

受付 No.

台帳 No. KL407003

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 2200 mm  
内 高 (H) 1800 mm  
長 さ (L) 2000 mm

○設計条件： 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 1.510 m  
H2= 3.000 m

千葉窯業株式会社

## 1 設 計 条 件

## 1.1 一般条件

構造形式	: 一径間ボックスラーメン
内空寸法	: (B) 2200 × (H) 1800 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 1.510 ~ H2 = 3.000 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t <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 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 <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 :  $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

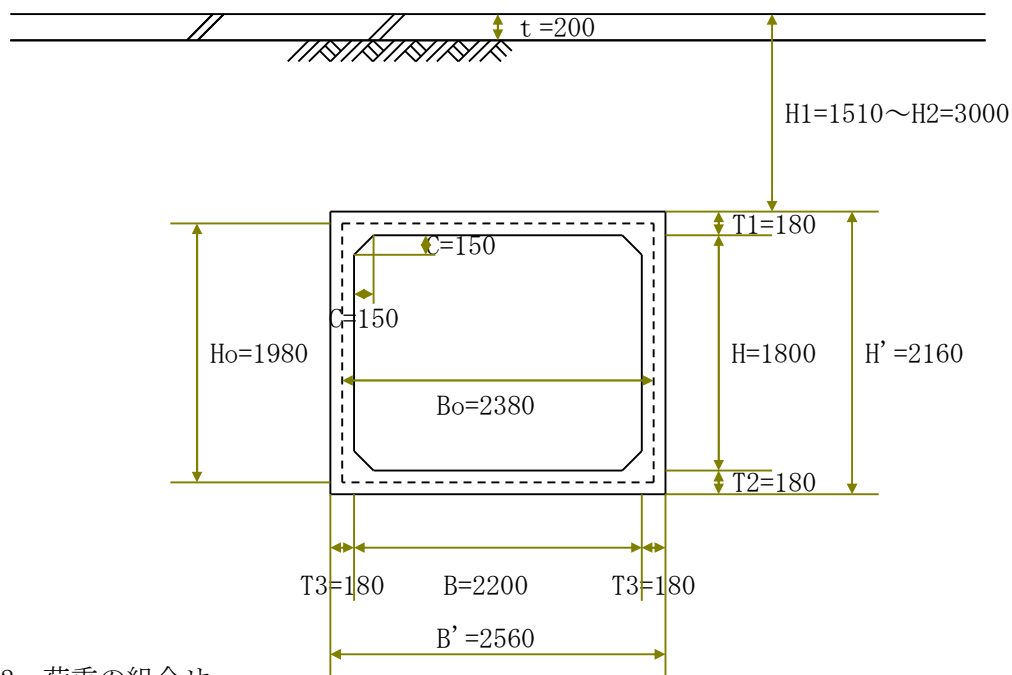
## 1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

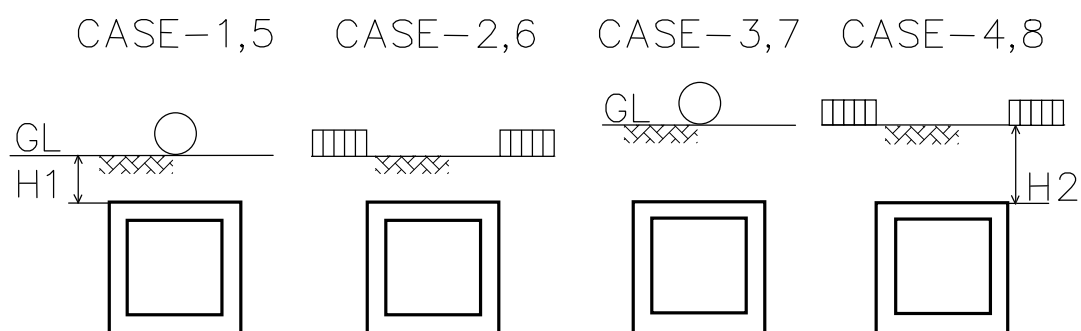
## (3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 23$	*****	(mm)
断面積	346.40	415.50	*****	(mm <sup>2</sup> )
設計引張力	290000	350000	*****	(N)

## 1.11 標準断面図



## 1.12 荷重の組合せ



## [荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

## 2 断面力計算

ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

せん断力



## 1) 断面検討用曲げモーメント



## 2) せん断力に対する照査



b) について

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

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



## 3.1.2 構造解析

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

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

注1) 死荷重時、設計荷重時2のCADは、 $q_v = q_v'$

注2) 死荷重時、設計荷重時2のCBCは、 $P_{vl} = 0$

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

$$\begin{aligned}
 (3) \quad \text{た わ み 角} \quad \theta_A &= \{N1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N1 \times N2 - 1) \\
 \theta_B &= \{N2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N1 \times N2 - 1)
 \end{aligned}$$

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
$\alpha$	0.8319	0.8319	0.8319
$\beta$	0.8319	0.8319	0.8319
N1	2.8319	2.8319	2.8319
N2	2.8319	2.8319	2.8319
CAD (kN・m/m)	19.019	31.492	19.019
CBC (kN・m/m)	15.336	27.810	15.336
CAB (kN・m/m)	8.345	8.345	9.978
CBA (kN・m/m)	7.180	7.180	8.814
$\theta_A$	-5.468	-12.277	-4.576
$\theta_B$	4.811	11.620	3.919
MAB (kN・m/m)	-14.470	-21.279	-15.211
MAD (kN・m/m)	14.470	21.279	15.211
MBA (kN・m/m)	11.334	18.143	12.076
MBC (kN・m/m)	-11.334	-18.143	-12.076

## 3.1.3 各部材の断面力

## (1) 頂 版

## 1) せん断力

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

## 2) 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2 / 8 + M_{BC}$$

## (2) 底 版

## 1) せん断力

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

## 2) 曲げモーメント

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

## (3) 側 壁

## 1) せん断力

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

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

## 2) 曲げモーメント

節点間の極値は、せん断力が 0 となる位置に生じる。次式を解いて位置 x を求める。

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

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

計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	38.663	70.110	38.663
SCB	(kN/m)	-38.663	-70.110	-38.663
Mmax	(kN・m/m)	11.671	23.572	10.929
SAD	(kN/m)	47.946	79.393	47.946
SDA	(kN/m)	-47.946	-79.393	-47.946
Mmax	(kN・m/m)	14.058	25.960	13.316
SAB	(kN/m)	28.046	28.046	32.996
SBA	(kN/m)	-18.998	-18.998	-23.948
x	(m)	0.995	0.995	*****
		0.994	*****	0.994
Mmax	(kN・m/m)	-1.258	-8.067	*****
Mmax	(kN・m/m)	-1.258	*****	0.450

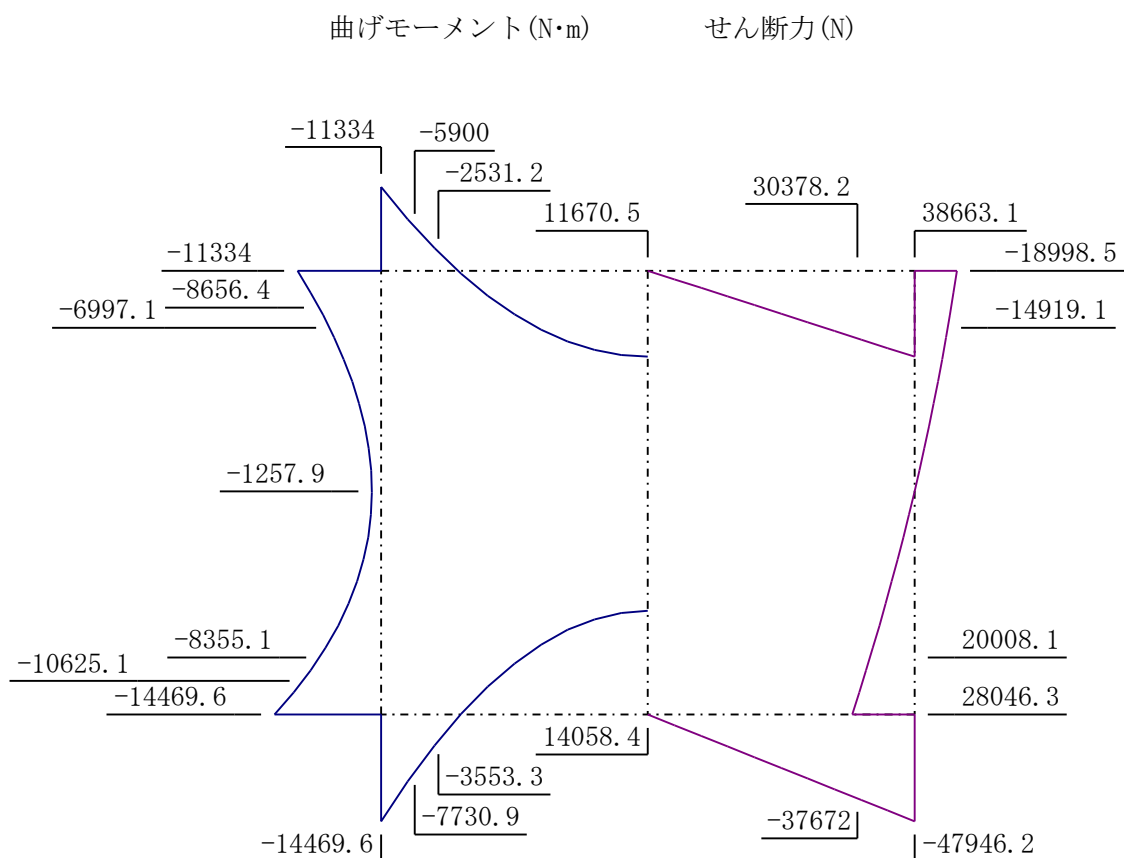
注 1) 頂版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $P_{v1} = 0$  とする。

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



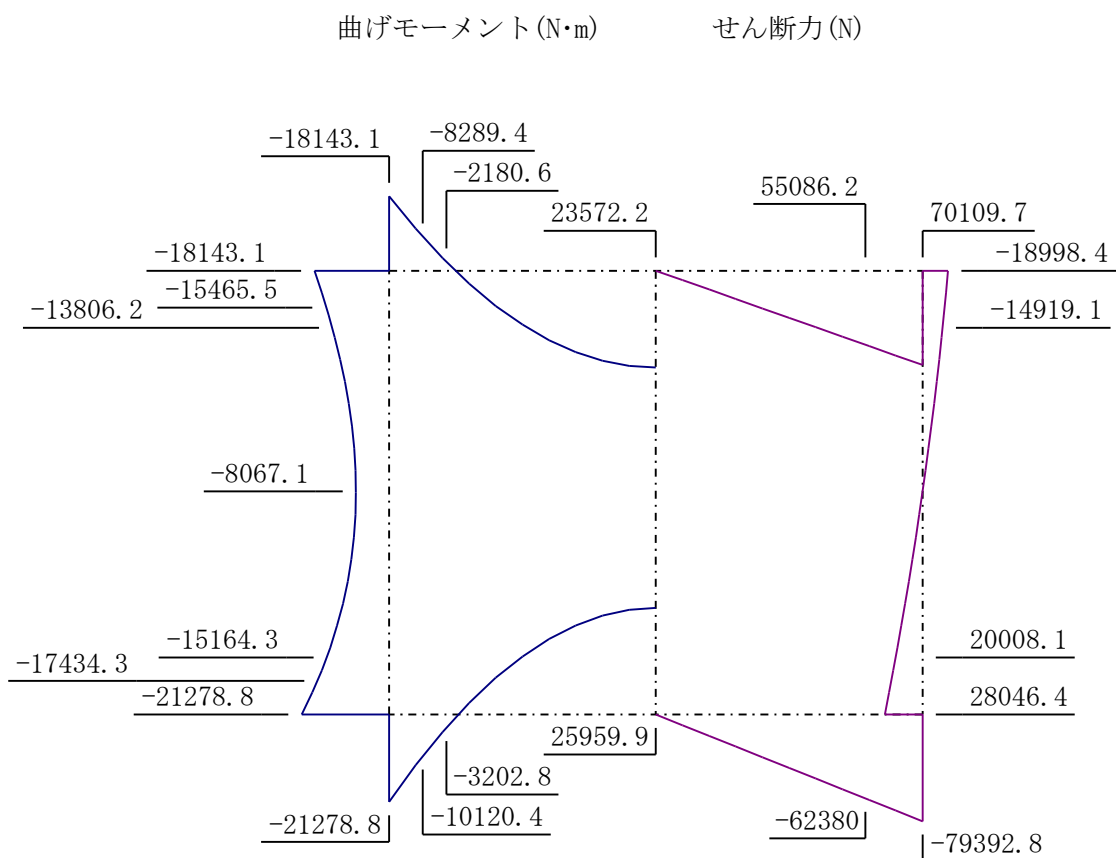
## (1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[ /単位長]			
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.090	-11334	38663	18999
	2 ハッチ始点	0.240	-5900	***	18999
	S2 τ 点	0.255	-2531	30378	18999
	1 中 央	1.190	11671	0	18999
底板	9, S9 端 部	0.090	-14470	47946	28046
	10 ハッチ始点	0.240	-7731	***	28046
	S10 τ 点	0.255	-3553	37672	28046
	11 中 央	1.190	14058	0	28046
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-11334	-18999	38663
	5 上ハッチ点	1.740	-8656	***	39366
	S5 上 τ 点	1.725	-6997	-14919	39859
	6 中 間	0.995	-1258	*****	43281
		0.994	-1258	*****	43286
	S7 下 τ 点	0.255	-8355	20008	46751
	7 下ハッチ点	0.240	-10625	***	47243
	8, S8 下 端部	0.090	-14470	28046	47946



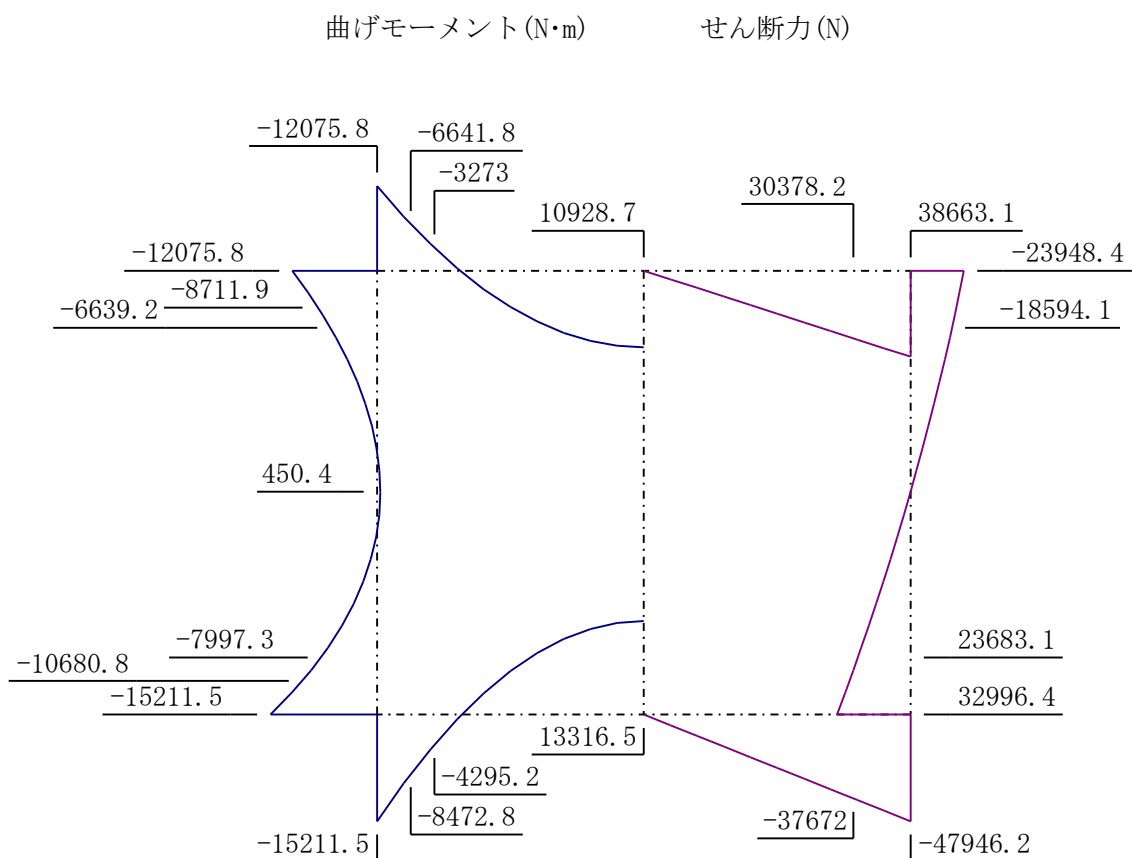
## (1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

					[ /単位長]	
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)	
頂版	3, S3 端 部	0.090	-18143	70110	18998	
	2 ハチ始点	0.240	-8289	***	18998	
	S2 τ 点	0.255	-2181	55086	18998	
	1 中 央	1.190	23572	0	18998	
底版	9, S9 端 部	0.090	-21279	79393	28046	
	10 ハチ始点	0.240	-10120	***	28046	
	S10 τ 点	0.255	-3203	62380	28046	
	11 中 央	1.190	25960	0	28046	
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-18143	-18998	70110	
	5 上ハチ点	1.740	-15466	***	70813	
	S5 上 τ 点	1.725	-13806	-14919	71305	
	6 中 間	0.995	-8067	0	74728	
	S7 下 τ 点	0.255	-15164	20008	78197	
	7 下ハチ点	0.240	-17434	***	78690	
	8, S8 下 端部	0.090	-21279	28046	79393	



## (1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

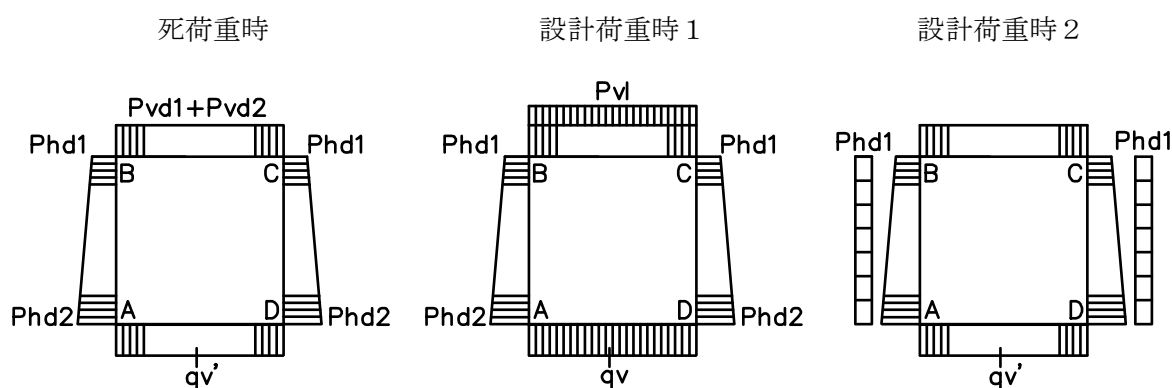
[ /単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.090	-12076	38663	23948
	2 ハチ始点	0.240	-6642	***	23948
	S2 τ 点	0.255	-3273	30378	23948
	1 中 央	1.190	10929	0	23948
底板	9, S9 端 部	0.090	-15212	47946	32996
	10 ハチ始点	0.240	-8473	***	32996
	S10 τ 点	0.255	-4295	37672	32996
	11 中 央	1.190	13317	0	32996
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-12076	-23948	38663
	5 上ハチ点	1.740	-8712	***	39366
	S5 上 τ点	1.725	-6639	-18594	39859
	6 中 間	0.994	450	0	43286
	S7 下 τ点	0.255	-7997	23683	46751
	7 下ハチ点	0.240	-10681	***	47243
	8, S8 下 端部	0.090	-15212	32996	47946



## 3. 断面力の算定 (CASE-3, 4)

## 3.2.1 設計荷重

- (1) 頂版自重  $P_{vd1} = \gamma_c \times T1$
- (2) 鉛直土圧  $P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H2 - t - tb) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb \}$
- (3) 水平土圧  $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$   
 $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重  $P_q = K_a \times Q$
- (5) 活荷重  
 輪分布幅  $u = a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m}$   
 $v = b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m}$   
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$   
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力  $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) / B_o$



設計荷重値

死荷重時

設計荷重時 1

設計荷重時 2

(kN/m<sup>2</sup>)CASE-3  
(kN/m<sup>2</sup>)CASE-4  
(kN/m<sup>2</sup>)

P <sub>vd1</sub>	4.410	4.410	4.410
P <sub>vd2</sub>	54.900	54.900	54.900
P <sub>hd1</sub> = P <sub>hd1</sub>	28.260	28.260	*****
P <sub>hd1</sub> = P <sub>hd1</sub> + P <sub>q</sub>	*****	*****	33.260
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>	46.080	46.080	*****
P <sub>hd2</sub> = P <sub>hd2</sub> + P <sub>q</sub>	*****	*****	51.080
P <sub>hd4</sub> = P <sub>hd4</sub>	*****	*****	*****
P <sub>v1</sub>	0.000	13.724	0.000
q <sub>v</sub>	*****	80.835	*****
q <sub>v'</sub>	67.111	*****	67.111

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

## 3.2.2 構造解析

- (1) ラーメン係数
- $$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3)$$
- $$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3)$$
- $$N_1 = 2 + \alpha$$
- $$N_2 = 2 + \beta$$
- (2) 荷重項
- $$CAD = q_v \times B_o^2 / 12$$
- $$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12$$
- $$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60$$
- $$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60$$
- 注 1) 死荷重時、設計荷重時 2 の CAD は、 $q_v = q_v'$   
 注 2) 死荷重時、設計荷重時 2 の CBC は、 $P_{v1} = 0$   
 注 3)  $Phd1 \sim Phd5$  は、水平荷重（設計荷重参照）
- (3) たわみ角
- $$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$
- $$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$
- (4) 端モーメント
- $$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB$$
- $$MAD = \beta \times \theta_A + CAD$$
- $$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA$$
- $$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC$$

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
$\alpha$	0.8319	0.8319	0.8319
$\beta$	0.8319	0.8319	0.8319
$N_1$	2.8319	2.8319	2.8319
$N_2$	2.8319	2.8319	2.8319
CAD (kN・m/m)	31.679	38.157	31.679
CBC (kN・m/m)	27.996	34.475	27.996
CAB (kN・m/m)	12.726	12.726	14.359
CBA (kN・m/m)	11.561	11.561	13.195
$\theta_A$	-9.987	-13.524	-9.096
$\theta_B$	9.330	12.866	8.438
MAB (kN・m/m)	-23.370	-26.906	-24.112
MAD (kN・m/m)	23.370	26.906	24.112
MBA (kN・m/m)	20.234	23.771	20.976
MBC (kN・m/m)	-20.234	-23.771	-20.976

## 3.2.3 各部材の断面力

## (1) 頂 版

## 1) せん断力

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

## 2) 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC}$$

## (2) 底 版

## 1) せん断力

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

## 2) 曲げモーメント

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

## (3) 側 壁

## 1) せん断力

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

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

## 2) 曲げモーメント

節点間の極値は、せん断力が 0 となる位置に生じる。次式を解いて位置 x を求める。

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

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

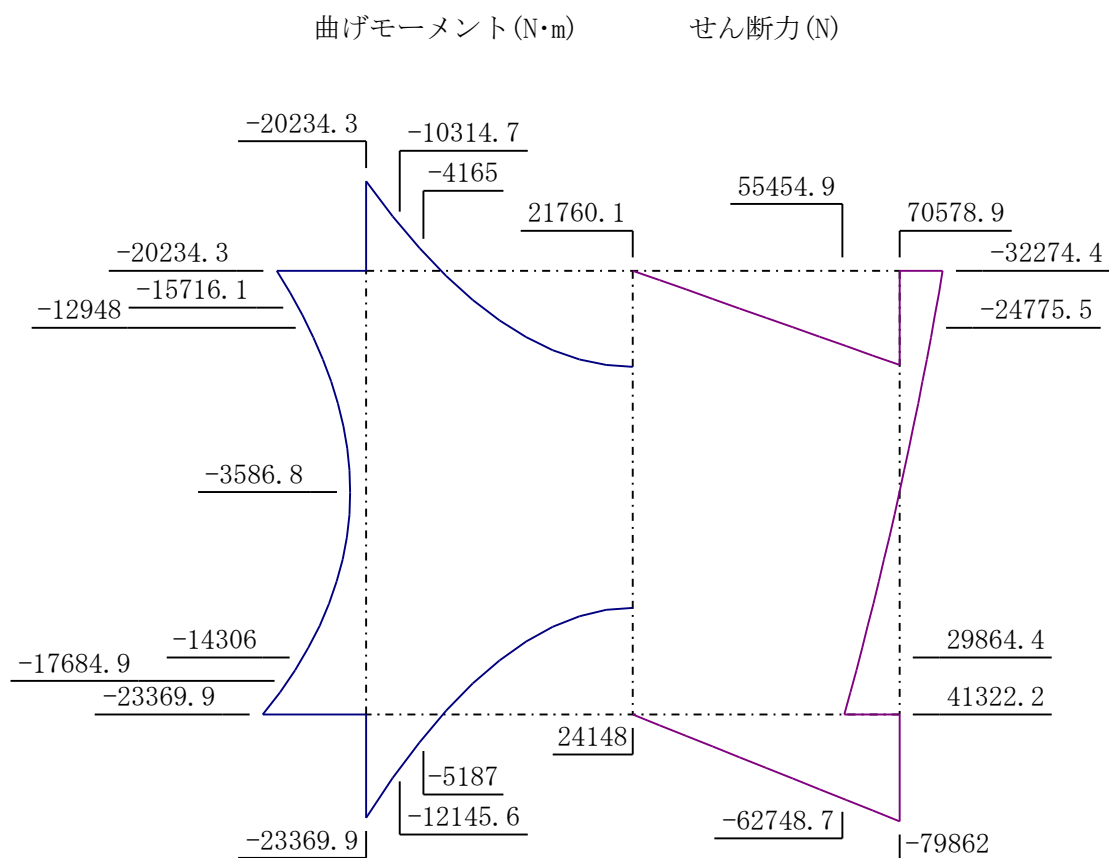
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	70.579	86.911	70.579
SCB (kN/m)	-70.579	-86.911	-70.579
Mmax (kN・m/m)	21.760	27.941	21.018
SAD (kN/m)	79.862	96.194	79.862
SDA (kN/m)	-79.862	-96.194	-79.862
Mmax (kN・m/m)	24.148	30.329	23.406
SAB (kN/m)	41.322	41.322	46.272
SBA (kN/m)	-32.274	-32.274	-37.224
x (m)	0.993	0.993	*****
	0.993	*****	0.993
Mmax (kN・m/m)	-3.587	-7.123	*****
Mmax (kN・m/m)	-3.587	*****	-1.878

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

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

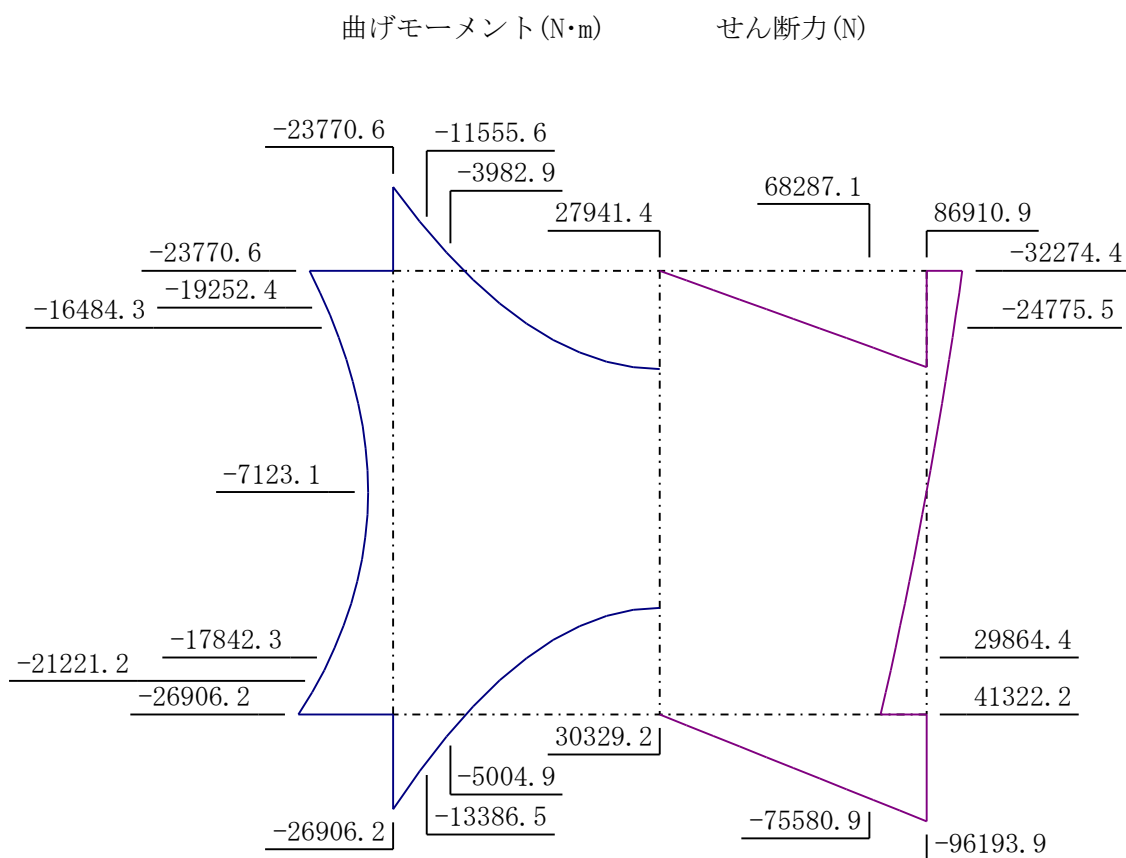
## (1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[ /単位長]			
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.090	-20234	70579	32274
	2 ハッチ始点	0.240	-10315	***	32274
	S2 τ 点	0.255	-4165	55455	32274
	1 中 央	1.190	21760	0	32274
底版	9, S9 端 部	0.090	-23370	79862	41322
	10 ハッチ始点	0.240	-12146	***	41322
	S10 τ 点	0.255	-5187	62749	41322
	11 中 央	1.190	24148	0	41322
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-20234	-32274	70579
	5 上ハッチ点	1.740	-15716	***	71282
	S5 上 τ 点	1.725	-12948	-24776	71774
	6 中 間	0.993	-3587	*****	75206
		0.993	-3587	*****	75206
	S7 下 τ 点	0.255	-14306	29864	78666
	7 下ハッチ点	0.240	-17685	***	79159
	8, S8 下 端部	0.090	-23370	41322	79862



## (2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

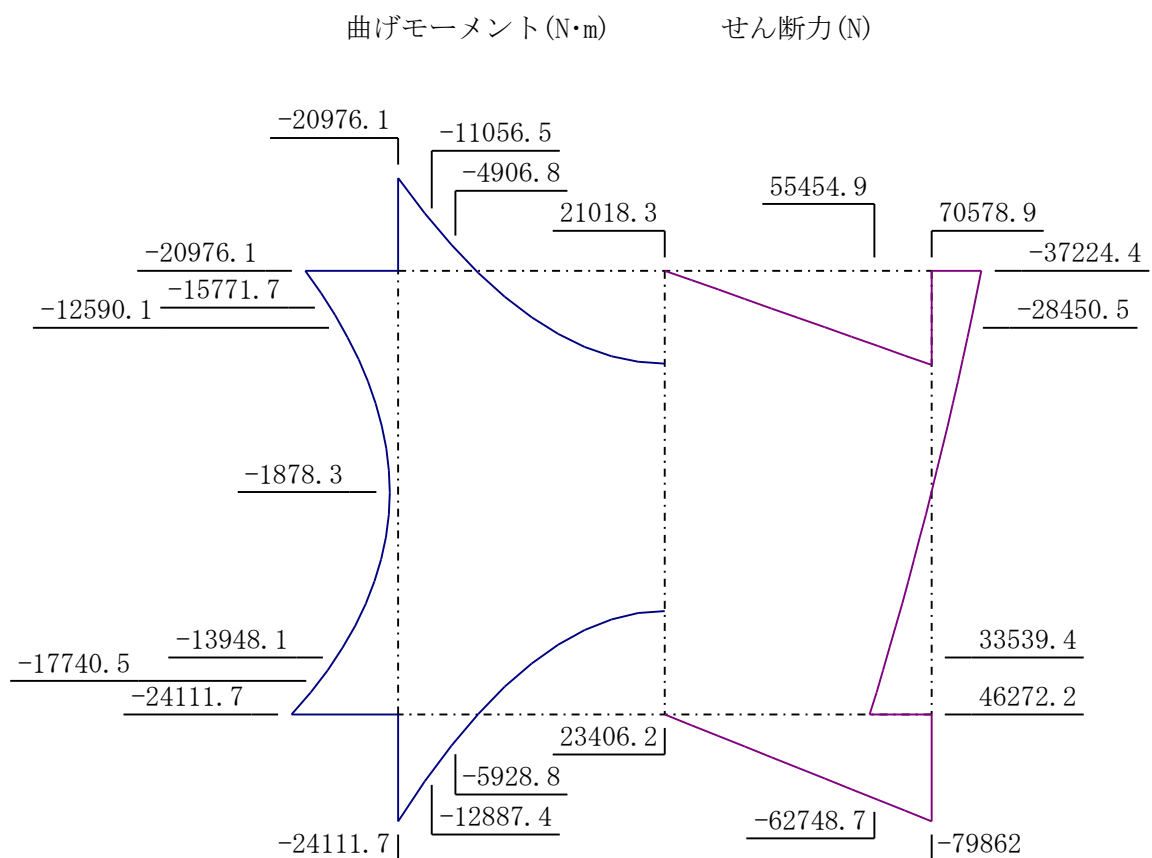
[ /単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.090	-23771	86911	32274
	2 ハチ始点	0.240	-11556	***	32274
	S2 τ 点	0.255	***	68287	***
	1 中 央	1.190	27941	0	32274
底版	9, S9 端 部	0.090	-26906	96194	41322
	10 ハチ始点	0.240	-13387	***	41322
	S10 τ 点	0.255	***	75581	***
	11 中 央	1.190	30329	0	41322
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-23771	-32274	86911
	5 上ハチ点	1.740	-19252	***	87614
	S5 上 τ点	1.725	***	-24776	***
	6 中 間	0.993	-7123	0	91538
	S7 下 τ点	0.255	***	29864	***
	7 下ハチ点	0.240	-21221	***	95491
	8, S8 下 端部	0.090	-26906	41322	96194





## (3) 設計荷重時 2 (CASE-4)

		[ /単位長]			
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.090	-20976	70579	37224
	2 ハッチ始点	0.240	-11057	***	37224
	S2 τ 点	0.255	***	55455	***
	1 中 央	1.190	21018	0	37224
底版	9, S9 端 部	0.090	-24112	79862	46272
	10 ハッチ始点	0.240	-12887	***	46272
	S10 τ 点	0.255	***	62749	***
	11 中 央	1.190	23406	0	46272
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-20976	-37224	70579
	5 上ハッチ点	1.740	-15772	***	71282
	S5 上 τ 点	1.725	***	-28451	***
	6 中 間	0.993	-1878	0	75206
	S7 下 τ 点	0.255	***	33539	*****
	7 下ハッチ点	0.240	-17741	***	79159
	8, S8 下 端部	0.090	-24112	46272	79862



## 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 有効プレストレス

#### (1) 有効係数 $\eta$

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

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

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

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

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

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

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P C鋼棒引張応力度	(kN)
	$A_p$ : 1本当りのP C鋼棒断面積	(cm <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P C鋼棒の応力度の減少量	(N/mm <sup>2</sup> )
$n$	: 弾性係数比 ( $E_p / E_c = 6.45$ )	
$E_p$	: P C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P C鋼棒位置における永久荷重によるコンクリートの圧縮応力度	(N/mm <sup>2</sup> )
$\sigma_{cpt}$	: 考えているP C鋼棒位置における緊張作業直後のプレストレス	(N/mm <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P C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> )
$e_p$	: P C鋼棒偏心量	(cm)
$I$	: 断面二次モーメント	(cm <sup>4</sup> )
$\Delta\sigma_{pr}$	: P C鋼棒のリラクセーションによる引張応力度の減少量	(N/mm <sup>2</sup> )
$\gamma$	: P C鋼棒の見掛けのリラクセーション ( = 0.03 )	

(2) 有効プレストレス  $\sigma_{ce}$ 

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

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

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

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 <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 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 <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	23.00	2300.0	101391.67	11.50	8816.67
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ 点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
中 央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

## 5.1.2 使用 P C 鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm <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	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-0.50	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	-0.50	外 側
中 央	φ 21	2.50	3.464	290000	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 <sup>2</sup> )	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	3.44	-0.40	84.01	25.12	728.06	0.870	3
ハチ始点	837.18	4.07	0.11	100.21	25.12	711.85	0.850	3
τ 点	837.18	4.07	0.04	99.26	25.12	712.81	0.851	3
中 央	837.18	4.07	-0.22	95.24	25.12	716.83	0.856	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	3.44	-0.40	84.01	25.12	728.06	0.870	3
ハチ始点	837.18	4.07	0.11	100.21	25.12	711.85	0.850	3
τ 点	837.18	4.07	0.04	99.26	25.12	712.81	0.851	3
中 央	837.18	4.07	-0.22	95.24	25.12	716.83	0.856	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	3.44	-0.40	84.01	25.12	728.06	0.870	3
ハチ始点	837.18	4.07	0.11	100.21	25.12	711.85	0.850	3
τ 点	837.18	4.07	0.04	99.26	25.12	712.81	0.851	4
中 央	837.18	4.07	-0.22	95.24	25.12	716.83	0.856	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	3.44	-0.40	84.01	25.12	728.06	0.870	3
ハチ始点	837.18	4.07	0.11	100.21	25.12	711.85	0.850	3
τ 点	837.18	4.07	0.04	99.26	25.12	712.81	0.851	4
中 央	837.18	4.07	-0.22	95.24	25.12	716.83	0.856	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	2.30	0.14	1.31	3.75	3
ハチ始点	1.91	0.18	4.00	6.09	3
中 央	4.03	0.18	2.87	7.08	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.30	0.14	4.17	2.02	3
ハチ始点	-1.91	0.18	2.85	1.12	3
中 央	-4.03	0.18	4.02	0.17	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.70	0.14	1.31	4.15	3
ハチ始点	2.14	0.18	4.00	6.31	3
中 央	5.17	0.18	2.87	8.23	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.70	0.14	4.17	1.62	3
ハチ始点	-2.14	0.18	2.85	0.89	3
中 央	-5.17	0.18	4.02	-0.97	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	-32.090	0.72	5.14	2.8	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-15.600	0.21	7.13	0.5	0.0	0.000	0.000	3
中 央	37.721	-2.72	10.10	3.8	51.9	3.245	1.909	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外 側	D 10	—	D 0	—	0	
内 側	D 13	—	D 0	—	0	

## 5.1.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm <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	6612	32.274	86.911	630.50	2.88	0.57	-0.107	3
$\tau$ 点	100.0	4050	32.274	68.287	617.29	3.61	0.57	-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	-20.234	-3.536	-35.145	-40.410	-40.410	3
ハチ始点	-10.315	-1.241	-16.511	-19.645	-19.645	3
中 央	21.760	6.181	43.741	47.500	47.500	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	3.567	13.5	19.5	0.069	0.007	103.86	2.6	3
ハチ始点	8.660	3.567	8.5	14.5	0.069	0.011	63.93	3.3	3
中 央	8.660	6.335	9.5	14.5	0.069	0.011	82.36	1.7	3
$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$ CHECK OK									



## 5.2 底版

## 5.2.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm <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	23.00	2300.0	101391.67	11.50	8816.67
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ 点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
中 央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

## 5.2.2 使用P C鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm <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	φ 23	2.50	4.155	350000	2.00	外 側
ハチ始点	φ 23	2.50	4.155	350000	-0.50	外 側
τ 点	φ 23	2.50	4.155	350000	-0.50	外 側
中 央	φ 23	2.50	4.155	350000	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 <sup>2</sup> )	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	4.15	-0.46	92.85	25.27	724.23	0.860	3
ハチ始点	842.36	4.91	0.13	111.70	25.27	705.38	0.837	3
τ 点	842.36	4.91	0.05	110.64	25.27	706.45	0.839	3
中 央	842.36	4.91	-0.25	106.15	25.27	710.94	0.844	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.15	-0.46	92.85	25.27	724.23	0.860	3
ハチ始点	842.36	4.91	0.13	111.70	25.27	705.38	0.837	3
τ 点	842.36	4.91	0.05	110.64	25.27	706.45	0.839	3
中 央	842.36	4.91	-0.25	106.15	25.27	710.94	0.844	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	4.15	-0.46	92.85	25.27	724.23	0.860	3
ハチ始点	842.36	4.91	0.12	111.70	25.27	705.39	0.837	3
τ 点	842.36	4.91	0.05	110.64	25.27	706.45	0.839	4
中 央	842.36	4.91	-0.25	106.15	25.27	710.94	0.844	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.15	-0.46	92.85	25.27	724.23	0.860	3
ハチ始点	842.36	4.91	0.12	111.70	25.27	705.39	0.837	3
τ 点	842.36	4.91	0.05	110.64	25.27	706.45	0.839	4
中 央	842.36	4.91	-0.25	106.15	25.27	710.94	0.844	3

## 5.2.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 $\sigma_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	N/A <sub>c</sub> (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	2.65	0.18	1.56	4.39	3
ハチ始点	2.25	0.23	4.75	7.23	3
中 央	4.47	0.23	3.42	8.12	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.65	0.18	4.98	2.51	3
ハチ始点	-2.25	0.23	3.39	1.37	3
中 央	-4.47	0.23	4.79	0.54	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	3.05	0.18	1.56	4.80	3
ハチ始点	2.48	0.23	4.75	7.46	3
中 央	5.62	0.23	3.42	9.27	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-3.05	0.18	4.98	2.11	3
ハチ始点	-2.48	0.23	3.39	1.14	3
中 央	-5.62	0.23	4.79	-0.60	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)	T <sub>c</sub> (kN)	引張鉄筋量		ケース
		外側 (N/mm <sup>2</sup> )	内側 (N/mm <sup>2</sup> )			A <sub>s1</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	A <sub>s2</sub>	
端 部	-36.323	1.10	5.93	3.6	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-18.072	0.36	8.41	0.7	0.0	0.000	0.000	3
中 央	40.944	-2.49	11.31	3.2	40.3	2.519	1.622	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外 側	D 10	— 10	D 0	— 0	3.567 cm <sup>2</sup> /m	> A <sub>s1</sub> or A <sub>s2</sub>
内 側	D 16	— 5	D 13	— 5	8.133 cm <sup>2</sup> /m	> A <sub>s1</sub> or A <sub>s2</sub>

## 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)	P <sub>e</sub> (kN)	σ <sub>c</sub> '	τ (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>i</sub>	ケース
端 部	100.0	6612	41.322	96.194	752.30	3.45	0.63	-0.111	3
τ 点	100.0	4050	41.322	75.581	733.83	4.31	0.63	-0.090	3
σ <sub>i</sub> > -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)	M <sub>d</sub> (kN・m)	ケース
端 部	-23.370	-3.536	-39.222	-45.741	-45.741	3
ハッチ始点	-12.146	-1.241	-18.892	-22.757	-22.757	3
中 央	24.148	6.181	46.845	51.560	51.560	3

位 置	A <sub>p</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	d <sub>p</sub> (cm)	d <sub>s</sub> (cm)	P <sub>pb</sub>	P <sub>pd</sub>	M <sub>u</sub> (kN・m)	S <sub>f</sub>	ケース
端 部	10.387	3.567	13.5	19.5	0.069	0.008	118.11	2.6	3
ハッチ始点	10.387	3.567	8.5	14.5	0.069	0.013	71.26	3.1	3
中 央	10.387	8.133	9.5	14.5	0.069	0.013	98.42	1.9	3
P <sub>pb</sub> > P <sub>pd</sub> S <sub>f</sub> > 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	-23.771	86.911	27.35	8.00	30.723	3
	上ハチ点	-19.252	87.614	21.97	5.50	24.071	3
側壁	中 間	-8.067	74.728	10.80	5.50	12.177	1
	下ハチ点	-21.221	95.491	22.22	5.50	26.473	3
	下端部	-26.906	96.194	27.97	8.00	34.602	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( $\sigma_{sa}$ )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 <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	30.723	9.77	13.27	23.00	5.659
	上ハチ点	24.071	8.64	12.14	18.00	6.442
側壁	中 間	12.177	6.15	9.65	18.00	1.144
	下ハチ点	26.473	9.07	12.57	18.00	7.215
	下端部	34.602	10.36	13.86	23.00	6.560
$d + d' < T$					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 (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> )		
					$\sigma_c$	$\sigma_s$	$\sigma_{s'}$
頂版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	8.133	7.507	4.82	115.4	0.0
	上ハチ点	100.00	8.133	6.118	6.32	129.8	0.0
	中間	100.00	8.133	7.792	2.63	33.9	0.0
	下ハチ点	100.00	8.133	6.102	6.96	143.7	0.0
	下端部	100.00	8.133	7.464	5.45	131.8	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	55.086	30.378	68.287	55.455				
	M			-3.983					
	N			32.274					
	最大			○					
底版 τ点	S	62.380	37.672	75.581	62.749				
	M			-5.005					
	N			41.322					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-14.919	-18.594	-24.776	-28.451				
	M				-12.590				
	N				71.774				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	20.008	23.683	29.864	33.539				
	M				-13.948				
	N				78.666				
	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 $\tau_a$ 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(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	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-5	3.567	0.246	0.946
底版 $\tau$ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-5	3.567	0.246	0.946
側壁上 $\tau$ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.561	1.237
側壁下 $\tau$ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.561	1.237

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	-3.983	617.3	32.274	0.180	0.00540	-0.01	19.487	2.000
底版 $\tau$ 点	-5.005	733.8	41.322	0.180	0.00540	-0.01	23.254	2.000
側壁上 $\tau$ 点	-12.590	0.0	71.774	0.180	0.00540	0.00	2.153	1.171
側壁下 $\tau$ 点	-13.948	0.0	78.666	0.180	0.00540	0.00	2.360	1.169

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	0.946	2.000	0.715
底版 $\tau$ 点	0.270	1.400	0.946	2.000	0.715
側壁上 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.237	1.171	0.548
側壁下 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.237	1.169	0.547

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	68.287	14.5	0.471	0.715
底版 $\tau$ 点	75.581	14.5	0.521	0.715
側壁上 $\tau$ 点	28.450	14.5	0.196	0.548
側壁下 $\tau$ 点	33.539	14.5	0.231	0.547

$\tau < \tau_a$  CHECK OK

以 上