

受付 No.

台帳 No. KL424002

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

プレキャスト

PCボックスカルバート

設計計算書

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

○内空寸法： 内 幅 (B) 3000 mm
内 高 (H) 2000 mm
長 さ (L) 2000 mm

○設計条件： 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 0.500 m
H2= 1.500 m

千葉窯業株式会社

1 設 計 条 件

1.1 一般条件

構造形式	: 一径間ボックスラーメン
内空寸法	: (B) 3000 × (H) 2000 × (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 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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

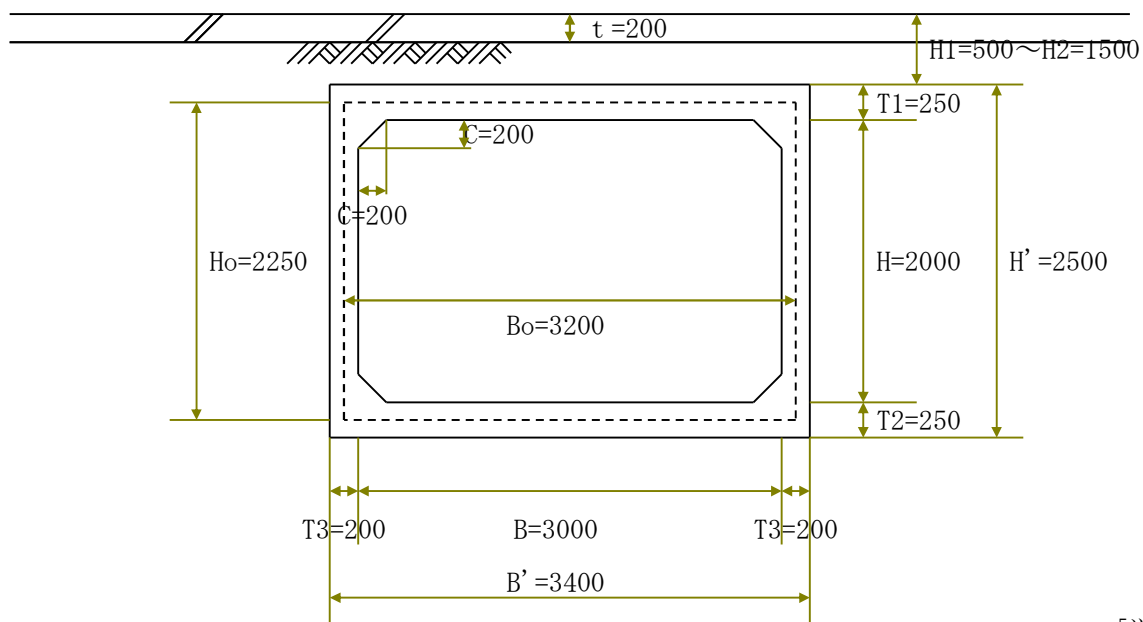
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

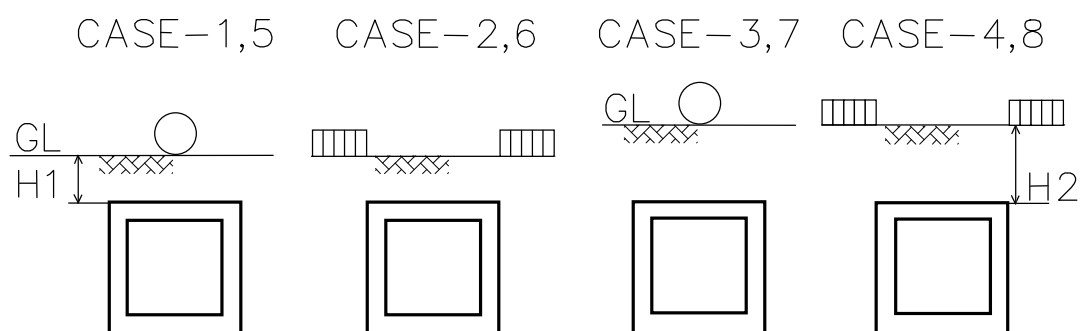
(3) 使用 P C 鋼棒

	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



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

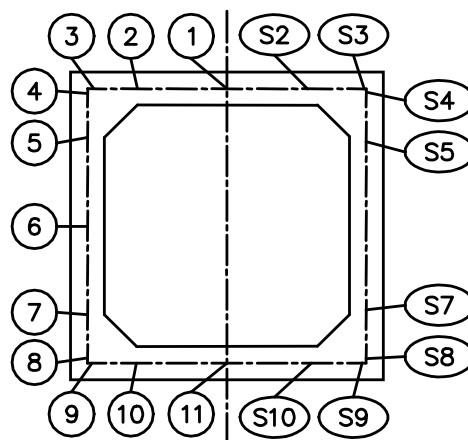
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

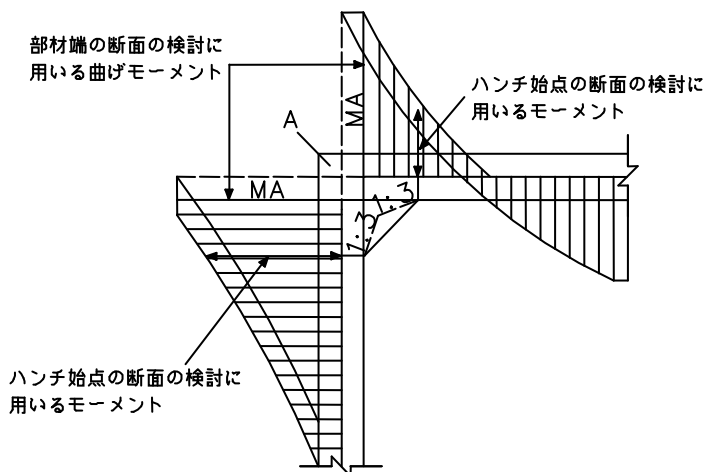
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

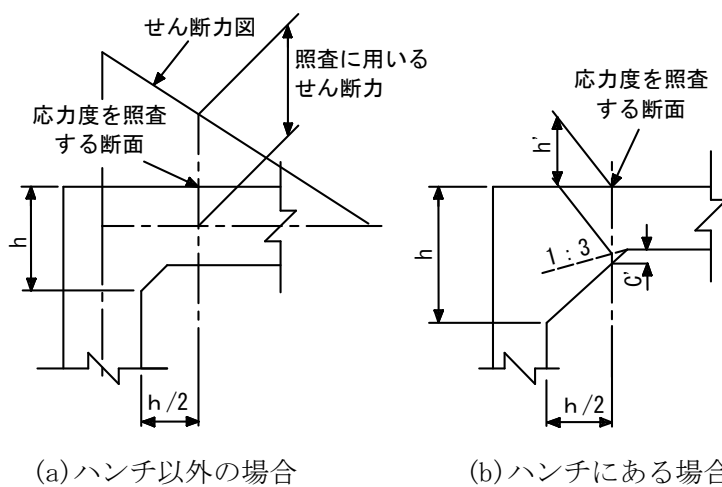
せん断力



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

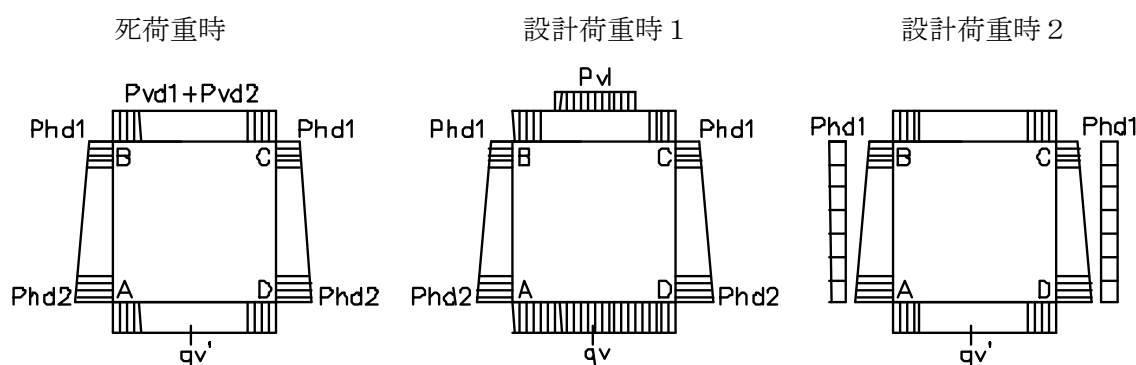
ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分 C' の 1/3 まで大きくとります。

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

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 $P_{hd1} = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = Ka \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H1 = 1.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H1 = 1.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (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)
-------	------------------------------	---	--

Pvd1	6.125	6.125	6.125
Pvd2	9.900	9.900	9.900
Phd1 = Phd1	6.075	6.075	*****
Phd1 = Phd1 + Pq	*****	*****	11.075
Phd3 = Phd3	*****	*****	*****
Phd3 = Phd3 + Pq	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5	*****	*****	*****
Phd5 = Phd5 + Pq	*****	*****	*****
Phd2 = Phd2	26.325	26.325	*****
Phd2 = Phd2 + Pq	*****	*****	31.325
Phd4 = Phd4	*****	*****	*****
Pv1	0.000	70.909	0.000
qv	*****	50.119	*****
qv'	23.528	*****	23.528

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1} = 0$ とした場合の底版反力

3.1.2 構造解析

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

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

注1) 死荷重時、設計荷重時2のCADは、 $q_v = q_v'$

注2) 死荷重時、設計荷重時2のCBCは、 $P_{v1} = 0$

注3) $P_{hd1} \sim P_{hd5}$ は、水平荷重（設計荷重参照）

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

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

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
α	1.3733	1.3733	1.3733
β	1.3733	1.3733	1.3733
N1	3.3733	3.3733	3.3733
N2	3.3733	3.3733	3.3733
CAD (kN・m/m)	20.077	42.768	20.077
CBC (kN・m/m)	13.675	46.116	13.675
CAB (kN・m/m)	7.689	7.689	9.798
CBA (kN・m/m)	5.980	5.980	8.089
θ_A	-4.768	-15.268	-3.879
θ_B	3.694	16.424	2.806
MAB (kN・m/m)	-13.530	-21.801	-14.750
MAD (kN・m/m)	13.530	21.801	14.750
MBA (kN・m/m)	8.601	23.560	9.822
MBC (kN・m/m)	-8.601	-23.560	-9.822

3.1.3 各部材の断面力

(1) 頂 版

1) せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x$$

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC}$$

(2) 底 版

1) せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x$$

2) 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD}$$

(3) 側 壁

1) せん断力

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

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

2) 曲げモーメント

節点間の極値は、せん断力が 0 となる位置に生じる。次式を解いて位置 x を求める。

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

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

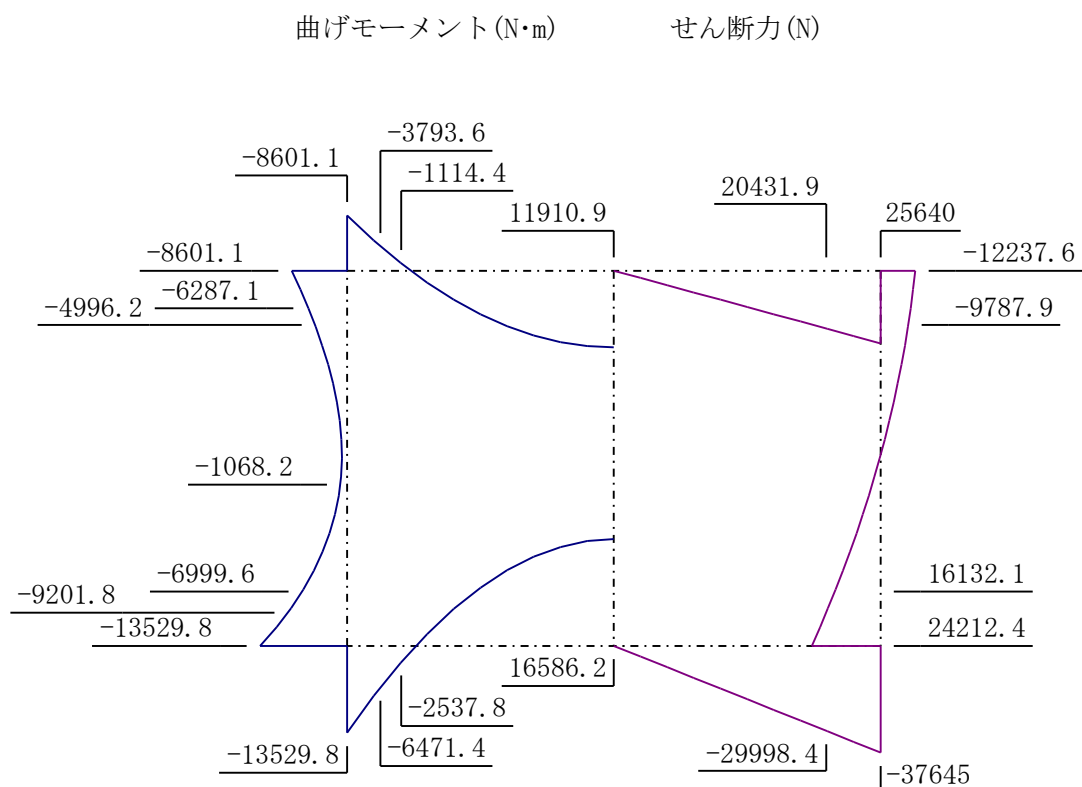
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	25.640	68.185	25.640
SCB	(kN/m)	-25.640	-68.185	-25.640
Mmax	(kN・m/m)	11.911	52.261	10.690
SAD	(kN/m)	37.645	80.190	37.645
SDA	(kN/m)	-37.645	-80.190	-37.645
Mmax	(kN・m/m)	16.586	42.352	15.366
SAB	(kN/m)	24.212	21.240	29.837
SBA	(kN/m)	-12.238	-15.210	-17.863
x	(m)	0.967	0.967	*****
		1.139	*****	1.139
Mmax	(kN・m/m)	-1.068	-12.214	*****
Mmax	(kN・m/m)	-0.811	*****	1.132

注 1) 頂版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $P_{v1} = 0$ とする。

注 2) 底版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $q_v = q_v'$ とする。

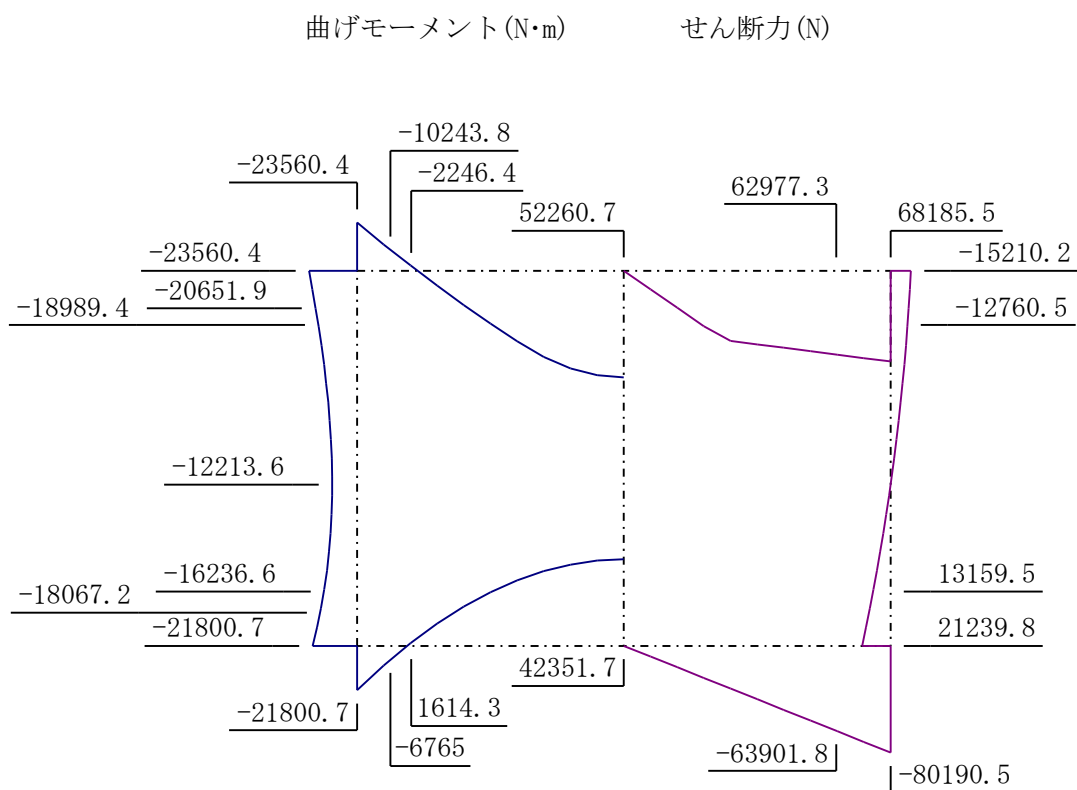
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/単位長]			
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-8601	25640	12238
	2 ハッチ始点	0.300	-3794	***	12238
	S2 τ 点	0.325	-1114	20432	12238
	1 中 央	1.600	11911	0	12238
底版	9, S9 端 部	0.100	-13530	37645	24212
	10 ハッチ始点	0.300	-6471	***	24212
	S10 τ 点	0.325	-2538	29998	24212
	11 中 央	1.600	16586	0	24212
側壁	4, S4 上 端部	2.125	-8601	-12238	25640
	5 上ハッチ点	1.925	-6287	***	26707
	S5 上 τ 点	1.925	-4996	-9788	27374
	6 中 間	0.967	-1068	*****	32486
		1.139	-811	*****	31568
	S7 下 τ 点	0.325	-7000	16132	35911
	7 下ハッチ点	0.325	-9202	***	36578
	8, S8 下 端部	0.125	-13530	24212	37645



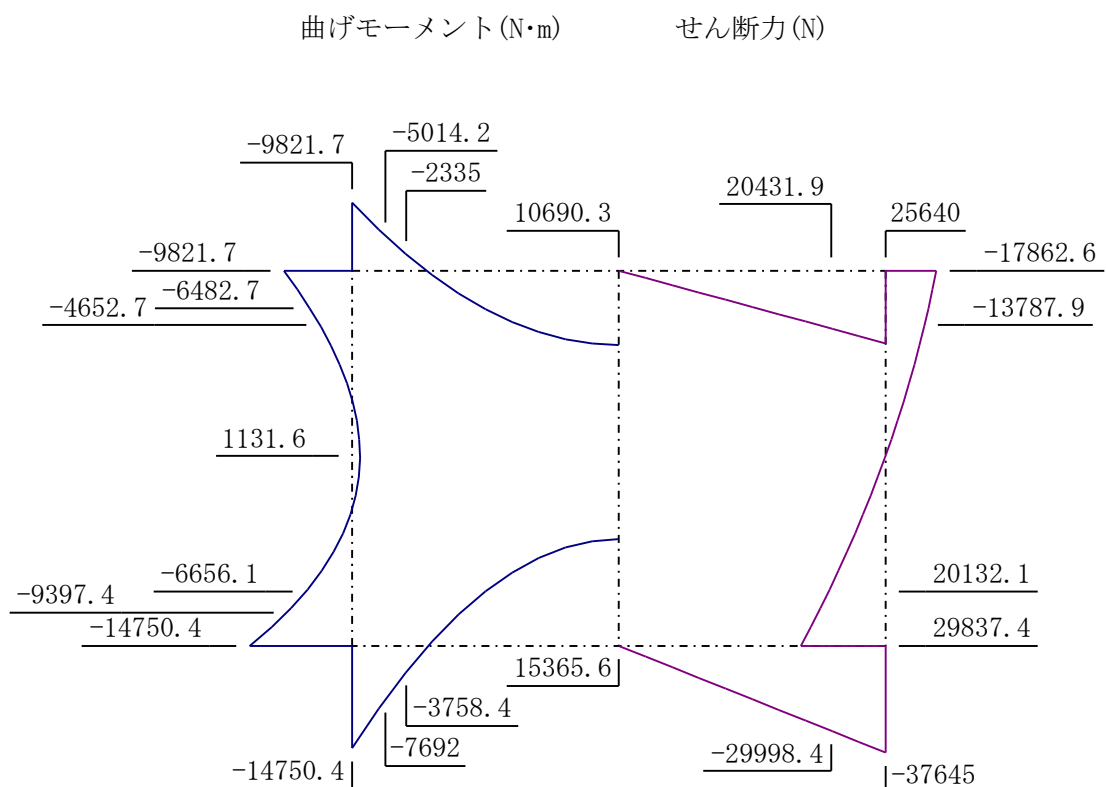
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

					[/単位長]	
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)	
頂版	3, S3 端 部	0.100	-23560	68186	15210	
	2 ハチ始点	0.300	-10244	***	15210	
	S2 τ 点	0.325	-2246	62977	15210	
	1 中 央	1.600	52261	0	15210	
底版	9, S9 端 部	0.100	-21801	80191	21240	
	10 ハチ始点	0.300	-6765	***	21240	
	S10 τ 点	0.325	1614	63902	21240	
	11 中 央	1.600	42352	0	21240	
側壁	4, S4 上 端部	2.125	-23560	-15210	68186	
	5 上ハチ点	1.925	-20652	***	69253	
	S5 上 τ 点	1.925	-18989	-12761	69920	
	6 中 間	0.967	-12214	0	75031	
	S7 下 τ 点	0.325	-16237	13160	78456	
	7 下ハチ点	0.325	-18067	***	79123	
	8, S8 下 端部	0.125	-21801	21240	80191	



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

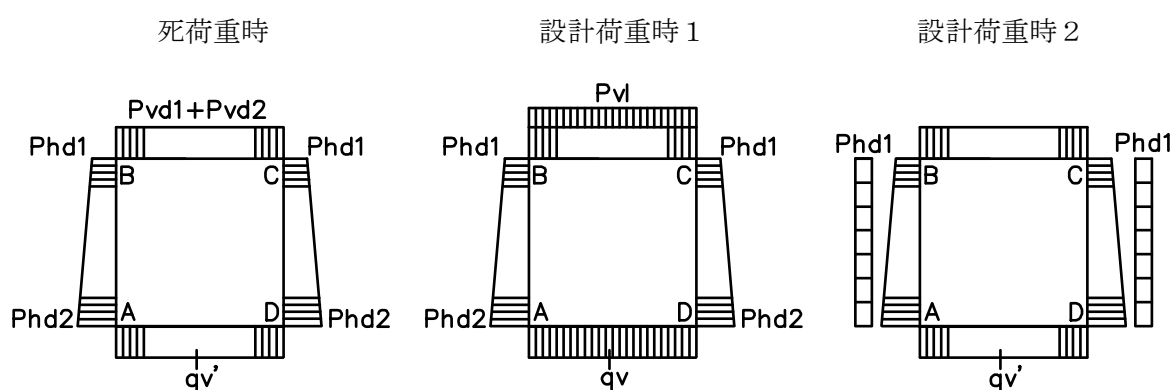
[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-9822	25640	17863
	2 ハチ始点	0.300	-5014	***	17863
	S2 τ 点	0.325	-2335	20432	17863
	1 中 央	1.600	10690	0	17863
底版	9, S9 端 部	0.100	-14750	37645	29837
	10 ハチ始点	0.300	-7692	***	29837
	S10 τ 点	0.325	-3758	29998	29837
	11 中 央	1.600	15366	0	29837
側壁	4, S4 上 端部	2.125	-9822	-17863	25640
	5 上ハチ点	1.925	-6483	***	26707
	S5 上 τ 点	1.925	-4653	-13788	27374
	6 中 間	1.139	1132	0	31568
	S7 下 τ 点	0.325	-6656	20132	35911
	7 下ハチ点	0.325	-9397	***	36578
	8, S8 下 端部	0.125	-14750	29837	37645



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 $P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (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 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) / B_o$



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
(kN/m²)CASE-4
(kN/m²)

P_{vd1}	6.125	6.125	6.125
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	15.075	15.075	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	20.075
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	35.325	35.325	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	40.325
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	68.119	*****
$q_{v'}$	41.528	*****	41.528

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	1.3733	1.3733	1.3733
β	1.3733	1.3733	1.3733
N_1	3.3733	3.3733	3.3733
N_2	3.3733	3.3733	3.3733
CAD (kN・m/m)	35.437	58.128	35.437
CBC (kN・m/m)	29.035	51.726	29.035
CAB (kN・m/m)	11.486	11.486	13.595
CBA (kN・m/m)	9.777	9.777	11.886
θ_A	-9.640	-19.201	-8.751
θ_B	8.567	18.128	7.678
MAB (kN・m/m)	-22.199	-31.760	-23.419
MAD (kN・m/m)	22.199	31.760	23.419
MBA (kN・m/m)	17.270	26.831	18.491
MBC (kN・m/m)	-17.270	-26.831	-18.491

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。

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

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

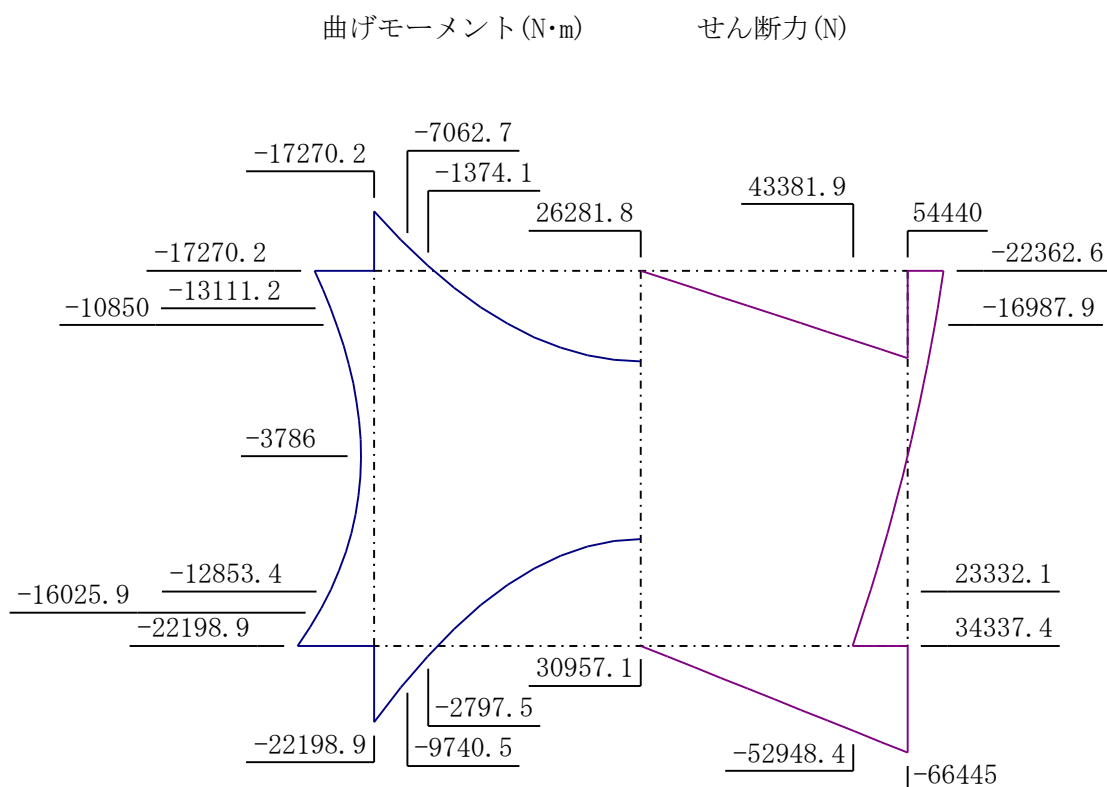
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	54.440	96.985	54.440
SCB (kN/m)	-54.440	-96.985	-54.440
Mmax (kN・m/m)	26.282	50.757	25.061
SAD (kN/m)	66.445	108.990	66.445
SDA (kN/m)	-66.445	-108.990	-66.445
Mmax (kN・m/m)	30.957	55.433	29.737
SAB (kN/m)	34.337	34.337	39.962
SBA (kN/m)	-22.363	-22.363	-27.988
x (m)	1.137	1.137	*****
	1.135	*****	1.135
Mmax (kN・m/m)	-3.786	-13.347	*****
Mmax (kN・m/m)	-3.786	*****	-1.843

注 1) 頂版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $P_{v1} = 0$ とする。

注 2) 底版 死荷重時・設計荷重時 2 は、 $q_v = q_v'$ とする。

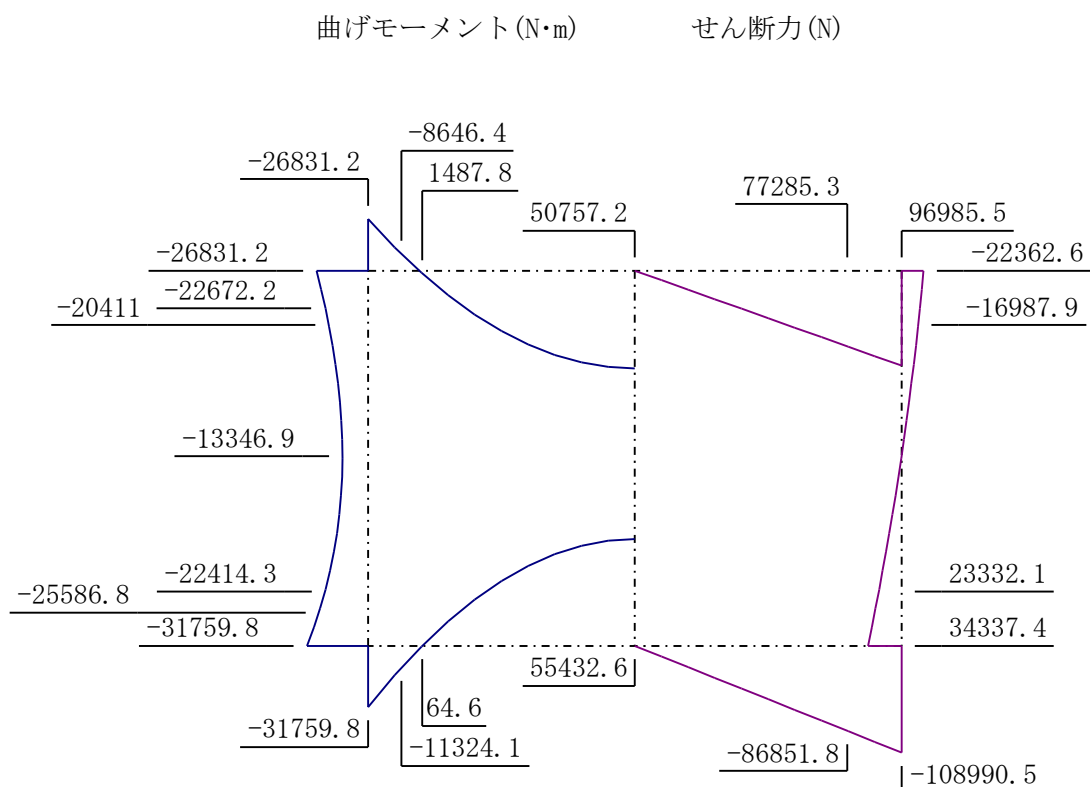
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/単位長]			
部材	照査点	距離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸力 N (N)
頂版	3, S3 端部	0.100	-17270	54440	22363
	2 ハッチ始点	0.300	-7063	***	22363
	S2 τ点	0.325	-1374	43382	22363
	1 中央	1.600	26282	0	22363
底版	9, S9 端部	0.100	-22199	66445	34337
	10 ハッチ始点	0.300	-9741	***	34337
	S10 τ点	0.325	-2798	52948	34337
	11 中央	1.600	30957	0	34337
側壁	4, S4 上端部	2.125	-17270	-22363	54440
	5 上ハッチ点	1.925	-13111	***	55507
	S5 上τ点	1.925	-10850	-16988	56174
	6 中間	1.137	-3786	*****	60379
		1.135	-3786	*****	60389
	S7 下τ点	0.325	-12853	23332	64711
	7 下ハッチ点	0.325	-16026	***	65378
	8, S8 下端部	0.125	-22199	34337	66445



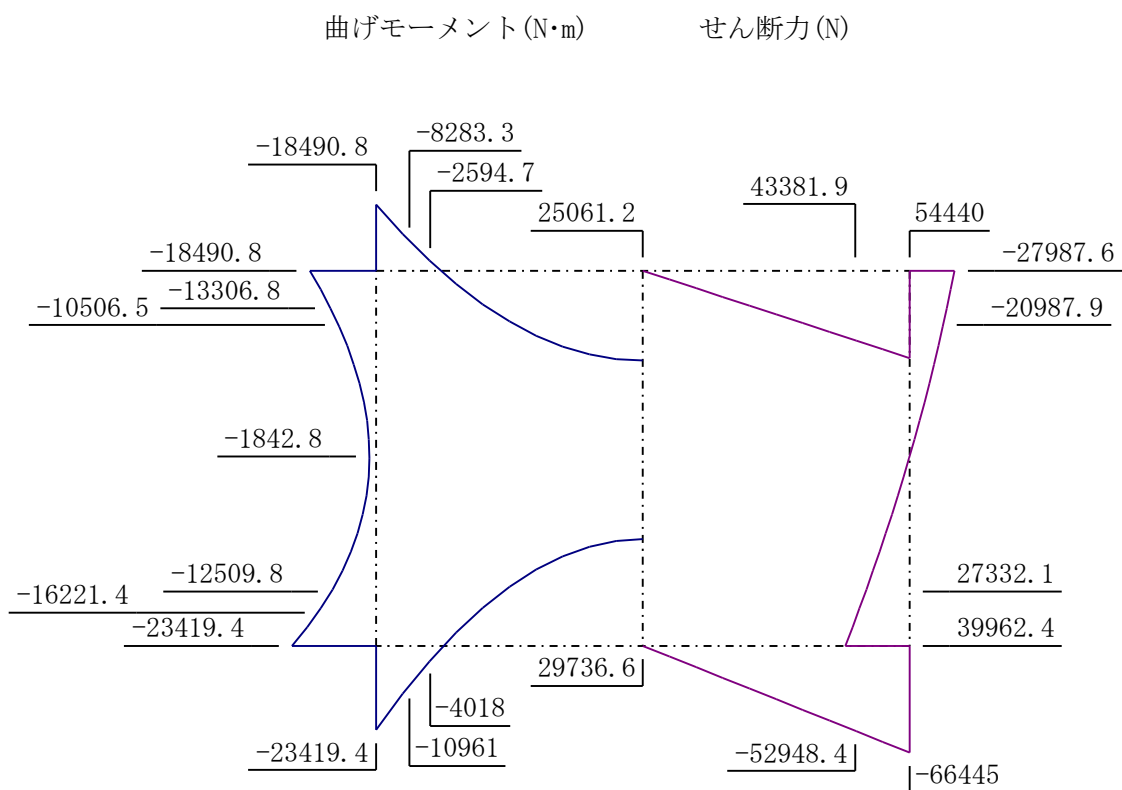
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-26831	96986	22363
	2 ハチ始点	0.300	-8646	***	22363
	S2 τ 点	0.325	***	77285	***
	1 中 央	1.600	50757	0	22363
底版	9, S9 端 部	0.100	-31760	108991	34337
	10 ハチ始点	0.300	-11324	***	34337
	S10 τ 点	0.325	***	86852	***
	11 中 央	1.600	55433	0	34337
側壁	4, S4 上 端部	2.125	-26831	-22363	96986
	5 上ハチ点	1.925	-22672	***	98053
	S5 上 τ点	1.925	***	-16988	***
	6 中 間	1.137	-13347	0	102924
	S7 下 τ点	0.325	***	23332	***
	7 下ハチ点	0.325	-25587	***	107923
	8, S8 下 端部	0.125	-31760	34337	108991



(3) 設計荷重時 2 (CASE-4)

[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.100	-18491	54440	27988
	2 ハチ始点	0.300	-8283	***	27988
	S2 τ 点	0.325	***	43382	***
	1 中 央	1.600	25061	0	27988
底版	9, S9 端 部	0.100	-23419	66445	39962
	10 ハチ始点	0.300	-10961	***	39962
	S10 τ 点	0.325	***	52948	***
	11 中 央	1.600	29737	0	39962
側壁	4, S4 上 端部	2.125	-18491	-27988	54440
	5 上ハチ点	1.925	-13307	***	55507
	S5 上 τ点	1.925	***	-20988	***
	6 中 間	1.135	-1843	0	60389
	S7 下 τ点	0.325	***	27332	*****
	7 下ハチ点	0.325	-16221	***	65378
	8, S8 下 端部	0.125	-23419	39962	66445



4 プレストレスの計算

4.1 荷重による曲げ応力度

$$\sigma_m = \pm M / Z = \pm 6 \times M / (b \times T^2) \times 1000$$

ここに、	σ_m : 曲げ応力度	(N/mm ²)
	M : 曲げモーメント	(kN・m)
	Z : 断面係数	(cm ³)
	B : 部材幅	(cm)
	T : 部材厚	(cm)

4.2 有効プレストレス

(1) 有効係数 η

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

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

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

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

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

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

ここに、	σ_{pt} : 有効引張応力度	(N/mm ²)
	P_t : 緊張作業直後のPC鋼棒引張応力度	(kN)
	A_p : 1本当りのPC鋼棒断面積	(cm ²)
$\Delta\sigma_{pcs}$:	コンクリートの乾燥収縮及びクリープによるPC鋼棒の応力度の減少量	(N/mm ²)
n :	弾性係数比 ($E_p / E_c = 6.45$)	
E_p :	PC鋼棒の弾性係数 (2.0×10^5 N/mm ²)	
E_c :	コンクリートの弾性係数 (3.1×10^4 N/mm ²)	
ϕ :	クリープ係数 (= 2.5)	
σ_{cd} :	考えているPC鋼棒位置における永久荷重によるコンクリートの圧縮応力度	(N/mm ²)
σ_{cpt} :	考えているPC鋼棒位置における緊張作業直後のプレストレス	(N/mm ²)
ε_{cs} :	コンクリートの乾燥収縮度 (= 200 μ)	
σ_{pt} :	緊張作業直後のPC鋼棒の引張応力度	(N/mm ²)
N_p :	m当りPC鋼棒本数	(本)
A_c :	コンクリート断面積	(cm ²)
e_p :	PC鋼棒偏心率	(cm)
I :	断面二次モーメント	(cm ⁴)
$\Delta\sigma_{pr}$:	PC鋼棒のリラクセーションによる引張応力度の減少量	(N/mm ²)
γ :	PC鋼棒の見掛けのリラクセーション (= 0.03)	

(2) 有効プレストレス σ_{ce}

$$\sigma_{ce} = N_p \times P_t \times \eta \times (1 / A_c \pm e_p / Z) \times 10 \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここに、	N_p	: m当り P C 鋼棒本数	(本)
	P_t	: 引張作業直後	(kN)
	η	: 有効係数	
	A_c	: コンクリート断面積	(cm^2)
	e_p	: P C 鋼棒偏心量	(cm)
	Z	: 断面係数	(cm^3)

4.3 合成応力度

$$\sigma_c = \sigma_m + \sigma_{ce} + N / A_c \times 10$$

ここに、	σ_c	: 合成応力度	(N/mm^2)
	σ_m	: 曲げ応力度	(N/mm^2)
	σ_{ce}	: 有効プレストレス	(N/mm^2)
	N	: 軸方向圧縮力	(kN)
	A_c	: コンクリート断面積	(cm^2)

4.4 引張鉄筋量の計算

(1) 曲げモーメント

引張鉄筋は次の荷重作用に対して、引張応力の作用する区間に配置する。

$$\text{荷重の組み合わせ (永久荷重 + 変動荷重)} \times 1.35$$

(2) 配置鉄筋量

配置鉄筋量は次の 1)、2) のうちいずれか大きい値以上とする。

1) の値

$$\begin{aligned} A_{s1} &= T_c / \sigma_{sa} \times 10 \\ &= b \times x \times | \sigma_{c1} | / (2 \times \sigma_{sa}) \\ \therefore x &= | \sigma_{c1} | / (\sigma_{c2} + | \sigma_{c1} |) \times T \end{aligned}$$

2) の値

$$A_{s2} = 0.005 \times b \times x$$

ここに、	A_{s1}	: 引張鉄筋断面積	(cm^2)
	A_{s2}	: 引張鉄筋断面積	(cm^2)
		引張応力の作用する	
		コンクリート面積の 0.5%	
	T_c	: 断面に生じる引張力の合力	(kN)
	σ_{sa}	: 鉄筋の許容引張応力度	(N/mm^2)
	σ_{c1}	: 引張縁に生じる引張応力度	(N/mm^2)
	σ_{c2}	: 圧縮縁に生じる圧縮応力度	(N/mm^2)
	b	: 部材幅	(cm)
	x	: 引張縁から中立軸までの距離	(cm)
	T	: 部材厚	(cm)

4.5 斜引張応力度の計算

斜引張応力度は次式を用いて、断面図心位置における値を求める。

$$\sigma_i = 1/2 \times [\sigma_x - \sqrt{(\sigma_x^2 + 4 \times \tau^2)}]$$

$$\sigma_x = [P_e / A_c + N / A_c] \times 10$$

$$\tau = S \times G / (b \times I) \times 10$$

$$I = b \times T^3 / 12$$

$$G = b \times T^2 / 8$$

ここに、	σ_i	: 斜引張応力度	(N/mm ²)
	σ_x	: 部材軸方向圧縮応力度	(N/mm ²)
	τ	: せん断応力度	(N/mm ²)
	P_e	: m当り全有効引張力	(kN)
	S	: せん断力	(kN)
	G	: 断面一次モーメント	(cm ³)
	b	: 部材幅	(cm)
	I	: 断面二次モーメント	(cm ⁴)
	T	: 部材厚	(cm)

4.6 破壊安全度の検討

(1) 曲げモーメント

1) 安全係数

破壊に対する安全度の検討に使用する安全係数を次のように定める。

材料強度に関するもの	-----	1.0
荷重作用に関するもの (永久荷重作用)	-----	1.3 または 1.7
(変動荷重作用)	-----	2.5 または 1.7

2) 終局荷重作用時の曲げモーメント

終局荷重作用時の曲げモーメントは、次に示す荷重作用の大きい方とする。

$$M_d = 1.3 \times M_1 + 2.5 \times M_2 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$M_d = 1.7 \times M_1 + 1.7 \times M_2 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

ここに、	M_d	: 終局荷重作用時曲げモーメント
	M_1	: 永久荷重による曲げモーメント
	M_2	: 変動荷重による曲げモーメント (設計荷重時 - 死荷重時)

(2) 曲げ破壊安全度

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

$$M_u = 0.7 \times (0.93 \times A_p \times \sigma_{pud} \times d_p) \\ \times [1 - A_p / (1.7 \times b \times d_p) \\ \times 0.93 \times \sigma_{pud} / \sigma_{ck}] \times 1/1000 \\ + A_s \times \sigma_{syd} \times d_s \times [1 - A_s / (1.7 \times b \times d_s) \\ \times \sigma_{syd} / \sigma_{ck}] \times 1/1000$$

ここに、	Mu	: 破壊抵抗曲げモーメント	(kN・m)
	Ap	: P C鋼棒断面積	(cm ²)
	As	: 鉄筋の断面積	(cm ²)
	σ pud	: P C鋼棒引張強度	(N/mm ²)
	σ syd	: 引張鉄筋の降伏点応力度	(N/mm ²)
	σ ck	: コンクリートの設計基準強度	(N/mm ²)
	d p	: 圧縮縁からP C鋼棒図心迄の距離	(cm)
	d s	: 圧縮縁から鉄筋図心迄の距離	(cm)
	b	: 部材幅	(cm)
	S f	: 曲げ破壊安全度	

終局つり合い鋼材比が配置される引張鋼材比より大であることを確認する。

$$\begin{aligned}
 P_{pb} &= 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sp}) \\
 &\quad \times \sigma_{ck} / (0.93 \times \sigma_{pud}) + \\
 &\quad 0.68 \times \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s) \\
 &\quad \times \sigma_{ck} / \sigma_{syd} \\
 P_{pd} &= A_p / (b \times d_p) + A_s / (b \times d_s) \\
 &\quad \times \sigma_{syd} / (0.93 \times \sigma_{pud}) \times d_s / d_p < P_{pb}
 \end{aligned}$$

ここに、	Ppb	: 終局つり合い鋼材比	
	Ppd	: 引張鋼材比	
	ε cu	: コンクリートの終局ひずみ	(0.0035)
	ε sp	: P C鋼棒の終局ひずみ	(0.015)
	σ pud	: P C鋼棒の引張強さ	(N/mm ²)
	ε s	: 引張鉄筋の降伏ひずみ	(σ syd / E s)

5 P C 部材の検討

5.1 頂版

5.1.1 断面諸元

位 置	部材幅 (cm)	部材厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面二次モーメント (cm ⁴)	中立軸 (cm)	断面係数 (cm ³)
端 部	100.00	31.67	3166.7	264621.91	15.83	16712.96
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ 点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
中 央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

5.1.2 使用 P C 鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端 部	φ 21	2.50	3.464	290000	1.33	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-2.00	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	外 側
中 央	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	内 側

5.1.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm ²)	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.34	-0.09	73.34	25.12	738.73	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.11	87.38	25.12	724.68	0.866	3
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.40	25.12	726.66	0.868	3
中 央	837.18	3.12	-0.40	79.55	25.12	732.52	0.875	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.09	73.34	25.12	738.73	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.11	87.38	25.12	724.68	0.866	3
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.40	25.12	726.66	0.868	3
中 央	837.18	3.12	-0.40	79.55	25.12	732.52	0.875	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.34	-0.09	73.34	25.12	738.73	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.06	86.62	25.12	725.45	0.867	1
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.40	25.12	726.67	0.868	4
中 央	837.18	3.12	-0.18	82.93	25.12	729.14	0.871	1
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.09	73.34	25.12	738.73	0.882	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.06	86.62	25.12	725.45	0.867	1
τ 点	837.18	3.12	-0.02	85.40	25.12	726.67	0.868	4
中 央	837.18	3.12	-0.18	82.93	25.12	729.14	0.871	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	1.03	0.07	1.51	2.61	3
ハチ始点	0.68	0.09	3.72	4.48	3
中 央	2.52	0.09	1.32	3.93	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.03	0.07	2.53	1.57	3
ハチ始点	-0.68	0.09	1.31	0.72	3
中 央	-2.52	0.09	3.76	1.32	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.61	0.07	1.51	3.19	3
ハチ始点	0.98	0.06	3.72	4.76	1
中 央	5.02	0.06	1.31	6.39	1
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.61	0.07	2.53	1.00	3
ハチ始点	-0.98	0.06	1.31	0.38	1
中 央	-5.02	0.06	3.74	-1.22	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	-36.222	0.46	3.77	3.4	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-13.829	0.06	5.13	0.3	0.0	0.000	0.000	1
中 央	70.552	-2.95	8.17	6.6	98.0	6.125	3.319	1

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外 側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 16	— 10	D 0	— 0	9.930 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	12535	22.363	96.986	639.74	2.09	0.46	-0.096	3
τ 点	100.0	7813	22.363	77.285	629.29	2.61	0.46	-0.080	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	-8.601	-14.959	-48.580	-40.053	-48.580	1
ハッチ始点	-3.794	-6.450	-21.057	-17.414	-21.057	1
中 央	11.911	40.350	116.359	88.843	116.359	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	6.335	17.2	28.2	0.069	0.006	161.06	3.3	1
ハッチ始点	8.660	6.335	10.5	21.5	0.069	0.010	102.37	4.9	1
中 央	8.660	9.930	14.5	21.5	0.069	0.008	152.16	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	31.67	3166.7	264621.91	15.83	16712.96
ハチ始点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
τ 点	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67
中 央	100.00	25.00	2500.0	130208.33	12.50	10416.67

5.2.2 使用P C鋼棒

位 置	径	本数 (本/m)	断面積 (cm ²)	設計引張力 (N/本)	偏心量 (cm)	モーメント方向 (部材軸より)
端 部	φ 21	2.50	3.464	290000	1.33	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-2.00	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	外 側
中 央	φ 21	2.50	3.464	290000	2.00	内 側

5.2.3 有効係数

計算項／ 位 置	σ pt	σ cpt	σ cd	△ σ pcs (N/mm ²)	△ σ pr	σ pe	有効係数	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.34	-0.11	72.95	25.12	739.12	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.15	88.01	25.12	724.05	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.04	85.07	25.12	727.00	0.868	3
中 央	837.18	3.12	-0.48	78.45	25.12	733.62	0.876	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.11	72.95	25.12	739.12	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.15	88.01	25.12	724.05	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.04	85.07	25.12	727.00	0.868	3
中 央	837.18	3.12	-0.48	78.45	25.12	733.62	0.876	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	2.34	-0.11	72.95	25.12	739.12	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.15	88.01	25.12	724.05	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.04	85.07	25.12	727.00	0.868	4
中 央	837.18	3.12	-0.48	78.45	25.12	733.62	0.876	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	2.34	-0.11	72.95	25.12	739.12	0.883	3
ハチ始点	837.18	3.12	0.15	88.01	25.12	724.05	0.865	3
τ 点	837.18	3.12	-0.04	85.07	25.12	727.00	0.868	4
中 央	837.18	3.12	-0.48	78.45	25.12	733.62	0.876	3

5.2.4 合成応力度

位 置	曲げ応力度 σ_m (N/mm ²)	N/A _c (N/mm ²)	有効プレストレス σ_{ce} (N/mm ²)	合成応力度 σ_c (N/mm ²)	ケース
(1) 死荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.33	0.11	1.51	2.95	3
ハチ始点	0.94	0.14	3.71	4.78	3
中 央	2.97	0.14	1.32	4.43	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.33	0.11	2.53	1.31	3
ハチ始点	-0.94	0.14	1.30	0.51	3
中 央	-2.97	0.14	3.76	0.93	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.90	0.11	1.51	3.52	3
ハチ始点	1.09	0.14	3.71	4.94	3
中 央	5.32	0.14	1.32	6.78	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.90	0.11	2.53	0.74	3
ハチ始点	-1.09	0.14	1.30	0.35	3
中 央	-5.32	0.14	3.76	-1.42	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	-42.876	0.11	4.22	0.8	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-15.288	0.02	5.37	0.1	0.0	0.000	0.000	3
中 央	74.834	-3.24	8.69	6.8	109.8	6.865	3.393	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外 側	D 13	— 10	D 0	— 0	6.335 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 16	— 10	D 0	— 0	9.930 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	12535	34.337	108.990	640.07	2.13	0.52	-0.119	3
τ 点	100.0	7813	34.337	86.852	629.58	2.66	0.52	-0.099	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	-22.199	-9.561	-52.761	-53.992	-53.992	3
ハッチ始点	-9.741	-1.584	-16.622	-19.251	-19.251	3
中 央	30.957	24.476	101.433	94.235	101.433	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	8.660	6.335	17.2	28.2	0.069	0.006	161.06	3.0	3
ハッチ始点	8.660	6.335	10.5	21.5	0.069	0.010	102.37	5.3	3
中 央	8.660	9.930	14.5	21.5	0.069	0.008	152.16	1.5	3
$Ppb > Ppd$ $Sf > 1.0$ CHECK OK									

6 断面力集計表

各ケースより断面力の最大値を抽出する。

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

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

但し、軸力は

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

とし、側壁中間点の軸力は側壁自重による軸力を考慮する。

[/単位長]

部材	点	M (kN・m)	N (kN)	e (cm)	c (cm)	Ms (kN・m)	CASE M
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****	**
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	**
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****	**
	上端部	-26.831	96.986	27.67	9.83	36.368	3
	上ハチ点	-20.652	69.253	29.82	6.50	25.153	1
側壁	中 間	-12.214	75.031	16.28	6.50	17.091	1
	下ハチ点	-25.587	107.923	23.71	6.50	32.602	3
	下端部	-31.760	108.990	29.14	9.83	42.477	3

注1) CASEのMは、曲げモーメント抽出ケースを示す。

注2) ***** 表示は、P C部材。

7 必要有効高および必要鉄筋量

7.1 必要有効高

$$\begin{aligned}
 k &= n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) &&= 0.568 \\
 c_1 &= \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} &&= 0.557 \\
 d &= c_1 \times \sqrt{(M_s / b)} &&h = d + d' < T
 \end{aligned}$$

ここに、 M_s : 軸力を考慮した曲げモーメント (kN・m/m)
 b : 単位長 (cm)
 d' : 鉄筋かぶり (cm)
 h : 必要部材厚 (cm)
 n : ヤング係数比 (15)

7.2 必要鉄筋量

鉄筋の曲げ引張応力度が許容値(σ_{sa})に達する場合の必要鉄筋量(A_s)

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

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

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

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

部材	点	M_s (kN・m/m)	必要有効高 d (cm)	必要部材厚 $d + d'$ (cm)	部材厚 T (cm)	必要鉄筋量 A_s (cm ² /m)
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
頂版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	端 部	*****	*****	*****	*****	*****
底版	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****
	中 央	*****	*****	*****	*****	*****
	上端部	36.368	10.63	14.13	26.67	4.890
	上ハチ点	25.153	8.84	12.34	20.00	6.482
側壁	中 間	17.091	7.28	10.78	20.00	2.510
	下ハチ点	32.602	10.06	13.56	20.00	7.479
	下端部	42.477	11.48	14.98	26.67	6.081
				$d + d' < T$	CHECK OK	

8 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

8.1 コンクリート及び鉄筋

$$\sigma_c = N / \{ b \times x / 2 - n \times A_s / x \times (c + T / 2 - x) \}$$

$$\sigma_s = n \times \sigma_c / x \times (c + T / 2 - x)$$

ここに、
 N : 軸力 (kN)
 b : 部材幅 (cm)
 T : 部材厚 (cm)
 c : 部材中心軸と鉄筋間距離 (cm)
 A_s : 主鉄筋断面積 (cm²)
 x : 中心軸。次の3次元方程式より求める。 (cm)

$$x^3 - 3 \times (T / 2 - e) \times x^2 + 6 \times n \times A_s / b \times (e + c) \times x - 6 \times n \times A_s / b \times (c + T / 2) \times (e + c) = 0$$

 e : 偏心位置 (M / N) (cm)

配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 16 - 5
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 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	$\sigma_{s'}$
頂版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
底版	端部	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	ハチ始点	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	中央	*****	*****	*****	*****	*****	*****
側壁	上端部	100.00	8.133	8.746	4.11	101.6	0.0
	上ハチ点	100.00	8.133	6.389	5.48	130.1	0.0
	中間	100.00	8.133	7.531	3.24	58.0	0.0
	下ハチ点	100.00	8.133	6.722	6.80	148.4	0.0
	下端部	100.00	8.133	8.609	4.86	123.3	0.0
$\sigma_c < \sigma_{ca}$ $\sigma_s < \sigma_{sa}$					CHECK OK		

9 セン断力に対する検討

9.1 セン断力照査点の断面力と最大値抽出

部材	断面力	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7	CASE-8
頂版 τ点	S	62.977	20.432	77.285	43.382				
	M			1.488					
	N			22.363					
	最大			○					
底版 τ点	S	63.902	29.998	86.852	52.948				
	M			0.065					
	N			34.337					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-12.761	-13.788	-16.988	-20.988				
	M				-10.507				
	N				56.174				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	13.159	20.132	23.332	27.332				
	M				-12.510				
	N				64.711				
	最大				○				

ここに、S：せん断力(kN)、M：モーメント(kN・m)、N：軸力(kN)を示す。

9.2 セン断応力度の検討

コンクリートのせん断応力度は、平均せん断応力度として算出する。

$$\tau = \frac{S}{b \cdot d} \times 10 < C_e \cdot C_{pt} \cdot C_N \cdot \tau_a$$

ここに、 S : セン断力 (kN)
d : 有効高さ (cm)
b : 部材幅 (cm)

各せん断応力度照査位置の許容せん断応力度は、以下の補正係数を乗じて求める。

① 部材断面の有効高 d の影響

次表に示す部材断面の有効高さに関する補正係数(C_e)をτ_a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(C _e)	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(C_{pt})をτ_a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 b d 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(C _{pt})	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5

③ 軸方向圧縮力の影響

軸方向圧縮力が大きな部材の場合、次式により計算される軸方向圧縮力による補正係数(CN)を τ_a に乘じる。

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

ここに、CN：軸方向力による補正係数

Mo：有効プレストレス力及び軸方向力によりコンクリートの応力度が引張縁で0となる曲げモーメント(kN・m)

M：断面に作用する曲げモーメント(kN・m)

N：断面に作用する軸方向圧縮力(kN)

Pe：P C鋼棒に作用するm当りの全有効引張力(kN)

Z：図心軸に関する断面係数(m³)

Ac：部材断面積(m²)

ep：P C鋼棒の偏心量<引張縁側+／圧縮縁側－>(m)

照査位置	T (cm)	d' (cm)	d (cm)	Ce	引張鉄筋		Pt (%)	Cpt
					径-本数	As (cm ²)		
頂版 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D16-5	9.930	0.462	1.162
底版 τ 点	25.0	3.5	21.5	1.400	D16-5	9.930	0.462	1.162
側壁上 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.493	1.193
側壁下 τ 点	20.0	3.5	16.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.493	1.193

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	1.488	634.4	22.363	0.250	0.01042	0.02	40.062	2.000
底版 τ 点	0.065	635.3	34.337	0.250	0.01042	0.02	40.616	2.000
側壁上 τ 点	-10.506	0.0	56.174	0.200	0.00667	0.00	1.873	1.178
側壁下 τ 点	-12.510	0.0	64.711	0.200	0.00667	0.00	2.158	1.173

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	1.162	2.000	0.878
底版 τ 点	0.270	1.400	1.162	2.000	0.878
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.193	1.178	0.531
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.193	1.173	0.529

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	77.285	21.5	0.359	0.878
底版 τ 点	86.852	21.5	0.404	0.878
側壁上 τ 点	20.988	16.5	0.127	0.531
側壁下 τ 点	27.332	16.5	0.166	0.529

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以 上