

台帳 No. SS403000

■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □ ■ □

プ レ キ ャ ス ト

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)	1500 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) 3000 × (H) 1500 × (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
----------	-------------

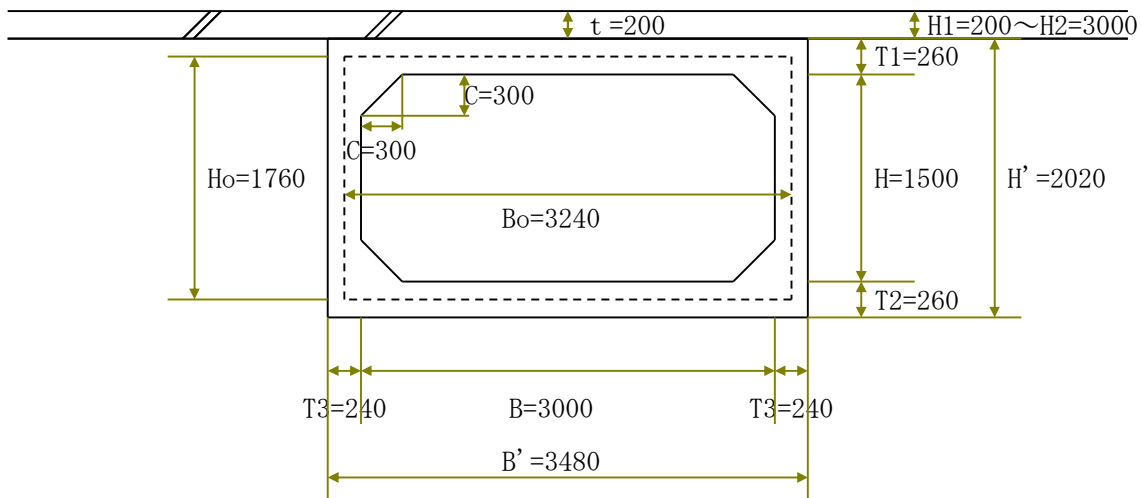
1.6 鉄筋かぶり	: 頂 版 底 版 側 壁
	: (内側) 40 mm 40 mm 40 mm
	: (外側) 40 mm 40 mm 40 mm

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

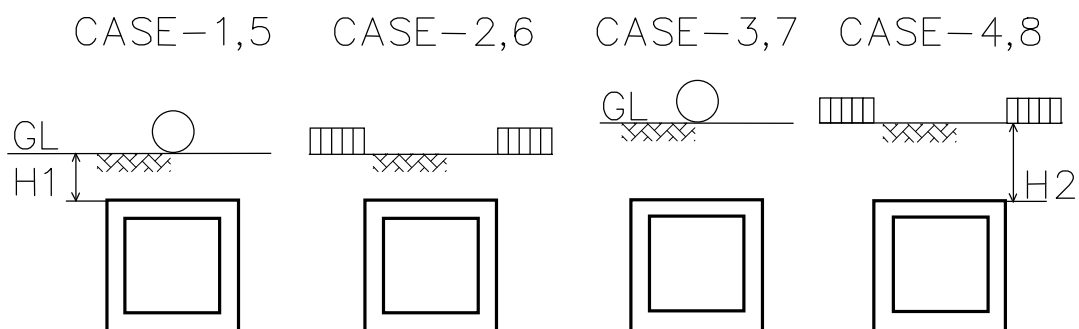
鉄筋引張応力度	: $\sigma sa = 160$ [N/mm ²]
鉄筋降伏点応力度	: $\sigma sy = 295$ [N/mm ²]
コンクリート	
設計基準強度	: $\sigma ck = 35.0$ [N/mm ²]
曲げ圧縮応力度	: $\sigma ca = 11.7$ [N/mm ²]
せん断応力度	: $\tau a = 0.260$ [N/mm ²]

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} = 3.420 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 19.260 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + \{ P_{v1} \times u + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) \} / B_o = 44.882 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 39.263 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{2 \times (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^3 + P_{v1} \times u \times (3 \times B_o^2 - u^2)\} / (24 \times B_o) = 43.577 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 3.336 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 2.518 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -22.073 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 23.463 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -24.018 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 24.018 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 27.372 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -27.372 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.1.3 各部材の断面力 (CASE - 1)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = \{(P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o + P_{v1} \times u\} / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2}) \times x = 55.807 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times u \times (B_o / 2 - u / 4) / 2 + M_{BC} = 49.433 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 54.756 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 34.876 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$S_{XAB} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 3.413 \text{ kN}$$

$$S_{XBA} = P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) = -7.474 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

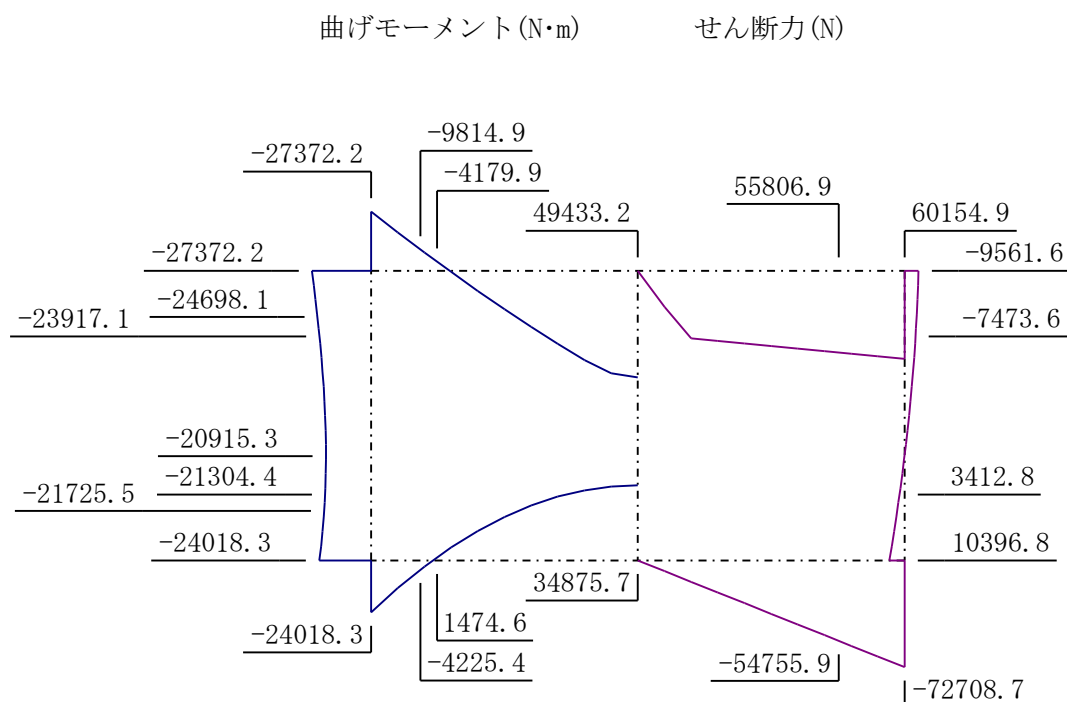
接点間の極値は、せん断力が 0 となる地点に生じる。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.634 \text{ m}$$

$$M_{\max} = S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} = -20.915 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

		[/ 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	0.120	-27372	60155	9562
	2 ハチ始点	0.420	-9815	*****	9562
	S2 τ点	0.400	-4180	55807	9562
	1 中央	1.620	49433	0	9562
底版	9, S9 端部	0.120	-24018	72709	10397
	10 ハチ始点	0.420	-4225	*****	10397
	S10 τ点	0.400	1475	54756	10397
	11 中央	1.620	34876	0	10397
側壁	4, S4 上端部	1.630	-27372	-9562	60155
	5 上ハチ点	1.330	-24698	*****	62295
	S5 上τ点	1.360	-23917	-7474	63008
	6 中間	0.634	-20915	0	68186
	S7 下τ点	0.400	-21304	3413	69856
	7 下ハチ点	0.430	-21726	*****	70569
	8, S8 下端部	0.130	-24018	10397	72709



2.2.1 設 計 荷 重 (CASE - 2)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 8.420 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H1 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 24.260 \text{ kN/m}^2$$

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。

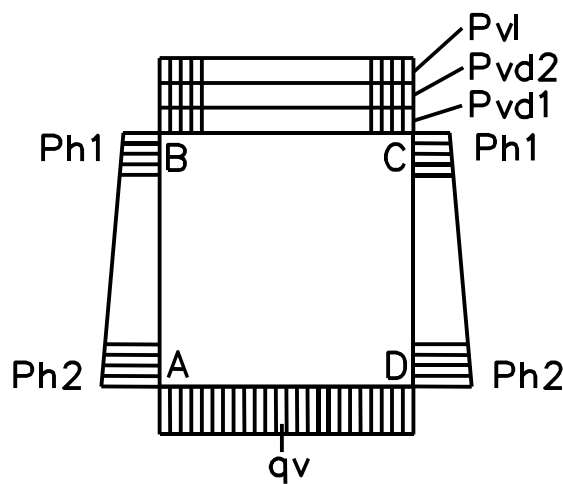
(3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 18.619 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 16.288 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 9.509 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 4.627 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 3.809 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -5.942 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 4.327 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -12.184 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 12.184 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 6.521 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -6.521 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.2.3 各部材の断面力 (CASE - 2)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 13.261 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 7.743 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = -4.750 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 12.248 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 10.936 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} &= P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ &\quad - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ &\quad - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -4.750 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 1.011 \text{ m}$$

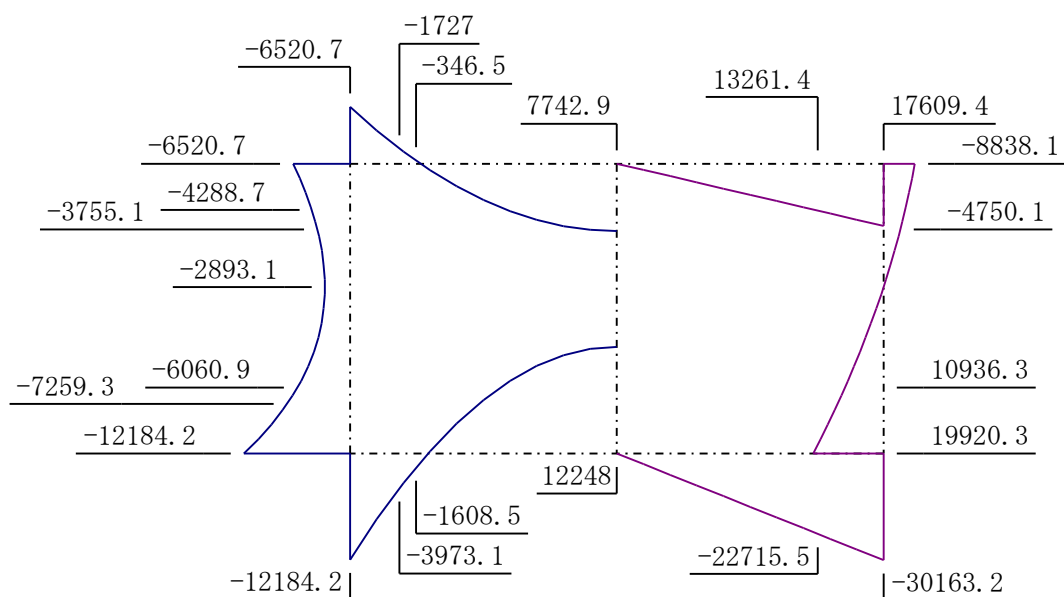
$$\begin{aligned} M_{max} &= S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ &\quad - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -2.893 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.120	-6521	17609	8838
	2 ハチ始点	0.420	-1727	*****	8838
	S2 τ 点	0.400	-347	13261	8838
	1 中 央	1.620	7743	0	8838
底版	9, S9 端 部	0.120	-12184	30163	19920
	10 ハチ始点	0.420	-3973	*****	19920
	S10 τ 点	0.400	-1609	22716	19920
	11 中 央	1.620	12248	0	19920
側壁	4, S4 上 端部	1.630	-6521	-8838	17609
	5 上ハチ点	1.330	-4289	*****	19749
	S5 上 τ 点	1.360	-3755	-4750	20463
	6 中 間	1.011	-2893	0	22952
	S7 下 τ 点	0.400	-6061	10936	27310
	7 下ハチ点	0.430	-7259	*****	28023
	8, S8 下 端部	0.130	-12184	19920	30163

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

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} = 28.620 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} = 44.460 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 82.744 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 72.384 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 65.605 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times Phd1 + 3 \times Phd2) / 60 = 9.841 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times Phd2 + 3 \times Phd1) / 60 = 9.023 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -36.038 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 34.423 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -47.495 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 47.495 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 41.831 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -41.831 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.3.3 各部材の断面力 (CASE - 3)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 91.493 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 56.577 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 100.947 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{\max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 61.082 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 20.632 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -14.446 \text{ kN}$$

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。

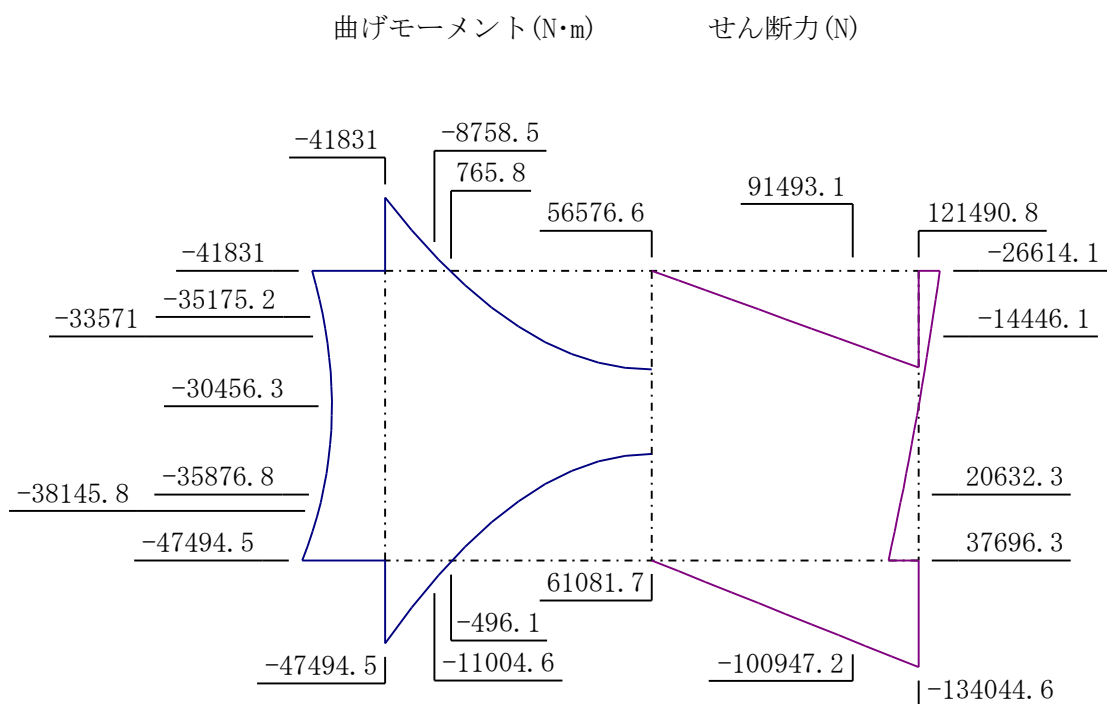
$$S_x = S_{AB} - P_{hd2} \times x - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^2 / (2 \times H_o) = 0$$

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.937 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -30.456 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.120	-41831	121491	26614
	2 ハチ始点	0.420	-8759	*****	26614
	S2 τ 点	0.400	766	91493	26614
	1 中 央	1.620	56577	0	26614
底版	9, S9 端 部	0.120	-47495	134045	37696
	10 ハチ始点	0.420	-11005	*****	37696
	S10 τ 点	0.400	-496	100947	37696
	11 中 央	1.620	61082	0	37696
側壁	4, S4 上 端部	1.630	-41831	-26614	121491
	5 上ハチ点	1.330	-35175	*****	123631
	S5 上 τ 点	1.360	-33571	-14446	124344
	6 中 間	0.937	-30456	0	127361
	S7 下 τ 点	0.400	-35877	20632	131192
	7 下ハチ点	0.430	-38146	*****	131905
	8, S8 下 端部	0.130	-47495	37696	134045



2.4.1 設 計 荷 重 (CASE - 4)

(1) 頂版自重

$$P_{vd1} = \gamma_c \times T1 = 6.370 \text{ kN/m}^2$$

(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

$$P_{hd1} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2) \} + P_q = 33.620 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{hd2} = K_a \times \{ \gamma_a \times t + \gamma_b \times t_b + \gamma_s \times (H2 - t - t_b + T1/2 + H_o) \} + P_q = 49.460 \text{ kN/m}^2$$

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。

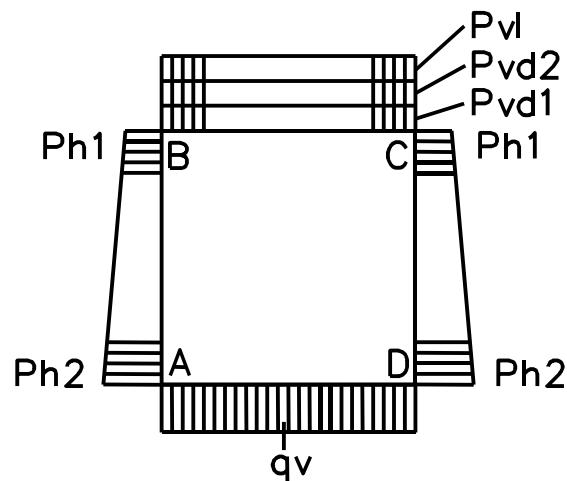
(3) 活荷重

$$P_{v1} = 0$$

(4) 底版反力

$$q_v = P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1} + \gamma_c \times (2 \times T3 \times H_o + 2 \times C^2) / B_o = 69.019 \text{ kN/m}^2$$

[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

$$\alpha = (H_o \times T_1^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$\beta = (H_o \times T_2^3) / (B_o \times T_3^3) = 0.691$$

$$N_1 = 2 + \alpha = 2.691, \quad N_2 = 2 + \beta = 2.691$$

② 荷 重 項

$$CAD = q_v \times B_o^2 / 12 = 60.378 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBC = \{(P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o^2\} / 12 = 53.599 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CAB = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd1} + 3 \times P_{hd2}) / 60 = 11.132 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$CBA = (H_o^2) \times (2 \times P_{hd2} + 3 \times P_{hd1}) / 60 = 10.314 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ たわみ角

$$\theta_A = \{N_1 \times (CAB - CAD) - (CBC - CBA)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = -28.173 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\theta_B = \{N_2 \times (CBC - CBA) - (CAB - CAD)\} / (N_1 \times N_2 - 1) = 26.558 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

④ 端モーメント

$$MAB = 2 \times \theta_A + \theta_B - CAB = -40.920 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAD = \beta \times \theta_A + CAD = 40.920 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBA = 2 \times \theta_B + \theta_A + CBA = 35.257 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MBC = \alpha \times \theta_B - CBC = -35.257 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$MAB + MAD = 0$$

$$MBA + MBC = 0$$

2.4.3 各部材の断面力 (CASE - 4)

(1) 頂 版

① せん断力

$$S_{XBC} = (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times B_o / 2 - (P_{vd1} + P_{vd2} + P_{v1}) \times x = 74.749 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = (P_{vd1} + P_{vd2}) \times B_o^2 / 8 + P_{v1} \times B_o^2 / 8 + M_{BC} = 45.142 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 底 版

① せん断力

$$S_{XAD} = q_v \times B_o / 2 - q_v \times x = 84.204 \text{ kN}$$

② 曲げモーメント

$$M_{max} = q_v \times B_o^2 / 8 - M_{AD} = 49.647 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(3) 側 壁

① せん断力

$$\begin{aligned} S_{XAB} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = 23.032 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} S_{XBA} = & P_{hd1} \times H_o / 2 + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times H_o / 3 \\ & - (M_{AB} + M_{BA}) / H_o \\ & - P_{hd2} \times x + (P_{hd2} - P_{hd1}) \times x^2 / (2 \times H_o) \end{aligned} = -16.846 \text{ kN}$$

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。

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

$$\text{上式を用いて } x \text{ を求めると。} \quad x = 0.930 \text{ m}$$

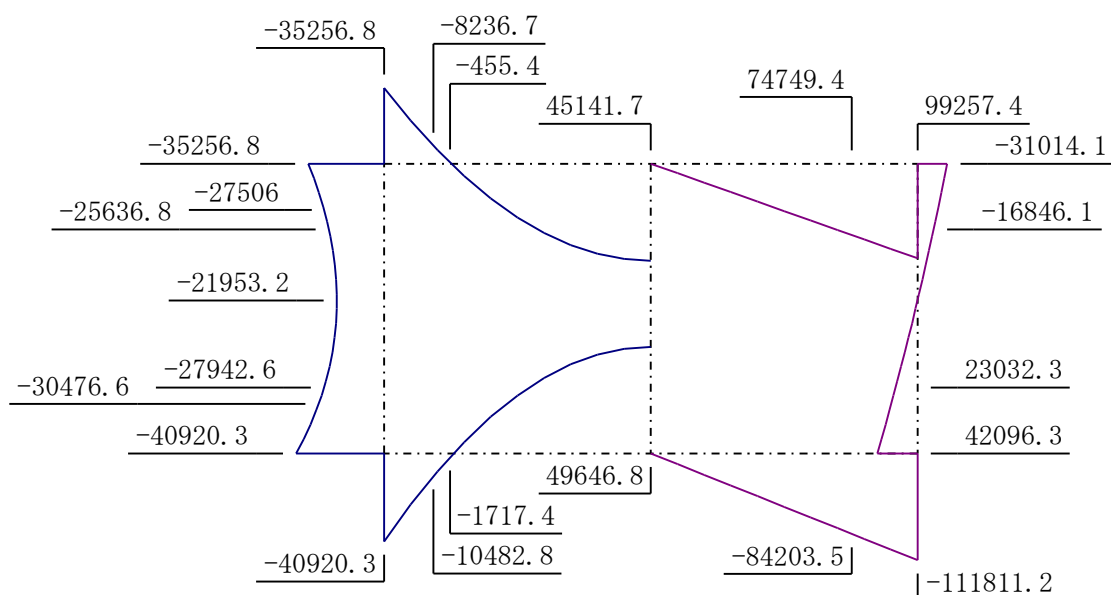
$$\begin{aligned} M_{max} = & S_{AB} \times x - P_{hd2} \times x^2 / 2 \\ & - (P_{hd1} - P_{hd2}) \times x^3 / (6 \times H_o) + M_{AB} \end{aligned} = -21.953 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

[/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	0.120	-35257	99257	31014
	2 ハッチ始点	0.420	-8237	*****	31014
	S2 τ 点	0.400	-455	74749	31014
	1 中 央	1.620	45142	0	31014
底版	9, S9 端 部	0.120	-40920	111811	42096
	10 ハッチ始点	0.420	-10483	*****	42096
	S10 τ 点	0.400	-1717	84204	42096
	11 中 央	1.620	49647	0	42096
側壁	4, S4 上 端部	1.630	-35257	-31014	99257
	5 上ハッチ点	1.330	-27506	*****	101397
	S5 上 τ 点	1.360	-25637	-16846	102111
	6 中 間	0.930	-21953	0	105178
	S7 下 τ 点	0.400	-27943	23032	108958
	7 下ハッチ点	0.430	-30477	*****	109671
	8, S8 下 端部	0.130	-40920	42096	111811

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	-41.831	26.614	157.18	14.00	45.557	3
頂版	ハチ始点	-9.815	9.562	102.65	9.00	10.675	1
	中 央	56.577	26.614	212.58	9.00	58.972	3
	端 部	-47.495	37.696	125.99	14.00	52.772	3
底版	ハチ始点	-11.005	37.696	29.19	9.00	14.397	3
	中 央	61.082	37.696	162.04	9.00	64.474	3
	上端部	-41.831	121.491	34.43	13.00	57.625	3
	上ハチ点	-35.175	123.631	28.45	8.00	45.066	3
側壁	中 間	-30.456	127.361	23.91	8.00	40.645	3
	下ハチ点	-38.146	131.905	28.92	8.00	48.698	3
	下端部	-47.495	134.045	35.43	13.00	64.920	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	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	45.557	13.43	17.43	36.00	8.079
頂版	ハチ始点	10.675	6.50	10.50	26.00	2.639
	中 央	58.972	15.28	19.28	26.00	17.654
	端 部	52.772	14.45	18.45	36.00	9.001
底版	ハチ始点	14.397	7.55	11.55	26.00	2.053
	中 央	64.474	15.97	19.97	26.00	18.880
	上端部	57.625	15.10	19.10	34.00	5.770
	上ハチ点	45.066	13.36	17.36	24.00	8.435
側壁	中 間	40.645	12.68	16.68	24.00	6.529
	下ハチ点	48.698	13.88	17.88	24.00	9.302
	下端部	64.920	16.03	20.03	34.00	6.766
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 - 4	D 16 - 4	D 19 - 8	D 16 - 4	D-0 - 0	D 16 - 4
D 16 - 4	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	10.126	3.14	101.9	0.0
	ハチ始点	100.00	13.012	8.100	1.37	35.2	0.0
	中 央	100.00	19.404	9.072	6.85	146.4	0.0
底版	端 部	100.00	13.012	10.313	3.58	113.0	0.0
	ハチ始点	100.00	13.012	9.711	1.58	30.0	0.0
	中 央	100.00	22.920	9.733	7.06	133.5	0.0
側壁	上端部	100.00	13.012	12.326	3.61	77.7	0.0
	上ハチ点	100.00	13.012	8.980	5.90	108.6	0.0
	中 間	100.00	13.012	9.379	5.14	87.2	0.0
	下ハチ点	100.00	13.012	8.947	6.40	118.5	0.0
	下端部	100.00	13.012	12.221	4.10	89.4	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	55.807	13.261	91.493	74.749				
	M			0.766					
	N			26.614					
	最大			○					
底版 τ点	S	54.756	22.715	100.947	84.204				
	M			-0.496					
	N			37.696					
	最大			○					
側壁上 τ点	S	-7.474	-4.750	-14.446	-16.846				
	M				-25.637				
	N				102.111				
	最大				○				
側壁下 τ点	S	3.413	10.936	20.632	23.032				
	M				-27.943				
	N				108.958				
	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(C_n)を τ_a 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、 C_n ：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($\text{kN} \cdot \text{m}$)

M ：断面に作用する曲げモーメント($\text{kN} \cdot \text{m}$)

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(m^4)

A_c ：部材断面積(m^2)

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)	C_e	引張鉄筋		鉄筋比 P_t (%)	C_{pt}
					径-本数	A_s (cm^2)		
頂版 τ 点	0.260	0.040	0.226667	1.400	D19-4 D16-4	19.404	0.856	1.414
底版 τ 点	0.267	0.040	0.226667	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.574	1.244
側壁上 τ 点	0.250	0.040	0.210000	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.620	1.272
側壁下 τ 点	0.250	0.040	0.210000	1.400	D16-4 D13-4	13.012	0.620	1.272

補正係数③を求める。

照査位置	M ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	N (kN)	A_c (m^2)	I_c (m^4)	y (m)	M_o ($\text{kN} \cdot \text{m}$)	C_n
頂版 τ 点	0.766	26.614	0.26000	0.001465	0.13000	1.154	2.000
底版 τ 点	-0.496	37.696	0.26700	0.001586	0.13350	1.677	2.000
側壁上 τ 点	-25.637	102.110	0.25000	0.001302	0.12500	4.254	1.166
側壁下 τ 点	-27.943	108.958	0.25000	0.001302	0.12500	4.540	1.162

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
		C_e	C_{pt}	C_n	
頂版 τ 点	0.260	1.400	1.414	2.000	1.029
底版 τ 点	0.260	1.400	1.244	2.000	0.906
側壁上 τ 点	0.260	1.400	1.272	1.166	0.540
側壁下 τ 点	0.260	1.400	1.272	1.162	0.538

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	91.493	0.404	1.029	OK
底版 τ 点	100.947	0.445	0.906	OK
側壁上 τ 点	16.846	0.080	0.540	OK
側壁下 τ 点	23.032	0.110	0.538	OK

以 上