

受付 No.

台帳 No. KM402002

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 4000 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= 0.500 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) 4000 × (H) 2500 × (L) 1500 [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)

: $\beta = 1.0$

(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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

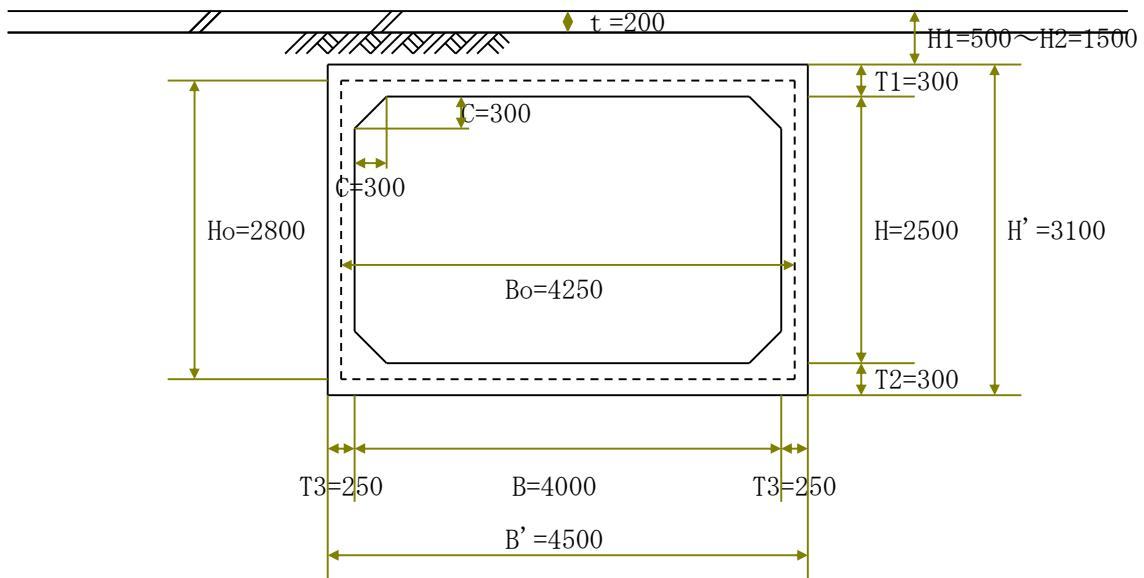
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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

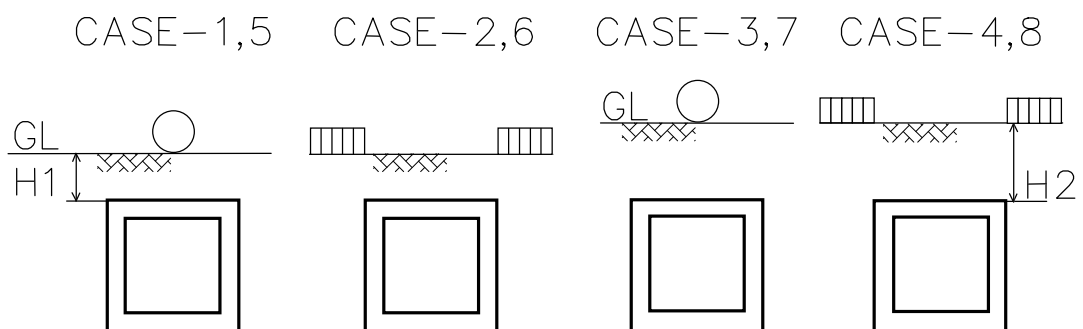
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 23$	*****	(mm)
断面積	346.40	415.50	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	350000	*****	(N)

1.11 標準断面図



[単位:mm]

1.12 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

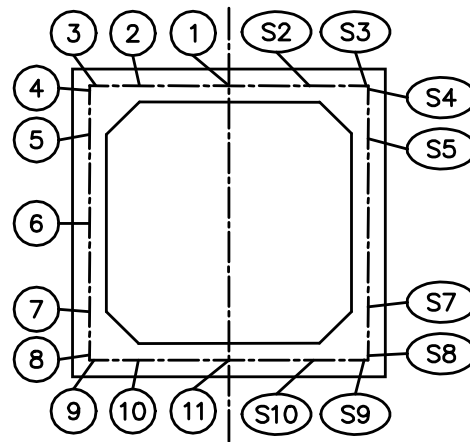
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

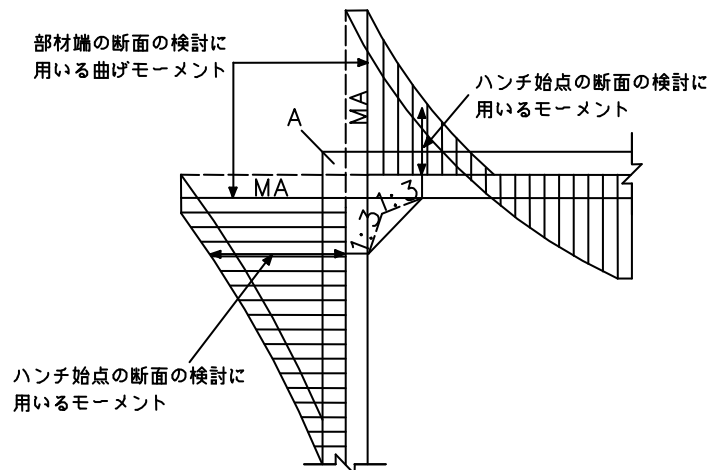
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

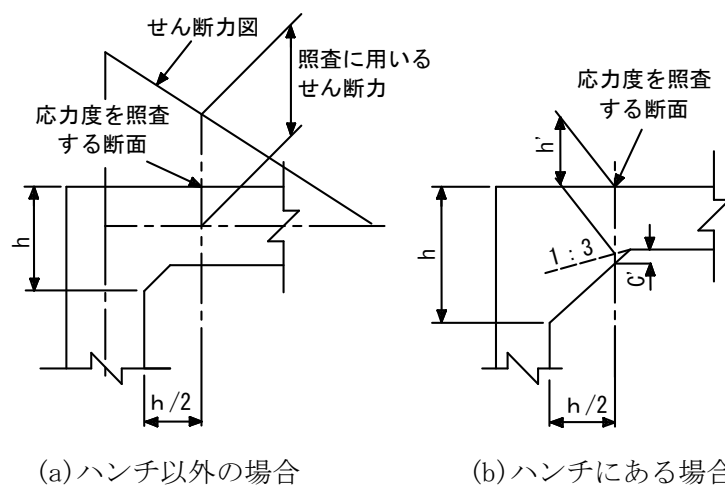
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



b) について

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

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

3 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 $u = a + 2 \times H1 = 1.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 1.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 130.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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}	7.350	7.350	7.350
P_{vd2}	9.900	9.900	9.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	6.300	6.300	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	11.300
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	31.500	31.500	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	36.500
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	78.788	0.000
q_v	*****	48.604	*****
$q_{v'}$	26.358	*****	26.358

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	1.1384	1.1384	1.1384
β	1.1384	1.1384	1.1384
N1	3.1384	3.1384	3.1384
N2	3.1384	3.1384	3.1384
CAD (kN・m/m)	39.675	73.159	39.675
CBC (kN・m/m)	25.965	74.857	25.965
CAB (kN・m/m)	13.994	13.994	17.261
CBA (kN・m/m)	10.702	10.702	13.968
θ_A	-10.832	-28.231	-9.304
θ_B	8.315	29.437	6.787
MAB (kN・m/m)	-27.343	-41.020	-29.082
MAD (kN・m/m)	27.343	41.020	29.082
MBA (kN・m/m)	16.499	41.345	18.238
MBC (kN・m/m)	-16.499	-41.345	-18.238

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。

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

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

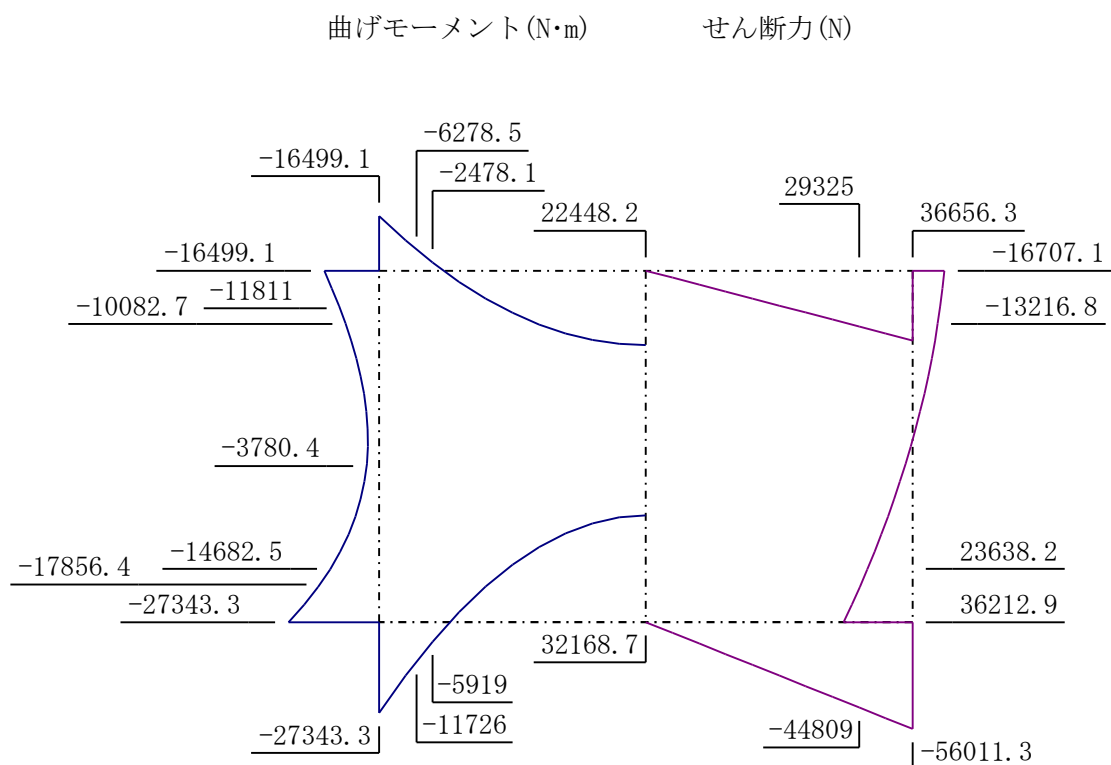
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	36.656	83.929	36.656
SCB	(kN/m)	-36.656	-83.929	-36.656
Mmax	(kN・m/m)	22.448	83.875	20.709
SAD	(kN/m)	56.011	103.284	56.011
SDA	(kN/m)	-56.011	-103.284	-56.011
Mmax	(kN・m/m)	32.169	68.719	30.430
SAB	(kN/m)	36.213	32.224	43.213
SBA	(kN/m)	-16.707	-20.696	-23.707
x	(m)	1.244	1.244	*****
		1.439	*****	1.439
Mmax	(kN・m/m)	-3.780	-22.419	*****
Mmax	(kN・m/m)	-3.377	*****	-0.220

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。

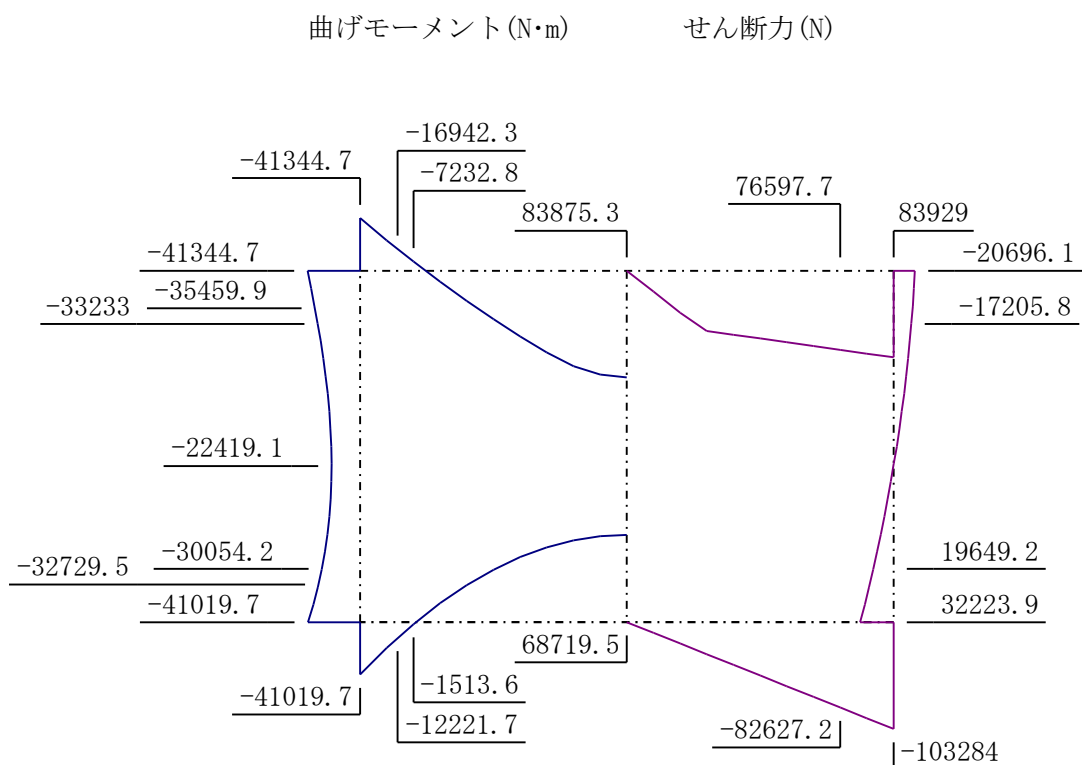
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

[/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	0.125	-16499	36656	16707
	2 ハチ始点	0.425	-6279	***	16707
	S2 τ 点	0.425	-2478	29325	16707
	1 中 央	2.125	22448	0	16707
底版	9, S9 端 部	0.125	-27343	56011	36213
	10 ハチ始点	0.425	-11726	***	36213
	S10 τ 点	0.425	-5919	44809	36213
	11 中 央	2.125	32169	0	36213
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-16499	-16707	36656
	5 上ハチ点	2.350	-11811	***	38730
	S5 上 τ点	2.375	-10083	-13217	39594
	6 中 間	1.244	-3780	*****	47412
		1.439	-3377	*****	46064
	S7 下 τ点	0.425	-14683	23638	53073
	7 下ハチ点	0.450	-17856	***	53938
	8, S8 下 端部	0.150	-27343	36213	56011



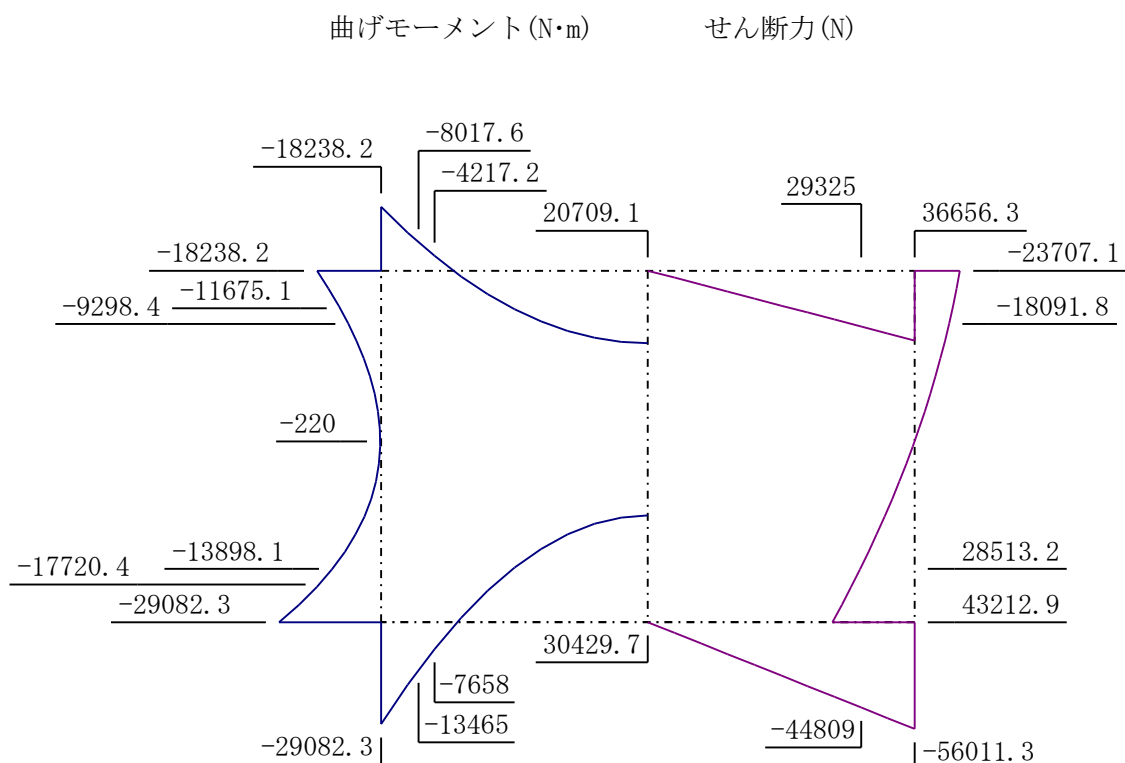
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	0.125	-41345	83929	20696
	2 ハチ始点	0.425	-16942	***	20696
	S2 τ 点	0.425	-7233	76598	20696
	1 中 央	2.125	83875	0	20696
底版	9, S9 端 部	0.125	-41020	103284	32224
	10 ハチ始点	0.425	-12222	***	32224
	S10 τ 点	0.425	-1514	82627	32224
	11 中 央	2.125	68720	0	32224
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-41345	-20696	83929
	5 上ハチ点	2.350	-35460	***	86003
	S5 上 τ 点	2.375	-33233	-17206	86867
	6 中 間	1.244	-22419	0	94685
	S7 下 τ 点	0.425	-30054	19649	100346
	7 下ハチ点	0.450	-32730	***	101210
	8, S8 下 端部	0.150	-41020	32224	103284



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

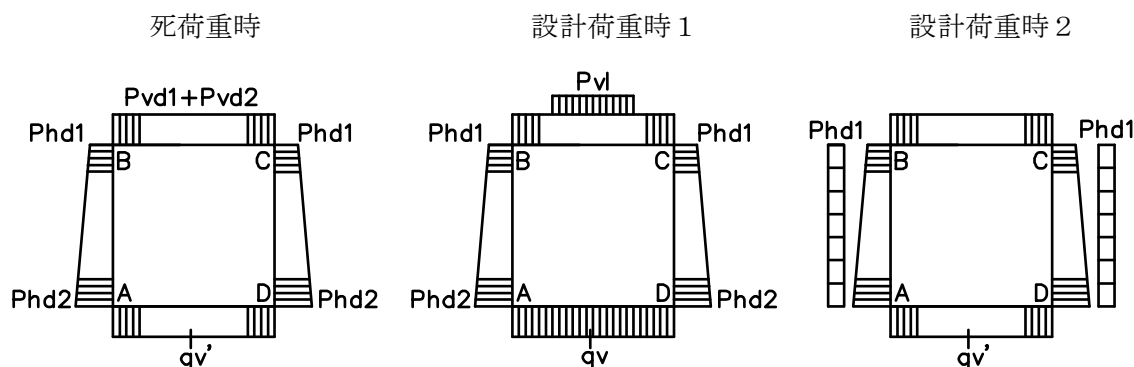
[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.125	-18238	36656	23707
	2 ハチ始点	0.425	-8018	***	23707
	S2 τ 点	0.425	-4217	29325	23707
	1 中 央	2.125	20709	0	23707
底版	9, S9 端 部	0.125	-29082	56011	43213
	10 ハチ始点	0.425	-13465	***	43213
	S10 τ 点	0.425	-7658	44809	43213
	11 中 央	2.125	30430	0	43213
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-18238	-23707	36656
	5 上ハチ点	2.350	-11675	***	38730
	S5 上 τ 点	2.375	-9298	-18092	39594
	6 中 間	1.439	-220	0	46064
	S7 下 τ 点	0.425	-13898	28513	53073
	7 下ハチ点	0.450	-17720	***	53938
	8, S8 下 端部	0.150	-29082	43213	56011



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}	7.350	7.350	7.350
P _{vd2}	27.900	27.900	27.900
Phd1 = Phd1	15.300	15.300	*****
Phd1 = Phd1 + P _q	*****	*****	20.300
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + P _q	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + P _q	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	40.500	40.500	*****
Phd2 = Phd2 + P _q	*****	*****	45.500
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	26.591	0.000
q _v	*****	64.380	*****
q _{v'}	44.358	*****	44.358

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
- $$\alpha = (H_o \times T1^3) / (B_o \times T3^3)$$
- $$\beta = (H_o \times T2^3) / (B_o \times T3^3)$$
- $$N1 = 2 + \alpha$$
- $$N2 = 2 + \beta$$
- (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
- $$\theta A = \{N1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N1 \times N2 - 1)$$
- $$\theta B = \{N2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N1 \times N2 - 1)$$
- (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	1.1384	1.1384	1.1384
β	1.1384	1.1384	1.1384
N1	3.1384	3.1384	3.1384
N2	3.1384	3.1384	3.1384
CAD (kN・m/m)	66.768	96.905	66.768
CBC (kN・m/m)	53.059	89.721	53.059
CAB (kN・m/m)	19.874	19.874	23.141
CBA (kN・m/m)	16.582	16.582	19.848
θA	-20.752	-35.582	-19.224
θB	18.235	34.642	16.707
MAB (kN・m/m)	-43.143	-56.397	-44.883
MAD (kN・m/m)	43.143	56.397	44.883
MBA (kN・m/m)	32.299	50.283	34.038
MBC (kN・m/m)	-32.299	-50.283	-34.038

3.2.3 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。

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

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

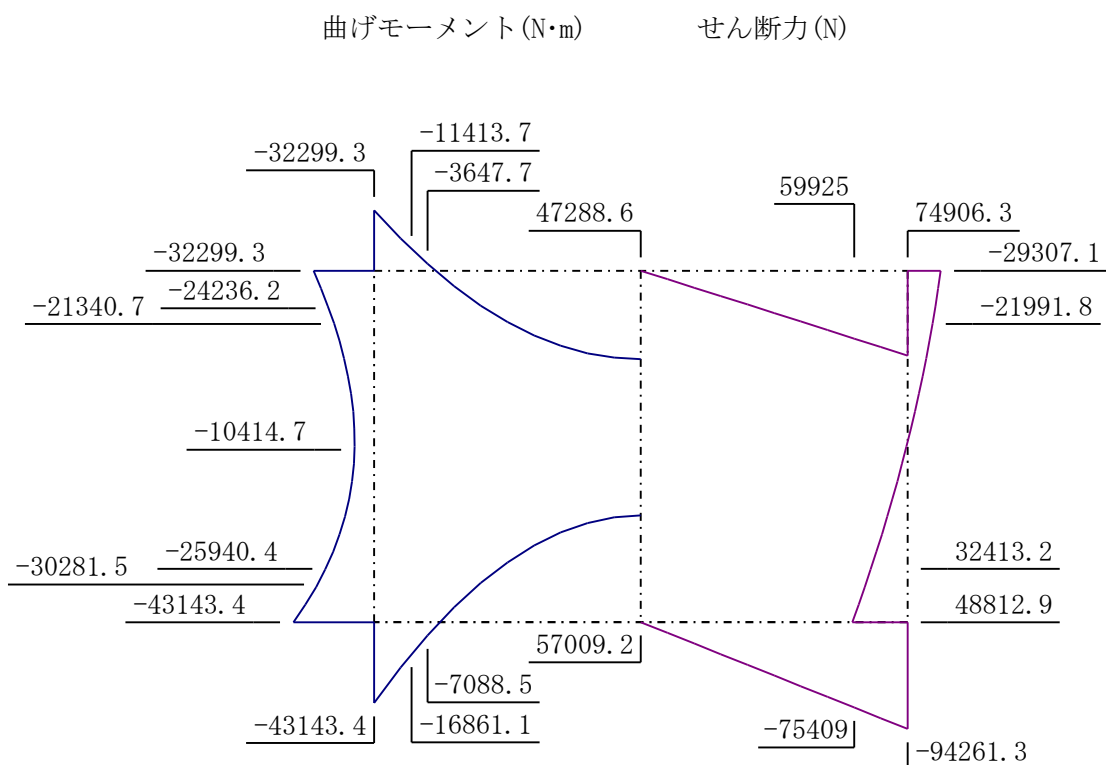
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	74.906	117.452	74.906
SCB (kN/m)	-74.906	-117.452	-74.906
Mmax (kN・m/m)	47.289	85.678	45.550
SAD (kN/m)	94.261	136.807	94.261
SDA (kN/m)	-94.261	-136.807	-94.261
Mmax (kN・m/m)	57.009	88.960	55.270
SAB (kN/m)	48.813	47.123	55.813
SBA (kN/m)	-29.307	-30.997	-36.307
x (m)	1.373	1.373	*****
	1.428	*****	1.428
Mmax (kN・m/m)	-10.415	-25.988	*****
Mmax (kN・m/m)	-10.364	*****	-7.205

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。

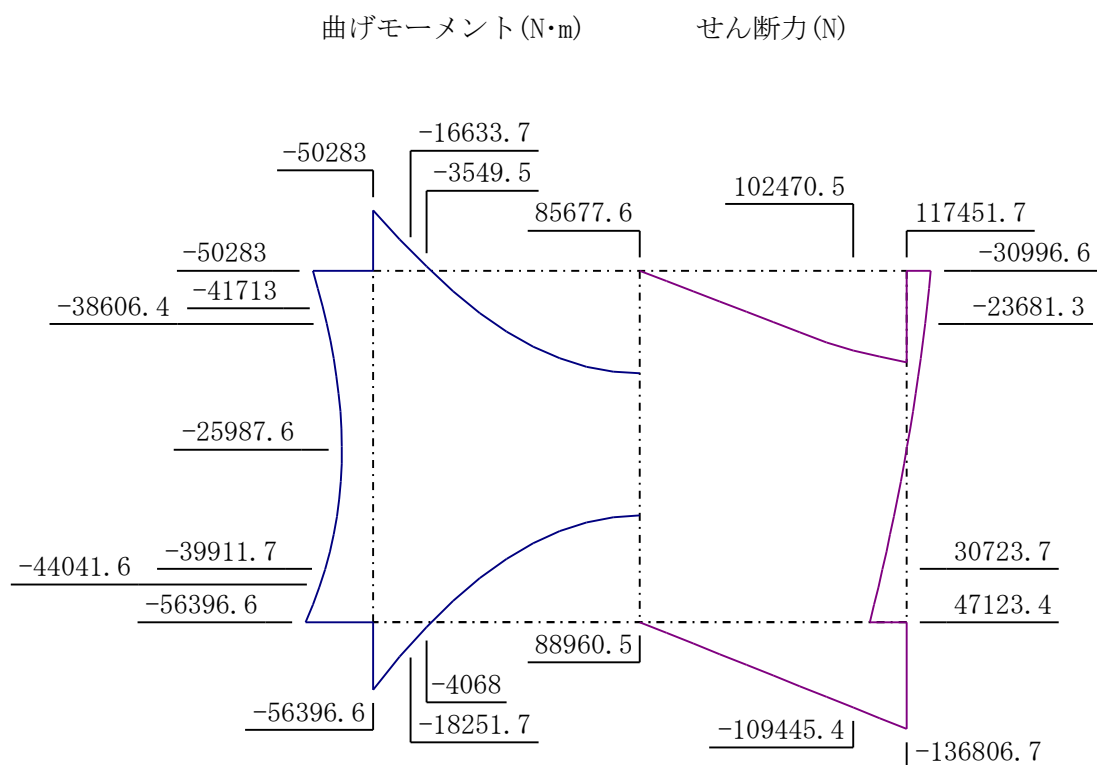
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	0.125	-32299	74906	29307
	2 ハッチ始点	0.425	-11414	***	29307
	S2 τ 点	0.425	-3648	59925	29307
	1 中 央	2.125	47289	0	29307
底版	9, S9 端 部	0.125	-43143	94261	48813
	10 ハッチ始点	0.425	-16861	***	48813
	S10 τ 点	0.425	-7089	75409	48813
	11 中 央	2.125	57009	0	48813
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-32299	-29307	74906
	5 上ハッチ点	2.350	-24236	***	76980
	S5 上 τ 点	2.375	-21341	-21992	77844
	6 中 間	1.373	-10415	*****	84770
		1.428	-10364	*****	84390
	S7 下 τ 点	0.425	-25940	32413	91323
	7 下ハッチ点	0.450	-30282	***	92188
	8, S8 下 端部	0.150	-43143	48813	94261



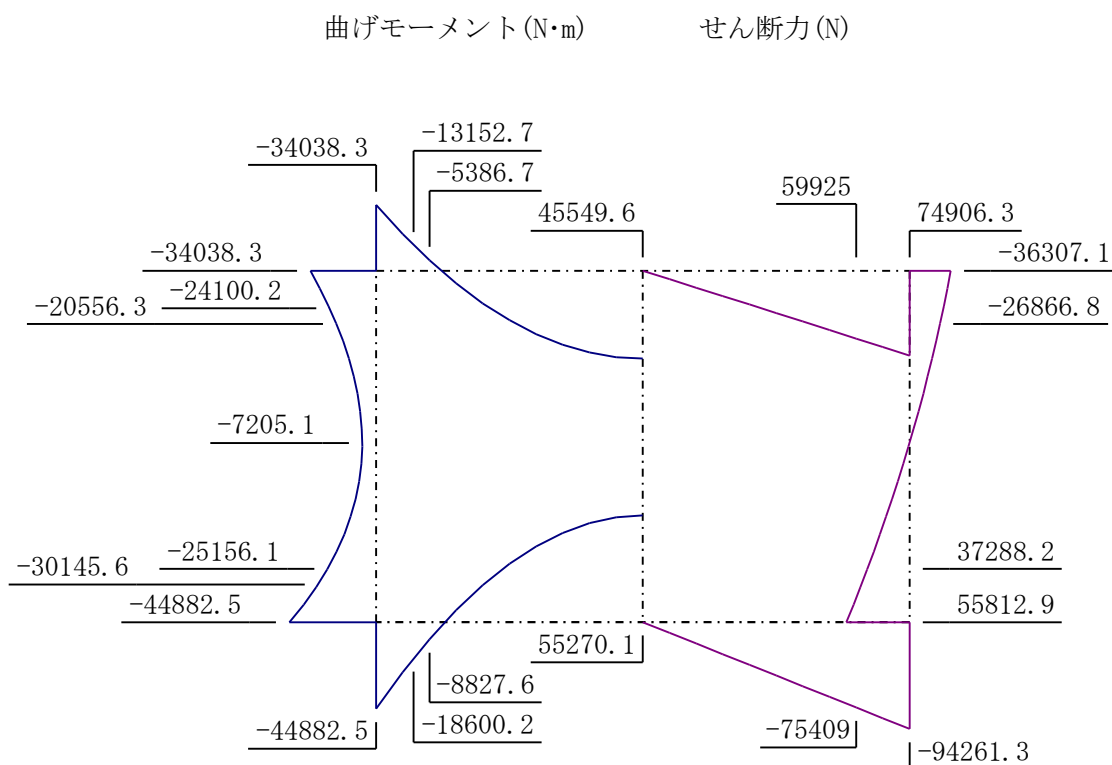
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

		[/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	0.125	-50283	117452	30997
	2 ハッチ始点	0.425	-16634	***	30997
	S2 τ 点	0.425	***	102471	***
	1 中 央	2.125	85678	0	30997
底版	9, S9 端 部	0.125	-56397	136807	47123
	10 ハッチ始点	0.425	-18252	***	47123
	S10 τ 点	0.425	***	109445	***
	11 中 央	2.125	88961	0	47123
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-50283	-30997	117452
	5 上ハッチ点	2.350	-41713	***	119526
	S5 上 τ 点	2.375	***	-23681	***
	6 中 間	1.373	-25988	0	127316
	S7 下 τ 点	0.425	***	30724	***
	7 下ハッチ点	0.450	-44042	***	134733
	8, S8 下 端部	0.150	-56397	47123	136807



(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	0.125	-34038	74906	36307
	2 ハチ始点	0.425	-13153	***	36307
	S2 τ 点	0.425	***	59925	***
	1 中 央	2.125	45550	0	36307
底版	9, S9 端 部	0.125	-44883	94261	55813
	10 ハチ始点	0.425	-18600	***	55813
	S10 τ 点	0.425	***	75409	***
	11 中 央	2.125	55270	0	55813
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-34038	-36307	74906
	5 上ハチ点	2.350	-24100	***	76980
	S5 上 τ点	2.375	***	-26867	***
	6 中 間	1.428	-7205	0	84390
	S7 下 τ点	0.425	***	37288	*****
	7 下ハチ点	0.450	-30146	***	92188
	8, S8 下 端部	0.150	-44883	55813	94261



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鋼棒偏心量	(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	40.00	4000.0	533333.33	20.00	26666.67
ハチ始点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
τ 点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
中 央	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00

5.1.2 使用 P C 鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端 部	φ 21	3.33	3.464	290000	2.50	外 側
ハチ始点	φ 21	3.33	3.464	290000	-2.50	外 側
τ 点	φ 21	3.33	3.464	290000	-2.50	外 側
中 央	φ 21	3.33	3.464	290000	2.50	内 側

5.1.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm 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	2.53	-0.15	75.07	25.12	737.00	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.13	92.73	25.12	719.33	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.04	91.42	25.12	720.64	0.861	3
中 央	837.18	3.49	-0.53	82.82	25.12	729.25	0.871	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.53	-0.15	75.07	25.12	737.00	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.13	92.73	25.12	719.33	0.859	3
τ 点	837.18	3.49	0.04	91.42	25.12	720.64	0.861	3
中 央	837.18	3.49	-0.53	82.82	25.12	729.25	0.871	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.53	-0.15	75.07	25.12	737.00	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.07	91.87	25.12	720.20	0.860	1
τ 点	837.18	3.49	0.03	91.22	25.12	720.84	0.861	1
中 央	837.18	3.49	-0.53	82.82	25.12	729.25	0.871	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.53	-0.15	75.07	25.12	737.00	0.880	3
ハチ始点	837.18	3.49	0.07	91.87	25.12	720.20	0.860	1
τ 点	837.18	3.49	0.03	91.22	25.12	720.84	0.861	1
中 央	837.18	3.49	-0.53	82.82	25.12	729.25	0.871	3

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	1.21	0.07	1.33	2.61	3
ハチ始点	0.76	0.10	4.15	5.01	3
中 央	3.15	0.10	1.40	4.65	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.21	0.07	2.93	1.79	3
ハチ始点	-0.76	0.10	1.38	0.72	3
中 央	-3.15	0.10	4.21	1.16	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.89	0.08	1.33	3.29	3
ハチ始点	1.13	0.07	4.16	5.36	1
中 央	5.71	0.10	1.40	7.22	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.89	0.08	2.93	1.12	3
ハチ始点	-1.13	0.07	1.39	0.33	1
中 央	-5.71	0.10	4.21	-1.40	3
$\sigma_t > -1.5$				CHECK OK	

5.1.5 引張鉄筋量

位 置	曲げモーメント (kN・m/m)	合成応力度		x (cm)	T _c (kN)	引張鉄筋量		ケース
		外側 (N/mm ²)	内側 (N/mm ²)			A _{s1} (cm ² /m)	A _{s2}	
端 部	-67.882	0.48	3.98	4.3	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-22.872	-0.05	5.78	0.2	0.1	0.003	0.118	1
中 央	115.665	-3.36	9.25	8.0	134.3	8.396	3.997	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	> A _{s1} or A _{s2}
内 側	D 16	— 10	D 0	— 0	13.240 cm ² /m	> A _{s1} or A _{s2}

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)	P _e (kN)	σ _{c'}	τ (N/mm ²)	σ _i	ケース
端 部	100.0	20000	30.997	117.452	850.99	2.20	0.44	-0.085	3
τ 点	100.0	11250	30.997	102.471	832.11	2.88	0.51	-0.089	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)	M _d (kN・m)	ケース
端 部	-32.299	-17.984	-86.948	-85.481	-86.948	3
ハチ始点	-6.279	-10.664	-34.822	-28.802	-34.822	1
中 央	22.448	61.427	182.750	142.588	182.750	1

位 置	A _p (cm ² /m)	A _s (cm ² /m)	d _p (cm)	d _s (cm)	P _{pb}	P _{pd}	M _u (kN・m)	S _f	ケース
端 部	11.547	8.447	22.5	36.5	0.069	0.006	280.11	3.2	3
ハチ始点	11.547	8.447	12.5	26.5	0.069	0.011	162.73	4.7	1
中 央	11.547	13.240	17.5	26.5	0.069	0.009	245.10	1.3	1
P _{pb} > P _{pd} S _f > 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	40.00	4000.0	533333.33	20.00	26666.67
ハチ始点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
τ 点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
中 央	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00

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 23	3.33	4.155	350000	2.50	外 側
ハチ始点	φ 23	3.33	4.155	350000	-2.50	外 側
τ 点	φ 23	3.33	4.155	350000	-2.50	外 側
中 央	φ 23	3.33	4.155	350000	2.50	内 側

5.2.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm 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	3.05	-0.20	81.69	25.27	735.40	0.873	3
ハチ始点	842.36	4.21	0.19	103.46	25.27	713.63	0.847	3
τ 点	842.36	4.21	0.08	101.83	25.27	715.26	0.849	3
中 央	842.36	4.21	-0.63	91.12	25.27	725.97	0.862	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	3.05	-0.20	81.69	25.27	735.40	0.873	3
ハチ始点	842.36	4.21	0.19	103.46	25.27	713.63	0.847	3
τ 点	842.36	4.21	0.08	101.83	25.27	715.26	0.849	3
中 央	842.36	4.21	-0.63	91.12	25.27	725.97	0.862	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	3.05	-0.20	81.69	25.27	735.40	0.873	3
ハチ始点	842.36	4.21	0.19	103.46	25.27	713.63	0.847	4
τ 点	842.36	4.21	0.08	101.83	25.27	715.26	0.849	4
中 央	842.36	4.21	-0.63	91.12	25.27	725.97	0.862	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	3.05	-0.20	81.69	25.27	735.40	0.873	3
ハチ始点	842.36	4.21	0.19	103.46	25.27	713.63	0.847	4
τ 点	842.36	4.21	0.08	101.83	25.27	715.26	0.849	4
中 央	842.36	4.21	-0.63	91.12	25.27	725.97	0.862	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	1.62	0.12	1.59	3.33	3
ハチ始点	1.12	0.16	4.94	6.23	3
中 央	3.80	0.16	1.68	5.64	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.62	0.12	3.50	2.01	3
ハチ始点	-1.12	0.16	1.65	0.69	3
中 央	-3.80	0.16	5.03	1.39	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.11	0.12	1.59	3.82	3
ハチ始点	1.24	0.19	4.94	6.37	4
中 央	5.93	0.16	1.68	7.76	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.11	0.12	3.50	1.50	3
ハチ始点	-1.24	0.19	1.65	0.59	4
中 央	-5.93	0.16	5.03	-0.75	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	-76.135	0.81	4.61	6.0	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-25.110	0.22	6.87	0.9	0.0	0.000	0.000	4
中 央	120.097	-2.77	9.89	6.6	90.7	5.669	3.278	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 16	— 10	D 0	— 0	13.240 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	20000	47.123	136.807	1018.52	2.66	0.51	-0.095	3
τ 点	100.0	11250	47.123	109.445	990.63	3.46	0.55	-0.085	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	-43.143	-13.253	-89.219	-95.874	-95.874	3
ハッチ始点	-16.861	-1.739	-26.267	-31.620	-31.620	4
中 央	57.009	31.951	153.990	151.233	153.990	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	22.5	36.5	0.069	0.007	313.73	3.3	3
ハッチ始点	13.850	8.447	12.5	26.5	0.069	0.013	177.91	5.6	4
中 央	13.850	13.240	17.5	26.5	0.069	0.010	269.50	1.8	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	-50.283	117.452	42.81	14.00	66.726	3
	上ハチ点	-41.713	119.525	34.90	9.00	52.470	3
側壁	中 間	-25.988	127.316	20.41	9.00	37.446	3
	下ハチ点	-44.042	134.733	32.69	9.00	56.168	3
	下端部	-56.397	136.807	41.22	14.00	75.550	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)

$$A_s = [\sigma_c / 2 \times s - N / (b \times d_a)] / \sigma_{sa} \times b \times d_a$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \sigma_c^3 + [3 \times \sigma_{sa} / (2 \times n) - 3 \times N \times (e + c) / (b \times d_a^2)] \times \sigma_c^2 \\
 - 6 \times N \times (e + c) / (n \times b \times d_a^2) \times \sigma_{sa} \times \sigma_c \\
 - 3 \times N \times (e + c) / (n^2 \times b \times d_a^2) \times \sigma_{sa}^2 = 0
 \end{aligned}$$

上式を解いて σ_c を求める。また $d_a = T - d'$ とする。

$$\therefore s = n \times \sigma_c / (n \times \sigma_c + \sigma_{sa})$$

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	66.726	14.39	17.89	35.00	7.431
	上ハチ点	52.470	12.76	16.26	25.00	10.042
側壁	中 間	37.446	10.78	14.28	25.00	4.305
	下ハチ点	56.168	13.20	16.70	25.00	10.402
	下端部	75.550	15.31	18.81	35.00	8.281
$d + d' < T$					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	13.240	12.182	3.99	95.0	0.0
	上ハチ点	100.00	13.240	9.184	6.20	124.7	0.0
	中間	100.00	13.240	10.568	3.94	61.2	0.0
	下ハチ点	100.00	13.240	9.309	6.56	128.8	0.0
	下端部	100.00	13.240	12.302	4.48	104.9	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	76.598	29.325	102.471	59.925				
	M			-3.550					
	N			30.997					
	最大			○					
底版 τ点	S	82.627	44.809	109.445	75.409				
	M			-4.068					
	N			47.123					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-17.206	-18.092	-23.681	-26.867				
	M				-20.556				
	N				77.844				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	19.649	28.513	30.724	37.288				
	M				-25.156				
	N				91.323				
	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	30.0	3.5	26.5	1.400	D13-6.7	8.447	0.319	1.019
底版 τ 点	30.0	3.5	26.5	1.400	D13-6.7	8.447	0.319	1.019
側壁上 τ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-6.7	13.240	0.593	1.256
側壁下 τ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-6.7	13.240	0.593	1.256

照査位置	M (kN・m)	Pe (kN)	N (kN)	Ac (m ²)	Z (m ⁴)	ep (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 τ 点	-3.550	832.1	30.997	0.300	0.01500	-0.03	26.513	2.000
底版 τ 点	-4.068	990.6	47.123	0.300	0.01500	-0.03	32.074	2.000
側壁上 τ 点	-20.556	0.0	77.844	0.258	0.01108	0.00	3.343	1.163
側壁下 τ 点	-25.156	0.0	91.323	0.258	0.01108	0.00	3.922	1.156

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	1.019	2.000	0.770
底版 τ 点	0.270	1.400	1.019	2.000	0.770
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.256	1.163	0.552
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.256	1.156	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	102.470	26.5	0.387	0.770
底版 τ 点	109.445	26.5	0.413	0.770
側壁上 τ 点	26.867	22.3	0.120	0.552
側壁下 τ 点	37.288	22.3	0.167	0.549

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上