



## 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) 2500 × (H) 2000 × (L) 1500 [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
----------	-------------

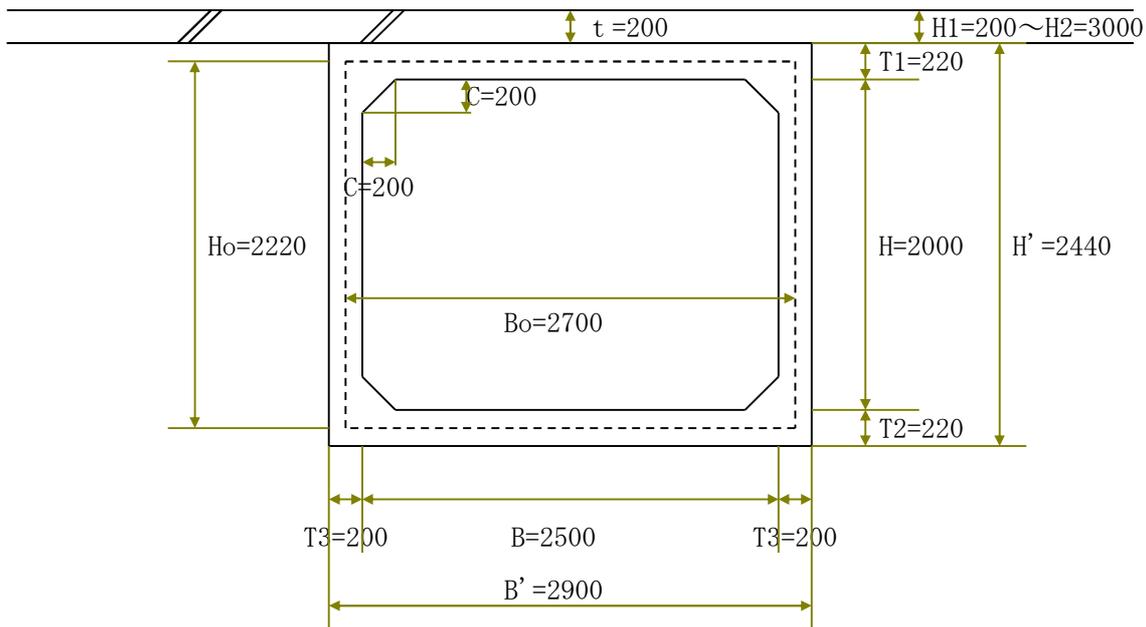
1.6 鉄筋かぶり	: 頂版 底版 側壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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	: $\sigma_{ck} = 35.0$ [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  $H_1$  の場合CASE 3, 4, 7, 8は、土被り  $H_2$  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

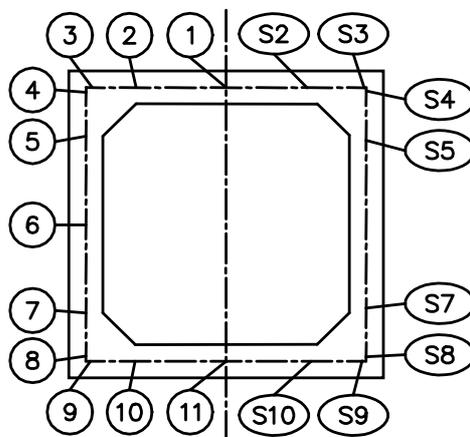
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

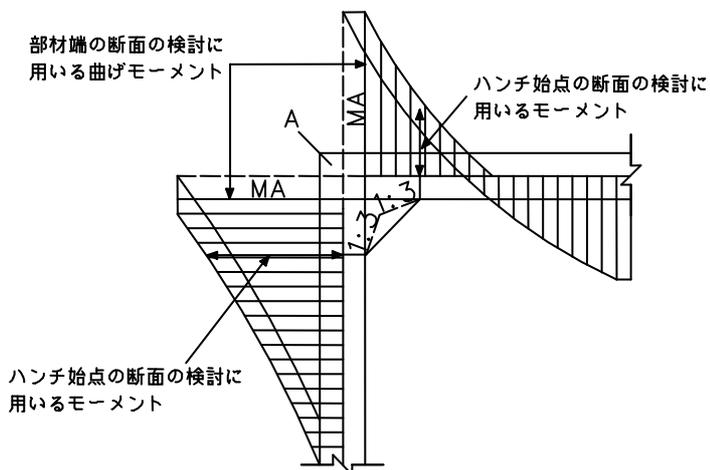
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

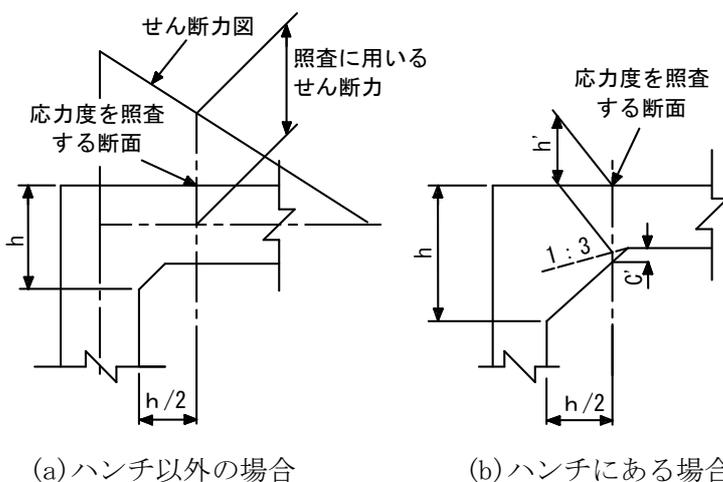
せん断力



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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2) \} = 3.240 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times tb + \gamma_s \times (H1 - t - tb + T1/2 + H_o) \} = 23.220 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

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

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

## (4) 底版反力

$$q_v = \frac{P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \}}{B_o} = 50.189 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.094, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.094$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 30.490 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 34.254 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 6.254 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 4.613 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -12.202 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 13.522 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -17.136 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 17.136 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 19.455 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -19.455 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 52.831 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 40.611 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 52.196 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 28.599 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 10.571 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -10.597 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

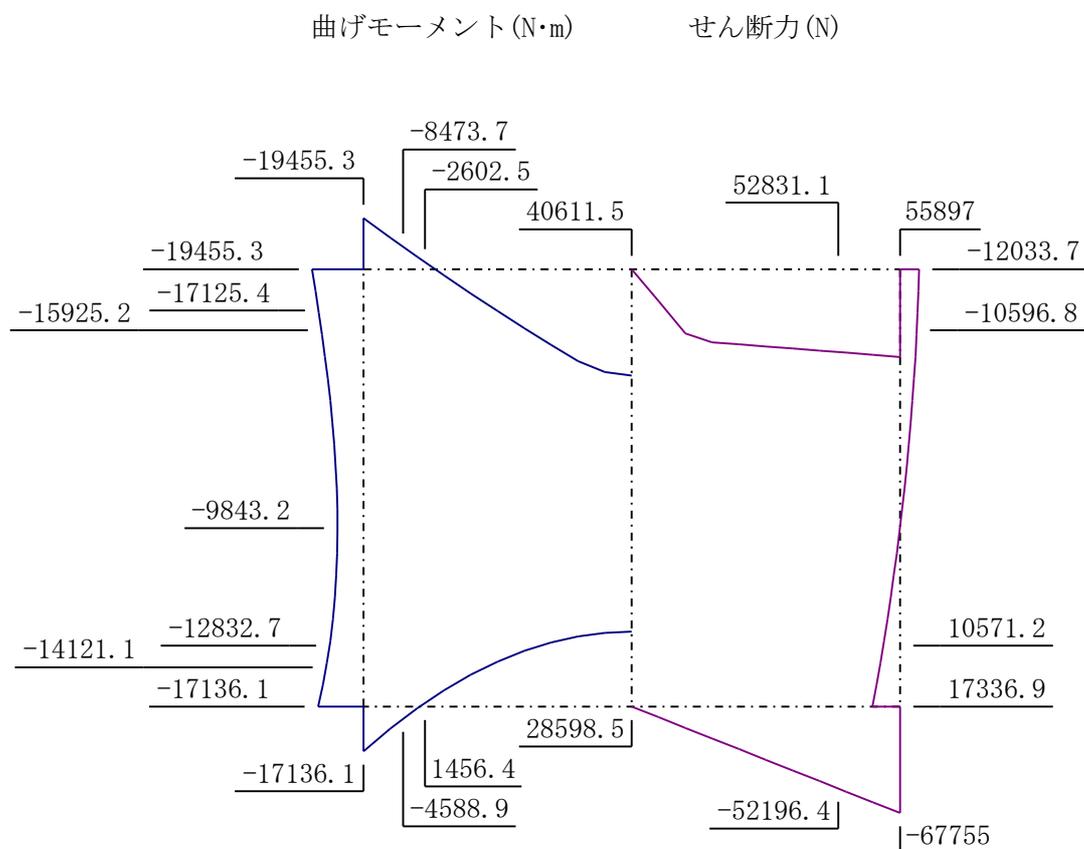
接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。 } x = 0.906 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -9.843 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

部材	照査点	距離 x (m)	[ / 単位長]		
			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	0.100	-19455	55897	12034
	2 ハチ始点	0.300	-8474	*****	12034
	S2 τ点	0.310	-2603	52831	12034
	1 中央	1.350	40612	0	12034
底版	9, S9 端部	0.100	-17136	67755	17337
	10 ハチ始点	0.300	-4589	*****	17337
	S10 τ点	0.310	1456	52196	17337
	11 中央	1.350	28599	0	17337
側壁	4, S4 上端部	2.110	-19455	-12034	55897
	5 上ハチ点	1.910	-17125	*****	56965
	S5 上τ点	1.910	-15925	-10597	57553
	6 中間	0.906	-9843	0	62916
	S7 下τ点	0.310	-12833	10571	66099
	7 下ハチ点	0.310	-14121	*****	66687
	8, S8 下端部	0.110	-17136	17337	67755



## 2.2.1 設計荷重 (CASE - 2)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 8.240 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 28.220 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 18.674 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.094, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.094$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 11.344 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 6.008 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 8.308 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 6.666 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -1.019 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.117 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -10.229 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 10.229 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 5.881 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -5.881 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 10.286 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 3.132 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -11.593 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 6.787 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 17.575 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -11.593 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 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。

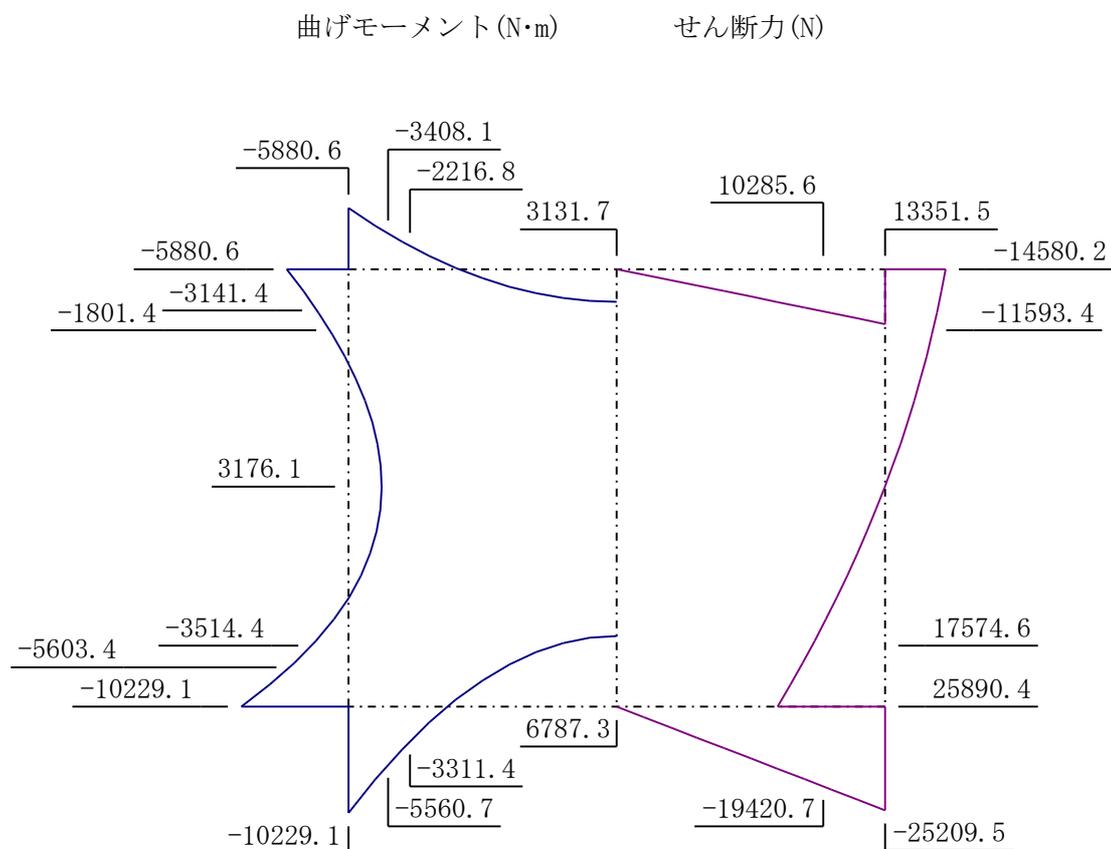
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.116 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = 3.176 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

[ / 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	0.100	-5881	13352	14580
	2 ハチ始点	0.300	-3408	*****	14580
	S2 τ点	0.310	-2217	10286	14580
	1 中央	1.350	3132	0	14580
底版	9, S9 端部	0.100	-10229	25210	25890
	10 ハチ始点	0.300	-5561	*****	25890
	S10 τ点	0.310	-3311	19421	25890
	11 中央	1.350	6787	0	25890
側壁	4, S4 上端部	2.110	-5881	-14580	13352
	5 上ハチ点	1.910	-3141	*****	14420
	S5 上τ点	1.910	-1801	-11593	15007
	6 中間	1.116	3176	0	19249
	S7 下τ点	0.310	-3514	17575	23554
	7 下ハチ点	0.310	-5603	*****	24141
	8, S8 下端部	0.110	-10229	25890	25210



## 2.3.1 設計荷重 (CASE - 3)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.440 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 48.420 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 82.798 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.094, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.094$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 50.300 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 44.964 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 16.604 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 14.963 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -15.658 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 14.755 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -33.164 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 33.164 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 28.816 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -28.816 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 76.975 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 38.630 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 86.110 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 42.286 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 33.735 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -27.753 \text{ kN}$$

## 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。

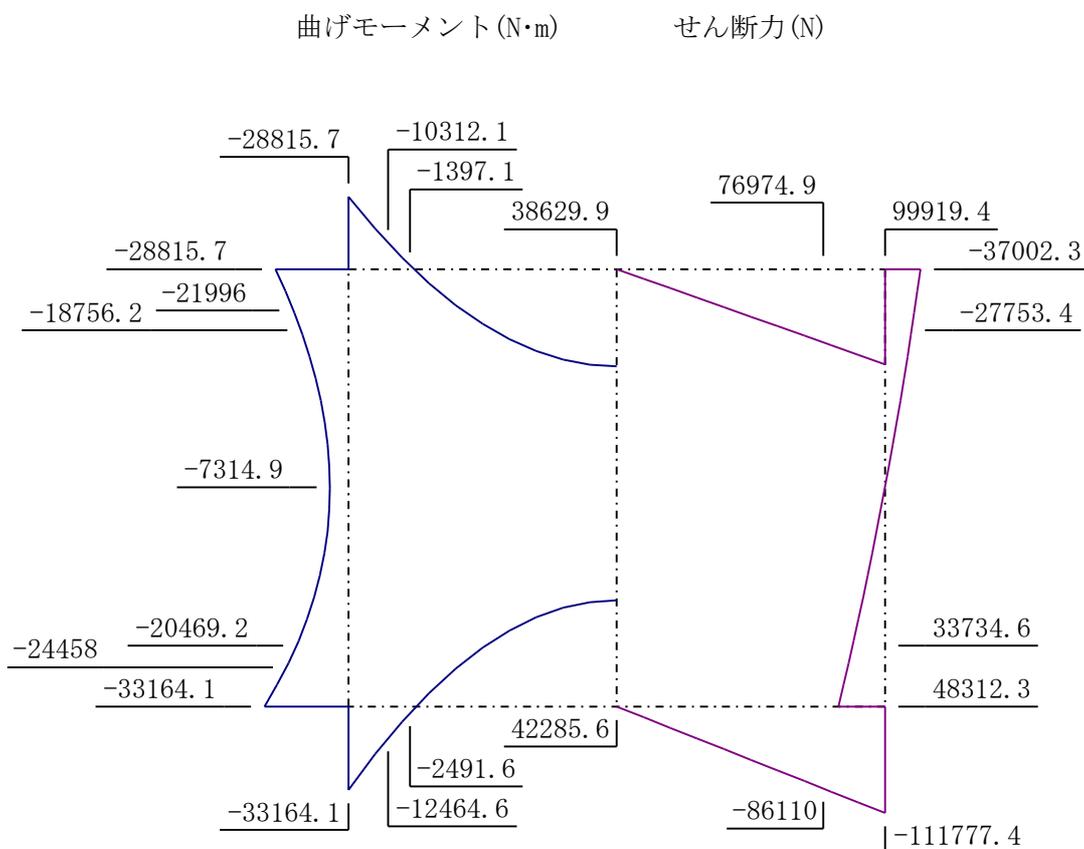
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.113 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -7.315 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

[ / 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	0.100	-28816	99919	37002
	2 ハッチ始点	0.300	-10312	*****	37002
	S2 τ点	0.310	-1397	76975	37002
	1 中央	1.350	38630	0	37002
底版	9, S9 端部	0.100	-33164	111777	48312
	10 ハッチ始点	0.300	-12465	*****	48312
	S10 τ点	0.310	-2492	86110	48312
	11 中央	1.350	42286	0	48312
側壁	4, S4 上端部	2.110	-28816	-37002	99919
	5 上ハッチ点	1.910	-21996	*****	100988
	S5 上τ点	1.910	-18756	-27753	101575
	6 中間	1.113	-7315	0	105832
	S7 下τ点	0.310	-20469	33735	110122
	7 下ハッチ点	0.310	-24458	*****	110709
	8, S8 下端部	0.110	-33164	48312	111777



## 2.4.1 設計荷重 (CASE - 4)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.440 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 53.420 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 69.074 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.094$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.094, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.094$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 41.962 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 36.626 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 18.657 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 17.016 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -10.697 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 9.794 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -30.256 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 30.256 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 25.908 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -25.908 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 62.702 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + MBC = 29.032 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 底板

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 71.837 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - MAD = 32.687 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (MAB + MBA) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 37.735 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (MAB + MBA) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -31.753 \text{ kN}$$

## 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。

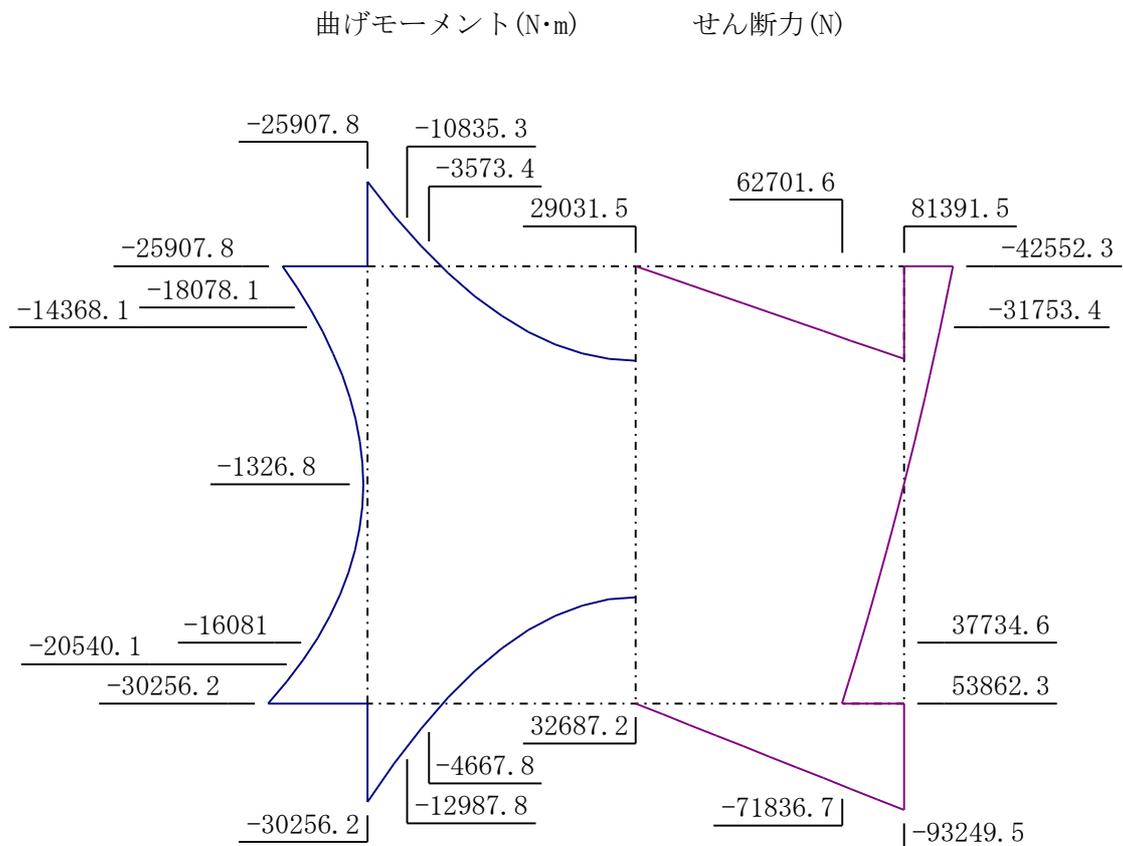
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.113 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + MAB \end{aligned} = -1.327 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

[ / 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	0.100	-25908	81392	42552
	2 ハッチ始点	0.300	-10835	*****	42552
	S2 τ点	0.310	-3573	62702	42552
	1 中央	1.350	29032	0	42552
底板	9, S9 端部	0.100	-30256	93250	53862
	10 ハッチ始点	0.300	-12988	*****	53862
	S10 τ点	0.310	-4668	71837	53862
	11 中央	1.350	32687	0	53862
側壁	4, S4 上端部	2.110	-25908	-42552	81392
	5 上ハッチ点	1.910	-18078	*****	82460
	S5 上τ点	1.910	-14368	-31753	83047
	6 中間	1.113	-1327	0	87305
	S7 下τ点	0.310	-16081	37735	91594
	7 下ハッチ点	0.310	-20540	*****	92181
	8, S8 下端部	0.110	-30256	53862	93250



## 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	-28.816	37.002	77.88	10.83	32.824	3
頂版	ハチ始点	-8.474	12.034	70.42	7.50	9.376	1
	中央	40.611	12.034	337.48	7.50	41.514	1
	端部	-33.164	48.312	68.65	10.83	38.398	3
底版	ハチ始点	-12.988	53.862	24.11	7.50	17.027	4
	中央	42.286	48.312	87.53	7.50	45.909	3
	上端部	-28.816	99.919	28.84	9.83	38.641	3
	上ハチ点	-21.996	100.988	21.78	6.50	28.560	3
側壁	中間	-9.843	62.916	15.65	6.50	13.933	1
	下ハチ点	-24.458	110.709	22.09	6.50	31.654	3
	下端部	-33.164	111.777	29.67	9.83	44.156	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	32.824	11.40	14.90	28.67	6.672
頂版	ハチ始点	9.376	6.09	9.59	22.00	2.653
	中央	41.514	12.82	16.32	22.00	15.415
	端部	38.398	12.33	15.83	28.67	7.567
底版	ハチ始点	17.027	8.21	11.71	22.00	2.962
	中央	45.909	13.48	16.98	22.00	14.970
	上端部	38.641	12.37	15.87	26.67	5.426
	上ハチ点	28.560	10.63	14.13	20.00	6.051
側壁	中間	13.933	7.43	10.93	20.00	1.881
	下ハチ点	31.654	11.19	14.69	20.00	6.867
	下端部	44.156	13.22	16.72	26.67	6.444
d + d' < T					CHECK OK	

## 5 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

## 5.1 コンクリート及び鉄筋

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

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

ここに、 N : 軸力 (kN)

b : 部材幅 (cm)

T : 部材厚 (cm)

c : 部材中心軸と鉄筋間距離 (cm)

A<sub>s</sub> : 主鉄筋断面積 (cm<sup>2</sup>/m)

x : 中心軸。次の3次元方程式より求める。 (cm)

$$x^3 - 3 \times ( T / 2 - e ) \times x^2$$

$$+ 6 \times n \times A_s / b \times ( e + c ) \times x$$

$$- 6 \times n \times A_s / b \times ( c + T / 2 )$$

$$\times ( e + c ) = 0$$

e : 偏位量 (M / N) (cm)

配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 16 - 12	D 13 - 12	D 16 - 12	D 13 - 12	D-0 - 0	D 13 - 12
D 0 - 0	D 0 - 0	D 0 - 0	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	10.136	8.287	3.54	108.0	0.0
	ハチ始点	100.00	10.136	6.726	1.71	45.0	0.0
	中 央	100.00	15.888	7.436	6.97	155.5	0.0
底版	端 部	100.00	10.136	8.418	4.08	121.8	0.0
	ハチ始点	100.00	10.136	7.999	2.69	53.0	0.0
	中 央	100.00	15.888	7.819	7.39	151.4	0.0
側壁	上端部	100.00	10.136	9.344	4.12	91.5	0.0
	上ハチ点	100.00	10.136	7.408	5.50	101.2	0.0
	中 間	100.00	10.136	8.180	2.47	37.7	0.0
	下ハチ点	100.00	10.136	7.381	6.11	113.2	0.0
	下端部	100.00	10.136	9.270	4.75	106.7	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	52.831	10.286	76.975	62.702				
	M			-1.397					
	N			37.002					
	最大			○					
底版 τ点	S	52.196	19.421	86.110	71.837				
	M			-2.492					
	N			48.312					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-10.597	-11.593	-27.753	-31.753				
	M				-14.368				
	N				83.047				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	10.571	17.575	33.735	37.735				
	M				-16.081				
	N				91.594				
	最大				○				

ここに、S：せん断力(kN)、M：モーメント(kN・m)、N：軸力(kN)を示す。

## 6.2 せん断応力度の照査

コンクリートのせん断応力度は、平均せん断応力度として算出する。

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

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

各せん断応力度照査位置の許容せん断応力度は、以下の補正係数を乗じて求める。

## ① 部材断面の有効高 d の影響

次表に示す部材断面の有効高さに関する補正係数(Ce)をτaに乘じる。

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

## ② 軸方向引張鉄筋比の影響

次表に示す軸方向引張鉄筋比に関する補正係数(Cpt)をτaに乘じる。

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

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

## ③ 軸方向圧縮力の影響

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

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

ここに、Cn：軸方向力による補正係数

Mo：軸方向力によりコンクリートの応力度が引張縁で0となる曲げモーメント(kN・m)

M：断面に作用する曲げモーメント(kN・m)

N：断面に作用する軸方向圧縮力(kN)

Ic：図心軸に関する断面二次モーメント(m<sup>4</sup>)

Ac：部材断面積(m<sup>2</sup>)

y：断面図心より引張縁までの距離(m)

補正係数①、②を求める。

照査位置	部材厚 T (m)	かぶり d' (m)	有効高 d (m)	Ce	引張鉄筋		鉄筋比 Pt (%)	Cpt
					径-本数	As (cm <sup>2</sup> )		
頂版 $\tau$ 点	0.220	0.035	0.185000	1.400	D13-8	10.136	0.548	1.229
底版 $\tau$ 点	0.220	0.035	0.185000	1.400	D13-8	10.136	0.548	1.229
側壁上 $\tau$ 点	0.200	0.035	0.165000	1.400	D13-8	10.136	0.614	1.268
側壁下 $\tau$ 点	0.200	0.035	0.165000	1.400	D13-8	10.136	0.614	1.268

補正係数③を求める。

照査位置	M (kN・m)	N (kN)	Ac (m <sup>2</sup> )	Ic (m <sup>4</sup> )	y (m)	Mo (kN・m)	Cn
頂版 $\tau$ 点	-1.397	37.002	0.22000	0.000887	0.11000	1.356	1.971
底版 $\tau$ 点	-2.492	48.312	0.22000	0.000887	0.11000	1.771	1.711
側壁上 $\tau$ 点	-14.368	83.047	0.20000	0.000667	0.10000	2.770	1.193
側壁下 $\tau$ 点	-16.081	91.594	0.20000	0.000667	0.10000	3.055	1.190

補正した許容せん断応力度

照査位置	$\tau a$	補正係数			補正 $\tau a$
		Ce	Cpt	Cn	
頂版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.229	1.971	0.882
底版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.229	1.711	0.765
側壁上 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.268	1.193	0.551
側壁下 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.268	1.190	0.549

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	76.975	0.416	0.882	OK
底版 $\tau$ 点	86.110	0.465	0.765	OK
側壁上 $\tau$ 点	31.753	0.192	0.551	OK
側壁下 $\tau$ 点	37.735	0.229	0.549	OK

以上