

台帳 No. KL401003

土被り H1= 1.510 m
 H2= 3.000 m

土被り H1= 1.510 m
 H2= 3.000 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) 1800 × (H) 1200 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 1.510 ~ H2 = 3.000 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t _b = 0.000 [m]

1.2 単位容積重量

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

1.3 土圧係数 (水 平)

: $K_a = 0.500$

(鉛 直)

: $\alpha = 1.000$

1.4 活荷重 (上 載)

: T' 荷重 横断通行

(輪接地幅 a = 0.20m b = 0.50m)

(側 載)

: $Q = 10.0$ [kN/m²]

1.5 衝撃係数

: $i = 0.300$

1.6 鉄筋かぶり

	頂 版	底 版	側 壁
: (内側)	35 mm	35 mm	35 mm
: (外側)	35 mm	35 mm	35 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 : $E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

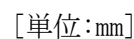
1.8.3 P C 鋼棒 (SBPR 1080 / 1230 C 種 1 号)

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

1.11 標準断面図



1.12 荷重の組合せ



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

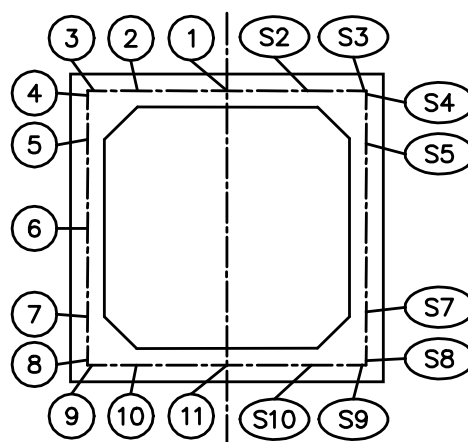
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

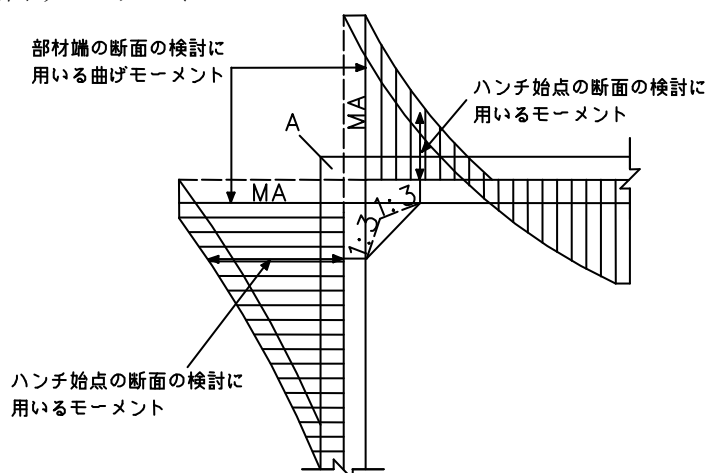
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

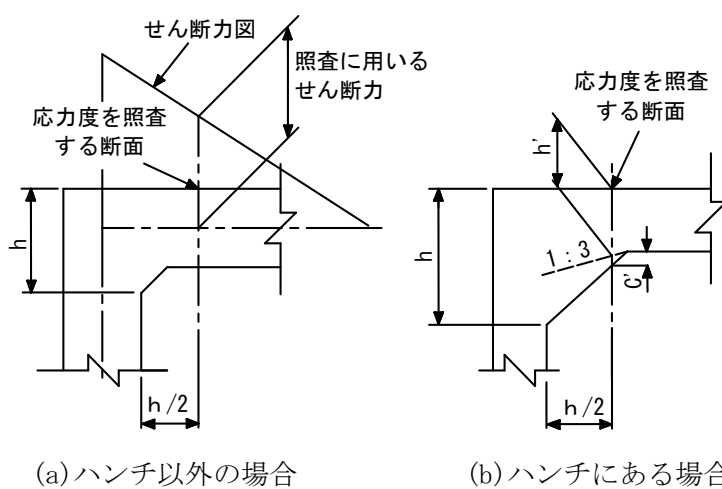
せん断力



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

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

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

3.1.2 構造解析

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

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \text{荷 重 項} \quad CAD &= q_v \times B_o^2 / 12 \\
 CBC &= \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{vl}) \times B_o^2\} / 12 \\
 CAB &= (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 \\
 CBA &= (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60
 \end{aligned}$$

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、 $P_{vl} = 0$

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	0.6923	0.6923	0.6923
β	0.6923	0.6923	0.6923
N1	2.6923	2.6923	2.6923
N2	2.6923	2.6923	2.6923
CAD (kN・m/m)	11.854	20.228	11.854
CBC (kN・m/m)	10.062	18.436	10.062
CAB (kN・m/m)	3.342	3.342	4.101
CBA (kN・m/m)	2.973	2.973	3.732
θ_A	-4.802	-9.750	-4.353
θ_B	4.417	9.365	3.968
MAB (kN・m/m)	-8.529	-13.477	-8.840
MAD (kN・m/m)	8.529	13.477	8.840
MBA (kN・m/m)	7.005	11.953	7.315
MBC (kN・m/m)	-7.005	-11.953	-7.315

3.1.3 各部材の断面力

(1) 頂 版

1) せん断力

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

2) 曲げモーメント

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

(2) 底 版

1) せん断力

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

2) 曲げモーメント

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

(3) 側 壁

1) せん断力

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

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

2) 曲げモーメント

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

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

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

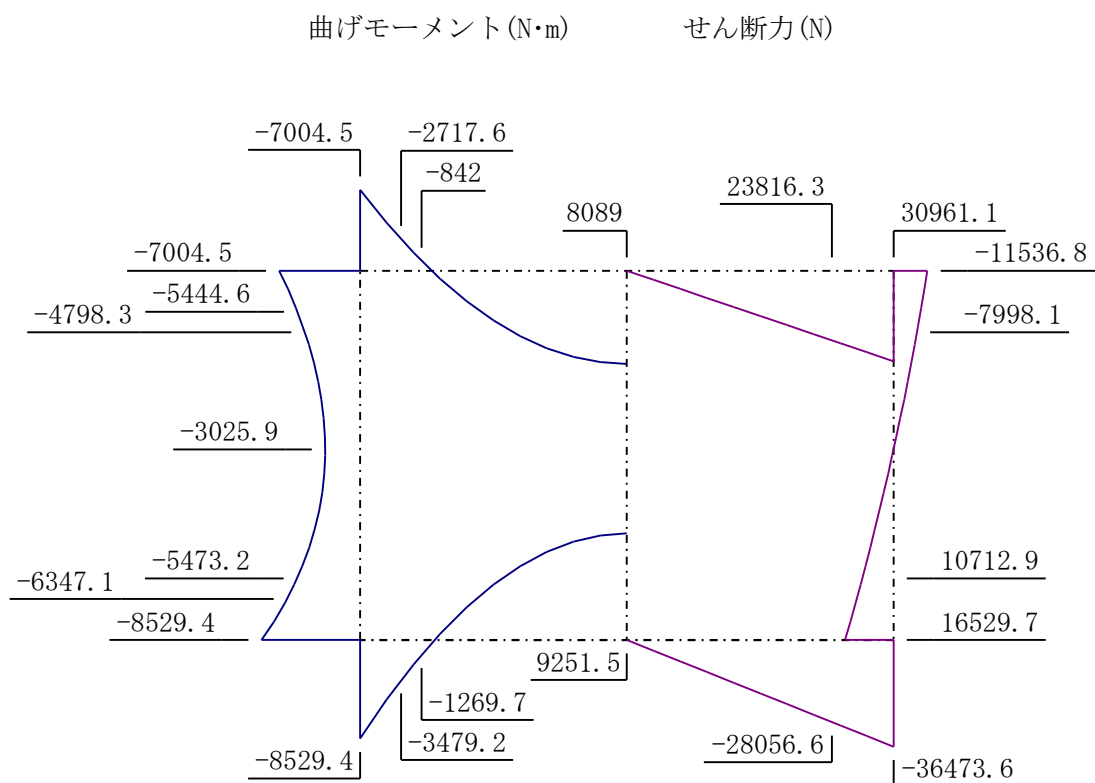
計 算 値		死荷重時	設計荷重時 1 CASE-1	設計荷重時 2 CASE-2
SBC	(kN/m)	30.961	56.726	30.961
SCB	(kN/m)	-30.961	-56.726	-30.961
Mmax	(kN・m/m)	8.089	15.701	7.778
SAD	(kN/m)	36.474	62.239	36.474
SDA	(kN/m)	-36.474	-62.239	-36.474
Mmax	(kN・m/m)	9.252	16.864	8.941
SAB	(kN/m)	16.530	16.530	19.905
SBA	(kN/m)	-11.537	-11.537	-14.912
x	(m)	0.697	0.697	*****
		0.692	*****	0.692
Mmax	(kN・m/m)	-3.026	-7.974	*****
Mmax	(kN・m/m)	-3.026	*****	-2.199

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。

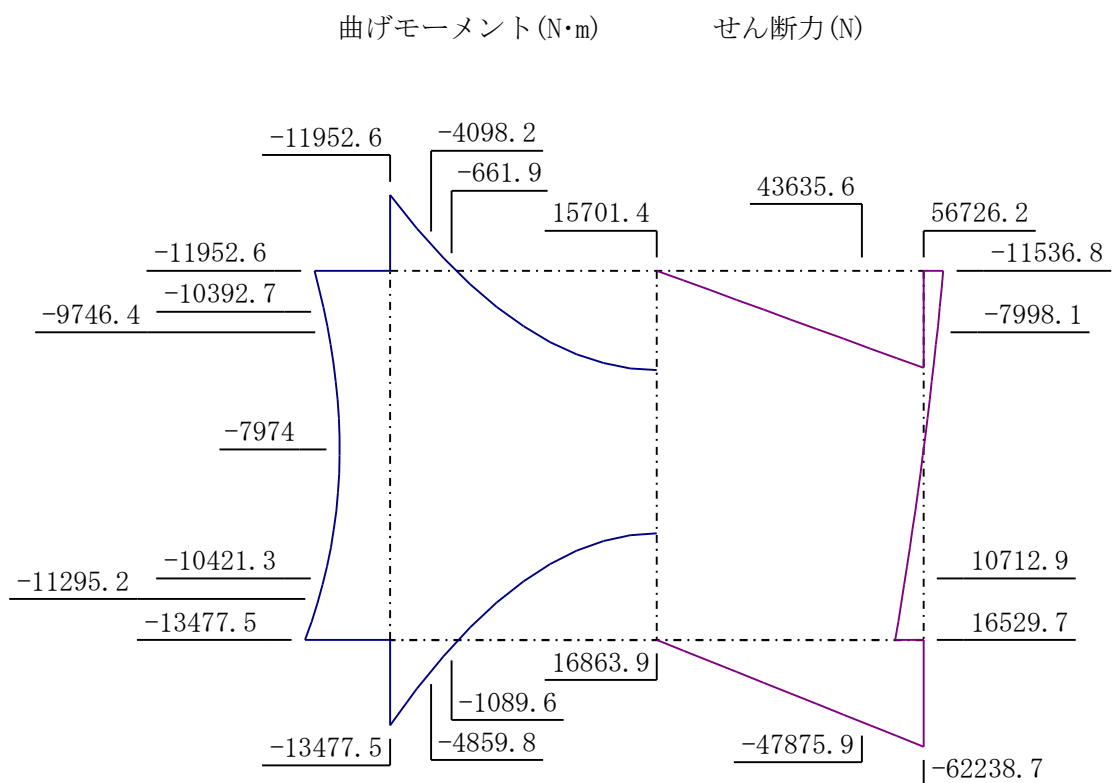
(1) 死荷重時 (CASE-1, 2)

		[/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	0.075	-7005	30961	11537
	2 ハッチ始点	0.225	-2718	***	11537
	S2 τ 点	0.225	-842	23816	11537
	1 中 央	0.975	8089	0	11537
底版	9, S9 端 部	0.075	-8529	36474	16530
	10 ハッチ始点	0.225	-3479	***	16530
	S10 τ 点	0.225	-1270	28057	16530
	11 中 央	0.975	9252	0	16530
側壁	4, S4 上 端部	1.275	-7005	-11537	30961
	5 上ハッチ点	1.125	-5445	***	31574
	S5 上 τ 点	1.125	-4798	-7998	31880
	6 中 間	0.697	-3026	*****	33628
		0.692	-3026	*****	33648
	S7 下 τ 点	0.225	-5473	10713	35555
	7 下ハッチ点	0.225	-6347	***	35861
	8, S8 下 端部	0.075	-8529	16530	36474



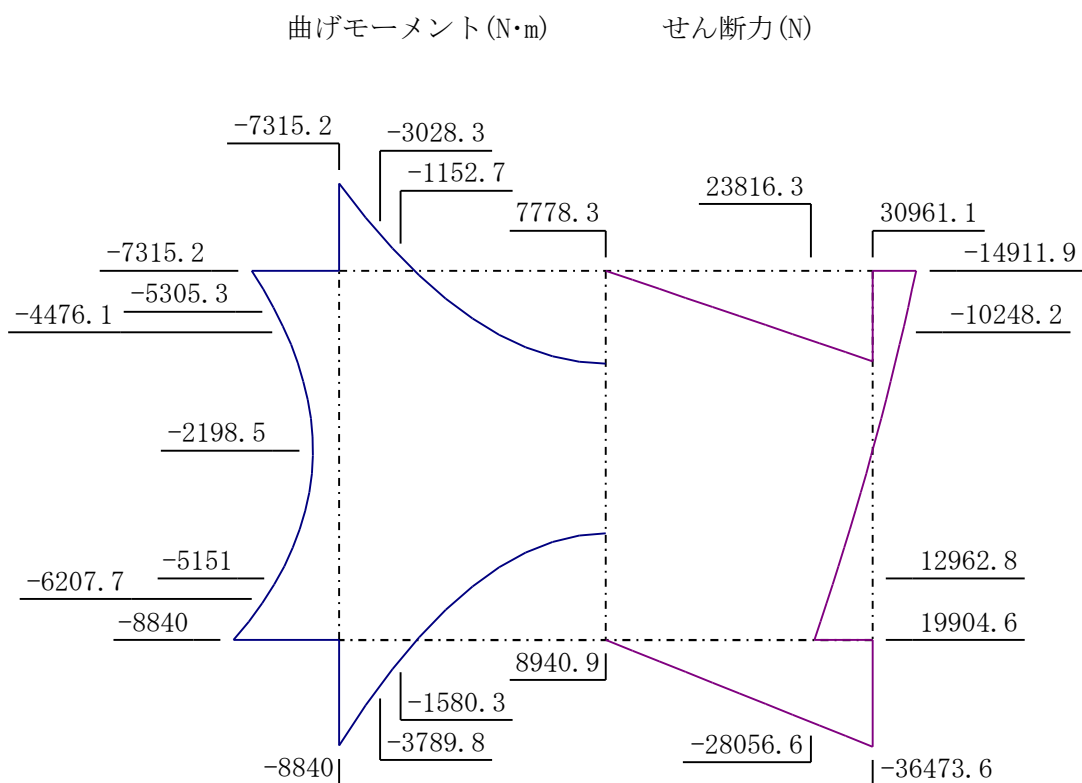
(1) 設計荷重時 1 (CASE-1)

[/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	0.075	-11953	56726	11537
	2 ハチ始点	0.225	-4098	***	11537
	S2 τ 点	0.225	-662	43636	11537
	1 中 央	0.975	15701	0	11537
底版	9, S9 端 部	0.075	-13478	62239	16530
	10 ハチ始点	0.225	-4860	***	16530
	S10 τ 点	0.225	-1090	47876	16530
	11 中 央	0.975	16864	0	16530
側壁	4, S4 上 端部	1.275	-11953	-11537	56726
	5 上ハチ点	1.125	-10393	***	57339
	S5 上 τ点	1.125	-9746	-7998	57645
	6 中 間	0.697	-7974	0	59393
	S7 下 τ点	0.225	-10421	10713	61320
	7 下ハチ点	0.225	-11295	***	61626
	8, S8 下 端部	0.075	-13478	16530	62239



(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	0.075	-7315	30961	14912
	2 ハチ始点	0.225	-3028	***	14912
	S2 τ 点	0.225	-1153	23816	14912
	1 中 央	0.975	7778	0	14912
底版	9, S9 端 部	0.075	-8840	36474	19905
	10 ハチ始点	0.225	-3790	***	19905
	S10 τ 点	0.225	-1580	28057	19905
	11 中 央	0.975	8941	0	19905
側壁	4, S4 上 端部	1.275	-7315	-14912	30961
	5 上ハチ点	1.125	-5305	***	31574
	S5 上 τ 点	1.125	-4476	-10248	31880
	6 中 間	0.692	-2199	0	33648
	S7 下 τ 点	0.225	-5151	12963	35555
	7 下ハチ点	0.225	-6208	***	35861
	8, S8 下 端部	0.075	-8840	19905	36474



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 $u = a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m}$
 $v = b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m}$
 $P1 = 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN}$
 $P_{v1} = 2 \times P1 / 2.75 / u$
- (6) 底版反力 $q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) / Bo$



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}	3.675	3.675	3.675
P_{vd2}	54.900	54.900	54.900
$P_{hd1} = P_{hd1}$	28.125	28.125	*****
$P_{hd1} = P_{hd1} + P_q$	*****	*****	33.125
$P_{hd3} = P_{hd3}$	*****	*****	*****
$P_{hd3} = P_{hd3} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5}$	*****	*****	*****
$P_{hd5} = P_{hd5} + P_q$	*****	*****	*****
$P_{hd2} = P_{hd2}$	40.275	40.275	*****
$P_{hd2} = P_{hd2} + P_q$	*****	*****	45.275
$P_{hd4} = P_{hd4}$	*****	*****	*****
P_{v1}	0.000	13.724	0.000
q_v	*****	77.953	*****
$q_{v'}$	64.229	*****	64.229

注) $q_{v'}$ は、 $P_{v1}=0$ とした場合の底版反力。

3.2.2 構造解析

- (1) ラーメン係数
- $$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3)$$
- $$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3)$$
- $$N_1 = 2 + \alpha$$
- $$N_2 = 2 + \beta$$
- (2) 荷重項
- $$CAD = q_v \times B_o^2 / 12$$
- $$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12$$
- $$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60$$
- $$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60$$
- 注 1) 死荷重時、設計荷重時 2 の CAD は、 $q_v = q_v'$
 注 2) 死荷重時、設計荷重時 2 の CBC は、 $P_{v1} = 0$
 注 3) $Phd1 \sim Phd5$ は、水平荷重（設計荷重参照）
- (3) たわみ角
- $$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$
- $$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1)$$
- (4) 端モーメント
- $$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB$$
- $$MAD = \beta \times \theta_A + CAD$$
- $$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA$$
- $$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC$$

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

計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
α	0.6923	0.6923	0.6923
β	0.6923	0.6923	0.6923
N_1	2.6923	2.6923	2.6923
N_2	2.6923	2.6923	2.6923
CAD (kN・m/m)	20.353	24.701	20.353
CBC (kN・m/m)	18.561	22.910	18.561
CAB (kN・m/m)	5.379	5.379	6.138
CBA (kN・m/m)	5.010	5.010	5.769
θ_A	-8.621	-11.190	-8.172
θ_B	8.235	10.805	7.787
MAB (kN・m/m)	-14.384	-16.954	-14.695
MAD (kN・m/m)	14.384	16.954	14.695
MBA (kN・m/m)	12.860	15.429	13.170
MBC (kN・m/m)	-12.860	-15.429	-13.170

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。

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

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

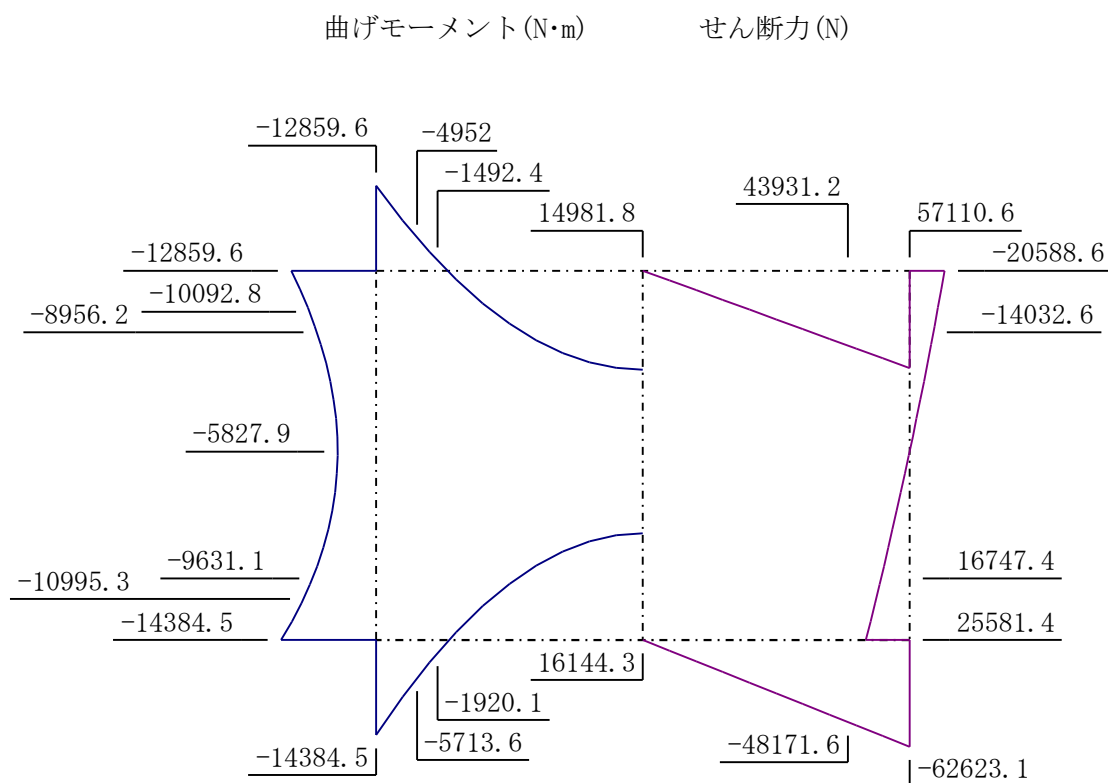
計 算 値	死荷重時	設計荷重時 1 CASE-3	設計荷重時 2 CASE-4
SBC (kN/m)	57.111	70.492	57.111
SCB (kN/m)	-57.111	-70.492	-57.111
Mmax (kN・m/m)	14.982	18.935	14.671
SAD (kN/m)	62.623	76.004	62.623
SDA (kN/m)	-62.623	-76.004	-62.623
Mmax (kN・m/m)	16.144	20.098	15.834
SAB (kN/m)	25.581	25.581	28.956
SBA (kN/m)	-20.589	-20.589	-23.964
x (m)	0.688	0.688	*****
	0.686	*****	0.686
Mmax (kN・m/m)	-5.828	-8.398	*****
Mmax (kN・m/m)	-5.828	*****	-5.000

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。

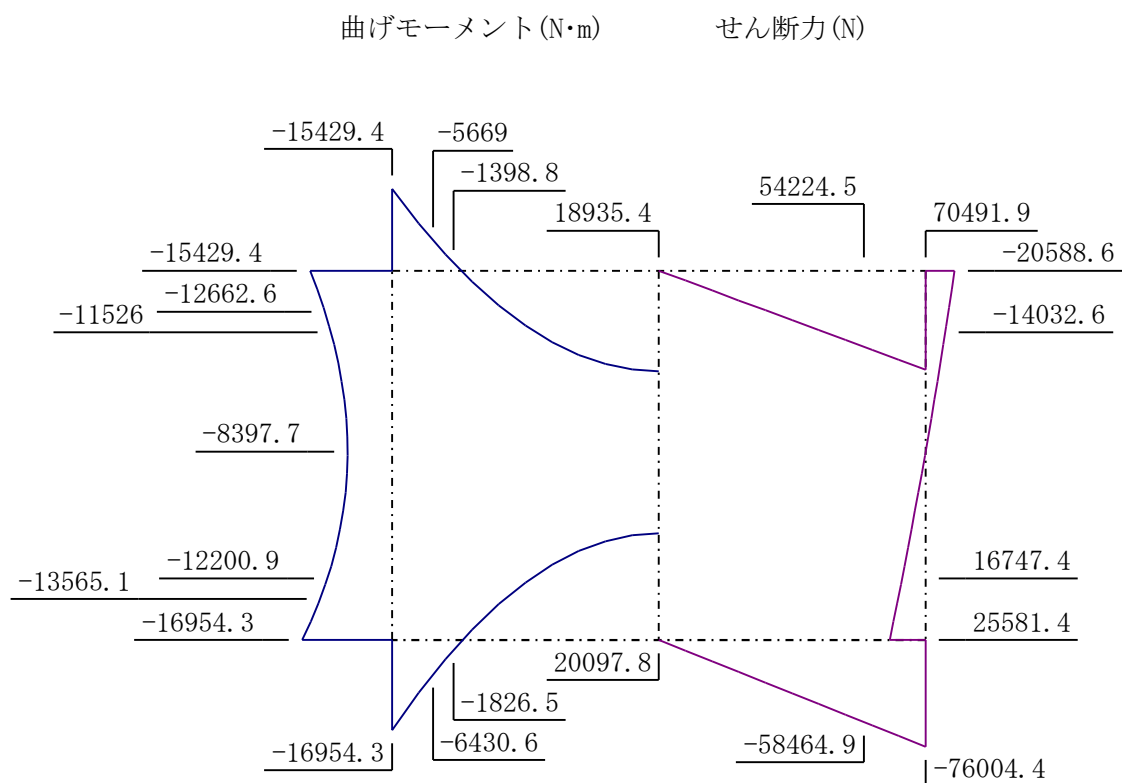
(1) 死荷重時 (CASE-3, 4)

		[/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	0.075	-12860	57111	20589
	2 ハッチ始点	0.225	-4952	***	20589
	S2 τ 点	0.225	-1492	43931	20589
	1 中 央	0.975	14982	0	20589
底版	9, S9 端 部	0.075	-14385	62623	25581
	10 ハッチ始点	0.225	-5714	***	25581
	S10 τ 点	0.225	-1920	48172	25581
	11 中 央	0.975	16144	0	25581
側壁	4, S4 上 端部	1.275	-12860	-20589	57111
	5 上ハッチ点	1.125	-10093	***	57723
	S5 上 τ 点	1.125	-8956	-14033	58029
	6 中 間	0.688	-5828	*****	59814
		0.686	-5828	*****	59822
	S7 下 τ 点	0.225	-9631	16747	61704
	7 下ハッチ点	0.225	-10995	***	62011
	8, S8 下 端部	0.075	-14385	25581	62623



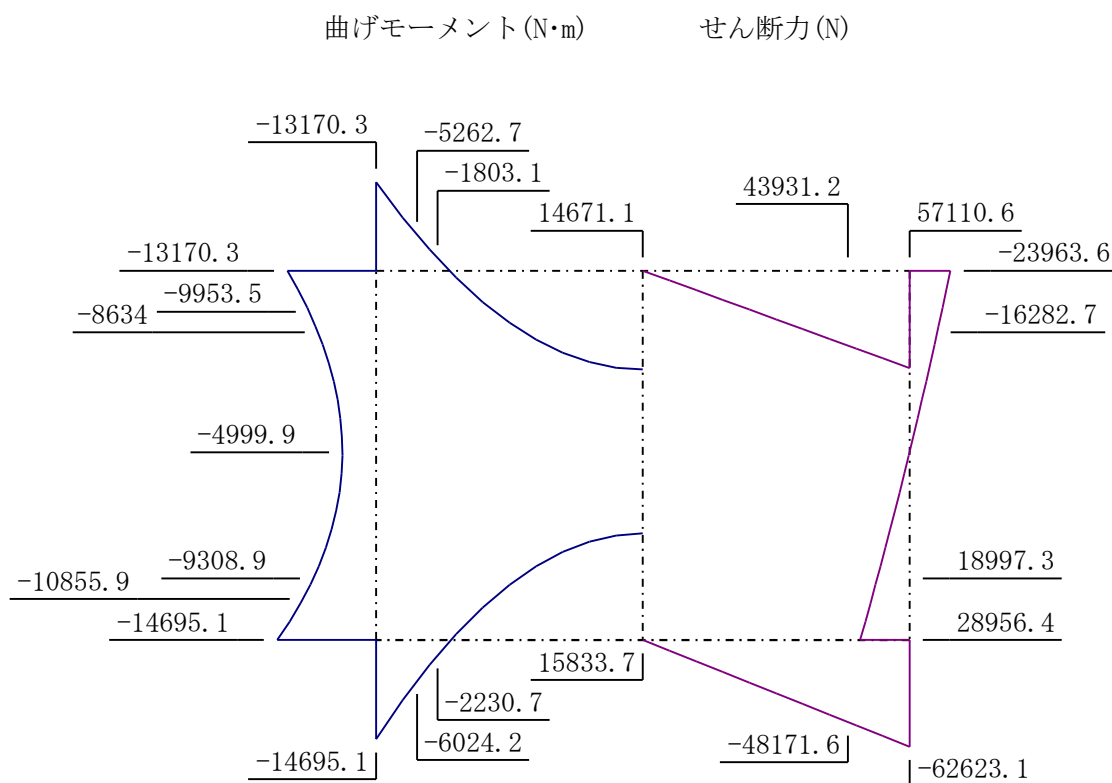
(2) 設計荷重時 1 (CASE-3)

[/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	0.075	-15429	70492	20589
	2 ハチ始点	0.225	-5669	***	20589
	S2 τ 点	0.225	***	54225	***
	1 中 央	0.975	18935	0	20589
底版	9, S9 端 部	0.075	-16954	76004	25581
	10 ハチ始点	0.225	-6431	***	25581
	S10 τ 点	0.225	***	58465	***
	11 中 央	0.975	20098	0	25581
側壁	4, S4 上 端部	1.275	-15429	-20589	70492
	5 上ハチ点	1.125	-12663	***	71104
	S5 上 τ点	1.125	***	-14033	***
	6 中 間	0.688	-8398	0	73195
	S7 下 τ点	0.225	***	16747	***
	7 下ハチ点	0.225	-13565	***	75392
	8, S8 下 端部	0.075	-16954	25581	76004



(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	0.075	-13170	57111	23964
	2 ハチ始点	0.225	-5263	***	23964
	S2 τ 点	0.225	***	43931	***
	1 中 央	0.975	14671	0	23964
底版	9, S9 端 部	0.075	-14695	62623	28956
	10 ハチ始点	0.225	-6024	***	28956
	S10 τ 点	0.225	***	48172	***
	11 中 央	0.975	15834	0	28956
側壁	4, S4 上 端部	1.275	-13170	-23964	57111
	5 上ハチ点	1.125	-9954	***	57723
	S5 上 τ点	1.125	***	-16283	***
	6 中 間	0.686	-5000	0	59822
	S7 下 τ点	0.225	***	18997	*****
	7 下ハチ点	0.225	-10856	***	62011
	8, S8 下 端部	0.075	-14695	28956	62623



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P C鋼棒引張応力度	(kN)
	A_p : 1本当りのP C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P C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	: P C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P C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P C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P C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	: P C鋼棒偏心量	(cm)
I	: 断面二次モーメント	(cm ⁴)
$\Delta\sigma_{pr}$: P C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	: P C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

$$S_f = M_u / M_d > 1.0$$

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

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 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	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
ハチ始点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
τ 点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
中 央	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00

5.1.2 使用 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 19	2.50	2.835	240000	2.00	外 側
ハチ始点	φ 19	2.50	2.835	240000	-0.50	外 側
τ 点	φ 19	2.50	2.835	240000	-0.50	外 側
中 央	φ 19	2.50	2.835	240000	0.50	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	846.56	3.36	-0.39	83.18	25.40	737.99	0.872	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.09	99.86	25.40	721.31	0.852	3
τ 点	846.56	4.05	0.03	98.93	25.40	722.24	0.853	3
中 央	846.56	4.05	-0.27	94.51	25.40	726.65	0.858	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	3.36	-0.39	83.18	25.40	737.99	0.872	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.09	99.86	25.40	721.31	0.852	3
τ 点	846.56	4.05	0.03	98.93	25.40	722.24	0.853	3
中 央	846.56	4.05	-0.27	94.51	25.40	726.65	0.858	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	846.56	3.36	-0.39	83.18	25.40	737.99	0.872	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.09	99.86	25.40	721.31	0.852	3
τ 点	846.56	4.05	0.03	98.93	25.40	722.24	0.853	4
中 央	846.56	4.05	-0.27	94.51	25.40	726.65	0.858	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	846.56	3.36	-0.39	83.18	25.40	737.99	0.872	3
ハチ始点	846.56	4.05	0.09	99.86	25.40	721.31	0.852	3
τ 点	846.56	4.05	0.03	98.93	25.40	722.24	0.853	4
中 央	846.56	4.05	-0.27	94.51	25.40	726.65	0.858	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	1.93	0.10	1.05	3.08	3
ハチ始点	1.32	0.14	4.09	5.55	3
中 央	4.00	0.14	2.75	6.88	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-1.93	0.10	4.18	2.36	3
ハチ始点	-1.32	0.14	2.73	1.54	3
中 央	-4.00	0.14	4.12	0.26	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.31	0.10	1.05	3.46	3
ハチ始点	1.51	0.14	4.09	5.74	3
中 央	5.05	0.14	2.75	7.93	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.31	0.10	4.18	1.97	3
ハチ始点	-1.51	0.14	2.73	1.35	3
中 央	-5.05	0.14	4.12	-0.79	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	-20.830	1.20	4.31	4.4	0.0	0.000	0.000	3
ハチ始点	-7.653	0.87	6.32	1.8	0.0	0.000	0.000	3
中 央	25.563	-2.51	9.75	3.1	38.6	2.411	1.536	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

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

5.1.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	σ c' (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ i	ケース
端 部	100.0	5000	20.589	70.492	523.05	2.72	0.53	-0.099	3
τ 点	100.0	2813	20.589	54.224	511.88	3.55	0.54	-0.081	3
σ 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	-12.860	-2.570	-23.142	-26.230	-26.230	3
ハチ始点	-4.952	-0.717	-8.230	-9.637	-9.637	3
中 央	14.982	3.954	29.360	32.190	32.190	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	7.088	3.567	12.0	16.5	0.069	0.007	78.53	3.0	3
ハチ始点	7.088	3.567	7.0	11.5	0.069	0.011	44.90	4.7	3
中 央	7.088	6.335	8.0	11.5	0.069	0.011	59.61	1.9	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	20.00	2000.0	66666.67	10.00	6666.67
ハチ始点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
τ 点	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00
中 央	100.00	15.00	1500.0	28125.00	7.50	3750.00

5.2.2 使用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	2.00	外 側
ハチ始点	φ 21	2.50	3.464	290000	-0.50	外 側
τ 点	φ 21	2.50	3.464	290000	-0.50	外 側
中 央	φ 21	2.50	3.464	290000	0.50	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	837.18	4.06	-0.43	92.04	25.12	720.02	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.90	0.10	111.19	25.12	700.87	0.837	3
τ 点	837.18	4.90	0.03	110.19	25.12	701.88	0.838	3
中 央	837.18	4.90	-0.29	105.42	25.12	706.65	0.844	3
(2) 死荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.06	-0.43	92.04	25.12	720.02	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.90	0.10	111.19	25.12	700.87	0.837	3
τ 点	837.18	4.90	0.03	110.19	25.12	701.88	0.838	3
中 央	837.18	4.90	-0.29	105.42	25.12	706.65	0.844	3
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)								
端 部	837.18	4.06	-0.43	92.04	25.12	720.02	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.90	0.10	111.19	25.12	700.88	0.837	3
τ 点	837.18	4.90	0.03	110.19	25.12	701.88	0.838	4
中 央	837.18	4.90	-0.29	105.41	25.12	706.65	0.844	3
(4) 設計荷重時 (最大引張)								
端 部	837.18	4.06	-0.43	92.04	25.12	720.02	0.860	3
ハチ始点	837.18	4.90	0.10	111.19	25.12	700.88	0.837	3
τ 点	837.18	4.90	0.03	110.19	25.12	701.88	0.838	4
中 央	837.18	4.90	-0.29	105.41	25.12	706.65	0.844	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	2.16	0.13	1.25	3.53	3
ハチ始点	1.52	0.17	4.86	6.55	3
中 央	4.31	0.17	3.26	7.74	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(2) 死荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.16	0.13	4.99	2.96	3
ハチ始点	-1.52	0.17	3.24	1.88	3
中 央	-4.31	0.17	4.90	0.76	3
$\sigma_t > 0.0$				CHECK OK	
(3) 設計荷重時 (最大圧縮)					
端 部	2.54	0.13	1.25	3.92	3
ハチ始点	1.71	0.17	4.86	6.74	3
中 央	5.36	0.17	3.26	8.79	3
$\sigma_c < 15.0$				CHECK OK	
(4) 設計荷重時 (最大引張)					
端 部	-2.54	0.13	4.99	2.57	3
ハチ始点	-1.71	0.17	3.24	1.69	3
中 央	-5.36	0.17	4.90	-0.29	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	-22.888	1.73	4.85	5.3	0.0	0.000	0.000	3
ハッチ始点	-8.681	1.15	7.40	2.0	0.0	0.000	0.000	3
中 央	27.132	-2.11	10.73	2.5	26.0	1.624	1.232	3

----- 使用鉄筋及び鉄筋量 -----

	径	本数	径	本数	断面積	判定
外 側	D 10	— 10	D 0	— 0	3.567 cm ² /m	> As1 or As2
内 側	D 13	— 5	D 10	— 5	4.951 cm ² /m	> As1 or As2

5.2.6 斜引張応力度

位 置	部材幅 (cm)	断面一次 モーメント (cm ³)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)	Pe (kN)	σ c' (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	σ i	ケース
端 部	100.0	5000	25.581	76.004	623.54	3.25	0.57	-0.097	3
τ 点	100.0	2813	25.581	58.465	607.83	4.22	0.58	-0.079	3
σ 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	-14.384	-2.570	-25.124	-28.822	-28.822	3
ハッチ始点	-5.714	-0.717	-9.220	-10.932	-10.932	3
中 央	16.144	3.953	30.871	34.166	34.166	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	3.567	12.0	16.5	0.069	0.008	90.31	3.1	3
ハッチ始点	8.660	3.567	7.0	11.5	0.069	0.014	50.37	4.6	3
中 央	8.660	4.951	8.0	11.5	0.069	0.012	61.85	1.8	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	-15.429	70.492	21.89	6.50	20.011	3
	上ハチ点	-12.663	71.104	17.81	4.00	15.507	3
側壁	中 間	-7.974	59.393	13.43	4.00	10.350	1
	下ハチ点	-13.565	75.392	17.99	4.00	16.581	3
	下端部	-16.954	76.004	22.31	6.50	21.895	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	20.011	7.88	11.38	20.00	4.090
	上ハチ点	15.507	6.94	10.44	15.00	5.251
側壁	中 間	10.350	5.67	9.17	15.00	2.613
	下ハチ点	16.581	7.17	10.67	15.00	5.697
	下端部	21.895	8.24	11.74	20.00	4.588
				$d + d' < T$	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	6.862	4.10	86.5	0.0
	上ハチ点	100.00	8.133	5.251	6.06	108.1	0.0
	中間	100.00	8.133	5.646	3.81	59.3	0.0
	下ハチ点	100.00	8.133	5.239	6.49	116.3	0.0
	下端部	100.00	8.133	6.828	4.51	95.8	0.0

$$\sigma_c < \sigma_{ca} \quad \sigma_s < \sigma_{sa}$$

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	43.636	23.816	54.224	43.931				
	M			-1.399					
	N			20.589					
	最大			○					
底版 τ点	S	47.876	28.057	58.465	48.172				
	M			-1.827					
	N			25.581					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-7.998	-10.248	-14.033	-16.283				
	M				-8.634				
	N				58.029				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	10.713	12.963	16.747	18.997				
	M				-9.309				
	N				61.704				
	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鋼棒の偏心率＜引張縁側＋／圧縮縁側－＞(m)

照査位置	T (cm)	d' (cm)	d (cm)	Ce	引張鉄筋		Pt (%)	Cpt
					径-本数	As (cm ²)		
頂版 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D10-5	3.567	0.310	1.010
底版 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D10-5	3.567	0.310	1.010
側壁上 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.707	1.324
側壁下 τ 点	15.0	3.5	11.5	1.400	D16-2.5 D13-2.5	8.133	0.707	1.324

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	-1.399	511.9	20.589	0.150	0.00375	-0.01	13.312	2.000
底版 τ 点	-1.826	607.8	25.581	0.150	0.00375	-0.01	15.835	2.000
側壁上 τ 点	-8.634	0.0	58.029	0.150	0.00375	0.00	1.451	1.168
側壁下 τ 点	-9.309	0.0	61.704	0.150	0.00375	0.00	1.543	1.166

照査位置	τ_a	補正係数			補正 τ_a
		Ce	Cpt	Cn	
頂版 τ 点	0.270	1.400	1.010	2.000	0.764
底版 τ 点	0.270	1.400	1.010	2.000	0.764
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.324	1.168	0.585
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.324	1.166	0.583

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	54.224	11.5	0.472	0.764
底版 τ 点	58.465	11.5	0.508	0.764
側壁上 τ 点	16.283	11.5	0.142	0.585
側壁下 τ 点	18.997	11.5	0.165	0.583

$\tau < \tau_a$ CHECK OK

以上