

受付 No.

台帳 No. KM401002

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 4000 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= 0.500 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) 4000 × (H) 2000 × (L) 1500 [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)

: $\beta = 1.0$

(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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

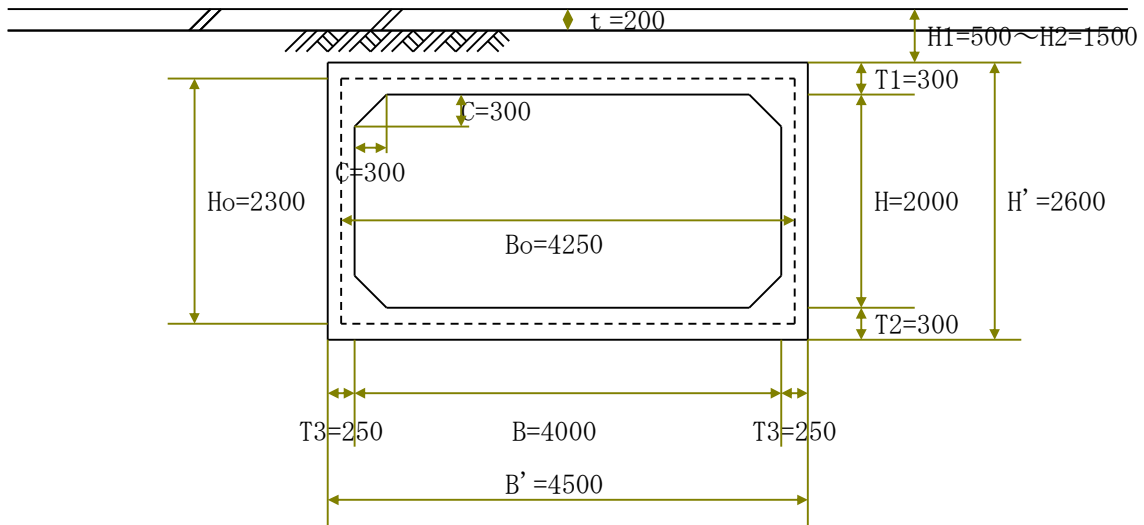
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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

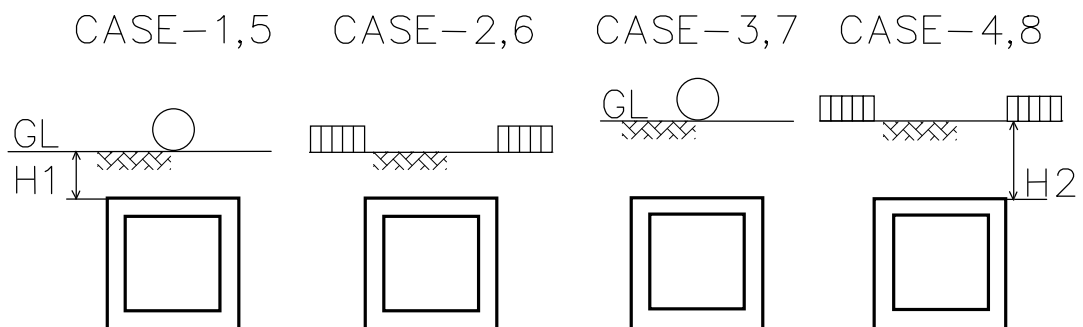
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 21$	*****	(mm)
断面積	346.40	346.40	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	290000	*****	(N)

1.11 標準断面図



[単位:mm]

1.12 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

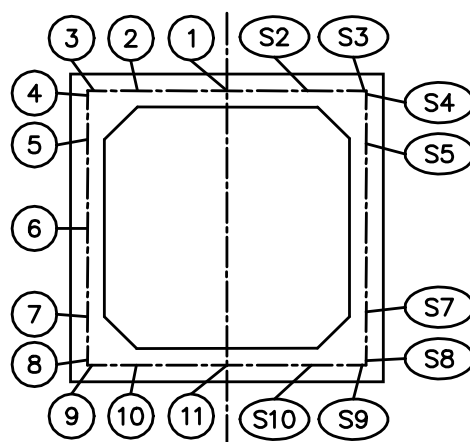
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

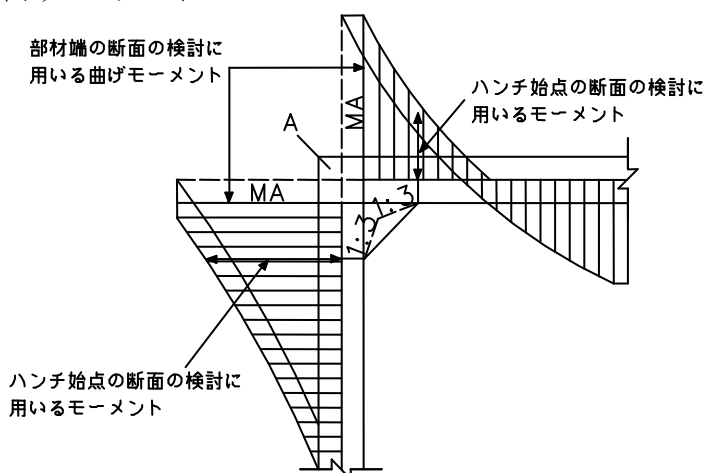
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

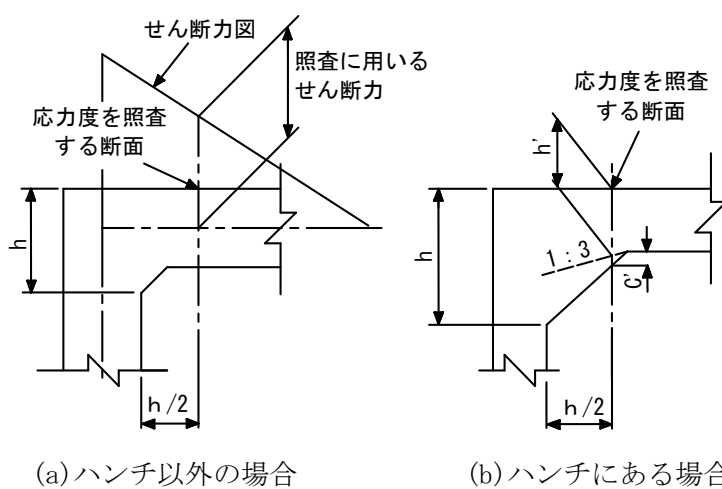
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



b) について

ハ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 $u = a + 2 \times H1 = 1.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 1.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 130.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) \} / B_o$



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-1 (kN/m ²)	設計荷重 2 CASE-2 (kN/m ²)
-------	------------------------------	---	--

P_{vd1}	7.350	7.350	7.350
P_{vd2}	9.900	9.900	9.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	6.300	6.300	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	11.300
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	27.000	27.000	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	32.000
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	78.788	0.000
q_v	*****	47.163	*****
$q_{v'}$	24.917	*****	24.917

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	0.9352	0.9352	0.9352
β	0.9352	0.9352	0.9352
N1	2.9352	2.9352	2.9352
N2	2.9352	2.9352	2.9352
CAD (kN・m/m)	37.505	70.990	37.505
CBC (kN・m/m)	25.965	74.857	25.965
CAB (kN・m/m)	8.252	8.252	10.457
CBA (kN・m/m)	6.427	6.427	8.632
θ_A	-13.841	-33.168	-12.702
θ_B	11.372	34.614	10.233
MAB (kN・m/m)	-24.562	-39.974	-25.627
MAD (kN・m/m)	24.562	39.974	25.627
MBA (kN・m/m)	15.330	42.488	16.395
MBC (kN・m/m)	-15.330	-42.488	-16.395

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。

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

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

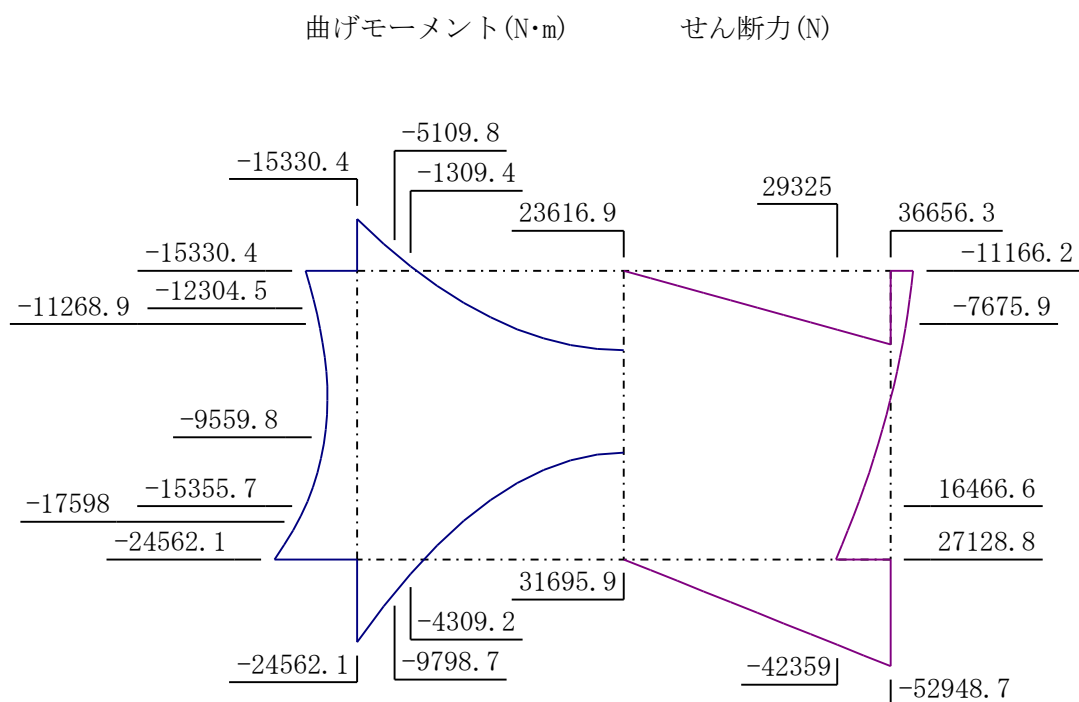
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	36.656	83.929	36.656
SCB	(kN/m)	-36.656	-83.929	-36.656
Mmax	(kN・m/m)	23.617	82.732	22.552
SAD	(kN/m)	52.949	100.221	52.949
SDA	(kN/m)	-52.949	-100.221	-52.949
Mmax	(kN・m/m)	31.696	66.512	30.631
SAB	(kN/m)	27.129	22.022	32.879
SBA	(kN/m)	-11.166	-16.273	-16.916
x	(m)	0.974	0.974	*****
		1.246	*****	1.246
Mmax	(kN・m/m)	-9.560	-29.945	*****
Mmax	(kN・m/m)	-8.817	*****	-6.599

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。

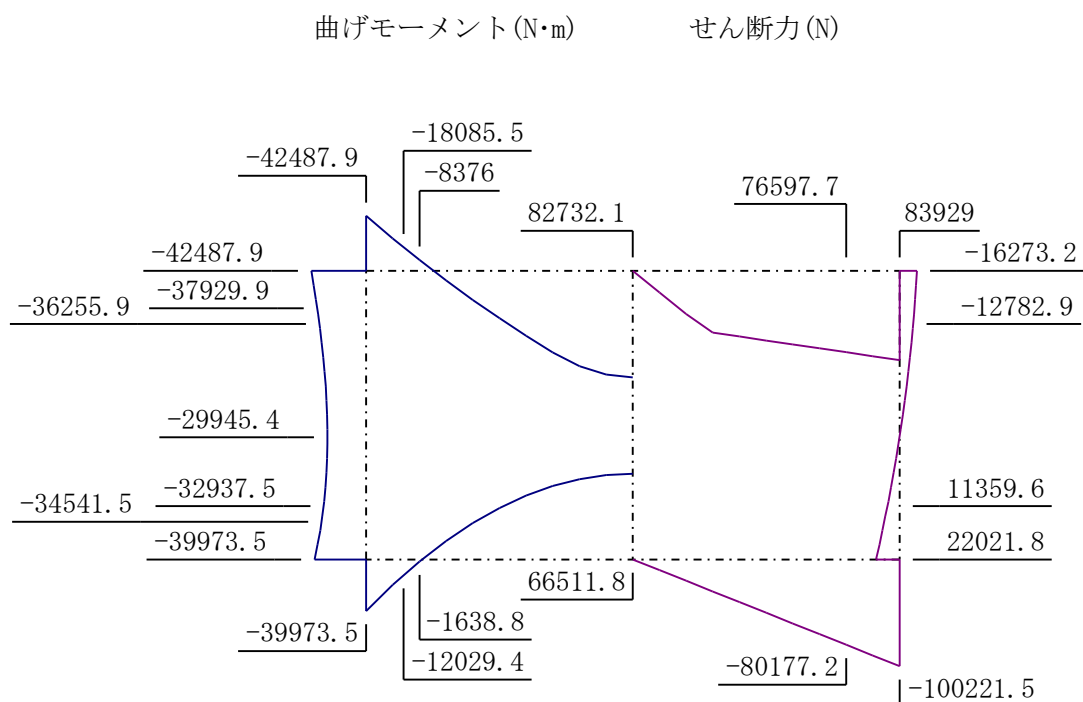
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	-15330	36656	11166
	2 ハチ始点	0.425	-5110	***	11166
	S2 τ 点	0.425	-1309	29325	11166
	1 中 央	2.125	23617	0	11166
底版	9, S9 端 部	0.125	-24562	52949	27129
	10 ハチ始点	0.425	-9799	***	27129
	S10 τ 点	0.425	-4309	42359	27129
	11 中 央	2.125	31696	0	27129
側壁	4, S4 上 端部	2.150	-15330	-11166	36656
	5 上ハチ点	1.850	-12305	***	38781
	S5 上 τ 点	1.875	-11269	-7676	39667
	6 中 間	0.974	-9560	*****	46049
		1.246	-8817	*****	44123
	S7 下 τ 点	0.425	-15356	16467	49938
	7 下ハチ点	0.450	-17598	***	50824
	8, S8 下 端部	0.150	-24562	27129	52949



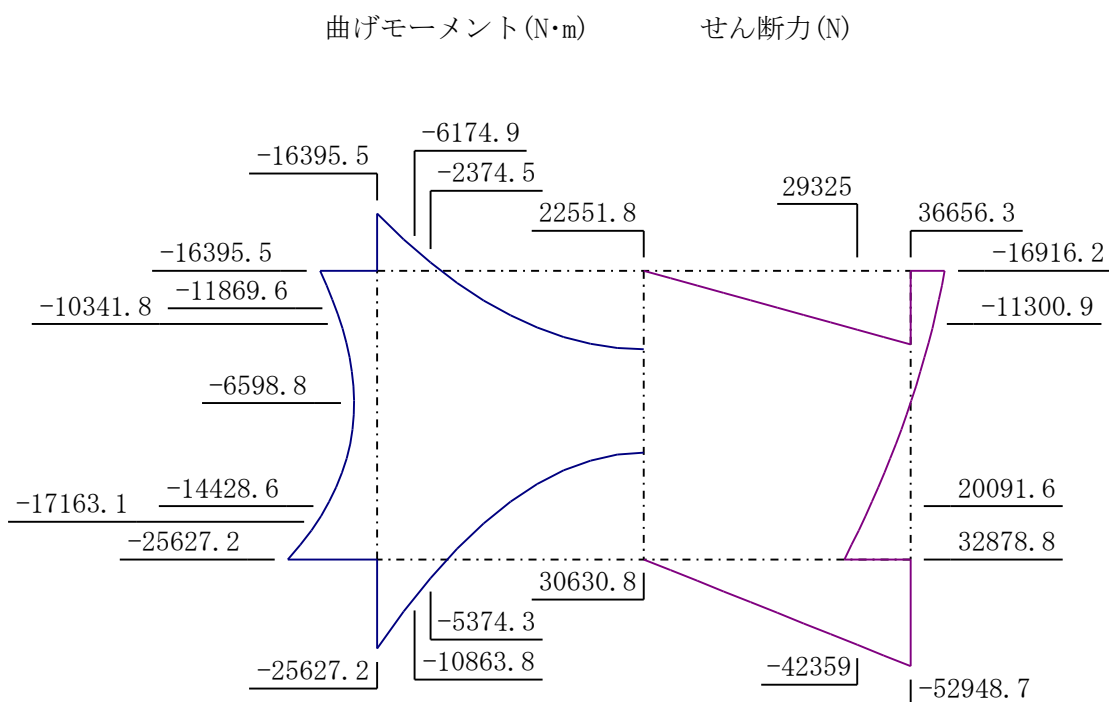
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	-42488	83929	16273
	2 ハチ始点	0.425	-18086	***	16273
	S2 τ 点	0.425	-8376	76598	16273
	1 中 央	2.125	82732	0	16273
底版	9, S9 端 部	0.125	-39974	100222	22022
	10 ハチ始点	0.425	-12029	***	22022
	S10 τ 点	0.425	-1639	80177	22022
	11 中 央	2.125	66512	0	22022
側壁	4, S4 上 端部	2.150	-42488	-16273	83929
	5 上ハチ点	1.850	-37930	***	86054
	S5 上 τ 点	1.875	-36256	-12783	86940
	6 中 間	0.974	-29945	0	93322
	S7 下 τ 点	0.425	-32938	11360	97211
	7 下ハチ点	0.450	-34542	***	98096
	8, S8 下 端部	0.150	-39974	22022	100222



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

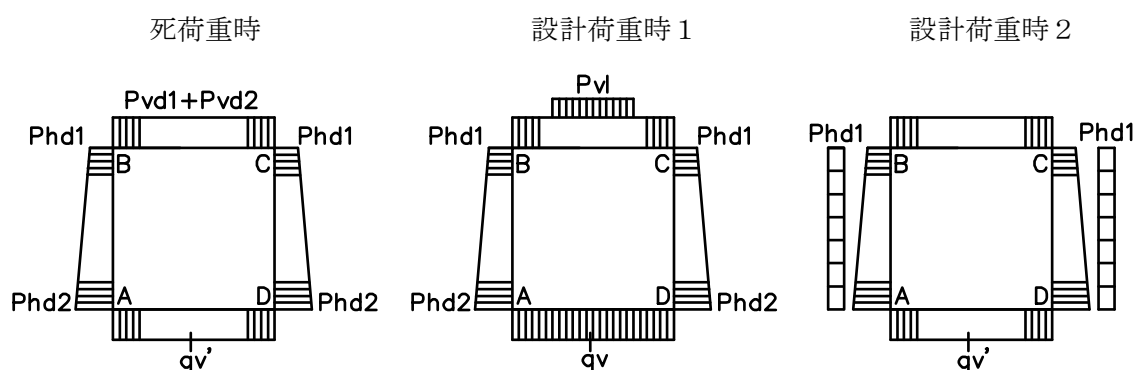
[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.125	-16396	36656	16916
	2 ハチ始点	0.425	-6175	***	16916
	S2 τ 点	0.425	-2375	29325	16916
	1 中 央	2.125	22552	0	16916
底版	9, S9 端 部	0.125	-25627	52949	32879
	10 ハチ始点	0.425	-10864	***	32879
	S10 τ 点	0.425	-5374	42359	32879
	11 中 央	2.125	30631	0	32879
側壁	4, S4 上 端部	2.150	-16396	-16916	36656
	5 上ハチ点	1.850	-11870	***	38781
	S5 上 τ 点	1.875	-10342	-11301	39667
	6 中 間	1.246	-6599	0	44123
	S7 下 τ 点	0.425	-14429	20092	49938
	7 下ハチ点	0.450	-17163	***	50824
	8, S8 下 端部	0.150	-25627	32879	52949



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}	7.350	7.350	7.350
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$Phd1 = Phd1$	15.300	15.300	*****
$Phd1 = Phd1 + P_q$	*****	*****	20.300
$Phd3 = Phd3$	*****	*****	*****
$Phd3 = Phd3 + P_q$	*****	*****	*****
$Phd5 = Phd5$	*****	*****	*****
$Phd5 = Phd5 + P_q$	*****	*****	*****
$Phd2 = Phd2$	36.000	36.000	*****
$Phd2 = Phd2 + P_q$	*****	*****	41.000
$Phd4 = Phd4$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	62.938	*****
$q_{v'}$	42.917	*****	42.917

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
- $$\alpha = (H_o \times T1^3) / (B_o \times T3^3)$$
- $$\beta = (H_o \times T2^3) / (B_o \times T3^3)$$
- $$N1 = 2 + \alpha$$
- $$N2 = 2 + \beta$$
- (2) 荷 重 項
- $$CAD = q_v \times B_o^2 / 12$$
- $$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{vl} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o)$$
- $$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60$$
- $$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60$$
- 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
- $$\theta A = \{N1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N1 \times N2 - 1)$$
- $$\theta B = \{N2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N1 \times N2 - 1)$$
- (4) 端モーメント
- $$MAB = 2 \times \theta A + \theta B - CAB$$
- $$MAD = \beta \times \theta A + CAD$$
- $$MBA = 2 \times \theta B + \theta A + CBA$$
- $$MBC = \alpha \times \theta B - CBA$$

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
α	0.9352	0.9352	0.9352
β	0.9352	0.9352	0.9352
N1	2.9352	2.9352	2.9352
N2	2.9352	2.9352	2.9352
CAD (kN・m/m)	64.599	94.735	64.599
CBC (kN・m/m)	53.059	89.721	53.059
CAB (kN・m/m)	12.220	12.220	14.424
CBA (kN・m/m)	10.395	10.395	12.599
θA	-25.791	-42.221	-24.652
θB	23.323	41.411	22.184
MAB (kN・m/m)	-40.480	-55.252	-41.545
MAD (kN・m/m)	40.480	55.252	41.545
MBA (kN・m/m)	31.248	50.995	32.314
MBC (kN・m/m)	-31.248	-50.995	-32.314

3.2.3 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-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	74.906	117.452	74.906
SCB (kN/m)	-74.906	-117.452	-74.906
Mmax (kN・m/m)	48.339	84.965	47.274
SAD (kN/m)	91.199	133.744	91.199
SDA (kN/m)	-91.199	-133.744	-91.199
Mmax (kN・m/m)	56.419	86.851	55.353
SAB (kN/m)	37.479	35.316	43.229
SBA (kN/m)	-21.516	-23.679	-27.266
x (m)	1.145	1.145	*****
	1.217	*****	1.217
Mmax (kN・m/m)	-18.914	-36.162	*****
Mmax (kN・m/m)	-18.824	*****	-16.595

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

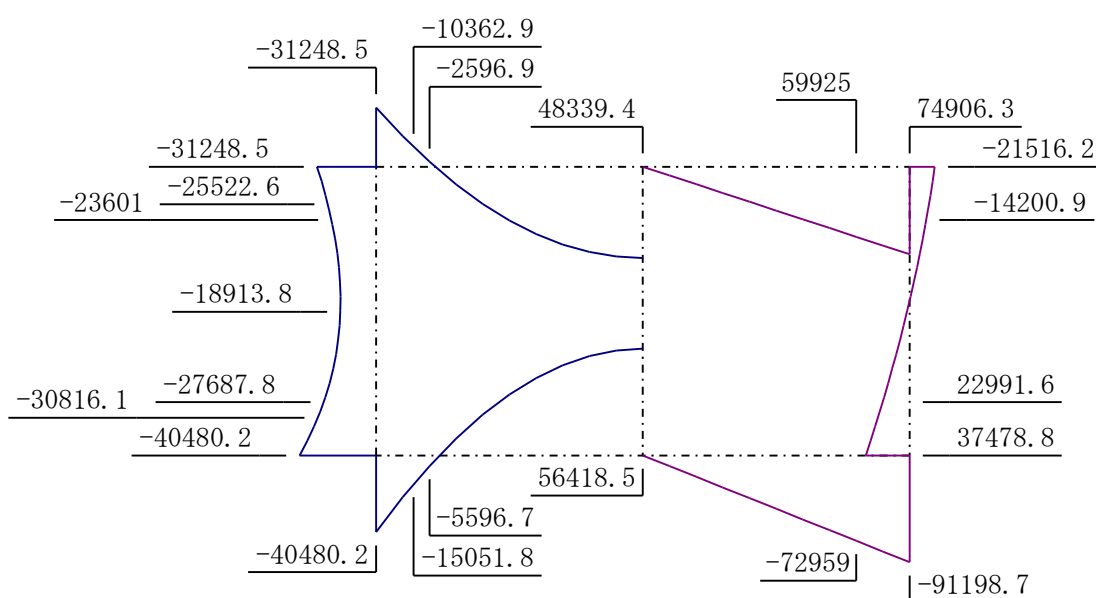
注 2) 底版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $q_v = q_v'$ とする。

(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	-31249	74906	21516
	2 ハッチ始点	0.425	-10363	***	21516
	S2 τ 点	0.425	-2597	59925	21516
	1 中 央	2.125	48339	0	21516
底版	9, S9 端 部	0.125	-40480	91199	37479
	10 ハッチ始点	0.425	-15052	***	37479
	S10 τ 点	0.425	-5597	72959	37479
	11 中 央	2.125	56419	0	37479
側壁	4, S4 上 端部	2.150	-31249	-21516	74906
	5 上ハッチ点	1.850	-25523	***	77031
	S5 上 τ 点	1.875	-23601	-14201	77917
	6 中 間	1.145	-18914	*****	83088
		1.217	-18824	*****	82578
	S7 下 τ 点	0.425	-27688	22992	88188
	7 下ハッチ点	0.450	-30816	***	89074
	8, S8 下 端部	0.150	-40480	37479	91199

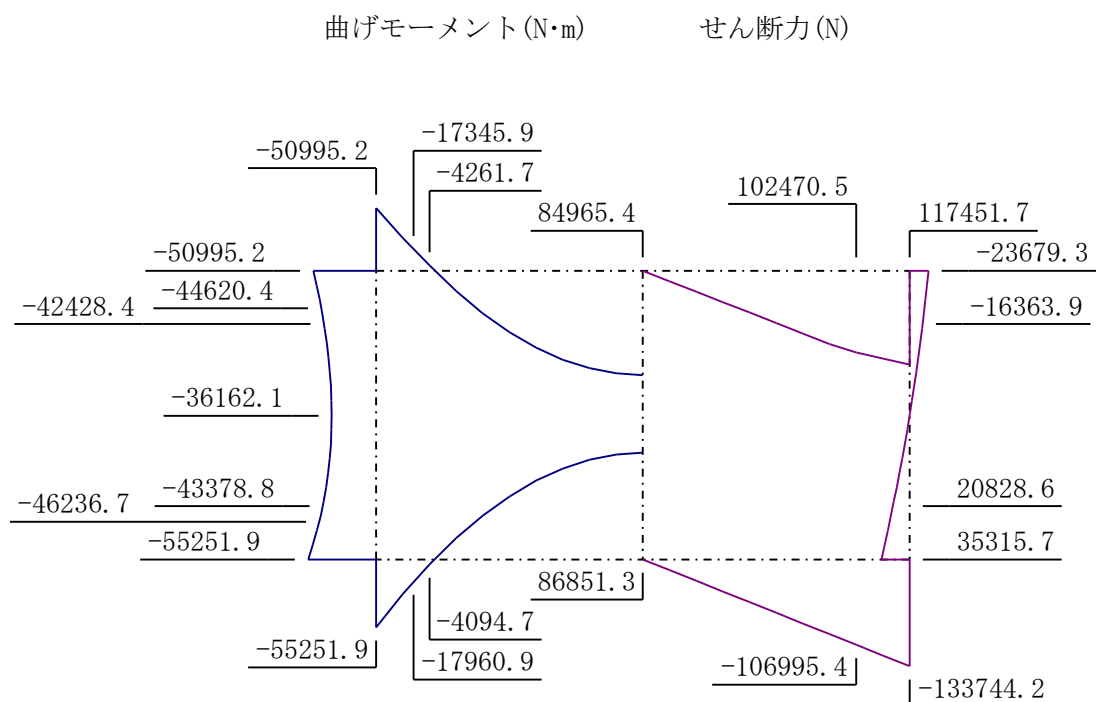
曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



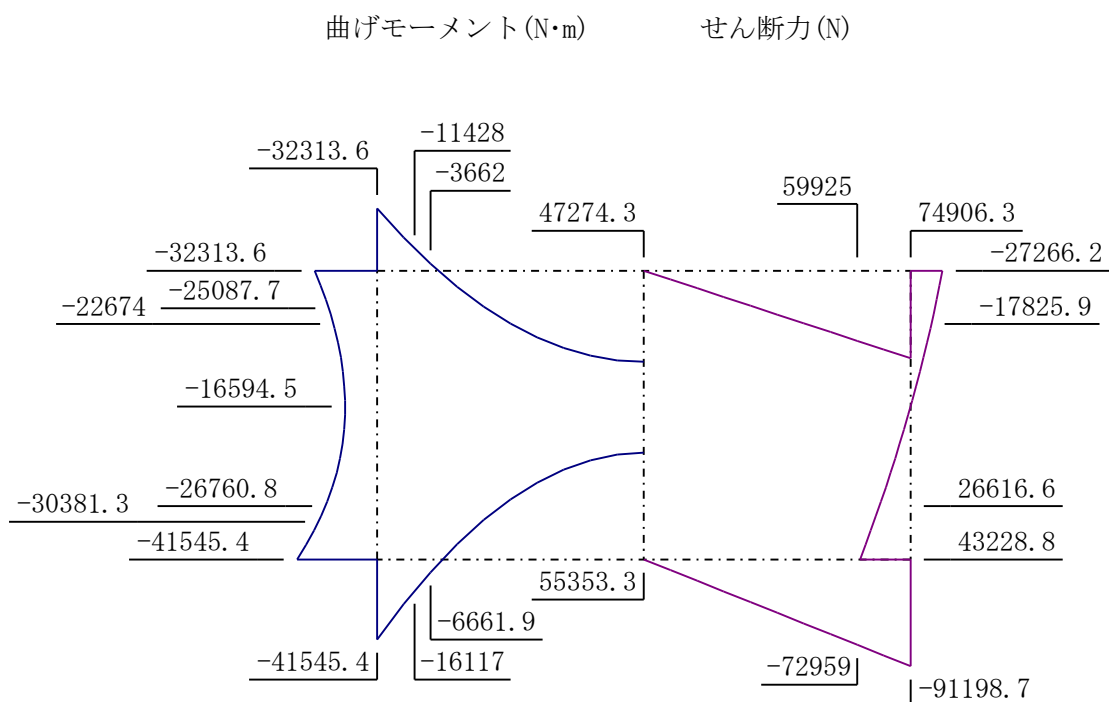
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/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	0.125	-50995	117452	23679
	2 ハチ始点	0.425	-17346	***	23679
	S2 τ 点	0.425	***	102471	***
	1 中 央	2.125	84965	0	23679
底版	9, S9 端 部	0.125	-55252	133744	35316
	10 ハチ始点	0.425	-17961	***	35316
	S10 τ 点	0.425	***	106995	***
	11 中 央	2.125	86851	0	35316
側壁	4, S4 上 端部	2.150	-50995	-23679	117452
	5 上ハチ点	1.850	-44620	***	119577
	S5 上 τ 点	1.875	***	-16364	***
	6 中 間	1.145	-36162	0	125633
	S7 下 τ 点	0.425	***	20829	***
	7 下ハチ点	0.450	-46237	***	131619
	8, S8 下 端部	0.150	-55252	35316	133744



(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	-32314	74906	27266
	2 ハチ始点	0.425	-11428	***	27266
	S2 τ 点	0.425	***	59925	***
	1 中 央	2.125	47274	0	27266
底版	9, S9 端 部	0.125	-41545	91199	43229
	10 ハチ始点	0.425	-16117	***	43229
	S10 τ 点	0.425	***	72959	***
	11 中 央	2.125	55353	0	43229
側壁	4, S4 上 端部	2.150	-32314	-27266	74906
	5 上ハチ点	1.850	-25088	***	77031
	S5 上 τ 点	1.875	***	-17826	***
	6 中 間	1.217	-16595	0	82578
	S7 下 τ 点	0.425	***	26617	*****
	7 下ハチ点	0.450	-30381	***	89074
	8, S8 下 端部	0.150	-41545	43229	91199



4 プレストレスの計算

4.1 荷重による曲げ応力度

$$\sigma_m = \pm M / Z = \pm 6 \times M / (b \times T^2) \times 1000$$

ここに、	σ_m : 曲げ応力度	(N/mm ²)
	M : 曲げモーメント	(kN・m)
	Z : 断面係数	(cm ³)
	B : 部材幅	(cm)
	T : 部材厚	(cm)

4.2 有効プレストレス

(1) 有効係数 η

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

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

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

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

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

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

ここに、	σ_{pt} : 有効引張応力度	(N/mm ²)
	P_t : 緊張作業直後のPC鋼棒引張応力度	(kN)
	A_p : 1本当りのPC鋼棒断面積	(cm ²)
$\Delta\sigma_{pcs}$:	コンクリートの乾燥収縮及びクリープによるPC鋼棒の応力度の減少量	(N/mm ²)
n :	弾性係数比 ($E_p / E_c = 6.45$)	
E_p :	PC鋼棒の弾性係数 (2.0×10^5 N/mm ²)	
E_c :	コンクリートの弾性係数 (3.1×10^4 N/mm ²)	
ϕ :	クリープ係数 (= 2.5)	
σ_{cd} :	考えているPC鋼棒位置における永久荷重によるコンクリートの圧縮応力度	(N/mm ²)
σ_{cpt} :	考えているPC鋼棒位置における緊張作業直後のプレストレス	(N/mm ²)
ε_{cs} :	コンクリートの乾燥収縮度 (= 200 μ)	
σ_{pt} :	緊張作業直後のPC鋼棒の引張応力度	(N/mm ²)
N_p :	m当りPC鋼棒本数	(本)
A_c :	コンクリート断面積	(cm ²)
e_p :	PC鋼棒偏心率	(cm)
I :	断面二次モーメント	(cm ⁴)
$\Delta\sigma_{pr}$:	PC鋼棒のリラクセーションによる引張応力度の減少量	(N/mm ²)
γ :	PC鋼棒の見掛けのリラクセーション (= 0.03)	

(2) 有効プレストレス σ_{ce}

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

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

4.3 合成応力度

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

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

4.4 引張鉄筋量の計算

(1) 曲げモーメント

引張鉄筋は次の荷重作用に対して、引張応力の作用する区間に配置する。

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

(2) 配置鉄筋量

配置鉄筋量は次の 1)、2) のうちいずれか大きい値以上とする。

1) の値

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

2) の値

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

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

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

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

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

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

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

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

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

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

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

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

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

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

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

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

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	40.00	4000.0	533333.33	20.00	26666.67
ハチ始点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
τ 点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
中 央	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00

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	2.50	外 側
ハチ始点	φ 21	3.33	3.464	290000	-2.50	外 側
τ 点	φ 21	3.33	3.464	290000	-2.50	外 側
中 央	φ 21	3.33	3.464	290000	2.50	内 側

5.1.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm ²)	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.53	-0.15	75.15	25.12	736.92	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.12	92.56	25.12	719.51	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.03	91.25	25.12	720.82	0.861	3
中 央	837.18	3.49	-0.54	82.64	25.12	729.43	0.871	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.53	-0.15	75.15	25.12	736.92	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.12	92.56	25.12	719.51	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.03	91.25	25.12	720.82	0.861	3
中 央	837.18	3.49	-0.54	82.64	25.12	729.43	0.871	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.53	-0.15	75.15	25.12	736.92	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.06	91.67	25.12	720.40	0.861	1
τ 点	837.18	3.49	0.01	91.03	25.12	721.04	0.861	1
中 央	837.18	3.49	-0.54	82.64	25.12	729.43	0.871	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.53	-0.15	75.15	25.12	736.92	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.06	91.67	25.12	720.40	0.861	1
τ 点	837.18	3.49	0.01	91.03	25.12	721.04	0.861	1
中 央	837.18	3.49	-0.54	82.64	25.12	729.43	0.871	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	1.17	0.05	1.33	2.56	3
ハチ始点	0.69	0.07	4.15	4.92	3
中 央	3.22	0.07	1.40	4.70	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.17	0.05	2.92	1.81	3
ハチ始点	-0.69	0.07	1.38	0.77	3
中 央	-3.22	0.07	4.21	1.06	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.91	0.06	1.33	3.30	3
ハチ始点	1.21	0.05	4.16	5.42	1
中 央	5.66	0.08	1.40	7.15	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.91	0.06	2.92	1.07	3
ハチ始点	-1.21	0.05	1.39	0.23	1
中 央	-5.66	0.08	4.21	-1.37	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	-68.844	0.42	3.99	3.8	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-24.415	-0.17	5.86	0.8	0.7	0.044	0.418	1
中 央	114.703	-3.33	9.16	8.0	133.1	8.321	3.999	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 16	— 10	D 0	— 0	13.240 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	20000	23.679	117.452	850.90	2.19	0.44	-0.085	3
τ 点	100.0	11250	23.679	102.471	832.31	2.85	0.51	-0.089	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	-31.248	-19.747	-89.990	-86.692	-89.990	3
ハッチ始点	-5.110	-12.976	-39.082	-30.745	-39.082	1
中 央	23.617	59.115	178.490	140.645	178.490	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	22.5	36.5	0.069	0.006	280.11	3.1	3
ハッチ始点	11.547	8.447	12.5	26.5	0.069	0.011	162.73	4.2	1
中 央	11.547	13.240	17.5	26.5	0.069	0.009	245.10	1.4	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	40.00	4000.0	533333.33	20.00	26666.67
ハチ始点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
τ 点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
中 央	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00

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 21	3.33	3.464	290000	2.50	外 側
ハチ始点	φ 21	3.33	3.464	290000	-2.50	外 側
τ 点	φ 21	3.33	3.464	290000	-2.50	外 側
中 央	φ 21	3.33	3.464	290000	2.50	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	2.53	-0.19	74.48	25.12	737.59	0.881	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.17	93.35	25.12	718.72	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.06	91.75	25.12	720.31	0.860	3
中 央	837.18	3.49	-0.63	81.27	25.12	730.80	0.873	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.53	-0.19	74.48	25.12	737.59	0.881	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.17	93.35	25.12	718.72	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.06	91.75	25.12	720.31	0.860	3
中 央	837.18	3.49	-0.63	81.27	25.12	730.80	0.873	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.53	-0.19	74.48	25.12	737.59	0.881	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.17	93.35	25.12	718.72	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.06	91.75	25.12	720.32	0.860	4
中 央	837.18	3.49	-0.63	81.27	25.12	730.79	0.873	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.53	-0.19	74.48	25.12	737.59	0.881	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.17	93.35	25.12	718.72	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.06	91.75	25.12	720.32	0.860	4
中 央	837.18	3.49	-0.63	81.27	25.12	730.79	0.873	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	1.52	0.09	1.33	2.94	3
ハチ始点	1.00	0.12	4.15	5.28	3
中 央	3.76	0.12	1.41	5.29	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.52	0.09	2.93	1.50	3
ハチ始点	-1.00	0.12	1.38	0.50	3
中 央	-3.76	0.12	4.22	0.58	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.07	0.09	1.33	3.49	3
ハチ始点	1.20	0.12	4.15	5.46	3
中 央	5.79	0.12	1.41	7.31	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.07	0.09	2.93	0.94	3
ハチ始点	-1.20	0.12	1.38	0.30	3
中 央	-5.79	0.12	4.22	-1.45	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	-74.590	0.25	4.25	2.2	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-24.247	-0.07	5.92	0.4	0.1	0.009	0.186	3
中 央	117.249	-3.44	9.38	8.0	138.3	8.646	4.023	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 16	— 10	D 0	— 0	13.240 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	20000	35.316	133.744	851.67	2.22	0.50	-0.108	3
τ 点	100.0	11250	35.316	106.995	831.72	2.89	0.53	-0.096	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	-40.480	-14.772	-89.554	-93.928	-93.928	3
ハッチ始点	-15.052	-2.909	-26.840	-30.534	-30.534	3
中 央	56.419	30.433	149.426	147.647	149.426	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	11.547	8.447	22.5	36.5	0.069	0.006	280.11	3.0	3
ハッチ始点	11.547	8.447	12.5	26.5	0.069	0.011	162.73	5.3	3
中 央	11.547	13.240	17.5	26.5	0.069	0.009	245.10	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	-50.995	117.452	43.42	14.00	67.438	3
	上ハチ点	-44.620	119.577	37.32	9.00	55.382	3
側壁	中 間	-36.162	125.633	28.78	9.00	47.469	3
	下ハチ点	-46.237	131.619	35.13	9.00	58.082	3
	下端部	-55.252	133.744	41.31	14.00	73.976	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	67.438	14.47	17.97	35.00	7.597
	上ハチ点	55.382	13.11	16.61	25.00	11.071
側壁	中 間	47.469	12.14	15.64	25.00	7.898
	下ハチ点	58.082	13.43	16.93	25.00	11.279
	下端部	73.976	15.15	18.65	35.00	8.104
$d + d' < T$					CHECK OK	

8 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

8.1 コンクリート及び鉄筋

$$\sigma_c = N / \{ b \times x / 2 - n \times A_s / x \times (c + T / 2 - x) \}$$

$$\sigma_s = n \times \sigma_c / x \times (c + T / 2 - x)$$

ここに、
 N : 軸力 (kN)
 b : 部材幅 (cm)
 T : 部材厚 (cm)
 c : 部材中心軸と鉄筋間距離 (cm)
 A_s : 主鉄筋断面積 (cm²)
 x : 中心軸。次の3次元方程式より求める。 (cm)

$$x^3 - 3 \times (T / 2 - e) \times x^2 + 6 \times n \times A_s / b \times (e + c) \times x - 6 \times n \times A_s / b \times (c + T / 2) \times (e + c) = 0$$

 e : 偏心位置 (M / N) (cm)

配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 16 - 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	13.240	12.139	4.05	96.8	0.0
	上ハチ点	100.00	13.240	9.065	6.61	136.1	0.0
	中間	100.00	13.240	9.582	5.41	101.0	0.0
	下ハチ点	100.00	13.240	9.172	6.87	138.5	0.0
	下端部	100.00	13.240	12.295	4.39	102.9	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	76.598	29.325	102.471	59.925				
	M			-4.262					
	N			23.679					
	最大			○					
底版 τ点	S	80.177	42.359	106.995	72.959				
	M			-4.095					
	N			35.316					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-12.783	-11.301	-16.364	-17.826				
	M				-22.674				
	N				77.917				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	11.360	20.092	20.829	26.617				
	M				-26.761				
	N				88.188				
	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	30.0	3.5	26.5	1.400	D13-6.7	8.447	0.319	1.019
底版 τ 点	30.0	3.5	26.5	1.400	D13-6.7	8.447	0.319	1.019
側壁上 τ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-6.7	13.240	0.593	1.256
側壁下 τ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-6.7	13.240	0.593	1.256

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	-4.262	832.3	23.679	0.300	0.01500	-0.03	26.153	2.000
底版 τ 点	-4.095	831.7	35.316	0.300	0.01500	-0.03	26.717	2.000
側壁上 τ 点	-22.674	0.0	77.917	0.258	0.01108	0.00	3.346	1.148
側壁下 τ 点	-26.761	0.0	88.188	0.258	0.01108	0.00	3.787	1.142

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	1.019	2.000	0.770
底版 τ 点	0.270	1.400	1.019	2.000	0.770
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.256	1.148	0.545
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.256	1.142	0.542

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	102.470	26.5	0.387	0.770
底版 τ 点	106.995	26.5	0.404	0.770
側壁上 τ 点	17.826	22.3	0.080	0.545
側壁下 τ 点	26.617	22.3	0.119	0.542

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上