

受付 No.

台帳 No. SL404000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 900 mm  
内 高(H) 600 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) 900 × (H) 600 × (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
----------	-------------

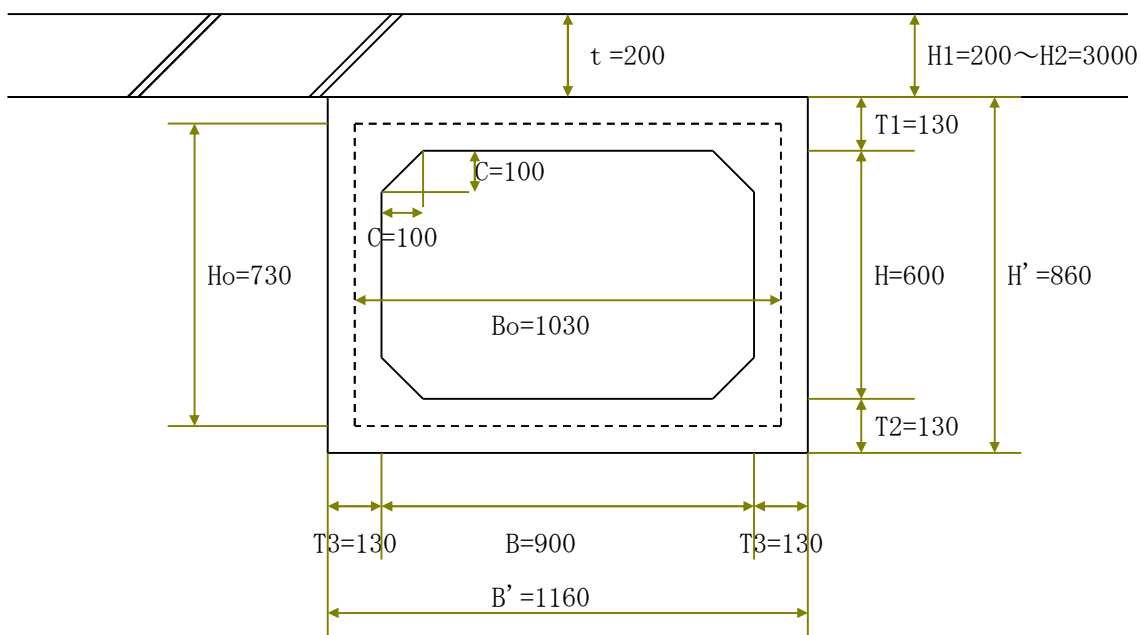
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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	: $\sigma ck = 35.0$ [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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.185 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 2.835 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 9.405 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

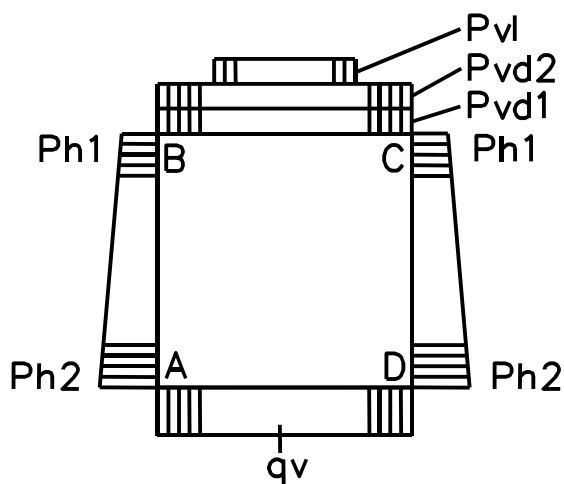
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅 } u &= a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m} \end{aligned}$$

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

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 95.288 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.709, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.709$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 8.424 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 10.396 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 0.301 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.243 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -5.074 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 5.622 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -4.828 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 4.828 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 6.412 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -6.412 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 45.120 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 10.137 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 31.922 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 7.809 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -1.083 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -3.347 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

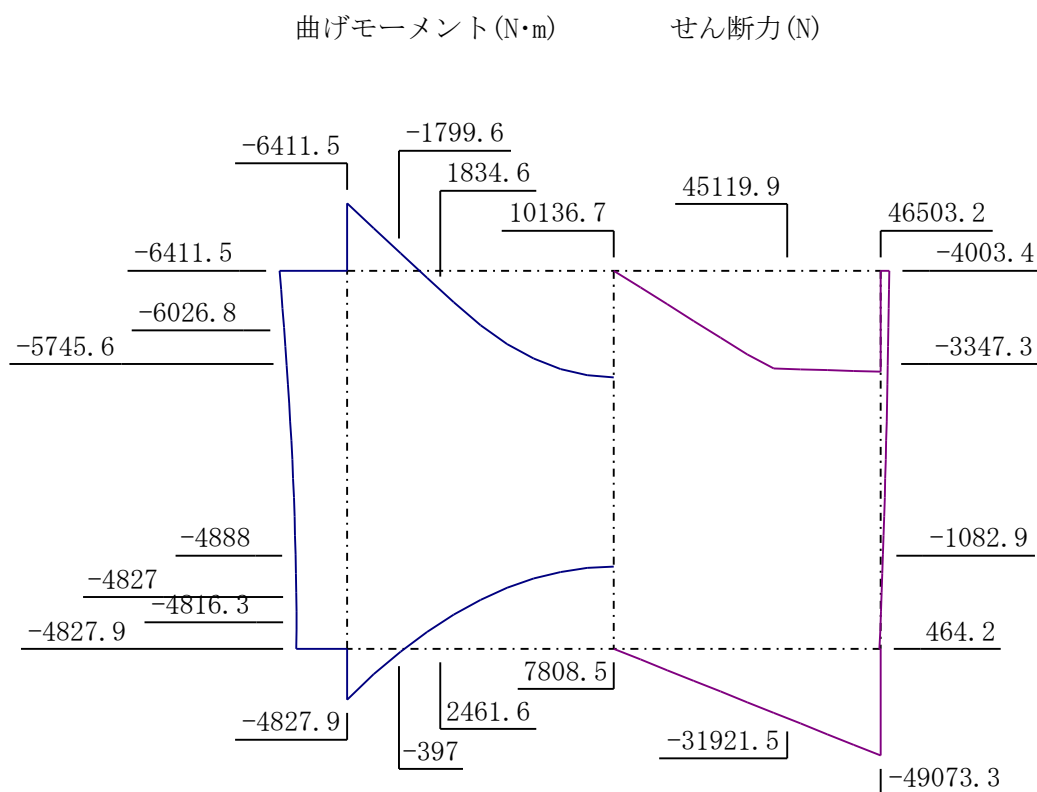
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.051 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -4.816 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[ / 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	0.065	-6412	46503	4003
	2 ハチ始点	0.165	-1800	*****	4003
	S2 τ 点	0.180	1835	45120	4003
	1 中 央	0.515	10137	0	4003
底版	9, S9 端 部	0.065	-4828	49073	464
	10 ハチ始点	0.165	-397	*****	464
	S10 τ 点	0.180	2462	31922	464
	11 中 央	0.515	7809	0	464
側壁	4, S4 上 端部	0.665	-6412	-4003	46503
	5 上ハチ点	0.565	-6027	*****	46855
	S5 上 τ 点	0.550	-5746	-3347	47137
	6 中 間	0.051	-4816	0	48894
	S7 下 τ 点	0.180	-4888	-1083	48440
	7 下ハチ点	0.165	-4827	*****	48721
	8, S8 下 端部	0.065	-4828	464	49073





## 2.2.1 設 計 荷 重 ( CASE - 2 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.185 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 7.835 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 14.405 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 12.675 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.709, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.709$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 1.121 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 0.679 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 0.523 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.465 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.289 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.186 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -0.916 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 0.916 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 0.547 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -0.547 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 2.575 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.472 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -1.599 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 0.765 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 2.516 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -1.599 \text{ kN}$$

## 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。

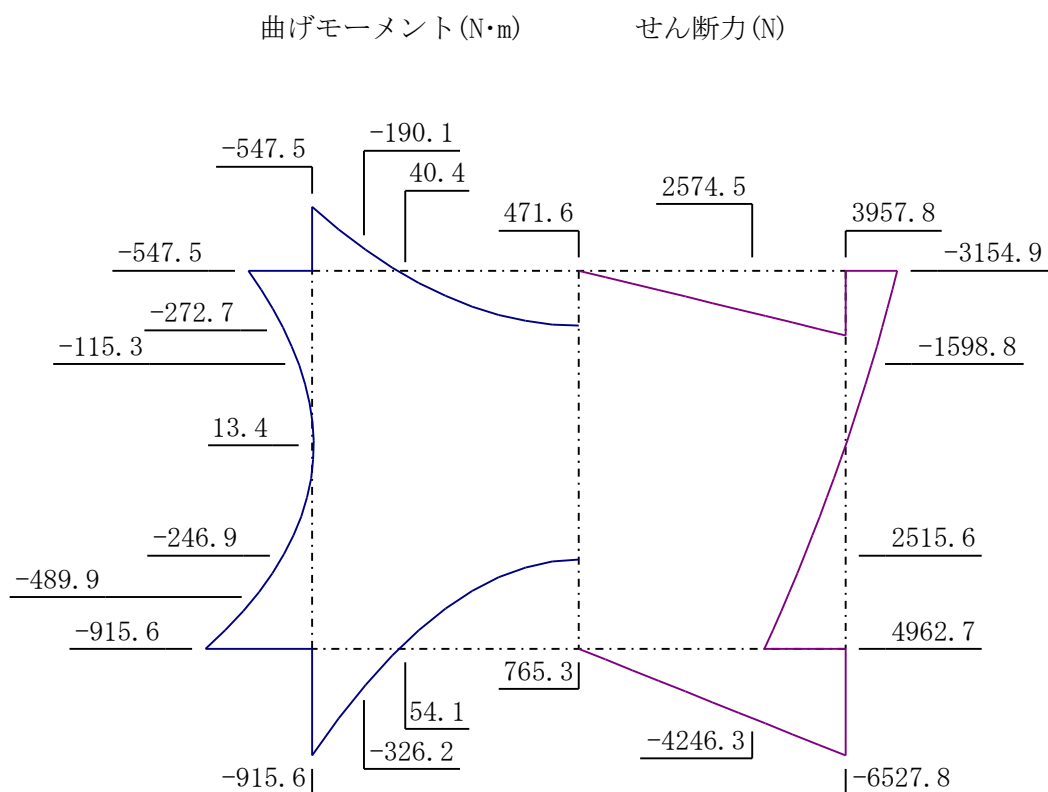
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.393 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.013 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.065	-548	3958	3155
	2 ハチ始点	0.165	-190	*****	3155
	S2 τ 点	0.180	40	2575	3155
	1 中 央	0.515	472	0	3155
底版	9, S9 端 部	0.065	-916	6528	4963
	10 ハチ始点	0.165	-326	*****	4963
	S10 τ 点	0.180	54	4246	4963
	11 中 央	0.515	765	0	4963
側壁	4, S4 上 端部	0.665	-548	-3155	3958
	5 上ハチ点	0.565	-273	*****	4310
	S5 上 τ 点	0.550	-115	-1599	4592
	6 中 間	0.393	13	0	5144
	S7 下 τ 点	0.180	-247	2516	5894
	7 下ハチ点	0.165	-490	*****	6176
	8, S8 下 端部	0.065	-916	4963	6528



## 2.3.1 設 計 荷 重 ( CASE - 3 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.185 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.035 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 34.605 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 76.800 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.709, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.709$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 6.790 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 6.349 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 1.420 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -3.082 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 2.979 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -4.605 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 4.605 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 4.237 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -4.237 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 24.056 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 5.285 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 25.728 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 5.579 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 6.253 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -5.336 \text{ kN}$$

## 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。

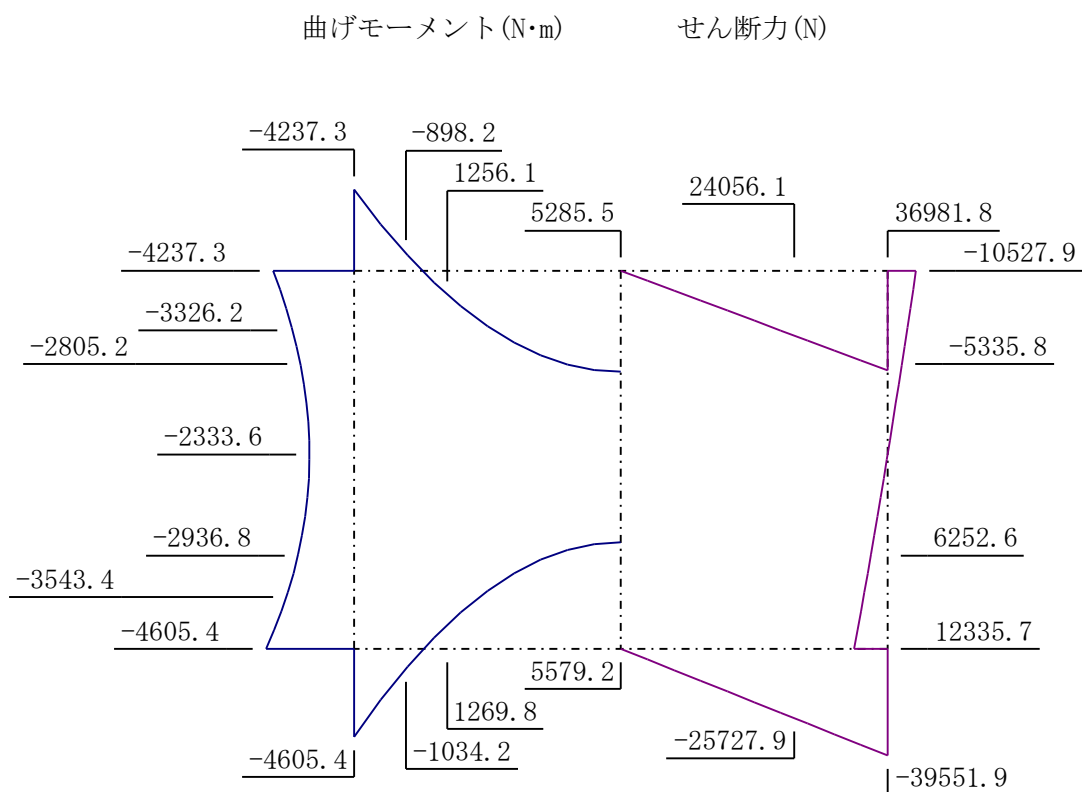
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.375 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -2.334 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.065	-4237	36982	10528
	2 ハチ始点	0.165	-898	*****	10528
	S2 τ 点	0.180	1256	24056	10528
	1 中 央	0.515	5286	0	10528
底版	9, S9 端 部	0.065	-4605	39552	12336
	10 ハチ始点	0.165	-1034	*****	12336
	S10 τ 点	0.180	1270	25728	12336
	11 中 央	0.515	5579	0	12336
側壁	4, S4 上 端部	0.665	-4237	-10528	36982
	5 上ハチ点	0.565	-3326	*****	37334
	S5 上 τ 点	0.550	-2805	-5336	37616
	6 中 間	0.375	-2334	0	38232
	S7 下 τ 点	0.180	-2937	6253	38918
	7 下ハチ点	0.165	-3543	*****	39200
	8, S8 下 端部	0.065	-4605	12336	39552





## 2.4.1 設 計 荷 重 ( CASE - 4 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.185 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.035 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 39.605 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 63.075 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.709$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.709, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.709$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 5.576 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 5.135 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 1.642 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 1.584 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -2.242 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 2.139 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -3.987 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 3.987 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 3.619 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -3.619 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 19.459 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 4.083 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 21.130 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 4.377 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 7.178 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -6.261 \text{ kN}$$

## 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。

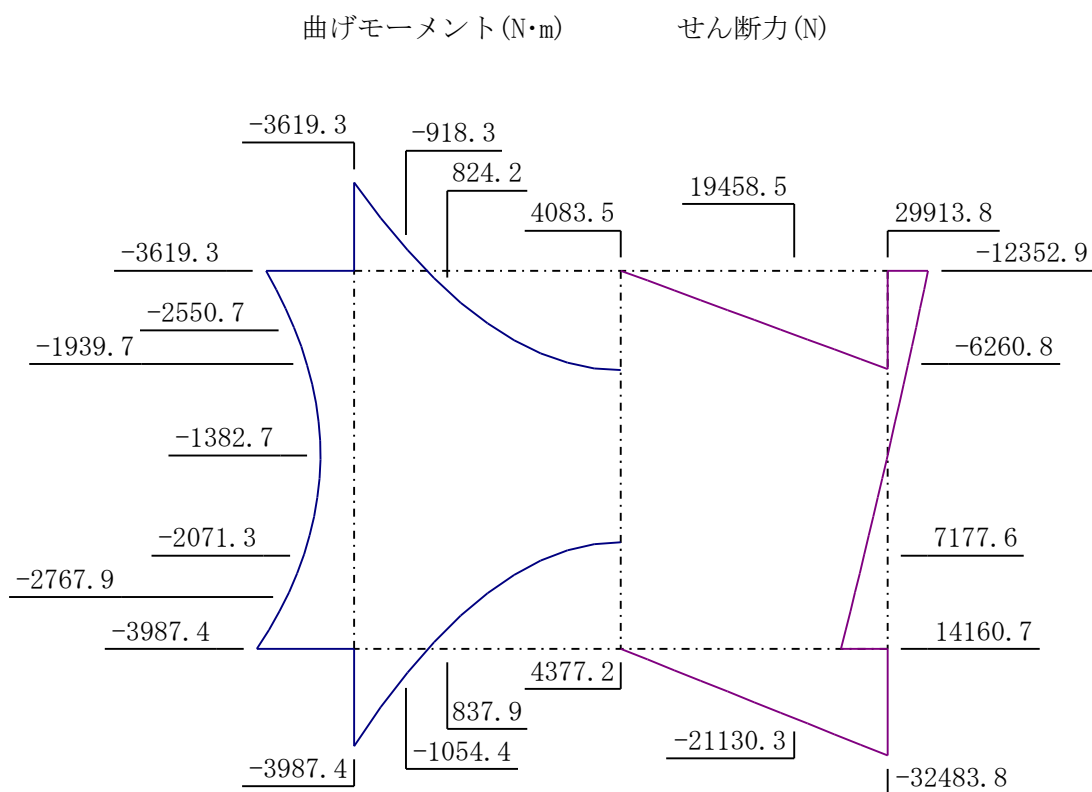
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.373 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -1.383 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.065	-3619	29914	12353
	2 ハッチ始点	0.165	-918	*****	12353
	S2 τ 点	0.180	824	19459	12353
	1 中 央	0.515	4084	0	12353
底板	9, S9 端 部	0.065	-3987	32484	14161
	10 ハッチ始点	0.165	-1054	*****	14161
	S10 τ 点	0.180	838	21130	14161
	11 中 央	0.515	4377	0	14161
側壁	4, S4 上 端部	0.665	-3619	-12353	29914
	5 上ハッチ点	0.565	-2551	*****	30266
	S5 上 τ 点	0.550	-1940	-6261	30548
	6 中 間	0.373	-1383	0	31171
	S7 下 τ 点	0.180	-2071	7178	31850
	7 下ハッチ点	0.165	-2768	*****	32132
	8, S8 下 端部	0.065	-3987	14161	32484



## 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	-6.412	4.003	160.15	4.67	6.598	1
頂版	ハチ始点	-1.800	4.003	44.95	3.00	1.920	1
	中 央	10.137	4.003	253.20	3.00	10.257	1
	端 部	-4.828	0.464	040.05	4.67	4.850	1
底版	ハチ始点	-0.397	0.464	85.52	3.00	0.411	1
	中 央	7.809	0.464	682.14	3.00	7.822	1
	上端部	-6.412	46.503	13.79	4.67	8.582	1
	上ハチ点	-6.027	46.855	12.86	3.00	7.432	1
側壁	中 間	-4.816	48.894	9.85	3.00	6.283	1
	下ハチ点	-4.827	48.721	9.91	3.00	6.289	1
	下端部	-4.605	39.552	11.64	4.67	6.451	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

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

$$c_1 = \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} = 0.629$$

$$d = c_1 \times \sqrt{M_s / b} \quad h = d + d' < T$$

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( $A_s$ )

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

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

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

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

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 <sup>2</sup> /m)
	端 部	6.598	5.11	8.61	16.33	3.253
頂版	ハチ始点	1.920	2.76	6.26	13.00	1.096
	中 央	10.257	6.37	9.87	13.00	7.498
	端 部	4.850	4.38	7.88	16.33	2.516
底版	ハチ始点	0.411	1.28	4.78	13.00	0.250
	中 央	7.822	5.56	9.06	13.00	5.789
	上端部	8.582	5.83	9.33	16.33	1.701
	上ハチ点	7.432	5.42	8.92	13.00	2.585
側壁	中 間	6.283	4.99	8.49	13.00	1.564
	下ハチ点	6.289	4.99	8.49	13.00	1.579
	下端部	6.451	5.05	8.55	16.33	0.950
$d + d' < T$					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 13 - 8	D 10 - 16	D 13 - 8	D 10 - 16	D-0 - 0	D 10 - 16
D 10 - 8	D 0 - 0	D 10 - 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> ) $\sigma_c$	$\sigma_s$	$\sigma_s'$
頂版	端 部	100.00	5.706	4.026	2.85	93.6	0.0
	ハチ始点	100.00	5.706	3.520	1.31	33.4	0.0
	中 央	100.00	7.921	3.756	6.62	151.9	0.0
底版	端 部	100.00	5.706	3.927	2.14	72.9	0.0
	ハチ始点	100.00	5.706	3.397	0.29	7.8	0.0
	中 央	100.00	7.921	3.716	5.10	119.0	0.0
側壁	上端部	100.00	5.706	5.550	2.82	55.4	0.0
	上ハチ点	100.00	5.706	4.271	4.31	79.2	0.0
	中 間	100.00	5.706	4.660	3.39	52.9	0.0
	下ハチ点	100.00	5.706	4.650	3.40	53.2	0.0
	下端部	100.00	5.706	5.939	2.00	34.9	0.0
$\sigma_c < \sigma_{ca}$ $\sigma_s < \sigma_{sa}$					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	45.120	2.575	24.056	19.459				
	M	1.835							
	N	4.003							
	最大	○							
底版 τ点	S	31.922	4.246	25.728	21.130				
	M	2.462							
	N	0.464							
	最大	○							
側壁上 τ点	S	-3.347	-1.599	-5.336	-6.261				
	M				-1.940				
	N				30.547				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	-1.083	2.516	6.253	7.178				
	M				-2.071				
	N				31.850				
	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	0.130	0.035	0.095000	1.400	D13-4 D10-4	7.921	0.834	1.400
底版 $\tau$ 点	0.130	0.035	0.095000	1.400	D13-4 D10-4	7.921	0.834	1.400
側壁上 $\tau$ 点	0.130	0.035	0.095000	1.400	D10-8	5.706	0.601	1.261
側壁下 $\tau$ 点	0.130	0.035	0.095000	1.400	D10-8	5.706	0.601	1.261

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	1.835	4.003	0.13000	0.000183	0.06500	0.087	1.047
底版 $\tau$ 点	2.462	0.464	0.13000	0.000183	0.06500	0.010	1.004
側壁上 $\tau$ 点	-1.940	30.548	0.13000	0.000183	0.06500	0.662	1.341
側壁下 $\tau$ 点	-2.071	31.850	0.13000	0.000183	0.06500	0.690	1.333

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	1.400	1.047	0.534
底版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.400	1.004	0.512
側壁上 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.261	1.341	0.616
側壁下 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.261	1.333	0.612

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	45.120	0.475	0.534	OK
底版 $\tau$ 点	31.922	0.336	0.512	OK
側壁上 $\tau$ 点	6.261	0.066	0.616	OK
側壁下 $\tau$ 点	7.178	0.076	0.612	OK

以 上