

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) 1800 × (H) 1500 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 0.500 ~ H2 = 1.500 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t _b = 0.000 [m]

1.2 単位容積重量

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

1.3 土圧係数 (水平) : $K_a = 0.500$ (鉛直) : $\alpha = 1.000$ 1.4 活荷重 (上載) : T' 荷重 横断通行
(輪接地幅 a = 0.20m b = 0.50m)(側載) : $Q = 10.0$ [kN/m²]

1.5 衝撃係数 : i = 0.300

1.6 鉄筋かぶり : 頂版 底版 側壁
: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm1.7 断面力低減係数 (土被り H1) : $\beta = 0.9$ (土被り H2) : $\beta = 0.9$

1.8 許容応力度

1.8.1 鉄筋

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

1.8.2 コンクリート

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

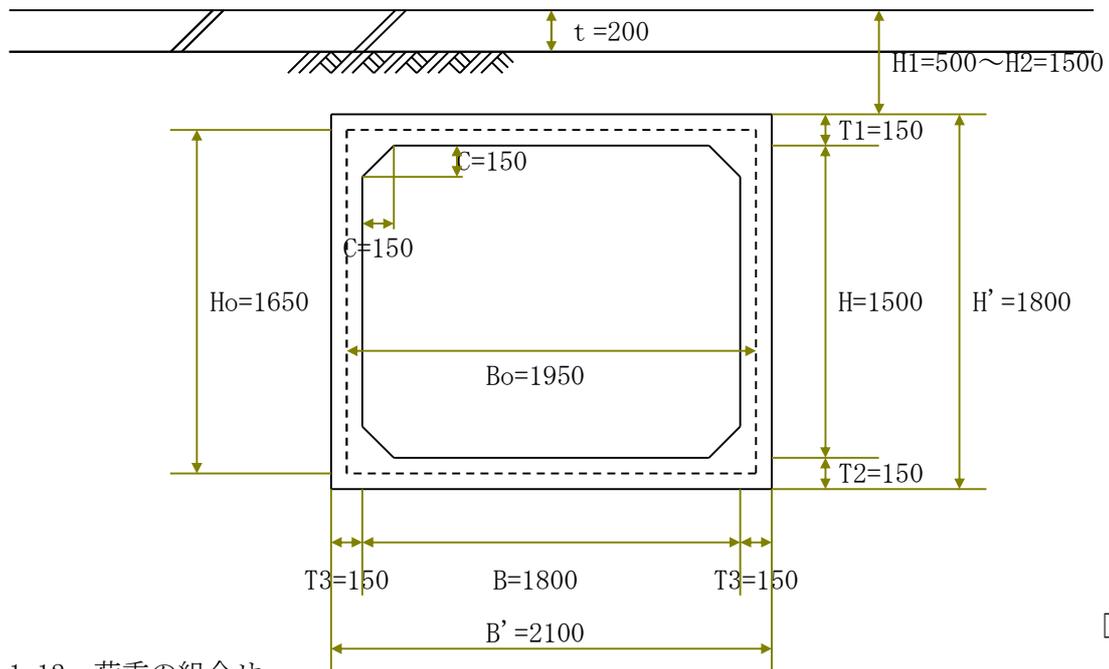
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (1) 許容引張応力度
- 引張強度 : $\sigma_{pu} = 1230 \text{ N/mm}^2$
- 降伏点強度 : $\sigma_{py} = 1080 \text{ N/mm}^2$
- プレストレッシング中 : $\sigma_{pia} = 972 \text{ N/mm}^2$
- プレストレッシング直後 : $\sigma_{pca} = 861 \text{ N/mm}^2$
- 設計荷重作用時 : $\sigma_{pea} = 738 \text{ N/mm}^2$
- (2) 弾性係数 : $E_p = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

(3) 使用 P C 鋼棒

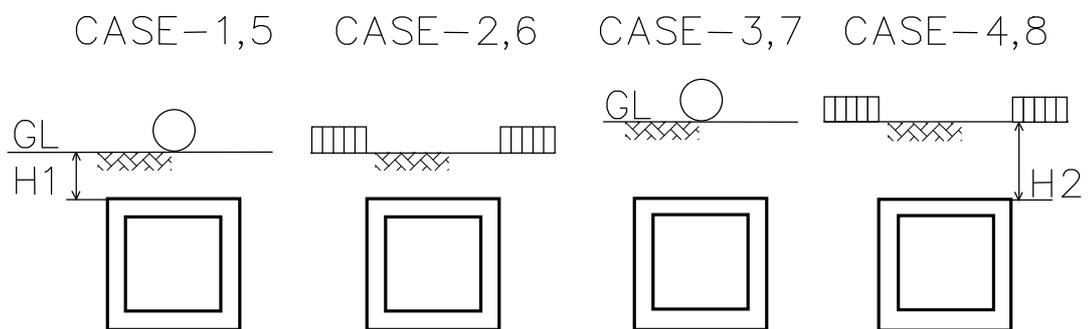
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 19$	*****	(mm)
断面積	346.40	283.50	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	240000	*****	(N)

1.11 標準断面図



[単位: mm]

1.12 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

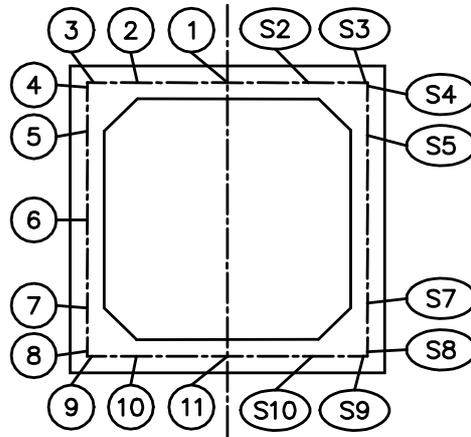
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

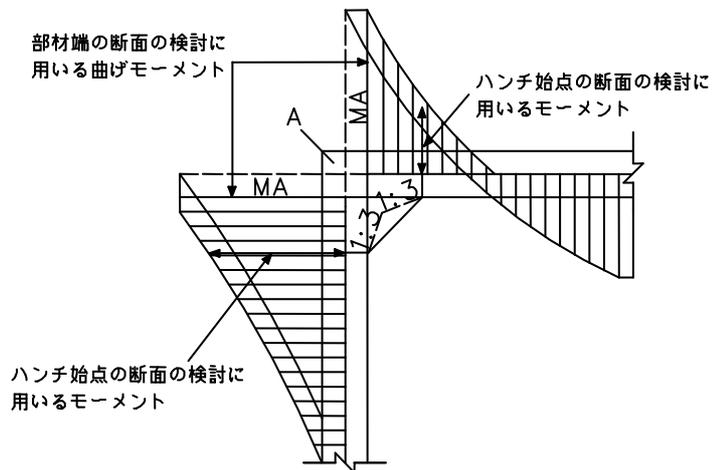
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

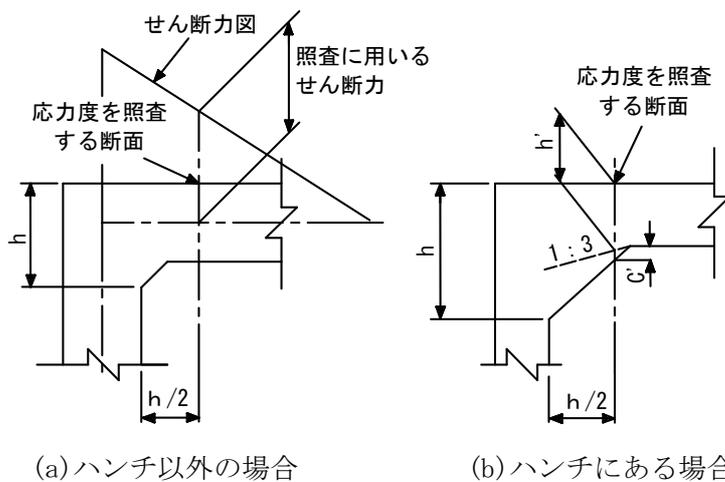
せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



b)について

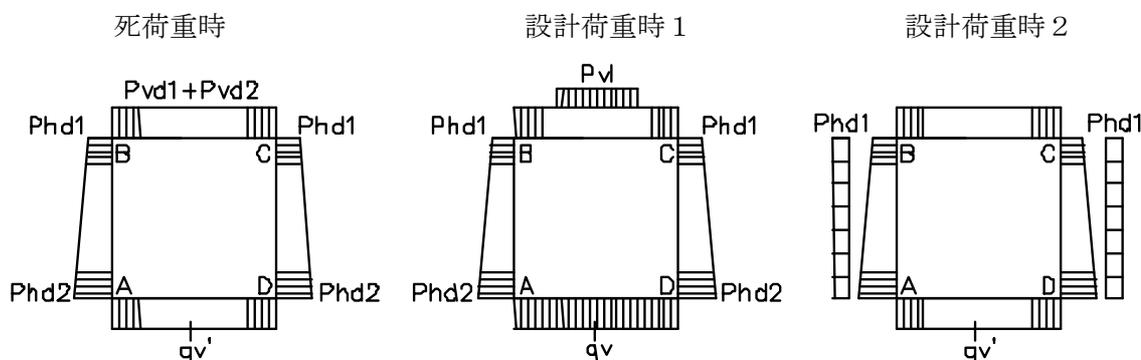
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

3 断面力の算定 (CASE-1, 2)

3.1.1 設計荷重

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



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-1 (kN/m ²)	設計荷重 2 CASE-2 (kN/m ²)
P _{vd1}	3.675	3.675	3.675
P _{vd2}	9.900	9.900	9.900
P _{hd1} = P _{hd1}	5.625	5.625	*****
P _{hd1} = P _{hd1} + P _q	*****	*****	10.625
P _{hd3} = P _{hd3}	*****	*****	*****
P _{hd3} = P _{hd3} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5}	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd2} = P _{hd2}	20.475	20.475	*****
P _{hd2} = P _{hd2} + P _q	*****	*****	25.475
P _{hd4} = P _{hd4}	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	70.909	0.000
q _v	*****	63.996	*****
q _{v'}	20.360	*****	20.360

注) q_{v'}は、P_{v1} = 0 とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ ラーメン係数} \quad \alpha &= (H_0 \times T_1^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 \beta &= (H_0 \times T_2^3) / (B_0 \times T_3^3) \\
 N_1 &= 2 + \alpha \\
 N_2 &= 2 + \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2) \text{ 荷重項} \quad CAD &= q_v \times B_0^2 / 12 \\
 CBC &= \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_0^3 + P_{v1} \times u \\
 &\quad \times (3 \times B_0^2 - u^2)\} / (24 \times B_0) \\
 CAB &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 \\
 CBA &= (H_0^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60
 \end{aligned}$$

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）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.8462	0.8462	0.8462
β	0.8462	0.8462	0.8462
N1	2.8462	2.8462	2.8462
N2	2.8462	2.8462	2.8462
CAD (kN・m/m)	6.451	20.279	6.451
CBC (kN・m/m)	4.302	22.424	4.302
CAB (kN・m/m)	3.298	3.298	4.432
CBA (kN・m/m)	2.624	2.624	3.758
θ_A	-1.500	-9.595	-0.886
θ_B	1.117	10.328	0.502
MAB (kN・m/m)	-5.182	-12.160	-5.702
MAD (kN・m/m)	5.182	12.160	5.702
MBA (kN・m/m)	3.357	13.685	3.877
MBC (kN・m/m)	-3.357	-13.685	-3.877

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。

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

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

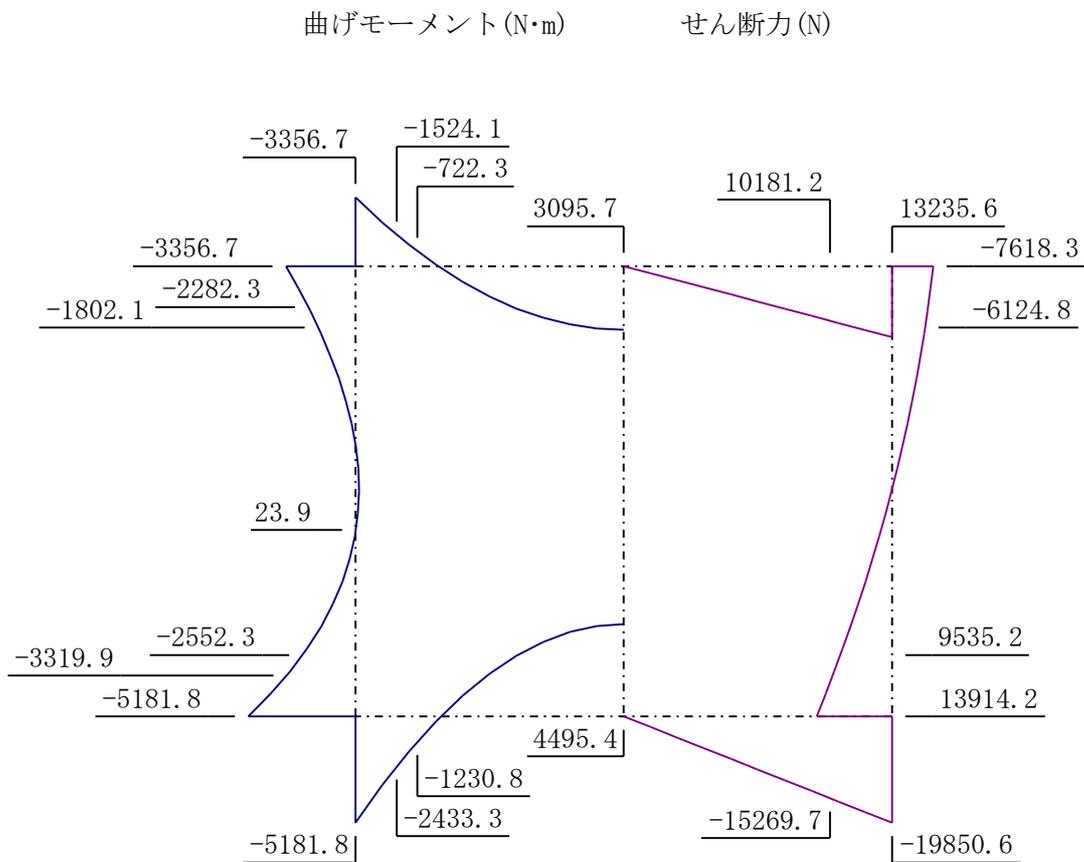
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	13.236	55.781	13.236
S CB (kN/m)	-13.236	-55.781	-13.236
Mmax (kN・m/m)	3.096	21.485	2.576
S AD (kN/m)	19.851	62.396	19.851
S DA (kN/m)	-19.851	-62.396	-19.851
Mmax (kN・m/m)	4.495	18.258	3.975
S AB (kN/m)	13.914	11.884	18.039
S BA (kN/m)	-7.618	-9.649	-11.743
x (m)	0.683	0.683	*****
	0.830	*****	0.830
Mmax (kN・m/m)	0.024	-8.341	*****
Mmax (kN・m/m)	0.172	*****	1.354

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。

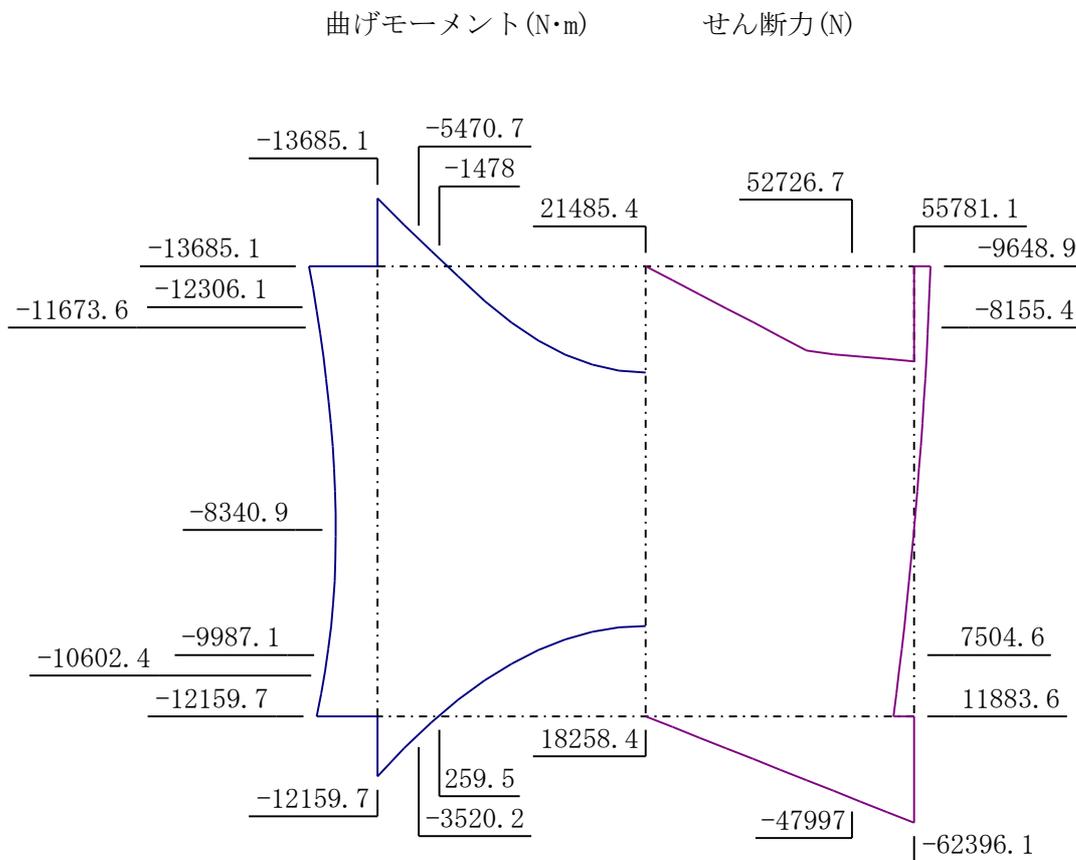
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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	0.075	-3357	13236	7618
	2 ハッチ始点	0.225	-1524	***	7618
	S2 τ点	0.225	-722	10181	7618
	1 中央	0.975	3096	0	7618
底版	9, S9 端部	0.075	-5182	19851	13914
	10 ハッチ始点	0.225	-2433	***	13914
	S10 τ点	0.225	-1231	15270	13914
	11 中央	0.975	4495	0	13914
側壁	4, S4 上端部	1.575	-3357	-7618	13236
	5 上ハッチ点	1.425	-2282	***	13837
	S5 上τ点	1.425	-1802	-6125	14138
	6 中間	0.683	24	*****	17112
		0.830	172	*****	16523
	S7 下τ点	0.225	-2552	9535	18949
	7 下ハッチ点	0.225	-3320	***	19249
	8, S8 下端部	0.075	-5182	13914	19851



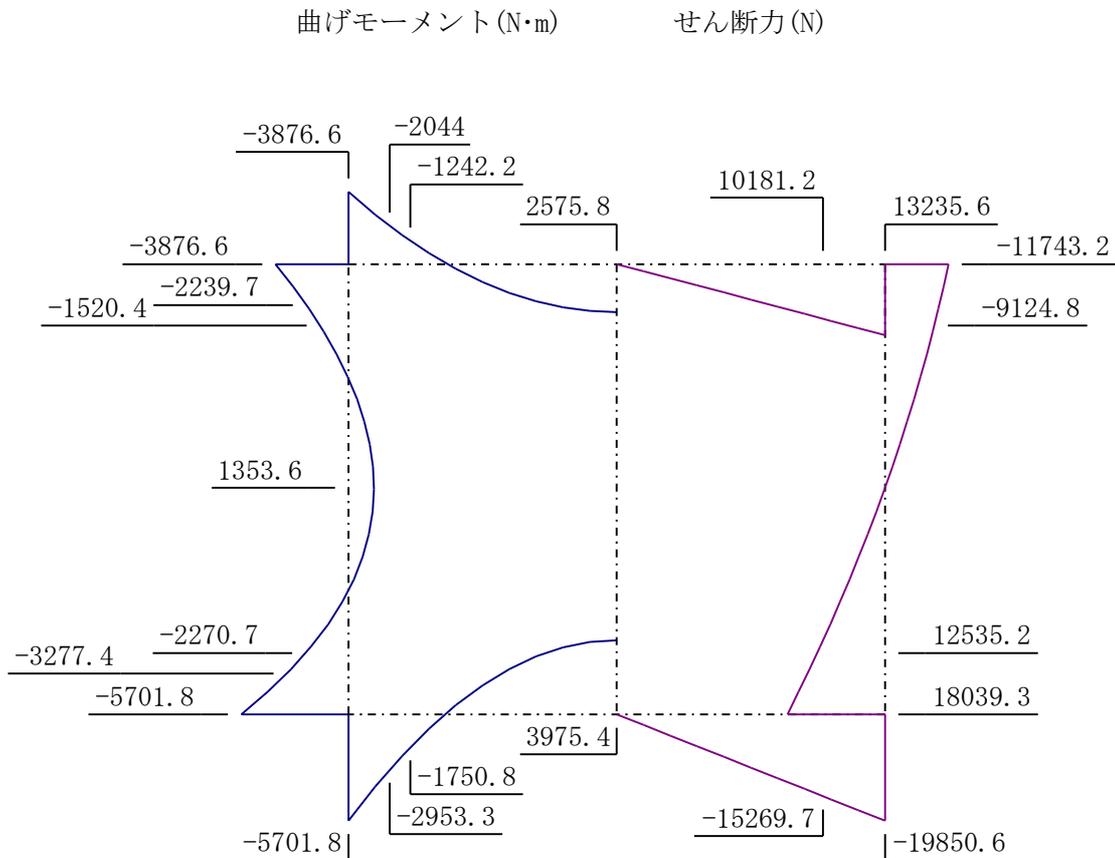
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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	0.075	-13685	55781	9649
	2 ハッチ始点	0.225	-5471	***	9649
	S2 τ点	0.225	-1478	52727	9649
	1 中央	0.975	21485	0	9649
底版	9, S9 端部	0.075	-12160	62396	11884
	10 ハッチ始点	0.225	-3520	***	11884
	S10 τ点	0.225	260	47997	11884
	11 中央	0.975	18258	0	11884
側壁	4, S4 上端部	1.575	-13685	-9649	55781
	5 上ハッチ点	1.425	-12306	***	56382
	S5 上τ点	1.425	-11674	-8155	56683
	6 中間	0.683	-8341	0	59658
	S7 下τ点	0.225	-9987	7505	61494
	7 下ハッチ点	0.225	-10602	***	61795
	8, S8 下端部	0.075	-12160	11884	62396



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

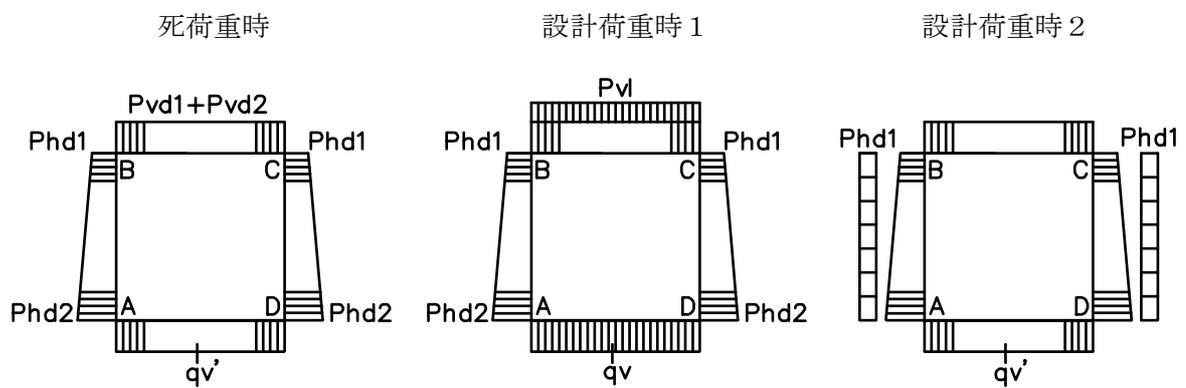
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.075	-3877	13236	11743
	2 ハッチ始点	0.225	-2044	***	11743
	S2 τ点	0.225	-1242	10181	11743
	1 中央	0.975	2576	0	11743
底板	9, S9 端部	0.075	-5702	19851	18039
	10 ハッチ始点	0.225	-2953	***	18039
	S10 τ点	0.225	-1751	15270	18039
	11 中央	0.975	3975	0	18039
側壁	4, S4 上端部	1.575	-3877	-11743	13236
	5 上ハッチ点	1.425	-2240	***	13837
	S5 上τ点	1.425	-1520	-9125	14138
	6 中間	0.830	1354	0	16523
	S7 下τ点	0.225	-2271	12535	18949
	7 下ハッチ点	0.225	-3277	***	19249
	8, S8 下端部	0.075	-5702	18039	19851



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 $u = a + 2 \times H2 = 3.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 3.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o$



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}	3.675	3.675	3.675
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	14.625	14.625	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	19.625
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	29.475	29.475	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	34.475
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	64.951	*****
$q_{v'}$	38.360	*****	38.360

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	0.8462	0.8462	0.8462
β	0.8462	0.8462	0.8462
N1	2.8462	2.8462	2.8462
N2	2.8462	2.8462	2.8462
CAD (kN・m/m)	12.155	20.581	12.155
CBC (kN・m/m)	10.005	18.431	10.005
CAB (kN・m/m)	5.340	5.340	6.474
CBA (kN・m/m)	4.666	4.666	5.800
θ_A	-3.484	-8.048	-2.870
θ_B	3.100	7.664	2.486
MAB (kN・m/m)	-9.207	-13.771	-9.727
MAD (kN・m/m)	9.207	13.771	9.727
MBA (kN・m/m)	7.382	11.946	7.902
MBC (kN・m/m)	-7.382	-11.946	-7.902

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。

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

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

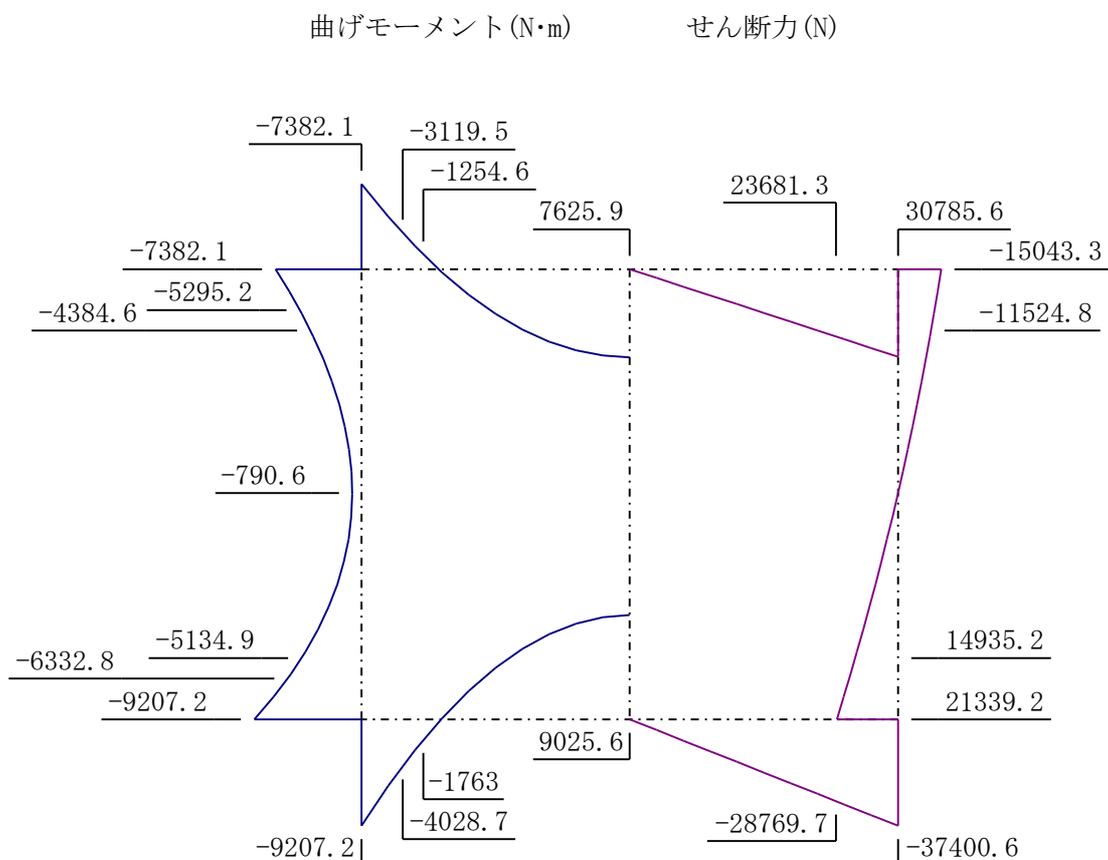
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	30.786	56.712	30.786
SCB (kN/m)	-30.786	-56.712	-30.786
Mmax (kN・m/m)	7.626	15.701	7.106
SAD (kN/m)	37.401	63.327	37.401
SDA (kN/m)	-37.401	-63.327	-37.401
Mmax (kN・m/m)	9.026	17.101	8.506
SAB (kN/m)	21.339	21.339	25.464
SBA (kN/m)	-15.043	-15.043	-19.168
x (m)	0.829	0.829	*****
	0.828	*****	0.828
Mmax (kN・m/m)	-0.791	-5.355	*****
Mmax (kN・m/m)	-0.791	*****	0.391

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。

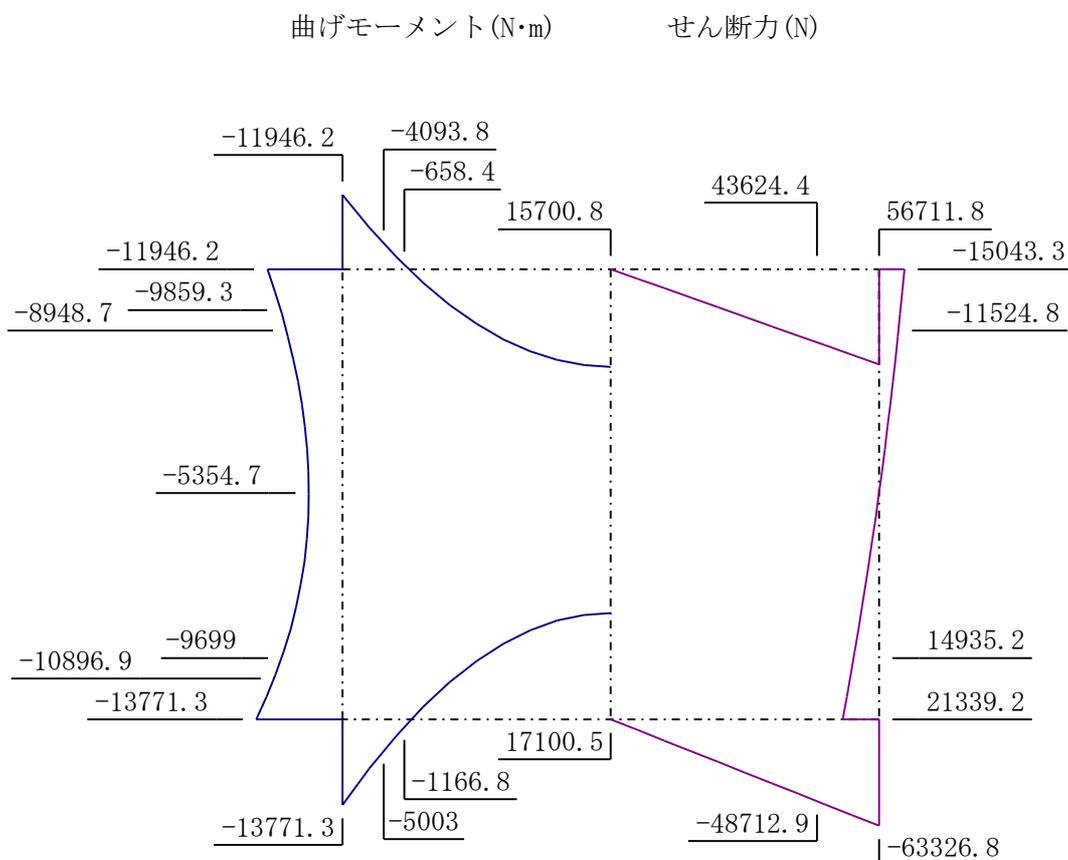
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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	0.075	-7382	30786	15043
	2 ハッチ始点	0.225	-3120	***	15043
	S2 τ点	0.225	-1255	23681	15043
	1 中央	0.975	7626	0	15043
底板	9, S9 端部	0.075	-9207	37401	21339
	10 ハッチ始点	0.225	-4029	***	21339
	S10 τ点	0.225	-1763	28770	21339
	11 中央	0.975	9026	0	21339
側壁	4, S4 上端部	1.575	-7382	-15043	30786
	5 上ハッチ点	1.425	-5295	***	31387
	S5 上τ点	1.425	-4385	-11525	31688
	6 中間	0.829	-791	*****	34077
		0.828	-791	*****	34081
	S7 下τ点	0.225	-5135	14935	36499
	7 下ハッチ点	0.225	-6333	***	36799
	8, S8 下端部	0.075	-9207	21339	37401



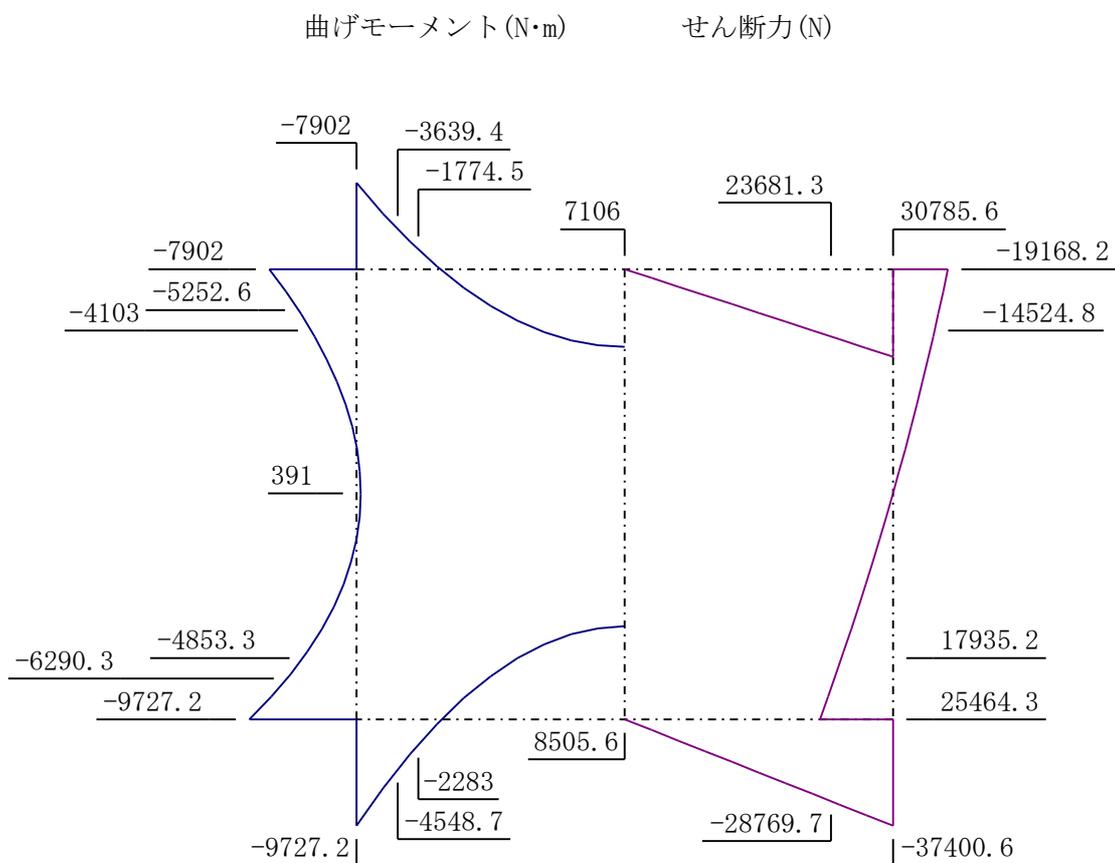
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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	0.075	-11946	56712	15043
	2 ハッチ始点	0.225	-4094	***	15043
	S2 τ点	0.225	***	43624	***
	1 中央	0.975	15701	0	15043
底板	9, S9 端部	0.075	-13771	63327	21339
	10 ハッチ始点	0.225	-5003	***	21339
	S10 τ点	0.225	***	48713	***
	11 中央	0.975	17101	0	21339
側壁	4, S4 上端部	1.575	-11946	-15043	56712
	5 上ハッチ点	1.425	-9859	***	57313
	S5 上τ点	1.425	***	-11525	***
	6 中間	0.829	-5355	0	60003
	S7 下τ点	0.225	***	14935	***
	7 下ハッチ点	0.225	-10897	***	62725
	8, S8 下端部	0.075	-13771	21339	63327



(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	0.075	-7902	30786	19168
	2 ハッチ始点	0.225	-3639	***	19168
	S2 τ点	0.225	***	23681	***
	1 中央	0.975	7106	0	19168
底版	9, S9 端部	0.075	-9727	37401	25464
	10 ハッチ始点	0.225	-4549	***	25464
	S10 τ点	0.225	***	28770	***
	11 中央	0.975	8506	0	25464
側壁	4, S4 上端部	1.575	-7902	-19168	30786
	5 上ハッチ点	1.425	-5253	***	31387
	S5 上τ点	1.425	***	-14525	***
	6 中間	0.828	391	0	34081
	S7 下τ点	0.225	***	17935	*****
	7 下ハッチ点	0.225	-6290	***	36799
	8, S8 下端部	0.075	-9727	25464	37401



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

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

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

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

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

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

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

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 引張応力の作用する コンクリート面積の 0.5%	(cm^2)
	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)
	dp	: 圧縮縁からP C鋼棒図心迄の距離	(cm)
	ds	: 圧縮縁から鉄筋図心迄の距離	(cm)
	b	: 部材幅	(cm)
	Sf	: 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	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
ハチ始点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
τ点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
中央	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00

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	φ21	2.50	3.464	290000	2.00	外側
ハチ始点	φ21	2.50	3.464	290000	-0.50	外側
τ点	φ21	2.50	3.464	290000	-0.50	外側
中央	φ21	2.50	3.464	290000	0.50	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	837.18	4.06	-0.22	95.21	25.12	716.86	0.856	3
ハチ始点	837.18	4.90	0.06	110.51	25.12	701.56	0.838	3
τ点	837.18	4.90	0.02	110.01	25.12	702.05	0.839	3
中央	837.18	4.90	-0.14	107.67	25.12	704.40	0.841	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	4.06	-0.22	95.21	25.12	716.86	0.856	3
ハチ始点	837.18	4.90	0.06	110.51	25.12	701.56	0.838	3
τ点	837.18	4.90	0.02	110.01	25.12	702.05	0.839	3
中央	837.18	4.90	-0.14	107.67	25.12	704.40	0.841	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	4.06	-0.10	97.03	25.12	715.04	0.854	1
ハチ始点	837.18	4.90	0.03	110.08	25.12	701.98	0.839	1
τ点	837.18	4.90	0.02	110.01	25.12	702.05	0.839	4
中央	837.18	4.90	-0.06	108.86	25.12	703.20	0.840	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	4.06	-0.10	97.03	25.12	715.04	0.854	1
ハチ始点	837.18	4.90	0.03	110.08	25.12	701.98	0.839	1
τ点	837.18	4.90	0.02	110.01	25.12	702.05	0.839	4
中央	837.18	4.90	-0.06	108.86	25.12	703.20	0.840	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	1.11	0.08	1.24	2.42	3
ハチ始点	0.83	0.10	4.86	5.79	3
中央	2.03	0.10	3.25	5.39	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-1.11	0.08	4.97	3.93	3
ハチ始点	-0.83	0.10	3.24	2.51	3
中央	-2.03	0.10	4.88	2.95	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	2.05	0.05	1.24	3.34	1
ハチ始点	1.46	0.06	4.86	6.39	1
中央	5.73	0.06	3.25	9.04	1
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-2.05	0.05	4.95	2.95	1
ハチ始点	-1.46	0.06	3.24	1.85	1
中央	-5.73	0.06	4.87	-0.79	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	-18.475	2.25	4.07	7.1	0.0	0.000	0.000	1
ハチ始点	-7.385	1.36	6.92	2.5	0.0	0.000	0.000	1
中央	29.005	-2.78	11.07	3.0	41.7	2.609	1.504	1

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 10	— 10	D 0	— 0	3.567 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 cm ² /m	> As1 or As2

5.1.6 斜引張応力度

位置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント(cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	$\sigma c'$	τ (N/mm ²)	σi	ケース
端部	100.0	5000	15.043	56.712	620.80	3.18	0.43	-0.056	3
τ 点	100.0	2813	9.649	52.727	607.98	4.12	0.53	-0.066	1

$\sigma i > -1.00$ 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	-3.357	-10.328	-30.185	-23.265	-30.185	1
ハチ始点	-1.524	-3.947	-11.848	-9.300	-11.848	1
中央	3.096	18.390	49.999	36.525	49.999	1

位置	Ap (cm ² /m)	As (cm ² /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端部	8.660	3.567	12.0	16.5	0.069	0.008	90.31	3.0	1
ハチ始点	8.660	3.567	7.0	11.5	0.069	0.014	50.37	4.3	1
中央	8.660	6.335	8.0	11.5	0.069	0.013	66.35	1.3	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	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
ハチ始点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
τ点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
中央	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00

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	φ19	2.50	2.835	240000	2.00	外側
ハチ始点	φ19	2.50	2.835	240000	-0.50	外側
τ点	φ19	2.50	2.835	240000	-0.50	外側
中央	φ19	2.50	2.835	240000	0.50	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	846.56	3.36	-0.28	84.85	25.40	736.31	0.870	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.07	99.61	25.40	721.56	0.852	3
τ点	846.56	4.05	0.03	99.00	25.40	722.16	0.853	3
中央	846.56	4.05	-0.16	96.11	25.40	725.06	0.856	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	846.56	3.36	-0.28	84.85	25.40	736.31	0.870	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.07	99.61	25.40	721.56	0.852	3
τ点	846.56	4.05	0.03	99.00	25.40	722.16	0.853	3
中央	846.56	4.05	-0.16	96.11	25.40	725.06	0.856	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	846.56	3.36	-0.28	84.85	25.40	736.31	0.870	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.07	99.61	25.40	721.56	0.852	3
τ点	846.56	4.05	0.03	99.00	25.40	722.16	0.853	4
中央	846.56	4.05	-0.08	97.32	25.40	723.84	0.855	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	846.56	3.36	-0.28	84.85	25.40	736.31	0.870	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.07	99.61	25.40	721.56	0.852	3
τ点	846.56	4.05	0.03	99.00	25.40	722.16	0.853	4
中央	846.56	4.05	-0.08	97.32	25.40	723.84	0.855	1

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	1.38	0.11	1.04	2.53	3
ハチ始点	1.07	0.14	4.09	5.31	3
中 央	2.41	0.14	2.74	5.29	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.38	0.11	4.17	2.90	3
ハチ始点	-1.07	0.14	2.73	1.80	3
中 央	-2.41	0.14	4.11	1.85	3
			$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.07	0.11	1.04	3.22	3
ハチ始点	1.33	0.14	4.09	5.57	3
中 央	4.87	0.08	2.74	7.68	1
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.07	0.11	4.17	2.22	3
ハチ始点	-1.33	0.14	2.73	1.54	3
中 央	-4.87	0.08	4.10	-0.69	1
			$\sigma_t > -1.5$	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	-18.591	1.53	3.98	5.6	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-6.754	1.12	6.08	2.3	0.0	0.000	0.000	3
中央	24.649	-2.36	9.42	3.0	35.5	2.220	1.504	1

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外側	D 10	—	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

5.2.6 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	5000	21.339	63.327	521.86	2.72	0.47	-0.081	3
τ 点	100.0	2813	21.339	48.713	511.84	3.55	0.49	-0.066	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	-5.182	-6.978	-24.181	-20.671	-24.181	1
ハチ始点	-4.029	-0.974	-7.673	-8.505	-8.505	3
中央	4.495	13.763	40.252	31.039	40.252	1

位置	Ap (cm ² /m)	As (cm ² /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端部	7.088	3.567	12.0	16.5	0.069	0.007	78.53	3.2	1
ハチ始点	7.088	3.567	7.0	11.5	0.069	0.011	44.90	5.3	3
中央	7.088	6.335	8.0	11.5	0.069	0.011	59.61	1.5	1

$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$ CHECK OK

6 断面力集計表

各ケースより断面力の最大値を抽出する。

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

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

但し、軸力は

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

とし、側壁中間点の軸力は側壁自重による軸力を考慮する。

[/ 単位長]

部材	点	M (kN・m)	N (kN)	e (cm)	c (cm)	Ms (kN・m)	CASE M
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	上端部	-13.685	55.781	24.53	6.50	17.311	1
	上ハチ点	-12.306	56.382	21.83	4.00	14.561	1
側壁	中 間	-8.341	59.658	13.98	4.00	10.727	1
	下ハチ点	-10.897	62.725	17.37	4.00	13.406	3
	下端部	-13.771	63.327	21.75	6.50	17.888	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	17.311	7.33	10.83	20.00	3.810
	上ハチ点	14.561	6.72	10.22	15.00	5.546
側壁	中 間	10.727	5.77	9.27	15.00	2.839
	下ハチ点	13.406	6.45	9.95	15.00	4.389
	下端部	17.888	7.45	10.95	20.00	3.593
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)

$$\begin{aligned} & x^3 - 3 \times (T / 2 - e) \times x^2 \\ & + 6 \times n \times A_s / b \times (e + c) \times x \\ & - 6 \times n \times A_s / b \times (c + T / 2) \\ & \times (e + c) = 0 \end{aligned}$$

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 13 - 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	6.335	6.089	3.93	100.8	0.0
	上ハンチ点	100.00	6.335	4.615	6.33	141.7	0.0
	中間	100.00	6.335	5.147	4.26	78.9	0.0
	下ハンチ点	100.00	6.335	4.849	5.59	115.1	0.0
	下端部	100.00	6.335	6.292	3.95	96.1	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	52.727	10.181	43.624	23.681				
	M	-1.478							
	N	9.649							
	最大	○							
底版 τ点	S	47.997	15.270	48.713	28.770				
	M			-1.167					
	N			21.339					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-8.155	-9.125	-11.525	-14.525				
	M				-4.103				
	N				31.688				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	7.505	12.535	14.935	17.935				
	M				-4.853				
	N				36.499				
	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	15.0	3.5	11.5	1.400	D10-5	3.567	0.310	1.010
底版 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D10-5	3.567	0.310	1.010
側壁上 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D13-5	6.335	0.551	1.231
側壁下 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D13-5	6.335	0.551	1.231

照査位置	M (kN・m)	Pe (kN)	N (kN)	Ac (m ²)	Z (m ⁴)	ep (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 τ 点	-1.478	608.0	9.649	0.150	0.00375	-0.01	15.441	2.000
底版 τ 点	-1.167	511.8	21.339	0.150	0.00375	-0.01	13.328	2.000
側壁上 τ 点	-4.103	0.0	31.688	0.150	0.00375	0.00	0.792	1.193
側壁下 τ 点	-4.853	0.0	36.499	0.150	0.00375	0.00	0.912	1.188

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	1.010	2.000	0.764
底版 τ 点	0.270	1.400	1.010	2.000	0.764
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.231	1.193	0.555
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.231	1.188	0.553

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	52.727	11.5	0.458	0.764
底版 τ 点	48.713	11.5	0.424	0.764
側壁上 τ 点	14.525	11.5	0.126	0.555
側壁下 τ 点	17.935	11.5	0.156	0.553

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上