



## 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) 3500 × (H) 2000 × (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 <sub>b</sub> = 0.000 [m]

## 1.2 単位容積重量

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

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/m<sup>2</sup>]

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 mm1.7 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 <sup>2</sup> ]
降伏点応力度	: $\sigma_{sy} = 295$ [N/mm <sup>2</sup> ]
弾性係数	: $E_s = 2.0 \times 10^5$ [N/mm <sup>2</sup> ]

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

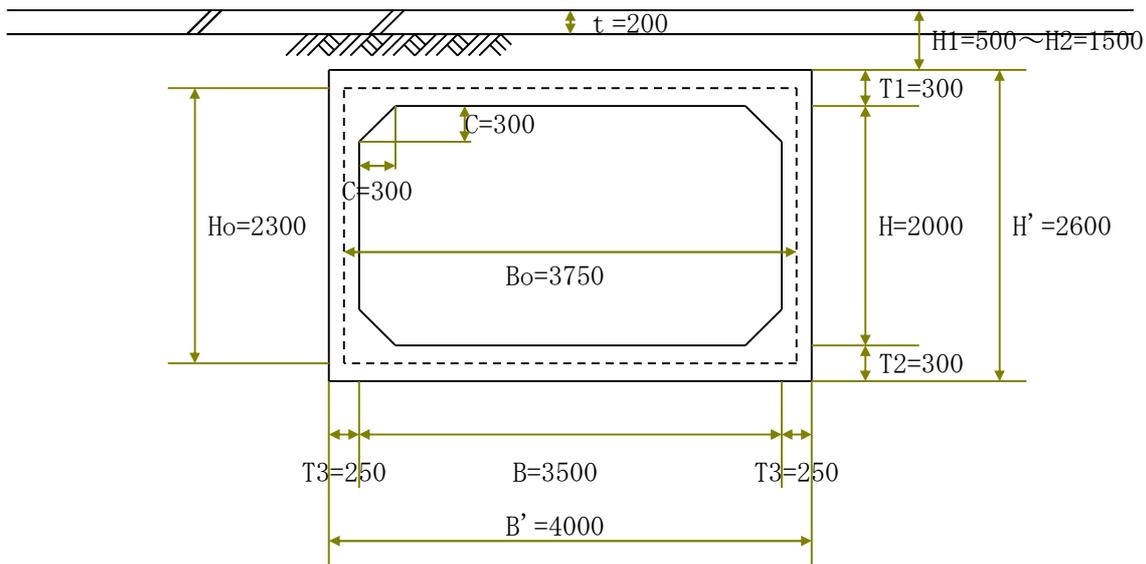
## 1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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

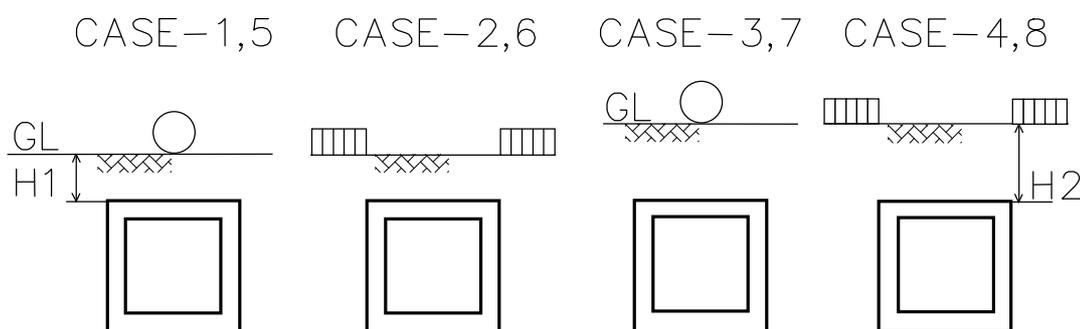
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 21$	*****	(mm)
断面積	346.40	346.40	*****	(mm <sup>2</sup> )
設計引張力	290000	290000	*****	(N)

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

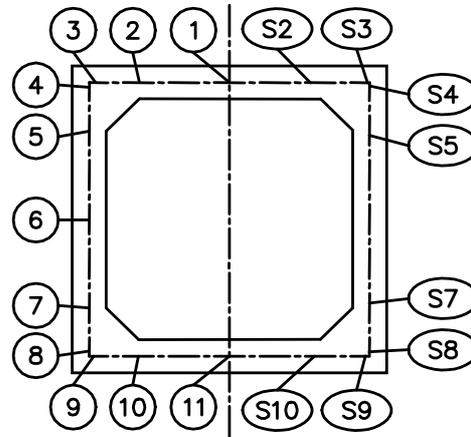
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

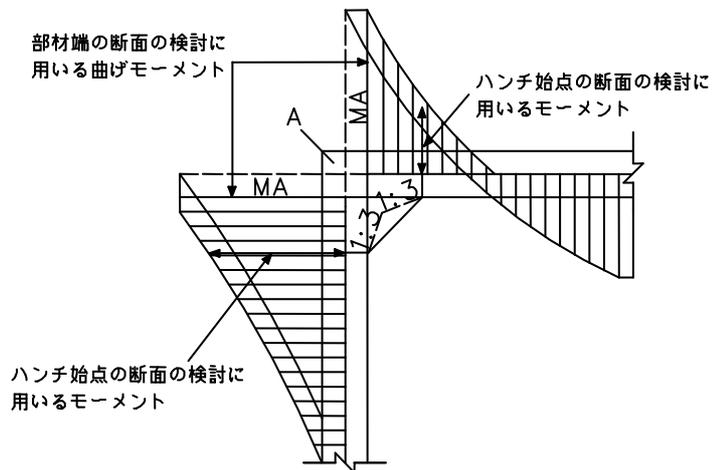
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

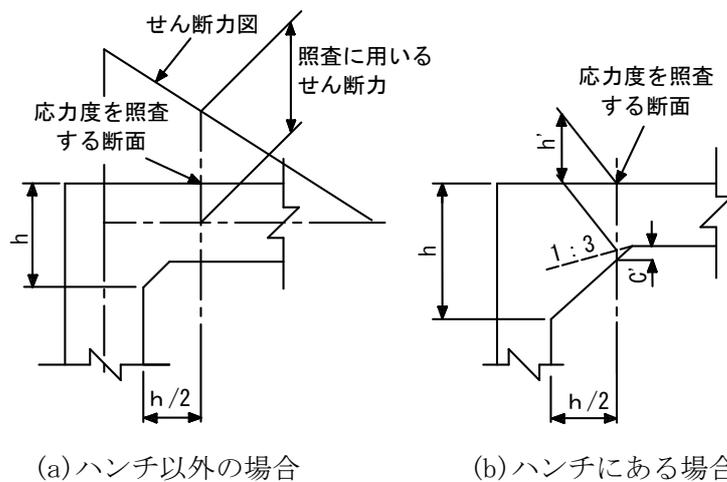
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



(a) ハンチ以外の場合

(b) ハンチにある場合

b) について

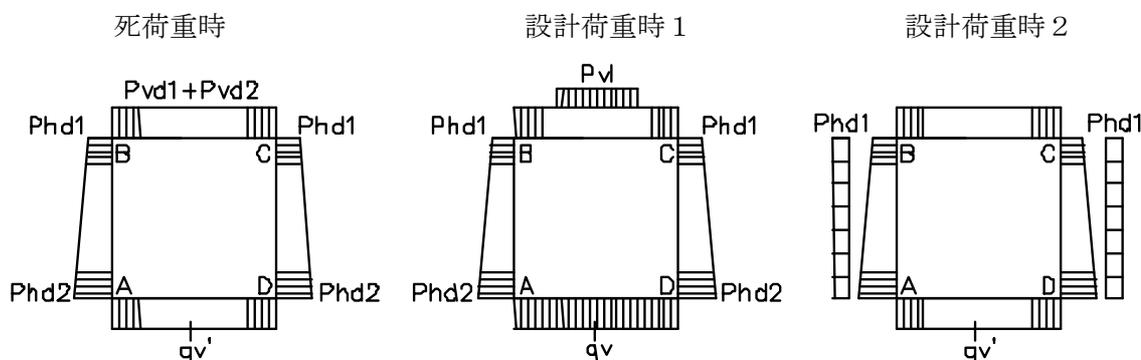
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分 C' の 1/3 まで大きくとります。

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

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



設計荷重値	死荷重時 (kN/m <sup>2</sup> )	設計荷重時 1 CASE-1 (kN/m <sup>2</sup> )	設計荷重 2 CASE-2 (kN/m <sup>2</sup> )
P <sub>vd1</sub>	7.350	7.350	7.350
P <sub>vd2</sub>	9.900	9.900	9.900
P <sub>hd1</sub> = P <sub>hd1</sub>	6.300	6.300	*****
P <sub>hd1</sub> = P <sub>hd1</sub> + P <sub>q</sub>	*****	*****	11.300
P <sub>hd3</sub> = P <sub>hd3</sub>	*****	*****	*****
P <sub>hd3</sub> = P <sub>hd3</sub> + P <sub>q</sub>	*****	*****	*****
P <sub>hd5</sub> = P <sub>hd5</sub>	*****	*****	*****
P <sub>hd5</sub> = P <sub>hd5</sub> + P <sub>q</sub>	*****	*****	*****
P <sub>hd2</sub> = P <sub>hd2</sub>	27.000	27.000	*****
P <sub>hd2</sub> = P <sub>hd2</sub> + P <sub>q</sub>	*****	*****	32.000
P <sub>hd4</sub> = P <sub>hd4</sub>	*****	*****	*****
P <sub>v1</sub>	0.000	70.909	0.000
q <sub>v</sub>	*****	48.630	*****
q <sub>v'</sub>	25.939	*****	25.939

注) q<sub>v'</sub>は、P<sub>v1</sub> = 0 とした場合の底版反力

## 3.1.2 構造解析

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ ラーメン係数} \quad \alpha &= (H_0 \times T_1^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 \beta &= (H_0 \times T_2^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 N_1 &= 2 + \alpha \\
 N_2 &= 2 + \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \text{ 荷重項} \quad CAD &= q_v \times B_0^2 / 12 \\
 CBC &= \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_0^3 + P_{v1} \times u \\
 &\quad \times (3 \times B_0^2 - u^2)\} / (24 \times B_0) \\
 CAB &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 \\
 CBA &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60
 \end{aligned}$$

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）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
$\alpha$	1.0598	1.0598	1.0598
$\beta$	1.0598	1.0598	1.0598
N1	3.0598	3.0598	3.0598
N2	3.0598	3.0598	3.0598
CAD (kN・m/m)	30.398	56.989	30.398
CBC (kN・m/m)	20.215	58.740	20.215
CAB (kN・m/m)	8.252	8.252	10.457
CBA (kN・m/m)	6.427	6.427	8.632
$\theta_A$	-9.752	-24.088	-8.681
$\theta_B$	7.693	24.969	6.623
MAB (kN・m/m)	-20.063	-31.459	-21.197
MAD (kN・m/m)	20.063	31.459	21.197
MBA (kN・m/m)	12.062	32.277	13.196
MBC (kN・m/m)	-12.062	-32.277	-13.196

## 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。

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

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

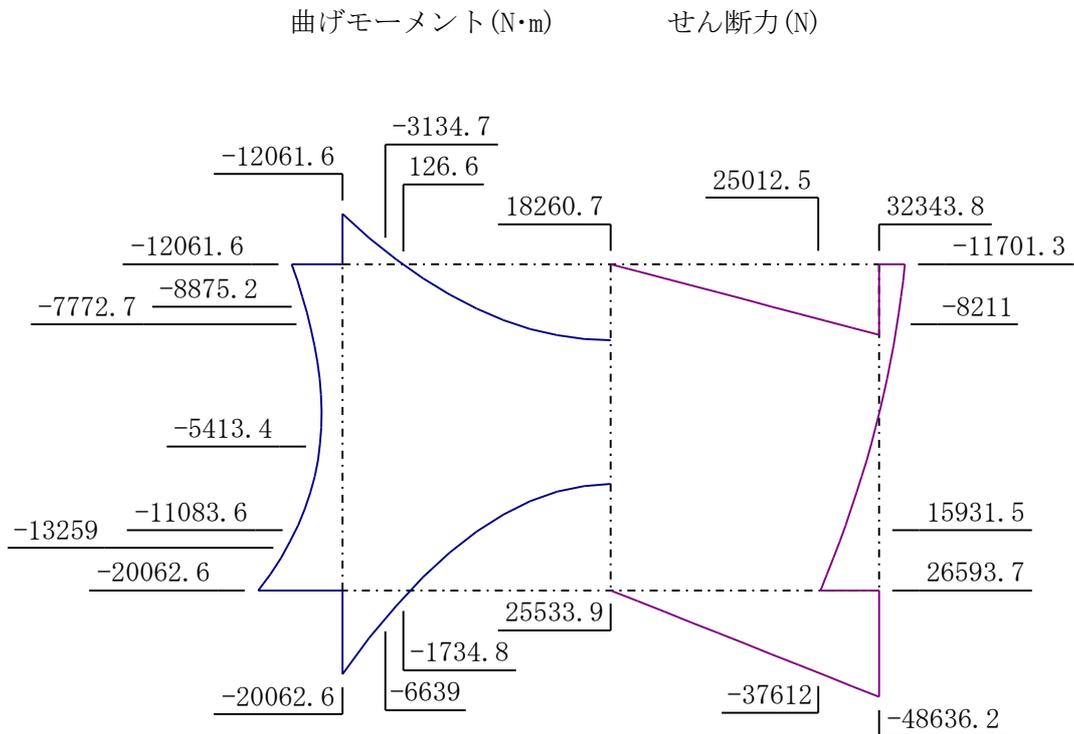
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	32.344	74.889	32.344
S CB (kN/m)	-32.344	-74.889	-32.344
Mmax (kN・m/m)	18.261	65.055	17.127
S AD (kN/m)	48.636	91.182	48.636
S DA (kN/m)	-48.636	-91.182	-48.636
Mmax (kN・m/m)	25.534	54.023	24.400
S AB (kN/m)	26.594	22.760	32.344
S BA (kN/m)	-11.701	-15.535	-17.451
x (m)	1.014	1.014	*****
	1.220	*****	1.220
Mmax (kN・m/m)	-5.413	-20.698	*****
Mmax (kN・m/m)	-4.988	*****	-2.828

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。

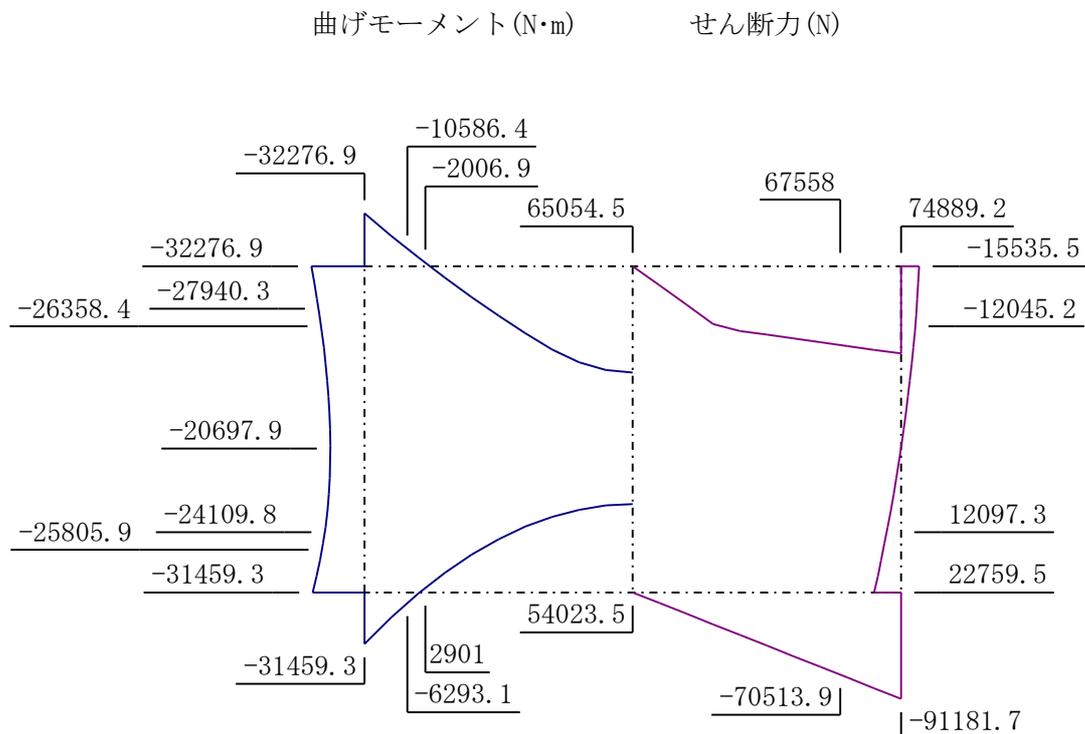
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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)	[ / 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.125	-12062	32344	11701
	2 ハッチ始点	0.425	-3135	***	11701
	S2 τ点	0.425	127	25013	11701
	1 中央	1.875	18261	0	11701
底版	9, S9 端部	0.125	-20063	48636	26594
	10 ハッチ始点	0.425	-6639	***	26594
	S10 τ点	0.425	-1735	37612	26594
	11 中央	1.875	25534	0	26594
側壁	4, S4 上端部	2.150	-12062	-11701	32344
	5 上ハッチ点	1.850	-8875	***	34469
	S5 上τ点	1.875	-7773	-8211	35354
	6 中間	1.014	-5413	*****	41453
		1.220	-4988	*****	39994
	S7 下τ点	0.425	-11084	15932	45626
	7 下ハッチ点	0.450	-13259	***	46511
	8, S8 下端部	0.150	-20063	26594	48636



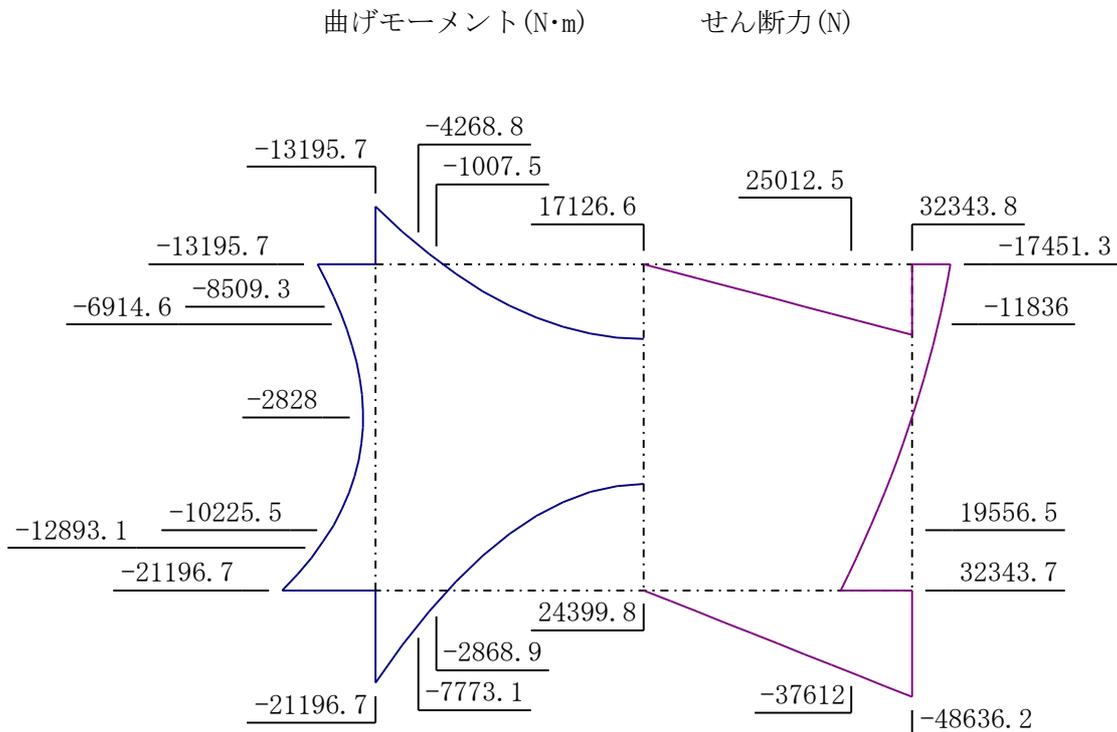
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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)	[ / 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.125	-32277	74889	15536
	2 ハッチ始点	0.425	-10586	***	15536
	S2 τ点	0.425	-2007	67558	15536
	1 中央	1.875	65055	0	15536
底板	9, S9 端部	0.125	-31459	91182	22760
	10 ハッチ始点	0.425	-6293	***	22760
	S10 τ点	0.425	2901	70514	22760
	11 中央	1.875	54024	0	22760
側壁	4, S4 上端部	2.150	-32277	-15536	74889
	5 上ハッチ点	1.850	-27940	***	77014
	S5 上τ点	1.875	-26358	-12045	77900
	6 中間	1.014	-20698	0	83999
	S7 下τ点	0.425	-24110	12097	88171
	7 下ハッチ点	0.450	-25806	***	89057
	8, S8 下端部	0.150	-31459	22760	91182



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

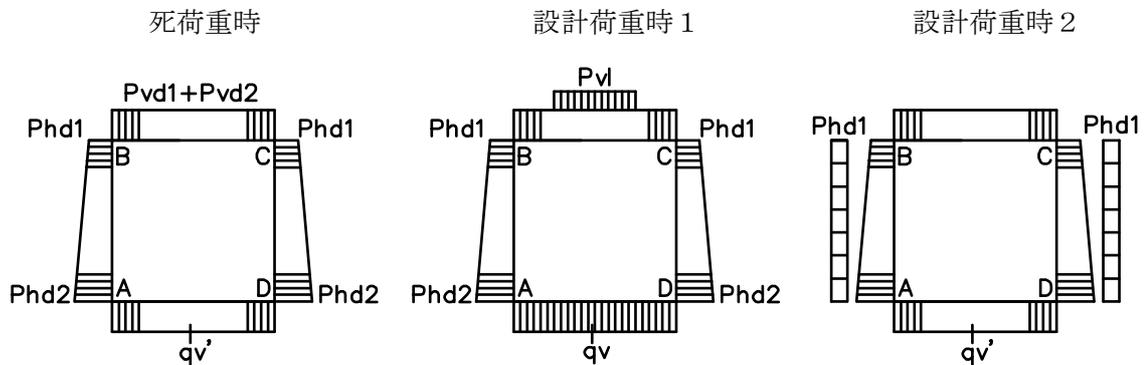
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[ / 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.125	-13196	32344	17451
	2 ハッチ始点	0.425	-4269	***	17451
	S2 τ点	0.425	-1008	25013	17451
	1 中央	1.875	17127	0	17451
底版	9, S9 端部	0.125	-21197	48636	32344
	10 ハッチ始点	0.425	-7773	***	32344
	S10 τ点	0.425	-2869	37612	32344
	11 中央	1.875	24400	0	32344
側壁	4, S4 上端部	2.150	-13196	-17451	32344
	5 上ハッチ点	1.850	-8509	***	34469
	S5 上τ点	1.875	-6915	-11836	35354
	6 中間	1.220	-2828	0	39994
	S7 下τ点	0.425	-10226	19557	45626
	7 下ハッチ点	0.450	-12893	***	46511
	8, S8 下端部	0.150	-21197	32344	48636



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  $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$   
 $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + H_o) \}$
- (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  $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o$



設計荷重値	死荷重時 (kN/m <sup>2</sup> )	設計荷重時 1 CASE-3 (kN/m <sup>2</sup> )	設計荷重時 2 CASE-4 (kN/m <sup>2</sup> )
$P_{vd1}$	7.350	7.350	7.350
$P_{vd2}$	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	15.300	15.300	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	20.300
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	36.000	36.000	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	41.000
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
$P_{v1}$	0.000	26.591	0.000
$q_v$	*****	66.630	*****
$q_{v'}$	43.939	*****	43.939

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

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o)$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60$$

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、 $P_{v1} = 0$   
 注3)  $P_{hd1} \sim P_{hd5}$ は、水平荷重(設計荷重参照)

(3) たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$

(4) 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC$$

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

計算値	死荷重時	設計荷重時1 CASE-3	設計荷重時2 CASE-4
$\alpha$	1.0598	1.0598	1.0598
$\beta$	1.0598	1.0598	1.0598
N1	3.0598	3.0598	3.0598
N2	3.0598	3.0598	3.0598
CAD (kN・m/m)	51.491	78.082	51.491
CBC (kN・m/m)	41.309	71.514	41.309
CAB (kN・m/m)	12.220	12.220	14.424
CBA (kN・m/m)	10.395	10.395	12.599
$\theta_A$	-18.066	-31.407	-16.996
$\theta_B$	16.007	30.239	14.937
MAB (kN・m/m)	-32.344	-44.796	-33.478
MAD (kN・m/m)	32.344	44.796	33.478
MBA (kN・m/m)	24.343	39.465	25.478
MBC (kN・m/m)	-24.343	-39.465	-25.478

## 3.2.3 各部材の断面力

## (1) 頂版

## 1) せん断力

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

## 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) 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。

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

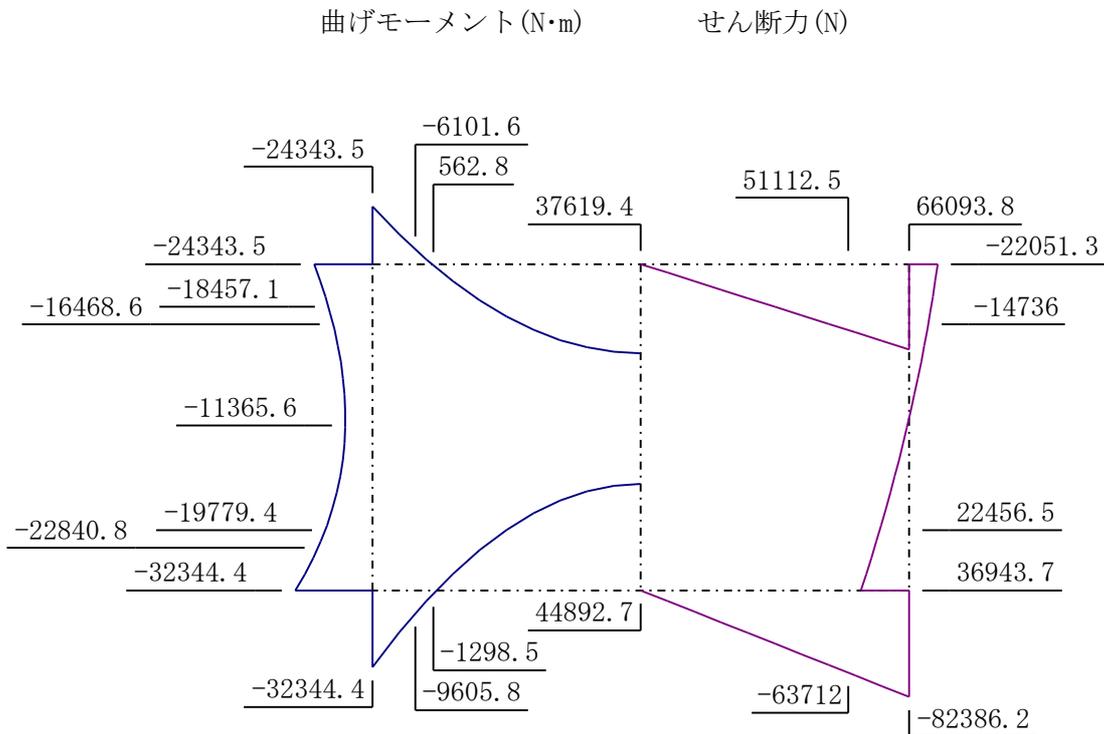
計算値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	66.094	108.639	66.094
SCB (kN/m)	-66.094	-108.639	-66.094
Mmax (kN・m/m)	37.619	68.234	36.485
SAD (kN/m)	82.386	124.932	82.386
SDA (kN/m)	-82.386	-124.932	-82.386
Mmax (kN・m/m)	44.893	72.328	43.759
SAB (kN/m)	36.944	35.783	42.694
SBA (kN/m)	-22.051	-23.212	-27.801
x (m)	1.163	1.163	*****
	1.199	*****	1.199
Mmax (kN・m/m)	-11.366	-25.167	*****
Mmax (kN・m/m)	-11.340	*****	-9.174

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。

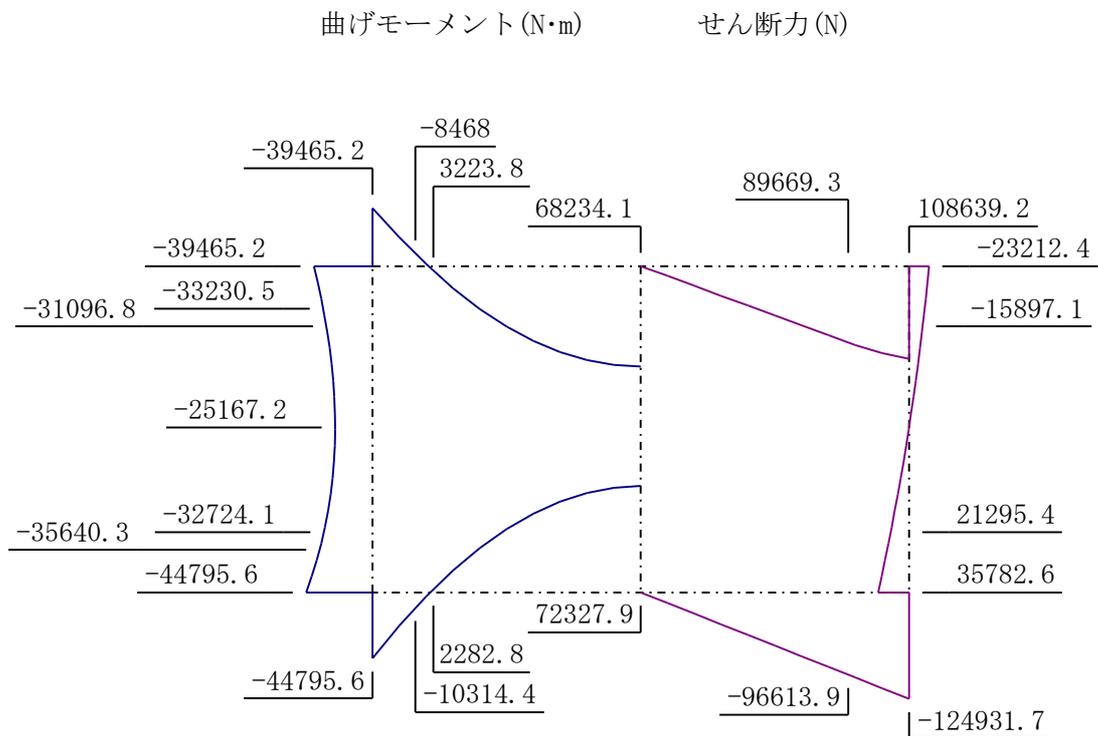
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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)	[ / 単位長]	
					軸力 N (N)	
頂版	3, S3 端部	0.125	-24344	66094	22051	
	2 ハッチ始点	0.425	-6102	***	22051	
	S2 τ点	0.425	563	51113	22051	
	1 中央	1.875	37619	0	22051	
底版	9, S9 端部	0.125	-32344	82386	36944	
	10 ハッチ始点	0.425	-9606	***	36944	
	S10 τ点	0.425	-1299	63712	36944	
	11 中央	1.875	44893	0	36944	
側壁	4, S4 上端部	2.150	-24344	-22051	66094	
	5 上ハッチ点	1.850	-18457	***	68219	
	S5 上τ点	1.875	-16469	-14736	69104	
	6 中間		1.163	-11366	*****	74148
			1.199	-11340	*****	73893
	S7 下τ点	0.425	-19779	22457	79376	
	7 下ハッチ点	0.450	-22841	***	80261	
	8, S8 下端部	0.150	-32344	36944	82386	



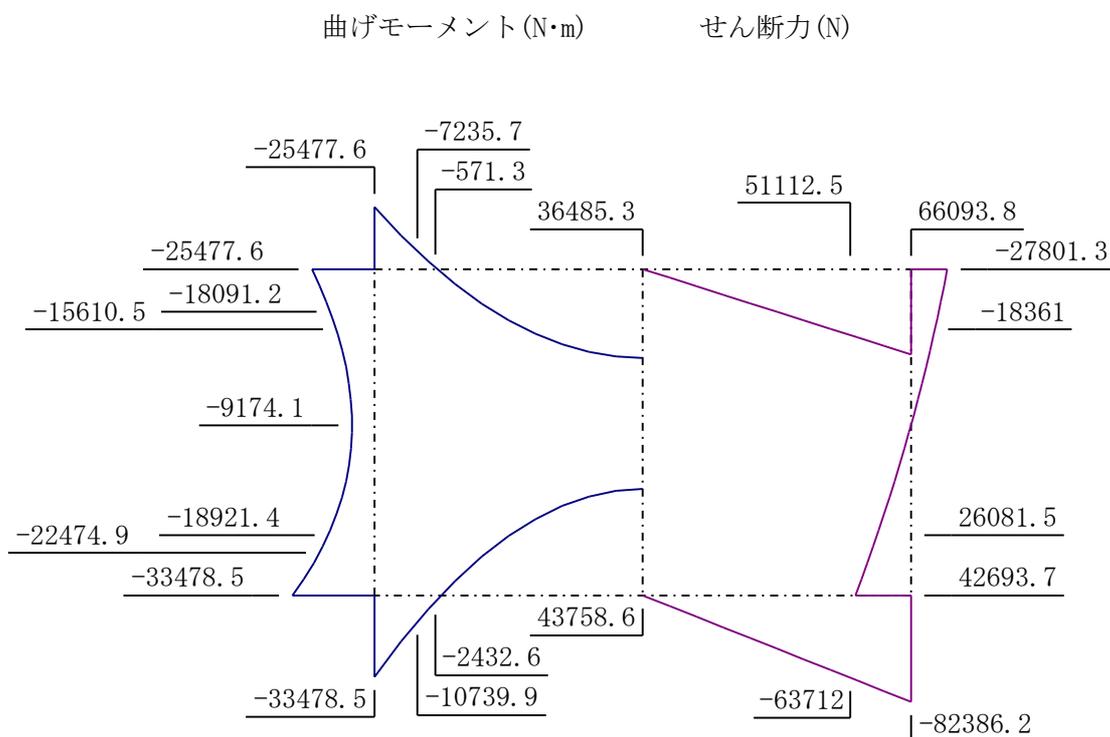
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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)	[ / 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.125	-39465	108639	23212
	2 ハッチ始点	0.425	-8468	***	23212
	S2 τ点	0.425	***	89669	***
	1 中央	1.875	68234	0	23212
底板	9, S9 端部	0.125	-44796	124932	35783
	10 ハッチ始点	0.425	-10314	***	35783
	S10 τ点	0.425	***	96614	***
	11 中央	1.875	72328	0	35783
側壁	4, S4 上端部	2.150	-39465	-23212	108639
	5 上ハッチ点	1.850	-33231	***	110764
	S5 上τ点	1.875	***	-15897	***
	6 中間	1.163	-25167	0	116693
	S7 下τ点	0.425	***	21295	***
	7 下ハッチ点	0.450	-35640	***	122807
	8, S8 下端部	0.150	-44796	35783	124932



(3) 設計荷重時 2 (CASE-4)

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)	[ /単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.125	-25478	66094	27801
	2 ハッチ始点	0.425	-7236	***	27801
	S2 τ点	0.425	***	51113	***
	1 中央	1.875	36485	0	27801
底版	9, S9 端部	0.125	-33479	82386	42694
	10 ハッチ始点	0.425	-10740	***	42694
	S10 τ点	0.425	***	63712	***
	11 中央	1.875	43759	0	42694
側壁	4, S4 上端部	2.150	-25478	-27801	66094
	5 上ハッチ点	1.850	-18091	***	68219
	S5 上τ点	1.875	***	-18361	***
	6 中間	1.199	-9174	0	73893
	S7 下τ点	0.425	***	26082	*****
	7 下ハッチ点	0.450	-22475	***	80261
	8, S8 下端部	0.150	-33479	42694	82386



## 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、	$\sigma_m$ : 曲げ応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
	M : 曲げモーメント	(kN・m)
	Z : 断面係数	(cm <sup>3</sup> )
	B : 部材幅	(cm)
	T : 部材厚	(cm)

## 4.2 有効プレトレス

(1) 有効係数  $\eta$ 

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

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

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

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

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

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

ここに、	$\sigma_{pt}$ : 有効引張応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
	$P_t$ : 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 <sup>2</sup> )
	$\Delta\sigma_{pcs}$ : 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 <sup>2</sup> )
	$n$ : 弾性係数比 ( $E_p / E_c = 6.45$ )	
	$E_p$ : PC鋼棒の弾性係数 ( $2.0 \times 10^5$ N/mm <sup>2</sup> )	
	$E_c$ : コンクリートの弾性係数 ( $3.1 \times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> )	
	$\phi$ : クリープ係数 (= 2.5)	
	$\sigma_{cd}$ : 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 <sup>2</sup> )
	$\sigma_{cpt}$ : 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 <sup>2</sup> )
	$\varepsilon_{cs}$ : コンクリートの乾燥収縮度 (= 200 $\mu$ )	
	$\sigma_{pt}$ : 緊張作業直後のPC鋼棒の引張応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
	$N_p$ : m当りPC鋼棒本数	(本)
	$A_c$ : コンクリート断面積	(cm <sup>2</sup> )
	$e_p$ : PC鋼棒偏心量	(cm)
	$I$ : 断面二次モーメント	(cm <sup>4</sup> )
	$\Delta\sigma_{pr}$ : PC鋼棒のリラクゼーションによる引張応力度の減少量	(N/mm <sup>2</sup> )
	$\gamma$ : PC鋼棒の見掛けのリラクゼーション (= 0.03)	

(2) 有効プレストレス  $\sigma_{ce}$ 

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

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

## 4.3 合成応力度

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

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

## 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	( $\text{cm}^2$ )
	$A_{s2}$	: 引張鉄筋断面積	( $\text{cm}^2$ )
		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)
	$\sigma_{sa}$	: 鉄筋の許容引張応力度	( $\text{N/mm}^2$ )
	$\sigma_{c1}$	: 引張縁に生じる引張応力度	( $\text{N/mm}^2$ )
	$\sigma_{c2}$	: 圧縮縁に生じる圧縮応力度	( $\text{N/mm}^2$ )
	$b$	: 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、	$\sigma_i$	: 斜引張応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
	$\sigma_x$	: 部材軸方向圧縮応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
	$\tau$	: せん断応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
	$P_e$	: 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 <sup>3</sup> )
	$b$	: 部材幅	(cm)
	$I$	: 断面二次モーメント	(cm <sup>4</sup> )
	$T$	: 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 <sup>2</sup> )
	As	: 鉄筋の断面積	(cm <sup>2</sup> )
	σ pud	: P C鋼棒引張強度	(N/mm <sup>2</sup> )
	σ syd	: 引張鉄筋の降伏点応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
	σ ck	: コンクリートの設計基準強度	(N/mm <sup>2</sup> )
	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 <sup>2</sup> )
	ε s	: 引張鉄筋の降伏ひずみ	(σ syd / E s)

## 5 PC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 <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (cm <sup>4</sup> )	中立軸 (cm)	断面係数 (cm <sup>3</sup> )
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PC鋼棒

位置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm <sup>2</sup> )	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	φ21	2.50	3.464	290000	2.50	外側
ハチ始点	φ21	2.50	3.464	290000	-2.50	外側
τ点	φ21	2.50	3.464	290000	2.50	内側
中央	φ21	2.50	3.464	290000	2.50	内側

## 5.1.3 有効係数

計算項/ 位置	σ <sub>pt</sub>	σ <sub>cpt</sub>	σ <sub>cd</sub>	Δσ <sub>pcs</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Δσ <sub>pr</sub>	σ <sub>pe</sub>	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	1.90	-0.11	66.57	25.12	745.49	0.890	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.07	79.70	25.12	732.36	0.875	3
τ点	837.18	2.62	-0.01	78.56	25.12	733.51	0.876	3
中央	837.18	2.62	-0.42	72.21	25.12	739.86	0.884	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	1.90	-0.11	66.57	25.12	745.49	0.890	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.07	79.70	25.12	732.36	0.875	3
τ点	837.18	2.62	-0.01	78.56	25.12	733.51	0.876	3
中央	837.18	2.62	-0.42	72.21	25.12	739.86	0.884	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	1.90	-0.11	66.57	25.12	745.49	0.890	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.03	79.19	25.12	732.87	0.875	1
τ点	837.18	2.62	-0.01	78.56	25.12	733.51	0.876	3
中央	837.18	2.62	-0.42	72.21	25.12	739.86	0.884	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	1.90	-0.11	66.57	25.12	745.49	0.890	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.03	79.19	25.12	732.87	0.875	1
τ点	837.18	2.62	-0.01	78.56	25.12	733.51	0.876	3
中央	837.18	2.62	-0.42	72.21	25.12	739.86	0.884	3

## 5.1.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 $\sigma_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	N/Ac (N/mm <sup>2</sup> )	有効プレストレス $\sigma_{ce}$ (N/mm <sup>2</sup> )	合成応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端 部	0.91	0.06	1.01	1.98	3
ハチ始点	0.41	0.07	3.17	3.65	3
中 央	2.51	0.07	1.07	3.65	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-0.91	0.06	2.22	1.36	3
ハチ始点	-0.41	0.07	1.06	0.72	3
中 央	-2.51	0.07	3.20	0.77	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.48	0.06	1.01	2.55	3
ハチ始点	0.71	0.05	3.17	3.93	1
中 央	4.55	0.08	1.07	5.69	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.48	0.06	2.22	0.80	3
ハチ始点	-0.71	0.05	1.06	0.40	1
中 央	-4.55	0.08	3.20	-1.27	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 <sup>2</sup> )	内側 (N/mm <sup>2</sup> )			As1 (cm <sup>2</sup> /m)	As2 (cm <sup>2</sup> /m)	
端部	-53.278	0.30	3.09	3.5	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-14.292	0.17	4.20	1.2	0.0	0.000	0.000	1
中央	92.116	-2.83	7.31	8.4	118.7	7.416	4.188	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 cm <sup>2</sup> /m	> As1 or As2
内側	D 16	— 5	D 13	— 5	8.133 cm <sup>2</sup> /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 <sup>3</sup> )	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma i$	ケース
端部	100.0	20000	23.212	108.639	645.60	1.67	0.41	-0.094	3
$\tau$ 点	100.0	11250	23.212	89.669	635.22	2.19	0.45	-0.088	3

$\sigma i > -1.00$  CHECK OK

## 5.1.7 破壊安全度の検討

終局荷重時の曲げモーメント

位置	M1 (kN・m)	M2 (kN・m)	1.3M1+2.5M2 (kN・m)	1.7(M1+M2) (kN・m)	Md (kN・m)	ケース
端部	-24.343	-15.122	-69.451	-67.091	-69.451	3
ハチ始点	-3.135	-7.452	-22.704	-17.997	-22.704	1
中央	18.261	46.794	140.723	110.593	140.723	1

位置	Ap (cm <sup>2</sup> /m)	As (cm <sup>2</sup> /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端部	8.660	6.335	22.5	36.5	0.069	0.005	213.62	3.1	3
ハチ始点	8.660	6.335	12.5	26.5	0.069	0.008	125.59	5.5	1
中央	8.660	8.133	17.5	26.5	0.069	0.006	173.98	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 <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (cm <sup>4</sup> )	中立軸 (cm)	断面係数 (cm <sup>3</sup> )
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PC鋼棒

位置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm <sup>2</sup> )	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	φ21	2.50	3.464	290000	2.50	外側
ハチ始点	φ21	2.50	3.464	290000	-2.50	外側
τ点	φ21	2.50	3.464	290000	2.50	内側
中央	φ21	2.50	3.464	290000	2.50	内側

## 5.2.3 有効係数

計算項/ 位置	σ <sub>pt</sub>	σ <sub>cpt</sub>	σ <sub>cd</sub>	Δσ <sub>pcs</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Δσ <sub>pr</sub>	σ <sub>pe</sub>	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	1.90	-0.15	65.99	25.12	746.08	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.11	80.30	25.12	731.76	0.874	3
τ点	837.18	2.62	-0.02	78.36	25.12	733.71	0.876	1
中央	837.18	2.62	-0.50	70.96	25.12	741.11	0.885	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	1.90	-0.15	65.99	25.12	746.08	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.11	80.30	25.12	731.76	0.874	3
τ点	837.18	2.62	-0.02	78.36	25.12	733.71	0.876	1
中央	837.18	2.62	-0.50	70.96	25.12	741.11	0.885	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	1.90	-0.15	65.99	25.12	746.08	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.11	80.30	25.12	731.76	0.874	4
τ点	837.18	2.62	-0.02	78.36	25.12	733.71	0.876	1
中央	837.18	2.62	-0.50	70.96	25.12	741.11	0.885	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	1.90	-0.15	65.99	25.12	746.08	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.11	80.30	25.12	731.76	0.874	4
τ点	837.18	2.62	-0.02	78.36	25.12	733.71	0.876	1
中央	837.18	2.62	-0.50	70.96	25.12	741.11	0.885	3

## 5.2.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 $\sigma_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	N/Ac (N/mm <sup>2</sup> )	有効プレストレス $\sigma_{ce}$ (N/mm <sup>2</sup> )	合成応力度 $\sigma_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.21	0.09	1.01	2.31	3
ハチ始点	0.64	0.12	3.17	3.93	3
中 央	2.99	0.12	1.07	4.19	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.21	0.09	2.22	1.10	3
ハチ始点	-0.64	0.12	1.06	0.54	3
中 央	-2.99	0.12	3.21	0.34	3
			$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.68	0.09	1.01	2.78	3
ハチ始点	0.72	0.14	3.17	4.03	4
中 央	4.82	0.12	1.07	6.01	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.68	0.09	2.22	0.63	3
ハチ始点	-0.72	0.14	1.06	0.48	4
中 央	-4.82	0.12	3.21	-1.49	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 <sup>2</sup> )	内側 (N/mm <sup>2</sup> )			As1 (cm <sup>2</sup> /m)	As2 (cm <sup>2</sup> /m)	
端部	-60.474	0.07	3.40	0.9	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-14.499	0.28	4.33	1.8	0.0	0.000	0.000	4
中央	97.643	-3.14	7.74	8.7	135.9	8.493	4.328	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 cm <sup>2</sup> /m	> As1 or As2
内側	D 16	— 10	D 0	— 0	9.930 cm <sup>2</sup> /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 <sup>3</sup> )	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma i$	ケース
端部	100.0	20000	35.783	124.932	646.11	1.70	0.47	-0.120	3
$\tau$ 点	100.0	11250	35.783	96.614	635.39	2.24	0.48	-0.100	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	-32.344	-12.451	-73.176	-76.153	-76.153	3
ハチ始点	-9.606	-1.134	-15.323	-18.258	-18.258	4
中央	44.893	27.435	126.949	122.957	126.949	3

位置	Ap (cm <sup>2</sup> /m)	As (cm <sup>2</sup> /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端部	8.660	6.335	22.5	36.5	0.069	0.005	213.62	2.8	3
ハチ始点	8.660	6.335	12.5	26.5	0.069	0.008	125.59	6.9	4
中央	8.660	9.930	17.5	26.5	0.069	0.006	187.61	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	-39.465	108.639	36.33	14.00	54.675	3
	上ハチ点	-33.230	110.764	30.00	9.00	43.199	3
側壁	中 間	-25.167	116.693	21.57	9.00	35.670	3
	下ハチ点	-35.640	122.807	29.02	9.00	46.693	3
	下端部	-44.796	124.932	35.86	14.00	62.286	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

$$\begin{aligned}
 k &= n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) &&= 0.568 \\
 c1 &= \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} &&= 0.557 \\
 d &= c1 \times \sqrt{(Ms / b)} && \quad h = d + d' < T
 \end{aligned}$$

ここに、 Ms : 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( $\sigma_{sa}$ )に達する場合の必要鉄筋量( $A_s$ )

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

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

上式を解いて  $\sigma_c$  を求める。また  $da = T - d'$  とする。

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

部材	点	Ms (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 As (cm <sup>2</sup> /m)
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	上端部	54.675	13.03	16.53	35.00	5.200
	上ハチ点	43.199	11.58	15.08	25.00	7.334
側壁	中 間	35.670	10.52	14.02	25.00	4.357
	下ハチ点	46.693	12.04	15.54	25.00	7.803
	下端部	62.286	13.91	17.41	35.00	5.934
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<sub>s</sub> : 主鉄筋断面積 (cm<sup>2</sup>)  
 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 - 5
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 5

部材	点	部材幅 b (cm)	使用鉄筋量 A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	x (cm)	実応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
					σ <sub>c</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>s</sub> '
頂版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハンチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハンチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	8.133	10.685	3.66	107.0	0.0
	上ハンチ点	100.00	8.133	7.986	5.74	145.8	0.0
	中間	100.00	8.133	8.857	4.34	93.0	0.0
	下ハンチ点	100.00	8.133	8.057	6.16	154.2	0.0
	下端部	100.00	8.133	10.732	4.16	120.7	0.0

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

CHECK OK

## 9 せん断力に対する検討

## 9.1 せん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	67.558	25.012	89.669	51.112				
	M			3.224					
	N			23.212					
	最大			○					
底版 τ点	S	70.514	37.612	96.614	63.712				
	M			2.283					
	N			35.783					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-12.045	-11.836	-15.897	-18.361				
	M				-15.611				
	N				69.104				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	12.097	19.556	21.295	26.081				
	M				-18.921				
	N				79.376				
	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 せん断応力度の検討

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 : せん断力 (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 $\tau_a$ に乗じる。

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

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(m<sup>3</sup>)

Ac：部材断面積(m<sup>2</sup>)

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 <sup>2</sup> )		
頂版 $\tau$ 点	30.0	3.5	26.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.307	1.007
底版 $\tau$ 点	30.0	3.5	26.5	1.400	D16-5	9.930	0.375	1.075
側壁上 $\tau$ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.364	1.064
側壁下 $\tau$ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.364	1.064

照査位置	M (kN・m)	Pe (kN)	N (kN)	Ac (m <sup>2</sup> )	Z (m <sup>4</sup> )	ep (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 $\tau$ 点	3.224	640.7	23.212	0.300	0.01500	0.03	46.010	2.000
底版 $\tau$ 点	2.283	641.8	35.783	0.300	0.01500	0.03	46.715	2.000
側壁上 $\tau$ 点	-15.610	0.0	69.104	0.258	0.01108	0.00	2.968	1.190
側壁下 $\tau$ 点	-18.921	0.0	79.376	0.258	0.01108	0.00	3.409	1.180

照査位置	$\tau_a$	補正係数			補正 $\tau_a$
		Ce	Cpt	Cn	
頂版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.007	2.000	0.761
底版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.075	2.000	0.813
側壁上 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.064	1.190	0.479
側壁下 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.064	1.180	0.475

照査位置	せん断力 S (kN)	有効高 d (cm)	せん断応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	補正 $\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> )
頂版 $\tau$ 点	89.669	26.5	0.338	0.761
底版 $\tau$ 点	96.614	26.5	0.365	0.813
側壁上 $\tau$ 点	18.361	22.3	0.082	0.479
側壁下 $\tau$ 点	26.082	22.3	0.117	0.475

$\tau < \tau_a$  CHECK OK

以上