

台帳 No. KL423002

土被り H1= 0.500 m
 H2= 1.500 m

土被り H1= 0.500 m
 H2= 1.500 m

千 葉 窯 業 株 式 会 社

1 設 計 条 件

1.1 一般条件

構造形式	: 一径間ボックスラーメン
内空寸法	: (B) 3000 × (H) 1500 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 0.500 ~ H2 = 1.500 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t _b = 0.000 [m]

1.2 単位容積重量

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

1.3 土圧係数 (水 平)

: $K_a = 0.500$

(鉛 直)

: $\alpha = 1.000$

1.4 活荷重 (上 載)

: T' 荷重 横断通行

(輪接地幅 a = 0.20m b = 0.50m)

(側 載)

: $Q = 10.0$ [kN/m²]

1.5 衝撃係数

: $i = 0.300$

1.6 鉄筋かぶり

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

1.7 断面力低減係数 (土被り H1)

: $\beta = 0.9$

(土被り H2)

: $\beta = 0.9$

1.8 許容応力度

1.8.1 鉄筋

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

1.8.2 コンクリート

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

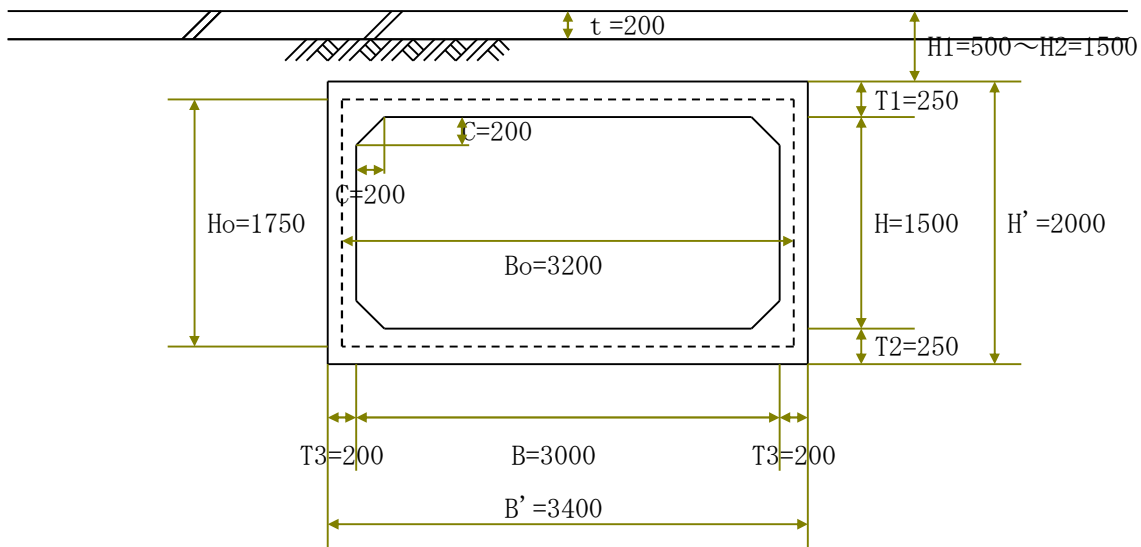
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

(3) 使用 P C 鋼棒

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

1.11 標準断面図



[単位:mm]

1.12 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



b) について

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



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

Pvd1	6.125	6.125	6.125
Pvd2	9.900	9.900	9.900
Phd1 = Phd1	6.075	6.075	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	11.075
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	21.825	21.825	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	26.825
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	70.909	0.000
qv	*****	48.588	*****
qv'	21.997	*****	21.997

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1} = 0$ とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

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

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

注1) 死荷重時、設計荷重時2のCADは、 $q_v = q_v'$

注2) 死荷重時、設計荷重時2のCBCは、 $P_{v1} = 0$

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

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	1.0681	1.0681	1.0681
β	1.0681	1.0681	1.0681
N1	3.0681	3.0681	3.0681
N2	3.0681	3.0681	3.0681
CAD (kN・m/m)	18.771	41.462	18.771
CBC (kN・m/m)	13.675	46.116	13.675
CAB (kN・m/m)	3.962	3.962	5.238
CBA (kN・m/m)	3.158	3.158	4.434
θ_A	-6.650	-18.781	-6.033
θ_B	5.595	20.123	4.978
MAB (kN・m/m)	-11.667	-21.401	-12.326
MAD (kN・m/m)	11.667	21.401	12.326
MBA (kN・m/m)	7.698	24.622	8.357
MBC (kN・m/m)	-7.698	-24.622	-8.357

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。

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

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

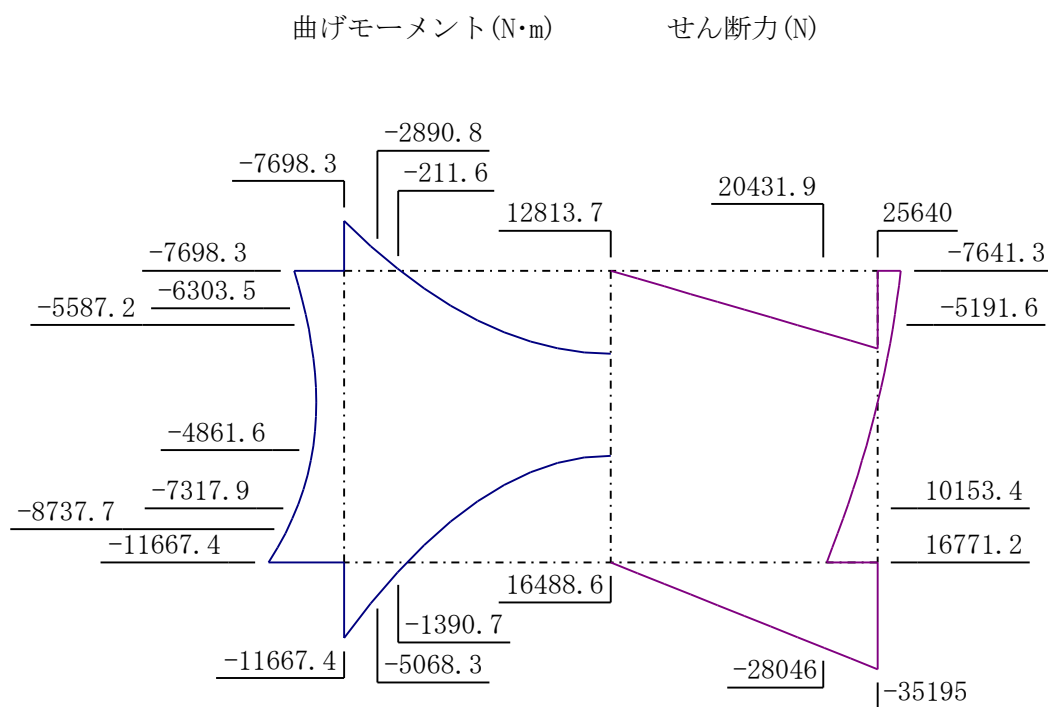
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	25.640	68.185	25.640
SCB	(kN/m)	-25.640	-68.185	-25.640
Mmax	(kN・m/m)	12.814	51.199	12.155
SAD	(kN/m)	35.195	77.740	35.195
SDA	(kN/m)	-35.195	-77.740	-35.195
Mmax	(kN・m/m)	16.489	40.791	15.829
SAB	(kN/m)	16.771	12.663	21.146
SBA	(kN/m)	-7.641	-11.750	-12.016
x	(m)	0.674	0.674	*****
		0.935	*****	0.935
Mmax	(kN・m/m)	-4.862	-17.365	*****
Mmax	(kN・m/m)	-4.300	*****	-3.054

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。

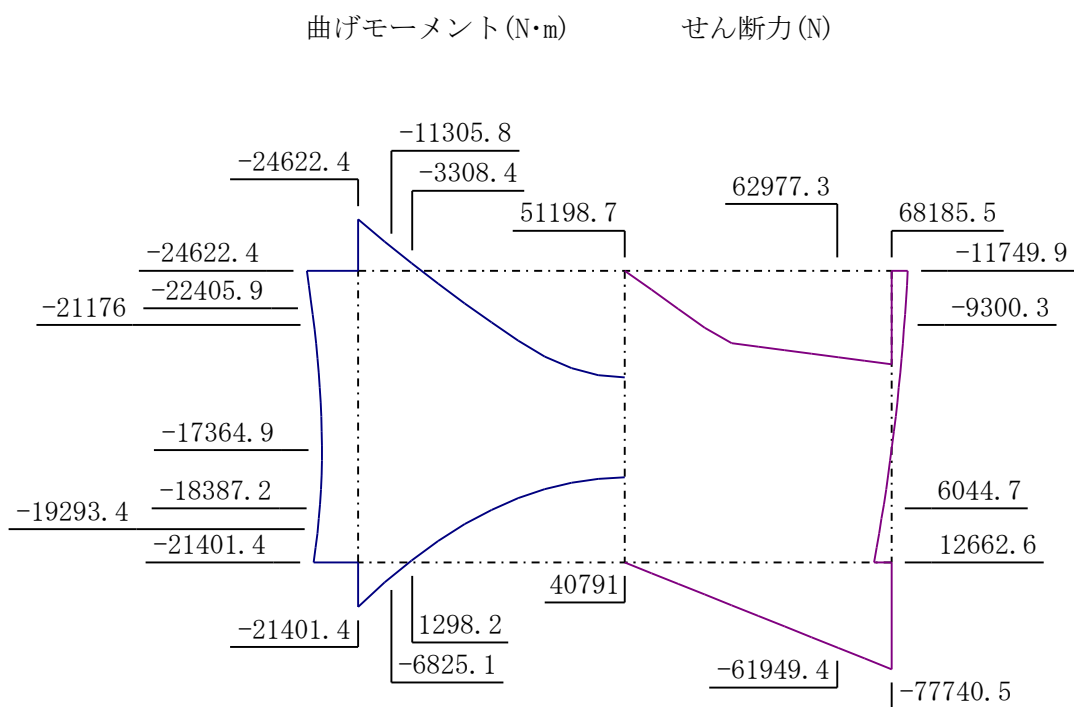
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

[/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	0.100	-7698	25640	7641
	2 ハチ始点	0.300	-2891	***	7641
	S2 τ 点	0.325	-212	20432	7641
	1 中 央	1.600	12814	0	7641
底版	9, S9 端 部	0.100	-11667	35195	16771
	10 ハチ始点	0.300	-5068	***	16771
	S10 τ 点	0.325	-1391	28046	16771
	11 中 央	1.600	16489	0	16771
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-7698	-7641	25640
	5 上ハチ点	1.425	-6304	***	26732
	S5 上 τ点	1.425	-5587	-5192	27415
	6 中 間	0.674	-4862	*****	31515
		0.935	-4300	*****	30090
	S7 下 τ点	0.325	-7318	10153	33421
	7 下ハチ点	0.325	-8738	***	34103
	8, S8 下 端部	0.125	-11667	16771	35195



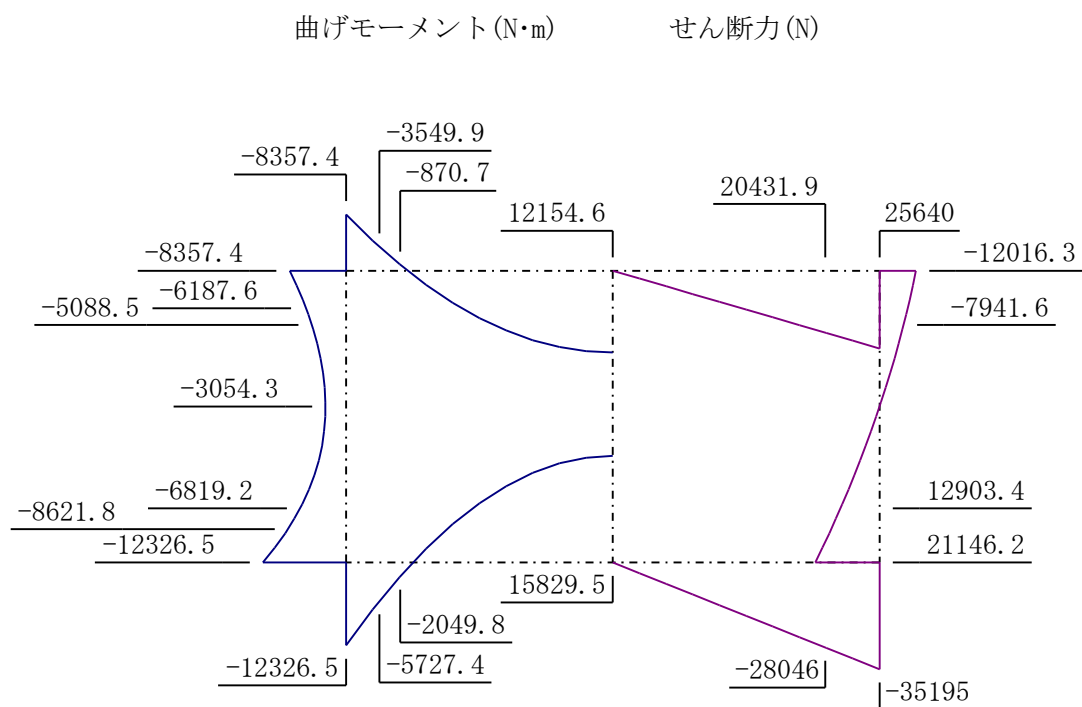
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	0.100	-24622	68186	11750
	2 ハチ始点	0.300	-11306	***	11750
	S2 τ 点	0.325	-3308	62977	11750
	1 中 央	1.600	51199	0	11750
底版	9, S9 端 部	0.100	-21401	77741	12663
	10 ハチ始点	0.300	-6825	***	12663
	S10 τ 点	0.325	1298	61949	12663
	11 中 央	1.600	40791	0	12663
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-24622	-11750	68186
	5 上ハチ点	1.425	-22406	***	69278
	S5 上 τ 点	1.425	-21176	-9300	69960
	6 中 間	0.674	-17365	0	74060
	S7 下 τ 点	0.325	-18387	6045	75966
	7 下ハチ点	0.325	-19293	***	76649
	8, S8 下 端部	0.125	-21401	12663	77741



(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	0.100	-8357	25640	12016
	2 ハチ始点	0.300	-3550	***	12016
	S2 τ 点	0.325	-871	20432	12016
	1 中 央	1.600	12155	0	12016
底版	9, S9 端 部	0.100	-12327	35195	21146
	10 ハチ始点	0.300	-5727	***	21146
	S10 τ 点	0.325	-2050	28046	21146
	11 中 央	1.600	15830	0	21146
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-8357	-12016	25640
	5 上ハチ点	1.425	-6188	***	26732
	S5 上 τ点	1.425	-5089	-7942	27415
	6 中 間	0.935	-3054	0	30090
	S7 下 τ点	0.325	-6819	12903	33421
	7 下ハチ点	0.325	-8622	***	34103
	8, S8 下 端部	0.125	-12327	21146	35195



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 $u = a + 2 \times H2 = 3.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 3.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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)(kN/m²)(kN/m²)

P_{vd1}	6.125	6.125	6.125
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	15.075	15.075	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	20.075
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	30.825	30.825	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	35.825
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	66.588	*****
$q_{v'}$	39.997	*****	39.997

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	1.0681	1.0681	1.0681
β	1.0681	1.0681	1.0681
N_1	3.0681	3.0681	3.0681
N_2	3.0681	3.0681	3.0681
CAD (kN・m/m)	34.131	56.822	34.131
CBC (kN・m/m)	29.035	51.726	29.035
CAB (kN・m/m)	6.259	6.259	7.535
CBA (kN・m/m)	5.455	5.455	6.731
θ_A	-12.967	-23.938	-12.350
θ_B	11.912	22.883	11.295
MAB (kN・m/m)	-20.281	-31.253	-20.940
MAD (kN・m/m)	20.281	31.253	20.940
MBA (kN・m/m)	16.312	27.283	16.971
MBC (kN・m/m)	-16.312	-27.283	-16.971

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。

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

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

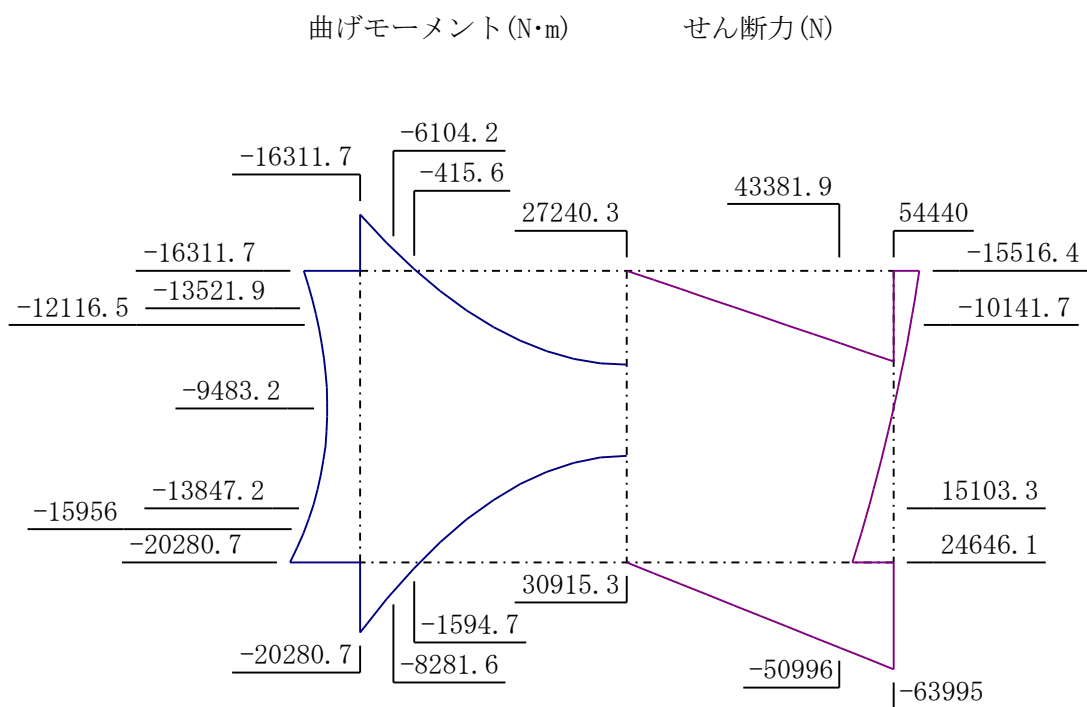
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	54.440	96.985	54.440
SCB (kN/m)	-54.440	-96.985	-54.440
Mmax (kN・m/m)	27.240	50.305	26.581
SAD (kN/m)	63.995	106.540	63.995
SDA (kN/m)	-63.995	-106.540	-63.995
Mmax (kN・m/m)	30.915	53.980	30.256
SAB (kN/m)	24.646	24.646	29.021
SBA (kN/m)	-15.516	-15.516	-19.891
x (m)	0.924	0.924	*****
	0.915	*****	0.915
Mmax (kN・m/m)	-9.483	-20.455	*****
Mmax (kN・m/m)	-9.484	*****	-8.233

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。

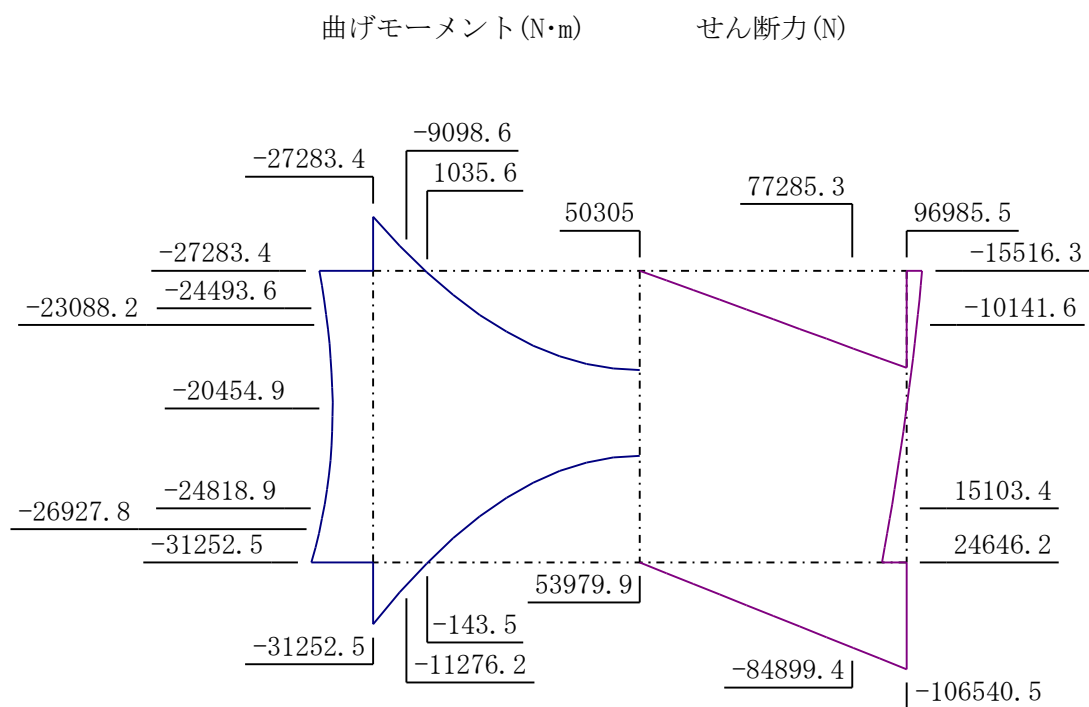
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	0.100	-16312	54440	15516
	2 ハチ始点	0.300	-6104	***	15516
	S2 τ 点	0.325	-416	43382	15516
	1 中 央	1.600	27240	0	15516
底版	9, S9 端 部	0.100	-20281	63995	24646
	10 ハチ始点	0.300	-8282	***	24646
	S10 τ 点	0.325	-1595	50996	24646
	11 中 央	1.600	30915	0	24646
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-16312	-15516	54440
	5 上ハチ点	1.425	-13522	***	55532
	S5 上 τ 点	1.425	-12117	-10142	56215
	6 中 間	0.924	-9483	*****	58950
		0.915	-9484	*****	58999
	S7 下 τ 点	0.325	-13847	15103	62221
	7 下ハチ点	0.325	-15956	***	62903
	8, S8 下 端部	0.125	-20281	24646	63995



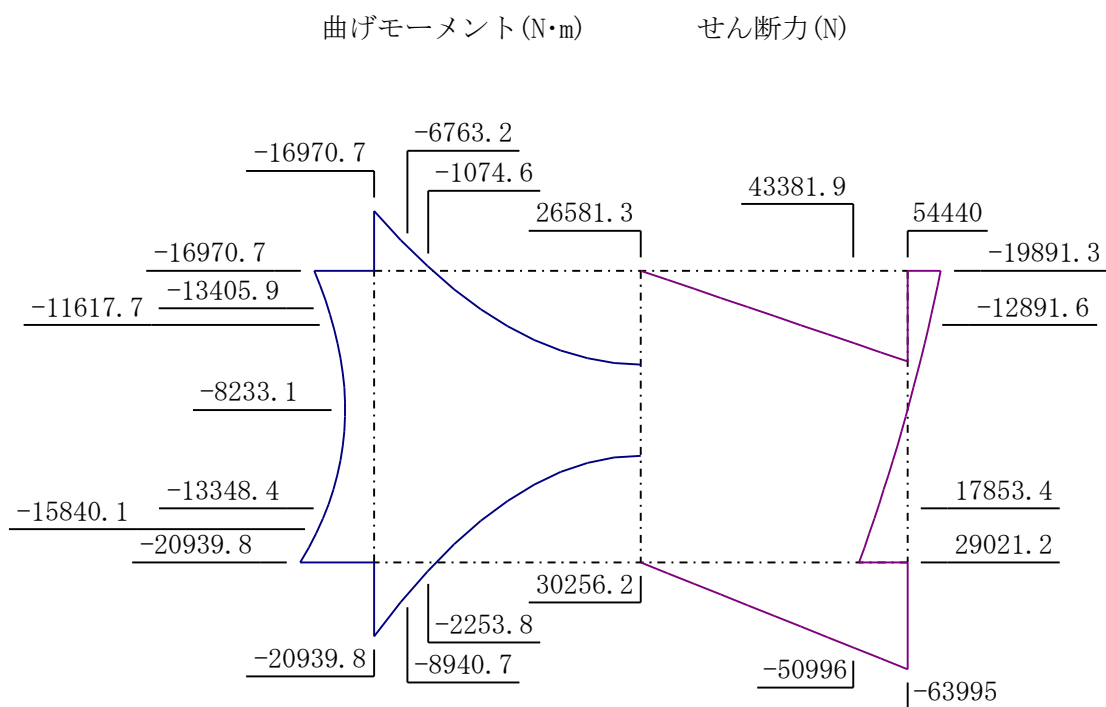
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

		[/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	0.100	-27283	96986	15516
	2 ハッチ始点	0.300	-9099	***	15516
	S2 τ 点	0.325	***	77285	***
	1 中 央	1.600	50305	0	15516
底版	9, S9 端 部	0.100	-31253	106541	24646
	10 ハッチ始点	0.300	-11276	***	24646
	S10 τ 点	0.325	***	84899	***
	11 中 央	1.600	53980	0	24646
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-27283	-15516	96986
	5 上ハッチ点	1.425	-24494	***	98078
	S5 上 τ 点	1.425	***	-10142	***
	6 中 間	0.924	-20455	0	101495
	S7 下 τ 点	0.325	***	15103	***
	7 下ハッチ点	0.325	-26928	***	105449
	8, S8 下 端部	0.125	-31253	24646	106541



(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	0.100	-16971	54440	19891
	2 ハチ始点	0.300	-6763	***	19891
	S2 τ 点	0.325	***	43382	***
	1 中 央	1.600	26581	0	19891
底版	9, S9 端 部	0.100	-20940	63995	29021
	10 ハチ始点	0.300	-8941	***	29021
	S10 τ 点	0.325	***	50996	***
	11 中 央	1.600	30256	0	29021
側壁	4, S4 上 端部	1.625	-16971	-19891	54440
	5 上ハチ点	1.425	-13406	***	55532
	S5 上 τ点	1.425	***	-12892	***
	6 中 間	0.915	-8233	0	58999
	S7 下 τ点	0.325	***	17853	*****
	7 下ハチ点	0.325	-15840	***	62903
	8, S8 下 端部	0.125	-20940	29021	63995



4 プレストレスの計算

4.1 荷重による曲げ応力度

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

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

4.2 有効プレストレス

(1) 有効係数 η

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

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

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

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

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

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

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

(2) 有効プレストレス σ_{ce}

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

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

4.3 合成応力度

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

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

4.4 引張鉄筋量の計算

(1) 曲げモーメント

引張鉄筋は次の荷重作用に対して、引張応力の作用する区間に配置する。

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

(2) 配置鉄筋量

配置鉄筋量は次の 1)、2) のうちいずれか大きい値以上とする。

1) の値

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

2) の値

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

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

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

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

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

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

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

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

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

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

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

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

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

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

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

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

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	31.67	3166.7	264621.91	15.83	16712.96
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ 点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
中 央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

5.1.2 使用 P C 鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端 部	φ 21	2.50	3.464	290000	1.33	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-2.00	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	-2.00	外 側
中 央	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	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	2.34	-0.08	73.41	25.12	738.66	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.09	87.16	25.12	724.91	0.866	3
τ 点	837.18	3.12	0.01	85.82	25.12	726.24	0.867	3
中 央	837.18	3.12	-0.42	79.32	25.12	732.74	0.875	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.08	73.41	25.12	738.66	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.09	87.16	25.12	724.91	0.866	3
τ 点	837.18	3.12	0.01	85.82	25.12	726.24	0.867	3
中 央	837.18	3.12	-0.42	79.32	25.12	732.74	0.875	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.34	-0.08	73.41	25.12	738.66	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.04	86.40	25.12	725.66	0.867	1
τ 点	837.18	3.12	0.00	85.77	25.12	726.29	0.868	1
中 央	837.18	3.12	-0.20	82.71	25.12	729.35	0.871	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.08	73.41	25.12	738.66	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.04	86.40	25.12	725.66	0.867	1
τ 点	837.18	3.12	0.00	85.77	25.12	726.29	0.868	1
中 央	837.18	3.12	-0.20	82.71	25.12	729.35	0.871	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	0.98	0.05	1.51	2.53	3
ハチ始点	0.59	0.06	3.72	4.36	3
中 央	2.62	0.06	1.32	4.00	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-0.98	0.05	2.53	1.60	3
ハチ始点	-0.59	0.06	1.31	0.78	3
中 央	-2.62	0.06	3.76	1.20	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.63	0.05	1.51	3.19	3
ハチ始点	1.09	0.05	3.72	4.85	1
中 央	4.92	0.05	1.31	6.28	1
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.63	0.05	2.53	0.95	3
ハチ始点	-1.09	0.05	1.31	0.27	1
中 央	-4.92	0.05	3.74	-1.13	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	-36.833	0.39	3.78	3.0	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-15.263	-0.09	5.25	0.4	0.2	0.013	0.221	1
中 央	69.118	-2.83	8.01	6.5	92.5	5.780	3.265	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	6.335 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 16	— 10	D 0	— 0	9.930 cm ² /m	> As1 or As2

5.1.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端 部	100.0	12535	15.516	96.986	639.67	2.07	0.46	-0.097	3
τ 点	100.0	7813	15.516	77.285	628.93	2.58	0.46	-0.081	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	-7.698	-16.924	-52.318	-41.858	-52.318	1
ハッチ始点	-2.891	-8.415	-24.796	-19.220	-24.796	1
中 央	12.814	38.385	112.620	87.038	112.620	1

位 置	Ap (cm ² /m)	As (cm ² /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端 部	8.660	6.335	17.2	28.2	0.069	0.006	161.06	3.1	1
ハッチ始点	8.660	6.335	10.5	21.5	0.069	0.010	102.37	4.1	1
中 央	8.660	9.930	14.5	21.5	0.069	0.008	152.16	1.4	1
$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$								CHECK OK	

5.2 底版

5.2.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端 部	100.00	31.67	3166.7	264621.91	15.83	16712.96
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ 点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
中 央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

5.2.2 使用P C鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端 部	φ 21	2.50	3.464	290000	1.33	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-2.00	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	内 側
中 央	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	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	837.18	2.34	-0.10	73.10	25.12	738.97	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.13	87.67	25.12	724.40	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.35	25.12	726.72	0.868	3
中 央	837.18	3.12	-0.47	78.46	25.12	733.61	0.876	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.10	73.10	25.12	738.97	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.13	87.67	25.12	724.40	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.35	25.12	726.72	0.868	3
中 央	837.18	3.12	-0.47	78.46	25.12	733.61	0.876	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.34	-0.10	73.10	25.12	738.97	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.13	87.67	25.12	724.40	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.35	25.12	726.72	0.868	4
中 央	837.18	3.12	-0.47	78.46	25.12	733.61	0.876	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.10	73.10	25.12	738.97	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.13	87.67	25.12	724.40	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.35	25.12	726.72	0.868	4
中 央	837.18	3.12	-0.47	78.46	25.12	733.61	0.876	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	1.21	0.08	1.51	2.80	3
ハチ始点	0.80	0.10	3.71	4.61	3
中 央	2.97	0.10	1.32	4.39	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.21	0.08	2.53	1.40	3
ハチ始点	-0.80	0.10	1.30	0.61	3
中 央	-2.97	0.10	3.76	0.89	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.87	0.08	1.51	3.46	3
ハチ始点	1.08	0.10	3.71	4.89	3
中 央	5.18	0.10	1.32	6.60	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.87	0.08	2.53	0.74	3
ハチ始点	-1.08	0.10	1.30	0.32	3
中 央	-5.18	0.10	3.76	-1.32	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	-42.191	0.11	4.14	0.8	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-15.223	-0.02	5.31	0.1	0.0	0.001	0.055	3
中 央	72.873	-3.10	8.45	6.7	104.1	6.506	3.356	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 ² /m	> As1 or As2
内 側	D 16	— 10	D 0	— 0	9.930 cm ² /m	> As1 or As2

5.2.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端 部	100.0	12535	24.646	106.540	639.94	2.10	0.50	-0.115	3
τ 点	100.0	7813	24.646	84.899	629.34	2.62	0.51	-0.096	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	-20.281	-10.972	-53.794	-53.129	-53.794	3
ハッチ始点	-8.282	-2.995	-18.253	-19.170	-19.170	3
中 央	30.915	23.065	97.851	91.766	97.851	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	8.660	6.335	17.2	28.2	0.069	0.006	161.06	3.0	3
ハッチ始点	8.660	6.335	10.5	21.5	0.069	0.010	102.37	5.3	3
中 央	8.660	9.930	14.5	21.5	0.069	0.008	152.16	1.6	3
$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$								CHECK OK	

6 断面力集計表

各ケースより断面力の最大値を抽出する。

M	: 部材モーメント	(kN・m)
S	: せん断力	(kN)
N	: 軸力	(kN)
e	: M/N偏心位置	(cm)
c	: 部材中心軸と鉄筋間距離	(cm)
Ms	: 軸力を考慮した曲げモーメント	(kN・m)

$$Ms = N \times (e + c) / 100 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

但し、軸力は

頂版端部軸力	=	側壁上端部せん断力
底版端部軸力	=	側壁下端部せん断力
側壁上端部軸力	=	頂版端部せん断力
側壁下端部軸力	=	底版端部せん断力

とし、側壁中間点の軸力は側壁自重による軸力を考慮する。

[/単位長]

部材	点	M (kN・m)	N (kN)	e (cm)	c (cm)	Ms (kN・m)	CASE M
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	上端部	-24.622	68.186	36.11	9.83	31.327	1
	上ハチ点	-24.494	98.078	24.97	6.50	30.869	3
側壁	中 間	-20.455	101.495	20.15	6.50	27.052	3
	下ハチ点	-26.928	105.448	25.54	6.50	33.782	3
	下端部	-31.253	106.540	29.33	9.83	41.729	3

注1) CASEのMは、曲げモーメント抽出ケースを示す。

注2) ***** 表示は、P C部材。

7 必要有効高および必要鉄筋量

7.1 必要有効高

$$\begin{aligned}
 k &= n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) &= 0.568 \\
 c_1 &= \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} &= 0.557 \\
 d &= c_1 \times \sqrt{(M_s / b)} &h = d + d' < T
 \end{aligned}$$

ここに、
 M_s : 軸力を考慮した曲げモーメント (kN・m/m)
 b : 単位長 (cm)
 d' : 鉄筋かぶり (cm)
 h : 必要部材厚 (cm)
 n : ヤング係数比 (15)

7.2 必要鉄筋量

鉄筋の曲げ引張応力度が許容値(σ_{sa})に達する場合の必要鉄筋量(A_s)

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

部材	点	M_s (kN・m/m)	必要有効高 d (cm)	必要部材厚 $d + d'$ (cm)	部材厚 T (cm)	必要鉄筋量 A_s (cm ² /m)
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	上端部	31.327	9.86	13.36	26.67	5.104
	上ハチ点	30.869	9.79	13.29	20.00	7.294
側壁	中 間	27.052	9.16	12.66	20.00	5.330
	下ハチ点	33.782	10.24	13.74	20.00	8.180
	下端部	41.729	11.38	14.88	26.67	5.995
$d + d' < T$					CHECK OK	

8 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

8.1 コンクリート及び鉄筋

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

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

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

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

 e : 偏心位置 (M / N) (cm)

配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 16 - 10
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0

部材	点	部材幅 b (cm)	使用鉄筋量 A _s (cm ² /m)	x (cm)	実応力度 (N/mm ²)		
					σ_c	σ_s	$\sigma_{s'}$
頂版	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	9.930	8.760	3.53	87.2	0.0
	上ハチ点	100.00	9.930	7.120	6.14	121.3	0.0
	中 間	100.00	9.930	7.510	5.15	92.4	0.0
	下ハチ点	100.00	9.930	7.085	6.74	134.4	0.0
	下端部	100.00	9.930	9.232	4.50	101.9	0.0
$\sigma_c < \sigma_{ca}$ $\sigma_s < \sigma_{sa}$					CHECK OK		

9 セン断力に対する検討

9.1 セン断力照査点の断面力と最大値抽出

部材	断面力	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7	CASE-8
頂版 τ点	S	62.977	20.432	77.285	43.382				
	M			1.036					
	N			15.516					
	最大			○					
底版 τ点	S	61.949	28.046	84.899	50.996				
	M			-0.143					
	N			24.646					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-9.300	-7.942	-10.142	-12.892				
	M				-11.618				
	N				56.215				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	6.045	12.903	15.103	17.853				
	M				-13.348				
	N				62.221				
	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(C_e)をτ_a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(C _e)	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(C_{pt})をτ_a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 b d 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(C _{pt})	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5

③ 軸方向圧縮力の影響

軸方向圧縮力が大きな部材の場合、次式により計算される軸方向圧縮力による補正係数(CN)を τ_a に乘じる。

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

ここに、CN：軸方向力による補正係数

Mo：有効プレストレス力及び軸方向力によりコンクリートの応力度が引張縁で0となる曲げモーメント(kN・m)

M：断面に作用する曲げモーメント(kN・m)

N：断面に作用する軸方向圧縮力(kN)

Pe：P C鋼棒に作用するm当りの全有効引張力(kN)

Z：図心軸に関する断面係数(m³)

Ac：部材断面積(m²)

ep：P C鋼棒の偏心量<引張縁側+／圧縮縁側->(m)

照査位置	T (cm)	d' (cm)	d (cm)	Ce	引張鉄筋		Pt (%)	Cpt
					径-本数	As (cm ²)		
頂版 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D16-5	9.930	0.462	1.162
底版 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D13-5	6.335	0.295	0.995
側壁上 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D16-5	9.930	0.602	1.261
側壁下 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D16-5	9.930	0.602	1.261

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	1.036	634.6	15.516	0.250	0.01042	0.02	39.789	2.000
底版 τ 点	-0.144	629.3	24.646	0.250	0.01042	0.02	39.842	2.000
側壁上 τ 点	-11.618	0.0	56.214	0.200	0.00667	0.00	1.875	1.161
側壁下 τ 点	-13.348	0.0	62.220	0.200	0.00667	0.00	2.075	1.155

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	1.162	2.000	0.878
底版 τ 点	0.270	1.400	0.995	2.000	0.752
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.261	1.161	0.554
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.261	1.155	0.551

照査位置	せん断力 S (kN)	有効高 d (cm)	せん断応力度 τ (N/mm ²)	補正 τ_a (N/mm ²)
頂版 τ 点	77.285	21.5	0.359	0.878
底版 τ 点	84.899	21.5	0.395	0.752
側壁上 τ 点	12.892	16.5	0.078	0.554
側壁下 τ 点	17.853	16.5	0.108	0.551

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上