

アーチカルバートの構造計算(土被り4m以上)

この、アーチカルバートの構造計算は、計算の流れとしては、「道路土工カルバート工指針:社団法人日本道路協会」や、「設計便覧(案)第3編道路編:国土交通省近畿地方整備局」とほとんど一緒ですが、解析方法は「半円矩形断面の解法」にてなされています。

アーチカルバートを使用する場合というのは、上載荷重が大きい場合ですから、どうしても底版に負担がかかり、セン断でOUTになるケースが多くなります。それをクリアするために底版厚を厚くすると、側壁に比べて、結構分厚い構造になってしまいます。そのため、セン断筋を底版に施すことで出来るだけ薄くするように考慮しました。

今回、計算例は「国土交通省制定 土木構造物標準設計1 側溝類・暗きょ類:社団法人全日本建設技術協会」の最終頁に掲載されている「02-BX-368(B6000-H5000)」と比較するため、断面積で1.27倍の「B6000-矩形部H4000-アーチ部R3000」、土被りを5.0mに設定して作成しました。

なお、「道路土工 カルバート工指針」によれば、断面規模が大きい場合や土被りが大きい場合で “部材が厚くなる” ときは、剛域を考慮する方法がある。と説明があります。

当プログラムに於いては、「建設省制定 土木構造物標準設計第1巻(側溝類・暗きょ類):平成12年9月」を参考として剛域は考慮していません。

今のところ、剛域については自動で出来ません。通常の軸線位置でのモーメント値を使用しています。剛域を考慮されるのであれば、カルバート工指針の解説をご覧になり、計算結果で作成されたモーメント図よりスケールアップにて近似値を求め、その位置でのモーメント力を使用してください。

もし鉄筋が大きすぎると思われるようでしたら、上記考慮してみてください、剛域を考慮すると鉄筋量は格段に落ちます。次ぎページに比較表を添付してありますので参考にしてください。

1. プログラムの内容

1) 地盤支持力の計算は行っていません。

2) アーチ部、側壁、底版の構造検討。

3) 問題点

i. アーチカルバート応力計算の結果を見ると、アーチ部の応力と底版の応力の差が格段に違う。そのため、断面計算に於いて、鉄筋ピッチや、鉄筋径を検討してみると、鉄筋ピッチ250mmにこだわると、どうしても鉄筋径のバランスが悪くなる。アーチ部はD13、D16であるのに、底版はD29、D32を使用する。そのギャップを近づけるためには、どうしても鉄筋ピッチ125mmを使用し、鉄筋径を落とす方法しか考えられない。

ii. 先に述べたように、応力度のギャップの大きさにより、側壁上部は250mm、下端が125mmを使用する場合もよくある。その場合下端鉄筋の定着位置を算出していません。

上端下端のピッチが同じ場合でしたら、下端からの鉄筋を、アーチ部からの鉄筋に、アーチ部との交点付近で接続すれば十分であると判断できますので、ピッチが違う場合も交点付近まで適当に延ばしています。

2. 設計の概略的な条件

1) 常時、水位無し。

2) 土圧は静止土圧係数を使用。

3) 直接基礎。

4) 単位はSI単位を使用。

5) 準拠示方書は以下の資料を主に参考とした。

「道路土工カルバート工指針」(平成11年3月)

社団法人 日本道路協会

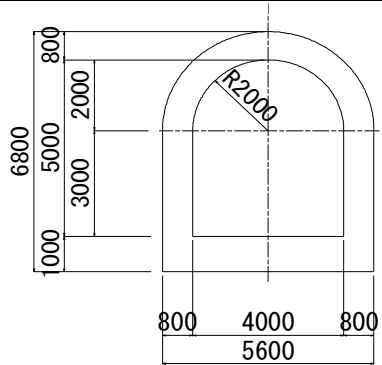
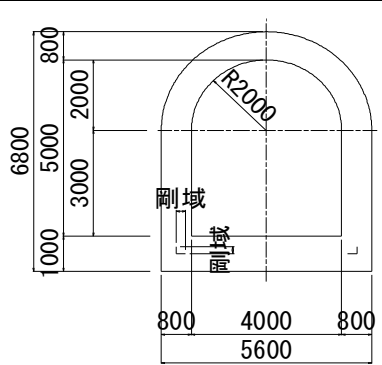
「道路橋示方書・同解説Ⅰ解説編Ⅳ下部構造編」(平成14年3月)

社団法人 日本道路協会

「土木構造物標準設計第1巻(側溝類・暗きょ類)」(平成12年9月)

社団法人 全日本建設技術協会

剛域による構造計算の比較表

		1. 剛域を考慮しない配筋	2. 剛域を考慮した配筋
形状寸法			
計算方法		土木構造物標準設計第1巻(側溝類・暗きょ類)より、剛域を考慮しない構造計算。	道路土工カルバート工指針より、剛域を考慮して応力度計算を行った構造計算。
配筋要領	アーチ部上端下面	D22@125	D22@125
	側壁上端外面	D16@250	D16@250
	側壁下端外面	D19@125(S=467kN・m N=1031kN)	D16@125(S=419kN・m N=1027kN)
	底版両端下面	D25@125(S=467kN・m N=227kN)	D19@250(S=200kN・m N=227kN)
	底版中央上面	D22@62.5(@125の二段配筋)	D22@62.5(@125の二段配筋)
	(許容値)	(曲げ圧縮応力度 $\sigma_c=8.0\text{N/mm}^2$ 鉄筋引張応力度 $\sigma_s=160\text{N/mm}^2$)	

3. 設計計算書の内容

アーチカルバート(土被り4m以上)の設計計算書は以下の項目順序となっています。

- 1) 設計条件
- 2) 荷重の組合せ
- 3) フレーム分割数
- 4) 土被りと活荷重による荷重の計算
- 5) アーチカルバートの各ブロックに作用する荷重の計算
- 6) アーチカルバートの各ブロックの重心位置の算出
- 7) アーチカルバートの各ブロックの各点に作用する応力度の算出
- 8) アーチカルバート主要点の断面計算
- 9) 底版の斜引張り鉄筋の計算
- 10) 配筋要領図(CADにて別途作成)

4. 作業手順

- 1) シート「データ入力」にて、設計条件、構造物形状等データの入力。
- 2) シート「計算書」の「7. 断面算定、c)コンクリート厚さの検討」と「7. 断面算定、d)セン断応力」にて、部材厚の結果確認。(セル番号「914」「937」「960」に黄色で着色してあります。)
- 3) 2)の結果を見て、「十分安全である」ところまで部材厚を替えて検討をする。あくまでその厚さは、最小厚さと考える。鉄筋径を入力する際に部材厚さの変更が必要になるからです。
- 4) シート「断面計算」にて、鉄筋径、鉄筋の配置間隔を入力。その際あまりに鉄筋径が太くなったり、鉄筋が不足する場合、また、コンクリートの曲げ圧縮でコンクリートが不足する場合は、部材厚さを厚くする必要がある。
- 5) シート「断面計算」にて、セン断応力がOUTになった場合は、シート「斜引張鉄筋」にてセン断筋の鉄筋径と配置間隔を検討する。
- 6) 形状寸法図、配筋要領図をCADにて別途作図し、シート「計算書」に貼付。
- 7) シート「目次」、「設計条件」、「計算書」、「断面計算」、「斜引張鉄筋」を印刷。

5. データの入力方法

このアーチカルバートのプログラムで入力するデータは以下の通りです。

なお、(黄色部) 着色部の数値は、手で入力します。

(シート「データ入力」)

- 1) 計算書のタイトル。
- 2) アーチカルバートの構造寸法。
シート「計算書」の「7. 断面算定、c)コンクリート厚さの検討」と「7. 断面算定、d)セン断応力」にて、部材厚の結果確認。(セル番号「914」「937」「960」に黄色で着色してあります。)その結果を見て、「十分安全である」ところまで部材厚を替えて検討をする。あくまでその厚さは、最小厚さと考えておいてください、断面計算で替える可能性があります。
- 3) 土被り厚さ
- 4) 単体積重量、過載荷重等設計の条件。
- 5) コンクリート、鉄筋の許容値等、また鉄筋の被り。

(シート「断面計算」)

- 6) 鉄筋径、鉄筋間隔が、鉄筋材料の許容値内に収まるよう入力。
 - ・ コンクリート圧縮応力度 σ_c 、鉄筋引張応力度 σ_s が、訳の分からないとんでもない値だったり、赤の数値とか()の場合は鉄筋径とピッチが適当ではありません。その場合は鉄筋径やピッチを変更するのはもちろんですが、アーチカルバートの部材厚の変更も考えてください。特に底版厚さの変更はアーチ部や側壁の応力に大きな効果を与えます。

シート(斜引張鉄筋)

7)底版にスターラップ筋を配置する場合、鉄筋径とピッチを入力トライアルし算出する。

- ・ シート「断面計算」の結果で、底版部材両端部において、コンクリートの許容せん断応力度を越えるせん断応力が発生した場合は、スターラップ筋を設ける必要がある。その鉄筋径と配置間隔を算出する。

6. CADによる作図

プログラムに添付してある、形状寸法図、応力図、配筋要領図はプログラムとリンクしていません。別途CADにて作図し、シート「計算書」とシート「斜引張鉄筋」に貼付して下さい。

プログラムに添付してある図のCADデーターを、プログラムと同じフォルダーに入れていただきますので参考にしてください。添付したCADは以下のもので、元のCADは「(株)ビッグバン BV-CAD」を使用して作成しました。

- ・BV-CAD(ver. 3) (株)ビッグバン
- ・AutoCAD2000 AutoCAD. CC
- ・JW CAD
- ・SXFファイル(SFC)

7. シート「計算書」の説明

計算書の印刷枠は、表示メニュー「改ページプレビュー」にて表示できます。印刷枠より外に以下のコメントがあります。参考にして下さい。

- ←入力データより : 入力したデータを読み取ります。
- ←先計算結果より : 計算書内で計算された値を読み取ります。
- ←自動計算 : 数値の中に計算式が組み込まれてあり、自動計算します。
- ←自動条件判定 : 計算書枠外にある変数から、条件判定をし、読み込みます。
- 条件用変数→ : 条件判定用の数値です。(文字変数もあります)
- ★CADにて作図 : CADで別途作図して下さい、プログラムとは別に作成します。

配筋に関する設計条件と・・ : 赤の文字は特に注意してください。

8. 計算書枚数

- 1) 斜引張鉄筋が必要な場合 32枚(表紙、目次3枚込み)
- 2) 斜引張鉄筋が不要な場合 31枚(表紙、目次3枚込み)

9. その他プログラムの使用法について

- ・画面上で “シート「データ入力」” と “シート「計算書:7. 断面算定」をExcelの画面上に並べてデータの入力を行い、部材の厚さがほぼ決まったら、次ぎに”シート「データ入力」”と”シート「断面計算」”を並べ、断面計算の計算結果の入力値を変えながら検討してみてください。

画面上での並べ方は、メニューの「ウィンドウ」→「新しいウィンドウを開く」で同じデータが開きますから、その後、メニューの「ウィンドウ」→「整列」→「並べて表示」とします。それからその2画面別々に”シート「データ入力」” と “シート「断面計算(入力と印刷)」”を開きます。2画面でも3画面でも、新しいウィンドウを開けばいくらかでも並べることは出来ます。

10. 印刷方法について

- ・ 印刷の際、計算書の順番は、別フォルダー「計算書のPDF & DW」の中に、以下の2つのファイルが入っていますので、参考にしてください。

① PDFファイル

使用説明、データ入力、断面計算、計算書作成の全てのシートが順番に入っています。

② DWファイル

DocuWorks ファイルです。計算書作成と断面計算を、提出できる形に順番に並べています、成果品提出の際は参考にしてください。

入力データ
計算書タイトル

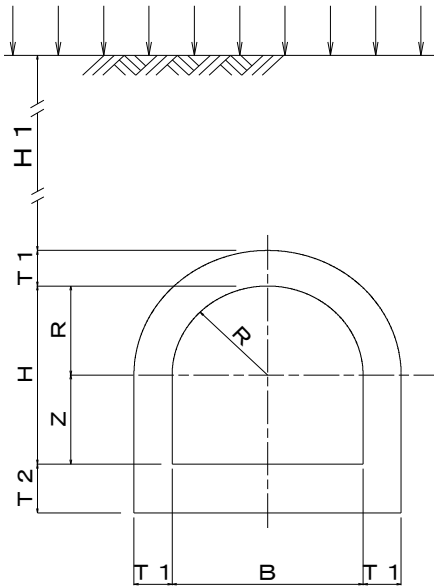
仮設排水トンネル部

構造寸法

内空寸法	内空高さ(矩形部)	$Z =$	3.000 m
	内空幅	$B =$	4.000 m
	アーチ部半径	$R =$	2.000 m
	内空全高さ	$H = ($	5.000 m)

部材厚さ	円弧部・脚部	$T1 =$	0.800 m
	底版部	$T2 =$	1.000 m
奥行き長		$L =$	1.000 m

・土被り厚	地表面～アーチカルバート天端	$H1 =$	12.000 m
-------	----------------	--------	----------



・設計条件

単位体積重量	コンクリート(鉄筋)	$Wc =$	25.0 kN/m3
	埋め戻し土	$We =$	18.0 kN/m3

活荷重	自動車荷重	$q =$	10.00 kN/m2
-----	-------	-------	-------------

静止土圧係数	(水平土圧最大時)	(「土工指針 P.47」)	0.5
	(水平土圧最小時)	(「土工指針 P.86」)	0.3

・断面計算

鉄筋被り	円弧部、側壁		10.0	cm
	底版	上面	11.0	cm
		下面	11.0	cm

コンクリートの設計基準強度

$$\sigma_{ck} = 24.00 \text{ N/mm}^2$$

鉄筋材質

SD345

降伏点応力度

345

許容応力度

常 時（圧縮）

$$\sigma_{ca} = 8.00 \text{ N/mm}^2$$

ハンチがないことから 許容値の3/4 程度とする

（引張）

$$\sigma_{sa} = 160.00 \text{ N/mm}^2$$

（剪断）一般部

$$\tau_{a1} = 0.39 \text{ N/mm}^2$$

隅角部

$$\tau_{a1} = 0.78 \text{ N/mm}^2$$

（剪断）斜引張鉄筋を設ける時

$$\tau_{a2} = 1.7 \text{ N/mm}^2$$

（許容付着応力度）

$$\tau_{oa} = 1.6$$

・フレーム分割数

縦中心線より片側にて検討

円弧部

$$S1 = 4 \text{ 分割}$$

脚部

$$S2 = 3 \text{ 分割}$$

底版部

$$S3 = 3 \text{ 分割}$$

フレームの分割数は左記に固定です。変更の場合は計算式等全て修正の必要があります。

仮設排水トンネル部

仮設排水トンネル部

目 次

1. 設計条件	-----
2. 形状寸法図	-----
3. 設計方法	-----
(1) 荷重の組合せ	-----
(2) フレーム分割数	-----
4. 荷重の計算	-----
(1) 荷重の条件	-----
(2) アーチカルバートに作用する荷重	-----
i. 頂版部鉛直荷重	-----
ii. アーチ～脚部水平荷重	-----
iii. 底版部地盤反力	-----
(3) 各ブロックに作用する荷重	-----
a) 鉛直荷重	-----
i) 円弧部に作用する鉛直力	-----
ii) 脚部に作用する鉛直力	-----
iii) 鉛直荷重の合計	-----
iv) 底版部に作用する鉛直反力	-----
b) 水平荷重	-----
i) 円弧部に作用する水平力	-----
ii) 脚部に作用する水平力	-----
iii) 水平荷重の合計	-----
5. 各ブロックの重心位置	-----
a) X方向距離	-----
i) 円弧部	-----
ii) 脚部	-----
iii) 底版部	-----
b) Y方向距離	-----
i) 円弧部	-----
ii) 脚部	-----
iii) 底版部	-----
c) 全鉛直荷重及び全水平荷重の作用点の位置の算出	-----
i) 鉛直荷重作用点の位置	-----
ii) 水平荷重作用点の位置	-----
6. 断面力の計算	-----
(1) 各点に作用する曲げモーメント	-----
a) 各点毎の片持梁としての曲げモーメント	-----
b) M_o の計算	-----
c) 各点の曲げモーメント	-----
(2) セン断力および軸力	-----
a) 円弧部	-----
b) 脚部	-----
c) 底版部	-----
(3) 各点の曲げモーメント、セン断力および軸力	-----

7. 断面算定 -----
- a) 断面算定位置 -----
 - b) 軸力を考慮した曲げモーメント -----
 - c) コンクリート厚さの検討 -----
 - d) セン断応力 -----
8. 応力度計算 -----
- (1) 側壁の計算 -----
 - (2) 底版の計算 -----
 - (3) 斜引張り鉄筋の計算 -----
 - a) 鉄筋間隔と鉄筋径の算出 -----
 - b) 設置範囲の計算 -----
9. 配筋要領図

1. 設計条件

本設計に使用する設計条件は、以下のとおりである。

(1) 基本構造

1) 形式

現場打ち鉄筋コンクリート構造アーチカルバート

2) 構造寸法

内空幅	B =	4.000 m
内空高	H =	5.000 m
アーチ半径	R =	2.000 m
円弧部・脚部部材厚	t1 =	0.800 m
底版部部材厚	t2 =	1.000 m

3) 基礎形式

直接基礎

(2) 材料の単位体積重量

鉄筋コンクリート	Wc =	25.0 kN/m ³
埋め戻し土	We =	18.0 kN/m ³

(3) 上載荷重

土被り D=4.0m以上であるため、下記の載荷重を考慮する(「指針 P.48」)

自動車荷重	q	=	10.0 kN/m ²
-------	---	---	------------------------

(4) 静止土圧係数

水平方向静止土圧係数

K0 =	0.5 (水平土圧最大時)	(「土工指針 P.47」)
K0 =	0.3 (水平土圧最小時)	(「土工指針 P.86」)

鉛直方向静止土圧係数

(計算書内にて検討。)

(5) 設計ケース及び許容値の条件

1) 設計水位

盛土部であり、定常的な地下水位は存在しないと考え、水位は考慮しない。

2) 地震の影響

考慮しない。

3) 雪荷重

考慮しない。

4) 温度変化

考慮しない。

5) 乾燥収縮の影響

考慮しない。

(6) 使用材料及び許容応力度

1) コンクリート

設計基準強度	σ_{ck}	24.00	N/mm ²
許容曲げ圧縮応力度	σ_{ca}	8.00	N/mm ²
許容せん断応力度 ※1)	τ_{a1}	0.39	N/mm ²
許容せん断応力度 (斜引張鉄筋設置)	τ_{a2}	1.70	N/mm ²
許容付着応力度 (異形棒鋼使用)	τ_{oa}	1.6	N/mm ²

※1) コンクリートのみでせん断力を負担する場合の平均せん断応力度。

2) 鉄筋

種別		SD345	N/mm ²
降伏点応力度	σ_{sy}	345	N/mm ²
許容曲げ引張応力度	σ_{sa}	160	N/mm ²

(7) 配筋細目

1) 鉄筋の被り

側壁	10.0 cm
底版(上面)	11.0 cm
底版(下面)	11.0 cm

2) 鉄筋の継手長(「標準設計P.30」)

径	La(mm)	径	La(mm)
D13	410	D25	790
D16	500	D29	910
D19	600	D32	1000
D22	690		

3) 配力筋及びハンチ筋

配力筋・ハンチ筋等、計算によって決まらない鉄筋量は当該部材の最大主鉄筋量の1/6以上を250mmピッチにて配置する。(「マニュアル P.32」)

準拠示方書及び参考文献

1)「道路土工カルバート工指針」(平成11年3月)

: 社団法人 日本道路協会 以下「土工指針」と略称する。

2)「設計便覧(案)第1～3編」(平成14年4月)

: 国土交通省近畿地方整備局 以下「設計便覧」と略称する。

3)「建設省制定土木構造物標準設計第1巻手引き」(平成12年9月)

: 全日本建設技術協会 以下「標準設計」と略称する。

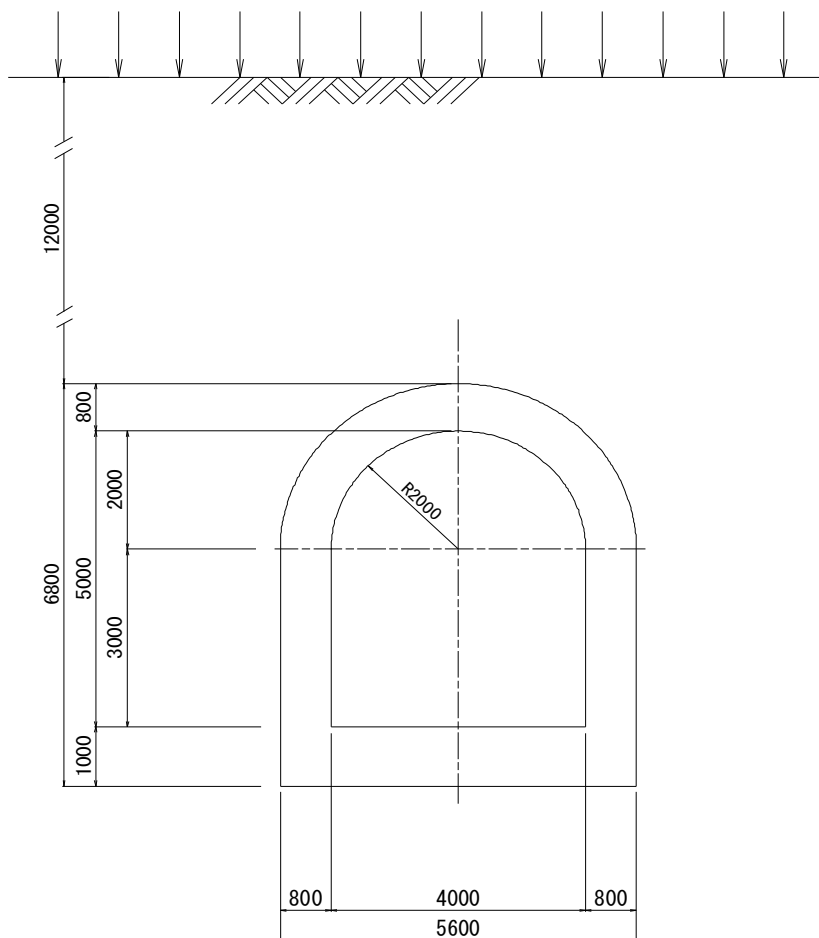
4)「土木構造物設計マニュアル(案)」(平成11年11月)

: 建設省土木研究所 以下「マニュアル」と略称する。

5)「道路橋示方書・同解説 I 解説編IV下部構造編」(平成14年3月)

: 社団法人 日本道路協会 以下「道路橋示方書」と略称する。

2. 形状寸法図



3. 設計方法

(1) 荷重の組合せ

荷重組合せ

躯体自重
載土荷重
活荷重
土圧

(2) フレーム分割数

アーチカルバート縦中心線より片側にて検討

円弧部 $S1 = 4$ 分割
アーチカルバート天端からの累計番号 $n = 1 \sim S1$

脚部 $S2 = 3$ 分割
アーチカルバート天端からの累計番号 $n = S1+1 \sim SS$

底版部 $S3 = 3$ 分割
アーチカルバート天端からの累計番号 $n = SS+1 \sim SS + S3$

4. 荷重の計算

(1) 荷重の条件

・平均土被りの算出

平均土被り厚 : H_o (m)

土被り厚(計画盛り土面～アーチカルバート天端) $H1 = 12.000$ m

アーチカルバート全幅($B+2 \times$ 壁厚 $t1$) $B' = 5.600$ m

$$H_o = H1 + 1/2 * B' * (1 - 1/4 * \pi)$$

$$= 12.000 + 1/2 * 5.600 * (1 - 1/4 * \pi) = 12.601 \text{ m}$$

・水平方向静止土圧係数

水平方向静止土圧係数 $K_o = 0.3$

・鉛直方向土圧係数

平均土被り厚 : H_o (m)

アーチカルバート全幅($B+2 \times$ 壁厚 $t1$) : B' (m)

条 件	鉛直土圧係数	
次の条件のいずれかに該当する場合 ・良好な地盤上(置き換え基礎も含む)に設置される直接基礎のカルバートで、土被りが10m以上でかつ内空高が3mを超える場合 ・杭基礎等で盛土の沈下にカルバートが抵抗する場合	$H_o/B' < 1$	1.0
	$1 \leq H_o/B' < 2$	1.2
	$2 \leq H_o/B' < 3$	1.35
	$3 \leq H_o/B' < 4$	1.5
	$4 \leq H_o/B'$	1.6
上記以外の場合	1.0	

従って、上記の表より鉛直方向土圧係数は

$$H_o / B' = 12.601 / 5.600 = 2.3$$

であるから、

$$\alpha = 1.35$$

・活荷重

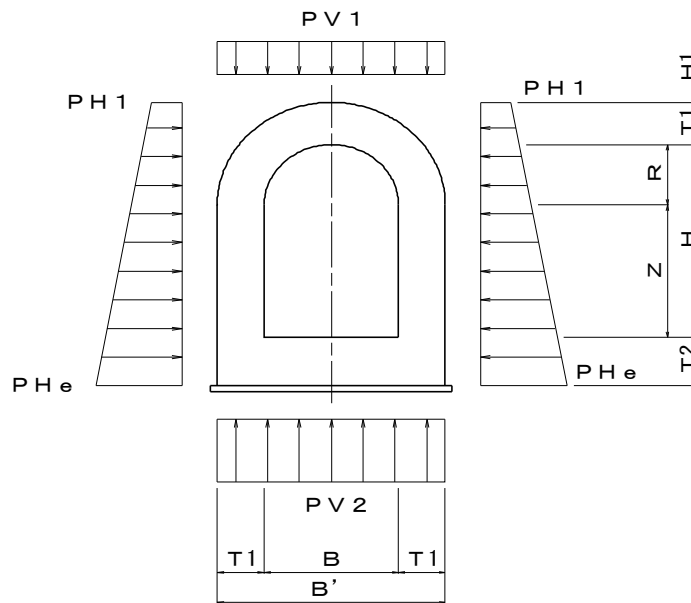
土被り4m以上の場合は、鉛直方向活荷重として頂版上面に一様に

$$q0 = 10.00 \text{ kN/m}^2$$

の荷重を考える。(「土工指針 P.49」)

以上の条件より、各位置の荷重を算出する。

(2) アーチカルバートに作用する荷重



i. 頂版部鉛直荷重

鉛直方向土圧係数 : α

埋め戻し土単位体積重量 : W_e (kN/m³)

平均土被り厚 : H_o (m)

活荷重 : q_0 (kN/m²)

$$\begin{aligned}
 PV1 &= \alpha \cdot W_e \cdot H_o + q_0 \\
 &= 1.35 \cdot 18.0 \cdot 12.601 + 10.00 = 316.204 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

ii. アーチ～脚部水平荷重

計画盛り土面～計画基礎地盤 : H_e (m)

$$\begin{aligned}
 H_e &= H1 + T1 + H + T2 \\
 &= 12.000 + 0.800 + 5.000 + 1.000 = 18.800 \text{ m}
 \end{aligned}$$

・アーチカルバート上端部

水平方向静止土圧係数 : K_o

土被り厚(計画盛り土面～アーチ上端部) : $H1$ (m)

$$\begin{aligned}
 PH1 &= K_o \cdot (W_e \cdot H1 + q_0) \\
 &= 0.3 \cdot (18.0 \cdot 12.000 + 10.00) = 67.800 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

・脚部下端部

$$\begin{aligned}
 PHe &= K_o \cdot (W_e \cdot H_e + q_0) \\
 &= 0.3 \cdot (18.0 \cdot 18.800 + 10.00) = 104.520 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

iii. 底版部地盤反力

アーチ部躯体荷重 : D1 (kN)

脚部躯体荷重 : D2 (kN)

底版地盤反力 : PV2 (kN/m²)

コンクリート単位体積重量 : Wc (kN/m³)

$$D1 = Wc \cdot 1/2 \cdot \pi \cdot (R + 1/2 \cdot T1) \cdot T1$$

$$= 25.0 \cdot 1/2 \cdot 3.142 \cdot (2.000 + 1/2 \cdot 0.800) \cdot 0.800 = 75.408 \text{ kN/m}^2$$

$$D2 = Wc \cdot (Z + 1/2 \cdot T2) \cdot T1$$

$$= 25.0 \cdot (3.000 + 1/2 \cdot 1.000) \cdot 0.800 = 70.000 \text{ kN/m}^2$$

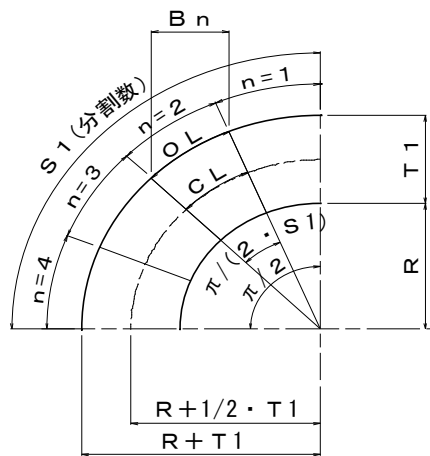
$$PV2 = PV1 + 2 \cdot (D1 + D2) / B'$$

$$= 316.204 + 2 \cdot (75.408 + 70.000) / 5.600 = 368.135 \text{ kN/m}^2$$

(3) 各ブロックに作用する荷重

a) 鉛直荷重

i) 円弧部に作用する鉛直力



円弧部の中心線より片側半分を4等分したときの1ブロックの外周長および中心軸長

円弧部1ブロックの外周長 : OL (m)

円弧部1ブロックの中心軸長 : CL (m)

分割数 : S1 (分割)

内周半径 : R (m)

アーチ部材厚 : T1 (m)

$$\begin{aligned}
 OL &= 1/2 \cdot \pi / S1 \cdot (R + T1) \\
 &= 1/2 \cdot 3.142 / 4 \cdot (2.000 + 0.800) = 1.100 \text{ m} \\
 CL &= 1/2 \cdot \pi / S1 \cdot (R + 1/2 \cdot T1) \\
 &= 1/2 \cdot 3.142 / 4 \cdot (2.000 + 1/2 \cdot 0.800) = 0.943 \text{ m}
 \end{aligned}$$

・各ブロック上の載荷幅

$$Bn = (R + T1) \cdot [\sin(n \cdot \pi / (2 \cdot S1)) - \sin\{(n-1) \cdot \pi / (2 \cdot S1)\}]$$

$$\begin{aligned}
 B1 &= (2.000 + 0.800) \cdot \sin\{1 \cdot \pi / (2 \cdot 4)\} = 1.072 \text{ m} \\
 B2 &= (2.000 + 0.800) \cdot [\sin\{2 \cdot \pi / (2 \cdot 4)\} - \sin\{(2-1) \cdot \pi / (2 \cdot 4)\}] = 0.908 \text{ m} \\
 B3 &= (2.000 + 0.800) \cdot [\sin\{3 \cdot \pi / (2 \cdot 4)\} - \sin\{(3-1) \cdot \pi / (2 \cdot 4)\}] = 0.607 \text{ m} \\
 B4 &= (2.000 + 0.800) \cdot [\sin\{4 \cdot \pi / (2 \cdot 4)\} - \sin\{(4-1) \cdot \pi / (2 \cdot 4)\}] = 0.213 \text{ m}
 \end{aligned}$$

・各ブロックに作用する鉛直力

$$Vn = PV1 \cdot Bn + Wc \cdot CL \cdot T1$$

$$\begin{aligned}
 V1 &= 316.204 \cdot 1.072 + 25.0 \cdot 0.943 \cdot 0.800 = 357.831 \text{ kN} \\
 V2 &= 316.204 \cdot 0.908 + 25.0 \cdot 0.943 \cdot 0.800 = 305.973 \text{ kN} \\
 V3 &= 316.204 \cdot 0.607 + 25.0 \cdot 0.943 \cdot 0.800 = 210.796 \text{ kN} \\
 V4 &= 316.204 \cdot 0.213 + 25.0 \cdot 0.943 \cdot 0.800 = 86.211 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

ii) 脚部に作用する鉛直力

脚部を3等分したときの1ブロックの重量

脚部の軸線長 : Z_o (m)

脚部の1ブロック当たり軸線長 : Z_w (m)

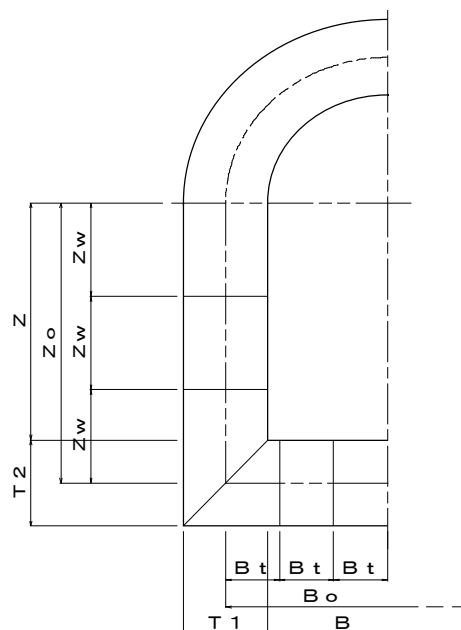
$$Z_o = 3.000 + 1 / 2 * 1.000 = 3.500 \text{ m}$$

$$Z_w = 1 / 3 * 3.500 = 1.167 \text{ m}$$

$$V_5 = V_6 = V_7$$

$$V_5 = W_c \cdot Z_w \cdot T_1$$

$$= 25.0 * 1.167 * 0.800 = 23.340 \text{ kN}$$



iii) 鉛直荷重の合計

$$V_t = \sum V(1 \sim 7)$$

$$= 357.831 + 305.973 + 210.796 + 86.211 + 23.340 * 3 = 1030.831 \text{ kN}$$

iv) 底版部に作用する鉛直反力

底版部1ブロックに作用する鉛直反力は、上からの外力によって底版部に等分布反力が生じると仮定する。

底版部分割数 : S_3 (分割)

鉛直荷重の合計 : V_t (kN)

底版部1ブロック当たり鉛直反力 : RB_t (kN)

$$B_o = B + T_1$$

$$= 4.000 + 0.800 = 4.800 \text{ m}$$

$$B_t = B_o / (2 * S_3)$$

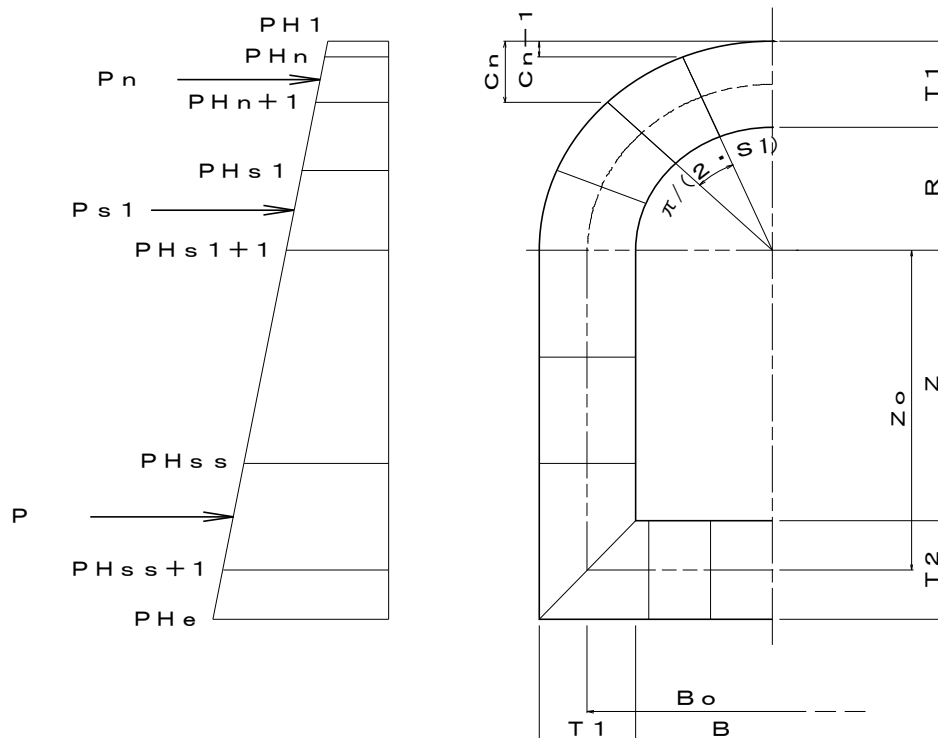
$$= 4.800 / (2 * 3) = 0.800 \text{ m}$$

$$RB_t = V_t / S_3$$

$$= 1030.831 / 3 = 343.610 \text{ kN}$$

b) 水平荷重

i) 円弧部に作用する水平力



円弧部各ブロック接点のアーチ部天端からの鉛直距離 : C_n (m)

円弧部ブロック番号(上より1~4) : n

分割数 : $S1$ (分割)

・各ブロック接点のアーチ天端からの鉛直距離

$$C_n = 2 \cdot (R + T1) \sin^2 \left(n \cdot \pi / 4 \cdot S1 \right)$$

$$\begin{aligned} C1 &= 2 \cdot (2.000 + 0.800) \cdot \sin^2 \left\{ 1 \cdot \pi / (4 \cdot 4) \right\} = 0.213 \text{ m} \\ C2 &= 2 \cdot (2.000 + 0.800) \cdot \sin^2 \left\{ 2 \cdot \pi / (4 \cdot 4) \right\} = 0.820 \text{ m} \\ C3 &= 2 \cdot (2.000 + 0.800) \cdot \sin^2 \left\{ 3 \cdot \pi / (4 \cdot 4) \right\} = 1.728 \text{ m} \\ C4 &= 2 \cdot (2.000 + 0.800) \cdot \sin^2 \left\{ 4 \cdot \pi / (4 \cdot 4) \right\} = 2.800 \text{ m} \end{aligned}$$

・各ブロック接点に作用する水平力

円弧部各ブロック接点に作用する水平力 : PH_n (kN)

計画盛り土面~計画基礎地盤 : He (m)

土被り厚(計画盛り土面~アーチカルバート天端) : $H1$

$$PH_{n+1} = PH1 + (PHe - PH1) \cdot C_n / (He - H1)$$

$$\begin{aligned} PH2 &= 67.800 + (104.520 - 67.800) \cdot 0.213 / (18.800 - 12.000) = 68.950 \text{ kN/m}^2 \\ PH3 &= 67.800 + (104.520 - 67.800) \cdot 0.820 / (18.800 - 12.000) = 72.228 \text{ kN/m}^2 \\ PH4 &= 67.800 + (104.520 - 67.800) \cdot 1.728 / (18.800 - 12.000) = 77.131 \text{ kN/m}^2 \\ PH5 &= 67.800 + (104.520 - 67.800) \cdot 2.800 / (18.800 - 12.000) = 82.920 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

・各ブロックに作用する水平合力

各ブロックに作用する水平合力 : P_n (kN)

$$P_n = 1/2 \cdot (PH_n + PH_{n+1}) \cdot (C_n - C_{n-1})$$

$$\begin{aligned} P_1 &= 1/2 \cdot (67.800 + 68.950) \cdot 0.213 &= 14.564 \text{ kN/m}^2 \\ P_2 &= 1/2 \cdot (68.950 + 72.228) \cdot (0.820 - 0.213) &= 42.848 \text{ kN/m}^2 \\ P_3 &= 1/2 \cdot (72.228 + 77.131) \cdot (1.728 - 0.820) &= 67.809 \text{ kN/m}^2 \\ P_4 &= 1/2 \cdot (77.131 + 82.920) \cdot (2.800 - 1.728) &= 85.787 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ii) 脚部に作用する水平力

・各ブロック接点に作用する水平力

脚部各ブロック接点に作用する水平力 : PH_n (kN)

計画盛り土面～計画基礎地盤 : H_e (m)

土被り厚(計画盛り土面～アーチカルバート天端) : H_1 (m)

$$PH_n = PH_1 + (PHe - PH_1) \cdot \{R + T_1 + Z_w \cdot (n - S_1 - 1)\} / (H_e - H_1)$$

$$\begin{aligned} PH_6 &= 67.800 + (104.520 - 67.800) \cdot \{2.000 + 0.800 + 1.167 \cdot 1\} / (18.800 - 12.000) &= 89.222 \text{ kN} \\ PH_7 &= 67.800 + (104.520 - 67.800) \cdot \{2.000 + 0.800 + 1.167 \cdot 2\} / (18.800 - 12.000) &= 95.524 \text{ kN} \\ PH_8 &= 67.800 + (104.520 - 67.800) \cdot \{2.000 + 0.800 + 1.167 \cdot 3\} / (18.800 - 12.000) &= 101.825 \text{ kN} \end{aligned}$$

・各ブロックに作用する水平合力

各ブロックに作用する水平合力 : P_n (kN)

脚部の1ブロック当たり軸線長 : Z_w (m)

$$P_n = 1/2 \cdot (PH_n + PH_{n+1}) \cdot Z_w$$

$$\begin{aligned} P_5 &= 1/2 \cdot (82.920 + 89.222) \cdot 1.167 &= 100.445 \text{ kN/m}^2 \\ P_6 &= 1/2 \cdot (89.222 + 95.524) \cdot 1.167 &= 107.799 \text{ kN/m}^2 \\ P_7 &= 1/2 \cdot (95.524 + 101.825) \cdot 1.167 &= 115.153 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

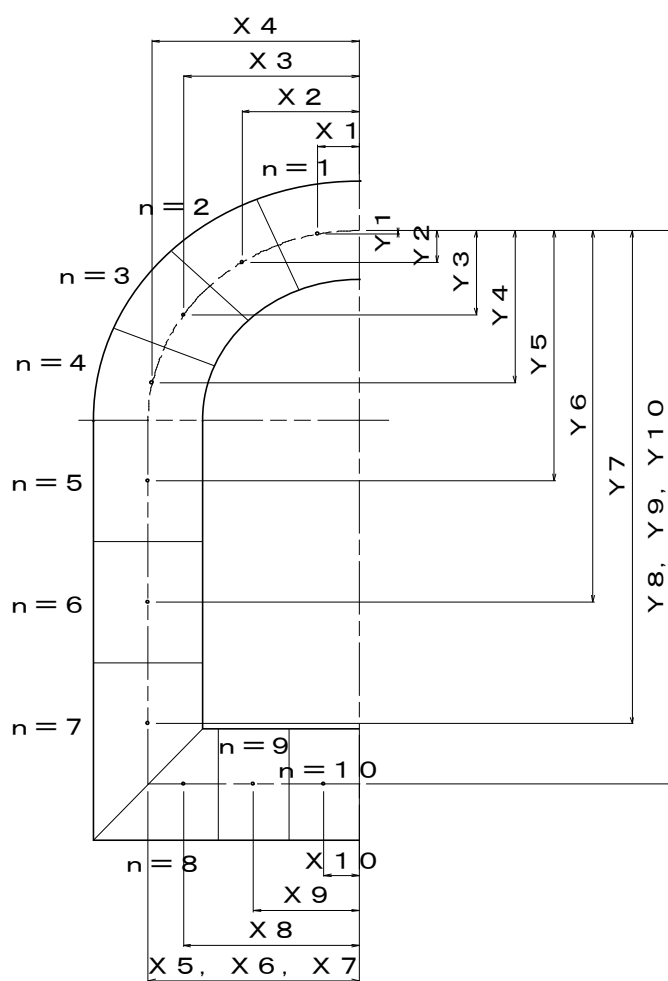
iii) 水平荷重の合計

$$P_t = \sum P(1 \sim 7)$$

$$= 14.564 + 42.848 + 67.809 + 85.787 + 100.445 + 107.799 + 115.153 = 534.405 \text{ kN}$$

5. 各ブロックの重心位置

アーチカルバート中心線から、分割された各ブロック重心までの距離を計算する。



a) X方向距離

i) 円弧部

中心線から円弧部各ブロック重心までの水平距離 : X_n (m)

アーチ部内径 : R (m)

アーチ部壁厚 : $T1$ (m)

円弧部ブロック番号(上より1~4) : n

分割数 : $S1$ (分割)

$$X_n = (R + 1/2 \cdot T1) \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot S1) \cdot (n - 1/2) \}$$

$$X1 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (1 - 1/2) \} = 0.468 \text{ m}$$

$$X2 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (2 - 1/2) \} = 1.333 \text{ m}$$

$$X3 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (3 - 1/2) \} = 1.996 \text{ m}$$

$$X4 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (4 - 1/2) \} = 2.354 \text{ m}$$

ii) 脚部

中心線から脚部各ブロック重心までの水平距離 : X_n (m)

脚部中心線間距離 : Bo (m)

$$Bo = B + T1$$

$$= 4.000 + 0.800 = 4.800 \text{ m}$$

$$X_n = 1/2 \cdot Bo$$

$$X5 = X6 = X7 = 1/2 \cdot 4.800 = 2.400 \text{ m}$$

iii) 底版部

中心線から底版部各ブロック重心までの水平距離 : X_n (m)

底版部各分割ブロックの長さ : Bt (m)

アーチカルバート天端からの底版部累計番号 : $n = SS+1 \sim SS + S3$

$$X_n = 1/2 \cdot Bo - Bt \cdot (n - SS - 1/2)$$

$$X8 = 1/2 \cdot 4.800 - 0.800 \cdot (8 - 7 - 1/2) = 2.000 \text{ m}$$

$$X9 = 1/2 \cdot 4.800 - 0.800 \cdot (9 - 7 - 1/2) = 1.200 \text{ m}$$

$$X10 = 1/2 \cdot 4.800 - 0.800 \cdot (10 - 7 - 1/2) = 0.400 \text{ m}$$

b) Y方向距離

i) 円弧部

アーチカルバート軸心天端から円弧部各ブロック重心までの鉛直距離 : Y_n (m)

アーチ部内径 : R (m)

アーチ部壁厚 : $T1$ (m)

円弧部ブロック番号(上より1~4) : n

分割数 : $S1$ (分割)

$$Y_n = (R + 1/2 \cdot T1) \cdot [1 - \cos \{ \pi / (2 \cdot S1) \cdot (n - 1/2) \}]$$

$$Y1 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot [1 - \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (1 - 1/2) \}] = 0.046 \text{ m}$$

$$Y2 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot [1 - \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (2 - 1/2) \}] = 0.404 \text{ m}$$

$$Y3 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot [1 - \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (3 - 1/2) \}] = 1.067 \text{ m}$$

$$Y4 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) \cdot [1 - \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (4 - 1/2) \}] = 1.932 \text{ m}$$

ii) 脚部

アーチカルバート軸心天端から脚部各ブロック重心までの鉛直距離 : Y_n (m)

脚部の1ブロック当たり軸線長 : Zw (m)

脚部ブロック番号(上より5~7) : n

アーチ部分割数 : $S1$ (分割)

$$Y_n = (R + 1/2 \cdot T1) + Zw \cdot (n - S1 - 1/2)$$

$$Y5 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) + 1.167 \cdot (5 - 4 - 1/2) = 2.984 \text{ m}$$

$$Y6 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) + 1.167 \cdot (6 - 4 - 1/2) = 4.151 \text{ m}$$

$$Y7 = (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) + 1.167 \cdot (7 - 4 - 1/2) = 5.318 \text{ m}$$

iii) 底版部

アーチカルバート軸心天端から底版部各ブロック重心までの鉛直距離 : Y_n (m)

脚部の軸線長 : Zo (m)

$$Y_n = (R + 1/2 \cdot T1) + Zo$$

$$Y8 = Y9 = Y10$$

$$= (2.000 + 0.800 \cdot 1/2) + 3.500 = 5.900 \text{ m}$$

c) 全鉛直荷重及び全水平荷重の作用点の位置の算出

i) 鉛直荷重作用点の位置

各ブロックに作用する鉛直荷重 : V_n (kN)

「(3) 各ブロックに作用する荷重、a) 鉛直荷重」より

各ブロック重心位置までの水平距離 : X_n (m)

「(4) 各ブロックの重心位置、a) X方向距離」より

$$\begin{aligned}
 V1X1 &= 357.831 * 0.468 &= 167.465 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 V2X2 &= 305.973 * 1.333 &= 407.862 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 V3X3 &= 210.796 * 1.996 &= 420.749 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 V4X4 &= 86.211 * 2.354 &= 202.941 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 V5X5 &= 23.340 * 2.400 &= 56.016 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 V6X6 &= 23.340 * 2.400 &= 56.016 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 V7X7 &= 23.340 * 2.400 &= 56.016 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 \Sigma V_n \cdot X_n &= 1367.065 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

従って、カルバート中心線より半分で検討している、鉛直荷重位置からカルバート中心線までの距離は、

カルバート中心線から鉛直荷重位置までの作用点の水平距離 : X_o (m)

鉛直荷重の合計 : V_t (kN)

$$\begin{aligned}
 X_o &= \Sigma V_n \cdot X_n / V_t \\
 &= 1367.065 / 1030.831 &= 1.326 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ii) 水平荷重作用点の位置

各ブロックに作用する水平荷重 : P_n (kN)

「(3) 各ブロックに作用する荷重、b) 水平荷重」より

各ブロック重心位置までの鉛直距離 : Y_n (m)

「(4) 各ブロックの重心位置、b) Y方向距離」より

$$\begin{aligned}
 P1Y1 &= 14.564 * 0.046 &= 0.670 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 P2Y2 &= 42.848 * 0.404 &= 17.311 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 P3Y3 &= 67.809 * 1.067 &= 72.352 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 P4Y4 &= 85.787 * 1.932 &= 165.740 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 P5Y5 &= 100.445 * 2.984 &= 299.728 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 P6Y6 &= 107.799 * 4.151 &= 447.474 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 P7Y7 &= 115.153 * 5.318 &= 612.384 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 \Sigma P_n \cdot Y_n &= 1615.659 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

従って、カルバート中心線より半分で検討している、水平荷重位置からカルバート軸線底版位置までの距離は、

カルバート軸線天端部から水平荷重までの作用点の鉛直距離 : Y_o' (m)

$$Y_o' = \Sigma P_n \cdot Y_n / P_t$$

脚部の軸線長 : Z_o (m)

カルバート軸線底版部から水平荷重までの作用点の鉛直距離 : Y_o (m)

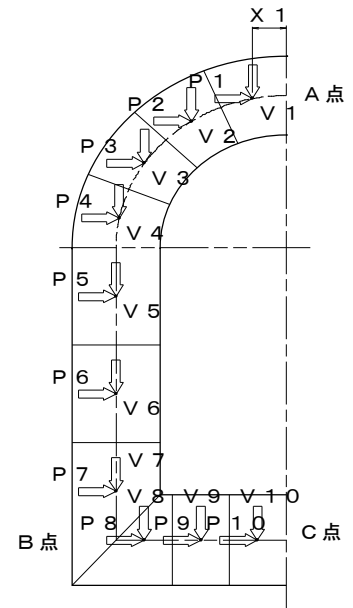
鉛直荷重の合計 : P_t (kN)

$$\begin{aligned}
 Y_o &= R + 1/2 * T1 + Z_o - Y_o' \\
 &= 2.000 + 1/2 * 0.800 + 3.500 - 1615.659 / 534.405 = 2.877 \text{ m}
 \end{aligned}$$

6. 断面力の計算

(1) 各点に作用する曲げモーメント

a) 各点毎の片持梁としての曲げモーメント



$$MS1 = 1 / 4 * (X1 * V1)$$

$$= 1 / 4 * (0.468 * 357.831) = 41.866 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V V_n = \sum V(1 \sim n)$$

$$\begin{aligned} V V1 &= 357.831 &= 357.831 \text{ kN} \\ V V2 &= 357.831 + 305.973 &= 663.804 \text{ kN} \\ V V3 &= 357.831 + 305.973 + 210.796 &= 874.600 \text{ kN} \\ V V4 &= 357.831 + 305.973 + 210.796 + 86.211 &= 960.811 \text{ kN} \\ V V5 &= 357.831 + 305.973 + 210.796 + 86.211 + 23.340 &= 984.151 \text{ kN} \\ V V6 &= 357.831 + 305.973 + 210.796 + 86.211 + 23.340 + 23.340 &= 1007.491 \text{ kN} \\ V V7 &= 357.831 + 305.973 + 210.796 + 86.211 + 23.340 + 23.340 + 23.340 &= 1030.831 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P P_n = \sum P(1 \sim n)$$

$$\begin{aligned} P P1 &= 14.564 &= 14.564 \text{ kN} \\ P P2 &= 14.564 + 42.848 &= 57.412 \text{ kN} \\ P P3 &= 14.564 + 42.848 + 67.809 &= 125.221 \text{ kN} \\ P P4 &= 14.564 + 42.848 + 67.809 + 85.787 &= 211.008 \text{ kN} \\ P P5 &= 14.564 + 42.848 + 67.809 + 85.787 + 100.445 &= 311.453 \text{ kN} \\ P P6 &= 14.564 + 42.848 + 67.809 + 85.787 + 100.445 + 107.799 &= 419.252 \text{ kN} \\ P P7 &= 14.564 + 42.848 + 67.809 + 85.787 + 100.445 + 107.799 + 115.153 &= 534.405 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$MS2 = (X2 - X1) \cdot V V1 + (Y2 - Y1) \cdot P P1$$

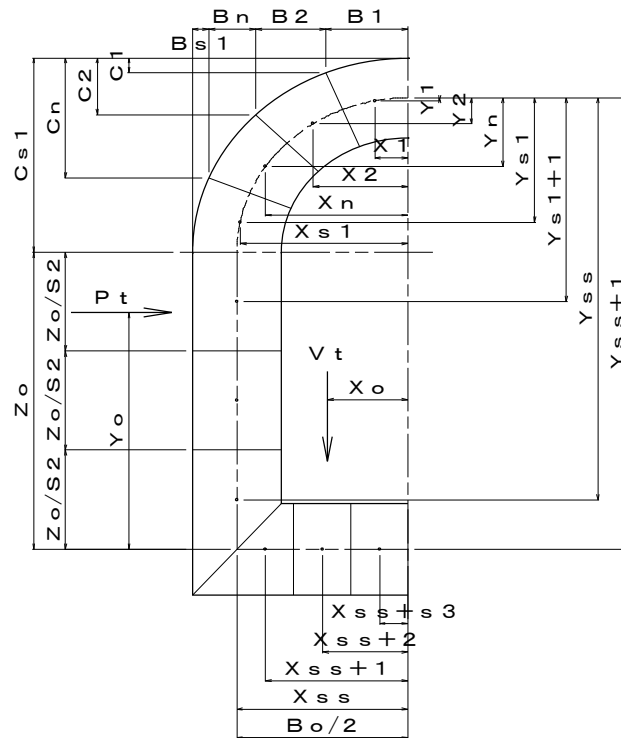
$$= (1.333 - 0.468) * 357.831 + (0.404 - 0.046) * 14.564 = 314.738 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MS_n = MS_{n-1} + (X_n - X_{n-1}) \cdot V V_{n-1} + (Y_n - Y_{n-1}) \cdot P P_{n-1}$$

$$\begin{aligned} MS3 &= 314.738 + (1.996 - 1.333) * 663.804 + (1.067 - 0.404) * 57.412 = 792.904 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ MS4 &= 792.904 + (2.354 - 1.996) * 874.600 + (1.932 - 1.067) * 125.221 = 1214.327 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ MS5 &= 1214.327 + (2.400 - 2.354) * 960.811 + (2.984 - 1.932) * 211.008 = 1480.505 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ MS6 &= 1480.505 + (2.400 - 2.400) * 984.151 + (4.151 - 2.984) * 311.453 = 1843.971 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ MS7 &= 1843.971 + (2.400 - 2.400) * 1007.491 + (5.318 - 4.151) * 419.252 = 2333.238 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

・B点におけるモーメント

$$\begin{aligned} MSB &= MS_{ss} + (Y_{ss+1} - Y_{ss}) \cdot P_{ss} \\ &= 2333.238 + (5.900 - 5.318) \cdot 534.405 = 2644.262 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$



・全水平荷重によるモーメント

$$\begin{aligned} MH &= Pt \cdot Y_o \\ &= 534.405 \cdot 2.877 = 1537.483 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$MS_{ss+n} = MH - V_t \cdot (X_o - X_{ss+n}) + \sum RB_t \cdot (X_{ss+1} - X_{ss+n})$$

底板部1ブロック当たり鉛直反力 : RB_t (kN)

$$MS_8 = 1537.483 - 1030.831 \cdot (1.326 - 2.000) + 343.610 \cdot (2.000 - 2.000) = 2232.263 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MS_9 = 1537.483 - 1030.831 \cdot (1.326 - 1.200) + 343.610 \cdot (2.000 - 1.200) = 1682.486 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\begin{aligned} MS_{10} &= 1537.483 - 1030.831 \cdot (1.326 - 0.400) + 343.610 \cdot (2.000 - 1.200) \\ &\quad + 343.610 \cdot (2.000 - 0.400) = 1407.597 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

・C点におけるモーメント

C点の曲げモーメント : MS_c (kN・m)

鉛直荷重の合計 : V_t (kN)

カルバート中心線から鉛直荷重位置までの作用点の水平距離 : X_o (m)

鉛直荷重の合計 : V_t (kN)

脚部中心線間距離 : B_o (m)

$$MS_c = MH - V_t \cdot X_o + V_t \cdot 1/4 \cdot B_o$$

$$= 1537.483 - 1030.831 \cdot 1.326 + 1030.831 \cdot 1/4 \cdot 4.800 = 1407.598 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

b) Moの計算

ここにおいて、各点(A、B、C)の曲げモーメント算出のための準備計算として、アーチカルバート天端の曲げモーメントを算出する。

アーチ部壁厚 : T1 (m)

底版部版厚 : T2 (m)

各ブロックの区間距離	円弧部 (i = 1 ~ 4)	SP1 ~ SP4 =	0.943 m
	脚部 (j = 5 ~ 7)	SP5 ~ SP7 =	1.167 m
	底版部 (k = 8 ~ 10)	SP8 ~ SP10 =	1.167 m

$$XY1 = XY1A + XY1B = \sum (n=1 \sim ss) Y_n \cdot SP_n / T1^3 + \sum (i=ss+1 \sim ss+s3) Y_i \cdot SP_i / T2^3$$

$$XY2 = XY2A + XY2B = \sum (n=1 \sim ss) MS_n \cdot Y_n \cdot SP_n / T1^3 + \sum (i=ss+1 \sim ss+s3) MS_i \cdot Y_i \cdot SP_i / T2^3$$

$$XY3 = XY3A + XY3B = \sum (n=1 \sim ss) (Y_n)^2 \cdot SP_n / T1^3 + \sum (i=ss+1 \sim ss+s3) (Y_i)^2 \cdot SP_i / T2^3$$

$$XY4 = XY4A + XY4B = \sum (n=1 \sim ss) SP_n / T1^3 + \sum (i=ss+1 \sim ss+s3) SP_i / T2^3$$

$$XY5 = XY5A + XY5B = \sum (n=1 \sim ss) MS_n \cdot SP_n / T1^3 + \sum (i=ss+1 \sim ss+s3) MS_i \cdot SP_i / T2^3$$

これらの式を一般式に代入すると

$$-Mo \cdot XY1 - XY2 + No \cdot XY3 = 0$$

$$Mo \cdot XY4 + XY5 - No \cdot XY1 = 0$$

従って、以下の式により Mo が求まる。

$$No = (XY2 \cdot XY4 - XY1 \cdot XY5) / \{XY3 \cdot XY4 - (XY1)^2\}$$

$$Mo = (No \cdot XY3 - XY2) / XY1$$

・ SPi/T1^3 の算出

$$SP_i/T1^3 = 0.943 / 0.800^3 = 1.842$$

$$SP_j/T1^3 = 1.167 / 0.800^3 = 2.279$$

$$SP_k/T2^3 = 1.167 / 1.000^3 = 1.167$$

・ XY1 の算出

$$XY1A = 1.842 \cdot (0.046 + 0.404 + 1.067 + 1.932) + 2.279 \cdot (2.984 + 4.151 + 5.318) = 34.733$$

$$XY1B = 1.167 \cdot 5.900 \cdot 3 = 20.656$$

$$XY1 = XY1A + XY1B = 34.733 + 20.656 = 55.389$$

・ XY2 の算出

$$XY2A = 1.842 \cdot (41.866 \cdot 0.046 + 314.738 \cdot 0.404 + 792.904 \cdot 1.067 + 1214.327 \cdot 1.932) + 2.279 \cdot (1480.505 \cdot 2.984 + 1843.971 \cdot 4.151 + 2333.238 \cdot 5.318) = 61908.256$$

$$XY2B = 1.167 \cdot 5.900 \cdot (2232.263 + 1682.486 + 1407.597) = 36645.949$$

$$XY2 = XY2A + XY2B = 61908.256 + 36645.949 = 98554.205$$

・ XY3 の算出

$$XY3A = 1.842 \cdot (0.046 \cdot 0.046 + 0.404 \cdot 0.404 + 1.067 \cdot 1.067 + 1.932 \cdot 1.932) + 2.279 \cdot (2.984 \cdot 2.984 + 4.151 \cdot 4.151 + 5.318 \cdot 5.318) = 133.292$$

$$XY3B = 1.167 \cdot 5.900 \cdot 5.900 \cdot 3 = 121.870$$

$$XY3 = XY3A + XY3B = 133.292 + 121.870 = 255.162$$

・ XY4 の算出

$$\begin{aligned} XY4A &= 1.842 * 4 + 2.279 * 3 &= 14.205 \\ XY4B &= 1.167 * 3 &= 3.501 \\ XY4 &= XY4A + XY4B &= 14.205 + 3.501 &= 17.706 \end{aligned}$$

・ XY5 の算出

$$\begin{aligned} XY5A &= 1.842 * (41.866 + 314.738 + 792.904 + 1214.327) + 2.279 * (1480.505 + 1843.971 + 2333.238) &= 17248.114 \\ XY5B &= 1.167 * (2232.263 + 1682.486 + 1407.597) &= 6211.178 \\ XY5 &= XY5A + XY5B &= 17248.114 + 6211.178 &= 23459.292 \end{aligned}$$

・ 軸力 No の算出

A点の鉛直方向軸力 : No

$$\begin{aligned} No &= (XY2 \cdot XY4 - XY1 \cdot XY5) / \{ XY3 \cdot XY4 - (XY1)^2 \} \\ &= (98554.205 * 17.706 - 55.389 * 23459.292) / (255.162 * 17.706 - 55.389^2) &= 307.329 \text{ kN} \end{aligned}$$

・ モーメント Mo の算出

A点の曲げモーメント : Mo (kN・m)

$$\begin{aligned} Mo &= (No \cdot XY3 - XY2) / XY1 \\ &= (307.329 * 255.162 - 98554.205) / 55.389 &= -363.529 \text{ kN・m} \end{aligned}$$

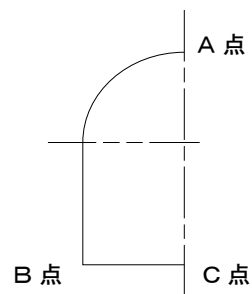
c) 各点の曲げモーメント

$$M_n = M_o + M S_n - N_o \cdot Y_n$$

各ブロック中心位置の曲げモーメント : M_n (kN・m)

A点の曲げモーメント : M_o (kN・m)

A点の鉛直方向軸力 : N_o (kN)



$M1 = -363.529 + 41.866 - 307.329 \cdot 0.046$	$= -335.800 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M2 = -363.529 + 314.738 - 307.329 \cdot 0.404$	$= -172.952 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M3 = -363.529 + 792.904 - 307.329 \cdot 1.067$	$= 101.455 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M4 = -363.529 + 1214.327 - 307.329 \cdot 1.932$	$= 257.038 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M5 = -363.529 + 1480.505 - 307.329 \cdot 2.984$	$= 199.906 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M6 = -363.529 + 1843.971 - 307.329 \cdot 4.151$	$= 204.719 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M7 = -363.529 + 2333.238 - 307.329 \cdot 5.318$	$= 335.333 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M8 = -363.529 + 2232.263 - 307.329 \cdot 5.900$	$= 55.493 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M9 = -363.529 + 1682.486 - 307.329 \cdot 5.900$	$= -494.284 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M10 = -363.529 + 1407.597 - 307.329 \cdot 5.900$	$= -769.173 \text{ kN} \cdot \text{m}$

・A点の曲げモーメント

$$M_A = M_o$$

$$= -363.529 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・B点の曲げモーメント

B点におけるモーメント : M_{SB} (kN・m)

A点の鉛直方向軸力 : N_o (kN)

A点～B点までの鉛直距離 : Y_{ss+s3} (m)

$$M_B = M_o + M_{SB} - N_o \cdot Y_{ss+s3}$$

$$= -363.529 + 2644.262 - 307.329 \cdot 5.900 = 467.492 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

・C点の曲げモーメント

C点におけるモーメント : M_{SC} (kN・m)

A点の鉛直方向軸力 : N_o (kN)

A点～B点までの鉛直距離 : Y_{ss+s3} (m)

$$M_C = M_o + M_{SC} - N_o \cdot Y_{ss+s3}$$

$$= -363.529 + 1407.598 - 307.329 \cdot 5.900 = -769.172 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) セン断力および軸力

半円矩形断面の任意の点におけるセン断力および軸力は、力の釣り合い条件より次式が成り立つ。

$$N = \sum H \cdot \cos \theta + \sum V \cdot \sin \theta$$

$$S = \sum H \cdot \sin \theta + \sum V \cdot \cos \theta$$

$$\sum H (n = 1 \sim ss) = HHn = No - PPn$$

$$\sum V (n = 1 \sim ss) = VVn$$

$$\sum H (n = 1 \sim ss) = HHn = No - PPn$$

$$HH1 = 307.329 - 14.564 = 292.765 \text{ kN}$$

$$HH2 = 307.329 - 57.412 = 249.917 \text{ kN}$$

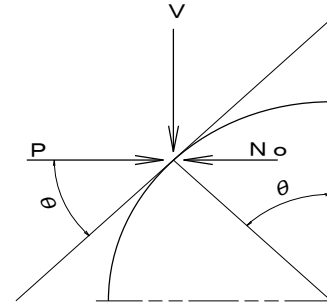
$$HH3 = 307.329 - 125.221 = 182.108 \text{ kN}$$

$$HH4 = 307.329 - 211.008 = 96.321 \text{ kN}$$

$$HH5 = 307.329 - 311.453 = -4.124 \text{ kN}$$

$$HH6 = 307.329 - 419.252 = -111.923 \text{ kN}$$

$$HH7 = 307.329 - 534.405 = -227.076 \text{ kN}$$



a) 円弧部

・軸力

$$Nn = HHn \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot S1) \cdot (n - 1/2) \} + VVn \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot S1) \cdot (n - 1/2) \}$$

縦中心線より片側円弧部フレーム分割数 : S1

アーチカルバート天端からの累計番号 $n = 1 \sim S1$

$$N1 = 292.765 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (1 - 1/2) \} + 357.831 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (1 - 1/2) \} = 356.949 \text{ kN}$$

$$N2 = 249.917 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (2 - 1/2) \} + 663.804 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (2 - 1/2) \} = 576.588 \text{ kN}$$

$$N3 = 182.108 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (3 - 1/2) \} + 874.600 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (3 - 1/2) \} = 828.377 \text{ kN}$$

$$N4 = 96.321 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (4 - 1/2) \} + 960.811 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (4 - 1/2) \} = 961.141 \text{ kN}$$

・セン断力

$$Sn = HHn \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot S1) \cdot (n - 1/2) \} - VVn \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot S1) \cdot (n - 1/2) \}$$

$$S1 = 292.765 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (1 - 1/2) \} - 357.831 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (1 - 1/2) \} = -293.840 \text{ kN}$$

$$S2 = 249.917 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (2 - 1/2) \} - 663.804 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (2 - 1/2) \} = -413.086 \text{ kN}$$

$$S3 = 182.108 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (3 - 1/2) \} - 874.600 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (3 - 1/2) \} = -334.484 \text{ kN}$$

$$S4 = 96.321 \cdot \sin \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (4 - 1/2) \} - 960.811 \cdot \cos \{ \pi / (2 \cdot 4) \cdot (4 - 1/2) \} = -92.975 \text{ kN}$$

・A点の軸力及びセン断力

$$Na = No = 307.329 \text{ kN}$$

$$Sa = 0.000 \text{ kN}$$

b) 脚部

・軸力

$$N_n = VV_n$$

脚部各接点の鉛直荷重 : VV_n (kN)

$$N5 = VV5 = 984.151 \text{ kN}$$

$$N6 = VV6 = 1007.491 \text{ kN}$$

$$N7 = VV7 = 1030.831 \text{ kN}$$

・せん断力

$$S_n = HH_n$$

脚部各接点の水平荷重 : HH_n (kN)

$$S5 = HH5 = -4.124 \text{ kN}$$

$$S6 = HH6 = -111.923 \text{ kN}$$

$$S7 = HH7 = -227.076 \text{ kN}$$

・B点の軸力及びせん断力

鉛直荷重の合計 : VT (kN)

A点の水平荷重 : No (kN)

水平荷重の合計 : Pt (kN)

$$Nb = VT = 1030.831 \text{ kN}$$

$$Sb = No - Pt = 307.329 - 534.405 = -227.076 \text{ kN}$$

c) 底版部

・軸力

$$N_n = Pt - No$$

A点の水平荷重 : No (kN)

水平荷重の合計 : Pt (kN)

$$N8 = N9 = N10 = 534.405 - 307.329 = 227.076 \text{ kN}$$

・せん断力

$$S_n = RBt \cdot (n-SS) - VT$$

底版部1ブロック当たり鉛直反力 : RBt (kN)

鉛直荷重の合計 : VT (kN)

$$S8 = 343.610 * 1 - 1030.831 = -687.221 \text{ kN}$$

$$S9 = 343.610 * 2 - 1030.831 = -343.611 \text{ kN}$$

$$S10 = 343.610 * 3 - 1030.831 = 0.000 \text{ kN}$$

・B点の軸力及びせん断力

水平荷重の合計 : Pt (kN)

A点の水平荷重 : No (kN)

鉛直荷重の合計 : VT (kN)

$$Nb = Pt - No = 534.405 - 307.329 = 227.076 \text{ kN}$$

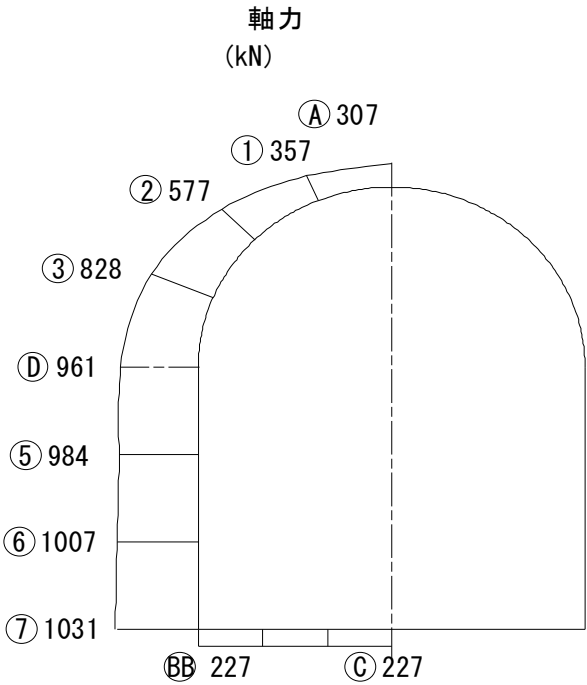
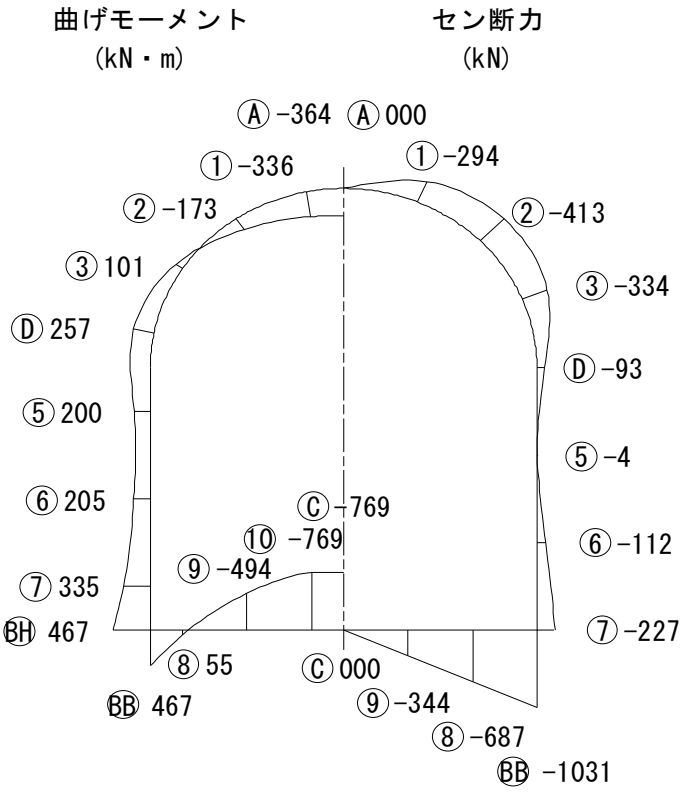
$$Sb = -VT = -1030.831 \text{ kN}$$

(3) 各点の曲げモーメント、せん断力および軸力

・各点の曲げモーメント、せん断力および軸力集計表

部材	点	曲げモーメント (kN・m)	せん断力 (kN)	軸 力 (kN)
円弧部	A	-363.529	0.000	307.329
	1	-335.800	-293.840	356.949
	2	-172.952	-413.086	576.588
	3	101.455	-334.484	828.377
	D	257.038	-92.975	961.141
脚部	5	199.906	-4.124	984.151
	6	204.719	-111.923	1007.491
	7	335.333	-227.076	1030.831
	BH	467.492	-227.076	1030.831
底版部	BB	467.492	-1030.831	227.076
	8	55.493	-687.221	227.076
	9	-494.284	-343.611	227.076
	10	-769.173	0.000	227.076
	C	-769.172	0.000	227.076

・曲げモーメント、せん断力および軸力図

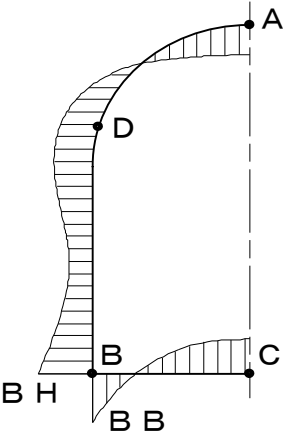


7. 断面算定

曲げモーメントと軸方向圧縮力を受ける部材で、単鉄筋長方形断面として計算を行う。

a) 断面算定位置

アーチカルバートの通常の使用状態において、断面に発生する曲げモーメントは、図のごとくである。
よって、断面算定位置は、図中の A, B, C, D の5点で十分である。



b) 軸力を考慮した曲げモーメント

$$M_s = N \cdot (e + c)$$

$$e = M / N$$

$$c = 1 / 2 \cdot T - d'$$

- M_s : 軸力を考慮した曲げモーメント (kN・m)
 M : 曲げモーメント (kN・m)
 N : 軸力 (kN)
 e : 偏位量 (m)
 c : 断面中心線より鉄筋までの距離 (m)

部 材	点	M (kN・m)	S (kN)	N (kN)	e (m)	c (m)	M_s (kN・m)
円弧部	A	-363.529	0.000	307.329	1.183	0.300	455.769
	D	257.038	-92.975	961.141	0.267	0.300	544.967
脚 部	BH	467.492	-227.076	1030.831	0.454	0.300	777.247
底版部	BB	467.492	-1030.831	227.076	2.059	0.390	556.109
	C	-769.172	0.000	227.076	3.387	0.390	857.666

c) コンクリート厚さの検討

最初仮定したコンクリート厚さが、下記で求められる有効高さと鉄筋被り厚さとの和より小さい場合には、仮定コンクリート厚さを増して再計算を行う。

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

$$C1 = \sqrt{2 / \{ \sigma_{ca} \cdot k \cdot (1 - 1 / 3 \cdot k) \}}$$

$$d = C1 \cdot \sqrt{(Ms / b)}$$

n : 鉄筋のヤング係数とコンクリートのヤング係数との比。	n =	15
σ_{ca} : コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm ²)	σ_{ca} =	8.00 N/mm ²
σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm ²)	σ_{sa} =	160 N/mm ²
Ms : 軸力を考慮した曲げモーメント (kN・m)		
d : 有効高さ (mm)		
b : 単位幅 (mm)	b =	1000 mm
d' : 鉄筋の被り	d' =	100 mm
	底版部	d' = 110 mm

・部材厚の検討

	単位	A	D	BH	BB	C
k		0.429				
C1		0.825				
d	mm	557	609	727	615	764

円弧部、脚部	T1 =	800	>	有効高さ d + 鉄筋被り=	727
底版部	T2 =	1000	>	有効高さ d + 鉄筋被り=	764

以上の計算結果より、仮定した部材厚 T1、T2で十分安全である。

d) セン断応力

次式で求めたセン断応力が、許容応力度を満足しない場合には、仮定コンクリート厚さを増して再計算を行う。

$$d = T - d'$$

$$\tau = S / (b \cdot d)$$

d : 有効高さ (mm)

τ : セン断応力 (N/mm²)

S : セン断力 (kN)

b : 単位幅 (mm) b = 1000 mm

・セン断応力

		A	D	BH	BB	C
S	kN	0	92.975	227.076	1030.831	0
d	mm	700	700	700	890	890
τ	N/mm ²	0.000	0.133	0.324	1.158	0.000

・アーチ部、脚部

$$\text{許容セン断応力度 } \tau_{a1} = \quad 0.39 \quad (\text{N/mm}^2) \quad > \quad 0.324$$

以上の計算結果より、仮定したアーチ部、脚部の材厚T1で十分安全である。

・底版部(斜引張鉄筋を設ける場合)

$$\text{許容セン断応力度 } \tau_{a2} = \quad 1.70 \quad (\text{N/mm}^2)$$

底版部隅各部についてのセン断力検討に際しては、底版部材厚の1/2の位置にて行う。

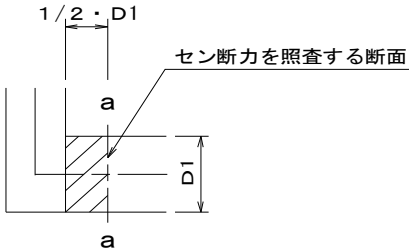
・セン断力を照査する位置

i : 検討位置 (m)

D1 : 底版部の材厚 (m)

D2 : 脚部の材厚 (m)

$$\begin{aligned} i &= 1 / 2 \cdot D2 - 0.25 \cdot D1 \\ &= 1 / 2 * (\quad 0.800 \quad + \quad 1.000 \quad) \quad = \quad 0.900 \text{ m} \end{aligned}$$



1/2・D1位置のセン断応力度は、

S2 : 1/2・D1位置のセン断応力 (kN)

S1 : 隅各部のセン断応力 (kN)

L : セン断応力が0になる点までの距離 (m)

$$\begin{aligned} S2 &= S1 - S1 / L * i \\ &= 1030.831 - 1030.831 / 2.400 * 0.900 = 644.269 \text{ kN} \\ \tau &= S2 / (b \cdot d) \\ &= 644.269 * 10^3 / (1000 * 890) = 0.724 \text{ N/mm}^2 < \tau_{a2} = 1.70 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

以上の計算結果より、斜引張鉄筋を設けた場合、仮定した底版部の材厚T2で十分安全である。

8. 応力度計算

項 目		計 算 式	単位	頂 版	側 壁		底 版	
				頂 点 A	上 部 D	下端隅角 BH	両端隅角 BB	中央部 C
設計断面力	曲 げ モ ー メ ン ト	M	kN・m	363.529	257.038	467.492	467.492	769.172
	せ ん 断 力	S	kN	0.000	92.975	227.076	1030.831	0.000
	軸 力	N	kN	307.329	961.141	1030.831	227.076	227.076
断面諸元	有 効 幅	b	mm	1000	1000	1000	1000	1000
	高 さ	h	mm	800	800	800	1000	1000
	か ぶ り	d'	mm	100	100	100	110	110
	有 効 高 さ	d=h-d'	mm	700	700	700	890	890
応力度計算	必 要 鉄 筋 量	(A _S)	mm ²	2497	-1022	1161	2738	5307
	鉄 筋 径		mm	D22	D16	D19	D25	D22
	(配置交互時)		mm					
	配 筋 間 隔		mm	125	250	125	125	62.5
	鉄 筋 量	A _S	mm ²	3097	794	2292	4054	6194
	鉄 筋 周 長	U	mm	560	200	480	640	1120
	偏 心 量	e = M/N	mm	1183	267	454	2059	3387
	中 立 軸 の 位 置	x	mm	263	449	337	319	354
応力度	σ_c		N/mm ²	5.7	4.4	7.8	4.5	6.3
	σ_s		N/mm ²	141	37	127	120	142
	τ_c	S/(b*d)	N/mm ²	0.00	0.13	0.32	1.16	0.00
許容応力度	曲げ圧縮応力度	σ_{ca}	N/mm ²	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
	鉄筋引張応力度	σ_{sa}	N/mm ²	160	160	160	160	160
	せん断応力度	τ_{ca}	N/mm ²	0.39	0.39	0.78	0.78	0.39

(注)必要鉄筋量の※は計算上－(マイナス)の値

(3) 斜引張鉄筋の計算

a) 鉄筋間隔と鉄筋径の算出

底版部材両端部において、コンクリートの許容せん断応力度を越えるせん断応力が発生したためスターラップ筋を配置する必要がある、その検討を行う。

$$A_w = 1.15 * Sh' * a / \{ \sigma_{sa} * d * (\sin \theta + \cos \theta) \}$$

$$Sh' = Sh - S_c$$

$$S_c = 1/2 * \tau_{a1} * b * d$$

A_w : 間隔 a 及び角度 θ で配筋される斜引張鉄筋の断面積 (mm²)

Sh' : 間隔 a 及び角度 θ で配筋される斜引張鉄筋が負担するせん断力 (kN)

$$a : \text{斜引張鉄筋の部材方向の間隔 (cm)} = 250 \text{ mm}$$

S_c : コンクリートが負担するせん断力 (N)

$$\text{部材幅 } b = 100.0 \text{ cm}$$

$$\text{有効高 } d = 89.0 \text{ cm}$$

$$\tau_{a1} = 0.390 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{sa} = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$S_c = 1/2 * \tau_{a1} * b * d$$

$$= 1/2 * 0.390 * 1000 * 890 = 173550 \text{ N}$$

$$Sh = S - M / d * (\tan \beta + \tan \gamma)$$

$$= (S) = 644.269 \text{ kN (剛域端せん断応力計算結果より)}$$

$$Sh' = 644.269 - 173.550 = 470.719 \text{ kN}$$

従って、必要鉄筋量は

$$A_w = \frac{1.15 * 470.719 * 10^3 * 250}{160 * 890} = 950 \text{ mm}^2$$

以上より、スターラップ筋の配置は、

$$D19 = 287 \text{ mm}^2/\text{本}$$

$$A_s = 287 * 4.00 = 1146 \text{ mm}^2 > A_w = 950 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b) 設置範囲の計算

施工範囲は、許容せん断応力度が $\tau_{a1} = 0.390 \text{ N/mm}^2$ であることより、許容されるせん断力は以下の値になる。

$$S_c = \tau_{a1} * b * d$$

$$= 0.390 * 1000 * 890 = 347100 \text{ N/mm}^2$$

応力の計算結果より、底版におけるせん断応力の許容値を越えている部分を、以下に求める。

$$X = L - S_c * L / S$$

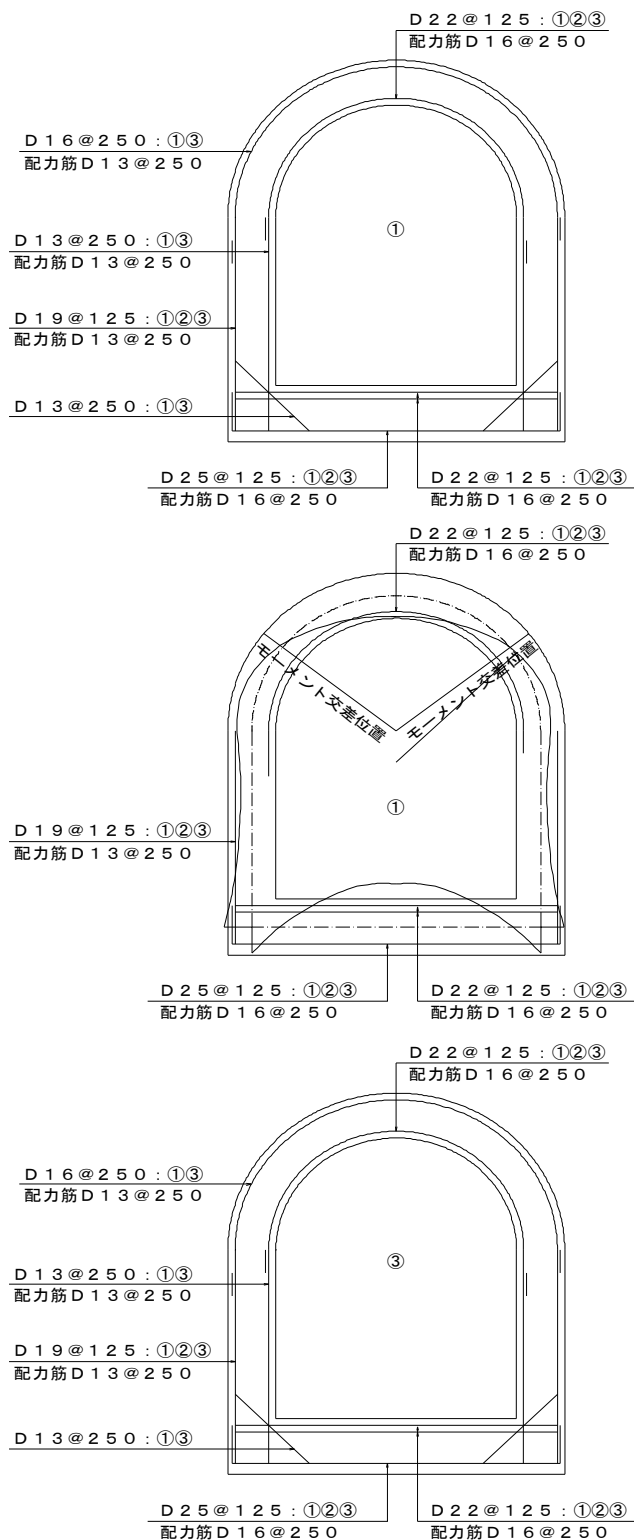
$$= 2400 - 347100 * 2400 / 644269 = 1107 \text{ mm}$$

従って、斜引張鉄筋の施工範囲は、壁の中心位置より

$$X = 1200 \text{ mm}$$

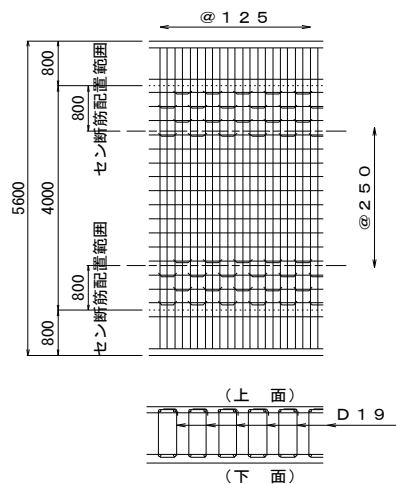
以上とする。

9. 配筋要領図



注) 配筋要領はあくまでも参考です。

・底版セン断筋の施工要領



・定着長は、設計条件参照。

・アーチ部下面の主鉄筋径は、 D 22 ピッチは @ 125 とする。

・側壁上部部外側の主鉄筋径は、 D 16 ピッチは @ 250 とする。

・側壁下部部外側の主鉄筋径は、 D 19 ピッチは @ 125 とする。

・底版端部下面の主鉄筋径は、 D 25 ピッチは @ 125 とする。

・底版中央部上面の主鉄筋径は、 D 22 ピッチは @ 125 の2段配筋とする。

・鉄筋被りは、アーチ部と側壁を 100 mm、底版上面 110 mm、底版下面 110 mm とする。