

台帳 No. SS407000

○内空寸法：

内 幅(B)	3500 mm
内 高(H)	2000 mm
長 さ(L)	1000 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) 3500 × (H) 2000 × (L) 1000 [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
----------	-------------

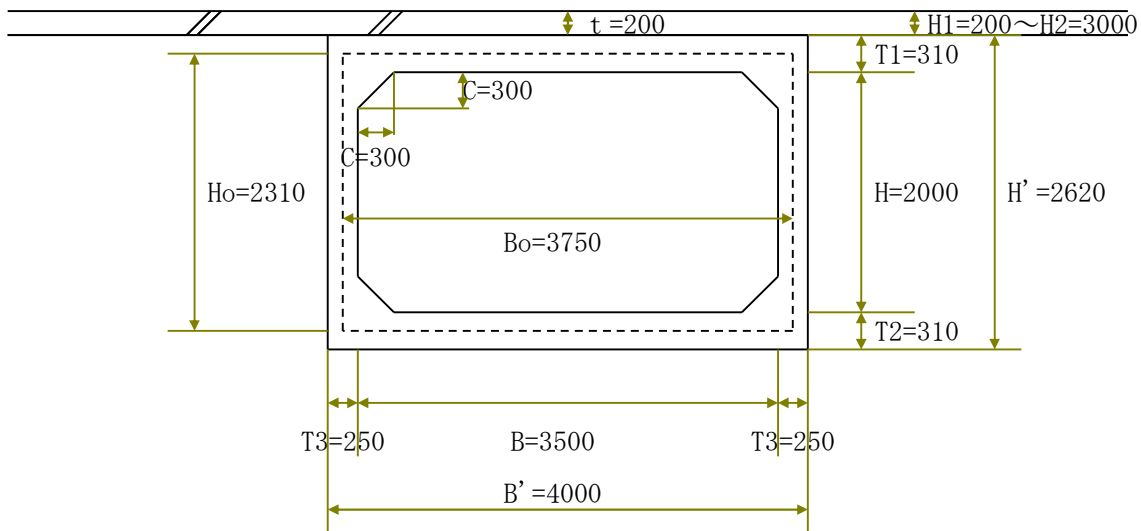
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 40 mm 40 mm 40 mm
	: (外側) 40 mm 40 mm 40 mm

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

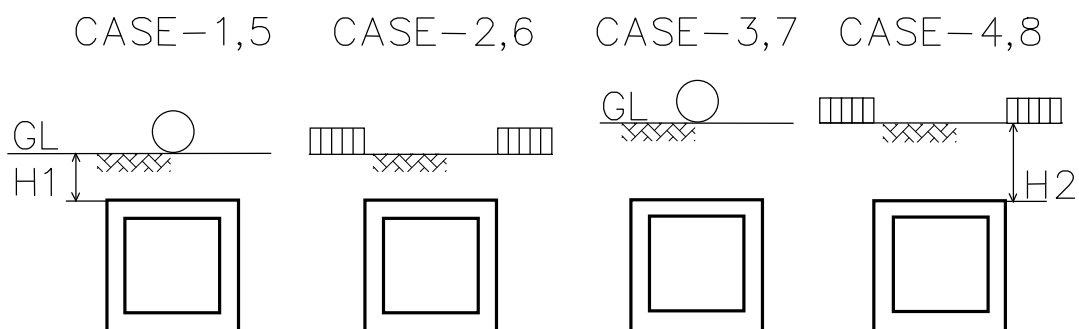
鉄筋引張応力度	: $\sigma sa = 160$ [N/mm ²]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma sy = 295$ [N/mm ²]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma ck = 35.0$ [N/mm ²]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma ca = 11.7$ [N/mm ²]
せん断応力度	: $\tau a = 0.260$ [N/mm ²]

1.9 標準断面図



[単位:mm]

1.10 荷重の組合せ



[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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 7.595 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 3.645 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 24.435 \text{ kN/m}^2$$

(3) 活荷重

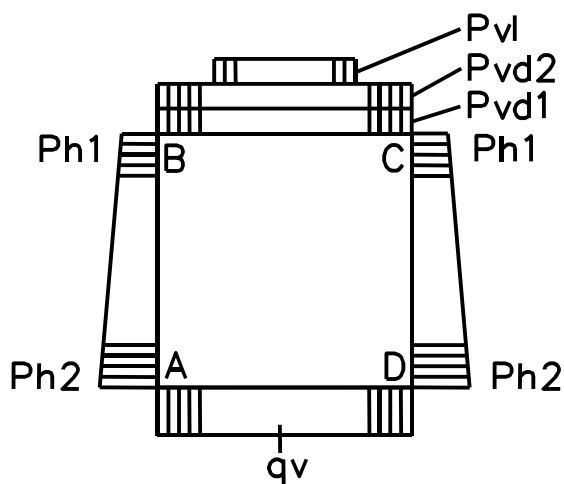
$$\begin{aligned} \text{① 輪分布幅 } u &= a + 2 \times H1 = 0.600 \text{ m} \\ v &= b + 2 \times H1 = 0.900 \text{ m} \end{aligned}$$

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

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 43.508 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.174, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.174$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 50.986 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 53.720 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 7.168 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 5.319 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -20.656 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 21.754 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -26.726 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 26.726 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 28.170 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -28.170 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 60.023 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 66.481 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 62.869 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 49.753 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 9.918 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -10.440 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

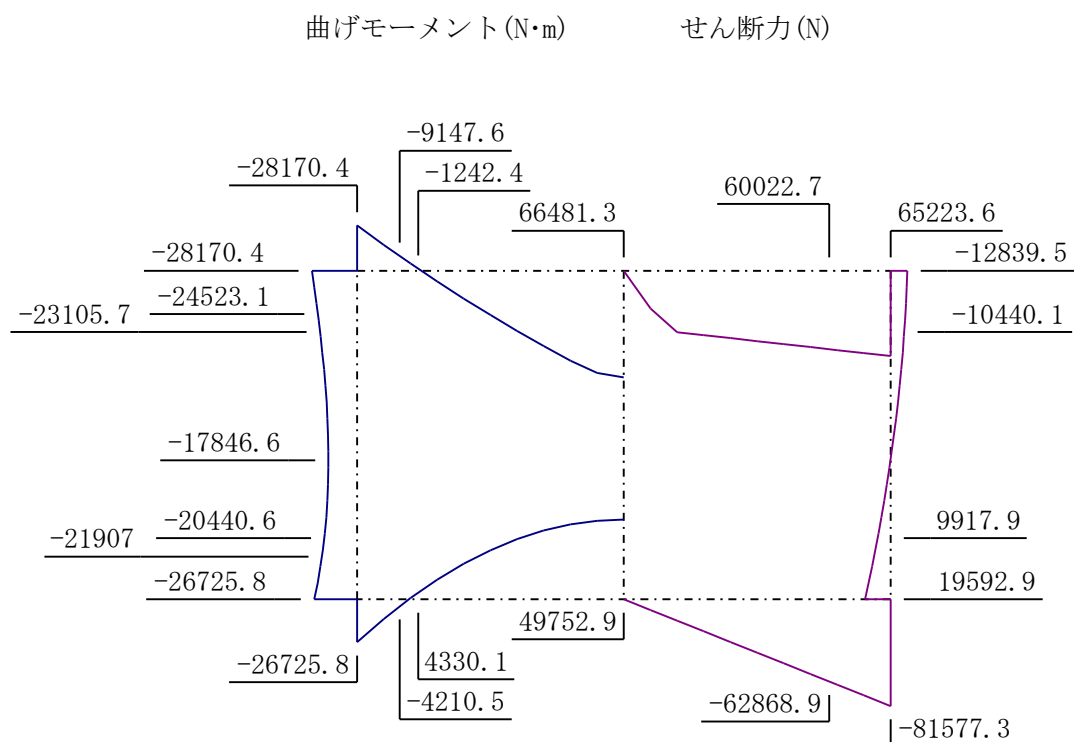
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.978 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -17.847 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[/ 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	0.125	-28170	65224	12840
	2 ハチ始点	0.425	-9148	*****	12840
	S2 τ 点	0.430	-1242	60023	12840
	1 中 央	1.875	66481	0	12840
底版	9, S9 端 部	0.125	-26726	81577	19593
	10 ハチ始点	0.425	-4211	*****	19593
	S10 τ 点	0.430	4330	62869	19593
	11 中 央	1.875	49753	0	19593
側壁	4, S4 上 端部	2.155	-28170	-12840	65224
	5 上ハチ点	1.855	-24523	*****	67347
	S5 上 τ 点	1.880	-23106	-10440	68268
	6 中 間	0.978	-17847	0	74654
	S7 下 τ 点	0.430	-20441	9918	78533
	7 下ハチ点	0.455	-21907	*****	79454
	8, S8 下 端部	0.155	-26726	19593	81577



2.2.1 設 計 荷 重 (CASE - 2)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 7.595 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 8.645 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 29.435 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 20.817 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.174, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.174$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 24.395 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 14.174 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 9.391 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 7.542 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -5.978 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 3.972 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -17.374 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 17.374 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 9.509 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -9.509 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 17.477 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 11.752 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -10.035 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 19.218 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 17.573 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -10.035 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.230 \text{ m}$$

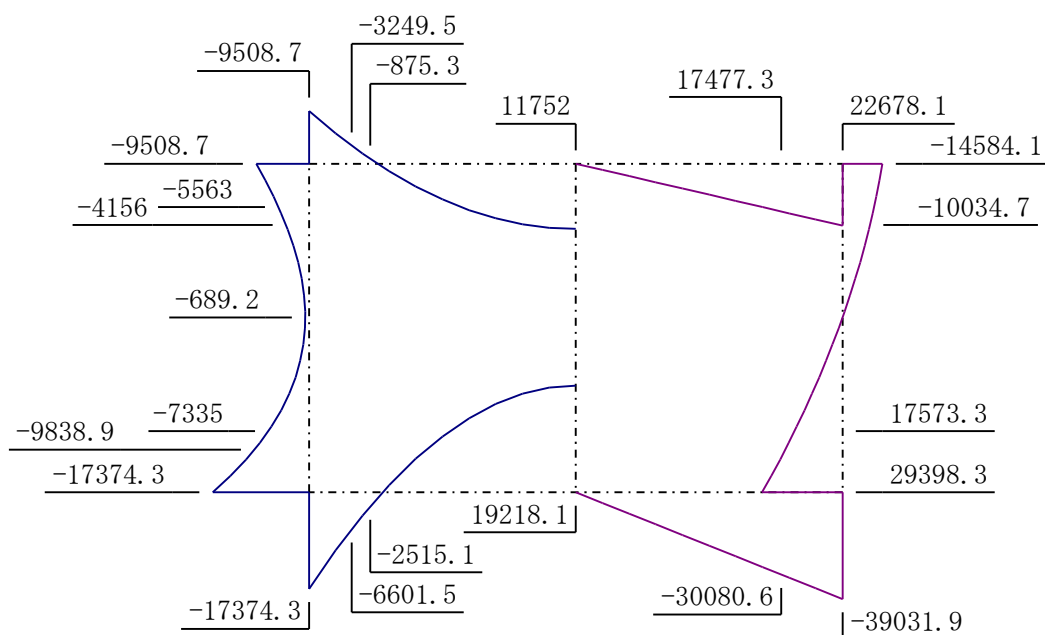
$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -0.689 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.125	-9509	22678	14584
	2 ハチ始点	0.425	-3250	*****	14584
	S2 τ 点	0.430	-875	17477	14584
	1 中 央	1.875	11752	0	14584
底版	9, S9 端 部	0.125	-17374	39032	29398
	10 ハチ始点	0.425	-6602	*****	29398
	S10 τ 点	0.430	-2515	30081	29398
	11 中 央	1.875	19218	0	29398
側壁	4, S4 上 端部	2.155	-9509	-14584	22678
	5 上ハチ点	1.855	-5563	*****	24802
	S5 上 τ 点	1.880	-4156	-10035	25722
	6 中 間	1.230	-689	0	30324
	S7 下 τ 点	0.430	-7335	17573	35988
	7 下ハチ点	0.455	-9839	*****	36908
	8, S8 下 端部	0.155	-17374	29398	39032

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 7.595 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.845 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 49.635 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 84.941 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.174, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.174$$

② 荷重項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 99.541 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 89.320 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 18.374 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 16.525 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -36.405 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 34.399 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -56.784 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 56.784 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 48.918 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -48.918 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 110.137 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 85.061 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 122.740 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 92.527 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 32.218 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -24.680 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.191 \text{ m}$$

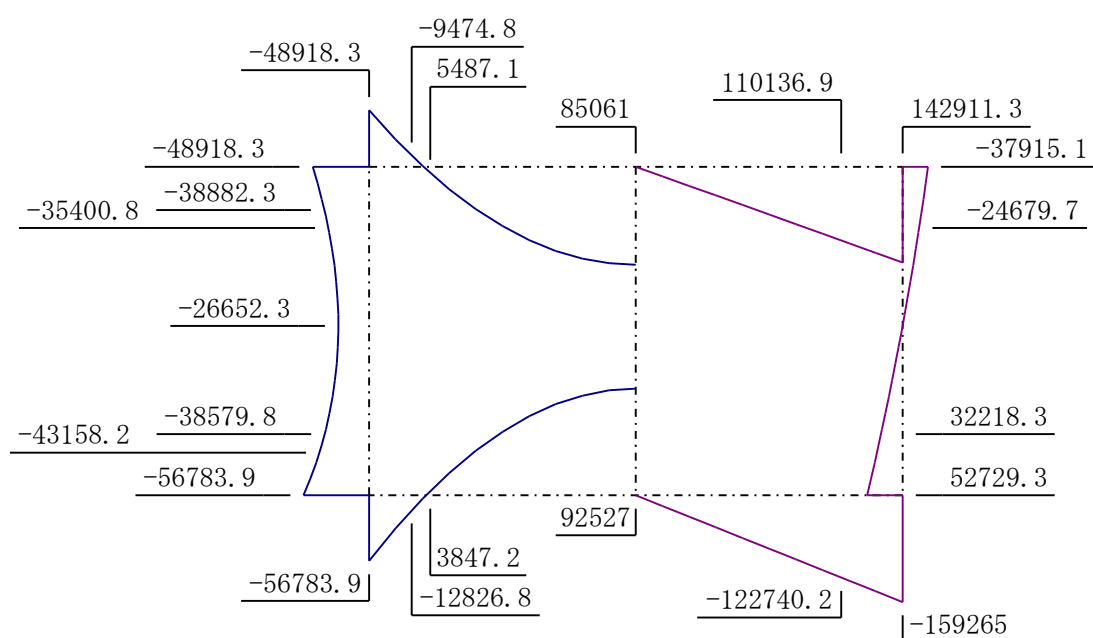
$$\begin{aligned} M_{\max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -26.652 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.125	-48918	142911	37915
	2 ハチ始点	0.425	-9475	*****	37915
	S2 τ 点	0.430	5487	110137	37915
	1 中 央	1.875	85061	0	37915
底版	9, S9 端 部	0.125	-56784	159265	52729
	10 ハチ始点	0.425	-12827	*****	52729
	S10 τ 点	0.430	3847	122740	52729
	11 中 央	1.875	92527	0	52729
側壁	4, S4 上 端部	2.155	-48918	-37915	142911
	5 上ハチ点	1.855	-38882	*****	145035
	S5 上 τ 点	1.880	-35401	-24680	145956
	6 中 間	1.191	-26652	0	150833
	S7 下 τ 点	0.430	-38580	32218	156221
	7 下ハチ点	0.455	-43158	*****	157141
	8, S8 下 端部	0.155	-56784	52729	159265

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 7.595 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.845 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 54.635 \text{ kN/m}^2$$

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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 71.217 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 1.174$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 3.174, \quad N_2 = 2 + \beta = 3.174$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 83.457 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 73.236 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 20.597 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 18.748 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -27.986 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 25.980 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -50.588 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 50.588 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 42.723 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -42.723 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 90.305 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 67.132 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 102.909 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 74.598 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 35.843 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -28.305 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.187 \text{ m}$$

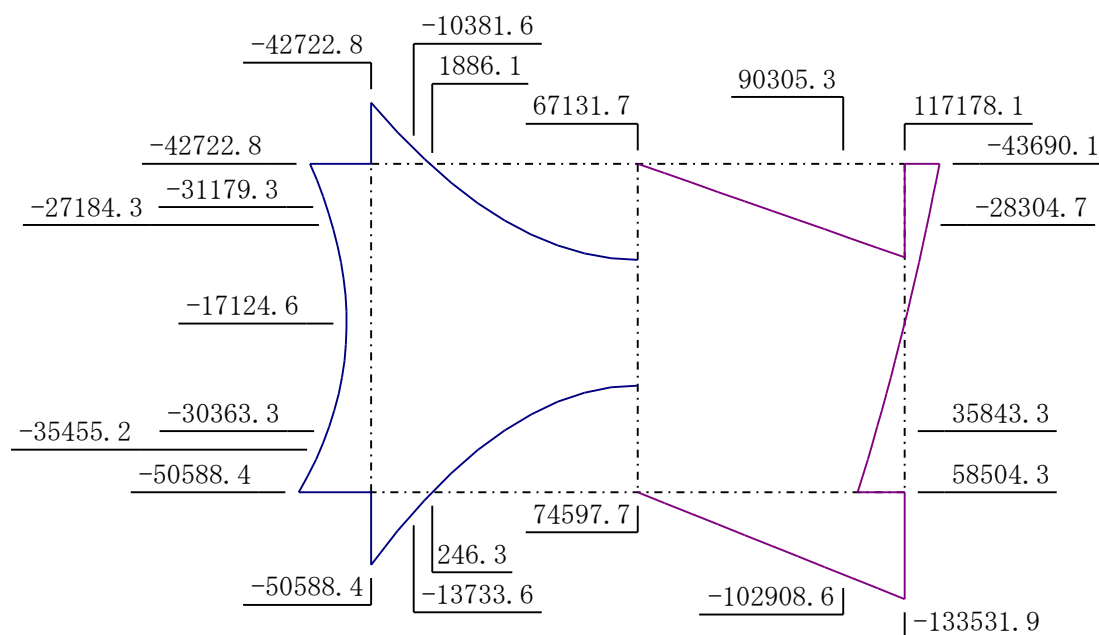
$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -17.125 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.125	-42723	117178	43690
	2 ハッチ始点	0.425	-10382	*****	43690
	S2 τ 点	0.430	1886	90305	43690
	1 中 央	1.875	67132	0	43690
底板	9, S9 端 部	0.125	-50588	133532	58504
	10 ハッチ始点	0.425	-13734	*****	58504
	S10 τ 点	0.430	246	102909	58504
	11 中 央	1.875	74598	0	58504
側壁	4, S4 上 端部	2.155	-42723	-43690	117178
	5 上ハッチ点	1.855	-31179	*****	119302
	S5 上 τ 点	1.880	-27184	-28305	120222
	6 中 間	1.187	-17125	0	125129
	S7 下 τ 点	0.430	-30363	35843	130488
	7 下ハッチ点	0.455	-35455	*****	131408
	8, S8 下 端部	0.155	-50588	58504	133532

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	-48.918	37.915	129.02	16.50	55.174	3
頂版	ハチ始点	-9.148	12.839	71.25	11.50	10.624	1
	中 央	85.061	37.915	224.35	11.50	89.421	3
	端 部	-56.784	52.729	107.69	16.50	65.484	3
底版	ハチ始点	-13.734	58.504	23.47	11.50	20.462	4
	中 央	92.527	52.729	175.48	11.50	98.591	3
	上端部	-48.918	142.911	34.23	13.50	68.211	3
	上ハチ点	-38.882	145.035	26.81	8.50	51.210	3
側壁	中 間	-26.652	150.833	17.67	8.50	39.473	3
	下ハチ点	-43.158	157.141	27.46	8.50	56.515	3
	下端部	-56.784	159.265	35.65	13.50	78.285	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

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

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

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

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	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	55.174	14.78	18.78	41.00	7.793
頂版	ハチ始点	10.624	6.48	10.48	31.00	1.792
	中 央	89.421	18.81	22.81	31.00	21.507
	端 部	65.484	16.10	20.10	41.00	8.853
底版	ハチ始点	20.462	9.00	13.00	31.00	1.439
	中 央	98.591	19.75	23.75	31.00	23.190
	上端部	68.211	16.43	20.43	35.00	6.454
	上ハチ点	51.210	14.24	18.24	25.00	8.458
側壁	中 間	39.473	12.50	16.50	25.00	3.878
	下ハチ点	56.515	14.96	18.96	25.00	9.633
	下端部	78.285	17.60	21.60	35.00	7.831
$d + d' < T$						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 - 8	D 16 - 4	D 22 - 8	D 16 - 4	D-0 - 0	D 16 - 4
D 0 - 0	D 13 - 4	D 0 - 0	D 13 - 4	D 0 - 0	D 13 - 4

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	13.012	11.383	2.92	98.6	0.0
	ハチ始点	100.00	13.012	9.726	0.92	24.5	0.0
	中 央	100.00	22.920	11.037	6.95	150.8	0.0
底版	端 部	100.00	13.012	11.623	3.40	111.4	0.0
	ハチ始点	100.00	13.012	12.667	1.42	24.1	0.0
	中 央	100.00	30.968	12.422	6.94	122.2	0.0
側壁	上端部	100.00	13.012	12.737	4.00	86.1	0.0
	上ハチ点	100.00	13.012	9.516	6.04	109.3	0.0
	中 間	100.00	13.012	10.858	4.18	58.6	0.0
	下ハチ点	100.00	13.012	9.457	6.70	122.6	0.0
	下端部	100.00	13.012	12.577	4.64	102.0	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	60.023	17.477	110.137	90.305				
	M			5.487					
	N			37.915					
	最大			○					
底版 τ点	S	62.869	30.081	122.740	102.909				
	M			3.847					
	N			52.729					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-10.440	-10.035	-24.680	-28.305				
	M				-27.184				
	N				120.222				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	9.918	17.573	32.218	35.843				
	M				-30.363				
	N				130.488				
	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 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 (%)	C _{pt}
					径-本数	As (cm ²)		
頂版 τ 点	0.310	0.040	0.270000	1.400	D19-8	22.920	0.849	1.409
底版 τ 点	0.310	0.040	0.270000	1.400	D22-8	30.968	1.147	1.500
側壁上 τ 点	0.258	0.040	0.218333	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.596	1.258
側壁下 τ 点	0.258	0.040	0.218333	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.596	1.258

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	5.487	37.915	0.31000	0.002483	0.15500	1.959	1.357
底版 τ 点	3.847	52.729	0.31000	0.002483	0.15500	2.725	1.708
側壁上 τ 点	-27.184	120.222	0.25800	0.001431	0.12900	5.169	1.190
側壁下 τ 点	-30.363	130.488	0.25800	0.001431	0.12900	5.610	1.185

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	C _{pt}	C _n	
頂版 τ 点	0.260	1.400	1.409	1.357	0.696
底版 τ 点	0.260	1.400	1.500	1.708	0.933
側壁上 τ 点	0.260	1.400	1.258	1.190	0.545
側壁下 τ 点	0.260	1.400	1.258	1.185	0.543

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	110.137	0.408	0.696	OK
底版 τ 点	122.740	0.455	0.933	OK
側壁上 τ 点	28.305	0.130	0.545	OK
側壁下 τ 点	35.843	0.164	0.543	OK

以 上