

台帳 No. SL421000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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)	1600 mm
内 高(H)	1000 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) 1600 × (H) 1000 × (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
----------	-------------

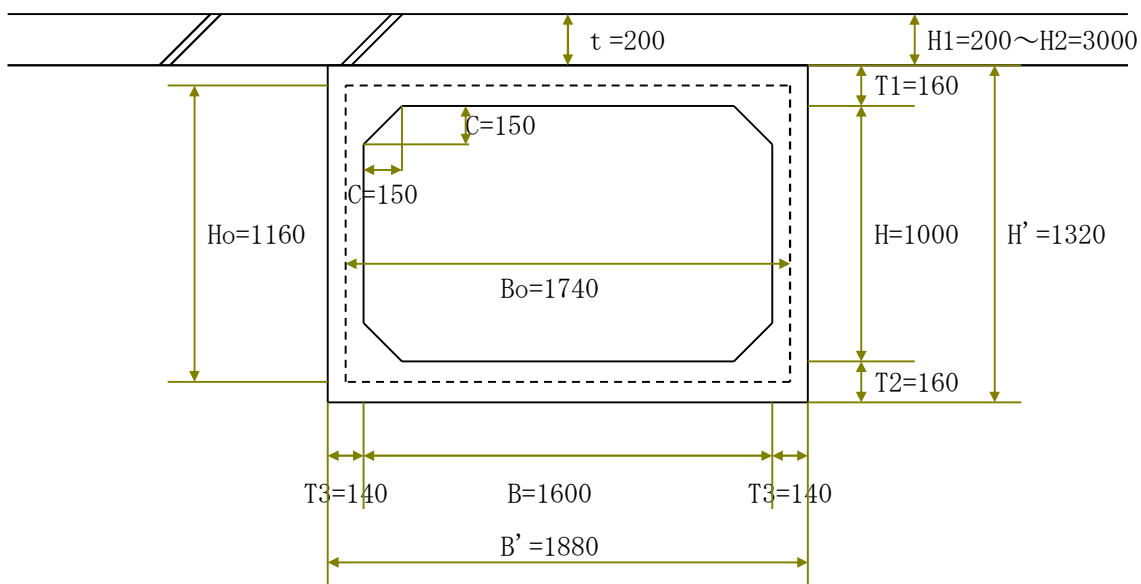
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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

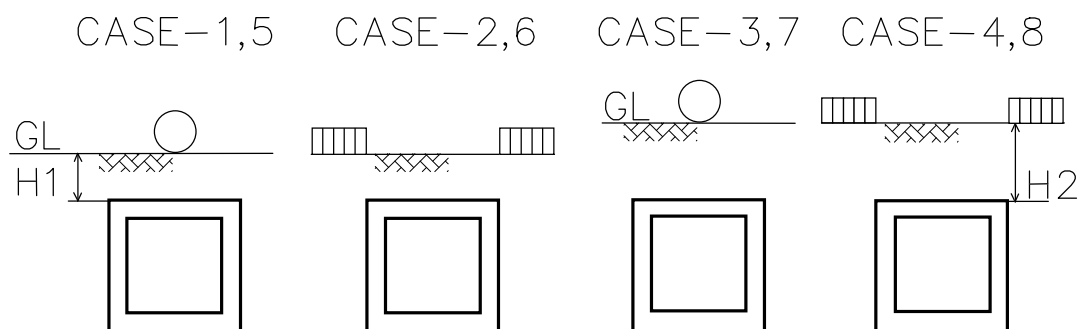
鉄筋引張応力度	: $\sigma sa = 160$ [N/mm <sup>2</sup> ]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma sy = 295$ [N/mm <sup>2</sup> ]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma ck = 35.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma ca = 11.7$ [N/mm <sup>2</sup> ]
せん断応力度	: $\tau a = 0.260$ [N/mm <sup>2</sup> ]

## 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

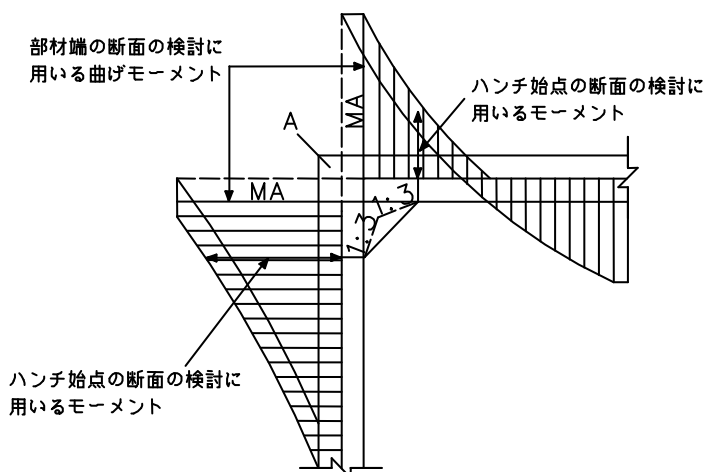
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

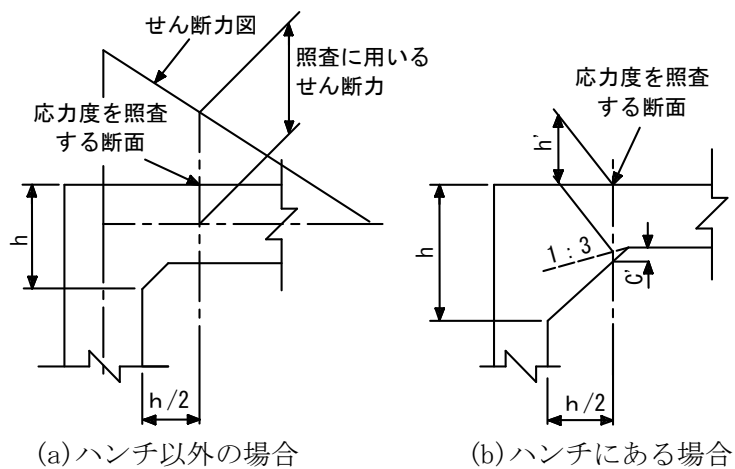
せん断力



### 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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 2.970 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 13.410 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

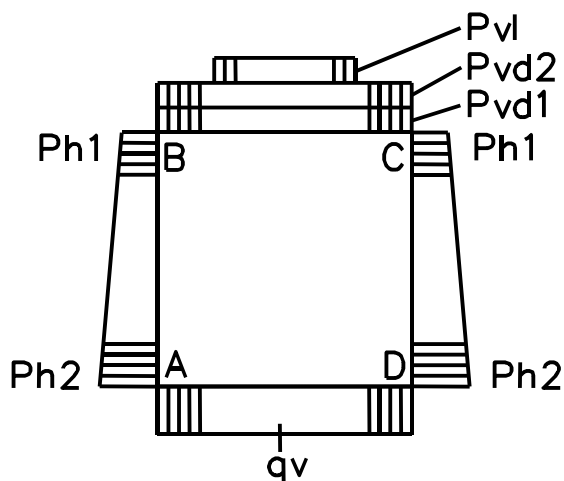
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅 } u &= a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m} \end{aligned}$$

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

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 62.530 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.995, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.995$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 15.776 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 19.898 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 1.035 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.801 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -7.935 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 9.025 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -7.880 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 7.880 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 10.917 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -10.917 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 47.976 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 22.902 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 40.332 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 15.784 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0.352 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -5.463 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

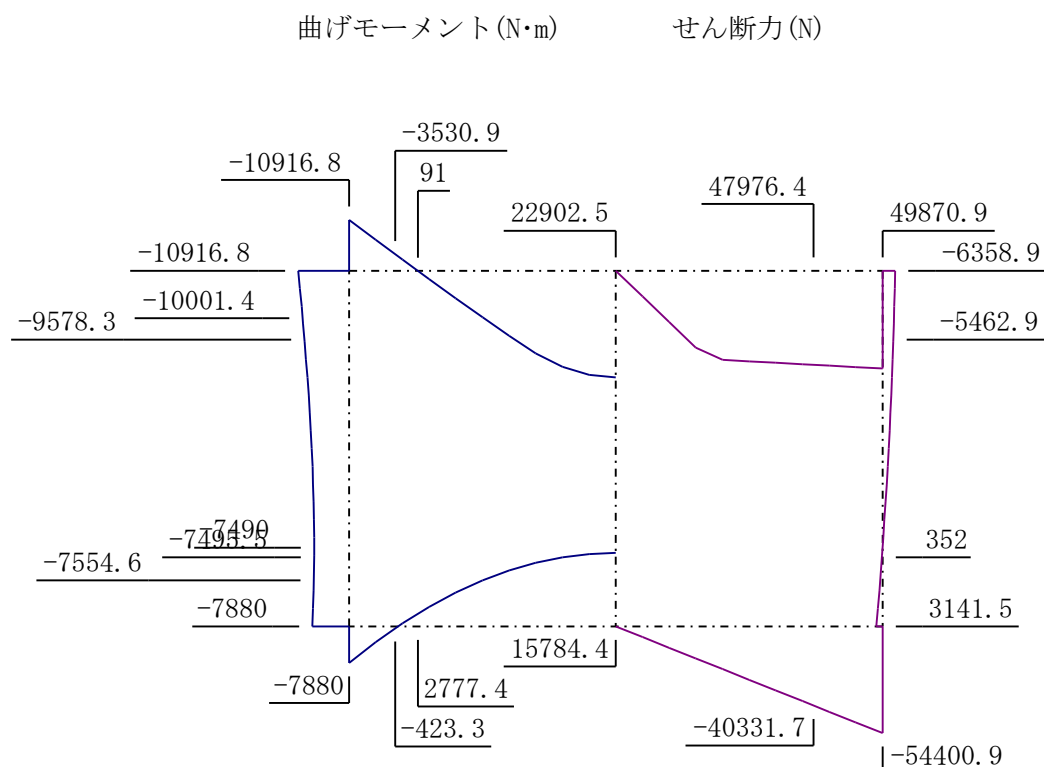
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.256 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -7.490 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[ / 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	0.070	-10917	49871	6359
	2 ハチ始点	0.220	-3531	*****	6359
	S2 τ点	0.225	91	47976	6359
	1 中央	0.870	22903	0	6359
底版	9, S9 端部	0.070	-7880	54401	3142
	10 ハチ始点	0.220	-423	*****	3142
	S10 τ点	0.225	2777	40332	3142
	11 中央	0.870	15784	0	3142
側壁	4, S4 上端部	1.080	-10917	-6359	49871
	5 上ハチ点	0.930	-10001	*****	50457
	S5 上τ点	0.935	-9578	-5463	50750
	6 中間	0.256	-7490	0	53401
	S7 下τ点	0.225	-7496	352	53522
	7 下ハチ点	0.230	-7555	*****	53815
	8, S8 下端部	0.080	-7880	3142	54401





## 2.2.1 設 計 荷 重 ( CASE - 2 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 7.970 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 18.410 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 13.627 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.995, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.995$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 3.438 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 2.124 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 1.596 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

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

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.788 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.518 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -2.654 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 2.654 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 1.609 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -1.609 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 5.431 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 1.577 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -3.719 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 2.503 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 5.646 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -3.719 \text{ kN}$$

## 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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.610 \text{ m}$$

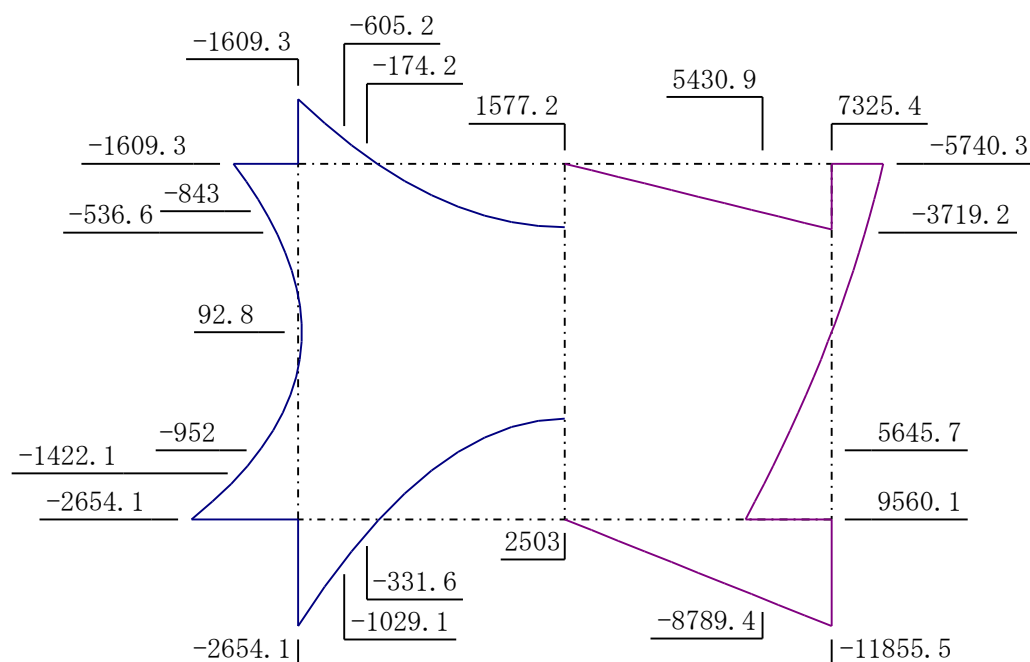
$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.093 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.070	-1609	7325	5740
	2 ハッチ始点	0.220	-605	*****	5740
	S2 τ 点	0.225	-174	5431	5740
	1 中 央	0.870	1577	0	5740
底版	9, S9 端 部	0.070	-2654	11856	9560
	10 ハッチ始点	0.220	-1029	*****	9560
	S10 τ 点	0.225	-332	8789	9560
	11 中 央	0.870	2503	0	9560
側壁	4, S4 上 端部	1.080	-1609	-5740	7325
	5 上ハッチ点	0.930	-843	*****	7911
	S5 上 τ 点	0.935	-537	-3719	8204
	6 中 間	0.610	93	0	9473
	S7 下 τ 点	0.225	-952	5646	10977
	7 下ハッチ点	0.230	-1422	*****	11270
	8, S8 下 端部	0.080	-2654	9560	11856

曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



## 2.3.1 設 計 荷 重 ( CASE - 3 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.170 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 38.610 \text{ kN/m}^2$$

## (3) 活荷重

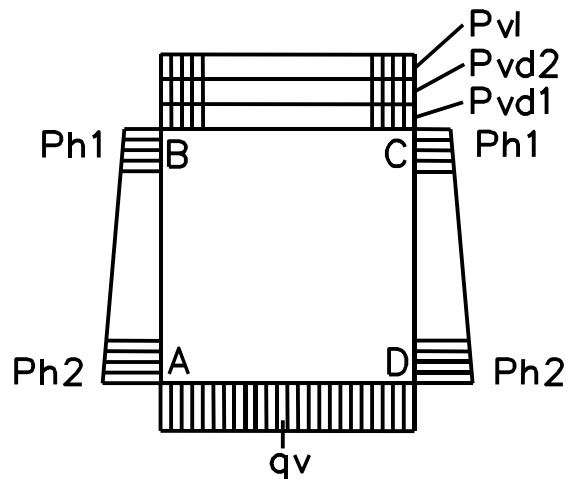
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅} \quad u &= a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m} \end{aligned}$$

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

## (4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 77.751 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.995, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.995$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 19.617 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 18.303 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 3.861 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 3.627 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -7.761 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 7.491 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -11.893 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 11.893 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 10.848 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -10.848 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 46.791 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 16.606 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 50.150 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 17.532 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 12.817 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -10.890 \text{ kN}$$

## 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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.592 \text{ m}$$

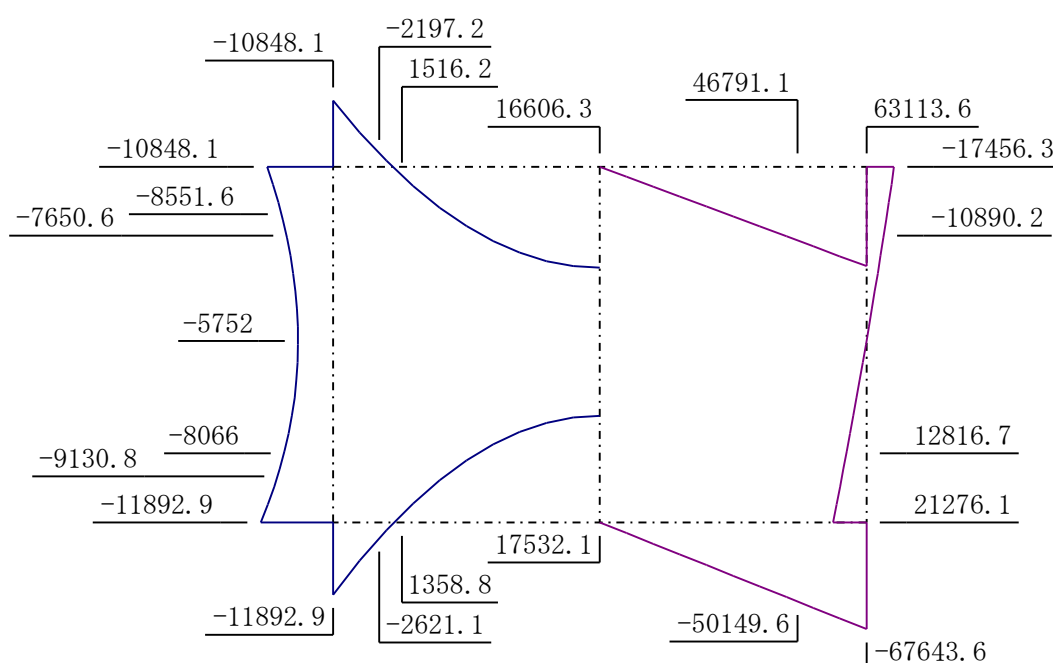
$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -5.752 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.070	-10848	63114	17456
	2 ハチ始点	0.220	-2197	*****	17456
	S2 τ 点	0.225	1516	46791	17456
	1 中 央	0.870	16606	0	17456
底版	9, S9 端 部	0.070	-11893	67644	21276
	10 ハチ始点	0.220	-2621	*****	21276
	S10 τ 点	0.225	1359	50150	21276
	11 中 央	0.870	17532	0	21276
側壁	4, S4 上 端部	1.080	-10848	-17456	63114
	5 上ハチ点	0.930	-8552	*****	63699
	S5 上 τ 点	0.935	-7651	-10890	63992
	6 中 間	0.592	-5752	0	65332
	S7 下 τ 点	0.225	-8066	12817	66765
	7 下ハチ点	0.230	-9131	*****	67058
	8, S8 下 端部	0.080	-11893	21276	67644

曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)





## 2.4.1 設 計 荷 重 ( CASE - 4 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.920 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.170 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 43.610 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 64.027 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.995$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.995, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.995$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 16.154 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 14.840 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 4.422 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 4.188 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -5.745 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 5.475 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -10.437 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 10.437 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 9.392 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -9.392 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 37.939 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 12.868 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 41.297 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 13.794 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 14.592 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -12.665 \text{ kN}$$

## 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。

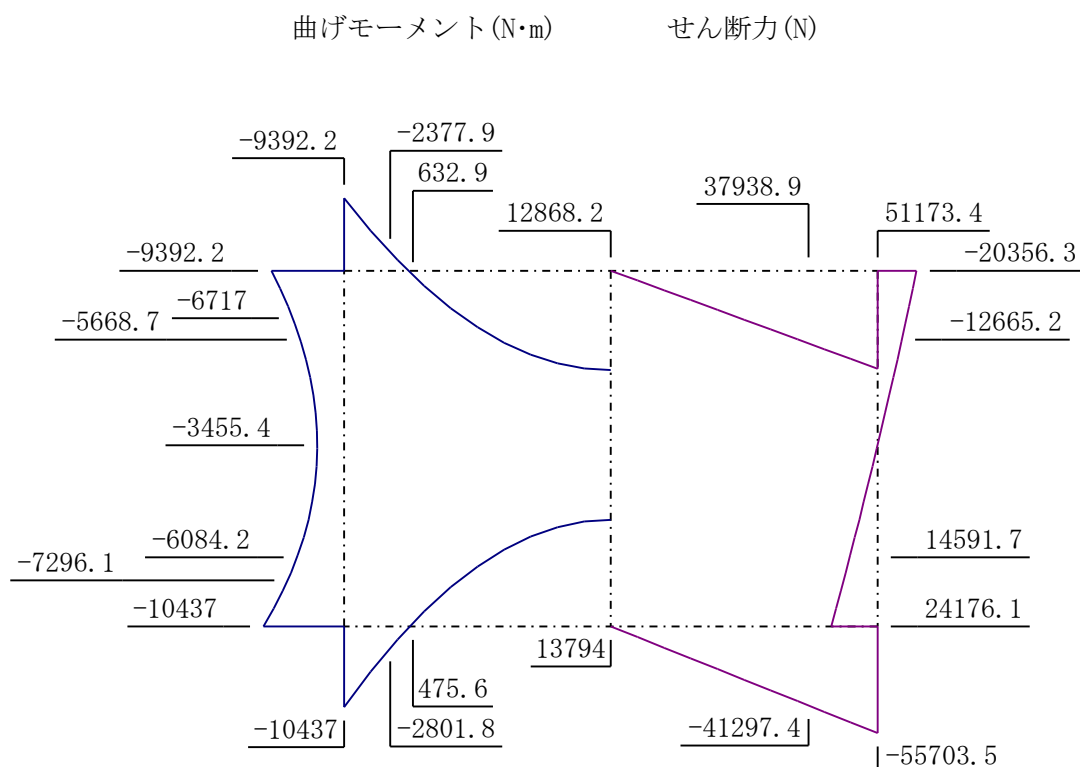
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.590 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -3.455 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.070	-9392	51173	20356
	2 ハチ始点	0.220	-2378	*****	20356
	S2 τ 点	0.225	633	37939	20356
	1 中 央	0.870	12868	0	20356
底版	9, S9 端 部	0.070	-10437	55704	24176
	10 ハチ始点	0.220	-2802	*****	24176
	S10 τ 点	0.225	476	41297	24176
	11 中 央	0.870	13794	0	24176
側壁	4, S4 上 端部	1.080	-9392	-20356	51173
	5 上ハチ点	0.930	-6717	*****	51759
	S5 上 τ 点	0.935	-5669	-12665	52052
	6 中 間	0.590	-3455	0	53399
	S7 下 τ 点	0.225	-6084	14592	54825
	7 下ハチ点	0.230	-7296	*****	55118
	8, S8 下 端部	0.080	-10437	24176	55704



## 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	-10.917	6.359	171.68	7.00	11.362	1
頂版	ハチ始点	-3.531	6.359	55.53	4.50	3.817	1
	中 央	22.902	6.359	360.16	4.50	23.189	1
	端 部	-11.893	21.276	55.90	7.00	13.382	3
底版	ハチ始点	-2.621	21.276	12.32	4.50	3.579	3
	中 央	17.532	21.276	82.40	4.50	18.490	3
	上端部	-10.917	49.871	21.89	6.00	13.909	1
	上ハチ点	-10.001	50.457	19.82	3.50	11.767	1
側壁	中 間	-7.490	53.401	14.03	3.50	9.359	1
	下ハチ点	-9.131	67.058	13.62	3.50	11.478	3
	下端部	-11.893	67.644	17.58	6.00	15.952	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	11.362	6.71	10.21	21.00	4.013
頂版	ハチ始点	3.817	3.89	7.39	16.00	1.646
	中 央	23.189	9.58	13.08	16.00	13.138
	端 部	13.382	7.28	10.78	21.00	3.899
底版	ハチ始点	3.579	3.76	7.26	16.00	0.582
	中 央	18.490	8.55	12.05	16.00	9.311
	上端部	13.909	7.42	10.92	19.00	3.096
	上ハチ点	11.767	6.82	10.32	14.00	4.859
側壁	中 間	9.359	6.09	9.59	14.00	2.954
	下ハチ点	11.478	6.74	10.24	14.00	3.613
	下端部	15.952	7.95	11.45	19.00	2.945
d + d' < T					CHECK OK	

## 5 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

## 5.1 コンクリート及び鉄筋

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

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

ここに、  
 $N$  : 軸力 (kN)  
 $b$  : 部材幅 (cm)  
 $T$  : 部材厚 (cm)  
 $c$  : 部材中心軸と鉄筋間距離 (cm)  
 $A_s$  : 主鉄筋断面積 (cm<sup>2</sup>/m)  
 $x$  : 中心軸。次の3次元方程式より求める。 (cm)  

$$x^3 - 3 \times (T / 2 - e) \times x^2 + 6 \times n \times A_s / b \times (e + c) \times x - 6 \times n \times A_s / b \times (c + T / 2) \times (e + c) = 0$$
  
 $e$  : 偏位量 (M / N) (cm)

配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 16 - 16	D 10 - 16	D 13 - 16	D 10 - 16	D-0 - 0	D 10 - 16
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> ) $\sigma_c$ $\sigma_s$ $\sigma_s'$
頂版	端 部	100.00	5.706	4.871	2.94    114.3    0.0
	ハチ始点	100.00	5.706	4.180	1.64    49.1    0.0
	中 央	100.00	15.888	5.754	7.62    133.9    0.0
底版	端 部	100.00	5.706	5.282	3.22    111.7    0.0
	ハチ始点	100.00	5.706	5.643	1.19    21.8    0.0
	中 央	100.00	10.136	5.077	6.74    147.8    0.0
側壁	上端部	100.00	5.706	5.716	3.58    91.9    0.0
	上ハチ点	100.00	5.706	4.204	6.15    138.2    0.0
	中 間	100.00	5.706	4.565	4.57    89.1    0.0
	下ハチ点	100.00	5.706	4.604	5.56    106.8    0.0
	下端部	100.00	5.706	6.118	3.87    89.1    0.0
$\sigma_c < \sigma_{ca}$ $\sigma_s < \sigma_{sa}$					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	47.976	5.431	46.791	37.939				
	M	0.091							
	N	6.359							
	最大	○							
底版 τ点	S	40.332	8.789	50.150	41.297				
	M			1.359					
	N			21.276					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-5.463	-3.719	-10.890	-12.665				
	M				-5.669				
	N				52.052				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	0.352	5.646	12.817	14.592				
	M				-6.084				
	N				54.825				
	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)	Ce	引張鉄筋		鉄筋比 Pt (%)	C <sub>pt</sub>
					径-本数	As (cm <sup>2</sup> )		
頂版 $\tau$ 点	0.160	0.035	0.125000	1.400	D16-8	15.888	1.271	1.500
底版 $\tau$ 点	0.160	0.035	0.125000	1.400	D13-8	10.136	0.811	1.387
側壁上 $\tau$ 点	0.142	0.035	0.106667	1.400	D10-8	5.706	0.535	1.221
側壁下 $\tau$ 点	0.142	0.035	0.106667	1.400	D10-8	5.706	0.535	1.221

補正係数③を求める。

照査位置	M (kN・m)	N (kN)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> )	y (m)	M <sub>o</sub> (kN・m)	C <sub>n</sub>
頂版 $\tau$ 点	0.091	6.359	0.16000	0.000341	0.08000	0.169	2.000
底版 $\tau$ 点	1.359	21.276	0.16000	0.000341	0.08000	0.567	1.417
側壁上 $\tau$ 点	-5.669	52.052	0.14200	0.000239	0.07100	1.234	1.218
側壁下 $\tau$ 点	-6.084	54.825	0.14200	0.000239	0.07100	1.300	1.214

補正した許容せん断応力度

照査位置	$\tau a$	補正係数			補正 $\tau a$
		Ce	C <sub>pt</sub>	C <sub>n</sub>	
頂版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.500	2.000	1.092
底版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.387	1.417	0.715
側壁上 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.221	1.218	0.541
側壁下 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.221	1.214	0.539

せん断応力度の照査

照査位置	せん断力 S (kN)	応力度 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	補正 $\tau a$ (N/mm <sup>2</sup> )	判定
頂版 $\tau$ 点	47.976	0.384	1.092	OK
底版 $\tau$ 点	50.150	0.401	0.715	OK
側壁上 $\tau$ 点	12.665	0.119	0.541	OK
側壁下 $\tau$ 点	14.592	0.137	0.539	OK

以 上