

台帳 No. SS404000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

プ レ キ ャ ス ト  
ボ ッ ク ス カ ル バ ー ト  
設 計 計 算 書

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

○内空寸法：

内 幅(B)	3000 mm
内 高(H)	2000 mm
長 さ(L)	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) 3000 × (H) 2000 × (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 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
----------	-------------

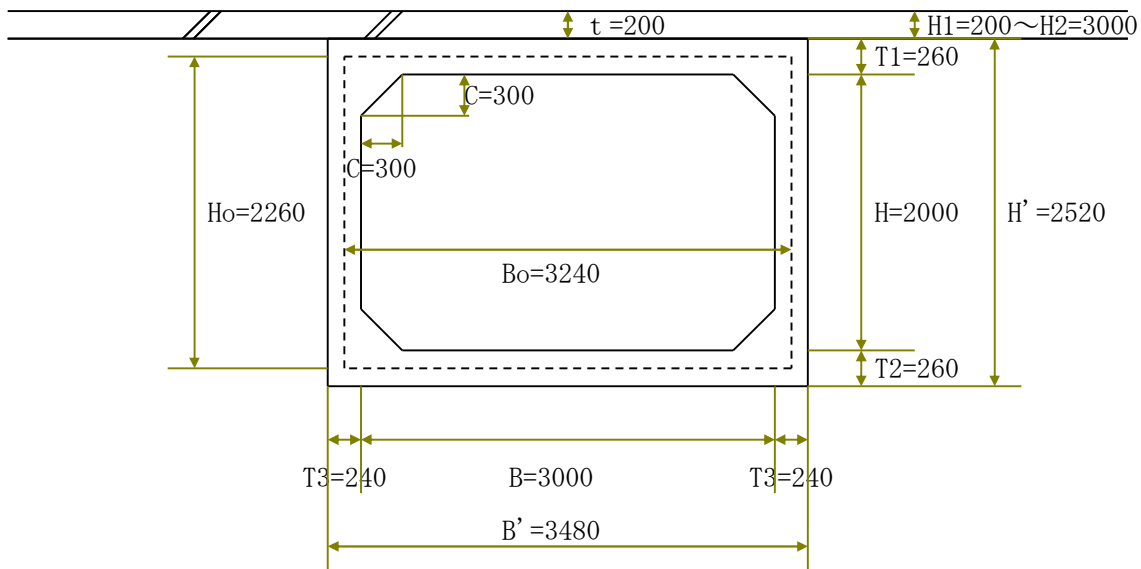
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 40 mm 40 mm 40 mm
	: (外側) 40 mm 40 mm 40 mm

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	: $\sigma ck = 35.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma ca = 11.7$ [N/mm <sup>2</sup> ]
せん断応力度	: $\tau a = 0.260$ [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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 3.420 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 23.760 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 46.697 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.887, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.887$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 40.850 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 43.577 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 6.650 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 4.919 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -18.733 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 19.880 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -24.236 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 24.236 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 25.946 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -25.946 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 55.807 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 50.859 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 56.970 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 37.039 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 9.647 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -10.194 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

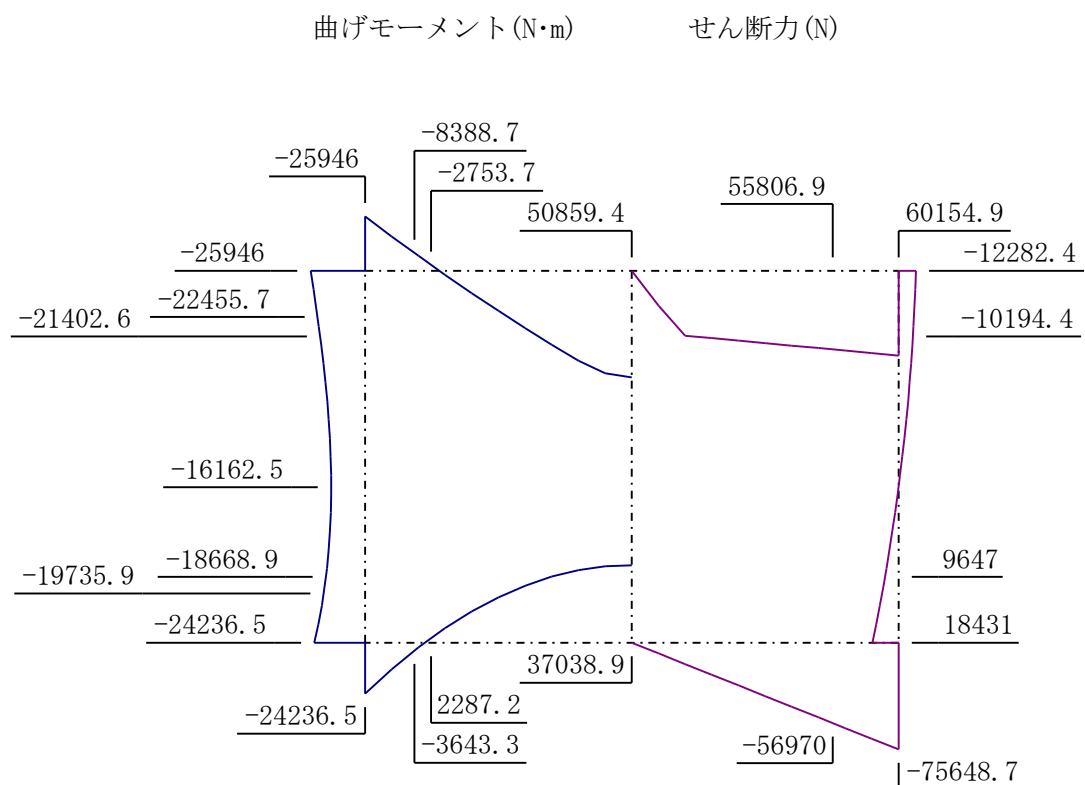
接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.945 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -16.163 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[ / 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	0.120	-25946	60155	12282
	2 ハチ始点	0.420	-8389	*****	12282
	S2 τ 点	0.400	-2754	55807	12282
	1 中 央	1.620	50859	0	12282
底版	9, S9 端 部	0.120	-24237	75649	18431
	10 ハチ始点	0.420	-3643	*****	18431
	S10 τ 点	0.400	2287	56970	18431
	11 中 央	1.620	37039	0	18431
側壁	4, S4 上 端部	2.130	-25946	-12282	60155
	5 上ハチ点	1.830	-22456	*****	62212
	S5 上 τ 点	1.860	-21403	-10194	62897
	6 中 間	0.945	-16163	0	69170
	S7 下 τ 点	0.400	-18669	9647	72906
	7 下ハチ点	0.430	-19736	*****	73592
	8, S8 下 端部	0.130	-24237	18431	75649





## 2.2.1 設 計 荷 重 ( CASE - 2 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 8.420 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 28.760 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 20.434 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.887, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.887$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 17.876 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 9.509 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 8.778 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 7.047 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -3.917 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 2.210 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -14.402 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 14.402 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 7.549 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -7.549 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 13.261 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 6.714 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -10.056 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 12.412 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 17.086 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -10.056 \text{ kN}$$

## 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。

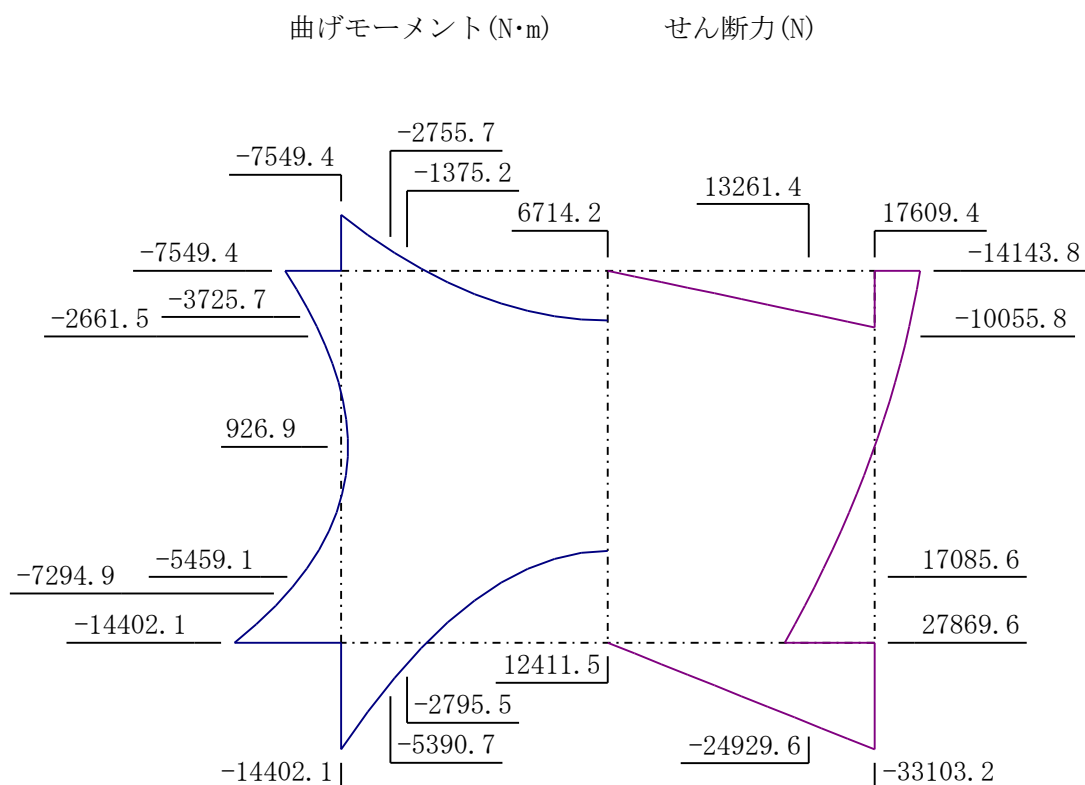
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.191 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.927 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.120	-7549	17609	14144
	2 ハッチ始点	0.420	-2756	*****	14144
	S2 τ 点	0.400	-1375	13261	14144
	1 中 央	1.620	6714	0	14144
底版	9, S9 端 部	0.120	-14402	33103	27870
	10 ハッチ始点	0.420	-5391	*****	27870
	S10 τ 点	0.400	-2796	24930	27870
	11 中 央	1.620	12412	0	27870
側壁	4, S4 上 端部	2.130	-7549	-14144	17609
	5 上ハッチ点	1.830	-3726	*****	19666
	S5 上 τ 点	1.860	-2662	-10056	20352
	6 中 間	1.191	927	0	24938
	S7 下 τ 点	0.400	-5459	17086	30361
	7 下ハッチ点	0.430	-7295	*****	31047
	8, S8 下 端部	0.130	-14402	27870	33103



## 2.3.1 設 計 荷 重 ( CASE - 3 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.620 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 48.960 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

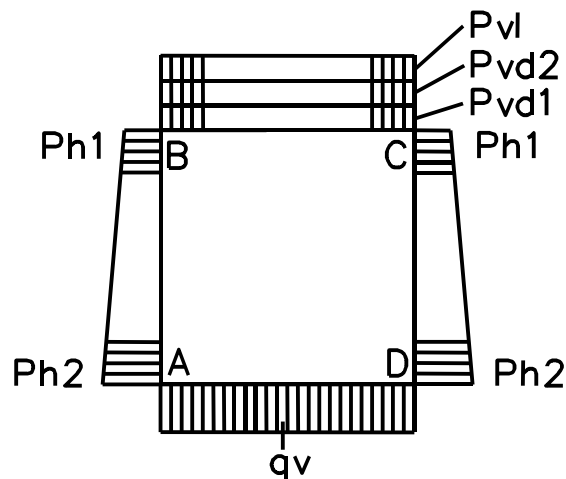
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅} \quad u &= a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m} \end{aligned}$$

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

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 84.558 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.887, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.887$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 73.972 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 65.605 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 17.376 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 15.645 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -29.090 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 27.383 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -48.173 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 48.173 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 41.321 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -41.321 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 91.493 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 57.087 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 103.161 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 62.784 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 31.832 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -24.802 \text{ kN}$$

## 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。

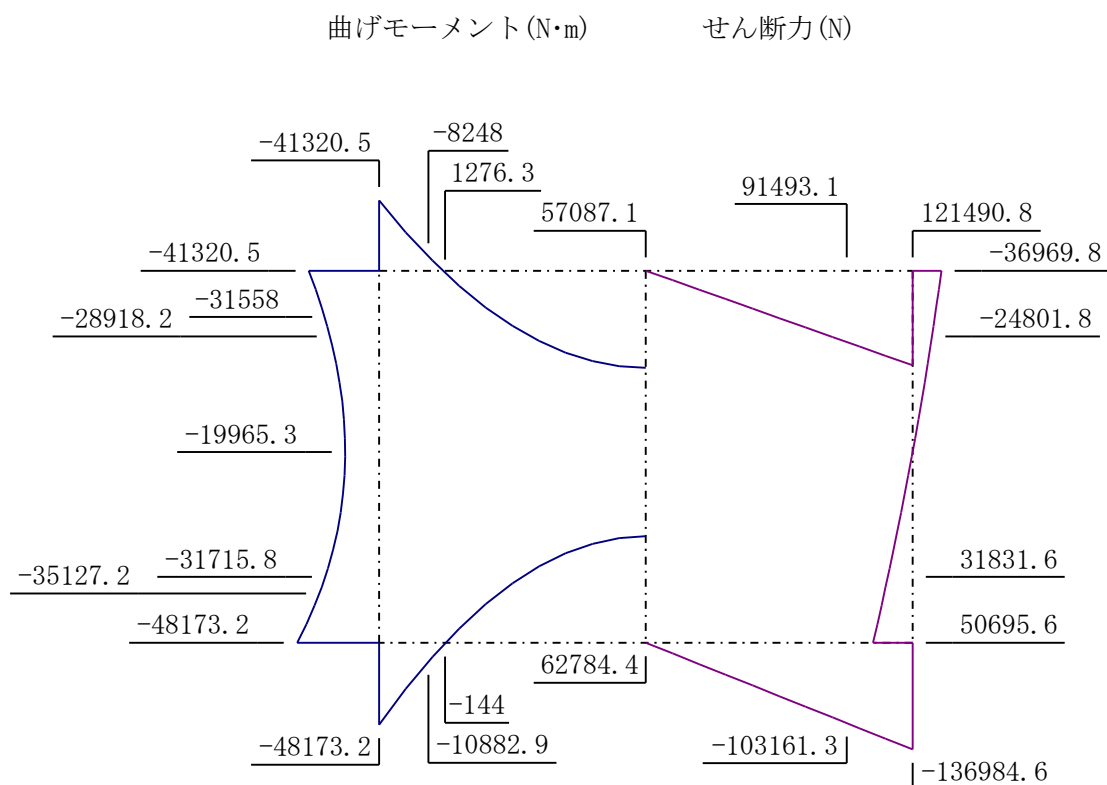
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.159 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -19.965 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.120	-41321	121491	36970
	2 ハッチ始点	0.420	-8248	*****	36970
	S2 τ 点	0.400	1276	91493	36970
	1 中 央	1.620	57087	0	36970
底版	9, S9 端 部	0.120	-48173	136985	50696
	10 ハッチ始点	0.420	-10883	*****	50696
	S10 τ 点	0.400	-144	103161	50696
	11 中 央	1.620	62784	0	50696
側壁	4, S4 上 端部	2.130	-41321	-36970	121491
	5 上ハッチ点	1.830	-31558	*****	123548
	S5 上 τ 点	1.860	-28918	-24802	124233
	6 中 間	1.159	-19965	0	129039
	S7 下 τ 点	0.400	-31716	31832	134242
	7 下ハッチ点	0.430	-35127	*****	134928
	8, S8 下 端部	0.130	-48173	50696	136985





## 2.4.1 設 計 荷 重 ( CASE - 4 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.620 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 53.960 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 70.834 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.887$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.887, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.887$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 61.966 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 53.599 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 19.504 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 17.773 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -21.599 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 19.892 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -42.810 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 42.810 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 35.958 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -35.958 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 74.749 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 44.441 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 86.418 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 50.138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 35.482 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -28.452 \text{ kN}$$

## 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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.156 \text{ m}$$

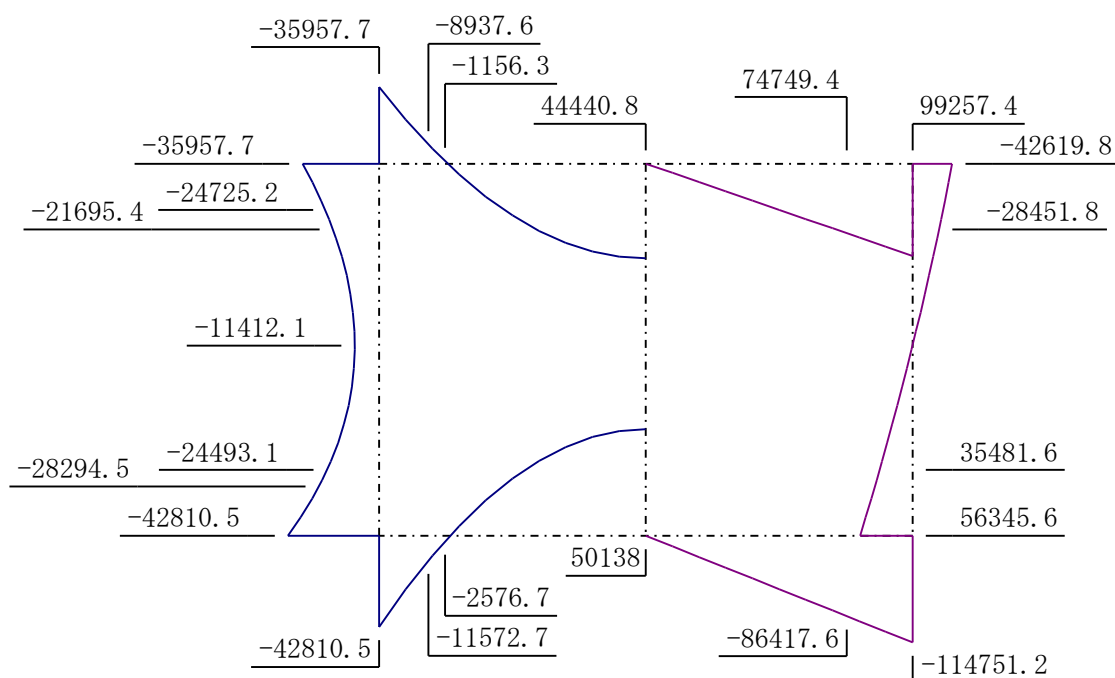
$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -11.412 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.120	-35958	99257	42620
	2 ハッチ始点	0.420	-8938	*****	42620
	S2 τ 点	0.400	-1156	74749	42620
	1 中 央	1.620	44441	0	42620
底版	9, S9 端 部	0.120	-42811	114751	56346
	10 ハッチ始点	0.420	-11573	*****	56346
	S10 τ 点	0.400	-2577	86418	56346
	11 中 央	1.620	50138	0	56346
側壁	4, S4 上 端部	2.130	-35958	-42620	99257
	5 上ハッチ点	1.830	-24725	*****	101314
	S5 上 τ 点	1.860	-21695	-28452	102000
	6 中 間	1.156	-11412	0	106826
	S7 下 τ 点	0.400	-24493	35482	112009
	7 下ハッチ点	0.430	-28295	*****	112695
	8, S8 下 端部	0.130	-42811	56346	114751

曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



## 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	-41.321	36.970	111.77	14.00	46.496	3
頂版	ハチ始点	-8.389	12.282	68.30	9.00	9.494	1
	中 央	57.087	36.970	154.42	9.00	60.414	3
	端 部	-48.173	50.696	95.02	14.00	55.271	3
底版	ハチ始点	-11.573	56.346	20.54	9.00	16.644	4
	中 央	62.784	50.696	123.85	9.00	67.347	3
	上端部	-41.321	121.491	34.01	13.00	57.114	3
	上ハチ点	-31.558	123.547	25.54	8.00	41.442	3
側壁	中 間	-16.163	69.170	23.37	8.00	21.696	1
	下ハチ点	-35.127	134.928	26.03	8.00	45.921	3
	下端部	-48.173	136.985	35.17	13.00	65.981	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

$$k = n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) = 0.523$$

$$c1 = \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} = 0.629$$

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

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	46.496	13.57	17.57	36.00	7.641
頂版	ハチ始点	9.494	6.13	10.13	26.00	2.101
	中 央	60.414	15.46	19.46	26.00	17.508
	端 部	55.271	14.79	18.79	36.00	8.751
底版	ハチ始点	16.644	8.12	12.12	26.00	1.603
	中 央	67.347	16.33	20.33	26.00	19.075
	上端部	57.114	15.04	19.04	34.00	5.646
	上ハチ点	41.442	12.81	16.81	24.00	7.067
側壁	中 間	21.696	9.27	13.27	24.00	3.165
	下ハチ点	45.921	13.48	17.48	24.00	8.054
	下端部	65.981	16.16	20.16	34.00	6.843
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 19 - 4	D 16 - 4	D 19 - 8	D 16 - 4	D-0 - 0	D 16 - 4
D 16 - 4	D 13 - 4	D 0 - 0	D 13 - 4	D 0 - 0	D 13 - 4

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 σ <sub>c</sub>	度 (N/mm <sup>2</sup> ) σ <sub>s</sub>	σ <sub>s</sub> '
頂版	端 部	100.00	13.012	10.434	3.12	96.9	0.0
	ハチ始点	100.00	13.012	8.403	1.18	28.6	0.0
	中 央	100.00	19.404	9.186	6.95	145.4	0.0
底版	端 部	100.00	13.012	10.626	3.66	110.3	0.0
	ハチ始点	100.00	13.012	10.780	1.68	26.2	0.0
	中 央	100.00	22.920	9.858	7.30	134.9	0.0
側壁	上端部	100.00	13.012	12.372	3.57	76.3	0.0
	上ハチ点	100.00	13.012	9.218	5.31	93.2	0.0
	中 間	100.00	13.012	9.439	2.73	45.8	0.0
	下ハチ点	100.00	13.012	9.174	5.91	104.6	0.0
	下端部	100.00	13.012	12.248	4.16	90.4	0.0
σ <sub>c</sub> < σ <sub>ca</sub> σ <sub>s</sub> < σ <sub>sa</sub>					CHECK OK		

## 6 セン断力に対する検討

## 6.1 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	55.807	13.261	91.493	74.749				
	M			1.276					
	N			36.970					
	最大			○					
底版 τ点	S	56.970	24.930	103.161	86.418				
	M			-0.144					
	N			50.696					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-10.194	-10.056	-24.802	-28.452				
	M				-21.695				
	N				102.000				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	9.647	17.086	31.832	35.482				
	M				-24.493				
	N				112.009				
	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 セン断応力度の照査

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 : 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( $C_n$ )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、 $C_n$ ：軸方向力による補正係数

$M_o$ ：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( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )

$M$ ：断面に作用する曲げモーメント( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )

$N$ ：断面に作用する軸方向圧縮力( $\text{kN}$ )

$I_c$ ：図心軸に関する断面二次モーメント( $\text{m}^4$ )

$A_c$ ：部材断面積( $\text{m}^2$ )

$y$ ：断面図心より引張縁までの距離( $\text{m}$ )

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)	$C_e$	引張鉄筋		鉄筋比 $P_t$ (%)	$C_{pt}$
					径-本数	$A_s$ ( $\text{cm}^2$ )		
頂版 $\tau$ 点	0.260	0.040	0.226667	1.400	D19-4 D16-4	19.404	0.856	1.414
底版 $\tau$ 点	0.267	0.040	0.226667	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.574	1.244
側壁上 $\tau$ 点	0.250	0.040	0.210000	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.620	1.272
側壁下 $\tau$ 点	0.250	0.040	0.210000	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.620	1.272

補正係数③を求める。

照査位置	$M$ ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )	$N$ ( $\text{kN}$ )	$A_c$ ( $\text{m}^2$ )	$I_c$ ( $\text{m}^4$ )	$y$ (m)	$M_o$ ( $\text{kN} \cdot \text{m}$ )	$C_n$
頂版 $\tau$ 点	1.276	36.970	0.26000	0.001465	0.13000	1.602	2.000
底版 $\tau$ 点	-0.144	50.696	0.26700	0.001586	0.13350	2.256	2.000
側壁上 $\tau$ 点	-21.695	102.000	0.25000	0.001302	0.12500	4.250	1.196
側壁下 $\tau$ 点	-24.493	112.009	0.25000	0.001302	0.12500	4.667	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 $\tau_a$
		$C_e$	$C_{pt}$	$C_n$	
頂版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.414	2.000	1.029
底版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.244	2.000	0.906
側壁上 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.272	1.196	0.554
側壁下 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.272	1.191	0.551

せん断応力度の照査

照査位置	せん断力 $S$ ( $\text{kN}$ )	応力度 $\tau$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	補正 $\tau_a$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	判定
頂版 $\tau$ 点	91.493	0.404	1.029	OK
底版 $\tau$ 点	103.161	0.455	0.906	OK
側壁上 $\tau$ 点	28.452	0.135	0.554	OK
側壁下 $\tau$ 点	35.482	0.169	0.551	OK

以 上