

受付 No.

台帳 No. RL440000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 1300 mm  
内 高(H) 1300 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) 1300 × (H) 1300 × (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 |
|----------|-------------|

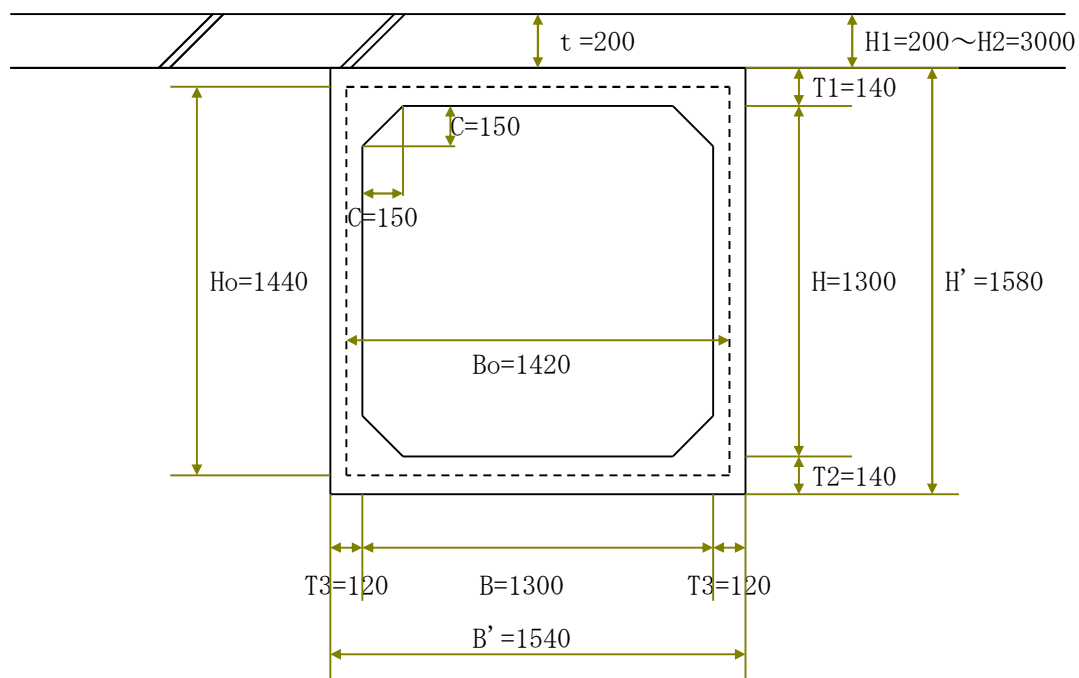
|           |        |       |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|-------|
| 1.6 鉄筋かぶり | :      | 頂 版   | 底 版   | 側 壁   |
|           | : (内側) | 35 mm | 35 mm | 35 mm |
|           | : (外側) | 35 mm | 35 mm | 35 mm |

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| 1.7 断面力低減係数 (土被り H1) | : $\beta = 0.9$ |
| (土被り H2)             | : $\beta = 0.9$ |

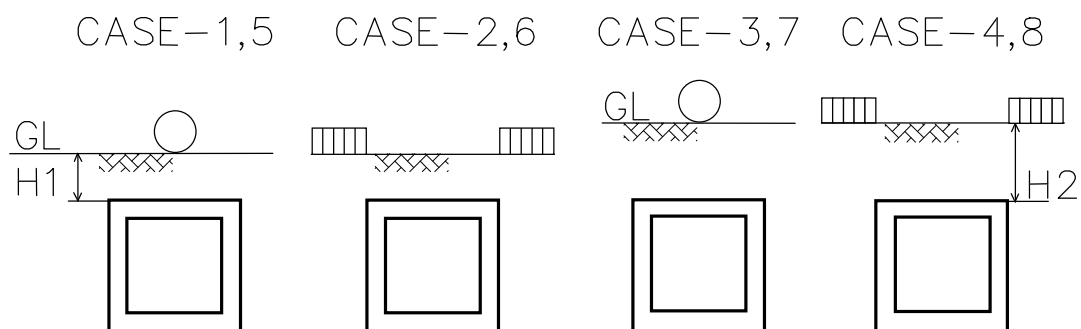
## 1.8 許容応力度

|          |   |
|----------|---|
| 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   | : $\sigma ck = 40.0$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
| 曲げ圧縮応力度  | : $\sigma ca = 14.0$ [N/mm <sup>2</sup> ] |
| せん断応力度   | : $\tau a = 0.270$ [N/mm <sup>2</sup> ]   |

## 1.9 標準断面図



## 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

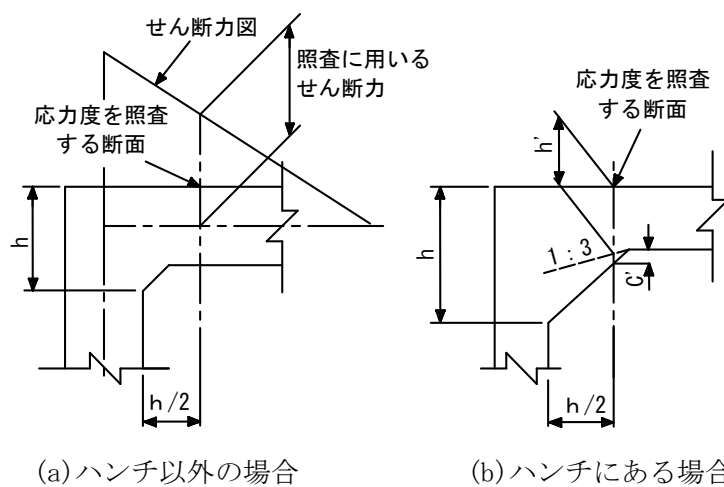
せん断力



### 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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 2.880 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 15.840 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 74.592 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.610, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.610$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 12.534 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 15.537 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 1.841 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 1.393 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -4.383 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 5.132 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -5.476 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 5.476 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 7.274 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -7.274 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 46.550 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 18.550 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 37.669 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 13.325 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 3.988 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -5.653 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

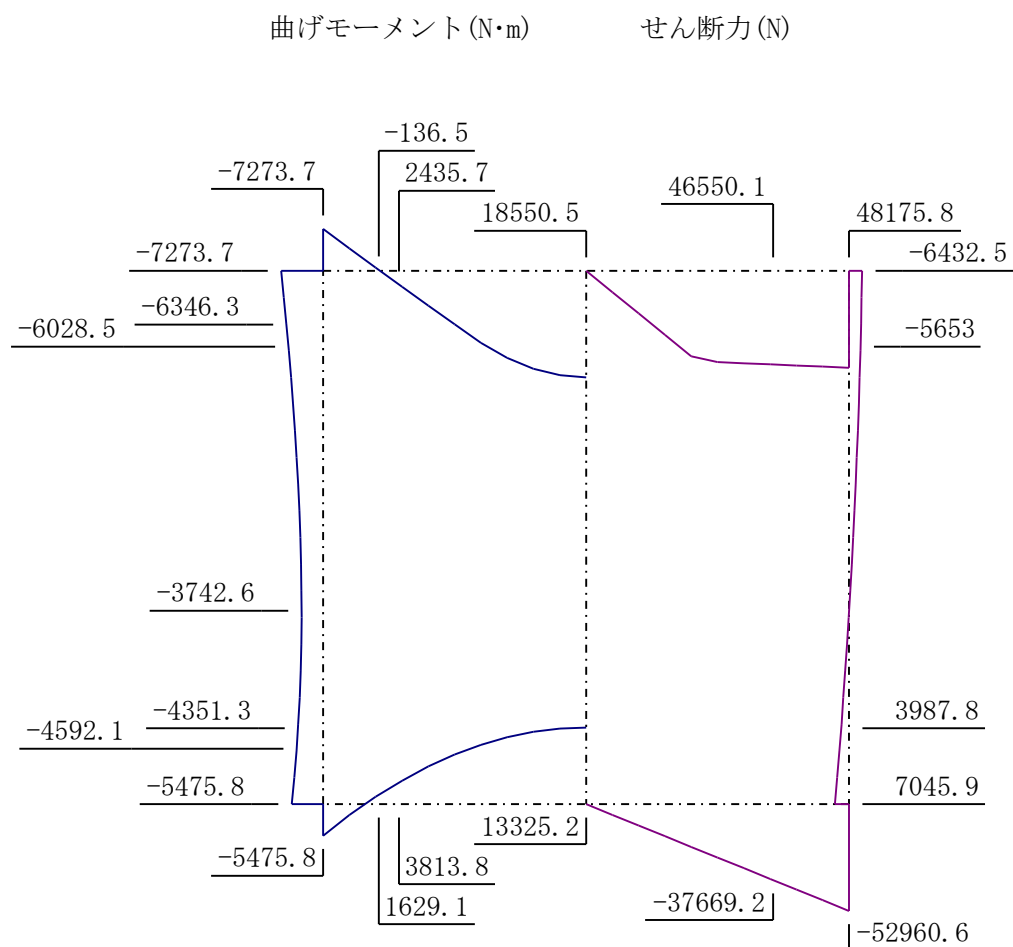
接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.522 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -3.743 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

|    |           | [ / 単位長]    |                    |               |             |
|----|-----------|-------------|--------------------|---------------|-------------|
| 部材 | 照査点       | 距離<br>x (m) | 曲げモーメント<br>M (N*m) | せん断力<br>S (N) | 軸力<br>N (N) |
| 頂版 | 3, S3 端部  | 0.060       | -7274              | 48176         | 6433        |
|    | 2 ハチ始点    | 0.210       | -137               | *****         | 6433        |
|    | S2 τ点     | 0.205       | 2436               | 46550         | 6433        |
|    | 1 中央      | 0.710       | 18551              | 0             | 6433        |
| 底版 | 9, S9 端部  | 0.060       | -5476              | 52961         | 7046        |
|    | 10 ハチ始点   | 0.210       | 1629               | *****         | 7046        |
|    | S10 τ点    | 0.205       | 3814               | 37669         | 7046        |
|    | 11 中央     | 0.710       | 13325              | 0             | 7046        |
| 側壁 | 4, S4 上端部 | 1.370       | -7274              | -6433         | 48176       |
|    | 5 上ハチ点    | 1.220       | -6346              | *****         | 48674       |
|    | S5 上τ点    | 1.235       | -6029              | -5653         | 48857       |
|    | 6 中間      | 0.522       | -3743              | 0             | 51226       |
|    | S7 下τ点    | 0.205       | -4351              | 3988          | 52279       |
|    | 7 下ハチ点    | 0.220       | -4592              | *****         | 52462       |
|    | 8, S8 下端部 | 0.070       | -5476              | 7046          | 52961       |





## 2.2.1 設 計 荷 重 ( CASE - 2 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 7.880 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 20.840 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 14.669 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.610, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.610$$

## ② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 2.465 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 1.333 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 2.705 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 2.257 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.149 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.297 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -2.705 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 2.705 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 1.812 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -1.812 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

## (1) 頂版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 4.005 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.187 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底板

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -6.359 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 0.993 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 8.432 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -6.359 \text{ kN}$$

## 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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.709 \text{ m}$$

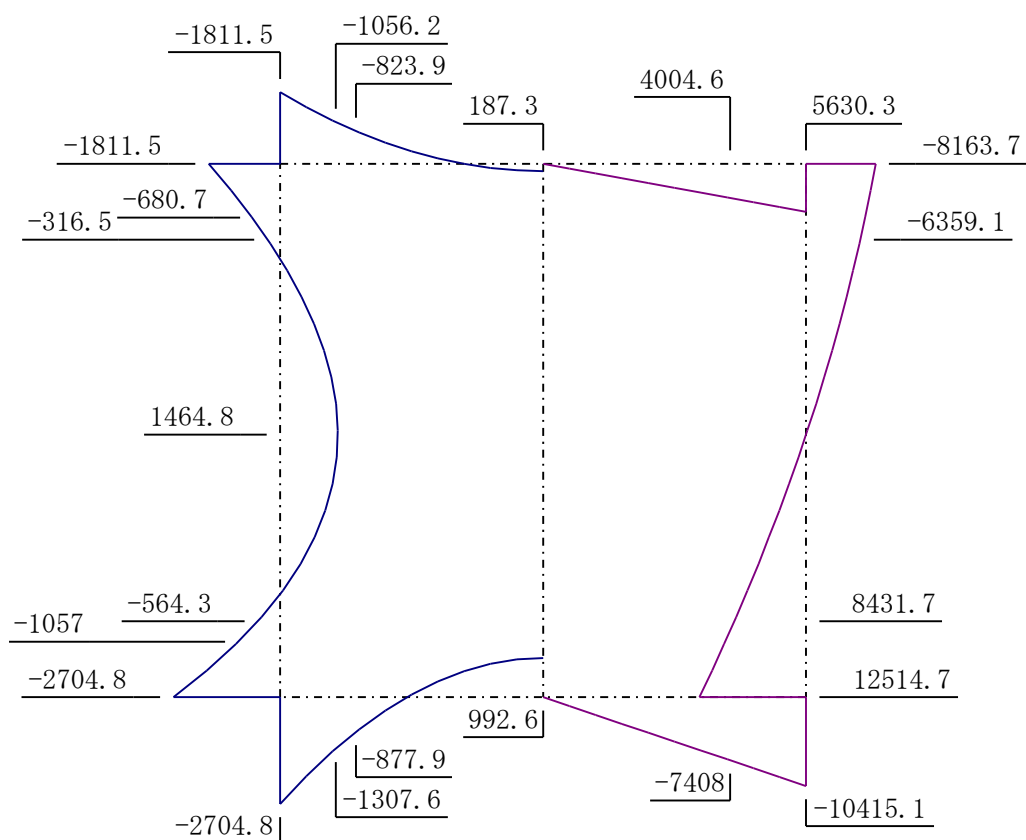
$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 1.465 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 単位長]

| 部材 | 照査点        | 距 離<br>x (m) | 曲げモーメント<br>M (N*m) | せん断力<br>S (N) | 軸 力<br>N (N) |
|----|------------|--------------|--------------------|---------------|--------------|
| 頂版 | 3, S3 端 部  | 0.060        | -1812              | 5630          | 8164         |
|    | 2 ハチ始点     | 0.210        | -1056              | *****         | 8164         |
|    | S2 τ 点     | 0.205        | -824               | 4005          | 8164         |
|    | 1 中 央      | 0.710        | 187                | 0             | 8164         |
| 底版 | 9, S9 端 部  | 0.060        | -2705              | 10415         | 12515        |
|    | 10 ハチ始点    | 0.210        | -1308              | *****         | 12515        |
|    | S10 τ 点    | 0.205        | -878               | 7408          | 12515        |
|    | 11 中 央     | 0.710        | 993                | 0             | 12515        |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 1.370        | -1812              | -8164         | 5630         |
|    | 5 上ハチ点     | 1.220        | -681               | *****         | 6129         |
|    | S5 上 τ 点   | 1.235        | -317               | -6359         | 6312         |
|    | 6 中 間      | 0.709        | 1465               | 0             | 8059         |
|    | S7 下 τ 点   | 0.205        | -564               | 8432          | 9734         |
|    | 7 下ハチ点     | 0.220        | -1057              | *****         | 9917         |
|    | 8, S8 下 端部 | 0.070        | -2705              | 12515         | 10415        |

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.080 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 41.040 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 78.794 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.610, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.610$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 13.240 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 12.108 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 6.196 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 5.748 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -2.642 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 2.493 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -8.986 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 8.986 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 8.093 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -8.093 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 36.387 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 10.069 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 39.791 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 10.874 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 18.835 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -16.762 \text{ kN}$$

## 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。

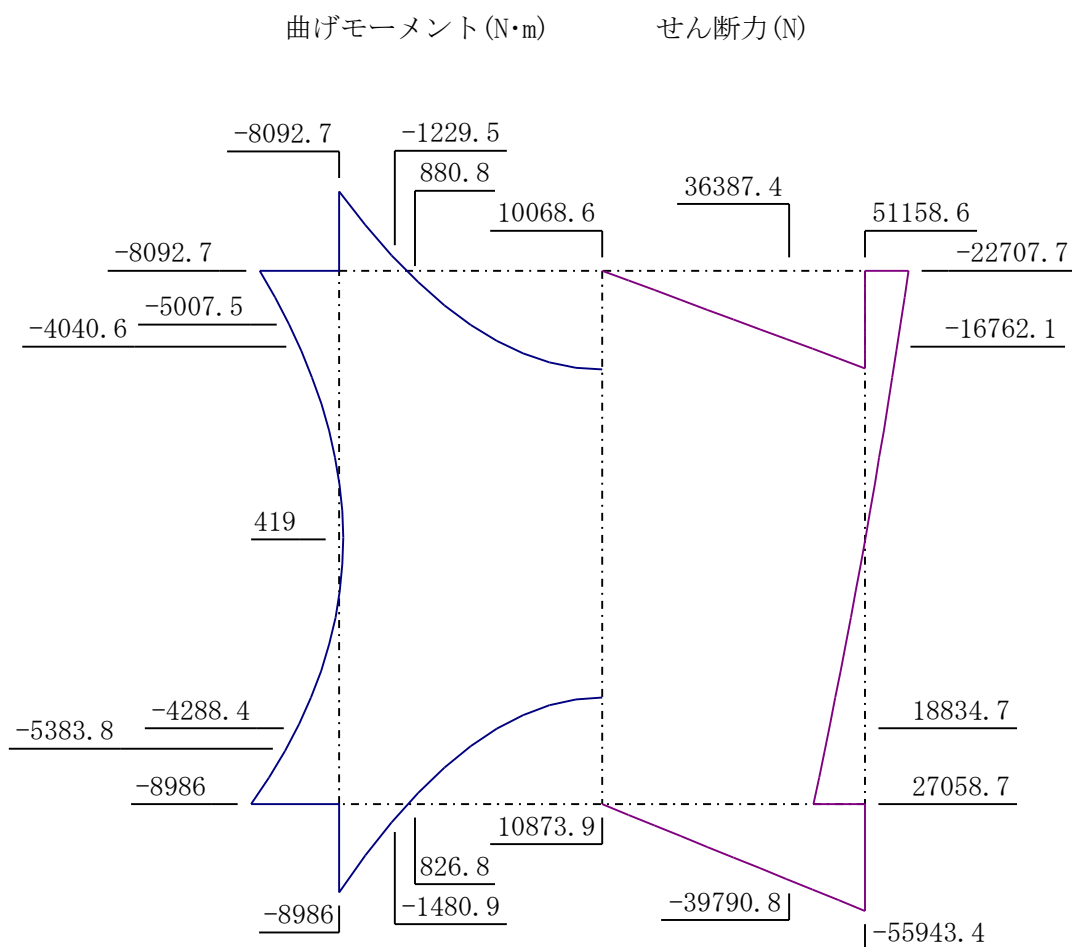
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.715 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.419 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ /単位長]

| 部材 | 照査点        | 距 離<br>x (m) | 曲げモーメント<br>M (N*m) | せん断力<br>S (N) | 軸 力<br>N (N) |
|----|------------|--------------|--------------------|---------------|--------------|
| 頂版 | 3, S3 端 部  | 0.060        | -8093              | 51159         | 22708        |
|    | 2 ハチ始点     | 0.210        | -1230              | *****         | 22708        |
|    | S2 τ 点     | 0.205        | 881                | 36387         | 22708        |
|    | 1 中 央      | 0.710        | 10069              | 0             | 22708        |
| 底版 | 9, S9 端 部  | 0.060        | -8986              | 55943         | 27059        |
|    | 10 ハチ始点    | 0.210        | -1481              | *****         | 27059        |
|    | S10 τ 点    | 0.205        | 827                | 39791         | 27059        |
|    | 11 中 央     | 0.710        | 10874              | 0             | 27059        |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 1.370        | -8093              | -22708        | 51159        |
|    | 5 上ハチ点     | 1.220        | -5008              | *****         | 51657        |
|    | S5 上 τ 点   | 1.235        | -4041              | -16762        | 51840        |
|    | 6 中 間      | 0.715        | 419                | 0             | 53568        |
|    | S7 下 τ 点   | 0.205        | -4288              | 18835         | 55262        |
|    | 7 下ハチ点     | 0.220        | -5384              | *****         | 55445        |
|    | 8, S8 下 端部 | 0.070        | -8986              | 27059         | 55943        |





## 2.4.1 設 計 荷 重 ( CASE - 4 )

## (1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 3.430 \text{ kN/m}^2$$

## (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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.080 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 46.040 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 65.069 \text{ kN/m}^2$$

[ 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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.610$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.610, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.610$$

## ② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 10.934 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 9.801 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 7.060 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 6.612 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -1.427 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 1.279 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## ④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -8.636 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 8.636 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 7.742 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -7.742 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

## 2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

## (1) 頂 版

## ① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 29.457 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 6.960 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (2) 底 版

## ① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 32.860 \text{ kN}$$

## ② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 7.765 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

## (3) 側 壁

## ① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 21.410 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -19.337 \text{ kN}$$

## 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。

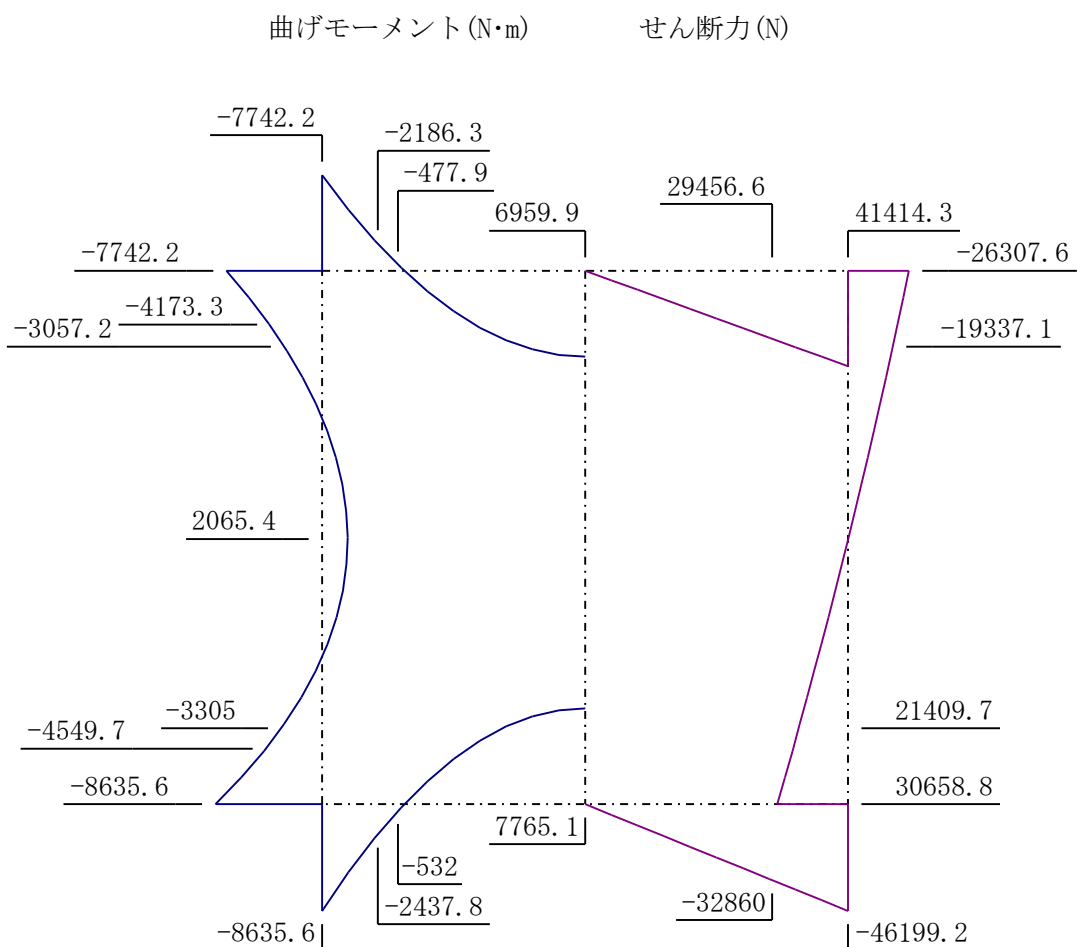
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.716 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 2.065 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[ / 単位長]

| 部材 | 照査点        | 距 離<br>x (m) | 曲げモーメント<br>M (N*m) | せん断力<br>S (N) | 軸 力<br>N (N) |
|----|------------|--------------|--------------------|---------------|--------------|
| 頂版 | 3, S3 端 部  | 0.060        | -7742              | 41414         | 26308        |
|    | 2 ハチ始点     | 0.210        | -2186              | *****         | 26308        |
|    | S2 τ 点     | 0.205        | -478               | 29457         | 26308        |
|    | 1 中 央      | 0.710        | 6960               | 0             | 26308        |
| 底版 | 9, S9 端 部  | 0.060        | -8636              | 46199         | 30659        |
|    | 10 ハチ始点    | 0.210        | -2438              | *****         | 30659        |
|    | S10 τ 点    | 0.205        | -532               | 32860         | 30659        |
|    | 11 中 央     | 0.710        | 7765               | 0             | 30659        |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 1.370        | -7742              | -26308        | 41414        |
|    | 5 上ハチ点     | 1.220        | -4173              | *****         | 41913        |
|    | S5 上 τ 点   | 1.235        | -3057              | -19337        | 42096        |
|    | 6 中 間      | 0.716        | 2065               | 0             | 43820        |
|    | S7 下 τ 点   | 0.205        | -3305              | 21410         | 45518        |
|    | 7 下ハチ点     | 0.220        | -4550              | *****         | 45701        |
|    | 8, S8 下 端部 | 0.070        | -8636              | 30659         | 46199        |



## 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<br>(kN・m) | N<br>(kN) | e<br>(cm) | c<br>(cm) | Ms<br>(kN・m) | CASE<br>M |
|----|------|-------------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|
|    | 端 部  | -7.274      | 6.433     | 113.08    | 6.00      | 7.660        | 1         |
| 頂版 | ハチ始点 | -2.186      | 26.308    | 8.31      | 3.50      | 3.107        | 4         |
|    | 中 央  | 18.550      | 6.433     | 288.39    | 3.50      | 18.776       | 1         |
|    | 端 部  | -8.986      | 27.059    | 33.21     | 6.00      | 10.610       | 3         |
| 底版 | ハチ始点 | 1.629       | 7.046     | 23.12     | 3.50      | 1.876        | 1         |
|    | 中 央  | 13.325      | 7.046     | 189.12    | 3.50      | 13.572       | 1         |
|    | 上端部  | -7.742      | 41.414    | 18.69     | 5.00      | 9.813        | 4         |
|    | 上ハチ点 | -6.346      | 48.674    | 13.04     | 2.50      | 7.563        | 1         |
| 側壁 | 中 間  | -3.743      | 51.226    | 7.31      | 2.50      | 5.023        | 1         |
|    | 下ハチ点 | -5.384      | 55.445    | 9.71      | 2.50      | 6.770        | 3         |
|    | 下端部  | -8.636      | 46.199    | 18.69     | 5.00      | 10.946       | 4         |

注1) CASEのMは、曲げモーメント抽出ケースを示す。

## 4 必要有効高および必要鉄筋量

## 4.1 必要有効高

$$k = n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) = 0.568$$

$$c1 = \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} = 0.557$$

$$d = c1 \times \sqrt{Ms / b} \quad h = d + d' < T$$

ここに、  
 $M$  : 軸力を考慮した曲げモーメント (kN・m/m)  
 $b$  : 単位長 (cm)  
 $d'$  : 鉄筋かぶり (cm)  
 $h$  : 必要部材厚 (cm)  
 $n$  : ヤング係数比 (15)

## 4.2 必要鉄筋量

鉄筋の曲げ引張応力度が許容値( $\sigma_{sa}$ )に達する場合の必要鉄筋量( $A_s$ )

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

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

上式を解いて  $\sigma_c$  を求める。また  $da = T - d'$  とする。

$$\therefore s = n \times \sigma_c / (n \times \sigma_c \times \sigma_{sa})$$

| 部材         | 点    | Ms<br>(kN・m/m) | 必要有効高<br>d (cm) | 必要部材厚<br>d + d' (cm) | 部材厚<br>T (cm) | 必要鉄筋量<br>As (cm <sup>2</sup> /m) |
|------------|------|----------------|-----------------|----------------------|---------------|----------------------------------|
|            | 端 部  | 7.660          | 4.88            | 8.38                 | 19.00         | 2.936                            |
| 頂版         | ハチ始点 | 3.107          | 3.11            | 6.61                 | 14.00         | 0.346                            |
|            | 中 央  | 18.776         | 7.63            | 11.13                | 14.00         | 12.764                           |
|            | 端 部  | 10.610         | 5.74            | 9.24                 | 19.00         | 2.991                            |
| 底版         | ハチ始点 | 1.876          | 2.41            | 5.91                 | 14.00         | 0.742                            |
|            | 中 央  | 13.572         | 6.49            | 9.99                 | 14.00         | 8.880                            |
|            | 上端部  | 9.813          | 5.52            | 9.02                 | 17.00         | 2.427                            |
|            | 上ハチ点 | 7.563          | 4.85            | 8.35                 | 12.00         | 3.312                            |
| 側壁         | 中 間  | 5.023          | 3.95            | 7.45                 | 12.00         | 0.926                            |
|            | 下ハチ点 | 6.770          | 4.58            | 8.08                 | 12.00         | 2.187                            |
|            | 下端部  | 10.946         | 5.83            | 9.33                 | 17.00         | 2.736                            |
| 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 - 14 | D 10 - 14 | D 16 - 7 | D 10 - 14 | D-0 - 0 | D 10 - 14 |
| D 0 - 0   | D 0 - 0   | D 13 - 7 | D 0 - 0   | D 0 - 0 | D 0 - 0   |

| 部材  | 点    | 部材幅<br>b (cm) | 使用鉄筋量<br>A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m) | x<br>(cm) | 実 応 力 度 (N/mm <sup>2</sup> )<br>$\sigma_c$ | $\sigma_s$ | $\sigma_s'$ |
|---|------|---------------|--|-----------|--|------------|-------------|
| 頂版  | 端 部  | 100.00        | 4.993  | 4.351     | 2.51                                       | 96.3       | 0.0         |
|   | ハチ始点 | 100.00        | 4.993  | 5.392     | 1.32                                       | 18.8       | 0.0         |
|   | 中 央  | 100.00        | 13.902                                       | 4.905     | 8.64                                       | 147.7      | 0.0         |
| 底版  | 端 部  | 100.00        | 4.993  | 4.945     | 3.10                                       | 99.2       | 0.0         |
|   | ハチ始点 | 100.00        | 11.385                                       | 5.197     | 0.82                                       | 12.6       | 0.0         |
|   | 中 央  | 100.00        | 11.385                                       | 4.598     | 6.58                                       | 126.7      | 0.0         |
| 側壁  | 上端部  | 100.00        | 4.993  | 5.032     | 3.30                                       | 83.3       | 0.0         |
|   | 上ハチ点 | 100.00        | 4.993  | 3.683     | 5.65                                       | 110.8      | 0.0         |
|   | 中 間  | 100.00        | 4.993  | 4.541     | 3.17                                       | 41.4       | 0.0         |
|   | 下ハチ点 | 100.00        | 4.993  | 4.025     | 4.70                                       | 78.4       | 0.0         |
|   | 下端部  | 100.00        | 4.993  | 5.032     | 3.68                                       | 92.9       | 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<br>τ 点  | S   | 46.550 | 4.005  | 36.387  | 29.457  |        |        |        |        |
|            | M   | 2.436  |        |         |         |        |        |        |        |
|            | N   | 6.433  |        |         |         |        |        |        |        |
|            | 最大  | ○      |        |         |         |        |        |        |        |
| 底版<br>τ 点  | S   | 37.669 | 7.408  | 39.791  | 32.860  |        |        |        |        |
|            | M   |        |        | 0.827   |         |        |        |        |        |
|            | N   |        |        | 27.059  |         |        |        |        |        |
|            | 最大  |        |        | ○       |         |        |        |        |        |
| 側壁上<br>τ 点 | S   | -5.653 | -6.359 | -16.762 | -19.337 |        |        |        |        |
|            | M   |        |        |         | -3.057  |        |        |        |        |
|            | N   |        |        |         | 42.096  |        |        |        |        |
|            | 最大  |        |        |         | ○       |        |        |        |        |
| 側壁下<br>τ 点 | S   | 3.988  | 8.432  | 18.835  | 21.410  |        |        |        |        |
|            | M   |        |        |         | -3.305  |        |        |        |        |
|            | N   |        |        |         | 45.518  |        |        |        |        |
|            | 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(Cn)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、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<br>T<br>(m) | かぶり<br>d'<br>(m) | 有効高<br>d<br>(m) | Ce    | 引張鉄筋               |                          | 鉄筋比<br>Pt<br>(%) | C <sub>pt</sub> |
|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-------|--------------------|--------------------------|------------------|-----------------|
|              |                 |                  |                 |       | 径-本数               | As<br>(cm <sup>2</sup> ) |                  |                 |
| 頂版 $\tau$ 点  | 0.140           | 0.035            | 0.106667        | 1.400 | D16-7              | 13.902                   | 1.303            | 1.500           |
| 底版 $\tau$ 点  | 0.140           | 0.035            | 0.106667        | 1.400 | D16-3.5<br>D13-3.5 | 11.385                   | 1.067            | 1.500           |
| 側壁上 $\tau$ 点 | 0.125           | 0.035            | 0.090000        | 1.400 | D10-7              | 4.993                    | 0.555            | 1.233           |
| 側壁下 $\tau$ 点 | 0.125           | 0.035            | 0.090000        | 1.400 | D10-7              | 4.993                    | 0.555            | 1.233           |

補正係数③を求める。

| 照査位置         | M<br>(kN・m) | N<br>(kN) | A <sub>c</sub><br>(m <sup>2</sup> ) | I <sub>c</sub><br>(m <sup>4</sup> ) | y<br>(m) | M <sub>o</sub><br>(kN・m) | C <sub>n</sub> |
|--------------|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|--------------------------|----------------|
| 頂版 $\tau$ 点  | 2.436       | 6.432     | 0.14000                             | 0.000229                            | 0.07000  | 0.150                    | 1.062          |
| 底版 $\tau$ 点  | 0.827       | 27.059    | 0.14000                             | 0.000229                            | 0.07000  | 0.632                    | 1.765          |
| 側壁上 $\tau$ 点 | -3.057      | 42.096    | 0.12500                             | 0.000163                            | 0.06250  | 0.878                    | 1.287          |
| 側壁下 $\tau$ 点 | -3.305      | 45.518    | 0.12500                             | 0.000163                            | 0.06250  | 0.950                    | 1.287          |

補正した許容せん断応力度

| 照査位置         | $\tau a$ | 補正係数  |                 |                | 補正<br>$\tau a$ |
|--------------|----------|-------|-----------------|----------------|----------------|
|              |          | Ce    | C <sub>pt</sub> | C <sub>n</sub> |                |
| 頂版 $\tau$ 点  | 0.270    | 1.400 | 1.500           | 1.062          | 0.602          |
| 底版 $\tau$ 点  | 0.270    | 1.400 | 1.500           | 1.765          | 1.001          |
| 側壁上 $\tau$ 点 | 0.270    | 1.400 | 1.233           | 1.287          | 0.600          |
| 側壁下 $\tau$ 点 | 0.270    | 1.400 | 1.233           | 1.287          | 0.600          |

せん断応力度の照査

| 照査位置         | せん断力<br>S<br>(kN) | 応力度<br>$\tau$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 補正<br>$\tau a$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 判定 |
|--------------|-------------------|---------------------------------------|--|----|
| 頂版 $\tau$ 点  | 46.550            | 0.436                                 | 0.602                                  | OK |
| 底版 $\tau$ 点  | 39.791            | 0.373                                 | 1.001                                  | OK |
| 側壁上 $\tau$ 点 | 19.337            | 0.215                                 | 0.600                                  | OK |
| 側壁下 $\tau$ 点 | 21.410            | 0.238                                 | 0.600                                  | OK |

以 上