

受付 No.

台帳 No. RS401000



C Y - S Y S T E M

パワーボックスカルバート

設 計 計 算 書



○内空寸法 : 内 幅(B) 1700 mm  
内 高(H) 1000 mm  
長 さ(L) 1000 mm

○設計条件 : 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 0.200 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) 1700 × (H) 1000 × (L) 1000 [mm]
土被り	: H1 = 0.200 ~ H2 = 3.000 [m]
道路舗装厚	: t = 0.200 [m]
路盤厚	: t <sub>b</sub> = 0.000 [m]

## 1.2 単位容積重量

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

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/m <sup>2</sup> ]

1.5 衝撃係数	: i = 0.300
----------	-------------

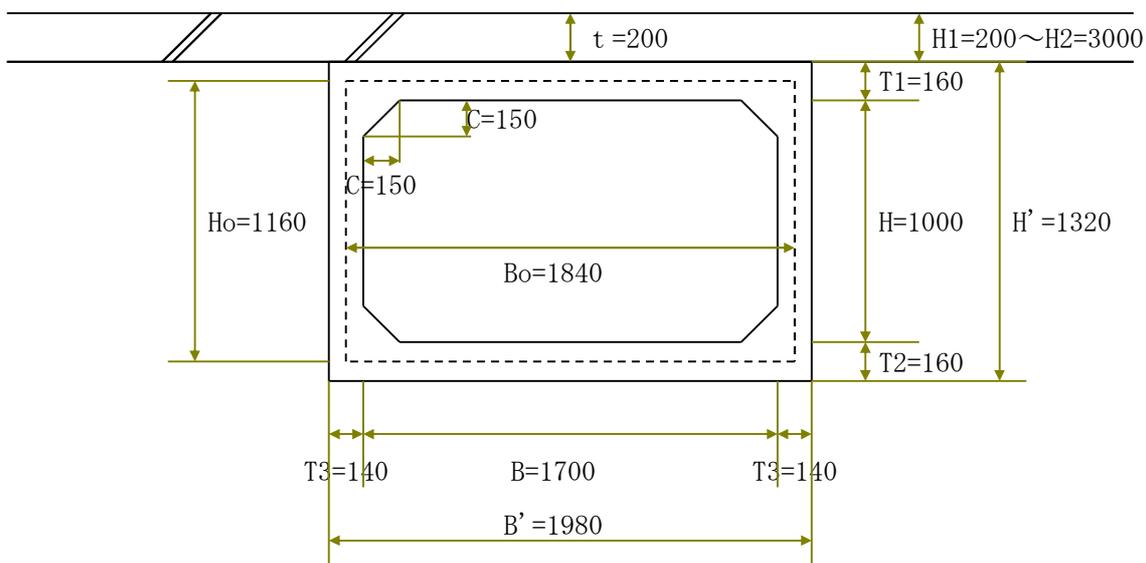
1.6 鉄筋かぶり	: 頂版 底版 側壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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

鉄筋引張応力度	: $\sigma_{sa} = 160$ [N/mm <sup>2</sup> ]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma_{sy} = 295$ [N/mm <sup>2</sup> ]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma_{ck} = 40.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma_{ca} = 14.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
せん断応力度	: $\tau_a = 0.270$ [N/mm <sup>2</sup> ]

## 1.9 標準断面図



[単位: mm]

## 1.10 荷重の組合せ



[荷重 CASE]

CASE 1, 3, 5, 7は、荷重がカルバート上載の場合

CASE 2, 4, 6, 8は、荷重がカルバート側載の場合

また

CASE 1, 2, 5, 6は、土被りH1の場合

CASE 3, 4, 7, 8は、土被りH2の場合

また

CASE 1, 2, 3, 4は、地下水の影響が無い場合

CASE 5, 6, 7, 8は、地下水の影響が有る場合

■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

せん断力



1) 断面検討用曲げモーメント



2) せん断力に対する照査



(a)ハンチ以外の場合

(b)ハンチにある場合

b)について

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

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

## 2.1.1 設計荷重 (CASE - 1)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (2) 土圧

## ① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - tb) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb \} = 4.500 \text{ kN/m}^2$$

## ② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2) \} = 2.970 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2 + Ho) \} = 13.410 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅 } u &= a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 活荷重 } P1 &= 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN} \\ P_{v1} &= 2 \times P1 / 2.75 / u = 141.818 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## (4) 底版反力

$$q_v = \frac{P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) \}}{B_o} = 59.589 \text{ kN/m}^2$$

[ 荷重図 ]



## 2.1.2 構造解析 (CASE - 1)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。  
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法  
 によって行う。

## (1) ラーメン計算

## ① 係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.941, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.941$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 16.812 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 21.253 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 1.035 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.801 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -8.739 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 9.925 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -8.588 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 8.588 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 11.913 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -11.913 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 48.397 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 24.411 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 41.414 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 16.630 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0.104 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -5.711 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

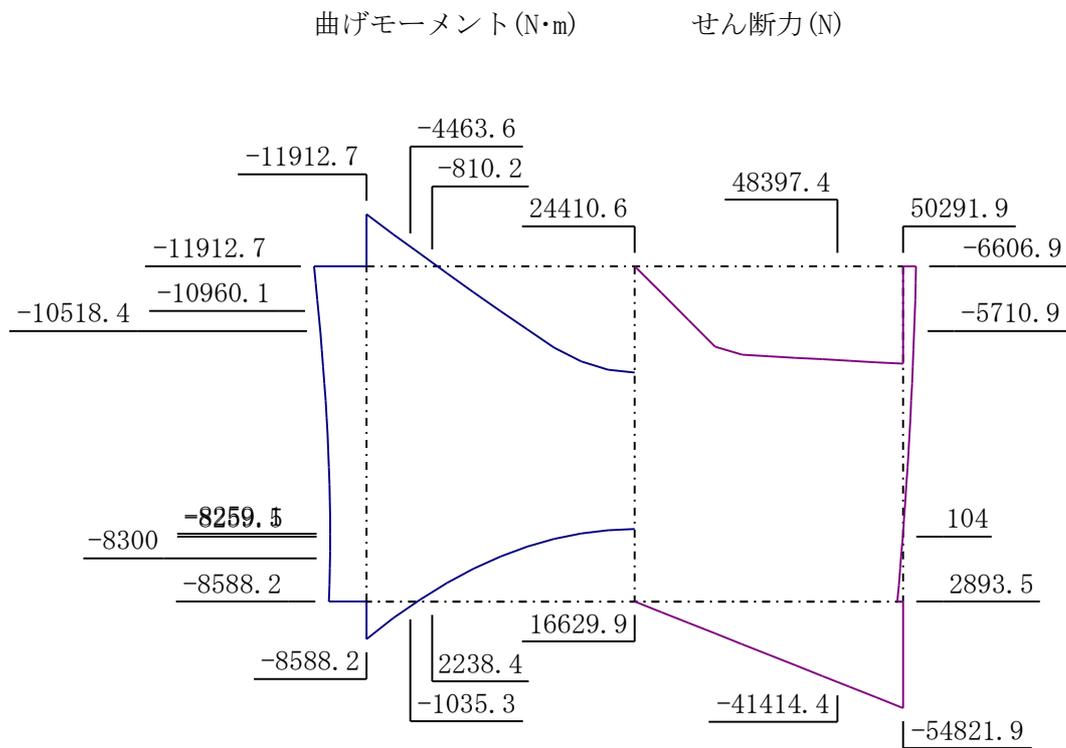
接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。 } x = 0.234 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -8.259 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[ / 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	0.070	-11913	50292	6607
	2 ハチ始点	0.220	-4464	*****	6607
	S2 τ点	0.225	-810	48397	6607
	1 中央	0.920	24411	0	6607
底版	9, S9 端部	0.070	-8588	54822	2894
	10 ハチ始点	0.220	-1035	*****	2894
	S10 τ点	0.225	2238	41414	2894
	11 中央	0.920	16630	0	2894
側壁	4, S4 上端部	1.080	-11913	-6607	50292
	5 上ハチ点	0.930	-10960	*****	50878
	S5 上τ点	0.935	-10518	-5711	51171
	6 中間	0.234	-8259	0	53908
	S7 下τ点	0.225	-8260	104	53943
	7 下ハチ点	0.230	-8300	*****	54236
	8, S8 下端部	0.080	-8588	2894	54822



## 2.2.1 設計荷重 (CASE - 2)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (2) 土圧

## ① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 4.500 \text{ kN/m}^2$$

## ② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 7.970 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 18.410 \text{ kN/m}^2$$

ここに、 $P_q$  はカルバート側面に作用する活荷重による水平土圧で  
 $P_q = K_a \times 10.0 = 5.0 \text{ kN/m}^2$  とする。

## (3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 13.344 \text{ kN/m}^2$$

[ 荷重図 ]



## 2.2.2 構造解析 (CASE - 2)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。  
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法  
 によって行う。

## (1) ラーメン計算

## ① 係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.941, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.941$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 3.765 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 2.376 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 1.596 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 1.362 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.966 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.673 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -2.856 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 2.856 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 1.742 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -1.742 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 5.852 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 1.821 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -3.660 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 2.792 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 5.705 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -3.660 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。 } x = 0.615 \text{ m}$$

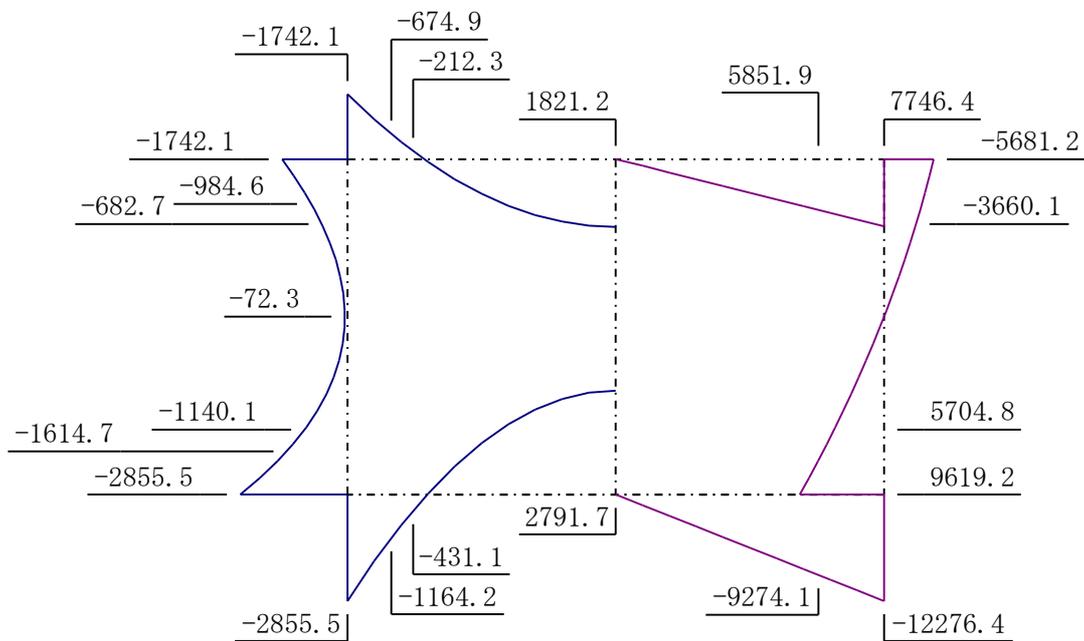
$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -0.072 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.070	-1742	7746	5681
	2 ハチ始点	0.220	-675	*****	5681
	S2 τ点	0.225	-212	5852	5681
	1 中央	0.920	1821	0	5681
底版	9, S9 端部	0.070	-2856	12276	9619
	10 ハチ始点	0.220	-1164	*****	9619
	S10 τ点	0.225	-431	9274	9619
	11 中央	0.920	2792	0	9619
側壁	4, S4 上端部	1.080	-1742	-5681	7746
	5 上ハチ点	0.930	-985	*****	8332
	S5 上τ点	0.935	-683	-3660	8625
	6 中間	0.615	-72	0	9875
	S7 下τ点	0.225	-1140	5705	11398
	7 下ハチ点	0.230	-1615	*****	11691
	8, S8 下端部	0.080	-2856	9619	12276

曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



## 2.3.1 設計荷重 (CASE - 3)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (2) 土圧

## ① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H2 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 54.900 \text{ kN/m}^2$$

## ② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.170 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 38.610 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅} \quad u &= a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 活荷重} \quad P1 &= 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN} \\ P_{v1} &= 2 \times P1 / 2.75 / u = 13.724 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 77.468 \text{ kN/m}^2$$

[ 荷重図 ]



## 2.3.2 構造解析 (CASE - 3)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。  
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法  
 によって行う。

## (1) ラーメン計算

## ① 係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.941, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.941$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 21.856 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 20.467 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 3.861 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 3.627 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -9.120 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 8.827 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -13.274 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 13.274 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 12.161 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -12.161 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 50.418 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 18.540 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 53.840 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 19.511 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 12.876 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -10.831 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.594 \text{ m}$$

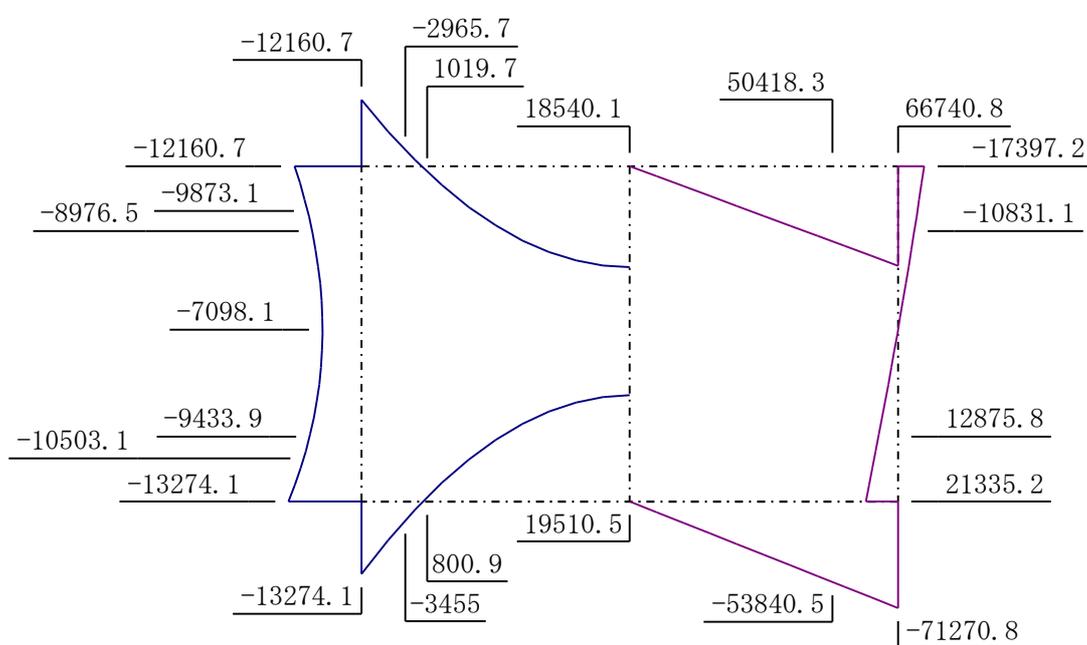
$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -7.098 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

[ / 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	0.070	-12161	66741	17397
	2 ハッチ始点	0.220	-2966	*****	17397
	S2 τ点	0.225	1020	50418	17397
	1 中央	0.920	18540	0	17397
底版	9, S9 端部	0.070	-13274	71271	21335
	10 ハッチ始点	0.220	-3455	*****	21335
	S10 τ点	0.225	801	53841	21335
	11 中央	0.920	19511	0	21335
側壁	4, S4 上端部	1.080	-12161	-17397	66741
	5 上ハッチ点	0.930	-9873	*****	67327
	S5 上τ点	0.935	-8977	-10831	67620
	6 中間	0.594	-7098	0	68951
	S7 下τ点	0.225	-9434	12876	70392
	7 下ハッチ点	0.230	-10503	*****	70685
	8, S8 下端部	0.080	-13274	21335	71271

曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



## 2.4.1 設計荷重 (CASE - 4)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (2) 土圧

## ① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H2 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 54.900 \text{ kN/m}^2$$

## ② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.170 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 43.610 \text{ kN/m}^2$$

ここに、 $P_q$  はカルバート側面に作用する活荷重による水平土圧で  
 $P_q = K_a \times 10.0 = 5.0 \text{ kN/m}^2$  とする。

## (3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 63.744 \text{ kN/m}^2$$

[ 荷重図 ]



## 2.4.2 構造解析 (CASE - 4)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。  
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法  
 によって行う。

## (1) ラーメン計算

## ① 係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.941$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.941, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.941$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 17.984 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 16.595 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 4.422 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 4.188 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -6.836 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 6.543 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -11.551 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 11.551 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 10.438 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -10.438 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 40.880 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 14.455 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 44.302 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 15.425 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 14.651 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -12.606 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

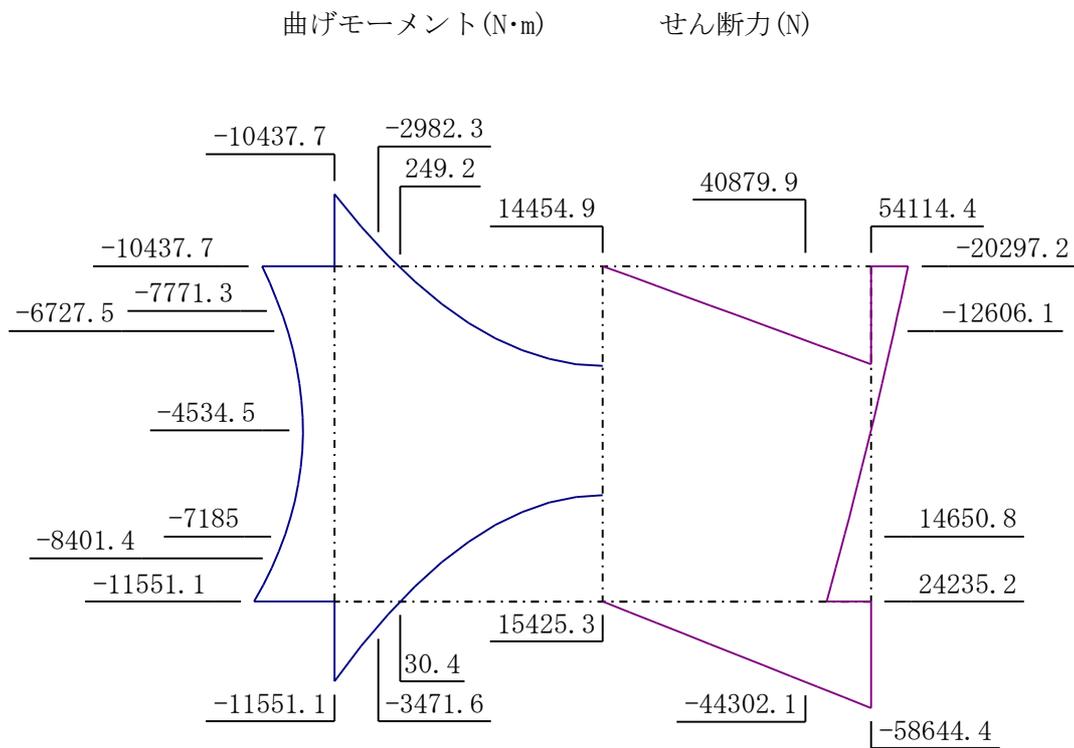
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。 } x = 0.592 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -4.535 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

[ / 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	0.070	-10438	54114	20297
	2 ハッチ始点	0.220	-2982	*****	20297
	S2 τ点	0.225	249	40880	20297
	1 中央	0.920	14455	0	20297
底版	9, S9 端部	0.070	-11551	58644	24235
	10 ハッチ始点	0.220	-3472	*****	24235
	S10 τ点	0.225	30	44302	24235
	11 中央	0.920	15425	0	24235
側壁	4, S4 上端部	1.080	-10438	-20297	54114
	5 上ハッチ点	0.930	-7771	*****	54700
	S5 上τ点	0.935	-6728	-12606	54993
	6 中間	0.592	-4535	0	56333
	S7 下τ点	0.225	-7185	14651	57766
	7 下ハッチ点	0.230	-8401	*****	58059
	8, S8 下端部	0.080	-11551	24235	58644



## 3 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)
N	: 軸力	(kN)
e	: M/N 偏位量	(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	-11.913	6.607	180.31	7.00	12.375	1
頂版	ハチ始点	-4.464	6.607	67.56	4.50	4.761	1
	中央	24.411	6.607	369.47	4.50	24.708	1
	端部	-13.274	21.335	62.22	7.00	14.768	3
底版	ハチ始点	-3.455	21.335	16.19	4.50	4.415	3
	中央	19.511	21.335	91.45	4.50	20.471	3
	上端部	-11.913	50.292	23.69	6.00	14.930	1
	上ハチ点	-10.960	50.878	21.54	3.50	12.741	1
側壁	中間	-8.259	53.908	15.32	3.50	10.146	1
	下ハチ点	-10.503	70.685	14.86	3.50	12.977	3
	下端部	-13.274	71.271	18.62	6.00	17.550	3

注1) CASEのMは、曲げモーメント抽出ケースを示す。

## 4 必要有効高および必要鉄筋量

## 4.1 必要有効高

$$k = n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) = 0.568$$

$$c1 = \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} = 0.557$$

$$d = c1 \times \sqrt{(Ms / b)} \quad h = d + d' < T$$

ここに、  
M : 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)

## 4.2 必要鉄筋量

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

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

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

上式を解いて  $\sigma_c$  を求める。また  $da = T - d'$  とする。

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

部材	点	Ms (kN・m/m)	必要有効高 d (cm)	必要部材厚 d+d' (cm)	部材厚 T (cm)	必要鉄筋量 As (cm <sup>2</sup> /m)
	端部	12.375	6.20	9.70	21.00	4.407
頂版	ハチ始点	4.761	3.84	7.34	16.00	2.155
	中央	24.708	8.76	12.26	16.00	14.069
	端部	14.768	6.77	10.27	21.00	4.461
底版	ハチ始点	4.415	3.70	7.20	16.00	1.042
	中央	20.471	7.97	11.47	16.00	10.521
	上端部	14.930	6.81	10.31	19.00	3.548
	上ハチ点	12.741	6.29	9.79	14.00	5.537
側壁	中間	10.146	5.61	9.11	14.00	3.481
	下ハチ点	12.977	6.35	9.85	14.00	4.470
	下端部	17.550	7.38	10.88	19.00	3.475
					d + d' < T	CHECK OK

## 5 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

## 5.1 コンクリート及び鉄筋

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

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

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<sub>s</sub> : 主鉄筋断面積 (cm<sup>2</sup>/m)  
 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 : 偏位量 (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 16 - 8	D 10 - 8	D 16 - 4	D 10 - 8	D-0 - 0	D 10 - 8
D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 4	D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0

部材	点	部材幅 b (cm)	使用鉄筋量 A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)	x (cm)	実 応 力 度 (N/mm <sup>2</sup> ) σ <sub>c</sub>	σ <sub>s</sub>	σ <sub>s</sub> '
頂版	端 部	100.00	5.706	4.862	3.21	125.0	0.0
	ハチ始点	100.00	5.706	4.119	2.08	63.4	0.0
	中 央	100.00	15.888	5.753	8.12	142.8	0.0
底版	端 部	100.00	5.706	5.218	3.59	126.8	0.0
	ハチ始点	100.00	5.706	5.133	1.59	34.3	0.0
	中 央	100.00	13.012	5.532	6.95	131.2	0.0
側壁	上端部	100.00	5.706	5.599	3.91	103.8	0.0
	上ハチ点	100.00	5.706	4.139	6.75	155.6	0.0
	中 間	100.00	5.706	4.456	5.05	102.8	0.0
	下ハチ点	100.00	5.706	4.492	6.42	128.7	0.0
	下端部	100.00	5.706	6.000	4.33	102.9	0.0

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

CHECK OK

## 6 せん断力に対する検討

## 6.1 せん断力照査点の断面力と最大値抽出

部材	断面力	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4	CASE-5	CASE-6	CASE-7	CASE-8
頂版 τ点	S	48.397	5.852	50.418	40.880				
	M			1.020					
	N			17.397					
	最大			○					
底版 τ点	S	41.414	9.274	53.840	44.302				
	M			0.801					
	N			21.335					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-5.711	-3.660	-10.831	-12.606				
	M				-6.728				
	N				54.993				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	0.104	5.705	12.876	14.651				
	M				-7.185				
	N				57.766				
	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。

## 6.2 せん断応力度の照査

コンクリートのせん断応力度は、平均せん断応力度として算出する。

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

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

各せん断応力度照査位置の許容せん断応力度は、以下の補正係数を乗じて求める。

## ① 部材断面の有効高 d の影響

次表に示す部材断面の有効高さに関する補正係数(Ce)をτaに乘じる。

有効高さ (m)	0.3 以下	1.0	3.0	5.0	10.0 以上
補正係数(Ce)	1.4	1.0	0.7	0.6	0.5

## ② 軸方向引張鉄筋比の影響

次表に示す軸方向引張鉄筋比に関する補正係数(Cpt)をτaに乘じる。

鉄筋比は中立軸よりも引張側にある軸方向鉄筋の断面積の総和をbdで除して求める。

引張鉄筋比 (%)	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0 以上
補正係数(Cpt)	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5

## ③ 軸方向圧縮力の影響

軸方向圧縮力が大きな部材の場合、次式により計算される軸方向圧縮力による補正係数(Cn)を $\tau a$ に乗じる。

$$C_n = 1 + M_o/M \quad M_o = N/A_c \cdot I_c/y \quad \text{ただし、} 1 \leq C_n \leq 2$$

ここに、Cn：軸方向力による補正係数

Mo：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)

Ic：図心軸に関する断面二次モーメント(m<sup>4</sup>)

Ac：部材断面積(m<sup>2</sup>)

y：断面図心より引張縁までの距離(m)

補正係数①、②を求める。

照査位置	部材厚 T (m)	かぶり d' (m)	有効高 d (m)	Ce	引張鉄筋		鉄筋比 Pt (%)	Cpt
					径-本数	As (cm <sup>2</sup> )		
頂版 $\tau$ 点	0.160	0.035	0.125000	1.400	D16-8	15.888	1.271	1.500
底版 $\tau$ 点	0.160	0.035	0.125000	1.400	D16-4 D13-4	13.012	1.041	1.500
側壁上 $\tau$ 点	0.142	0.035	0.106667	1.400	D10-8	5.706	0.535	1.221
側壁下 $\tau$ 点	0.142	0.035	0.106667	1.400	D10-8	5.706	0.535	1.221

補正係数③を求める。

照査位置	M (kN・m)	N (kN)	Ac (m <sup>2</sup> )	Ic (m <sup>4</sup> )	y (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 $\tau$ 点	1.020	17.397	0.16000	0.000341	0.08000	0.463	1.454
底版 $\tau$ 点	0.801	21.335	0.16000	0.000341	0.08000	0.568	1.710
側壁上 $\tau$ 点	-6.728	54.993	0.14200	0.000239	0.07100	1.304	1.194
側壁下 $\tau$ 点	-7.185	57.766	0.14200	0.000239	0.07100	1.369	1.191

補正した許容せん断応力度

照査位置	$\tau a$	補正係数			補正 $\tau a$
		Ce	Cpt	Cn	
頂版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.500	1.454	0.825
底版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.500	1.710	0.969
側壁上 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.221	1.194	0.551
側壁下 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.221	1.191	0.550

せん断応力度の照査

照査位置	せん断力 S (kN)	応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	補正 $\tau a$ (N/mm <sup>2</sup> )	判定
頂版 $\tau$ 点	50.418	0.403	0.825	OK
底版 $\tau$ 点	53.840	0.431	0.969	OK
側壁上 $\tau$ 点	12.606	0.118	0.551	OK
側壁下 $\tau$ 点	14.651	0.137	0.550	OK

以上