

受付 No.

台帳 No. PM407000



C Y - S Y S T E M (P C)

パワ-ボックスカルバ-ト

設 計 計 算 書



○内空寸法： 内 幅 (B) 3000 mm
内 高 (H) 1800 mm
長 さ (L) 1500 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) 3000 × (H) 1800 × (L) 1500 [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) 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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

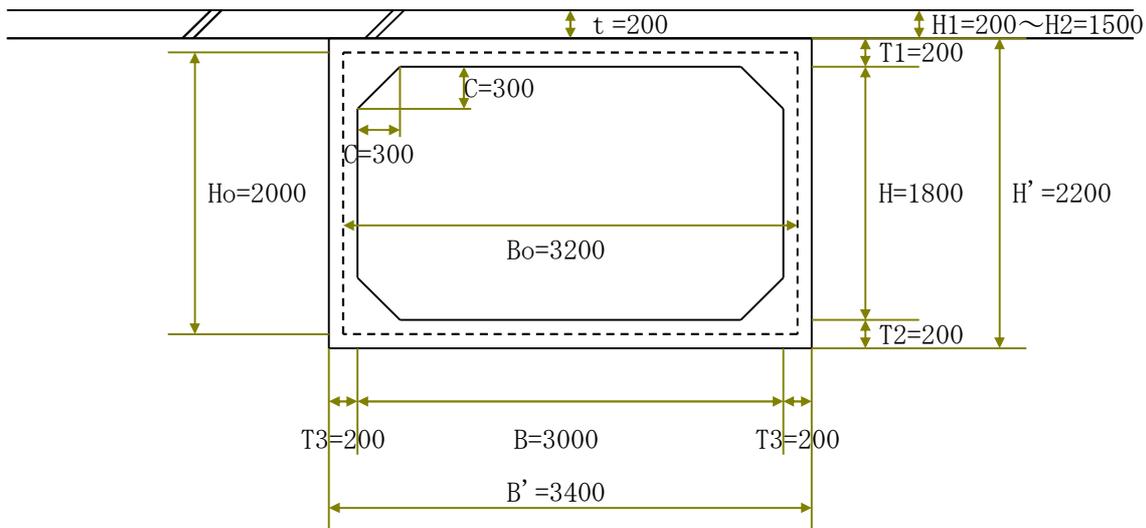
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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

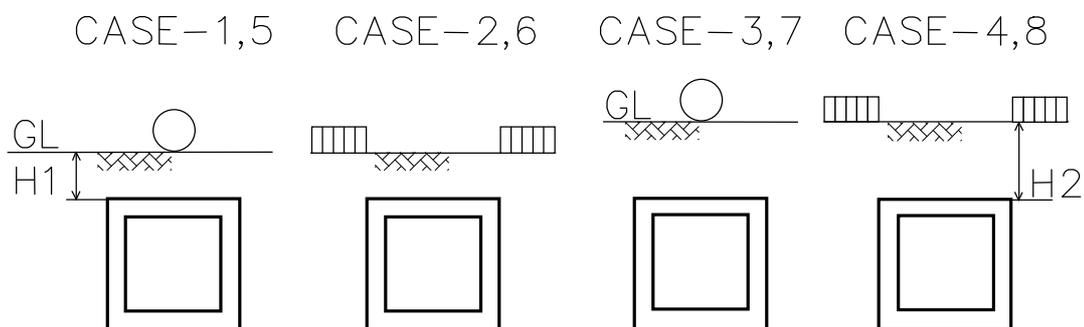
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 23$	$\phi 23$	*****	(mm)
断面積	415.50	415.50	*****	(mm ²)
設計引張力	350000	350000	*****	(N)

1.11 標準断面図



[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

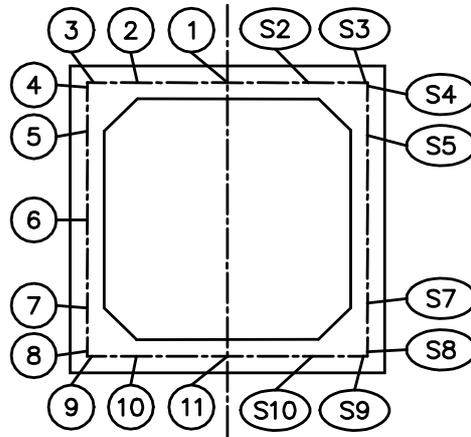
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

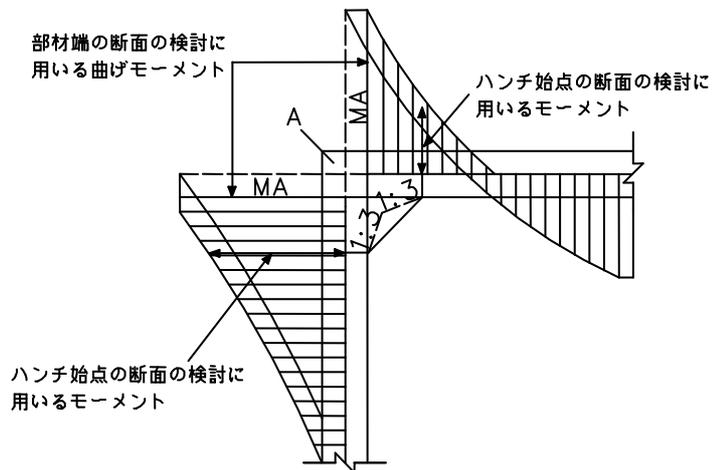
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

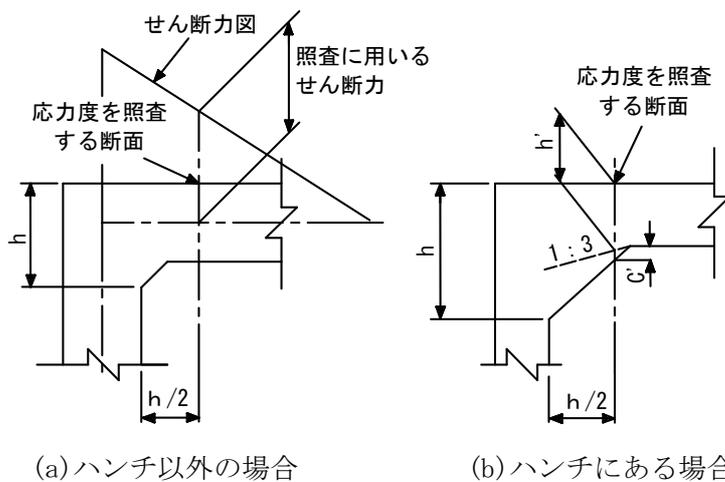
せん断力



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

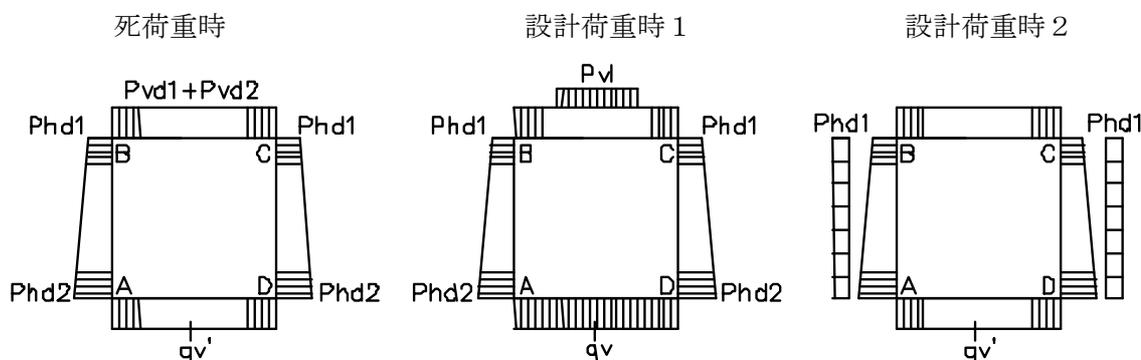
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

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 $u = a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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}	4.500	4.500	4.500
P _{hd1} = P _{hd1}	3.150	3.150	*****
P _{hd1} = P _{hd1} + P _q	*****	*****	8.150
P _{hd3} = P _{hd3}	*****	*****	*****
P _{hd3} = P _{hd3} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5}	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd2} = P _{hd2}	21.150	21.150	*****
P _{hd2} = P _{hd2} + P _q	*****	*****	26.150
P _{hd4} = P _{hd4}	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	141.818	0.000
q _v	*****	43.494	*****
q _{v'}	16.903	*****	16.903

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	0.6250	0.6250	0.6250
β	0.6250	0.6250	0.6250
N1	2.6250	2.6250	2.6250
N2	2.6250	2.6250	2.6250
CAD (kN・m/m)	14.424	37.115	14.424
CBC (kN・m/m)	8.021	41.659	8.021
CAB (kN・m/m)	4.650	4.650	6.317
CBA (kN・m/m)	3.450	3.450	5.117
θ_A	-5.132	-20.954	-4.106
θ_B	3.696	22.538	2.671
MAB (kN・m/m)	-11.217	-24.019	-11.858
MAD (kN・m/m)	11.217	24.019	11.858
MBA (kN・m/m)	5.711	27.573	6.352
MBC (kN・m/m)	-5.711	-27.573	-6.352

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。

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

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

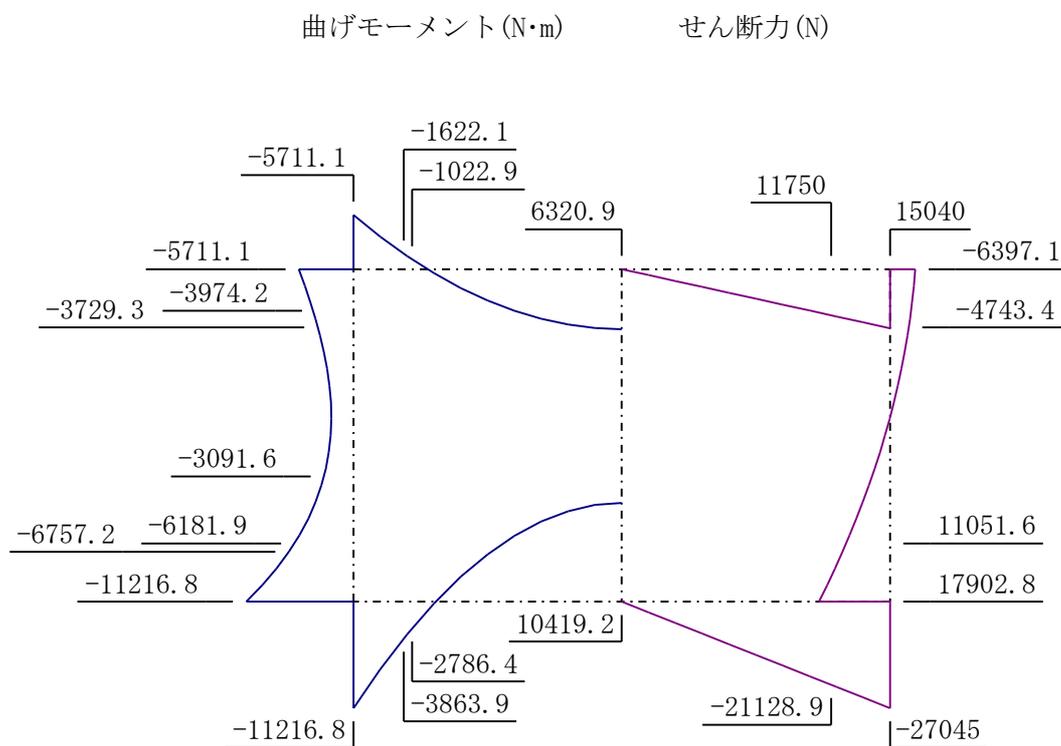
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	15.040	57.585	15.040
S CB (kN/m)	-15.040	-57.585	-15.040
Mmax (kN・m/m)	6.321	46.150	5.680
S AD (kN/m)	27.045	69.590	27.045
S DA (kN/m)	-27.045	-69.590	-27.045
Mmax (kN・m/m)	10.419	31.653	9.778
S AB (kN/m)	17.903	13.373	22.903
S BA (kN/m)	-6.397	-10.927	-11.397
x (m)	0.753	0.753	*****
	1.075	*****	1.075
Mmax (kN・m/m)	-3.092	-19.305	*****
Mmax (kN・m/m)	-2.329	*****	-0.484

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。

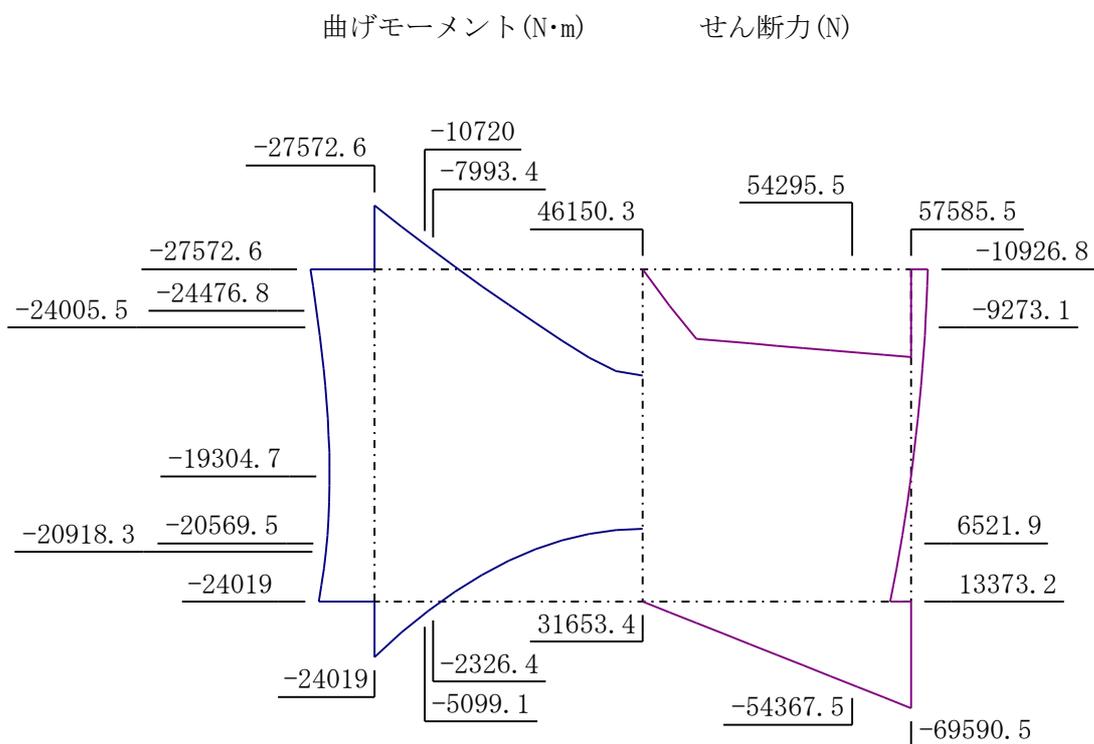
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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	0.100	-5711	15040	6397
	2 ハッチ始点	0.400	-1622	***	6397
	S2 τ点	0.350	-1023	11750	6397
	1 中央	1.600	6321	0	6397
底版	9, S9 端部	0.100	-11217	27045	17903
	10 ハッチ始点	0.400	-3864	***	17903
	S10 τ点	0.350	-2786	21129	17903
	11 中央	1.600	10419	0	17903
側壁	4, S4 上端部	1.900	-5711	-6397	15040
	5 上ハッチ点	1.600	-3974	***	16841
	S5 上τ点	1.650	-3729	-4743	17141
	6 中間	0.753	-3092	*****	22525
		1.075	-2329	*****	20592
	S7 下τ点	0.350	-6182	11052	24944
	7 下ハッチ点	0.400	-6757	***	25244
	8, S8 下端部	0.100	-11217	17903	27045



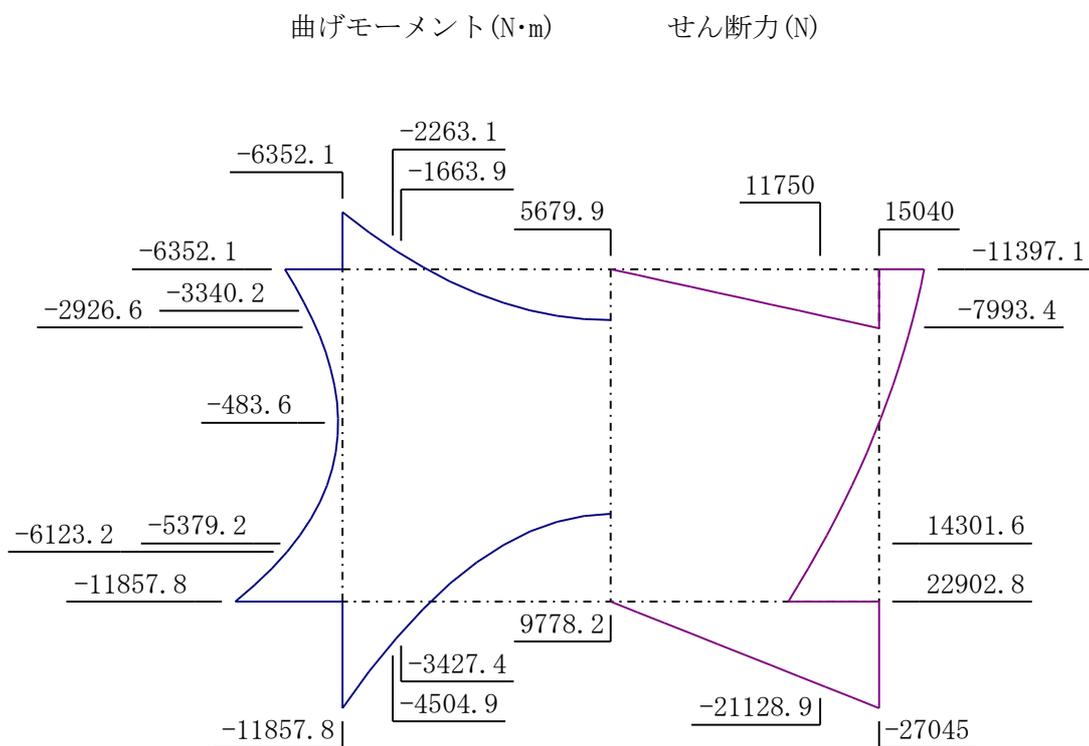
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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	-27573	57586	10927
	2 ハッチ始点	0.400	-10720	***	10927
	S2 τ点	0.350	-7993	54296	10927
	1 中央	1.600	46150	0	10927
底版	9, S9 端部	0.100	-24019	69591	13373
	10 ハッチ始点	0.400	-5099	***	13373
	S10 τ点	0.350	-2326	54368	13373
	11 中央	1.600	31653	0	13373
側壁	4, S4 上端部	1.900	-27573	-10927	57586
	5 上ハッチ点	1.600	-24477	***	59386
	S5 上τ点	1.650	-24006	-9273	59686
	6 中間	0.753	-19305	0	65071
	S7 下τ点	0.350	-20570	6522	67490
	7 下ハッチ点	0.400	-20918	***	67790
	8, S8 下端部	0.100	-24019	13373	69591



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

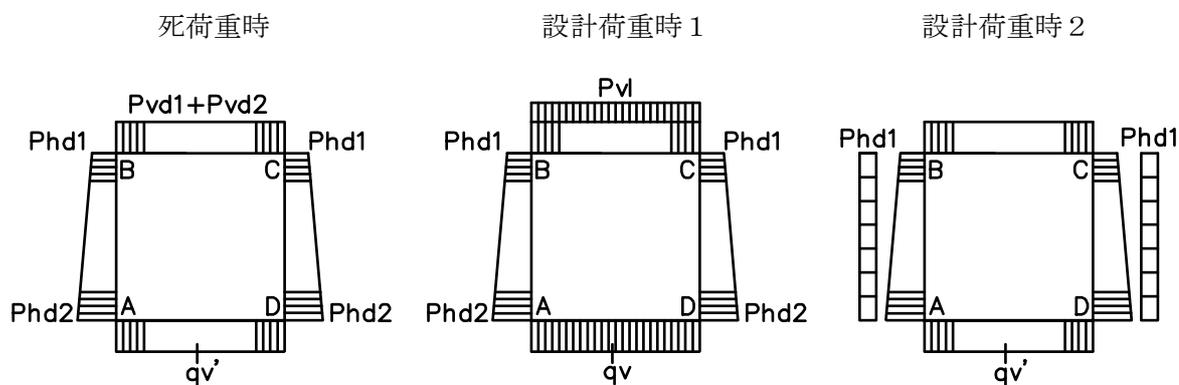
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.100	-6352	15040	11397
	2 ハッチ始点	0.400	-2263	***	11397
	S2 τ点	0.350	-1664	11750	11397
	1 中央	1.600	5680	0	11397
底板	9, S9 端部	0.100	-11858	27045	22903
	10 ハッチ始点	0.400	-4505	***	22903
	S10 τ点	0.350	-3427	21129	22903
	11 中央	1.600	9778	0	22903
側壁	4, S4 上端部	1.900	-6352	-11397	15040
	5 上ハッチ点	1.600	-3340	***	16841
	S5 上τ点	1.650	-2927	-7993	17141
	6 中間	1.075	-484	0	20592
	S7 下τ点	0.350	-5379	14302	24944
	7 下ハッチ点	0.400	-6123	***	25244
	8, S8 下端部	0.100	-11858	22903	27045



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	4.900	4.900	4.900
Pvd2	27.900	27.900	27.900
Phd1 = Phd1	14.850	14.850	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	19.850
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	32.850	32.850	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	37.850
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	26.591	0.000
qv	*****	66.894	*****
qv'	40.303	*****	40.303

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	0.6250	0.6250	0.6250
β	0.6250	0.6250	0.6250
N1	2.6250	2.6250	2.6250
N2	2.6250	2.6250	2.6250
CAD (kN・m/m)	34.392	57.083	34.392
CBC (kN・m/m)	27.989	50.680	27.989
CAB (kN・m/m)	8.550	8.550	10.217
CBA (kN・m/m)	7.350	7.350	9.017
θ_A	-15.020	-28.983	-13.994
θ_B	13.584	27.548	12.559
MAB (kN・m/m)	-25.005	-38.968	-25.646
MAD (kN・m/m)	25.005	38.968	25.646
MBA (kN・m/m)	19.499	33.463	20.140
MBC (kN・m/m)	-19.499	-33.463	-20.140

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。

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

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

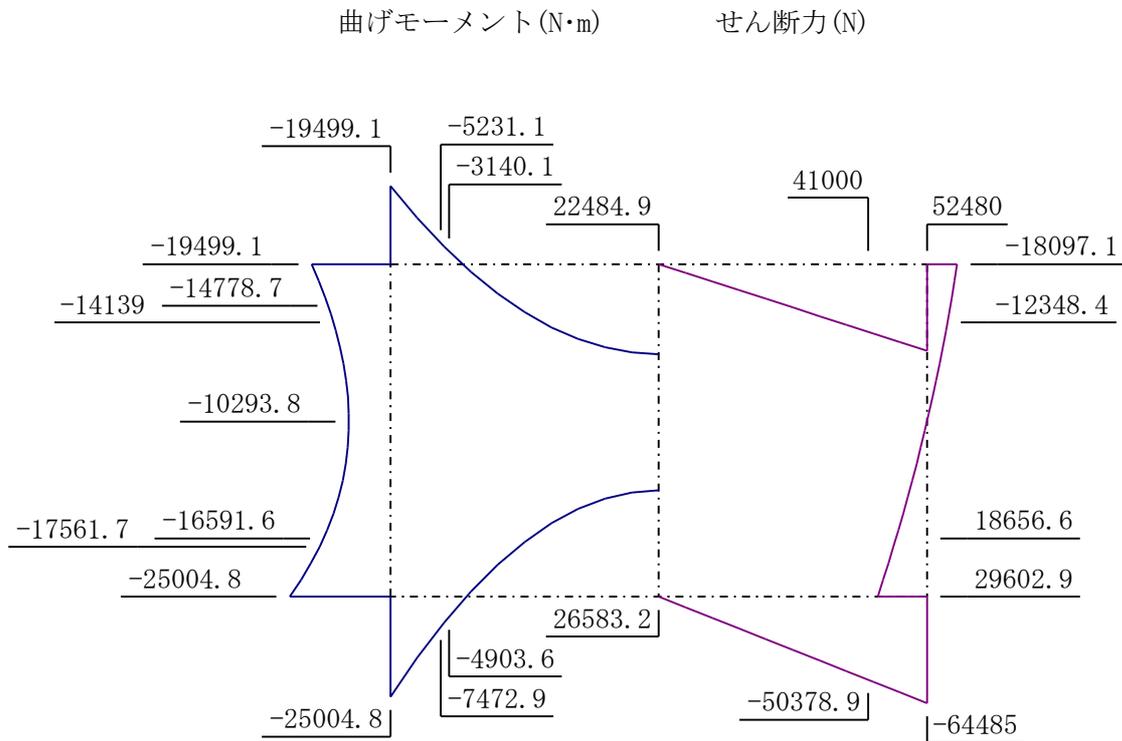
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	52.480	95.025	52.480
SCB (kN/m)	-52.480	-95.025	-52.480
Mmax (kN・m/m)	22.485	42.558	21.844
SAD (kN/m)	64.485	107.030	64.485
SDA (kN/m)	-64.485	-107.030	-64.485
Mmax (kN・m/m)	26.583	46.656	25.942
SAB (kN/m)	29.603	29.603	34.603
SBA (kN/m)	-18.097	-18.097	-23.097
x (m)	1.053	1.053	*****
	1.044	*****	1.044
Mmax (kN・m/m)	-10.294	-24.258	*****
Mmax (kN・m/m)	-10.295	*****	-8.441

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。

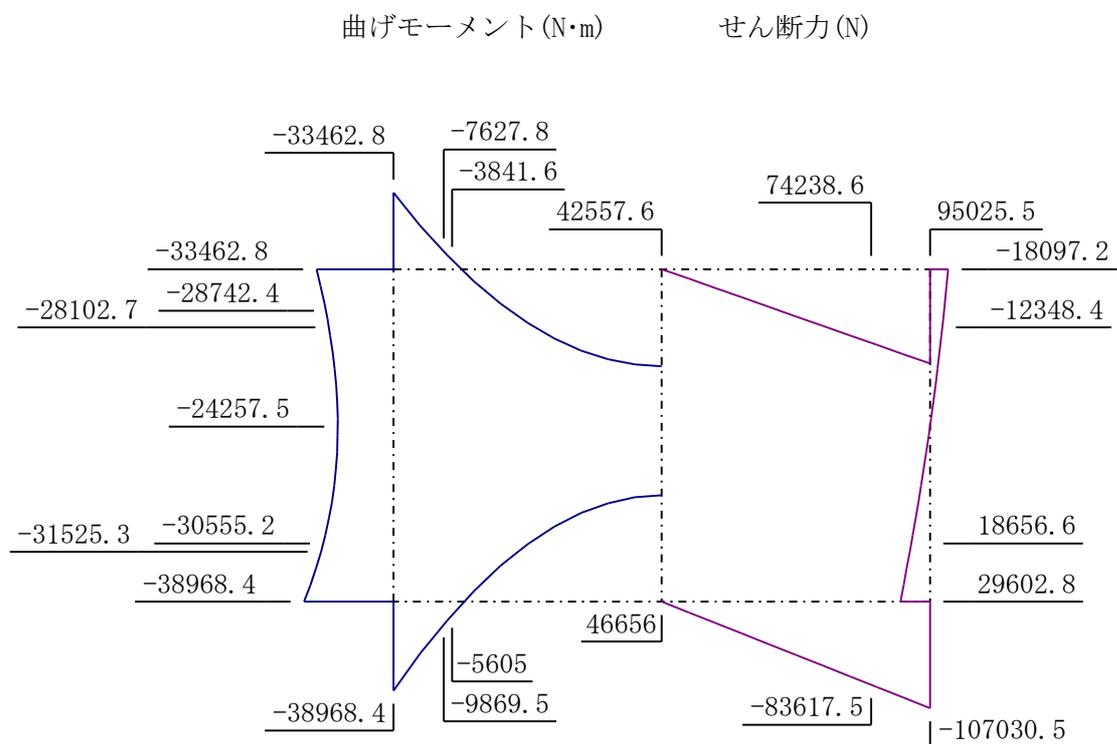
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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	0.100	-19499	52480	18097
	2 ハッチ始点	0.400	-5231	***	18097
	S2 τ点	0.350	-3140	41000	18097
	1 中央	1.600	22485	0	18097
底板	9, S9 端部	0.100	-25005	64485	29603
	10 ハッチ始点	0.400	-7473	***	29603
	S10 τ点	0.350	-4904	50379	29603
	11 中央	1.600	26583	0	29603
側壁	4, S4 上端部	1.900	-19499	-18097	52480
	5 上ハッチ点	1.600	-14779	***	54281
	S5 上τ点	1.650	-14139	-12348	54581
	6 中間	1.053	-10294	*****	58164
		1.044	-10295	*****	58218
	S7 下τ点	0.350	-16592	18657	62384
	7 下ハッチ点	0.400	-17562	***	62684
	8, S8 下端部	0.100	-25005	29603	64485



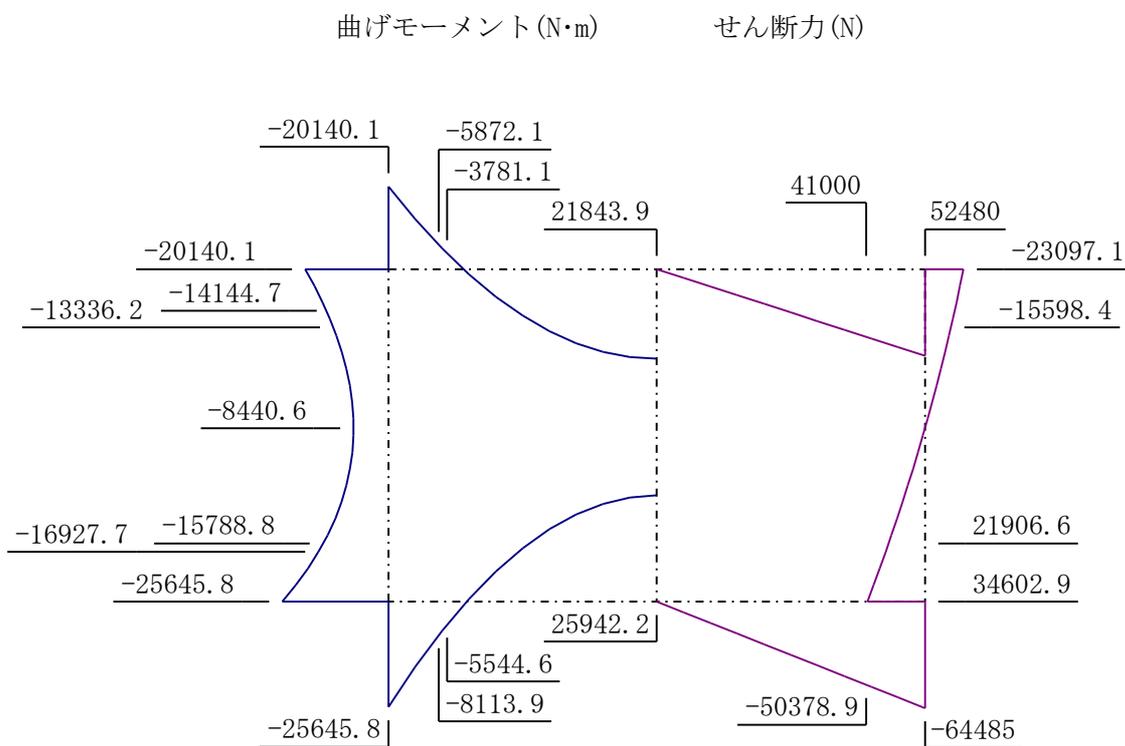
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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	-33463	95026	18097
	2 ハッチ始点	0.400	-7628	***	18097
	S2 τ点	0.350	***	74239	***
	1 中央	1.600	42558	0	18097
底板	9, S9 端部	0.100	-38968	107031	29603
	10 ハッチ始点	0.400	-9870	***	29603
	S10 τ点	0.350	***	83618	***
	11 中央	1.600	46656	0	29603
側壁	4, S4 上端部	1.900	-33463	-18097	95026
	5 上ハッチ点	1.600	-28742	***	96826
	S5 上τ点	1.650	***	-12348	***
	6 中間	1.053	-24258	0	100710
	S7 下τ点	0.350	***	18657	***
	7 下ハッチ点	0.400	-31525	***	105230
	8, S8 下端部	0.100	-38968	29603	107031



(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	-20140	52480	23097
	2 ハッチ始点	0.400	-5872	***	23097
	S2 τ点	0.350	***	41000	***
	1 中央	1.600	21844	0	23097
底板	9, S9 端部	0.100	-25646	64485	34603
	10 ハッチ始点	0.400	-8114	***	34603
	S10 τ点	0.350	***	50379	***
	11 中央	1.600	25942	0	34603
側壁	4, S4 上端部	1.900	-20140	-23097	52480
	5 上ハッチ点	1.600	-14145	***	54281
	S5 上τ点	1.650	***	-15598	***
	6 中間	1.044	-8441	0	58218
	S7 下τ点	0.350	***	21907	*****
	7 下ハッチ点	0.400	-16928	***	62684
	8, S8 下端部	0.100	-25646	34603	64485



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	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ点	100.00	21.67	2166.7	85152.61	10.83	7860.24
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	3.33	4.155	350000	4.00	外側
ハチ始点	φ23	3.33	4.155	350000	-1.00	外側
τ点	φ23	3.33	4.155	350000	-1.00	外側
中央	φ23	3.33	4.155	350000	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	842.36	4.72	-0.35	102.20	25.27	714.89	0.849	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.08	125.21	25.27	691.88	0.821	3
τ点	842.36	5.52	0.04	118.40	25.27	698.69	0.829	3
中央	842.36	6.01	-0.34	119.13	25.27	697.95	0.829	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.72	-0.35	102.20	25.27	714.89	0.849	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.08	125.21	25.27	691.88	0.821	3
τ点	842.36	5.52	0.04	118.40	25.27	698.69	0.829	3
中央	842.36	6.01	-0.34	119.13	25.27	697.95	0.829	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.72	-0.35	102.20	25.27	714.88	0.849	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.02	124.42	25.27	692.67	0.822	1
τ点	842.36	5.52	0.01	118.03	25.27	699.06	0.830	1
中央	842.36	6.01	-0.09	122.68	25.27	694.41	0.824	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.72	-0.35	102.20	25.27	714.88	0.849	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.02	124.42	25.27	692.67	0.822	1
τ点	842.36	5.52	0.01	118.03	25.27	699.06	0.830	1
中央	842.36	6.01	-0.09	122.68	25.27	694.41	0.824	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	1.30	0.06	0.66	2.02	3
ハチ始点	0.78	0.09	6.23	7.10	3
中 央	3.37	0.09	3.38	6.85	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.30	0.06	5.94	4.70	3
ハチ始点	-0.78	0.09	3.35	2.66	3
中 央	-3.37	0.09	6.28	3.00	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.23	0.06	0.66	2.95	3
ハチ始点	1.61	0.05	6.24	7.90	1
中 央	6.92	0.05	3.37	10.34	1
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.23	0.06	5.94	3.77	3
ハチ始点	-1.61	0.05	3.36	1.80	1
中 央	-6.92	0.05	6.25	-0.62	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	-45.175	3.01	3.75	13.4	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-14.472	1.26	8.48	2.6	0.0	0.000	0.000	1
中央	62.303	-3.02	12.79	3.8	57.7	3.607	1.911	1

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 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	11250	18.097	95.025	990.12	3.36	0.48	-0.066	3
τ 点	100.0	5868	18.097	74.239	967.68	4.55	0.51	-0.057	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	-5.711	-21.861	-62.078	-46.873	-62.078	1
ハチ始点	-1.622	-9.098	-24.853	-18.224	-24.853	1
中央	6.321	39.829	107.791	78.456	107.791	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	13.850	8.447	19.0	26.5	0.069	0.008	249.99	4.0	1
ハチ始点	13.850	8.447	9.0	16.5	0.069	0.018	114.17	4.6	1
中央	13.850	8.447	11.0	16.5	0.069	0.015	136.35	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	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ点	100.00	21.67	2166.7	85152.61	10.83	7860.24
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	3.33	4.155	350000	4.00	外側
ハチ始点	φ23	3.33	4.155	350000	-1.00	外側
τ点	φ23	3.33	4.155	350000	-1.00	外側
中央	φ23	3.33	4.155	350000	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	842.36	4.72	-0.44	100.74	25.27	716.34	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.11	125.70	25.27	691.39	0.821	3
τ点	842.36	5.52	0.06	118.70	25.27	698.39	0.829	3
中央	842.36	6.01	-0.40	118.24	25.27	698.85	0.830	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.72	-0.44	100.74	25.27	716.34	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.11	125.70	25.27	691.39	0.821	3
τ点	842.36	5.52	0.06	118.70	25.27	698.39	0.829	3
中央	842.36	6.01	-0.40	118.24	25.27	698.85	0.830	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.72	-0.44	100.74	25.27	716.34	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.11	125.70	25.27	691.39	0.821	3
τ点	842.36	5.52	0.06	118.69	25.27	698.39	0.829	3
中央	842.36	6.01	-0.40	118.24	25.27	698.85	0.830	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.72	-0.44	100.74	25.27	716.34	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.11	125.70	25.27	691.39	0.821	3
τ点	842.36	5.52	0.06	118.69	25.27	698.39	0.829	3
中央	842.36	6.01	-0.40	118.24	25.27	698.85	0.830	3

5.2.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 σ_m (N/mm ²)	N/Ac (N/mm ²)	有効プレストレス σ_{ce} (N/mm ²)	合成応力度 σ_c (N/mm ²)	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.67	0.10	0.66	2.43	3
ハチ始点	1.12	0.15	6.22	7.49	3
中 央	3.99	0.15	3.39	7.52	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.67	0.10	5.95	4.38	3
ハチ始点	-1.12	0.15	3.35	2.38	3
中 央	-3.99	0.15	6.29	2.45	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.60	0.10	0.66	3.36	3
ハチ始点	1.48	0.15	6.22	7.85	3
中 央	7.00	0.15	3.39	10.53	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.60	0.10	5.95	3.45	3
ハチ始点	-1.48	0.15	3.35	2.02	3
中 央	-7.00	0.15	6.29	-0.56	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	-52.607	2.58	4.30	11.2	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-13.324	1.55	8.42	3.1	0.0	0.000	0.000	3
中央	62.986	-2.96	13.04	3.7	54.7	3.416	1.849	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 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	11250	29.603	107.031	992.13	3.41	0.54	-0.082	3
τ 点	100.0	5868	29.603	83.618	967.27	4.60	0.58	-0.071	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	-25.005	-13.964	-67.415	-66.246	-67.415	3
ハチ始点	-7.473	-2.397	-15.706	-16.778	-16.778	3
中央	26.583	20.073	84.740	79.315	84.740	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	13.850	8.447	19.0	26.5	0.069	0.008	249.99	3.7	3
ハチ始点	13.850	8.447	9.0	16.5	0.069	0.018	114.17	6.8	3
中央	13.850	8.447	11.0	16.5	0.069	0.015	136.35	1.6	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	-33.463	95.025	35.21	11.50	44.391	3
	上ハチ点	-28.742	96.826	29.68	6.50	35.036	3
側壁	中 間	-24.258	100.710	24.09	6.50	30.804	3
	下ハチ点	-31.525	105.230	29.96	6.50	38.365	3
	下端部	-38.968	107.031	36.41	11.50	51.277	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	44.391	11.74	15.24	30.00	5.707
	上ハチ点	35.036	10.43	13.93	20.00	9.302
側壁	中 間	30.804	9.78	13.28	20.00	7.099
	下ハチ点	38.365	10.91	14.41	20.00	10.332
	下端部	51.277	12.62	16.12	30.00	6.860
					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 - 5
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 5

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	10.843	10.230	3.76	89.7	0.0
	上ハンチ点	100.00	10.843	7.089	6.99	139.3	0.0
	中間	100.00	10.843	7.397	5.93	109.5	0.0
	下ハンチ点	100.00	10.843	7.077	7.67	153.2	0.0
	下端部	100.00	10.843	10.141	4.37	105.8	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	54.295	11.750	74.239	41.000				
	M			-3.842					
	N			18.097					
	最大			○					
底版 τ点	S	54.367	21.129	83.618	50.379				
	M			-5.605					
	N			29.603					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-9.273	-7.993	-12.348	-15.598				
	M				-13.336				
	N				54.581				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	6.522	14.302	18.657	21.907				
	M				-15.789				
	N				62.384				
	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	21.7	3.5	18.2	1.400	D13-6.7	8.447	0.465	1.165
底版 τ 点	21.7	3.5	18.2	1.400	D13-6.7	8.447	0.465	1.165
側壁上 τ 点	21.7	3.5	18.2	1.400	D16-3.3 D13-3.3	10.843	0.597	1.258
側壁下 τ 点	21.7	3.5	18.2	1.400	D16-3.3 D13-3.3	10.843	0.597	1.258

照査位置	M (kN・m)	Pe (kN)	N (kN)	Ac (m ²)	Z (m ⁴)	ep (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 τ 点	-3.842	967.7	18.097	0.217	0.00786	-0.01	26.030	2.000
底版 τ 点	-5.605	967.3	29.603	0.217	0.00786	-0.01	26.436	2.000
側壁上 τ 点	-13.336	0.0	54.581	0.217	0.00786	0.00	1.977	1.148
側壁下 τ 点	-15.789	0.0	62.384	0.217	0.00786	0.00	2.260	1.143

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	1.165	2.000	0.881
底版 τ 点	0.270	1.400	1.165	2.000	0.881
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.258	1.148	0.546
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.258	1.143	0.544

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	74.239	18.2	0.409	0.881
底版 τ 点	83.618	18.2	0.460	0.881
側壁上 τ 点	15.598	18.2	0.086	0.546
側壁下 τ 点	21.907	18.2	0.121	0.544

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上