

受付 No.

台帳 No. RS411000



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) 3000 mm  
内 高(H) 1500 mm  
長 さ(L) 1000 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) 3000 × (H) 1500 × (L) 1000 [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
----------	-------------

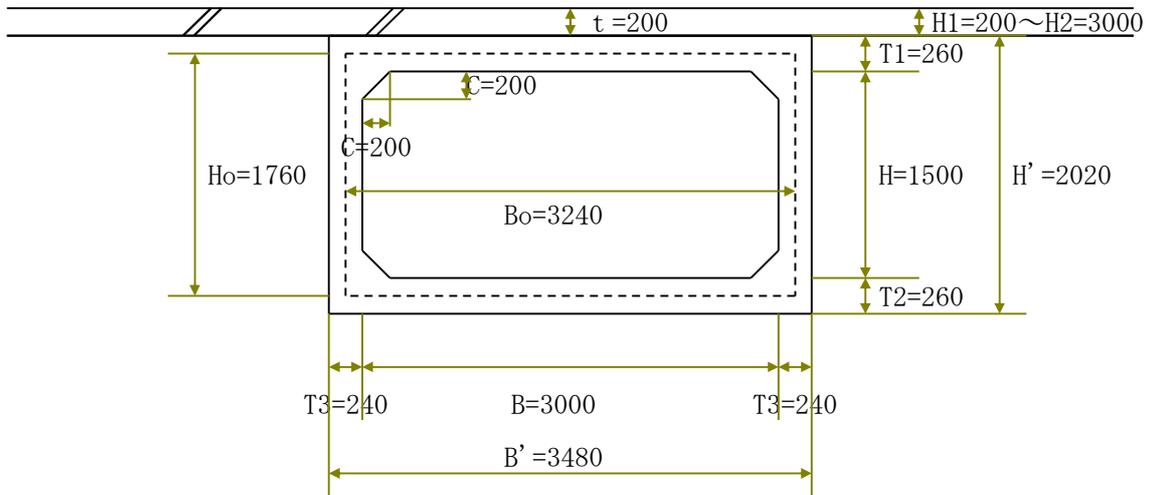
1.6 鉄筋かぶり	: 頂版 底版 側壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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

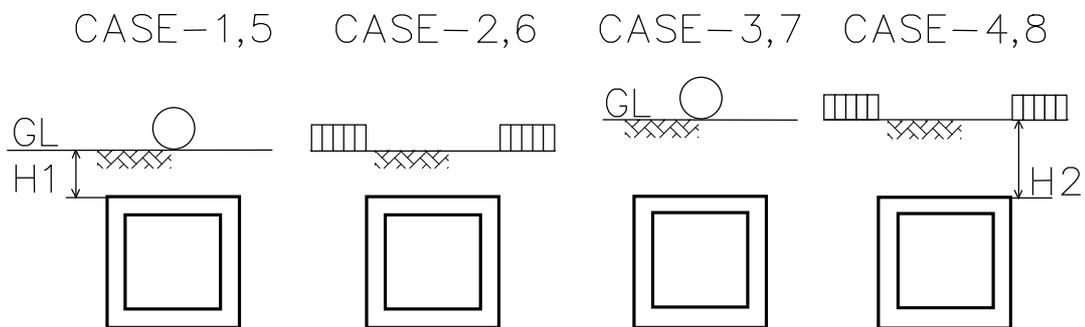
鉄筋引張応力度	: $\sigma_{sa} = 160$ [N/mm <sup>2</sup> ]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma_{sy} = 295$ [N/mm <sup>2</sup> ]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma_{ck} = 35.0$ [N/mm <sup>2</sup> ]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma_{ca} = 11.7$ [N/mm <sup>2</sup> ]
せん断応力度	: $\tau_a = 0.260$ [N/mm <sup>2</sup> ]

## 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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 3.420 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 19.260 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 44.126 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 38.601 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 43.577 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 3.336 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 2.518 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -21.787 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 23.357 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -23.554 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 23.554 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 27.445 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -27.445 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 56.350 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 49.360 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 56.040 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 34.348 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 3.901 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -8.119 \text{ kN}$$

## 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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。 } x = 0.611 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -20.641 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



## 2.2.1 設計荷重 (CASE - 2)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 8.420 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 24.260 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 17.863 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 15.627 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 9.509 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd_1 + 3 \times Phd_2) / 60 = 4.627 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd_2 + 3 \times Phd_1) / 60 = 3.809 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -5.657 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 4.221 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -11.720 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 11.720 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 6.594 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -6.594 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 13.805 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 7.670 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -5.645 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 11.720 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 11.675 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -5.645 \text{ kN}$$

## 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。

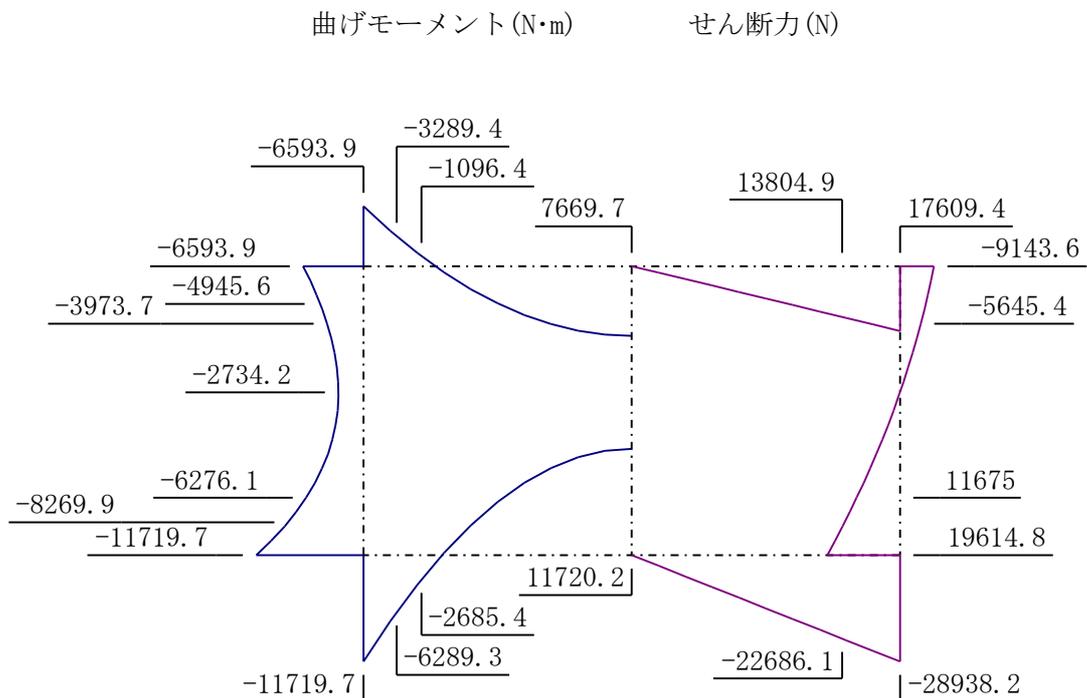
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.991 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -2.734 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 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	0.120	-6594	17609	9144
	2 ハチ始点	0.320	-3289	*****	9144
	S2 τ点	0.350	-1096	13805	9144
	1 中央	1.620	7670	0	9144
底版	9, S9 端部	0.120	-11720	28938	19615
	10 ハチ始点	0.320	-6289	*****	19615
	S10 τ点	0.350	-2685	22686	19615
	11 中央	1.620	11720	0	19615
側壁	4, S4 上端部	1.630	-6594	-9144	17609
	5 上ハチ点	1.430	-4946	*****	18897
	S5 上τ点	1.410	-3974	-5645	19862
	6 中間	0.991	-2734	0	22559
	S7 下τ点	0.350	-6276	11675	26685
	7 下ハチ点	0.330	-8270	*****	27651
	8, S8 下端部	0.130	-11720	19615	28938



## 2.3.1 設計荷重 (CASE - 3)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.620 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 44.460 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 81.987 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 71.723 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 65.605 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd_1 + 3 \times Phd_2) / 60 = 9.841 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd_2 + 3 \times Phd_1) / 60 = 9.023 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -35.753 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 34.317 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -47.030 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 47.030 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 41.904 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -41.904 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 95.243 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 56.503 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 104.124 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 60.554 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 22.381 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -16.351 \text{ kN}$$

## 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。

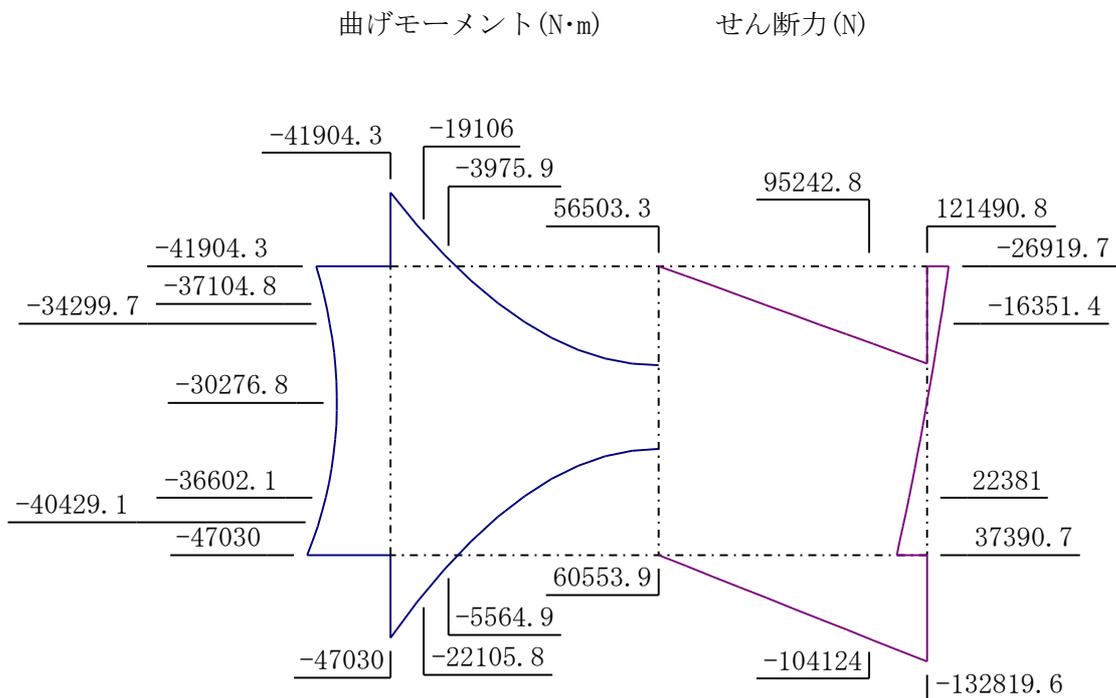
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.928 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -30.277 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

[ / 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	0.120	-41904	121491	26920
	2 ハッチ始点	0.320	-19106	*****	26920
	S2 τ点	0.350	-3976	95243	26920
	1 中央	1.620	56503	0	26920
底版	9, S9 端部	0.120	-47030	132820	37391
	10 ハッチ始点	0.320	-22106	*****	37391
	S10 τ点	0.350	-5565	104124	37391
	11 中央	1.620	60554	0	37391
側壁	4, S4 上端部	1.630	-41904	-26920	121491
	5 上ハッチ点	1.430	-37105	*****	122778
	S5 上τ点	1.410	-34300	-16351	123744
	6 中間	0.928	-30277	0	126846
	S7 下τ点	0.350	-36602	22381	130567
	7 下ハッチ点	0.330	-40429	*****	131532
	8, S8 下端部	0.130	-47030	37391	132820



## 2.4.1 設計荷重 (CASE - 4)

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.620 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 49.460 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 68.263 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 59.717 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 53.599 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 11.132 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 10.314 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -27.888 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 26.452 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -40.456 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 40.456 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 35.330 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -35.330 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 77.813 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + MBC = 45.069 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 86.694 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - MAD = 49.119 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (MAB + MBA) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 25.031 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (MAB + MBA) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -19.001 \text{ kN}$$

## 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。

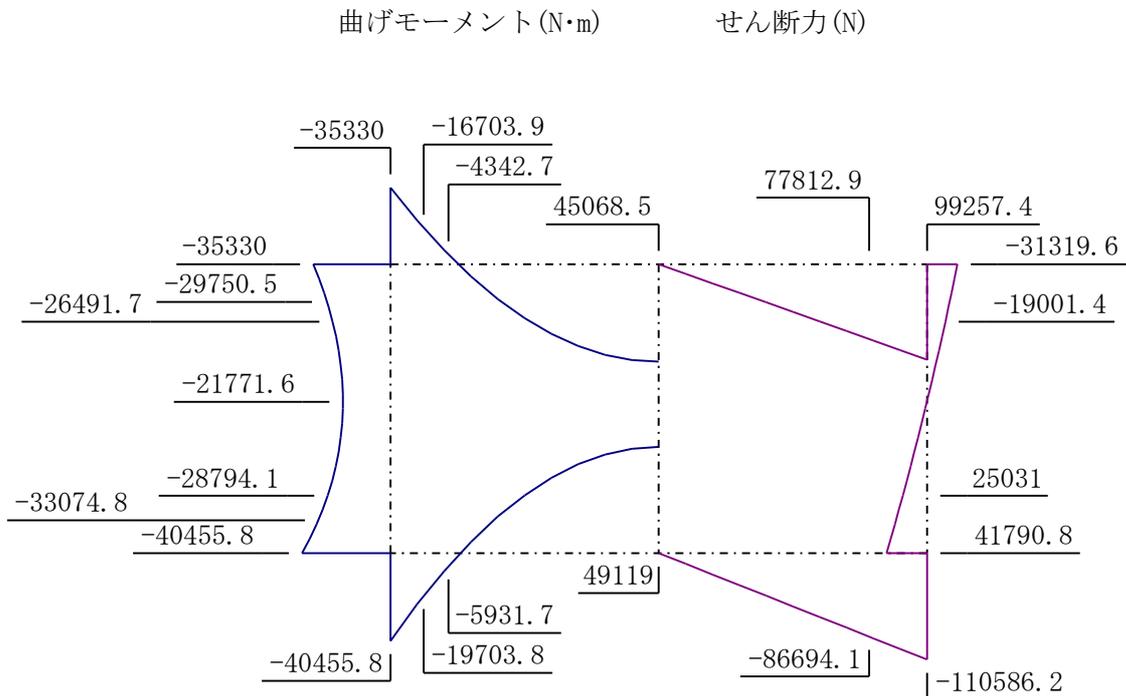
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.922 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + MAB \end{aligned} = -21.772 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

[ / 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	0.120	-35330	99257	31320
	2 ハッチ始点	0.320	-16704	*****	31320
	S2 τ点	0.350	-4343	77813	31320
	1 中央	1.620	45069	0	31320
底版	9, S9 端部	0.120	-40456	110586	41791
	10 ハッチ始点	0.320	-19704	*****	41791
	S10 τ点	0.350	-5932	86694	41791
	11 中央	1.620	49119	0	41791
側壁	4, S4 上端部	1.630	-35330	-31320	99257
	5 上ハッチ点	1.430	-29751	*****	100545
	S5 上τ点	1.410	-26492	-19001	101510
	6 中間	0.922	-21772	0	104652
	S7 下τ点	0.350	-28794	25031	108333
	7 下ハッチ点	0.330	-33075	*****	109299
	8, S8 下端部	0.130	-40456	41791	110586



## 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	-41.904	26.920	155.66	12.83	45.359	3
頂版	ハチ始点	-19.106	26.920	70.97	9.50	21.663	3
	中央	56.503	26.920	209.90	9.50	59.061	3
	端部	-47.030	37.391	125.78	12.83	51.828	3
底版	ハチ始点	-22.106	37.391	59.12	9.50	25.658	3
	中央	60.554	37.391	161.95	9.50	64.106	3
	上端部	-41.904	121.491	34.49	11.83	56.281	3
	上ハチ点	-37.105	122.778	30.22	8.50	47.541	3
側壁	中間	-30.277	126.846	23.87	8.50	41.059	3
	下ハチ点	-40.429	131.532	30.74	8.50	51.609	3
	下端部	-47.030	132.820	35.41	11.83	62.747	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	45.359	13.40	16.90	32.67	9.044
頂版	ハチ始点	21.663	9.26	12.76	26.00	4.895
	中央	59.061	15.29	18.79	26.00	17.184
	端部	51.828	14.32	17.82	32.67	9.996
底版	ハチ始点	25.658	10.08	13.58	26.00	5.511
	中央	64.106	15.93	19.43	26.00	18.244
	上端部	56.281	14.93	18.43	30.67	6.946
	上ハチ点	47.541	13.72	17.22	24.00	8.964
側壁	中間	41.059	12.75	16.25	24.00	6.319
	下ハチ点	51.609	14.29	17.79	24.00	9.930
	下端部	62.747	15.76	19.26	30.67	8.002
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 - 10	D 13 - 10	D 16 - 10	D 13 - 10	D-0 - 0	D 13 - 10
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	12.670	9.421	3.70	116.3	0.0
	ハチ始点	100.00	12.670	8.418	2.61	65.6	0.0
	中 央	100.00	19.860	9.291	6.55	139.7	0.0
底版	端 部	100.00	12.670	9.573	4.17	128.0	0.0
	ハチ始点	100.00	12.670	8.602	3.04	73.6	0.0
	中 央	100.00	19.860	9.386	7.05	147.8	0.0
側壁	上端部	100.00	12.670	11.118	4.32	93.4	0.0
	上ハチ点	100.00	12.670	8.953	6.06	117.3	0.0
	中 間	100.00	12.670	9.492	4.99	86.8	0.0
	下ハチ点	100.00	12.670	8.919	6.60	128.6	0.0
	下端部	100.00	12.670	11.041	4.84	106.0	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	56.350	13.805	95.243	77.813				
	M			-3.976					
	N			26.920					
	最大			○					
底版 τ点	S	56.040	22.686	104.124	86.694				
	M			-5.565					
	N			37.391					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-8.119	-5.645	-16.351	-19.001				
	M				-26.492				
	N				101.510				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	3.901	11.675	22.381	25.031				
	M				-28.794				
	N				108.333				
	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	0.260	0.035	0.225000	1.400	D13-10	12.670	0.563	1.238
底版 $\tau$ 点	0.260	0.035	0.225000	1.400	D13-10	12.670	0.563	1.238
側壁上 $\tau$ 点	0.240	0.035	0.205000	1.400	D13-10	12.670	0.618	1.271
側壁下 $\tau$ 点	0.240	0.035	0.205000	1.400	D13-10	12.670	0.618	1.271

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	-3.976	26.920	0.26000	0.001465	0.13000	1.167	1.293
底版 $\tau$ 点	-5.565	37.391	0.26000	0.001465	0.13000	1.621	1.291
側壁上 $\tau$ 点	-26.492	101.510	0.24000	0.001152	0.12000	4.060	1.153
側壁下 $\tau$ 点	-28.794	108.333	0.24000	0.001152	0.12000	4.333	1.150

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	1.238	1.293	0.583
底版 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.238	1.291	0.582
側壁上 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.271	1.153	0.534
側壁下 $\tau$ 点	0.260	1.400	1.271	1.150	0.532

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	95.243	0.423	0.583	OK
底版 $\tau$ 点	104.124	0.463	0.582	OK
側壁上 $\tau$ 点	19.001	0.093	0.534	OK
側壁下 $\tau$ 点	25.031	0.122	0.532	OK

以上