

受付 No.

台帳 No. PM410000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 3100 mm
内 高 (H) 2500 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) 3100 × (H) 2500 × (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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

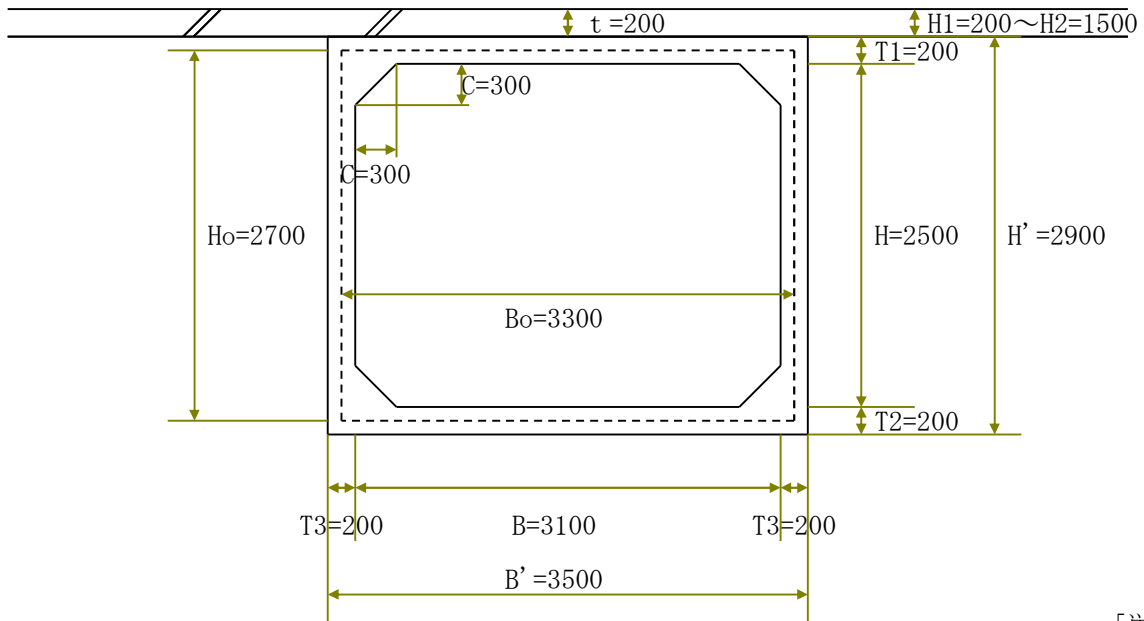
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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	$\phi 23$	$\phi 23$	*****	(mm)
断面積	415.50	415.50	*****	(mm ²)
設計引張力	350000	350000	*****	(N)

1.11 標準断面図



1.12 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

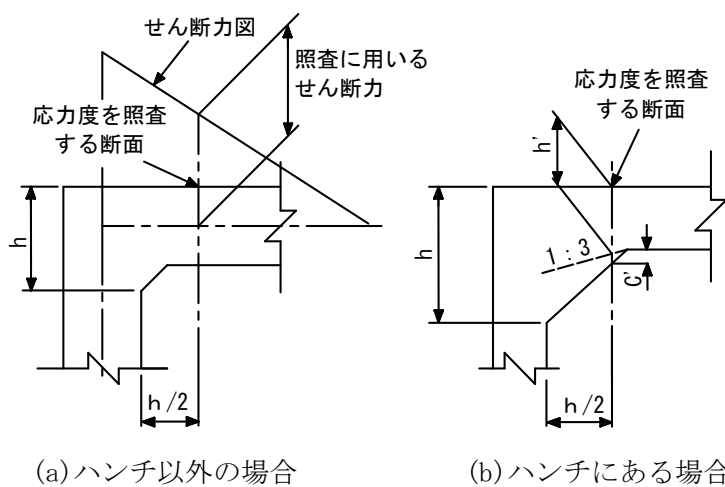
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



b) について

ハ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。

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

3.1.2 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	0.8182	0.8182	0.8182
β	0.8182	0.8182	0.8182
N1	2.8182	2.8182	2.8182
N2	2.8182	2.8182	2.8182
CAD (kN・m/m)	17.020	40.420	17.020
CBC (kN・m/m)	8.531	43.244	8.531
CAB (kN・m/m)	10.771	10.771	13.808
CBA (kN・m/m)	7.819	7.819	10.856
θA	-2.639	-17.139	-0.969
θB	1.189	18.652	-0.481
MAB (kN・m/m)	-14.860	-26.397	-16.227
MAD (kN・m/m)	14.860	26.397	16.227
MBA (kN・m/m)	7.558	27.983	8.924
MBC (kN・m/m)	-7.558	-27.983	-8.924

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)	15.510	58.055	15.510
SCB	(kN/m)	-15.510	-58.055	-15.510
Mmax	(kN・m/m)	5.238	48.631	3.871
SAD	(kN/m)	30.945	73.490	30.945
SDA	(kN/m)	-30.945	-73.490	-30.945
Mmax	(kN・m/m)	10.669	34.233	9.302
SAB	(kN/m)	28.827	25.535	35.577
SBA	(kN/m)	-12.483	-15.775	-19.233
x	(m)	1.145	1.145	*****
		1.349	*****	1.349
Mmax	(kN・m/m)	2.405	-12.902	*****
Mmax	(kN・m/m)	2.733	*****	5.923

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

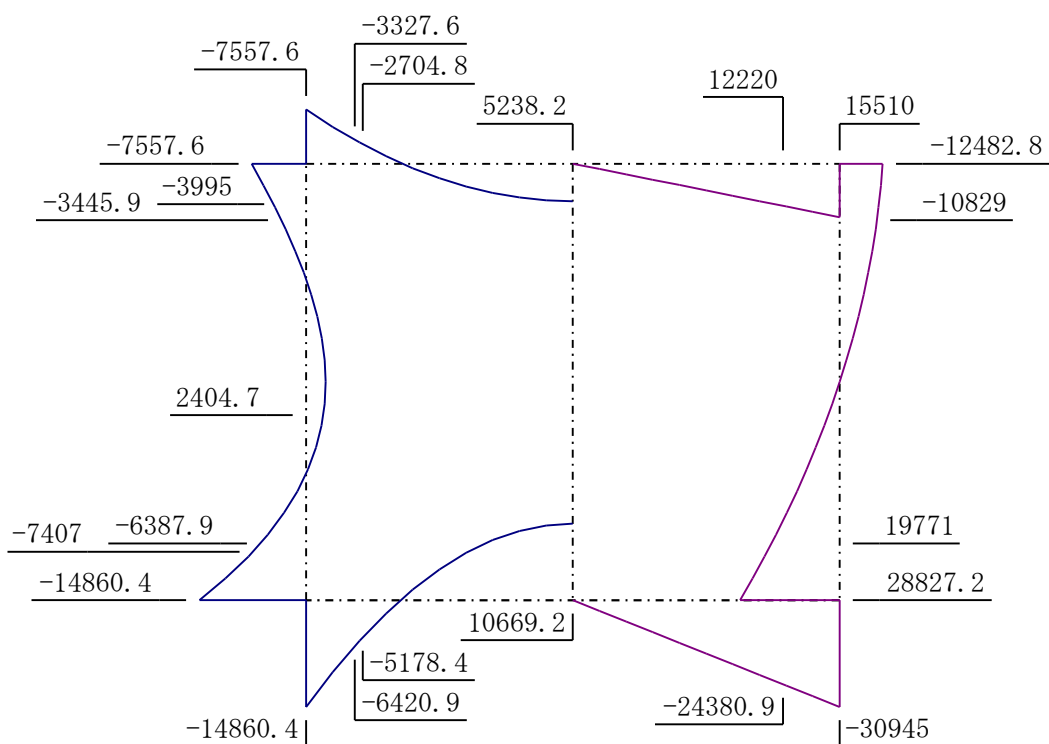
注 2) 底版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $q_v = q_v'$ とする。

(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	-7558	15510	12483
	2 ハッチ始点	0.400	-3328	***	12483
	S2 τ点	0.350	-2705	12220	12483
	1 中央	1.650	5238	0	12483
底版	9, S9 端部	0.100	-14860	30945	28827
	10 ハッチ始点	0.400	-6421	***	28827
	S10 τ点	0.350	-5178	24381	28827
	11 中央	1.650	10669	0	28827
側壁	4, S4 上端部	2.600	-7558	-12483	15510
	5 上ハッチ点	2.300	-3995	***	17225
	S5 上τ点	2.350	-3446	-10829	17511
	6 中間	1.145	2405	*****	24399
		1.349	2733	*****	23233
	S7 下τ点	0.350	-6388	19771	28944
	7 下ハッチ点	0.400	-7407	***	29230
	8, S8 下端部	0.100	-14860	28827	30945

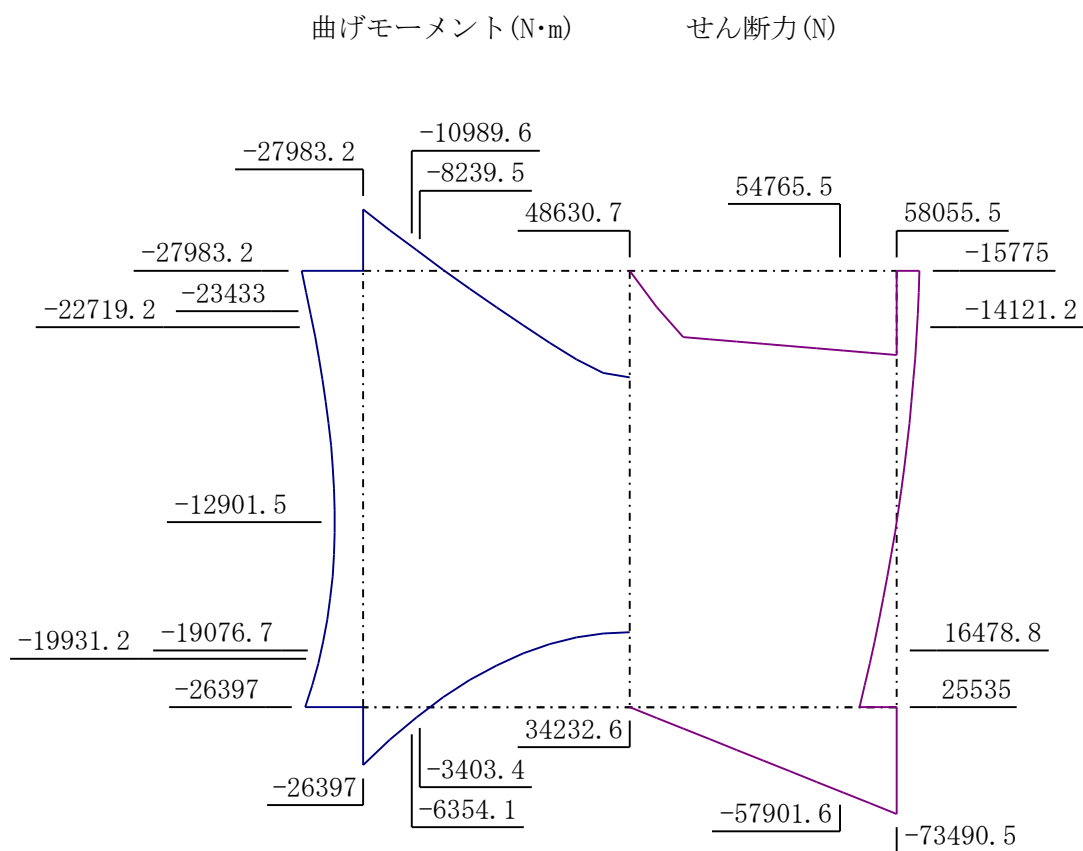
曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



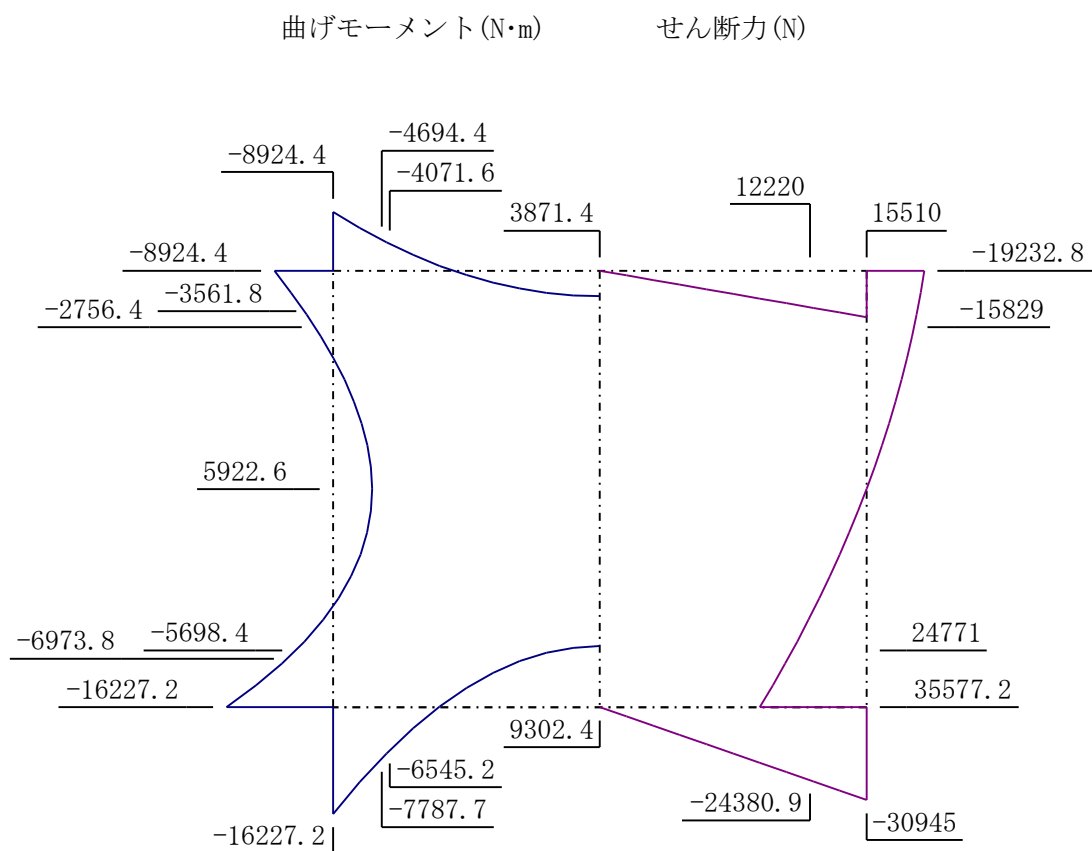
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

		[/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	-27983	58056	15775
	2 ハッチ始点	0.400	-10990	***	15775
	S2 τ 点	0.350	-8240	54766	15775
	1 中 央	1.650	48631	0	15775
底版	9, S9 端 部	0.100	-26397	73491	25535
	10 ハッチ始点	0.400	-6354	***	25535
	S10 τ 点	0.350	-3403	57902	25535
	11 中 央	1.650	34233	0	25535
側壁	4, S4 上 端部	2.600	-27983	-15775	58056
	5 上ハッチ点	2.300	-23433	***	59771
	S5 上 τ 点	2.350	-22719	-14121	60056
	6 中 間	1.145	-12902	0	66945
	S7 下 τ 点	0.350	-19077	16479	71490
	7 下ハッチ点	0.400	-19931	***	71776
	8, S8 下 端部	0.100	-26397	25535	73491



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

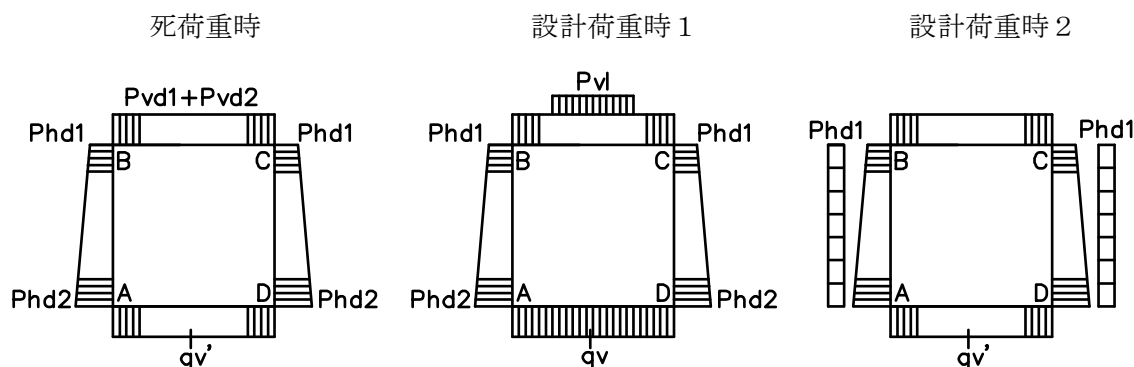
[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-8924	15510	19233
	2 ハチ始点	0.400	-4694	***	19233
	S2 τ 点	0.350	-4072	12220	19233
	1 中 央	1.650	3871	0	19233
底版	9, S9 端 部	0.100	-16227	30945	35577
	10 ハチ始点	0.400	-7788	***	35577
	S10 τ 点	0.350	-6545	24381	35577
	11 中 央	1.650	9302	0	35577
側壁	4, S4 上 端部	2.600	-8924	-19233	15510
	5 上ハチ点	2.300	-3562	***	17225
	S5 上 τ 点	2.350	-2756	-15829	17511
	6 中 間	1.349	5923	0	23233
	S7 下 τ 点	0.350	-5698	24771	28944
	7 下ハチ点	0.400	-6974	***	29230
	8, S8 下 端部	0.100	-16227	35577	30945



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 $Phd1 = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $Phd2 = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (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 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) \} / B_o$



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-3 (kN/m ²)	設計荷重時 2 CASE-4 (kN/m ²)
P_{vd1}	4.900	4.900	4.900
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$Phd1 = Phd1$	14.850	14.850	*****
$Phd1 = Phd1 + P_q$	*****	*****	19.850
$Phd3 = Phd3$	*****	*****	*****
$Phd3 = Phd3 + P_q$	*****	*****	*****
$Phd5 = Phd5$	*****	*****	*****
$Phd5 = Phd5 + P_q$	*****	*****	*****
$Phd2 = Phd2$	39.150	39.150	*****
$Phd2 = Phd2 + P_q$	*****	*****	44.150
$Phd4 = Phd4$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	67.940	*****
$q_{v'}$	42.155	*****	42.155

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1}=0$ とした場合の底版反力。

3.2.2 構造解析

(1) ラーメン係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3)$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3)$$

$$N_1 = 2 + \alpha$$

$$N_2 = 2 + \beta$$

(2) 荷重項

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

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

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60$$

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、 $P_{vl} = 0$
 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

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

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

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
α	0.8182	0.8182	0.8182
β	0.8182	0.8182	0.8182
N1	2.8182	2.8182	2.8182
N2	2.8182	2.8182	2.8182
CAD (kN・m/m)	38.255	61.655	38.255
CBC (kN・m/m)	29.766	53.864	29.766
CAB (kN・m/m)	17.879	17.879	20.916
CBA (kN・m/m)	14.926	14.926	17.964
θ_A	-10.410	-23.380	-8.739
θ_B	8.959	22.113	7.289
MAB (kN・m/m)	-29.738	-42.526	-31.105
MAD (kN・m/m)	29.738	42.526	31.105
MBA (kN・m/m)	22.436	35.772	23.802
MBC (kN・m/m)	-22.436	-35.772	-23.802

3.2.3 各部材の断面力

(1) 頂 版

1) セン断力

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

2) 曲げモーメント

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

(2) 底 版

1) セン断力

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

2) 曲げモーメント

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

(3) 側 壁

1) セン断力

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

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

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。

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

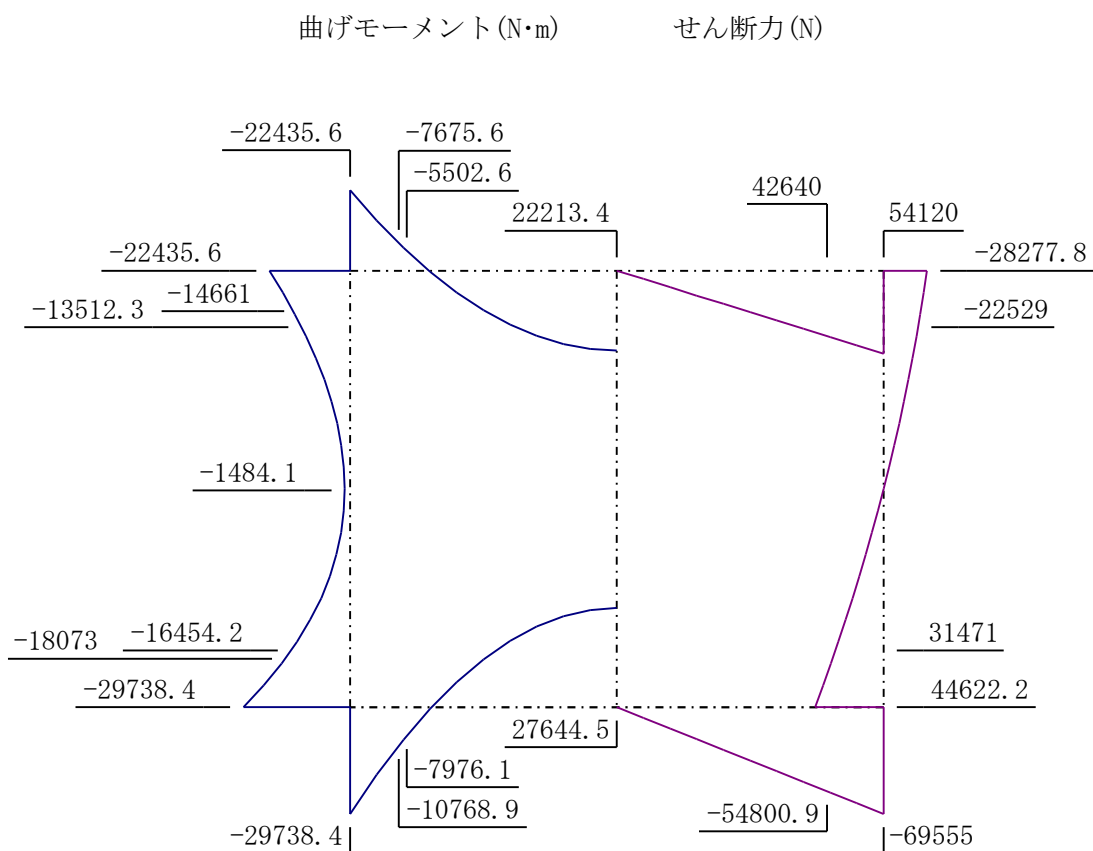
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	54.120	96.665	54.120
SCB (kN/m)	-54.120	-96.665	-54.120
Mmax (kN・m/m)	22.213	45.041	20.847
SAD (kN/m)	69.555	112.100	69.555
SDA (kN/m)	-69.555	-112.100	-69.555
Mmax (kN・m/m)	27.645	49.957	26.278
SAB (kN/m)	44.622	44.419	51.372
SBA (kN/m)	-28.278	-28.481	-35.028
x (m)	1.341	1.341	*****
	1.349	*****	1.349
Mmax (kN・m/m)	-1.484	-14.544	*****
Mmax (kN・m/m)	-1.483	*****	1.706

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。

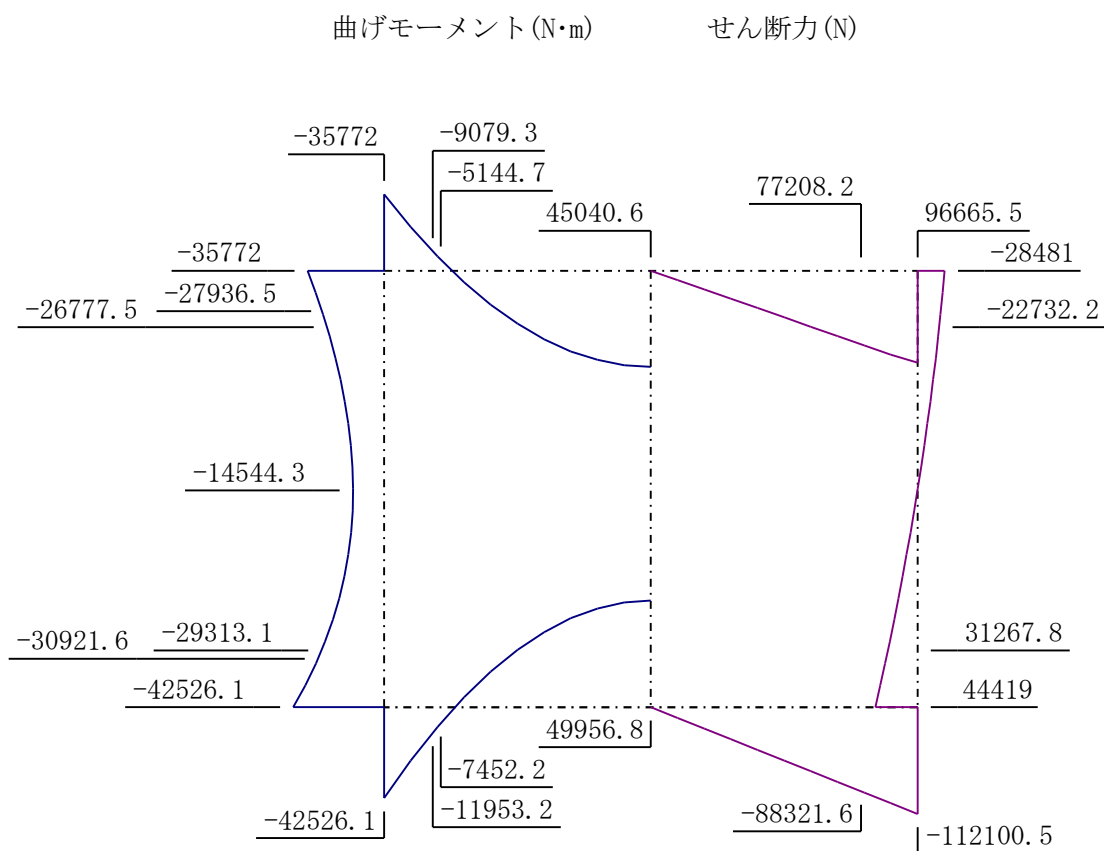
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	-22436	54120	28278
	2 ハッチ始点	0.400	-7676	***	28278
	S2 τ 点	0.350	-5503	42640	28278
	1 中 央	1.650	22213	0	28278
底版	9, S9 端 部	0.100	-29738	69555	44622
	10 ハッチ始点	0.400	-10769	***	44622
	S10 τ 点	0.350	-7976	54801	44622
	11 中 央	1.650	27645	0	44622
側壁	4, S4 上 端部	2.600	-22436	-28278	54120
	5 上ハッチ点	2.300	-14661	***	55835
	S5 上 τ 点	2.350	-13512	-22529	56121
	6 中 間	1.341	-1484	*****	61889
		1.349	-1483	*****	61843
	S7 下 τ 点	0.350	-16454	31471	67554
	7 下ハッチ点	0.400	-18073	***	67840
	8, S8 下 端部	0.100	-29738	44622	69555



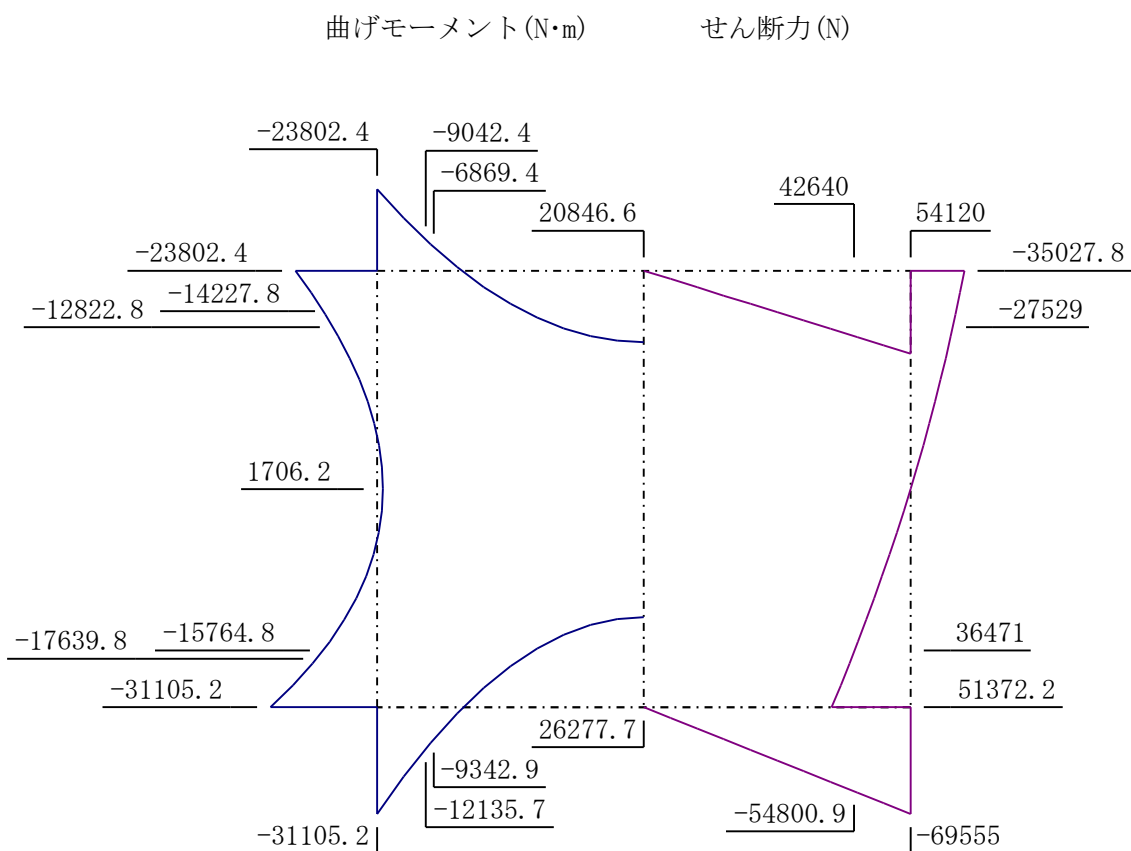
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/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	-35772	96666	28481
	2 ハチ始点	0.400	-9079	***	28481
	S2 τ 点	0.350	***	77208	***
	1 中 央	1.650	45041	0	28481
底版	9, S9 端 部	0.100	-42526	112101	44419
	10 ハチ始点	0.400	-11953	***	44419
	S10 τ 点	0.350	***	88322	***
	11 中 央	1.650	49957	0	44419
側壁	4, S4 上 端部	2.600	-35772	-28481	96666
	5 上ハチ点	2.300	-27937	***	98381
	S5 上 τ点	2.350	***	-22732	***
	6 中 間	1.341	-14544	0	104434
	S7 下 τ点	0.350	***	31268	***
	7 下ハチ点	0.400	-30922	***	110386
	8, S8 下 端部	0.100	-42526	44419	112101



(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	-23802	54120	35028
	2 ハッチ始点	0.400	-9042	***	35028
	S2 τ 点	0.350	***	42640	***
	1 中 央	1.650	20847	0	35028
底版	9, S9 端 部	0.100	-31105	69555	51372
	10 ハッチ始点	0.400	-12136	***	51372
	S10 τ 点	0.350	***	54801	***
	11 中 央	1.650	26278	0	51372
側壁	4, S4 上 端部	2.600	-23802	-35028	54120
	5 上ハッチ点	2.300	-14228	***	55835
	S5 上 τ 点	2.350	***	-27529	***
	6 中 間	1.349	1706	0	61843
	S7 下 τ 点	0.350	***	36471	*****
	7 下ハッチ点	0.400	-17640	***	67840
	8, S8 下 端部	0.100	-31105	51372	69555



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	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ 点	100.00	21.67	2166.7	85152.61	10.83	7860.24
中 央	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67

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 23	3.33	4.155	350000	4.00	外 側
ハチ始点	φ 23	3.33	4.155	350000	-1.00	外 側
τ 点	φ 23	3.33	4.155	350000	-1.00	外 側
中 央	φ 23	3.33	4.155	350000	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	842.36	4.72	-0.40	101.42	25.27	715.66	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.12	125.75	25.27	691.34	0.821	3
τ 点	842.36	5.52	0.06	118.81	25.27	698.28	0.829	3
中 央	842.36	6.01	-0.33	119.19	25.27	697.89	0.829	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.72	-0.40	101.42	25.27	715.66	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.12	125.75	25.27	691.34	0.821	3
τ 点	842.36	5.52	0.06	118.81	25.27	698.28	0.829	3
中 央	842.36	6.01	-0.33	119.19	25.27	697.89	0.829	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	4.72	-0.40	101.42	25.27	715.66	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.05	124.79	25.27	692.30	0.822	1
τ 点	842.36	5.52	0.03	118.32	25.27	698.76	0.830	1
中 央	842.36	6.01	-0.08	122.91	25.27	694.17	0.824	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.72	-0.40	101.42	25.27	715.66	0.850	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.05	124.79	25.27	692.30	0.822	1
τ 点	842.36	5.52	0.03	118.32	25.27	698.76	0.830	1
中 央	842.36	6.01	-0.08	122.91	25.27	694.17	0.824	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	1.50	0.09	0.66	2.25	3
ハチ始点	1.15	0.14	6.22	7.52	3
中 央	3.33	0.14	3.38	6.86	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.50	0.09	5.95	4.55	3
ハチ始点	-1.15	0.14	3.35	2.34	3
中 央	-3.33	0.14	6.28	3.09	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.38	0.09	0.66	3.14	3
ハチ始点	1.65	0.08	6.23	7.96	1
中 央	7.29	0.08	3.36	10.74	1
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.38	0.09	5.95	3.66	3
ハチ始点	-1.65	0.08	3.36	1.79	1
中 央	-7.29	0.08	6.25	-0.97	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	-48.292	2.86	4.01	12.5	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-14.836	1.24	8.56	2.5	0.0	0.000	0.000	1
中 央	65.651	-3.49	13.32	4.2	72.5	4.533	2.077	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)	σ c' (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ i	ケース
端 部	100.0	11250	28.481	96.665	991.20	3.40	0.48	-0.067	3
τ 点	100.0	5868	28.481	77.208	967.12	4.60	0.53	-0.061	3
σ 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	-22.436	-13.336	-62.507	-60.812	-62.507	3
ハッチ始点	-3.328	-7.662	-23.481	-18.682	-23.481	1
中 央	5.238	43.392	115.291	82.672	115.291	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	13.850	8.447	19.0	26.5	0.069	0.008	249.99	4.0	3
ハッチ始点	13.850	8.447	9.0	16.5	0.069	0.018	114.17	4.9	1
中 央	13.850	8.447	11.0	16.5	0.069	0.015	136.35	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	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ 点	100.00	21.67	2166.7	85152.61	10.83	7860.24
中 央	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67

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 23	3.33	4.155	350000	4.00	外 側
ハチ始点	φ 23	3.33	4.155	350000	-1.00	外 側
τ 点	φ 23	3.33	4.155	350000	-1.00	外 側
中 央	φ 23	3.33	4.155	350000	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	842.36	4.72	-0.53	99.49	25.27	717.60	0.852	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.16	126.42	25.27	690.66	0.820	3
τ 点	842.36	5.52	0.09	119.23	25.27	697.86	0.828	3
中 央	842.36	6.01	-0.41	118.00	25.27	699.09	0.830	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.72	-0.53	99.49	25.27	717.60	0.852	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.16	126.42	25.27	690.66	0.820	3
τ 点	842.36	5.52	0.09	119.23	25.27	697.86	0.828	3
中 央	842.36	6.01	-0.41	118.00	25.27	699.09	0.830	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	4.72	-0.53	99.49	25.27	717.60	0.852	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.16	126.42	25.27	690.66	0.820	4
τ 点	842.36	5.52	0.09	119.22	25.27	697.86	0.828	4
中 央	842.36	6.01	-0.41	118.00	25.27	699.09	0.830	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	4.72	-0.53	99.49	25.27	717.60	0.852	3
ハチ始点	842.36	6.01	0.16	126.42	25.27	690.66	0.820	4
τ 点	842.36	5.52	0.09	119.22	25.27	697.86	0.828	4
中 央	842.36	6.01	-0.41	118.00	25.27	699.09	0.830	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	1.98	0.15	0.66	2.79	3
ハチ始点	1.62	0.22	6.22	8.06	3
中 央	4.15	0.22	3.39	7.76	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.98	0.15	5.96	4.13	3
ハチ始点	-1.62	0.22	3.35	1.96	3
中 央	-4.15	0.22	6.29	2.37	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.84	0.15	0.66	3.65	3
ハチ始点	1.82	0.26	6.22	8.29	4
中 央	7.49	0.22	3.39	11.10	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.84	0.15	5.96	3.28	3
ハチ始点	-1.82	0.26	3.35	1.78	4
中 央	-7.49	0.22	6.29	-0.98	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	-57.410	2.34	4.69	10.0	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-16.383	1.24	9.02	2.4	0.0	0.000	0.000	4
中 央	67.442	-3.52	13.80	4.1	71.6	4.477	2.033	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)	σ c' (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ i	ケース
端 部	100.0	11250	44.419	112.100	993.87	3.46	0.56	-0.089	3
τ 点	100.0	5868	44.419	88.322	966.54	4.67	0.61	-0.078	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	-29.738	-12.788	-70.629	-72.294	-72.294	3
ハッチ始点	-10.769	-1.367	-17.417	-20.631	-20.631	4
中 央	27.645	22.312	91.719	84.927	91.719	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	13.850	8.447	19.0	26.5	0.069	0.008	249.99	3.5	3
ハッチ始点	13.850	8.447	9.0	16.5	0.069	0.018	114.17	5.5	4
中 央	13.850	8.447	11.0	16.5	0.069	0.015	136.35	1.5	3
Ppb > Ppd Sf > 1.0								CHECK OK	

6 断面力集計表

各ケースより断面力の最大値を抽出する。

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

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

但し、軸力は

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

とし、側壁中間点の軸力は側壁自重による軸力を考慮する。

[/単位長]

部材	点	M (kN・m)	N (kN)	e (cm)	c (cm)	Ms (kN・m)	CASE M
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	上端部	-35.772	96.665	37.01	11.50	46.889	3
	上ハチ点	-27.936	98.380	28.40	6.50	34.331	3
側壁	中 間	-12.902	66.945	19.27	6.50	17.253	1
	下ハチ点	-30.922	110.385	28.01	6.50	38.097	3
	下端部	-42.526	112.100	37.94	11.50	55.418	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	46.889	12.06	15.56	30.00	6.293
	上ハチ点	34.331	10.32	13.82	20.00	8.877
側壁	中 間	17.253	7.32	10.82	20.00	3.087
	下ハチ点	38.097	10.87	14.37	20.00	9.884
	下端部	55.418	13.12	16.62	30.00	7.697
$d + d' < T$					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	10.843	10.099	4.01	97.8	0.0
	上ハチ点	100.00	10.843	7.148	6.80	133.5	0.0
	中間	100.00	10.843	7.824	3.17	52.8	0.0
	下ハチ点	100.00	10.843	7.167	7.53	147.2	0.0
	下端部	100.00	10.843	10.037	4.77	117.3	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	54.766	12.220	77.208	42.640				
	M			-5.145					
	N			28.481					
	最大			○					
底版 τ点	S	57.902	24.381	88.322	54.801				
	M			-7.452					
	N			44.419					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-14.121	-15.829	-22.732	-27.529				
	M				-12.823				
	N				56.121				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	16.479	24.771	31.268	36.471				
	M				-15.765				
	N				67.554				
	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	21.7	3.5	18.2	1.400	D13-6.7	8.447	0.465	1.165
底版 τ 点	21.7	3.5	18.2	1.400	D13-6.7	8.447	0.465	1.165
側壁上 τ 点	21.7	3.5	18.2	1.400	D16-3.3 D13-3.3	10.843	0.597	1.258
側壁下 τ 点	21.7	3.5	18.2	1.400	D16-3.3 D13-3.3	10.843	0.597	1.258

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	-5.145	967.1	28.481	0.217	0.00786	-0.01	26.390	2.000
底版 τ 点	-7.452	966.5	44.419	0.217	0.00786	-0.01	26.952	2.000
側壁上 τ 点	-12.823	0.0	56.121	0.217	0.00786	0.00	2.033	1.159
側壁下 τ 点	-15.765	0.0	67.554	0.217	0.00786	0.00	2.447	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	1.165	2.000	0.881
底版 τ 点	0.270	1.400	1.165	2.000	0.881
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.258	1.159	0.551
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.258	1.155	0.549

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	77.208	18.2	0.425	0.881
底版 τ 点	88.322	18.2	0.486	0.881
側壁上 τ 点	27.529	18.2	0.152	0.551
側壁下 τ 点	36.471	18.2	0.201	0.549

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上