

受付 No.

台帳 No. RL474000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 360 mm
内 高(H) 360 mm
長 さ(L) 2000 mm

○設計条件 : 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 0.100 m
H2= 2.000 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) 360 × (H) 360 × (L) 2000 [mm] |
| 土被り | : H1 = 0.100 ~ H2 = 2.000 [m] |
| 道路舗装厚 | : t = 0.100 [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 ³] |
| 路盤材 (地下水位以上) | : $\gamma b = 19.0$ [kN/m ³] |
| 路盤材 (地下水位以下) | : $\gamma bw = 10.0$ [kN/m ³] |
| 鉄筋コンクリート | : $\gamma c = 24.5$ [kN/m ³] |
| 土 (地下水位以上) | : $\gamma s = 18.0$ [kN/m ³] |
| 土 (地下水位以下) | : $\gamma w = 9.0$ [kN/m ³] |

| | |
|----------------|--------------------|
| 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 ²] |

| | |
|----------|-------------|
| 1.5 衝撃係数 | : i = 0.300 |
|----------|-------------|

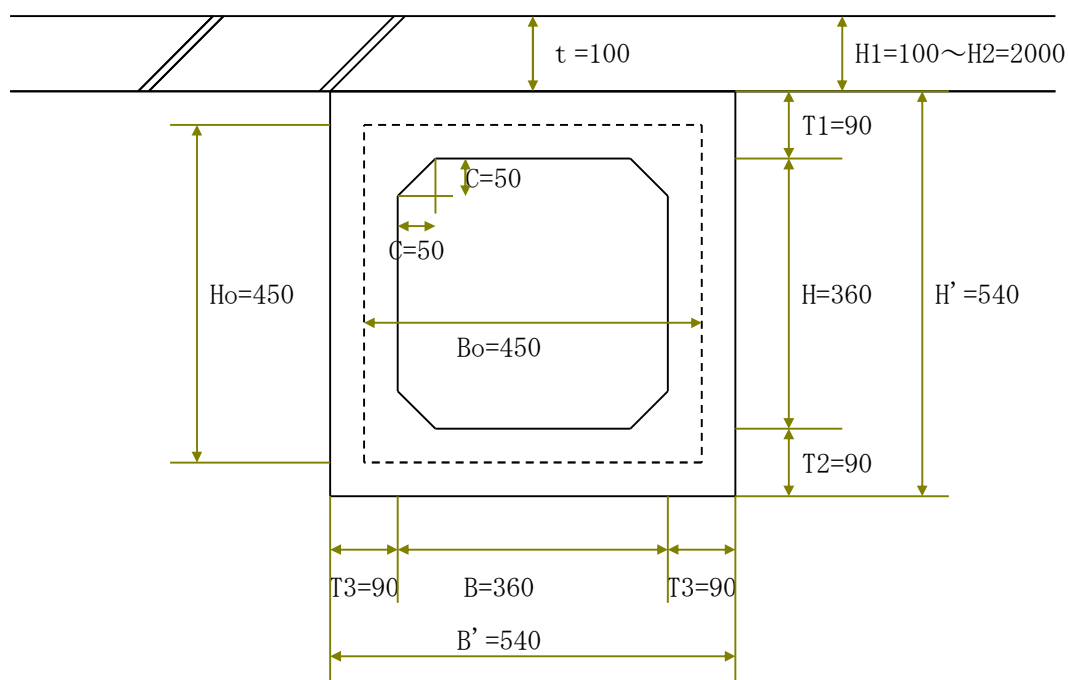
| | |
|-----------|--------------------------|
| 1.6 鉄筋かぶり | : 頂 版 底 版 側 壁 |
| | : (内側) 20 mm 20 mm 70 mm |
| | : (外側) 20 mm 20 mm 20 mm |

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

1.9 標準断面図



[単位:mm]

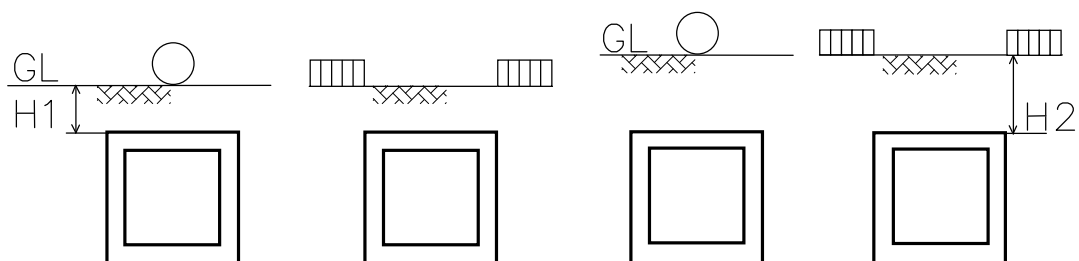
1.10 荷重の組合せ

CASE-1,5

CASE-2,6

CASE-3,7

CASE-4,8



[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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.205 \text{ kN/m}^2$$

(2) 土圧

① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 2.250 \text{ kN/m}^2$$

② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 1.530 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 5.580 \text{ kN/m}^2$$

(3) 活荷重

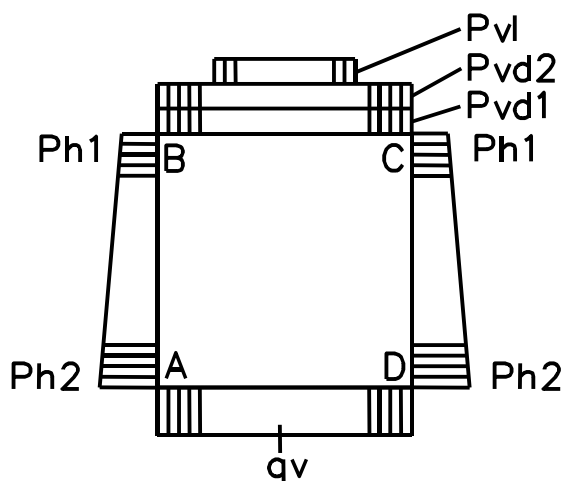
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅 } u &= a + 2 \times H1 = 0.400 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H1 = 0.700 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 活荷重 } P1 &= 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN} \\ P_{v1} &= 2 \times P1 / 2.75 / u = 212.727 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 198.228 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.000, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.000$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 3.345 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 3.601 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 0.067 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.053 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -1.673 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 1.740 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -1.672 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 1.672 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 1.861 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -1.861 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x + P_{v1} = 23.890 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 3.570 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 21.805 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 3.345 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -0.049 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -0.831 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

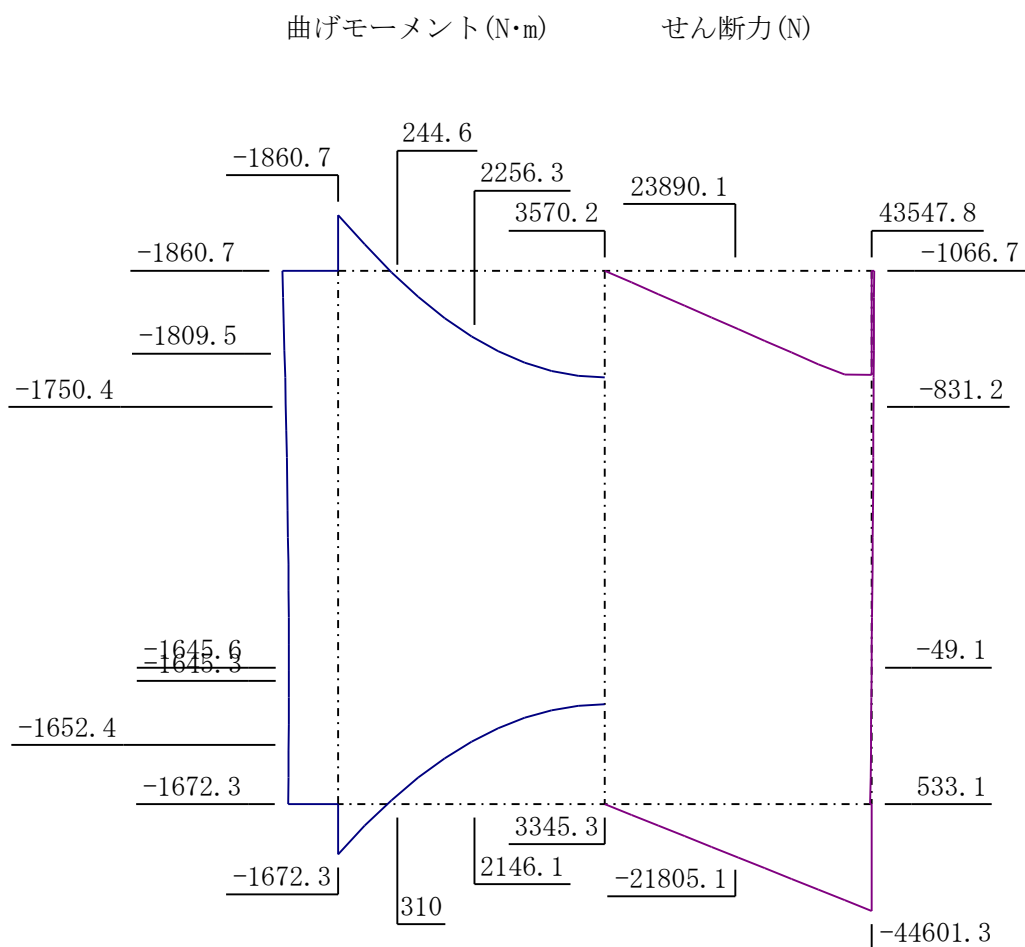
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.104 \text{ m}$$

$$M_{max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -1.645 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

| | | [/ 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 2 | 3, S3 端 部 | 0.045 | -1861 | 43548 | 1067 |
| | ハチ始点 | 0.095 | 245 | ***** | 1067 |
| | S2 τ 点 | 0.115 | 2256 | 23890 | 1067 |
| | 1 中 央 | 0.225 | 3570 | 0 | 1067 |
| 底版 10 | 9, S9 端 部 | 0.045 | -1672 | 44601 | 533 |
| | ハチ始点 | 0.095 | 310 | ***** | 533 |
| | S10 τ 点 | 0.115 | 2146 | 21805 | 533 |
| | 11 中 央 | 0.225 | 3345 | 0 | 533 |
| 側壁 6 | 4, S4 上 端部 | 0.405 | -1861 | -1067 | 43548 |
| | 5 上ハチ点 | 0.355 | -1810 | ***** | 43665 |
| | S5 上 τ 点 | 0.335 | -1750 | -831 | 43817 |
| | 6 中 間 | 0.104 | -1645 | 0 | 44358 |
| | S7 下 τ 点 | 0.115 | -1646 | -49 | 44332 |
| | 7 下ハチ点 | 0.095 | -1652 | ***** | 44484 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.045 | -1672 | 533 | 44601 |



2.2.1 設 計 荷 重 (CASE - 2)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.205 \text{ kN/m}^2$$

(2) 土圧

① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 2.250 \text{ kN/m}^2$$

② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 6.530 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 10.580 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 9.137 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.000, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.000$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 0.154 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 0.075 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 0.151 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 0.138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.007 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.023 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -0.161 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 0.161 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 0.098 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -0.098 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 0.490 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.015 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -0.823 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 0.070 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 1.059 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -0.823 \text{ kN}$$

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。

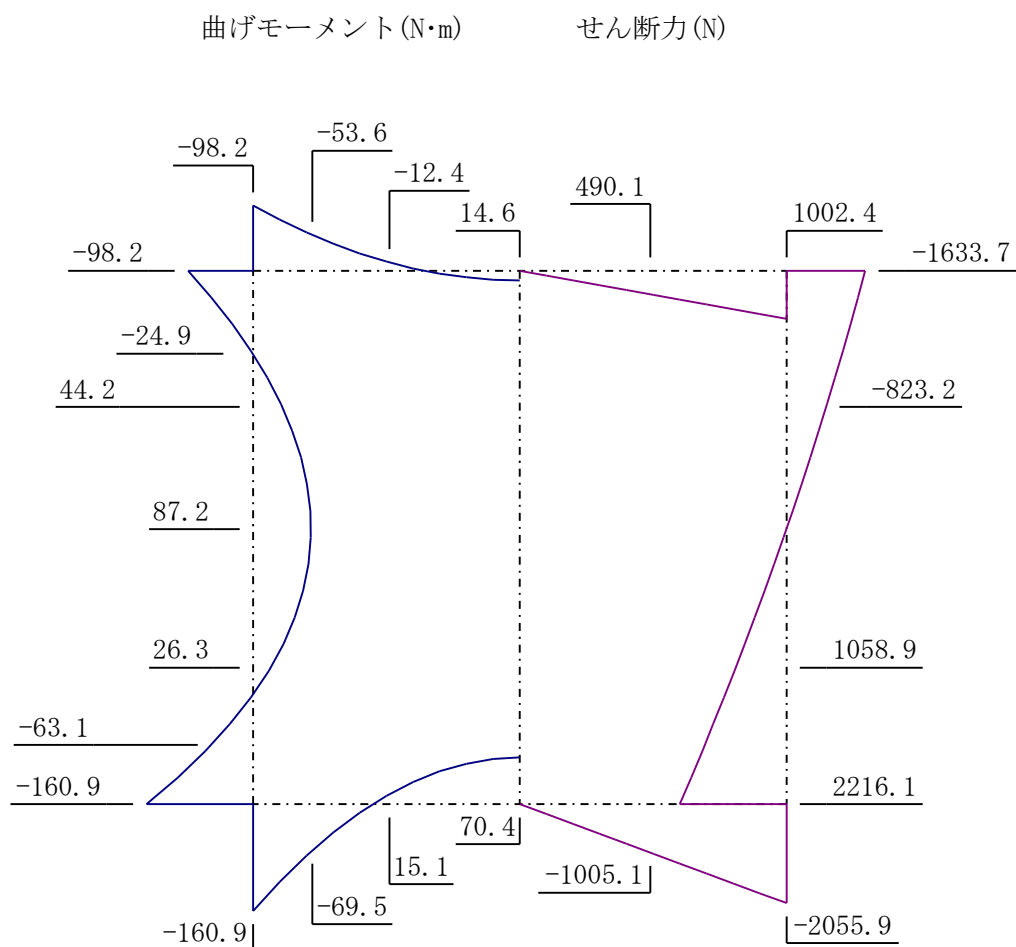
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.232 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.087 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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 | 0.045 | -98 | 1002 | 1634 |
| | 2 ハチ始点 | 0.095 | -54 | ***** | 1634 |
| | S2 τ 点 | 0.115 | -12 | 490 | 1634 |
| | 1 中 央 | 0.225 | 15 | 0 | 1634 |
| 底版 | 9, S9 端 部 | 0.045 | -161 | 2056 | 2216 |
| | 10 ハチ始点 | 0.095 | -70 | ***** | 2216 |
| | S10 τ 点 | 0.115 | 15 | 1005 | 2216 |
| | 11 中 央 | 0.225 | 70 | 0 | 2216 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 0.405 | -98 | -1634 | 1002 |
| | 5 上ハチ点 | 0.355 | -25 | ***** | 1119 |
| | S5 上 τ 点 | 0.335 | 44 | -823 | 1272 |
| | 6 中 間 | 0.232 | 87 | 0 | 1513 |
| | S7 下 τ 点 | 0.115 | 26 | 1059 | 1787 |
| | 7 下ハチ点 | 0.095 | -63 | ***** | 1939 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.045 | -161 | 2216 | 2056 |



2.3.1 設 計 荷 重 (CASE - 3)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.205 \text{ kN/m}^2$$

(2) 土圧

① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H2 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 36.450 \text{ kN/m}^2$$

② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 18.630 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 22.680 \text{ kN/m}^2$$

(3) 活荷重

$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅} \quad u &= a + 2 \times H2 = 4.200 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H2 = 4.500 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 活荷重} \quad P1 &= 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN} \\ P_{v1} &= 2 \times P1 / 2.75 / u = 20.260 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 63.597 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.000, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.000$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 1.073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 0.994 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 0.355 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 0.342 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.351 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.334 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -0.723 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 0.723 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 0.660 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -0.660 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 6.481 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.832 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 6.996 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 0.887 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 2.390 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -2.154 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.228 \text{ m}$$

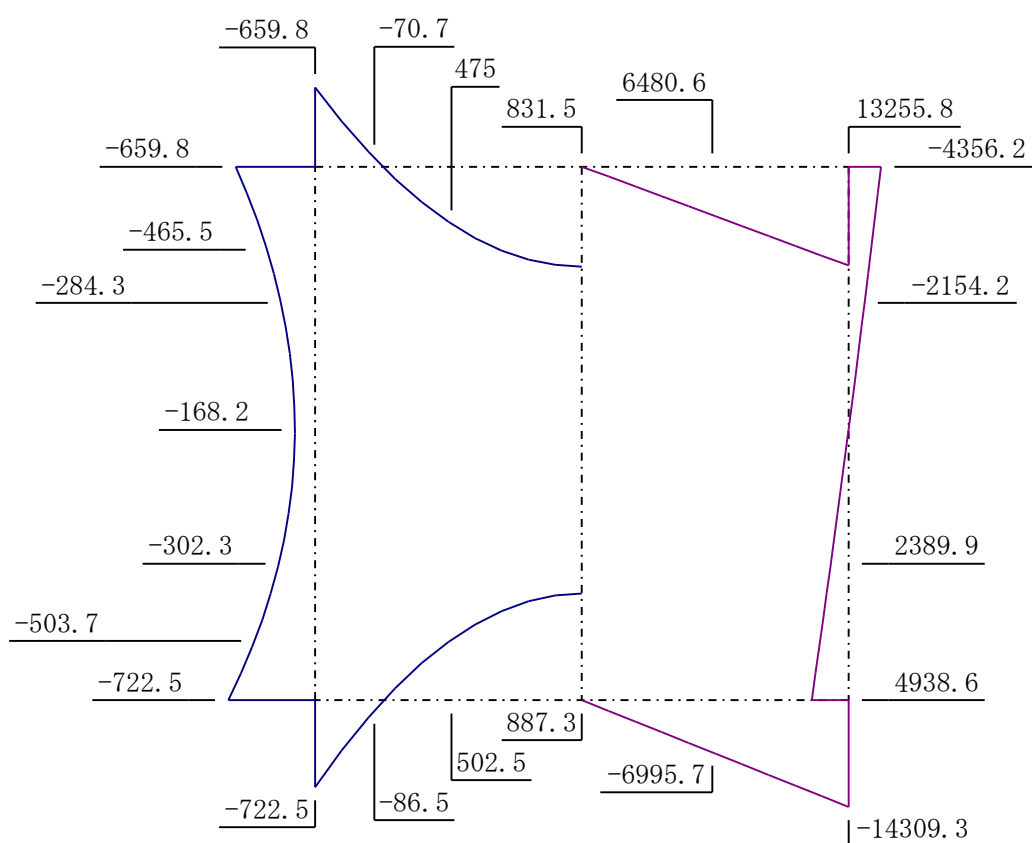
$$\begin{aligned} M_{\max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -0.168 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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 | 0.045 | -660 | 13256 | 4356 |
| | 2 ハチ始点 | 0.095 | -71 | ***** | 4356 |
| | S2 τ 点 | 0.115 | 475 | 6481 | 4356 |
| | 1 中 央 | 0.225 | 832 | 0 | 4356 |
| 底板 | 9, S9 端 部 | 0.045 | -723 | 14309 | 4939 |
| | 10 ハチ始点 | 0.095 | -87 | ***** | 4939 |
| | S10 τ 点 | 0.115 | 502 | 6996 | 4939 |
| | 11 中 央 | 0.225 | 887 | 0 | 4939 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 0.405 | -660 | -4356 | 13256 |
| | 5 上ハチ点 | 0.355 | -466 | ***** | 13373 |
| | S5 上 τ 点 | 0.335 | -284 | -2154 | 13525 |
| | 6 中 間 | 0.228 | -168 | 0 | 13776 |
| | S7 下 τ 点 | 0.115 | -302 | 2390 | 14040 |
| | 7 下ハチ点 | 0.095 | -504 | ***** | 14192 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.045 | -723 | 4939 | 14309 |

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.205 \text{ kN/m}^2$$

(2) 土圧

① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H2 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 36.450 \text{ kN/m}^2$$

② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 23.630 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 27.680 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 43.337 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.000$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.000, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.000$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 0.731 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 0.652 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 0.440 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.426 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.121 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -0.594 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 0.594 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 0.531 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -0.531 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 4.252 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 4.767 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 0.503 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 2.940 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -2.704 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.227 \text{ m}$$

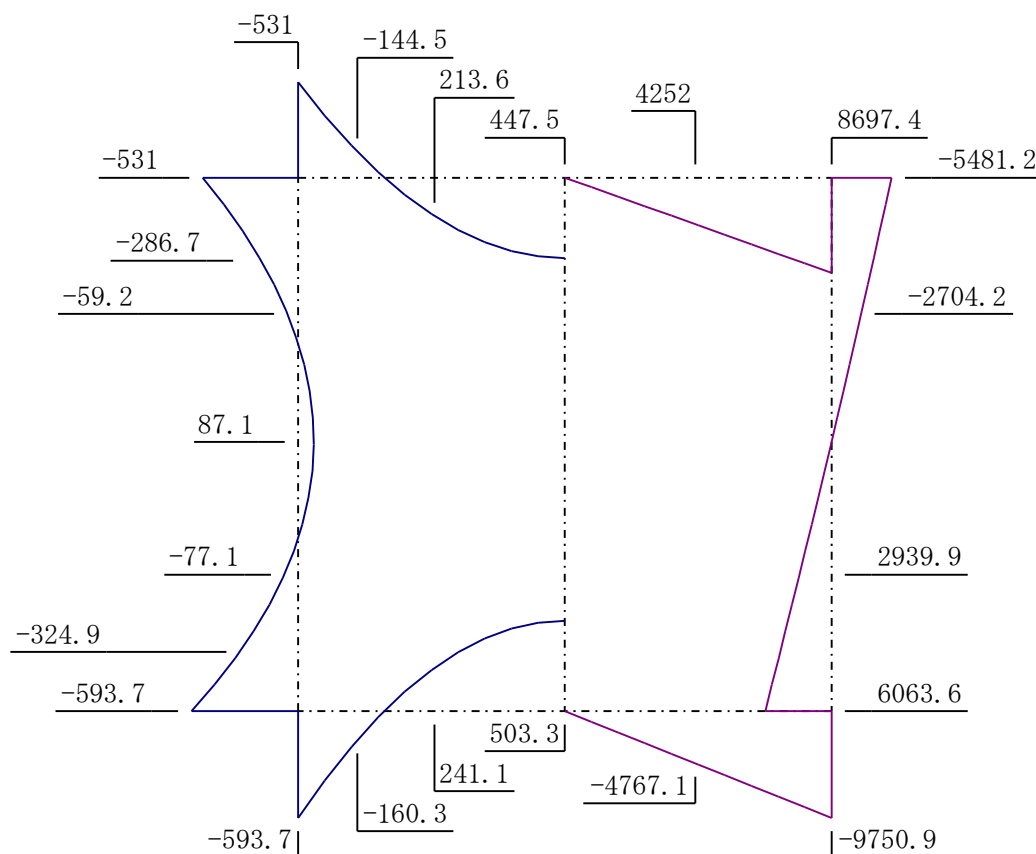
$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.087 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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 | 0.045 | -531 | 8697 | 5481 |
| | 2 ハチ始点 | 0.095 | -145 | ***** | 5481 |
| | S2 τ 点 | 0.115 | 214 | 4252 | 5481 |
| | 1 中 央 | 0.225 | 448 | 0 | 5481 |
| 底版 | 9, S9 端 部 | 0.045 | -594 | 9751 | 6064 |
| | 10 ハチ始点 | 0.095 | -160 | ***** | 6064 |
| | S10 τ 点 | 0.115 | 241 | 4767 | 6064 |
| | 11 中 央 | 0.225 | 503 | 0 | 6064 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 0.405 | -531 | -5481 | 8697 |
| | 5 上ハチ点 | 0.355 | -287 | ***** | 8814 |
| | S5 上 τ 点 | 0.335 | -59 | -2704 | 8967 |
| | 6 中 間 | 0.227 | 87 | 0 | 9219 |
| | S7 下 τ 点 | 0.115 | -77 | 2940 | 9482 |
| | 7 下ハチ点 | 0.095 | -325 | ***** | 9634 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.045 | -594 | 6064 | 9751 |

曲げモーメント (N・m)

せん断力 (N)



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 | -1.861 | 1.067 | 174.44 | 3.33 | 1.896 | 1 |
| 頂版 | ハチ始点 | 0.245 | 1.067 | 22.93 | 2.50 | 0.271 | 1 |
| | 中 央 | 3.570 | 1.067 | 334.70 | 2.50 | 3.597 | 1 |
| | 端 部 | -1.672 | 0.533 | 313.69 | 3.33 | 1.690 | 1 |
| 底版 | ハチ始点 | 0.310 | 0.533 | 58.15 | 2.50 | 0.323 | 1 |
| | 中 央 | 3.345 | 0.533 | 627.52 | 2.50 | 3.359 | 1 |
| | 上端部 | -0.531 | 8.697 | 6.11 | 3.33 | 0.821 | 4 |
| | 上ハチ点 | -1.810 | 43.665 | 4.14 | 2.50 | 2.901 | 1 |
| 側壁 | 中 間 | 0.087 | 1.513 | 5.76 | -2.50 | 0.049 | 2 |
| | 下ハチ点 | -1.652 | 44.484 | 3.71 | 2.50 | 2.765 | 1 |
| | 下端部 | -0.594 | 9.751 | 6.09 | 3.33 | 0.919 | 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

$$k = n \times \sigma_{ca} / (n \times \sigma_{ca} + \sigma_{sa}) = 0.523$$

$$c1 = \sqrt{[6 / \sigma_{ca} / (3 - k) / k]} = 0.629$$

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

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(σ_{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 σ_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 ² /m) |
|------------|------|----------------|-----------------|--------------------|---------------|----------------------------------|
| | 端 部 | 1.896 | 2.74 | 4.74 | 10.67 | 1.399 |
| 頂版 | ハチ始点 | 0.271 | 1.04 | 3.04 | 9.00 | 0.184 |
| | 中 央 | 3.597 | 3.77 | 5.77 | 9.00 | 3.533 |
| | 端 部 | 1.690 | 2.59 | 4.59 | 10.67 | 1.268 |
| 底版 | ハチ始点 | 0.323 | 1.13 | 3.13 | 9.00 | 0.266 |
| | 中 央 | 3.359 | 3.65 | 5.65 | 9.00 | 3.316 |
| | 上端部 | 0.821 | 1.80 | 3.80 | 10.67 | 0.077 |
| | 上ハチ点 | 2.901 | 3.39 | 5.39 | 9.00 | 0.143 |
| 側壁 | 中 間 | 0.049 | 0.44 | 7.44 | 9.00 | 0.068 |
| | 下ハチ点 | 2.765 | 3.31 | 5.31 | 9.00 | -0.049 |
| | 下端部 | 0.919 | 1.91 | 3.91 | 10.67 | 0.086 |
| 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 (cm²/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 10 - 8 | D 6 - 16 | D 10 - 8 | D 6 - 16 | D 6 - 16 | D 6 - 16 |
| D 6 - 8 | D 0 - 0 | D 6 - 8 | D 0 - 0 | D 0 - 0 | D 0 - 0 |

| 部材 | 点 | 部材幅 b (cm) | 使用鉄筋量 A _s (cm ² /m) | x (cm) | 実 応 力 度 (N/mm ²) σ_c | σ_s | σ_s' |
|---|------|---------------|--|-----------|--|------------|-------------|
| 頂版 | 端 部 | 100.00 | 2.534 | 2.258 | 2.12 | 90.4 | 0.0 |
| | ハチ始点 | 100.00 | 4.120 | 2.658 | 0.33 | 8.2 | 0.0 |
| | 中 央 | 100.00 | 4.120 | 2.405 | 4.83 | 138.3 | 0.0 |
| 底版 | 端 部 | 100.00 | 2.534 | 2.239 | 1.91 | 82.1 | 0.0 |
| | ハチ始点 | 100.00 | 4.120 | 2.491 | 0.42 | 11.4 | 0.0 |
| | 中 央 | 100.00 | 4.120 | 2.397 | 4.52 | 130.2 | 0.0 |
| 側壁 | 上端部 | 100.00 | 2.534 | 3.993 | 0.56 | 9.8 | 0.0 |
| | 上ハチ点 | 100.00 | 2.534 | 3.973 | 2.57 | 29.4 | 0.0 |
| | 中 間 | 100.00 | 2.534 | 1.140 | 0.53 | 6.1 | 0.0 |
| | 下ハチ点 | 100.00 | 2.534 | 4.347 | 2.29 | 21.0 | 0.0 |
| | 下端部 | 100.00 | 2.534 | 4.000 | 0.63 | 11.0 | 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 | 23.890 | 0.490 | 6.481 | 4.252 | | | | |
| | M | 2.256 | | | | | | | |
| | N | 1.067 | | | | | | | |
| | 最大 | ○ | | | | | | | |
| 底版 τ点 | S | 21.805 | 1.005 | 6.996 | 4.767 | | | | |
| | M | 2.146 | | | | | | | |
| | N | 0.533 | | | | | | | |
| | 最大 | ○ | | | | | | | |
| 側壁上 τ点 | S | -0.831 | -0.823 | -2.154 | -2.704 | | | | |
| | M | | | | -0.059 | | | | |
| | N | | | | 8.967 | | | | |
| | 最大 | | | | ○ | | | | |
| 側壁下 τ点 | S | -0.049 | 1.059 | 2.390 | 2.940 | | | | |
| | M | | | | -0.077 | | | | |
| | N | | | | 9.482 | | | | |
| | 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 τ_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_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(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_c：図心軸に関する断面二次モーメント(m⁴)

A_c：部材断面積(m²)

y：断面図心より引張縁までの距離(m)

補正係数①、②を求める。

| 照査位置 | 部材厚 T (m) | かぶり d' (m) | 有効高 d (m) | Ce | 引張鉄筋 | | 鉄筋比 Pt (%) | Cpt |
|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-------|---------------|--------------------------|------------------|-------|
| | | | | | 径-本数 | As (cm ²) | | |
| 頂版 τ 点 | 0.090 | 0.020 | 0.070000 | 1.400 | D10-4 D6-4 | 4.120 | 0.589 | 1.253 |
| 底版 τ 点 | 0.090 | 0.020 | 0.070000 | 1.400 | D10-4 D6-4 | 4.120 | 0.589 | 1.253 |
| 側壁上 τ 点 | 0.090 | 0.020 | 0.070000 | 1.400 | D6-8 | 2.534 | 0.362 | 1.062 |
| 側壁下 τ 点 | 0.090 | 0.020 | 0.070000 | 1.400 | D6-8 | 2.534 | 0.362 | 1.062 |

補正係数③を求める。

| 照査位置 | M (kN・m) | N (kN) | A _c (m ²) | I _c (m ⁴) | y (m) | M _o (kN・m) | Cn |
|--------------|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|--------------------------|-------|
| 頂版 τ 点 | 2.256 | 1.067 | 0.09000 | 0.000061 | 0.04500 | 0.016 | 1.007 |
| 底版 τ 点 | 2.146 | 0.533 | 0.09000 | 0.000061 | 0.04500 | 0.008 | 1.004 |
| 側壁上 τ 点 | -0.059 | 8.967 | 0.09000 | 0.000061 | 0.04500 | 0.135 | 2.000 |
| 側壁下 τ 点 | -0.077 | 9.482 | 0.09000 | 0.000061 | 0.04500 | 0.143 | 2.000 |

補正した許容せん断応力度

| 照査位置 | τ_a | 補正係数 | | | 補正 τ_a |
|--------------|----------|-------|-------|-------|----------------|
| | | Ce | Cpt | Cn | |
| 頂版 τ 点 | 0.260 | 1.400 | 1.253 | 1.007 | 0.459 |
| 底版 τ 点 | 0.260 | 1.400 | 1.253 | 1.004 | 0.458 |
| 側壁上 τ 点 | 0.260 | 1.400 | 1.062 | 2.000 | 0.773 |
| 側壁下 τ 点 | 0.260 | 1.400 | 1.062 | 2.000 | 0.773 |

せん断応力度の照査

| 照査位置 | せん断力 S (kN) | 応力度 τ (N/mm ²) | 補正 τ_a (N/mm ²) | 判定 |
|--------------|-------------------|---------------------------------------|--|----|
| 頂版 τ 点 | 23.890 | 0.341 | 0.459 | OK |
| 底版 τ 点 | 21.805 | 0.311 | 0.458 | OK |
| 側壁上 τ 点 | 2.704 | 0.039 | 0.773 | OK |
| 側壁下 τ 点 | 2.940 | 0.042 | 0.773 | OK |

以 上