

受付 No.

台帳 No. KL428002

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 3500 mm
内 高 (H) 2500 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) 3500 × (H) 2500 × (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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

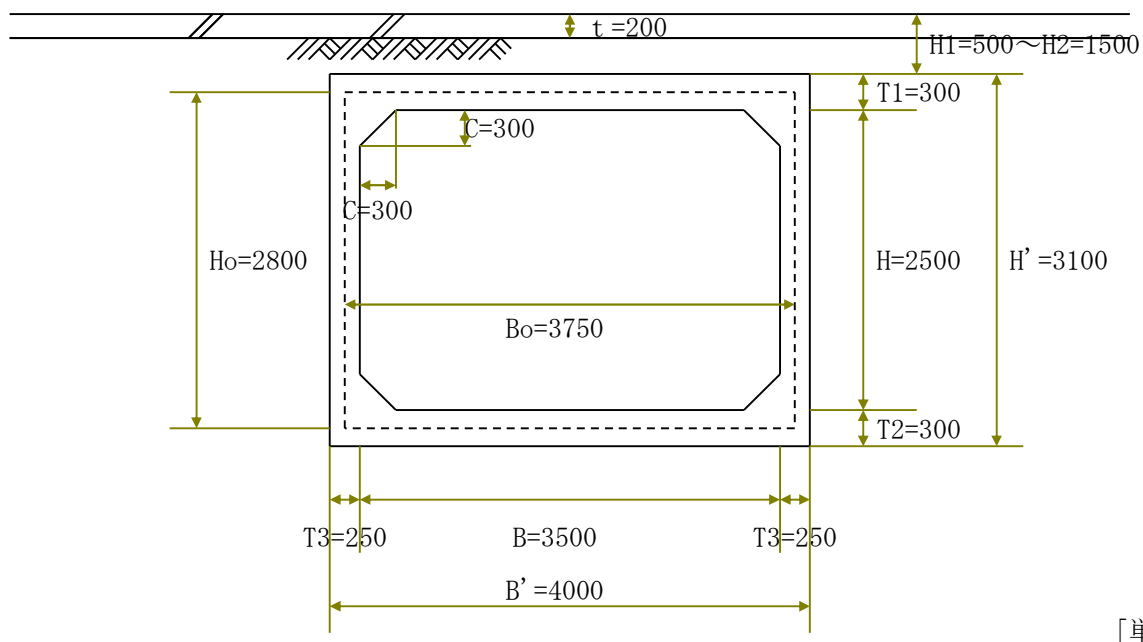
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

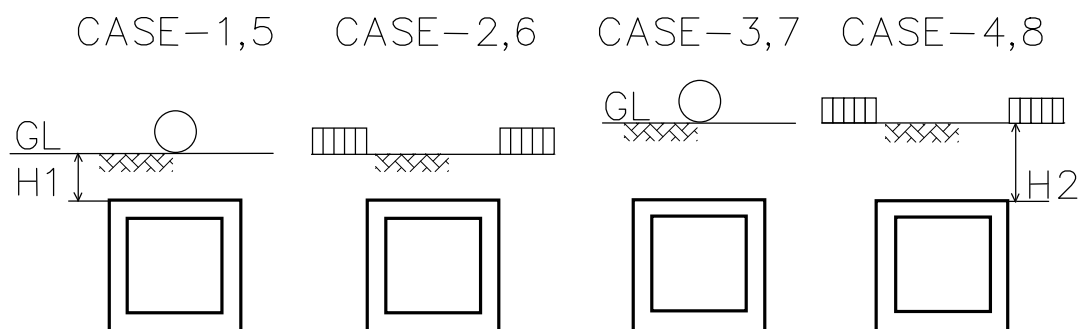
(3) 使用 P C 鋼棒

	頂版	底版	側壁	
径	$\phi 21$	$\phi 23$	*****	(mm)
断面積	346.40	415.50	*****	(mm ²)
設計引張力	290000	350000	*****	(N)

1.11 標準断面図



1.12 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7 は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8 は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6 は、土被り H1 の場合

CASE 3, 4, 7, 8 は、土被り H2 の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4 は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8 は、地下水の影響が有る場合

■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



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)
-------	------------------------------	---	--

P_{vd1}	7.350	7.350	7.350
P_{vd2}	9.900	9.900	9.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	6.300	6.300	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	11.300
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	31.500	31.500	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	36.500
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	70.909	0.000
q_v	*****	50.264	*****
$q_{v'}$	27.573	*****	27.573

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	1.2902	1.2902	1.2902
β	1.2902	1.2902	1.2902
N1	3.2902	3.2902	3.2902
N2	3.2902	3.2902	3.2902
CAD (kN・m/m)	32.312	58.903	32.312
CBC (kN・m/m)	20.215	58.740	20.215
CAB (kN・m/m)	13.994	13.994	17.261
CBA (kN・m/m)	10.702	10.702	13.968
θ_A	-7.102	-19.927	-5.676
θ_B	5.050	20.657	3.624
MAB (kN・m/m)	-23.148	-33.192	-24.989
MAD (kN・m/m)	23.148	33.192	24.989
MBA (kN・m/m)	13.699	32.088	15.540
MBC (kN・m/m)	-13.699	-32.088	-15.540

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。

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

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

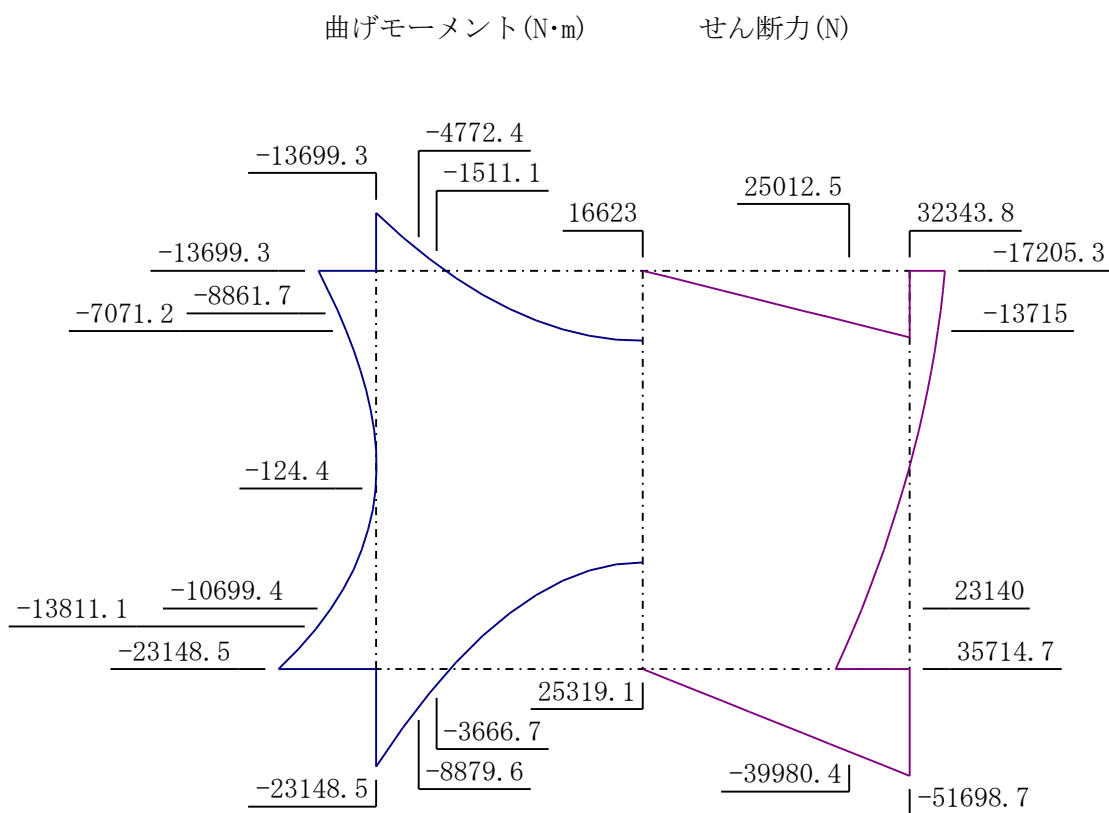
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	32.344	74.889	32.344
SCB	(kN/m)	-32.344	-74.889	-32.344
Mmax	(kN・m/m)	16.623	65.244	14.783
SAD	(kN/m)	51.699	94.244	51.699
SDA	(kN/m)	-51.699	-94.244	-51.699
Mmax	(kN・m/m)	25.319	55.162	23.479
SAB	(kN/m)	35.715	32.734	42.715
SBA	(kN/m)	-17.205	-20.186	-24.205
x	(m)	1.269	1.269	*****
		1.418	*****	1.418
Mmax	(kN・m/m)	-0.124	-13.950	*****
Mmax	(kN・m/m)	0.103	*****	3.162

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。

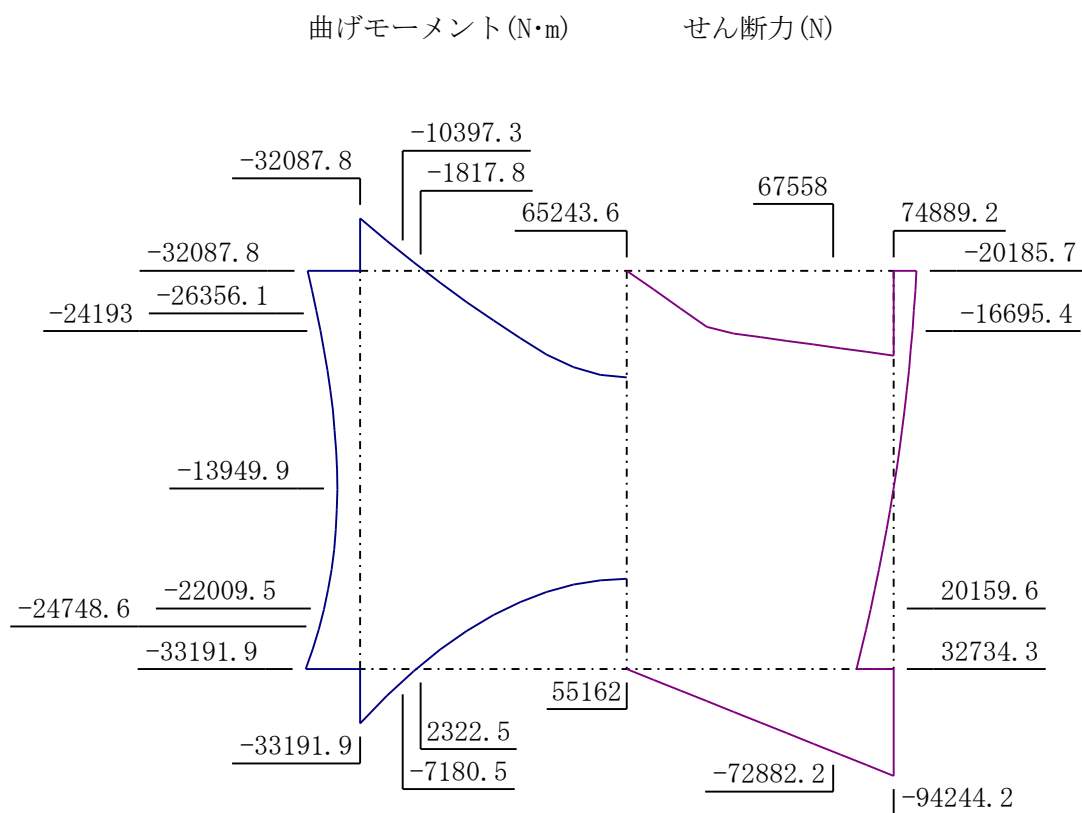
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	0.125	-13699	32344	17205
	2 ハッチ始点	0.425	-4772	***	17205
	S2 τ 点	0.425	-1511	25013	17205
	1 中 央	1.875	16623	0	17205
底版	9, S9 端 部	0.125	-23149	51699	35715
	10 ハッチ始点	0.425	-8880	***	35715
	S10 τ 点	0.425	-3667	39980	35715
	11 中 央	1.875	25319	0	35715
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-13699	-17205	32344
	5 上ハッチ点	2.350	-8862	***	34418
	S5 上 τ 点	2.375	-7071	-13715	35282
	6 中 間	1.269	-124	*****	42927
		1.418	103	*****	41897
	S7 下 τ 点	0.425	-10699	23140	48761
	7 下ハッチ点	0.450	-13811	***	49625
	8, S8 下 端部	0.150	-23149	35715	51699



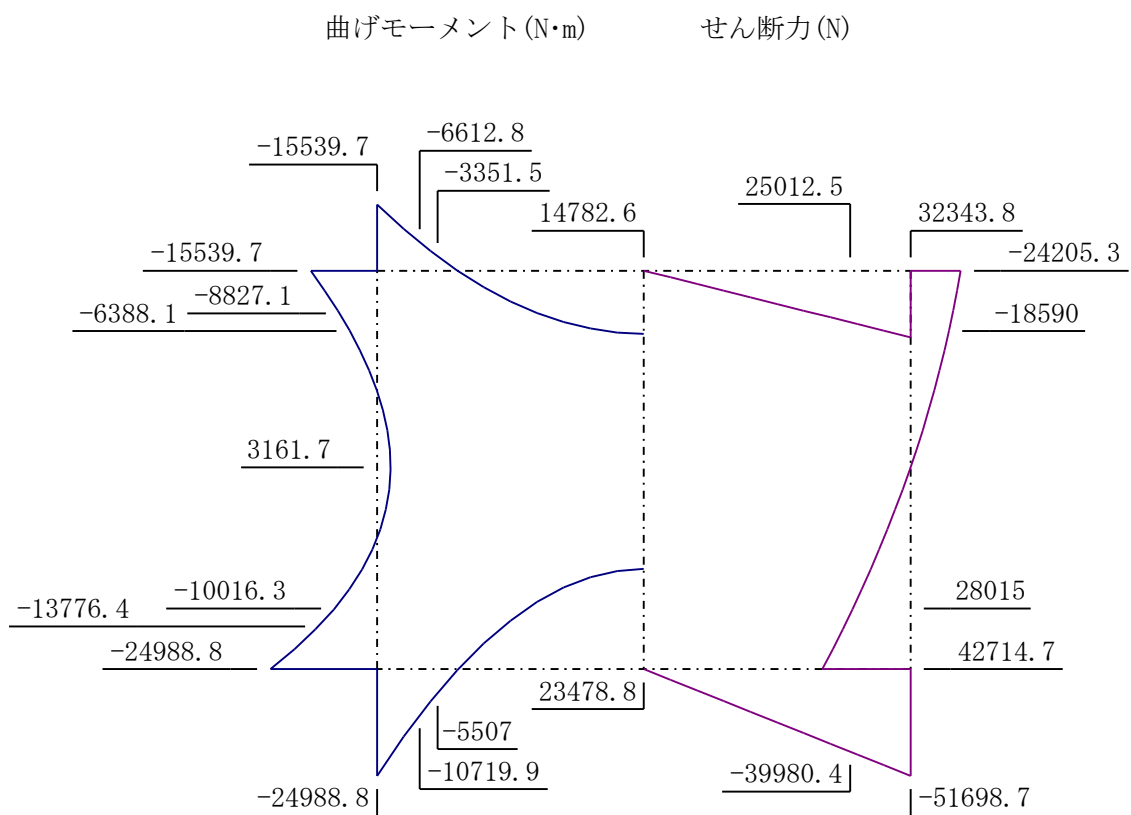
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	0.125	-32088	74889	20186
	2 ハチ始点	0.425	-10397	***	20186
	S2 τ 点	0.425	-1818	67558	20186
	1 中 央	1.875	65244	0	20186
底版	9, S9 端 部	0.125	-33192	94244	32734
	10 ハチ始点	0.425	-7181	***	32734
	S10 τ 点	0.425	2323	72882	32734
	11 中 央	1.875	55162	0	32734
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-32088	-20186	74889
	5 上ハチ点	2.350	-26356	***	76963
	S5 上 τ 点	2.375	-24193	-16695	77827
	6 中 間	1.269	-13950	0	85472
	S7 下 τ 点	0.425	-22010	20160	91306
	7 下ハチ点	0.450	-24749	***	92171
	8, S8 下 端部	0.150	-33192	32734	94244



(1) 設計荷重時 2 (CASE-2)

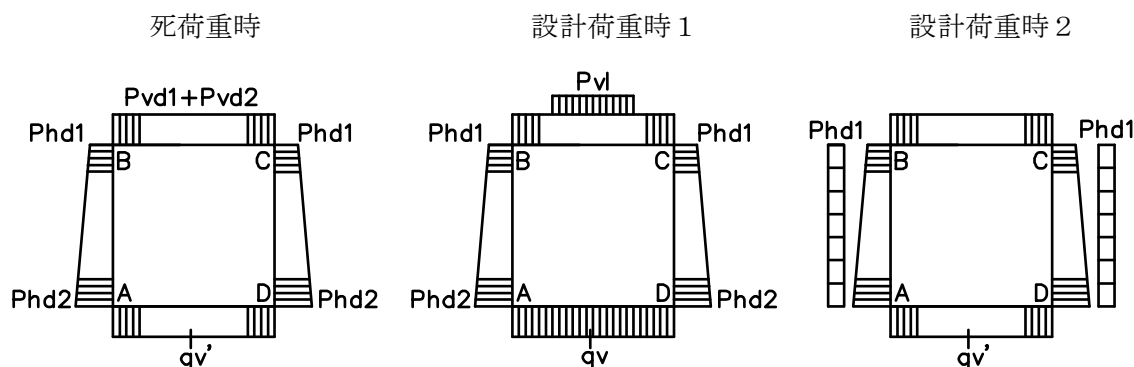
[/単位長]					
部材	照査点	距 離 x (m)	曲げモーメント M (N・m)	せん断力 S (N)	軸 力 N (N)
頂版	3, S3 端 部	0.125	-15540	32344	24205
	2 ハチ始点	0.425	-6613	***	24205
	S2 τ 点	0.425	-3352	25013	24205
	1 中 央	1.875	14783	0	24205
底版	9, S9 端 部	0.125	-24989	51699	42715
	10 ハチ始点	0.425	-10720	***	42715
	S10 τ 点	0.425	-5507	39980	42715
	11 中 央	1.875	23479	0	42715
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-15540	-24205	32344
	5 上ハチ点	2.350	-8827	***	34418
	S5 上 τ点	2.375	-6388	-18590	35282
	6 中 間	1.418	3162	0	41897
	S7 下 τ点	0.425	-10016	28015	48761
	7 下ハチ点	0.450	-13776	***	49625
	8, S8 下 端部	0.150	-24989	42715	51699



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 $Phd1 = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2) \}$
 $Phd2 = Ka \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H2 - t - tb + T1/2 + Ho) \}$
- (4) 載荷重 $P_q = Ka \times Q$
- (5) 活荷重
 輪分布幅 $u = a + 2 \times H2 = 3.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 3.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) \} / B_o$



設計荷重値	死荷重時 (kN/m ²)	設計荷重時 1 CASE-3 (kN/m ²)	設計荷重時 2 CASE-4 (kN/m ²)
P_{vd1}	7.350	7.350	7.350
P_{vd2}	27.900	27.900	27.900
$Phd1 = Phd1$	15.300	15.300	*****
$Phd1 = Phd1 + P_q$	*****	*****	20.300
$Phd3 = Phd3$	*****	*****	*****
$Phd3 = Phd3 + P_q$	*****	*****	*****
$Phd5 = Phd5$	*****	*****	*****
$Phd5 = Phd5 + P_q$	*****	*****	*****
$Phd2 = Phd2$	40.500	40.500	*****
$Phd2 = Phd2 + P_q$	*****	*****	45.500
$Phd4 = Phd4$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	26.591	0.000
q_v	*****	68.264	*****
$q_{v'}$	45.573	*****	45.573

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

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{vl} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o)$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60$$

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、 $P_{vl} = 0$
 注 3) $P_{hd1} \sim P_{hd5}$ 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

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBA$$

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
α	1.2902	1.2902	1.2902
β	1.2902	1.2902	1.2902
N1	3.2902	3.2902	3.2902
N2	3.2902	3.2902	3.2902
CAD (kN・m/m)	53.405	79.996	53.405
CBC (kN・m/m)	41.309	71.514	41.309
CAB (kN・m/m)	19.874	19.874	23.141
CBA (kN・m/m)	16.582	16.582	19.848
θ_A	-13.745	-25.723	-12.318
θ_B	11.693	24.513	10.266
MAB (kN・m/m)	-35.671	-46.807	-37.512
MAD (kN・m/m)	35.671	46.807	37.512
MBA (kN・m/m)	26.222	39.885	28.063
MBC (kN・m/m)	-26.222	-39.885	-28.063

3.2.3 各部材の断面力

(1) 頂 版

1) セン断力

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

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) セン断力

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

2) 曲げモーメント

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

(3) 側 壁

1) セン断力

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

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

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。

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

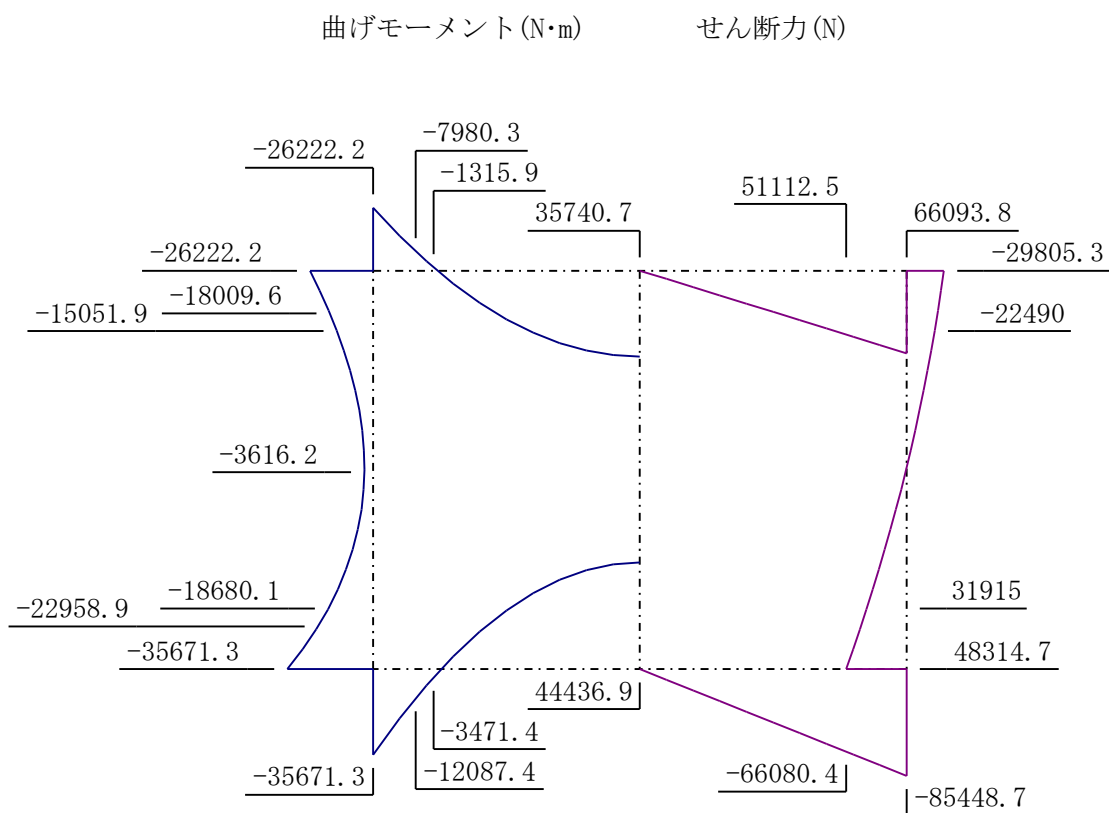
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	66.094	108.639	66.094
SCB (kN/m)	-66.094	-108.639	-66.094
Mmax (kN・m/m)	35.741	67.814	33.900
SAD (kN/m)	85.449	127.994	85.449
SDA (kN/m)	-85.449	-127.994	-85.449
Mmax (kN・m/m)	44.437	73.187	42.596
SAB (kN/m)	48.315	47.412	55.315
SBA (kN/m)	-29.805	-30.708	-36.805
x (m)	1.383	1.383	*****
	1.413	*****	1.413
Mmax (kN・m/m)	-3.616	-16.000	*****
Mmax (kN・m/m)	-3.602	*****	-0.542

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。

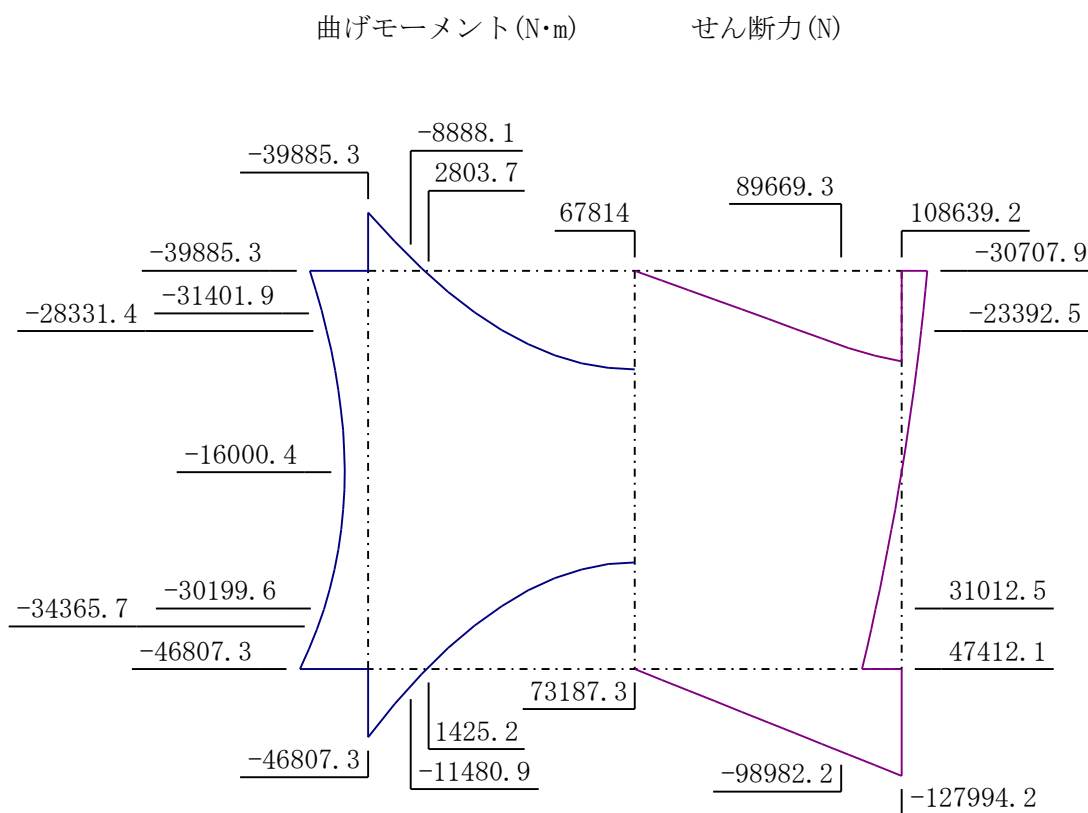
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	0.125	-26222	66094	29805
	2 ハッチ始点	0.425	-7980	***	29805
	S2 τ 点	0.425	-1316	51113	29805
	1 中 央	1.875	35741	0	29805
底版	9, S9 端 部	0.125	-35671	85449	48315
	10 ハッチ始点	0.425	-12087	***	48315
	S10 τ 点	0.425	-3471	66080	48315
	11 中 央	1.875	44437	0	48315
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-26222	-29805	66094
	5 上ハッチ点	2.350	-18010	***	68168
	S5 上 τ 点	2.375	-15052	-22490	69032
	6 中 間	1.383	-3616	*****	75889
		1.413	-3602	*****	75681
	S7 下 τ 点	0.425	-18680	31915	82511
	7 下ハッチ点	0.450	-22959	***	83375
	8, S8 下 端部	0.150	-35671	48315	85449



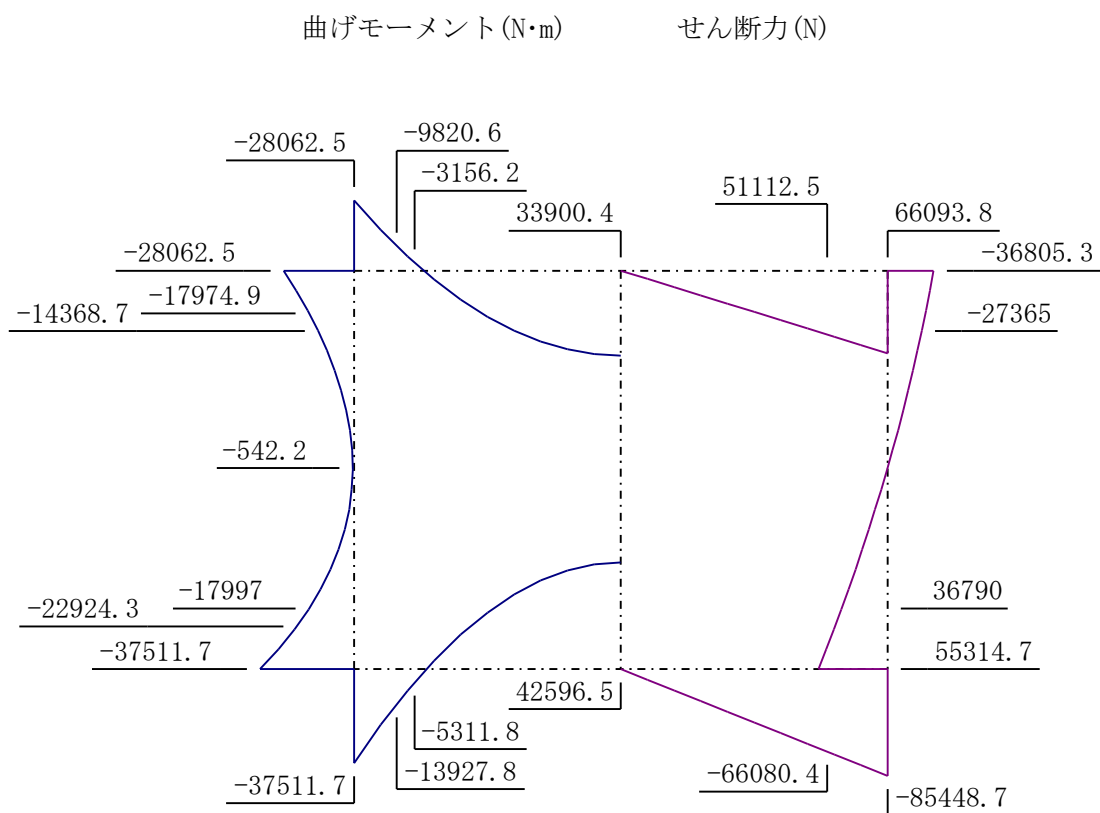
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

		[/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	0.125	-39885	108639	30708
	2 ハッチ始点	0.425	-8888	***	30708
	S2 τ 点	0.425	***	89669	***
	1 中 央	1.875	67814	0	30708
底版	9, S9 端 部	0.125	-46807	127994	47412
	10 ハッチ始点	0.425	-11481	***	47412
	S10 τ 点	0.425	***	98982	***
	11 中 央	1.875	73187	0	47412
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-39885	-30708	108639
	5 上ハッチ点	2.350	-31402	***	110713
	S5 上 τ 点	2.375	***	-23393	***
	6 中 間	1.383	-16000	0	118434
	S7 下 τ 点	0.425	***	31013	***
	7 下ハッチ点	0.450	-34366	***	125921
	8, S8 下 端部	0.150	-46807	47412	127994



(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	0.125	-28063	66094	36805
	2 ハチ始点	0.425	-9821	***	36805
	S2 τ 点	0.425	***	51113	***
	1 中 央	1.875	33900	0	36805
底板	9, S9 端 部	0.125	-37512	85449	55315
	10 ハチ始点	0.425	-13928	***	55315
	S10 τ 点	0.425	***	66080	***
	11 中 央	1.875	42597	0	55315
側壁	4, S4 上 端部	2.650	-28063	-36805	66094
	5 上ハチ点	2.350	-17975	***	68168
	S5 上 τ点	2.375	***	-27365	***
	6 中 間	1.413	-542	0	75681
	S7 下 τ点	0.425	***	36790	*****
	7 下ハチ点	0.450	-22924	***	83375
	8, S8 下 端部	0.150	-37512	55315	85449



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	40.00	4000.0	533333.33	20.00	26666.67
ハチ始点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
τ 点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
中 央	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00

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	2.50	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-2.50	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	2.50	外 側
中 央	φ 21	2.50	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	△ 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	1.90	-0.12	66.44	25.12	745.63	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.09	80.02	25.12	732.04	0.874	3
τ 点	837.18	2.62	-0.02	78.40	25.12	733.67	0.876	1
中 央	837.18	2.62	-0.40	72.53	25.12	739.54	0.883	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	1.90	-0.12	66.44	25.12	745.63	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.09	80.02	25.12	732.04	0.874	3
τ 点	837.18	2.62	-0.02	78.40	25.12	733.67	0.876	1
中 央	837.18	2.62	-0.40	72.53	25.12	739.54	0.883	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	1.90	-0.12	66.44	25.12	745.63	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.05	79.47	25.12	732.59	0.875	1
τ 点	837.18	2.62	-0.02	78.40	25.12	733.67	0.876	2
中 央	837.18	2.62	-0.40	72.53	25.12	739.54	0.883	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	1.90	-0.12	66.44	25.12	745.63	0.891	3
ハチ始点	837.18	2.62	0.05	79.47	25.12	732.59	0.875	1
τ 点	837.18	2.62	-0.02	78.40	25.12	733.67	0.876	2
中 央	837.18	2.62	-0.40	72.53	25.12	739.54	0.883	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	0.98	0.07	1.01	2.07	3
ハチ始点	0.53	0.10	3.17	3.80	3
中 央	2.38	0.10	1.07	3.55	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-0.98	0.07	2.22	1.31	3
ハチ始点	-0.53	0.10	1.06	0.62	3
中 央	-2.38	0.10	3.20	0.92	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.50	0.08	1.01	2.58	3
ハチ始点	0.69	0.07	3.17	3.93	1
中 央	4.52	0.10	1.07	5.69	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.50	0.08	2.22	0.80	3
ハチ始点	-0.69	0.07	1.06	0.43	1
中 央	-4.52	0.10	3.20	-1.22	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	-53.845	0.30	3.13	3.5	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-14.036	0.21	4.20	1.4	0.0	0.000	0.000	1
中 央	91.549	-2.76	7.31	8.2	113.7	7.105	4.115	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 19	— 5	D 16	— 5	12.128 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	20000	30.708	108.639	645.71	1.69	0.41	-0.093	3
τ 点	100.0	11250	30.708	89.669	635.36	2.22	0.45	-0.087	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	-26.222	-13.663	-68.247	-67.805	-68.247	3
ハッチ始点	-4.772	-5.625	-20.266	-17.675	-20.266	1
中 央	16.623	48.621	143.161	110.914	143.161	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	22.5	36.5	0.069	0.005	213.62	3.1	3
ハッチ始点	8.660	6.335	12.5	26.5	0.069	0.008	125.59	6.2	1
中 央	8.660	12.128	17.5	26.5	0.069	0.007	204.17	1.4	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	40.00	4000.0	533333.33	20.00	26666.67
ハチ始点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
τ 点	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00
中 央	100.00	30.00	3000.0	225000.00	15.00	15000.00

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 23	2.50	4.155	350000	2.50	外 側
ハチ始点	φ 23	2.50	4.155	350000	-2.50	外 側
τ 点	φ 23	2.50	4.155	350000	2.50	外 側
中 央	φ 23	2.50	4.155	350000	2.50	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	842.36	2.29	-0.17	71.42	25.27	745.67	0.885	3
ハチ始点	842.36	3.16	0.13	88.32	25.27	728.77	0.865	3
τ 点	842.36	3.16	-0.04	85.64	25.27	731.44	0.868	1
中 央	842.36	3.16	-0.49	78.71	25.27	738.37	0.877	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	2.29	-0.17	71.42	25.27	745.67	0.885	3
ハチ始点	842.36	3.16	0.13	88.32	25.27	728.77	0.865	3
τ 点	842.36	3.16	-0.04	85.64	25.27	731.44	0.868	1
中 央	842.36	3.16	-0.49	78.71	25.27	738.37	0.877	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	842.36	2.29	-0.17	71.42	25.27	745.67	0.885	3
ハチ始点	842.36	3.16	0.13	88.32	25.27	728.77	0.865	4
τ 点	842.36	3.16	-0.04	85.64	25.27	731.45	0.868	2
中 央	842.36	3.16	-0.49	78.71	25.27	738.37	0.877	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	842.36	2.29	-0.17	71.42	25.27	745.67	0.885	3
ハチ始点	842.36	3.16	0.13	88.32	25.27	728.77	0.865	4
τ 点	842.36	3.16	-0.04	85.64	25.27	731.45	0.868	2
中 央	842.36	3.16	-0.49	78.71	25.27	738.37	0.877	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	1.34	0.12	1.21	2.67	3
ハチ始点	0.81	0.16	3.79	4.75	3
中 央	2.96	0.16	1.28	4.40	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.34	0.12	2.66	1.45	3
ハチ始点	-0.81	0.16	1.26	0.62	3
中 央	-2.96	0.16	3.83	1.03	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	1.76	0.12	1.21	3.08	3
ハチ始点	0.93	0.18	3.79	4.90	4
中 央	4.88	0.16	1.28	6.32	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.76	0.12	2.66	1.03	3
ハチ始点	-0.93	0.18	1.26	0.52	4
中 央	-4.88	0.16	3.83	-0.89	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	-63.190	0.45	3.74	4.3	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-18.803	0.26	5.29	1.4	0.0	0.000	0.000	4
中 央	98.803	-2.54	8.08	7.2	91.0	5.690	3.587	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	20000	47.412	127.994	774.56	2.05	0.48	-0.107	3
τ 点	100.0	11250	47.412	98.982	759.79	2.69	0.49	-0.088	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	-35.671	-11.136	-74.213	-79.572	-79.572	3
ハッチ始点	-12.087	-1.840	-20.315	-23.677	-23.677	4
中 央	44.437	28.750	129.644	124.418	129.644	3

位 置	Ap (cm ² /m)	As (cm ² /m)	dp (cm)	ds (cm)	Ppb	Ppd	Mu (kN・m)	Sf	ケース
端 部	10.387	6.335	22.5	36.5	0.069	0.005	240.31	3.0	3
ハッチ始点	10.387	6.335	12.5	26.5	0.069	0.010	138.45	5.8	4
中 央	10.387	9.930	17.5	26.5	0.069	0.007	207.39	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	-39.885	108.639	36.71	14.00	55.095	3
	上ハチ点	-31.402	110.713	28.36	9.00	41.366	3
側壁	中 間	-13.950	85.472	16.32	9.00	21.642	1
	下ハチ点	-34.366	125.921	27.29	9.00	45.699	3
	下端部	-46.807	127.994	36.57	14.00	64.726	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)

$$\begin{aligned}
 A_s &= [\sigma_c / 2 \times s - N / (b \times d_a)] / \sigma_{sa} \times b \times d_a \\
 \therefore \sigma_c^3 + [3 \times \sigma_{sa} / (2 \times n) - 3 \times N \times (e + c) / (b \times d_a^2)] \times \sigma_c^2 \\
 &\quad - 6 \times N \times (e + c) / (n \times b \times d_a^2) \times \sigma_{sa} \times \sigma_c \\
 &\quad - 3 \times N \times (e + c) / (n^2 \times b \times d_a^2) \times \sigma_{sa}^2 = 0 \\
 &\text{上式を解いて } \sigma_c \text{ を求める。また } d_a = T - d' \text{ とする。} \\
 \therefore s &= n \times \sigma_c / (n \times \sigma_c + \sigma_{sa})
 \end{aligned}$$

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	55.095	13.08	16.58	35.00	5.296
	上ハチ点	41.366	11.33	14.83	25.00	6.700
側壁	中 間	21.642	8.20	11.70	25.00	1.561
	下ハチ点	45.699	11.91	15.41	25.00	7.260
	下端部	64.726	14.18	17.68	35.00	6.308
$d + d' < T$					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	10.647	3.70	108.8	0.0
	上ハチ点	100.00	8.133	8.109	5.43	134.5	0.0
	中間	100.00	8.133	9.979	2.39	41.3	0.0
	下ハチ点	100.00	8.133	8.198	5.94	144.6	0.0
	下端部	100.00	8.133	10.661	4.35	127.4	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	67.558	25.012	89.669	51.112				
	M			2.804					
	N			30.708					
	最大			○					
底版 τ点	S	72.882	39.980	98.982	66.080				
	M			1.425					
	N			47.412					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-16.695	-18.590	-23.392	-27.365				
	M				-14.369				
	N				69.032				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	20.160	28.015	31.012	36.790				
	M				-17.997				
	N				82.511				
	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(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	30.0	3.5	26.5	1.400	D19-2.5 D16-2.5	12.128	0.458	1.158
底版 τ 点	30.0	3.5	26.5	1.400	D16-5	9.930	0.375	1.075
側壁上 τ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.364	1.064
側壁下 τ 点	25.8	3.5	22.3	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.364	1.064

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	2.804	640.4	30.708	0.300	0.01500	0.03	46.363	2.000
底版 τ 点	1.425	767.0	47.412	0.300	0.01500	0.03	56.061	2.000
側壁上 τ 点	-14.369	0.0	69.032	0.258	0.01108	0.00	2.965	1.206
側壁下 τ 点	-17.997	0.0	82.511	0.258	0.01108	0.00	3.543	1.197

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	1.158	2.000	0.875
底版 τ 点	0.270	1.400	1.075	2.000	0.813
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.064	1.206	0.485
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.064	1.197	0.481

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	89.669	26.5	0.338	0.875
底版 τ 点	98.982	26.5	0.374	0.813
側壁上 τ 点	27.365	22.3	0.123	0.485
側壁下 τ 点	36.790	22.3	0.165	0.481

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上