

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 = 1.510 ~ H2 = 3.000 [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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

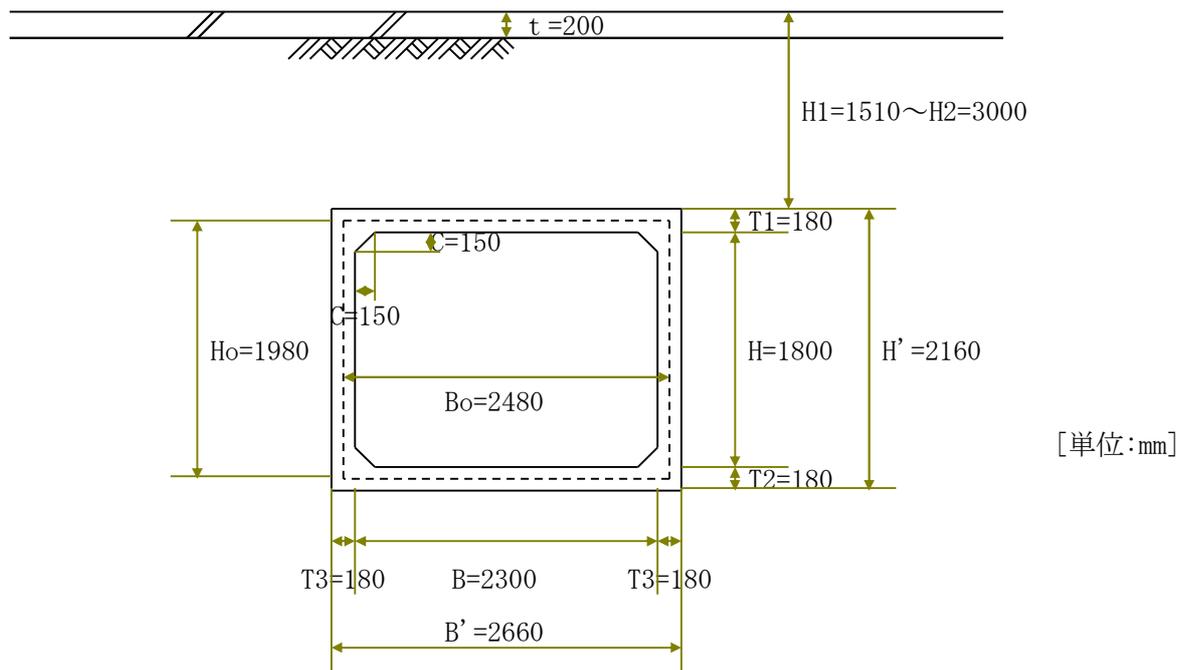
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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 : $E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

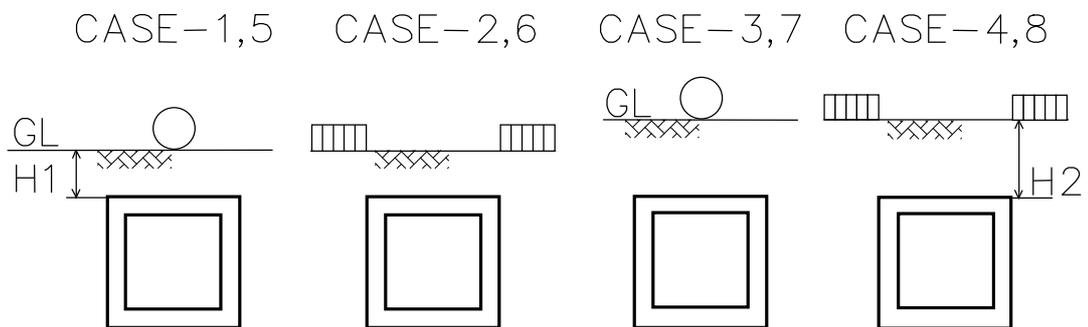
(3) 使用 P C 鋼棒

	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

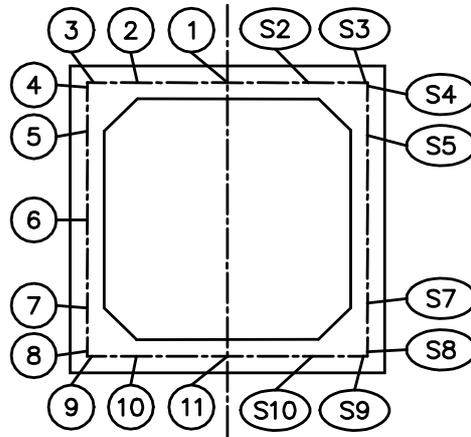
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

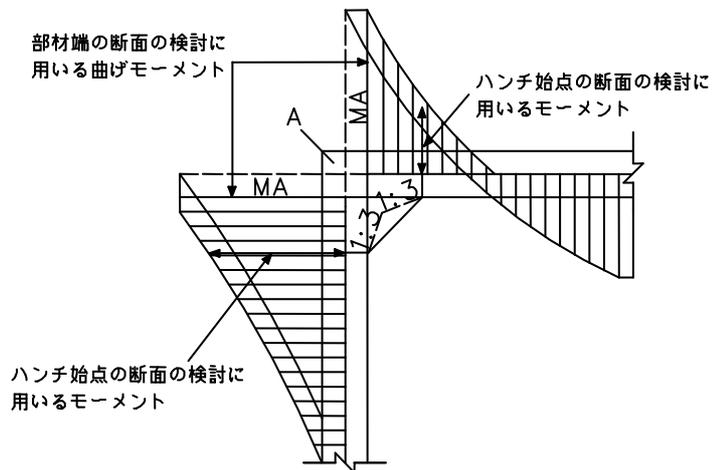
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

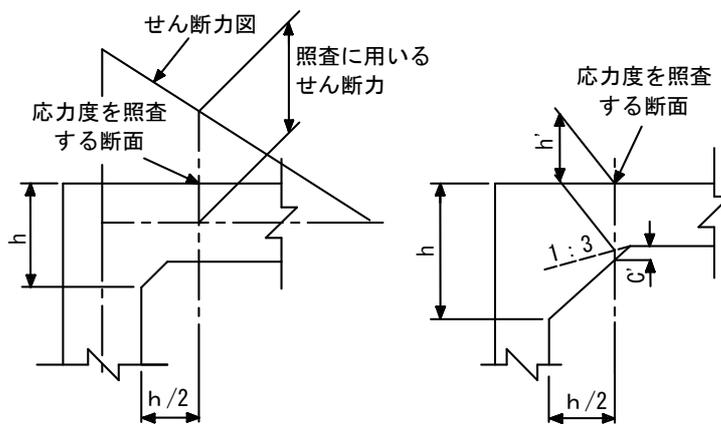
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



(a)ハンチ以外の場合

(b)ハンチにある場合

b)について

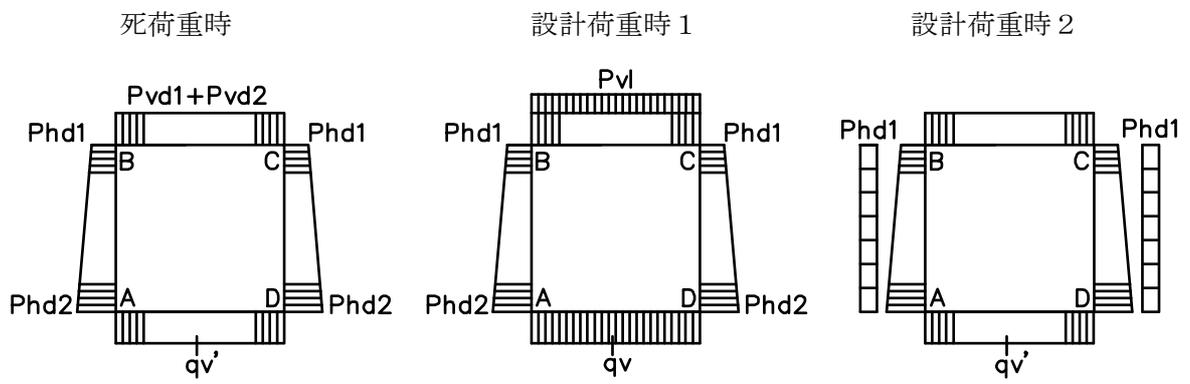
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

3 断面力の算定 (CASE-1, 2)

3.1.1 設計荷重

- (1) 頂版自重 $Pvd1 = \gamma c \times T1$
- (2) 鉛直土圧 $Pvd2 = \alpha \times \{ \gamma s \times (H1 - t - tb) + \gamma a \times t + \gamma b \times tb \}$
- (3) 水平土圧 $Phd1 = Ka \times \{ \gamma a \times t + \gamma b \times tb + \gamma s \times (H1 - t - tb + T1/2) \}$
 $Phd2 = Ka \times \{ \gamma a \times t + \gamma b \times tb + \gamma s \times (H1 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $Pq = Ka \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H1 = 3.220 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 3.520 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $Pv1 = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $qv = Pvd1 + Pvd2 + Pv1 + \gamma c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) / Bo$



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-1 (kN/m ²)	設計荷重 2 CASE-2 (kN/m ²)
Pvd1	4.410	4.410	4.410
Pvd2	28.080	28.080	28.080
Phd1 = Phd1	14.850	14.850	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	19.850
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	32.670	32.670	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	37.670
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	26.426	0.000
qv	*****	66.402	*****
qv'	39.976	*****	39.976

注) qv'は、Pv1 = 0 とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ ラーメン係数} \quad \alpha &= (H_0 \times T_1^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 &\beta = (H_0 \times T_2^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 N1 &= 2 + \alpha \\
 N2 &= 2 + \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \text{ 荷重項} \quad CAD &= q_v \times B_0^2 / 12 \\
 CBC &= \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_0^2\} / 12 \\
 CAB &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 \\
 CBA &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60
 \end{aligned}$$

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）

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

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

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

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)	20.489	34.033	20.489
CBC (kN・m/m)	16.652	30.196	16.652
CAB (kN・m/m)	8.345	8.345	9.978
CBA (kN・m/m)	7.180	7.180	8.814
θA	-6.362	-13.893	-5.454
θB	5.658	13.189	4.750
MAB (kN・m/m)	-15.410	-22.941	-16.135
MAD (kN・m/m)	15.410	22.941	16.135
MBA (kN・m/m)	12.135	19.666	12.860
MBC (kN・m/m)	-12.135	-19.666	-12.860

3.1.3 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

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

(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。

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

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

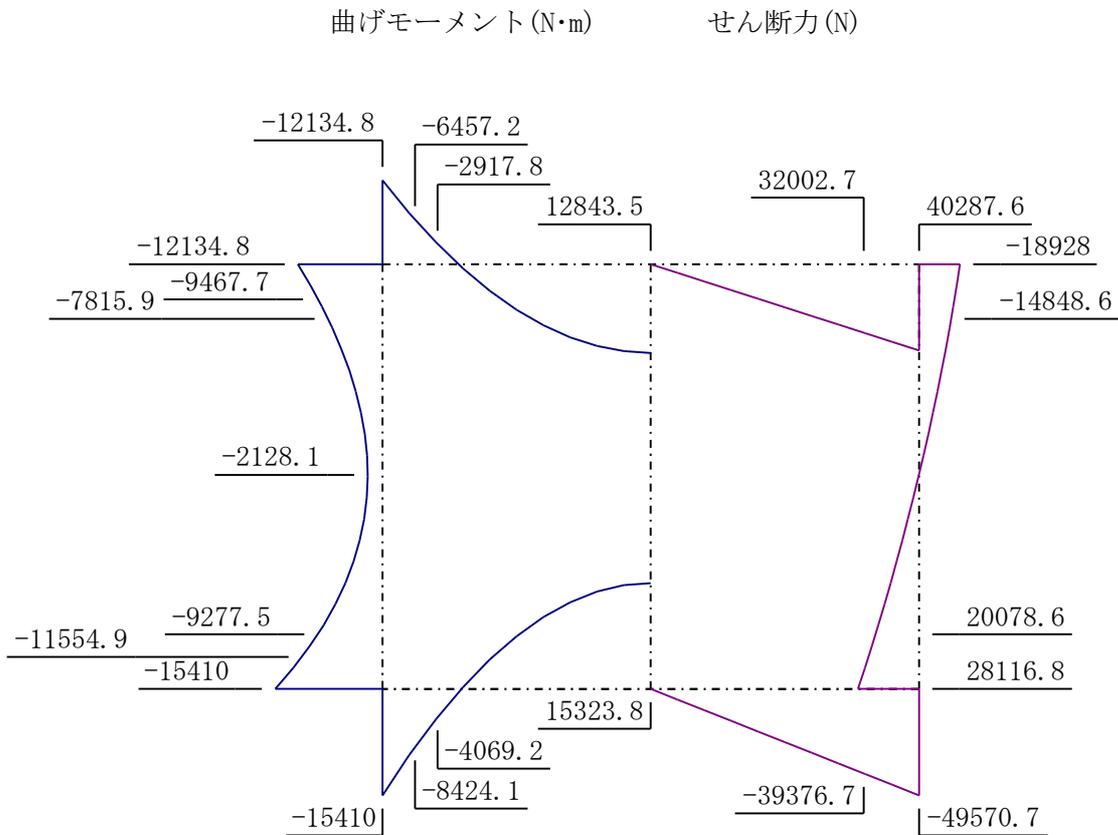
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	40.288	73.056	40.288
S CB (kN/m)	-40.288	-73.056	-40.288
Mmax (kN・m/m)	12.844	25.628	12.118
S AD (kN/m)	49.571	82.339	49.571
S DA (kN/m)	-49.571	-82.339	-49.571
Mmax (kN・m/m)	15.324	28.109	14.599
S AB (kN/m)	28.117	28.117	33.067
S BA (kN/m)	-18.928	-18.928	-23.878
x (m)	0.998	0.998	*****
	0.996	*****	0.996
Mmax (kN・m/m)	-2.128	-9.659	*****
Mmax (kN・m/m)	-2.128	*****	-0.403

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。

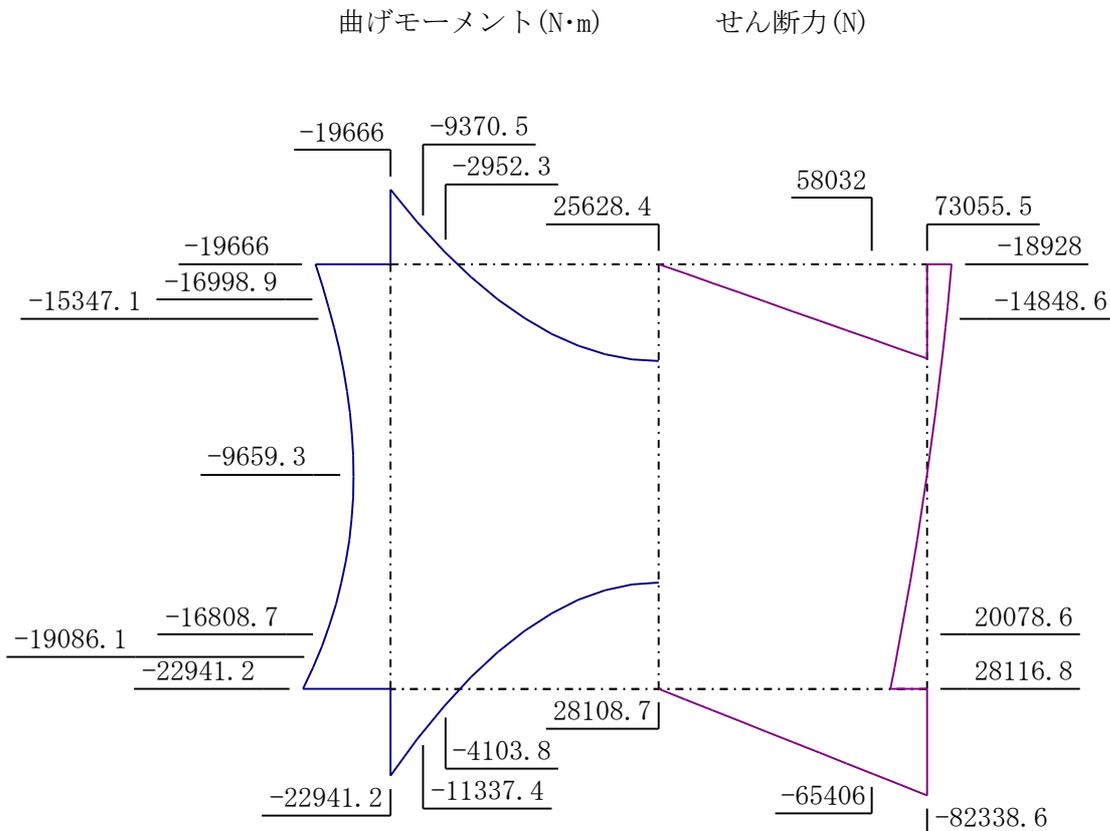
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.090	-12135	40288	18928
	2 ハッチ始点	0.240	-6457	***	18928
	S2 τ点	0.255	-2918	32003	18928
	1 中央	1.240	12844	0	18928
底版	9, S9 端部	0.090	-15410	49571	28117
	10 ハッチ始点	0.240	-8424	***	28117
	S10 τ点	0.255	-4069	39377	28117
	11 中央	1.240	15324	0	28117
側壁	4, S4 上端部	1.890	-12135	-18928	40288
	5 上ハッチ点	1.740	-9468	***	40991
	S5 上τ点	1.725	-7816	-14849	41483
	6 中間	0.998	-2128	*****	44892
		0.996	-2128	*****	44901
	S7 下τ点	0.255	-9278	20079	48375
	7 下ハッチ点	0.240	-11555	***	48867
	8, S8 下端部	0.090	-15410	28117	49571



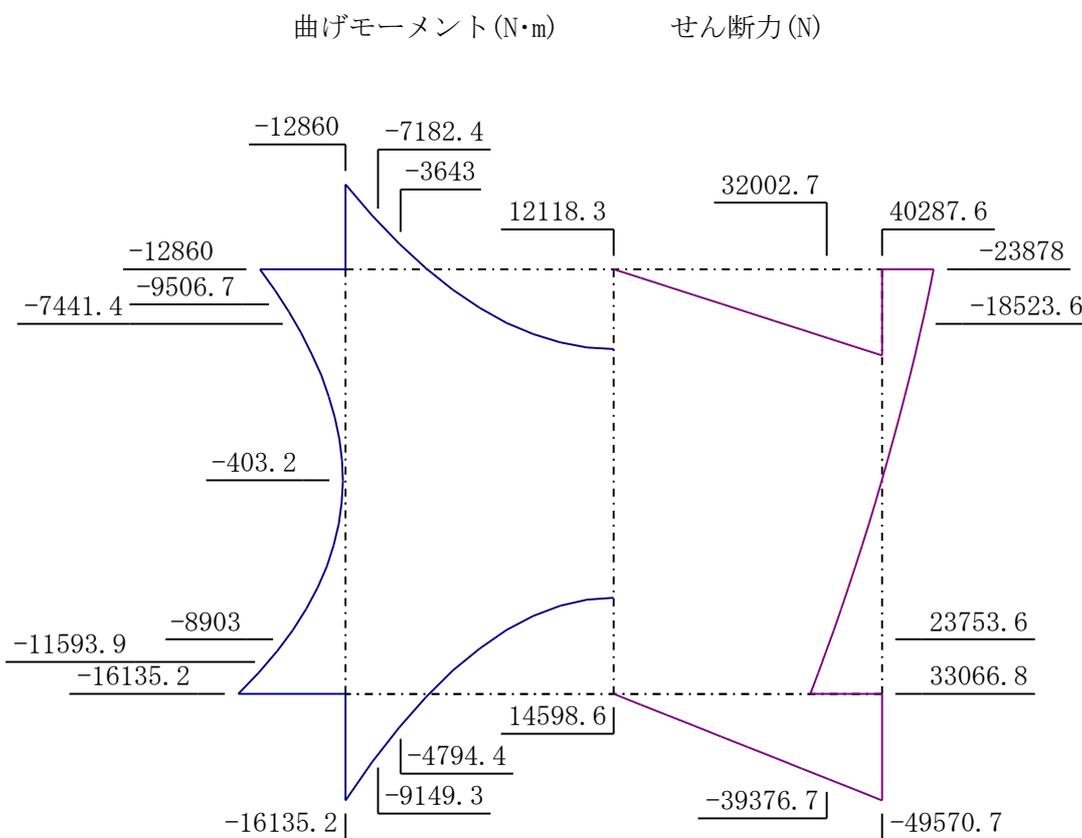
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.090	-19666	73056	18928
	2 ハッチ始点	0.240	-9371	***	18928
	S2 τ点	0.255	-2952	58032	18928
	1 中央	1.240	25628	0	18928
底版	9, S9 端部	0.090	-22941	82339	28117
	10 ハッチ始点	0.240	-11337	***	28117
	S10 τ点	0.255	-4104	65406	28117
	11 中央	1.240	28109	0	28117
側壁	4, S4 上端部	1.890	-19666	-18928	73056
	5 上ハッチ点	1.740	-16999	***	73759
	S5 上τ点	1.725	-15347	-14849	74251
	6 中間	0.998	-9659	0	77660
	S7 下τ点	0.255	-16809	20079	81143
	7 下ハッチ点	0.240	-19086	***	81635
	8, S8 下端部	0.090	-22941	28117	82339



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

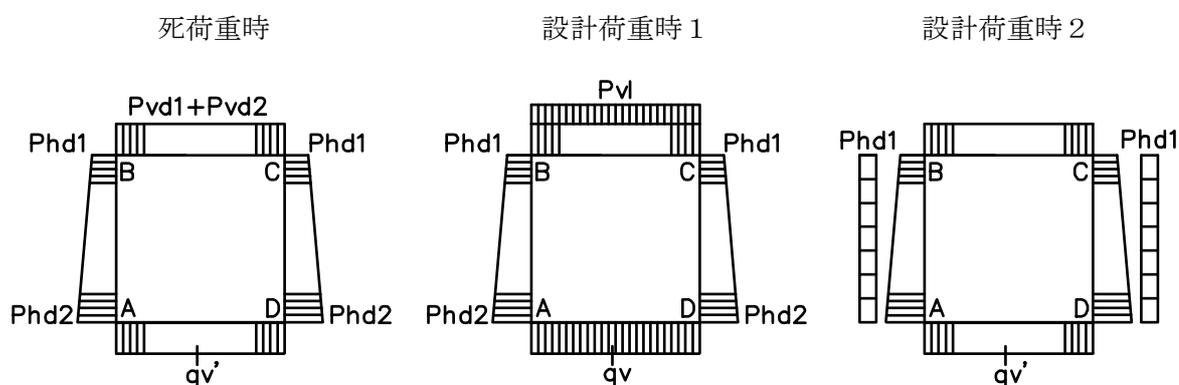
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.090	-12860	40288	23878
	2 ハッチ始点	0.240	-7182	***	23878
	S2 τ点	0.255	-3643	32003	23878
	1 中央	1.240	12118	0	23878
底版	9, S9 端部	0.090	-16135	49571	33067
	10 ハッチ始点	0.240	-9149	***	33067
	S10 τ点	0.255	-4794	39377	33067
	11 中央	1.240	14599	0	33067
側壁	4, S4 上端部	1.890	-12860	-23878	40288
	5 上ハッチ点	1.740	-9507	***	40991
	S5 上τ点	1.725	-7441	-18524	41483
	6 中間	0.996	-403	0	44901
	S7 下τ点	0.255	-8903	23754	48375
	7 下ハッチ点	0.240	-11594	***	48867
	8, S8 下端部	0.090	-16135	33067	49571



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 $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + H_o) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = K_a \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o$



設計荷重値 死荷重時 設計荷重時 1 設計荷重時 2
 (kN/m²) CASE-3 CASE-4
 (kN/m²)

P_{vd1}	4.410	4.410	4.410
P_{vd2}	54.900	54.900	54.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	28.260	28.260	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	33.260
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	46.080	46.080	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	51.080
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	13.724	0.000
q_v	*****	80.521	*****
$q_{v'}$	66.796	*****	66.796

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)	34.235	41.270	34.235
CBC (kN・m/m)	30.398	37.433	30.398
CAB (kN・m/m)	12.726	12.726	14.359
CBA (kN・m/m)	11.561	11.561	13.195
θ_A	-11.569	-15.481	-10.661
θ_B	10.866	14.777	9.957
MAB (kN・m/m)	-24.999	-28.910	-25.724
MAD (kN・m/m)	24.999	28.910	25.724
MBA (kN・m/m)	21.723	25.635	22.448
MBC (kN・m/m)	-21.723	-25.635	-22.448

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。

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

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

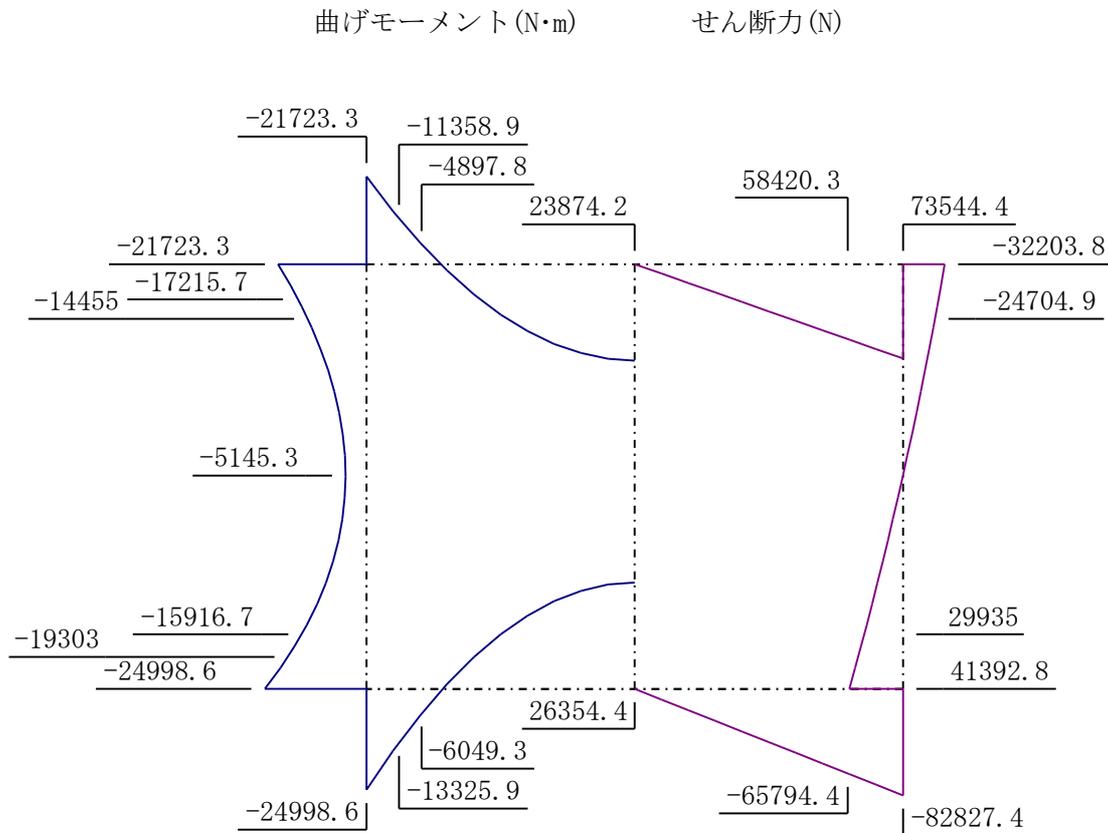
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	73.544	90.563	73.544
SCB (kN/m)	-73.544	-90.563	-73.544
Mmax (kN・m/m)	23.874	30.514	23.149
SAD (kN/m)	82.827	99.846	82.827
SDA (kN/m)	-82.827	-99.846	-82.827
Mmax (kN・m/m)	26.354	32.994	25.629
SAB (kN/m)	41.393	41.393	46.343
SBA (kN/m)	-32.204	-32.204	-37.154
x (m)	0.995	0.995	*****
	0.994	*****	0.994
Mmax (kN・m/m)	-5.145	-9.057	*****
Mmax (kN・m/m)	-5.145	*****	-3.420

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。

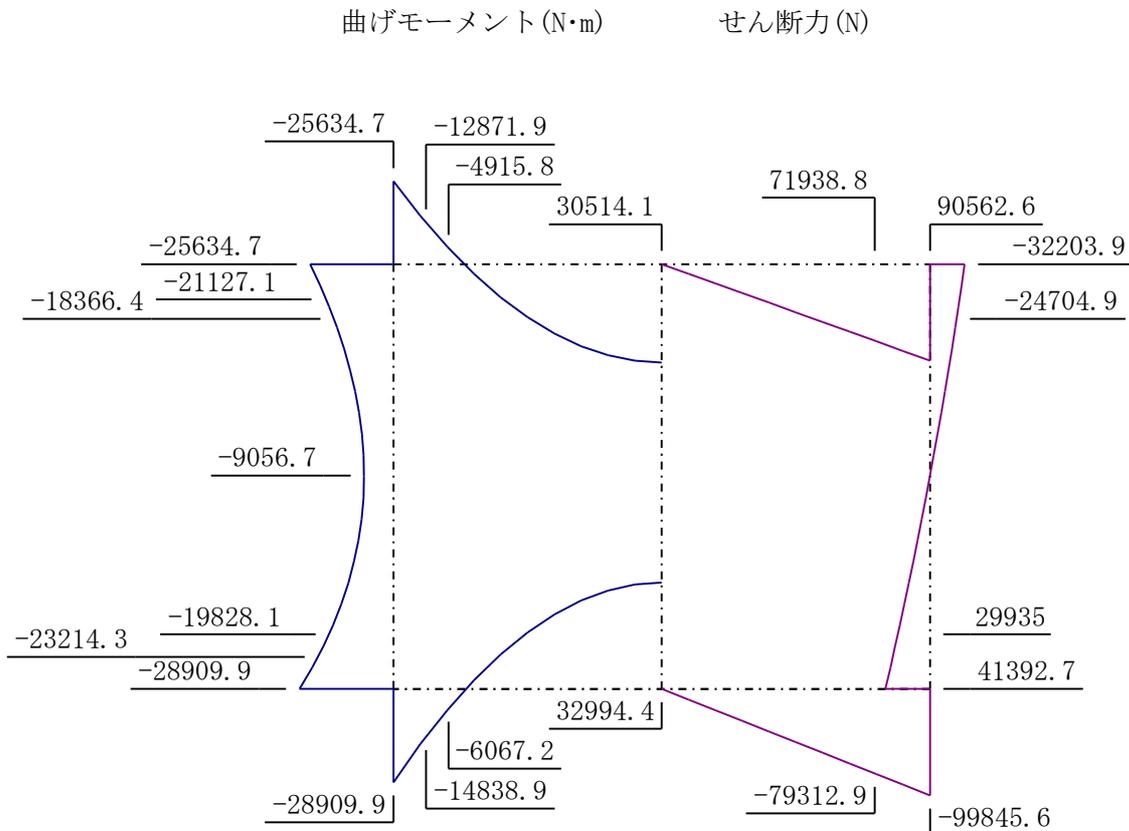
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.090	-21723	73544	32204
	2 ハッチ始点	0.240	-11359	***	32204
	S2 τ点	0.255	-4898	58420	32204
	1 中央	1.240	23874	0	32204
底版	9, S9 端部	0.090	-24999	82827	41393
	10 ハッチ始点	0.240	-13326	***	41393
	S10 τ点	0.255	-6049	65794	41393
	11 中央	1.240	26354	0	41393
側壁	4, S4 上端部	1.890	-21723	-32204	73544
	5 上ハッチ点	1.740	-17216	***	74248
	S5 上τ点	1.725	-14455	-24705	74740
	6 中間	0.995	-5145	*****	78163
		0.994	-5145	*****	78167
	S7 下τ点	0.255	-15917	29935	81632
	7 下ハッチ点	0.240	-19303	***	82124
	8, S8 下端部	0.090	-24999	41393	82827



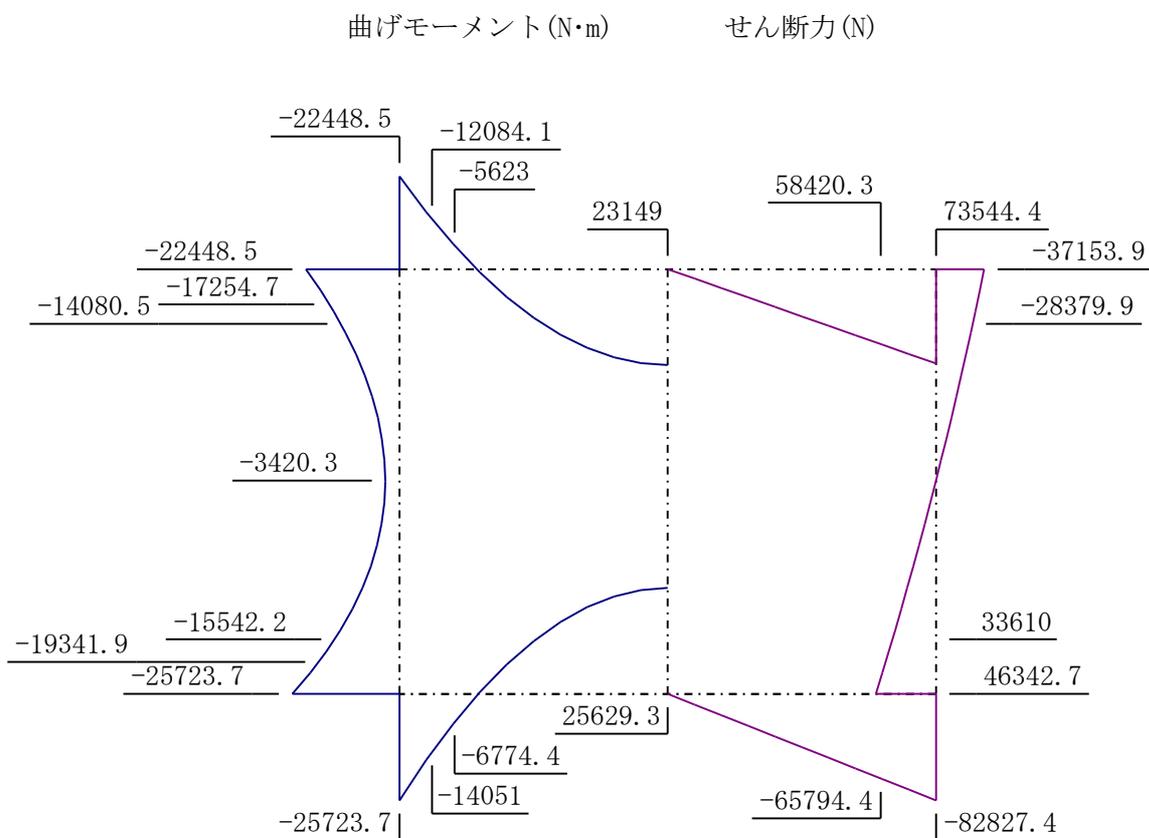
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.090	-25635	90563	32204
	2 ハッチ始点	0.240	-12872	***	32204
	S2 τ点	0.255	***	71939	***
	1 中央	1.240	30514	0	32204
底版	9, S9 端部	0.090	-28910	99846	41393
	10 ハッチ始点	0.240	-14839	***	41393
	S10 τ点	0.255	***	79313	***
	11 中央	1.240	32994	0	41393
側壁	4, S4 上端部	1.890	-25635	-32204	90563
	5 上ハッチ点	1.740	-21127	***	91266
	S5 上τ点	1.725	***	-24705	***
	6 中間	0.995	-9057	0	95181
	S7 下τ点	0.255	***	29935	***
	7 下ハッチ点	0.240	-23214	***	99142
	8, S8 下端部	0.090	-28910	41393	99846



(3) 設計荷重時 2 (CASE-4)

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)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.090	-22449	73544	37154
	2 ハッチ始点	0.240	-12084	***	37154
	S2 τ点	0.255	***	58420	***
	1 中央	1.240	23149	0	37154
底版	9, S9 端部	0.090	-25724	82827	46343
	10 ハッチ始点	0.240	-14051	***	46343
	S10 τ点	0.255	***	65794	***
	11 中央	1.240	25629	0	46343
側壁	4, S4 上端部	1.890	-22449	-37154	73544
	5 上ハッチ点	1.740	-17255	***	74248
	S5 上τ点	1.725	***	-28380	***
	6 中間	0.994	-3420	0	78167
	S7 下τ点	0.255	***	33610	*****
	7 下ハッチ点	0.240	-19342	***	82124
	8, S8 下端部	0.090	-25724	46343	82827



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

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

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

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

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

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

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

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鋼棒のリラクゼ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ゼーション (= 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 PC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PC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	φ23	2.50	4.155	350000	1.50	外側
ハチ始点	φ23	2.50	4.155	350000	-1.00	外側
τ点	φ23	2.50	4.155	350000	-1.00	外側
中央	φ23	2.50	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}	Δσ _{pcs} (N/mm ²)	Δσ _{pr}	σ _{pe}	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.00	-0.32	92.91	25.27	724.18	0.860	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.23	115.08	25.27	702.01	0.833	3
τ点	842.36	5.04	0.10	113.11	25.27	703.98	0.836	3
中央	842.36	5.04	-0.49	104.32	25.27	712.76	0.846	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.00	-0.32	92.91	25.27	724.18	0.860	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.23	115.08	25.27	702.01	0.833	3
τ点	842.36	5.04	0.10	113.11	25.27	703.98	0.836	3
中央	842.36	5.04	-0.49	104.32	25.27	712.76	0.846	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.00	-0.32	92.91	25.27	724.18	0.860	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.23	115.08	25.27	702.01	0.833	3
τ点	842.36	5.04	0.10	113.11	25.27	703.98	0.836	4
中央	842.36	5.04	-0.49	104.32	25.27	712.76	0.846	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.00	-0.32	92.91	25.27	724.18	0.860	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.23	115.08	25.27	702.01	0.833	3
τ点	842.36	5.04	0.10	113.11	25.27	703.98	0.836	4
中央	842.36	5.04	-0.49	104.32	25.27	712.76	0.846	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	2.46	0.14	1.99	4.59	3
ハチ始点	2.10	0.18	5.40	7.68	3
中央	4.42	0.18	2.74	7.34	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.46	0.14	4.55	2.23	3
ハチ始点	-2.10	0.18	2.70	0.78	3
中央	-4.42	0.18	5.48	1.24	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	2.91	0.14	1.99	5.04	3
ハチ始点	2.38	0.18	5.40	7.96	3
中央	5.65	0.18	2.74	8.57	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-2.91	0.14	4.55	1.78	3
ハチ始点	-2.38	0.18	2.70	0.50	3
中央	-5.65	0.18	5.48	0.01	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)	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	-34.607	0.81	6.11	2.7	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-17.377	-0.28	8.86	0.5	0.7	0.047	0.272	3
中央	41.194	-1.90	10.61	2.7	26.0	1.627	1.368	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	—	D 0	—	0	3.567 cm ² /m > As1 or As2
内側	D 13	—	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	32.204	90.563	752.25	3.41	0.59	-0.099	3
τ 点	100.0	4050	32.204	71.939	731.25	4.24	0.60	-0.083	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	-21.723	-3.911	-38.019	-43.579	-43.579	3
ハチ始点	-11.359	-1.513	-18.549	-21.882	-21.882	3
中央	23.874	6.640	47.636	51.874	51.874	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	10.387	3.567	13.0	19.5	0.069	0.009	113.95	2.6	3
ハチ始点	10.387	3.567	8.0	14.5	0.069	0.014	67.10	3.1	3
中央	10.387	6.335	10.0	14.5	0.069	0.012	95.23	1.8	3

$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$ 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PC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	φ23	2.50	4.155	350000	1.50	外側
ハチ始点	φ23	2.50	4.155	350000	-1.00	外側
τ点	φ23	2.50	4.155	350000	-1.00	外側
中央	φ23	2.50	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}	Δσ _{pcs} (N/mm ²)	Δσ _{pr}	σ _{pe}	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.00	-0.39	91.92	25.27	725.17	0.861	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.30	116.00	25.27	701.09	0.832	3
τ点	842.36	5.04	0.14	113.75	25.27	703.34	0.835	3
中央	842.36	5.04	-0.53	103.75	25.27	713.34	0.847	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.00	-0.39	91.92	25.27	725.17	0.861	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.30	116.00	25.27	701.09	0.832	3
τ点	842.36	5.04	0.14	113.75	25.27	703.34	0.835	3
中央	842.36	5.04	-0.53	103.75	25.27	713.34	0.847	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	842.36	4.00	-0.39	91.92	25.27	725.17	0.861	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.30	116.00	25.27	701.09	0.832	3
τ点	842.36	5.04	0.14	113.75	25.27	703.34	0.835	4
中央	842.36	5.04	-0.53	103.75	25.27	713.34	0.847	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	842.36	4.00	-0.39	91.92	25.27	725.17	0.861	3
ハチ始点	842.36	5.04	0.30	116.00	25.27	701.09	0.832	3
τ点	842.36	5.04	0.14	113.75	25.27	703.34	0.835	4
中央	842.36	5.04	-0.53	103.75	25.27	713.34	0.847	3

5.2.4 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	2.84	0.18	1.99	5.16	3
ハチ始点	2.47	0.23	5.39	8.31	3
中央	4.88	0.23	2.74	7.77	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.84	0.18	4.56	1.79	3
ハチ始点	-2.47	0.23	2.70	0.30	3
中央	-4.88	0.23	5.49	0.98	3
			$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	3.28	0.18	1.99	5.59	3
ハチ始点	2.75	0.23	5.39	8.56	3
中央	6.11	0.23	2.74	9.03	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-3.28	0.18	4.56	1.37	3
ハチ始点	-2.75	0.23	2.70	0.05	3
中央	-6.11	0.23	5.49	-0.28	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	-40.356	0.25	6.84	0.8	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-21.192	-0.88	9.67	1.5	6.6	0.410	0.748	3
中央	43.953	-2.30	11.23	3.1	35.2	2.199	1.530	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)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端部	100.0	6612	41.393	99.846	753.27	3.48	0.66	-0.120	3
τ 点	100.0	4050	41.393	79.313	730.59	4.32	0.67	-0.101	3

$\sigma i > -1.00$ CHECK OK

5.2.7 破壊安全度の検討

終局荷重時の曲げモーメント

位置	M1 (kN・m)	M2 (kN・m)	1.3M1+2.5M2 (kN・m)	1.7(M1+M2) (kN・m)	Md (kN・m)	ケース
端部	-24.999	-3.911	-42.276	-49.147	-49.147	3
ハチ始点	-13.326	-1.513	-21.106	-25.226	-25.226	3
中央	26.354	6.640	50.861	56.090	56.090	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	10.387	3.567	13.0	19.5	0.069	0.009	113.95	2.2	3
ハチ始点	10.387	3.567	8.0	14.5	0.069	0.014	67.10	2.5	3
中央	10.387	4.951	10.0	14.5	0.069	0.011	83.73	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	-25.635	90.563	28.31	8.00	32.880	3
	上ハチ点	-21.127	91.266	23.15	5.50	26.147	3
側壁	中 間	-9.659	77.659	12.44	5.50	13.931	1
	下ハチ点	-23.214	99.142	23.42	5.50	28.667	3
	下端部	-28.910	99.846	28.95	8.00	36.898	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

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

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)

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

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

上式を解いて σ_c を求める。また $da = T - d'$ とする。

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

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 As (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	32.880	10.10	13.60	23.00	6.253
	上ハチ点	26.147	9.01	12.51	18.00	7.307
側壁	中 間	13.931	6.58	10.08	18.00	1.841
	下ハチ点	28.667	9.43	12.93	18.00	8.151
	下端部	36.898	10.70	14.20	23.00	7.214
					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	σ _s '
頂版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハンチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハンチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	9.930	7.994	4.89	105.5	0.0
	上ハンチ点	100.00	9.930	6.479	6.54	121.5	0.0
	中間	100.00	9.930	7.744	3.02	39.5	0.0
	下ハンチ点	100.00	9.930	6.464	7.19	134.0	0.0
	下端部	100.00	9.930	7.952	5.51	120.0	0.0

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

CHECK OK

9 せん断力に対する検討

9.1 せん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	58.032	32.003	71.939	58.420				
	M			-4.916					
	N			32.204					
	最大			○					
底版 τ点	S	65.406	39.377	79.313	65.794				
	M			-6.067					
	N			41.393					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-14.849	-18.524	-24.705	-28.380				
	M				-14.081				
	N				74.740				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	20.079	23.754	29.935	33.610				
	M				-15.542				
	N				81.632				
	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 せん断応力度の検討

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 : せん断力 (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 に乗じる。

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

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	D16-5	9.930	0.685	1.311
側壁下 τ 点	18.0	3.5	14.5	1.400	D16-5	9.930	0.685	1.311

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	-4.916	731.3	32.204	0.180	0.00540	-0.01	15.592	2.000
底版 τ 点	-6.067	730.6	41.393	0.180	0.00540	-0.01	15.854	2.000
側壁上 τ 点	-14.080	0.0	74.740	0.180	0.00540	0.00	2.242	1.159
側壁下 τ 点	-15.542	0.0	81.632	0.180	0.00540	0.00	2.449	1.158

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	1.311	1.159	0.574
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.311	1.158	0.574

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	71.939	14.5	0.496	0.715
底版 τ 点	79.313	14.5	0.547	0.715
側壁上 τ 点	28.380	14.5	0.196	0.574
側壁下 τ 点	33.610	14.5	0.232	0.574

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上