

受付 No.

台帳 No. KL410002

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 2300 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= 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) 2300 × (H) 1800 × (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 : $\sigma_{ck} = 40.0 \text{ N/mm}^2$
- (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)

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)
-------	------------------------------	---	--

P_{vd1}	4.410	4.410	4.410
P_{vd2}	9.900	9.900	9.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	5.760	5.760	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	10.760
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	23.580	23.580	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	28.580
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	70.909	0.000
q_v	*****	56.107	*****
$q_{v'}$	21.796	*****	21.796

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

3.1.2 構造解析

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \text{ラーメン係数} \quad \alpha &= (H_o \times T1^3) / (B_o \times T3^3) \\
 \beta &= (H_o \times T2^3) / (B_o \times T3^3) \\
 N1 &= 2 + \alpha \\
 N2 &= 2 + \beta
 \end{aligned}$$

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

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）

$$\begin{aligned}
 (3) \quad \text{たわみ角} \quad \theta A &= \{N1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N1 \times N2 - 1) \\
 \theta B &= \{N2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N1 \times N2 - 1)
 \end{aligned}$$

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.7984	0.7984	0.7984
β	0.7984	0.7984	0.7984
N1	2.7984	2.7984	2.7984
N2	2.7984	2.7984	2.7984
CAD (kN・m/m)	11.171	28.757	11.171
CBC (kN・m/m)	7.334	31.654	7.334
CAB (kN・m/m)	5.375	5.375	7.008
CBA (kN・m/m)	4.211	4.211	5.844
θA	-2.832	-13.596	-1.924
θB	2.128	14.665	1.220
MAB (kN・m/m)	-8.910	-17.902	-9.636
MAD (kN・m/m)	8.910	17.902	9.636
MBA (kN・m/m)	5.635	19.945	6.360
MBC (kN・m/m)	-5.635	-19.945	-6.360

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。

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

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

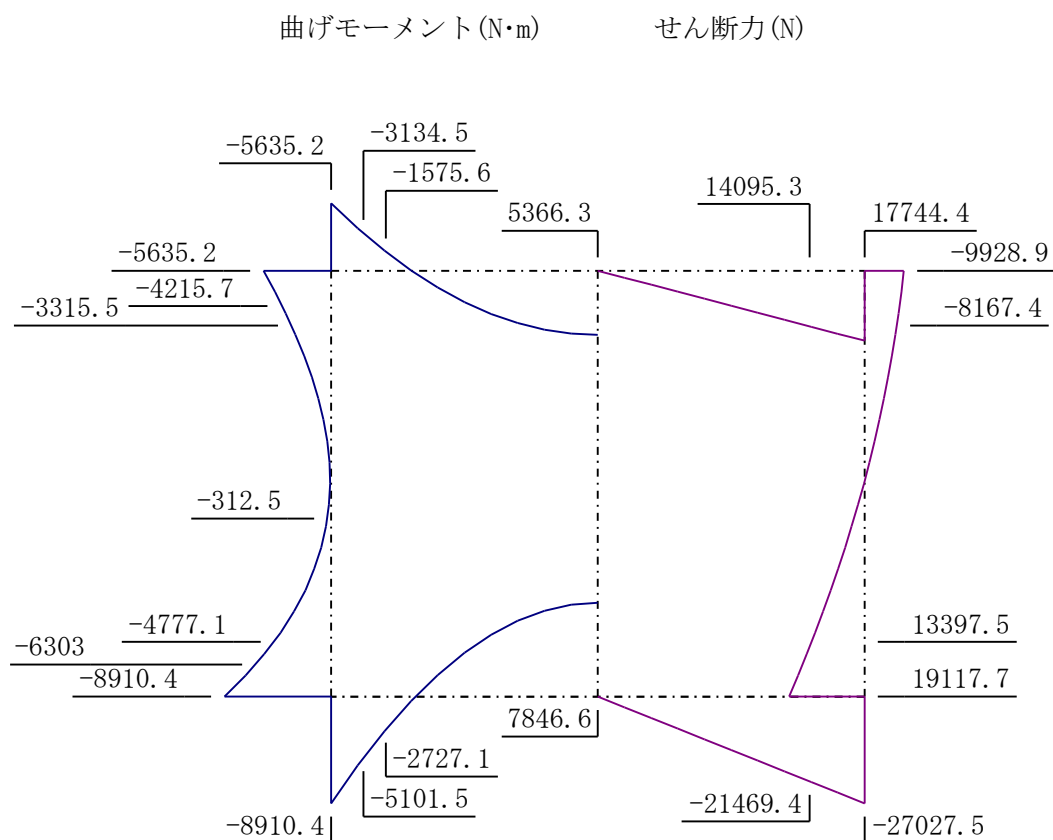
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	17.744	60.290	17.744
SCB	(kN/m)	-17.744	-60.290	-17.744
Mmax	(kN・m/m)	5.366	31.049	4.641
SAD	(kN/m)	27.027	69.573	27.027
SDA	(kN/m)	-27.027	-69.573	-27.027
Mmax	(kN・m/m)	7.847	25.233	7.121
SAB	(kN/m)	19.118	16.432	24.068
SBA	(kN/m)	-9.929	-12.615	-14.879
x	(m)	0.828	0.828	*****
		0.999	*****	0.999
Mmax	(kN・m/m)	-0.313	-11.528	*****
Mmax	(kN・m/m)	-0.083	*****	1.642

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。

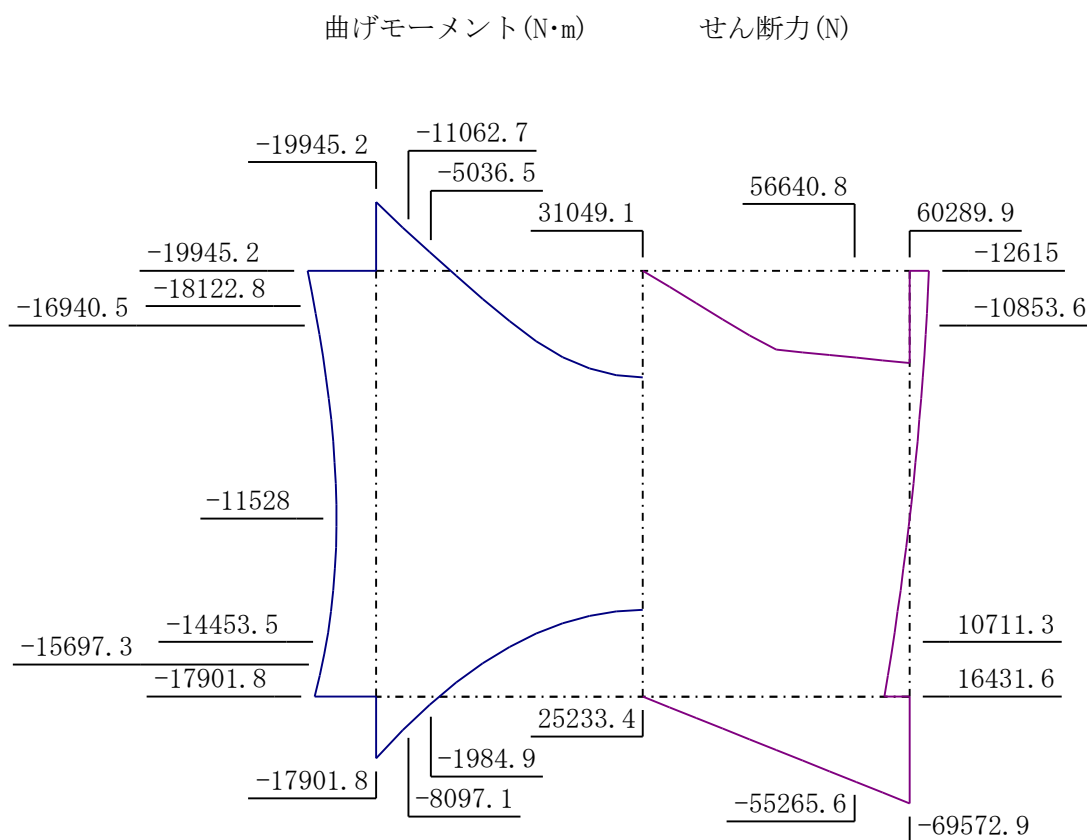
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	-5635	17744	9929
	2 ハッチ始点	0.240	-3135	***	9929
	S2 τ 点	0.255	-1576	14095	9929
	1 中 央	1.240	5366	0	9929
底板	9, S9 端 部	0.090	-8910	27028	19118
	10 ハッチ始点	0.240	-5102	***	19118
	S10 τ 点	0.255	-2727	21469	19118
	11 中 央	1.240	7847	0	19118
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-5635	-9929	17744
	5 上ハッチ点	1.740	-4216	***	18448
	S5 上 τ 点	1.725	-3316	-8167	18940
	6 中 間	0.828	-313	*****	23145
		0.999	-83	*****	22344
	S7 下 τ 点	0.255	-4777	13398	25832
	7 下ハッチ点	0.240	-6303	***	26324
	8, S8 下 端部	0.090	-8910	19118	27028



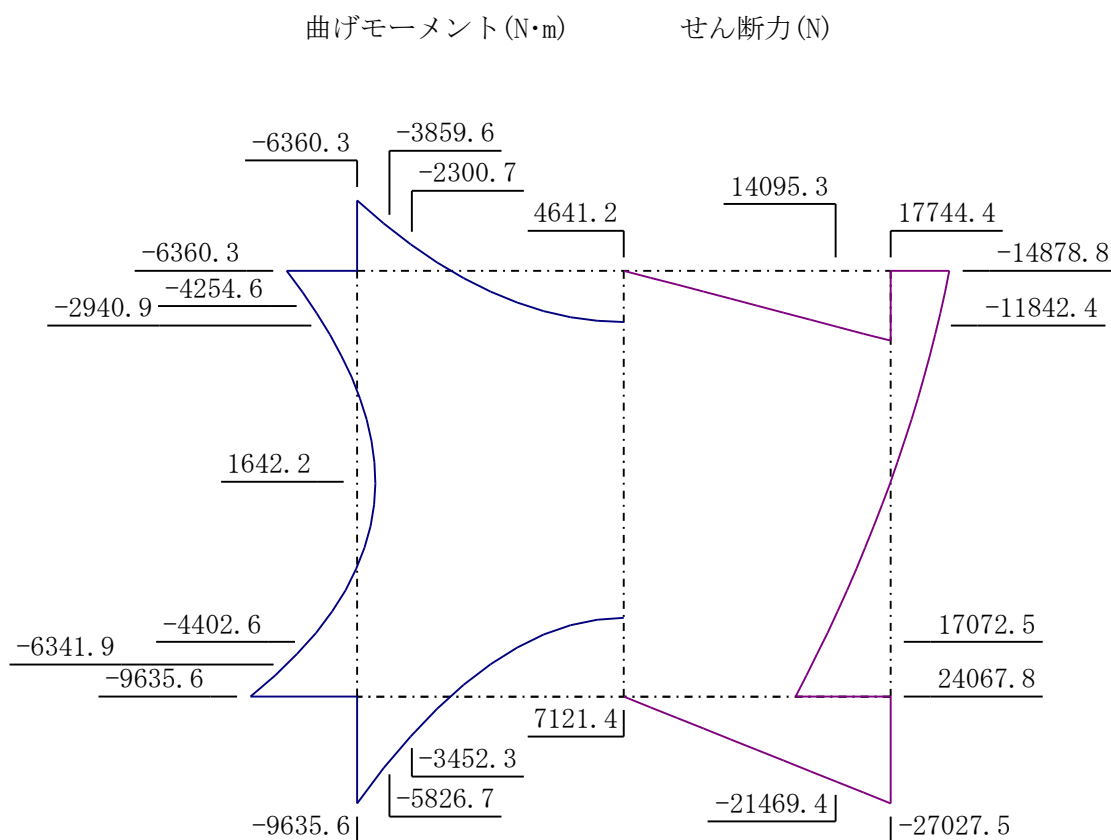
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

					[/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	-19945	60290	12615
	2 ハチ始点	0.240	-11063	***	12615
	S2 τ 点	0.255	-5037	56641	12615
	1 中 央	1.240	31049	0	12615
底版	9, S9 端 部	0.090	-17902	69573	16432
	10 ハチ始点	0.240	-8097	***	16432
	S10 τ 点	0.255	-1985	55266	16432
	11 中 央	1.240	25233	0	16432
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-19945	-12615	60290
	5 上ハチ点	1.740	-18123	***	60993
	S5 上 τ 点	1.725	-16941	-10854	61485
	6 中 間	0.828	-11528	0	65691
	S7 下 τ 点	0.255	-14454	10711	68377
	7 下ハチ点	0.240	-15697	***	68870
	8, S8 下 端部	0.090	-17902	16432	69573



(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	-6360	17744	14879
	2 ハチ始点	0.240	-3860	***	14879
	S2 τ 点	0.255	-2301	14095	14879
	1 中 央	1.240	4641	0	14879
底版	9, S9 端 部	0.090	-9636	27028	24068
	10 ハチ始点	0.240	-5827	***	24068
	S10 τ 点	0.255	-3452	21469	24068
	11 中 央	1.240	7121	0	24068
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-6360	-14879	17744
	5 上ハチ点	1.740	-4255	***	18448
	S5 上 τ 点	1.725	-2941	-11842	18940
	6 中 間	0.999	1642	0	22344
	S7 下 τ 点	0.255	-4403	17073	25832
	7 下ハチ点	0.240	-6342	***	26324
	8, S8 下 端部	0.090	-9636	24068	27028



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}	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
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	32.580	32.580	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	37.580
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	66.387	*****
$q_{v'}$	39.796	*****	39.796

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	0.7984	0.7984	0.7984
β	0.7984	0.7984	0.7984
N1	2.7984	2.7984	2.7984
N2	2.7984	2.7984	2.7984
CAD (kN・m/m)	20.397	34.026	20.397
CBC (kN・m/m)	16.560	30.189	16.560
CAB (kN・m/m)	8.315	8.315	9.949
CBA (kN・m/m)	7.151	7.151	8.784
θ_A	-6.327	-13.905	-5.419
θ_B	5.623	13.202	4.715
MAB (kN・m/m)	-15.346	-22.924	-16.071
MAD (kN・m/m)	15.346	22.924	16.071
MBA (kN・m/m)	12.070	19.649	12.796
MBC (kN・m/m)	-12.070	-19.649	-12.796

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。

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

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

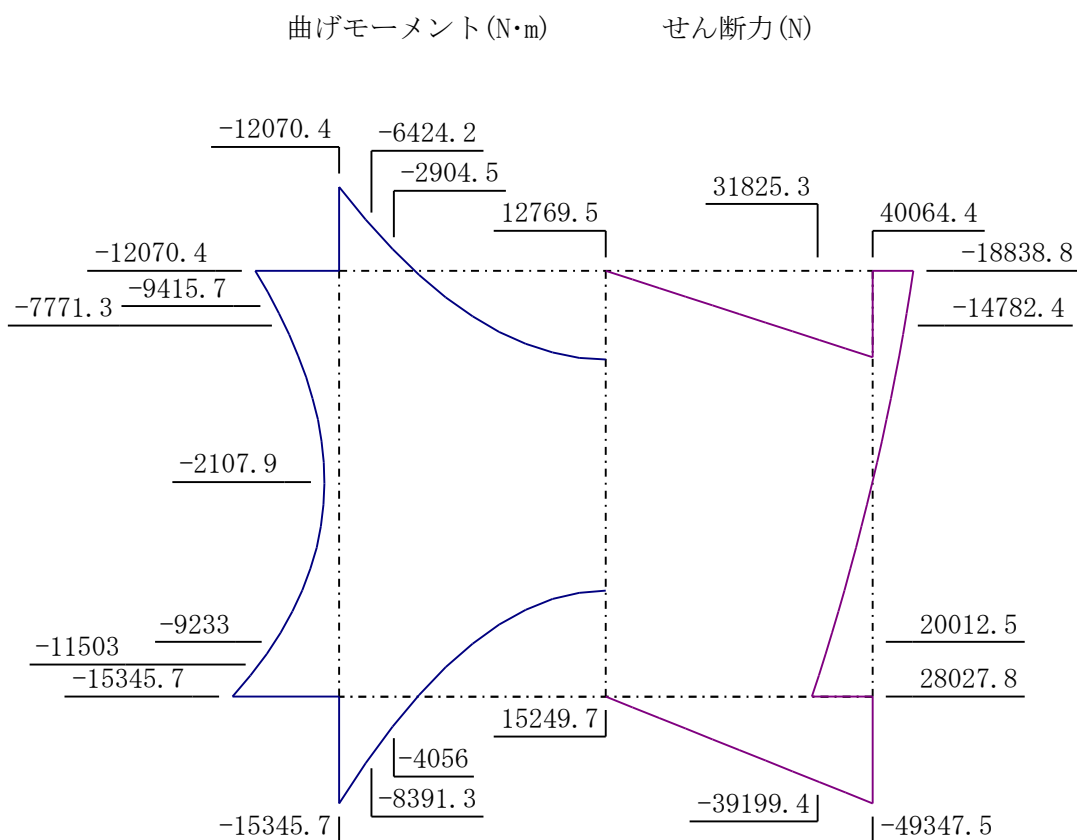
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	40.064	73.037	40.064
SCB (kN/m)	-40.064	-73.037	-40.064
Mmax (kN・m/m)	12.770	25.634	12.044
SAD (kN/m)	49.347	82.320	49.347
SDA (kN/m)	-49.347	-82.320	-49.347
Mmax (kN・m/m)	15.250	28.114	14.525
SAB (kN/m)	28.028	28.028	32.978
SBA (kN/m)	-18.839	-18.839	-23.789
x (m)	0.998	0.998	*****
	0.996	*****	0.996
Mmax (kN・m/m)	-2.108	-9.686	*****
Mmax (kN・m/m)	-2.108	*****	-0.383

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。

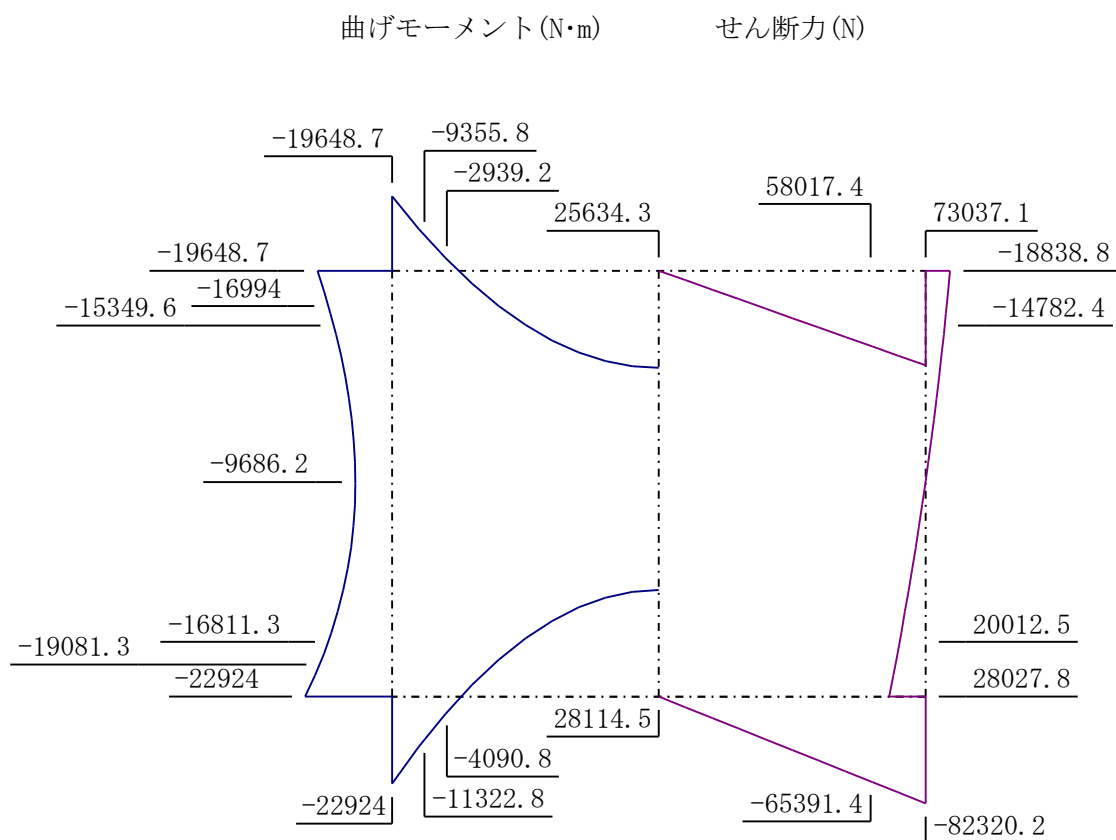
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	-12070	40064	18839
	2 ハッチ始点	0.240	-6424	***	18839
	S2 τ 点	0.255	-2905	31825	18839
	1 中 央	1.240	12770	0	18839
底版	9, S9 端 部	0.090	-15346	49348	28028
	10 ハッチ始点	0.240	-8391	***	28028
	S10 τ 点	0.255	-4056	39199	28028
	11 中 央	1.240	15250	0	28028
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-12070	-18839	40064
	5 上ハッチ点	1.740	-9416	***	40768
	S5 上 τ 点	1.725	-7771	-14782	41260
	6 中 間	0.998	-2108	*****	44668
		0.996	-2108	*****	44678
	S7 下 τ 点	0.255	-9233	20013	48152
	7 下ハッチ点	0.240	-11503	***	48644
	8, S8 下 端部	0.090	-15346	28028	49348



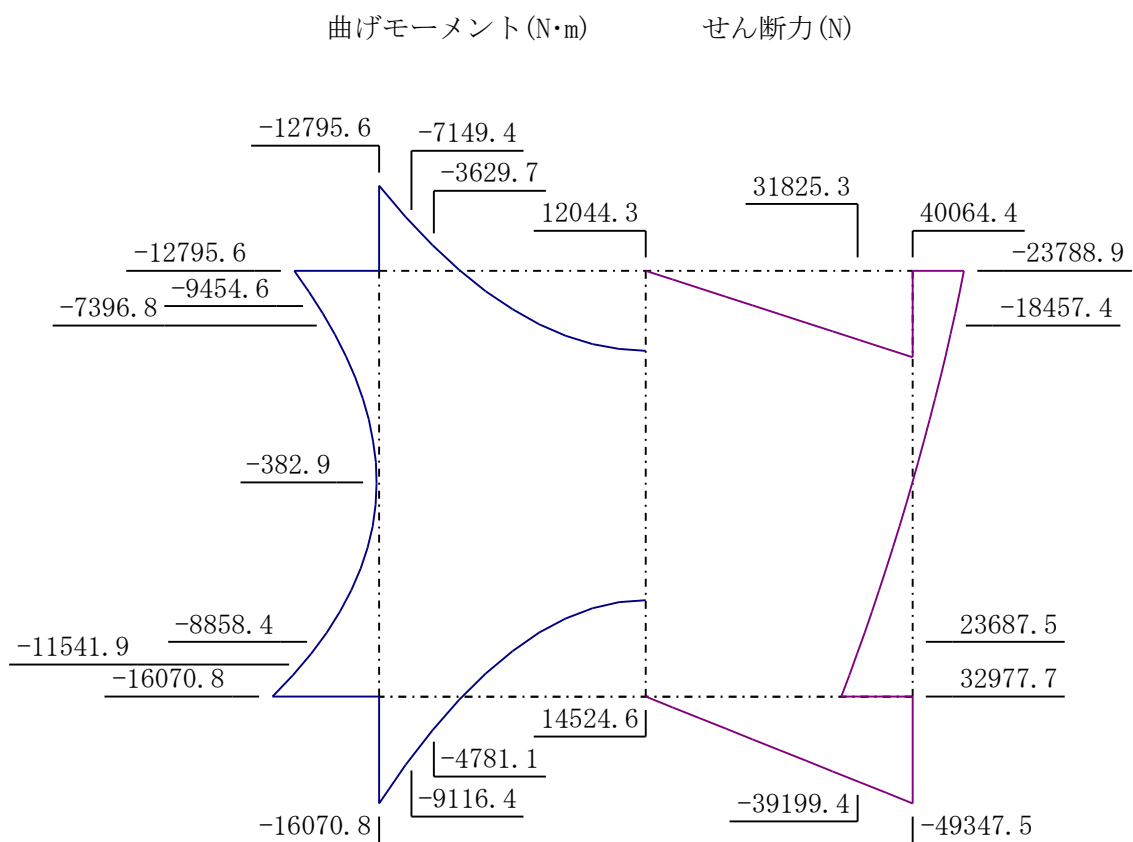
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/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	-19649	73037	18839
	2 ハチ始点	0.240	-9356	***	18839
	S2 τ 点	0.255	***	58017	***
	1 中 央	1.240	25634	0	18839
底版	9, S9 端 部	0.090	-22924	82320	28028
	10 ハチ始点	0.240	-11323	***	28028
	S10 τ 点	0.255	***	65391	***
	11 中 央	1.240	28115	0	28028
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-19649	-18839	73037
	5 上ハチ点	1.740	-16994	***	73740
	S5 上 τ 点	1.725	***	-14782	***
	6 中 間	0.998	-9686	0	77641
	S7 下 τ 点	0.255	***	20013	***
	7 下ハチ点	0.240	-19081	***	81617
	8, S8 下 端部	0.090	-22924	28028	82320



(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	-12796	40064	23789
	2 ハチ始点	0.240	-7149	***	23789
	S2 τ 点	0.255	***	31825	***
	1 中 央	1.240	12044	0	23789
底版	9, S9 端 部	0.090	-16071	49348	32978
	10 ハチ始点	0.240	-9116	***	32978
	S10 τ 点	0.255	***	39199	***
	11 中 央	1.240	14525	0	32978
側壁	4, S4 上 端部	1.890	-12796	-23789	40064
	5 上ハチ点	1.740	-9455	***	40768
	S5 上 τ点	1.725	***	-18457	***
	6 中 間	0.996	-383	0	44678
	S7 下 τ点	0.255	***	23688	*****
	7 下ハチ点	0.240	-11542	***	48644
	8, S8 下 端部	0.090	-16071	32978	49348



4 プレストレスの計算

4.1 荷重による曲げ応力度

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

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

4.2 有効プレストレス

(1) 有効係数 η

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

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

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

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

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

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

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

(2) 有効プレストレス σ_{ce}

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

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

4.3 合成応力度

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

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

4.4 引張鉄筋量の計算

(1) 曲げモーメント

引張鉄筋は次の荷重作用に対して、引張応力の作用する区間に配置する。

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

(2) 配置鉄筋量

配置鉄筋量は次の 1)、2) のうちいずれか大きい値以上とする。

1) の値

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

2) の値

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

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

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

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

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

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

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

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

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

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

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

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

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

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

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

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

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

終局つり合い鋼材比が配置される引張鋼材比より大であることを確認する。

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

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

5 P C 部材の検討

5.1 頂版

5.1.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端 部	100.00	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 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	1.50	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-1.00	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	-1.00	外 側
中 央	φ 21	2.50	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	3.31	-0.18	85.64	25.12	726.43	0.868	3
ハチ始点	837.18	4.18	0.13	102.11	25.12	709.96	0.848	3
τ 点	837.18	4.18	0.06	101.02	25.12	711.05	0.849	3
中 央	837.18	4.18	-0.26	96.17	25.12	715.90	0.855	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	3.31	-0.18	85.64	25.12	726.43	0.868	3
ハチ始点	837.18	4.18	0.13	102.11	25.12	709.96	0.848	3
τ 点	837.18	4.18	0.06	101.02	25.12	711.05	0.849	3
中 央	837.18	4.18	-0.26	96.17	25.12	715.90	0.855	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	3.31	-0.08	87.09	25.12	724.98	0.866	1
ハチ始点	837.18	4.18	0.06	101.09	25.12	710.98	0.849	1
τ 点	837.18	4.18	0.03	100.61	25.12	711.46	0.850	1
中 央	837.18	4.18	-0.11	98.46	25.12	713.61	0.852	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	3.31	-0.08	87.09	25.12	724.98	0.866	1
ハチ始点	837.18	4.18	0.06	101.09	25.12	710.98	0.849	1
τ 点	837.18	4.18	0.03	100.61	25.12	711.46	0.850	1
中 央	837.18	4.18	-0.11	98.46	25.12	713.61	0.852	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	1.37	0.08	1.66	3.12	3
ハチ始点	1.19	0.10	4.55	5.85	3
中 央	2.36	0.10	2.30	4.77	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.37	0.08	3.81	2.52	3
ハチ始点	-1.19	0.10	2.28	1.19	3
中 央	-2.36	0.10	4.59	2.33	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.26	0.05	1.66	3.98	1
ハチ始点	2.05	0.07	4.56	6.68	1
中 央	5.75	0.07	2.29	8.11	1
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.26	0.05	3.80	1.59	1
ハチ始点	-2.05	0.07	2.28	0.30	1
中 央	-5.75	0.07	4.58	-1.10	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	-26.926	0.82	4.79	3.4	0.0	0.000	0.000	1
ハチ始点	-14.935	-0.39	7.42	0.9	1.8	0.110	0.450	1
中 央	41.916	-3.09	10.15	4.2	64.9	4.058	2.101	1

----- 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 ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 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	6612	18.839	73.037	629.09	2.82	0.48	-0.078	3
τ 点	100.0	4050	18.839	58.017	615.77	3.53	0.48	-0.065	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	-5.635	-14.310	-43.101	-33.907	-43.101	1
ハチ始点	-3.135	-7.928	-23.895	-18.807	-23.895	1
中 央	5.366	25.683	71.183	52.783	71.183	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	3.567	13.0	19.5	0.069	0.007	100.40	2.3	1
ハチ始点	8.660	3.567	8.0	14.5	0.069	0.012	60.47	2.5	1
中 央	8.660	6.335	10.0	14.5	0.069	0.010	85.83	1.2	1
$Ppb > Ppd$						$Sf > 1.0$	CHECK OK		

5.2 底版

5.2.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm 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	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 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	2.50	2.835	240000	1.50	外 側
ハチ始点	φ 19	2.50	2.835	240000	-1.00	外 側
τ 点	φ 19	2.50	2.835	240000	-1.00	外 側
中 央	φ 19	2.50	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	2.74	-0.23	76.94	25.40	744.22	0.879	3
ハチ始点	846.56	3.46	0.17	93.03	25.40	728.14	0.860	3
τ 点	846.56	3.46	0.08	91.67	25.40	729.50	0.862	3
中 央	846.56	3.46	-0.31	85.62	25.40	735.55	0.869	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	2.74	-0.23	76.94	25.40	744.22	0.879	3
ハチ始点	846.56	3.46	0.17	93.03	25.40	728.14	0.860	3
τ 点	846.56	3.46	0.08	91.67	25.40	729.50	0.862	3
中 央	846.56	3.46	-0.31	85.62	25.40	735.55	0.869	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	846.56	2.74	-0.23	76.94	25.40	744.22	0.879	3
ハチ始点	846.56	3.46	0.17	93.03	25.40	728.14	0.860	3
τ 点	846.56	3.46	0.08	91.67	25.40	729.50	0.862	4
中 央	846.56	3.46	-0.31	85.62	25.40	735.55	0.869	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	2.74	-0.23	76.94	25.40	744.22	0.879	3
ハチ始点	846.56	3.46	0.17	93.03	25.40	728.14	0.860	3
τ 点	846.56	3.46	0.08	91.67	25.40	729.50	0.862	4
中 央	846.56	3.46	-0.31	85.62	25.40	735.55	0.869	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	1.74	0.12	1.40	3.26	3
ハチ始点	1.55	0.16	3.82	5.53	3
中 央	2.82	0.16	1.93	4.91	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.74	0.12	3.19	1.57	3
ハチ始点	-1.55	0.16	1.91	0.51	3
中 央	-2.82	0.16	3.86	1.19	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.60	0.12	1.40	4.12	3
ハチ始点	2.10	0.16	3.82	6.08	3
中 央	5.21	0.16	1.93	7.29	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.60	0.12	3.19	0.71	3
ハチ始点	-2.10	0.16	1.91	-0.03	3
中 央	-5.21	0.16	3.86	-1.19	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	-30.947	-0.15	5.07	0.7	0.5	0.033	0.341	3
ハッチ始点	-15.286	-0.71	6.86	1.7	6.0	0.374	0.843	3
中 央	37.955	-2.96	9.17	4.4	64.9	4.055	2.194	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 ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 5	D 10	— 5	4.951 cm ² /m	> As1 or As2

5.2.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	σ c' (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ i	ケース
端 部	100.0	6612	28.028	82.320	527.47	2.42	0.54	-0.114	3
τ 点	100.0	4050	28.028	65.391	517.03	3.03	0.54	-0.095	3
σ i > -1.00								CHECK OK	

5.2.7 破壊安全度の検討

終局荷重時の曲げモーメント

位 置	M1 (kN・m)	M2 (kN・m)	1.3M1+2.5M2 (kN・m)	1.7(M1+M2) (kN・m)	Md (kN・m)	ケース
端 部	-15.346	-7.578	-38.895	-38.971	-38.971	3
ハッチ始点	-8.391	-2.932	-18.237	-19.249	-19.249	3
中 央	7.847	17.387	53.668	42.897	53.668	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	7.088	3.567	13.0	19.5	0.069	0.006	87.36	2.2	3
ハッチ始点	7.088	3.567	8.0	14.5	0.069	0.010	53.73	2.8	3
中 央	7.088	4.951	10.0	14.5	0.069	0.008	70.85	1.3	1
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	-19.945	60.290	33.08	8.00	24.768	1
	上ハチ点	-18.123	60.993	29.71	5.50	21.477	1
側壁	中 間	-11.528	65.691	17.55	5.50	15.141	1
	下ハチ点	-19.081	81.617	23.38	5.50	23.570	3
	下端部	-22.924	82.320	27.85	8.00	29.510	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	24.768	8.77	12.27	23.00	5.076
	上ハチ点	21.477	8.17	11.67	18.00	6.751
側壁	中 間	15.141	6.86	10.36	18.00	3.201
	下ハチ点	23.570	8.55	12.05	18.00	6.555
	下端部	29.510	9.57	13.07	23.00	5.486
$d + d' < T$					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 - 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 _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	8.133	7.177	4.03	103.9	0.0
	上ハチ点	100.00	8.133	5.760	5.93	134.9	0.0
	中間	100.00	8.133	6.486	3.78	70.1	0.0
	下ハチ点	100.00	8.133	6.033	6.26	131.7	0.0
	下端部	100.00	8.133	7.473	4.64	112.1	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	56.641	14.095	58.017	31.825				
	M			-2.939					
	N			18.839					
	最大			○					
底版 τ点	S	55.266	21.469	65.391	39.199				
	M			-4.091					
	N			28.028					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-10.854	-11.842	-14.782	-18.457				
	M				-7.397				
	N				41.260				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	10.711	17.073	20.012	23.688				
	M				-8.858				
	N				48.152				
	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鋼棒の偏心率＜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	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-5	3.567	0.246	0.946
底版 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D10-5	3.567	0.246	0.946
側壁上 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.561	1.237
側壁下 τ 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 ²)	Z (m ⁴)	ep (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 τ 点	-2.939	615.8	18.839	0.180	0.00540	-0.01	12.881	2.000
底版 τ 点	-4.091	517.0	28.028	0.180	0.00540	-0.01	11.181	2.000
側壁上 τ 点	-7.397	0.0	41.260	0.180	0.00540	0.00	1.238	1.167
側壁下 τ 点	-8.858	0.0	48.152	0.180	0.00540	0.00	1.445	1.163

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	0.946	2.000	0.715
底版 τ 点	0.270	1.400	0.946	2.000	0.715
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.237	1.167	0.546
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.237	1.163	0.544

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	58.017	14.5	0.400	0.715
底版 τ 点	65.391	14.5	0.451	0.715
側壁上 τ 点	18.457	14.5	0.127	0.546
側壁下 τ 点	23.688	14.5	0.163	0.544

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以 上