

受付 No.

台帳 No. RL429000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

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) 1200 mm
内 高(H) 800 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) 1200 × (H) 800 × (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 |
|----------|-------------|

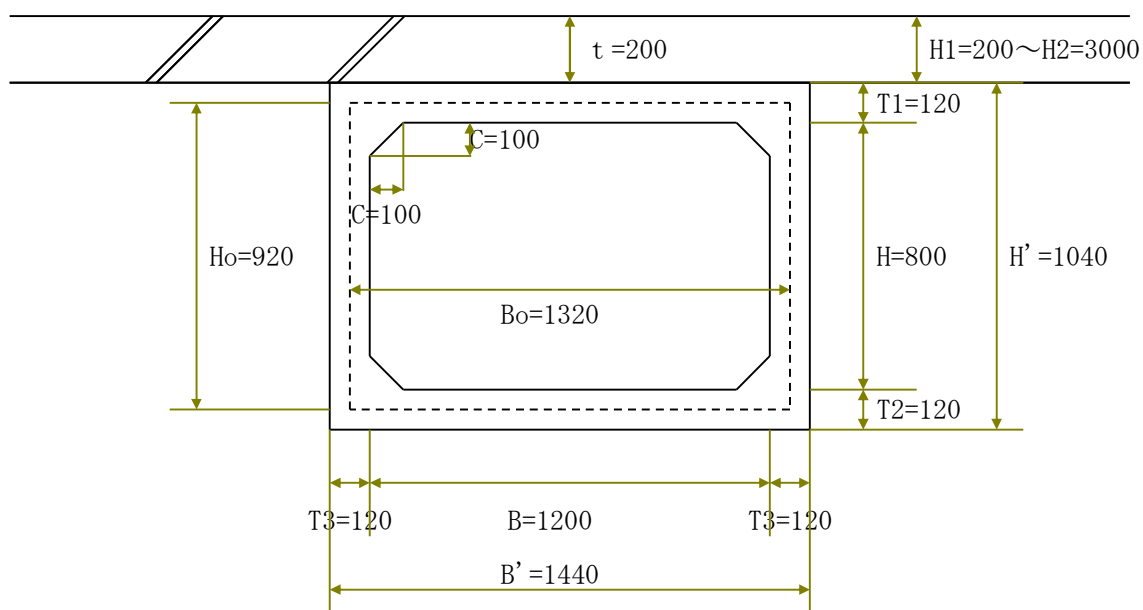
| | |
|-----------|--------------------------|
| 1.6 鉄筋かぶり | : 頂 版 底 版 側 壁 |
| | : (内側) 35 mm 35 mm 35 mm |
| | : (外側) 35 mm 35 mm 35 mm |

| | |
|----------------------|-----------------|
| 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

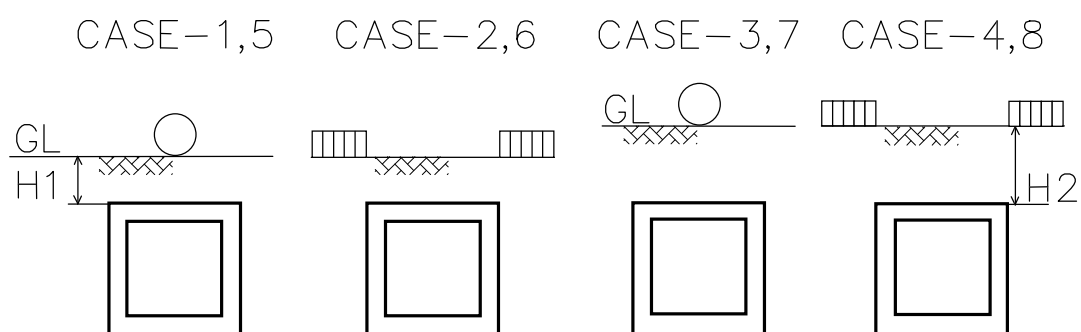
| | |
|----------|---|
| 鉄筋引張応力度 | : $\sigma sa = 160$ [N/mm ²] |
| 鉄筋降伏点応力度 | : $\sigma sy = 295$ [N/mm ²] |
| コンクリート | |
| 設計基準強度 | : $\sigma ck = 40.0$ [N/mm ²] |
| 曲げ圧縮応力度 | : $\sigma ca = 14.0$ [N/mm ²] |
| せん断応力度 | : $\tau a = 0.270$ [N/mm ²] |

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



(a) ハンチ以外の場合

(b) ハンチにある場合

b) について

ハンチにある場合の部材断面の高さは、ハンチにかかっている部分 C' の 1/3 まで大きくとります。

$$h' = T + C'/3$$

2.1.1 設 計 荷 重 (CASE - 1)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 2.790 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 11.070 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 76.372 \text{ kN/m}^2$$

[荷重図]



2.1.2 構造解析 (CASE - 1)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法
 によって行う。

(1) ラーメン計算

① 係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.697, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.697$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 11.089 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 14.153 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 0.547 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.430 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -6.719 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 7.580 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -6.406 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 6.406 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 8.870 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -8.870 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 46.191 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 14.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 37.422 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 10.228 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -0.608 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -4.627 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

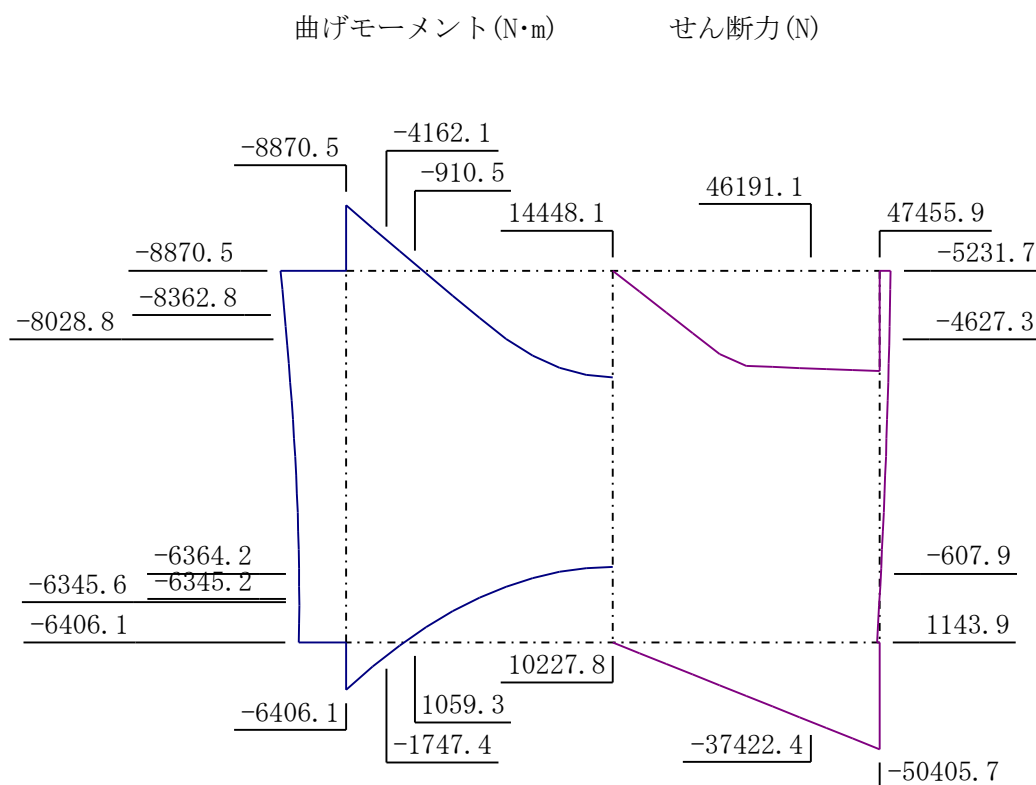
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.108 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -6.345 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

| | | [/ 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 | -8871 | 47456 | 5232 |
| | 2 ハチ始点 | 0.160 | -4162 | ***** | 5232 |
| | S2 τ点 | 0.170 | -911 | 46191 | 5232 |
| | 1 中央 | 0.660 | 14448 | 0 | 5232 |
| 底版 | 9, S9 端部 | 0.060 | -6406 | 50406 | 1144 |
| | 10 ハチ始点 | 0.160 | -1747 | ***** | 1144 |
| | S10 τ点 | 0.170 | 1059 | 37422 | 1144 |
| | 11 中央 | 0.660 | 10228 | 0 | 1144 |
| 側壁 | 4, S4 上端部 | 0.860 | -8871 | -5232 | 47456 |
| | 5 上ハチ点 | 0.760 | -8363 | ***** | 47777 |
| | S5 上τ点 | 0.750 | -8029 | -4627 | 48001 |
| | 6 中間 | 0.108 | -6345 | 0 | 50059 |
| | S7 下τ点 | 0.170 | -6364 | -608 | 49861 |
| | 7 下ハチ点 | 0.160 | -6346 | ***** | 50085 |
| | 8, S8 下端部 | 0.060 | -6406 | 1144 | 50406 |



2.2.1 設 計 荷 重 (CASE - 2)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 7.790 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 16.070 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 11.909 \text{ kN/m}^2$$

[荷重図]



2.2.2 構造解析 (CASE - 2)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法
 によって行う。

(1) ラーメン計算

① 係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.697, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.697$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 1.729 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 1.080 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 0.900 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 0.783 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -0.404 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 0.260 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -1.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 1.448 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 0.899 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -0.899 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

(1) 頂版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 3.646 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 0.721 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -2.802 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 1.146 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 4.117 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -2.802 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.484 \text{ m}$$

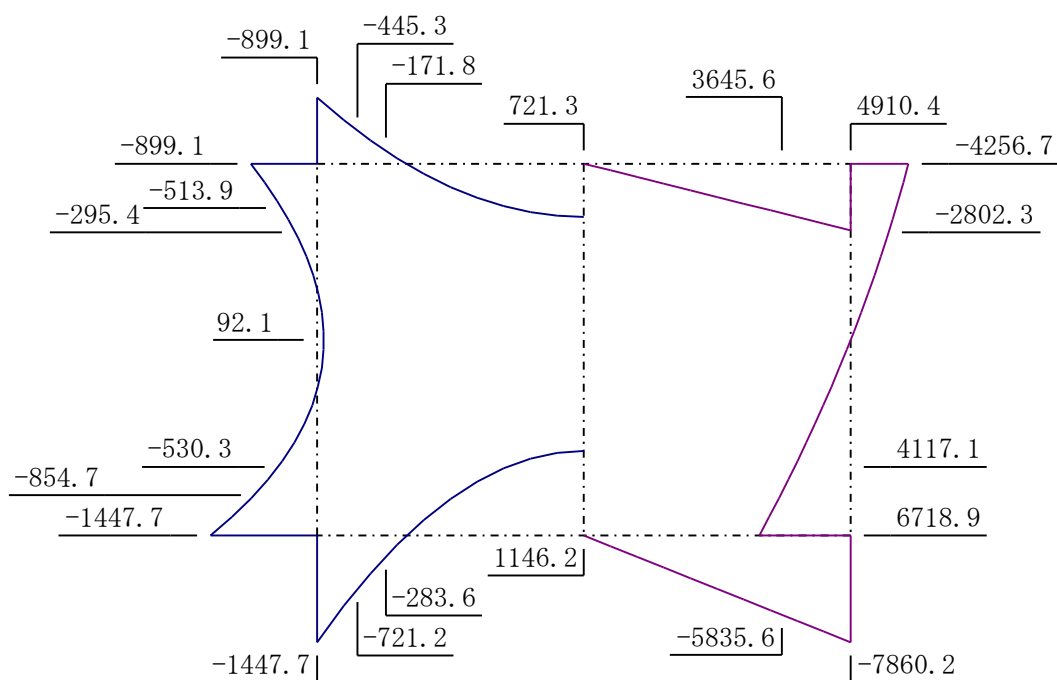
$$\begin{aligned} M_{\max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = 0.092 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/ 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 | -899 | 4910 | 4257 |
| | 2 ハチ始点 | 0.160 | -445 | ***** | 4257 |
| | S2 τ 点 | 0.170 | -172 | 3646 | 4257 |
| | 1 中 央 | 0.660 | 721 | 0 | 4257 |
| 底版 | 9, S9 端 部 | 0.060 | -1448 | 7860 | 6719 |
| | 10 ハチ始点 | 0.160 | -721 | ***** | 6719 |
| | S10 τ 点 | 0.170 | -284 | 5836 | 6719 |
| | 11 中 央 | 0.660 | 1146 | 0 | 6719 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 0.860 | -899 | -4257 | 4910 |
| | 5 上ハチ点 | 0.760 | -514 | ***** | 5231 |
| | S5 上 τ 点 | 0.750 | -295 | -2802 | 5456 |
| | 6 中 間 | 0.484 | 92 | 0 | 6308 |
| | S7 下 τ 点 | 0.170 | -530 | 4117 | 7315 |
| | 7 下ハチ点 | 0.160 | -855 | ***** | 7540 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.060 | -1448 | 6719 | 7860 |

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 27.990 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 36.270 \text{ kN/m}^2$$

(3) 活荷重

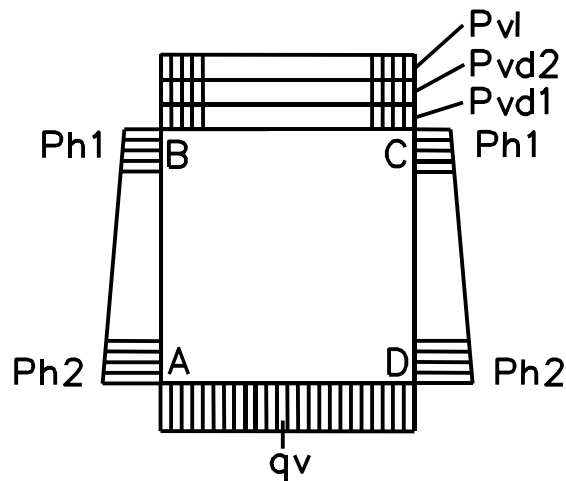
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅} \quad u &= a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 活荷重} \quad P1 &= 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN} \\ P_{v1} &= 2 \times P1 / 2.75 / u = 13.724 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 76.034 \text{ kN/m}^2$$

[荷重図]



2.3.2 構造解析 (CASE - 3)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法
 によって行う。

(1) ラーメン計算

① 係数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.697, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.697$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 11.040 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 10.391 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 2.325 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 2.208 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -5.051 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 4.907 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -7.520 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 7.520 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 6.971 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -6.971 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

(1) 頂版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 35.066 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 8.616 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 37.257 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 9.040 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 9.975 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -8.660 \text{ kN}$$

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。

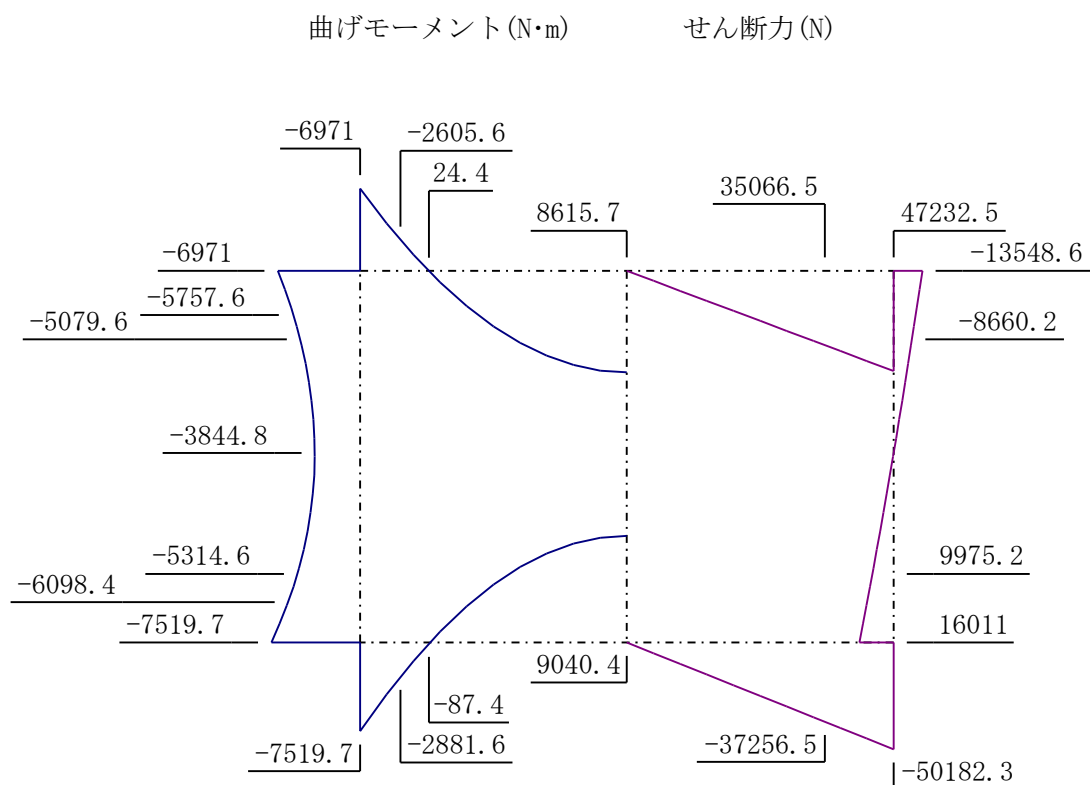
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.469 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -3.845 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/ 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 | -6971 | 47233 | 13549 |
| | 2 ハチ始点 | 0.160 | -2606 | ***** | 13549 |
| | S2 τ 点 | 0.170 | 24 | 35067 | 13549 |
| | 1 中 央 | 0.660 | 8616 | 0 | 13549 |
| 底版 | 9, S9 端 部 | 0.060 | -7520 | 50182 | 16011 |
| | 10 ハチ始点 | 0.160 | -2882 | ***** | 16011 |
| | S10 τ 点 | 0.170 | -87 | 37257 | 16011 |
| | 11 中 央 | 0.660 | 9040 | 0 | 16011 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 0.860 | -6971 | -13549 | 47233 |
| | 5 上ハチ点 | 0.760 | -5758 | ***** | 47553 |
| | S5 上 τ 点 | 0.750 | -5080 | -8660 | 47778 |
| | 6 中 間 | 0.469 | -3845 | 0 | 48679 |
| | S7 下 τ 点 | 0.170 | -5315 | 9975 | 49637 |
| | 7 下ハチ点 | 0.160 | -6098 | ***** | 49862 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.060 | -7520 | 16011 | 50182 |



2.4.1 設 計 荷 重 (CASE - 4)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 2.940 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 32.990 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 41.270 \text{ kN/m}^2$$

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。

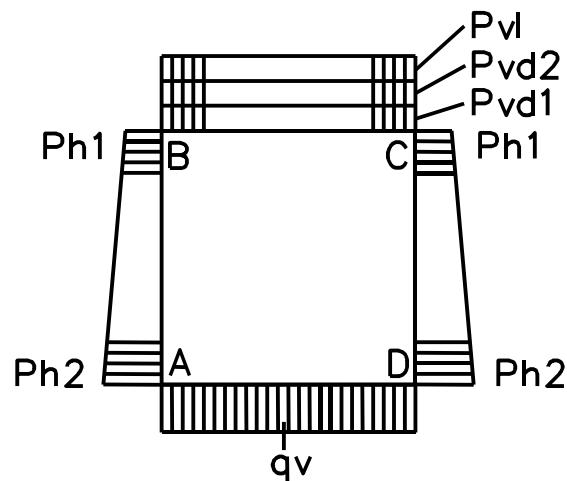
(3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 62.309 \text{ kN/m}^2$$

[荷重図]



2.4.2 構造解析 (CASE - 4)

ボックスカルバートの断面力の算定は、ラーメン構造として解析する。
 なお、ラーメン解析は、部材節点の剛域を考慮しないたわみ角法
 によって行う。

(1) ラーメン計算

① 係 数

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.697$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.697, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.697$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 9.047 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 8.398 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 2.677 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 2.561 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -3.669 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 3.525 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -6.490 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 6.490 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 5.942 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -5.942 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 28.342 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 6.656 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 30.532 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 7.081 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 11.425 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -10.110 \text{ kN}$$

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。

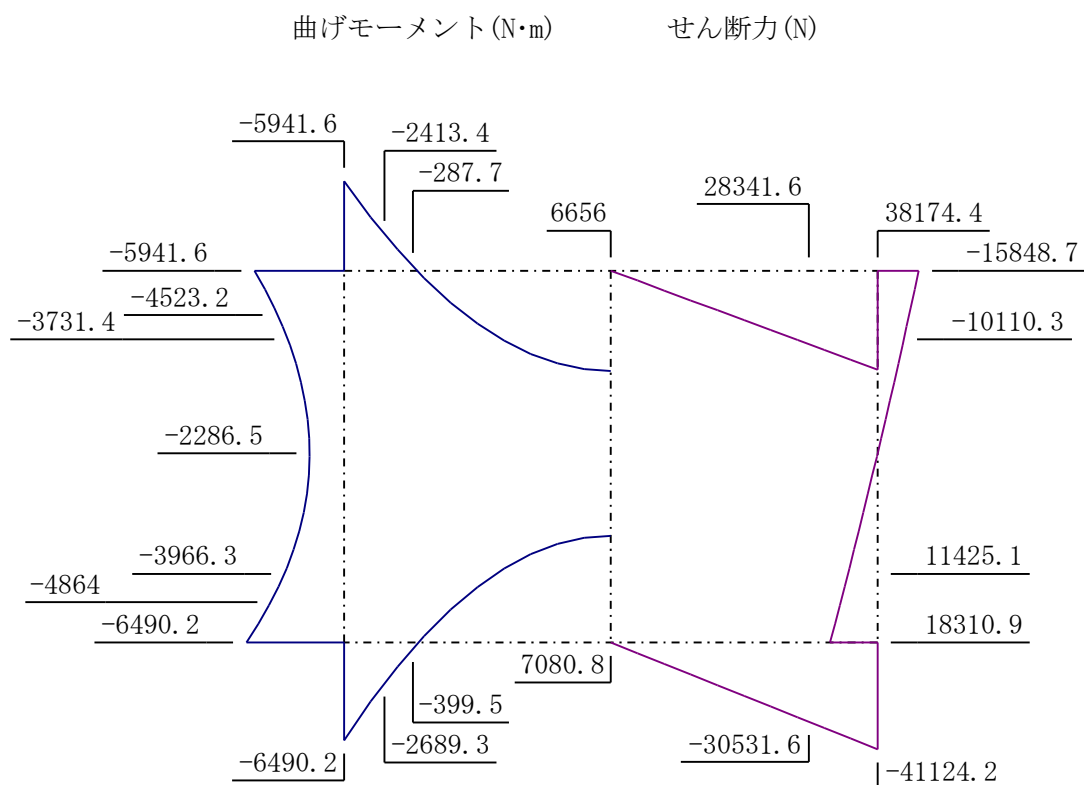
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.468 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -2.287 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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 | -5942 | 38174 | 15849 |
| | 2 ハチ始点 | 0.160 | -2413 | ***** | 15849 |
| | S2 τ 点 | 0.170 | -288 | 28342 | 15849 |
| | 1 中 央 | 0.660 | 6656 | 0 | 15849 |
| 底版 | 9, S9 端 部 | 0.060 | -6490 | 41124 | 18311 |
| | 10 ハチ始点 | 0.160 | -2689 | ***** | 18311 |
| | S10 τ 点 | 0.170 | -400 | 30532 | 18311 |
| | 11 中 央 | 0.660 | 7081 | 0 | 18311 |
| 側壁 | 4, S4 上 端部 | 0.860 | -5942 | -15849 | 38174 |
| | 5 上ハチ点 | 0.760 | -4523 | ***** | 38495 |
| | S5 上 τ 点 | 0.750 | -3731 | -10110 | 38720 |
| | 6 中 間 | 0.468 | -2287 | 0 | 39624 |
| | S7 下 τ 点 | 0.170 | -3966 | 11425 | 40579 |
| | 7 下ハチ点 | 0.160 | -4864 | ***** | 40804 |
| | 8, S8 下 端部 | 0.060 | -6490 | 18311 | 41124 |



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 | -8.870 | 5.232 | 169.55 | 4.17 | 9.088 | 1 |
| 頂版 | ハチ始点 | -4.162 | 5.232 | 79.56 | 2.50 | 4.293 | 1 |
| | 中 央 | 14.448 | 5.232 | 276.16 | 2.50 | 14.579 | 1 |
| | 端 部 | -7.520 | 16.011 | 46.97 | 4.17 | 8.187 | 3 |
| 底版 | ハチ始点 | -2.882 | 16.011 | 18.00 | 2.50 | 3.282 | 3 |
| | 中 央 | 10.228 | 1.144 | 894.12 | 2.50 | 10.256 | 1 |
| | 上端部 | -8.870 | 47.456 | 18.69 | 4.17 | 10.848 | 1 |
| | 上ハチ点 | -8.363 | 47.776 | 17.50 | 2.50 | 9.557 | 1 |
| 側壁 | 中 間 | -6.345 | 50.059 | 12.68 | 2.50 | 7.597 | 1 |
| | 下ハチ点 | -6.346 | 50.085 | 12.67 | 2.50 | 7.598 | 1 |
| | 下端部 | -7.520 | 50.182 | 14.98 | 4.17 | 9.611 | 3 |

注1) CASEのMは、曲げモーメント抽出ケースを示す。

4 必要有効高および必要鉄筋量

4.1 必要有効高

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

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

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

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(As)

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

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

上式を解いて 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 | 9.088 | 5.31 | 8.81 | 15.33 | 5.020 |
| 頂版 | ハチ始点 | 4.293 | 3.65 | 7.15 | 12.00 | 3.174 |
| | 中 央 | 14.579 | 6.73 | 10.23 | 12.00 | 12.449 |
| | 端 部 | 8.187 | 5.04 | 8.54 | 15.33 | 3.792 |
| 底版 | ハチ始点 | 3.282 | 3.19 | 6.69 | 12.00 | 1.644 |
| | 中 央 | 10.256 | 5.64 | 9.14 | 12.00 | 8.707 |
| | 上端部 | 10.848 | 5.80 | 9.30 | 15.33 | 3.473 |
| | 上ハチ点 | 9.557 | 5.45 | 8.95 | 12.00 | 5.158 |
| 側壁 | 中 間 | 7.597 | 4.86 | 8.36 | 12.00 | 3.256 |
| | 下ハチ点 | 7.598 | 4.86 | 8.36 | 12.00 | 3.255 |
| | 下端部 | 9.611 | 5.46 | 8.96 | 15.33 | 2.533 |
| 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 13 - 16 | D 10 - 16 | D-0 - 0 | D 10 - 16 |
| D 0 - 0 | D 0 - 0 | D 0 - 0 | D 0 - 0 | D 0 - 0 | D 0 - 0 |

| 部材 | 点 | 部材幅 b (cm) | 使用鉄筋量 A _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 | 3.821 | 4.50 141.7 0.0 |
| | ハチ始点 | 100.00 | 5.706 | 3.168 | 3.64 91.9 0.0 |
| | 中 央 | 100.00 | 15.888 | 4.450 | 9.34 127.5 0.0 |
| 底版 | 端 部 | 100.00 | 5.706 | 4.084 | 3.83 108.9 0.0 |
| | ハチ始点 | 100.00 | 5.706 | 3.607 | 2.49 50.7 0.0 |
| | 中 央 | 100.00 | 10.136 | 3.797 | 7.47 138.7 0.0 |
| 側壁 | 上端部 | 100.00 | 5.706 | 4.706 | 4.49 102.0 0.0 |
| | 上ハチ点 | 100.00 | 5.706 | 3.624 | 7.23 146.0 0.0 |
| | 中 間 | 100.00 | 5.706 | 3.881 | 5.43 97.0 0.0 |
| | 下ハチ点 | 100.00 | 5.706 | 3.881 | 5.43 97.0 0.0 |
| | 下端部 | 100.00 | 5.706 | 4.995 | 3.78 77.7 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 | 46.191 | 3.646 | 35.066 | 28.342 | | | | |
| | M | -0.910 | | | | | | | |
| | N | 5.232 | | | | | | | |
| | 最大 | ○ | | | | | | | |
| 底版 τ点 | S | 37.422 | 5.836 | 37.257 | 30.532 | | | | |
| | M | 1.059 | | | | | | | |
| | N | 1.144 | | | | | | | |
| | 最大 | ○ | | | | | | | |
| 側壁上 τ点 | S | -4.627 | -2.802 | -8.660 | -10.110 | | | | |
| | M | | | | -3.731 | | | | |
| | N | | | | 38.719 | | | | |
| | 最大 | | | | ○ | | | | |
| 側壁下 τ点 | S | -0.608 | 4.117 | 9.975 | 11.425 | | | | |
| | M | | | | -3.966 | | | | |
| | N | | | | 40.579 | | | | |
| | 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 (%) | Cpt |
|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-------|-------|--------------------------|------------------|-------|
| | | | | | 径-本数 | As (cm ²) | | |
| 頂版 τ 点 | 0.120 | 0.035 | 0.085000 | 1.400 | D10-8 | 5.706 | 0.671 | 1.303 |
| 底版 τ 点 | 0.120 | 0.035 | 0.085000 | 1.400 | D13-8 | 10.136 | 1.192 | 1.500 |
| 側壁上 τ 点 | 0.120 | 0.035 | 0.085000 | 1.400 | D10-8 | 5.706 | 0.671 | 1.303 |
| 側壁下 τ 点 | 0.120 | 0.035 | 0.085000 | 1.400 | D10-8 | 5.706 | 0.671 | 1.303 |

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 | -0.910 | 5.232 | 0.12000 | 0.000144 | 0.06000 | 0.105 | 1.115 |
| 底版 τ 点 | 1.059 | 1.144 | 0.12000 | 0.000144 | 0.06000 | 0.023 | 1.022 |
| 側壁上 τ 点 | -3.731 | 38.720 | 0.12000 | 0.000144 | 0.06000 | 0.774 | 1.208 |
| 側壁下 τ 点 | -3.966 | 40.579 | 0.12000 | 0.000144 | 0.06000 | 0.812 | 1.205 |

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 | Cpt | Cn | |
| 頂版 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.303 | 1.115 | 0.549 |
| 底版 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.500 | 1.022 | 0.579 |
| 側壁上 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.303 | 1.208 | 0.595 |
| 側壁下 τ 点 | 0.270 | 1.400 | 1.303 | 1.205 | 0.593 |

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 | 46.191 | 0.543 | 0.549 | OK |
| 底版 τ 点 | 37.422 | 0.440 | 0.579 | OK |
| 側壁上 τ 点 | 10.110 | 0.119 | 0.595 | OK |
| 側壁下 τ 点 | 11.425 | 0.134 | 0.593 | OK |

以 上