

受付 No.

台帳 No. RL406000



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) 700 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) 700 × (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 <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
----------	-------------

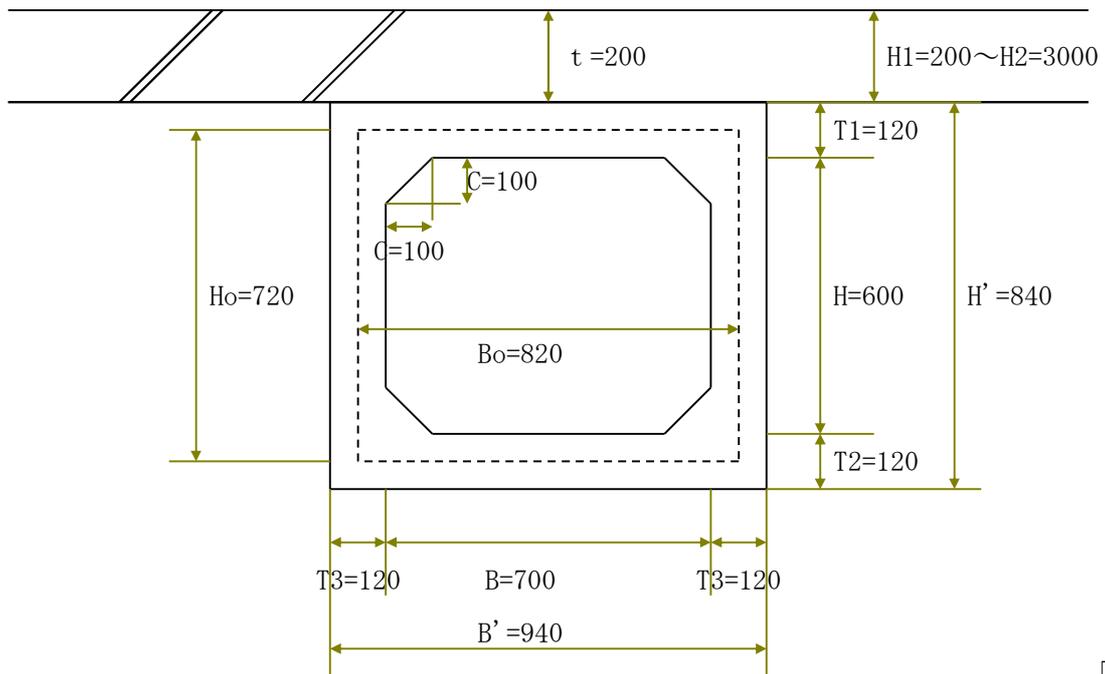
1.6 鉄筋かぶり	: 頂版 底版 側壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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

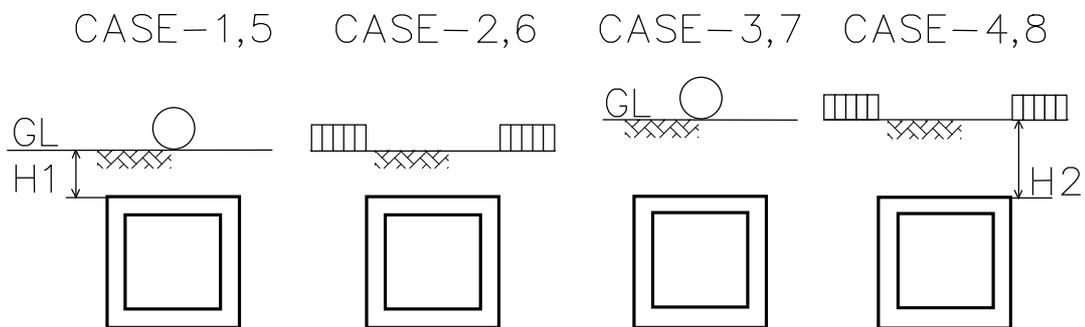
鉄筋引張応力度	: $\sigma_{sa} = 160$ [N/mm <sup>2</sup> ]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma_{sy} = 295$ [N/mm <sup>2</sup> ]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma_{ck} = 40.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma_{ca} = 14.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
せん断応力度	: $\tau_a = 0.270$ [N/mm <sup>2</sup> ]

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

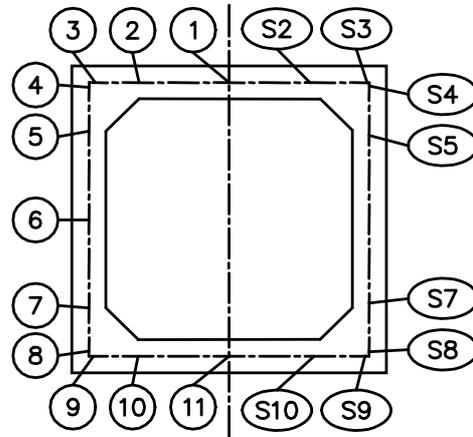
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

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

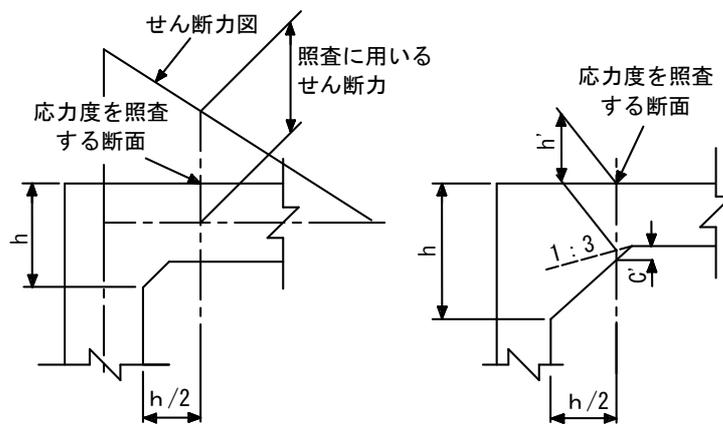
せん断力



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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2) \} = 2.790 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2 + Ho) \} = 9.270 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

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

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

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times Ho + 2 \times C^2) \} / B_o = 116.970 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_0 \times T_1^3) / (B_0 \times T_3^3) = 0.878$$

$$\beta = (H_0 \times T_2^3) / (B_0 \times T_3^3) = 0.878$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.878, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.878$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_0^2 / 12 = 6.554 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_0^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_0^2 - u^2)\} / (24 \times B_0) = 7.582 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_0^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 0.288 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_0^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 0.233 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -3.485 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 3.765 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -3.494 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 3.494 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 4.277 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -4.277 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x + P_{v1} = 35.822 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 7.411 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 28.073 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 6.337 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0.027 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -2.264 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

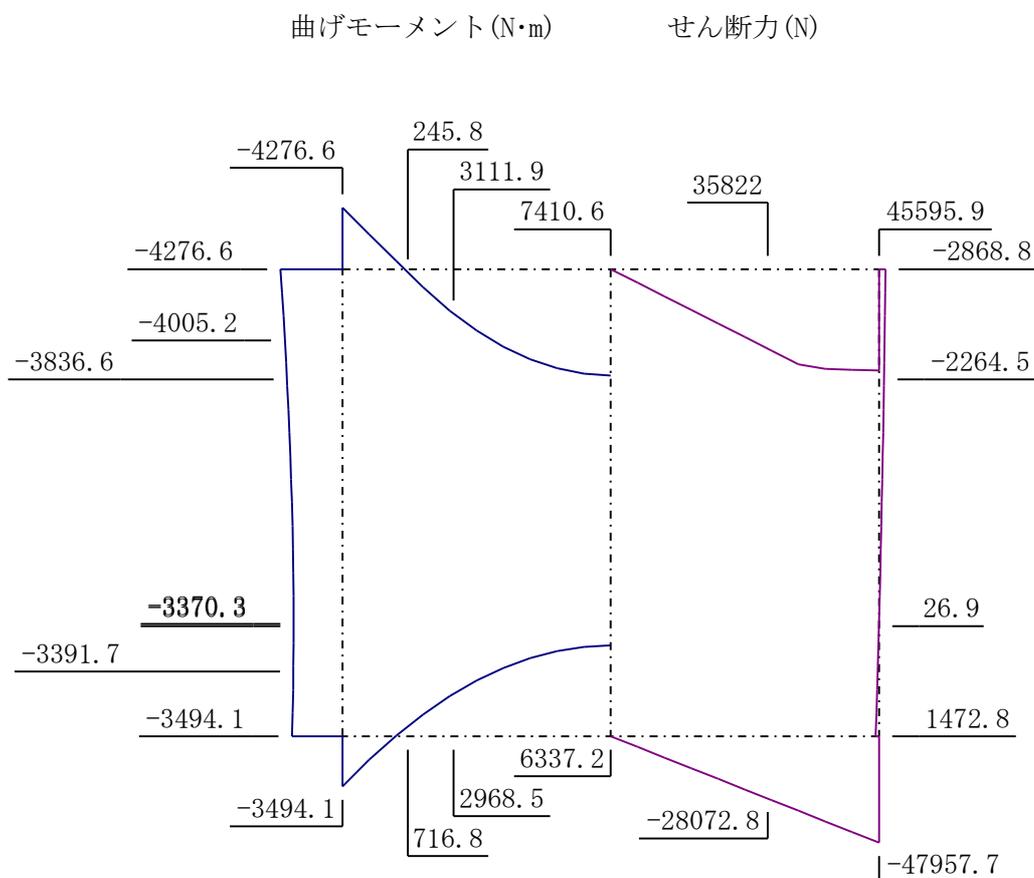
接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。 } x = 0.173 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -3.370 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[ / 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	-4277	45596	2869
	2 ハチ始点	0.160	246	*****	2869
	S2 τ点	0.170	3112	35822	2869
	1 中央	0.410	7411	0	2869
底版	9, S9 端部	0.060	-3494	47958	1473
	10 ハチ始点	0.160	717	*****	1473
	S10 τ点	0.170	2969	28073	1473
	11 中央	0.410	6337	0	1473
側壁	4, S4 上端部	0.660	-4277	-2869	45596
	5 上ハチ点	0.560	-4005	*****	45924
	S5 上τ点	0.550	-3837	-2265	46154
	6 中間	0.173	-3370	0	47390
	S7 下τ点	0.170	-3370	27	47400
	7 下ハチ点	0.160	-3392	*****	47630
	8, S8 下端部	0.060	-3494	1473	47958



2.2.1 設計荷重 (CASE - 2)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 7.790 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 14.270 \text{ kN/m}^2$$

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。

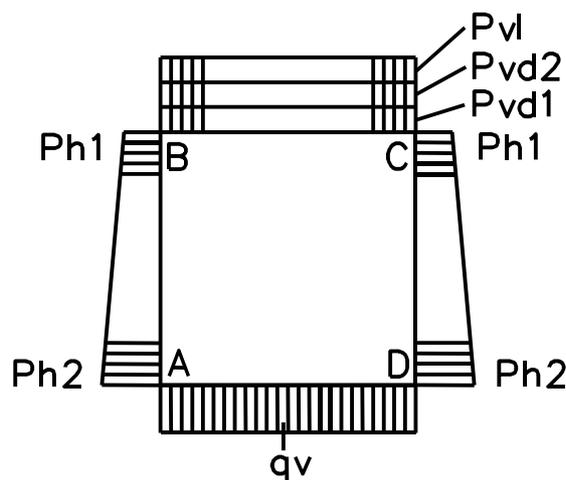
(3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 13.200 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.878$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.878$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.878, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.878$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 0.740 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 0.417 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 0.504 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.449 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.089 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.020 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -0.662 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 0.662 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 0.400 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -0.400 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 1.786 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.226 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -1.763 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 0.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 2.428 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -1.763 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 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。

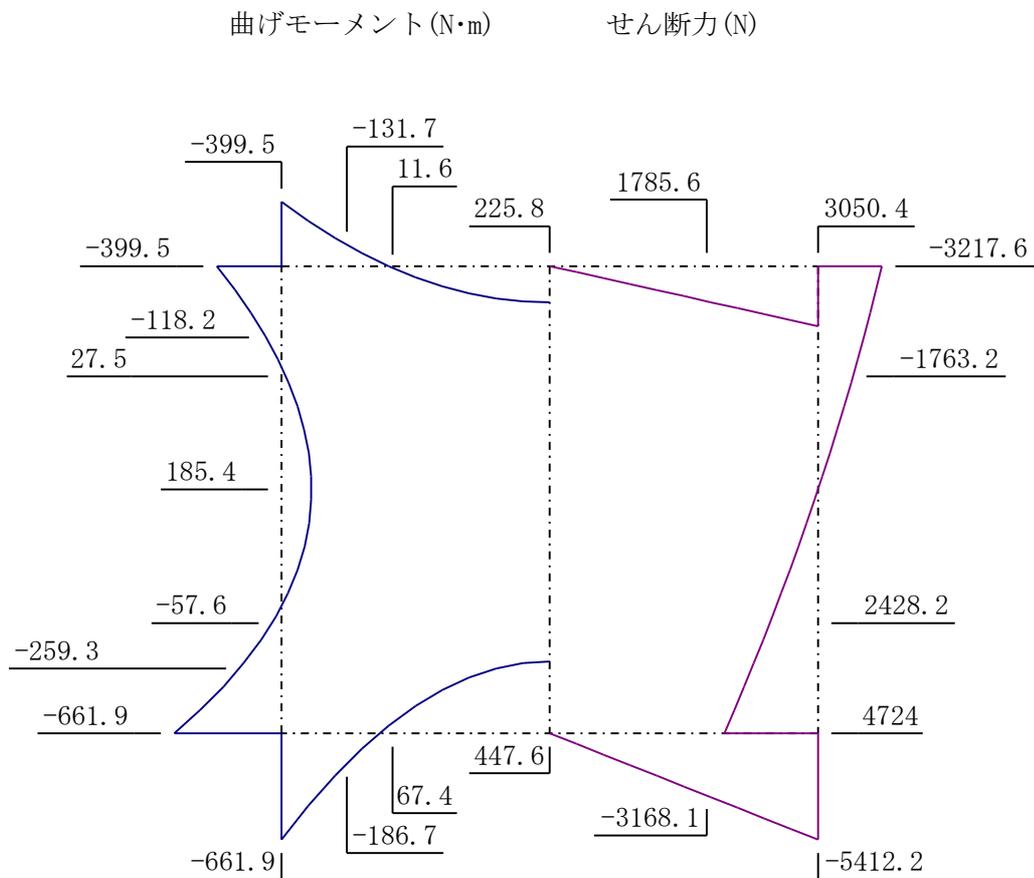
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.376 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = 0.185 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

[ / 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	-400	3050	3218
	2 ハチ始点	0.160	-132	*****	3218
	S2 τ点	0.170	12	1786	3218
	1 中央	0.410	226	0	3218
底板	9, S9 端部	0.060	-662	5412	4724
	10 ハチ始点	0.160	-187	*****	4724
	S10 τ点	0.170	67	3168	4724
	11 中央	0.410	448	0	4724
側壁	4, S4 上端部	0.660	-400	-3218	3050
	5 上ハチ点	0.560	-118	*****	3378
	S5 上τ点	0.550	28	-1763	3608
	6 中間	0.376	185	0	4179
	S7 下τ点	0.170	-58	2428	4855
	7 下ハチ点	0.160	-259	*****	5084
	8, S8 下端部	0.060	-662	4724	5412



## 2.3.1 設計荷重 (CASE - 3)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 27.990 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 34.470 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

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

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

## (4) 底板反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 77.325 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.878$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.878$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.878, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.878$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 4.333 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 4.010 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd_1 + 3 \times Phd_2) / 60 = 1.377 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd_2 + 3 \times Phd_1) / 60 = 1.321 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -1.537 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 1.468 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -2.983 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 2.983 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 2.721 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -2.721 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 17.175 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 3.294 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 18.558 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 3.516 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 6.266 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -5.601 \text{ kN}$$

## 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。

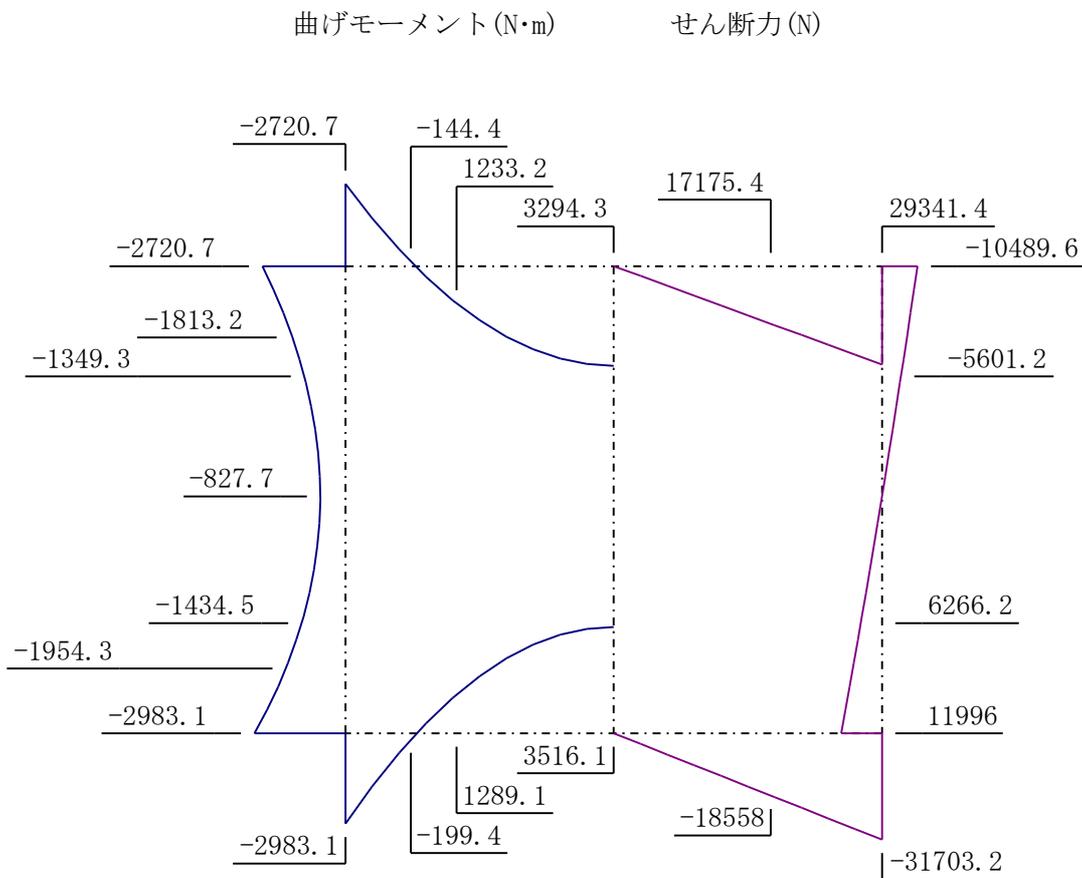
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.365 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -0.828 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	-2721	29341	10490
	2 ハッチ始点	0.160	-144	*****	10490
	S2 τ点	0.170	1233	17175	10490
	1 中央	0.410	3294	0	10490
底版	9, S9 端部	0.060	-2983	31703	11996
	10 ハッチ始点	0.160	-199	*****	11996
	S10 τ点	0.170	1289	18558	11996
	11 中央	0.410	3516	0	11996
側壁	4, S4 上端部	0.660	-2721	-10490	29341
	5 上ハッチ点	0.560	-1813	*****	29669
	S5 上τ点	0.550	-1349	-5601	29899
	6 中間	0.365	-828	0	30506
	S7 下τ点	0.170	-1435	6266	31146
	7 下ハッチ点	0.160	-1954	*****	31375
	8, S8 下端部	0.060	-2983	11996	31703



2.4.1 設計荷重 (CASE - 4)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 32.990 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 39.470 \text{ kN/m}^2$$

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。

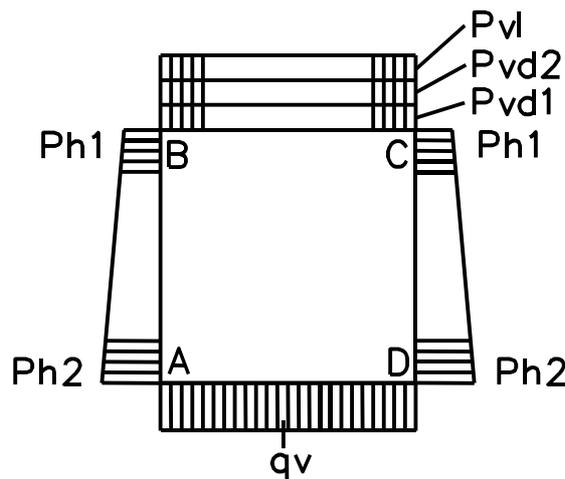
(3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 63.600 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.878$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.878$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.878, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.878$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 3.564 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 3.241 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 1.593 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 1.537 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -1.013 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.944 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -2.675 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 2.675 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 2.412 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -2.412 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 13.882 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + MBC = 2.449 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 15.264 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - MAD = 2.671 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (MAB + MBA) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 7.216 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (MAB + MBA) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -6.551 \text{ kN}$$

## 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。

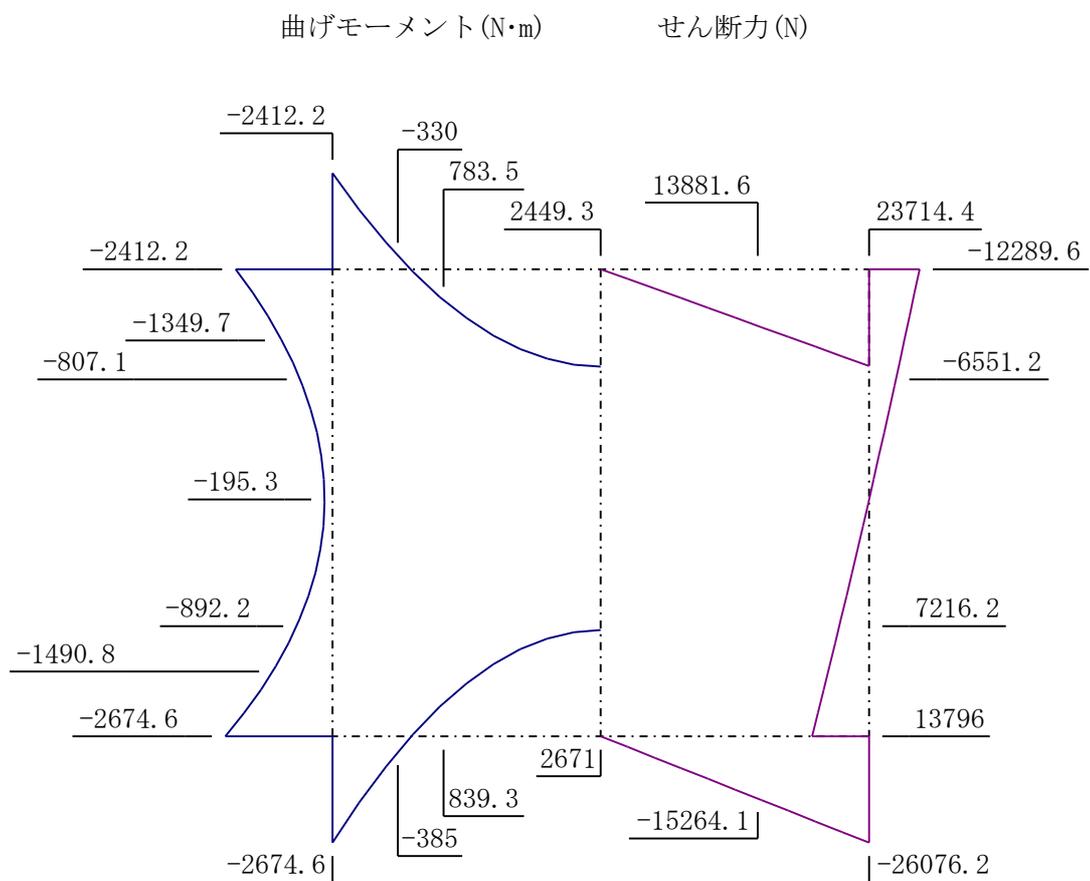
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.365 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + MAB \end{aligned} = -0.195 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

[ / 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	-2412	23714	12290
	2 ハチ始点	0.160	-330	*****	12290
	S2 τ点	0.170	784	13882	12290
	1 中央	0.410	2449	0	12290
底版	9, S9 端部	0.060	-2675	26076	13796
	10 ハチ始点	0.160	-385	*****	13796
	S10 τ点	0.170	839	15264	13796
	11 中央	0.410	2671	0	13796
側壁	4, S4 上端部	0.660	-2412	-12290	23714
	5 上ハチ点	0.560	-1350	*****	24042
	S5 上τ点	0.550	-807	-6551	24272
	6 中間	0.365	-195	0	24879
	S7 下τ点	0.170	-892	7216	25519
	7 下ハチ点	0.160	-1491	*****	25748
	8, S8 下端部	0.060	-2675	13796	26076



## 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	-4.277	2.869	149.07	4.17	4.396	1
頂版	ハチ始点	0.246	2.869	8.57	2.50	0.318	1
	中央	7.411	2.869	258.32	2.50	7.482	1
	端部	-3.494	1.473	237.24	4.17	3.555	1
底版	ハチ始点	0.717	1.473	48.67	2.50	0.754	1
	中央	6.337	1.473	430.28	2.50	6.374	1
	上端部	-4.277	45.596	9.38	4.17	6.176	1
	上ハチ点	-4.005	45.924	8.72	2.50	5.153	1
側壁	中間	-3.370	47.390	7.11	2.50	4.555	1
	下ハチ点	-3.392	47.630	7.12	2.50	4.582	1
	下端部	-2.675	26.076	10.26	4.17	3.761	4

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	4.396	3.69	7.19	15.33	2.329
頂版	ハチ始点	0.318	0.99	4.49	12.00	0.061
	中央	7.482	4.82	8.32	12.00	6.103
	端部	3.555	3.32	6.82	15.33	1.921
底版	ハチ始点	0.754	1.53	5.03	12.00	0.488
	中央	6.374	4.45	7.95	12.00	5.212
	上端部	6.176	4.38	7.88	15.33	0.721
	上ハチ点	5.153	4.00	7.50	12.00	1.370
側壁	中間	4.555	3.76	7.26	12.00	0.763
	下ハチ点	4.582	3.77	7.27	12.00	0.772
	下端部	3.761	3.42	6.92	15.33	0.504
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 13 - 12	D 10 - 12	D 13 - 6	D 10 - 12	D-0 - 0	D 10 - 12
D 0 - 0	D 0 - 0	D 10 - 6	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	4.280	3.410	2.41	89.3	0.0
	ハチ始点	100.00	7.602	4.764	0.19	2.3	0.0
	中 央	100.00	7.602	3.444	5.91	130.1	0.0
底版	端 部	100.00	4.280	3.372	1.97	74.1	0.0
	ハチ始点	100.00	5.941	3.294	0.62	14.7	0.0
	中 央	100.00	5.941	3.123	5.47	141.4	0.0
側壁	上端部	100.00	4.280	5.543	2.23	38.0	0.0
	上ハチ点	100.00	4.280	3.999	3.60	60.7	0.0
	中 間	100.00	4.280	4.416	2.94	40.7	0.0
	下ハチ点	100.00	4.280	4.413	2.95	41.0	0.0
	下端部	100.00	4.280	5.281	1.41	26.3	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	35.822	1.786	17.175	13.882				
	M	3.112							
	N	2.869							
	最大	○							
底版 τ点	S	28.073	3.168	18.558	15.264				
	M	2.969							
	N	1.473							
	最大	○							
側壁上 τ点	S	-2.264	-1.763	-5.601	-6.551				
	M				-0.807				
	N				24.272				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	0.027	2.428	6.266	7.216				
	M				-0.892				
	N				25.519				
	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

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)	C <sub>e</sub>	引張鉄筋		鉄筋比 P <sub>t</sub> (%)	C <sub>pt</sub>
					径-本数	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )		
頂版 $\tau$ 点	0.120	0.035	0.085000	1.400	D13-6	7.602	0.894	1.436
底版 $\tau$ 点	0.120	0.035	0.085000	1.400	D13-3 D10-3	5.941	0.699	1.319
側壁上 $\tau$ 点	0.120	0.035	0.085000	1.400	D10-6	4.280	0.504	1.202
側壁下 $\tau$ 点	0.120	0.035	0.085000	1.400	D10-6	4.280	0.504	1.202

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	3.112	2.869	0.12000	0.000144	0.06000	0.057	1.018
底版 $\tau$ 点	2.968	1.473	0.12000	0.000144	0.06000	0.029	1.010
側壁上 $\tau$ 点	-0.807	24.272	0.12000	0.000144	0.06000	0.485	1.602
側壁下 $\tau$ 点	-0.892	25.519	0.12000	0.000144	0.06000	0.510	1.572

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 <sub>e</sub>	C <sub>pt</sub>	C <sub>n</sub>	
頂版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.436	1.018	0.553
底版 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.319	1.010	0.504
側壁上 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.202	1.602	0.728
側壁下 $\tau$ 点	0.270	1.400	1.202	1.572	0.714

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	35.822	0.421	0.553	OK
底版 $\tau$ 点	28.073	0.330	0.504	OK
側壁上 $\tau$ 点	6.551	0.077	0.728	OK
側壁下 $\tau$ 点	7.216	0.085	0.714	OK

以上