

受付 No.

台帳 No. RL445000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 1400 mm

内 高(H) 1400 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) 1400 × (H) 1400 × (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 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 |
|----------|-------------|

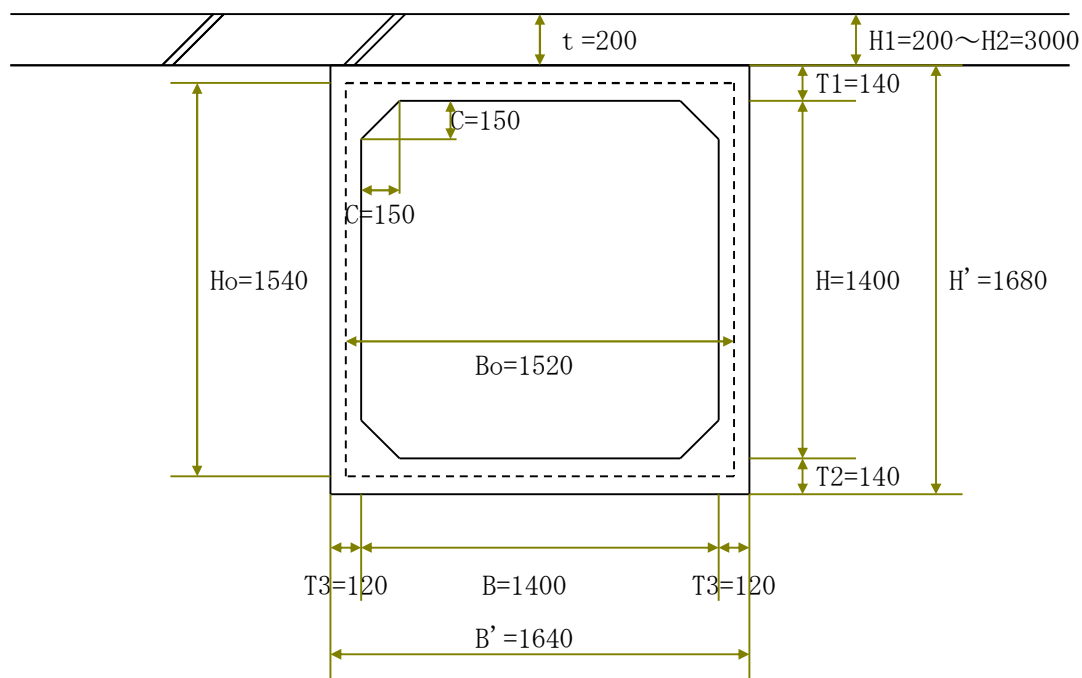
| | |
|-----------|--------------------------|
| 1.6 鉄筋かぶり | : 頂 版 底 版 側 壁 |
| | : (内側) 35 mm 35 mm 35 mm |
| | : (外側) 35 mm 35 mm 35 mm |

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

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

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

(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

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

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 16.740 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 70.594 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.609, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.609$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 13.592 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 16.854 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 2.213 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 1.665 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -4.679 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 5.505 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -6.064 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 6.064 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 7.997 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -7.997 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 46.947 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 20.246 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 39.179 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 14.323 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 4.835 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -6.250 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

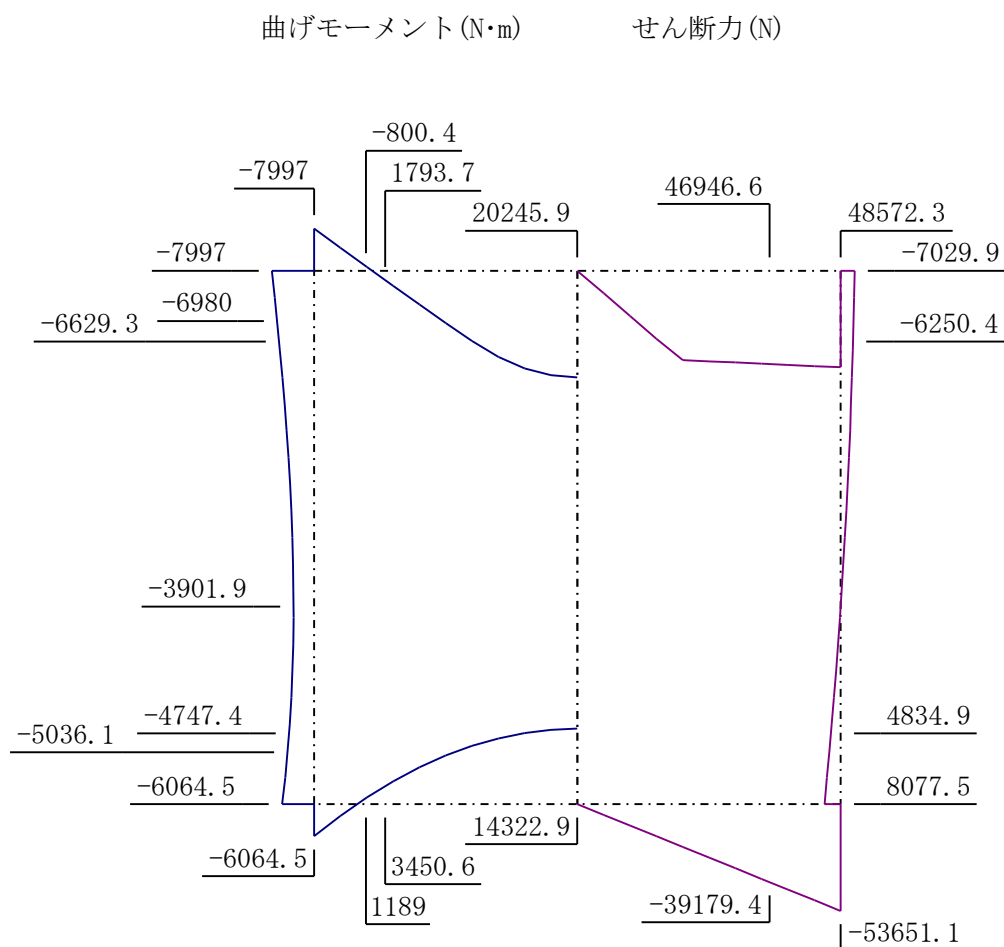
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.570 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -3.902 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

| | | [/ 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 | 0.060 | -7997 | 48572 | 7030 |
| | 2 ハチ始点 | 0.210 | -800 | ***** | 7030 |
| | S2 τ 点 | 0.205 | 1794 | 46947 | 7030 |
| | 1 中 央 | 0.760 | 20246 | 0 | 7030 |
| 底版 | 9, S9 端 部 | 0.060 | -6065 | 53651 | 8078 |
| | 10 ハチ始点 | 0.210 | 1189 | ***** | 8078 |
| | S10 τ 点 | 0.205 | 3451 | 39179 | 8078 |
| | 11 中 央 | 0.760 | 14323 | 0 | 8078 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 1.470 | -7997 | -7030 | 48572 |
| | 5 上ハチ点 | 1.320 | -6980 | ***** | 49067 |
| | S5 上 τ 点 | 1.335 | -6629 | -6250 | 49248 |
| | 6 中 間 | 0.570 | -3902 | 0 | 51771 |
| | S7 下 τ 点 | 0.205 | -4747 | 4835 | 52975 |
| | 7 下ハチ点 | 0.220 | -5036 | ***** | 53156 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.070 | -6065 | 8078 | 53651 |



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

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

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 21.740 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 14.613 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.609, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.609$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 2.813 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 1.527 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 3.201 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 2.653 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.210 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.370 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -3.151 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 3.151 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 2.123 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -2.123 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 4.401 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.168 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -7.152 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 1.069 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 9.583 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -7.152 \text{ kN}$$

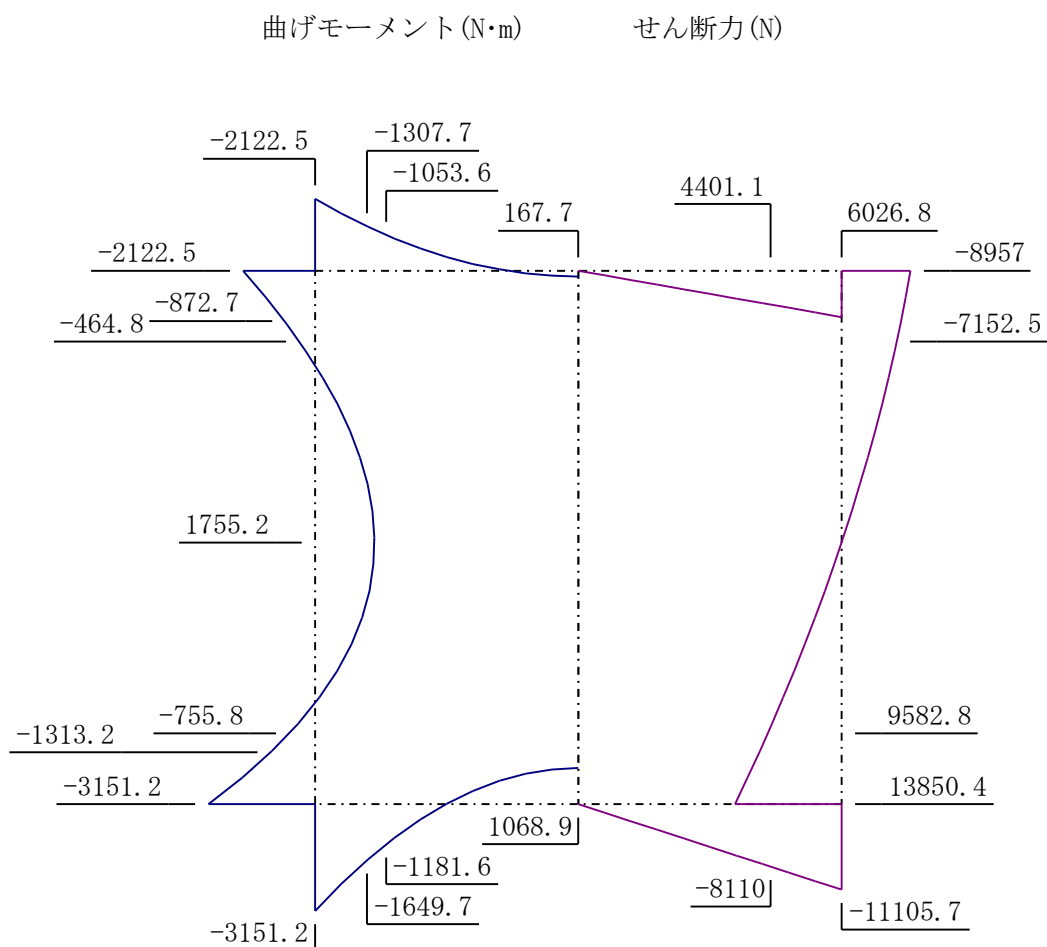
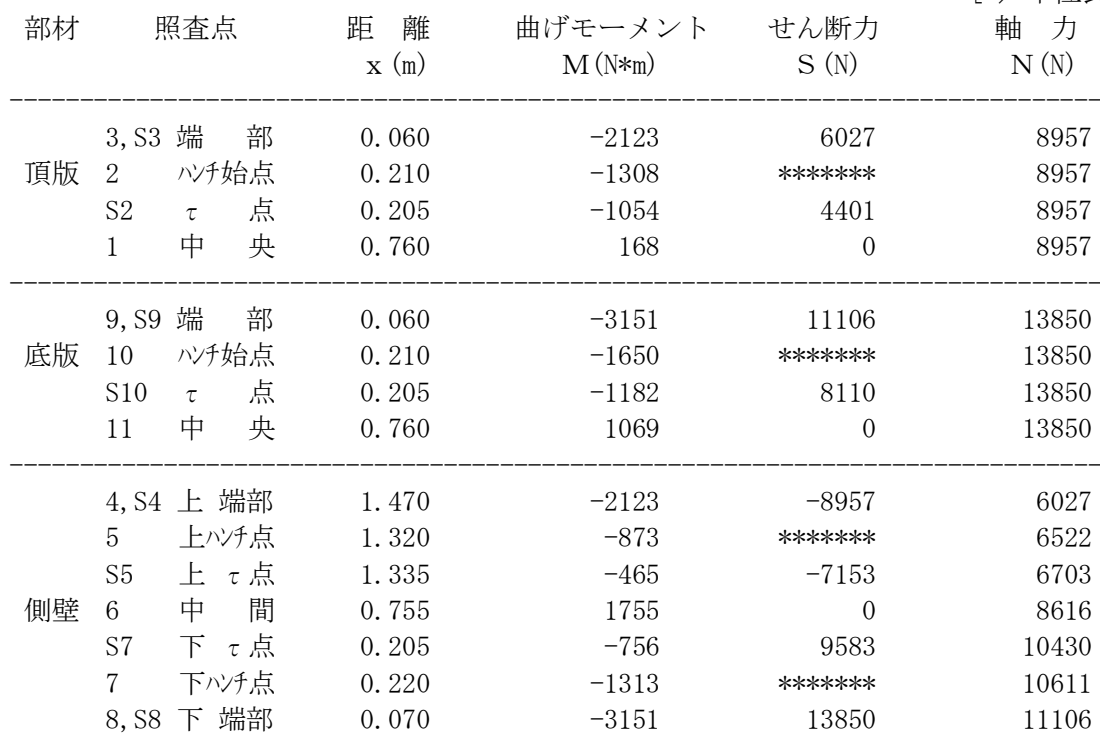
② 曲げモーメント

接点間の極値は、せん断力が0となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.755 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 1.755 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



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

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

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 41.940 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 78.737 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.609, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.609$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 15.160 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 13.873 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 7.193 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 6.645 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -2.992 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 2.832 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -10.345 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 10.345 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 9.317 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -9.317 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 39.990 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 11.492 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 43.699 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 12.394 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 20.996 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -18.566 \text{ kN}$$

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。

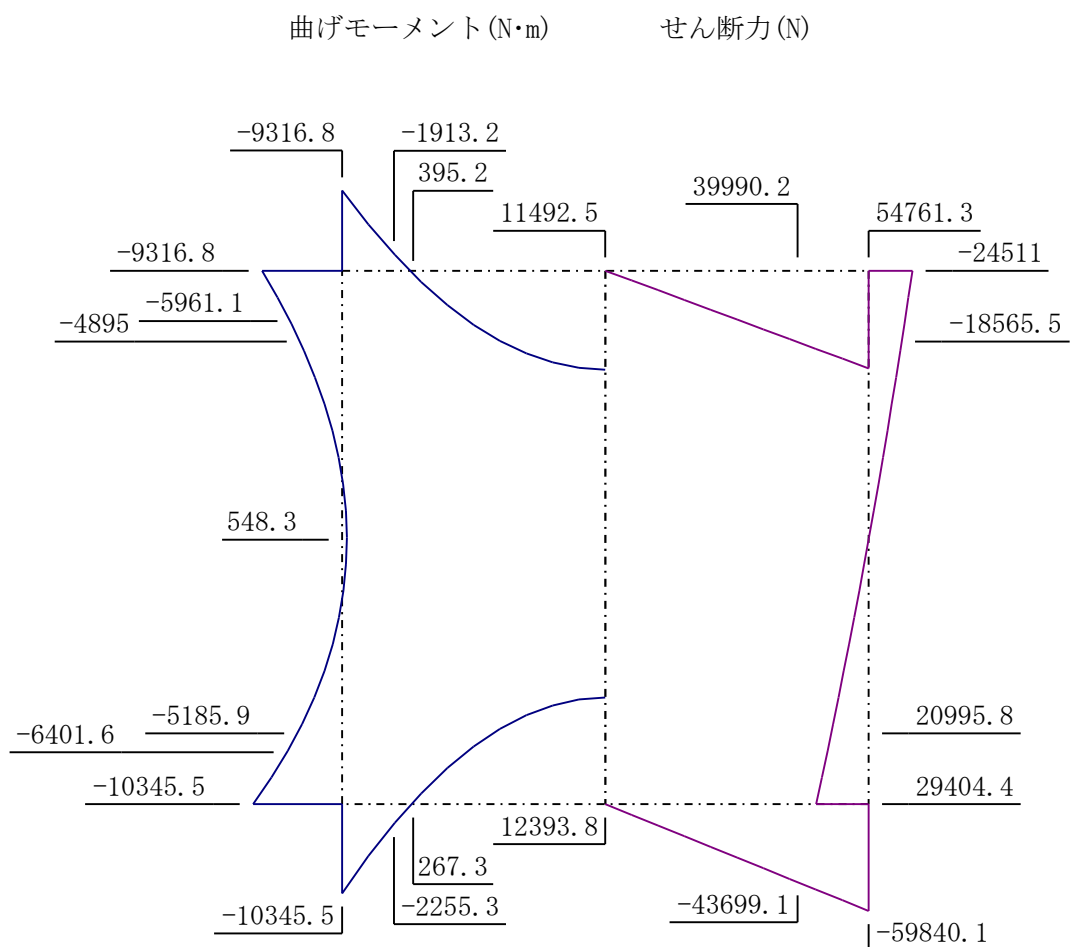
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.764 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.548 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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 | 0.060 | -9317 | 54761 | 24511 |
| | 2 ハチ始点 | 0.210 | -1913 | ***** | 24511 |
| | S2 τ 点 | 0.205 | 395 | 39990 | 24511 |
| | 1 中 央 | 0.760 | 11493 | 0 | 24511 |
| 底版 | 9, S9 端 部 | 0.060 | -10346 | 59840 | 29404 |
| | 10 ハチ始点 | 0.210 | -2255 | ***** | 29404 |
| | S10 τ 点 | 0.205 | 267 | 43699 | 29404 |
| | 11 中 央 | 0.760 | 12394 | 0 | 29404 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 1.470 | -9317 | -24511 | 54761 |
| | 5 上ハチ点 | 1.320 | -5961 | ***** | 55256 |
| | S5 上 τ 点 | 1.335 | -4895 | -18566 | 55437 |
| | 6 中 間 | 0.764 | 548 | 0 | 57321 |
| | S7 下 τ 点 | 0.205 | -5186 | 20996 | 59164 |
| | 7 下ハチ点 | 0.220 | -6402 | ***** | 59346 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.070 | -10346 | 29404 | 59840 |



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

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

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 46.940 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 65.013 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.609$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.609, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.609$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 12.517 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 11.230 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 8.181 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 7.633 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -1.601 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 1.440 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -9.942 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 9.942 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 8.913 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -8.913 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 32.373 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 7.932 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 36.082 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 8.834 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 23.821 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -21.390 \text{ kN}$$

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。

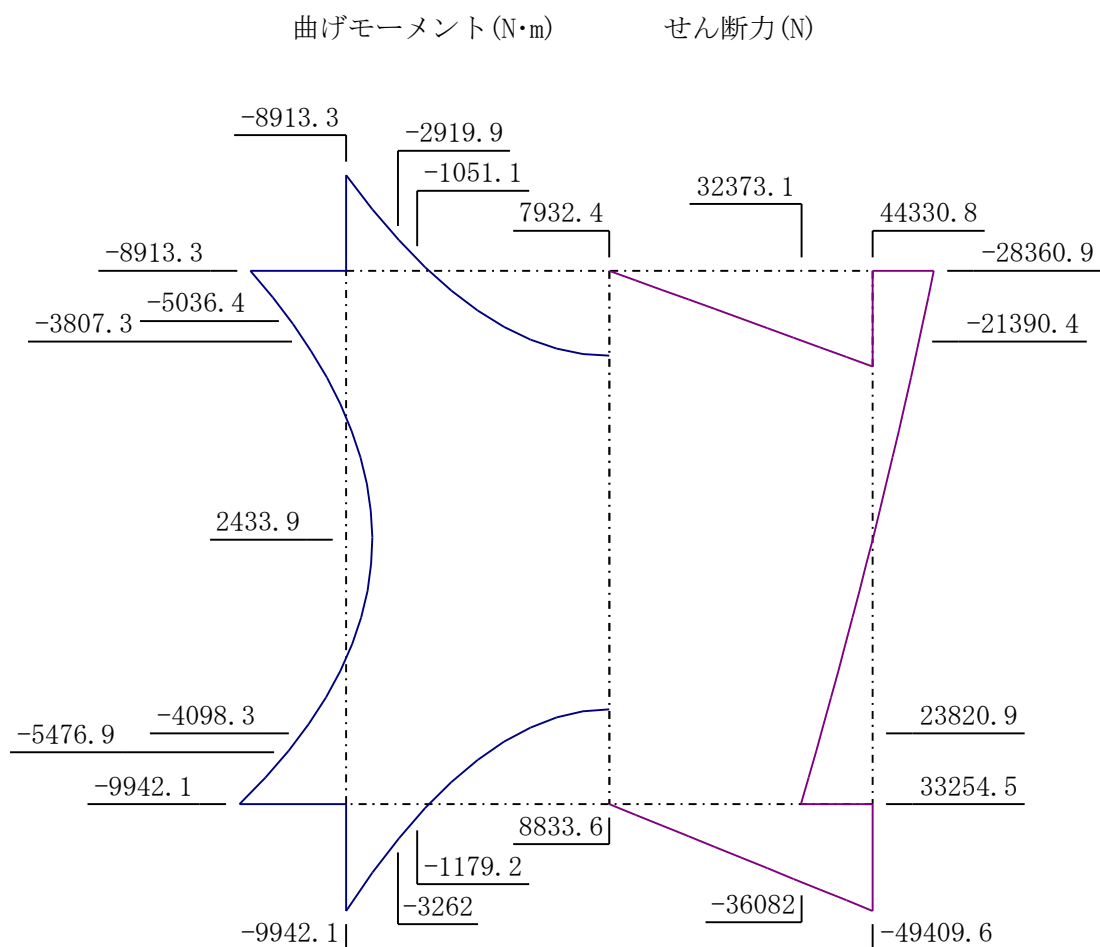
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.764 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 2.434 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/ 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 | 0.060 | -8913 | 44331 | 28361 |
| | 2 ハッチ始点 | 0.210 | -2920 | ***** | 28361 |
| | S2 τ 点 | 0.205 | -1051 | 32373 | 28361 |
| | 1 中 央 | 0.760 | 7932 | 0 | 28361 |
| 底板 | 9, S9 端 部 | 0.060 | -9942 | 49410 | 33255 |
| | 10 ハッチ始点 | 0.210 | -3262 | ***** | 33255 |
| | S10 τ 点 | 0.205 | -1179 | 36082 | 33255 |
| | 11 中 央 | 0.760 | 8834 | 0 | 33255 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 1.470 | -8913 | -28361 | 44331 |
| | 5 上ハッチ点 | 1.320 | -5036 | ***** | 44826 |
| | S5 上 τ 点 | 1.335 | -3807 | -21390 | 45007 |
| | 6 中 間 | 0.764 | 2434 | 0 | 46890 |
| | S7 下 τ 点 | 0.205 | -4098 | 23821 | 48734 |
| | 7 下ハッチ点 | 0.220 | -5477 | ***** | 48915 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.070 | -9942 | 33255 | 49410 |



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 | -7.997 | 7.030 | 113.76 | 6.00 | 8.419 | 1 |
| 頂版 | ハチ始点 | -2.920 | 28.361 | 10.30 | 3.50 | 3.913 | 4 |
| | 中 央 | 20.246 | 7.030 | 288.00 | 3.50 | 20.492 | 1 |
| | 端 部 | -10.345 | 29.404 | 35.18 | 6.00 | 12.110 | 3 |
| 底版 | ハチ始点 | -3.262 | 33.255 | 9.81 | 3.50 | 4.426 | 4 |
| | 中 央 | 14.323 | 8.078 | 177.32 | 3.50 | 14.606 | 1 |
| | 上端部 | -8.913 | 44.331 | 20.11 | 5.00 | 11.130 | 4 |
| | 上ハチ点 | -6.980 | 49.067 | 14.23 | 2.50 | 8.207 | 1 |
| 側壁 | 中 間 | -3.902 | 51.771 | 7.54 | 2.50 | 5.196 | 1 |
| | 下ハチ点 | -6.402 | 59.346 | 10.79 | 2.50 | 7.885 | 3 |
| | 下端部 | -9.942 | 49.410 | 20.12 | 5.00 | 12.413 | 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(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 | M_s (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 A_s (cm ² /m) |
|--------------|------|-------------------|-------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | 端 部 | 8.419 | 5.11 | 8.61 | 19.00 | 3.242 |
| 頂版 | ハチ始点 | 3.913 | 3.49 | 6.99 | 14.00 | 0.754 |
| | 中 央 | 20.492 | 7.98 | 11.48 | 14.00 | 14.016 |
| | 端 部 | 12.110 | 6.13 | 9.63 | 19.00 | 3.537 |
| 底版 | ハチ始点 | 4.426 | 3.71 | 7.21 | 14.00 | 0.794 |
| | 中 央 | 14.606 | 6.73 | 10.23 | 14.00 | 9.571 |
| | 上端部 | 11.130 | 5.88 | 9.38 | 17.00 | 2.952 |
| | 上ハチ点 | 8.207 | 5.05 | 8.55 | 12.00 | 3.862 |
| 側壁 | 中 間 | 5.196 | 4.02 | 7.52 | 12.00 | 1.042 |
| | 下ハチ点 | 7.885 | 4.95 | 8.45 | 12.00 | 2.932 |
| | 下端部 | 12.413 | 6.21 | 9.71 | 17.00 | 3.328 |
| $d + d' < T$ | | | | | | 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 16 - 16 | D 10 - 16 | D 16 - 8 | D 10 - 16 | D-0 - 0 | D 10 - 16 |
| D 0 - 0 | D 0 - 0 | D 13 - 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 | 5.706 | 4.597 | 2.62 | 93.3 | 0.0 |
| | ハチ始点 | 100.00 | 5.706 | 5.071 | 1.75 | 28.1 | 0.0 |
| | 中 央 | 100.00 | 15.888 | 5.135 | 9.08 | 142.3 | 0.0 |
| 底版 | 端 部 | 100.00 | 5.706 | 5.158 | 3.41 | 102.5 | 0.0 |
| | ハチ始点 | 100.00 | 5.706 | 5.174 | 1.95 | 30.1 | 0.0 |
| | 中 央 | 100.00 | 13.012 | 4.826 | 6.81 | 120.0 | 0.0 |
| 側壁 | 上端部 | 100.00 | 5.706 | 5.179 | 3.65 | 88.0 | 0.0 |
| | 上ハチ点 | 100.00 | 5.706 | 3.776 | 6.00 | 112.6 | 0.0 |
| | 中 間 | 100.00 | 5.706 | 4.639 | 3.22 | 40.2 | 0.0 |
| | 下ハチ点 | 100.00 | 5.706 | 4.057 | 5.44 | 89.3 | 0.0 |
| | 下端部 | 100.00 | 5.706 | 5.178 | 4.07 | 98.2 | 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 | 46.947 | 4.401 | 39.990 | 32.373 | | | | |
| | M | 1.794 | | | | | | | |
| | N | 7.030 | | | | | | | |
| | 最大 | ○ | | | | | | | |
| 底版 τ点 | S | 39.179 | 8.110 | 43.699 | 36.082 | | | | |
| | M | | | 0.267 | | | | | |
| | N | | | 29.404 | | | | | |
| | 最大 | | | ○ | | | | | |
| 側壁上 τ点 | S | -6.250 | -7.152 | -18.566 | -21.390 | | | | |
| | M | | | | -3.807 | | | | |
| | N | | | | 45.007 | | | | |
| | 最大 | | | | ○ | | | | |
| 側壁下 τ点 | S | 4.835 | 9.583 | 20.996 | 23.821 | | | | |
| | M | | | | -4.098 | | | | |
| | N | | | | 48.734 | | | | |
| | 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 τa 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_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 (%) | C _{pt} |
|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-------|----------------|--------------------------|------------------|-----------------|
| | | | | | 径-本数 | As (cm ²) | | |
| 頂版 τ 点 | 0.140 | 0.035 | 0.106667 | 1.400 | D16-8 | 15.888 | 1.489 | 1.500 |
| 底版 τ 点 | 0.140 | 0.035 | 0.106667 | 1.400 | D16-4 D13-4 | 13.012 | 1.220 | 1.500 |
| 側壁上 τ 点 | 0.125 | 0.035 | 0.090000 | 1.400 | D10-8 | 5.706 | 0.634 | 1.280 |
| 側壁下 τ 点 | 0.125 | 0.035 | 0.090000 | 1.400 | D10-8 | 5.706 | 0.634 | 1.280 |

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) | C _n |
|--------------|-------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|--------------------------|----------------|
| 頂版 τ 点 | 1.794 | 7.030 | 0.14000 | 0.000229 | 0.07000 | 0.164 | 1.092 |
| 底版 τ 点 | 0.267 | 29.404 | 0.14000 | 0.000229 | 0.07000 | 0.687 | 2.000 |
| 側壁上 τ 点 | -3.807 | 45.007 | 0.12500 | 0.000163 | 0.06250 | 0.939 | 1.247 |
| 側壁下 τ 点 | -4.098 | 48.734 | 0.12500 | 0.000163 | 0.06250 | 1.017 | 1.248 |

補正した許容せん断応力度

| 照査位置 | τa | 補正係数 | | | 補正 τa |
|--------------|----------|-------|-----------------|----------------|----------------|
| | | Ce | C _{pt} | C _n | |
| 頂版 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.500 | 1.092 | 0.619 |
| 底版 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.500 | 2.000 | 1.134 |
| 側壁上 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.280 | 1.247 | 0.603 |
| 側壁下 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.280 | 1.248 | 0.604 |

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 τa (N/mm ²) | 判定 |
|--------------|-------------------|---------------------------------------|--|----|
| 頂版 τ 点 | 46.947 | 0.440 | 0.619 | OK |
| 底版 τ 点 | 43.699 | 0.410 | 1.134 | OK |
| 側壁上 τ 点 | 21.390 | 0.238 | 0.603 | OK |
| 側壁下 τ 点 | 23.821 | 0.265 | 0.604 | OK |

以 上