

受付 No.

台帳 No. KL423003

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 3000 mm
内 高 (H) 1500 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) 3000 × (H) 1500 × (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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

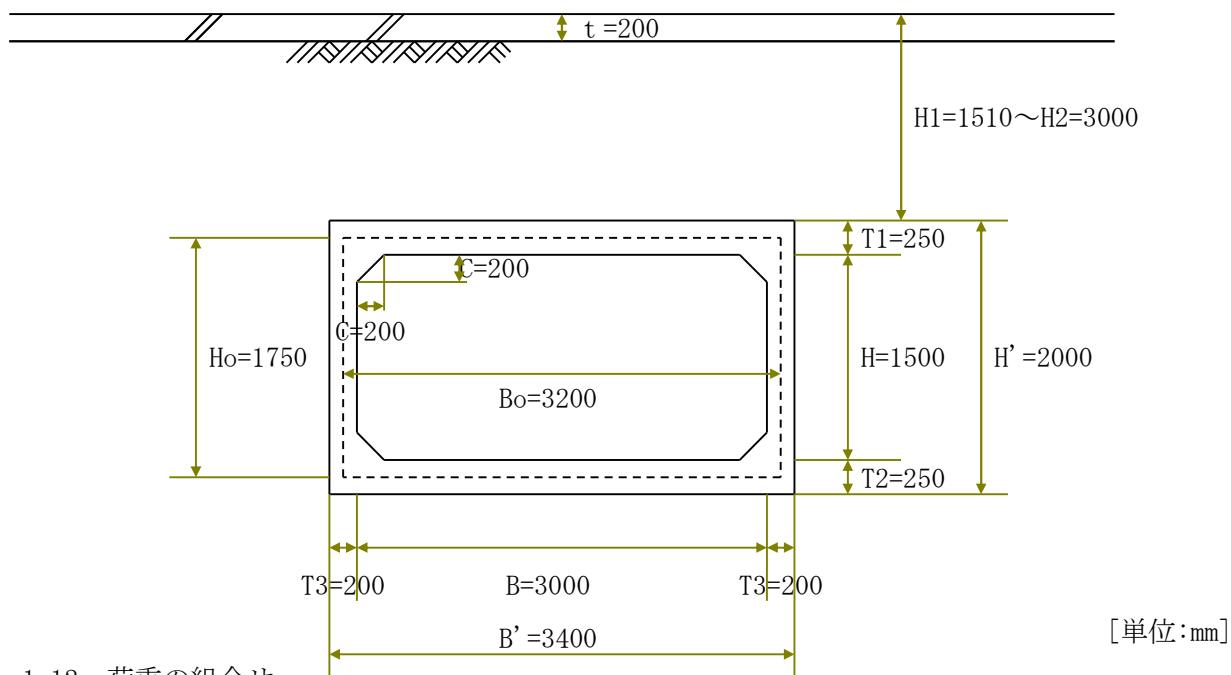
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

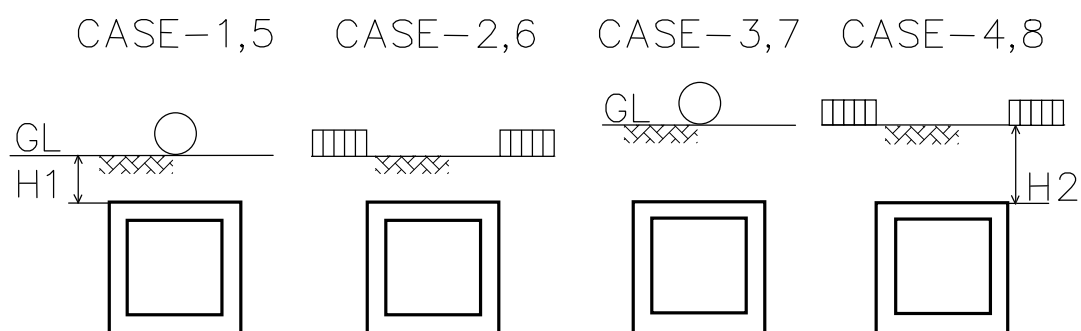
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 26$	$\phi 26$	*****	(mm)
断面積	530.90	530.90	*****	(mm ²)
設計引張力	450000	450000	*****	(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

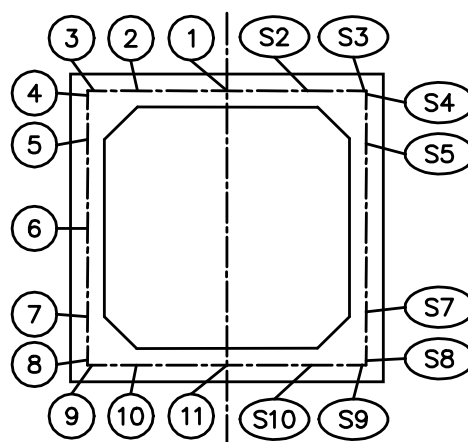
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

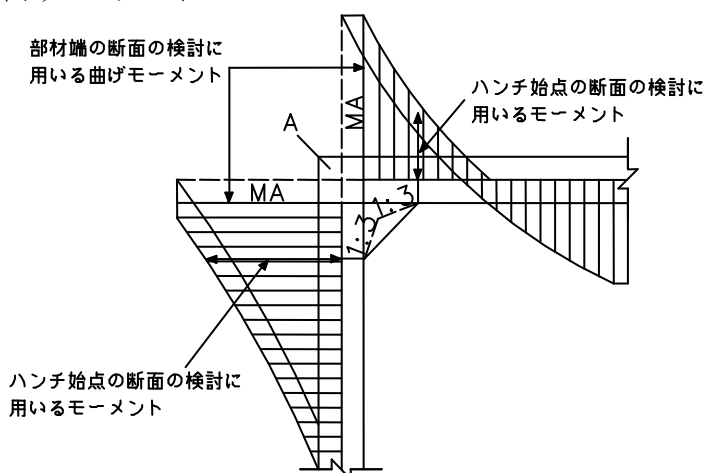
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

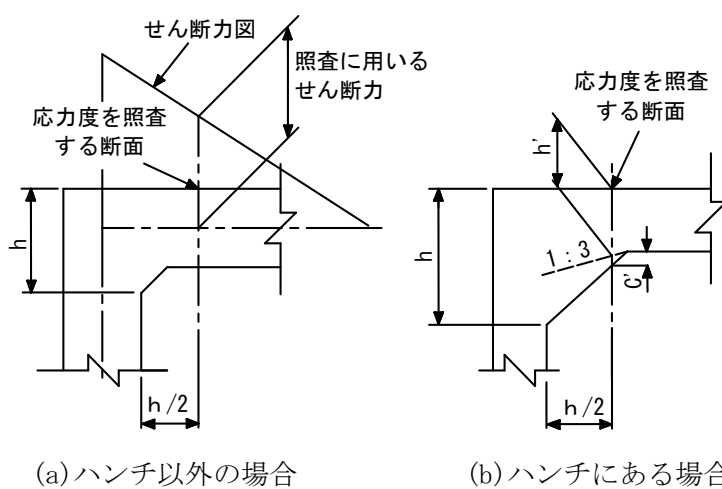
せん断力



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

ハッチにある場合の部材断面の高さは、ハッ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

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

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

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、 $P_{vl} = 0$

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	1.0681	1.0681	1.0681
β	1.0681	1.0681	1.0681
N1	3.0681	3.0681	3.0681
N2	3.0681	3.0681	3.0681
CAD (kN・m/m)	34.284	56.834	34.284
CBC (kN・m/m)	29.188	51.738	29.188
CAB (kN・m/m)	6.282	6.282	7.558
CBA (kN・m/m)	5.478	5.478	6.754
θA	-13.030	-23.933	-12.413
θB	11.975	22.878	11.358
MAB (kN・m/m)	-20.367	-31.270	-21.026
MAD (kN・m/m)	20.367	31.270	21.026
MBA (kN・m/m)	16.398	27.301	17.057
MBC (kN・m/m)	-16.398	-27.301	-17.057

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)	54.728	97.009	54.728
SCB	(kN/m)	-54.728	-97.009	-54.728
Mmax	(kN・m/m)	27.385	50.306	26.726
SAD	(kN/m)	64.283	106.564	64.283
SDA	(kN/m)	-64.283	-106.564	-64.283
Mmax	(kN・m/m)	31.059	53.981	30.401
SAB	(kN/m)	24.725	24.725	29.100
SBA	(kN/m)	-15.595	-15.595	-19.970
x	(m)	0.924	0.924	*****
		0.915	*****	0.915
Mmax	(kN・m/m)	-9.535	-20.439	*****
Mmax	(kN・m/m)	-9.536	*****	-8.285

注 1) 頂版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $P_{v1} = 0$ とする。

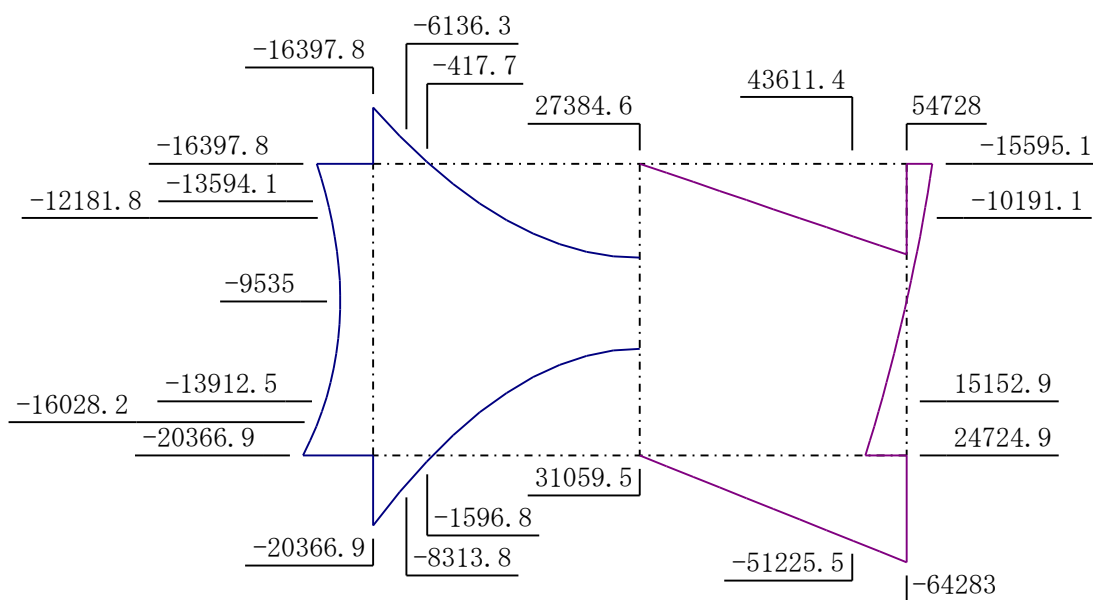
注 2) 底版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $q_v = q_v'$ とする。

(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-16398	54728	15595
	2 ハチ始点	0.300	-6136	***	15595
	S2 τ 点	0.325	-418	43611	15595
	1 中 央	1.600	27385	0	15595
底版	9, S9 端 部	0.100	-20367	64283	24725
	10 ハチ始点	0.300	-8314	***	24725
	S10 τ 点	0.325	-1597	51226	24725
	11 中 央	1.600	31060	0	24725
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-16398	-15595	54728
	5 上ハチ点	1.425	-13594	***	55820
	S5 上 τ点	1.425	-12182	-10191	56503
	6 中 間	0.924	-9535	*****	59238
		0.915	-9536	*****	59287
	S7 下 τ点	0.325	-13913	15153	62509
	7 下ハチ点	0.325	-16028	***	63191
	8, S8 下 端部	0.125	-20367	24725	64283

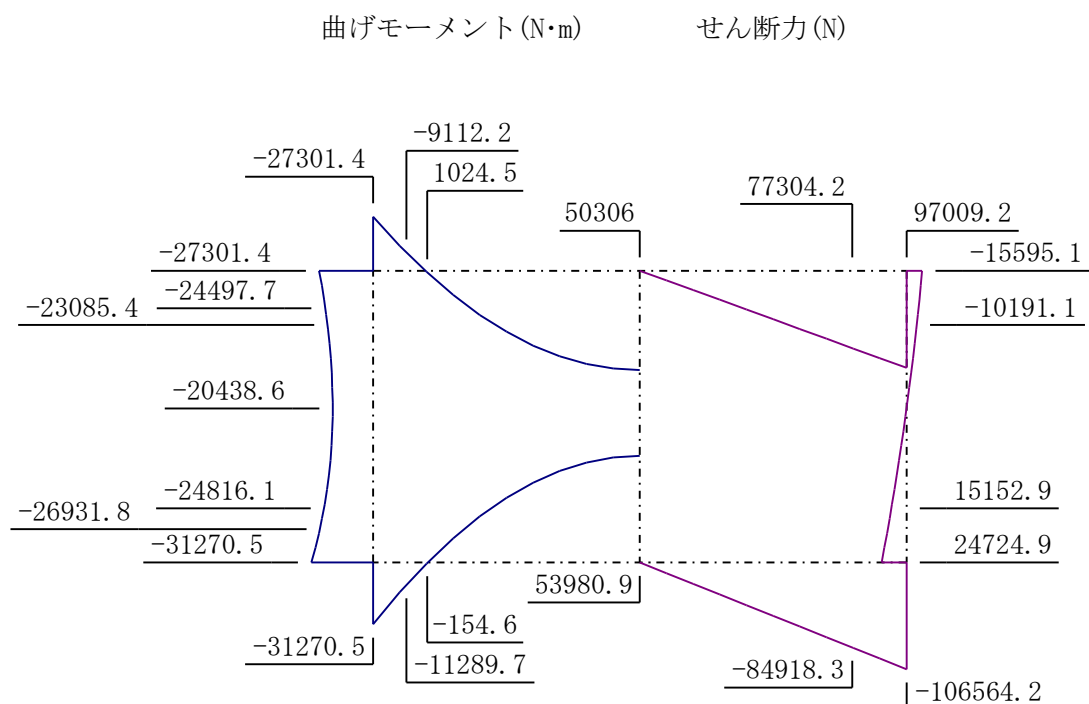
曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



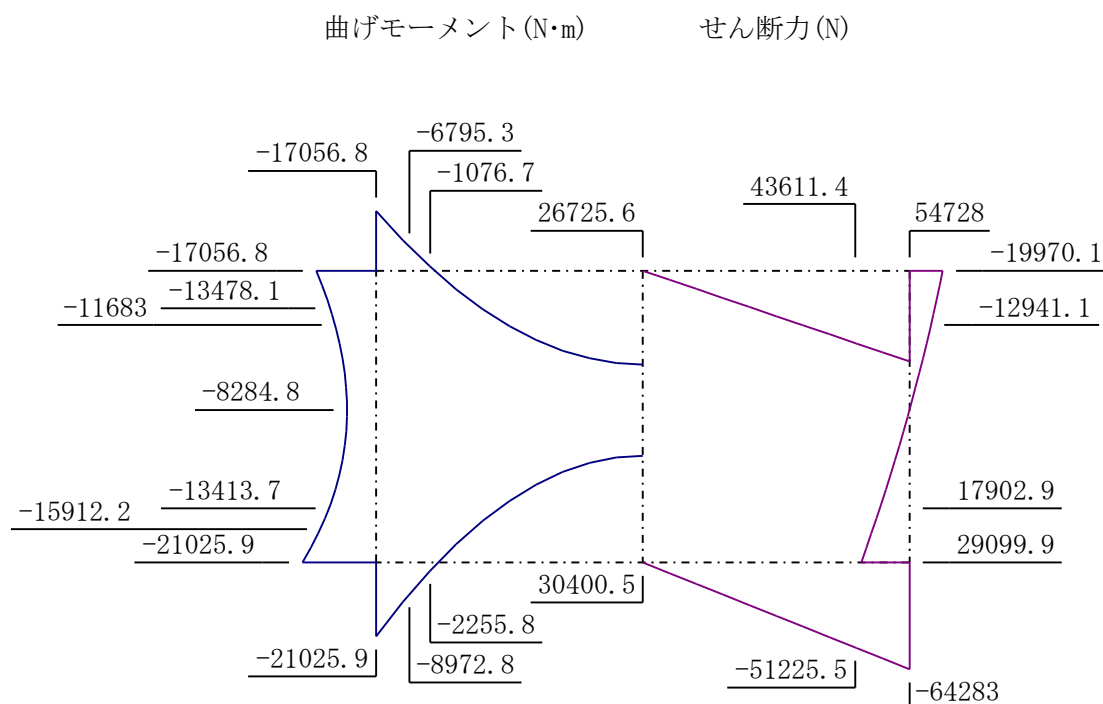
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

		[/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	0.100	-27301	97009	15595
	2 ハッチ始点	0.300	-9112	***	15595
	S2 τ 点	0.325	1025	77304	15595
	1 中 央	1.600	50306	0	15595
底版	9, S9 端 部	0.100	-31271	106564	24725
	10 ハッチ始点	0.300	-11290	***	24725
	S10 τ 点	0.325	-155	84918	24725
	11 中 央	1.600	53981	0	24725
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-27301	-15595	97009
	5 上ハッチ点	1.425	-24498	***	98101
	S5 上 τ 点	1.425	-23085	-10191	98784
	6 中 間	0.924	-20439	0	101519
	S7 下 τ 点	0.325	-24816	15153	104790
	7 下ハッチ点	0.325	-26932	***	105472
	8, S8 下 端部	0.125	-31271	24725	106564



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

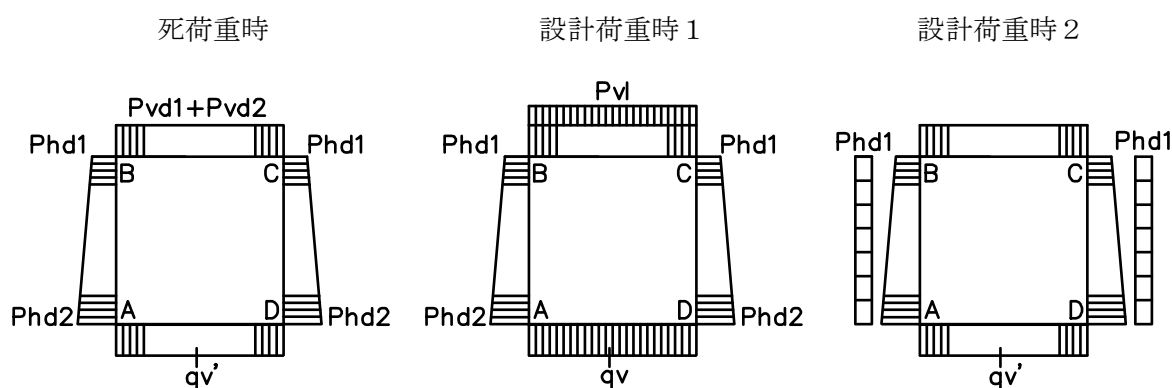
[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-17057	54728	19970
	2 ハチ始点	0.300	-6795	***	19970
	S2 τ 点	0.325	-1077	43611	19970
	1 中 央	1.600	26726	0	19970
底版	9, S9 端 部	0.100	-21026	64283	29100
	10 ハチ始点	0.300	-8973	***	29100
	S10 τ 点	0.325	-2256	51226	29100
	11 中 央	1.600	30401	0	29100
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-17057	-19970	54728
	5 上ハチ点	1.425	-13478	***	55820
	S5 上 τ 点	1.425	-11683	-12941	56503
	6 中 間	0.915	-8285	0	59287
	S7 下 τ 点	0.325	-13414	17903	62509
	7 下ハチ点	0.325	-15912	***	63191
	8, S8 下 端部	0.125	-21026	29100	64283



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 $P_{hd1} = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = Ka \times Q$
- (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}	6.125	6.125	6.125
P_{vd2}	54.900	54.900	54.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	28.575	28.575	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	33.575
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	44.325	44.325	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	49.325
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	13.724	0.000
q_v	*****	80.721	*****
$q_{v'}$	66.997	*****	66.997

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	1.0681	1.0681	1.0681
β	1.0681	1.0681	1.0681
N_1	3.0681	3.0681	3.0681
N_2	3.0681	3.0681	3.0681
CAD (kN・m/m)	57.171	68.882	57.171
CBC (kN・m/m)	52.075	63.786	52.075
CAB (kN・m/m)	9.704	9.704	10.980
CBA (kN・m/m)	8.900	8.900	10.176
θ_A	-22.441	-28.104	-21.824
θ_B	21.386	27.049	20.769
MAB (kN・m/m)	-33.201	-38.864	-33.860
MAD (kN・m/m)	33.201	38.864	33.860
MBA (kN・m/m)	29.232	34.895	29.891
MBC (kN・m/m)	-29.232	-34.895	-29.891

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。

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

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

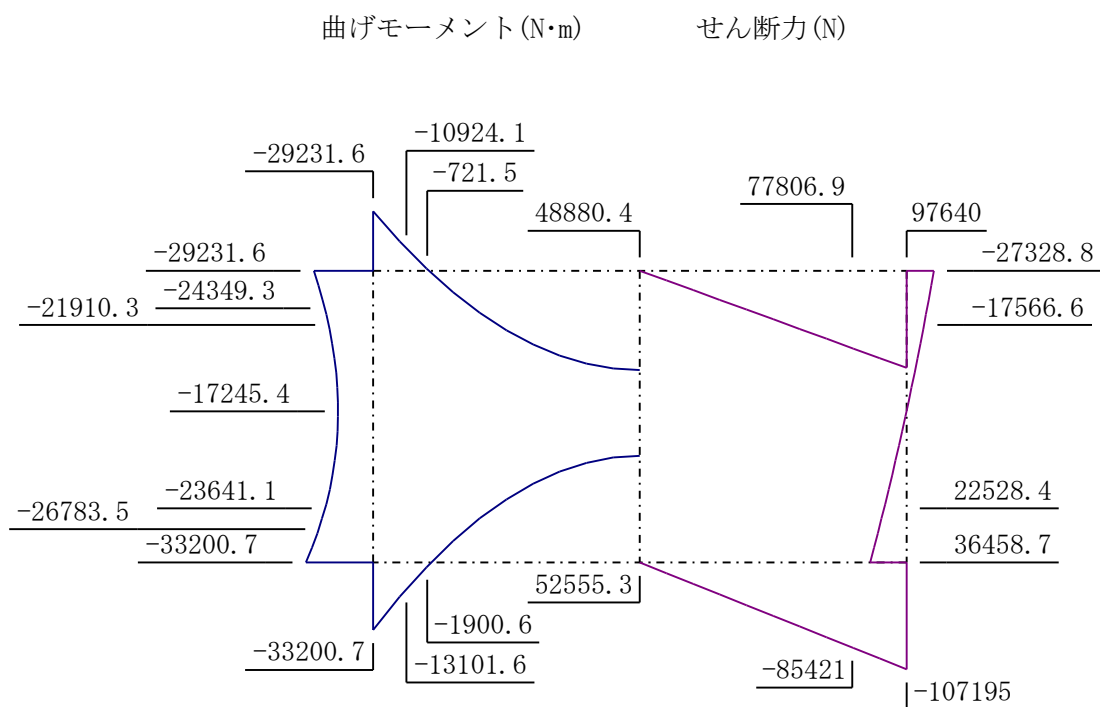
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	97.640	119.599	97.640
SCB (kN/m)	-97.640	-119.599	-97.640
Mmax (kN・m/m)	48.880	60.785	48.221
SAD (kN/m)	107.195	129.154	107.195
SDA (kN/m)	-107.195	-129.154	-107.195
Mmax (kN・m/m)	52.555	64.460	51.896
SAB (kN/m)	36.459	36.459	40.834
SBA (kN/m)	-27.329	-27.329	-31.704
x (m)	0.906	0.906	*****
	0.902	*****	0.902
Mmax (kN・m/m)	-17.245	-22.908	*****
Mmax (kN・m/m)	-17.246	*****	-15.992

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。

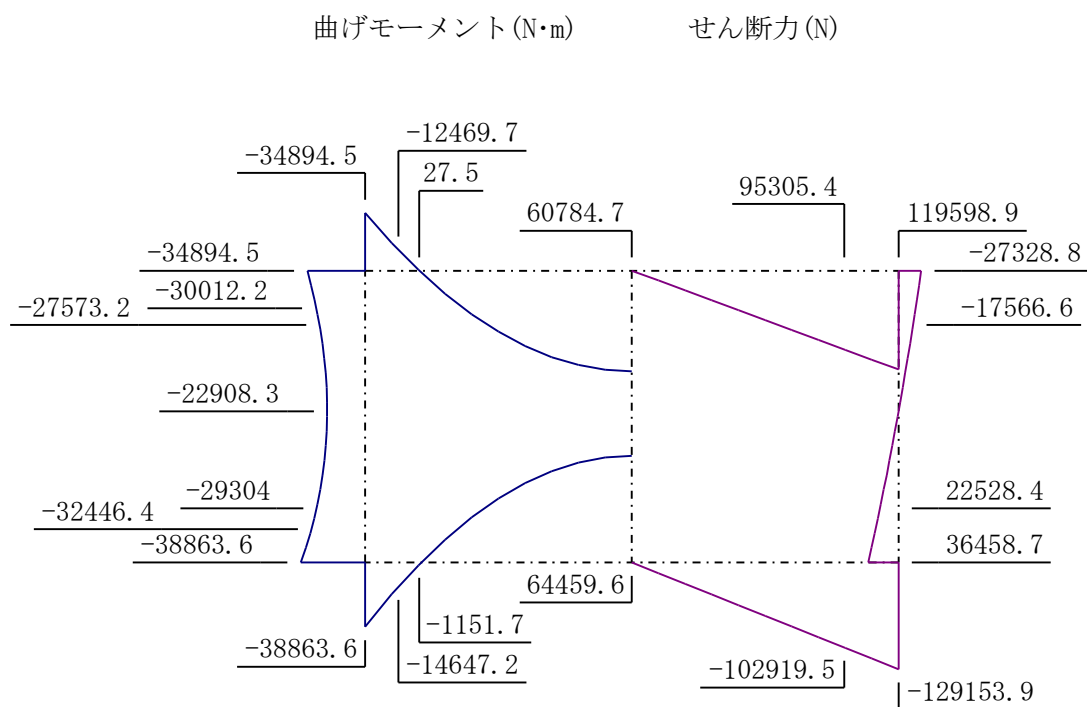
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

				[/単位長]	
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-29232	97640	27329
	2 ハッチ始点	0.300	-10924	***	27329
	S2 τ 点	0.325	-722	77807	27329
	1 中 央	1.600	48880	0	27329
底版	9, S9 端 部	0.100	-33201	107195	36459
	10 ハッチ始点	0.300	-13102	***	36459
	S10 τ 点	0.325	-1901	85421	36459
	11 中 央	1.600	52555	0	36459
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-29232	-27329	97640
	5 上ハッチ点	1.425	-24349	***	98732
	S5 上 τ 点	1.425	-21910	-17567	99415
	6 中 間	0.906	-17245	*****	102248
		0.902	-17246	*****	102270
	S7 下 τ 点	0.325	-23641	22528	105421
	7 下ハッチ点	0.325	-26784	***	106103
	8, S8 下 端部	0.125	-33201	36459	107195



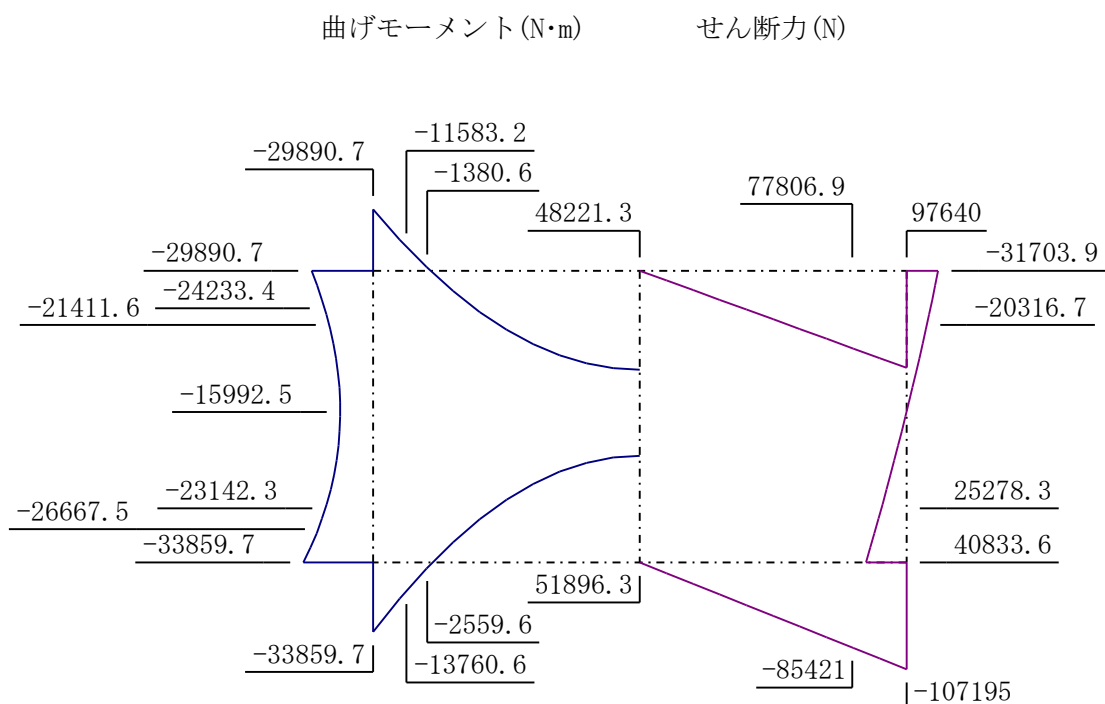
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/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	0.100	-34895	119599	27329
	2 ハチ始点	0.300	-12470	***	27329
	S2 τ 点	0.325	***	95305	***
	1 中 央	1.600	60785	0	27329
底版	9, S9 端 部	0.100	-38864	129154	36459
	10 ハチ始点	0.300	-14647	***	36459
	S10 τ 点	0.325	***	102920	***
	11 中 央	1.600	64460	0	36459
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-34895	-27329	119599
	5 上ハチ点	1.425	-30012	***	120691
	S5 上 τ点	1.425	***	-17567	***
	6 中 間	0.906	-22908	0	124207
	S7 下 τ点	0.325	***	22528	***
	7 下ハチ点	0.325	-32446	***	128062
	8, S8 下 端部	0.125	-38864	36459	129154



(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	0.100	-29891	97640	31704
	2 ハッチ始点	0.300	-11583	***	31704
	S2 τ 点	0.325	***	77807	***
	1 中 央	1.600	48221	0	31704
底版	9, S9 端 部	0.100	-33860	107195	40834
	10 ハッチ始点	0.300	-13761	***	40834
	S10 τ 点	0.325	***	85421	***
	11 中 央	1.600	51896	0	40834
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-29891	-31704	97640
	5 上ハッチ点	1.425	-24233	***	98732
	S5 上 τ 点	1.425	***	-20317	***
	6 中 間	0.902	-15993	0	102270
	S7 下 τ 点	0.325	***	25278	*****
	7 下ハッチ点	0.325	-26668	***	106103
	8, S8 下 端部	0.125	-33860	40834	107195



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P C鋼棒引張応力度	(kN)
	A_p : 1本当りのP C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P C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	P C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P C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P C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P C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	P C鋼棒偏心量	(cm)
I	断面二次モーメント	(cm ⁴)
$\Delta\sigma_{pr}$	P C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	P C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	31.67	3166.7	264621.91	15.83	16712.96
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ 点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
中 央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

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 26	2.50	5.309	450000	1.33	外 側
ハチ始点	φ 26	2.50	5.309	450000	-2.00	外 側
τ 点	φ 26	2.50	5.309	450000	2.00	内 側
中 央	φ 26	2.50	5.309	450000	2.00	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	847.62	3.63	-0.15	90.52	25.43	731.67	0.863	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.17	111.60	25.43	710.59	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	-0.01	108.94	25.43	713.25	0.841	3
中 央	847.62	4.85	-0.75	97.92	25.43	724.27	0.854	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	847.62	3.63	-0.15	90.52	25.43	731.67	0.863	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.17	111.60	25.43	710.59	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	-0.01	108.94	25.43	713.25	0.841	3
中 央	847.62	4.85	-0.75	97.92	25.43	724.27	0.854	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	847.62	3.63	-0.15	90.52	25.43	731.67	0.863	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.17	111.60	25.43	710.59	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	-0.01	108.94	25.43	713.25	0.841	4
中 央	847.62	4.85	-0.75	97.92	25.43	724.27	0.854	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	847.62	3.63	-0.15	90.52	25.43	731.67	0.863	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.17	111.60	25.43	710.59	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	-0.01	108.94	25.43	713.25	0.841	4
中 央	847.62	4.85	-0.75	97.92	25.43	724.27	0.854	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	1.75	0.09	2.29	4.13	3
ハチ始点	1.05	0.11	5.58	6.74	3
中 央	4.69	0.11	2.00	6.80	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.75	0.09	3.84	2.18	3
ハチ始点	-1.05	0.11	1.96	1.02	3
中 央	-4.69	0.11	5.69	1.11	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.09	0.09	2.29	4.47	3
ハチ始点	1.20	0.11	5.58	6.89	3
中 央	5.84	0.11	2.00	7.94	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.09	0.09	3.84	1.84	3
ハチ始点	-1.20	0.11	1.96	0.87	3
中 央	-5.84	0.11	5.69	-0.04	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	-47.108	1.14	5.23	5.7	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-16.834	0.49	7.35	1.6	0.0	0.000	0.000	3
中 央	82.059	-2.04	10.02	4.2	43.1	2.693	2.113	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	6.335 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 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)	σ c' (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ i	ケース
端 部	100.0	12535	27.329	119.599	971.11	3.15	0.57	-0.099	3
τ 点	100.0	7813	27.329	95.305	946.66	3.90	0.57	-0.082	3
						σ 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	-29.232	-5.663	-52.158	-59.321	-59.321	3
ハッチ始点	-10.924	-1.546	-18.065	-21.198	-21.198	3
中 央	48.880	11.904	93.305	103.334	103.334	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	13.272	6.335	17.2	28.2	0.069	0.009	210.84	3.6	3
ハッチ始点	13.272	6.335	10.5	21.5	0.069	0.014	127.53	6.0	3
中 央	13.272	6.335	14.5	21.5	0.069	0.010	170.04	1.6	3
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	31.67	3166.7	264621.91	15.83	16712.96
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ 点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
中 央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

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 26	2.50	5.309	450000	1.33	外 側
ハチ始点	φ 26	2.50	5.309	450000	-2.00	外 側
τ 点	φ 26	2.50	5.309	450000	-2.00	外 側
中 央	φ 26	2.50	5.309	450000	2.00	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	847.62	3.63	-0.17	90.22	25.43	731.97	0.864	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.20	112.10	25.43	710.09	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	0.03	109.54	25.43	712.65	0.841	3
中 央	847.62	4.85	-0.81	97.08	25.43	725.11	0.855	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	847.62	3.63	-0.17	90.22	25.43	731.97	0.864	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.20	112.10	25.43	710.09	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	0.03	109.54	25.43	712.65	0.841	3
中 央	847.62	4.85	-0.81	97.08	25.43	725.11	0.855	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	847.62	3.63	-0.17	90.22	25.43	731.97	0.864	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.20	112.10	25.43	710.09	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	0.03	109.54	25.43	712.65	0.841	4
中 央	847.62	4.85	-0.81	97.08	25.43	725.11	0.855	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	847.62	3.63	-0.17	90.22	25.43	731.97	0.864	3
ハチ始点	847.62	4.85	0.20	112.10	25.43	710.09	0.838	3
τ 点	847.62	4.85	0.03	109.54	25.43	712.65	0.841	4
中 央	847.62	4.85	-0.81	97.08	25.43	725.11	0.855	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	1.99	0.12	2.29	4.39	3
ハチ始点	1.26	0.15	5.58	6.98	3
中 央	5.05	0.15	2.00	7.19	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.99	0.12	3.84	1.97	3
ハチ始点	-1.26	0.15	1.96	0.85	3
中 央	-5.05	0.15	5.70	0.80	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.33	0.12	2.29	4.73	3
ハチ始点	1.41	0.15	5.58	7.13	3
中 央	6.19	0.15	2.00	8.34	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.33	0.12	3.84	1.63	3
ハチ始点	-1.41	0.15	1.96	0.70	3
中 央	-6.19	0.15	5.70	-0.34	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	-52.466	0.86	5.59	4.2	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-19.774	0.26	7.67	0.8	0.0	0.000	0.000	3
中 央	87.020	-2.46	10.55	4.7	58.1	3.632	2.363	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	6.335 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 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	12535	36.459	129.154	971.52	3.18	0.61	-0.114	3
τ 点	100.0	7813	36.459	102.919	945.87	3.93	0.62	-0.095	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	-33.201	-5.663	-57.318	-66.068	-66.068	3
ハッチ始点	-13.102	-1.546	-20.896	-24.900	-24.900	3
中 央	52.555	11.904	98.083	109.581	109.581	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	13.272	6.335	17.2	28.2	0.069	0.009	210.84	3.2	3
ハッチ始点	13.272	6.335	10.5	21.5	0.069	0.014	127.53	5.1	3
中 央	13.272	6.335	14.5	21.5	0.069	0.010	170.04	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	-34.895	119.599	29.18	9.83	46.655	3
	上ハチ点	-30.012	120.691	24.87	6.50	37.857	3
側壁	中 間	-22.908	124.207	18.44	6.50	30.982	3
	下ハチ点	-32.446	128.062	25.34	6.50	40.770	3
	下端部	-38.864	129.154	30.09	9.83	51.564	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)

$$\begin{aligned}
 A_s &= [\sigma_c / 2 \times s - N / (b \times d_a)] / \sigma_{sa} \times b \times d_a \\
 \therefore \sigma_c^3 + [3 \times \sigma_{sa} / (2 \times n) - 3 \times N \times (e + c) / (b \times d_a^2)] \times \sigma_c^2 \\
 &\quad - 6 \times N \times (e + c) / (n \times b \times d_a^2) \times \sigma_{sa} \times \sigma_c \\
 &\quad - 3 \times N \times (e + c) / (n^2 \times b \times d_a^2) \times \sigma_{sa}^2 = 0 \\
 &\text{上式を解いて } \sigma_c \text{ を求める。また } d_a = T - d' \text{ とする。} \\
 \therefore s &= n \times \sigma_c / (n \times \sigma_c + \sigma_{sa})
 \end{aligned}$$

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	46.655	12.03	15.53	26.67	6.758
	上ハチ点	37.857	10.84	14.34	20.00	9.128
側壁	中 間	30.982	9.81	13.31	20.00	5.713
	下ハチ点	40.770	11.25	14.75	20.00	10.036
	下端部	51.564	12.65	16.15	26.67	7.745
$d + d' < T$					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 19 - 5
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 16 - 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	$\sigma_{s'}$
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	12.128	9.912	4.74	95.1	0.0
	上ハチ点	100.00	12.128	7.627	7.11	124.1	0.0
	中間	100.00	12.128	8.206	5.49	83.2	0.0
	下ハチ点	100.00	12.128	7.597	7.68	135.1	0.0
	下端部	100.00	12.128	9.832	5.27	107.3	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	77.304	43.611	95.305	77.807				
	M			0.028					
	N			27.329					
	最大			○					
底版 τ点	S	84.918	51.225	102.919	85.421				
	M			-1.152					
	N			36.459					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-10.191	-12.941	-17.567	-20.317				
	M				-21.412				
	N				99.415				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	15.153	17.903	22.528	25.278				
	M				-23.142				
	N				105.421				
	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(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	25.0	3.5	21.5	1.400	D13-5	6.335	0.295	0.995
底版 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D13-5	6.335	0.295	0.995
側壁上 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D19-2.5 D16-2.5	12.128	0.735	1.341
側壁下 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D19-2.5 D16-2.5	12.128	0.735	1.341

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	0.028	961.3	27.329	0.250	0.01042	0.02	60.432	2.000
底版 τ 点	-1.152	945.9	36.459	0.250	0.01042	-0.02	22.027	2.000
側壁上 τ 点	-21.412	0.0	99.414	0.200	0.00667	0.00	3.315	1.155
側壁下 τ 点	-23.142	0.0	105.420	0.200	0.00667	0.00	3.516	1.152

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	1.341	1.155	0.585
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.341	1.152	0.584

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	95.305	21.5	0.443	0.752
底版 τ 点	102.920	21.5	0.479	0.752
側壁上 τ 点	20.317	16.5	0.123	0.585
側壁下 τ 点	25.278	16.5	0.153	0.584

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以 上