

受付 No.

台帳 No. PM403000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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

パワーボックスカルバート

設 計 計 算 書

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

○内空寸法： 内 幅 (B) 2400 mm

内 高 (H) 2000 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) 2400 × (H) 2000 × (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 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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

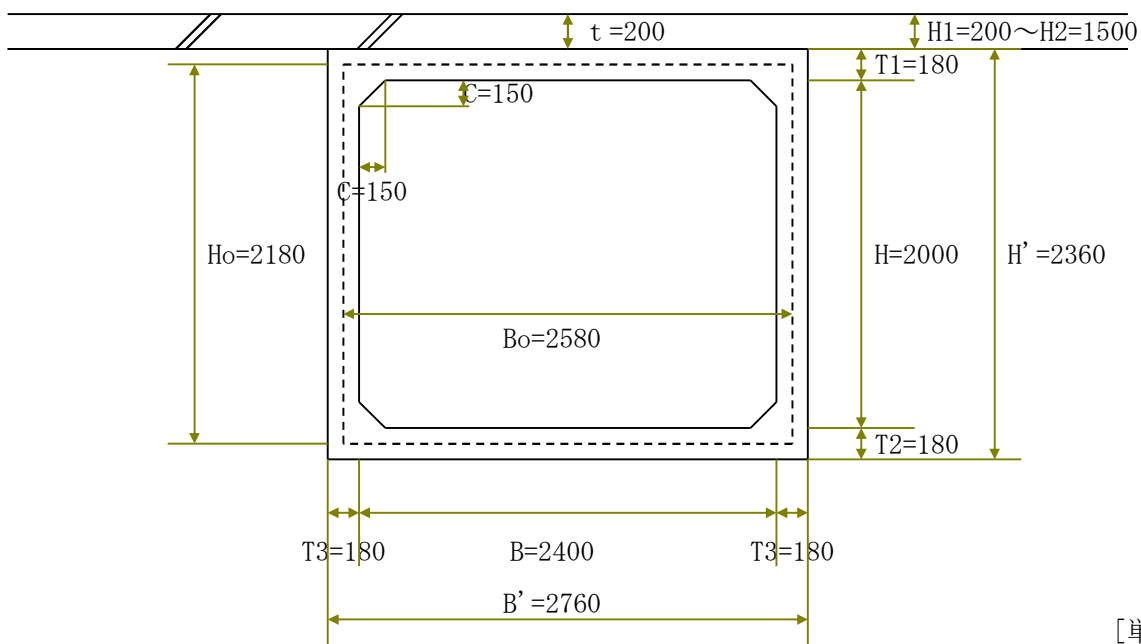
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

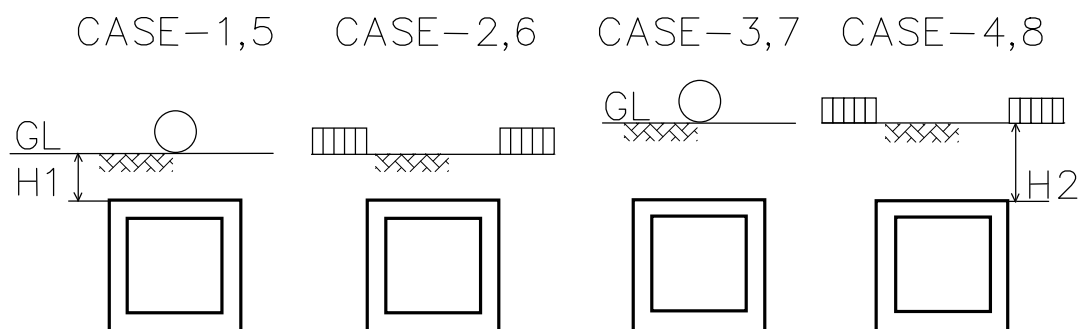
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 17$	*****	(mm)
断面積	346.40	227.00	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	190000	*****	(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

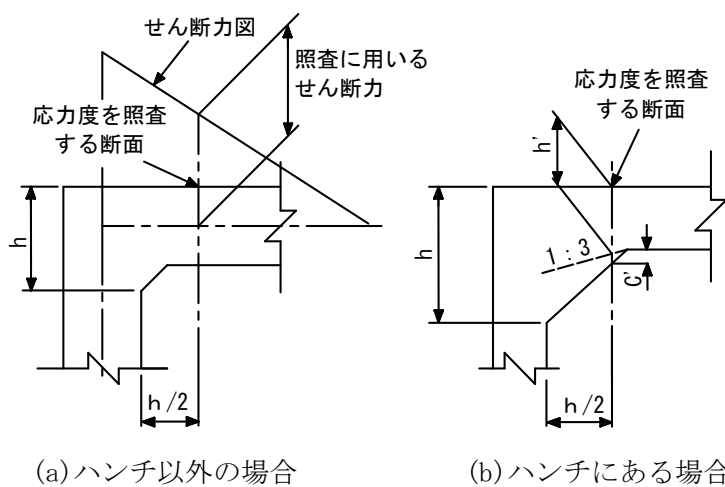
せん断力



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 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 $P_{hd1} = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = Ka \times Q$
- (5) 活荷重 輪分布幅 $u = a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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)
-------	------------------------------	---	--

Pvd1	4.410	4.410	4.410
Pvd2	4.500	4.500	4.500
Phd1 = Phd1	3.060	3.060	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	8.060
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	22.680	22.680	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	27.680
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	141.818	0.000
qv	*****	49.771	*****
qv'	16.790	*****	16.790

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1} = 0$ とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

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

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

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）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.8450	0.8450	0.8450
β	0.8450	0.8450	0.8450
N1	2.8450	2.8450	2.8450
N2	2.8450	2.8450	2.8450
CAD (kN・m/m)	9.313	27.608	9.313
CBC (kN・m/m)	4.942	31.889	4.942
CAB (kN・m/m)	5.874	5.874	7.854
CBA (kN・m/m)	4.320	4.320	6.300
θ_A	-1.467	-12.603	-0.394
θ_B	0.734	14.121	-0.339
MAB (kN・m/m)	-8.074	-16.959	-8.981
MAD (kN・m/m)	8.074	16.959	8.981
MBA (kN・m/m)	4.322	19.958	5.229
MBC (kN・m/m)	-4.322	-19.958	-5.229

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。

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

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

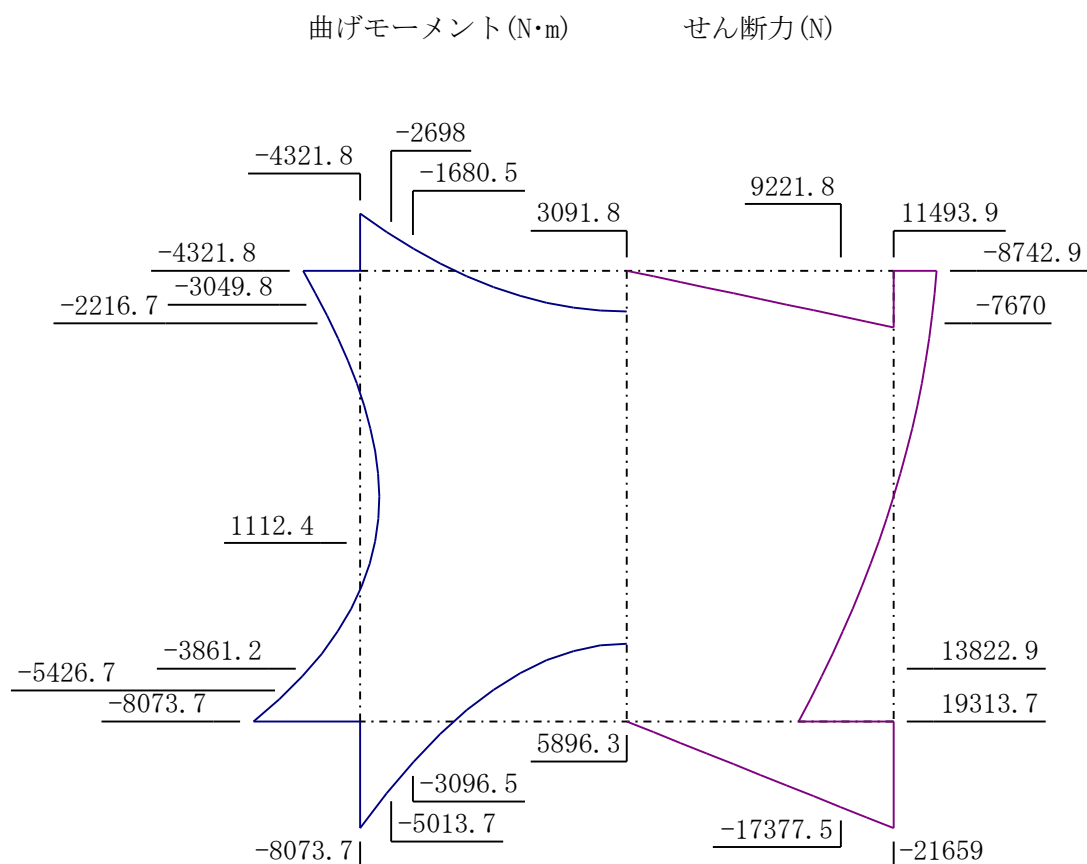
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	11.494	54.039	11.494
SCB	(kN/m)	-11.494	-54.039	-11.494
Mmax	(kN・m/m)	3.092	35.957	2.185
SAD	(kN/m)	21.659	64.204	21.659
SDA	(kN/m)	-21.659	-64.204	-21.659
Mmax	(kN・m/m)	5.896	24.453	4.989
SAB	(kN/m)	19.314	16.217	24.764
SBA	(kN/m)	-8.743	-11.840	-14.193
x	(m)	0.863	0.863	*****
		1.087	*****	1.087
Mmax	(kN・m/m)	1.112	-10.445	*****
Mmax	(kN・m/m)	1.448	*****	3.511

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。

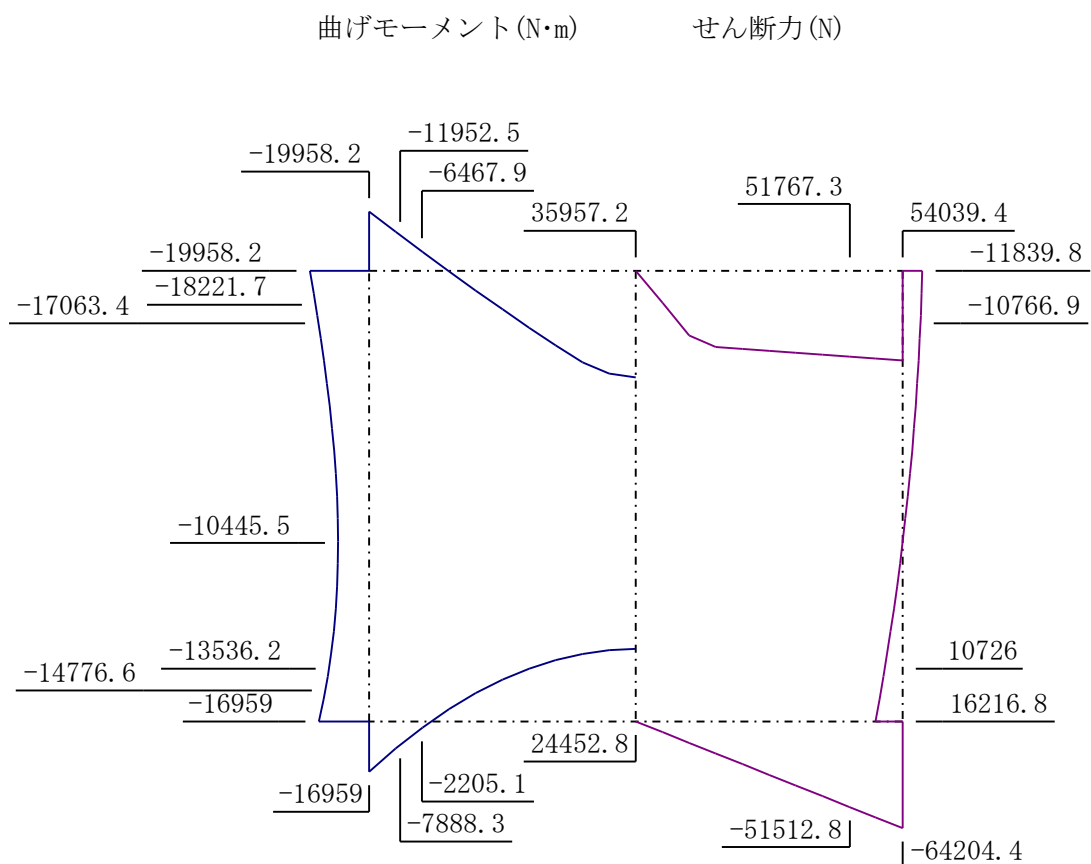
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	-4322	11494	8743
	2 ハッチ始点	0.240	-2698	***	8743
	S2 τ 点	0.255	-1681	9222	8743
	1 中 央	1.290	3092	0	8743
底版	9, S9 端 部	0.090	-8074	21659	19314
	10 ハッチ始点	0.240	-5014	***	19314
	S10 τ 点	0.255	-3097	17378	19314
	11 中 央	1.290	5896	0	19314
側壁	4, S4 上 端部	2.090	-4322	-8743	11494
	5 上ハッチ点	1.940	-3050	***	12193
	S5 上 τ 点	1.925	-2217	-7670	12683
	6 中 間	0.863	1112	*****	17635
		1.087	1448	*****	16590
	S7 下 τ 点	0.255	-3861	13823	20470
	7 下ハッチ点	0.240	-5427	***	20960
	8, S8 下 端部	0.090	-8074	19314	21659



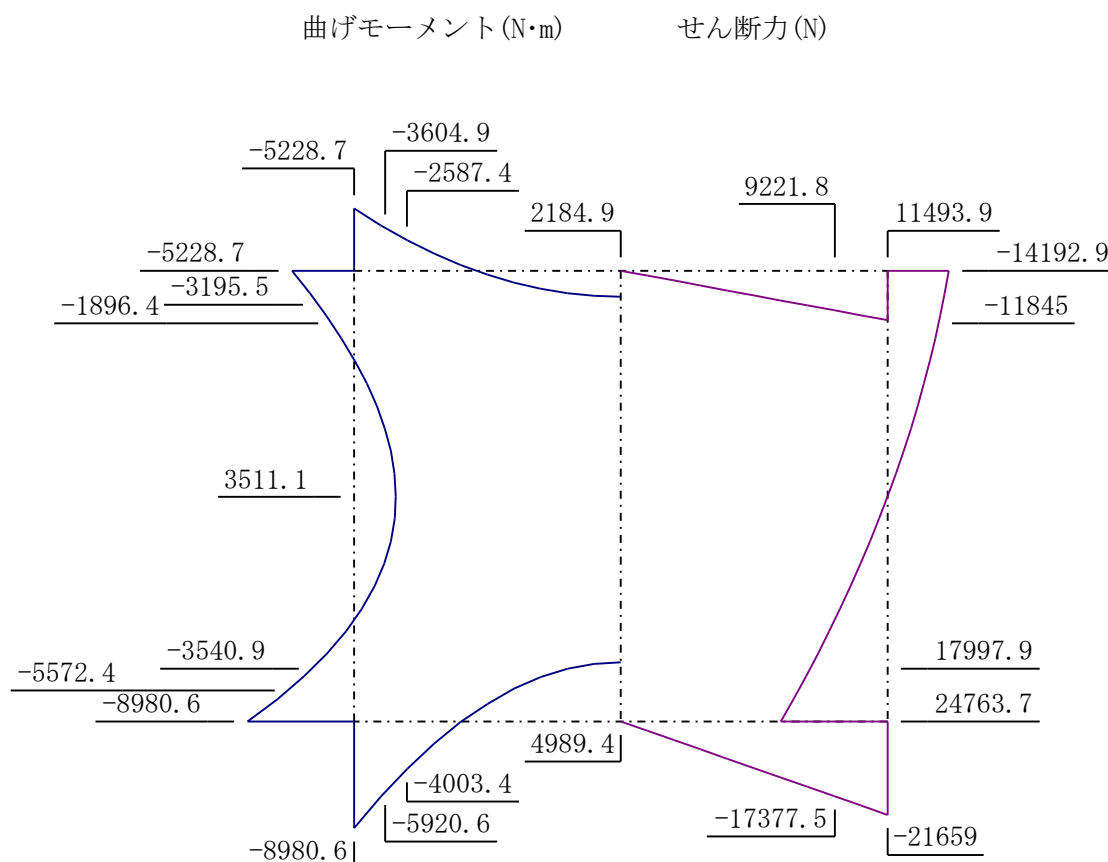
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	-19958	54039	11840
	2 ハチ始点	0.240	-11953	***	11840
	S2 τ 点	0.255	-6468	51767	11840
	1 中 央	1.290	35957	0	11840
底版	9, S9 端 部	0.090	-16959	64204	16217
	10 ハチ始点	0.240	-7888	***	16217
	S10 τ 点	0.255	-2205	51513	16217
	11 中 央	1.290	24453	0	16217
側壁	4, S4 上 端部	2.090	-19958	-11840	54039
	5 上ハチ点	1.940	-18222	***	54739
	S5 上 τ 点	1.925	-17063	-10767	55228
	6 中 間	0.863	-10446	0	60180
	S7 下 τ 点	0.255	-13536	10726	63015
	7 下ハチ点	0.240	-14777	***	63505
	8, S8 下 端部	0.090	-16959	16217	64204



(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	-5229	11494	14193
	2 ハチ始点	0.240	-3605	***	14193
	S2 τ 点	0.255	-2587	9222	14193
	1 中 央	1.290	2185	0	14193
底板	9, S9 端 部	0.090	-8981	21659	24764
	10 ハチ始点	0.240	-5921	***	24764
	S10 τ 点	0.255	-4003	17378	24764
	11 中 央	1.290	4989	0	24764
側壁	4, S4 上 端部	2.090	-5229	-14193	11494
	5 上ハチ点	1.940	-3196	***	12193
	S5 上 τ 点	1.925	-1896	-11845	12683
	6 中 間	1.087	3511	0	16590
	S7 下 τ 点	0.255	-3541	17998	20470
	7 下ハチ点	0.240	-5572	***	20960
	8, S8 下 端部	0.090	-8981	24764	21659



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 $u = a + 2 \times H2 = 3.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 3.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) / B_o$



設計荷重値

死荷重時

設計荷重時 1

設計荷重時 2

(kN/m²)(kN/m²)(kN/m²)

P_{vd1}	4.410	4.410	4.410
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	14.760	14.760	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	19.760
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	34.380	34.380	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	39.380
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	66.781	*****
$q_{v'}$	40.190	*****	40.190

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
- $$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB$$
- $$MAD = \beta \times \theta_A + CAD$$
- $$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA$$
- $$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
α	0.8450	0.8450	0.8450
β	0.8450	0.8450	0.8450
N_1	2.8450	2.8450	2.8450
N_2	2.8450	2.8450	2.8450
CAD (kN・m/m)	22.293	37.043	22.293
CBC (kN・m/m)	17.922	32.672	17.922
CAB (kN・m/m)	10.508	10.508	12.488
CBA (kN・m/m)	8.954	8.954	10.934
θ_A	-5.991	-13.986	-4.918
θ_B	5.258	13.253	4.185
MAB (kN・m/m)	-17.231	-25.226	-18.138
MAD (kN・m/m)	17.231	25.226	18.138
MBA (kN・m/m)	13.479	21.474	14.386
MBC (kN・m/m)	-13.479	-21.474	-14.386

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)	41.680	75.982	41.680
SCB (kN/m)	-41.680	-75.982	-41.680
Mmax (kN・m/m)	13.404	27.535	12.497
SAD (kN/m)	51.845	86.147	51.845
SDA (kN/m)	-51.845	-86.147	-51.845
Mmax (kN・m/m)	16.209	30.339	15.302
SAB (kN/m)	32.067	32.067	37.517
SBA (kN/m)	-21.496	-21.496	-26.946
x (m)	1.088	1.088	*****
	1.088	*****	1.088
Mmax (kN・m/m)	-0.759	-8.754	*****
Mmax (kN・m/m)	-0.759	*****	1.304

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

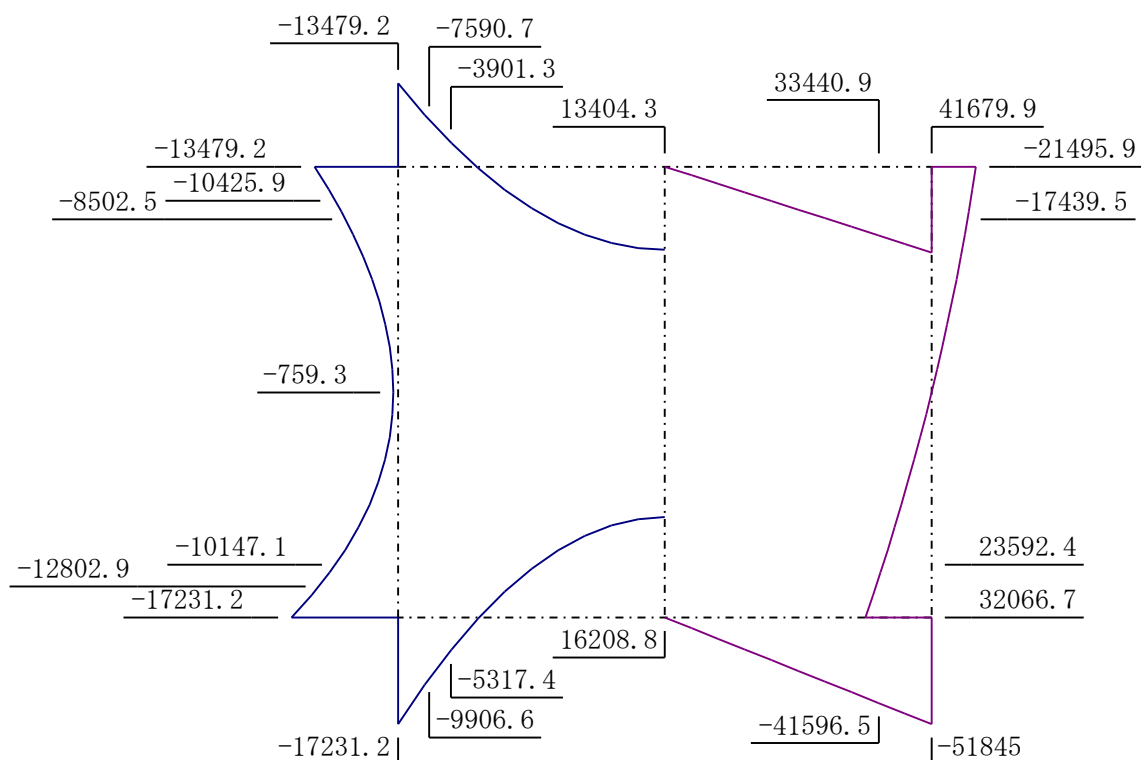
注 2) 底版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $q_v = q_v'$ とする。

(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	0.090	-13479	41680	21496	
	2 ハチ始点	0.240	-7591	***	21496	
	S2 τ 点	0.255	-3901	33441	21496	
	1 中 央	1.290	13404	0	21496	
底版	9, S9 端 部	0.090	-17231	51845	32067	
	10 ハチ始点	0.240	-9907	***	32067	
	S10 τ 点	0.255	-5317	41597	32067	
	11 中 央	1.290	16209	0	32067	
側壁	4, S4 上 端部	2.090	-13479	-21496	41680	
	5 上ハチ点	1.940	-10426	***	42379	
	S5 上 τ点	1.925	-8503	-17440	42869	
	6 中 間	1.088	-759	*****	46772	
		1.088	-759	*****	46772	
	S7 下 τ点	0.255	-10147	23592	50656	
	7 下ハチ点	0.240	-12803	***	51146	
	8, S8 下 端部	0.090	-17231	32067	51845	

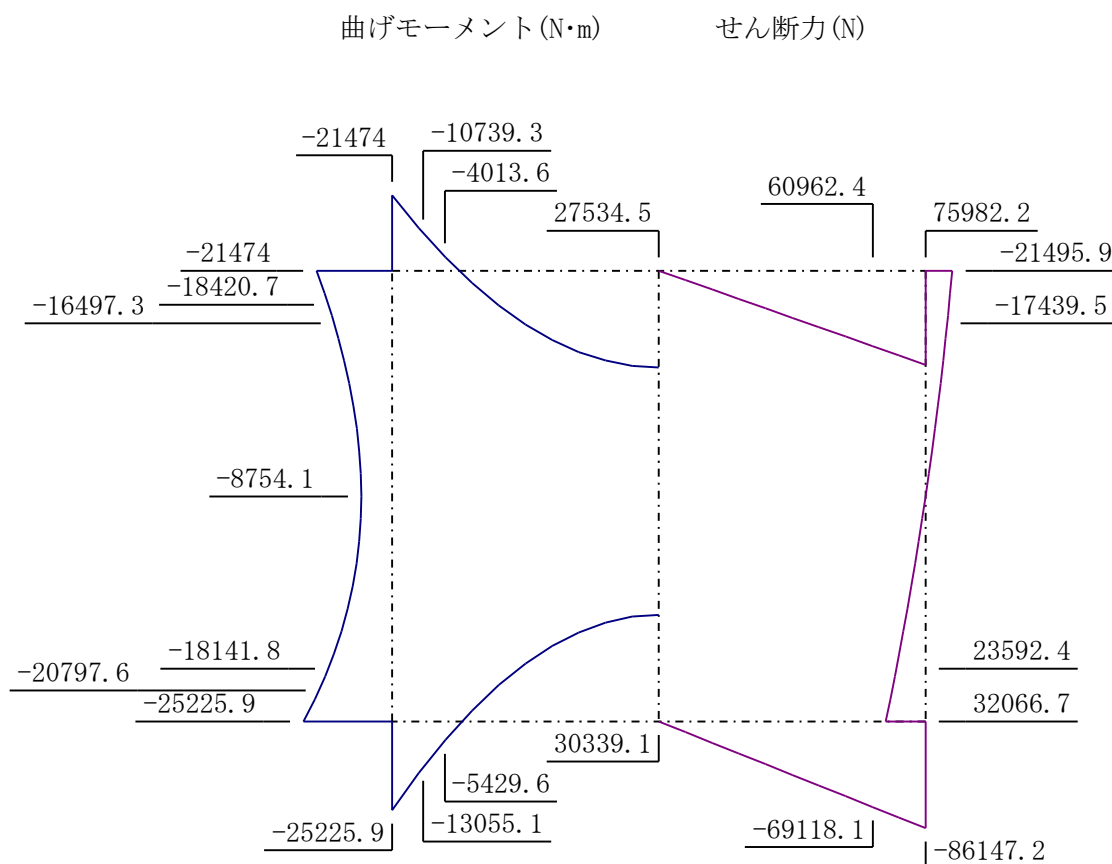
曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



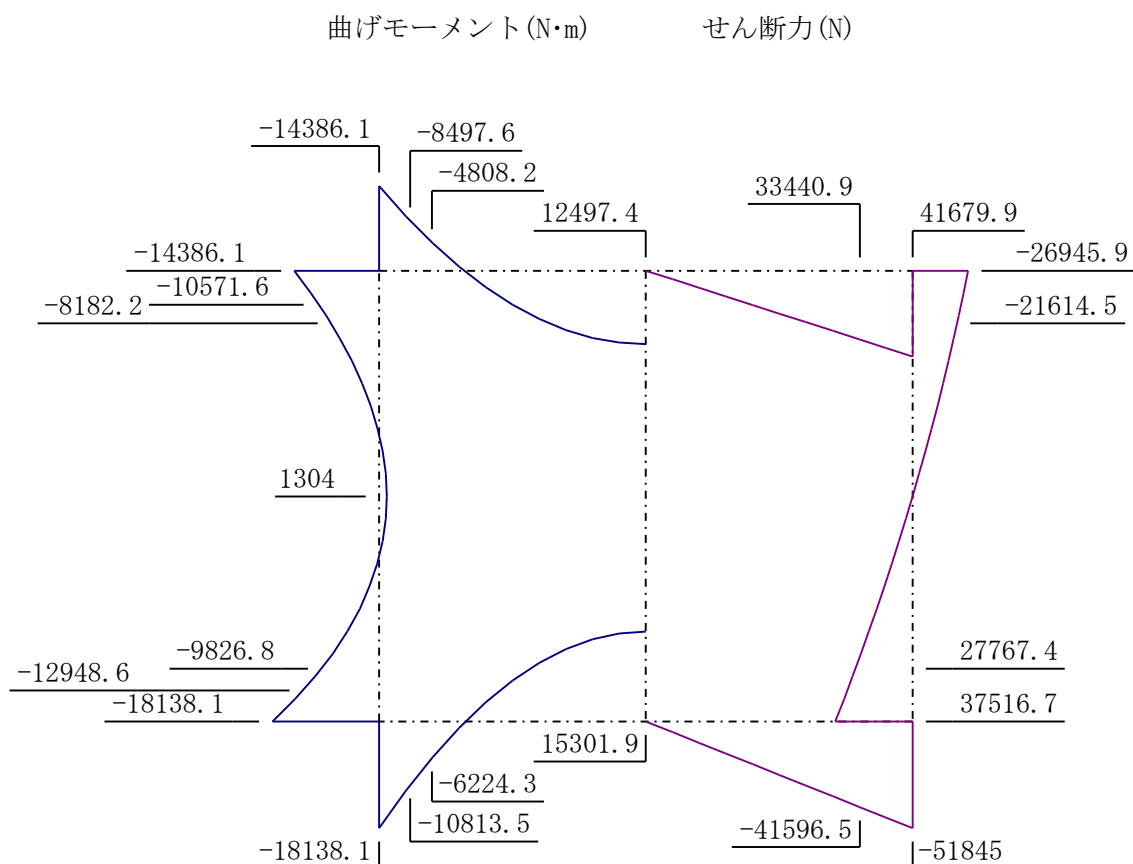
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

		[/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	-21474	75982	21496
	2 ハッチ始点	0.240	-10739	***	21496
	S2 τ 点	0.255	***	60962	***
	1 中 央	1.290	27535	0	21496
底板	9, S9 端 部	0.090	-25226	86147	32067
	10 ハッチ始点	0.240	-13055	***	32067
	S10 τ 点	0.255	***	69118	***
	11 中 央	1.290	30339	0	32067
側壁	4, S4 上 端部	2.090	-21474	-21496	75982
	5 上ハッチ点	1.940	-18421	***	76682
	S5 上 τ 点	1.925	***	-17440	***
	6 中 間	1.088	-8754	0	81074
	S7 下 τ 点	0.255	***	23592	***
	7 下ハッチ点	0.240	-20798	***	85448
	8, S8 下 端部	0.090	-25226	32067	86147



(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	-14386	41680	26946
	2 ハチ始点	0.240	-8498	***	26946
	S2 τ 点	0.255	***	33441	***
	1 中 央	1.290	12497	0	26946
底板	9, S9 端 部	0.090	-18138	51845	37517
	10 ハチ始点	0.240	-10814	***	37517
	S10 τ 点	0.255	***	41597	***
	11 中 央	1.290	15302	0	37517
側壁	4, S4 上 端部	2.090	-14386	-26946	41680
	5 上ハチ点	1.940	-10572	***	42379
	S5 上 τ 点	1.925	***	-21615	***
	6 中 間	1.088	1304	0	46772
	S7 下 τ 点	0.255	***	27767	*****
	7 下ハチ点	0.240	-12949	***	51146
	8, S8 下 端部	0.090	-18138	37517	51845



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	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	3.33	3.464	290000	1.50	外 側
ハチ始点	φ 21	3.33	3.464	290000	-1.00	外 側
τ 点	φ 21	3.33	3.464	290000	-1.00	外 側
中 央	φ 21	3.33	3.464	290000	1.00	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	837.18	4.42	-0.20	100.35	25.12	711.72	0.850	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.16	120.69	25.12	691.38	0.826	3
τ 点	837.18	5.57	0.08	119.58	25.12	692.49	0.827	3
中 央	837.18	5.57	-0.28	114.34	25.12	697.73	0.833	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.42	-0.20	100.35	25.12	711.72	0.850	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.16	120.69	25.12	691.38	0.826	3
τ 点	837.18	5.57	0.08	119.58	25.12	692.49	0.827	3
中 央	837.18	5.57	-0.28	114.34	25.12	697.73	0.833	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	4.42	-0.20	100.35	25.12	711.72	0.850	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.06	119.21	25.12	692.86	0.828	1
τ 点	837.18	5.57	0.03	118.90	25.12	693.16	0.828	1
中 央	837.18	5.57	-0.06	117.46	25.12	694.61	0.830	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.42	-0.20	100.35	25.12	711.72	0.850	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.06	119.21	25.12	692.86	0.828	1
τ 点	837.18	5.57	0.03	118.90	25.12	693.16	0.828	1
中 央	837.18	5.57	-0.06	117.46	25.12	694.61	0.830	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	1.53	0.09	2.17	3.80	3
ハチ始点	1.41	0.12	5.91	7.44	3
中 央	2.48	0.12	2.98	5.59	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.53	0.09	4.97	3.54	3
ハチ始点	-1.41	0.12	2.96	1.67	3
中 央	-2.48	0.12	5.97	3.60	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.44	0.09	2.17	4.70	3
ハチ始点	2.21	0.07	5.93	8.21	1
中 央	6.66	0.07	2.97	9.70	1
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.44	0.09	4.97	2.63	3
ハチ始点	-2.21	0.07	2.96	0.82	1
中 央	-6.66	0.07	5.94	-0.65	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	-28.990	1.81	5.59	5.6	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-16.136	0.06	9.00	0.1	0.0	0.000	0.000	1
中 央	48.542	-2.96	12.05	3.5	52.5	3.283	1.775	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	—	D 0	—	0	
内 側	D 13	—	D 0	—	0	

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	21.496	75.982	821.80	3.67	0.50	-0.066	3
τ 点	100.0	4050	21.496	60.962	799.60	4.56	0.51	-0.056	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	-4.322	-15.636	-44.709	-33.929	-44.709	1
ハチ始点	-2.698	-9.255	-26.644	-20.319	-26.644	1
中 央	3.092	32.865	86.183	61.127	86.183	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	11.547	8.447	13.0	19.5	0.069	0.011	149.91	3.4	1
ハチ始点	11.547	8.447	8.0	14.5	0.069	0.017	91.22	3.4	1
中 央	11.547	8.447	10.0	14.5	0.069	0.014	109.72	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	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 17	3.33	2.270	190000	1.50	外 側
ハチ始点	φ 17	3.33	2.270	190000	-1.00	外 側
τ 点	φ 17	3.33	2.270	190000	-1.00	外 側
中 央	φ 17	3.33	2.270	190000	1.00	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	837.00	2.89	-0.25	78.62	25.11	733.27	0.876	3
ハチ始点	837.00	3.65	0.20	96.06	25.11	715.83	0.855	3
τ 点	837.00	3.65	0.11	94.63	25.11	717.27	0.857	3
中 央	837.00	3.65	-0.33	87.91	25.11	723.98	0.865	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.00	2.89	-0.25	78.62	25.11	733.27	0.876	3
ハチ始点	837.00	3.65	0.20	96.06	25.11	715.83	0.855	3
τ 点	837.00	3.65	0.11	94.63	25.11	717.27	0.857	3
中 央	837.00	3.65	-0.33	87.91	25.11	723.98	0.865	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.00	2.89	-0.25	78.62	25.11	733.27	0.876	3
ハチ始点	837.00	3.65	0.20	96.06	25.11	715.83	0.855	3
τ 点	837.00	3.65	0.11	94.63	25.11	717.27	0.857	4
中 央	837.00	3.65	-0.33	87.91	25.11	723.98	0.865	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.00	2.89	-0.25	78.62	25.11	733.27	0.876	3
ハチ始点	837.00	3.65	0.20	96.06	25.11	715.83	0.855	3
τ 点	837.00	3.65	0.11	94.63	25.11	717.27	0.857	4
中 央	837.00	3.65	-0.33	87.91	25.11	723.98	0.865	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	1.95	0.14	1.47	3.56	3
ハチ始点	1.83	0.18	4.01	6.02	3
中 央	3.00	0.18	2.03	5.21	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.95	0.14	3.36	1.54	3
ハチ始点	-1.83	0.18	2.01	0.35	3
中 央	-3.00	0.18	4.06	1.23	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.86	0.14	1.47	4.47	3
ハチ始点	2.42	0.18	4.01	6.61	3
中 央	5.62	0.18	2.03	7.83	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.86	0.14	3.36	0.63	3
ハチ始点	-2.42	0.18	2.01	-0.23	3
中 央	-5.62	0.18	4.06	-1.38	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	-34.055	-0.32	5.52	1.3	2.0	0.125	0.627	3
ハッチ始点	-17.624	-1.02	7.52	2.1	10.9	0.682	1.073	3
中 央	40.958	-3.29	9.85	4.5	74.0	4.623	2.251	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)	σ c' (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ i	ケース
端 部	100.0	6612	32.067	86.147	554.84	2.55	0.56	-0.118	3
τ 点	100.0	4050	32.067	69.118	542.73	3.19	0.58	-0.101	3
σ 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	-17.231	-7.995	-42.387	-42.884	-42.884	3
ハッチ始点	-9.907	-3.149	-20.750	-22.194	-22.194	3
中 央	16.209	14.130	56.397	51.576	56.397	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	7.567	8.447	13.0	19.5	0.069	0.007	118.73	2.8	3
ハッチ始点	7.567	8.447	8.0	14.5	0.069	0.012	75.98	3.4	3
中 央	7.567	8.447	10.0	14.5	0.069	0.010	88.09	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	-19.958	54.039	36.93	8.00	24.281	1
	上ハチ点	-18.222	54.739	33.29	5.50	21.232	1
側壁	中 間	-10.445	60.180	17.36	5.50	13.755	1
	下ハチ点	-20.798	85.448	24.34	5.50	25.497	3
	下端部	-25.226	86.147	29.28	8.00	32.118	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	24.281	8.68	12.18	23.00	5.284
	上ハチ点	21.232	8.12	11.62	18.00	7.015
側壁	中 間	13.755	6.53	10.03	18.00	2.845
	下ハチ点	25.497	8.90	12.40	18.00	7.328
	下端部	32.118	9.99	13.49	23.00	6.238
$d + d' < T$					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 13 - 10
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0

部材	点	部材幅 b (cm)	使用鉄筋量 A _s (cm ² /m)	x (cm)	実応力度 (N/mm ²)		
					σ_c	σ_s	$\sigma_{s'}$
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	8.447	7.120	3.98	103.9	0.0
	上ハチ点	100.00	8.447	5.734	5.88	134.9	0.0
	中間	100.00	8.447	6.589	3.39	61.1	0.0
	下ハチ点	100.00	8.447	6.062	6.74	140.7	0.0
	下端部	100.00	8.447	7.483	5.05	121.6	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	51.767	9.222	60.962	33.441				
	M			-4.014					
	N			21.496					
	最大			○					
底版 τ点	S	51.513	17.378	69.118	41.596				
	M			-5.430					
	N			32.067					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-10.767	-11.845	-17.439	-21.614				
	M				-8.182				
	N				42.869				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	10.726	17.998	23.592	27.767				
	M				-9.827				
	N				50.656				
	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	D13-6.7	8.447	0.583	1.250
底版 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D13-6.7	8.447	0.583	1.250
側壁上 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D13-6.7	8.447	0.583	1.250
側壁下 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D13-6.7	8.447	0.583	1.250

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	-4.014	799.6	21.496	0.180	0.00540	-0.01	16.637	2.000
底版 τ 点	-5.430	542.7	32.067	0.180	0.00540	-0.01	11.816	2.000
側壁上 τ 点	-8.182	0.0	42.869	0.180	0.00540	0.00	1.286	1.157
側壁下 τ 点	-9.827	0.0	50.656	0.180	0.00540	0.00	1.520	1.155

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	1.250	2.000	0.945
底版 τ 点	0.270	1.400	1.250	2.000	0.945
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.250	1.157	0.547
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.250	1.155	0.546

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	60.962	14.5	0.420	0.945
底版 τ 点	69.118	14.5	0.477	0.945
側壁上 τ 点	21.614	14.5	0.149	0.547
側壁下 τ 点	27.767	14.5	0.191	0.546

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上