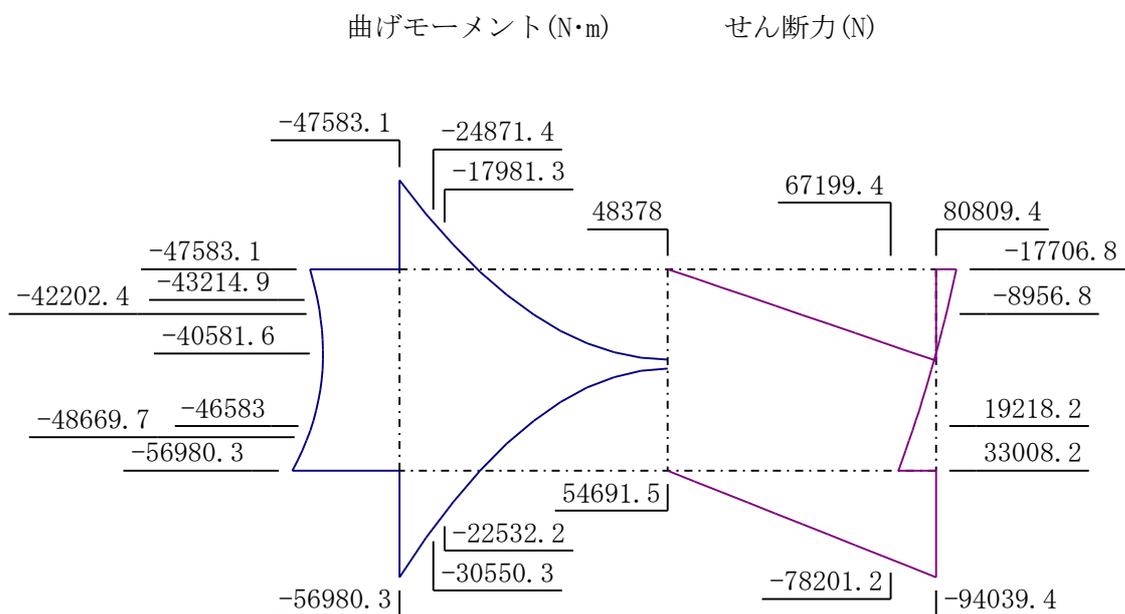
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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	0.125	-79056	123355	17744
	2 ハッチ始点	0.425	-43581	***	17744
	S2 τ点	0.400	***	109745	***
	1 中央	2.375	83914	0	17744
底版	9, S9 端部	0.125	-80287	136585	23971
	10 ハッチ始点	0.425	-41900	***	23971
	S10 τ点	0.400	***	113581	***
	11 中央	2.375	81908	0	23971
側壁	4, S4 上端部	1.675	-79056	-17744	123355
	5 上ハッチ点	1.375	-74452	***	125560
	S5 上τ点	1.400	***	-10994	***
	6 中間	0.877	-70280	0	130139
	S7 下τ点	0.400	***	12181	***
	7 下ハッチ点	0.425	-74462	***	134380
	8, S8 下端部	0.125	-80287	23971	136585



(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	0.125	-47583	80809	17707
	2 ハッチ始点	0.425	-24871	***	17707
	S2 τ点	0.400	***	67199	***
	1 中央	2.375	48378	0	17707
底板	9, S9 端部	0.125	-56980	94039	33008
	10 ハッチ始点	0.425	-30550	***	33008
	S10 τ点	0.400	***	78201	***
	11 中央	2.375	54692	0	33008
側壁	4, S4 上端部	1.675	-47583	-17707	80809
	5 上ハッチ点	1.375	-43215	***	83014
	S5 上τ点	1.400	***	-8957	***
	6 中間	1.046	-40582	0	86351
	S7 下τ点	0.400	***	19218	*****
	7 下ハッチ点	0.425	-48670	***	91834
	8, S8 下端部	0.125	-56980	33008	94039



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)
	dp	: 圧縮縁からP C鋼棒図心迄の距離	(cm)
	ds	: 圧縮縁から鉄筋図心迄の距離	(cm)
	b	: 部材幅	(cm)
	Sf	: 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。

$$P_{pb} = 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sp}) \times \sigma_{ck} / (0.93 \times \sigma_{pud}) + 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s) \times \sigma_{ck} / \sigma_{syd}$$

$$P_{pd} = A_p / (b \times d_p) + A_s / (b \times d_s) \times \sigma_{syd} / (0.93 \times \sigma_{pud}) \times d_s / d_p < P_{pb}$$

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 / Es)

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	35.00	3500.0	357291.67	17.50	20416.67
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ点	100.00	25.83	2583.3	143112.60	12.92	11079.69
中央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

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	φ32	3.00	8.042	690000	3.00	外側
ハチ始点	φ32	3.00	8.042	690000	-2.00	外側
τ点	φ32	3.00	8.042	690000	-2.00	外側
中央	φ32	3.00	8.042	690000	2.00	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	858.00	6.44	-0.40	123.92	25.74	708.34	0.826	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.38	164.99	25.74	667.27	0.778	3
τ点	858.00	8.59	0.25	159.34	25.74	672.92	0.784	3
中央	858.00	8.92	-0.75	149.22	25.74	683.04	0.796	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	858.00	6.44	-0.40	123.92	25.74	708.34	0.826	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.38	164.99	25.74	667.27	0.778	3
τ点	858.00	8.59	0.25	159.34	25.74	672.92	0.784	3
中央	858.00	8.92	-0.75	149.22	25.74	683.04	0.796	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	858.00	6.44	-0.40	123.92	25.74	708.34	0.826	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.38	164.99	25.74	667.27	0.778	3
τ点	858.00	8.59	0.25	159.34	25.74	672.92	0.784	3
中央	858.00	8.92	-0.75	149.22	25.74	683.04	0.796	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	858.00	6.44	-0.40	123.92	25.74	708.34	0.826	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.38	164.99	25.74	667.27	0.778	3
τ点	858.00	8.59	0.25	159.34	25.74	672.92	0.784	3
中央	858.00	8.92	-0.75	149.22	25.74	683.04	0.796	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	2.31	0.04	2.37	4.72	3
ハチ始点	2.35	0.05	9.53	11.94	3
中央	4.68	0.05	3.43	8.16	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.31	0.04	7.39	5.12	3
ハチ始点	-2.35	0.05	3.35	1.05	3
中央	-4.68	0.05	9.76	5.13	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	3.87	0.05	2.37	6.29	3
ハチ始点	4.18	0.07	9.53	13.79	3
中央	8.06	0.07	3.43	11.55	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-3.87	0.05	7.39	3.57	3
ハチ始点	-4.18	0.07	3.35	-0.76	3
中央	-8.06	0.07	9.76	1.77	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	-106.725	2.23	7.67	7.9	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-58.834	-2.20	15.27	3.2	34.7	2.171	1.576	3
中央	113.284	-1.02	14.40	1.7	8.5	0.531	0.830	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 16	— 6	D 0	— 0	11.916 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 16	— 6	D 0	— 0	11.916 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	15312	17.744	123.355	1708.95	4.93	0.53	-0.056	3
τ 点	100.0	8342	17.744	109.745	1623.48	6.35	0.64	-0.063	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	-47.212	-31.844	-140.985	-134.395	-140.985	3
ハチ始点	-24.500	-19.080	-79.551	-74.087	-79.551	3
中央	15.528	63.191	178.164	133.822	178.164	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	24.126	11.916	20.5	31.0	0.069	0.013	424.78	3.0	3
ハチ始点	24.126	11.916	10.5	21.0	0.069	0.026	196.44	2.5	3
中央	24.126	11.916	14.5	21.0	0.069	0.019	273.72	1.5	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	35.00	3500.0	357291.67	17.50	20416.67
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ点	100.00	25.83	2583.3	143112.60	12.92	11079.69
中央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

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	φ32	3.00	8.042	690000	3.00	外側
ハチ始点	φ32	3.00	8.042	690000	-2.00	外側
τ点	φ32	3.00	8.042	690000	-2.00	外側
中央	φ32	3.00	8.042	690000	2.00	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	858.00	6.44	-0.48	122.77	25.74	709.49	0.827	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.46	166.21	25.74	666.05	0.776	3
τ点	858.00	8.59	0.31	160.25	25.74	672.00	0.783	3
中央	858.00	8.92	-0.85	147.86	25.74	684.40	0.798	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	858.00	6.44	-0.48	122.77	25.74	709.49	0.827	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.46	166.21	25.74	666.05	0.776	3
τ点	858.00	8.59	0.31	160.25	25.74	672.00	0.783	3
中央	858.00	8.92	-0.85	147.86	25.74	684.40	0.798	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	858.00	6.44	-0.48	122.77	25.74	709.49	0.827	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.46	166.21	25.74	666.05	0.776	3
τ点	858.00	8.59	0.31	160.27	25.74	671.98	0.783	3
中央	858.00	8.92	-0.85	147.86	25.74	684.40	0.798	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	858.00	6.44	-0.48	122.77	25.74	709.49	0.827	3
ハチ始点	858.00	8.92	0.46	166.21	25.74	666.05	0.776	3
τ点	858.00	8.59	0.31	160.27	25.74	671.98	0.783	3
中央	858.00	8.92	-0.85	147.86	25.74	684.40	0.798	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	2.77	0.08	2.38	5.23	3
ハチ始点	2.90	0.11	9.51	12.52	3
中央	5.29	0.11	3.43	8.83	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.77	0.08	7.41	4.71	3
ハチ始点	-2.90	0.11	3.34	0.56	3
中央	-5.29	0.11	9.77	4.60	3
			$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	3.93	0.07	2.38	6.38	3
ハチ始点	4.02	0.10	9.51	13.63	3
中央	7.86	0.10	3.43	11.39	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-3.93	0.07	7.41	3.54	3
ハチ始点	-4.02	0.10	3.34	-0.58	3
中央	-7.86	0.10	9.77	2.01	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	-108.387	2.19	7.78	7.7	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-56.564	-1.96	15.07	2.9	28.1	1.759	1.437	3
中央	110.575	-0.71	14.18	1.2	4.2	0.265	0.597	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 16	— 6	D 0	— 0	11.916 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 16	— 6	D 0	— 0	11.916 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	15312	23.971	136.585	1711.70	4.96	0.59	-0.068	3
τ 点	100.0	8342	23.971	113.581	1621.27	6.37	0.66	-0.068	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	-56.609	-23.678	-132.786	-136.488	-136.488	3
ハチ始点	-30.179	-11.720	-68.534	-71.229	-71.229	3
中央	55.063	26.845	138.694	139.243	139.243	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	24.126	11.916	20.5	31.0	0.069	0.013	424.78	3.1	3
ハチ始点	24.126	11.916	10.5	21.0	0.069	0.026	196.44	2.8	3
中央	24.126	11.916	14.5	21.0	0.069	0.019	273.72	2.0	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	-79.056	123.355	64.09	13.50	95.709	3
	上ハチ点	-74.452	125.560	59.30	8.50	85.124	3
側壁	中 間	-70.279	130.139	54.00	8.50	81.341	3
	下ハチ点	-74.462	134.380	55.41	8.50	85.885	3
	下端部	-80.287	136.585	58.78	13.50	98.726	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	95.709	17.24	21.24	35.00	14.276
	上ハチ点	85.124	16.26	20.26	25.00	22.254
側壁	中 間	81.341	15.89	19.89	25.00	20.540
	下ハチ点	85.885	16.33	20.33	25.00	21.991
	下端部	98.726	17.51	21.51	35.00	14.183
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 22 - 6
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	23.226	13.576	5.33	102.5	0.0
	上ハンチ点	100.00	23.226	10.121	9.54	153.9	0.0
	中間	100.00	23.226	10.223	9.05	143.0	0.0
	下ハンチ点	100.00	23.226	10.194	9.57	152.2	0.0
	下端部	100.00	23.226	13.759	5.43	102.1	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	68.257	20.984	109.745	67.199				
	M			-32.436					
	N			17.744					
	最大			○					
底版 τ点	S	71.297	31.986	113.581	78.201				
	M			-30.254					
	N			23.971					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-9.689	-3.107	-10.994	-8.957				
	M			-73.260					
	N			126.295					
	最大			○					
側壁下 τ点	S	1.786	13.368	12.181	19.218				
	M				-46.583				
	N				91.099				
	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	25.8	4.0	21.8	1.400	D16-6	11.916	0.546	1.228
底版 τ 点	25.8	4.0	21.8	1.400	D16-6	11.916	0.546	1.228
側壁上 τ 点	25.8	4.0	21.8	1.400	D22-6	23.226	1.064	1.500
側壁下 τ 点	25.8	4.0	21.8	1.400	D22-6	23.226	1.064	1.500

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	-32.436	1623.5	17.744	0.258	0.01108	-0.02	38.014	2.000
底版 τ 点	-30.254	1621.3	23.971	0.258	0.01108	-0.02	38.231	2.000
側壁上 τ 点	-73.260	0.0	126.295	0.258	0.01108	0.00	5.424	1.074
側壁下 τ 点	-46.583	0.0	91.099	0.258	0.01108	0.00	3.912	1.084

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	1.228	2.000	0.928
底版 τ 点	0.270	1.400	1.228	2.000	0.928
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.500	1.074	0.609
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.500	1.084	0.615

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	109.745	21.8	0.503	0.928
底版 τ 点	113.581	21.8	0.520	0.928
側壁上 τ 点	10.994	21.8	0.050	0.609
側壁下 τ 点	19.218	21.8	0.088	0.615

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上