

# 特集：長方形板の計算システム Ver3.2

令和元年 10 月記事更新  
(株)SIPシステム

## 解析方法は2種 有限要素法 & 級数解法

—はじめに—

長方形板（RC・鋼・鋳鋼・鋳鉄）の断面解析を「有限要素法」または「級数解（理論解）」で行います。支持条件は12タイプ。「有限要素法」の場合は、三辺固定一辺自由支持を含め、全ての支持条件で検討可能な他、四辺の支持条件を個別に指定した手法も可能です。また、「級数解」では、「構造力学公式集」に基づいた公式により断面力を求めます。載荷荷重は、最大5ケースまで荷重条件は6タイプより選択が可能。RC板については「部材断面の応力度照査」も可能。計算書はプレビュー画面にて内容確認後、印刷出力、Word出力も可能です。

### ①適用基準

#### ●「有限要素法解析」参考文献

- ・マトリックス構造解析法（J.L. ミーク著、奥村敏恵、西野文雄、西岡隆訳/S50.8）
- ・薄板構造解析（川井忠彦、川島矩郎、三本木茂夫/培風館S48.6）
- ・平板の曲げ理論（栖原次郎/培風館 S47.9）

#### ●「級数解法」（理論解析）

- ・構造力学公式集（土木学会発行/S61.6）
- ・板とシェルの理論（チモシェンコ・ヴォアノフスキーリーガ ー共著/長谷川節 訳）

表題:	新規データ1
解法	<input type="radio"/> 有限要素法 <input checked="" type="radio"/> 級数解
板の物理定数	
材料:	鋼
ヤング係数:	200000 (N/mm <sup>2</sup> )
ポアソン比:	0.300

### ②適用板材

計算可能な板材は下記の通りです。

- 1) 鋼板（断面力）
- 2) 鋳鉄板（断面力）
- 3) 鋳鋼板（断面力）
- 4) コンクリート板（断面力+応力度）強度 21N/mm<sup>2</sup>~60N/mm<sup>2</sup> 標準登録
- 5) その他の板材（コンクリート及びコンクリート以外：特性値を入力指定）

上記「標準登録板」を指定すると「ヤング係数」「ポアソン比」の標準値が読み込まれます。

### ③構造解析の解説

#### 1 有限要素法解析

有限要素法では、板を3節点三角要素に分解し剛性マトリクスによりたわみ（ $\delta$ ）、モーメント（M）を求め応力度照査を行います。本有限要素法解析では、せん断力（S）は求める事ができません。

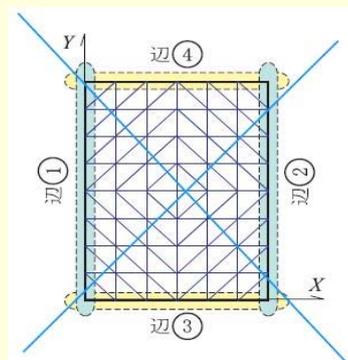
「構造力学公式集」（三辺固定一辺自由端）の場合の問題点

「三辺固定一辺自由端」の「級数解法」を「構造力学公式集」で解説されていますが、弊社の検証ではその理論式は正しく計算されないとの結論に至り「有限要素法」による解析を組み入れました。

#### 2 級数解法

級数解法（理論解）は、土木学会発行の「構造力学公式集」および「板とシェルの理論」の公式に基づき、たわみ（ $\delta$ ）、モーメント（M）、せん断応力（S）を求め応力度照査を行います。

支持条件は12タイプより選択でき、荷重は6種類の荷重を最大5種類組み合わせることが可能です。また、「級数解」のコンクリートのせん断応力度については、最大せん断応力度または平均せん断応力度の選択が可能です。（支持条件によっては、取り扱えない荷重があります。）

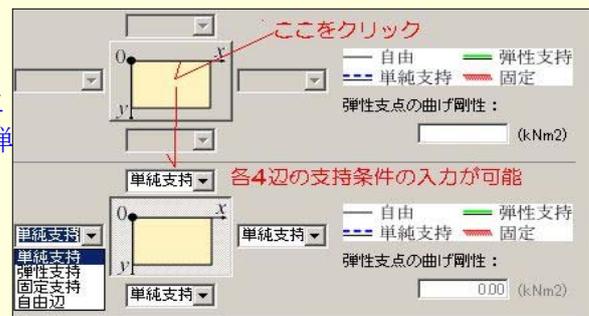
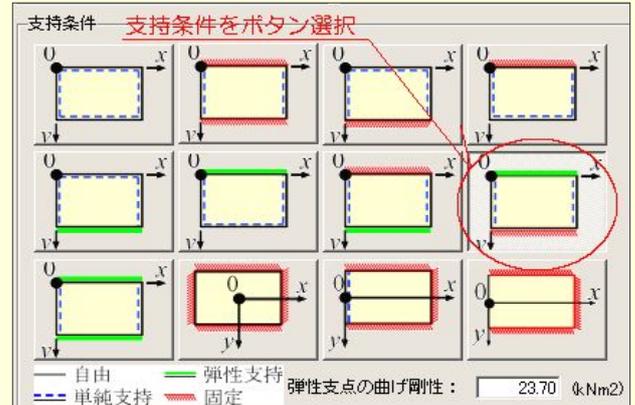


## ④支持条件

検討可能な支持条件は下記の通りです。

支持タイプ (形式)			
四辺単純支持	二辺固定二辺単純支持	一辺固定三辺単純支持 (タイプA)	一辺固定三辺単純支持 (タイプB)
一辺弾性三辺単純支持 (タイプA)	一辺弾性三辺単純支持 (タイプB)	一辺固定二辺単純一辺弾性支持 (タイプA)	一辺固定二辺単純一辺弾性支持 (タイプB)
二辺弾性二辺単純支持	四辺固定支持	三辺固定一辺単純支持	三辺固定一辺自由支持 (有限要素法解析のみ適用)

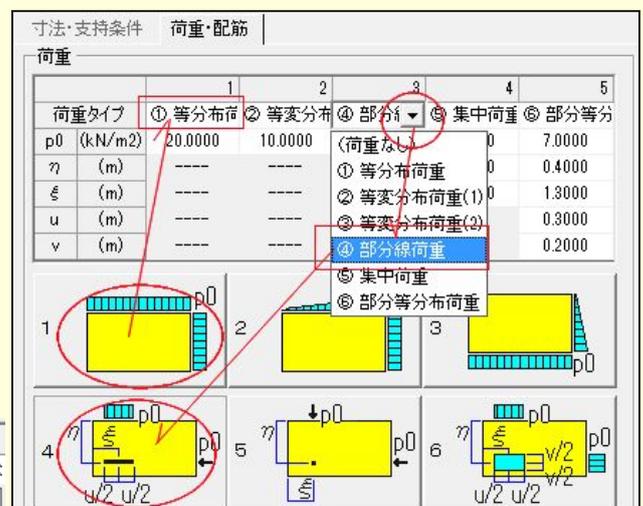
- 支持条件は「自由支持」「弾性支持」「単純支持」「固定」により組合わされている固定支持タイプが12種類あります。「有限要素」および「級数解」の両方で指定選択が可能です。指定したい板の支持タイプをクリックして選択します。
  - (黒丸) : 座標原点位置
  - X→ / Y→ : 座標 (+) 軸線方向
- 支持条件に「弾性支持」タイプを選択した場合は「弾性支点の曲げ剛性 (EI)」の入力が可能です。また、弾性支持で弾性支点の曲げ剛性を「0.0」とすれば「自由辺」となります。
- 「有限要素法」の場合は、板の四辺について個別に支持条件の指定が可能です。支持条件は「単純・弾性・固定・自由」支持の組合わせが可能。但し、四辺全てが、自由支持等の場合計算不可。



## ⑤荷重の設定

- 板に作用させる荷重は、右図「荷重タイプ6種類の荷重ケースを最大5個まで組合わせることが可能です。
- 「級数解」で考慮できる荷重タイプは、支持条件によって異なりますが「有限要素法」では、全ての荷重タイプを考慮可能です。
- 荷重の指定は、荷重組合せ項目の▼ボタンを選択して指定するか、荷重図の何れかのボタンをクリックしても荷重タイプの指定が可能です。

荷重タイプ	① 等分	▼ (荷重なし)
p0 (kN/m <sup>2</sup> )	<荷重なし>	
η (m)	① 等分布荷重	
ξ (m)	② 等変分布荷重(1)	
u (m)	③ 等変分布荷重(2)	
v (m)	④ 部分線荷重	
	⑤ 集中荷重	
	⑥ 部分等分布荷重	

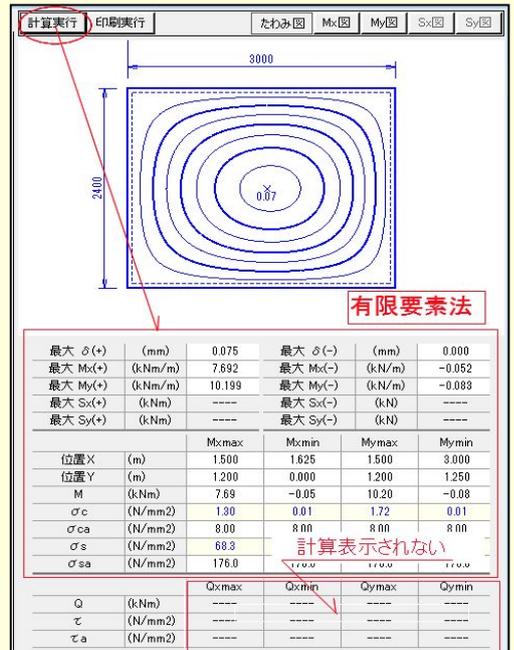
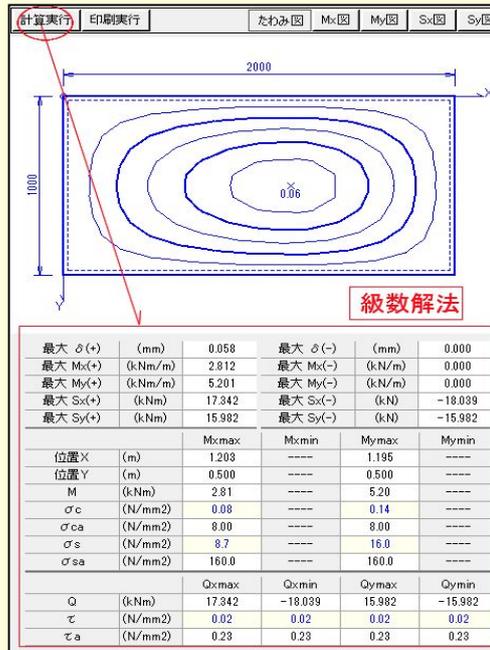


# ⑤ RCの断面算定

## <断面力の表示>

- たわみ図
- 曲げモーメント図 (Mx図)
- 曲げモーメント図 (My図)
- せん断力 Sx図
- せん断力 Sy図

計算結果は、たわみモーメント、せん断力が表示されます。但し、有限要素の場合は $\delta$ とMのみとなります。



### 1. 許容応力度の入力

コンクリートおよび鉄筋の許容応力度の入力項目の画面です。

許容応力度については、割増し係数を考慮可能です。

許容応力度

コンクリートの許容曲げ圧縮応力度  $\sigma_{ca}$  : 8.0 (N/mm<sup>2</sup>)

コンクリートの許容せん断応力度  $\tau_a$  : 0.23 (N/mm<sup>2</sup>)

最大せん断応力度  平均せん断応力度

鉄筋の許容引張応力度  $\sigma_{sa}$  : 160 (N/mm<sup>2</sup>)

許容応力度の割増し係数: 1.00 常時

- 1.15 温度時
- 1.50 地震時
- 1.65 地震+温度時

### 2. 配筋の入力と断面照査

断面力の計算結果が表示されていることを確認後、配筋データの入力が可能です。

「有効高」については、X・Y軸方向の下面（下側引張）および上面（上側引張）についてそれぞれ個別に入力指定が可能です。

単（1本）鉄筋としたい場合は、鉄筋位置が板厚の中央部にあるとして上下の有効高さを同じ高さで入力する事で可能です。

鉄筋径+ピッチをそれぞれ、X・Y軸方向に対して入力してを行います。

単位m当たりの鉄筋量 (mm<sup>2</sup>) も表示されます。

配筋

有効高: 下側X引張 0.540 (m) 下側Y引張 0.540 (m)  
上側X引張 0.540 (m) 上側Y引張 0.540 (m)

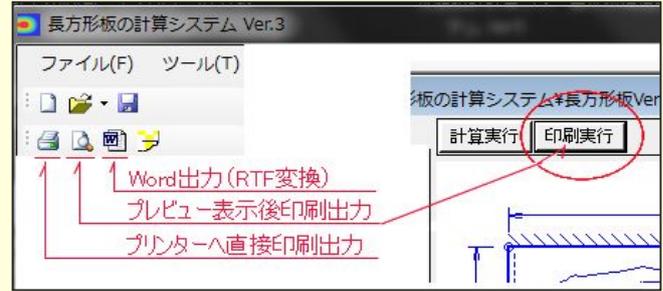
X方向鉄筋: 上面 D19 ctc 250 1146.00 (mm<sup>2</sup>)  
下面 D19 ctc 250 1146.00 (mm<sup>2</sup>)

Y方向鉄筋: 上面 D19 ctc 250 1146.00 (mm<sup>2</sup>)  
下面 D19 ctc 250 1146.00 (mm<sup>2</sup>)

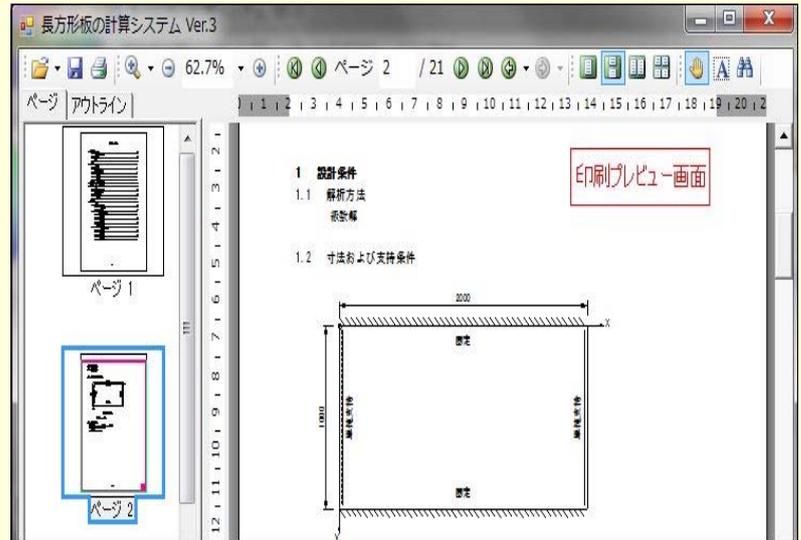
## ⑥ 計算書出力

### < 計算書の印刷 >

計算書の印刷は、ツールバー上の各「印刷」ボタンおよび計算結果画面の「印刷実行」アイコン&ボタンをクリックして印刷出力が可能です。



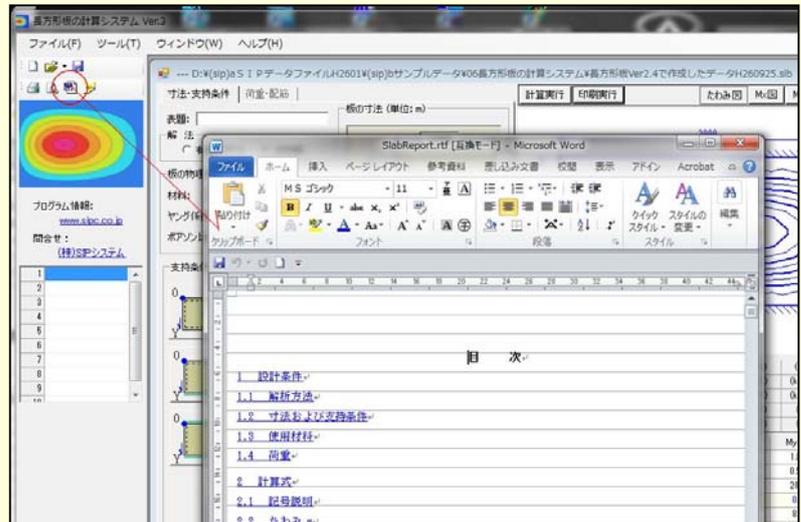
計算書は、直接印刷出力も可能ですが、印刷プレビュー画面で、計算書の内容を事前に確認も可能です。



### < 計算書 Word 出力 >

計算書の Word 変換は、RTF 変換により Word 文章での保存が該当結果が見つかりませんでした。

可能です。





# 長方形板の計算システム

「有限要素法 (三角形要素)」と「級数解 (理論式)」に基づく長方形板の解析プログラム 価格 ¥121,000-(税+HASP 込)

本商品を別保有 HASP に追加登録する場合、価格は¥110,000-(税込)となります。

## 解析方法

- 「有限要素法」解析
  - ・マトリックス構造解析法<sup>1)</sup>
  - ・薄板構造解析 (培風館)<sup>2)</sup>
  - ・平板の曲げ理論 (培風館)<sup>3)</sup>
- 「級数解法 (理論解析)」
  - ・構造力学公式集 (土木学会)
  - ・板とシェルの理論<sup>4)</sup>

## 支持条件

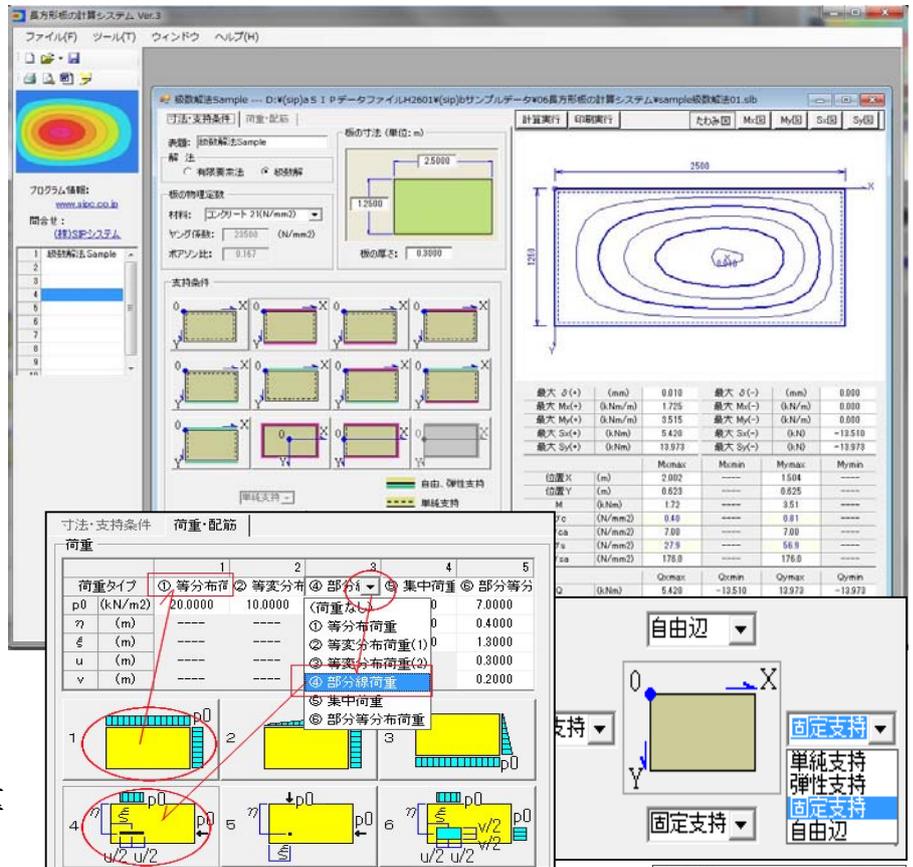
- ① 四辺固定 or 単純支持
- ② 三辺固定一辺単純 or 自由支持
- ③ 二辺固定 or 弾性二辺単純支持
- ④ 一辺固定 or 弾性三辺単純支持
- ⑤ 一辺固定二辺単純一辺弾性支持
- ⑥ 板 4 辺に支持条件を個別指定

## 荷重条件

- ① 等分布荷重
- ② 等変分布荷重(T-1)
- ③ 等変分布荷重(T-2)
- ④ 部分線荷重
- ⑤ 集中荷重
- ⑥ 部分分布荷重

## システム概要

1. 長方形板 (RC、鋼、鋳鋼、鋳鉄) の断面解析を行います。
2. 解析は「有限要素法」・「級数解 (理論式)」から指定が可能。
3. 「有限要素法」では、固定支持条件の他、板の 4 辺にそれぞれに支持条件 (単純・弾性・固定・自由) を指定した解析が可能。応力度は、「たわみ」と「モーメント荷重」について照査。
4. 「級数解 (理論解)」では、「構造力学公式集」および「板とシェルの理論」に基づき「たわみ」「モーメント」「せん断力」照査。
5. 支持条件は 12 タイプ (解析条件で異なる)、載荷重の組み合わせは最大 5 ケース、荷重条件は 6 タイプより指定が可能。
6. 計算実行後、断面力図 ( $\delta, M, S$ ) のイメージ図を画面表示。
7. 計算書はプレビュー画面で確認後印刷出力。Word への変換も可能。



最大 $\delta(+)$ (mm)	0.010	最大 $\delta(-)$ (mm)	0.000
最大 $M_x(+)$ (kNm/m)	1.725	最大 $M_x(-)$ (kNm/m)	0.000
最大 $M_y(+)$ (kNm/m)	3.515	最大 $M_y(-)$ (kNm/m)	0.000
最大 $S_x(+)$ (kNm)	5.420	最大 $S_x(-)$ (kNm)	-13.510
最大 $S_y(+)$ (kNm)	13.973	最大 $S_y(-)$ (kNm)	-13.973

## システム環境

CONTACT (TEL) : 06-6125-2232 (FAX) : 06-6125-2233

- 基本OS : Windows8 (32bit&64bit)、Windows10&11 (64bit)
- ハード環境 : HD 容量 500MB 以上、メモリ容量 4GB 以上
- プロテクト方式 : HASP (USB) 方式、オンライン (IN) 方式、ネット認証システム (Lan 対応版)

## お問合せ

ACCESS (URL) : <http://www.sipc.co.jp> (Mail) : [mail@sipc.co.jp](mailto:mail@sipc.co.jp)

株式会社 SIP システム

〒542-0081

大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501 (大阪事務所)

TEL : 06-6125-2232 FAX : 06-6125-2233

### ご案内

- ・本商品に関するご質問、資料請求、見積依頼等につきましては、お電話、メール等にて弊社「大阪事務所」迄お問い合わせ下さい。
- ・弊社ホームページより各商品概要のリーフレット、出力例等のダウンロードや体験版プログラムのお申込み等が可能です。

1) マトリックス構造解析法 : J.L. ミーク著, 奥村敏恵, 西野文雄, 西岡隆訳 2) 薄板構造解析 (川井忠彦, 川島矩郎, 三本木茂夫/培風館)  
 3) 平板の曲げ理論 (栖原次郎/培風館) 4) 板とシェルの理論 : チモシェンコ・ヴォアノフスキー・リッター共著/長谷川節 訳

# 土木設計「排水構造物設計シリーズ」のご案内



土木・土地改良設計業務に携わる皆様への「排水構造物設計シリーズ」のご案内です。

土地改良基準「水路工」に準拠した「水路設計計算システム」、柵構造の計算を行う「集水柵構造計算システム」また、水路の蓋版や底版の杭基礎スラブ板の解析が可能な「長方形板の計算システム」および「杭基礎スラブ板の検討システム」等、設計業務の身近な設計ソフトウェアとしてご検討頂ければ幸いです。 (株) S I Pシステム



## ＜ 水路設計計算システム / ¥209,000 (税+HASP込) ＞

- ①水路工の常時・地震時の安定計算および部材断面照査を行い、左右側壁の高さが異なる偏土圧の検討も可能。
- ②浮上の検討では、必要フーチング幅を自動計算。
- ③滑動の検討で安全率を満足しない場合反力を考慮して検討。
- ④地震の検討時、内外水位に対し動水圧を考慮可能。
- ⑤水路上面の蓋版等の上面荷重を考慮可能。
- ⑥無筋・鉄筋コンクリートの断面応力度照査が可能。
- ⑦計算書は、プレビュー表示後印刷、Word出力も可能。



## ＜ 集水柵構造計算システム / ¥220,000 (税+HASP込) ＞

- ①柵構造(鉄筋・無筋コンクリート)の常時・地震時の部材断面検討および浮力、地盤支持力の検討が可能。
- ②側壁は「水平応力解析」「三辺固定スラブ法」「両端固定梁+三辺固定版」、底版は「四辺固定スラブ法」で解析。
- ③水平応力解析では、側壁に対する軸力の考慮が可能。
- ④側壁(前面・側面)底版の全12断面の応力度照査が可能。また、開口部の指定や $L_y/L_x$ 比を超える計算も可能。
- ⑤計算書は、プレビュー表示後印刷、Word出力も可能。

## ＜ 長方形板の計算システム / ¥121,000 (税+HASP込) ＞

RC、鋼板の「有限要素法」および「級数解」による板の解析プログラム

## ＜ 無圧トンネル構造計算システム / ¥1121,000 (税+HASP込) ＞

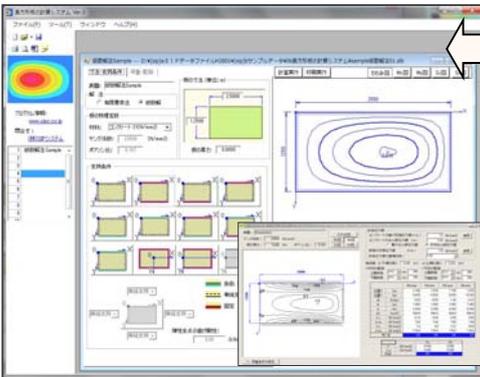
「水路トンネル」準拠した「円形・ほろ形・馬蹄形」の断面検討プログラム

## ＜ 杭基礎スラブ板の検討システム / ¥115,000 (税+HASP込) ＞

水路、柵等で、杭が配置される長方形板(スラブ)の断面検討プログラム

## ＜ RC水路橋構造計算システム / ¥121,000 (税+HASP込) ＞

鉄筋コンクリート水路橋について単純支持・連続支持の検討可能なプログラム



- その他商品の紹介
1. 「洪水吐水理計算システム」(¥341,000)、「堤体の安定計算システム」(¥198,000)、「不等流水路水面追跡計算システム」(¥121,000)
  2. 「管網計算システム」(¥319,000) + 「上水道給水量計算システム」(¥55,000) + 「DXFファイルコンバータ」(¥110,000)
  3. 「無筋擁壁設計システム」「RC擁壁設計システム」「ボックスカルバート設計システム」など (HASP+税込価格で表示)

株式会社 S I Pシステム  
 〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501  
 TEL : 06-6125-2232 FAX : 06-6125-2233  
 OS : Windows8、Windows10&11 (32bit&64bit) 対応  
 HD : 500MB以上。USBポート&DVD-ROM 必須。  
 プロテクト方式 : HASP方式 (USB) またはオンライン方式

＜お問い合わせは大阪事務所まで＞

- ・商品に関するお問合せは、お電話メール等でお受けしております。(受付時間 平日9:00~17:00)
- ・商品の詳細は、弊社ホームページでもご確認いただけます。  
<http://www.sipc.co.jp> [mail@sipc.co.jp](mailto:mail@sipc.co.jp)

### 1. 設計条件

#### 1.1 単位換算表

項目	記号	値	単位
基礎コンクリート	$V_{10}$	24,500	kg/m <sup>3</sup>
土	$V_{10}$	18,000	kg/m <sup>3</sup>
水中土	$V_{10}$	10,000	kg/m <sup>3</sup>
水	$V_{10}$	9,800	kg/m <sup>3</sup>

#### 1.2 形状

項目	記号	値	単位	備考
基礎高さ(左側)	$H_L$	2100	mm	
基礎高さ(右側)	$H_R$	1500	mm	
基礎幅(左側)	$B_L$	2000	mm	
基礎幅(右側)	$B_R$	300	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	
コンクリート層(高さ)(左側)	$T_{L4}$	100	mm	
コンクリート層(高さ)(左側)	$T_{L5}$	100	mm	
基礎中心位	$H_B$	1500	mm	
地下水位(左側)	$H_{LW}$	1500	mm	
地下水位(右側)	$H_{RW}$	1500	mm	

・基礎の角に斜線が引かれ、内縁は直とする。  
・基礎の角の内縁に斜線が引かれ、内縁は直とする。

### 2 荷重データ

#### 2.1 地形土質

項目	記号	値	単位	備考
コンクリート	$V_{10}$	24,500	kg/m <sup>3</sup>	
土	$V_{10}$	18,000	kg/m <sup>3</sup>	
水中土	$V_{10}$	10,000	kg/m <sup>3</sup>	
水	$V_{10}$	9,800	kg/m <sup>3</sup>	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	基礎土層厚(左側)
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	基礎土層厚(左側)
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	基礎土層厚(左側)
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	基礎土層厚(右側)
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	基礎土層厚(右側)

・基礎  $K = \frac{1}{\frac{1}{E_s} + \frac{1}{E_c} + \frac{1}{E_f} + \frac{1}{E_b} + \frac{1}{E_{sp}}}$   
 $E_s$ : 基礎土層の弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $E_c$ : コンクリートの弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $E_f$ : 基礎鉄筋の弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $E_b$ : 基礎の弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $E_{sp}$ : 基礎の弾性係数 (kg/cm<sup>2</sup>)

### 3 断面力

#### 3.1 断面力

項目	記号	値	単位	備考
基礎中心位	$H_B$	1500	mm	
基礎幅(左側)	$B_L$	2000	mm	
基礎幅(右側)	$B_R$	300	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	

### 4 材料特性

#### 4.1 材料特性

項目	記号	値	単位	備考
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	

### ●水路設計計算の出力

- 1) 入力データ
- 2) 安定/部材断面計算
- 3) 設計水平震度
- 4) 許容地盤支持力
- 5) 鉄筋組立図

### 5 断面力

#### 5.1 断面力

項目	記号	値	単位	備考
基礎中心位	$H_B$	1500	mm	
基礎幅(左側)	$B_L$	2000	mm	
基礎幅(右側)	$B_R$	300	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	

### 6 部材断面の検討

#### 6.1 部材断面の検討

項目	記号	値	単位	備考
基礎中心位	$H_B$	1500	mm	
基礎幅(左側)	$B_L$	2000	mm	
基礎幅(右側)	$B_R$	300	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	

### 7 配筋図

#### 7.1 配筋図

### ●集水桝構造計算の出力

- 1) 入力データ
- 2) 桝断面照査計算書
- 3) 浮き上がり
- 4) 地盤支持力

### 8 断面力

#### 8.1 断面力

項目	記号	値	単位	備考
基礎中心位	$H_B$	1500	mm	
基礎幅(左側)	$B_L$	2000	mm	
基礎幅(右側)	$B_R$	300	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	

### ●杭基礎スラブ板の検討システム

- 1) 作用荷重の入力方法
- 2) 計算書 (プレビュー表示)

### 9 断面力

#### 9.1 断面力

項目	記号	値	単位	備考
基礎中心位	$H_B$	1500	mm	
基礎幅(左側)	$B_L$	2000	mm	
基礎幅(右側)	$B_R$	300	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	

### 5. 断面設計

#### 5.1 計算式

記号説明  
 $h$ : 部材厚  
 $b$ : 部材幅  
 $d$ : 有効深さ  
 $n$ : コンクリート係数比 = 15  
 $A_s$ : 引張鉄筋断面積  
 $p$ : 引張鉄筋比 =  $A_s / (b \cdot d)$   
 $k$ : 中間係数  
 $k = \sqrt{np} \cdot \rho_p \cdot \rho_f \cdot \rho_s$   
 $x$ : 中心軸 =  $k \cdot d$

コンクリートの曲げ圧縮応力係数  $\alpha$   
 $\alpha = \frac{2 \cdot M}{\sigma_c \cdot b \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot \gamma}$

鉄筋の引張応力係数  $\beta$   
 $\beta = \frac{M}{\sigma_s \cdot A_s \cdot \beta \cdot \gamma}$

コンクリートの平均せん断応力係数  $\gamma$   
 $\gamma = \frac{V}{b \cdot d \cdot \gamma}$

コンクリートの最大せん断応力係数  $\gamma_{max}$   
 $\gamma_{max} = \frac{V}{b \cdot d \cdot \gamma_{max}}$

#### 5.2 曲げモーメントに対する照査

引張側	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)
底	0	0	0	0
曲げモーメント	0	0	0	0
引張側	0	0	0	0
圧縮側	0	0	0	0
せん断係数	0	0	0	0
鉄筋量	0	0	0	0
コンクリートの引張応力	0	0	0	0
鉄筋の引張応力	0	0	0	0
コンクリートの引張応力	0	0	0	0

### 6. 有限要素法

#### 6.1 要素法

有限要素法の原理  
 $M = \frac{1}{2} \cdot (M_1 + M_2) \cdot L$

#### 6.2 計算式

断面力計算  
 $M = \frac{1}{2} \cdot (M_1 + M_2) \cdot L$

#### 6.3 最大たわみおよび最大断面力

項目	記号	値	単位	備考
最大たわみ	$\delta$	0.00	1.772	0.825
最大断面力	$M$	0.82	2.180	0.825
最大断面力	$M$	-0.51	1.875	-0.810
最大断面力	$M$	1.20	1.777	0.825
最大断面力	$M$	-3.00	1.875	-0.810
最大せん断力	$Q$	11.15	2.500	0.800
最大せん断力	$Q$	-8.27	2.500	0.825
最大せん断力	$Q$	15.34	2.441	0.800

### 7. 断面力

#### 7.1 断面力

項目	記号	値	単位	備考
基礎中心位	$H_B$	1500	mm	
基礎幅(左側)	$B_L$	2000	mm	
基礎幅(右側)	$B_R$	300	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L1}$	400	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L2}$	200	mm	
基礎土層厚(左側)	$T_{L3}$	100	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R1}$	300	mm	
基礎土層厚(右側)	$T_{R2}$	100	mm	

### ●長方形板の計算の出力

- 1) 有限要素法解析
- 2) 級数解法解析
- 3) 鉄筋コンクリート
- 4) 鋼、鋳鋼、鋳鉄
- 5) 断面力/応力度評価

出力例の詳細等につきましては、弊社 HP 等でご確認下さい。

# 長方形板の計算システム

Ver3.0

適用基準

- 「級数解法」(理論解析)
  - ・ 構造力学公式集 (土木学会発行/S61.6)
  - ・ 板とシェルの理論 (チモシェンコ・ヴォアノフスキー・リーガー共著/長谷川節 訳)
- 「有限要素法解析」参考文献
  - ・ マトリックス構造解析法 (J.L. ミーク著, 奥村敏恵, 西野文雄, 西岡隆訳/S50.8)
  - ・ 薄板構造解析 (川井忠彦, 川島矩郎, 三本木茂夫/培風館S48.6)
  - ・ 平板の曲げ理論 (栖原次郎/培風館 S47.9)

## 出力例

- ① コンクリート板の級数解法による計算例
- ② コンクリート板の有限要素法による計算書

開発・販売元

(株)SIP システム お問い合わせ先 : 大阪事務所 (技術サービス)

〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501

TEL : 06-6125-2232 FAX : 06-6125-2233

<http://www.sipc.co.jp>      [mail@sipc.co.jp](mailto:mail@sipc.co.jp)

## 目 次

1	設計条件	2
1.1	解析方法	2
1.2	寸法および支持条件	2
1.3	使用材料	2
1.4	荷重	3
2	計算式	4
2.1	記号説明	4
2.2	たわみ $w$	4
2.3	曲げモーメント $M_x$	4
2.4	曲げモーメント $M_y$	4
2.5	せん断力 $Q_x$	4
2.6	せん断力 $Q_y$	4
3	最大たわみおよび最大断面力	6
4	板各部のたわみおよび断面力	7
4.1	たわみ $w$	7
4.2	曲げモーメント $M_x$	8
4.3	曲げモーメント $M_y$	9
4.4	せん断力 $Q_x$	10
4.5	せん断力 $Q_y$	11
5	断面設計	12
5.1	計算式	12
5.1.1	曲げ応力度	12
5.1.2	せん断応力度	13
5.2	曲げ応力度の計算	14
5.2.1	曲げ応力度一覧表	14
5.2.2	$M_x$ 最大断面	15
5.2.3	$M_y$ 最大断面	16
5.3	せん断応力度の計算	17
5.3.1	せん断応力度一覧表	17
5.3.2	$Q_x$ 最大断面	17
5.3.3	$Q_x$ 最小断面	17
5.3.4	$Q_y$ 最大断面	18
5.3.5	$Q_y$ 最小断面	18

# 1 設計条件

## 1.1 解析方法

級数解

## 1.2 寸法および支持条件

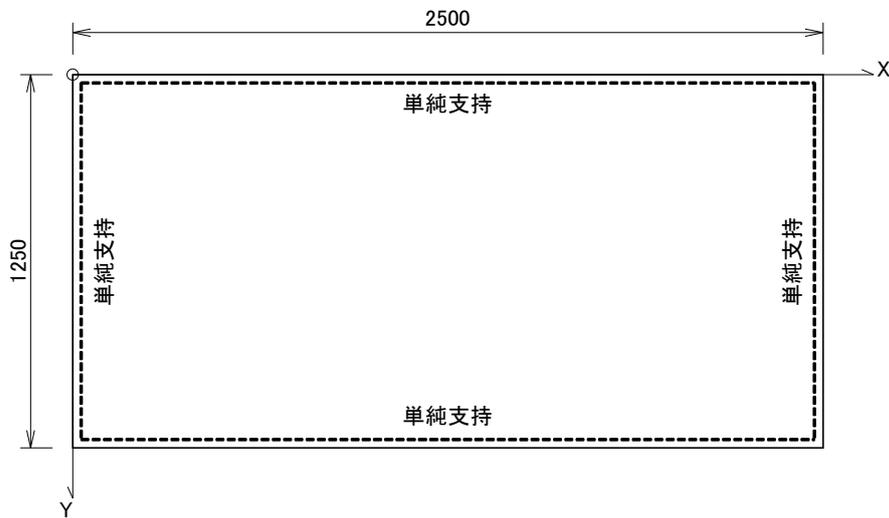


図-1 構造寸法

厚さ 0.3000 (m)

## 1.3 使用材料

使用材料 : コンクリート  $\sigma_{ck}=21$  (N/mm<sup>2</sup>)  
ヤング係数 : 23500 (N/mm<sup>2</sup>)  
ポアソン比 : 0.167

## 1.4 荷重

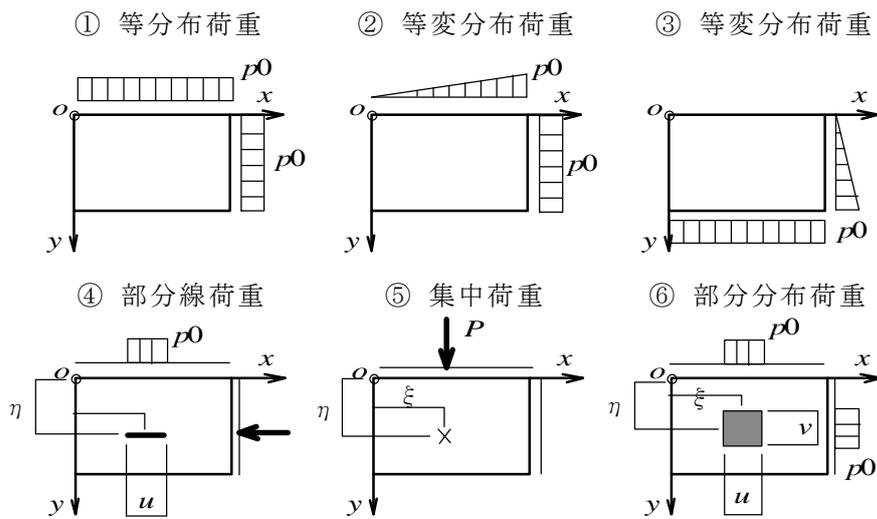


図-2 構造寸法

	荷重	$p_0$ (kN, kN/mm <sup>2</sup> )	$u$ (m)	$v$ (m)	$\eta$ (m)	$\xi$ (m)
1	①等分布荷重	7.350				
2	②等変分布荷重(x)	28.600				
3	⑥部分分布荷重	5.000	1.250	1.125	0.500	0.200

## 2 計算式

### 2.1 記号説明

D : 板の曲げ剛性 (kN/m)

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \times (1 - \nu^2)} = \frac{23500000 \times 0.300^3}{12 \times (1 - 0.167^2)} = 54385.71 \text{ (kN/m)}$$

E : ヤング係数 23500000 (kN/mm<sup>2</sup>)

h : 板厚 0.300 (m)

$\nu$  : ポアソン比 0.167

$$\alpha_m = m \cdot \pi / a, \quad \beta_n = n \cdot \pi / b, \quad \lambda = b/a$$

### 2.2 たわみ w

$$w = \frac{a^4 \lambda^4}{D \pi^4} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_{mn}}{(\lambda^2 m^2 + n^2)^2} \cdot \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y$$

$$+ \sum_{m=1}^{\infty} (A_m \cdot \cosh \alpha_m y + B_m \alpha_m y \cdot \sinh \alpha_m y + C_m \cdot \sinh \alpha_m y + D_m \alpha_m y \cdot \cosh \alpha_m y) \cdot \sinh \alpha_m x$$

### 2.3 曲げモーメント M<sub>x</sub>

$$M_x = \frac{a^2 \lambda^2}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\lambda^2 m^2 + \nu n^2) a_{mn}}{(\lambda^2 m^2 + n^2)^2} \cdot \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y + \frac{D \pi^2}{a^2} \sum_{m=1}^{\infty} \{ m^2 [(1 - \nu) A_m - 2 \nu B_m] \cosh \alpha_m y$$

$$+ m^2 [(1 - \nu) C_m - 2 \nu D_m] \cdot \sinh \alpha_m y + m^2 (1 - \nu) B_m \alpha_m y \cdot \sinh \alpha_m y$$

$$+ m^2 (1 - \nu) D_m \alpha_m y \cdot \cosh \alpha_m y \} \cdot \sin \alpha_m x$$

### 2.4 曲げモーメント M<sub>y</sub>

$$M_y = \frac{a^2 \lambda^2}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\nu \lambda^2 m^2 + n^2) a_{mn}}{(\lambda^2 m^2 + n^2)^2} \cdot \sin \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y - \frac{D \pi^2}{a^2} \sum_{m=1}^{\infty} \{ m^2 [(1 - \nu) A_m + 2 B_m] \cosh \alpha_m y$$

$$+ m^2 [(1 - \nu) C_m + 2 D_m] \cdot \sinh \alpha_m y + m^2 (1 - \nu) B_m \alpha_m y \cdot \sinh \alpha_m y$$

$$+ m^2 (1 - \nu) D_m \alpha_m y \cdot \cosh \alpha_m y \} \cdot \sin \alpha_m x$$

### 2.5 せん断力 Q<sub>x</sub>

$$Q_x = \frac{a \lambda^2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m \cdot a_{mn}}{\lambda^2 m^2 + n^2} \cdot \cos \alpha_m x \cdot \sin \beta_n y - \frac{\pi^3 D}{a^3} \sum_{m=1}^{\infty} [2 m^3 B_m \cdot \cosh \alpha_m y + 2 m^3 D_m \cdot \sinh \alpha_m y] \cdot \cos \alpha_m x$$

### 2.6 せん断力 Q<sub>y</sub>

$$Q_y = \frac{a \lambda}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \cdot a_{mn}}{\lambda^2 m^2 + n^2} \cdot \sin \alpha_m x \cdot \cos \beta_n y - \frac{\pi^3 D}{a^3} \sum_{m=1}^{\infty} [2 m^3 B_m \cdot \sinh \alpha_m y + 2 m^3 D_m \cdot \cosh \alpha_m y] \cdot \sin \alpha_m x$$

ここで、

$$a_{mn} = \frac{8p_0}{\pi b m n} \cdot \sin \frac{m\pi u}{2a} \cdot \sin \frac{m\pi \xi}{a} \cdot \sin \frac{n\pi \eta}{b}, \quad m=1,2,3,\dots, n=1,2,3,\dots$$

$a_{mn}$  : 荷重に対する複正弦級数展開係数

等分布荷重

$$a_{mn} = \frac{16p_0}{\pi^2 m n}, \quad m=1,3,5,\dots, n=1,3,5,\dots$$

等変分布荷重

$$a_{mn} = \frac{8p_0}{\pi^2 m n} (-1)^{m-1}, \quad m=1,2,3,\dots, n=1,3,5,\dots$$

等変分布荷重

$$a_{mn} = \frac{8p_0}{\pi^2 m n} (-1)^{n-1}, \quad m=1,3,5,\dots, n=1,2,3,\dots$$

部分線荷重

$$a_{mn} = \frac{8p_0}{\pi b m n} \cdot \sin \frac{m\pi u}{2a} \cdot \sin \frac{m\pi \xi}{a} \cdot \sin \frac{n\pi \eta}{b}, \quad m=1,2,3,\dots, n=1,2,3,\dots$$

集中荷重

$$a_{mn} = \frac{4P}{ab} \cdot \sin \frac{m\pi \xi}{a} \cdot \sin \frac{n\pi \eta}{b}, \quad m=1,2,3,\dots, n=1,2,3,\dots$$

部分分布荷重

$$a_{mn} = \frac{16p_0}{\pi^2 m n} \cdot \sin \frac{m\pi u}{2a} \cdot \sin \frac{m\pi \xi}{a} \cdot \sin \frac{n\pi v}{2b} \cdot \sin \frac{n\pi \eta}{b}, \quad m=1,2,3,\dots, n=1,2,3,\dots$$

### 3 最大たわみおよび最大断面力

		たわみ 断面力	位 置	
			x (m)	y (m)
最大たわみ W	(mm)	0.011	1.484	0.625
最大曲げモーメント M <sub>x</sub>	(kNm)	1.808	1.973	0.625
	(kNm)	0.000	0.000	0.000
最大曲げモーメント M <sub>y</sub>	(kNm)	3.617	1.509	0.625
	(kNm)	0.000	0.000	0.000
最大せん断力 Q <sub>x</sub>	(kN)	5.667	0.000	0.625
	(kN)	-13.757	2.500	0.625
最大せん断力 Q <sub>y</sub>	(kN)	14.443	1.812	0.000
	(kN)	-14.443	1.812	1.250

#### 4 板各部のたわみおよび断面力

##### 4.1 たわみ $w$

(単位 : mm)

		x (m)								
		0.000	0.313	0.625	0.938	1.250	1.563	1.875	2.188	2.500
y (m)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.156	0.000	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.002	0.000
	0.313	0.000	0.003	0.005	0.006	0.007	0.007	0.007	0.004	0.000
	0.469	0.000	0.003	0.006	0.008	0.009	0.010	0.009	0.005	0.000
	0.625	0.000	0.004	0.007	0.009	0.010	0.010	0.009	0.006	0.000
	0.781	0.000	0.003	0.006	0.008	0.009	0.010	0.009	0.005	0.000
	0.938	0.000	0.003	0.005	0.006	0.007	0.007	0.007	0.004	0.000
	1.094	0.000	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.002	0.000
	1.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

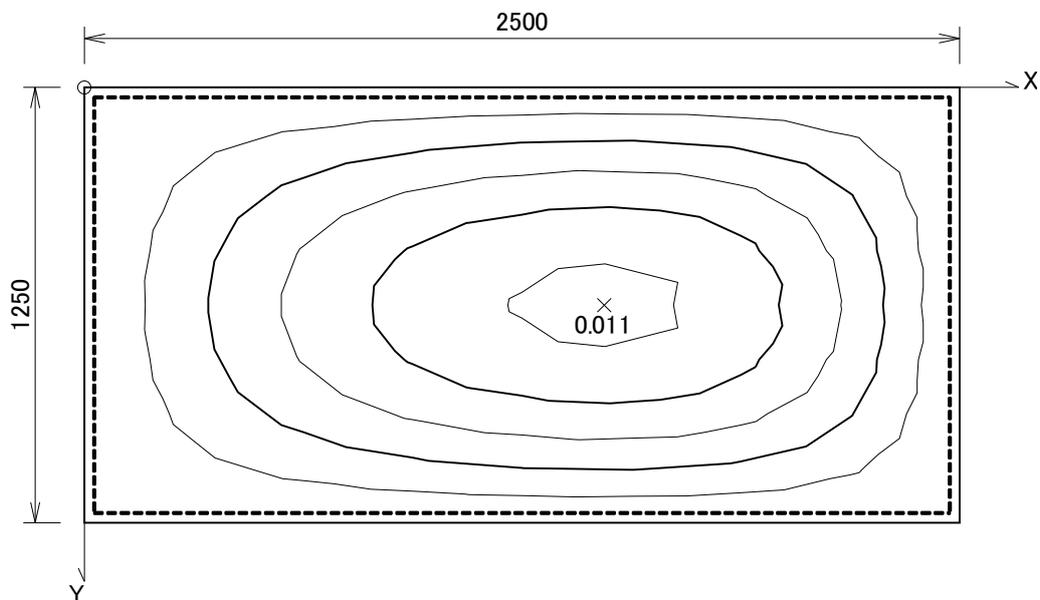


図-3 たわみ図

## 4.2 曲げモーメント $M_x$

(単位 : kNm/m)

		x (m)								
		0.000	0.313	0.625	0.938	1.250	1.563	1.875	2.188	2.500
y (m)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.156	0.000	0.234	0.345	0.391	0.472	0.602	0.744	0.701	0.000
	0.313	0.000	0.406	0.606	0.689	0.832	1.064	1.311	1.210	0.000
	0.469	0.000	0.510	0.767	0.875	1.058	1.355	1.663	1.511	0.000
	0.625	0.000	0.545	0.821	0.939	1.135	1.454	1.782	1.611	0.000
	0.781	0.000	0.510	0.767	0.875	1.058	1.355	1.663	1.511	0.000
	0.938	0.000	0.406	0.606	0.689	0.832	1.064	1.311	1.210	0.000
	1.094	0.000	0.234	0.345	0.391	0.472	0.602	0.744	0.701	0.000
	1.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

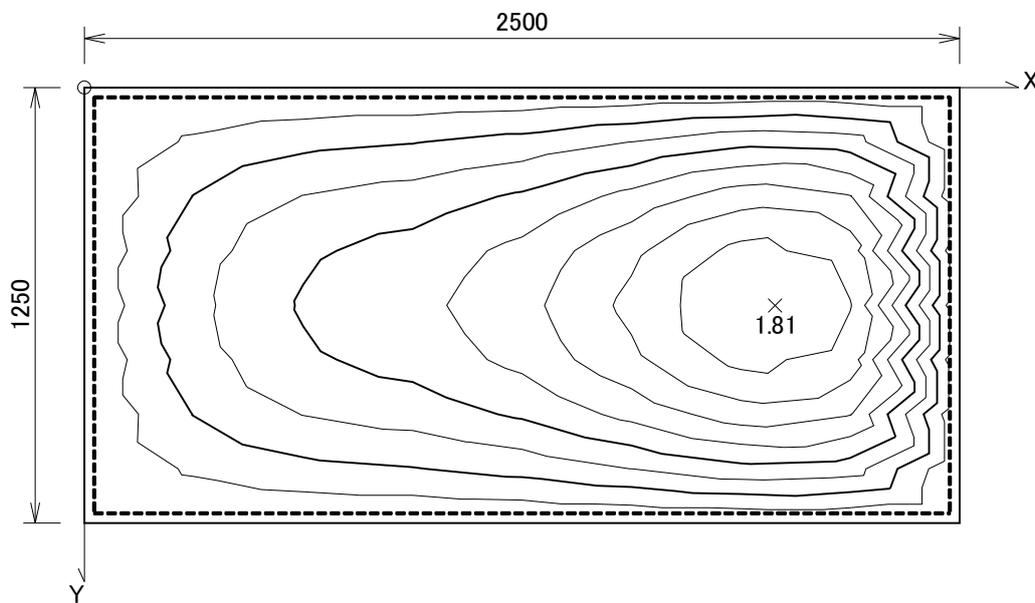


図-4 曲げモーメント  $M_x$ 図

### 4.3 曲げモーメント $M_y$

(単位 : kNm/m)

		x (m)								
		0.000	0.313	0.625	0.938	1.250	1.563	1.875	2.188	2.500
y (m)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.156	0.000	0.581	1.026	1.344	1.561	1.654	1.540	1.062	0.000
	0.313	0.000	0.959	1.728	2.276	2.638	2.767	2.519	1.650	0.000
	0.469	0.000	1.173	2.130	2.821	3.266	3.404	3.052	1.947	0.000
	0.625	0.000	1.241	2.261	3.000	3.472	3.610	3.222	2.038	0.000
	0.781	0.000	1.173	2.130	2.821	3.266	3.404	3.052	1.947	0.000
	0.938	0.000	0.959	1.728	2.276	2.638	2.767	2.519	1.650	0.000
	1.094	0.000	0.581	1.026	1.344	1.561	1.654	1.540	1.062	0.000
	1.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

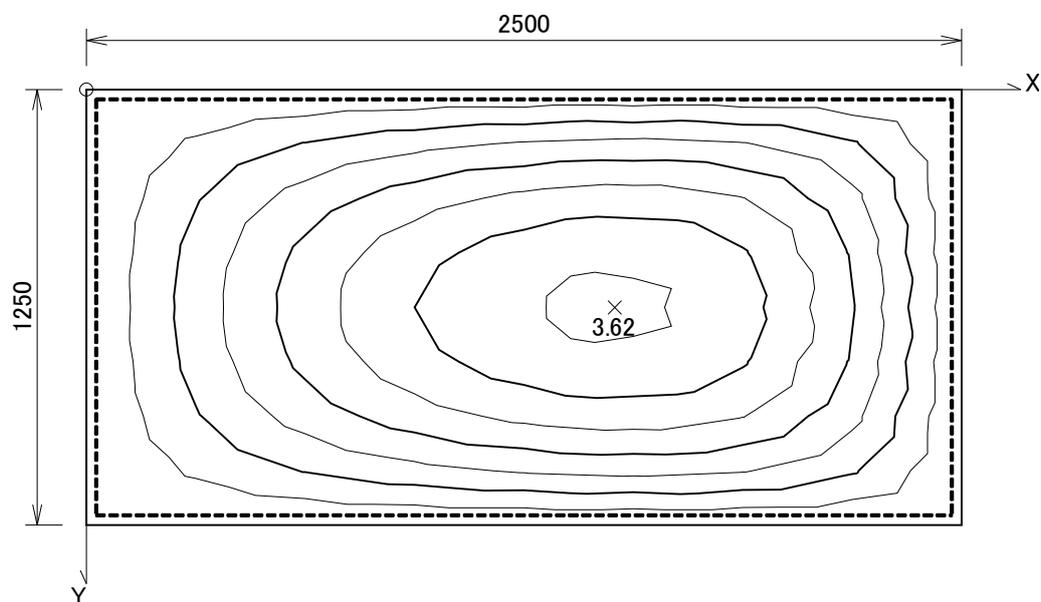


図-5 曲げモーメント  $M_y$ 図

#### 4.4 せん断力 $Q_x$

(単位 : kN/m)

		x (m)								
		0.000	0.313	0.625	0.938	1.250	1.563	1.875	2.188	2.500
y (m)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.156	2.802	1.811	1.217	0.853	0.757	0.479	-0.522	-2.643	-7.570
	0.313	4.450	3.134	2.128	1.479	1.252	0.712	-1.056	-4.684	-11.290
	0.469	5.370	3.920	2.686	1.865	1.535	0.804	-1.442	-5.919	-13.174
	0.625	5.667	4.180	2.873	1.996	1.627	0.826	-1.581	-6.327	-13.757
	0.781	5.370	3.920	2.686	1.865	1.535	0.804	-1.442	-5.919	-13.174
	0.938	4.450	3.134	2.128	1.479	1.252	0.712	-1.056	-4.684	-11.290
	1.094	2.802	1.811	1.217	0.853	0.757	0.479	-0.522	-2.643	-7.570
	1.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

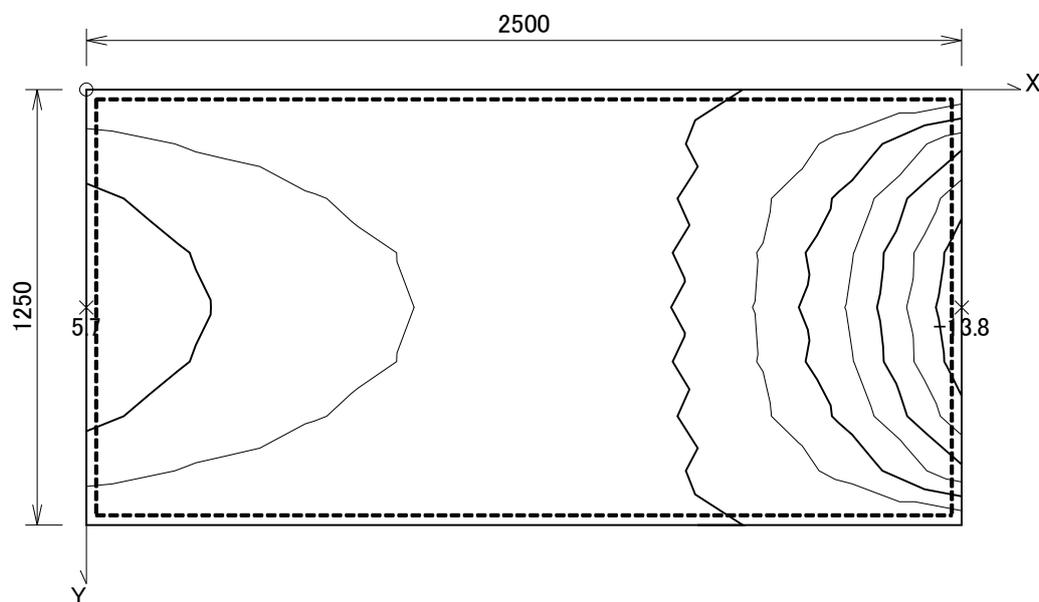


図-6 せん断力  $Q_x$  図

#### 4.5 せん断力 $Q_y$

(単位 : kN/m)

		x (m)								
		0.000	0.313	0.625	0.938	1.250	1.563	1.875	2.188	2.500
y (m)	0.000	0.000	5.148	8.473	10.688	12.542	14.004	14.353	11.515	0.000
	0.156	0.000	3.723	6.418	8.154	9.535	10.511	10.472	7.695	0.000
	0.313	0.000	2.357	4.159	5.370	6.272	6.835	6.598	4.539	0.000
	0.469	0.000	1.137	2.034	2.653	3.099	3.349	3.166	2.095	0.000
	0.625	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.781	0.000	-1.137	-2.034	-2.653	-3.099	-3.349	-3.166	-2.095	0.000
	0.938	0.000	-2.357	-4.159	-5.370	-6.272	-6.835	-6.598	-4.539	0.000
	1.094	0.000	-3.723	-6.418	-8.154	-9.535	-10.511	-10.472	-7.695	0.000
	1.250	0.000	-5.148	-8.473	-10.688	-12.542	-14.004	-14.353	-11.515	0.000

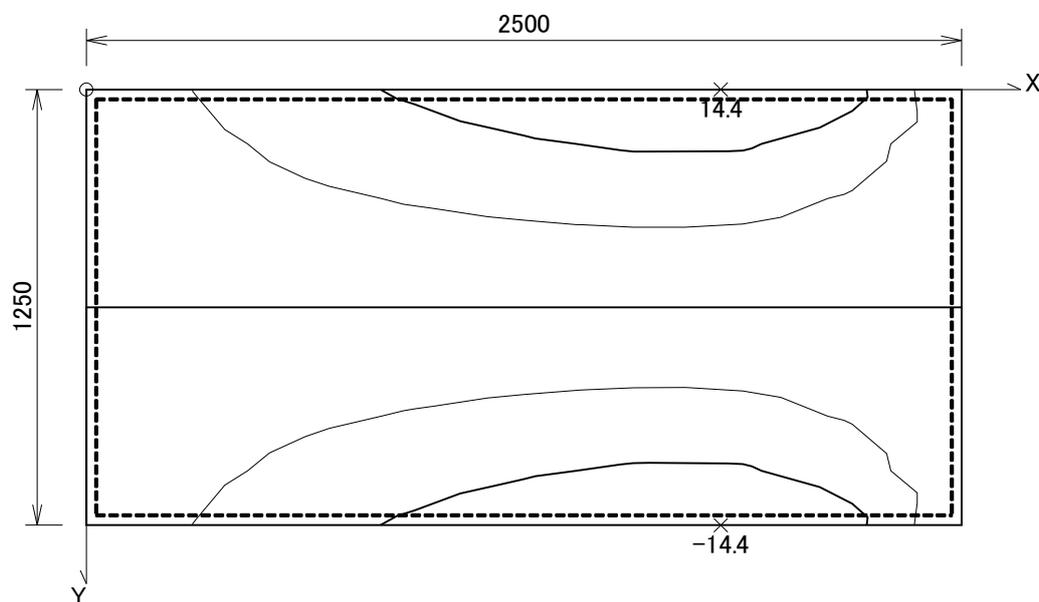


図-7 せん断力  $Q_y$ 図

## 5 断面設計

### 5.1 計算式

#### 5.1.1 曲げ応力度

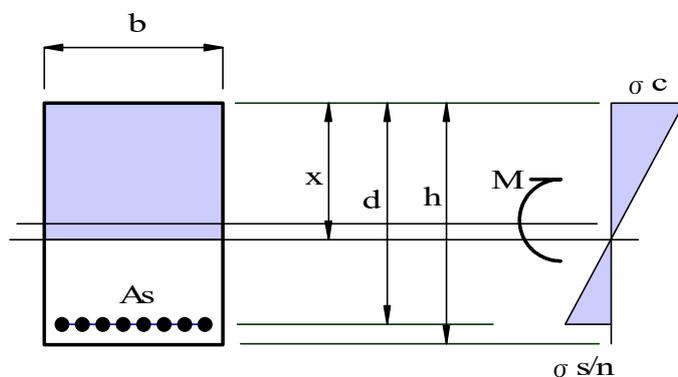


図-8 曲げモーメントが作用する単鉄筋RC断面の応力度

曲げモーメントのみが作用する単鉄筋RC断面の応力度は次式によって求める(図-8参照)。

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$x = k \cdot d$$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

- ここで、 $\sigma_c$ : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_s$ : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $x$ : 圧縮縁から中立軸までの距離 (mm)  
 $M$ : 断面に作用する曲げモーメント (N・mm)  
 $b$ : 断面の幅 (mm)  
 $d$ : 有効高。圧縮縁から引張鉄筋図心までの距離 (mm)  
 $A_s$ : 引張鉄筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $n$ : コンクリートと鉄筋のヤング係数比  $n=15$ とする。

### 5.1.2 せん断応力度

RC断面に生じるせん断応力度は次式によって求める。

$$\tau_m = \frac{S}{b \cdot d} \leq \tau_{a1}$$

ここで、 $\tau_m$ ：平均せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

S：設計せん断力 (N)

b：部材幅 (mm)

d：部材の有効高さ (mm)

$\tau_{a1}$ ：コンクリートのみでせん断力を負担する場合の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## 5.2 曲げ応力度の計算

### 5.2.1 曲げ応力度一覧表

			X方向		Y方向	
			$M_{max}$	$M_{min}$	$M_{max}$	$M_{min}$
引 張 側			下面側	上面側	下面側	上面側
位 置	X	(m)	1.973	0.000	1.509	0.000
	Y	(m)	0.625	0.000	0.625	0.000
曲げモーメント	M	(kNm)	1.808		3.617	
部材幅	B	(m)	1.000	1.000	1.000	1.000
部材高	H	(m)	0.300	0.300	0.300	0.300
有効高	d	(m)	0.230	0.230	0.230	0.230
ヤング係数比	n		15.0	15.0	15.0	15.0
必要鉄筋量	$A_{sreq}$	( $mm^2$ )	45.8		92.6	
鉄筋量	$A_s$	(mm <sup>2</sup> )	D10-ctc250	D10-ctc250	D10-ctc250	D10-ctc250
			285.32	285.32	285.32	285.32
引張鉄筋比	$n_p$		0.019	0.019	0.019	0.019
中立軸比	k		0.175		0.175	
中立軸	x	(m)	40.296		40.296	
圧縮応力度	$\sigma_c$	( $N/mm^2$ )	0.41		0.83	
許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca}$	( $N/mm^2$ )	7.00	7.00	7.00	7.00
鉄筋引張応力度	$\sigma_s$	( $N/mm^2$ )	29.3		58.5	
許容引張応力度	$\sigma_{sa}$	( $N/mm^2$ )	176.0	176.0	176.0	176.0
判 定			OK	OK	OK	OK

### 5.2.2 Mx最大断面

断面力および断面寸法

M: 曲げモーメント	1.808 × 10 <sup>6</sup> (Nmm)
b: 部材幅	1000.0 (mm)
d: 有効高	230.0 (mm)
A <sub>s</sub> : 引張鉄筋量	285.32 (mm <sup>2</sup> ) (D10-ctc250)

$$np = 15 \times \frac{285.32}{1000.0 \times 230.0} = 0.0186$$

圧縮縁から中立軸までの距離 x

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$= \sqrt{2 \times 0.0186 + 0.0186^2} - 0.0186 = 0.175$$

$$x = k \cdot d = 0.175 \times 230.0 = 40.3 \text{ (mm)}$$

コンクリートの圧縮応力度  $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{2 \times 1.808 \times 10^6}{1000.0 \times 40.3 \times (230.0 - 40.3/3)}$$

$$= 0.41 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 7.00 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

鉄筋の引張応力度  $\sigma_s$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{1.808 \times 10^6}{285.3 \times (230.0 - 40.3/3)}$$

$$= 29.3 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 176.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

### 5.2.3 My最大断面

断面力および断面寸法

M: 曲げモーメント	3.617×10 <sup>6</sup> (Nmm)
b: 部材幅	1000.0 (mm)
d: 有効高	230.0 (mm)
A <sub>s</sub> : 引張鉄筋量	285.32 (mm <sup>2</sup> ) (D10-ctc250)

$$np = 15 \times \frac{285.32}{1000.0 \times 230.0} = 0.0186$$

圧縮縁から中立軸までの距離 x

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$= \sqrt{2 \times 0.0186 + 0.0186^2} - 0.0186 = 0.175$$

$$x = k \cdot d = 0.175 \times 230.0 = 40.3 \text{ (mm)}$$

コンクリートの圧縮応力度  $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{2 \times 3.617 \times 10^6}{1000.0 \times 40.3 \times (230.0 - 40.3/3)}$$

$$= 0.83 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 7.00 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

鉄筋の引張応力度  $\sigma_s$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{3.617 \times 10^6}{285.3 \times (230.0 - 40.3/3)}$$

$$= 58.5 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 176.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

### 5.3 せん断応力度の計算

#### 5.3.1 せん断応力度一覧表

			X方向		Y方向	
			Q <sub>max</sub>	Q <sub>min</sub>	Q <sub>max</sub>	Q <sub>min</sub>
位 置	X	(m)	0.000	2.500	1.812	1.812
	Y	(m)	0.625	0.625	0.000	1.250
曲げモーメント	M	(kNm)	0.000	0.000	0.000	0.000
せん断力	Q	(kN)	5.667	-13.757	14.443	-14.443
部材幅	B	(m)	1.000	1.000	1.000	1.000
部材高	H	(m)	0.300	0.300	0.300	0.300
有効高	d	(m)	0.230	0.230	0.230	0.230
平均せん断応力度	τ <sub>m</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	0.02	0.06	0.06	0.06
許容せん断応力度	τ <sub>a1</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	0.36	0.36	0.36	0.36
判 定			OK	OK	OK	OK

#### 5.3.2 Q<sub>x</sub>最大断面

断面力および断面寸法

$$\begin{aligned}
 S : \text{設計せん断力} &= 5.667 \times 10^3 \text{ (N)} \\
 M : \text{曲げモーメント} &= 0.000 \times 10^6 \text{ (Nmm)} \\
 b : \text{部材幅} &= 1000.0 \text{ (mm)} \\
 d : \text{部材の有効高さ} &= 230.0 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

せん断応力度 τ<sub>m</sub>

$$\begin{aligned}
 \tau_m &= \frac{S}{b \cdot d} = \frac{5.667 \times 10^3}{1000.0 \times 230.0} \\
 &= 0.02 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 0.36 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

#### 5.3.3 Q<sub>x</sub>最小断面

断面力および断面寸法

$$\begin{aligned}
 S : \text{設計せん断力} &= -13.757 \times 10^3 \text{ (N)} \\
 M : \text{曲げモーメント} &= 0.000 \times 10^6 \text{ (Nmm)} \\
 b : \text{部材幅} &= 1000.0 \text{ (mm)} \\
 d : \text{部材の有効高さ} &= 230.0 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

せん断応力度 τ<sub>m</sub>

$$\begin{aligned}
 \tau_m &= \frac{S}{b \cdot d} = \frac{-13.757 \times 10^3}{1000.0 \times 230.0} \\
 &= 0.06 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 0.36 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}
 \end{aligned}$$

#### 5.3.4 Qy最大断面

断面力および断面寸法

S : 設計せん断力	14.443 × 10 <sup>3</sup> (N)
M : 曲げモーメント	0.000 × 10 <sup>6</sup> (Nmm)
b : 部材幅	1000.0 (mm)
d : 部材の有効高さ	230.0 (mm)

せん断応力度  $\tau_m$

$$\tau_m = \frac{S}{b \cdot d} = \frac{14.443 \times 10^3}{1000.0 \times 230.0}$$
$$= 0.06 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 0.36 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

#### 5.3.5 Qy最小断面

断面力および断面寸法

S : 設計せん断力	-14.443 × 10 <sup>3</sup> (N)
M : 曲げモーメント	0.000 × 10 <sup>6</sup> (Nmm)
b : 部材幅	1000.0 (mm)
d : 部材の有効高さ	230.0 (mm)

せん断応力度  $\tau_m$

$$\tau_m = \frac{S}{b \cdot d} = \frac{-14.443 \times 10^3}{1000.0 \times 230.0}$$
$$= 0.06 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 0.36 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

## 目 次

1	設計条件	2
1.1	解析方法	2
1.2	寸法および支持条件	2
1.3	使用材料	2
1.4	荷重	3
2	有限要素法	4
2.1	要素分割	4
2.2	計算式	4
3	最大たわみおよび最大断面力	6
4	板各部のたわみおよび断面力	7
4.1	たわみ $w$	7
4.2	曲げモーメント $M_x$	8
4.3	曲げモーメント $M_y$	9
5	断面設計	10
5.1	計算式	10
5.1.1	曲げ応力度	10
5.1.2	せん断応力度	11
5.2	曲げ応力度の計算	12
5.2.1	曲げ応力度一覧表	12
5.2.2	$M_x$ 最大断面	13
5.2.3	$M_x$ 最小断面	14
5.2.4	$M_y$ 最大断面	15
5.2.5	$M_y$ 最小断面	16

# 1 設計条件

## 1.1 解析方法

有限要素法

## 1.2 寸法および支持条件

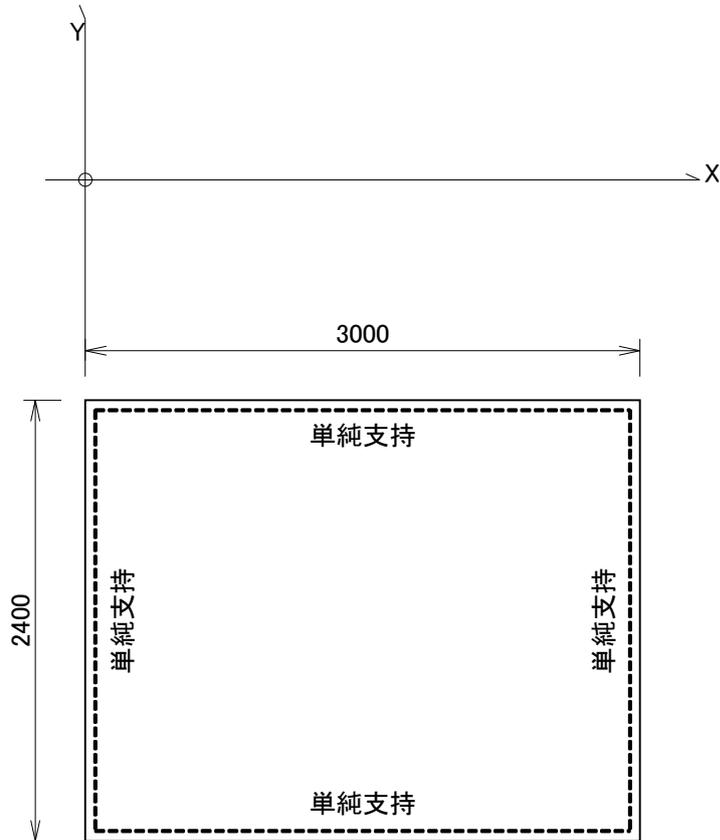


図-1 構造寸法

厚さ 0.3000 (m)

## 1.3 使用材料

使用材料 : コンクリート  $\sigma_{ck}=24$  (N/mm<sup>2</sup>)

ヤング係数 : 25000 (N/mm<sup>2</sup>)

ポアソン比 : 0.167

## 1.4 荷重

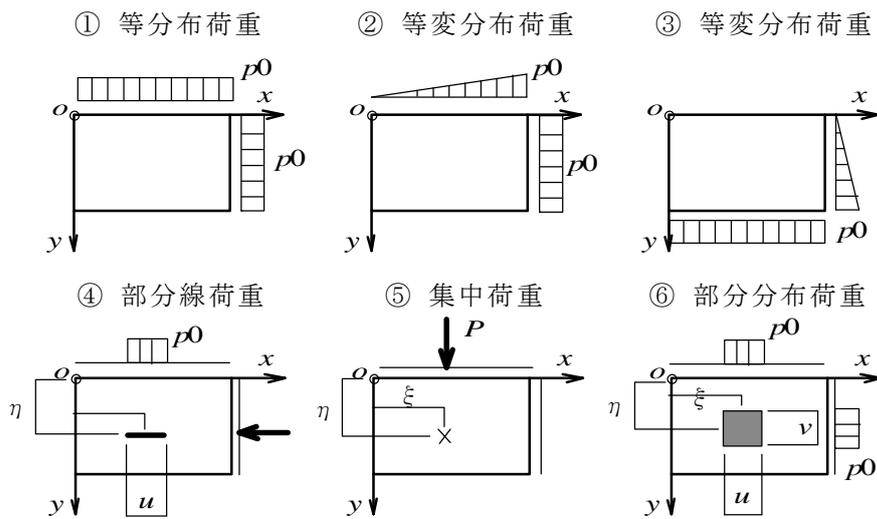


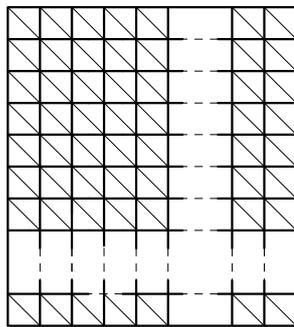
図-2 構造寸法

	荷重	$p_0$ (kN, kN/mm <sup>2</sup> )	$u$ (m)	$v$ (m)	$\eta$ (m)	$\xi$ (m)
1	①等分布荷重	23.000				
2	⑤集中荷重	6.800	----	----	1.200	1.500

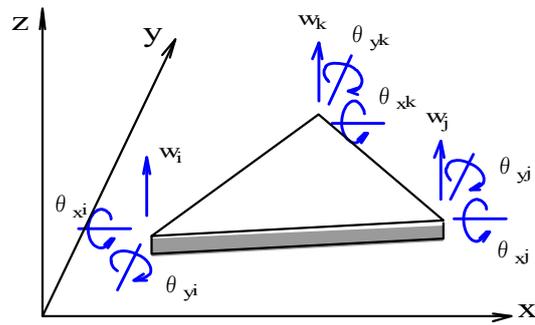
## 2 有限要素法

### 2.1 要素分割

板を(a)図のように多数の三角形要素に分割する。各要素は(b)図のようなものである。



(a) 要素分割



(b) 三角形板曲げ要素

### 2.2 計算式

各節点に作用する荷重と節点変位の関係を(1)式のように整理し、これを解いて節点変位を求める。

$$\begin{Bmatrix} F_{zi} \\ M_{xi} \\ M_{yi} \\ F_{zj} \\ M_{xj} \\ M_{yj} \\ F_{zk} \\ M_{xk} \\ M_{yk} \end{Bmatrix} = [K] \begin{Bmatrix} w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ w_j \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \\ w_k \\ \theta_{xk} \\ \theta_{yk} \end{Bmatrix} = \mathbf{T}^T \cdot \boldsymbol{\beta}^T \cdot \boldsymbol{\alpha}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \boldsymbol{\alpha} \cdot \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{T} \cdot \begin{Bmatrix} w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \\ w_j \\ \theta_{xj} \\ \theta_{yj} \\ w_k \\ \theta_{xk} \\ \theta_{yk} \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots(1)$$

(1)式で使用するP,  $\beta$ ,  $\alpha$ およびTの各マトリックスは要素ごとに式(2)~(5)で求める。

$$\mathbf{P} = \frac{Et^3 A}{144(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 & 2\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & \nu & 2\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 2 & \nu & \nu & 2\nu & 0 & 0 & 0 \\ \hline 2\nu & \nu & \nu & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 2\nu & \nu & 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 2\nu & 1 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-\nu & \frac{1-\nu}{2} & \frac{1-\nu}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} & 1-\nu & \frac{1-\nu}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} & \frac{1-\nu}{2} & 1-\nu \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} b_j & a_j & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -b_k & -a_k & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_k & a_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -b_i & -a_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_i & a_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -b_j & -a_j \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\alpha = \frac{1}{4A^2} \begin{bmatrix} b_k(4b_i + b_j) & b_j(4b_i + b_k) & b_j(2b_j + b_k) \\ b_i b_k & b_i(2b_i + b_k) & b_i(4b_j + b_k) \\ b_i(2b_i + b_j) & b_i b_j & b_j b_i \\ a_k(4a_i + a_j) & a_j(4a_i + a_k) & a_j(2a_j + a_k) \\ a_i a_k & a_i(2a_i + a_k) & a_i(4a_j + a_k) \\ a_i(2a_i + a_j) & a_i a_j & a_j a_i \\ a_k(4b_i + b_j) + b_k(4a_i + a_j) & a_j(4b_i + b_k) + b_j(4a_i + a_k) & b_k b_j + b_j(4a_j + a_k) \\ b_i a_k + b_k a_i & a_i(4b_i + b_k) + b_i a_k & a_i(4b_j + b_k) + b_i(4a_j + a_k) \\ a_i(2b_i + b_j) + b_i a_j & b_i a_j + b_j a_i & b_j a_i + b_i a_j \\ b_i b_k & b_k b_j & b_k(2b_k + b_j) \\ b_k(4b_j + b_i) & b_k(2b_k + b_i) & b_k b_i \\ b_j(2b_j + b_i) & b_j(4b_k + b_i) & b_i(4b_k + b_j) \\ a_i a_k & a_i a_j & a_k(2a_k + a_j) \\ a_k(4a_j + a_i) & a_k(2a_k + a_i) & a_k a_i \\ a_j(2a_j + a_i) & a_j(4a_k + a_i) & a_i(4a_k + a_j) \\ b_j a_k + b_k a_i & 4b_k a_j + b_j a_k & a_k(4b_k + b_j) + b_k a_j \\ a_k(4b_j + b_i) + b_k(4a_j + a_i) & b_k(4a_k + a_i) + b_i a_k & b_k a_i + b_j a_k \\ a_j(4b_j + b_i) + b_j a_i & a_j(4b_k + b_i) + b_j(4a_k + a_i) & a_i(4b_k + b_j) + b_i(4a_k + a_j) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

$$\mathbf{T} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} -a_i & 2A & 0 & -a_j & 0 & 0 & -a_k & 0 & 0 \\ b_i & 0 & 2A & b_j & 0 & 0 & b_k & 0 & 0 \\ -a_i & 0 & 0 & -a_j & 2A & 0 & -a_k & 0 & 0 \\ b_i & 0 & 0 & b_j & 0 & 2A & b_k & 0 & 0 \\ -a_i & 0 & 0 & -a_j & 0 & 0 & -a_k & 2A & 0 \\ b_i & 0 & 0 & b_j & 0 & 0 & b_k & 0 & 2A \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、A : 要素の面積

E : ヤング係数 25000000 (kN/m<sup>2</sup>)

t : 要素の厚さ 0.300 (m)

ν : ポアソン比 0.167

$$a_i = x_k - x_j, \quad a_j = x_i - x_k, \quad a_k = x_j - x_i$$

$$b_i = y_j - y_k, \quad b_j = y_k - y_i, \quad b_k = y_i - y_j$$

### 3 最大たわみおよび最大断面力

		たわみ 断面力	位 置	
			x (m)	y (m)
最大たわみ W	(mm)	0.089	0.000	0.000
最大曲げモーメント M <sub>x</sub>	(kNm)	8.716	0.000	0.000
	(kNm)	-0.062	-0.063	-1.200
最大曲げモーメント M <sub>y</sub>	(kNm)	11.673	0.000	0.000
	(kNm)	-0.072	-1.500	-0.050

## 4 板各部のたわみおよび断面力

### 4.1 たわみ $w$

(単位 : mm)

		x (m)								
		0.000	0.375	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000
y (m)	-1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	-0.900	0.000	0.014	0.025	0.032	0.034	0.032	0.025	0.014	0.000
	-0.600	0.000	0.025	0.046	0.059	0.063	0.059	0.046	0.025	0.000
	-0.300	0.000	0.033	0.059	0.076	0.082	0.076	0.059	0.033	0.000
	0.000	0.000	0.035	0.064	0.082	0.089	0.082	0.064	0.035	0.000
	0.300	0.000	0.033	0.059	0.076	0.082	0.076	0.059	0.033	0.000
	0.600	0.000	0.025	0.046	0.059	0.063	0.059	0.046	0.025	0.000
	0.900	0.000	0.014	0.025	0.032	0.034	0.032	0.025	0.014	0.000
	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

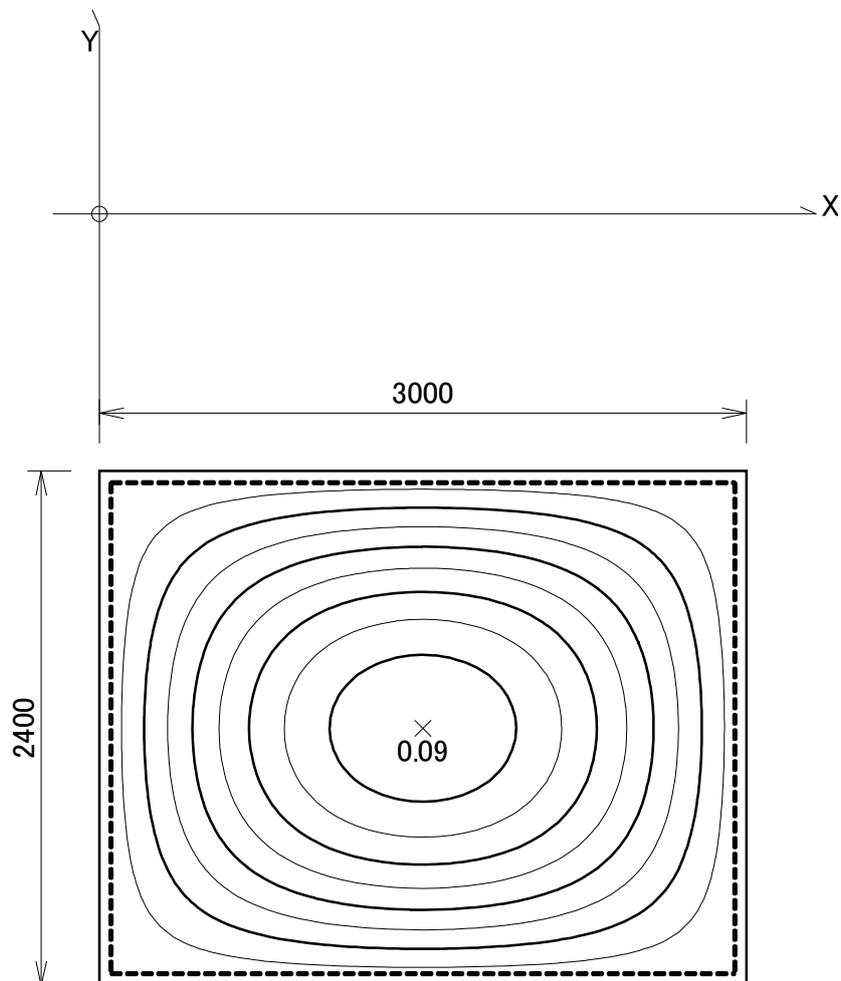


図-3 たわみ図

## 4.2 曲げモーメント $M_x$

(単位 : kNm/m)

		x (m)								
		0.000	0.375	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000
y (m)	-1.200	0.000	-0.033	-0.051	-0.060	-0.062	-0.058	-0.046	-0.025	0.000
	-0.900	0.000	1.592	2.204	2.507	2.622	2.509	2.209	1.599	0.000
	-0.600	0.000	2.683	3.856	4.476	4.757	4.477	3.861	2.685	0.000
	-0.300	0.000	3.298	4.843	5.717	6.374	5.722	4.846	3.299	0.000
	0.000	0.000	3.496	5.162	6.087	8.716	6.087	5.162	3.496	0.000
	0.300	0.000	3.299	4.846	5.722	6.374	5.717	4.843	3.298	0.000
	0.600	0.000	2.685	3.861	4.477	4.757	4.476	3.856	2.683	0.000
	0.900	0.000	1.599	2.209	2.509	2.622	2.507	2.204	1.592	0.000
	1.200	0.000	-0.025	-0.046	-0.058	-0.062	-0.060	-0.051	-0.033	0.000

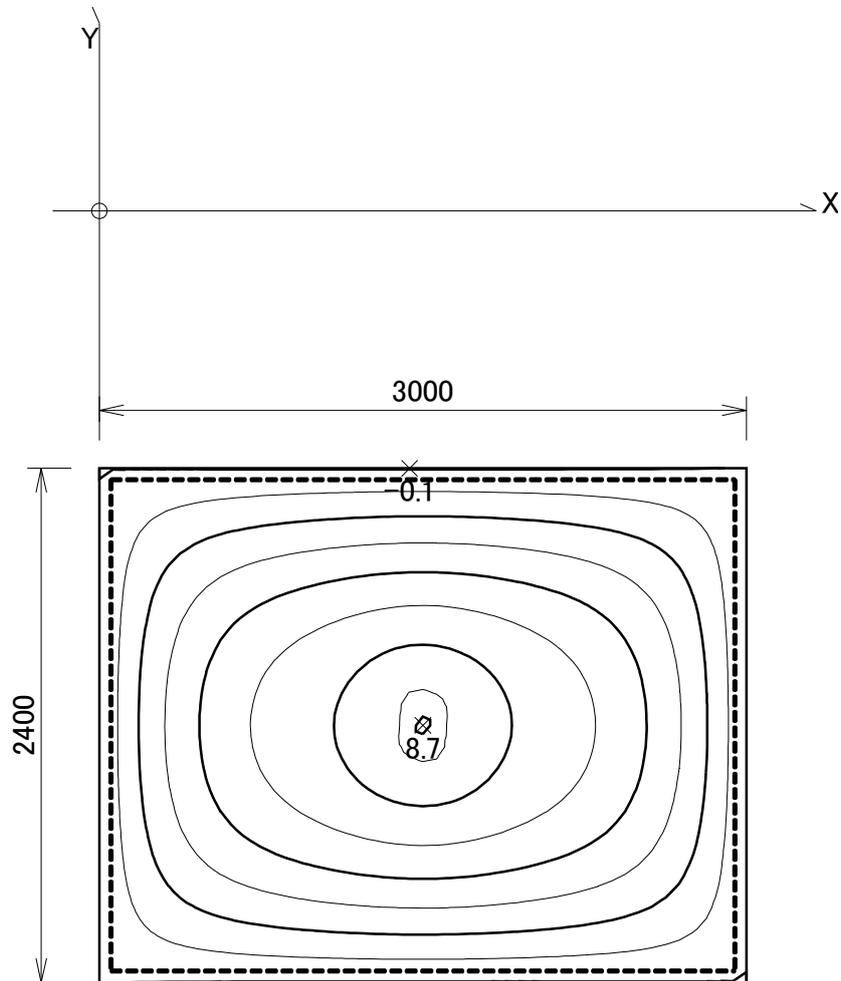


図-4 曲げモーメント  $M_x$ 図

### 4.3 曲げモーメント $M_y$

(単位 : kNm/m)

		x (m)								
		0.000	0.375	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000
y (m)	-1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	-0.900	-0.042	1.995	3.284	3.989	4.205	3.991	3.289	2.003	-0.033
	-0.600	-0.061	3.034	5.234	6.513	6.898	6.516	5.238	3.039	-0.055
	-0.300	-0.070	3.576	6.323	8.081	8.617	8.085	6.325	3.579	-0.067
	0.000	-0.072	3.751	6.694	8.775	11.673	8.775	6.694	3.751	-0.072
	0.300	-0.067	3.579	6.325	8.085	8.617	8.081	6.323	3.576	-0.070
	0.600	-0.055	3.039	5.238	6.516	6.898	6.513	5.234	3.034	-0.061
	0.900	-0.033	2.003	3.289	3.991	4.205	3.989	3.284	1.995	-0.042
	1.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

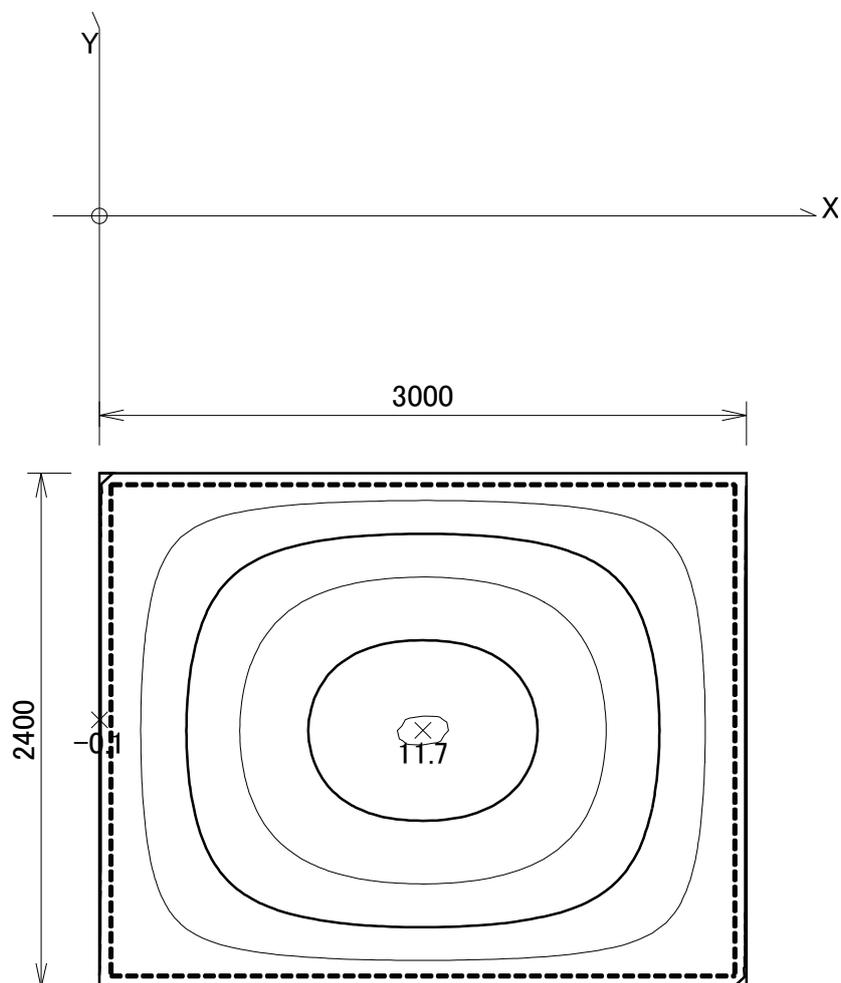


図-5 曲げモーメント  $M_y$ 図

## 5 断面設計

### 5.1 計算式

#### 5.1.1 曲げ応力度

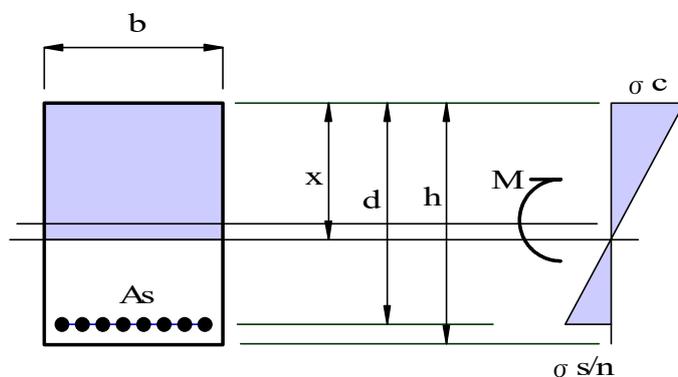


図-6 曲げモーメントが作用する単鉄筋RC断面の応力度

曲げモーメントのみが作用する単鉄筋RC断面の応力度は次式によって求める(図-6参照)。

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$x = k \cdot d$$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

- ここで、 $\sigma_c$ : コンクリートの圧縮応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_s$ : 鉄筋の引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $x$ : 圧縮縁から中立軸までの距離 (mm)  
 $M$ : 断面に作用する曲げモーメント (N・mm)  
 $b$ : 断面の幅 (mm)  
 $d$ : 有効高。圧縮縁から引張鉄筋図心までの距離 (mm)  
 $A_s$ : 引張鉄筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $n$ : コンクリートと鉄筋のヤング係数比  $n=15$ とする。

### 5.1.2 せん断応力度

RC断面に生じるせん断応力度は次式によって求める。

$$\tau_m = \frac{S}{b \cdot d} \leq \tau_{a1}$$

ここで、 $\tau_m$ ：平均せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

S：設計せん断力 (N)

b：部材幅 (mm)

d：部材の有効高さ (mm)

$\tau_{a1}$ ：コンクリートのみでせん断力を負担する場合の許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

## 5.2 曲げ応力度の計算

### 5.2.1 曲げ応力度一覧表

			X方向		Y方向	
			M <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>	M <sub>max</sub>	M <sub>min</sub>
引張側			下面側	上面側	下面側	上面側
位置	X	(m)	1.500	1.438	1.500	0.000
	Y	(m)	1.200	0.000	1.200	1.150
曲げモーメント	M	(kNm)	8.716	-0.062	11.673	-0.072
部材幅	B	(m)	1.000	1.000	1.000	1.000
部材高	H	(m)	0.300	0.300	0.300	0.300
有効高	d	(m)	0.240	0.240	0.240	0.240
ヤング係数比	n		15.0	15.0	15.0	15.0
必要鉄筋量	A <sub>sreq</sub>	(mm <sup>2</sup> )	217.6	1.5	293.9	1.7
鉄筋量	A <sub>s</sub>	(mm <sup>2</sup> )	D13-ctc250	D13-ctc250	D13-ctc250	D13-ctc250
			506.80	506.80	506.80	506.80
引張鉄筋比	np		0.032	0.032	0.032	0.032
中立軸比	k		0.222	0.222	0.222	0.222
中立軸	x	(m)	53.281	53.281	53.281	53.281
圧縮応力度	σ <sub>c</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	1.47	0.01	1.97	0.01
許容曲げ圧縮応力度	σ <sub>ca</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	8.00	8.00	8.00	8.00
鉄筋引張応力度	σ <sub>s</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	77.4	0.6	103.6	0.6
許容引張応力度	σ <sub>sa</sub>	(N/mm <sup>2</sup> )	176.0	176.0	176.0	176.0
判定			OK	OK	OK	OK

### 5.2.2 Mx最大断面

断面力および断面寸法

M: 曲げモーメント	8.716×10 <sup>6</sup> (Nmm)
b: 部材幅	1000.0 (mm)
d: 有効高	240.0 (mm)
A <sub>s</sub> : 引張鉄筋量	506.80 (mm <sup>2</sup> ) (D13-ctc250)

$$np = 15 \times \frac{506.80}{1000.0 \times 240.0} = 0.0317$$

圧縮縁から中立軸までの距離 x

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$= \sqrt{2 \times 0.0317 + 0.0317^2} - 0.0317 = 0.222$$

$$x = k \cdot d = 0.222 \times 240.0 = 53.3 \text{ (mm)}$$

コンクリートの圧縮応力度  $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{2 \times 8.716 \times 10^6}{1000.0 \times 53.3 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 1.47 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 8.00 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

鉄筋の引張応力度  $\sigma_s$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{8.716 \times 10^6}{506.8 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 77.4 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 176.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

### 5.2.3 Mx最小断面

断面力および断面寸法

M: 曲げモーメント	0.062×10 <sup>6</sup> (Nmm)
b: 部材幅	1000.0 (mm)
d: 有効高	240.0 (mm)
A <sub>s</sub> : 引張鉄筋量	506.80 (mm <sup>2</sup> ) (D13-ctc250)

$$np = 15 \times \frac{506.80}{1000.0 \times 240.0} = 0.0317$$

圧縮縁から中立軸までの距離 x

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$= \sqrt{2 \times 0.0317 + 0.0317^2} - 0.0317 = 0.222$$

$$x = k \cdot d = 0.222 \times 240.0 = 53.3 \text{ (mm)}$$

コンクリートの圧縮応力度  $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{2 \times -0.062 \times 10^6}{1000.0 \times 53.3 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 0.01 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 8.00 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

鉄筋の引張応力度  $\sigma_s$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{-0.062 \times 10^6}{506.8 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 0.6 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 176.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

#### 5.2.4 My最大断面

断面力および断面寸法

M: 曲げモーメント	11.673×10 <sup>6</sup> (Nmm)
b: 部材幅	1000.0 (mm)
d: 有効高	240.0 (mm)
A <sub>s</sub> : 引張鉄筋量	506.80 (mm <sup>2</sup> ) (D13-ctc250)

$$np = 15 \times \frac{506.80}{1000.0 \times 240.0} = 0.0317$$

圧縮縁から中立軸までの距離 x

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$= \sqrt{2 \times 0.0317 + 0.0317^2} - 0.0317 = 0.222$$

$$x = k \cdot d = 0.222 \times 240.0 = 53.3 \text{ (mm)}$$

コンクリートの圧縮応力度  $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{2 \times 11.673 \times 10^6}{1000.0 \times 53.3 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 1.97 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 8.00 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

鉄筋の引張応力度  $\sigma_s$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{11.673 \times 10^6}{506.8 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 103.6 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 176.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

### 5.2.5 My最小断面

断面力および断面寸法

M: 曲げモーメント	0.072×10 <sup>6</sup> (Nmm)
b: 部材幅	1000.0 (mm)
d: 有効高	240.0 (mm)
A <sub>s</sub> : 引張鉄筋量	506.80 (mm <sup>2</sup> ) (D13-ctc250)

$$np = 15 \times \frac{506.80}{1000.0 \times 240.0} = 0.0317$$

圧縮縁から中立軸までの距離 x

$$k = \sqrt{2np + (np)^2} - np$$

$$= \sqrt{2 \times 0.0317 + 0.0317^2} - 0.0317 = 0.222$$

$$x = k \cdot d = 0.222 \times 240.0 = 53.3 \text{ (mm)}$$

コンクリートの圧縮応力度  $\sigma_c$

$$\sigma_c = \frac{2M}{b \cdot x \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{2 \times -0.072 \times 10^6}{1000.0 \times 53.3 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 0.01 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 8.00 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$

鉄筋の引張応力度  $\sigma_s$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot (d - x/3)}$$

$$= \frac{-0.072 \times 10^6}{506.8 \times (240.0 - 53.3/3)}$$

$$= 0.6 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 176.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(OK)}$$