

受付 No.

台帳 No. KL426002

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 3000 mm
長 さ (L) 2000 mm

○設計条件： 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 0.500 m
H2= 1.500 m

千葉窯業株式会社

1 設 計 条 件

1.1 一般条件

構造形式	: 一径間ボックスラーメン
内空寸法	: (B) 3000 × (H) 3000 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 0.500 ~ 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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

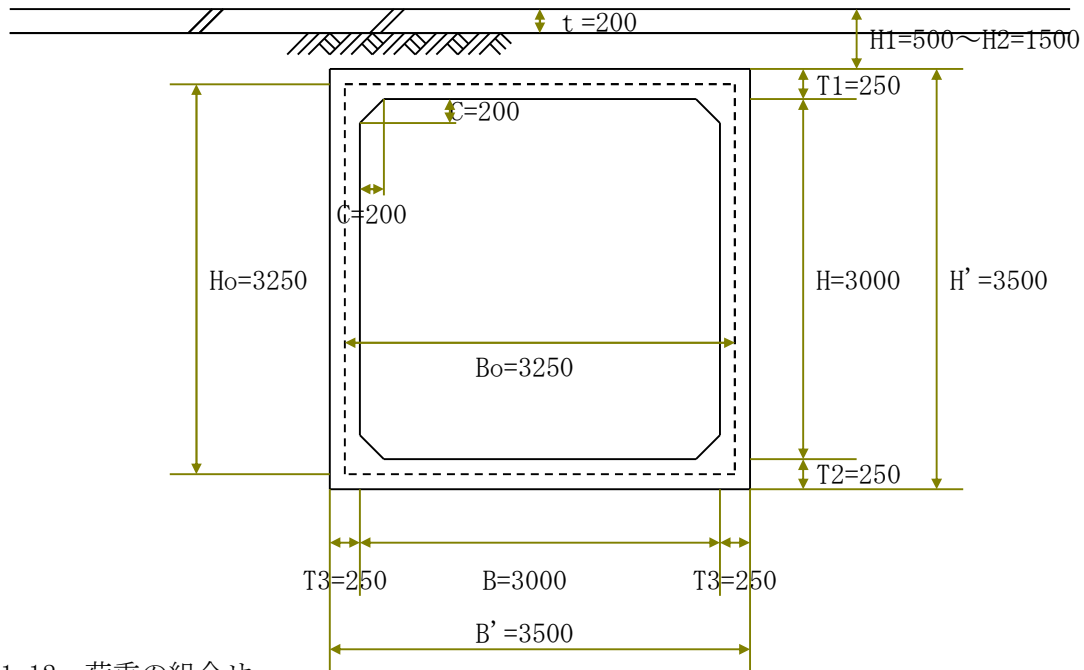
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

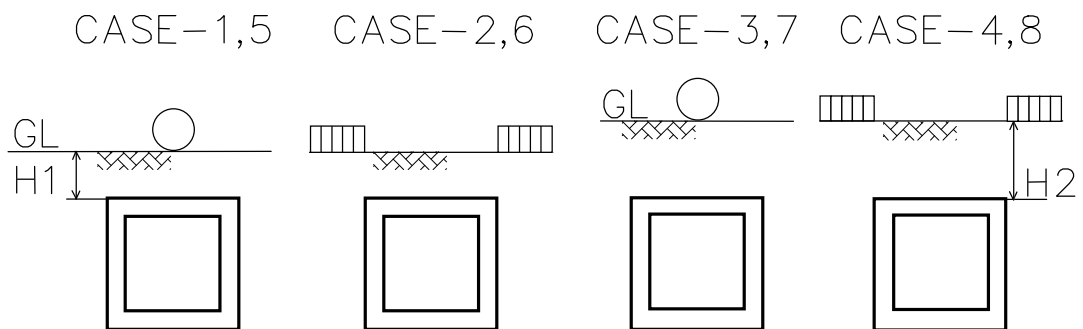
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 19$	$\phi 21$	*****	(mm)
断面積	283.50	346.40	*****	(mm ²)
設計引張力	240000	290000	*****	(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

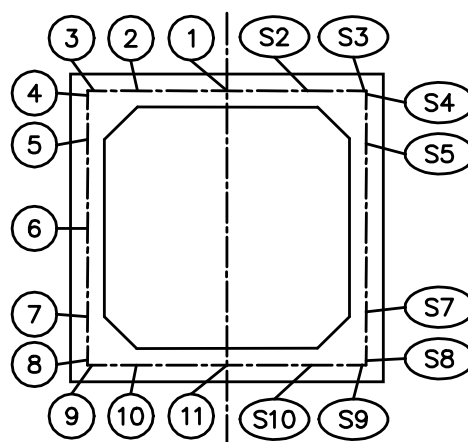
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

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 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 | $P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \}$ | |
| (3) 水平土圧 | $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \}$ | |
| | $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \}$ | |
| (4) 載荷重 | $P_q = K_a \times Q$ | |
| (5) 活荷重 | $輪分布幅 \quad u = a + 2 \times H1$ | $= 1.200 \text{ m}$ |
| | $v = b + 2 \times H1$ | $= 1.500 \text{ m}$ |
| | $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta$ | $= 117.000 \text{ kN}$ |
| | $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$ | |
| (6) 底版反力 | $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o$ | |



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-1 (kN/m ²)	設計荷重 2 CASE-2 (kN/m ²)
P _{vd1}	6.125	6.125	6.125
P _{vd2}	9.900	9.900	9.900
P _{hd1} = P _{hd1}	6.075	6.075	*****
P _{hd1} = P _{hd1} + P _q	*****	*****	11.075
P _{hd3} = P _{hd3}	*****	*****	*****
P _{hd3} = P _{hd3} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5}	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd2} = P _{hd2}	35.325	35.325	*****
P _{hd2} = P _{hd2} + P _q	*****	*****	40.325
P _{hd4} = P _{hd4}	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	70.909	0.000
q _v	*****	55.060	*****
q _v '	28.878	*****	28.878

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	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)	25.419	48.464	25.419
CBC (kN・m/m)	14.105	47.103	14.105
CAB (kN・m/m)	20.795	20.795	25.196
CBA (kN・m/m)	15.646	15.646	20.047
θ_A	-1.541	-14.308	0.659
θ_B	0.000	15.255	-2.200
MAB (kN・m/m)	-23.877	-34.156	-26.078
MAD (kN・m/m)	23.877	34.156	26.078
MBA (kN・m/m)	14.105	31.848	16.305
MBC (kN・m/m)	-14.105	-31.848	-16.305

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。

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

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

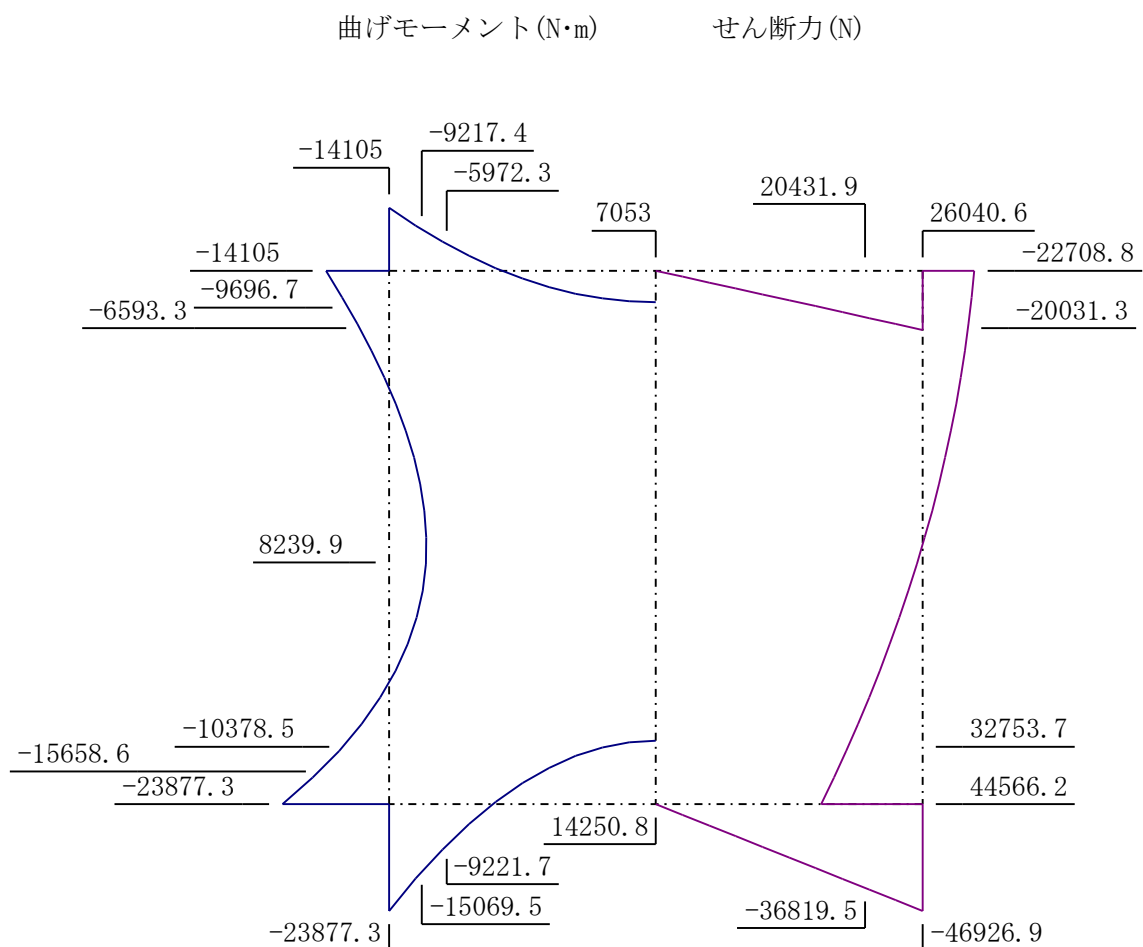
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	26.041	68.586	26.041
SCB	(kN/m)	-26.041	-68.586	-26.041
Mmax	(kN・m/m)	7.053	45.683	4.853
SAD	(kN/m)	46.927	89.472	46.927
SDA	(kN/m)	-46.927	-89.472	-46.927
Mmax	(kN・m/m)	14.251	38.540	12.050
SAB	(kN/m)	44.566	42.270	52.691
SBA	(kN/m)	-22.709	-25.005	-30.834
x	(m)	1.473	1.473	*****
		1.588	*****	1.588
Mmax	(kN・m/m)	8.240	-5.422	*****
Mmax	(kN・m/m)	8.360	*****	12.758

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。

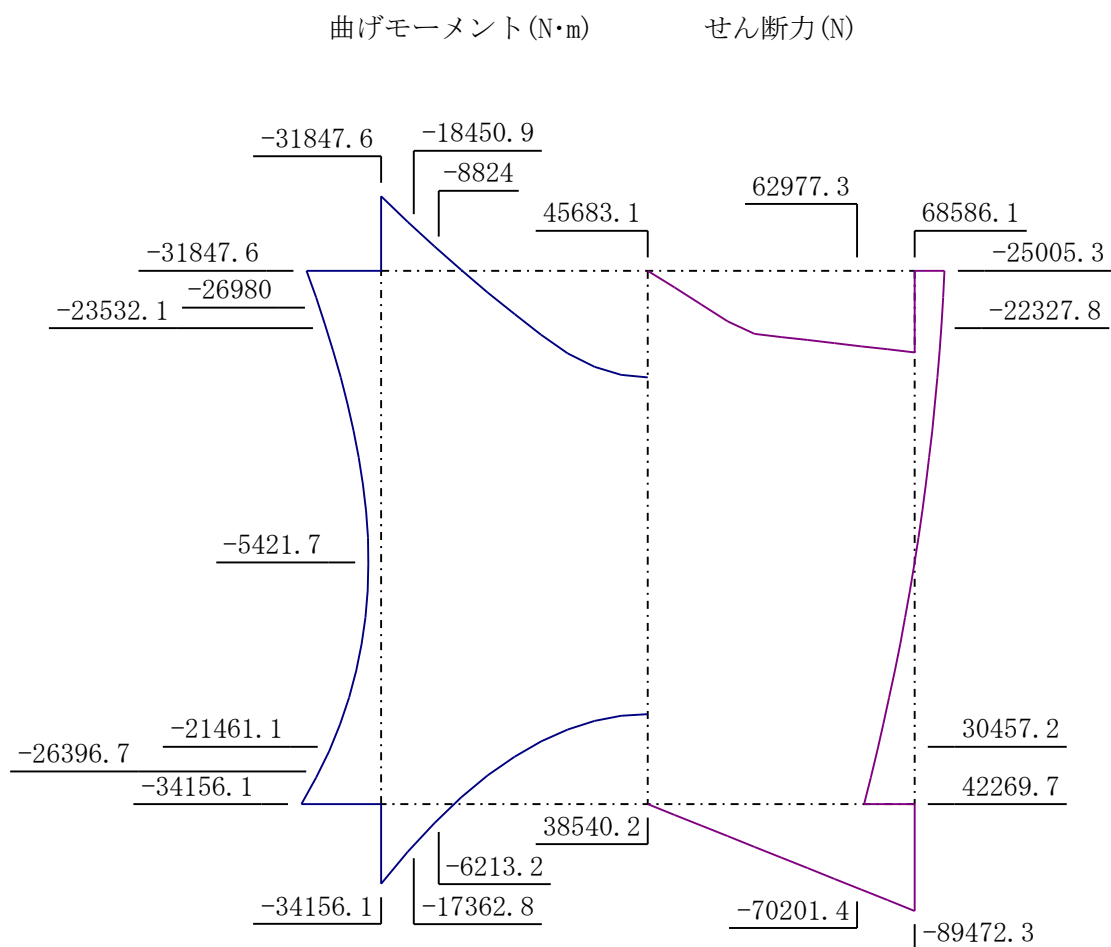
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	0.125	-14105	26041	22709
	2 ハッチ始点	0.325	-9217	***	22709
	S2 τ 点	0.350	-5972	20432	22709
	1 中 央	1.625	7053	0	22709
底板	9, S9 端 部	0.125	-23877	46927	44566
	10 ハッチ始点	0.325	-15070	***	44566
	S10 τ 点	0.350	-9222	36820	44566
	11 中 央	1.625	14251	0	44566
側壁	4, S4 上 端部	3.125	-14105	-22709	26041
	5 上ハッチ点	2.925	-9697	***	27326
	S5 上 τ 点	2.900	-6593	-20031	28290
	6 中 間	1.473	8240	*****	37461
		1.588	8360	*****	36722
	S7 下 τ 点	0.350	-10379	32754	44678
	7 下ハッチ点	0.325	-15659	***	45642
	8, S8 下 端部	0.125	-23877	44566	46927



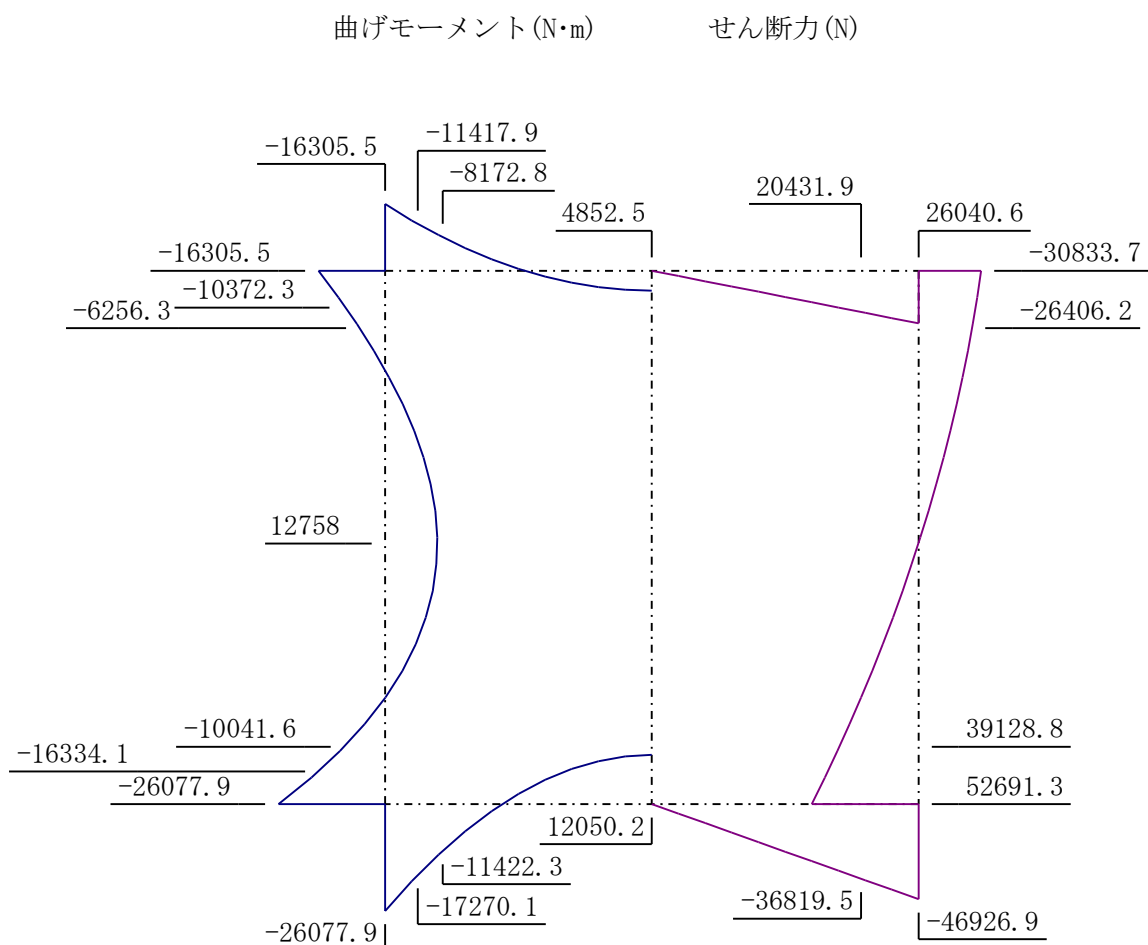
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	0.125	-31848	68586	25005
	2 ハチ始点	0.325	-18451	***	25005
	S2 τ 点	0.350	-8824	62977	25005
	1 中 央	1.625	45683	0	25005
底版	9, S9 端 部	0.125	-34156	89472	42270
	10 ハチ始点	0.325	-17363	***	42270
	S10 τ 点	0.350	-6213	70201	42270
	11 中 央	1.625	38540	0	42270
側壁	4, S4 上 端部	3.125	-31848	-25005	68586
	5 上ハチ点	2.925	-26980	***	69871
	S5 上 τ 点	2.900	-23532	-22328	70835
	6 中 間	1.473	-5422	0	80006
	S7 下 τ 点	0.350	-21461	30457	87223
	7 下ハチ点	0.325	-26397	***	88187
	8, S8 下 端部	0.125	-34156	42270	89472



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

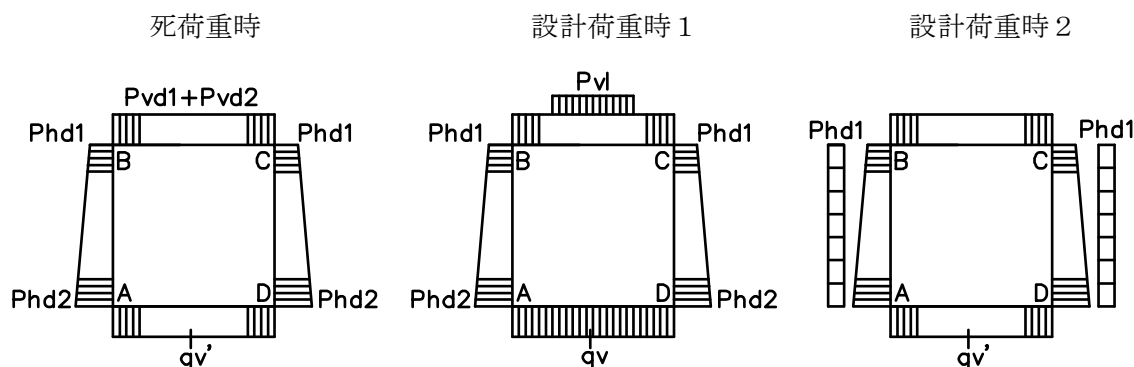
					[/単位長]	
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)	
頂版	3, S3 端 部	0.125	-16305	26041	30834	
	2 ハチ始点	0.325	-11418	***	30834	
	S2 τ 点	0.350	-8173	20432	30834	
	1 中 央	1.625	4853	0	30834	
底板	9, S9 端 部	0.125	-26078	46927	52691	
	10 ハチ始点	0.325	-17270	***	52691	
	S10 τ 点	0.350	-11422	36820	52691	
	11 中 央	1.625	12050	0	52691	
側壁	4, S4 上 端部	3.125	-16305	-30834	26041	
	5 上ハチ点	2.925	-10372	***	27326	
	S5 上 τ 点	2.900	-6256	-26406	28290	
	6 中 間	1.588	12758	0	36722	
	S7 下 τ 点	0.350	-10042	39129	44678	
	7 下ハチ点	0.325	-16334	***	45642	
	8, S8 下 端部	0.125	-26078	52691	46927	



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 $Phd1 = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $Phd2 = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = Ka \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H2 = 3.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 3.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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-3 (kN/m ²)	設計荷重時 2 CASE-4 (kN/m ²)
P _{vd1}	6.125	6.125	6.125
P _{vd2}	27.900	27.900	27.900
Phd1 = Phd1	15.075	15.075	*****
Phd1 = Phd1 + P _q	*****	*****	20.075
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + P _q	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + P _q	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	44.325	44.325	*****
Phd2 = Phd2 + P _q	*****	*****	49.325
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	26.591	0.000
q _v	*****	73.060	*****
q _{v'}	46.878	*****	46.878

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

$$\begin{aligned}\alpha &= (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) \\ \beta &= (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) \\ N_1 &= 2 + \alpha \\ N_2 &= 2 + \beta\end{aligned}$$

(2) 荷重項

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

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、 $P_{vl} = 0$
 注 3) $P_{hd1} \sim P_{hd5}$ は、水平荷重（設計荷重参照）

(3) たわみ角

$$\begin{aligned}\theta_A &= \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) \\ \theta_B &= \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1)\end{aligned}$$

(4) 端モーメント

$$\begin{aligned}MAB &= 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB \\ MAD &= \beta \times \theta_A + CAD \\ MBA &= 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA \\ MBC &= \alpha \times \theta_B - CBA\end{aligned}$$

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
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)	41.262	64.308	41.262
CBC (kN・m/m)	29.949	53.346	29.949
CAB (kN・m/m)	28.717	28.717	33.118
CBA (kN・m/m)	23.568	23.568	27.969
θ_A	-5.502	-17.069	-3.302
θ_B	3.961	15.616	1.761
MAB (kN・m/m)	-35.760	-47.239	-37.961
MAD (kN・m/m)	35.760	47.239	37.961
MBA (kN・m/m)	25.988	37.730	28.188
MBC (kN・m/m)	-25.988	-37.730	-28.188

3.2.3 各部材の断面力

(1) 頂 版

1) セン断力

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

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) セン断力

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

2) 曲げモーメント

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

(3) 側 壁

1) セン断力

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

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

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。

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

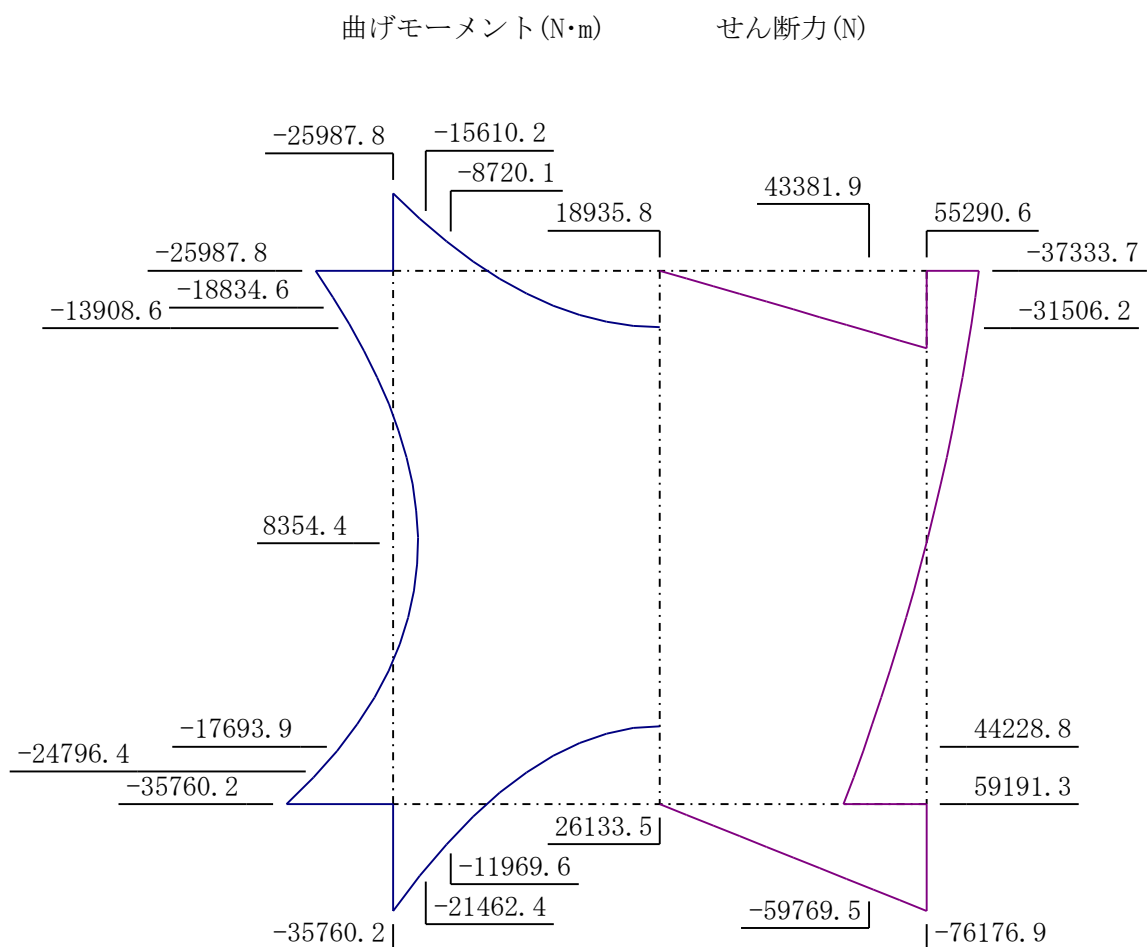
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	55.291	97.836	55.291
SCB (kN/m)	-55.291	-97.836	-55.291
Mmax (kN・m/m)	18.936	42.293	16.735
SAD (kN/m)	76.177	118.722	76.177
SDA (kN/m)	-76.177	-118.722	-76.177
Mmax (kN・m/m)	26.134	49.223	23.933
SAB (kN/m)	59.191	59.110	67.316
SBA (kN/m)	-37.334	-37.415	-45.459
x (m)	1.590	1.590	*****
	1.598	*****	1.598
Mmax (kN・m/m)	8.354	-3.253	*****
Mmax (kN・m/m)	8.354	*****	12.753

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。

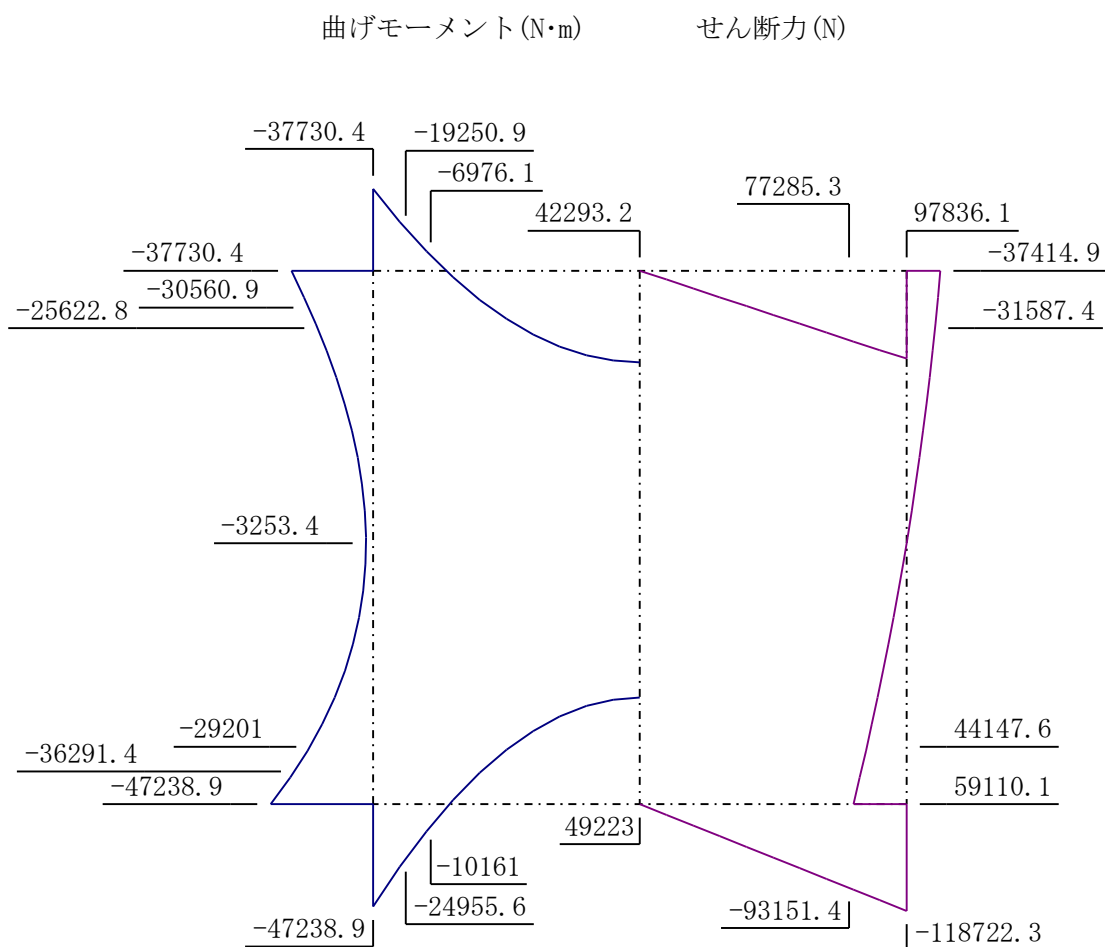
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	0.125	-25988	55291	37334
	2 ハッチ始点	0.325	-15610	***	37334
	S2 τ 点	0.350	-8720	43382	37334
	1 中 央	1.625	18936	0	37334
底版	9, S9 端 部	0.125	-35760	76177	59191
	10 ハッチ始点	0.325	-21462	***	59191
	S10 τ 点	0.350	-11970	59770	59191
	11 中 央	1.625	26134	0	59191
側壁	4, S4 上 端部	3.125	-25988	-37334	55291
	5 上ハッチ点	2.925	-18835	***	56576
	S5 上 τ 点	2.900	-13909	-31506	57540
	6 中 間	1.590	8354	*****	65959
		1.598	8354	*****	65907
	S7 下 τ 点	0.350	-17694	44229	73928
	7 下ハッチ点	0.325	-24796	***	74892
	8, S8 下 端部	0.125	-35760	59191	76177



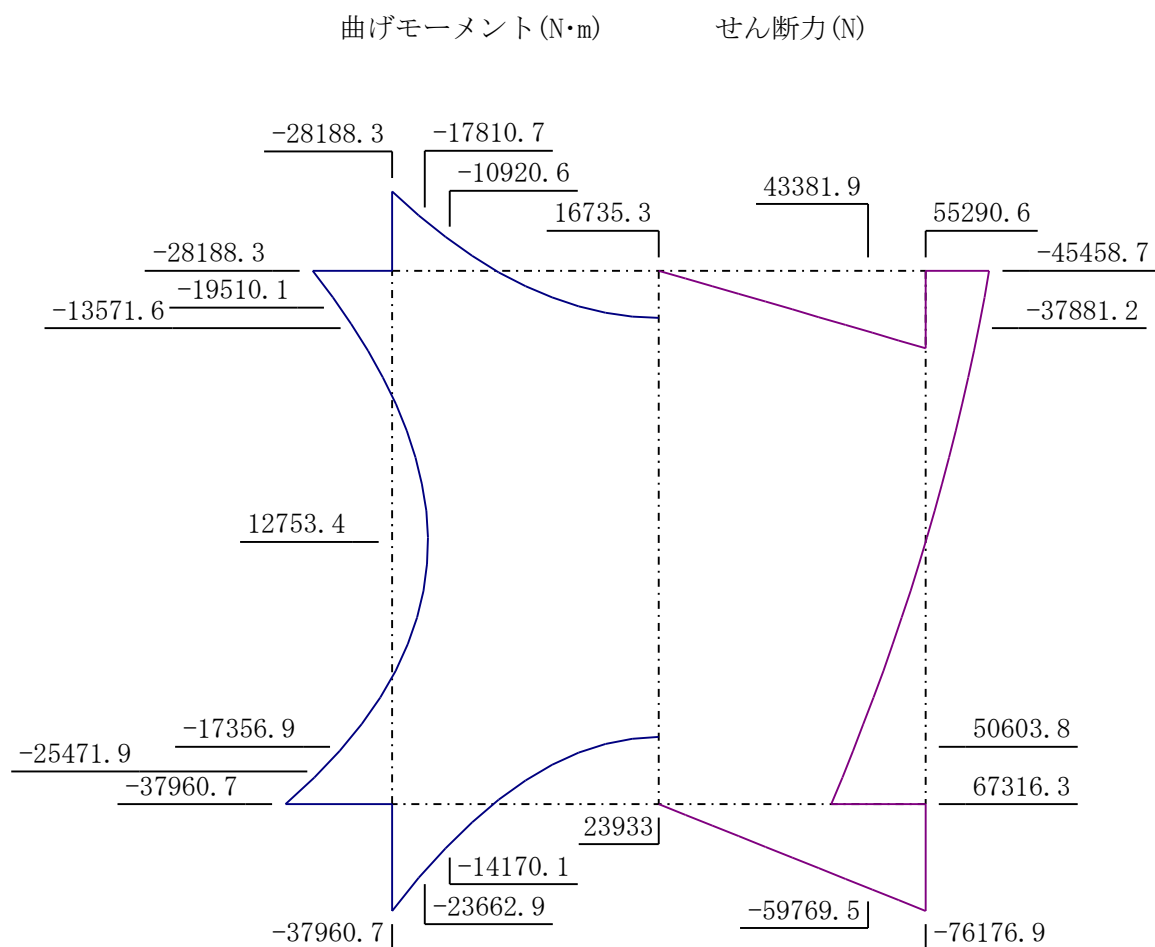
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/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	0.125	-37730	97836	37415
	2 ハチ始点	0.325	-19251	***	37415
	S2 τ 点	0.350	***	77285	***
	1 中 央	1.625	42293	0	37415
底板	9, S9 端 部	0.125	-47239	118722	59110
	10 ハチ始点	0.325	-24956	***	59110
	S10 τ 点	0.350	***	93151	***
	11 中 央	1.625	49223	0	59110
側壁	4, S4 上 端部	3.125	-37730	-37415	97836
	5 上ハチ点	2.925	-30561	***	99121
	S5 上 τ点	2.900	***	-31587	***
	6 中 間	1.590	-3253	0	108504
	S7 下 τ点	0.350	***	44148	***
	7 下ハチ点	0.325	-36291	***	117437
	8, S8 下 端部	0.125	-47239	59110	118722



(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	0.125	-28188	55291	45459	
	2 ハッチ始点	0.325	-17811	***	45459	
	S2 τ 点	0.350	***	43382	***	
	1 中 央	1.625	16735	0	45459	
底版	9, S9 端 部	0.125	-37961	76177	67316	
	10 ハッチ始点	0.325	-23663	***	67316	
	S10 τ 点	0.350	***	59770	***	
	11 中 央	1.625	23933	0	67316	
側壁	4, S4 上 端部	3.125	-28188	-45459	55291	
	5 上ハッチ点	2.925	-19510	***	56576	
	S5 上 τ 点	2.900	***	-37881	***	
	6 中 間	1.598	12753	0	65907	
	S7 下 τ 点	0.350	***	50604	*****	
	7 下ハッチ点	0.325	-25472	***	74892	
	8, S8 下 端部	0.125	-37961	67316	76177	



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

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

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

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

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

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

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

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

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

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

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

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

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

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

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

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 19	3.00	2.835	240000	2.83	外 側
ハチ始点	φ 19	3.00	2.835	240000	-0.50	外 側
τ 点	φ 19	3.00	2.835	240000	-0.50	外 側
中 央	φ 19	3.00	2.835	240000	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	846.56	2.49	-0.28	72.60	25.40	748.56	0.884	3
ハチ始点	846.56	2.89	0.06	83.50	25.40	737.67	0.871	3
τ 点	846.56	2.89	0.03	83.09	25.40	738.07	0.872	3
中 央	846.56	2.89	-0.07	81.46	25.40	739.70	0.874	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	2.49	-0.28	72.60	25.40	748.56	0.884	3
ハチ始点	846.56	2.89	0.06	83.50	25.40	737.67	0.871	3
τ 点	846.56	2.89	0.03	83.09	25.40	738.07	0.872	3
中 央	846.56	2.89	-0.07	81.46	25.40	739.70	0.874	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	846.56	2.49	-0.28	72.60	25.40	748.56	0.884	3
ハチ始点	846.56	2.89	0.06	83.50	25.40	737.67	0.871	3
τ 点	846.56	2.89	0.03	83.09	25.40	738.07	0.872	4
中 央	846.56	2.89	-0.03	82.16	25.40	739.00	0.873	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	2.49	-0.28	72.60	25.40	748.56	0.884	3
ハチ始点	846.56	2.89	0.06	83.50	25.40	737.67	0.871	3
τ 点	846.56	2.89	0.03	83.09	25.40	738.07	0.872	4
中 央	846.56	2.89	-0.03	82.16	25.40	739.00	0.873	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	1.55	0.12	0.93	2.60	3
ハチ始点	1.50	0.15	2.81	4.46	3
中 央	1.82	0.15	2.21	4.18	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.55	0.12	3.09	1.65	3
ハチ始点	-1.50	0.15	2.21	0.86	3
中 央	-1.82	0.15	2.82	1.15	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.26	0.12	0.93	3.31	3
ハチ始点	1.85	0.15	2.81	4.81	3
中 央	4.39	0.10	2.21	6.70	1
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.26	0.12	3.09	0.95	3
ハチ始点	-1.85	0.15	2.21	0.51	3
中 央	-4.39	0.10	2.82	-1.47	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	-50.936	0.20	4.14	1.5	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-25.989	-0.08	5.51	0.4	0.2	0.010	0.189	3
中 央	61.672	-2.97	8.27	6.6	98.1	6.131	3.303	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	7.602 cm ² /m > As1 or As2
内 側	D 13	—	D 0	—	0	7.602 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	12535	37.415	97.836	636.65	2.13	0.46	-0.097	3
τ 点	100.0	7813	37.415	77.285	627.73	2.66	0.46	-0.079	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	-25.988	-11.743	-63.141	-64.142	-64.142	3
ハッチ始点	-9.217	-9.234	-35.066	-31.367	-35.066	1
中 央	7.053	38.630	105.744	77.661	105.744	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	8.505	7.602	18.7	28.2	0.069	0.006	179.81	2.8	3
ハッチ始点	8.505	7.602	12.0	21.5	0.069	0.009	119.46	3.4	1
中 央	8.505	7.602	13.0	21.5	0.069	0.008	126.27	1.2	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	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 21	3.00	3.464	290000	2.83	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

5.2.3 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	837.18	3.01	-0.38	78.30	25.12	733.76	0.876	3
ハチ始点	837.18	3.50	0.08	92.14	25.12	719.93	0.860	3
τ 点	837.18	3.50	0.05	91.59	25.12	720.48	0.861	3
中 央	837.18	3.50	-0.10	89.36	25.12	722.71	0.863	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	3.01	-0.38	78.30	25.12	733.76	0.876	3
ハチ始点	837.18	3.50	0.08	92.14	25.12	719.93	0.860	3
τ 点	837.18	3.50	0.05	91.59	25.12	720.48	0.861	3
中 央	837.18	3.50	-0.10	89.36	25.12	722.71	0.863	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	3.01	-0.38	78.31	25.12	733.76	0.876	3
ハチ始点	837.18	3.50	0.08	92.14	25.12	719.93	0.860	3
τ 点	837.18	3.50	0.05	91.59	25.12	720.48	0.861	4
中 央	837.18	3.50	-0.10	89.36	25.12	722.71	0.863	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	3.01	-0.38	78.31	25.12	733.76	0.876	3
ハチ始点	837.18	3.50	0.08	92.14	25.12	719.93	0.860	3
τ 点	837.18	3.50	0.05	91.59	25.12	720.48	0.861	4
中 央	837.18	3.50	-0.10	89.36	25.12	722.71	0.863	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	2.14	0.19	1.12	3.44	3
ハチ始点	2.06	0.24	3.35	5.65	3
中 央	2.51	0.24	2.64	5.39	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.14	0.19	3.70	1.75	3
ハチ始点	-2.06	0.24	2.63	0.81	3
中 央	-2.51	0.24	3.36	1.09	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.83	0.19	1.12	4.13	3
ハチ始点	2.40	0.24	3.35	5.98	3
中 央	4.73	0.24	2.64	7.61	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.83	0.19	3.70	1.06	3
ハチ始点	-2.40	0.24	2.63	0.47	3
中 央	-4.73	0.24	3.36	-1.12	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	-63.773	0.14	5.18	0.8	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-33.690	-0.28	6.91	1.0	1.4	0.086	0.490	3
中 央	66.451	-2.70	9.34	5.6	75.4	4.715	2.799	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	— 12	D 0	— 0	7.602 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 12	D 0	— 0	7.602 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	59.110	118.722	762.53	2.59	0.56	-0.117	3
τ 点	100.0	7813	59.110	93.151	748.72	3.23	0.56	-0.094	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	-35.760	-11.479	-75.185	-80.306	-80.306	3
ハッチ始点	-21.462	-3.493	-36.634	-42.425	-42.425	3
中 央	26.134	23.089	91.697	83.679	91.697	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	10.392	7.602	18.7	28.2	0.069	0.007	203.21	2.5	3
ハッチ始点	10.392	7.602	12.0	21.5	0.069	0.010	132.78	3.1	3
中 央	10.392	7.602	13.0	21.5	0.069	0.010	141.10	1.5	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	-37.730	97.836	38.56	12.33	49.797	3
	上ハチ点	-30.561	99.121	30.83	9.00	39.482	3
側壁	中 間	12.758	36.721	34.74	9.00	16.063	2
	下ハチ点	-36.291	117.437	30.90	9.00	46.861	3
	下端部	-47.239	118.722	39.79	12.33	61.882	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	49.797	12.43	15.93	31.67	6.172
	上ハチ点	39.482	11.07	14.57	25.00	6.771
側壁	中 間	16.063	7.06	10.56	25.00	2.767
	下ハチ点	46.861	12.06	15.56	25.00	8.197
	下端部	61.882	13.86	17.36	31.67	8.017
$d + d' < T$					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 - 12	D 16 - 12
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	11.916	10.912	3.72	88.3	0.0
	上ハチ点	100.00	11.916	9.094	4.70	96.2	0.0
	中間	100.00	7.602	7.510	2.25	62.9	0.0
	下ハチ点	100.00	11.916	9.089	5.58	114.4	0.0
	下端部	100.00	11.916	10.827	4.65	111.8	0.0
$\sigma_c < \sigma_{ca}$ $\sigma_s < \sigma_{sa}$					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	62.977	20.432	77.285	43.382				
	M			-6.976					
	N			37.415					
	最大			○					
底版 τ点	S	70.201	36.819	93.151	59.770				
	M			-10.161					
	N			59.110					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-22.328	-26.406	-31.587	-37.881				
	M				-13.572				
	N				57.540				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	30.457	39.129	44.148	50.604				
	M				-17.357				
	N				73.928				
	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	25.0	3.5	21.5	1.400	D13-6	7.602	0.354	1.054
底版 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D13-6	7.602	0.354	1.054
側壁上 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D16-6	11.916	0.554	1.232
側壁下 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D16-6	11.916	0.554	1.232

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	-6.976	627.7	37.415	0.250	0.01042	-0.01	27.722	2.000
底版 τ 点	-10.161	748.7	59.110	0.250	0.01042	-0.01	33.670	2.000
側壁上 τ 点	-13.572	0.0	57.540	0.250	0.01042	0.00	2.398	1.177
側壁下 τ 点	-17.357	0.0	73.928	0.250	0.01042	0.00	3.081	1.178

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	1.054	2.000	0.797
底版 τ 点	0.270	1.400	1.054	2.000	0.797
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.232	1.177	0.548
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.232	1.178	0.548

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	77.285	21.5	0.359	0.797
底版 τ 点	93.151	21.5	0.433	0.797
側壁上 τ 点	37.881	21.5	0.176	0.548
側壁下 τ 点	50.604	21.5	0.235	0.548

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上