

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) 2800 × (H) 2000 × (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 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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

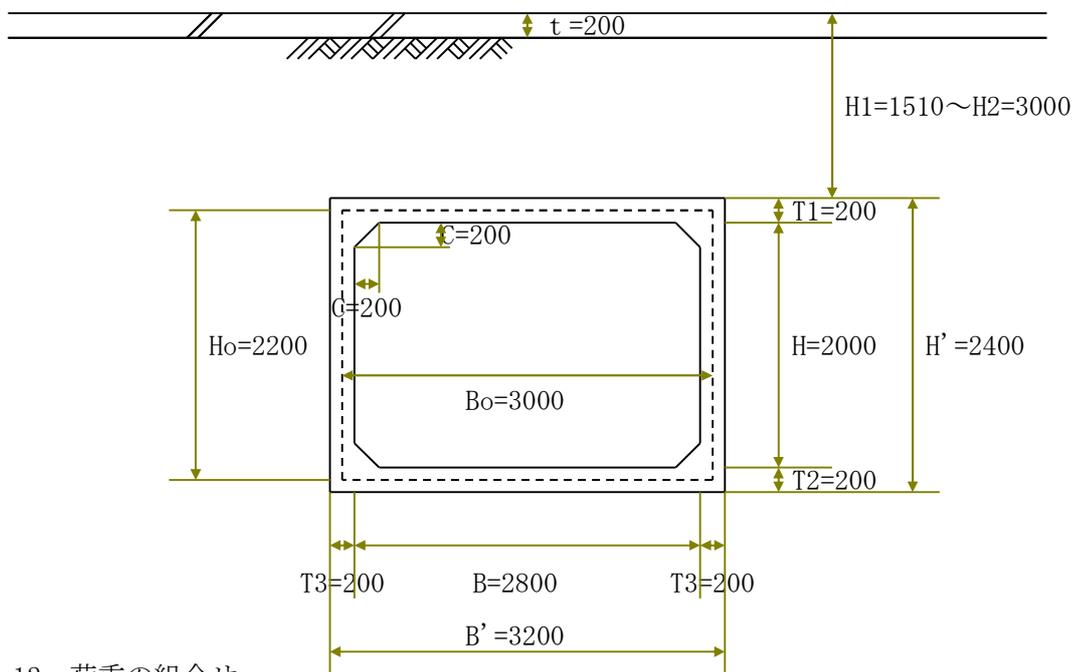
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

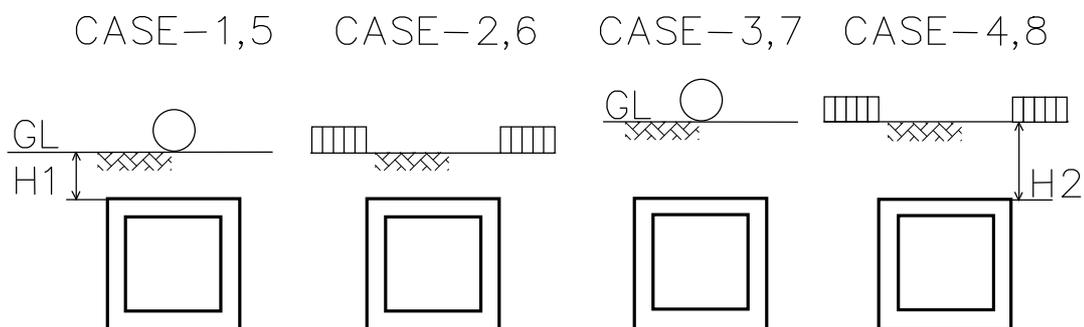
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 26$	$\phi 26$	*****	(mm)
断面積	530.90	530.90	*****	(mm ²)
設計引張力	450000	450000	*****	(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

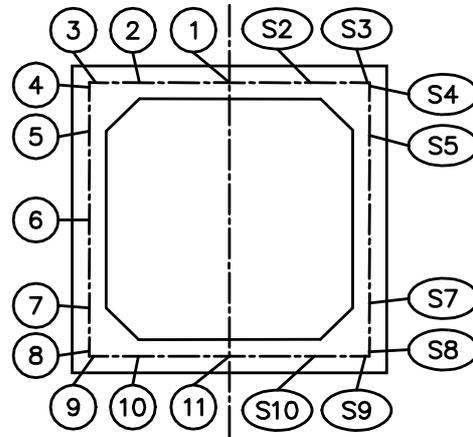
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

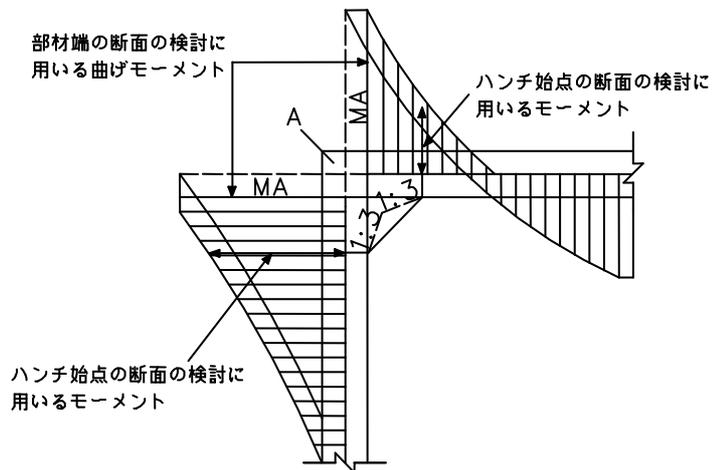
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

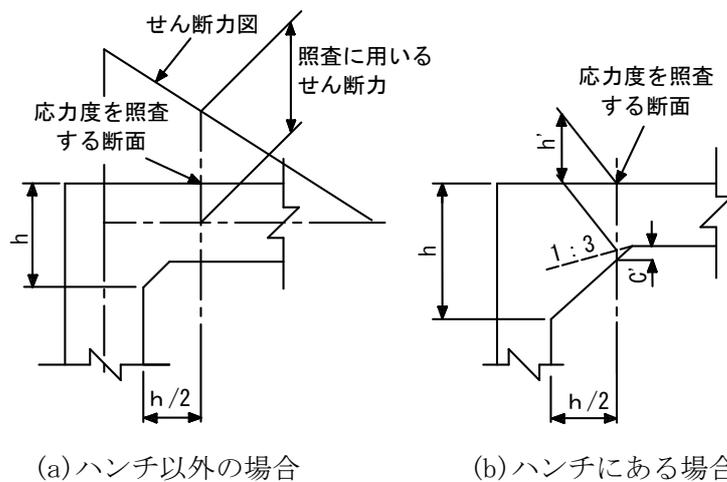
せん断力



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

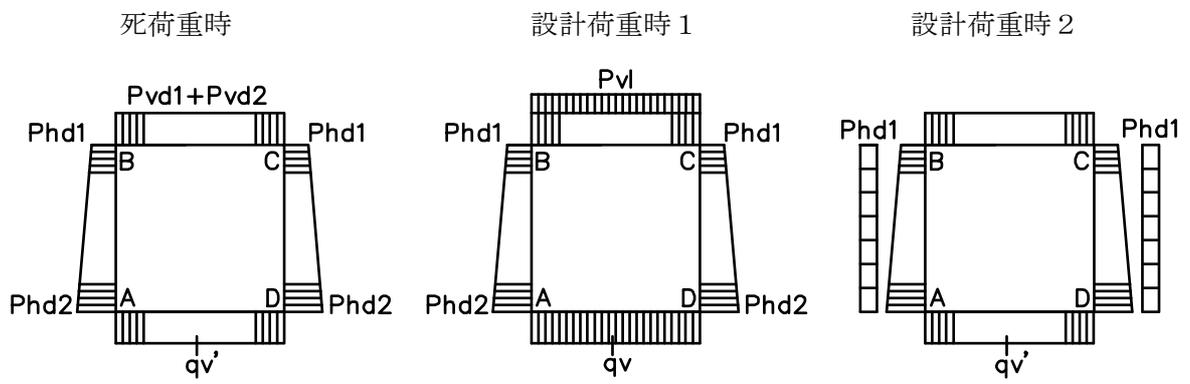
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

3 断面力の算定 (CASE-1, 2)

3.1.1 設計荷重

- (1) 頂版自重 $P_{vd1} = \gamma_c \times T1$
- (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 $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2 + H_o) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = K_a \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H1 = 3.220 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 3.520 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-1 (kN/m ²)	設計荷重 2 CASE-2 (kN/m ²)
P _{vd1}	4.900	4.900	4.900
P _{vd2}	28.080	28.080	28.080
P _{hd1} = P _{hd1}	14.940	14.940	*****
P _{hd1} = P _{hd1} + P _q	*****	*****	19.940
P _{hd3} = P _{hd3}	*****	*****	*****
P _{hd3} = P _{hd3} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5}	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd2} = P _{hd2}	34.740	34.740	*****
P _{hd2} = P _{hd2} + P _q	*****	*****	39.740
P _{hd4} = P _{hd4}	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	26.426	0.000
q _v	*****	67.246	*****
q _{v'}	40.820	*****	40.820

注) q_{v'}は、P_{v1} = 0 とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

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

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

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）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	0.7333	0.7333	0.7333
β	0.7333	0.7333	0.7333
N1	2.7333	2.7333	2.7333
N2	2.7333	2.7333	2.7333
CAD (kN・m/m)	30.615	50.434	30.615
CBC (kN・m/m)	24.735	44.554	24.735
CAB (kN・m/m)	10.817	10.817	12.834
CBA (kN・m/m)	9.220	9.220	11.237
θ_A	-10.760	-22.194	-9.596
θ_B	9.613	21.047	8.449
MAB (kN・m/m)	-22.724	-34.159	-23.578
MAD (kN・m/m)	22.724	34.159	23.578
MBA (kN・m/m)	17.686	29.120	18.539
MBC (kN・m/m)	-17.686	-29.120	-18.539

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。

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

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

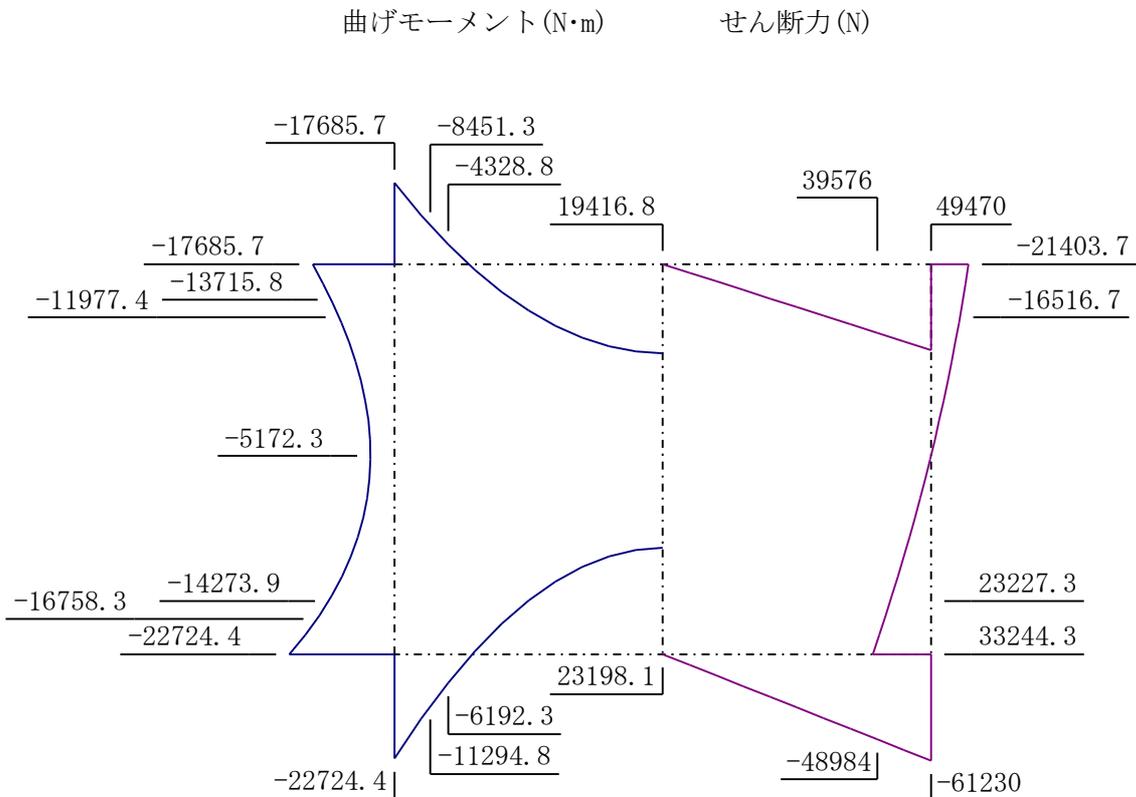
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S _{BC} (kN/m)	49.470	89.109	49.470
S _{CB} (kN/m)	-49.470	-89.109	-49.470
M _{max} (kN・m/m)	19.417	37.712	18.564
S _{AD} (kN/m)	61.230	100.869	61.230
S _{DA} (kN/m)	-61.230	-100.869	-61.230
M _{max} (kN・m/m)	23.198	41.493	22.345
S _{AB} (kN/m)	33.244	33.244	38.744
S _{BA} (kN/m)	-21.404	-21.404	-26.904
x (m)	1.119	1.119	*****
	1.116	*****	1.116
M _{max} (kN・m/m)	-5.172	-16.607	*****
M _{max} (kN・m/m)	-5.172	*****	-3.001

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。

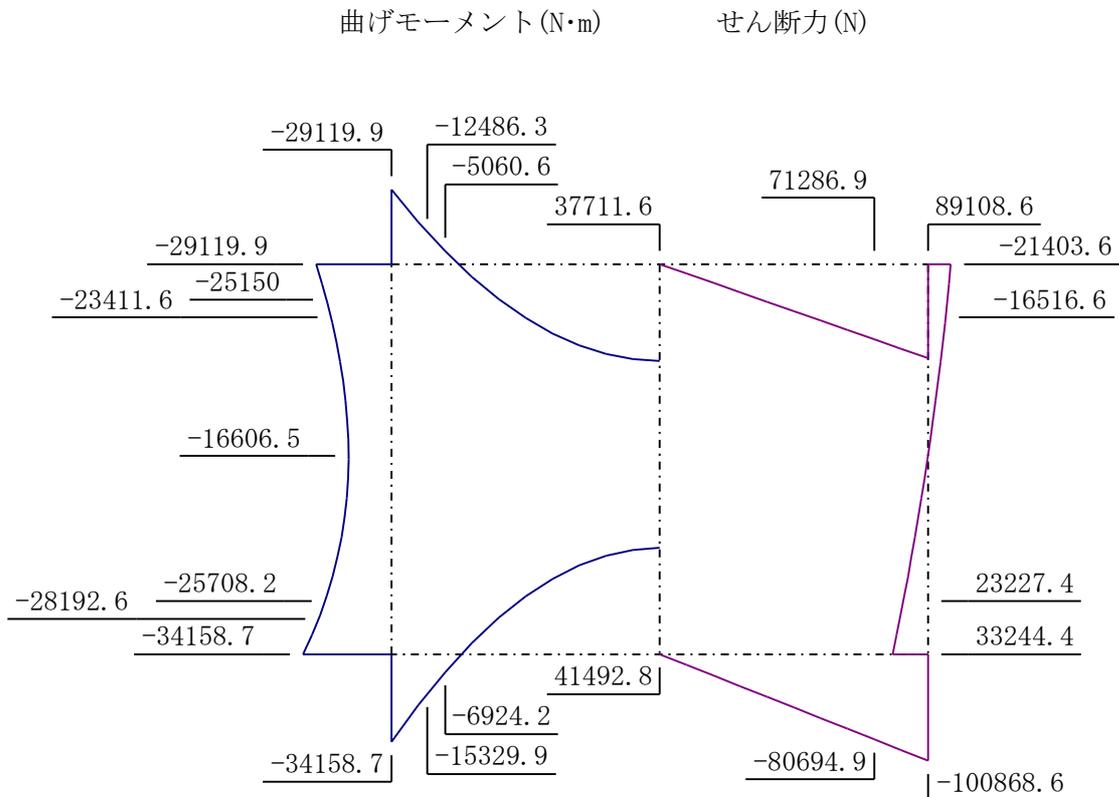
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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	0.100	-17686	49470	21404
	2 ハッチ始点	0.300	-8451	***	21404
	S2 τ点	0.300	-4329	39576	21404
	1 中央	1.500	19417	0	21404
底版	9, S9 端部	0.100	-22724	61230	33244
	10 ハッチ始点	0.300	-11295	***	33244
	S10 τ点	0.300	-6192	48984	33244
	11 中央	1.500	23198	0	33244
側壁	4, S4 上端部	2.100	-17686	-21404	49470
	5 上ハッチ点	1.900	-13716	***	50539
	S5 上τ点	1.900	-11977	-16517	51074
	6 中間	1.119	-5172	*****	55248
		1.116	-5172	*****	55265
	S7 下τ点	0.300	-14274	23227	59626
	7 下ハッチ点	0.300	-16758	***	60161
	8, S8 下端部	0.100	-22724	33244	61230



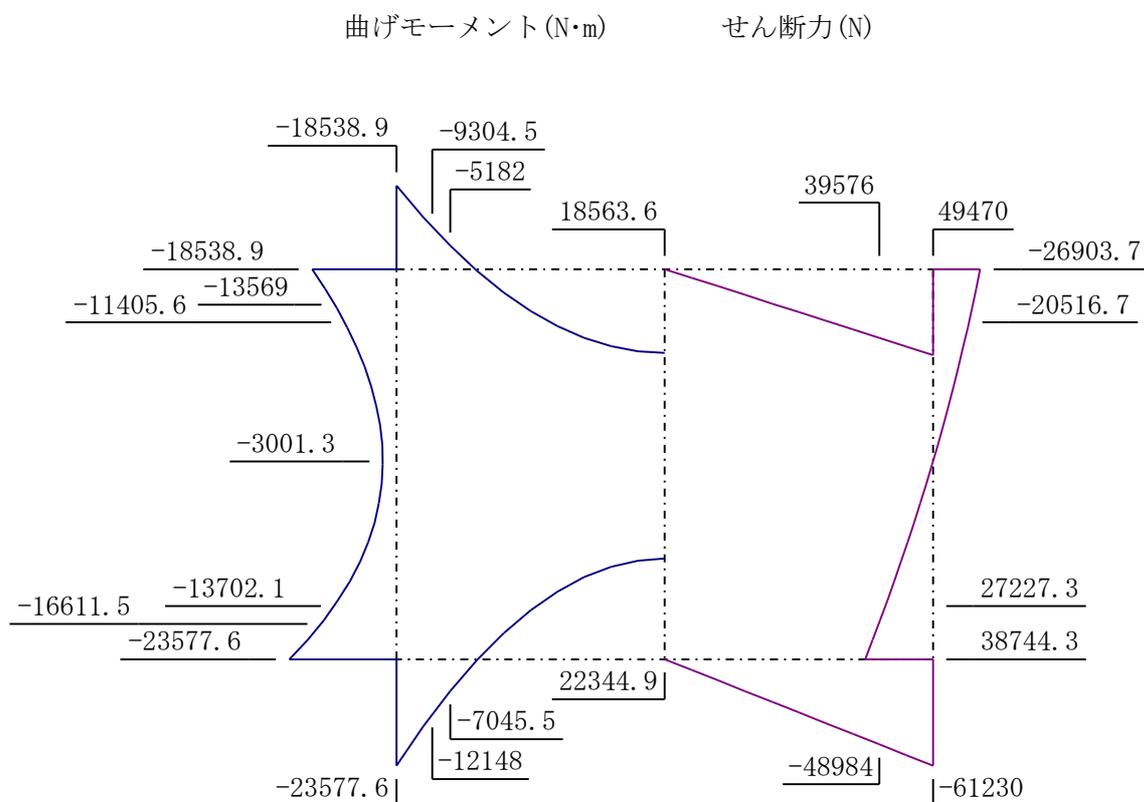
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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	0.100	-29120	89109	21404
	2 ハッチ始点	0.300	-12486	***	21404
	S2 τ点	0.300	-5061	71287	21404
	1 中央	1.500	37712	0	21404
底板	9, S9 端部	0.100	-34159	100869	33244
	10 ハッチ始点	0.300	-15330	***	33244
	S10 τ点	0.300	-6924	80695	33244
	11 中央	1.500	41493	0	33244
側壁	4, S4 上端部	2.100	-29120	-21404	89109
	5 上ハッチ点	1.900	-25150	***	90178
	S5 上τ点	1.900	-23412	-16517	90712
	6 中間	1.119	-16607	0	94887
	S7 下τ点	0.300	-25708	23227	99265
	7 下ハッチ点	0.300	-28193	***	99800
	8, S8 下端部	0.100	-34159	33244	100869



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

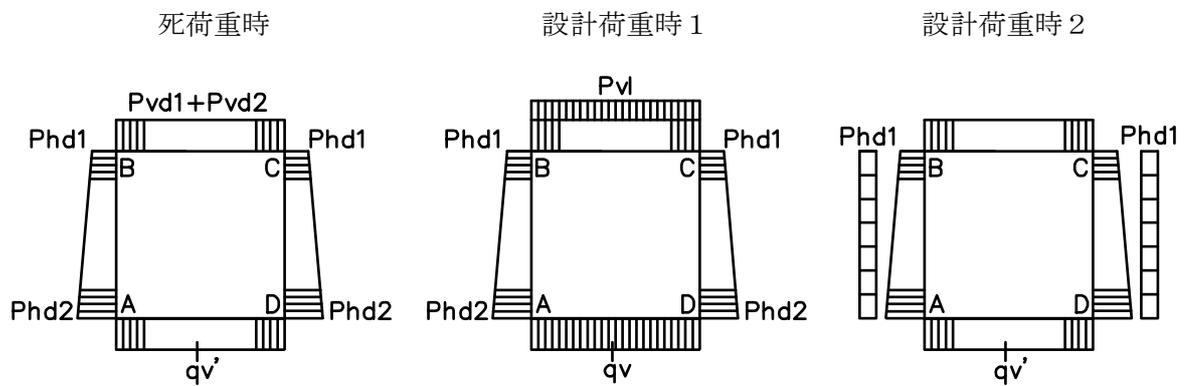
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.100	-18539	49470	26904
	2 ハッチ始点	0.300	-9305	***	26904
	S2 τ点	0.300	-5182	39576	26904
	1 中央	1.500	18564	0	26904
底版	9, S9 端部	0.100	-23578	61230	38744
	10 ハッチ始点	0.300	-12148	***	38744
	S10 τ点	0.300	-7046	48984	38744
	11 中央	1.500	22345	0	38744
側壁	4, S4 上端部	2.100	-18539	-26904	49470
	5 上ハッチ点	1.900	-13569	***	50539
	S5 上τ点	1.900	-11406	-20517	51074
	6 中間	1.116	-3001	0	55265
	S7 下τ点	0.300	-13702	27227	59626
	7 下ハッチ点	0.300	-16612	***	60161
	8, S8 下端部	0.100	-23578	38744	61230



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}	4.900	4.900	4.900
P_{vd2}	54.900	54.900	54.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	28.350	28.350	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	33.350
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	48.150	48.150	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	53.150
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	13.724	0.000
q_v	*****	81.364	*****
$q_{v'}$	67.640	*****	67.640

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	0.7333	0.7333	0.7333
β	0.7333	0.7333	0.7333
N1	2.7333	2.7333	2.7333
N2	2.7333	2.7333	2.7333
CAD (kN・m/m)	50.730	61.023	50.730
CBC (kN・m/m)	44.850	55.143	44.850
CAB (kN・m/m)	16.226	16.226	18.243
CBA (kN・m/m)	14.629	14.629	16.646
θ_A	-19.244	-25.183	-18.081
θ_B	18.097	24.036	16.934
MAB (kN・m/m)	-36.617	-42.556	-37.471
MAD (kN・m/m)	36.617	42.556	37.471
MBA (kN・m/m)	31.579	37.517	32.432
MBC (kN・m/m)	-31.579	-37.517	-32.432

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。

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

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

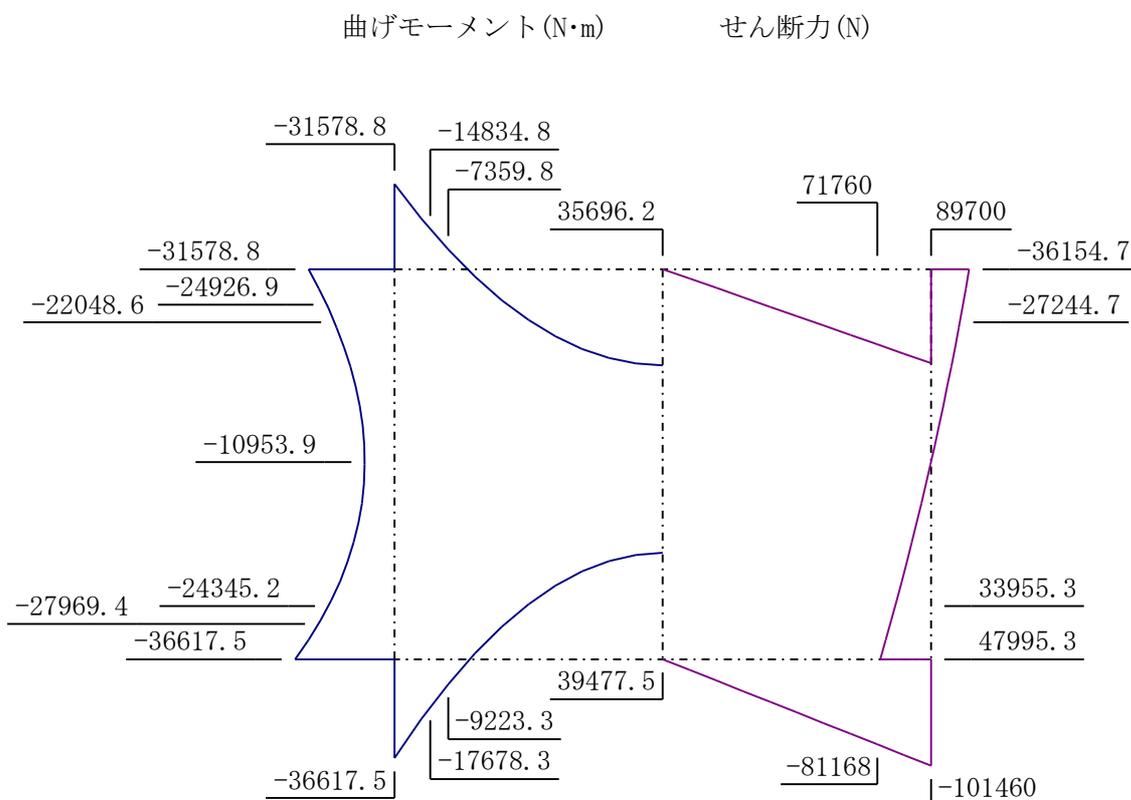
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	89.700	110.287	89.700
SCB (kN/m)	-89.700	-110.287	-89.700
Mmax (kN・m/m)	35.696	45.198	34.843
SAD (kN/m)	101.460	122.047	101.460
SDA (kN/m)	-101.460	-122.047	-101.460
Mmax (kN・m/m)	39.477	48.979	38.624
SAB (kN/m)	47.995	47.995	53.495
SBA (kN/m)	-36.155	-36.155	-41.655
x (m)	1.112	1.112	*****
	1.111	*****	1.111
Mmax (kN・m/m)	-10.954	-16.892	*****
Mmax (kN・m/m)	-10.954	*****	-8.783

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。

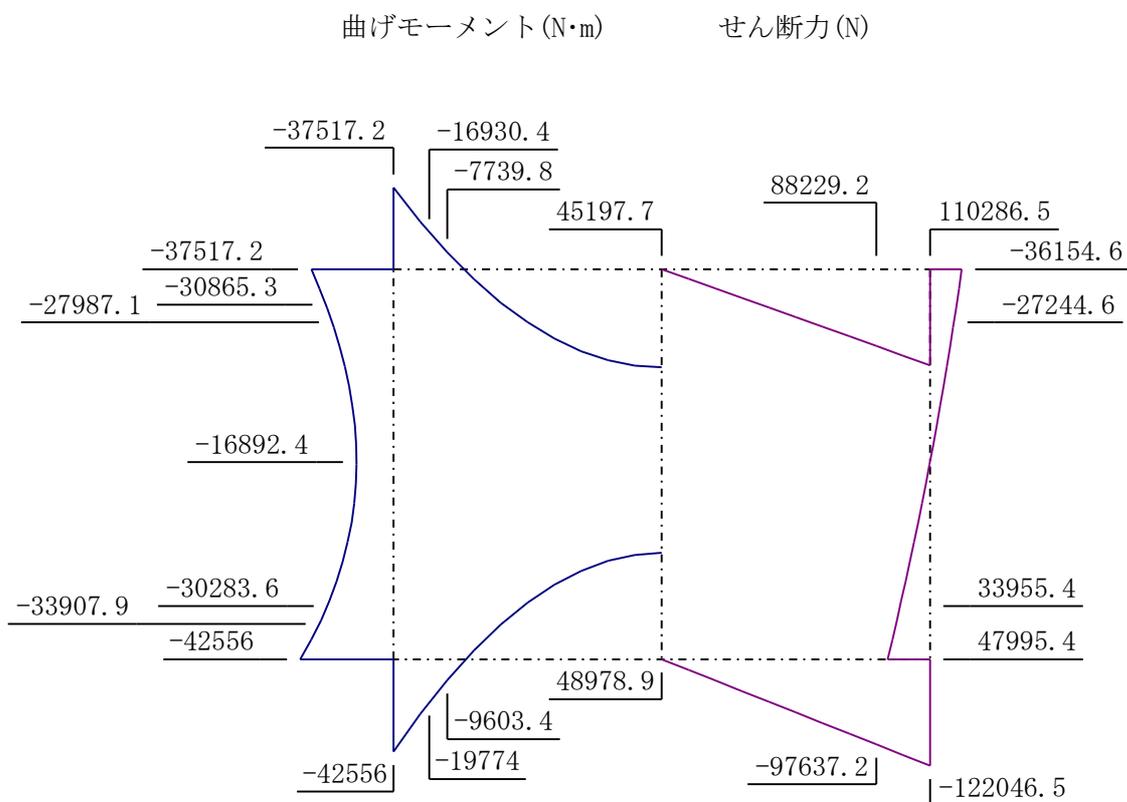
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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	0.100	-31579	89700	36155
	2 ハッチ始点	0.300	-14835	***	36155
	S2 τ点	0.300	-7360	71760	36155
	1 中央	1.500	35696	0	36155
底版	9, S9 端部	0.100	-36618	101460	47995
	10 ハッチ始点	0.300	-17678	***	47995
	S10 τ点	0.300	-9223	81168	47995
	11 中央	1.500	39478	0	47995
側壁	4, S4 上端部	2.100	-31579	-36155	89700
	5 上ハッチ点	1.900	-24927	***	90769
	S5 上τ点	1.900	-22049	-27245	91304
	6 中間	1.112	-10954	*****	95516
		1.111	-10954	*****	95521
	S7 下τ点	0.300	-24345	33955	99856
	7 下ハッチ点	0.300	-27969	***	100391
	8, S8 下端部	0.100	-36618	47995	101460



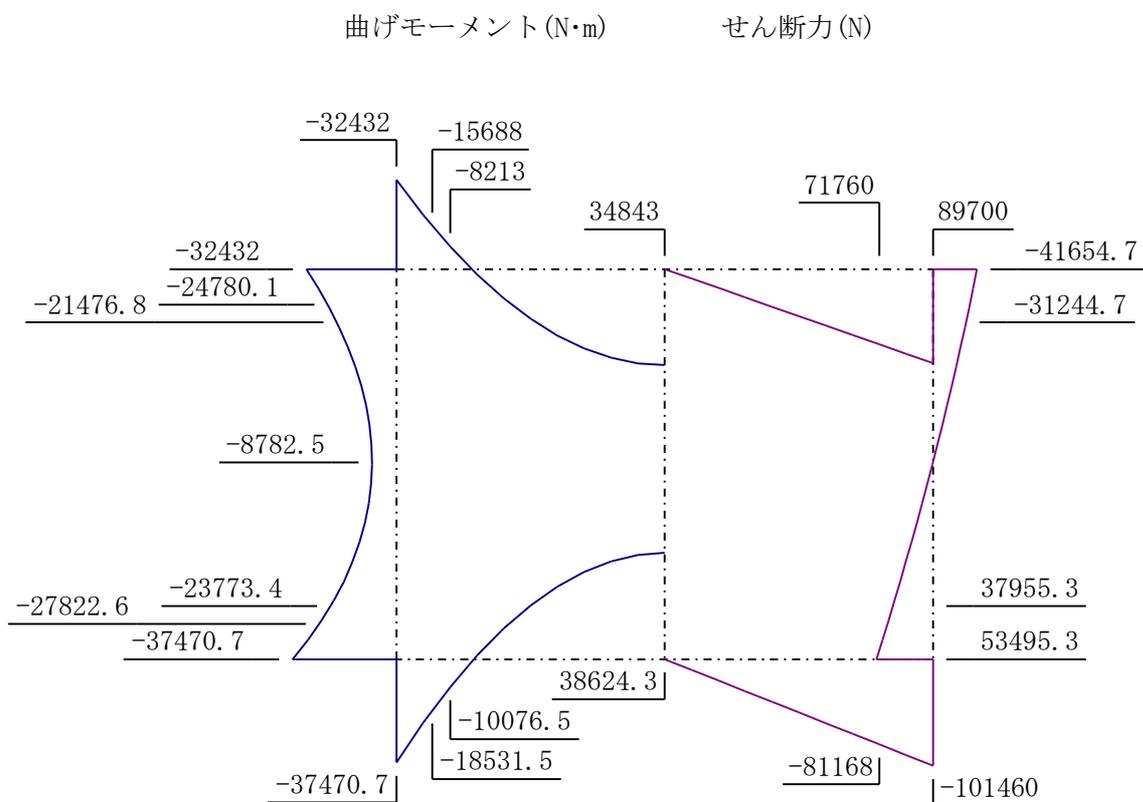
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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	0.100	-37517	110287	36155
	2 ハッチ始点	0.300	-16930	***	36155
	S2 τ点	0.300	***	88229	***
	1 中央	1.500	45198	0	36155
底版	9, S9 端部	0.100	-42556	122047	47995
	10 ハッチ始点	0.300	-19774	***	47995
	S10 τ点	0.300	***	97637	***
	11 中央	1.500	48979	0	47995
側壁	4, S4 上端部	2.100	-37517	-36155	110287
	5 上ハッチ点	1.900	-30865	***	111356
	S5 上τ点	1.900	***	-27245	***
	6 中間	1.112	-16892	0	116102
	S7 下τ点	0.300	***	33955	***
	7 下ハッチ点	0.300	-33908	***	120977
	8, S8 下端部	0.100	-42556	47995	122047



(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	0.100	-32432	89700	41655
	2 ハッチ始点	0.300	-15688	***	41655
	S2 τ点	0.300	***	71760	***
	1 中央	1.500	34843	0	41655
底版	9, S9 端部	0.100	-37471	101460	53495
	10 ハッチ始点	0.300	-18532	***	53495
	S10 τ点	0.300	***	81168	***
	11 中央	1.500	38624	0	53495
側壁	4, S4 上端部	2.100	-32432	-41655	89700
	5 上ハッチ点	1.900	-24780	***	90769
	S5 上τ点	1.900	***	-31245	***
	6 中間	1.111	-8783	0	95521
	S7 下τ点	0.300	***	37955	*****
	7 下ハッチ点	0.300	-27823	***	100391
	8, S8 下端部	0.100	-37471	53495	101460



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)
	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	26.67	2666.7	158024.69	13.33	11851.85
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
中央	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67

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	φ26	2.50	5.309	450000	2.33	外側
ハチ始点	φ26	2.50	5.309	450000	-1.00	外側
τ点	φ26	2.50	5.309	450000	-1.00	外側
中央	φ26	2.50	5.309	450000	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	847.62	4.61	-0.47	98.97	25.43	723.22	0.853	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.22	124.67	25.43	697.52	0.823	3
τ点	847.62	5.79	0.11	123.02	25.43	699.17	0.825	3
中央	847.62	5.79	-0.54	113.55	25.43	708.64	0.836	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	847.62	4.61	-0.47	98.97	25.43	723.22	0.853	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.22	124.67	25.43	697.52	0.823	3
τ点	847.62	5.79	0.11	123.02	25.43	699.17	0.825	3
中央	847.62	5.79	-0.54	113.55	25.43	708.64	0.836	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	847.62	4.61	-0.47	98.97	25.43	723.22	0.853	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.22	124.67	25.43	697.52	0.823	3
τ点	847.62	5.79	0.11	123.02	25.43	699.17	0.825	4
中央	847.62	5.79	-0.54	113.55	25.43	708.64	0.836	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	847.62	4.61	-0.47	98.97	25.43	723.22	0.853	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.22	124.67	25.43	697.52	0.823	3
τ点	847.62	5.79	0.11	123.02	25.43	699.17	0.825	4
中央	847.62	5.79	-0.54	113.55	25.43	708.64	0.836	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	2.66	0.14	1.71	4.51	3
ハチ始点	2.23	0.18	6.02	8.42	3
中央	5.35	0.18	3.29	8.83	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.66	0.14	5.49	2.96	3
ハチ始点	-2.23	0.18	3.24	1.20	3
中央	-5.35	0.18	6.11	0.94	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	3.17	0.14	1.71	5.01	3
ハチ始点	2.54	0.18	6.02	8.74	3
中央	6.78	0.18	3.29	10.25	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-3.17	0.14	5.49	2.46	3
ハチ始点	-2.54	0.18	3.24	0.88	3
中央	-6.78	0.18	6.11	-0.49	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	-50.648	1.40	6.17	4.9	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-22.856	0.06	9.69	0.1	0.0	0.000	0.000	3
中央	61.017	-2.79	12.69	3.6	50.5	3.153	1.805	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	—	D 10	—	5	4.951 cm ² /m > As1 or As2
内側	D 13	—	D 10	—	5	4.951 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	8889	36.155	110.287	959.89	3.74	0.62	-0.100	3
τ 点	100.0	5000	36.155	88.229	927.97	4.82	0.66	-0.089	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	-31.579	-5.938	-55.898	-63.779	-63.779	3
ハチ始点	-14.835	-2.096	-24.524	-28.782	-28.782	3
中央	35.696	9.502	70.159	76.836	76.836	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	13.272	4.951	15.7	23.2	0.069	0.009	176.29	2.8	3
ハチ始点	13.272	4.951	9.0	16.5	0.069	0.016	95.70	3.3	3
中央	13.272	4.951	11.0	16.5	0.069	0.013	116.96	1.5	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	26.67	2666.7	158024.69	13.33	11851.85
ハチ始点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
τ点	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
中央	100.00	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67

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	φ26	2.50	5.309	450000	2.33	外側
ハチ始点	φ26	2.50	5.309	450000	-1.00	外側
τ点	φ26	2.50	5.309	450000	-1.00	外側
中央	φ26	2.50	5.309	450000	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	847.62	4.61	-0.54	97.86	25.43	724.33	0.855	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.27	125.29	25.43	696.90	0.822	3
τ点	847.62	5.79	0.14	123.43	25.43	698.76	0.824	3
中央	847.62	5.79	-0.59	112.71	25.43	709.48	0.837	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	847.62	4.61	-0.54	97.86	25.43	724.33	0.855	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.27	125.29	25.43	696.90	0.822	3
τ点	847.62	5.79	0.14	123.43	25.43	698.76	0.824	3
中央	847.62	5.79	-0.59	112.71	25.43	709.48	0.837	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	847.62	4.61	-0.54	97.86	25.43	724.33	0.855	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.27	125.29	25.43	696.90	0.822	3
τ点	847.62	5.79	0.14	123.43	25.43	698.76	0.824	4
中央	847.62	5.79	-0.59	112.71	25.43	709.48	0.837	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	847.62	4.61	-0.54	97.86	25.43	724.33	0.855	3
ハチ始点	847.62	5.79	0.27	125.29	25.43	696.90	0.822	3
τ点	847.62	5.79	0.14	123.43	25.43	698.76	0.824	4
中央	847.62	5.79	-0.59	112.71	25.43	709.48	0.837	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	3.09	0.18	1.71	4.98	3
ハチ始点	2.65	0.24	6.01	8.90	3
中央	5.92	0.24	3.30	9.46	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-3.09	0.18	5.50	2.59	3
ハチ始点	-2.65	0.24	3.24	0.83	3
中央	-5.92	0.24	6.12	0.44	3
			$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	3.59	0.18	1.71	5.48	3
ハチ始点	2.97	0.24	6.01	9.22	3
中央	7.35	0.24	3.30	10.88	3
			$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-3.59	0.18	5.50	2.09	3
ハチ始点	-2.97	0.24	3.24	0.51	3
中央	-7.35	0.24	6.12	-0.99	3
			$\sigma_t > -1.5$	CHECK OK	

5.2.5 引張鉄筋量

位置	曲げモーメント (kN・m/m)	合成応力度		x (cm)	Tc (kN)	引張鉄筋量		ケース
		外側 (N/mm ²)	内側 (N/mm ²)			As1 (cm ² /m)	As2 (cm ² /m)	
端部	-57.451	0.89	6.80	3.1	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-26.695	-0.44	10.34	0.8	1.8	0.114	0.411	3
中央	66.122	-3.47	13.54	4.1	70.9	4.433	2.042	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	—	D 10	—	5	4.951 cm ² /m > As1 or As2
内側	D 13	—	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	8889	47.995	122.046	961.37	3.79	0.69	-0.121	3
τ 点	100.0	5000	47.995	97.637	927.43	4.88	0.73	-0.108	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	-36.617	-5.938	-62.449	-72.345	-72.345	3
ハチ始点	-17.678	-2.096	-28.221	-33.616	-33.616	3
中央	39.477	9.501	75.074	83.264	83.264	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	13.272	4.951	15.7	23.2	0.069	0.009	176.29	2.4	3
ハチ始点	13.272	4.951	9.0	16.5	0.069	0.016	95.70	2.8	3
中央	13.272	4.951	11.0	16.5	0.069	0.013	116.96	1.4	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	-37.517	110.287	34.02	9.83	48.362	3
	上ハチ点	-30.865	111.356	27.72	6.50	38.103	3
側壁	中 間	-16.607	94.887	17.50	6.50	22.774	1
	下ハチ点	-33.908	120.977	28.03	6.50	41.771	3
	下端部	-42.556	122.046	34.87	9.83	54.557	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	48.362	12.25	15.75	26.67	7.889
	上ハチ点	38.103	10.88	14.38	20.00	9.826
側壁	中 間	22.774	8.41	11.91	20.00	3.804
	下ハチ点	41.771	11.39	14.89	20.00	10.950
	下端部	54.557	13.01	16.51	26.67	9.162
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 19 - 5
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 16 - 5

部材	点	部材幅 b (cm)	使用鉄筋量 A _s (cm ² /m)	x (cm)	実応力度 (N/mm ²)		
					σ _c	σ _s	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	12.128	9.543	5.07	108.6	0.0
	上ハンチ点	100.00	12.128	7.462	7.29	132.4	0.0
	中間	100.00	12.128	8.331	3.98	58.6	0.0
	下ハンチ点	100.00	12.128	7.447	8.00	146.0	0.0
	下端部	100.00	12.128	9.490	5.75	124.3	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	71.287	39.576	88.229	71.760				
	M			-7.740					
	N			36.155					
	最大			○					
底版 τ点	S	80.695	48.984	97.637	81.168				
	M			-9.603					
	N			47.995					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-16.517	-20.517	-27.245	-31.245				
	M				-21.477				
	N				91.304				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	23.227	27.227	33.955	37.955				
	M				-23.773				
	N				99.856				
	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	20.0	3.5	16.5	1.400	D13-2.5 D10-2.5	4.951	0.300	1.000
底版 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D13-2.5 D10-2.5	4.951	0.300	1.000
側壁上 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D19-2.5 D16-2.5	12.128	0.735	1.341
側壁下 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D19-2.5 D16-2.5	12.128	0.735	1.341

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	-7.740	928.0	36.155	0.200	0.00667	-0.01	22.875	2.000
底版 τ 点	-9.603	927.4	47.995	0.200	0.00667	-0.01	23.255	2.000
側壁上 τ 点	-21.477	0.0	91.304	0.200	0.00667	0.00	3.045	1.142
側壁下 τ 点	-23.773	0.0	99.856	0.200	0.00667	0.00	3.330	1.140

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	1.000	2.000	0.756
底版 τ 点	0.270	1.400	1.000	2.000	0.756
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.341	1.142	0.579
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.341	1.140	0.578

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	88.229	16.5	0.535	0.756
底版 τ 点	97.637	16.5	0.592	0.756
側壁上 τ 点	31.245	16.5	0.189	0.579
側壁下 τ 点	37.955	16.5	0.230	0.578

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上