

受付 No.

台帳 No. RL449000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 1500 mm  
内 高(H) 900 mm  
長 さ(L) 2000 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) 1500 × (H) 900 × (L) 2000 [mm]
土被り	: H1 = 0.200 ~ 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 <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)	: $Ka = 0.500$
(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
----------	-------------

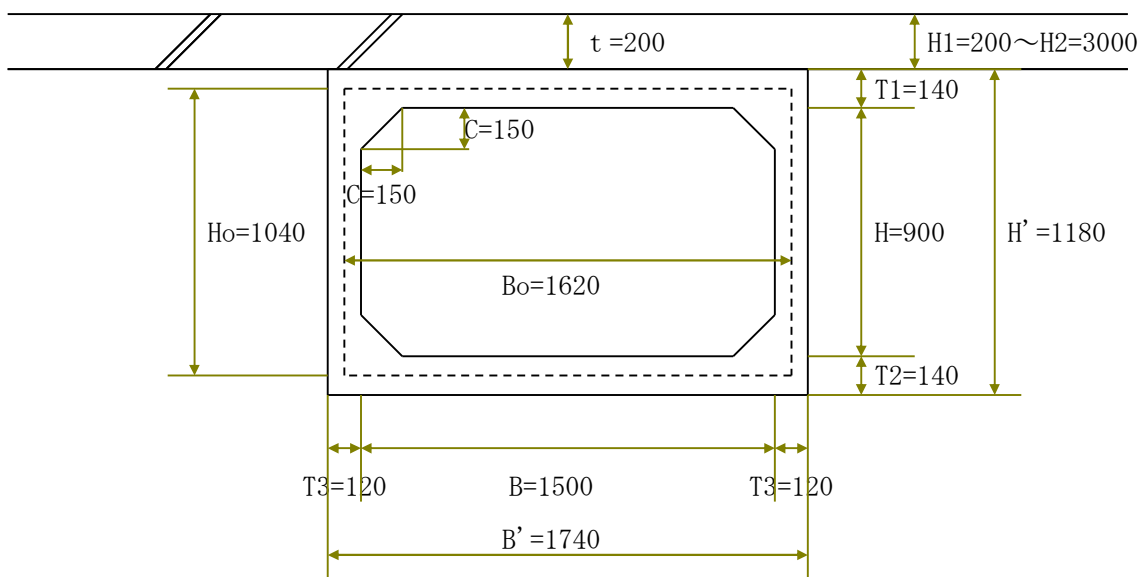
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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



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。

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

## 2.1.1 設 計 荷 重 ( CASE - 1 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 2.880 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 12.240 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 64.911 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.019, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.019$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 14.196 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 18.177 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 0.766 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.597 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -7.162 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 8.194 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -6.895 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 6.895 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 9.824 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -9.824 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 47.343 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 20.858 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 39.271 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 14.399 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -0.394 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -5.157 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

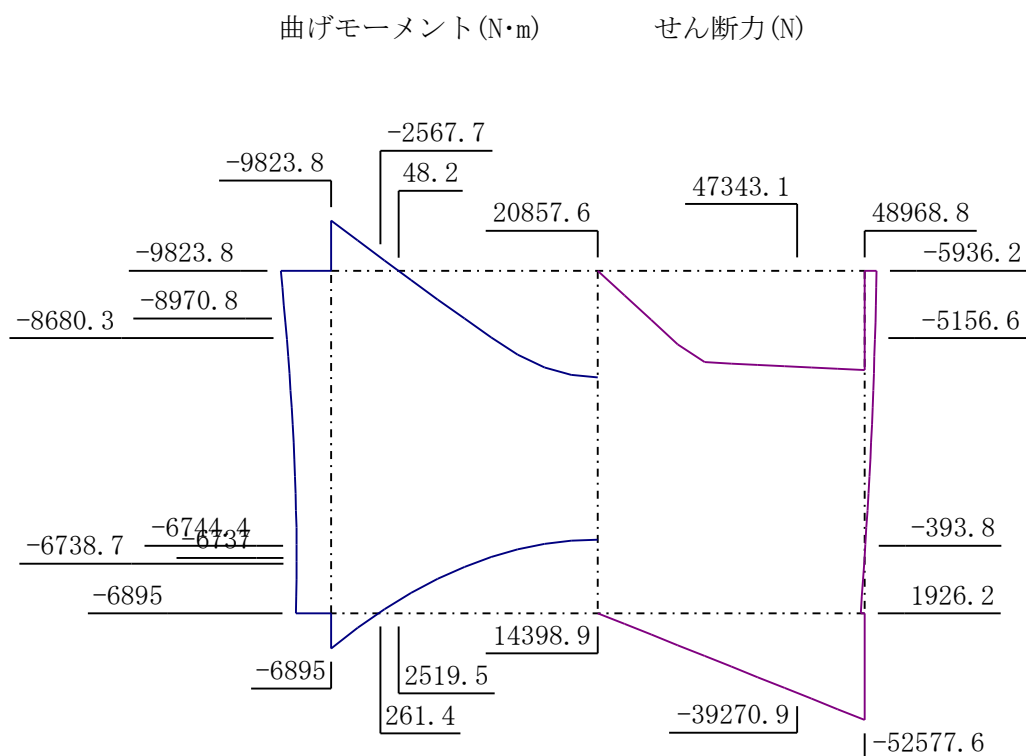
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.168 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -6.737 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[ / 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	0.060	-9824	48969	5936
	2 ハチ始点	0.210	-2568	*****	5936
	S2 τ 点	0.205	48	47343	5936
	1 中 央	0.810	20858	0	5936
底版	9, S9 端 部	0.060	-6895	52578	1926
	10 ハチ始点	0.210	261	*****	1926
	S10 τ 点	0.205	2520	39271	1926
	11 中 央	0.810	14399	0	1926
側壁	4, S4 上 端部	0.970	-9824	-5936	48969
	5 上ハチ点	0.820	-8971	*****	49489
	S5 上 τ 点	0.835	-8680	-5157	49680
	6 中 間	0.168	-6737	0	51995
	S7 下 τ 点	0.205	-6744	-394	51866
	7 下ハチ点	0.220	-6739	*****	52057
	8, S8 下 端部	0.070	-6895	1926	52578





## 2.2.1 設 計 荷 重 ( CASE - 2 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 7.880 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 17.240 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 12.385 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.019, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.019$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 2.709 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 1.734 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 1.216 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 1.048 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.640 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.439 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -2.057 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 2.057 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 1.286 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -1.286 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 4.798 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 1.315 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -3.175 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 2.006 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 4.738 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -3.175 \text{ kN}$$

## 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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.547 \text{ m}$$

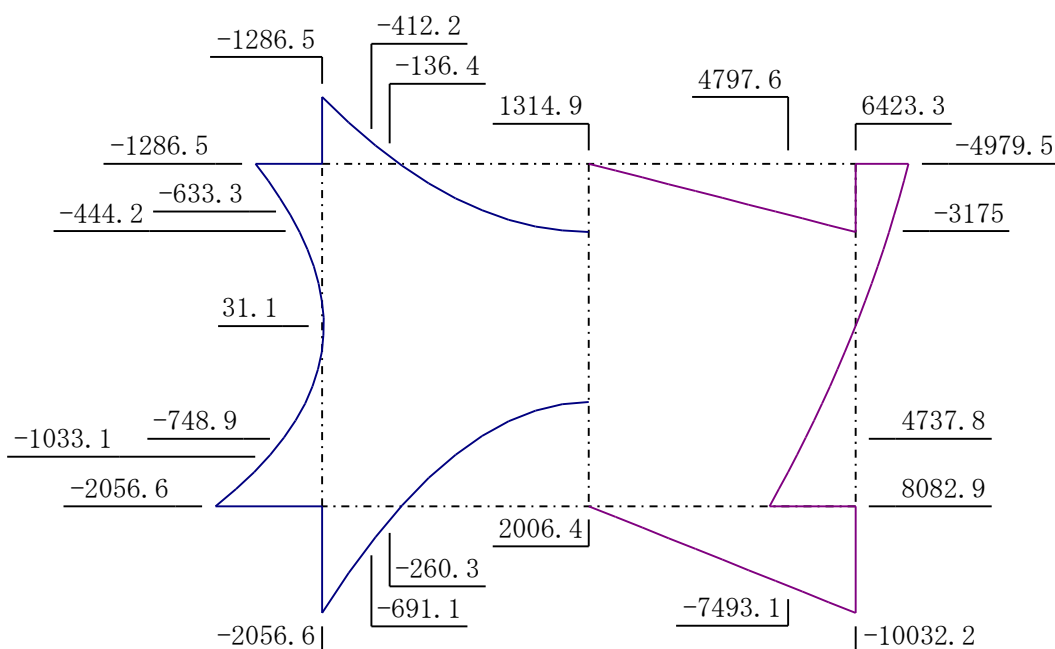
$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.031 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.060	-1287	6423	4980
	2 ハチ始点	0.210	-412	*****	4980
	S2 τ 点	0.205	-136	4798	4980
	1 中 央	0.810	1315	0	4980
底版	9, S9 端 部	0.060	-2057	10032	8083
	10 ハチ始点	0.210	-691	*****	8083
	S10 τ 点	0.205	-260	7493	8083
	11 中 央	0.810	2006	0	8083
側壁	4, S4 上 端部	0.970	-1287	-4980	6423
	5 上ハチ点	0.820	-633	*****	6944
	S5 上 τ 点	0.835	-444	-3175	7135
	6 中 間	0.547	31	0	8134
	S7 下 τ 点	0.205	-749	4738	9321
	7 下ハチ点	0.220	-1033	*****	9512
	8, S8 下 端部	0.070	-2057	8083	10032

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.080 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 37.440 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 76.510 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.019, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.019$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 16.733 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 15.758 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 3.037 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 2.868 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -6.683 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 6.482 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -9.920 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 9.920 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 9.150 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -9.150 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 43.593 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 14.487 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 46.288 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 15.179 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 11.101 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -9.538 \text{ kN}$$

## 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。

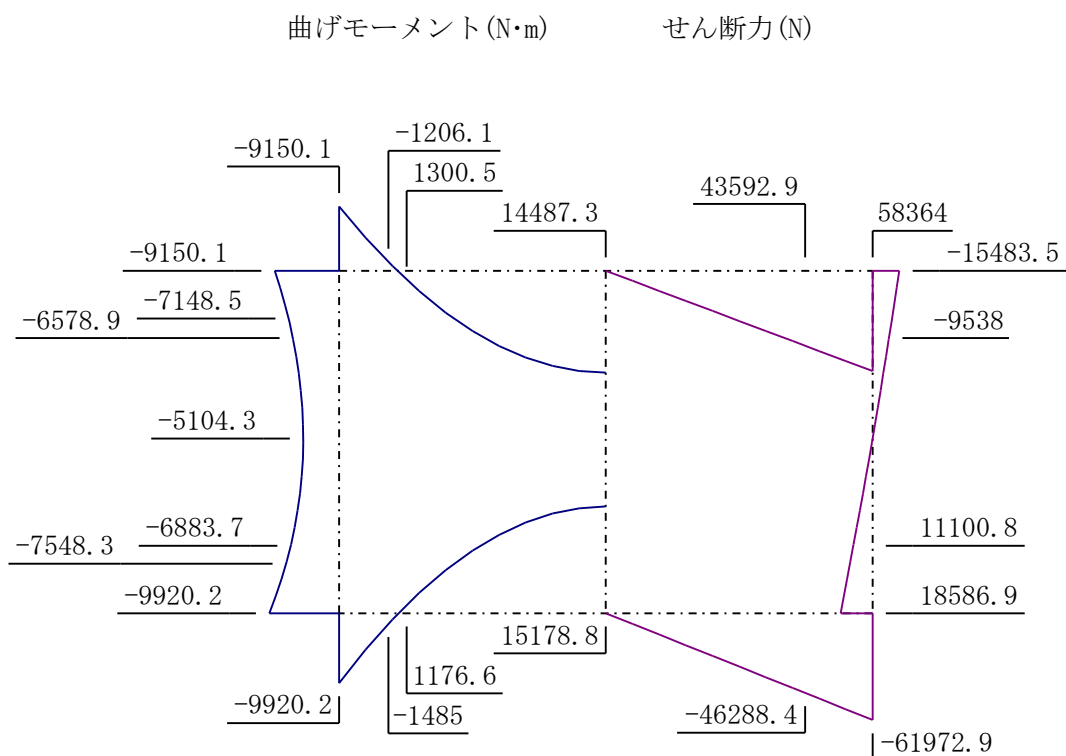
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.530 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -5.104 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.060	-9150	58364	15484
	2 ハッチ始点	0.210	-1206	*****	15484
	S2 τ 点	0.205	1301	43593	15484
	1 中 央	0.810	14487	0	15484
底板	9, S9 端 部	0.060	-9920	61973	18587
	10 ハッチ始点	0.210	-1485	*****	18587
	S10 τ 点	0.205	1177	46288	18587
	11 中 央	0.810	15179	0	18587
側壁	4, S4 上 端部	0.970	-9150	-15484	58364
	5 上ハッチ点	0.820	-7149	*****	58885
	S5 上 τ 点	0.835	-6579	-9538	59075
	6 中 間	0.530	-5104	0	60134
	S7 下 τ 点	0.205	-6884	11101	61262
	7 下ハッチ点	0.220	-7548	*****	61452
	8, S8 下 端部	0.070	-9920	18587	61973





## 2.4.1 設 計 荷 重 ( CASE - 4 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.080 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 42.440 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 62.785 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.019$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.019, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.019$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 13.731 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 12.757 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 3.488 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 3.319 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -4.973 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 4.773 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -8.661 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 8.661 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 7.891 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -7.891 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 35.290 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 11.244 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 37.985 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 11.935 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 12.676 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -11.113 \text{ kN}$$

## 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。

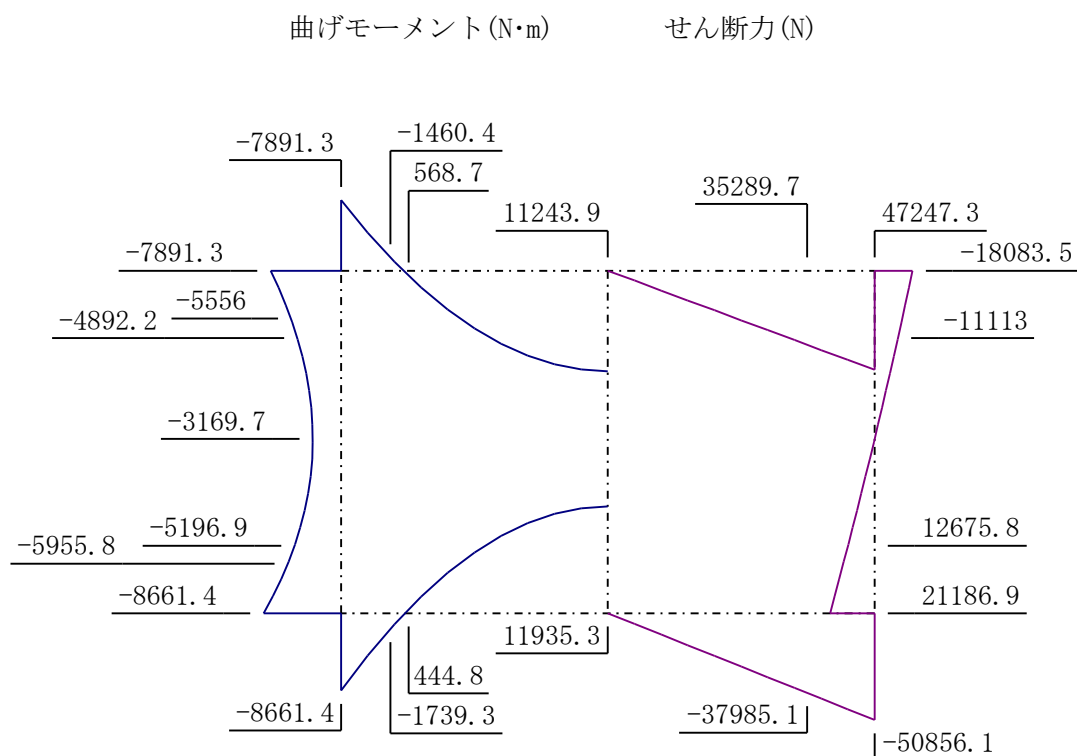
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.529 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -3.170 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.060	-7891	47247	18084
	2 ハチ始点	0.210	-1460	*****	18084
	S2 τ 点	0.205	569	35290	18084
	1 中 央	0.810	11244	0	18084
底版	9, S9 端 部	0.060	-8661	50856	21187
	10 ハチ始点	0.210	-1739	*****	21187
	S10 τ 点	0.205	445	37985	21187
	11 中 央	0.810	11935	0	21187
側壁	4, S4 上 端部	0.970	-7891	-18084	47247
	5 上ハチ点	0.820	-5556	*****	47768
	S5 上 τ 点	0.835	-4892	-11113	47959
	6 中 間	0.529	-3170	0	49021
	S7 下 τ 点	0.205	-5197	12676	50145
	7 下ハチ点	0.220	-5956	*****	50336
	8, S8 下 端部	0.070	-8661	21187	50856



## 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	-9.824	5.936	165.49	6.00	10.180	1
頂版	ハチ始点	-2.568	5.936	43.25	3.50	2.775	1
	中 央	20.858	5.936	351.36	3.50	21.065	1
	端 部	-9.920	18.587	53.37	6.00	11.035	3
底版	ハチ始点	-1.739	21.187	8.21	3.50	2.481	4
	中 央	14.399	1.926	747.53	3.50	14.466	1
	上端部	-9.824	48.969	20.06	5.00	12.272	1
	上ハチ点	-8.971	49.489	18.13	2.50	10.208	1
側壁	中 間	-6.737	51.995	12.96	2.50	8.037	1
	下ハチ点	-7.548	61.452	12.28	2.50	9.085	3
	下端部	-9.920	61.973	16.01	5.00	13.019	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	10.180	5.62	9.12	19.00	4.114
頂版	ハチ始点	2.775	2.94	6.44	14.00	1.400
	中 央	21.065	8.09	11.59	14.00	14.517
	端 部	11.035	5.85	9.35	19.00	3.717
底版	ハチ始点	2.481	2.78	6.28	14.00	0.253
	中 央	14.466	6.70	10.20	14.00	9.854
	上端部	12.272	6.17	9.67	17.00	3.279
	上ハチ点	10.208	5.63	9.13	12.00	5.642
側壁	中 間	8.037	4.99	8.49	12.00	3.527
	下ハチ点	9.085	5.31	8.81	12.00	3.876
	下端部	13.019	6.36	9.86	17.00	2.872
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)  
 $A_s$  : 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 - 16	D 10 - 16	D 16 - 8	D 10 - 16	D-0 - 0	D 10 - 16
D 0 - 0	D 0 - 0	D 13 - 8	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	4.523	3.22	117.1	0.0	
	ハチ始点	100.00	5.706	3.785	1.59	42.2	0.0	
	中 央	100.00	15.888	5.125	9.35	147.1	0.0	
底版	端 部	100.00	5.706	4.873	3.26	106.8	0.0	
	ハチ始点	100.00	5.706	5.627	1.02	13.3	0.0	
	中 央	100.00	13.012	4.761	6.82	123.3	0.0	
側壁	上端部	100.00	5.706	5.182	4.02	96.9	0.0	
	上ハチ点	100.00	5.706	3.602	7.76	158.4	0.0	
	中 間	100.00	5.706	3.859	5.77	104.1	0.0	
	下ハチ点	100.00	5.706	3.912	6.45	113.5	0.0	
	下端部	100.00	5.706	5.534	4.04	87.1	0.0	
σ <sub>c</sub> < σ <sub>ca</sub> σ <sub>s</sub> < σ <sub>sa</sub>					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	47.343	4.798	43.593	35.290				
	M	0.048							
	N	5.936							
	最大	○							
底版 τ点	S	39.271	7.493	46.288	37.985				
	M			1.177					
	N			18.587					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-5.157	-3.175	-9.538	-11.113				
	M				-4.892				
	N				47.959				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	-0.394	4.738	11.101	12.676				
	M				-5.197				
	N				50.145				
	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 $\tau a$ に乘じる。

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

ここに、Cn：軸方向力による補正係数

M<sub>o</sub>：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)

I<sub>c</sub>：図心軸に関する断面二次モーメント(m<sup>4</sup>)

A<sub>c</sub>：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 (%)	C <sub>pt</sub>
					径-本数	As (cm <sup>2</sup> )		
頂版 $\tau$ 点	0.140	0.035	0.106667	1.400	D16-8	15.888	1.489	1.500
底版 $\tau$ 点	0.140	0.035	0.106667	1.400	D16-4 D13-4	13.012	1.220	1.500
側壁上 $\tau$ 点	0.125	0.035	0.090000	1.400	D10-8	5.706	0.634	1.280
側壁下 $\tau$ 点	0.125	0.035	0.090000	1.400	D10-8	5.706	0.634	1.280

補正係数③を求める。

照査位置	M (kN・m)	N (kN)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> )	y (m)	M <sub>o</sub> (kN・m)	C <sub>n</sub>
頂版 $\tau$ 点	0.048	5.936	0.14000	0.000229	0.07000	0.139	2.000
底版 $\tau$ 点	1.177	18.587	0.14000	0.000229	0.07000	0.434	1.369
側壁上 $\tau$ 点	-4.892	47.959	0.12500	0.000163	0.06250	1.001	1.205
側壁下 $\tau$ 点	-5.197	50.145	0.12500	0.000163	0.06250	1.046	1.201

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	C <sub>pt</sub>	C <sub>n</sub>	
頂版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.500	2.000	1.134
底版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.500	1.369	0.776
側壁上 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.280	1.205	0.583
側壁下 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.280	1.201	0.581

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	47.343	0.444	1.134	OK
底版 $\tau$ 点	46.288	0.434	0.776	OK
側壁上 $\tau$ 点	11.113	0.123	0.583	OK
側壁下 $\tau$ 点	12.676	0.141	0.581	OK

以 上