

受付 No.

台帳 No. RM424000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

C Y - S Y S T E M

パワーボックスカルバート

設 計 計 算 書

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

○内空寸法 : 内 幅(B) 3000 mm
内 高(H) 1000 mm
長 さ(L) 1500 mm

○設計条件 : 荷 重 T' 荷重 (横断)

土被り H1= 0.200 m
H2= 3.000 m

千 葉 窯 業 株 式 会 社

1 設 計 条 件

1.1 一般条件

構造形式	: 一径間ボックスラーメン
内空寸法	: (B) 3000 × (H) 1000 × (L) 1500 [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
----------	-------------

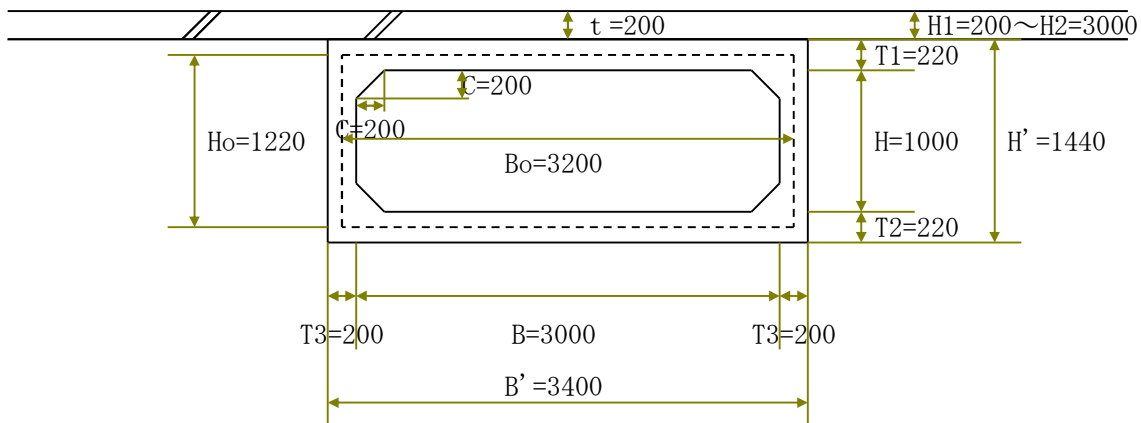
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 35 mm 35 mm 35 mm
	: (外側) 35 mm 35 mm 35 mm

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

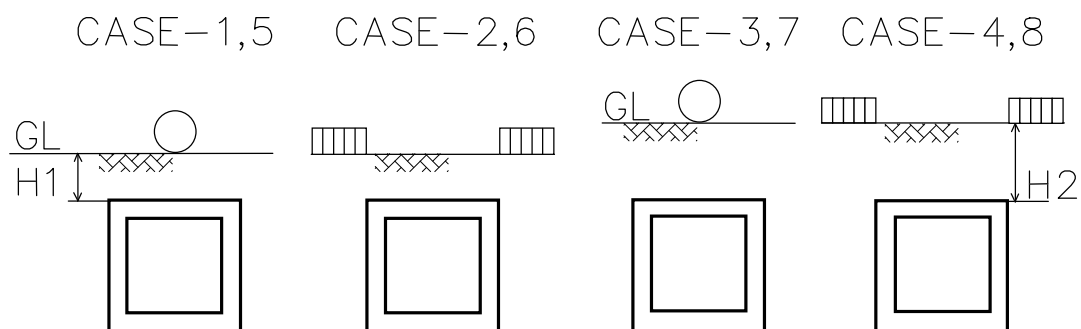
鉄筋引張応力度	: $\sigma sa = 160$ [N/mm ²]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma sy = 295$ [N/mm ²]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma ck = 40.0$ [N/mm ²]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma ca = 14.0$ [N/mm ²]
せん断応力度	: $\tau a = 0.270$ [N/mm ²]

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

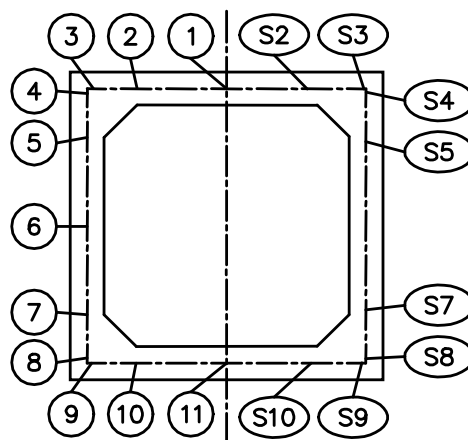
■ 本設計書は、CASE-1, 2, 3, 4 について行う。

2 断面力計算

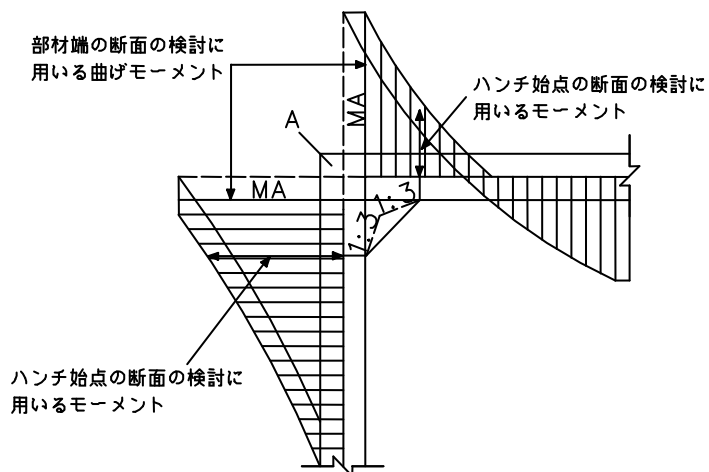
ボックスカルバートの曲げモーメント及びせん断力照査位置

曲げモーメント

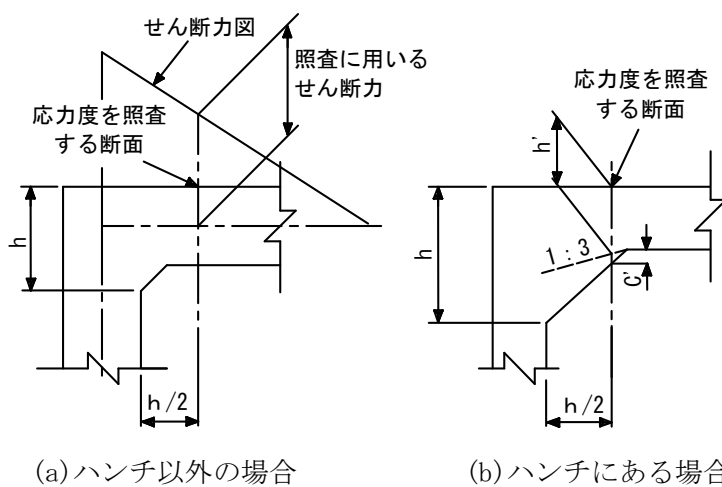
せん断力



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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

(2) 土圧

① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 4.500 \text{ kN/m}^2$$

② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 3.240 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 14.220 \text{ kN/m}^2$$

(3) 活荷重

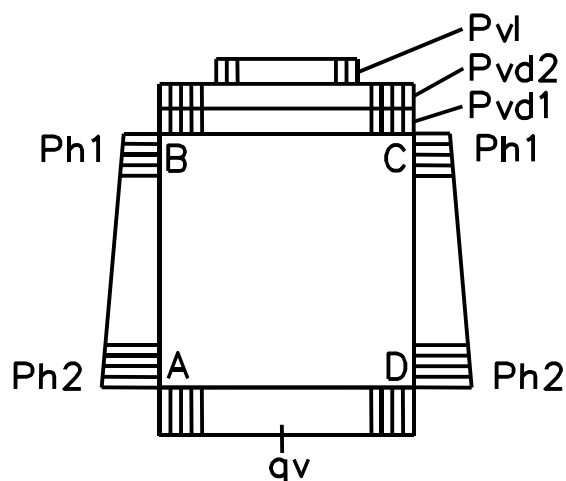
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅 } u &= a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{② 活荷重 } P1 &= 0.4 \times T \times (1 + i) \times \beta = 117.000 \text{ kN} \\ P_{v1} &= 2 \times P1 / 2.75 / u = 141.818 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 40.830 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.507, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.507$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 34.841 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 42.077 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 1.219 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 0.947 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -23.724 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 25.865 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -22.803 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 22.803 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 28.952 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -28.952 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 55.304 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 45.398 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 52.670 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 29.459 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -2.575 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -7.813 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

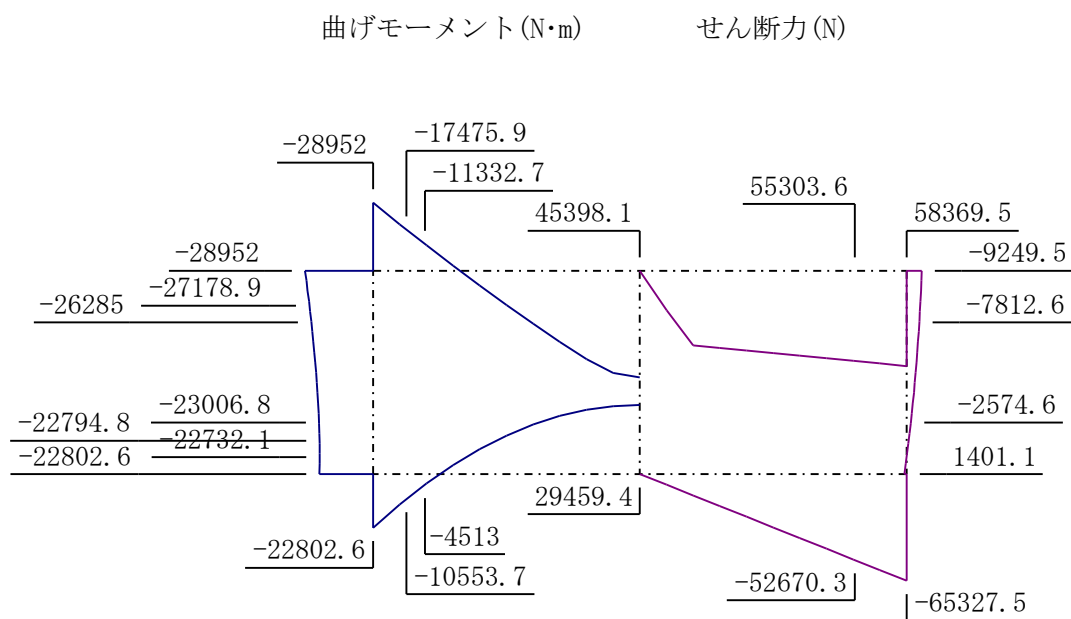
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.102 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -22.732 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[/ 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	0.100	-28952	58370	9250
	ハチ始点	0.300	-17476	*****	9250
	S2 τ 点	0.310	-11333	55304	9250
	1 中 央	1.600	45398	0	9250
底版 10	9, S9 端 部	0.100	-22803	65328	1401
	ハチ始点	0.300	-10554	*****	1401
	S10 τ 点	0.310	-4513	52670	1401
	11 中 央	1.600	29459	0	1401
側壁 6	4, S4 上 端部	1.110	-28952	-9250	58370
	5 上ハチ点	0.910	-27179	*****	59510
	S5 上 τ 点	0.910	-26285	-7813	60138
	中 間	0.102	-22732	0	64746
	S7 下 τ 点	0.310	-23007	-2575	63559
	7 下ハチ点	0.310	-22795	*****	64187
	8, S8 下 端部	0.110	-22803	1401	65328



2.2.1 設 計 荷 重 (CASE - 2)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

(2) 土圧

① 鉛直土圧

$$P_{vd2} = \alpha \times \{ \gamma_s \times (H1 - t - t_b) + \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b \} = 4.500 \text{ kN/m}^2$$

② 水平土圧

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 8.240 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 19.220 \text{ kN/m}^2$$

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。

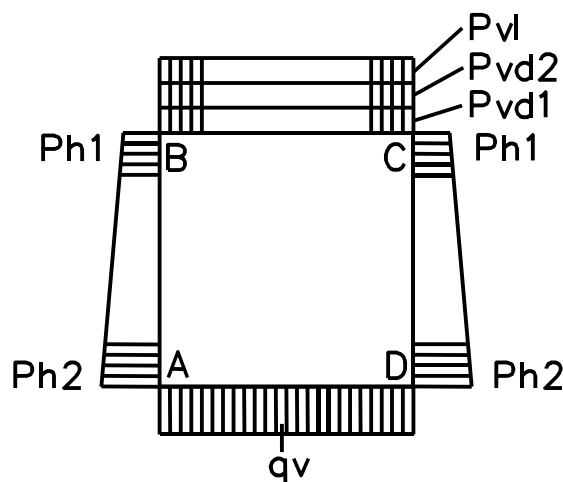
(3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 14.239 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.507, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.507$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 12.150 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 8.439 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 1.839 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 1.567 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -6.190 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 5.210 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -9.009 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 9.009 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 5.796 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -5.796 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 12.758 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 6.863 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -1.638 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 9.216 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 6.600 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -1.638 \text{ kN}$$

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。

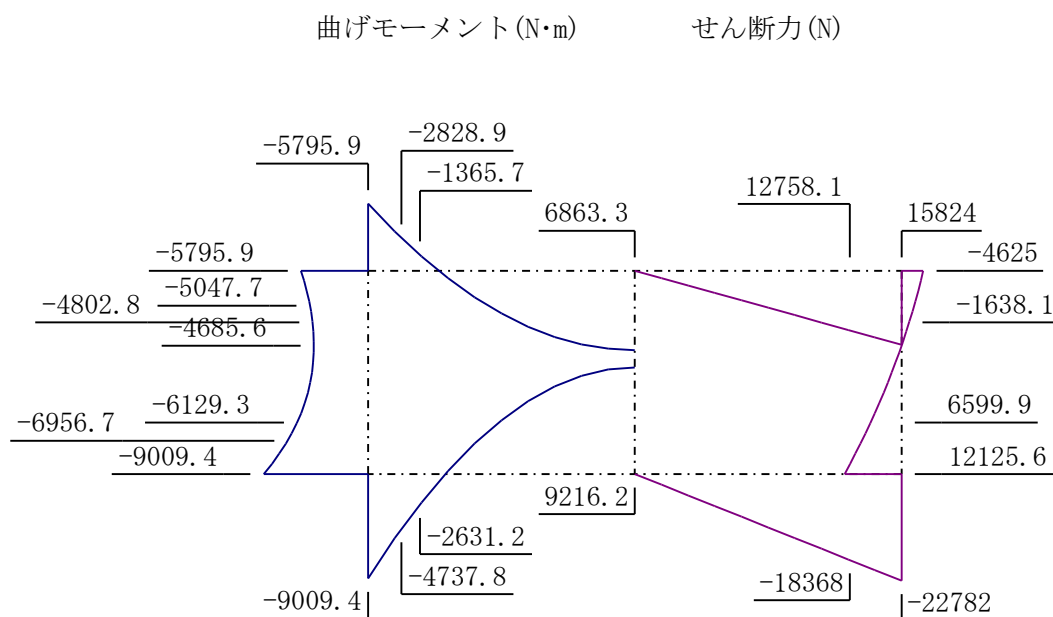
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.770 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -4.686 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.100	-5796	15824	4625
	2 ハチ始点	0.300	-2829	*****	4625
	S2 τ 点	0.310	-1366	12758	4625
	1 中 央	1.600	6863	0	4625
底版	9, S9 端 部	0.100	-9009	22782	12126
	10 ハチ始点	0.300	-4738	*****	12126
	S10 τ 点	0.310	-2631	18368	12126
	11 中 央	1.600	9216	0	12126
側壁	4, S4 上 端部	1.110	-5796	-4625	15824
	5 上ハチ点	0.910	-5048	*****	16965
	S5 上 τ 点	0.910	-4803	-1638	17592
	6 中 間	0.770	-4686	0	18391
	S7 下 τ 点	0.310	-6129	6600	21014
	7 下ハチ点	0.310	-6957	*****	21641
	8, S8 下 端部	0.110	-9009	12126	22782



2.3.1 設 計 荷 重 (CASE - 3)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.440 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 39.420 \text{ kN/m}^2$$

(3) 活荷重

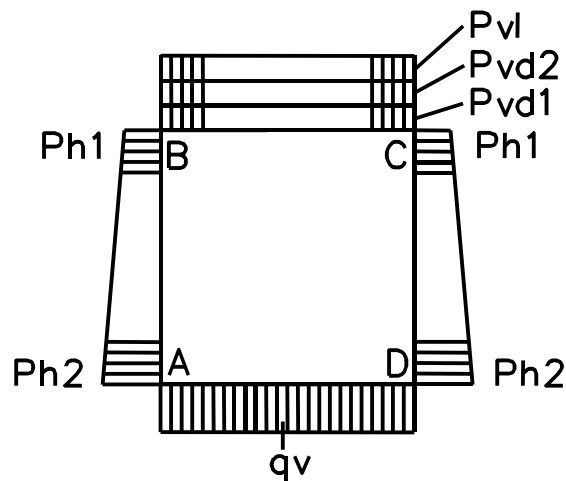
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅} \quad u &= a + 2 \times H2 = 6.200 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H2 = 6.500 \text{ m} \end{aligned}$$

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

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 78.363 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.507, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.507$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 66.870 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 63.159 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 4.345 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 4.072 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -40.827 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 39.847 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -46.152 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 46.152 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 42.939 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -42.939 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 95.478 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 51.800 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 101.088 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 54.153 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 12.660 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -7.698 \text{ kN}$$

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。

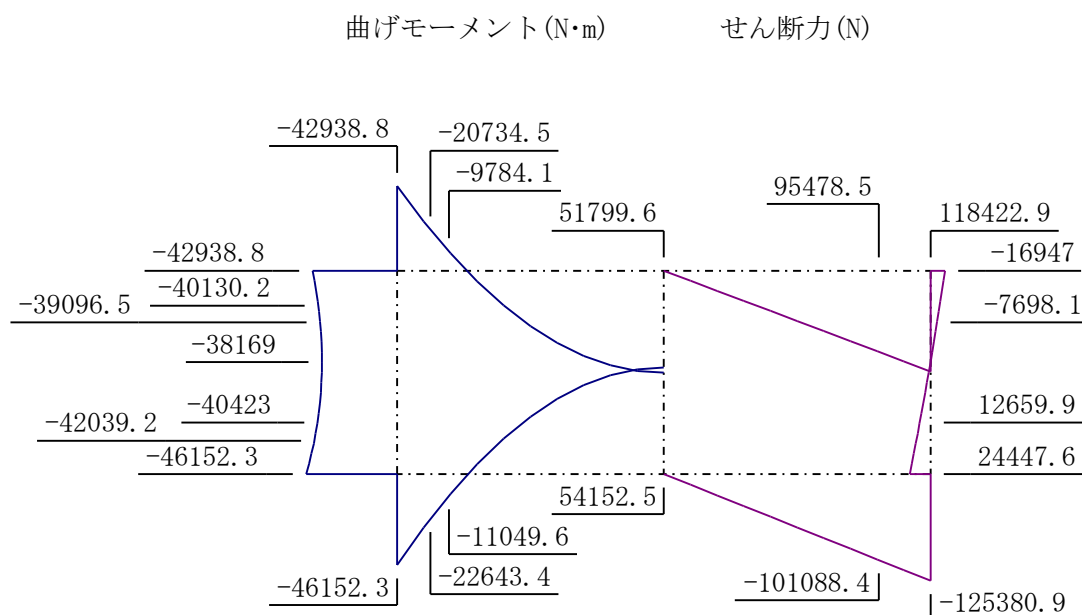
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.672 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -38.169 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.100	-42939	118423	16947
	2 ハチ始点	0.300	-20735	*****	16947
	S2 τ 点	0.310	-9784	95479	16947
	1 中 央	1.600	51800	0	16947
底版	9, S9 端 部	0.100	-46152	125381	24448
	10 ハチ始点	0.300	-22643	*****	24448
	S10 τ 点	0.310	-11050	101088	24448
	11 中 央	1.600	54153	0	24448
側壁	4, S4 上 端部	1.110	-42939	-16947	118423
	5 上ハチ点	0.910	-40130	*****	119564
	S5 上 τ 点	0.910	-39097	-7698	120191
	6 中 間	0.672	-38169	0	121548
	S7 下 τ 点	0.310	-40423	12660	123613
	7 下ハチ点	0.310	-42039	*****	124240
	8, S8 下 端部	0.110	-46152	24448	125381



2.4.1 設 計 荷 重 (CASE - 4)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 5.390 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.440 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 44.420 \text{ kN/m}^2$$

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。

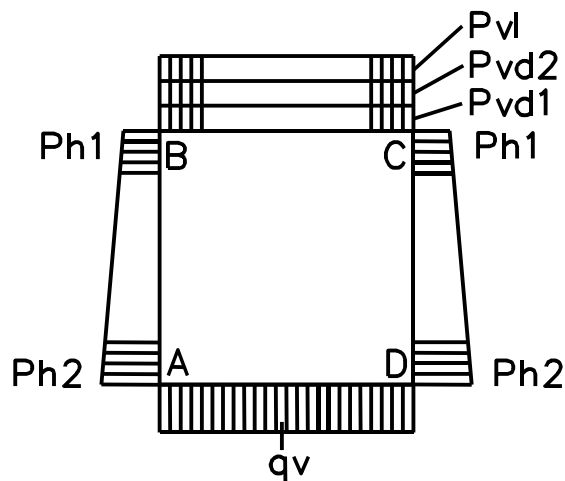
(3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 64.639 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.507$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.507, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.507$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 55.158 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 51.447 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 4.965 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 4.692 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -32.647 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 31.666 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -38.592 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 38.592 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 35.379 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -35.379 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 77.774 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 41.793 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 83.384 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 44.146 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 14.160 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -9.198 \text{ kN}$$

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。

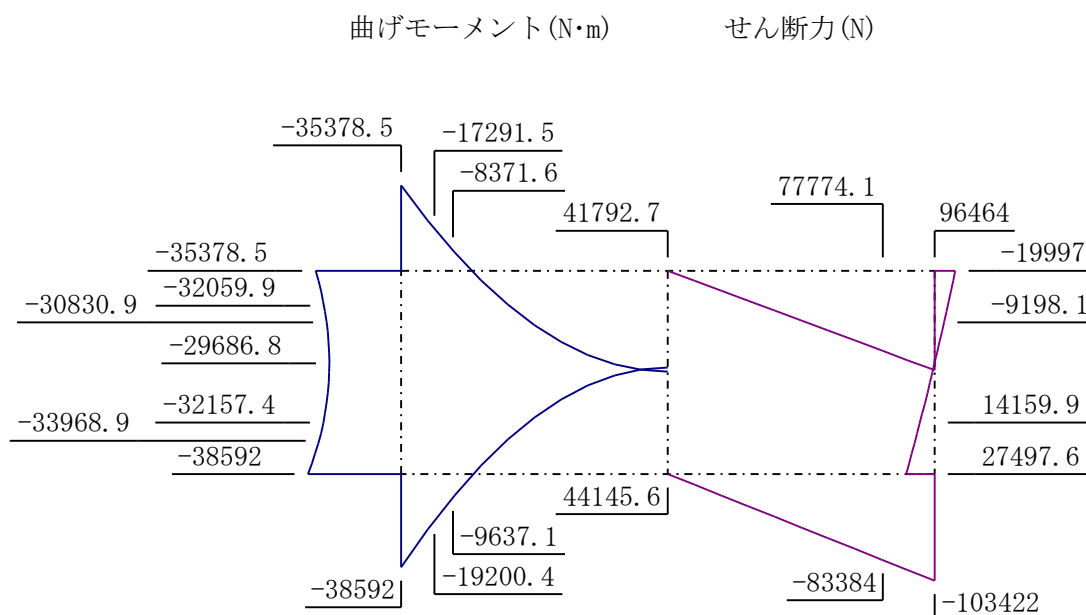
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.664 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -29.687 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.100	-35379	96464	19997
	2 ハチ始点	0.300	-17292	*****	19997
	S2 τ 点	0.310	-8372	77774	19997
	1 中 央	1.600	41793	0	19997
底版	9, S9 端 部	0.100	-38592	103422	27498
	10 ハチ始点	0.300	-19200	*****	27498
	S10 τ 点	0.310	-9637	83384	27498
	11 中 央	1.600	44146	0	27498
側壁	4, S4 上 端部	1.110	-35379	-19997	96464
	5 上ハチ点	0.910	-32060	*****	97605
	S5 上 τ 点	0.910	-30831	-9198	98232
	6 中 間	0.664	-29687	0	99635
	S7 下 τ 点	0.310	-32157	14160	101654
	7 下ハチ点	0.310	-33969	*****	102281
	8, S8 下 端部	0.110	-38592	27498	103422



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	-42.939	16.947	253.37	10.83	44.775	3
頂版	ハチ始点	-20.735	16.947	122.35	7.50	22.006	3
	中 央	51.800	16.947	305.66	7.50	53.071	3
	端 部	-46.152	24.448	188.78	10.83	48.801	3
底版	ハチ始点	-22.643	24.448	92.62	7.50	24.477	3
	中 央	54.153	24.448	221.50	7.50	55.986	3
	上端部	-42.939	118.423	36.26	9.83	54.584	3
	上ハチ点	-40.130	119.564	33.56	6.50	47.902	3
側壁	中 間	-38.169	121.548	31.40	6.50	46.070	3
	下ハチ点	-42.039	124.240	33.84	6.50	50.115	3
	下端部	-46.152	125.381	36.81	9.83	58.482	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(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	44.775	11.79	15.29	28.67	11.379
頂版	ハチ始点	22.006	8.27	11.77	22.00	7.218
	中 央	53.071	12.84	16.34	22.00	19.932
	端 部	48.801	12.31	15.81	28.67	12.088
底版	ハチ始点	24.477	8.72	12.22	22.00	7.727
	中 央	55.986	13.18	16.68	22.00	20.694
	上端部	54.584	13.02	16.52	26.67	9.397
	上ハチ点	47.902	12.19	15.69	20.00	13.950
側壁	中 間	46.070	11.96	15.46	20.00	12.952
	下ハチ点	50.115	12.47	15.97	20.00	14.716
	下端部	58.482	13.47	16.97	26.67	10.234
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 19 - 7	D 16 - 14	D 19 - 7	D 16 - 14	D-0 - 0	D 16 - 14
D 16 - 7	D 0 - 0	D 16 - 7	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	18.536	9.688	4.21	101.0	0.0
	ハチ始点	100.00	18.536	8.110	3.44	66.0	0.0
	中 央	100.00	22.638	8.469	7.99	142.1	0.0
底版	端 部	100.00	18.536	9.798	4.55	107.0	0.0
	ハチ始点	100.00	18.536	8.232	3.77	70.6	0.0
	中 央	100.00	22.638	8.527	8.39	147.1	0.0
側壁	上端部	100.00	18.536	10.887	5.13	86.8	0.0
	上ハチ点	100.00	18.536	8.319	8.39	123.8	0.0
	中 間	100.00	18.536	8.399	8.01	115.8	0.0
	下ハチ点	100.00	18.536	8.310	8.79	129.9	0.0
	下端部	100.00	18.536	10.856	5.51	93.8	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	55.304	12.758	95.478	77.774				
	M			-9.784					
	N			16.947					
	最大			○					
底版 τ点	S	52.670	18.368	101.088	83.384				
	M			-11.050					
	N			24.448					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-7.813	-1.638	-7.698	-9.198				
	M				-30.831				
	N				98.232				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	-2.575	6.600	12.660	14.160				
	M				-32.157				
	N				101.654				
	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 (%)	C _{pt}
					径-本数	As (cm ²)		
頂版 τ 点	0.220	0.035	0.185000	1.400	D16-9.3	18.536	1.002	1.500
底版 τ 点	0.220	0.035	0.185000	1.400	D16-9.3	18.536	1.002	1.500
側壁上 τ 点	0.200	0.035	0.165000	1.400	D16-9.3	18.536	1.123	1.500
側壁下 τ 点	0.200	0.035	0.165000	1.400	D16-9.3	18.536	1.123	1.500

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	-9.784	16.947	0.22000	0.000887	0.11000	0.621	1.063
底版 τ 点	-11.050	24.448	0.22000	0.000887	0.11000	0.896	1.081
側壁上 τ 点	-30.831	98.232	0.20000	0.000667	0.10000	3.276	1.106
側壁下 τ 点	-32.157	101.654	0.20000	0.000667	0.10000	3.390	1.105

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	1.063	0.603
底版 τ 点	0.270	1.400	1.500	1.081	0.613
側壁上 τ 点	0.270	1.400	1.500	1.106	0.627
側壁下 τ 点	0.270	1.400	1.500	1.105	0.627

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	95.478	0.516	0.603	OK
底版 τ 点	101.088	0.546	0.613	OK
側壁上 τ 点	9.198	0.056	0.627	OK
側壁下 τ 点	14.160	0.086	0.627	OK

以 上