

受付 No.

台帳 No. RL468000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 2000 mm

内 高(H) 1250 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) 2000 × (H) 1250 × (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
----------	-------------

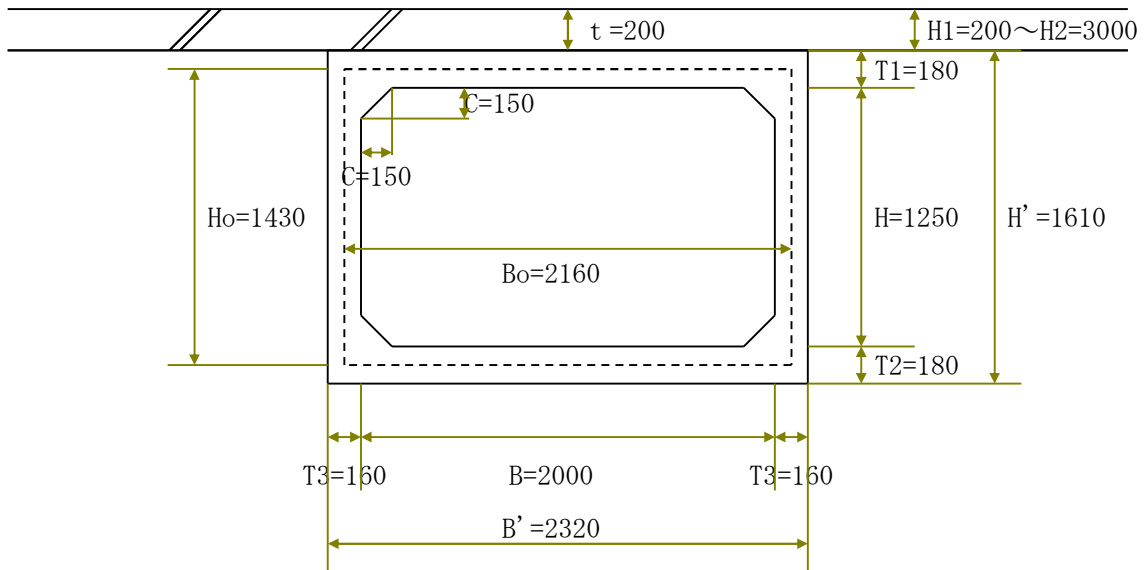
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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

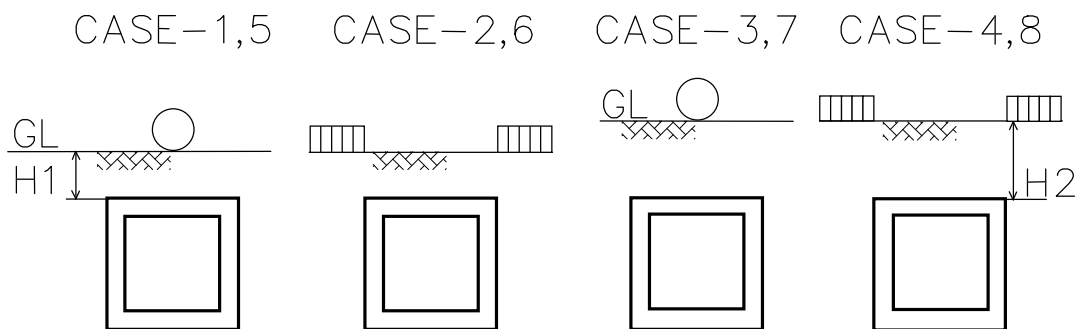
鉄筋引張応力度	: $\sigma sa = 160$ [N/mm <sup>2</sup> ]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma sy = 295$ [N/mm <sup>2</sup> ]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma ck = 35.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma ca = 11.7$ [N/mm <sup>2</sup> ]
せん断応力度	: $\tau a = 0.260$ [N/mm <sup>2</sup> ]

## 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

ハッチにある場合の部材断面の高さは、ハッ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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 4.410 \text{ kN/m}^2$$

## (2) 土圧

## ① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 4.500 \text{ kN/m}^2$$

## ② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 3.060 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 15.930 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 54.005 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.943, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.943$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 20.997 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 25.848 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 1.837 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 1.399 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -10.553 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 11.895 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -11.049 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 11.049 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 14.635 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -14.635 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 49.985 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 30.128 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 45.094 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 20.447 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 2.182 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -6.743 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

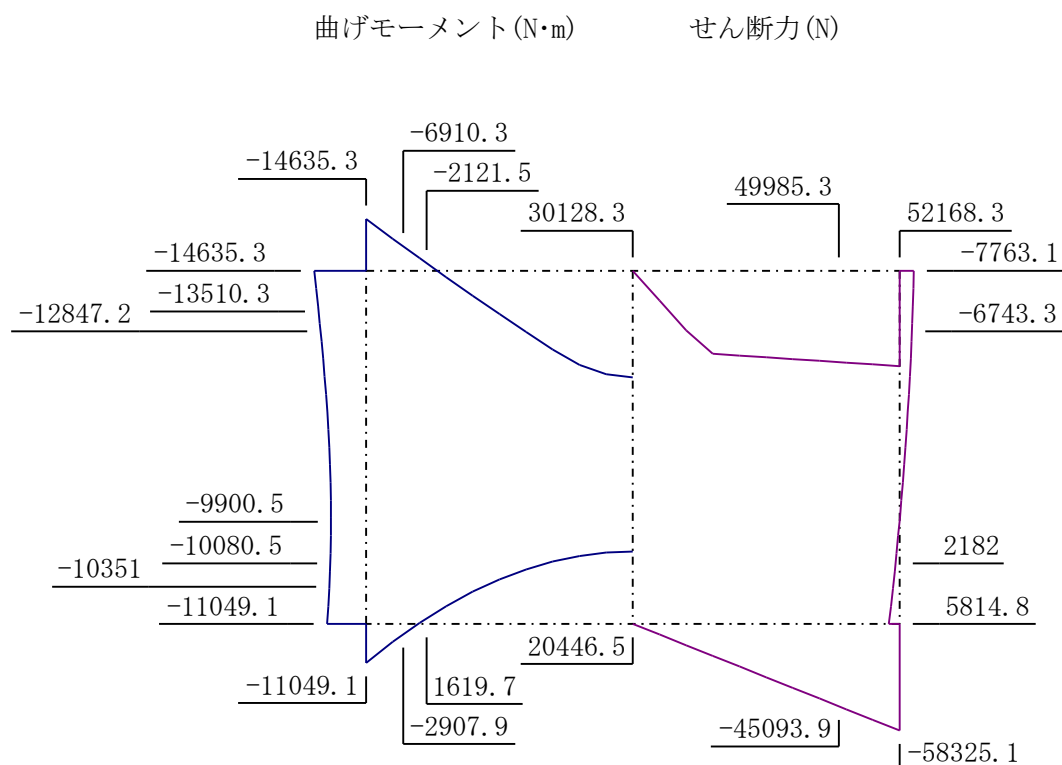
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.413 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -9.900 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[ / 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	0.080	-14635	52168	7763
	2 ハチ始点	0.230	-6910	*****	7763
	S2 τ 点	0.245	-2122	49985	7763
	1 中 央	1.080	30128	0	7763
底版	9, S9 端 部	0.080	-11049	58325	5815
	10 ハチ始点	0.230	-2908	*****	5815
	S10 τ 点	0.245	1620	45094	5815
	11 中 央	1.080	20447	0	5815
側壁	4, S4 上 端部	1.340	-14635	-7763	52168
	5 上ハチ点	1.190	-13510	*****	52814
	S5 上 τ 点	1.185	-12847	-6743	53223
	6 中 間	0.413	-9901	0	56547
	S7 下 τ 点	0.245	-10081	2182	57270
	7 下ハチ点	0.240	-10351	*****	57679
	8, S8 下 端部	0.090	-11049	5815	58325





## 2.2.1 設 計 荷 重 ( CASE - 2 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 4.410 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 8.060 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 20.930 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 14.611 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.943, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.943$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 5.681 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 3.464 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 2.689 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 2.251 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -1.308 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.857 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -4.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 4.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 2.657 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -2.657 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 7.440 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 2.540 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -5.333 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 4.073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 8.293 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -5.333 \text{ kN}$$

## 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。

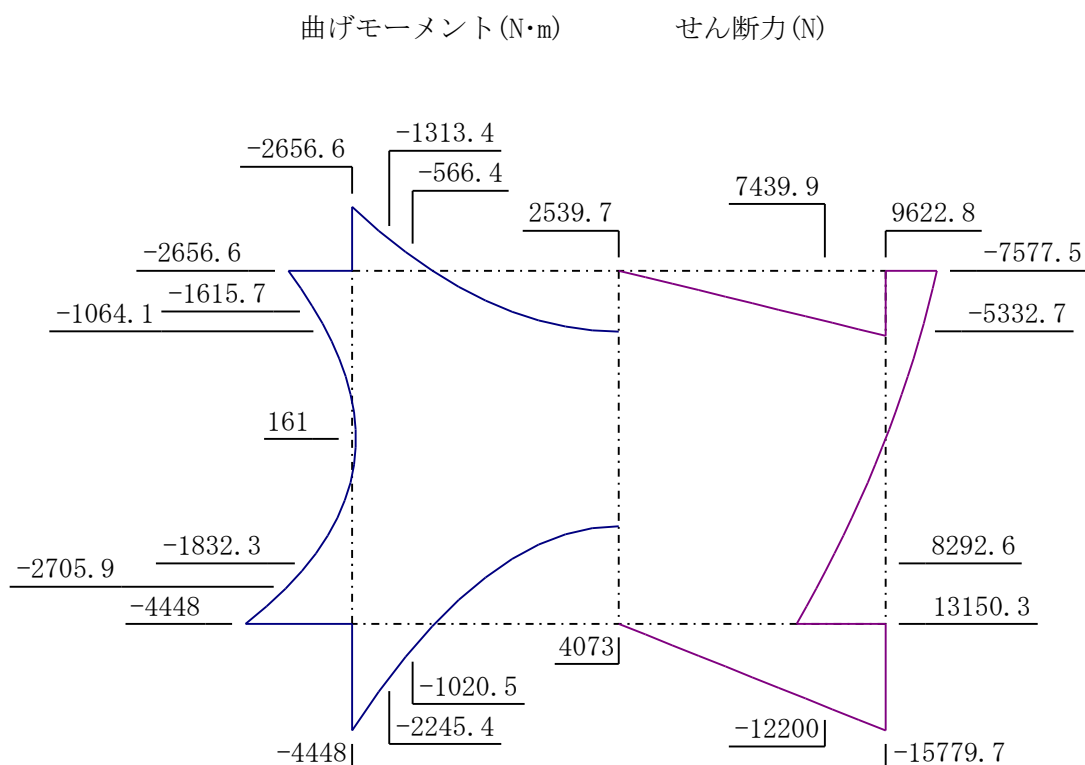
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.749 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.161 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.080	-2657	9623	7578
	2 ハチ始点	0.230	-1313	*****	7578
	S2 τ 点	0.245	-566	7440	7578
	1 中 央	1.080	2540	0	7578
底板	9, S9 端 部	0.080	-4448	15780	13150
	10 ハチ始点	0.230	-2245	*****	13150
	S10 τ 点	0.245	-1021	12200	13150
	11 中 央	1.080	4073	0	13150
側壁	4, S4 上 端部	1.340	-2657	-7578	9623
	5 上ハチ点	1.190	-1616	*****	10269
	S5 上 τ 点	1.185	-1064	-5333	10678
	6 中 間	0.749	161	0	12555
	S7 下 τ 点	0.245	-1832	8293	14725
	7 下ハチ点	0.240	-2706	*****	15134
	8, S8 下 端部	0.090	-4448	13150	15780



## 2.3.1 設 計 荷 重 ( CASE - 3 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 4.410 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.260 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 41.130 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 78.735 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.943, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.943$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 30.612 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 28.396 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 6.132 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 5.693 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -12.370 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 11.919 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -18.952 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 18.952 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 17.161 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -17.161 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 60.984 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 25.433 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 65.744 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 26.966 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 17.787 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -14.827 \text{ kN}$$

## 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。

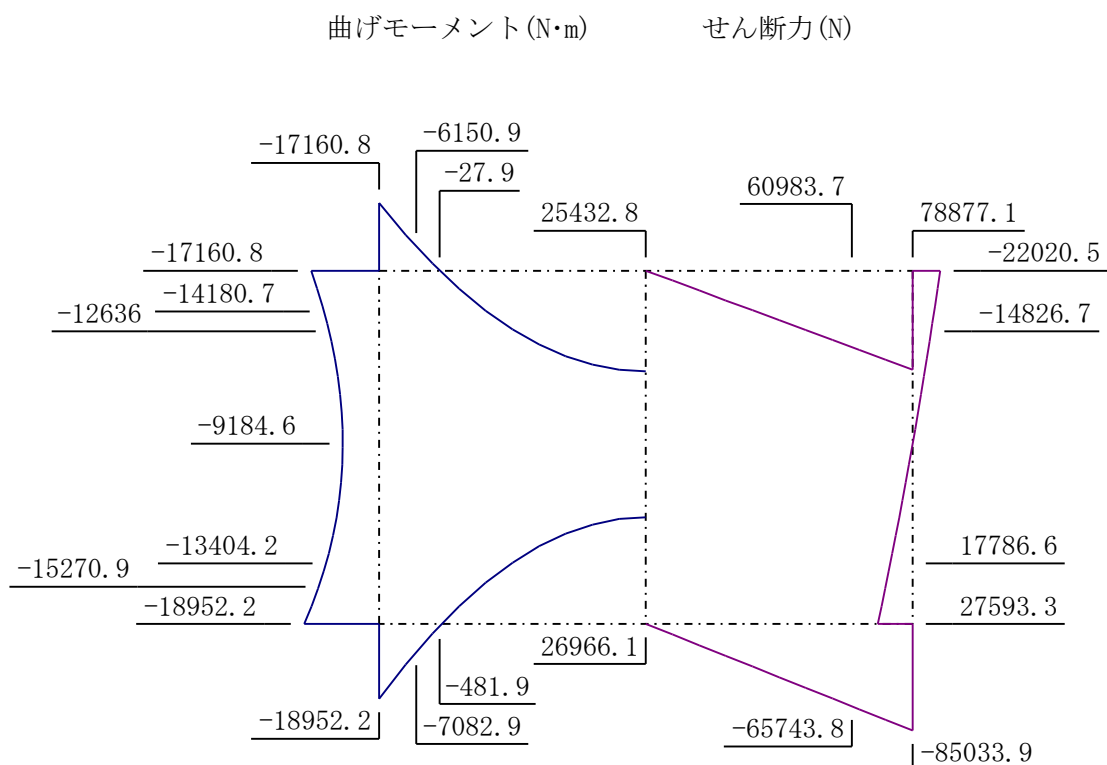
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.729 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -9.185 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.080	-17161	78877	22021
	2 ハチ始点	0.230	-6151	*****	22021
	S2 τ 点	0.245	-28	60984	22021
	1 中 央	1.080	25433	0	22021
底板	9, S9 端 部	0.080	-18952	85034	27593
	10 ハチ始点	0.230	-7083	*****	27593
	S10 τ 点	0.245	-482	65744	27593
	11 中 央	1.080	26966	0	27593
側壁	4, S4 上 端部	1.340	-17161	-22021	78877
	5 上ハチ点	1.190	-14181	*****	79523
	S5 上 τ 点	1.185	-12636	-14827	79932
	6 中 間	0.729	-9185	0	81895
	S7 下 τ 点	0.245	-13404	17787	83979
	7 下ハチ点	0.240	-15271	*****	84388
	8, S8 下 端部	0.090	-18952	27593	85034





## 2.4.1 設 計 荷 重 ( CASE - 4 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 4.410 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.260 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 46.130 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 65.011 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.943$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.943, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.943$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 25.276 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 23.060 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 6.984 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 6.545 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -9.184 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 8.733 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -16.619 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 16.619 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 14.828 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -14.828 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 49.524 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 19.762 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 54.284 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 21.295 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 20.137 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -17.177 \text{ kN}$$

## 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。

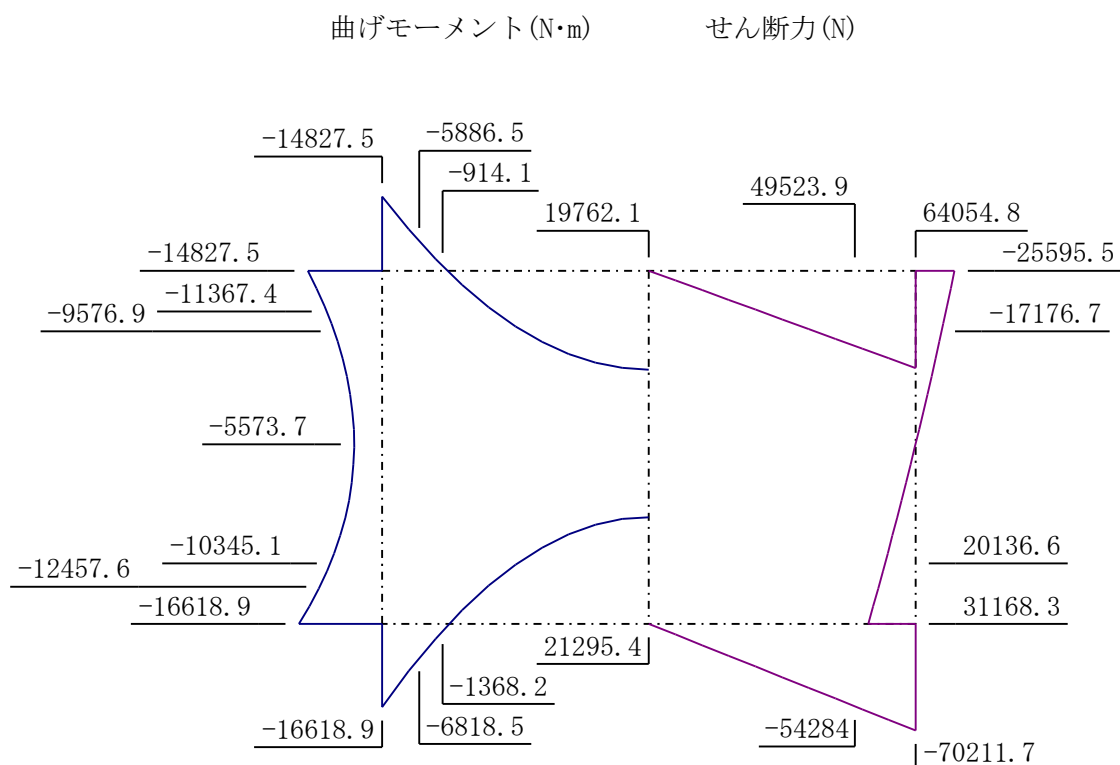
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.727 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -5.574 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /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	0.080	-14828	64055	25596
	2 ハチ始点	0.230	-5887	*****	25596
	S2 τ 点	0.245	-914	49524	25596
	1 中 央	1.080	19762	0	25596
底板	9, S9 端 部	0.080	-16619	70212	31168
	10 ハチ始点	0.230	-6819	*****	31168
	S10 τ 点	0.245	-1368	54284	31168
	11 中 央	1.080	21295	0	31168
側壁	4, S4 上 端部	1.340	-14828	-25596	64055
	5 上ハチ点	1.190	-11367	*****	64701
	S5 上 τ 点	1.185	-9577	-17177	65110
	6 中 間	0.727	-5574	0	67082
	S7 下 τ 点	0.245	-10345	20137	69157
	7 下ハチ点	0.240	-12458	*****	69566
	8, S8 下 端部	0.090	-16619	31168	70212



## 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	-17.161	22.020	77.93	8.00	18.922	3
頂版	ハチ始点	-6.910	7.763	89.01	5.50	7.337	1
	中 央	30.128	7.763	388.10	5.50	30.555	1
	端 部	-18.952	27.593	68.68	8.00	21.160	3
底版	ハチ始点	-7.083	27.593	25.67	5.50	8.601	3
	中 央	26.966	27.593	97.73	5.50	28.484	3
	上端部	-17.161	78.877	21.76	7.00	22.682	3
	上ハチ点	-13.510	52.814	25.58	4.50	15.887	1
側壁	中 間	-9.900	56.547	17.51	4.50	12.445	1
	下ハチ点	-15.271	84.388	18.10	4.50	19.068	3
	下端部	-18.952	85.034	22.29	7.00	24.905	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( $As$ )

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

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

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	18.922	8.65	12.15	23.00	5.296
頂版	ハチ始点	7.337	5.39	8.89	18.00	2.944
	中 央	30.555	11.00	14.50	18.00	14.869
	端 部	21.160	9.15	12.65	23.00	5.774
底版	ハチ始点	8.601	5.83	9.33	18.00	2.320
	中 央	28.484	10.62	14.12	18.00	12.525
	上端部	22.682	9.47	12.97	21.00	4.153
	上ハチ点	15.887	7.93	11.43	16.00	5.761
側壁	中 間	12.445	7.02	10.52	16.00	3.469
	下ハチ点	19.068	8.69	12.19	16.00	5.720
	下端部	24.905	9.93	13.43	21.00	4.707
d + d' < T					CHECK OK	

## 5 配筋及び実応力度

実応力度は、次式により計算する。

## 5.1 コンクリート及び鉄筋

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

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

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

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

## 配筋(製品当り)

頂版内側	頂版外側	底版内側	底版外側	側壁内側	側壁外側
D 19 - 7	D 13 - 7	D 16 - 14	D 13 - 7	D-0 - 0	D 13 - 7
D 16 - 7	D 10 - 7	D 0 - 0	D 10 - 7	D 0 - 0	D 10 - 7

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	6.931	5.949	3.63	124.1	0.0
	ハチ始点	100.00	6.931	4.826	2.36	70.9	0.0
	中 央	100.00	16.979	6.490	7.63	141.3	0.0
底版	端 部	100.00	6.931	6.025	4.02	134.7	0.0
	ハチ始点	100.00	6.931	5.584	2.44	58.4	0.0
	中 央	100.00	13.902	6.253	7.34	145.2	0.0
側壁	上端部	100.00	6.931	6.856	4.35	101.3	0.0
	上ハチ点	100.00	6.931	4.954	5.91	135.1	0.0
	中 間	100.00	6.931	5.373	4.33	86.1	0.0
	下ハチ点	100.00	6.931	5.328	6.67	134.8	0.0
	下端部	100.00	6.931	6.806	4.80	113.2	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	49.985	7.440	60.984	49.524				
	M			-0.028					
	N			22.020					
	最大			○					
底版 τ点	S	45.094	12.200	65.744	54.284				
	M			-0.482					
	N			27.593					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-6.743	-5.333	-14.827	-17.177				
	M				-9.577				
	N				65.110				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	2.182	8.293	17.787	20.137				
	M				-10.345				
	N				69.157				
	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)	Ce	引張鉄筋		鉄筋比 Pt (%)	Cpt
					径-本数	As ( $\text{cm}^2$ )		
頂版 $\tau$ 点	0.180	0.035	0.145000	1.400	D13-3.5 D10-3.5	6.931	0.478	1.178
底版 $\tau$ 点	0.180	0.035	0.145000	1.400	D13-3.5 D10-3.5	6.931	0.478	1.178
側壁上 $\tau$ 点	0.160	0.035	0.125000	1.400	D13-3.5 D10-3.5	6.931	0.554	1.232
側壁下 $\tau$ 点	0.160	0.035	0.125000	1.400	D13-3.5 D10-3.5	6.931	0.554	1.232

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	-0.028	22.020	0.18000	0.000486	0.09000	0.661	2.000
底版 $\tau$ 点	-0.482	27.593	0.18000	0.000486	0.09000	0.828	2.000
側壁上 $\tau$ 点	-9.577	65.110	0.16000	0.000341	0.08000	1.735	1.181
側壁下 $\tau$ 点	-10.345	69.157	0.16000	0.000341	0.08000	1.842	1.178

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	$C_n$	
頂版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.178	2.000	0.858
底版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.178	2.000	0.858
側壁上 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.232	1.181	0.530
側壁下 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.232	1.178	0.528

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	60.984	0.421	0.858	OK
底版 $\tau$ 点	65.744	0.453	0.858	OK
側壁上 $\tau$ 点	17.177	0.137	0.530	OK
側壁下 $\tau$ 点	20.137	0.161	0.528	OK

以 上