

4辺固定版を使った埋設構造物の頂版と底版(土被り4m以上)の構造検討

1. プログラムの内容

- 1) 地中に埋設された構造物の頂版と底版それぞれを4辺固定版による計算方法を用いて検討します。ちなみに、同じ構造物の側壁について検討を行うソフトは、当方から提供している「**02-3柵(水平輪切り)**」を使用することで検討できます。
- 2) 底版の検討には構造物の重量に、土重、活荷重等を合算した全荷重を算出して底版面積で割り、単位面積あたりの地盤反力を算出します。その場合、構造形状には様々な型と条件があり設計者各自が荷重計算を行って、荷重合計のセルに加算していただければ、以下の計算にリンクします。
- 3) 断面計算を行う前に、頂底版それぞれに鉄筋が必要か無筋コンクリートで出来るか判定します。
- 4) 土被りが大きくなると頂底版には大きな荷重がかかり、許容せん断応力を超える値が発生することが多々あります。コンクリートのみでせん断力を負担する隅角部には、せん断応力度に割増係数をかけることもできます。それを超える場合は、部材を厚くする前に、斜め引張鉄筋の配置の検討を行います。その検討もソフトの中に含まれています。

このソフトは、応力グラフより数値を読み取って入力するという手間があります。高額のソフトのように係数を自動算出になっていませんのでくれぐれも勘違いしないでご購入して下さい。

4辺固定版(等分布荷重)の構造検討の使い道は、私の実績で一般的なものは以下のものがあります。

- ・河川横断下水マンホールの接続柵の頂底版
- ・特殊マンホールの頂底版(土重、アスファルト、活荷重)
- ・貯留槽、柵等の頂底版
- ・廃棄物処分場の地中排水管接続柵の頂底版

(このソフトで使用できないケース)

このソフトでは、等分布荷重の4辺固定版の構造計算であることから、以下の条件の計算はできません。

- 1) 頂版の検討時、集中荷重、部分荷重のケースはできません。
- 2) 活荷重が載る場合、土被りが4m未満のケースはできません。(「道路土工:カルバート工指針」より。活荷重が載る場合、土被りが4m未満のケースで、荷重分布が全面等分布荷重ではなく、部分荷重となる場合、あるいは土被りが4m未満のケースで全面等分布荷重となっても重量を別途算出する必要が有る場合、ここでは省略しています。

2. 4辺固定版による埋設構造物の頂版と底版の構造計算書の内容

- 1) 設計条件
- 2) 荷重の計算。
- 3) 版の応力度計算。表より数値を読み取り入力する手間があります。
- 4) 鉄筋が必要か必要でないか判定を行います。
- 5) 鉄筋が必要な場合、版の断面計算を行います。鉄筋径とピッチは入力します。
- 6) 配筋要領図(CADにて別途作成)
- 7) せん断応力度が許容値を超える場合の斜め引張り鉄筋の計算。鉄筋径とピッチは入力します。

3. 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。

注 1. 版の寸法は版を支持をする壁の部材中心間となりますので、計算過程では部材厚中心位置が版の計算用の形状となります。

2) シート「各計算書」にて、応力図より'縦横比 L_x/L_y 軸'の値に対応するモーメント(表の左側縦軸)とせん断力(表の右側縦軸)の係数を読み取り、緑色の各セルに入力を行う。

注 2. 版は、必ず縦方向で考えます。これは、応力図の読み取りにおいて間違いを少しでも無くすためです。従いまして、短辺が水平の辺で L_x 、長辺は縦方向の辺で L_y と表示します。

注 3. 版の縦横比は自動判定となっています。

注 4. 応力図のモーメント値の読み取りは表の左軸、せん断力値は表の右軸の数値を読み取って下さい。

3) 応力度判定の結果が、無筋構造で構わないのであれば検討作業はそこで終了。

4) 上記の結果、鉄筋が必要であれば、シート「断面計算」にて、鉄筋径、単位m当たり鉄筋本数のデータを入力。

注 5. 短辺長は L_x でモーメント値 M_{y1} 、 M_{y2} 、せん断力値 Q_{y1} 、長辺長は L_y でモーメント値 M_{x1} 、 M_{x2} 、せん断力値 Q_{x1} となっています。この関係は変わることはありません。

5) 斜め引張鉄筋配置の検討

許容せん断応力を超える値が発生した場合、部材を厚くする前に、斜め引張鉄筋の配置の検討を行います。

6) 計算結果が確定すれば、形状寸法図、応力図、配筋要領図等をCADにて別途作図し、シート「各計算書」に貼付。

注 6. 配筋要領図作成時には、短辺と長辺に発生するモーメントやせん断力の記号にはよく注意をして、鉄筋配置を間違えないように注意して下さい。

7) シート「各計算書」～「各斜め引張鉄筋」を印刷。

4. データの入力

この4辺固定版を使った埋設構造物の頂版と底版(土被り4m以上)の構造検討のプログラムで入力するデータは以下の通りです。

なお、(水色部) 着色部の数値は、手入力します。

(シート「データ入力」)

1) 計算書のタイトル。

2) 構造寸法。

3) 単位体積重量等設計の条件。

4) 上載荷重。

5) コンクリート、鉄筋の許容値等、また鉄筋の被り。

(シート「各計算書」)

6) 応力図より'縦横比 L_x/L_y 'の値に対応するモーメント(表の左側縦軸)とせん断力(表の右側縦軸)の係数を読み取り、緑色の各セルに入力を行う。

(シート「各断面計算」)

7) 鉄筋径、単位m当たり鉄筋本数が、鉄筋材料の許容値内に収まるよう入力。

(シート「各斜め引張鉄筋」)

8) 鉄筋の配筋ピッチ、鉄筋径が、鉄筋材料の許容値内に収まるよう入力。

5. CADによる作図

プログラムに添付してある、形状寸法図、配筋要領図等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「各計算書」に貼付して下さい。

プログラムに添付してある図のCADデータを、プログラムと同じフォルダーに入れてあります。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. 7.5) (株)ビッグバン
- ・AutoCAD2000 AutoCAD. CC
- ・JW CAD
- ・SXFファイル(SFC)

6. シート「各計算書」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。

印刷枠より外のセルは決して削除しないで下さい、計算式、判定条件等、計算上重要なリンク用データが多く含まれています。

- ←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。

7. 計算書枚数

31枚(表紙、目次込み)

シート「断面計算」も忘れずに付けて下さい。

8. その他エクセルの使用法について

・データ入力の際、画面上で “シート「データ入力」” と “シート「計算書」” と “シート「断面計算」” の3画面をExcelの画面上に並べてデータの入力をする、計算結果を見ながら検討が出来ます。

ただし、この版の構造検討は、部材の縦横の寸法が変わるとシート「断面計算」の中で、縦横比が変わりますので、表の読み取りを改めて行う必要がありますから**注意下さい**。すなわち、版を支持する壁厚底版厚が変わると版の縦横寸法も変わりますから、当然のことですがその点も**要注意**です。

9. 印刷方法について

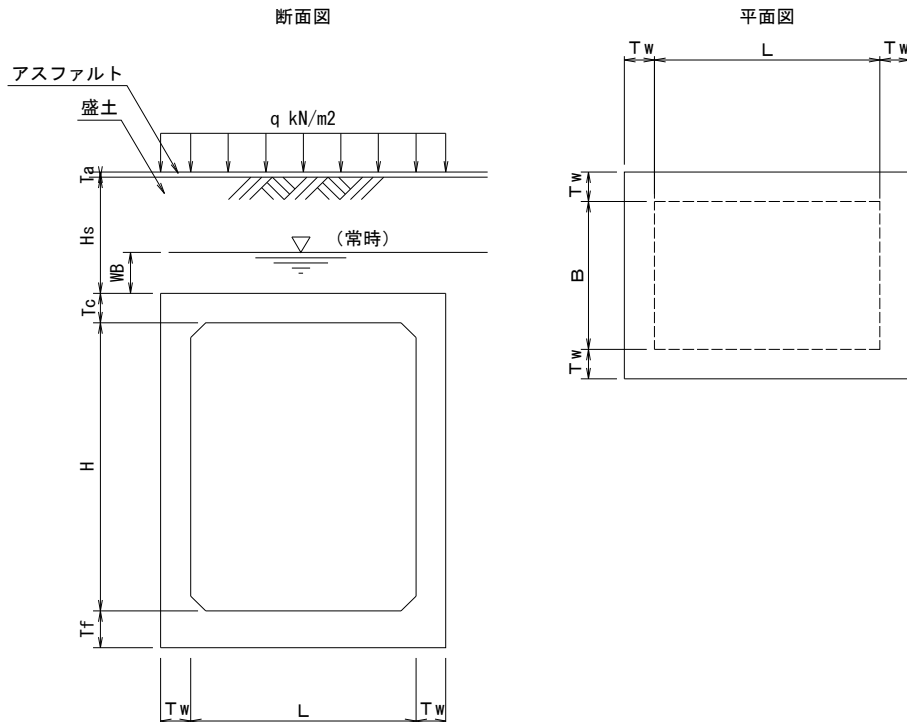
・印刷の際、計算書の順番は、同じフォルダー「08-2計算書」の中に、以下のファイルが入っていますので、参考にして下さい。

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。

データ入力表

報告書タイトル	(頂版のケース) I. 埋設接続柵頂版構造計算 (底版のケース) II. 埋設接続柵底版構造計算
版寸法	版平面寸法 長辺長 $L = 2.000$ m 短辺長 $B = 1.800$ m 内空高(鉛直方向土圧係数算出時必要) $H = 3.200$ m 部材厚さ(頂版) $T_c = 0.400$ m 部材厚さ(底版) $T_f = 0.500$ m 側壁 $T_w = 0.400$ m
荷重	土被り厚さ $H_s = 11.000$ m 水深 $WB = 1.000$ m アスファルト厚さ $T_a = 0.100$ m
設計条件	単位体積重量 コンクリート $\gamma_c = 24.5$ kN/m ³ 土(湿潤状態) $\gamma_s = 19.0$ kN/m ³ (水中) $\gamma_{sw} = 10.0$ kN/m ³ 水 $\gamma_w = 10.0$ kN/m ³ アスファルト $\gamma_a = 23.0$ kN/m ³ 活荷重 機械荷重 $q = 10.0$ kN/m ² (集中荷重、部分荷重には対応できません。車が載る場合は、土被りが(2h+0.2)m以上または4m以上の場合しか利用できません。(2h+0.2)m以上の場合別途算出の必要があります。) ポアソン比 版の中央部に対して考慮する $\nu_0 = 0.2$



許容応力度	無筋構造	コンクリート基準強度	$\sigma_{ck} =$	18.0	N/mm ²
		コンクリート許容曲げ引張応力度	$\sigma_{ta} =$	0.21	N/mm ²
	鉄筋構造	コンクリート基準強度	$\sigma_{ck} =$	24.0	N/mm ²
		コンクリート許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ta} =$	8.0	N/mm ²
		鉄筋許容引張応力度	$\sigma_{sa} =$	160	N/mm ²
		許容せん断応力度(コンクリートのみで負担)	$\tau_{a1} =$	0.39	N/mm ²
		許容せん断応力度(隅角部割増係数 $\alpha=2$)	$\tau_{a1} =$	0.78	N/mm ²
		許容せん断応力度(斜引張鉄筋と共同負担)	$\tau_{a2} =$	1.70	N/mm ²
		コンクリート許容曲げ引張応力度	$\sigma_{ta} =$	0.30	(コンクリート 考値。計 修正して す)
断面計算	断面計算の部材有効幅		$B =$	100	cm
	鉄筋被り	頂版	$d' =$	10	cm
		底版上面	$d' =$	10	cm
		底版下面	$d' =$	11	cm

I . 埋設接統柵頂版構造計算

I . 埋設接続柵頂版構造計算

目	次
1. 設計条件	-----
2. 形状寸法図	-----
3. 荷重計算	-----
4. 応力計算	-----
5. 応力度判定	-----
6. 断面計算	-----
7. 配筋要領図	-----
8. 斜引張鉄筋の計算	-----
(長辺 Ly 方向)	-----
(短辺 Lx 方向)	-----
9. 斜引張鉄筋配筋要領図	-----

I. 埋設接続柵頂版構造計算

1. 設計条件

1) 構造寸法

柵内躯体平面寸法	長辺長	$L = 2.000 \text{ m}$
	短辺長	$B = 1.800 \text{ m}$
頂版部材厚		$T_c = 0.400 \text{ m}$
側壁部材厚		$T_w = 0.400 \text{ m}$

2) 単位体積重量

コンクリート	$\gamma_c = 24.5 \text{ kN/m}^3$
土(湿潤状態)	$\gamma_s = 19.0 \text{ kN/m}^3$
土(水中)	$\gamma_{sw} = 10.0 \text{ kN/m}^3$
水	$\gamma_w = 10.0 \text{ kN/m}^3$
アスファルト	$\gamma_a = 23.0 \text{ kN/m}^3$

3) 荷重

a. 活荷重	$q = 10.0 \text{ kN/m}^2$
b. 土被り厚さ	$H_s = 11.000 \text{ m}$
c. 外水位(水深)	$WB = 1.000 \text{ m}$
d. アスファルト厚さ	$T_a = 0.100 \text{ m}$

4) 許容応力度

a. 無筋構造版

コンクリート基準強度	$\sigma_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$
コンクリート許容曲げ引張応力度	$\sigma_{ta} = 0.21 \text{ N/mm}^2$

($\sigma_{ta} = 0.21 \text{ N/mm}^2$ を越える場合は、鉄筋配置が必要です。)

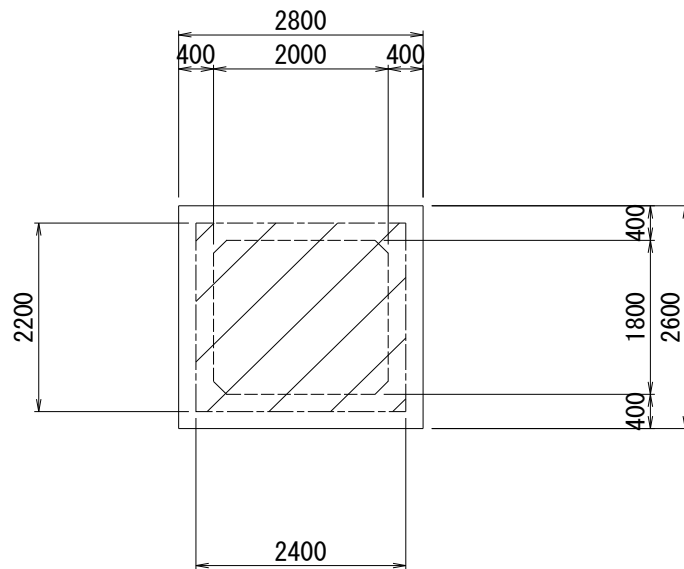
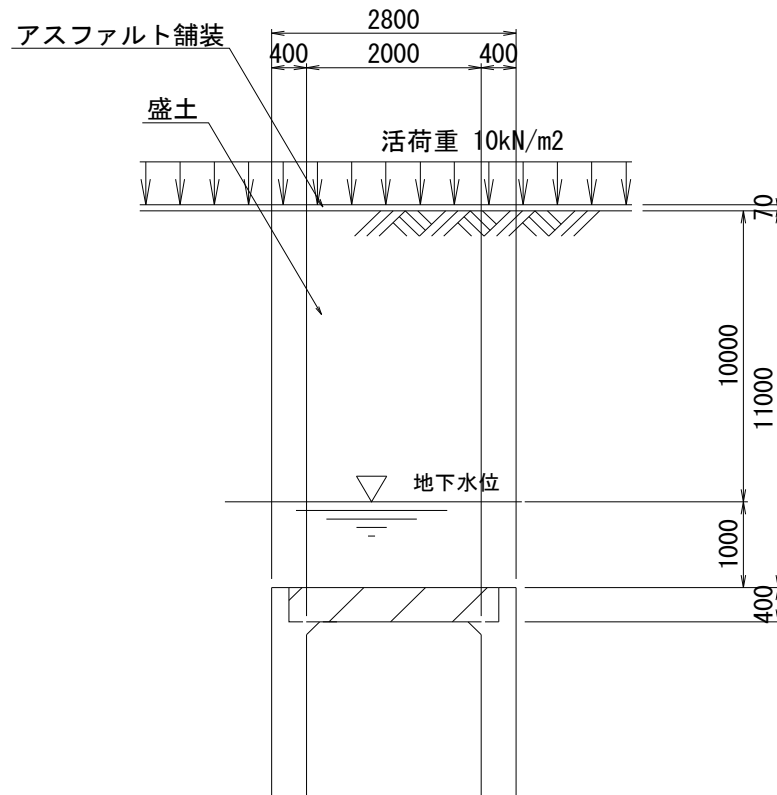
b. 鉄筋構造版

コンクリート基準強度	$\sigma_{ck} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
コンクリート許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca} = 8.0 \text{ N/mm}^2$
鉄筋許容引張応力度	$\sigma_{sa} = 160 \text{ N/mm}^2$
許容せん断応力度(コンクリートのみで負担)	$\tau_{a1} = 0.39 \text{ N/mm}^2$
許容せん断応力度(斜引張鉄筋と共同負担)	$\tau_{a2} = 1.70 \text{ N/mm}^2$

5) 配筋要領

鉄筋被り	10.0 cm
------	---------

2. 形状寸法図



3. 荷重計算

(1) 荷重の組合せ

荷重組合せ	部材自重
	活荷重
	土重
	水重

(2) 荷重計算

・自重

$$w1 = \gamma_c * T_c$$

γ_c : コンクリート単位体積重量

T_c : 頂版の厚さ

$$w1 = 24.5 * 0.400 = 9.800 \text{ kN/m}^2$$

・活荷重

土被り4m以上の場合の活荷重は、鉛直方向活荷重として頂版上面に一様に

$$w2 = 10.0 \text{ kN/m}^2$$

q : 上載荷重

の荷重を考える。(道路土工 カルバート工指針 P.49 (ii)土かぶり4m以上の場合)

・土重

土被り10m以上かつ内空高が 3m を超える場合、土重算出には以下の鉛直土圧係数を掛ける
(鉛直方向土圧係数の算出)

H : 内空高 (= 3.200 m)

Hs : 土被りの厚さ

B' : 幅員(B+2*壁厚Tw)とし、道路土工 カルバート工指針 鉛直土圧係数 α
についての解釈を構造物の幅の狭いほうが安全側の設計になることと
解釈して短辺長B'を使用する。

$$B' = 1.800 + 2 * 0.400 = 2.600 \text{ m}$$

条 件	鉛直土圧係数 α	
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 3 m 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	$H_s/B' < 1$	1.0
	$1 \leq H_s/B' < 2$	1.2
	$2 \leq H_s/B' < 3$	1.35
	$3 \leq H_s/B' < 4$	1.5
	$4 \leq H_s/B'$	1.6
上記以外の場合	1.0	

(上記表は、道路土工 カルバート工指針 鉛直土圧係数の表を引用した。)

従って、上記の表より鉛直方向土圧係数は

$$H_s / B' = 11.000 / 2.600 = 4.231$$

であるから、

$$\alpha = 1.60$$

(湿潤土)

$$w3 = \gamma_s * T_s * \alpha$$

γ_s : 湿潤土の単位体積重量

T_s : 湿潤土の厚さ ($H_s - WB$)

$$w3 = 19.0 * (11.000 - 1.000) * 1.6 = 304.000 \text{ kN/m}^2$$

(水中土)

$$w4 = \gamma_{sw} * WB * \alpha$$

γ_{sw} : 水中土の単位体積重量

WB : 水中土の厚さ

$$w4 = 10.0 * 1.000 * 1.6 = 16.000 \text{ kN/m}^2$$

・水重

$$w5 = \gamma_w * WB$$

γ_w : 水の単位体積重量

WB : 水深

$$w5 = 10.0 * 1.000 = 10.000 \text{ kN/m}^2$$

・アスファルト

$$w6 = \gamma_a * T_a$$

γ_a : アスファルトの単位体積重量

T_a : アスファルトの厚さ

$$w6 = 23.0 * 0.100 = 2.300 \text{ kN/m}^2$$

・荷重合計

$$W = \sum (w1 \sim w6)$$

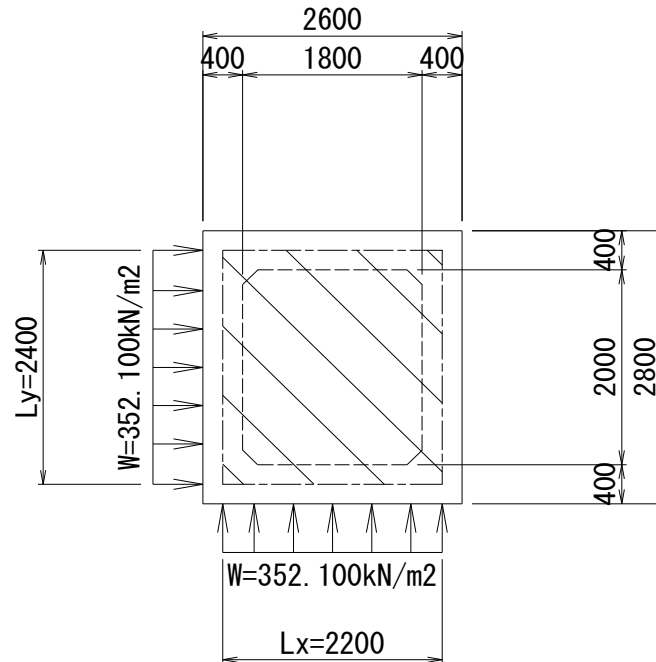
$$= 9.800 + 10.000 + 304.000 + 16.000 + 10.000 + 2.300$$

$$= 352.100 \text{ kN/m}^2$$

4. 応力計算

1) 計算条件

側壁に拘束された、等分布荷重4辺固定スラブと考え、応力図を使用して行う。



・辺の長さ算出

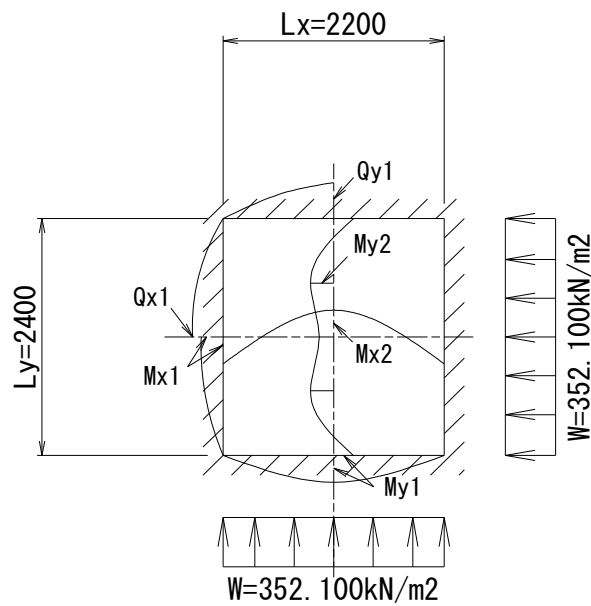
$$\text{長辺長 } L_y = 2.000 + 0.400 = 2.400 \text{ m}$$

$$\text{短辺長 } L_x = 1.800 + 0.400 = 2.200 \text{ m}$$

・縦横比

$$L_y/L_x = 2.400 / 2.200 = 1.091$$

2) 応力の算出



・基本応力値

$$\begin{aligned} M(\text{基本値}) &= W * L_x^2 \\ &= 352.100 * 2.200^2 &= 1704.164 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

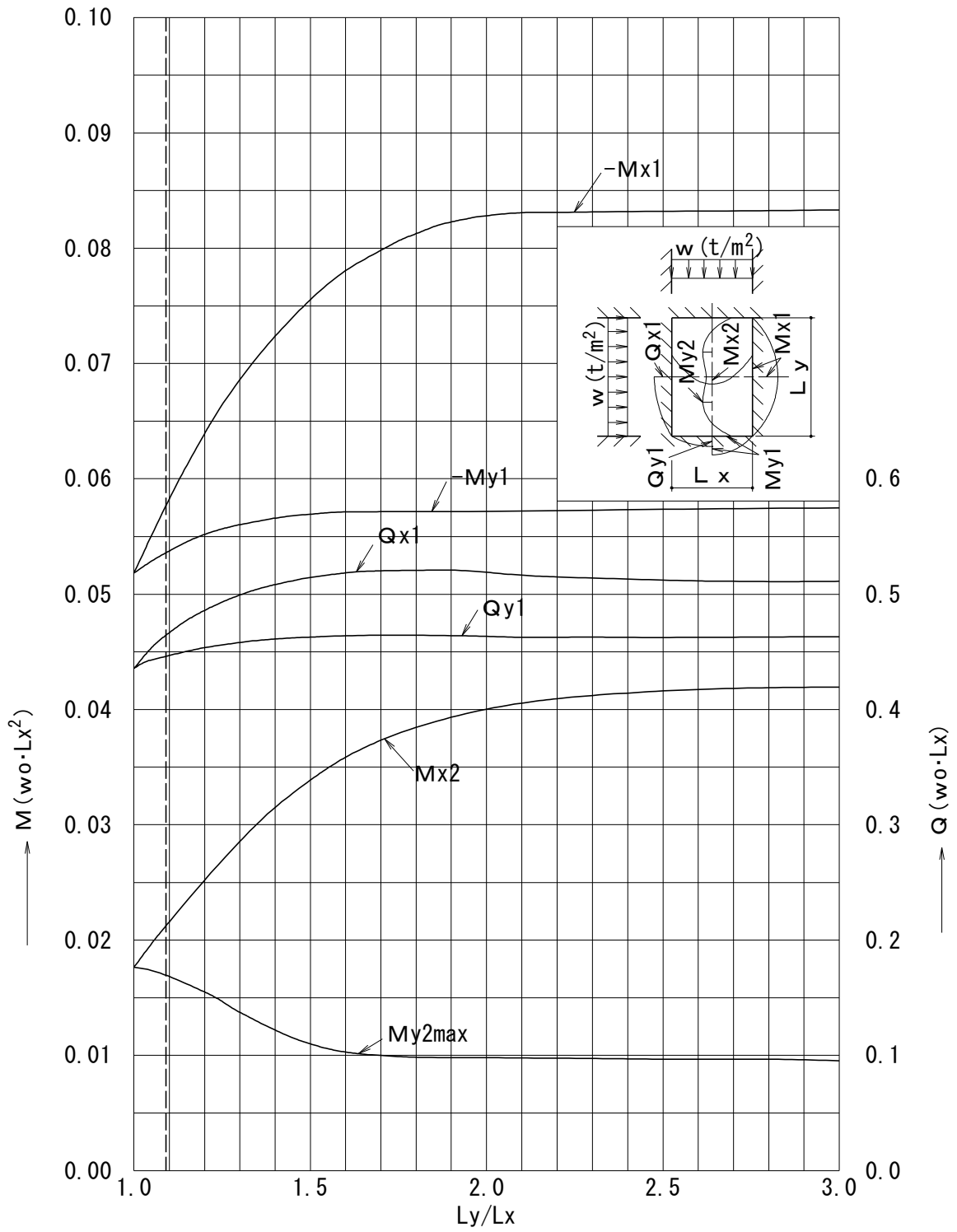
$$\begin{aligned} Q(\text{基本値}) &= W * L_x \\ &= 352.100 * 2.200 &= 774.620 \text{ kN} \end{aligned}$$

・部材各方向の曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_{x1} &= 0.058 * 1704.164 &= 98.842 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{x2} &= 0.021 * 1704.164 &= 35.958 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y1} &= 0.054 * 1704.164 &= 91.343 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ M_{y2} &= 0.017 * 1704.164 &= 28.800 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

・部材各方向のせん断力

$$\begin{aligned} Q_{x1} &= 0.465 * 774.620 &= 360.198 \text{ kN} \\ Q_{y1} &= 0.445 * 774.620 &= 344.706 \text{ kN} \end{aligned}$$



等分布荷重時4辺固定スラブの応力図

3) ポアソン比による曲げモーメント応力の補正

前項 2) で算定した曲げモーメントは、ポアソン比 $\nu = 0$ に対する算定値であるので、ポアソン比に対する曲げモーメントの補正を行う。補正は、スラブ中央部で直行する曲げモーメント x 方向と y 方向に対し行う。

$$M_{x2} = \{ (1 - \nu * \nu_0) * M_{x1} + (\nu_0 - \nu) * M_{y1} \} / (1 - \nu^2)$$

$$M_{y2} = \{ (1 - \nu * \nu_0) * M_{y1} + (\nu_0 - \nu) * M_{x1} \} / (1 - \nu^2)$$

$$\nu : \text{修正前のポアソン比} = 0.0$$

$$\nu_0 : \text{修正後のポアソン比} = 0.2$$

$$M_{x2} = \{ (1 - 0.0 * 0.2) * 35.958 + (0.2 - 0.0) * 28.800 \} / (1 - 0.0^2) = 41.718 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y2} = \{ (1 - 0.0 * 0.2) * 28.800 + (0.2 - 0.0) * 35.958 \} / (1 - 0.0^2) = 35.992 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

4) 曲げモーメントの集計

$$M_{x1} = 98.842 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{x2} = 41.718 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y1} = 91.343 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y2} = 35.992 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

5. 応力度判定

部材断面力 Z

$$Z = 1 / 6 * b * t^2$$

$$= 1 / 6 * 1000 * 400^2 = 26666667 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_t = M / Z$$

(モーメント値は $M_{x1} \sim M_{y2}$ の内の最大値を採用する。)

$$= 98.842 * 10^6 / 26666667 = 3.7100 \text{ N/mm}^2$$

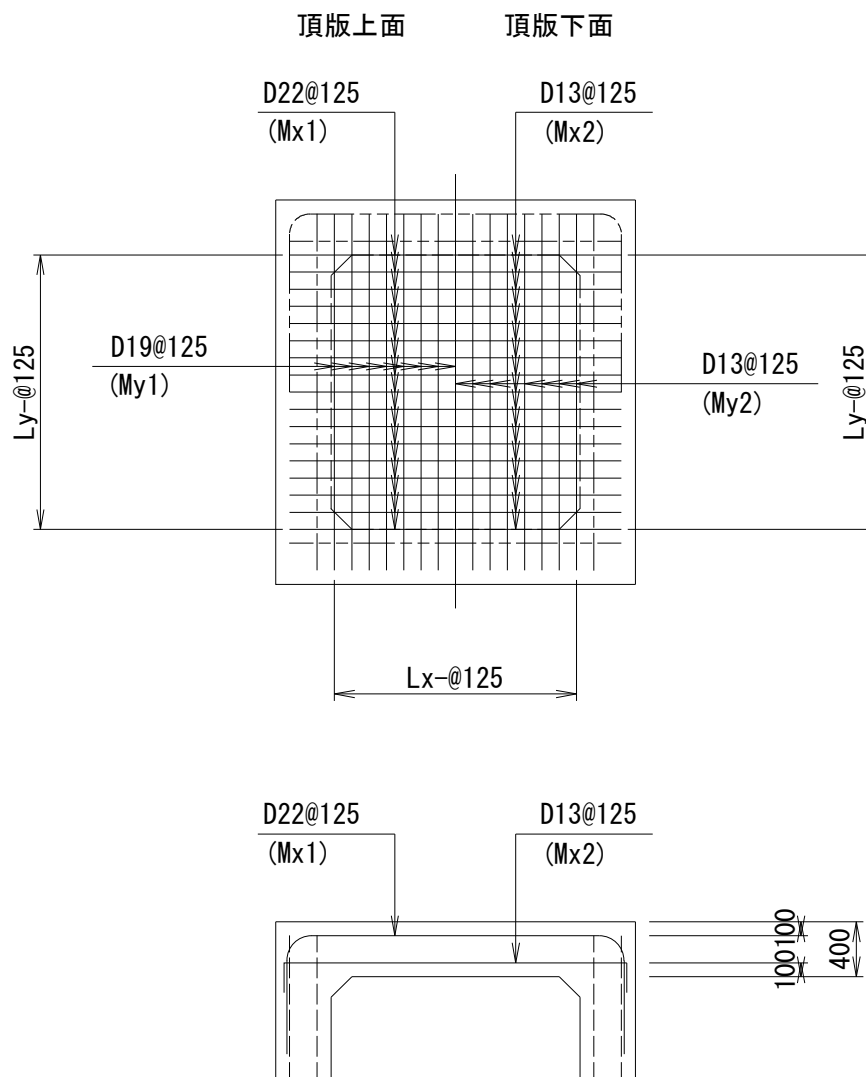
$$> 0.21 \text{ N/mm}^2$$

従って、有筋構造とし以下に応力度計算を行う。

6. 断面計算

項目	記号	単位	短辺 Lx 平行方向				長辺 Ly 平行方向			
			支点部付根 Mx1		中間部 Mx2		支点部付根 My1		支間部 My2	
			版上面		版下面		版上面		版下面	
曲げモーメント	M	kN・m	98.842		41.718		91.343		35.992	
せん断力	S	kN	360.198				344.706			
有効幅	B	cm	100		100		100		100	
全高	H	cm	40.0		40.0		40.0		40.0	
引張鉄筋被り	d'	cm	10.0		10.0		10.0		10.0	
鉄筋径 * 本数	As	mm・本	D 22	8.00	D 13	8.00	D 19	8.00	D 13	8.00
鉄筋断面積		cm ²	30.97		10.14		22.92		10.14	
鉄筋比	P		0.0103		0.0034		0.0076		0.0034	
実応力度 (圧縮)	σ_c	N/mm ²	OK	6.05	OK	3.75	OK	6.15	OK	3.24
(引張)	σ_s	N/mm ²	OK	123.84	OK	150.86	OK	151.98	OK	130.15
(剪断)	τ	N/mm ²	NO	1.20			NO	1.15		
許容応力度 (圧縮)	σ_{ca}	N/mm ²	8.0		8.0		8.0		8.0	
(引張)	σ_{sa}	N/mm ²	160		160		160		160	
(剪断)	τ_{a1}	N/mm ²	0.78		0.39		0.78		0.39	

7. 配筋要領図



・フック、継手はここでは考慮していません、配筋図作成時に検討のこと。

- ・短辺 L_x に平行方向Mx1の上面主鉄筋は、 $D 22 @ 125$ とする。
- ・短辺 L_x に平行方向Mx2の下面主鉄筋は、 $D 13 @ 125$ とする。
- ・長辺 L_y に平行方向My1の上面主鉄筋は、 $D 19 @ 125$ とする。
- ・長辺 L_y に平行方向My2の下面主鉄筋は、 $D 13 @ 125$ とする。
- ・頂版の鉄筋被りは、 100 mmとする。

8. 斜引張鉄筋の計算

(長辺 Ly 方向)

a) 鉄筋間隔と鉄筋径の算出

頂版部材長辺(Ly)方向両端部において、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、斜引張鉄筋を配置する必要がある。以下その検討を行う。(道路橋示方書・同解説 IV下部構造編平成14年3月)

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

$$Sh' = Sh - S_{ca}$$

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

A_w : 間隔s及び角度 θ で配筋される斜引張鉄筋の断面積 (mm²)

Sh' : 間隔s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)

s : 斜引張鉄筋の部材方向の間隔 (cm) = 125 mm

θ : 斜引張鉄筋が部材軸方向となす角度 (90°)

S_{ca} : コンクリートが負担するせん断力 (N)

部材幅 b = 100.0 cm

有効高 d = 30.0 cm

コンクリートの許容せん断応力度 τ_{a1} = 0.39 N/mm²

鉄筋の許容引張り応力度 σ_{sa} = 160 N/mm²

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

$$= 0.39 * 1000 * 300 = 117000 \text{ N}$$

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

$$= (S) = 360.198 \text{ kN (せん断応力計算結果より)}$$

$$Sh' = 360.198 - 117.000 = 243.198 \text{ kN}$$

従って、必要鉄筋量は

$$A_w = \frac{1.15 * 243.198 * 10^3 * 125}{160 * 300} = 728 \text{ mm}^2$$

以上より、スターラップ筋の配置は、

$$D 13 = 127 \text{ mm}^2/\text{本}$$

部材方向の斜め引張鉄筋の本数nは

$$n = 1000 * 1 / 125 = 8.00 \text{ 本}$$

従って、

$$A_s = 127 * 8.00 = 1014 \text{ mm}^2 > A_w = 728 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

また、せん断応力を斜め引張鉄筋と共同して負担する場合の許容せん断力応力度(τ_{a2})に対しては

$$\text{長辺 Ly 方向 } \tau = 1.20 \text{ N/mm}^2 < \tau_{a2} = 1.70 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b) 設置範囲の計算

施工範囲は、許容せん断応力度が τ_Q 0.39 N/mm² であることより、許容されるせん断力は以下の値になる。

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

$$= 0.39 * 1000 * 300 = 117000 \text{ N/mm}^2$$

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

$$x = L - S_{ca} * L / S$$

L : 部材長さの中心(せん断力 S=0.0N/mm²位置)~隣辺支持部材の中心

x : 隣辺支持部材の中心~斜め引張鉄筋の設置範囲

$$= 1200 - 117000 * 1200 / 360198 = 810 \text{ mm} \quad \doteq \quad 0.90 \text{ m}$$

(短辺 Lx 方向)

a) 鉄筋間隔と鉄筋径の算出

頂版部材短辺(Lx)方向両端部において、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、斜引張鉄筋を配置する必要がある。以下その検討を行う。(道路橋示方書・同解説 IV下部構造編平成14年3月)

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

$$Sh' = Sh - S_{ca}$$

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

A_w : 間隔s及び角度 θ で配筋される斜引張鉄筋の断面積 (mm²)

Sh' : 間隔s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)

s : 斜引張鉄筋の部材方向の間隔 (cm) = 125 mm

θ : 斜引張鉄筋が部材軸方向となす角度 (90°)

S_{ca} : コンクリートが負担するせん断力 (N)

部材幅 b = 100.0 cm

有効高 d = 30.0 cm

コンクリートの許容せん断応力度 a_1 = 0.39 N/mm²

鉄筋の許容引張り応力度 σ_{sa} = 160 N/mm²

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

$$= 0.39 * 1000 * 300 = 117000 \text{ N}$$

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

$$= (S) = 344.706 \text{ kN (せん断応力計算結果より)}$$

$$Sh' = 344.706 - 117.000 = 227.706 \text{ kN}$$

従って、必要鉄筋量は

$$A_w = \frac{1.15 * 227.706 * 10^3 * 125}{160 * 300} = 682 \text{ mm}^2$$

以上より、スターラップ筋の配置は、

$$D 13 = 127 \text{ mm}^2/\text{本}$$

部材方向の斜め引張鉄筋の本数nは

$$n = 1000 * 1 / 125 = 8.00 \text{ 本}$$

従って、

$$A_s = 127 * 8.00 = 1014 \text{ mm}^2 > A_w = 682 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

また、せん断応力を斜め引張鉄筋と共同して負担する場合の許容せん断力応力度(τ_{a2})に対しては

$$\text{短辺 Lx 方向 } \tau = 1.15 \text{ N/mm}^2 < \tau_{a2} = 1.70 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b) 設置範囲の計算

施工範囲は、許容せん断応力度が τ_a 0.39 N/mm² であることより、許容されるせん断力は以下の値になる。

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

$$= 0.39 * 1000 * 300 = 117000 \text{ N/mm}^2$$

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

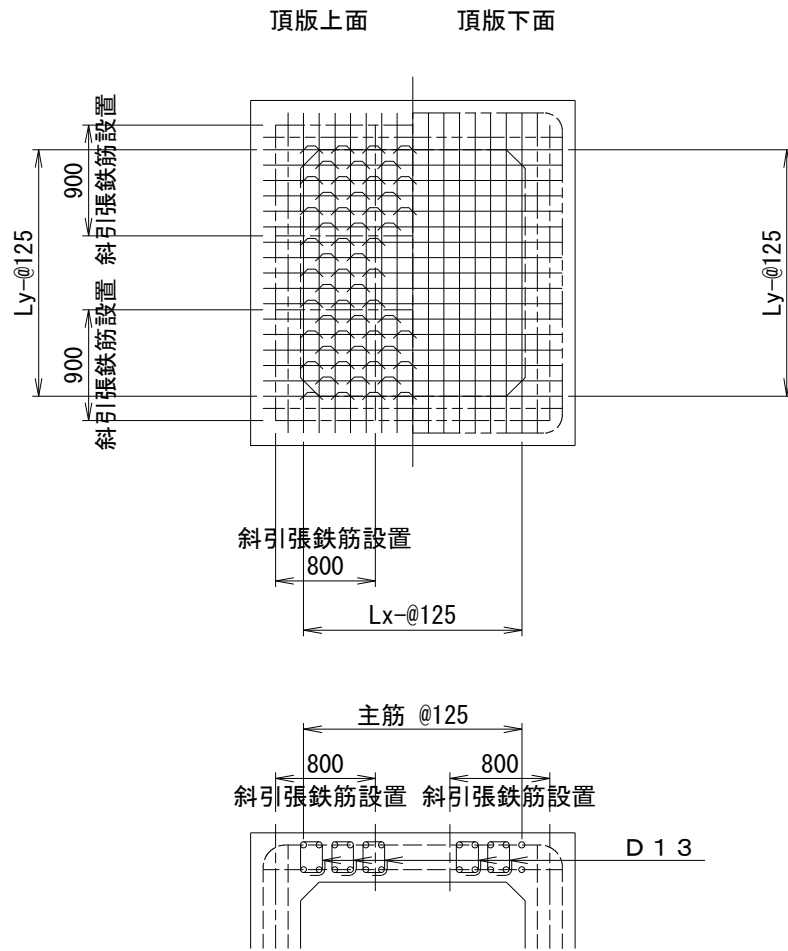
$$x = L - S_{ca} * L / S$$

L : 部材長さの中心(せん断力 S=0.0N/mm²位置)~隣辺支持部材の中心

x : 隣辺支持部材の中心~斜め引張鉄筋の設置範囲

$$= 1100 - 117000 * 1100 / 344706 = 727 \text{ mm} \quad \doteq \quad 0.80 \text{ m}$$

9. 斜引張鉄筋配筋要領図



II. 埋設接統柵底版構造計算

II. 埋設接続柵底板構造計算

目	次
1. 設計条件	-----
2. 形状寸法図	-----
3. 荷重計算	-----
4. 応力計算	-----
5. 応力度判定	-----
6. 断面計算	-----
7. 配筋要領図	-----
8. 斜引張鉄筋の計算	-----
(長辺 L_y 方向)	-----
(短辺 L_x 方向)	-----
9. 斜引張鉄筋配筋要領図	-----

Ⅱ. 埋設接続柵底板構造計算

1. 設計条件

1) 構造寸法

柵内駆平面寸法	長辺長	$W = 2.000 \text{ m}$
	短辺長	$H = 1.800 \text{ m}$
底板部材厚		$T_f = 0.500 \text{ m}$
側壁部材厚		$T_w = 0.400 \text{ m}$

2) 単位体積重量

コンクリート	$\gamma_c = 24.5 \text{ kN/m}^3$
土(湿潤状態)	$\gamma_s = 19.0 \text{ kN/m}^3$
土(水中)	$\gamma_{sw} = 10.0 \text{ kN/m}^3$
水	$\gamma_w = 10.0 \text{ kN/m}^3$
アスファルト	$\gamma_a = 23.0 \text{ kN/m}^3$

3) 荷重

a. 活荷重	$q = 10.0 \text{ kN/m}^2$
b. 土被り厚さ	$H_s = 11.000 \text{ m}$
c. 外水位(水深)	$WB = 1.000 \text{ m}$
d. アスファルト厚さ	$T_a = 0.100 \text{ m}$

4) 許容応力度

a. 無筋構造版

コンクリート基準強度	$\sigma_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$
コンクリート許容曲げ引張応力度	$\sigma_{ta} = 0.21 \text{ N/mm}^2$
($\sigma_{ta} = 0.21 \text{ N/mm}^2$ を越える場合は、鉄筋構造とする。)	

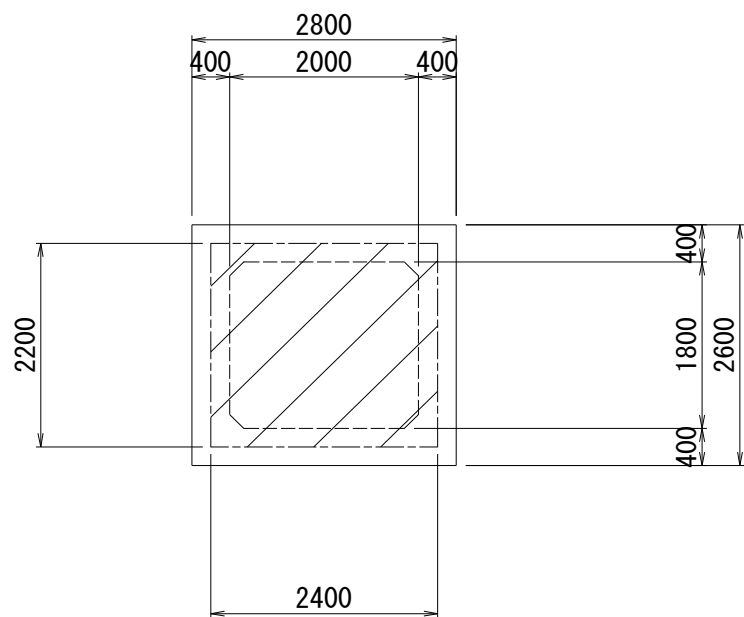
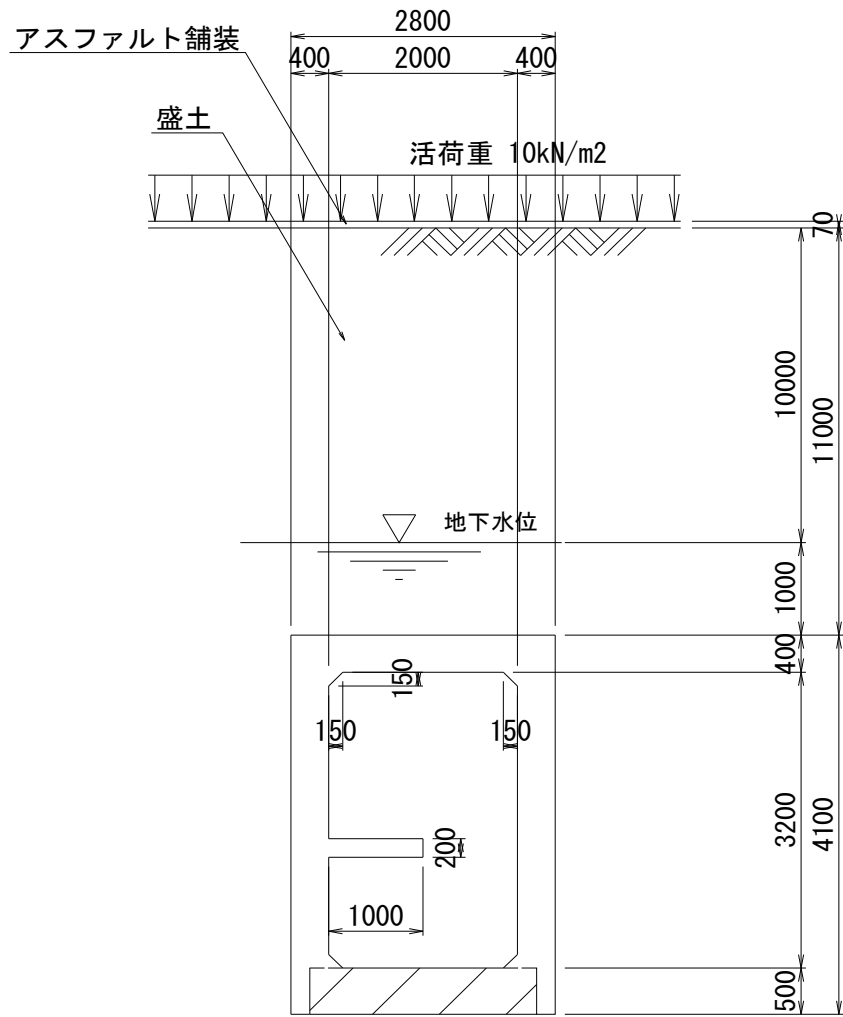
b. 鉄筋構造版

コンクリート基準強度	$\sigma_{ck} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
コンクリート許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ta} = 8.0 \text{ N/mm}^2$
鉄筋許容引張応力度	$\sigma_{sa} = 160 \text{ N/mm}^2$
許容せん断応力度(コンクリートのみで負担)	$\tau_{a1} = 0.39 \text{ N/mm}^2$
許容せん断応力度(斜引張鉄筋と共同負担)	$\tau_{a2} = 1.70 \text{ N/mm}^2$

5) 配筋要領

鉄筋被り	(底板上面)	10.0 cm
	(底板下面)	11.0 cm

2. 形状寸法図



3. 荷重計算

(1) 荷重の組合せ

- 荷重組合せ
- ・部材自重(その他内部部材、備品、群集荷重等も含む)
 - ・頂版に作用する活荷重
 - ・頂版に作用する土重
 - ・頂版に作用する水重

注) 内部で底版に直接作用する荷重、例えば底版自重、内水、ポンプ等の機械は地盤にて荷重が相殺され、応力が発生しないと判断し荷重として考慮しない。)

(2) 荷重計算

・自重

$$\begin{aligned} \text{(頂版)}w1-1 &= 2.000 * 1.800 * 0.400 * 24.5 &= 28.700 \text{ kN} \\ \text{(側壁)}w1-2 &= (2.800 * 2.600 - 2.000 * 1.800) * (4.100 - 0.500) * 2 &= 324.576 \text{ kN} \\ \text{(ハンチ)}w1-3 &= 1/2 * 0.150 * 0.150 * (2.000 + 1.800) * 2 * 24.5 &= 2.095 \text{ kN} \\ \text{(検査台)}w1-4 &= 1.000 * 1.800 * 0.200 * 24.5 &= 8.820 \text{ kN} \\ \text{(群集)}w1-5 &= 1.000 * 1.800 * 3.5 &= 6.300 \text{ kN} \\ &&\text{自重合計} = 370.491 \text{ kN} \end{aligned}$$

従って、自重の単位あたり重量は

$$w1 = 370.491 * 1 / (2.800 * 2.600) = 50.892 \text{ kN/m}^2$$

・頂版に作用する活荷重

土被り4m以上の場合の活荷重は、鉛直方向活荷重として頂版上面に一様に

$$w2 = 10.0 \text{ kN/m}^2$$

q : 上載荷重

の荷重を考える。(道路土工 カルバート工指針 P.49 (ii)土かぶり4m以上の場合)

・頂版に作用する土重

土被り10m以上かつ内空高が3mを超える場合、土重算出には以下の鉛直土圧係数を掛ける。

(鉛直方向土圧係数の算出)

H : 内空高 (= 3.200 m)

Hs : 土被りの厚さ

B' : 幅員(B+2*壁厚Tw)とし、道路土工 カルバート工指針 鉛直土圧係数 α についての解釈を構造物の幅の狭いほうが安全側の設計になることと解釈して短辺長B'を使用する。

$$B' = 1.800 + 2 * 0.400 = 2.600 \text{ m}$$

条 件	鉛直土圧係数 α	
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	$H_s/B' < 1$	1.0
	$1 \leq H_s/B' < 2$	1.2
	$2 \leq H_s/B' < 3$	1.35
	$3 \leq H_s/B' < 4$	1.5
	$4 \leq H_s/B'$	1.6
上記以外の場合	1.0	

(上記表は、道路土工 カルバート工指針 鉛直土圧係数の表を引用した。)

従って、上記の表より鉛直方向土圧係数は

$$H_s / B' = 11.000 / 2.600 = 4.231$$

であるから、

$$\alpha = 1.60$$

(湿潤土)

$$w3 = \gamma_s * T_s * \alpha$$

γ_s : 湿潤土の単位体積重量

T_s : 湿潤土の厚さ

$$w3 = 19.0 * (11.000 - 1.000) * 1.6 = 304.000 \text{ kN/m}^2$$

(水中土)

$$w4 = \gamma_{sw} * WB * \alpha$$

γ_{sw} : 水中土の単位体積重量

WB : 水中土の厚さ

$$w4 = 10.0 * 1.000 * 1.6 = 16.000 \text{ kN/m}^2$$

・頂版に作用する水重

$$w5 = \gamma_w * WB$$

γ_w : 水の単位体積重量

WB : 水深

$$w5 = 10.0 * 1.000 = 10.000 \text{ kN/m}^2$$

・頂版に作用するアスファルト荷重

$$w_6 = \gamma_a * T_a$$

γ_a : アスファルトの単位体積重量

T_a : アスファルトの厚さ

$$w_6 = 23.0 * 0.100 = 2.300 \text{ kN/m}^2$$

・荷重合計

$$W = \sum (w_1 \sim w_6)$$

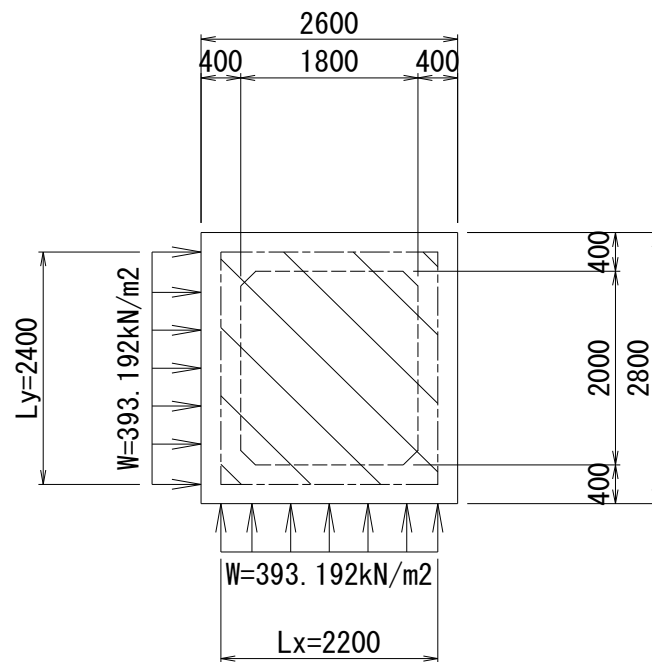
$$= 50.892 + 10.000 + 304.000 + 16.000 + 10.000 + 2.300$$

$$= 393.192 \text{ kN/m}^2$$

4. 応力計算

1) 計算条件

側壁に拘束された、等分布荷重4辺固定スラブと考え、応力図を使用して行う。



・辺の長さ算出

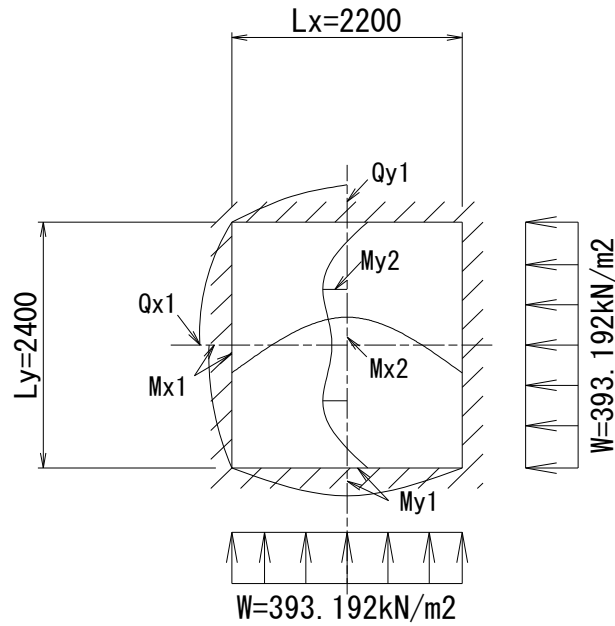
$$\text{長辺長 } L_y = 2.000 + 0.400 = 2.400 \text{ m}$$

$$\text{短辺長 } L_x = 1.800 + 0.400 = 2.200 \text{ m}$$

・縦横比

$$L_y/L_x = 2.400 / 2.200 = 1.091$$

2) 応力の算出



・基本応力値

$$\begin{aligned}
 M(\text{基本値}) &= W * L_x^2 \\
 &= 393.192 * 2.200^2 &= 1903.049 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

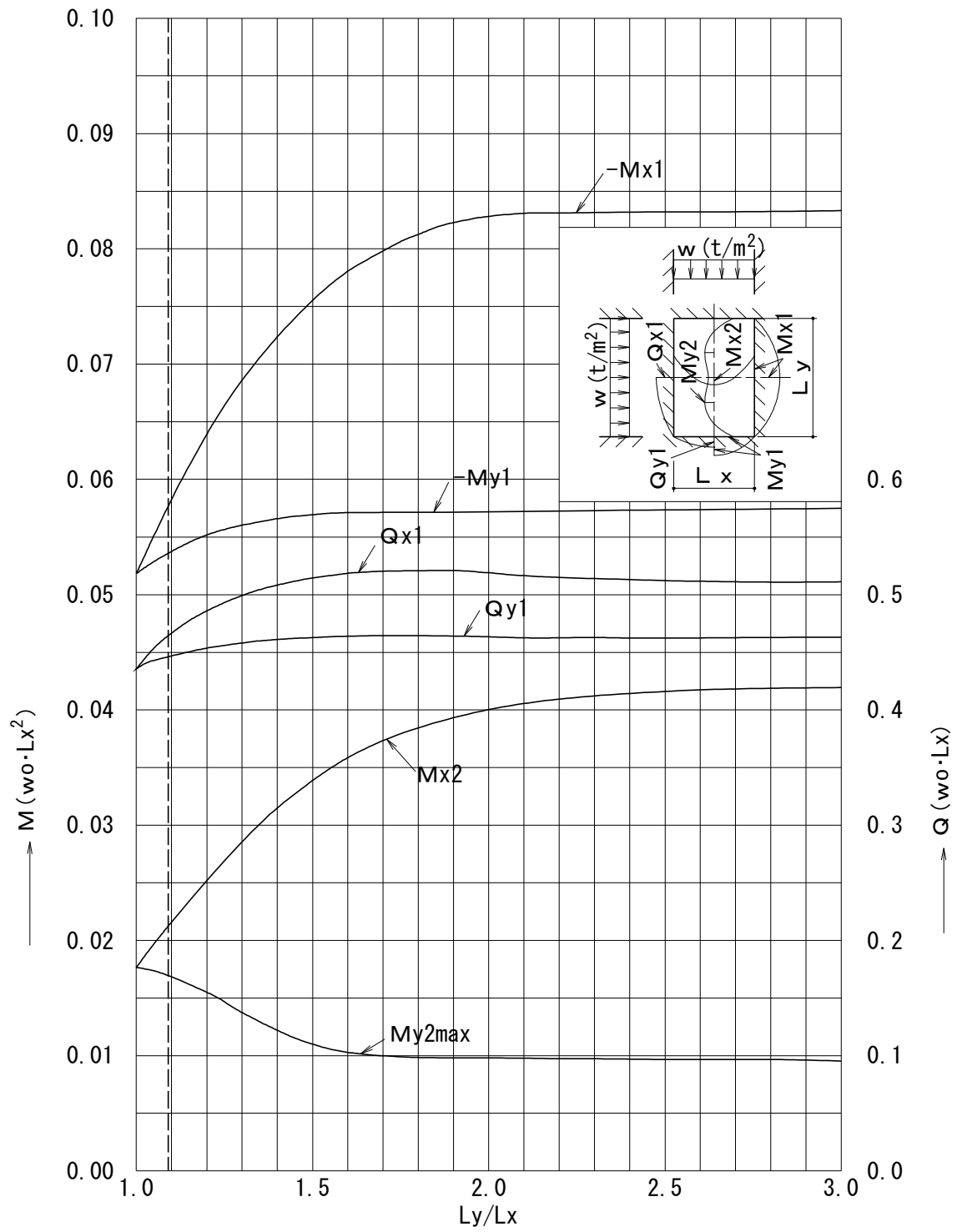
$$\begin{aligned}
 Q(\text{基本値}) &= W * L_x \\
 &= 393.192 * 2.200 &= 865.022 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

・部材各方向の曲げモーメント

$$\begin{aligned}
 M_{x1} &= 0.058 * 1903.049 &= 110.377 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 M_{x2} &= 0.021 * 1903.049 &= 40.154 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 M_{y1} &= 0.054 * 1903.049 &= 102.003 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 M_{y2} &= 0.017 * 1903.049 &= 32.162 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

・部材各方向のせん断力

$$\begin{aligned}
 Q_{x1} &= 0.465 * 865.022 &= 402.235 \text{ kN} \\
 Q_{y1} &= 0.445 * 865.022 &= 384.935 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



等分布荷重時4辺固定スラブの応力図

3) ポアソン比による曲げモーメント応力の補正

前項 2) で算定した曲げモーメントは、ポアソン比 $\nu = 0$ に対する算定値であるので、ポアソン比に対する曲げモーメントの補正を行う。補正は、スラブ中央部で直行する曲げモーメントx方向とy方向に対し行う。

$$M_{x2} = \{ (1 - \nu * \nu_0) * M_{x1} + (\nu_0 - \nu) * M_{y1} \} / (1 - \nu^2)$$

$$M_{y2} = \{ (1 - \nu * \nu_0) * M_{y1} + (\nu_0 - \nu) * M_{x1} \} / (1 - \nu^2)$$

ν : 修正前のポアソン比 = 0.0

ν_0 : 修正後のポアソン比 = 0.2

$$M_{x2} = \{ (1 - 0.0 * 0.2) * 40.154 + (0.2 - 0.0) * 32.162 \} / (1 - 0.0^2) = 46.586 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y2} = \{ (1 - 0.0 * 0.2) * 32.162 + (0.2 - 0.0) * 40.154 \} / (1 - 0.0^2) = 40.193 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

4) 曲げモーメントの集計

$$M_{x1} = 110.377 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{x2} = 46.586 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y1} = 102.003 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{y2} = 40.193 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

5. 応力度判定

部材断面力 Z

$$Z = 1 / 6 * b * t^2$$

$$= 1 / 6 * 1000 * 500^2 = 41666667 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_t = M / Z$$

(モーメント値は $M_{x1} \sim M_{y2}$ の内の最大値を採用する。)

$$= 110.377 * 10^6 / 41666667 = 2.6500 \text{ N/mm}^2$$

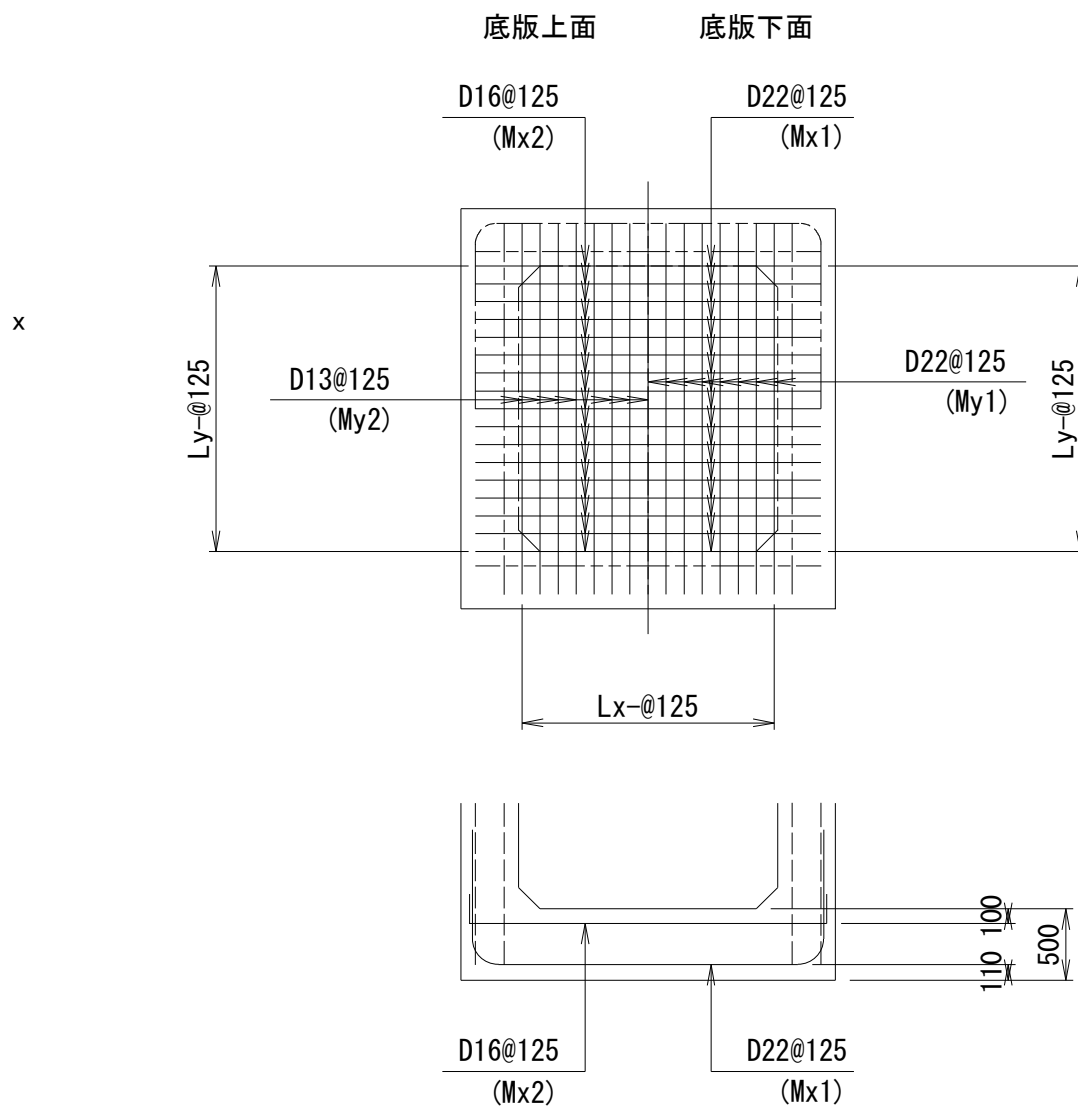
$$> 0.21 \text{ N/mm}^2$$

従って、有筋構造とし以下に応力度計算を行う。

6. 断面計算

項目	記号	単位	短辺 Lx 平行方向				長辺 Ly 平行方向			
			支点部付根 Mx1		中間部 Mx2		支点部付根 My1		支間部 My2	
			版下面		版上面		版下面		版上面	
曲げモーメント	M	kN・m	110.377		46.586		102.003		40.193	
せん断力	S	kN	402.235				384.935			
有効幅	B	cm	100		100		100		100	
全高	H	cm	40.0		40.0		40.0		40.0	
引張鉄筋被り	d'	cm	11.0		10.0		11.0		10.0	
鉄筋径 * 本数	As	mm・本	D 22	8.00	D 16	8.00	D 22	8.00	D 13	8.00
鉄筋断面積		cm ²	30.97		15.89		30.97		10.14	
鉄筋比	P		0.0107		0.0053		0.0107		0.0034	
実応力度 (圧縮)	σ_c	N/mm ²	OK	7.15	OK	3.55	OK	6.61	OK	3.61
(引張)	σ_s	N/mm ²	OK	143.36	OK	109.69	OK	132.48	OK	145.34
(剪断)	τ	N/mm ²	NO	1.39			NO	1.33		
許容応力度 (圧縮)	σ_{ca}	N/mm ²	8.0		8.0		8.0		8.0	
(引張)	σ_{sa}	N/mm ²	160		160		160		160	
(剪断)	τ_{a1}	N/mm ²	0.78		0.39		0.78		0.39	

7. 配筋要領図



・フック、継手はここでは考慮していません、配筋図作成時に検討のこと。

- ・短辺 L_x に平行方向Mx1の下面主鉄筋は、 $D 22 @ 125$ とする。
- ・短辺 L_x に平行方向Mx2の上面主鉄筋は、 $D 16 @ 125$ とする。
- ・長辺 L_y に平行方向My1の下面主鉄筋は、 $D 22 @ 125$ とする。
- ・長辺 L_y に平行方向My2の上面主鉄筋は、 $D 13 @ 125$ とする。
- ・底版上面の鉄筋被りは 100 mmとする。
- ・底版下面の鉄筋被りは 110 mmとする。

8. 斜引張鉄筋の計算

(長辺 Ly 方向)

a) 鉄筋間隔と鉄筋径の算出

底版部材長辺(Ly)方向両端部において、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、斜引張鉄筋を配置する必要がある。以下その検討を行う。(道路橋示方書・同解説 IV下部構造編平成14年3月)

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

$$Sh' = Sh - S_{ca}$$

$$S_{ca} = \tau_{a1} \cdot b \cdot d$$

A_w : 間隔s及び角度 θ で配筋される斜引張鉄筋の断面積 (mm²)

Sh' : 間隔s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)

$$s : \text{斜引張鉄筋の部材方向の間隔 (cm)} = 125 \text{ mm}$$

θ : 斜引張鉄筋が部材軸方向となす角度 (90°)

S_{ca} : コンクリートが負担するせん断力 (N)

$$\text{部材幅 } b = 100.0 \text{ cm}$$

$$\text{有効高 } d = 39.0 \text{ cm}$$

$$\text{コンクリートの許容せん断応力度 } a_1 = 0.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{鉄筋の許容引張り応力度 } \sigma_{sa} = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{ca} = \tau_{a1} \cdot b \cdot d$$

$$= 0.39 * 1000 * 390 = 152100 \text{ N}$$

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

$$= (S) = 402.235 \text{ kN (せん断応力計算結果より)}$$

$$Sh' = 402.235 - 152.100 = 250.135 \text{ kN}$$

従って、必要鉄筋量は

$$A_w = \frac{1.15 * 250.135 * 10^3 * 125}{160 * 390} = 576 \text{ mm}^2$$

以上より、スターラップ筋の配置は、

$$D 13 = 127 \text{ mm}^2/\text{本}$$

部材方向の斜め引張鉄筋の本数nは

$$n = 1000 * 1 / 125 = 8.00 \text{ 本}$$

従って、

$$A_s = 127 * 8.00 = 1014 \text{ mm}^2 > A_w = 576 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

また、せん断応力を斜め引張鉄筋と共同して負担する場合の許容せん断力応力度(τ_{a2})に対しては

$$\text{長辺 } Ly \text{ 方向 } \tau = 1.39 \text{ N/mm}^2 < \tau_{a2} = 1.70 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b) 設置範囲の計算

施工範囲は、許容せん断応力度が $\tau_{a1} = 0.39 \text{ N/mm}^2$ であることより、許容されるせん断力は以下の値になる。

$$S_{ca} = \tau_{a1} \cdot b \cdot d$$

$$= 0.39 * 1000 * 390 = 152100 \text{ N/mm}^2$$

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範囲を、以下に求める。

$$x = L - S_{ca} * L / S$$

L : 部材長さの中心(せん断力 $S=0.0\text{N/mm}^2$ 位置)~隣辺支持部材の中心

x : 隣辺支持部材の中心~斜め引張鉄筋の設置範囲

$$= 1200 - 152100 * 1200 / 402235 = 746 \text{ mm} \quad \doteq \quad 0.80 \text{ m}$$

(短辺 Lx 方向)

a) 鉄筋間隔と鉄筋径の算出

底版部材短辺(Lx)方向両端部において、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、斜引張鉄筋を配置する必要がある。以下その検討を行う。(道路橋示方書・同解説 IV下部構造編平成14年3月)

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

$$Sh' = Sh - S_{ca}$$

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

A_w : 間隔s及び角度 θ で配筋される斜引張鉄筋の断面積 (mm²)

Sh' : 間隔s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)

$$s : \text{斜引張鉄筋の部材方向の間隔 (cm)} = 125 \text{ mm}$$

θ : 斜引張鉄筋が部材軸方向となす角度 (90°)

S_{ca} : コンクリートが負担するせん断力 (N)

$$\text{部材幅 } b = 100.0 \text{ cm}$$

$$\text{有効高 } d = 39.0 \text{ cm}$$

$$\text{コンクリートの許容せん断応力度 } a_1 = 0.39 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{鉄筋の許容引張り応力度 } \sigma_{sa} = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

$$= 0.39 * 1000 * 390 = 152100 \text{ N}$$

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

$$= (= S) 384.935 \text{ kN (せん断応力計算結果より)}$$

$$Sh' = 384.935 - 152.100 = 232.835 \text{ kN}$$

従って、必要鉄筋量は

$$A_w = \frac{1.15 * 232.835 * 10^3 * 125}{160 * 390} = 536 \text{ mm}^2$$

以上より、スターラップ筋の配置は、

$$D 13 = 127 \text{ mm}^2/\text{本}$$

部材方向の斜め引張鉄筋の本数nは

$$n = 1000 * 1 / 125 = 8.00 \text{ 本}$$

従って、

$$A_s = 127 * 8.00 = 1014 \text{ mm}^2 > A_w = 536 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

また、せん断応力を斜め引張鉄筋と共同して負担する場合の許容せん断力応力度(τ_{a2})に対しては

$$\text{短辺 } Lx \text{ 方向 } \tau = 1.33 \text{ N/mm}^2 < \tau_{a2} = 1.70 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

b) 設置範囲の計算

施工範囲は、許容せん断応力度が τ_a 0.39 N/mm²であることより、許容されるせん断力は以下の値になる。

$$S_{ca} = \tau_{a1} * b * d$$

$$= 0.39 * 1000 * 390 = 152100 \text{ N/mm}^2$$

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範囲を、以下に求める。

$$x = L - S_{ca} * L / S$$

L : 部材長さの中心(せん断力 S=0.0N/mm²位置)~隣辺支持部材の中心

x : 隣辺支持部材の中心~斜め引張鉄筋の設置範囲

$$= 1100 - 152100 * 1100 / 384935 = 665 \text{ mm} \quad \doteq 0.70 \text{ m}$$

9. 斜引張鉄筋配筋要領図

