

受付 No.

台帳 No. KL412003

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

プレキャスト

PCボックスカルバート

設計計算書

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

○内空寸法： 内 幅 (B) 2300 mm
内 高 (H) 2300 mm
長 さ (L) 2000 mm

○設計条件： 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 1.510 m
H2= 3.000 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) 2300 × (H) 2300 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 1.510 ~ H2 = 3.000 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t _b = 0.000 [m]

1.2 単位容積重量

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

1.3 土圧係数 (水 平)

: $K_a = 0.500$

(鉛 直)

: $\alpha = 1.000$

1.4 活荷重 (上 載)

: T' 荷重 横断通行

(輪接地幅 a = 0.20m b = 0.50m)

(側 載)

: $Q = 10.0$ [kN/m²]

1.5 衝撃係数

: $i = 0.300$

1.6 鉄筋かぶり

	頂 版	底 版	側 壁
: (内側)	35 mm	35 mm	35 mm
: (外側)	35 mm	35 mm	35 mm

1.7 断面力低減係数 (土被り H1)

: $\beta = 0.9$

(土被り H2)

: $\beta = 0.9$

1.8 許容応力度

1.8.1 鉄筋

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

1.8.2 コンクリート

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

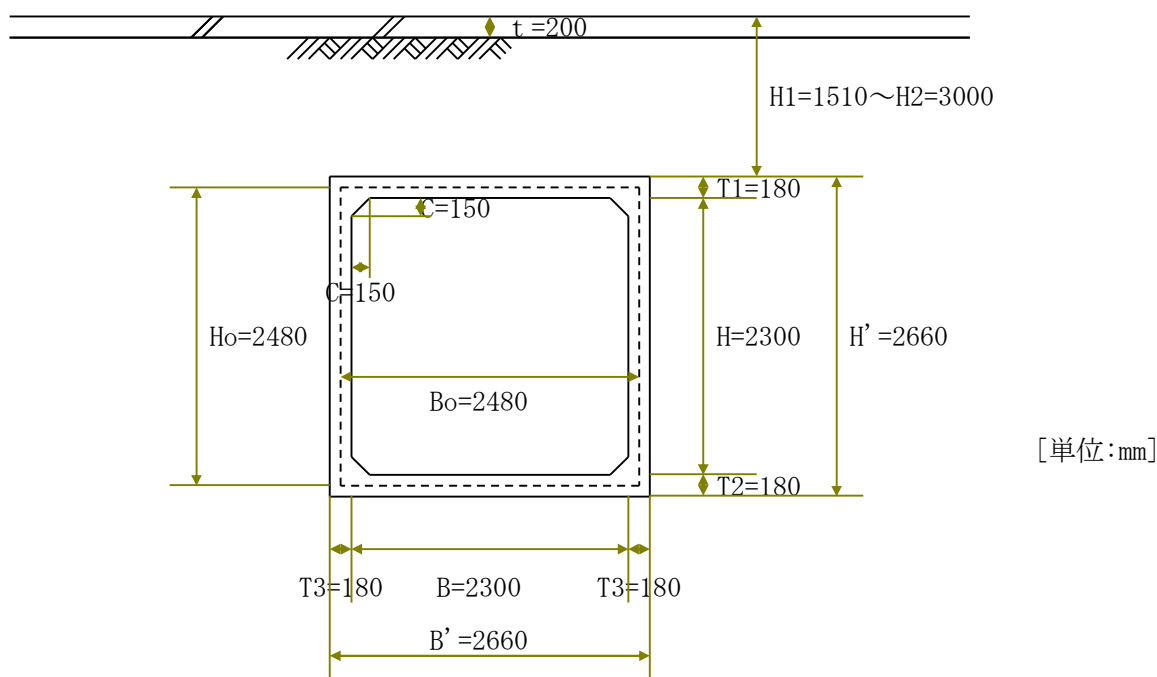
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

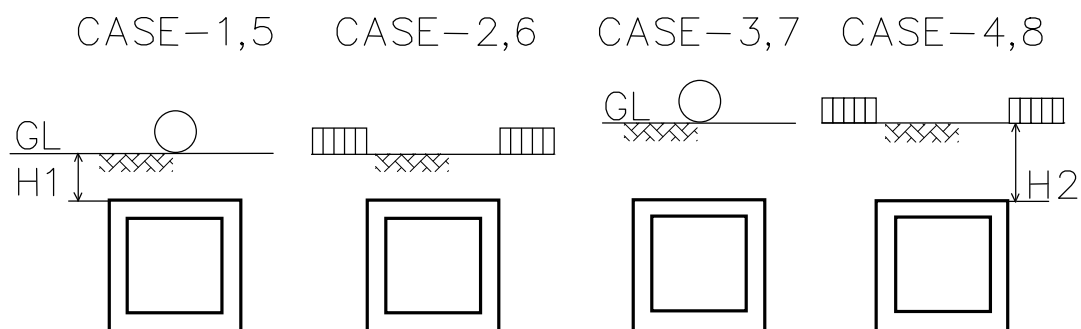
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 23$	*****	(mm)
断面積	346.40	415.50	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	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

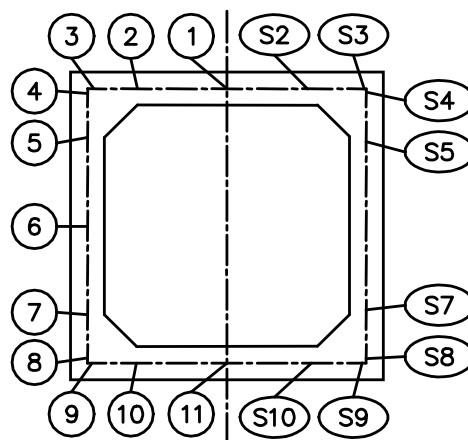
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

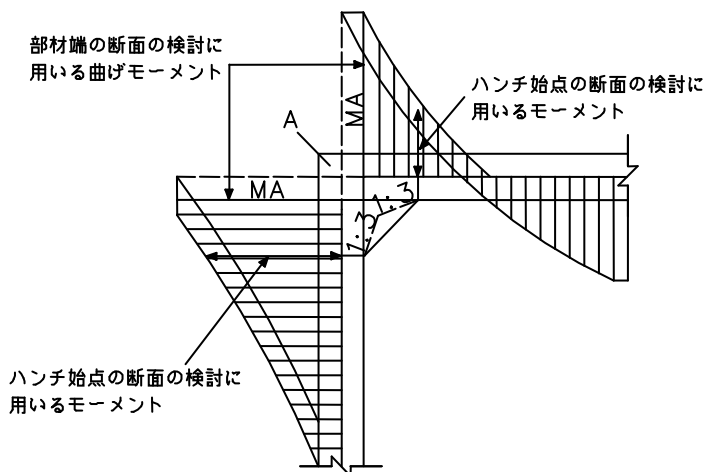
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

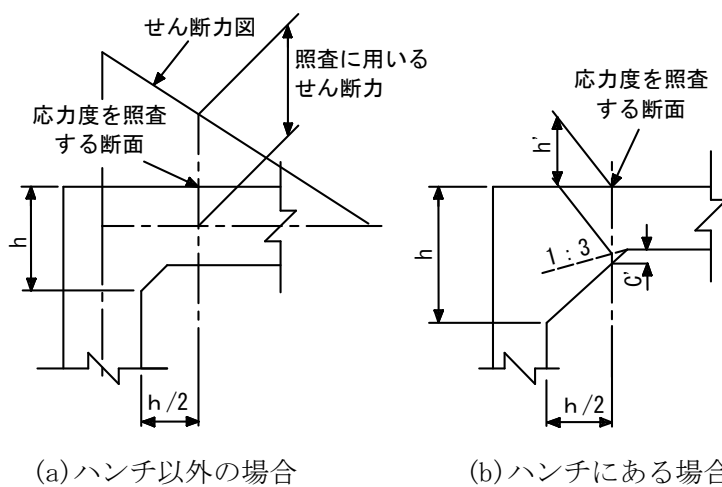
せん断力



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。

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

3.1.2 構造解析

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

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

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）

$$\begin{aligned}
 (3) \quad \text{た わ み 角} \quad \theta A &= \{N1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N1 \times N2 - 1) \\
 \theta B &= \{N2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N1 \times N2 - 1)
 \end{aligned}$$

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	1.0000	1.0000	1.0000
β	1.0000	1.0000	1.0000
N1	3.0000	3.0000	3.0000
N2	3.0000	3.0000	3.0000
CAD (kN・m/m)	21.401	34.945	21.401
CBC (kN・m/m)	16.652	30.196	16.652
CAB (kN・m/m)	14.475	14.475	17.038
CBA (kN・m/m)	12.187	12.187	14.750
θA	-3.155	-9.927	-1.874
θB	2.540	9.312	1.259
MAB (kN・m/m)	-18.245	-25.017	-19.527
MAD (kN・m/m)	18.245	25.017	19.527
MBA (kN・m/m)	14.112	20.884	15.393
MBC (kN・m/m)	-14.112	-20.884	-15.393

3.1.3 各部材の断面力

(1) 頂 版

1) せん断力

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

2) 曲げモーメント

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

(2) 底 版

1) せん断力

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

2) 曲げモーメント

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

(3) 側 壁

1) せん断力

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

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

2) 曲げモーメント

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

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

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

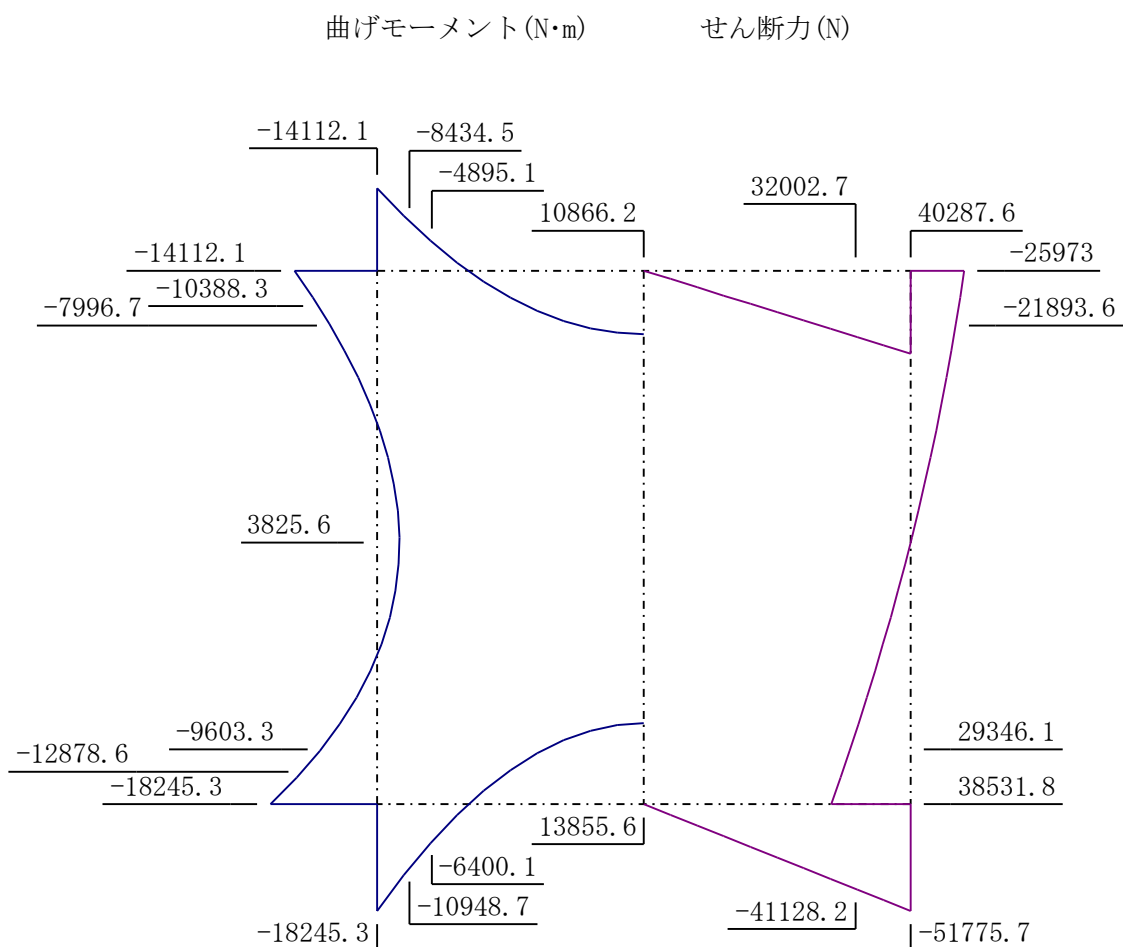
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	40.288	73.056	40.288
SCB	(kN/m)	-40.288	-73.056	-40.288
Mmax	(kN・m/m)	10.866	24.410	9.585
SAD	(kN/m)	51.776	84.544	51.776
SDA	(kN/m)	-51.776	-84.544	-51.776
Mmax	(kN・m/m)	13.856	27.400	12.574
SAB	(kN/m)	38.532	38.532	44.732
SBA	(kN/m)	-25.973	-25.973	-32.173
x	(m)	1.216	1.216	*****
		1.219	*****	1.219
Mmax	(kN・m/m)	3.826	-2.946	*****
Mmax	(kN・m/m)	3.825	*****	6.387

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。

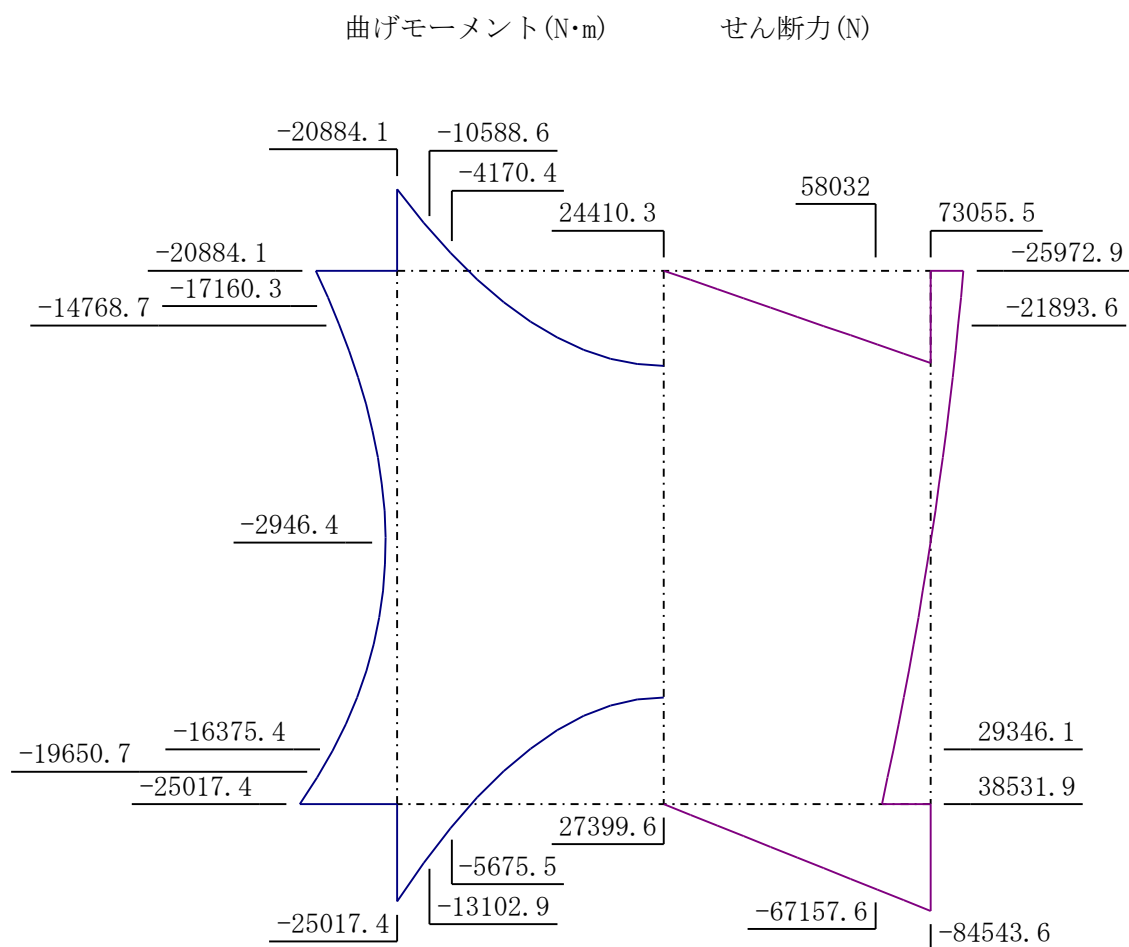
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	0.090	-14112	40288	25973
	2 ハッチ始点	0.240	-8435	***	25973
	S2 τ 点	0.255	-4895	32003	25973
	1 中 央	1.240	10866	0	25973
底版	9, S9 端 部	0.090	-18245	51776	38532
	10 ハッチ始点	0.240	-10949	***	38532
	S10 τ 点	0.255	-6400	41128	38532
	11 中 央	1.240	13856	0	38532
側壁	4, S4 上 端部	2.390	-14112	-25973	40288
	5 上ハッチ点	2.240	-10388	***	40982
	S5 上 τ 点	2.225	-7997	-21894	41469
	6 中 間	1.216	3826	*****	46143
		1.219	3826	*****	46129
	S7 下 τ 点	0.255	-9603	29346	50594
	7 下ハッチ点	0.240	-12879	***	51081
	8, S8 下 端部	0.090	-18245	38532	51776



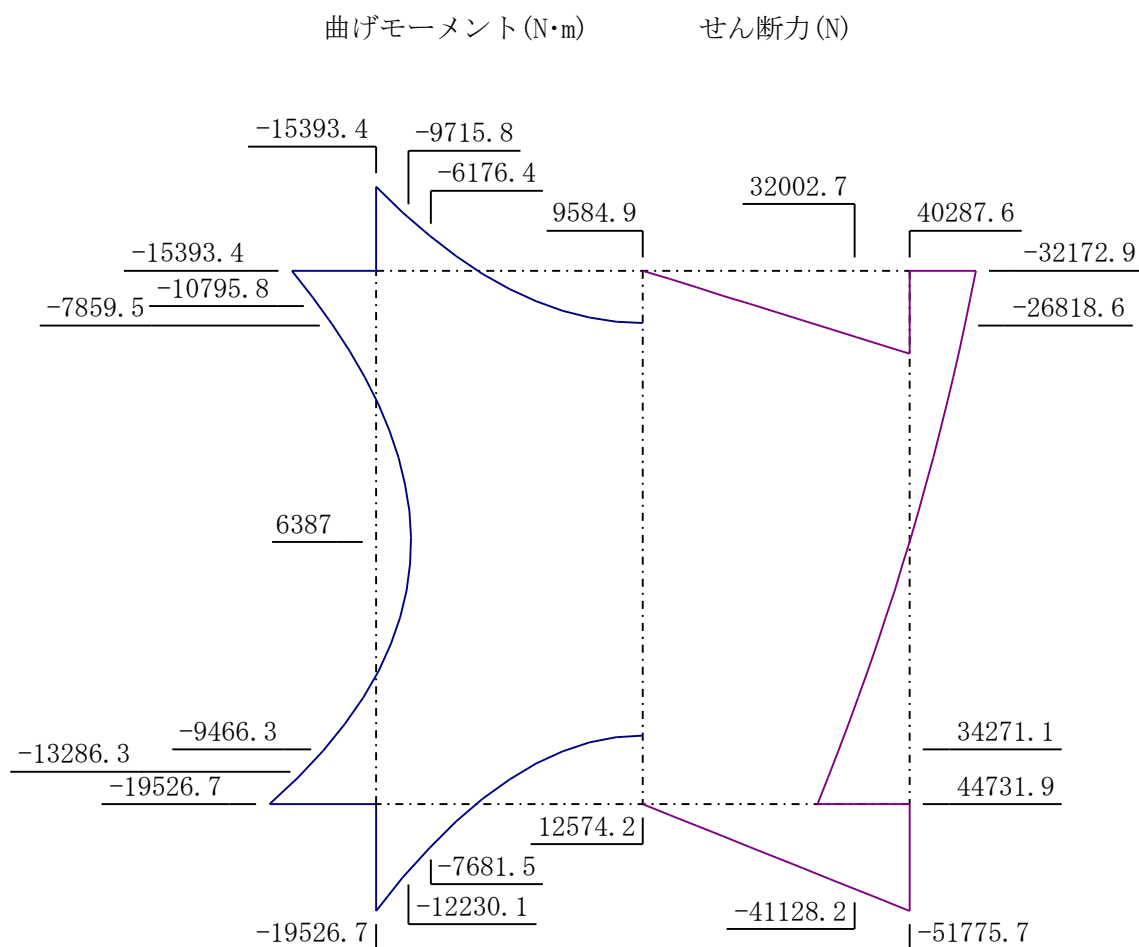
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	0.090	-20884	73056	25973
	2 ハチ始点	0.240	-10589	***	25973
	S2 τ 点	0.255	-4170	58032	25973
	1 中 央	1.240	24410	0	25973
底版	9, S9 端 部	0.090	-25017	84544	38532
	10 ハチ始点	0.240	-13103	***	38532
	S10 τ 点	0.255	-5676	67158	38532
	11 中 央	1.240	27400	0	38532
側壁	4, S4 上 端部	2.390	-20884	-25973	73056
	5 上ハチ点	2.240	-17160	***	73750
	S5 上 τ 点	2.225	-14769	-21894	74237
	6 中 間	1.216	-2946	0	78911
	S7 下 τ 点	0.255	-16375	29346	83362
	7 下ハチ点	0.240	-19651	***	83849
	8, S8 下 端部	0.090	-25017	38532	84544



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

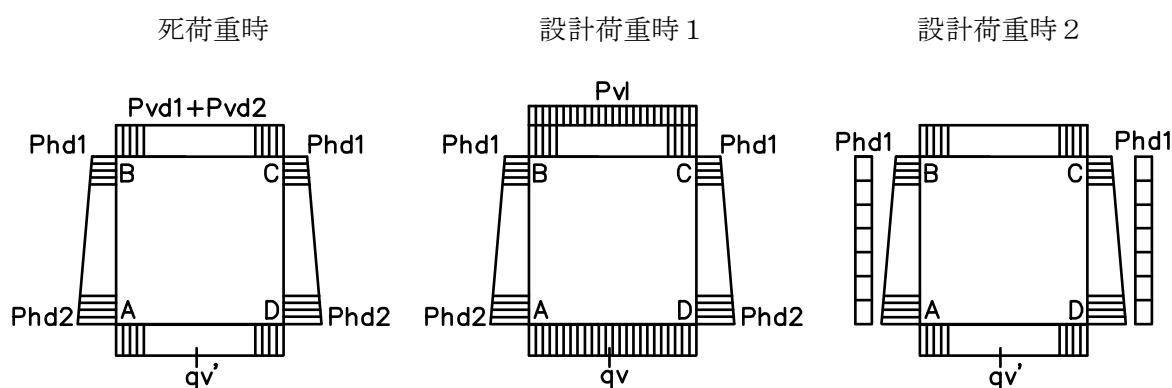
[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.090	-15393	40288	32173
	2 ハチ始点	0.240	-9716	***	32173
	S2 τ 点	0.255	-6176	32003	32173
	1 中 央	1.240	9585	0	32173
底版	9, S9 端 部	0.090	-19527	51776	44732
	10 ハチ始点	0.240	-12230	***	44732
	S10 τ 点	0.255	-7682	41128	44732
	11 中 央	1.240	12574	0	44732
側壁	4, S4 上 端部	2.390	-15393	-32173	40288
	5 上ハチ点	2.240	-10796	***	40982
	S5 上 τ 点	2.225	-7860	-26819	41469
	6 中 間	1.219	6387	0	46129
	S7 下 τ 点	0.255	-9466	34271	50594
	7 下ハチ点	0.240	-13286	***	51081
	8, S8 下 端部	0.090	-19527	44732	51776



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



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
(kN/m²)CASE-4
(kN/m²)

P_{vd1}	4.410	4.410	4.410
P_{vd2}	54.900	54.900	54.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	28.260	28.260	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	33.260
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	50.580	50.580	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	55.580
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	13.724	0.000
q_v	*****	82.299	*****
$q_{v'}$	68.575	*****	68.575

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1}=0$ とした場合の底版反力。

3.2.2 構造解析

- (1) ラーメン係数
- $$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3)$$
- $$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3)$$
- $$N_1 = 2 + \alpha$$
- $$N_2 = 2 + \beta$$
- (2) 荷 重 項
- $$CAD = q_v \times B_o^2 / 12$$
- $$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12$$
- $$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60$$
- $$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60$$
- 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	1.0000	1.0000	1.0000
β	1.0000	1.0000	1.0000
N_1	3.0000	3.0000	3.0000
N_2	3.0000	3.0000	3.0000
CAD (kN・m/m)	35.147	42.181	35.147
CBC (kN・m/m)	30.398	37.433	30.398
CAB (kN・m/m)	21.348	21.348	23.911
CBA (kN・m/m)	19.060	19.060	21.623
θ_A	-6.592	-10.109	-5.310
θ_B	5.977	9.494	4.695
MAB (kN・m/m)	-28.555	-32.072	-29.836
MAD (kN・m/m)	28.555	32.072	29.836
MBA (kN・m/m)	24.422	27.939	25.703
MBC (kN・m/m)	-24.422	-27.939	-25.703

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。

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

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

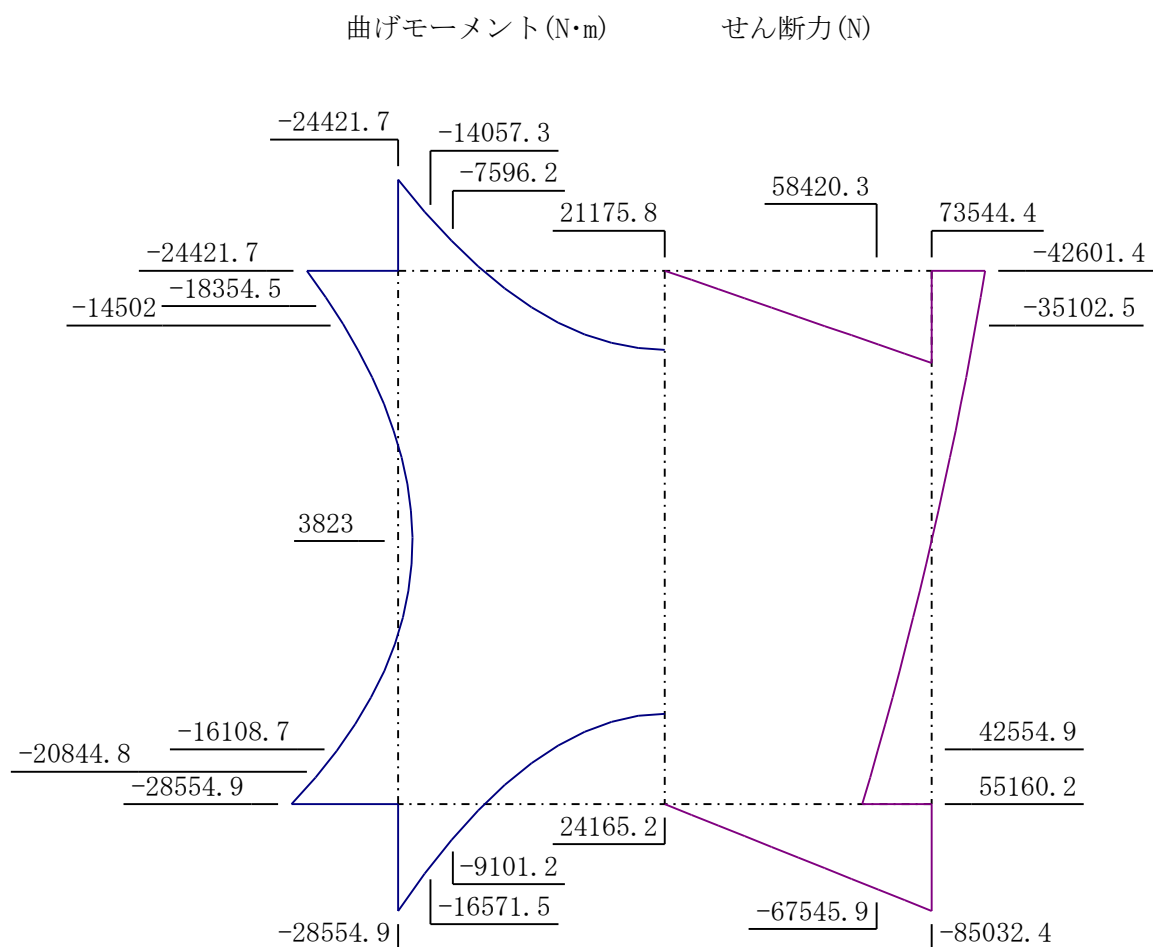
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	73.544	90.563	73.544
SCB (kN/m)	-73.544	-90.563	-73.544
Mmax (kN・m/m)	21.176	28.210	19.895
SAD (kN/m)	85.032	102.051	85.032
SDA (kN/m)	-85.032	-102.051	-85.032
Mmax (kN・m/m)	24.165	31.199	22.884
SAB (kN/m)	55.160	55.160	61.360
SBA (kN/m)	-42.601	-42.601	-48.801
x (m)	1.224	1.224	*****
	1.226	*****	1.226
Mmax (kN・m/m)	3.823	0.306	*****
Mmax (kN・m/m)	3.823	*****	6.385

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。

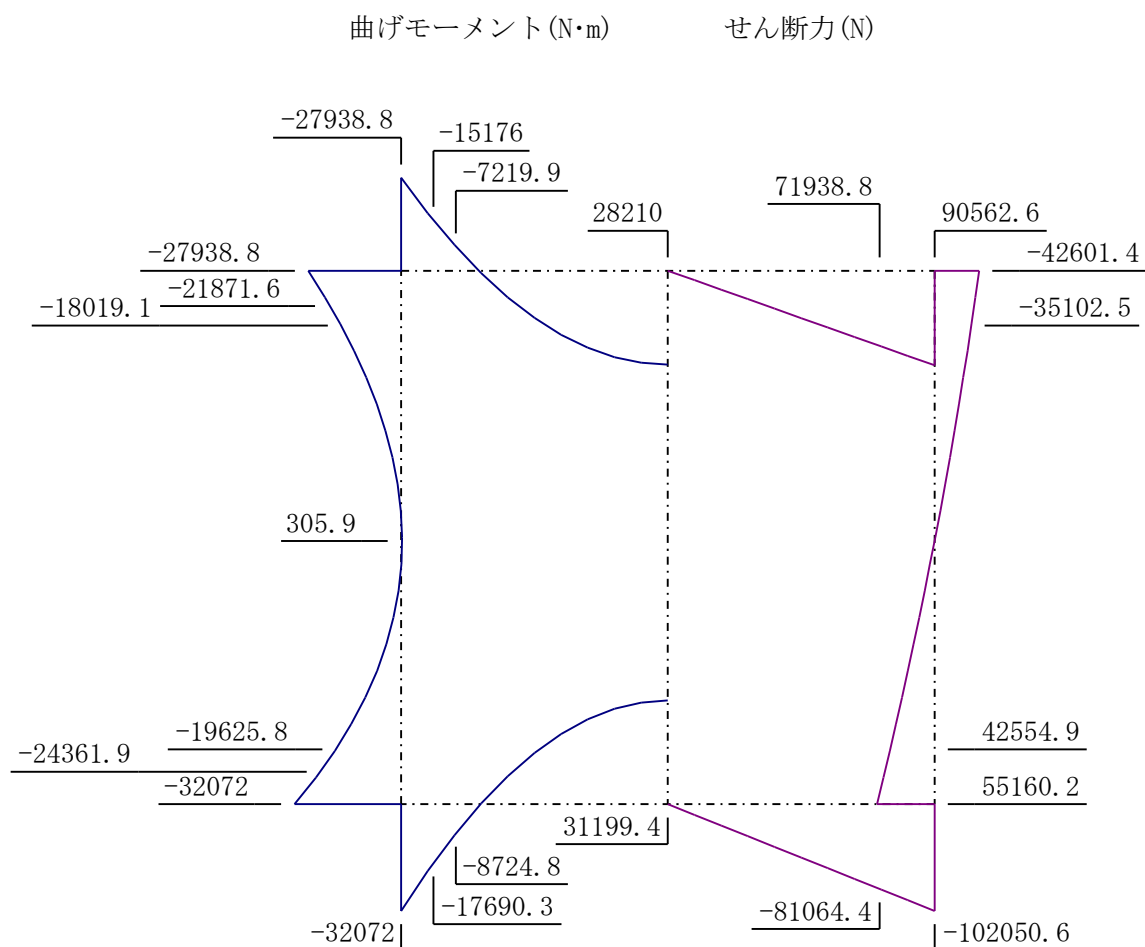
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		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)
部材	照査点				
頂版	3, S3 端 部	0.090	-24422	73544	42601
	2 ハッチ始点	0.240	-14057	***	42601
	S2 τ 点	0.255	-7596	58420	42601
	1 中 央	1.240	21176	0	42601
底版	9, S9 端 部	0.090	-28555	85032	55160
	10 ハッチ始点	0.240	-16572	***	55160
	S10 τ 点	0.255	-9101	67546	55160
	11 中 央	1.240	24165	0	55160
側壁	4, S4 上 端部	2.390	-24422	-42601	73544
	5 上ハッチ点	2.240	-18355	***	74239
	S5 上 τ 点	2.225	-14502	-35103	74726
	6 中 間	1.224	3823	*****	79363
		1.226	3823	*****	79353
	S7 下 τ 点	0.255	-16109	42555	83851
	7 下ハッチ点	0.240	-20845	***	84338
	8, S8 下 端部	0.090	-28555	55160	85032



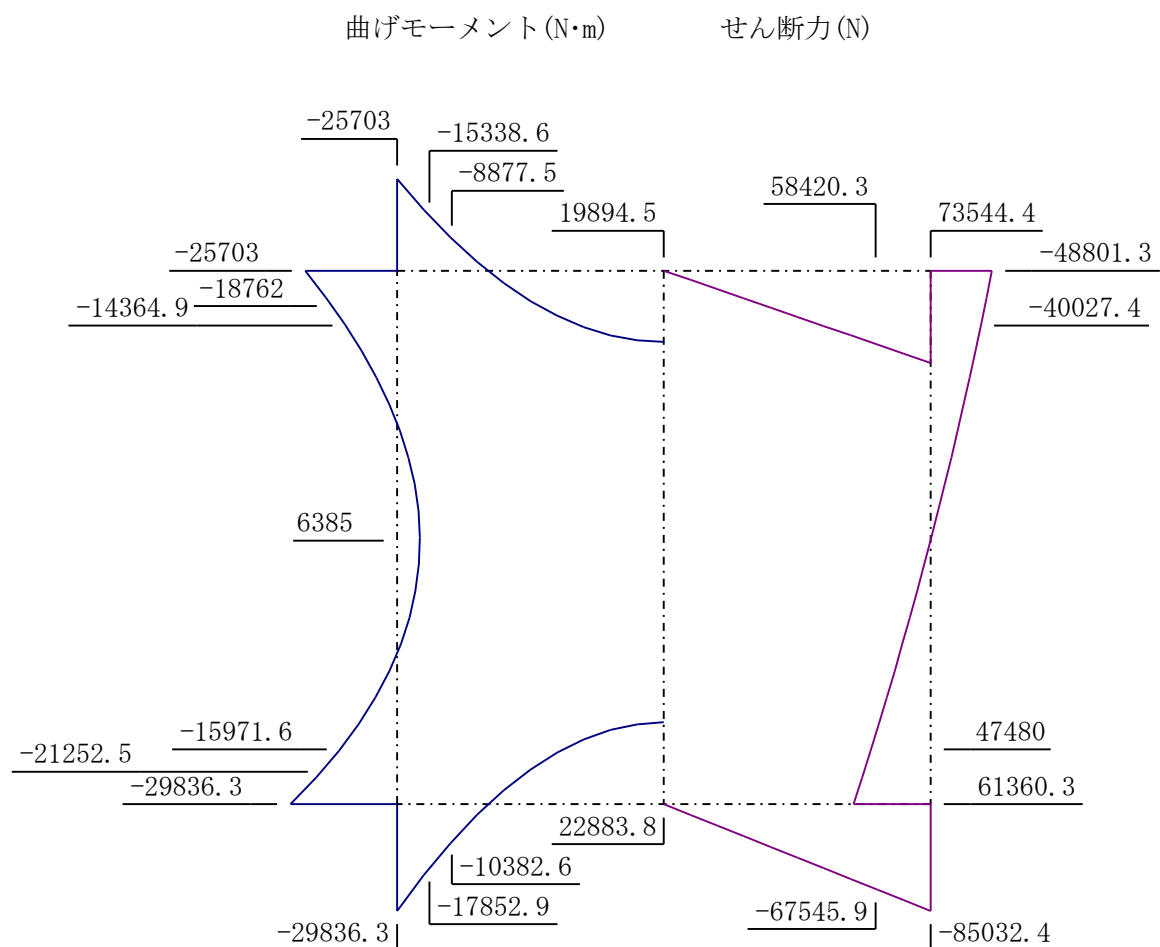
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

		[/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	0.090	-27939	90563	42601
	2 ハチ始点	0.240	-15176	***	42601
	S2 τ 点	0.255	***	71939	***
	1 中 央	1.240	28210	0	42601
底版	9, S9 端 部	0.090	-32072	102051	55160
	10 ハチ始点	0.240	-17690	***	55160
	S10 τ 点	0.255	***	81064	***
	11 中 央	1.240	31199	0	55160
側壁	4, S4 上 端部	2.390	-27939	-42601	90563
	5 上ハチ点	2.240	-21872	***	91257
	S5 上 τ 点	2.225	***	-35103	***
	6 中 間	1.224	306	0	96381
	S7 下 τ 点	0.255	***	42555	***
	7 下ハチ点	0.240	-24362	***	101356
	8, S8 下 端部	0.090	-32072	55160	102051



(3) 設計荷重時 2 (CASE-4)

[/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	0.090	-25703	73544	48801
	2 ハチ始点	0.240	-15339	***	48801
	S2 τ 点	0.255	***	58420	***
	1 中 央	1.240	19895	0	48801
底版	9, S9 端 部	0.090	-29836	85032	61360
	10 ハチ始点	0.240	-17853	***	61360
	S10 τ 点	0.255	***	67546	***
	11 中 央	1.240	22884	0	61360
側壁	4, S4 上 端部	2.390	-25703	-48801	73544
	5 上ハチ点	2.240	-18762	***	74239
	S5 上 τ点	2.225	***	-40027	***
	6 中 間	1.226	6385	0	79353
	S7 下 τ点	0.255	***	47480	*****
	7 下ハチ点	0.240	-21253	***	84338
	8, S8 下 端部	0.090	-29836	61360	85032



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

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

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

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

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

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

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

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鋼棒偏心率	(cm)
I :	断面二次モーメント	(cm ⁴)
$\Delta\sigma_{pr}$:	PC鋼棒のリラクセ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セーション (= 0.03)	

(2) 有効プレストレス σ_{ce}

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

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

4.3 合成応力度

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

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

4.4 引張鉄筋量の計算

(1) 曲げモーメント

引張鉄筋は次の荷重作用に対して、引張応力の作用する区間に配置する。

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

(2) 配置鉄筋量

配置鉄筋量は次の 1)、2) のうちいずれか大きい値以上とする。

1) の値

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

2) の値

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

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

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

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

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

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

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

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

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

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

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

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

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

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

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

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

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

終局つり合い鋼材比が配置される引張鋼材比より大であることを確認する。

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

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

5 P C 部材の検討

5.1 頂版

5.1.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端 部	100.00	23.00	2300.0	101391.67	11.50	8816.67
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ 点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
中 央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

5.1.2 使用 P C 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	φ 21	3.00	3.464	290000	2.00	外 側
ハチ始点	φ 21	3.00	3.464	290000	-0.50	外 側
τ 点	φ 21	3.00	3.464	290000	-0.50	外 側
中 央	φ 21	3.00	3.464	290000	0.50	内 側

5.1.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm ²)	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	4.13	-0.48	92.18	25.12	719.89	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.88	0.14	111.57	25.12	700.49	0.837	3
τ 点	837.18	4.88	0.08	110.59	25.12	701.48	0.838	3
中 央	837.18	4.88	-0.22	106.18	25.12	705.88	0.843	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.13	-0.48	92.18	25.12	719.89	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.88	0.14	111.57	25.12	700.49	0.837	3
τ 点	837.18	4.88	0.08	110.59	25.12	701.48	0.838	3
中 央	837.18	4.88	-0.22	106.18	25.12	705.88	0.843	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	4.13	-0.48	92.18	25.12	719.89	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.88	0.14	111.57	25.12	700.49	0.837	4
τ 点	837.18	4.88	0.08	110.59	25.12	701.48	0.838	4
中 央	837.18	4.88	-0.22	106.18	25.12	705.88	0.843	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.13	-0.48	92.18	25.12	719.89	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.88	0.14	111.57	25.12	700.49	0.837	4
τ 点	837.18	4.88	0.08	110.59	25.12	701.48	0.838	4
中 央	837.18	4.88	-0.22	106.18	25.12	705.88	0.843	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	2.77	0.19	1.56	4.51	3
ハチ始点	2.60	0.24	4.72	7.56	3
中 央	3.92	0.24	3.40	7.55	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.77	0.19	4.95	2.36	3
ハチ始点	-2.60	0.24	3.37	1.00	3
中 央	-3.92	0.24	4.75	1.07	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	3.17	0.19	1.56	4.91	3
ハチ始点	2.84	0.27	4.72	7.83	4
中 央	5.22	0.24	3.40	8.86	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-3.17	0.19	4.95	1.97	3
ハチ始点	-2.84	0.27	3.37	0.80	4
中 央	-5.22	0.24	4.75	-0.23	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	-37.717	0.92	6.08	3.0	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-20.707	-0.10	8.92	0.2	0.1	0.006	0.098	4
中 央	38.084	-1.98	10.77	2.8	27.6	1.727	1.397	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 10	— 12	D 0	— 0	4.280 cm ² /m	> As1 or As2

5.1.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端 部	100.0	6612	42.601	90.563	748.10	3.44	0.59	-0.099	3
τ 点	100.0	4050	42.601	71.939	728.98	4.29	0.60	-0.082	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	-24.422	-3.517	-40.541	-47.496	-47.496	3
ハッチ始点	-14.057	-1.281	-21.478	-26.076	-26.076	4
中 央	10.866	13.544	47.986	41.498	47.986	1

位 置	Ap (cm ² /m)	As (cm ² /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端 部	10.392	4.280	13.5	19.5	0.069	0.009	122.17	2.6	3
ハッチ始点	10.392	4.280	8.5	14.5	0.069	0.014	74.26	2.8	4
中 央	10.392	4.280	9.5	14.5	0.069	0.012	82.58	1.7	1
$Ppb > Ppd$						$Sf > 1.0$	CHECK OK		

5.2 底版

5.2.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端 部	100.00	23.00	2300.0	101391.67	11.50	8816.67
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ 点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
中 央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

5.2.2 使用P C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	φ 23	3.00	4.155	350000	2.00	外 側
ハチ始点	φ 23	3.00	4.155	350000	-0.50	外 側
τ 点	φ 23	3.00	4.155	350000	-0.50	外 側
中 央	φ 23	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	△ σ pcs (N/mm ²)	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	4.98	-0.56	102.44	25.27	714.65	0.848	3
ハチ始点	842.36	5.89	0.17	125.02	25.27	692.06	0.822	3
τ 点	842.36	5.89	0.09	123.90	25.27	693.19	0.823	3
中 央	842.36	5.89	-0.25	118.89	25.27	698.20	0.829	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.98	-0.56	102.44	25.27	714.65	0.848	3
ハチ始点	842.36	5.89	0.17	125.02	25.27	692.06	0.822	3
τ 点	842.36	5.89	0.09	123.90	25.27	693.19	0.823	3
中 央	842.36	5.89	-0.25	118.89	25.27	698.20	0.829	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	4.98	-0.56	102.44	25.27	714.65	0.848	3
ハチ始点	842.36	5.89	0.17	125.02	25.27	692.07	0.822	4
τ 点	842.36	5.89	0.09	123.90	25.27	693.19	0.823	4
中 央	842.36	5.89	-0.25	118.89	25.27	698.20	0.829	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.98	-0.56	102.44	25.27	714.65	0.848	3
ハチ始点	842.36	5.89	0.17	125.02	25.27	692.07	0.822	4
τ 点	842.36	5.89	0.09	123.90	25.27	693.19	0.823	4
中 央	842.36	5.89	-0.25	118.89	25.27	698.20	0.829	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	3.24	0.24	1.85	5.33	3
ハチ始点	3.07	0.31	5.59	8.97	3
中 央	4.48	0.31	4.03	8.81	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-3.24	0.24	5.89	2.89	3
ハチ始点	-3.07	0.31	3.99	1.23	3
中 央	-4.48	0.31	5.64	1.47	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	3.64	0.24	1.85	5.73	3
ハチ始点	3.31	0.34	5.59	9.24	4
中 央	5.78	0.31	4.03	10.11	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-3.64	0.24	5.89	2.50	3
ハチ始点	-3.31	0.34	3.99	1.03	4
中 央	-5.78	0.31	5.64	0.17	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	-43.297	1.31	7.09	3.6	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-24.101	-0.01	10.51	0.0	0.0	0.000	0.008	4
中 央	42.119	-1.75	12.24	2.2	19.6	1.225	1.123	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 10	— 12	D 0	— 0	4.280 cm ² /m	> As1 or As2

5.2.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端 部	100.0	6612	55.160	102.051	890.81	4.11	0.67	-0.105	3
τ 点	100.0	4050	55.160	81.064	864.07	5.11	0.68	-0.088	3
$\sigma i > -1.00$								CHECK OK	

5.2.7 破壊安全度の検討

終局荷重時の曲げモーメント

位 置	M1 (kN・m)	M2 (kN・m)	1.3M1+2.5M2 (kN・m)	1.7(M1+M2) (kN・m)	Md (kN・m)	ケース
端 部	-28.555	-3.517	-45.914	-54.522	-54.522	3
ハッチ始点	-16.572	-1.281	-24.746	-30.350	-30.350	4
中 央	24.165	7.034	49.000	53.039	53.039	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	13.5	19.5	0.069	0.010	138.20	2.5	3
ハッチ始点	12.465	4.280	8.5	14.5	0.069	0.016	81.98	2.7	4
中 央	12.465	4.280	9.5	14.5	0.069	0.014	91.96	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	-27.939	90.563	30.85	8.00	35.184	3
	上ハチ点	-21.872	91.257	23.97	5.50	26.891	3
側壁	中 間	6.387	46.129	13.85	5.50	8.924	2
	下ハチ点	-24.362	101.356	24.04	5.50	29.936	3
	下端部	-32.072	102.051	31.43	8.00	40.236	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

$$\begin{aligned}
 k &= n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) &= 0.568 \\
 c_1 &= \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} &= 0.557 \\
 d &= c_1 \times \sqrt{(M_s / b)} &h = d + d' < T
 \end{aligned}$$

ここに、
 M_s : 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)

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

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

上式を解いて σ_c を求める。また $d_a = T - d'$ とする。

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

部材	点	M_s (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	35.184	10.45	13.95	23.00	7.135
	上ハチ点	26.891	9.14	12.64	18.00	7.701
側壁	中 間	8.924	5.26	8.76	18.00	1.320
	下ハチ点	29.936	9.64	13.14	18.00	8.689
	下端部	40.236	11.18	14.68	23.00	8.367
$d + d' < T$					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 13 - 6	D 16 - 12
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 10 - 6	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	$\sigma_{s'}$
頂版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	11.916	8.360	5.04	100.7	0.0
	上ハチ点	100.00	11.916	6.840	6.43	108.1	0.0
	中間	100.00	5.941	6.352	2.27	43.7	0.0
	下ハチ点	100.00	11.916	6.836	7.17	120.5	0.0
	下端部	100.00	11.916	8.328	5.78	116.3	0.0

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

CHECK OK

9 セン断力に対する検討

9.1 セン断力照査点の断面力と最大値抽出

部材	断面力	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7	CASE-8
頂版 τ点	S	58.032	32.003	71.939	58.420				
	M			-7.220					
	N			42.601					
	最大			○					
底版 τ点	S	67.158	41.128	81.064	67.546				
	M			-8.725					
	N			55.160					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-21.894	-26.819	-35.102	-40.027				
	M				-14.365				
	N				74.726				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	29.346	34.271	42.555	47.480				
	M				-15.972				
	N				83.851				
	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 セン断応力度の検討

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 : セン断力 (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(C_e)をτ_a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(C _e)	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(C_{pt})をτ_a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 b d 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(C _{pt})	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 に乘じる。

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

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 鋼棒の偏心量<引張縁側+／圧縮縁側->(m)

照査位置	T (cm)	d' (cm)	d (cm)	Ce	引張鉄筋		Pt (%)	Cpt
					径-本数	As (cm ²)		
頂版 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-6	4.280	0.295	0.995
底版 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-6	4.280	0.295	0.995
側壁上 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-6	11.916	0.822	1.393
側壁下 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-6	11.916	0.822	1.393

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	-7.220	729.0	42.601	0.180	0.00540	-0.01	23.148	2.000
底版 τ 点	-8.725	864.1	55.160	0.180	0.00540	-0.01	27.578	2.000
側壁上 τ 点	-14.365	0.0	74.726	0.180	0.00540	0.00	2.242	1.156
側壁下 τ 点	-15.972	0.0	83.851	0.180	0.00540	0.00	2.516	1.157

照査位置	τ_a	補正係数			補正 τ_a
		Ce	Cpt	Cn	
頂版 τ 点	0.270	1.400	0.995	2.000	0.752
底版 τ 点	0.270	1.400	0.995	2.000	0.752
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.393	1.156	0.609
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.393	1.157	0.609

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	71.939	14.5	0.496	0.752
底版 τ 点	81.064	14.5	0.559	0.752
側壁上 τ 点	40.027	14.5	0.276	0.609
側壁下 τ 点	47.480	14.5	0.327	0.609

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上