

演習1: 函渠の設計演習【回答】

1. 設計条件

1) 諸元

形式 : 場所打ち形式による一連カルバート
全長 : 30m (15m+15m)
内空寸法 : $B \times H = 3.0\text{m} \times 3.0\text{m}$ (水路)
土かぶり : $h = 4.2\text{m}$

2) 単位体積重量

カルバート上部の土砂 : $\gamma_s = 18\text{kN/m}^3$
鉄筋コンクリート : $\gamma_c = 24.5\text{kN/m}^3$

3) 材料強度および許容応力度

コンクリート : $\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$
 $\sigma_{ca} = 8\text{N/mm}^2$
 $\tau_{a1} = 0.39\text{N/mm}^2$

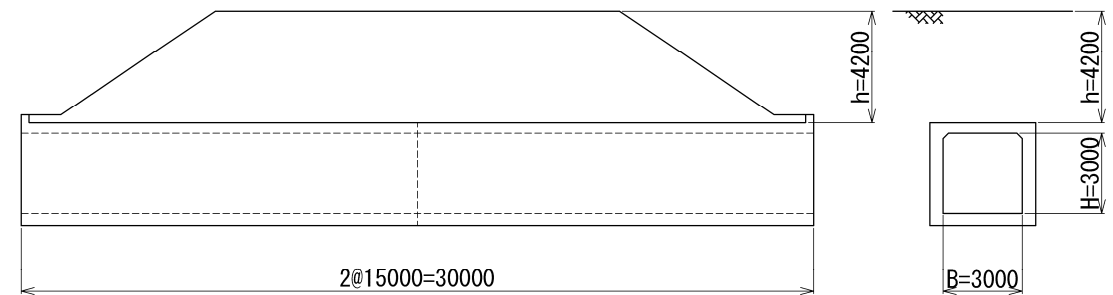
鉄筋 : SD345

$\sigma_{sa} = 160\text{N/mm}^2$ (乾湿の繰り返しが多い場合)

4) 基礎地盤の諸量

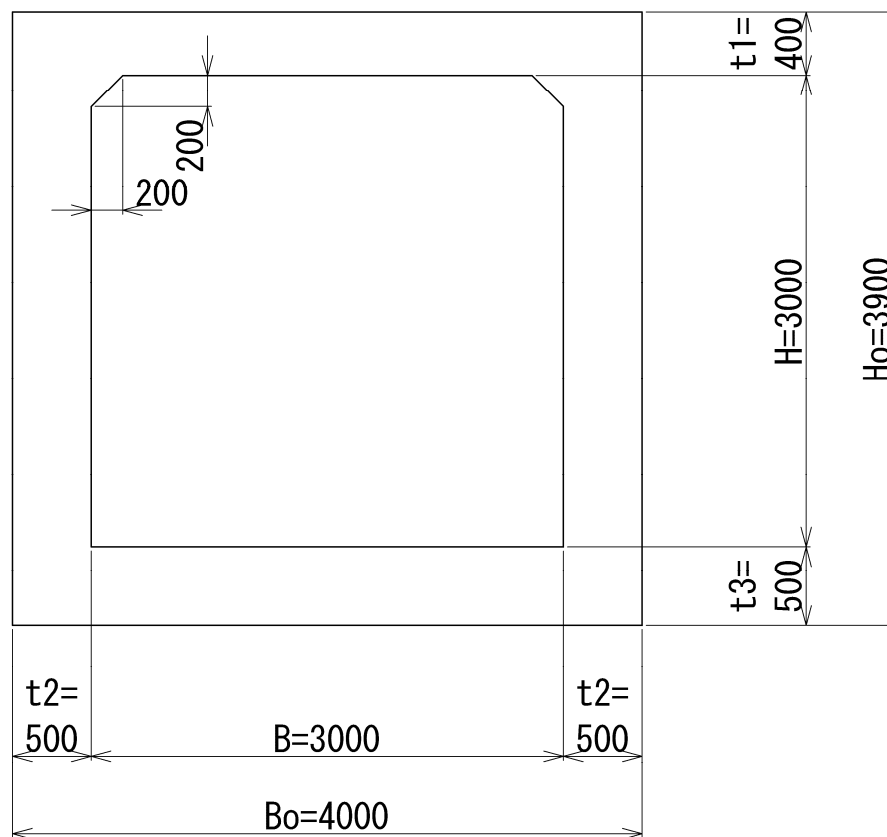
支持地盤は砂質地盤

許容支持力度 $q_a = 300\text{kN/m}^2$



2. 断面寸法の仮定

断面形状および各部材の寸法を下図のように仮定する。



★ポイント

- 各部材は等厚の矩形断面（形状の単純化）
- 下側ハンチは設けない（型枠の製作・設置・撤去の省力化）

3. 設計荷重

カルバート面内（横方向）の設計において、以下の荷重を算出する。

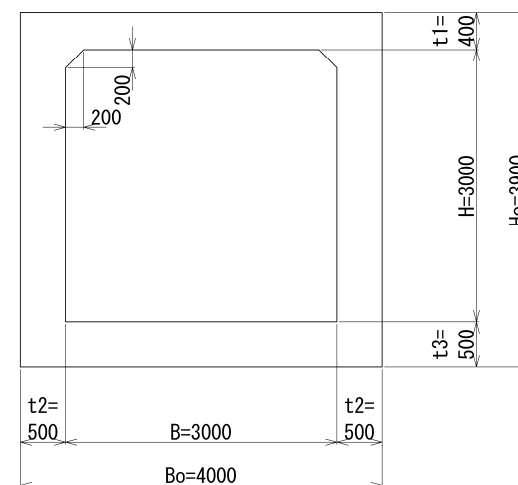
①カルバート自重

カルバートの自重として、頂版および側壁を考慮する。
 （上側ハンチ自重は影響が小さいことから今回は無視）

$$\text{頂版: } Wd1 = t1 \times \gamma_c = 0.400 \times 24.5 = 9.80 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{側壁: } Wd2 = t2 \times \gamma_c = 0.500 \times 24.5 = 12.25 \quad \text{kN/m}^2$$

$$\text{底版: } Wd3 = t3 \times \gamma_c = 0.500 \times 24.5 = 12.25 \quad \text{kN/m}^2$$



—カルバート部材厚—

②活荷重

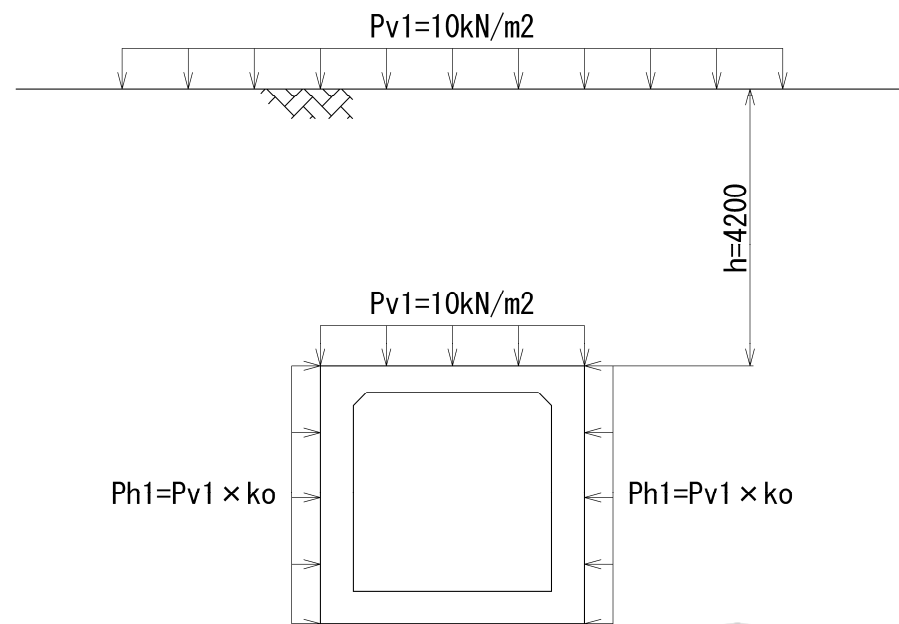
路面上に活荷重（T-25）を考慮する。

土被りが4m以上の場合は、鉛直荷重（Pv1）として
 10kN/m² 等分布荷重

カルバート側壁には、上記鉛直荷重に静止土圧係数
 （ko=0.5）を乗じた水平荷重（Ph1）を作用させる。

$$Pv1 = 10 \quad \text{kN/m}^2$$

$$Ph1 = Pv1 \times ko = 5.0 \quad \text{kN/m}^2$$

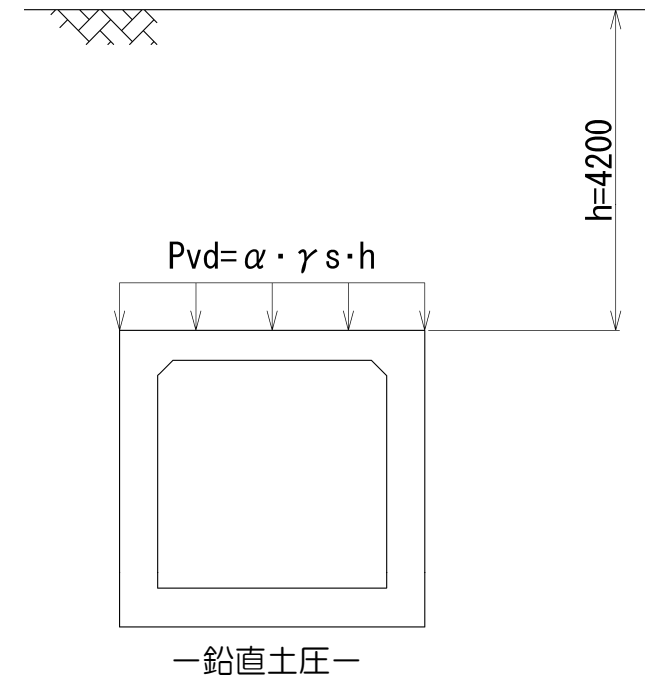


—活荷重—

③カルバート頂部の鉛直土圧

カルバート頂版上面に作用する鉛直土圧（Pvd）を算出する。
 式中の α はカルバート規模、土かぶり、基礎の支持条件によって決まる
 鉛直土圧係数であり、本設計例の条件の場合は $\alpha=1.0$ となる。

$$Pvd = \alpha \times \gamma_s \times h = 1.0 \times 18 \times 4.200 = 75.60 \text{ kN/m}^2$$

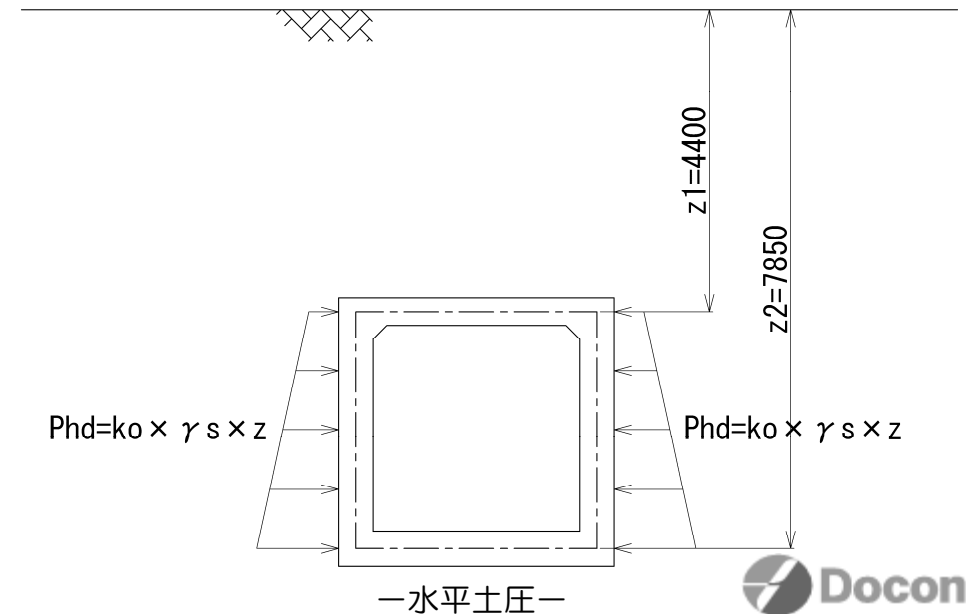


④カルバート側面の水平土圧

側壁に作用する頂版および底版の各軸線位置における
 水平土圧力（Phd1、Phd2）を算出する。

$$\begin{aligned} Phd1 &= k_o \times \gamma_s \times z1 \\ &= 0.5 \times 18 \times 4.400 = 39.60 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Phd2 &= k_o \times \gamma_s \times z2 \\ &= 0.5 \times 18 \times 7.850 = 70.65 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$



⑤カルバート底面の地盤反力

カルバート底面に生じる地盤反力を次式により計算する。

$$Pv2 = \frac{Pvd \times Bo + Q + Do}{Bo} = Pvd + \frac{Q + Do}{Bo}$$

$$= 113.78 \text{ kN/m}^2$$

ここに、

Pvd ：カルバート上面に作用する鉛直土圧

$$Pvd = 75.60 \text{ kN/m}^2$$

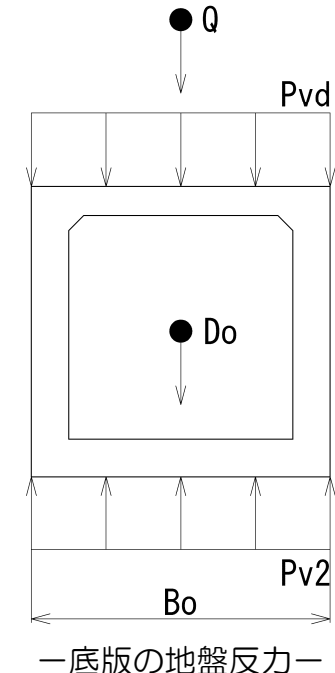
Q ：カルバート上面に作用する単位長さ当たりの活荷重

$$Q = Pv1 \times Bo = 10.00 \times 4.000 = 40.00 \text{ kN/m}$$

Do ：底版を除いたカルバートの単位長さ当たりの重量

$$Do = Wd1 \times Bo + 2 \times Wd2 \times H$$

$$= 9.80 \times 4.000 + 2 \times 12.25 \times 3.00 = 112.70 \text{ kN/m}$$



—底版の地盤反力—

4. 安定計算

カルバート全体安定については、それに作用する荷重が作用対照であることから、支持地盤のみの検討を行う。

カルバート底面に生じる地盤反力度（ Q ）は、前述したカルバート面内の設計に用いる値（ $Pv2$ ）に、底版自重（ $Wd3$ ）およびカルバートの内部荷重（ E ）を加える。内部荷重には水（単位体積重量 $\gamma_w = 9.8 \text{ kN/m}^3$ ）が満水の状態を考慮した。

$$Q = Pv2 + Wd3 + \gamma_w \times H = 113.78 + 12.25 + 9.8 \times 3.000 = 155.4 \text{ kN/m}^2 < Qa = 300 \text{ kN/m}^2 \dots \text{OK!}$$

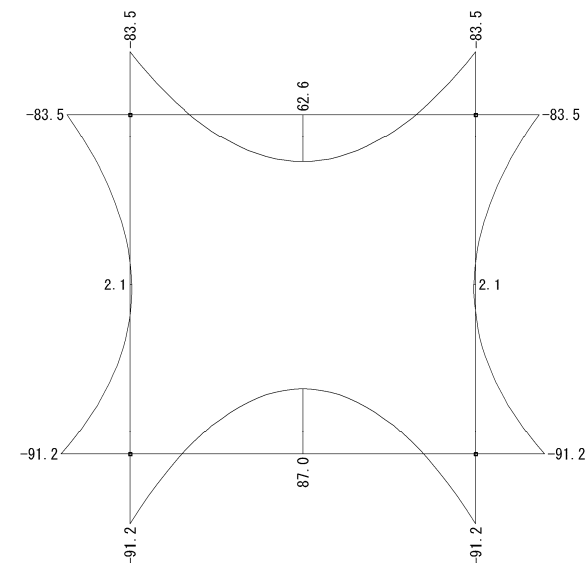
5. 部材断面の設計

1) 設計断面力の計算

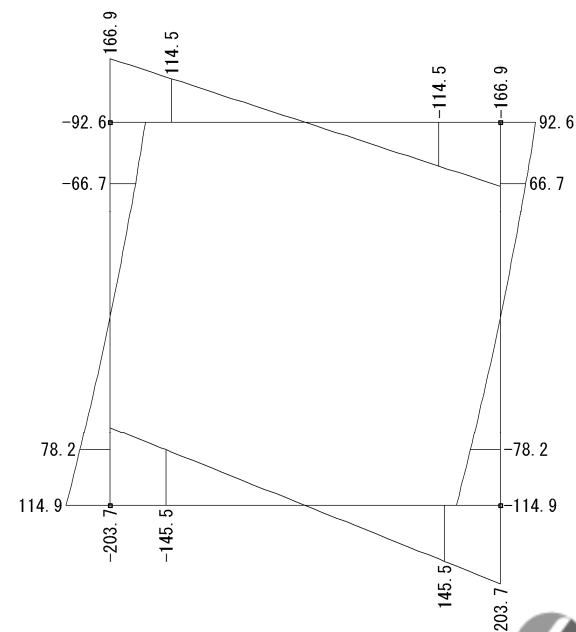
ボックスカルバートは箱形ラーメンとして解析し、その解析は一般にコンピュータを用いた平面骨組解析にて行われている。

骨組解析による計算結果より、本設計計算例では抽出した設計断面力のみを下表に示す。

部材	照査位置	M (kN・m)	N (kN)	S (kN)
側壁	下端部	-91.2	203.7	114.9
	中間部	2.1	185.6	
	上端部	-83.5	166.9	-92.6
頂版	左端部	-83.5	92.6	166.9
	中間部	62.6	92.6	
	右端部	-83.5	92.6	-166.9
底版	右端部	-91.2	114.9	203.7
	中間部	87.0	114.9	
	左端部	-91.2	114.9	-203.7



一曲げモーメント図



せん断力図

2) 必要鉄筋量の算出

必要鉄筋量は、心外に軸方向受ける短鉄筋矩形ばりとして算出する。なお、必要鉄筋量 (A_s) は、圧縮側のコンクリートがコンクリートの許容圧縮応力度 (σ_{ca}) に達するときと、引張側の主鉄筋が鉄筋の許容引張応力度 (σ_{sa}) に達するときの大きいほうである。

3) 主鉄筋径と配筋間隔

基本となる配筋間隔は125mmまたは250mm、鉄筋本数にしてカルバート延長方向1m当たり8本または4本である。

径 \ 配筋間隔	D13	D16	D19	D22	D25	D29	D32
125mm				○	○	○	○
250mm	○	○	○	○	○	○	○

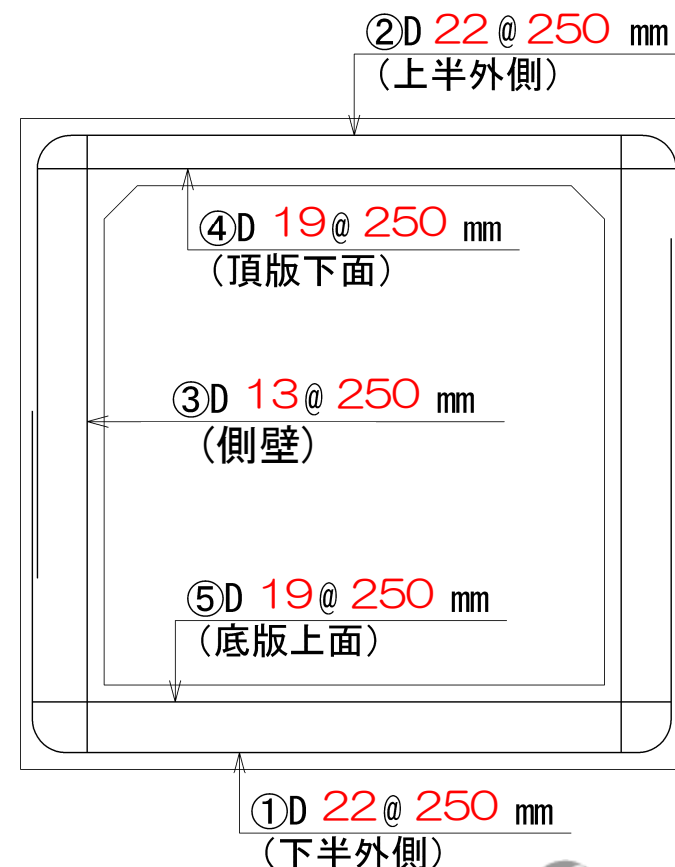
鉄筋本数の低減を目的とし、応力度や鉄筋の定着などに支障のない限り配筋間隔を250mmとすることが望ましい。

注) 鉄筋径の下段に示す数値は鉄筋の断面積 ($\text{mm}^2/\text{本}$) を示す。

4) 配筋結果

部材	照査位置	必要鉄筋量	鉄筋径	配筋量	配筋位置
側壁	下端部	833 mm^2	D22	1548.4	①下半外側
	中間部	0 mm^2	D13	506.8	③内側
	上端部	854 mm^2	D25	2026.8	②上半外側
頂版	左端部	1630 mm^2	D25	2026.8	②上半外側
	中間部	1099 mm^2	D19	1146.0	④下面
	右端部	1630 mm^2	D25	2026.8	②上半外側
底版	右端部	1176 mm^2	D22	1548.4	①下半外側
	中間部	1084 mm^2	D19	1146.0	⑤上面
	左端部	1176 mm^2	D22	1548.4	①下半外側

※1m当たり4本を基本とする



—配筋結果—

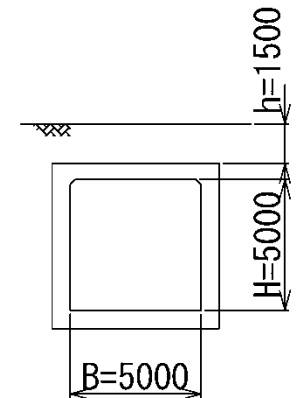
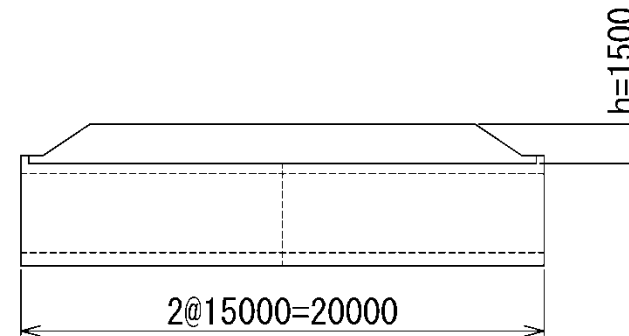


演習2: 函渠の設計演習 【回答】

1. 設計条件

1) 諸元

形式 : 場所打ち形式による一連カルバート
全長 : 30m (15m+15m)
内空寸法 : $B \times H = 5.0\text{m} \times 5.0\text{m}$ (道路)
土かぶり : $h = 1.5\text{m}$



—設計対象函渠工—

2) 単位体積重量

カルバート上部の土砂 : $\gamma_s = 18\text{kN/m}^3$
鉄筋コンクリート : $\gamma_c = 24.5\text{kN/m}^3$

3) 材料強度および許容応力度

コンクリート : $\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$
 $\sigma_{ca} = 8\text{N/mm}^2$
 $\tau_{a1} = 0.39\text{N/mm}^2$

鉄筋 : SD345

$\sigma_{sa} = 180\text{N/mm}^2$

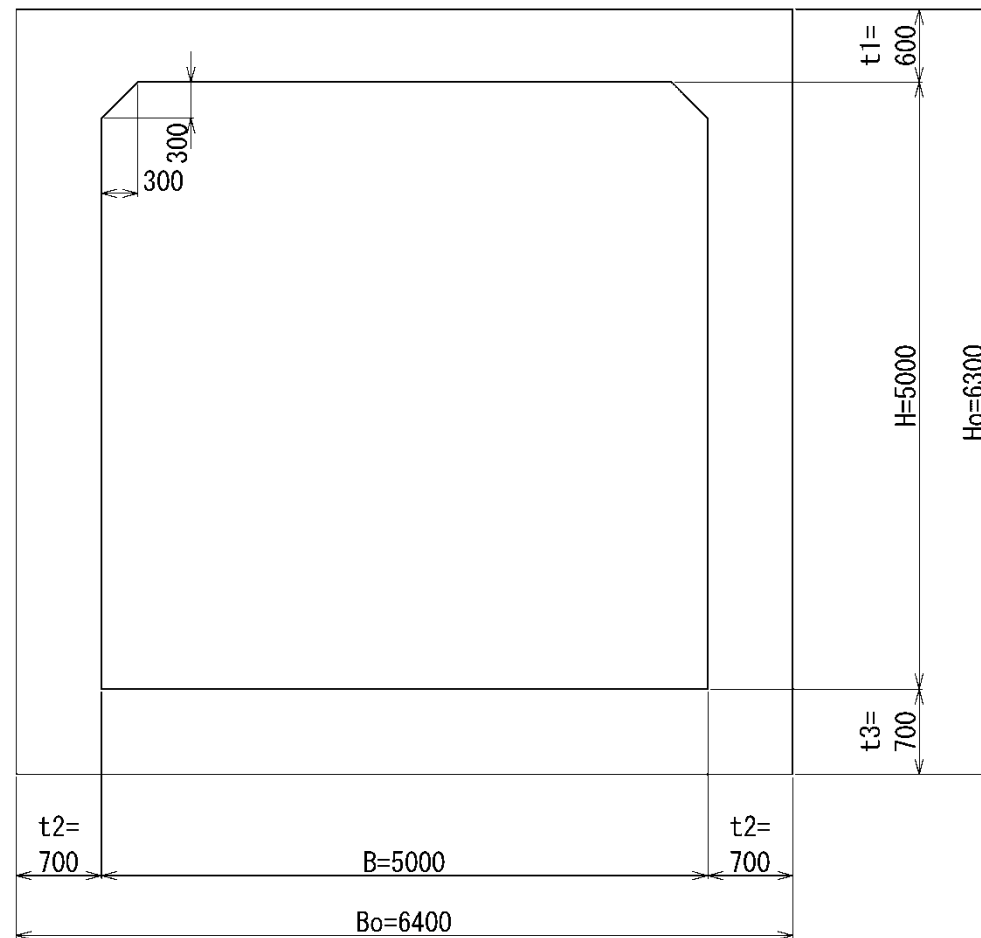
4) 基礎地盤の諸量

支持地盤は砂質地盤

許容支持力度 $q_a = 300\text{kN/m}^2$

2. 断面寸法の仮定

断面形状および各部材の寸法を下図のように仮定する。



★ポイント

- 各部材は等厚の矩形断面（形状の単純化）
- 下側ハンチは設けない（型枠の製作・設置・撤去の省力化）

3. 設計荷重

カルバート面内（横方向）の設計において、以下の荷重を算出する。

①カルバート自重

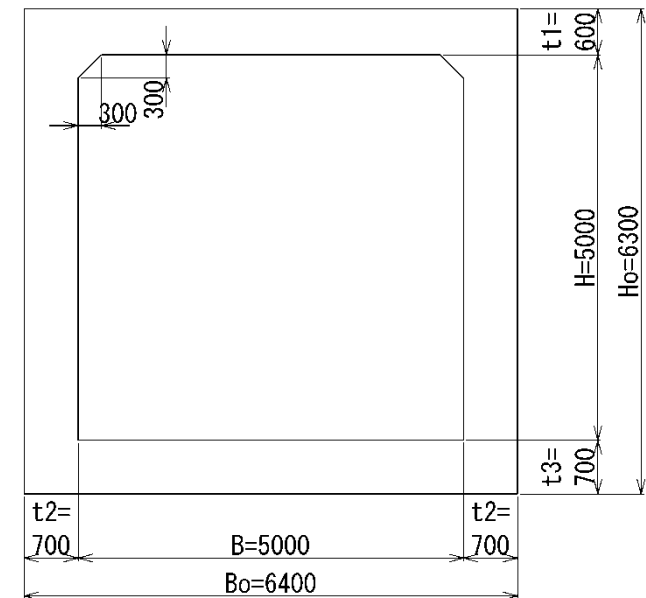
カルバートの自重として、頂版および側壁を考慮する。

（上側ハンチ自重は影響が小さいことから今回は無視）

$$\text{頂版：} Wd1 = t1 \times \gamma_c = 0.600 \times 24.5 = 14.70 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{側壁：} Wd2 = t2 \times \gamma_c = 0.700 \times 24.5 = 17.15 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{底版：} Wd3 = t3 \times \gamma_c = 0.700 \times 24.5 = 17.15 \text{ kN/m}^2$$



ーカルバート部材厚ー

②活荷重

路面上に活荷重（T-25）を考慮する。

土被りが4m未満の場合は、鉛直荷重（Pv1）として
輪荷重 P=100kN（後輪）を頂版中央に載荷する。

輪荷重強度

$$Pl + i = \frac{2 \times P \times (1+i)}{2.75}$$

$$Pv1 = \frac{(Pl+i) \times \beta}{2 \times D + Do}$$

Pl+i : BOX 縦方向単位長さ当りの活荷重 (kN/m)

P : 輪荷重=100kN

i : 衝撃係数=0.3

Pv1 : 換算等分布活荷重 (kN/m²)

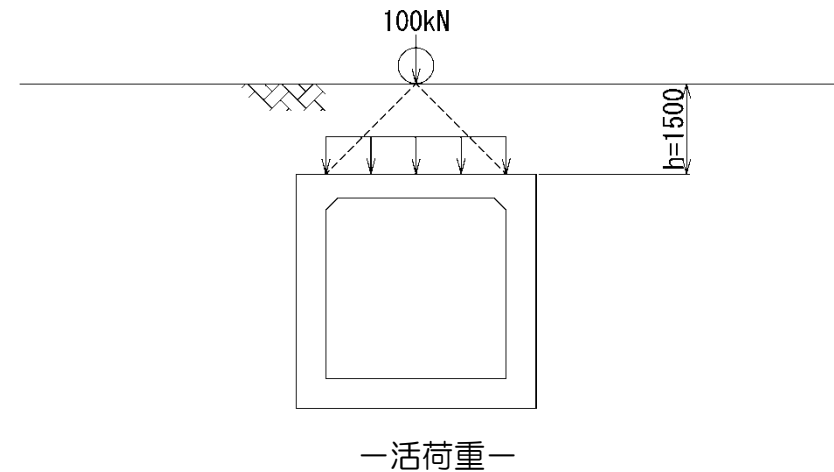
D : 路面から等分布活荷重載荷位置までの厚さ=h=1.5m

Do : 車輪の設置幅=0.2m

β : 低減係数=0.9

$$Pl+i = \frac{2 \times 100 \times (1+0.3)}{2.75} = 94.56 \text{ kN/m}$$

$$Pv1 = \frac{94.56 \times 0.9}{(2 \times 1.5 + 0.2)} = 26.60 \text{ kN/m}^2$$

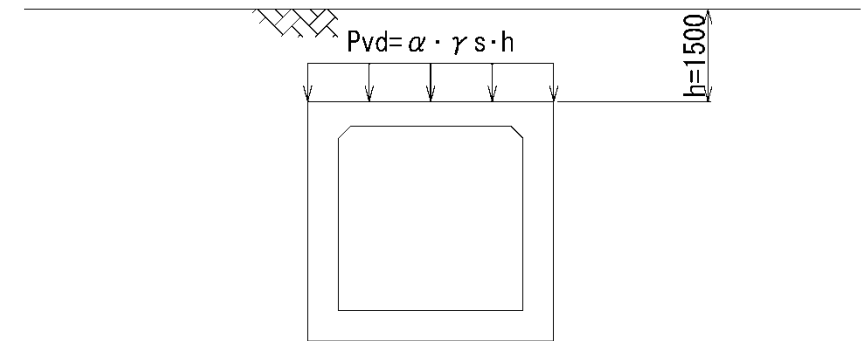


③カルバート頂部の鉛直土圧

カルバート頂版上面に作用する鉛直土圧（Pvd）を算出する。

式中の α はカルバート規模、土かぶり、基礎の支持条件によって決まる鉛直土圧係数であり、本設計例の条件の場合は $\alpha=1.0$ となる。

$$Pvd = \alpha \times \gamma_s \times h = 1.0 \times 18 \times 1.5 = 27.0 \text{ kN/m}^2$$



—鉛直土圧—

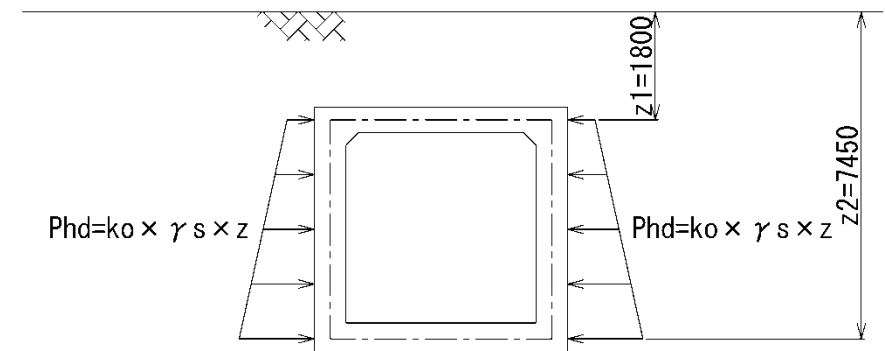
④カルバート側面の水平土圧

側壁に作用する頂版および底版の各軸線位置における水平土圧力（Phd1、Phd2）を算出する。

$$\begin{aligned} Phd1 &= k_o \times \gamma_s \times z1 \\ &= 0.5 \times 18 \times 1.8 = 16.2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Phd2 &= k_o \times \gamma_s \times z2 \\ &= 0.5 \times 18 \times 7.45 = 67.05 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Ko:静止土圧係数=0.5



—水平土圧—

⑤カルバート底面の地盤反力

カルバート底面に生じる地盤反力を次式により計算する。

$$Pv2 = \frac{Pvd \times Bo + Q + Do}{Bo} = Pvd + \frac{Q + Do}{Bo}$$

$$= 95.10 \text{ kN/m}^2$$

ここに、

Pvd：カルバート上面に作用する鉛直土圧

$$Pvd = 27.0 \text{ kN/m}^2$$

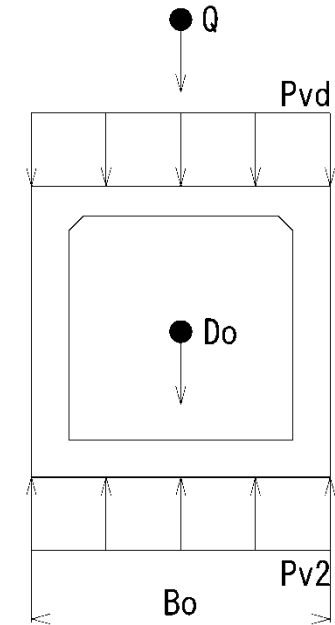
Q：カルバート上面に作用する単位長さ当たりの活荷重

$$Q = Pv1 \times Bo = 26.60 \times 6.40 = 170.24 \text{ kN/m}$$

Do：底版を除いたカルバートの単位長さ当たりの重量

$$Do = Wd1 \times Bo + 2 \times Wd2 \times H$$

$$= 14.70 \times 6.400 + 2 \times 17.15 \times 5.000 = 265.58 \text{ kN/m}$$



—底版の地盤反力—

4. 安定計算

カルバート全体安定については、それに作用する荷重が作用対照であることから、支持地盤のみの検討を行う。

カルバート底面に生じる地盤反力度（Q）は、前述したカルバート面内の設計に用いる値（Pv2）に、底版自重（Wd3）およびカルバートの内部荷重（E）を加える。内部荷重には活荷重（q=10kN/m）を考慮した。

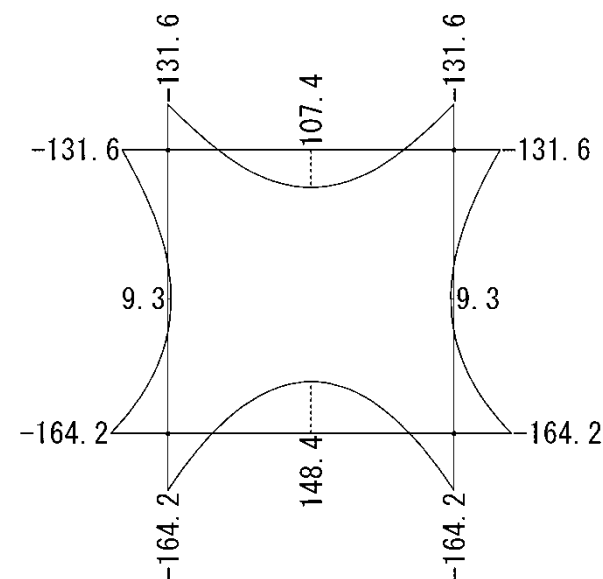
$$Q = Pv2 + Wd3 + q \times B = 95.10 + 17.15 + 10 \times 5.0 = 162.25 \text{ kN/m}^2 < Qa = 300 \text{ kN/m}^2 \dots \text{OK!}$$

5. 部材断面の設計

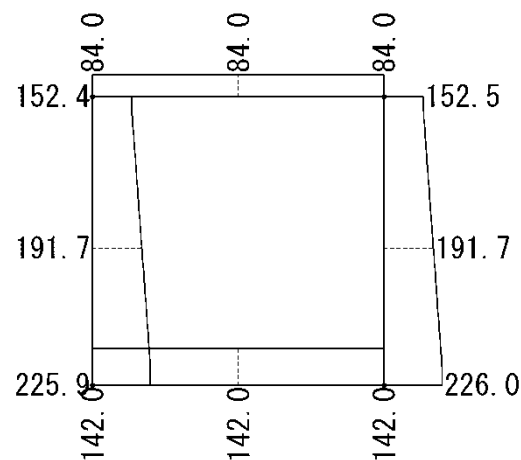
1) 設計断面力の計算

骨組解析による計算結果を図に示す。抽出した設計断面力を下表に示す。

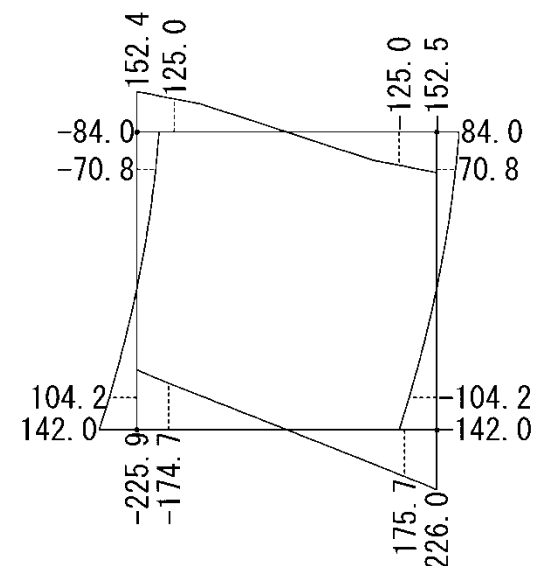
部材	照査位置	M (kN・m)	N (kN)	S (kN)
側壁	下端部	-164.2	225.9	142.0
	中間部	9.3	191.7	
	上端部	-131.6	152.4	-84.0
頂版	左端部	-131.6	84.0	152.4
	中間部	107.4	84.0	
	右端部	-131.6	84.0	152.5
底版	右端部	-164.2	142.0	226.0
	中間部	148.4	142.0	
	左端部	-164.2	142.0	-225.9



— 曲げモーメント図 (M) —



— 軸力図 (N) —



— せん断力図 (S) —

2) 必要鉄筋量の算出

必要鉄筋量は、心外に軸方向受ける短鉄筋矩形ばりとして算出する。なお、必要鉄筋量 (A_s) は、圧縮側のコンクリートがコンクリートの許容圧縮応力度 (σ_{ca}) に達するときと、引張側の主鉄筋が鉄筋の許容引張応力度 (σ_{sa}) に達するときの大きいほうである。

3) 主鉄筋径と配筋間隔

基本となる配筋間隔は125mmまたは250mm、鉄筋本数にしてカルバート延長方向1m当たり8本または4本である。

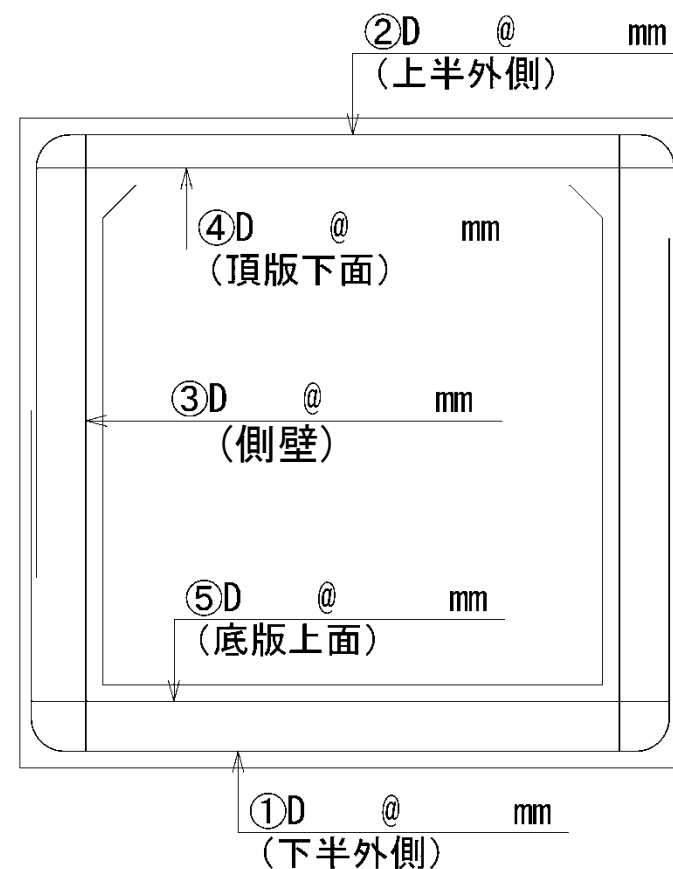
径 \ 配筋間隔	D13	D16	D19	D22	D25	D29	D32
125mm				○	○	○	○
250mm	○	○	○	○	○	○	○

鉄筋本数の低減を目的とし、応力度や鉄筋の定着などに支障のない限り配筋間隔を250mmとすることが望ましい。
 注) 鉄筋径の下段に示す数値は鉄筋の断面積 ($\text{mm}^2/\text{本}$) を示す。

4) 配筋結果

部材	照査位置	必要鉄筋量	鉄筋径	配筋量	配筋位置
側壁	下端部	1355 mm^2	D25	2026.8	①下半外側
	中間部	0 mm^2	D13	506.8	③内側
	上端部	1148 mm^2	D25	2026.8	②上半外側
頂版	左端部	1787 mm^2	D25	2026.8	②上半外側
	中間部	1392 mm^2	D22	1548.4	④下面
	右端部	1788 mm^2	D25	2026.8	②上半外側
底版	右端部	1636 mm^2	D25	2026.8	①下半外側
	中間部	1426 mm^2	D22	1548.8	⑤上面
	左端部	1636 mm^2	D25	2026.8	①下半外側

※1m当たり4本を基本とする



一配筋結果一