

受付 No.

台帳 No. PM404000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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

パワーボックスカルバート

設 計 計 算 書

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

○内空寸法： 内 幅 (B) 2500 mm
内 高 (H) 1500 mm
長 さ (L) 1500 mm

○設計条件： 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1 = 0.200 m
H2 = 1.500 m

千 葉 窯 業 株 式 会 社

1 設 計 条 件

1.1 一般条件

構造形式	: 一径間ボックスラーメン
内空寸法	: (B) 2500 × (H) 1500 × (L) 1500 [mm]
土被り	: H1 = 0.200 ~ H2 = 1.500 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t _b = 0.000 [m]

1.2 単位容積重量

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

1.3 土圧係数 (水 平)

: $K_a = 0.500$

(鉛 直)

: $\alpha = 1.000$

1.4 活荷重 (上 載)

: T' 荷重 横断通行

(輪接地幅 a = 0.20m b = 0.50m)

(側 載)

: $Q = 10.0$ [kN/m²]

1.5 衝撃係数

: i = 0.300

1.6 鉄筋かぶり

	頂 版	底 版	側 壁
: (内側)	35 mm	35 mm	35 mm
: (外側)	35 mm	35 mm	35 mm

1.7 断面力低減係数 (土被り H1)

: $\beta = 0.9$

(土被り H2)

: $\beta = 0.9$

1.8 許容応力度

1.8.1 鉄筋

引張応力度	: $\sigma_{sa} = 160$ [N/mm ²]
降伏点応力度	: $\sigma_{sy} = 295$ [N/mm ²]
弾性係数	: $E_s = 2.0 \times 10^5$ [N/mm ²]

1.8.2 コンクリート

- (1) 設計基準強度 : $\sigma_{ck} = 40.0 \text{ N/mm}^2$
- (2) プレストレストコンクリート部材
- P S 導入時強度 : $\sigma_{ck}' = 35.0 \text{ N/mm}^2$
- P S 導入直後
- 許容曲げ圧縮応力度 : $\sigma_{cat} = 19.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容曲げ引張応力度 : $\sigma_{tat} = -1.5 \text{ N/mm}^2$
- 設計荷重作用時
- 許容曲げ圧縮応力度 : $\sigma_{ca} = 15.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容曲げ引張応力度 : $\sigma_{ta} = -1.5 \text{ N/mm}^2$
- (死荷重作用時)
- 許容曲げ引張応力度 : $\sigma_{ta}' = 0.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容せん断応力度 : $\tau_a = 0.270 \text{ N/mm}^2$
- 許容斜引張応力度 : $\sigma_{ia} = -1.0 \text{ N/mm}^2$
- (3) 鉄筋コンクリート部材
- 許容曲げ圧縮応力度 : $\sigma_{ca} = 14.0 \text{ N/mm}^2$
- 許容せん断応力度 : $\tau_a = 0.270 \text{ N/mm}^2$
- (4) 弾性係数 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

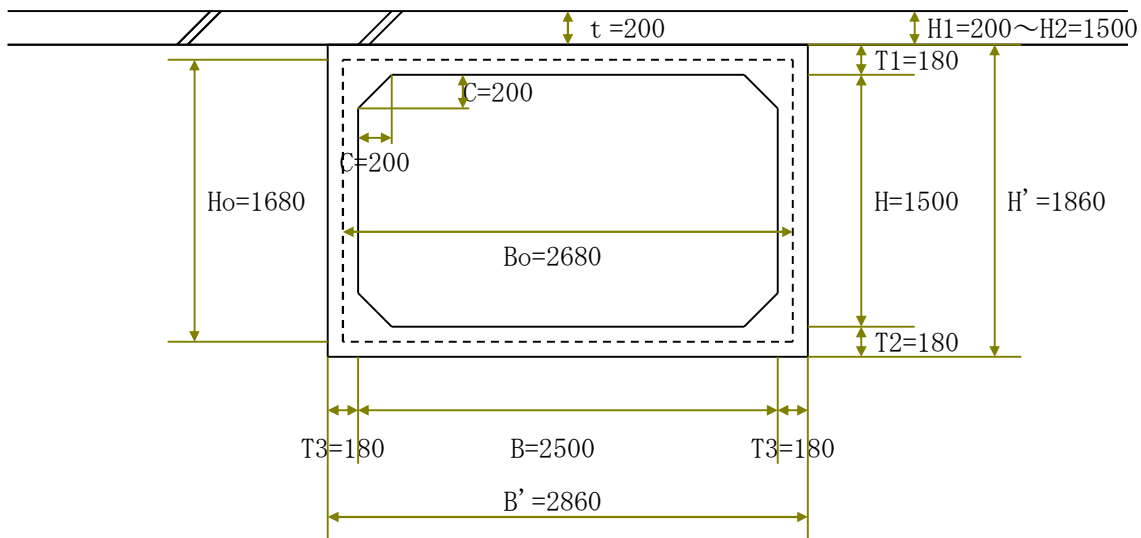
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (1) 許容引張応力度
- 引 張 強 度 : $\sigma_{pu} = 1230 \text{ N/mm}^2$
- 降 伏 点 強 度 : $\sigma_{py} = 1080 \text{ N/mm}^2$
- プレストレッシング中 : $\sigma_{pia} = 972 \text{ N/mm}^2$
- プレストレッシング直後 : $\sigma_{pca} = 861 \text{ N/mm}^2$
- 設計荷重作用時 : $\sigma_{pea} = 738 \text{ N/mm}^2$
- (2) 弾性係数 : $E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

(3) 使用 P C 鋼棒

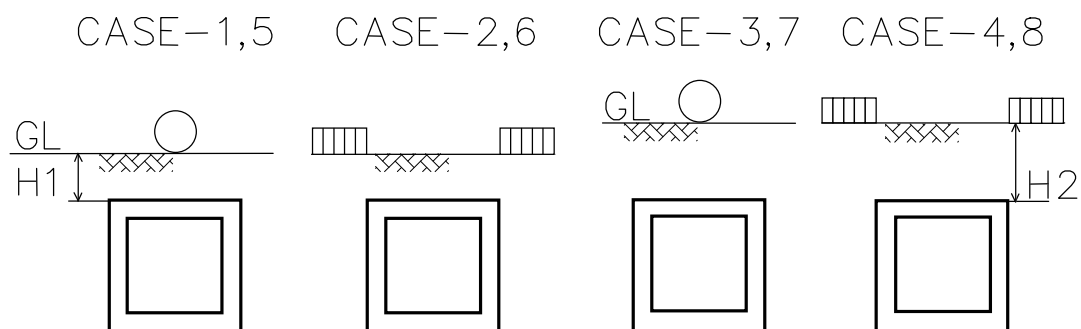
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 19$	*****	(mm)
断面積	346.40	283.50	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	240000	*****	(N)

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。

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

3.1.2 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	0.6269	0.6269	0.6269
β	0.6269	0.6269	0.6269
N1	2.6269	2.6269	2.6269
N2	2.6269	2.6269	2.6269
CAD (kN・m/m)	9.080	28.084	9.080
CBC (kN・m/m)	5.333	33.362	5.333
CAB (kN・m/m)	2.853	2.853	4.029
CBA (kN・m/m)	2.142	2.142	3.318
θ_A	-3.313	-16.524	-2.590
θ_B	2.476	18.175	1.753
MAB (kN・m/m)	-7.003	-17.726	-7.456
MAD (kN・m/m)	7.003	17.726	7.456
MBA (kN・m/m)	3.781	21.969	4.234
MBC (kN・m/m)	-3.781	-21.969	-4.234

3.1.3 各部材の断面力

(1) 頂 版

1) せん断力

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

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC}$$

(2) 底 版

1) せん断力

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

2) 曲げモーメント

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

(3) 側 壁

1) せん断力

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

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

2) 曲げモーメント

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

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

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

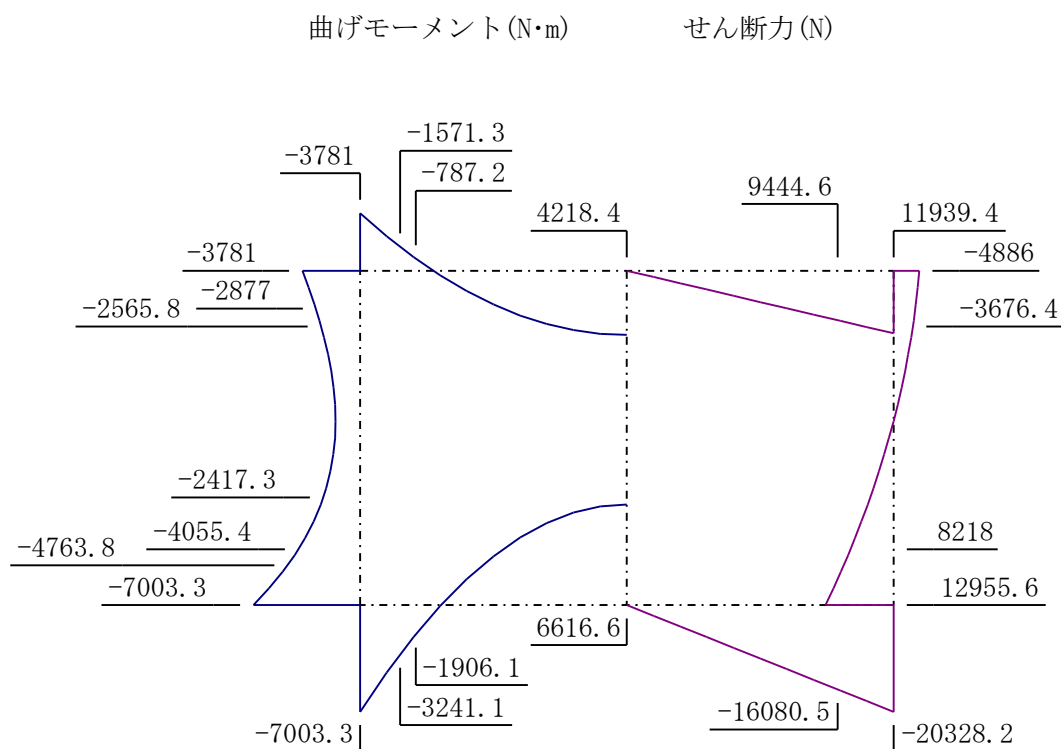
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	11.939	54.485	11.939
SCB	(kN/m)	-11.939	-54.485	-11.939
Mmax	(kN・m/m)	4.218	36.660	3.765
SAD	(kN/m)	20.328	62.874	20.328
SDA	(kN/m)	-20.328	-62.874	-20.328
Mmax	(kN・m/m)	6.617	24.400	6.163
SAB	(kN/m)	12.956	8.512	17.156
SBA	(kN/m)	-4.886	-9.330	-9.086
x	(m)	0.541	0.541	*****
		0.896	*****	0.896
Mmax	(kN・m/m)	-2.417	-15.544	*****
Mmax	(kN・m/m)	-1.614	*****	-0.311

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。

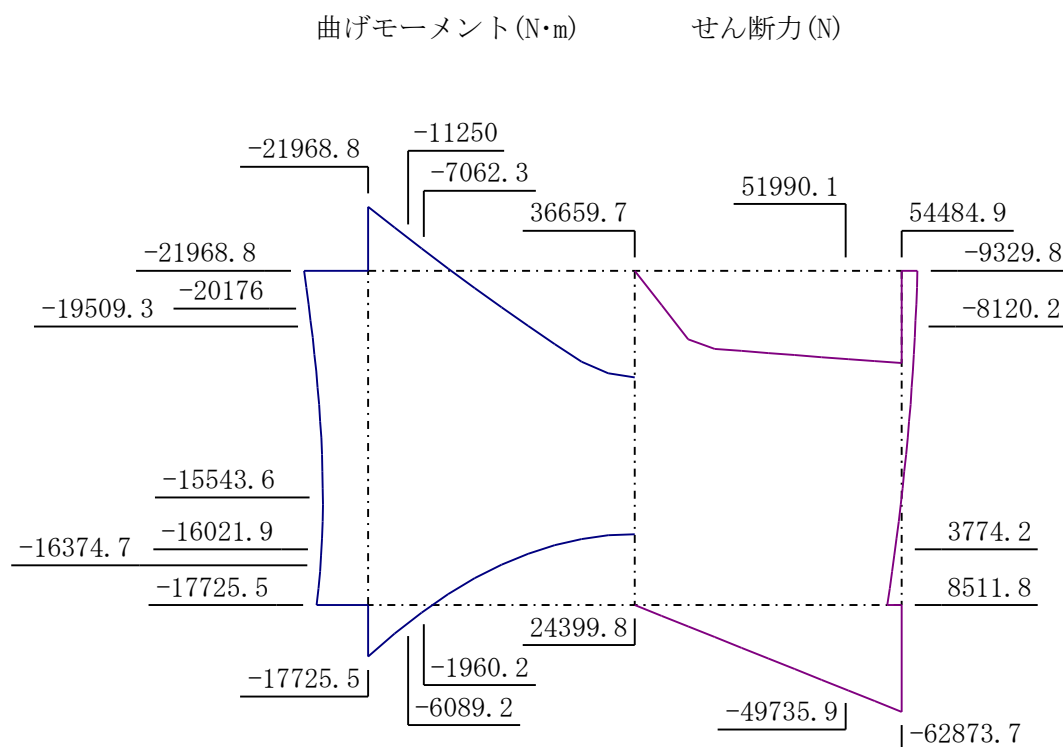
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	-3781	11939	4886
	2 ハッチ始点	0.290	-1571	***	4886
	S2 τ 点	0.280	-787	9445	4886
	1 中 央	1.340	4218	0	4886
底版	9, S9 端 部	0.090	-7003	20328	12956
	10 ハッチ始点	0.290	-3241	***	12956
	S10 τ 点	0.280	-1906	16081	12956
	11 中 央	1.340	6617	0	12956
側壁	4, S4 上 端部	1.590	-3781	-4886	11939
	5 上ハッチ点	1.390	-2877	***	12938
	S5 上 τ 点	1.400	-2566	-3676	13338
	6 中 間	0.541	-2417	*****	17627
		0.896	-1614	*****	15854
	S7 下 τ 点	0.280	-4055	8218	18930
	7 下ハッチ点	0.290	-4764	***	19330
	8, S8 下 端部	0.090	-7003	12956	20328



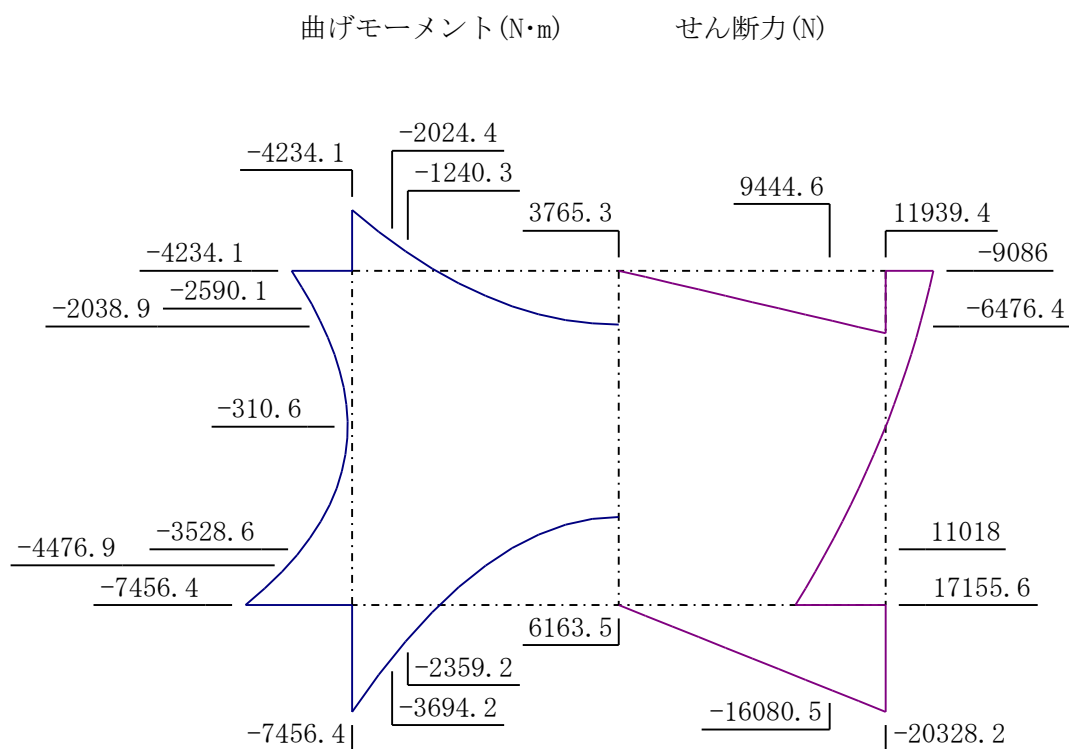
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

					[/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	-21969	54485	9330	
	2 ハチ始点	0.290	-11250	***	9330	
	S2 τ 点	0.280	-7062	51990	9330	
	1 中 央	1.340	36660	0	9330	
底版	9, S9 端 部	0.090	-17726	62874	8512	
	10 ハチ始点	0.290	-6089	***	8512	
	S10 τ 点	0.280	-1960	49736	8512	
	11 中 央	1.340	24400	0	8512	
側壁	4, S4 上 端部	1.590	-21969	-9330	54485	
	5 上ハチ点	1.390	-20176	***	55484	
	S5 上 τ 点	1.400	-19509	-8120	55883	
	6 中 間	0.541	-15544	0	60172	
	S7 下 τ 点	0.280	-16022	3774	61476	
	7 下ハチ点	0.290	-16375	***	61875	
	8, S8 下 端部	0.090	-17726	8512	62874	



(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	-4234	11939	9086
	2 ハチ始点	0.290	-2024	***	9086
	S2 τ 点	0.280	-1240	9445	9086
	1 中 央	1.340	3765	0	9086
底版	9, S9 端 部	0.090	-7456	20328	17156
	10 ハチ始点	0.290	-3694	***	17156
	S10 τ 点	0.280	-2359	16081	17156
	11 中 央	1.340	6164	0	17156
側壁	4, S4 上 端部	1.590	-4234	-9086	11939
	5 上ハチ点	1.390	-2590	***	12938
	S5 上 τ 点	1.400	-2039	-6476	13338
	6 中 間	0.896	-311	0	15854
	S7 下 τ 点	0.280	-3529	11018	18930
	7 下ハチ点	0.290	-4477	***	19330
	8, S8 下 端部	0.090	-7456	17156	20328



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



設計荷重値

死荷重時

設計荷重時 1

設計荷重時 2

(kN/m²)CASE-3
(kN/m²)CASE-4
(kN/m²)

P_{vd1}	4.410	4.410	4.410
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	14.760	14.760	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	19.760
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	29.880	29.880	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	34.880
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	65.161	*****
$q_{v'}$	38.570	*****	38.570

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1}=0$ とした場合の底版反力。

3.2.2 構造解析

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
α	0.6269	0.6269	0.6269
β	0.6269	0.6269	0.6269
N_1	2.6269	2.6269	2.6269
N_2	2.6269	2.6269	2.6269
CAD (kN・m/m)	23.086	39.001	23.086
CBC (kN・m/m)	19.339	35.254	19.339
CAB (kN・m/m)	5.605	5.605	6.781
CBA (kN・m/m)	4.894	4.894	6.070
θ_A	-10.230	-20.013	-9.507
θ_B	9.393	19.176	8.670
MAB (kN・m/m)	-16.673	-26.456	-17.126
MAD (kN・m/m)	16.673	26.456	17.126
MBA (kN・m/m)	13.450	23.233	13.903
MBC (kN・m/m)	-13.450	-23.233	-13.903

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。

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

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

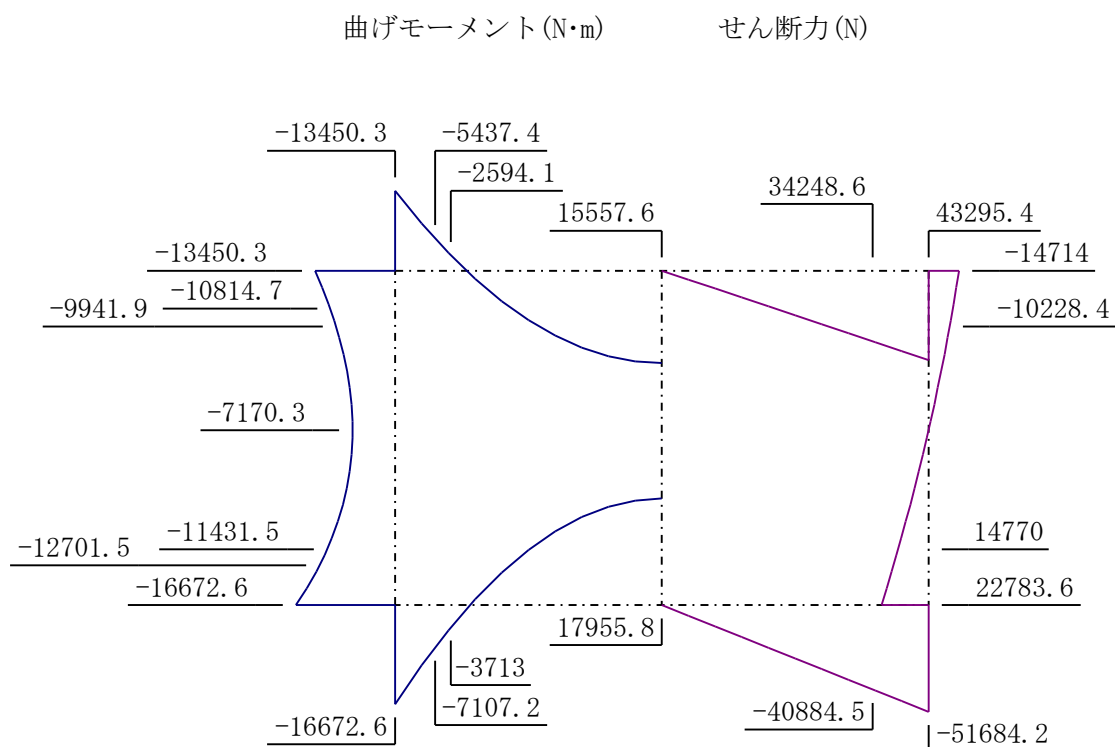
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	43.295	78.927	43.295
SCB (kN/m)	-43.295	-78.927	-43.295
Mmax (kN・m/m)	15.558	29.648	15.104
SAD (kN/m)	51.684	87.316	51.684
SDA (kN/m)	-51.684	-87.316	-51.684
Mmax (kN・m/m)	17.956	32.046	17.503
SAB (kN/m)	22.784	22.784	26.984
SBA (kN/m)	-14.714	-14.714	-18.914
x (m)	0.879	0.879	*****
	0.872	*****	0.872
Mmax (kN・m/m)	-7.170	-16.953	*****
Mmax (kN・m/m)	-7.171	*****	-5.862

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。

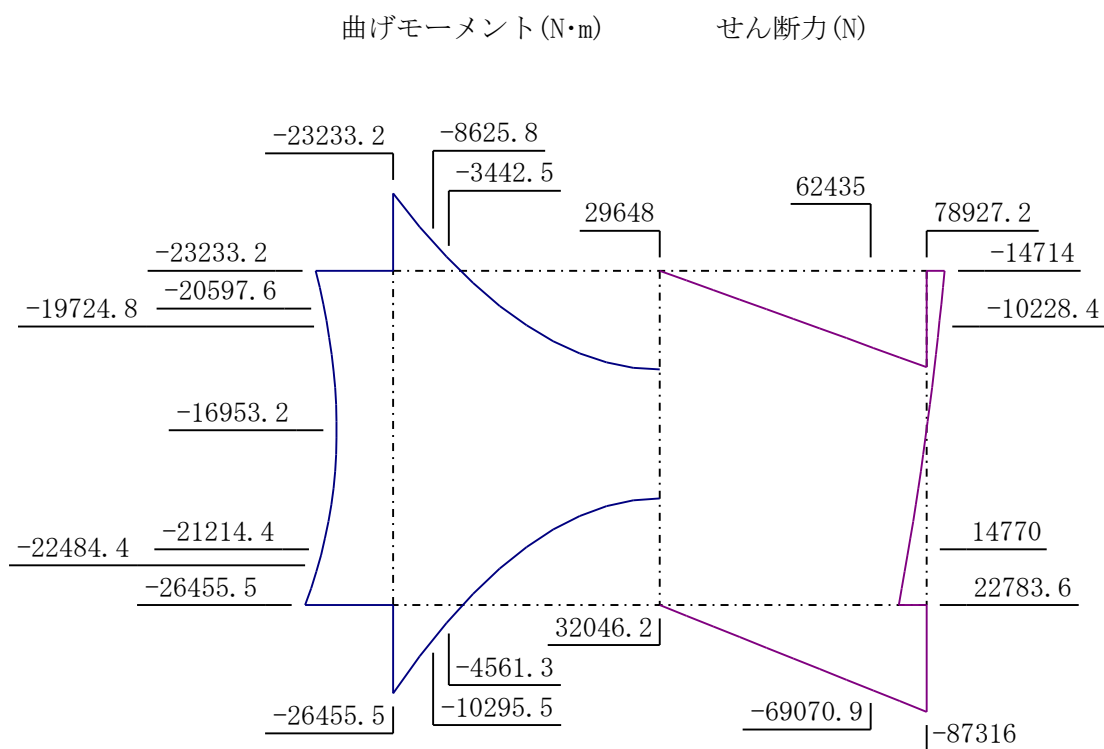
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	-13450	43295	14714
	2 ハチ始点	0.290	-5437	***	14714
	S2 τ 点	0.280	-2594	34249	14714
	1 中 央	1.340	15558	0	14714
底版	9, S9 端 部	0.090	-16673	51684	22784
	10 ハチ始点	0.290	-7107	***	22784
	S10 τ 点	0.280	-3713	40885	22784
	11 中 央	1.340	17956	0	22784
側壁	4, S4 上 端部	1.590	-13450	-14714	43295
	5 上ハチ点	1.390	-10815	***	44294
	S5 上 τ 点	1.400	-9942	-10228	44694
	6 中 間	0.879	-7170	*****	47295
		0.872	-7171	*****	47330
	S7 下 τ 点	0.280	-11432	14770	50286
	7 下ハチ点	0.290	-12702	***	50686
	8, S8 下 端部	0.090	-16673	22784	51684



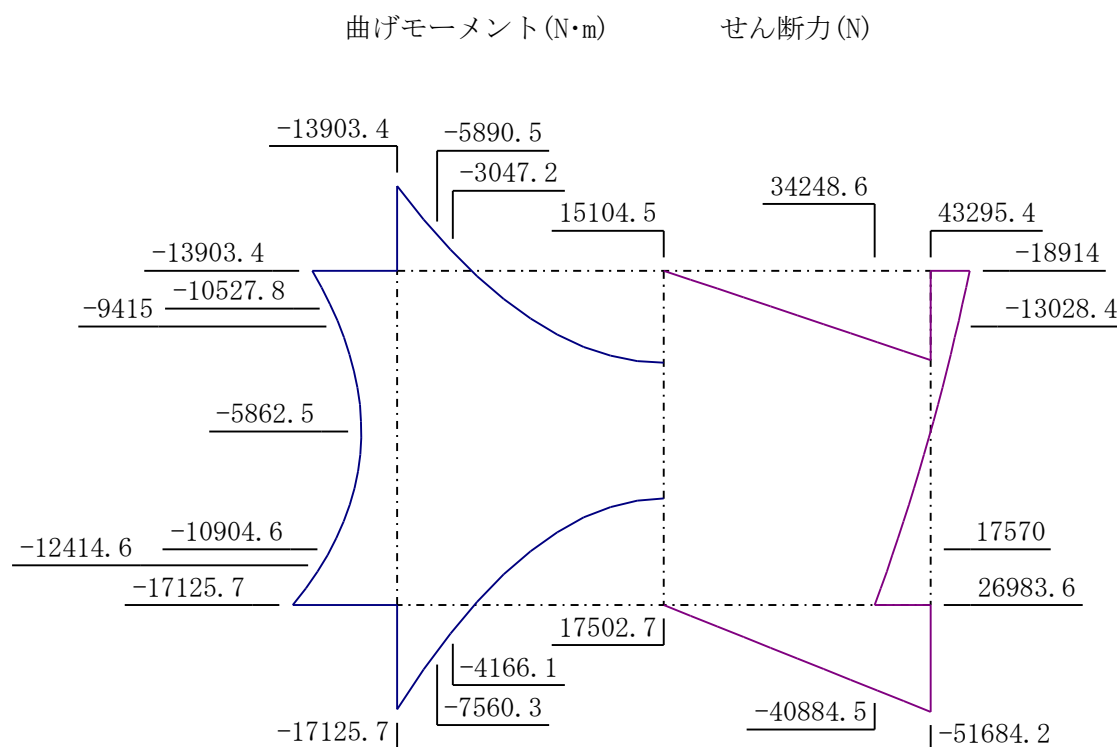
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/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	-23233	78927	14714
	2 ハチ始点	0.290	-8626	***	14714
	S2 τ 点	0.280	***	62435	***
	1 中 央	1.340	29648	0	14714
底版	9, S9 端 部	0.090	-26456	87316	22784
	10 ハチ始点	0.290	-10296	***	22784
	S10 τ 点	0.280	***	69071	***
	11 中 央	1.340	32046	0	22784
側壁	4, S4 上 端部	1.590	-23233	-14714	78927
	5 上ハチ点	1.390	-20598	***	79926
	S5 上 τ点	1.400	***	-10228	***
	6 中 間	0.879	-16953	0	82927
	S7 下 τ点	0.280	***	14770	***
	7 下ハチ点	0.290	-22484	***	86317
	8, S8 下 端部	0.090	-26456	22784	87316



(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	-13903	43295	18914
	2 ハッチ始点	0.290	-5891	***	18914
	S2 τ 点	0.280	***	34249	***
	1 中 央	1.340	15105	0	18914
底版	9, S9 端 部	0.090	-17126	51684	26984
	10 ハッチ始点	0.290	-7560	***	26984
	S10 τ 点	0.280	***	40885	***
	11 中 央	1.340	17503	0	26984
側壁	4, S4 上 端部	1.590	-13903	-18914	43295
	5 上ハッチ点	1.390	-10528	***	44294
	S5 上 τ 点	1.400	***	-13028	***
	6 中 間	0.872	-5863	0	47330
	S7 下 τ 点	0.280	***	17570	*****
	7 下ハッチ点	0.290	-12415	***	50686
	8, S8 下 端部	0.090	-17126	26984	51684



4 プレストレスの計算

4.1 荷重による曲げ応力度

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

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

4.2 有効プレストレス

(1) 有効係数 η

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

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

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

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

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

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

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

(2) 有効プレストレス σ_{ce}

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

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

4.3 合成応力度

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

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

4.4 引張鉄筋量の計算

(1) 曲げモーメント

引張鉄筋は次の荷重作用に対して、引張応力の作用する区間に配置する。

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

(2) 配置鉄筋量

配置鉄筋量は次の 1)、2) のうちいずれか大きい値以上とする。

1) の値

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

2) の値

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

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

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

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

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

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

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

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

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

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

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

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

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

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

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

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

ここに、	Mu	: 破壊抵抗曲げモーメント	(kN・m)
	Ap	: P C鋼棒断面積	(cm ²)
	As	: 鉄筋の断面積	(cm ²)
	σ pud	: P C鋼棒引張強度	(N/mm ²)
	σ syd	: 引張鉄筋の降伏点応力度	(N/mm ²)
	σ ck	: コンクリートの設計基準強度	(N/mm ²)
	d p	: 圧縮縁からP C鋼棒図心迄の距離	(cm)
	d s	: 圧縮縁から鉄筋図心迄の距離	(cm)
	b	: 部材幅	(cm)
	S f	: 曲げ破壊安全度	

終局つり合い鋼材比が配置される引張鋼材比より大であることを確認する。

$$\begin{aligned}
 P_{pb} &= 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sp}) \\
 &\quad \times \sigma_{ck} / (0.93 \times \sigma_{pud}) + \\
 &\quad 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s) \\
 &\quad \times \sigma_{ck} / \sigma_{syd} \\
 P_{pd} &= A_p / (b \times d_p) + A_s / (b \times d_s) \\
 &\quad \times \sigma_{syd} / (0.93 \times \sigma_{pud}) \times d_s / d_p < P_{pb}
 \end{aligned}$$

ここに、	Ppb	: 終局つり合い鋼材比	
	Ppd	: 引張鋼材比	
	ε cu	: コンクリートの終局ひずみ	(0.0035)
	ε sp	: P C鋼棒の終局ひずみ	(0.015)
	σ pud	: P C鋼棒の引張強さ	(N/mm ²)
	ε s	: 引張鉄筋の降伏ひずみ	(σ syd / E s)

5 P C 部材の検討

5.1 頂版

5.1.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端 部	100.00	24.67	2466.7	125069.14	12.33	10140.74
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ 点	100.00	18.33	1833.3	51070.73	9.17	5571.35
中 央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

5.1.2 使用 P C 鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端 部	φ 21	3.33	3.464	290000	2.33	外 側
ハチ始点	φ 21	3.33	3.464	290000	-1.00	外 側
τ 点	φ 21	3.33	3.464	290000	-1.00	外 側
中 央	φ 21	3.33	3.464	290000	1.00	内 側

5.1.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm ²)	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	4.34	-0.25	98.53	25.12	713.53	0.852	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.11	120.04	25.12	692.03	0.827	3
τ 点	837.18	5.46	0.05	117.76	25.12	694.31	0.829	3
中 央	837.18	5.57	-0.32	113.69	25.12	698.38	0.834	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.34	-0.25	98.53	25.12	713.53	0.852	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.11	120.04	25.12	692.03	0.827	3
τ 点	837.18	5.46	0.05	117.76	25.12	694.31	0.829	3
中 央	837.18	5.57	-0.32	113.69	25.12	698.38	0.834	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	4.34	-0.25	98.53	25.12	713.53	0.852	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.03	118.87	25.12	693.20	0.828	1
τ 点	837.18	5.46	0.02	117.24	25.12	694.83	0.830	1
中 央	837.18	5.57	-0.09	117.12	25.12	694.95	0.830	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.34	-0.25	98.53	25.12	713.53	0.852	3
ハチ始点	837.18	5.57	0.03	118.87	25.12	693.20	0.828	1
τ 点	837.18	5.46	0.02	117.24	25.12	694.83	0.830	1
中 央	837.18	5.57	-0.09	117.12	25.12	694.95	0.830	1

5.1.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 σ_m (N/mm ²)	N/Ac (N/mm ²)	有効プレストレス σ_{ce} (N/mm ²)	合成応力度 σ_c (N/mm ²)	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.33	0.06	1.44	2.83	3
ハチ始点	1.01	0.08	5.92	7.01	3
中 央	2.88	0.08	2.99	5.95	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.33	0.06	5.24	3.97	3
ハチ始点	-1.01	0.08	2.96	2.03	3
中 央	-2.88	0.08	5.97	3.17	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.29	0.06	1.44	3.80	3
ハチ始点	2.08	0.05	5.93	8.06	1
中 央	6.79	0.05	2.97	9.81	1
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.29	0.06	5.24	3.00	3
ハチ始点	-2.08	0.05	2.96	0.93	1
中 央	-6.79	0.05	5.94	-0.79	1
$\sigma_t > -1.5$				CHECK OK	

5.1.5 引張鉄筋量

位 置	曲げモーメント (kN・m/m)	合成応力度		x (cm)	Tc (kN)	引張鉄筋量		ケース
		外側 (N/mm ²)	内側 (N/mm ²)			As1 (cm ² /m)	As2 (cm ² /m)	
端 部	-31.365	2.22	4.62	8.0	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-15.188	0.22	8.81	0.4	0.0	0.000	0.000	1
中 央	49.491	-3.15	12.21	3.7	58.2	3.636	1.847	1

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外 側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 cm ² /m	> As1 or As2

5.1.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端 部	100.0	7606	14.714	78.927	823.89	3.40	0.48	-0.066	3
τ 点	100.0	4201	14.714	62.435	801.70	4.45	0.51	-0.058	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	-3.781	-18.188	-50.385	-37.347	-50.385	1
ハッチ始点	-1.571	-9.679	-26.239	-19.125	-26.239	1
中 央	4.218	32.441	86.587	62.321	86.587	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	14.7	21.2	0.069	0.009	169.47	3.4	1
ハッチ始点	11.547	8.447	8.0	14.5	0.069	0.017	91.22	3.5	1
中 央	11.547	8.447	10.0	14.5	0.069	0.014	109.72	1.3	1
$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$								CHECK OK	

5.2 底版

5.2.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端 部	100.00	24.67	2466.7	125069.14	12.33	10140.74
ハチ始点	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00
τ 点	100.00	18.33	1833.3	51070.73	9.17	5571.35
中 央	100.00	18.00	1800.0	48600.00	9.00	5400.00

5.2.2 使用P C鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端 部	φ 19	3.33	2.835	240000	2.33	外 側
ハチ始点	φ 19	3.33	2.835	240000	-1.00	外 側
τ 点	φ 19	3.33	2.835	240000	-1.00	外 側
中 央	φ 19	3.33	2.835	240000	1.00	内 側

5.2.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm ²)	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	846.56	3.59	-0.31	87.52	25.40	733.64	0.867	3
ハチ始点	846.56	4.61	0.15	108.15	25.40	713.01	0.842	3
τ 点	846.56	4.52	0.07	105.87	25.40	715.30	0.845	3
中 央	846.56	4.61	-0.37	100.44	25.40	720.72	0.851	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	3.59	-0.31	87.52	25.40	733.64	0.867	3
ハチ始点	846.56	4.61	0.15	108.15	25.40	713.01	0.842	3
τ 点	846.56	4.52	0.07	105.87	25.40	715.30	0.845	3
中 央	846.56	4.61	-0.37	100.44	25.40	720.72	0.851	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	846.56	3.59	-0.31	87.52	25.40	733.64	0.867	3
ハチ始点	846.56	4.61	0.15	108.15	25.40	713.01	0.842	3
τ 点	846.56	4.52	0.07	105.87	25.40	715.29	0.845	3
中 央	846.56	4.61	-0.37	100.44	25.40	720.72	0.851	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	3.59	-0.31	87.52	25.40	733.64	0.867	3
ハチ始点	846.56	4.61	0.15	108.15	25.40	713.01	0.842	3
τ 点	846.56	4.52	0.07	105.87	25.40	715.29	0.845	3
中 央	846.56	4.61	-0.37	100.44	25.40	720.72	0.851	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	1.64	0.09	1.22	2.95	3
ハチ始点	1.32	0.13	4.99	6.43	3
中 央	3.33	0.13	2.52	5.97	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.64	0.09	4.41	2.85	3
ハチ始点	-1.32	0.13	2.50	1.31	3
中 央	-3.33	0.13	5.05	1.85	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.61	0.09	1.22	3.92	3
ハチ始点	1.91	0.13	4.99	7.02	3
中 央	5.93	0.13	2.52	8.58	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.61	0.09	4.41	1.89	3
ハチ始点	-1.91	0.13	2.50	0.72	3
中 央	-5.93	0.13	5.05	-0.76	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	-35.715	1.01	4.86	4.2	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-13.899	0.09	7.74	0.2	0.0	0.000	0.000	3
中 央	43.262	-2.80	10.70	3.7	52.1	3.256	1.864	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外 側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 10	D 0	— 0	8.447 cm ² /m	> As1 or As2

5.2.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$ (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端 部	100.0	7606	22.784	87.316	693.30	2.90	0.53	-0.094	3
τ 点	100.0	4201	22.784	69.071	675.95	3.81	0.57	-0.083	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	-16.673	-9.783	-46.132	-44.974	-46.132	3
ハッチ始点	-7.107	-3.188	-17.210	-17.502	-17.502	3
中 央	17.956	14.090	58.569	54.479	58.569	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	9.450	8.447	14.7	21.2	0.069	0.008	150.78	3.3	3
ハッチ始点	9.450	8.447	8.0	14.5	0.069	0.015	83.72	4.8	3
中 央	9.450	8.447	10.0	14.5	0.069	0.012	98.86	1.7	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	-21.969	54.485	40.32	8.83	26.782	1
	上ハチ点	-20.176	55.483	36.36	5.50	23.228	1
側壁	中 間	-15.544	60.172	25.83	5.50	18.853	1
	下ハチ点	-22.484	86.317	26.05	5.50	27.232	3
	下端部	-26.456	87.316	30.30	8.83	34.169	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

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

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(σ_{sa})に達する場合の必要鉄筋量(A_s)

$$\begin{aligned}
 A_s &= [\sigma_c / 2 \times s - N / (b \times da)] / \sigma_{sa} \times b \times da \\
 \therefore \sigma_c^3 + [3 \times \sigma_{sa} / (2 \times n) - 3 \times N \times (e + c) / (b \times da^2)] \times \sigma_c^2 \\
 &\quad - 6 \times N \times (e + c) / (n \times b \times da^2) \times \sigma_{sa} \times \sigma_c \\
 &\quad - 3 \times N \times (e + c) / (n^2 \times b \times da^2) \times \sigma_{sa}^2 = 0 \\
 &\text{上式を解いて } \sigma_c \text{ を求める。また } da = T - d' \text{ とする。} \\
 \therefore s &= n \times \sigma_c / (n \times \sigma_c + \sigma_{sa})
 \end{aligned}$$

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 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	26.782	9.12	12.62	24.67	5.368
	上ハチ点	23.228	8.49	11.99	18.00	8.009
側壁	中 間	18.853	7.65	11.15	18.00	5.444
	下ハチ点	27.232	9.19	12.69	18.00	8.190
	下端部	34.169	10.30	13.80	24.67	5.872
				$d + d' < T$	CHECK OK	

8 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

8.1 コンクリート及び鉄筋

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

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

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

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

 e : 偏心位置 (M / N) (cm)

配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 10
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0

部材	点	部材幅 b (cm)	使用鉄筋量 A _s (cm ² /m)	x (cm)	実応力度 (N/mm ²)		
					σ_c	σ_s	$\sigma_{s'}$
頂版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	8.447	7.479	3.84	105.3	0.0
	上ハチ点	100.00	8.447	5.662	6.51	152.3	0.0
	中間	100.00	8.447	5.990	5.03	107.3	0.0
	下ハチ点	100.00	8.447	5.981	7.28	155.6	0.0
	下端部	100.00	8.447	7.967	4.63	115.2	0.0

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

CHECK OK

9 セン断力に対する検討

9.1 セン断力照査点の断面力と最大値抽出

部材	断面力	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7	CASE-8
頂版 τ点	S	51.990	9.445	62.435	34.249				
	M			-3.442					
	N			14.714					
	最大			○					
底版 τ点	S	49.736	16.081	69.071	40.885				
	M			-4.561					
	N			22.784					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-8.120	-6.476	-10.228	-13.028				
	M				-9.415				
	N				44.694				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	3.774	11.018	14.770	17.570				
	M				-10.905				
	N				50.286				
	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	18.3	3.5	14.8	1.400	D13-6.7	8.447	0.569	1.241
底版 τ 点	18.3	3.5	14.8	1.400	D13-6.7	8.447	0.569	1.241
側壁上 τ 点	18.3	3.5	14.8	1.400	D13-6.7	8.447	0.569	1.241
側壁下 τ 点	18.3	3.5	14.8	1.400	D13-6.7	8.447	0.569	1.241

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	-3.442	801.7	14.714	0.183	0.00557	-0.01	16.832	2.000
底版 τ 点	-4.561	676.0	22.784	0.183	0.00557	-0.01	14.509	2.000
側壁上 τ 点	-9.415	0.0	44.694	0.183	0.00557	0.00	1.360	1.144
側壁下 τ 点	-10.905	0.0	50.286	0.183	0.00557	0.00	1.531	1.140

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	1.241	2.000	0.938
底版 τ 点	0.270	1.400	1.241	2.000	0.938
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.241	1.144	0.537
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.241	1.140	0.535

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	62.435	14.8	0.421	0.938
底版 τ 点	69.071	14.8	0.466	0.938
側壁上 τ 点	13.028	14.8	0.088	0.537
側壁下 τ 点	17.570	14.8	0.118	0.535

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上