

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) 4500 × (H) 2000 × (L) 1000 [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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

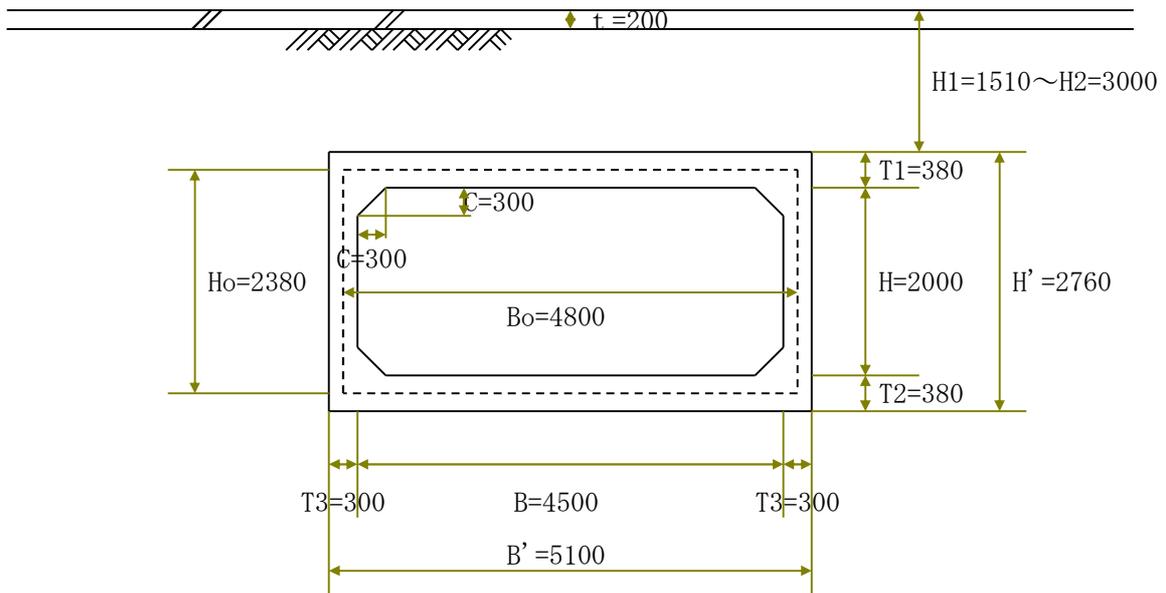
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

- (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

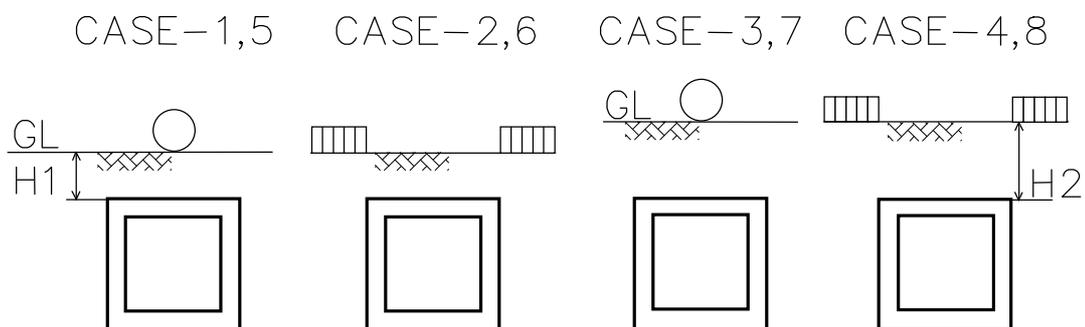
	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 21$	*****	(mm)
断面積	346.40	346.40	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	290000	*****	(N)

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

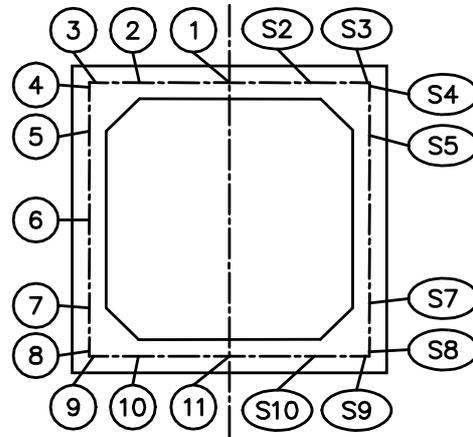
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

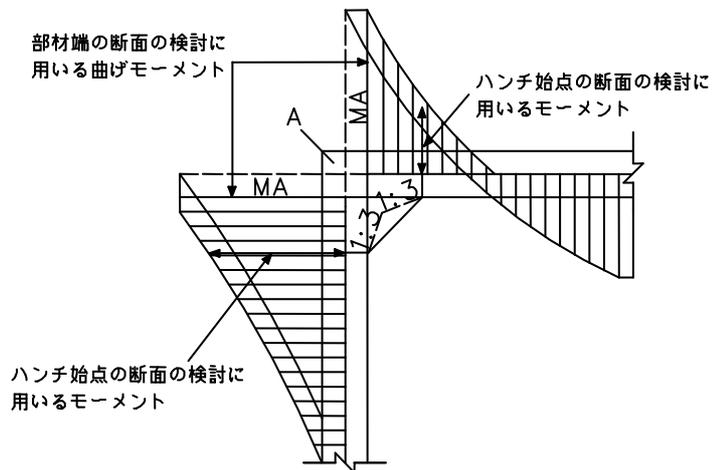
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

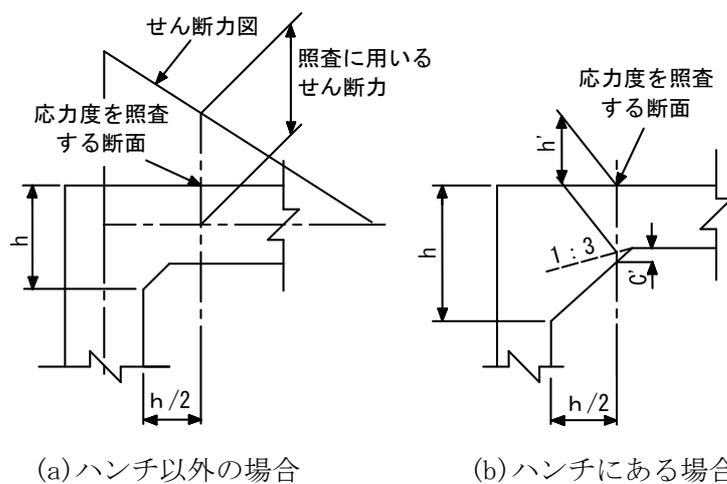
せん断力



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

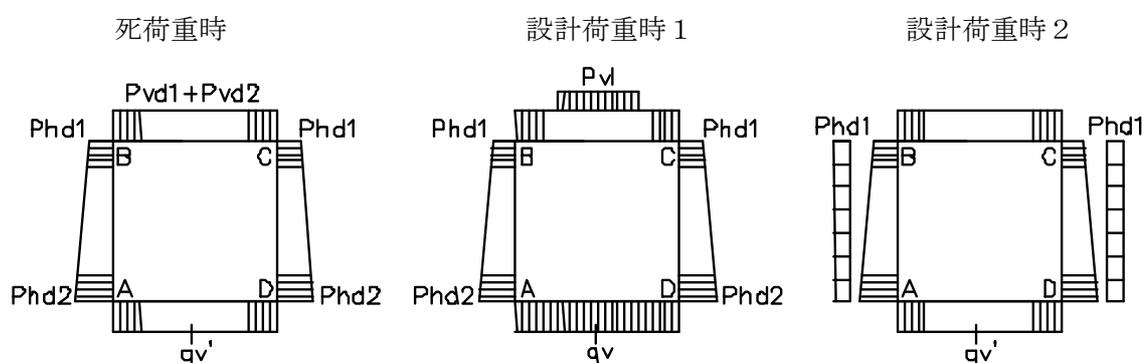
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分C'の1/3まで大きくとります。

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

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 $u = a + 2 \times H1 = 3.220 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 3.520 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) \} / B_o$



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}	9.310	9.310	9.310
P _{vd2}	28.080	28.080	28.080
P _{hd1} = P _{hd1}	15.750	15.750	*****
P _{hd1} = P _{hd1} + P _q	*****	*****	20.750
P _{hd3} = P _{hd3}	*****	*****	*****
P _{hd3} = P _{hd3} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5}	*****	*****	*****
P _{hd5} = P _{hd5} + P _q	*****	*****	*****
P _{hd2} = P _{hd2}	37.170	37.170	*****
P _{hd2} = P _{hd2} + P _q	*****	*****	42.170
P _{hd4} = P _{hd4}	*****	*****	*****
P _{v1}	0.000	26.426	0.000
q _v	*****	63.325	*****
q _{v'}	45.598	*****	45.598

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）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	1.0077	1.0077	1.0077
β	1.0077	1.0077	1.0077
N1	3.0077	3.0077	3.0077
N2	3.0077	3.0077	3.0077
CAD (kN・m/m)	87.547	121.584	87.547
CBC (kN・m/m)	71.789	115.185	71.789
CAB (kN・m/m)	13.501	13.501	15.861
CBA (kN・m/m)	11.479	11.479	13.839
θ_A	-35.174	-53.291	-33.999
θ_B	31.747	52.199	30.571
MAB (kN・m/m)	-52.103	-67.884	-53.287
MAD (kN・m/m)	52.103	67.884	53.287
MBA (kN・m/m)	39.798	62.585	40.983
MBC (kN・m/m)	-39.798	-62.585	-40.983

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。

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

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

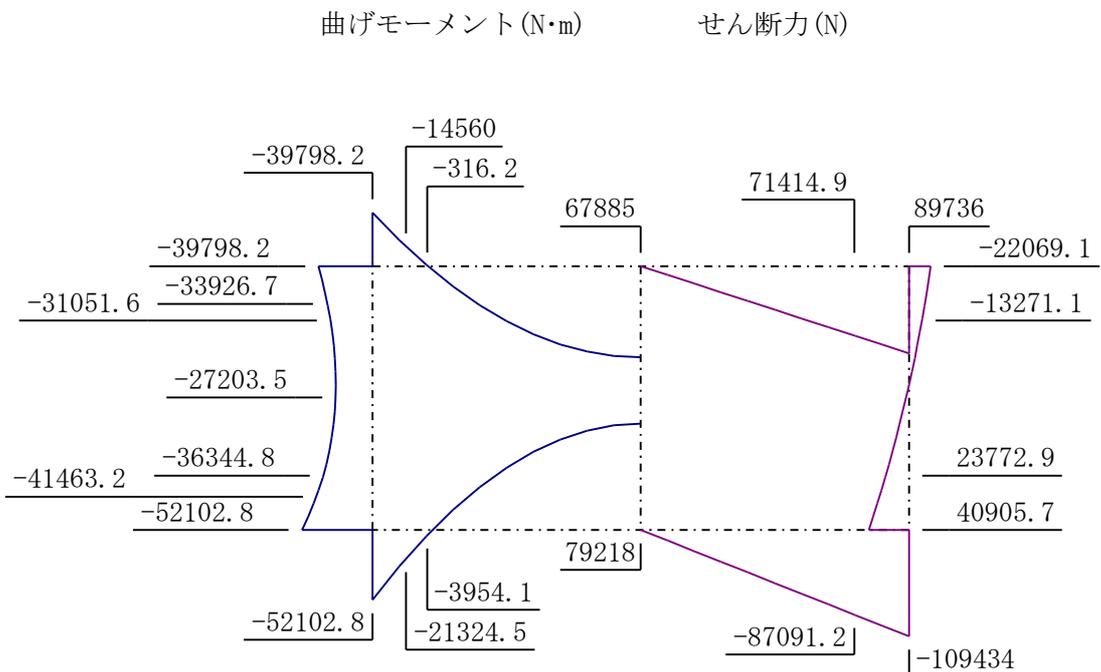
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
S BC (kN/m)	89.736	132.281	89.736
S CB (kN/m)	-89.736	-132.281	-89.736
Mmax (kN・m/m)	67.885	112.958	66.700
S AD (kN/m)	109.434	151.979	109.434
S DA (kN/m)	-109.434	-151.979	-109.434
Mmax (kN・m/m)	79.218	114.492	78.033
S AB (kN/m)	40.906	37.962	46.856
S BA (kN/m)	-22.069	-25.013	-28.019
x (m)	1.194	1.194	*****
	1.288	*****	1.288
Mmax (kN・m/m)	-27.203	-46.499	*****
Mmax (kN・m/m)	-27.043	*****	-24.711

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。

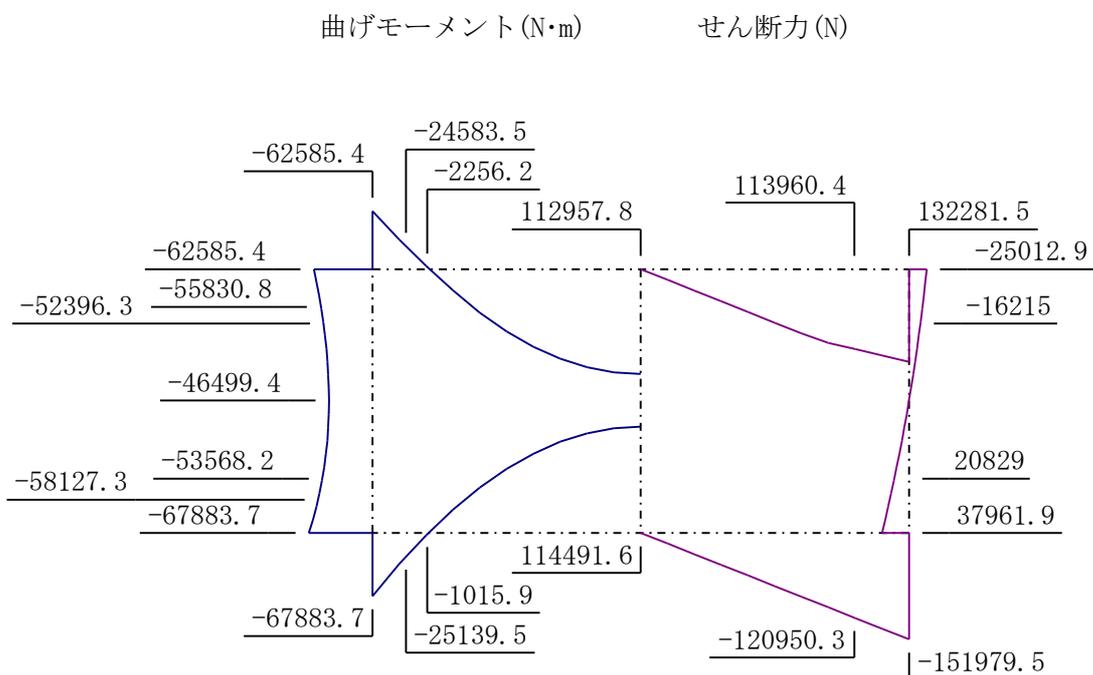
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

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	0.150	-39798	89736	22069
	2 ハッチ始点	0.450	-14560	***	22069
	S2 τ点	0.490	-316	71415	22069
	1 中央	2.400	67885	0	22069
底版	9, S9 端部	0.150	-52103	109434	40906
	10 ハッチ始点	0.450	-21325	***	40906
	S10 τ点	0.490	-3954	87091	40906
	11 中央	2.400	79218	0	40906
側壁	4, S4 上端部	2.190	-39798	-22069	89736
	5 上ハッチ点	1.890	-33927	***	92219
	S5 上τ点	1.890	-31052	-13271	93792
	6 中間	1.194	-27204	*****	99552
		1.288	-27043	*****	98774
	S7 下τ点	0.490	-36345	23773	105379
	7 下ハッチ点	0.490	-41463	***	106951
	8, S8 下端部	0.190	-52103	40906	109434



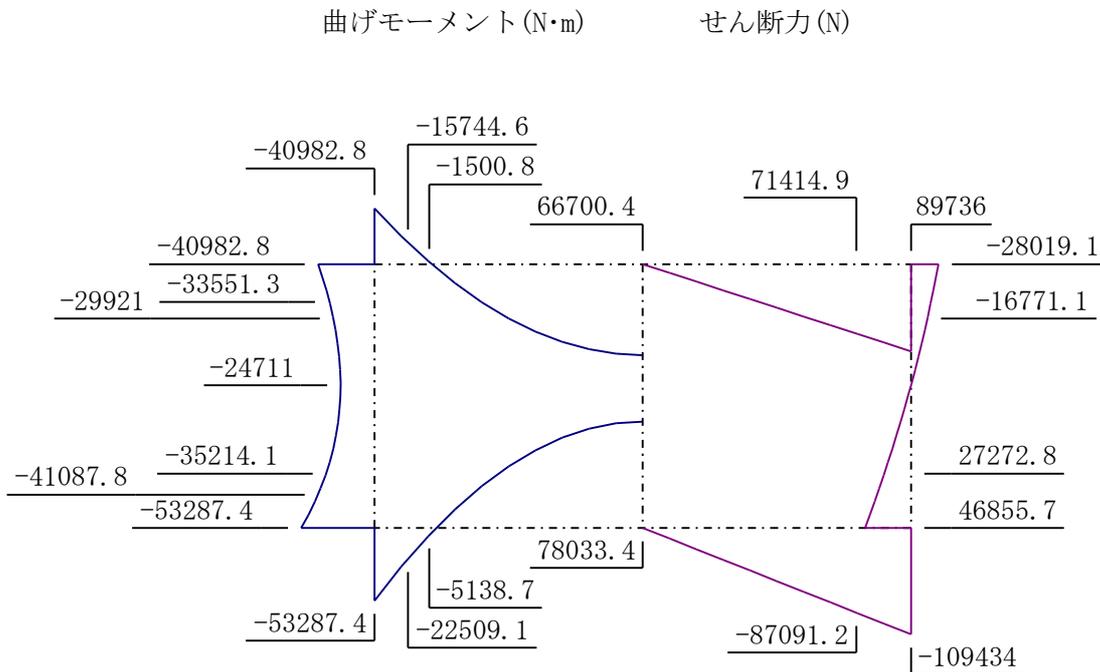
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

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	0.150	-62585	132282	25013
	2 ハッチ始点	0.450	-24584	***	25013
	S2 τ点	0.490	-2256	113960	25013
	1 中央	2.400	112958	0	25013
底板	9, S9 端部	0.150	-67884	151980	37962
	10 ハッチ始点	0.450	-25140	***	37962
	S10 τ点	0.490	-1016	120950	37962
	11 中央	2.400	114492	0	37962
側壁	4, S4 上端部	2.190	-62585	-25013	132282
	5 上ハッチ点	1.890	-55831	***	134764
	S5 上τ点	1.890	-52396	-16215	136337
	6 中間	1.194	-46499	0	142097
	S7 下τ点	0.490	-53568	20829	147924
	7 下ハッチ点	0.490	-58127	***	149497
	8, S8 下端部	0.190	-67884	37962	151980



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

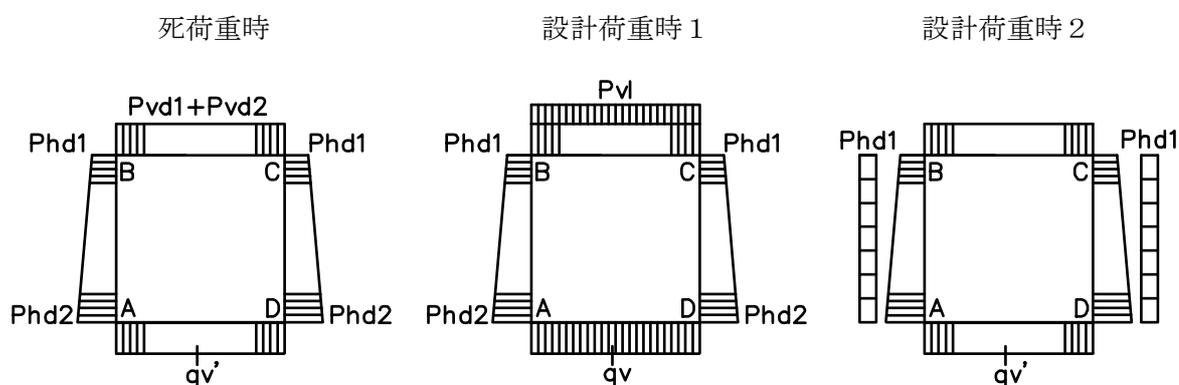
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	[/ 単位長]
					軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.150	-40983	89736	28019
	2 ハッチ始点	0.450	-15745	***	28019
	S2 τ点	0.490	-1501	71415	28019
	1 中央	2.400	66700	0	28019
底板	9, S9 端部	0.150	-53287	109434	46856
	10 ハッチ始点	0.450	-22509	***	46856
	S10 τ点	0.490	-5139	87091	46856
	11 中央	2.400	78033	0	46856
側壁	4, S4 上端部	2.190	-40983	-28019	89736
	5 上ハッチ点	1.890	-33551	***	92219
	S5 上τ点	1.890	-29921	-16771	93792
	6 中間	1.288	-24711	0	98774
	S7 下τ点	0.490	-35214	27273	105379
	7 下ハッチ点	0.490	-41088	***	106951
	8, S8 下端部	0.190	-53287	46856	109434



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}	9.310	9.310	9.310
P_{vd2}	54.900	54.900	54.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	29.160	29.160	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	34.160
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	50.580	50.580	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	55.580
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	13.724	0.000
q_v	*****	86.142	*****
$q_{v'}$	72.418	*****	72.418

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	1.0077	1.0077	1.0077
β	1.0077	1.0077	1.0077
N1	3.0077	3.0077	3.0077
N2	3.0077	3.0077	3.0077
CAD (kN・m/m)	139.042	165.392	139.042
CBC (kN・m/m)	123.283	149.634	123.283
CAB (kN・m/m)	19.831	19.831	22.191
CBA (kN・m/m)	17.809	17.809	20.169
θ_A	-57.670	-70.795	-56.495
θ_B	54.243	67.368	53.067
MAB (kN・m/m)	-80.929	-94.054	-82.113
MAD (kN・m/m)	80.929	94.054	82.113
MBA (kN・m/m)	68.624	81.749	69.809
MBC (kN・m/m)	-68.624	-81.749	-69.809

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。

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

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

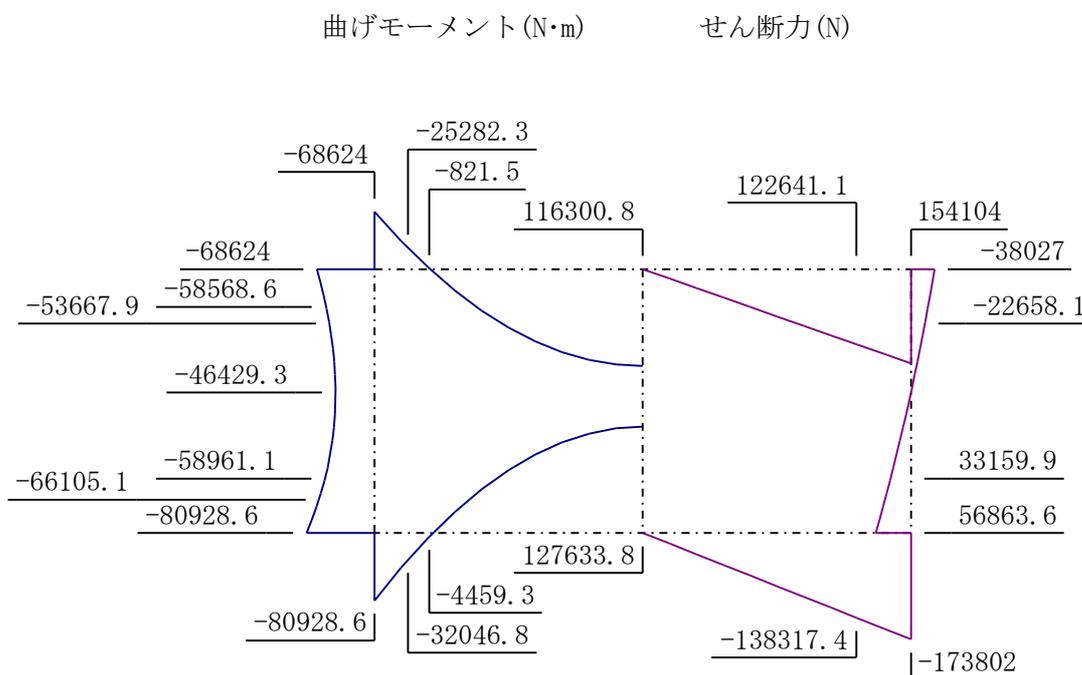
計算値	死荷重時	設計荷重時1 CASE-3	設計荷重時2 CASE-4
SBC (kN/m)	154.104	187.042	154.104
SCB (kN/m)	-154.104	-187.042	-154.104
Mmax (kN・m/m)	116.301	142.702	115.116
SAD (kN/m)	173.802	206.740	173.802
SDA (kN/m)	-173.802	-206.740	-173.802
Mmax (kN・m/m)	127.634	154.035	126.449
SAB (kN/m)	56.864	56.864	62.814
SBA (kN/m)	-38.027	-38.027	-43.977
x (m)	1.267	1.267	*****
	1.258	*****	1.258
Mmax (kN・m/m)	-46.429	-59.554	*****
Mmax (kN・m/m)	-46.431	*****	-44.087

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。

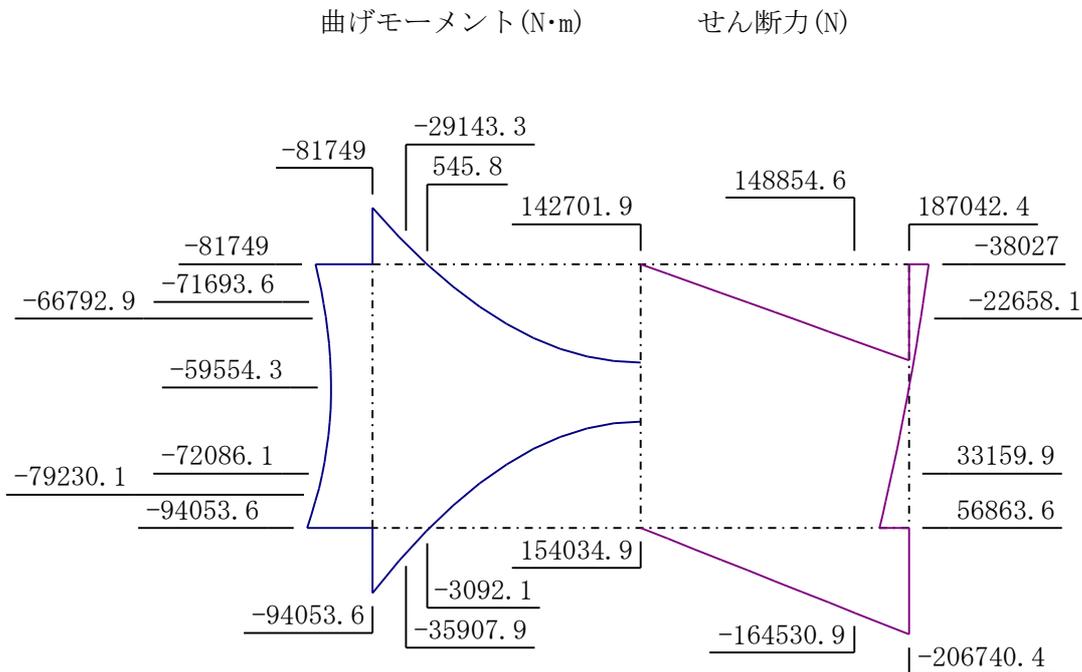
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

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	0.150	-68624	154104	38027
	2 ハッチ始点	0.450	-25282	***	38027
	S2 τ点	0.490	-822	122641	38027
	1 中央	2.400	116301	0	38027
底版	9, S9 端部	0.150	-80929	173802	56864
	10 ハッチ始点	0.450	-32047	***	56864
	S10 τ点	0.490	-4459	138317	56864
	11 中央	2.400	127634	0	56864
側壁	4, S4 上端部	2.190	-68624	-38027	154104
	5 上ハッチ点	1.890	-58569	***	156587
	S5 上τ点	1.890	-53668	-22658	158160
	6 中間	1.267	-46429	*****	163316
		1.258	-46431	*****	163390
	S7 下τ点	0.490	-58961	33160	169747
	7 下ハッチ点	0.490	-66105	***	171319
	8, S8 下端部	0.190	-80929	56864	173802



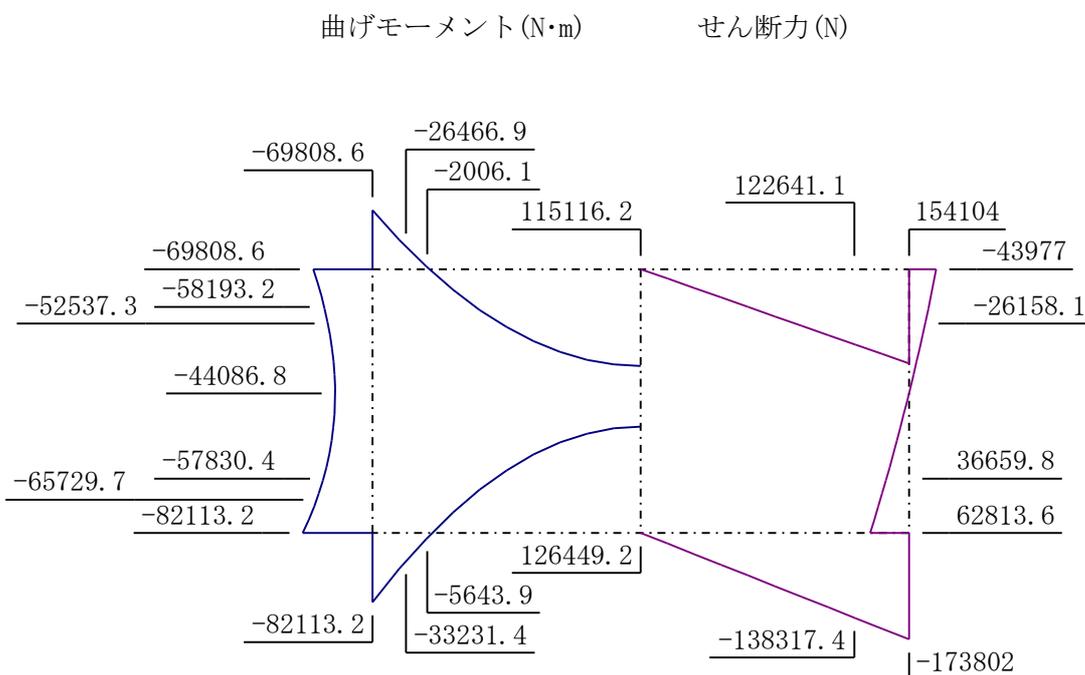
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

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	0.150	-81749	187042	38027
	2 ハッチ始点	0.450	-29143	***	38027
	S2 τ 点	0.490	***	148855	***
	1 中 央	2.400	142702	0	38027
底板	9, S9 端 部	0.150	-94054	206740	56864
	10 ハッチ始点	0.450	-35908	***	56864
	S10 τ 点	0.490	***	164531	***
	11 中 央	2.400	154035	0	56864
側壁	4, S4 上 端部	2.190	-81749	-38027	187042
	5 上ハッチ点	1.890	-71694	***	189525
	S5 上 τ 点	1.890	***	-22658	***
	6 中 間	1.267	-59554	0	196254
	S7 下 τ 点	0.490	***	33160	***
	7 下ハッチ点	0.490	-79230	***	204258
	8, S8 下 端部	0.190	-94054	56864	206740



(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	0.150	-69809	154104	43977
	2 ハッチ始点	0.450	-26467	***	43977
	S2 τ点	0.490	***	122641	***
	1 中央	2.400	115116	0	43977
底板	9, S9 端部	0.150	-82113	173802	62814
	10 ハッチ始点	0.450	-33231	***	62814
	S10 τ点	0.490	***	138317	***
	11 中央	2.400	126449	0	62814
側壁	4, S4 上端部	2.190	-69809	-43977	154104
	5 上ハッチ点	1.890	-58193	***	156587
	S5 上τ点	1.890	***	-26158	***
	6 中間	1.258	-44087	0	163390
	S7 下τ点	0.490	***	36660	*****
	7 下ハッチ点	0.490	-65730	***	171319
	8, S8 下端部	0.190	-82113	62814	173802



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 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	48.00	4800.0	921600.00	24.00	38400.00
ハチ始点	100.00	38.00	3800.0	457266.67	19.00	24066.67
τ点	100.00	38.00	3800.0	457266.67	19.00	24066.67
中央	100.00	38.00	3800.0	457266.67	19.00	24066.67

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	φ21	6.00	3.464	290000	2.50	外側
ハチ始点	φ21	6.00	3.464	290000	-2.50	外側
τ点	φ21	6.00	3.464	290000	-2.50	外側
中央	φ21	6.00	3.464	290000	2.50	内側

5.1.3 有効係数

計算項/ 位置	σ _{pt}	σ _{cpt}	σ _{cd}	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	3.74	-0.19	91.43	25.12	720.63	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.82	0.14	110.68	25.12	701.39	0.838	3
τ点	837.18	4.82	0.00	108.69	25.12	703.38	0.840	3
中央	837.18	4.82	-0.64	99.15	25.12	712.91	0.852	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	3.74	-0.19	91.43	25.12	720.63	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.82	0.14	110.68	25.12	701.39	0.838	3
τ点	837.18	4.82	0.00	108.69	25.12	703.38	0.840	3
中央	837.18	4.82	-0.64	99.15	25.12	712.91	0.852	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	3.74	-0.19	91.43	25.12	720.63	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.82	0.14	110.68	25.12	701.39	0.838	3
τ点	837.18	4.82	0.00	108.64	25.12	703.42	0.840	1
中央	837.18	4.82	-0.64	99.15	25.12	712.91	0.852	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	3.74	-0.19	91.43	25.12	720.63	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.82	0.14	110.68	25.12	701.39	0.838	3
τ点	837.18	4.82	0.00	108.64	25.12	703.42	0.840	1
中央	837.18	4.82	-0.64	99.15	25.12	712.91	0.852	3

5.1.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 σ_m (N/mm ²)	N/Ac (N/mm ²)	有効プレストレス σ_{ce} (N/mm ²)	合成応力度 σ_c (N/mm ²)	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.79	0.08	2.15	4.01	3
ハチ始点	1.05	0.10	5.35	6.50	3
中 央	4.83	0.10	2.36	7.29	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.79	0.08	4.10	2.39	3
ハチ始点	-1.05	0.10	2.32	1.37	3
中 央	-4.83	0.10	5.44	0.71	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.13	0.08	2.15	4.35	3
ハチ始点	1.21	0.10	5.35	6.66	3
中 央	5.93	0.10	2.36	8.39	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.13	0.08	4.10	2.05	3
ハチ始点	-1.21	0.10	2.32	1.21	3
中 央	-5.93	0.10	5.44	-0.39	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	-110.361	1.33	5.13	9.9	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-39.343	0.82	7.12	3.9	0.0	0.000	0.000	3
中央	192.648	-2.43	10.50	7.1	86.8	5.428	3.572	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	— 6	D 0	— 0	7.602 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 16	— 6	D 0	— 0	11.916 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	28800	38.027	187.042	1497.76	3.20	0.58	-0.103	3
τ 点	100.0	18050	38.027	148.855	1461.91	3.95	0.59	-0.086	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	-68.624	-13.125	-122.024	-138.973	-138.973	3
ハチ始点	-25.282	-3.861	-42.519	-49.544	-49.544	3
中央	116.301	26.401	217.194	242.593	242.593	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	20.784	7.602	26.5	44.5	0.069	0.009	481.89	3.5	3
ハチ始点	20.784	7.602	16.5	34.5	0.069	0.014	293.04	5.9	3
中央	20.784	11.916	21.5	34.5	0.069	0.011	419.08	1.7	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	48.00	4800.0	921600.00	24.00	38400.00
ハチ始点	100.00	38.00	3800.0	457266.67	19.00	24066.67
τ点	100.00	38.00	3800.0	457266.67	19.00	24066.67
中央	100.00	38.00	3800.0	457266.67	19.00	24066.67

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	φ21	6.00	3.464	290000	2.00	外側
ハチ始点	φ21	6.00	3.464	290000	-3.00	外側
τ点	φ21	6.00	3.464	290000	-3.00	外側
中央	φ21	6.00	3.464	290000	3.00	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	837.18	3.70	-0.18	91.01	25.12	721.05	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.92	0.21	113.12	25.12	698.95	0.835	3
τ点	837.18	4.92	0.03	110.43	25.12	701.64	0.838	3
中央	837.18	4.92	-0.84	97.55	25.12	714.52	0.853	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	3.70	-0.18	91.01	25.12	721.05	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.92	0.21	113.12	25.12	698.95	0.835	3
τ点	837.18	4.92	0.03	110.43	25.12	701.64	0.838	3
中央	837.18	4.92	-0.84	97.55	25.12	714.52	0.853	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端部	837.18	3.70	-0.18	91.01	25.12	721.05	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.92	0.21	113.12	25.12	698.95	0.835	3
τ点	837.18	4.92	0.03	110.43	25.12	701.64	0.838	4
中央	837.18	4.92	-0.84	97.55	25.12	714.52	0.853	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端部	837.18	3.70	-0.18	91.01	25.12	721.05	0.861	3
ハチ始点	837.18	4.92	0.21	113.12	25.12	698.95	0.835	3
τ点	837.18	4.92	0.03	110.43	25.12	701.64	0.838	4
中央	837.18	4.92	-0.84	97.55	25.12	714.52	0.853	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	2.11	0.12	2.34	4.57	3
ハチ始点	1.33	0.15	5.63	7.11	3
中央	5.30	0.15	2.06	7.51	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端部	-2.11	0.12	3.90	1.91	3
ハチ始点	-1.33	0.15	2.01	0.83	3
中央	-5.30	0.15	5.76	0.61	3
				$\sigma_t > 0.0$	CHECK OK
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端部	2.45	0.12	2.34	4.91	3
ハチ始点	1.49	0.15	5.63	7.28	3
中央	6.40	0.15	2.06	8.61	3
				$\sigma_c < 15.0$	CHECK OK
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端部	-2.45	0.12	3.90	1.57	3
ハチ始点	-1.49	0.15	2.01	0.67	3
中央	-6.40	0.15	5.76	-0.49	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	-126.972	0.76	5.81	5.5	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-48.476	0.20	7.85	0.9	0.0	0.000	0.000	3
中央	207.947	-2.68	10.90	7.5	100.4	6.278	3.749	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	— 6	D 0	— 0	7.602 cm ² /m	> As1 or As2
内側	D 16	— 6	D 0	— 0	11.916 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	28800	56.864	206.740	1498.64	3.24	0.65	-0.124	3
τ 点	100.0	18050	56.864	164.531	1458.29	3.99	0.65	-0.103	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	-80.929	-13.125	-138.020	-159.891	-159.891	3
ハチ始点	-32.047	-3.861	-51.314	-61.043	-61.043	3
中央	127.634	26.401	231.927	261.859	261.859	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	20.784	7.602	26.0	44.5	0.069	0.009	473.57	3.0	3
ハチ始点	20.784	7.602	16.0	34.5	0.069	0.014	284.72	4.7	3
中央	20.784	11.916	22.0	34.5	0.069	0.011	427.40	1.6	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	-81.749	187.042	43.71	16.50	112.611	3
	上ハチ点	-71.694	189.525	37.83	11.50	93.489	3
側壁	中 間	-59.554	196.254	30.35	11.50	82.124	3
	下ハチ点	-79.230	204.257	38.79	11.50	102.720	3
	下端部	-94.054	206.740	45.49	16.50	128.166	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	112.611	18.70	22.20	40.00	10.081
	上ハチ点	93.489	17.04	20.54	30.00	13.718
側壁	中 間	82.124	15.97	19.47	30.00	10.011
	下ハチ点	102.720	17.86	21.36	30.00	15.490
	下端部	128.166	19.95	23.45	40.00	12.035
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 - 6
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	17.190	15.173	4.72	99.5	0.0
	上ハンチ点	100.00	17.190	11.814	7.01	130.8	0.0
	中間	100.00	17.190	12.463	5.90	99.6	0.0
	下ハンチ点	100.00	17.190	11.750	7.74	145.8	0.0
	下端部	100.00	17.190	15.010	5.42	116.4	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	113.960	71.415	148.855	122.641				
	M			0.546					
	N			38.027					
	最大			○					
底版 τ点	S	120.950	87.091	164.531	138.317				
	M			-3.092					
	N			56.864					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-16.215	-16.771	-22.658	-26.158				
	M				-52.537				
	N				158.160				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	20.829	27.273	33.160	36.660				
	M				-57.830				
	N				169.746				
	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	38.0	3.5	34.5	1.374	D16-6	11.916	0.345	1.045
底版 τ 点	38.0	3.5	34.5	1.374	D13-6	7.602	0.220	0.920
側壁上 τ 点	30.0	3.5	26.5	1.400	D19-6	17.190	0.649	1.289
側壁下 τ 点	30.0	3.5	26.5	1.400	D19-6	17.190	0.649	1.289

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	0.546	1481.7	38.027	0.380	0.02407	0.03	125.897	2.000
底版 τ 点	-3.092	1458.3	56.864	0.380	0.02407	-0.03	52.225	2.000
側壁上 τ 点	-52.537	0.0	158.160	0.300	0.01500	0.00	7.908	1.151
側壁下 τ 点	-57.830	0.0	169.746	0.300	0.01500	0.00	8.487	1.147

照査位置	τ_a	補正係数			補正 τ_a
		Ce	Cpt	Cn	
頂版 τ 点	0.270	1.374	1.045	2.000	0.776
底版 τ 点	0.270	1.374	0.920	2.000	0.683
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.289	1.151	0.561
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.289	1.147	0.559

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	148.855	34.5	0.431	0.776
底版 τ 点	164.531	34.5	0.477	0.683
側壁上 τ 点	26.158	26.5	0.099	0.561
側壁下 τ 点	36.660	26.5	0.138	0.559

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上