

シェル要素の L2 断面力照査用マクロ「RC 断面照査-シェル」に関して

日中構造研究所 松原勝己

同 上 朴 永軍

1. はじめに

シェル要素を用いた 3 次元 FEM 解析の応答断面力を使用し、L2 照査（耐力照査）を実施するエクセルマクロを作成しました。以下に、マクロの使用法と背景となる照査方法を説明します。

本マクロが対象とする構造解析ソフトは、MIDAS-Civil であり、その断面力応答値を使用していますが、断面力を CSV ファイルで作成しているため、他のソフトを用いた場合でもマクロを修正して使用可能です（TDAPⅢの断面力出力仕様にもロジック上は対応しているが、現時点で未検証）。ただし、MIDAS 以外の解析ソフトを使用する際には、断面力の方向や正負定義に注意する必要があります。

L2 断面力照査の方法は、「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 社団法人に日本水道協会」に従っています。

本エクセルマクロは、自由に使用していただいて結構ですが、結果の妥当性判断については使用者に委ねるものとします。また、マクロのソースコードについても公開しています。

2. マクロの概要

(1)CSV ファイル（「shell 断面力.csv」など）で出力される FEM からの断面力を元に、部材の断面諸元に従い、要素ごとに L2 断面力照査を行うエクセルマクロである。L2 断面力照査は曲げおよびせん断耐力に基づく照査である。なお、L1 断面力に対する許容応力度照査を実施することも可能である。

(2)L2 断面力照査の方法は、「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 社団法人 日本水道協会」に基づき、要素ごとに終局曲げモーメント M_u およびせん断耐力 V_y を算出し、応答曲げモーメントおよび応答せん断力と比較し、安全性照査（OK or NG）を実施する。

(3)シェル要素および梁要素の照査が可能である。シェル要素については、シェル面に沿う 2 方向 (X_e および Y_e) に関し、面外の曲げ・せん断に関する照査を行う。このとき、シェル面に沿う 2 方向について、それぞれ独立した梁部材と仮定して照査を実施する。シェル要素の面内せん断力に対する照査は実施していない。シェル面に沿う配筋として、 X_e 方向に平行する配筋 (X_e 方向配筋) と Y_e 方向に平行する配筋 (Y_e 方向配筋) を想定している。ここに、 X_e, Y_e および Z_e はシェル要素の要素座標系を表しており、 Z_e がシェル厚の方向となり、 X_e および Y_e がシェル面内の 2 方向を表す。

梁要素については、部材軸に直交する 2 方向の曲げ・せん断に関する照査を行う。

(4)エクセルマクロへの入力データとしては、構造部位ごとに定義される断面諸元（構造部位名、部材厚、コンクリート強度、鉄筋量など）、および各 FEM 要素と構造部位を関係づけるデータ（要素番号と構造部位名との対応）が必要となる。また、FEM からの断面力データを CSV ファイル（要素番号と断面力 $F_{xx}, F_{yy}, M_{xx}, M_{yy}, V_{xx}, V_{yy}$ などを収納）として用意する必要がある。

(5)エクセルマクロ内のシートは、「断面諸元(入力データ)」、「要素指定(入力データ)」、「a 計算用(入力データ)」、「断面力抽出(入力データ)」、「NODE&ELEM」、「応力度計算」、「耐力計算(軸力考慮)」、「耐力計算(軸力無し)」、「耐力計算(破壊モード)」、「せん断耐力」、「せん断照査まとめ」、「NG 要素(超過率順)」、「NG 要素(要素番号順)」、「側壁 NG」、「底版 NG」、「頂版柱 NG」、「断面力最大値」、「断面力最大値 2」、「断面力分布」、「断面力分布・梁」、「せん断スパン」、「モーメント分布」、「反曲点と最大点」および「a 計算」の 24 個である。このうち、「断面諸元(入力データ)」、「要素指定(入力データ)」、「a 計算用(入力データ)」、「断面力抽出(入力データ)」および「NODE&ELEM」が入力データとなり、それ以外は出力データとなる。なお、このうちシート「側壁 NG」、「底版 NG」および「頂版柱 NG」の名称やシート数は、構造部位名の定義に従い、ユーザーが適宜変更する必要がある。

(6)終局曲げモーメント M_u の算出は、RC 複鉄筋矩形断面（1 段配筋）を対象としている。したがって、多段配筋断面に本マクロを適用する場合には、鉄筋図心位置を考慮して 1 段配筋に変換するなどの近似が必要になる。また、 M_u 算出の方法は、RC 断面の終局仮定時（コンクリート圧縮縁においてひずみが 0.0035 に達する）における軸力およびモーメントの釣合から誘導した解析式を使用している。

せん断耐力 V_y の算出は、基本的にはコンクリート標準示書式を準用しているが、具体的な算出式は、「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版 社団法人 日本水道協会」に従っている。

3. 入力データ

3.1 エクセルマクロ「RC 断面照査-シェル 10k」(Sub RC 断面照査_シェル要素())

(1)エクセルシート「断面諸元(入力データ)」、「要素指定(入力データ)」、「a 計算用(入力データ)」、「断面力抽出(入力データ)」および「NODE&ELEM」が入力項目となる。

(2)入力項目の説明

●シート「断面諸元(入力データ)」⇒構造部位を定義し、部位ごとに断面諸元を入力する

「データ数」：構造部位の種類数

「部位」：構造部位名を入力。部材厚や配筋が異なる構造部位を定義する。

「IND」：シェル要素や梁要素の断面力定義の方向を示すフラグ。

シェル要素の場合は、1 が断面力 X_e 方向、2 が Y_e 方向 (X_e, Y_e, Z_e : 要素座標系)

MIDAS では、 Z_e 方向がシェル要素の厚さ方向で、 X_e と Y_e がシェル面に沿う 2 方向

MIDAS では、 Z_e の負側面が引張るとき正曲げ、また引張軸力が正

梁要素の場合は、3 (i 端) と 5 (j 端) が Y_e 軸周り曲げ方向、4 (i 端) と 6 (j 端) が Z_e 軸周り曲げ方向、 X_e 軸は i 端→j 端の向き

「部材厚 h(cm)」：部材の厚さ。cm 単位で入力。

「幅 b(cm)」：部材の幅。cm 単位で入力。シェル要素の場合、MIDAS では 1m 当たりの断面力で出力されるので、100cm を入力する。梁要素の場合、梁要素の断面力に対応する部材幅を入力する。

「上筋位置 du(cm)」：上筋位置を圧縮縁からの距離で入力。cm 単位で入力。ここで、正曲げ時に圧縮側の鉄筋を上筋と定義している。

「下筋位置 dd(cm)」：下筋位置を圧縮縁からの距離で入力。cm 単位で入力。ここで、正曲げ時に引張側の鉄筋を下筋と定義している。

「上筋断面積 Asu(cm²)」：幅 b 当たりの上筋断面積を cm² 単位で入力。

「下筋断面積 Asd(cm²)」：幅 b 当たりの下筋断面積を cm² 単位で入力。

「鉄筋ヤング係数 Es(kN/mm²)」：鉄筋のヤング係数を kN/mm² 単位で入力。

「コンクリートヤング係数 Ec(kN/mm²)」：コンクリートのヤング係数を kN/mm² 単位で入力。

「鉄筋降伏強度 fy(N/mm²)」：軸方向鉄筋の降伏強度を N/mm² 単位で入力。

「コンクリート強度 fc(N/mm²)」：コンクリートの設計基準強度を N/mm² 単位で入力。

「鉄筋降伏強度(せん断補強筋)fwy(N/mm²)」：せん断補強筋 (スターラップ) の降伏強度を N/mm² 単位で入力。

「鉄筋断面積(せん断補強筋)Aw(cm²)」：せん断補強筋 (スターラップ) の部材軸方向 1 ピッチ当たりの断面積を cm² 単位で入力。

「鉄筋ピッチ(せん断補強筋)Ss(cm)」：せん断補強筋 (スターラップ) の部材軸方向のピッチを cm 単位で入力

「鉄筋許容応力度 σ_{sa} (N/mm²)」：常時の値であり、1.5 倍していない。

「鉄筋許容応力度(せん断補強筋) σ_{saw} (N/mm²)」：常時の値であり、1.5 倍していない。

「コンクリート許容応力度 σ_{ca} (N/mm²)」：常時の値であり、1.5 倍していない。

「コンクリートせん断許容応力度 τ_a (N/mm²)」：常時の値であり、1.5 倍していない。

●シート「要素指定(入力データ)」⇒照査対象とする要素の要素番号や部位名を入力する

「データ数」：照査を実施する要素の数

「通し番号」：1 から順に、通し番号で附番する

「要素番号」：FEM モデルにおいて、照査を実施する要素の要素番号を入力する

「部位」：それぞれの要素番号に対応する構造部位名を入力する。この部位名は、シート「断面諸元(入力データ)」における部位名および断面諸元値と対応付けられている必要がある。そのため、FEM メッシュモデルを作成するときに、構造部位ごとに要素番号をグループ化しておくのがよい。そうすることで本データシートが作成し易くなる。

「IND」：シート「断面諸元(入力データ)」の IND と同一の定義

「せん断スパン計算用 位置」：シート「a 計算用(入力データ)」で設定された要素列のいずれを使用してせん断スパンを算出するかを、対象要素ごとに指定するデータである。指定した要素列の曲げモーメント分布によりせん断スパンが算出される。指定する方法は、本データの「位置」と次の「方向」の両者で行う。

「せん断スパン計算用 方向」：せん断スパン算出時の要素列の方向を指定する。「1」が Xe 方向、「2」が Ye 方向である。「位置」と「方向」が一致する要素列が、シート「a 計算用(入力データ)」から選出される。

「jpt(i)(断面諸元)」：入力値ではない。断面諸元値が正常に輸入されたかをチェックするために使用。シート「断面諸元(入力データ)」の何番目のデータに対応するかを示す値である。

「jsf(i)(L2 断面力)」：入力値ではない。L2 断面力値が正常に輸入されたかをチェックするために使用。例えば、CSV ファイル「shell 断面力」の何番目のデータに対応するかを示す値である。

「jsf(i)(L1 断面力)」：入力値ではない。L1 断面力値が正常に輸入されたかをチェックするために使用。例えば、CSV ファイル「shell 断面力」の何番目のデータに対応するかを示す値である。

●シート「a 計算用(入力データ)」⇒せん断スパンを曲げモーメント分布から算出する際に、曲げモーメントを抽出する要素列やその方向、また始点座標などを指定する

「計算数」：せん断スパンを算出する要素列の数

「位置」：せん断スパン算出の要素列の名称。これにより要素列を識別し、せん断スパン長を計算する。

「方向」：要素列の方向をシェル要素の方向で指定する。要素座標系 Xe 方向は「1」を、要素座標系 Ye 方向は「2」を指定する。

「端部補正(始点)」、「端部補正(終点)」：せん断スパンを計算する始点側と終点側において、端部の要素中心から垂直壁表面までの距離を入力する。

「スパン方向全体座標」：せん断スパンの方向を全体座標系で入力する。「X」、「Y」および「Z」のいずれかを選択する。

「始点座標値」：始点側の垂直壁表面の座標値

「要素数」：指定する要素列の要素数を入力する。

「要素番号」:せん断スパンを計算するため、曲げモーメント分布を抽出する要素列の要素番号を入力する。

●シート「断面力抽出(入力データ)」⇒断面力分布を描画するため位置名称や要素番号を入力する

「データ数」:断面力分布を抽出する数

「通し番号」:1から順に附番する

「位置名称」:断面力抽出を行う部位名や位置がわかるように、名称を入力する

「IND」:シート「断面諸元(入力データ)」での定義と同じ

「方向」:断面力を抽出する要素番号列の座標の方向 (X or Y or Z)

「要素番号」:断面力分布を抽出する要素列の要素番号を入力する

●シート「NODE&ELEM」⇒断面力分布を描くとき、およびせん断スパンを計算するとき使用する座標値および要素節点構成を入力

「NODE」:節点番号

「X,Y,Z」:節点の X、Y および Z 座標

「ELEMNT」:要素番号

「I,J,K,L」:要素を構成する4つの節点番号 I,J,K,L

三角形要素は L=0、梁要素は K=L=0 (MIDAS 仕様)

(3)安全係数について

曲げ照査およびせん断照査で使用する安全係数は、マクロ内において設定されている。現時点で設定されている安全係数の値は、以下となる。

●曲げ照査

gmc_曲げ:曲げ耐力算出時のコンクリート材料係数 (=1.3)

gms_曲げ:曲げ耐力算出時の鉄筋材料係数 (=1.0)

gmc_降伏:降伏耐力算出時のコンクリート材料係数 (=1.0)

gms_降伏:降伏耐力算出時の鉄筋材料係数 (=1.0)

gb_曲げ:曲げ耐力算出時の部材係数 (=1.0)

●せん断照査

gmc_せん断:せん断耐力算出時のコンクリート材料係数 (=1.3)

gms_せん断:せん断耐力算出時の鉄筋材料係数 (=1.0)

gbc_せん断:せん断耐力算出時のコンクリート部材係数 (=1.3)

gbs_せん断:せん断耐力算出時の鉄筋部材係数 (=1.15)

●破壊モード

gms_モード:破壊モード判定のための曲げ耐力算出時の鉄筋材料係数 (=1/1.2)

(4)マクロ内設定のフラグについて

マクロ内において、計算方法や出力方法を制御する幾つかのフラグがあり、以下にその説明を加える。

●iflag

せん断破壊先行になった部材に対し、断面力に Cs(=0.45)の割り戻しを考慮するためのフラグである。

1 のときせん断で考慮、0 のとき考慮しない、また 2 のとき曲げおよびせん断で考慮する。これは、「日本下水道協会 下水道施設耐震計算例 2015 年版」で採用されている方法で、構造解析時に構造特性係数 $C_s(=0.45)$ を考慮して応答断面力を求めた場合、せん断破壊先行の部材に対し応答断面力を C_s で除して割り戻し (C_s を考慮しない) を行うものである。

●iflag2

せん断照査において、①せん断スパン比(a/d)の影響の考慮したせん断耐力式 (a/d を考慮した棒部材式あるいはディープビーム式) を使用するかどうか、また②許容応力度せん断照査を行うかどうか、を選択するためのフラグである。0 のとき上記の①および②の両者とも考慮しない、また 1 のとき上記の①および②の両者を考慮する。これは、「日本下水道協会 下水道施設耐震計算例 2015 年版」において、棒部材式に対するせん断耐力式によって NG となった場合、 a/d を考慮するディープビーム式によるせん断照査で OK となる場合、また部材が弾性範囲内にあるという条件下でせん断応力度が許容せん断応力度未満にある場合にはせん断照査において OK としてよい、という方法を参照したものである。

●iflag3

せん断スパン a の計算を曲げモーメント分布から行うかどうかを選択するフラグである。1 のとき部材の曲げモーメント分布の反曲点や極大点からせん断スパン a を算出する。また、0 のとき部材の応答曲げモーメント M と応答せん断力 V から $a=M/V$ により算出する。1 を選択した場合、エクセルシートのデータ「 a 計算(入力データ)」が必要となる。

●iflag4

許容応力度計算を実施するかどうかを選択するフラグである。1 のとき実施し、0 のとき実施しない。ただし、iflag2=1 のときには、本フラグの選択如何に拘わらず許容応力度計算を実施する。

●iflag5

せん断耐力および曲げ耐力計算において、軸力の影響を考慮するかどうかを選択するフラグである。0 のときせん断耐力および曲げ耐力の両者において軸力の影響を考慮する。また、1 のときせん断耐力において軸力の影響を考慮しない。さらに、2 のときせん断耐力において軸力の影響を考慮せずかつ曲げ耐力において引張軸力の影響を考慮しない。

●iflag6

断面力分布を出力するかどうかを選択するフラグである。0 のとき出力する。また、1 のとき出力しない。iflag6=0 のとき、エクセルシートのデータ「断面力出力(入力データ)」と「NODE&ELEM」が必要となる。

●iflag7

フラグ iflag と関連するが、iflag7=1 のとき許容応力度計算において作用断面力を $1/C_s$ 倍とする。

●nskip

MIDAS により出力する梁要素の断面力ファイル (計算例では「beam 断面力.csv」) のフォーマットに従って入力するフラグである。梁要素の断面力に関し、1 要素につき I 端および J 端の 2 つのデータを出力する場合には、nskip=1 とする。また、1 要素につき I 端、0.25 位置、0.5 位置、0.75 位置および J 端の 5 つのデータを出力する場合には、nskip=4 とする。なお、nskip=4 の場合においても、照査に使用する断面力は I および J 端のみである。

3.2 断面力ファイル (CSV ファイル)

FEM 解析 (MIDAS) によって算出された断面力をストアする CSV ファイルである。計算例では、「shell 断面力.csv」や「beam 断面力.csv」などの名称で定義されている。

(1)断面力ファイル名

エクセルマクロのメインルーチンにおいて、シェルおよび梁の断面力のファイル名を定義する。下記に示す●●にファイル名を入力し、そのファイル名の断面力ファイルを作成する。

L2 断面力：シェル→sf_shell_L2="●●"、梁→sf_beam_L2="●●"

L1 断面力：シェル→sf_shell_L1="●●"、梁→sf_beam_L1="●●"

(2)断面力ファイルの内容 (MIDAS 仕様)

シェル用→要素番号、Fxx、Fyy、Fxy、Mxx、Myy、Mxy、Vxx、Vyy

Fxx : Xe 方向軸力

Fyy : Ye 方向軸力

Fxy : 面内せん断力 (本マクロで照査対象としない)

Mxx : Xe を部材軸とする曲げモーメント (面外曲げ)

Myy : Ye を部材軸とする曲げモーメント (面外曲げ)

Mxy : ねじりモーメント (本マクロで照査対象としない)

Vxx : Xe に直交する面外せん断力

Vyy : Ye に直交する面外せん断力

Xe 方向の断面力照査では Fxx,Mxx,Vxx を使用し、Ye 方向の断面力照査では Fyy,Myy,Vyy を使用する。曲げモーメントは Ze (シェル厚の方向) の負側引張が正、軸力は引張が正で定義される。

梁用→要素番号、軸力、せん断-y、せん断-z、ねじり、曲げ-y、曲げ-z、位置

軸力 : 梁の軸力 Fx

せん断-y : せん断力 Fy

せん断-z : せん断力 Fz

ねじり : 梁のねじりモーメント (本マクロで照査対象としない)

曲げ-y : 曲げモーメント My

曲げ-z : 曲げモーメント Mz

位置 : I 端、0.25 位置、0.5 位置、0.75 位置および J 端の区別を表示

Xe-Ze 面内の曲げ・せん断照査では Fx,Fz,My を使用し、Xe-Ye 面内の曲げ・せん断照査では Fx,Fy,Mz が使用される。曲げモーメント My は Ze の負側引張が正、曲げモーメント Mz は Ye の負側引張が正で定義される。軸力は引張が正で定義される。

3.3 「Sub 部位別 NG ()」

エクセルファイル「RC 断面照査-シェル 10k」には、マクロプログラムとして「Sub RC 断面照査_シェル要素0」以外に、「Sub 部位別 NG0」が存在する。以下では、マクロプログラム「Sub 部位別 NG0」について説明する。

3.2 のマクロ「Sub RC 断面照査_シェル要素0」により断面力照査を実施した後に、本マクロを実行することにより、部位別の NG 要素を取りまとめ、NG 要素の要素番号、超過率および断面力などを表示する。使用時には、以下の点に注意する必要がある。

- ①マクロ内において、部位の数と部位名を定義する。
- ②マクロ内に定義する部位名は、元構造部位名の先頭部分とする。
- ③部位別の NG 要素のシート名は、「部位名」+「NG」とする。
- ④マクロ内において、タイトル名（例えば「側壁 曲げ NG(水平方向)」など）を定義する際には、IND の方向定義に応じて適宜変更する必要がある。

3.4 「Sub IJ 端の梁断面力()」

エクセルファイル「RC 断面照査-シェル 10k」には、マクロプログラムとして「Sub RC 断面照査_シェル要素0」以外に、「Sub IJ 端の梁断面力」が存在する。以下では、マクロプログラム「Sub IJ 端の梁断面力」について説明する。

3.2 のマクロ「Sub RC 断面照査_シェル要素0」により断面力照査を実施した後に、本マクロを実行することにより、I および J 端の断面力を一緒にして表示させる。シート「断面力分布」の値を元に、シート「断面力分布-梁」に表示する。使用時には、以下の点に注意する必要がある。

- ①シート「要素指定(入力データ)」における要素番号の入力順序を、i 端→j 端の順序と同一にする。
- ②シート「断面力分布」において、同一要素の断面力を i 端、j 端の順で連続表示させておく。
- ③シート「断面力分布」では、横書きと縦書きの 2 種があるが、本マクロは横書きのみの対応である。
(横書きと縦書きのスイッチは、「Sub 断面力分布」におけるフラグ isw で行う)

4. 出力データ

(1)出力シートは、「応力度計算」、「耐力計算(軸力考慮)」、「耐力計算(軸力無し)」、「耐力計算(破壊モード)」、「せん断耐力」、「せん断照査まとめ」、「NG 要素(超過率順)」、「NG 要素(要素番号順)」、「側壁 NG」、「底版 NG」、「頂版柱 NG」、「断面力最大値」、「断面力最大値 2」、「断面力分布」、「断面力分布-梁」、「せん断スパン」、「モーメント分布」、「反曲点と最大点」、「a 計算」、「チェック用(要素データ)」および「チェック用(座標データ)」である。このうち「側壁 NG」、「底版 NG」および「頂版柱 NG」のシート名称については、本例題のケースでの使用であり部位名に従って適宜変更を要する。

(2)シート「応力度計算」

本シートは、L1 用断面力ファイルの応答値により許容応力度照査を行い、発生応力の算出と許容応力度との比較による照査結果を出力する。出力項目は、データ数、通し番号、要素番号、部位、IND、曲げモーメント M 、軸力 N 、せん断力 V 、鉄筋応力 σ_s 、コンクリート応力 σ_c 、せん断応力 τ 、圧縮鉄筋応力 σ_{s2} 、中立軸位置 x_s 、 j (jd : 圧縮合力位置と引張鉄筋位置との距離(アーム長)、 d : 有効高)、必要補強筋量 A_{wn} 、超過率 σ_s/σ_{sa} 、超過率 σ_c/σ_{ca} 、超過率 τ/τ_a 、超過率 A_{wn}/A_w 、判定 σ_s 、判定 σ_c 、判定 τ 、および判定補強筋 である。

本マクロの応力度計算においては、以下の点に注意する。

①断面諸元データにおける許容応力度の入力値は、常時の値であるが、地震時を想定しマクロ内において地震時割増し(常時の 1.5 倍)を考慮して照査を実施している。

②本マクロでは L2 対応の照査計算を前提としているため、棒部材式による L2 せん断照査が NG となった際、許容応力度せん断照査により OK ならばせん断 OK とすることを想定している ($iflag2=1$ のとき)。なお、この場合、L1 用断面力ファイルには L2 地震動に対する応答値を入力する。

③したがって、L1 地震動に対する許容応力度照査を行いたい場合には、L1 用断面力ファイルに L1 地震動に対する応答値を入力すること、またフラグ $iflag$ 、 $iflag2$ および $iflag7$ の設定を適宜変更する必要がある。

(3)シート「耐力計算(軸力考慮)」

本シートは、軸力を考慮した終局曲げモーメント M_u を要素ごとに計算し、応答曲げモーメントと比較して、曲げ照査を実施する。出力項目は、データ数、通し番号、要素番号、部位、IND、曲げモーメント M 、軸力 N 、せん断力 V 、終局曲げモーメント M_u 、終局曲率 ϕ_u 、終局時中立軸位置 x_u 、釣合軸力 N_b 、釣合モーメント M_b 、釣合時中立軸位置 x_b 、 $modu$ 、 $modb$ 、超過率 M/M_u 、判定、降伏モーメント M_y 、降伏曲率 ϕ_y 、降伏時中立軸位置 x_y 、 $mody$ 、超過率 M/M_y 、および降伏判定 である。ここに、 $modu$ 、 $modb$ および $mody$ は、それぞれのイベント発生時における圧縮鉄筋や圧縮縁コンクリートの状態を示すフラグである。 $modu$ については、圧縮鉄筋が未降伏のとき 1、圧縮鉄筋が圧縮降伏のとき 2、および圧縮鉄筋が引張降伏のとき 3 である。また、 $modb$ については、圧縮鉄筋が未降伏のとき 1、および圧縮鉄筋が降伏するとき 2 である。さらに、 $mody$ については、圧縮縁ひずみが 0.002 以下かつ圧縮鉄筋が未降伏のとき 1、圧縮縁ひずみが 0.002 以下かつ圧縮鉄筋が降伏するとき 2、圧縮縁ひずみが 0.002 以上かつ圧縮鉄筋が未降伏のとき 3、および圧縮縁ひずみが 0.002 以上かつ圧縮鉄筋が降伏するとき 4 である。

(4)シート「耐力計算(軸力無し)」

本シートは、軸力を考慮しないときの終局曲げモーメントを算出する。本シートの終局曲げモーメントは、せん断耐力算出時の軸力の影響を考慮する補正係数 β_n の計算に使用される。出力項目は、データ数、通し番号、要素番号、部位、IND、曲げモーメント M 、軸力 N 、せん断力 V 、終局曲げモーメント M_u 、終局曲率 ϕ_u 、終局時中立軸位置 x_u 、釣合軸力 N_b 、釣合モーメント M_b 、釣合時中立軸位置 x_b 、 mod_u 、および mod_b である。

(5)シート「耐力計算(破壊モード)」

本シートは、破壊モード照査を行うときの曲げ耐力の算出を実施する。せん断破壊先行か曲げ破壊先行かを判定する指標 V_{mu}/V_y ($V_{mu}/V_y > 1.0$ のときせん断破壊先行と判定、 V_{mu} : 曲げ終局時のせん断力、 V_y : せん断耐力) における $V_{mu}(=M_u/a$ 、 a : せん断スパン)の算出において、曲げ耐力 M_u が必要になるが、「日本下水道協会 下水道施設耐震計算例 2015年版」に従い、せん断破壊先行の判定が安全側になるように鉄筋強度のバラツキを考慮し、鉄筋降伏強度を 1.2 倍にして M_u を算出する。出力項目は、データ数、通し番号、要素番号、部位、IND、曲げモーメント M 、軸力 N 、せん断力 V 、終局曲げモーメント M_u 、終局曲率 ϕ_u 、終局時中立軸位置 x_u 、釣合軸力 N_b 、釣合モーメント M_b 、釣合時中立軸位置 x_b 、 mod_u 、および mod_b である。

(6)シート「せん断耐力」

本シートは、せん断耐力を要素ごとに計算し、応答せん断力と比較して、せん断照査を実施する。出力項目は、データ数、通し番号、要素番号、部位、IND、曲げモーメント M 、軸力 N 、せん断力 V 、有効高補正 β_d 、引張鉄筋補正 β_p 、軸力補正 β_n 、コンクリート負担分 V_c 、補強筋負担分 V_s 、せん断耐力 V_y 、せん断スパン $a(=M/V)$ 、 V_{mu} (曲げ終局時のせん断力)、 V_{mu}/V_y 、超過率 V/V_y 、判定、 $Cs0.45$ 割戻し、せん断スパン a (モーメント分布)、せん断スパン比 a/d 、 a/d 補正 β_{a1} 、コンクリート負担分 V_{ca} 、せん断耐力 V_{ya} 、 a/d 補正 β_{a2} 、引張鉄筋補正 β_{p2} 、せん断耐力 V_{dd} 、 V_{mu}/V_{ya} or V_{mu}/V_{dd} 、超過率 V/V_{ya} or V/V_{dd} 、判定(β_a 考慮 or ディープ)、および $Cs0.45$ 割戻し(β_a 考慮 or ディープ)である。

(7)シート「せん断照査まとめ」

本シートは、曲げ耐力照査、せん断耐力照査および許容応力照査の結果 (OK or NG) を、全ての照査対象要素に対して一覧にするものである。出力項目は、データ数、通し番号、部位、IND、曲げ照査、せん断照査、 β_a or ディープせん断照査、降伏判定、許容応力度曲げ照査、許容応力度せん断照査、許容応力度せん断補強筋量、およびせん断照査 (最終判定) である。

(8)シート「NG 要素(超過率順)」

本シートは、曲げ NG、せん断 NG および曲げせん断 NG の要素を抽出する。曲げ NG の出力項目は、NG 要素数、通し番号、要素番号、部位、IND、 M/M_u 、 M 、 N 、 V 、 V_{mu}/V_y 、 V_{mu}/V_{ya} 、 V_{mu}/V_{dd} 、および破壊モード である。せん断 NG の出力項目は、NG 要素数、通し番号、要素番号、部位、IND、 V/V_y 、 V/V_{ya} 、 V/V_{dd} 、 M 、 N 、 V 、 V_{mu}/V_y 、 V_{mu}/V_{ya} 、 V_{mu}/V_{dd} 、および破壊モード である。曲げせん断 NG の出力項目は、NG 要素数、通し番号、要素番号、部位、IND、 M/M_u 、 V/V_y 、 V/V_{ya} 、 V/V_{dd} 、 M 、 N 、 V 、 V_{mu}/V_y 、 V_{mu}/V_{ya} 、 V_{mu}/V_{dd} 、および破壊モード である。

本シートでは、NG 要素が超過率の大きい順に並ぶ。赤字で示された要素は、ある部位および IND に

対する最大の超過率の要素を示す。なお、曲げせん断 NG は 2 種の NG 要素一覧が示されるが、超過率順を M/M_y を基準としたもの、および V/V_y を基準としたものの 2 種である。

(9)シート「NG 要素(要素番号順)」

本シートは、シート「NG 要素(超過率順)」と同一の内容であるが、並びを要素番号順としている。赤字で示された要素は、ある部位および IND に対する最も要素番号が若い要素を示す。

(10)シート「側壁 NG」、「底版 NG」および「頂版柱 NG」

本シートは、シート「NG 要素(超過率順)」に基づき、側壁、底版および頂版柱の部位ごとに NG 要素を再整理する。これらのシートは、マクロ「Sub 部位別 NG0」を実行することで作成される。さらに、これらのシート名は、シート「断面諸元(入力データ)」で定義された構造部位名に対応する形で、ユーザーが適宜変更する必要がある。(3.3 「Sub 部位別 NG0」を参照)

本シートのデータをもとに、要素の材料特性値の差異を色分け表示する等の MIDAS の機能を利用し、NG 箇所図(曲げ NG、せん断 NG および曲げせん断 NG)を作成する。

(11)シート「断面力最大値」

本シートは、部位ごとに断面力の最大・最小値とその要素番号を表示する。

出力項目は、番号、部位、IND、要素番号(M 最大)、M 最大値、要素番号(M 最小)、M 最小値、要素番号(N 最大)、N 最大値、要素番号(N 最小)、N 最小値、要素番号(V 最大)、V 最大値、要素番号(V 最小)、および V 最小値 である。

(12)シート「断面力最大値 2」

本シートは、シート「断面力最大値」の出力に加えて、断面力最大・最小値に付随する断面力値(例えば曲げモーメント M 最大の要素の軸力 N およびせん断力 V の値)と照査結果 (M/M_u および V/V_y) を表示する。

(13)シート「断面力分布」

本シートは、断面力分布図を作成するため、断面力分布を描く部位(位置名称)における要素番号、中心位置座標、断面力値(M、N および V) および耐力値(M_u および V_y) を出力する。

出力項目は、通し番号、位置名称、断面力分布点数(要素数)、IND、座標の方向、番号、要素番号、座標値、M、N、V、 M_u 、および V_y である。

(14)シート「断面力分布-梁」

本シートは、シート「断面力分布」をもとに、梁の I および J 端の断面力を統合して表示する。梁の断面力分布を描画する際に使用する。(3.4 「Sub IJ 端の梁断面力」を参照)

出力項目は、シート「断面力分布」と同様である。

(15)シート「せん断スパン」

本シートは、要素ごとにせん断スパン長を計算して表示する。

出力項目は、データ数、通し番号、位置、方向およびせん断スパンである。

後述のシート「a 計算」に表示されたせん断スパンを使用し、対応する「位置」のせん断スパン長から「範囲(上限・下限)」を考慮して、要素ごとに設定を行う。対象要素の図心位置が「範囲(上限・下限)」に存在するせん断スパン長を選定する。

(16)シート「モーメント分布」

本シートは、シート「a 計算用(入力データ)」に基づき、「位置」別に、ある一方向の曲げモーメント分布を抽出する。

出力項目は、位置、曲げモーメント値のデータ数、端部からの距離、および曲げモーメント値 である。

断面力ファイルから対象要素の曲げモーメントを抽出し、「位置」ごとに、距離と曲げモーメント値のテーブルとして表示する。同時に、曲げモーメント分布をグラフ表示し、反曲点（曲げモーメントがゼロの位置）と最大点（反曲点間において曲げモーメントが最大あるいは最小となる位置）を赤い点で示す。なお、エクセル表示のグラフは、「位置」の数により、ユーザーが適宜グラフの数を増減させる必要がある。

(17)シート「反曲点と最大点」

本シートは、シート「モーメント分布」の曲げモーメント値をもとに、「位置」別に、反曲点と最大点の位置（端部からの距離）を表示する。

出力項目は、位置、反曲点と最大点のデータ数、番号、および反曲点と最大点の距離 である。

本データをもとに、シート「モーメント分布」におけるグラフに反曲点と最大点の位置をプロットしている。

(18)シート「a 計算」

本シートは、「位置」別に、せん断スパン長とその適用範囲を表示する（図 4-1 参照）。

出力項目は、位置、せん断スパンのデータ数、番号、せん断スパン長、範囲(下限)、および範囲(上限) である。

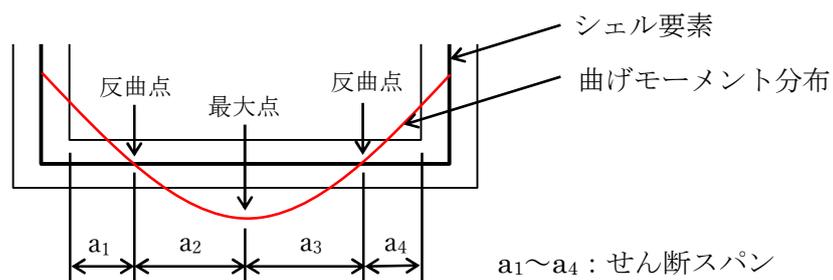


図 4-1 せん断スパン長の算出

5. 照査の手順

照査手順を以下に示す。

(1)照査対象とする要素情報の読み込み

・シート「要素指定(入力データ)」から、照査を実施する要素のデータ数、要素番号、部位名、および IND を読み込む。また、せん断スパン計算用に、位置および方向を読み込む。

・読み込んだ要素番号、部位名および IND を、以下のシート「耐力計算(軸力考慮)」、「耐力計算(軸力無し)」、「応力度計算」、「耐力計算(破壊モード)」、「せん断耐力」、「せん断照査まとめ」、および「せん断スパン」に埋め込む。また、読み込んだ位置および方向を、シート「せん断スパン」に埋め込む。

(2)MIDAS により算出された L2 断面力の読み込み

・予め用意した CSV ファイルから、L2 断面力を読み込む。

・読み込んだ断面力を、以下のシート「耐力計算(軸力考慮)」、「耐力計算(軸力無し)」、「耐力計算(破壊モード)」、および「せん断耐力」に埋め込む。

(3)MIDAS により算出された L1 断面力の読み込み

・予め用意した CSV ファイルから、L1 断面力を読み込む。L1 照査(許容応力度照査)を実施しないときは、L1 断面力は読み込まない。

・読み込んだ断面力を、シート「応力度計算」に埋め込む。

(4)せん断スパン a の曲げモーメント分布による計算

曲げモーメント分布より反曲点や最大点を求め、対象要素のせん断スパン長を求める。

(4-1) せん断スパンを計算する要素列データの読み込み

読み込むデータは、以下である。

ncal : 計算数、st(i) : 要素列の位置、idr(i) : 要素列の方向 (1 : Xe、2 : Ye)、hst(i) : 始点側端部要素中心から垂直壁表面までの距離、hen(i) : 終点側端部要素中心から垂直壁表面までの距離、cord(i) : せん断スパン方向の全体座標系 (X or Y or Z)、xyz1(i) : せん断スパン計算始点(始点側の垂直壁表面)の座標値、ne(i) : 要素列の要素数、iel(i,j) : 要素番号

(4-2) 節点座標データと要素節点構成データの読み込み

シート「NODE&ELEM」から、節点番号と座標および要素番号と節点構成を読み込む。

(4-3) 全要素の図心位置の計算とチェック出力

要素図心位置の X,Y,Z 座標 xc(i),yc(i),zc(i)を算出し、要素番号、要素構成および図心座標を「チェック用(要素データ)」に、節点番号および節点座標をシート「チェック用(座標データ)」に出力する。

(4-4) せん断スパンを求める要素列における図心座標と端部からの距離を算出

・要素列における図心座標 : $xxc(i,j), yyc(i,j), zzc(i,j)$

・端部からの距離 : $xs(i,j)$

(4-5) 要素列における図心位置の曲げモーメントの設定と書き出し

・要素図心位置の曲げモーメント : $bmt(i,j)$

・要素列の曲げモーメント分布を書き出すシート名 : 「モーメント分布」

(4)-6 曲げモーメントの反曲点位置と最大点位置を探して書き出す

- ・反曲点位置 $xsz(i,j)(j=1,nsz(i))$ ($nsz(i)$: 反曲点数)
- ・最大点位置 $xsm(i,j)(j=1,nsz(i))$
- ・反曲点と最大点の両方を含む位置 $xa(i,j)(j=1,nall(i))$ ($nall(i)$: 反曲点と最大点の合計数)
- ・反曲点と最大点を書き出すシート : 「反曲点と最大点」

(4)-7 要素列ごとのせん断スパンの計算と書き出し

- ・端部の補正をし、せん断スパン $asp(i,j)(j=1,na(i))$ ($na(i)$: せん断スパンの数)
- ・せん断スパンの適用範囲 (上限 $xsp1(i,j)$ 、下限 $xsp2(i,j)$)
- ・せん断スパンを書き出すシート : 「a 計算」

(4)-8 全要素のせん断スパンの設定と書き出し

- ・対象要素の図心位置が適用範囲にある場合に、当該のせん断スパンを設定する。
- ・全要素のせん断スパンを書き出すシート : 「せん断スパン」
- ・せん断スパン : $aspan2(i)$ (i は照査シート内の番目(通し番号))

(5)断面諸元データの読み込み

部位名、IND、部材厚、鉄筋量、強度などの断面諸元を読み込む。また、パラメータ $jpt(i)$ (照査用シート i 行目の要素に対応する断面諸元データのデータ番目) を設定する。

(5)-1 断面諸元の読み込み

シート「断面諸元(入力データ)」から、以下のデータを読み込む

断面諸元数、部位名、IND、部材厚、部材幅、上筋位置、下筋位置、上筋断面積、下筋断面積、鉄筋ヤング係数、コンクリートヤング係数、鉄筋降伏強度、コンクリート強度、せん断補強筋降伏強度、せん断補強筋断面積、せん断補強筋ピッチ、常時鉄筋許容応力度、常時せん断補強筋許容応力度、常時コンクリート許容応力度、常時せん断許容応力度

(5)-2 パラメータ $jpt(i)$ の設定

シート「要素指定(入力データ)」の i 行目データについて、部位名と IND が一致する断面諸元データを探し、そのデータ番目 $jpt(i)$ を定める。後述の耐力計算時における断面諸元の設定に使用する。

(6)安全係数の設定

せん断、破壊モードおよび曲げの安全係数を設定する

(7)耐力の計算と照査の実施

$iax=1\sim6$ までの繰り返し。

$iax=1$: 軸力考慮時の曲げ耐力

$iax=2$: 軸力無しの曲げ耐力 (せん断耐力の βn の算出に使用する)

$iax=3$: 応力度計算 (許容応力度照査で使用する)

$iax=4$: 破壊モード (鉄筋降伏強度を 2 割増しした曲げ耐力、破壊モード判定用)

$iax=5$: せん断耐力

$iax=6$: 軸力考慮時の降伏耐力 (降伏判定に使用)

(7)-1 各種パラメータ設定①

- ・全高 h 、幅 b 、下筋かぶり c 、上筋かぶり d_2 、下筋断面積 as_1 、上筋断面積 as_2 、鉄筋ヤング係数 es 、コンクリートヤング係数 ec 、鉄筋降伏強度 fy 、コンクリート強度 fc
- ・コンクリート引張強度 ft 、せん断補強筋強度 fwy 、せん断補強筋断面積 aw 、せん断補強筋ピッチ ss 、鉄筋許容応力度 ssa 、せん断補強筋許容応力度 $ssaw$ 、コンクリート許容応力度 sca 、コンクリート許容せん断応力度 ta

(7)-2 断面力設定

- ・曲げモーメント $mbend$ 、軸力 np 、せん断力 shr
- ・負曲げモーメントのとき、上・下筋を逆転させる (c 、 d_2 、 as_1 および as_2)

(7)-3 各種パラメータ設定②

- ・ヤング係数比 $n(=es/ec)$ 、 $iax=3$ のとき $n=15$ とする
- ・有効高と鉄筋比 d_1 : 有効高、 p_1 : 引張鉄筋比、 p_2 : 圧縮鉄筋比
- ・図心位置 yc : 圧縮縁から図心位置までの距離、 $yt=d_1-yc$ 、 $ytd=h-yc$
- ・ ϕ_1 および ϕ_2 $ps_1=p_1*fy/0.85/fc$ 、 $ps_2=p_2*fy/0.85/fc$
- ・ γ 、 ϵ_y 、 δ 、 β および α
 $gam=d_2/d_1$ 、 $epy=fy/es$ 、 $delt=0.035/epy$ 、 $beta=0.002/0.0035$ 、 $alph=epy/0.002$

● $iax=1$ or 2 or 4 のとき (軸力有り曲げ耐力、軸力無し曲げ耐力、破壊モード判定時曲げ耐力)

(7)-4 圧縮鉄筋が未降伏の場合の Mu の計算(modu=1)

- ・中立軸比 k および中立軸位置 x の算出
- ・中立軸位置の適用範囲チェック (適用範囲を満足するとき、modu=1 とする)
- ・ $Mu(mu)$ および $\phi u(faiu)$ の算出

(7)-5 圧縮鉄筋が引張降伏する場合の Mu の計算(modu=3)

- ・中立軸比 k および中立軸位置 x の算出
- ・中立軸位置の適用範囲チェック (適用範囲を満足するとき、modu=3 とする)
- ・ $Mu(mu)$ および $\phi u(faiu)$ の算出

(7)-6 圧縮鉄筋が引張降伏する場合の Mu の計算(modu=2)

- ・中立軸比 k および中立軸位置 x の算出
- ・中立軸位置の適用範囲チェック (適用範囲を満足するとき、modu=2 とする)
- ・ $Mu(mu)$ および $\phi u(faiu)$ の算出

(7)-7 釣り合い断面力の計算

- ・圧縮鉄筋が未降伏の場合(modb=1)、降伏の場合(modb=2)に分けて、釣り合い軸力(nb)と釣り合いモーメント(mb)を算出

(7)-8 曲げ耐力などの書き出し

- ・ Mu 、 $faiu$ 、 x 、 nb 、 mb 、 xb 、 $modu$ 、 $modb$ 、 M/Mu 、判定(OK or NG)

● $iax=6$ のとき (降伏耐力)

(7)-9 圧縮縁ひずみ 0.002 以下、かつ圧縮鉄筋未降伏の場合の My の計算(mody=1)

- ・中立軸比 k および中立軸位置 x の算出
- ・中立軸位置の適用範囲チェック (適用範囲を満足するとき、mody=1 とする)
- ・ $My(my)$ および $\phi y(faiy)$ の算出

(7)-10 圧縮縁ひずみ 0.002 以下、かつ圧縮鉄筋が降伏する場合の M_y の計算(mody=2)

- ・中立軸比 k および中立軸位置 x の算出
- ・中立軸位置の適用範囲チェック (適用範囲を満足するとき、mody=2 とする)
- ・ $M_y(my)$ および $\phi_y(faiy)$ の算出

(7)-11 圧縮縁ひずみ 0.002 以上、かつ圧縮鉄筋未降伏の場合の M_y の計算(mody=3)

- ・中立軸比 k および中立軸位置 x の算出
- ・中立軸位置の適用範囲チェック (適用範囲を満足するとき、mody=3 とする)
- ・ $M_y(my)$ および $\phi_y(faiy)$ の算出

(7)-12 圧縮縁ひずみ 0.002 以上、かつ圧縮鉄筋が降伏する場合の M_y の計算(mody=4)

- ・中立軸比 k および中立軸位置 x の算出
- ・中立軸位置の適用範囲チェック (適用範囲を満足するとき、mody=4 とする)
- ・ $M_y(my)$ および $\phi_y(faiy)$ の算出

(7)-13 降伏耐力などの書き出し

- ・ M_y 、 $faiy$ 、 x 、 $mody$ 、 M/M_y 、降伏判定(「降伏」 or 「弾性」)

● $iax=3$ のとき (応力度計算)

(7)-14 パラメータの計算

- ・ $\sigma_N = N' / (bd_1)$ (=nstr) : コンクリート縁応力の計算にて使用
- ・ $\sigma_M = \text{Abs}(M) / (bd_1^2)$ (=mstr) : コンクリート縁応力の計算にて使用
- ・ $C = (N'd_1) / \text{Abs}(M)$ (=cmn) : 中立軸計算にて使用
- ・ $\delta = y_i / d_1$ (=dpar) : 中立軸計算とコンクリート縁応力の計算にて使用

(7)-15 中立軸位置の計算

後述の「6.3.1 応力度算出式の誘導」における式(11)を使用し、中立軸位置 x_s (圧縮縁からの距離) を求める。式(11)は、中立軸比 $k (=x_s/d_1)$ に関する 3 次方程式であり、マクロ内において繰り返し収束計算により k を算出している。

(7)-16 中立軸が有効高内に求まらない場合の処理

全断面圧縮あるいは全断面引張と判定し、全断面有効の計算によりコンクリートおよび鉄筋応力を算出する。

(7)-17 コンクリート縁圧縮応力(sigc)、引張鉄筋応力(sigs)および圧縮鉄筋応力(sigs2)の計算

(7)-18 せん断応力(tau)の計算

せん断応力 τ を、 $\tau = V / (bd_1)$ (V : せん断力、 b : 部材幅、 d_1 : 有効高) により算出する。

(7)-19 応力度照査結果の出力

- ・常時許容応力度を 1.5 倍 (地震時割増し) して照査を実施
- ・鉄筋引張応力 σ_s 、コンクリート圧縮応力 σ_c 、およびせん断応力 τ を、 σ_s / σ_{sa} 、 σ_c / σ_{ca} および τ / τ_a により、判定を行う。
- ・全断面引張時は、 σ_t / σ_{ta} (σ_t : 上下縁コンクリート引張応力の平均値、 σ_{ta} : コンクリート引張許容応力度) にて判定を行う。 σ_{ta} は、 $\sigma_{tk} / 7$ (上限 $0.3N/mm^2$ 、 σ_{tk} : 引張強度(= $0.23 \sigma_{ck}^{(2/3)}$)、 σ_{ck} : 設計基準強度) の 1.5 倍としている。
- ・ τ / τ_a が 1.0 を超えるとき、必要せん断補強筋量 A_{wn} を算出し、使用せん断補強筋量 A_w に対する比 A_{wn}/A_w により判定を行う。(ただし、せん断補強筋使用時における $\tau / \tau_a < 1$ の照査は実施して

いない)

● $i_{ax}=5$ のとき (せん断耐力)

(7)-20 補正係数の計算

- ・有効高補正係数 betd 、軸方向鉄筋補正係数 betp 、軸力補正係数 betn

(7)-21 せん断耐力の算出 (せん断スパン比による補正係数 βa を考慮しないせん断耐力式)

- ・コンクリートせん断強度 f_{vc}
- ・コンクリート負担分 v_c 、せん断補強筋負担分 v_s
- ・せん断耐力 v_y

(7)-22 破壊モード判定

- ・せん断スパン aspan あるいは $\text{aspan2}(i)$ (M/V あるいはモーメント分布より)
- ・曲げ終局時のせん断力 v_{mu} の計算
- ・せん断耐力に対する曲げ耐力の比 ($\text{rrr} = v_{mu}/v_y$)

(7)-23 せん断スパン比 ratio の算出 ($=\text{aspan}/d_1$ or $\text{aspan2}(i)/d_1$)

(7)-24 βa を考慮したせん断耐力

- ・棒部材式の βa ($=0.75+1.4/\text{ratio}$: 原子力屋外重要構造物指針より)
- ・ βa を考慮したコンクリート負担分 v_{ca}
- ・ βa を考慮したせん断耐力 v_{ya} ($=v_{ca}+v_s$)
- ・ βa を考慮したせん断耐力に対する曲げ耐力の比 ($\text{rrra} = v_{mu}/v_{ya}$)

(7)-25 ディープビーム式によるせん断耐力

- ・せん断強度 f_{dd} ($=0.19\sqrt{\sigma_{ck}/\gamma_{mc}}$)、 γ_{mc} : コンクリート材料係数)
- ・ディープビーム式の βp ($=(1+\sqrt{100p_1})/2$)、 p_1 : 引張鉄筋比)
- ・ディープビームの βa ($=5/(1+\text{ratio}^2)$)
- ・ディープビームのせん断耐力 v_{dd}
- ・ディープビームのせん断耐力に対する曲げ耐力の比 ($\text{rrrd} = v_{mu}/v_{dd}$)

(7)-26 せん断耐力の書き出し

- ・シート「せん断耐力」にせん断耐力を書き出す
- ・せん断耐力の補正係数 betd 、 betp 、 betn
- ・コンクリート負担分 v_c 、鉄筋負担分 v_s 、 M/V によるせん断スパン aspan 、終局時のせん断力 v_{mu} 、せん断耐力に対する曲げ耐力の比 $v_{mu} (= \text{rrr})$ 、超過率 V/V_y 、判定、Cs0.45 割戻し
- ・モーメント分布によるせん断スパン $\text{aspan2}(i)$ 、せん断スパン比 $a/d (= \text{ratio})$ 、 a/d 補正 $\beta a (= \beta a_1)$ 、コンクリート負担分 v_{ca} 、 βa を考慮したせん断耐力 v_{ya}
- ・ディープビームの a/d 補正 βa_2 、ディープビームの引張鉄筋補正 βd_2 、ディープビームのせん断耐力 v_{dd}
- ・ βa 考慮あるいはディープせん断耐力に対する曲げ耐力の比 $V_{mu}/V_{ya} (= \text{rrra})$ or $V_{mu}/V_{dd} (= \text{rrrd})$ 、超過率 V/V_{ya} or V/V_{dd} 、判定(βa 考慮 or ディープ)、Cs0.45 割戻し(βa 考慮 or ディープ)

(注: せん断スパン比 a/d が 2.5 より大きいとき βa を考慮した棒部材式を使用し、一方 a/d が 2.5 以下のときディープビーム式を使用)

(8)照査結果の一覧を作成

・シート「せん断照査まとめ」に、曲げ照査、せん断照査および許容応力度照査結果（OKorNG）を一覧にする。

(9)NG 要素の要素番号、部位、IND および照査シートの行番目を抽出

・ngdata1(i,1),ngdata1(i,2),ngdata1(i,3),ngdata1(i,4)：順に、曲げ NG に対する要素番号、部位、IND およびシート行番目、引数 i は、カウントした番目を示す。全カウント数は num1

・ngdata2(i,1),ngdata2(i,2),ngdata2(i,3),ngdata2(i,4)：順に、せん断 NG に対する要素番号、部位、IND およびシート行番目、引数 i は、カウントした番目を示す。全カウント数は num2

・ngdata3(i,1),ngdata3(i,2),ngdata3(i,3),ngdata3(i,4)：順に、曲げせん断 NG に対する要素番号、部位、IND およびシート行番目、引数 i は、カウントした番目を示す。全カウント数は num3

(10)NG 要素の超過率と断面力の抽出

・曲げ NG に関して

rtb(i)：曲げ超過率、M_ng1(i)：M、N_ng1(i)：N、V_ng1(i)：V、R_ng1(i)：Vmu/Vy、F_ng1(i)：破壊モード(曲げ or せん断)

・せん断 NG に関して

rts1(i)：せん断超過率(Vy)、rts2(i)：せん断超過率(Vya or Vdd)、M_ng2(i)：M、N_ng2(i)：N、V_ng2(i)：V、R_ng2(i)：Vmu/Vy、F_ng2(i)：破壊モード(曲げ or せん断)

・曲げせん断 NG に関して

rtbs(i)：曲げ超過率(Vy)、M_ng3(i)：M、N_ng3(i)：N、V_ng3(i)：V、rtbs1(i)：せん断超過率(Vy)、rtbs2(i)：せん断超過率(Vya or Vdd)、R_ng3(i)：Vmu/Vy、F_ng3(i)：破壊モード(曲げ or せん断)

(11)NG 要素の書き出し

・断面諸元の部位名と IND ごとに、NG 要素に関する情報（要素番号、部位、IND、超過率、断面力、せん断裕度、破壊モード）を、曲げ NG、せん断 NG および曲げせん断 NG の順にピックアップし、その後、超過率順あるいは要素番号順に並べ替えて、シート「NG 要素(超過率順)」あるいは「NG 要素(要素番号順)」に表示する。

(12)断面力分布の書き出し

・シート「断面力抽出(入力データ)」に入力された、データ数、通し番号、位置名称、IND、方向、および要素番号を読み込む。

・シート「耐力計算(軸力考慮)」から、断面力(M,N,V)と曲げ耐力 Mu を抽出

・シート「せん断耐力」から、せん断耐力 Vy を抽出

・シート「NODE&ELEM」から、節点座標データと要素節点構成データを読み込む。

・要素中心の座標値（シェル要素は座標 4 点(I,J,K,L)あるいは 3 点(I,J,K)の平均、梁要素は座標 2 点(I,J)の平均)を定める。

・シート「断面力分布」に、位置名称、要素番号、座標値、および断面力等のデータを表示する。

(13)断面力最大値の出力

・シート「耐力計算(軸力考慮)」を参照し、断面諸元の部位ごとに、断面力最大・最小値に対する要素

番号、曲げモーメント、軸力、せん断力、 M/μ 、通し番号を抽出

- ・シート「せん断耐力」を参照し、断面力最大・最小値に対する V/V_y を抽出
- ・シート「断面力最大値」に、部位、IND、要素番号、および断面力最大・最小値（最大値に付随する断面力を出力しない）を書き出す。
- ・シート「断面力最大値 2」に、部位、IND、要素番号、および断面力最大・最小値（最大値に付随する断面力も出力する）を書き出す。

6. 終局曲げモーメントとせん断耐力の算出式

終局曲げモーメント M_u とせん断耐力 V_y は、マクロ内において計算されているが、RC 矩形複鉄筋断面に対する解析式を使用している。以下では、 M_u および V_y の算出式を提示する。

6.1 終局曲げモーメント

6.1.1 終局曲げモーメントの解析式誘導

終局曲げモーメントを算出するにあたり、以下の仮定を設ける。

- ①複鉄筋の矩形断面を仮定する。
- ②断面内のひずみ分布は、直線分布を仮定する。
- ③コンクリート圧縮側の応力ひずみ関係を非線形（放物線型）とする（下図参照）。
- ④終局時にはコンクリート圧縮縁がちょうど限界ひずみ $\epsilon_{cu}' (=0.0035)$ に達しているものとする。
- ⑤コンクリート引張応力は無視する。
- ⑥引張鉄筋は降伏しているものとする。
- ⑦軸力は断面図心位置に作用するものと仮定する。

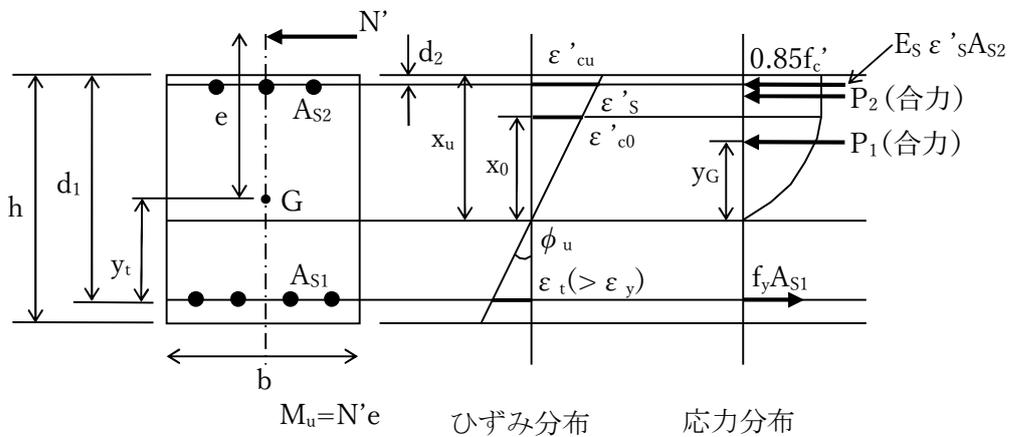


図 6-1 終局曲げモーメント算出時の断面仮定

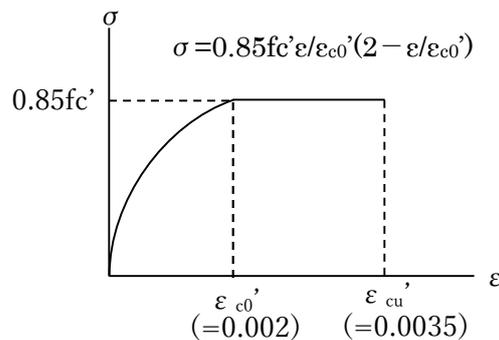


図 6-2 コンクリート応力-ひずみ関係（圧縮側）

【記号の説明】

h : 部材高さ (m)

d_1 : 有効高さ (m)

b : 部材幅 (m)

y_t : 引張鉄筋位置から断面図心までの距離 (m)

d_2 : 圧縮鉄筋のかぶり (圧縮縁から圧縮鉄筋位置までの距離) (m)

A_{s1} : 引張鉄筋断面積 (m²)

A_{s2} : 圧縮鉄筋断面積 (m²)

N : 軸力 (圧縮を正) (kN)

e : 軸力の偏心量 (曲げモーメントを M として、 $M=N'e$) (m)

x_u : 終局時の中立軸位置 (圧縮縁から中立軸までの距離) (m)

x_0 : 中立軸からコンクリートひずみが ϵ'_{c0} ($=0.002$) になる位置までの距離 (m)

ϵ'_{c0} : コンクリート応力ひずみ関係において、圧縮応力が $0.85f'_c$ に達したときのひずみ (無次元)

f'_c : コンクリート強度 (kN/m²)

ϵ'_{cu} : コンクリートの限界ひずみ ($=0.0035$) (無次元)

ϵ'_s : 圧縮鉄筋のひずみ (圧縮を正) (無次元)

ϵ_t : 引張鉄筋のひずみ (無次元)

ϕ_u : 終局時の曲率 (1/m)

f_y : 鉄筋降伏強度 (kN/m²)

E_s : 鉄筋ヤング係数 (kN/m²)

E_c : コンクリートヤング係数 (kN/m²)

P_1 : コンクリート圧縮力のうち、中立軸からひずみ ϵ'_{c0} に達する位置までの圧縮応力の合力 (kN)

P_2 : コンクリート圧縮力のうち、ひずみが ϵ'_{c0} に達した位置から圧縮縁までの圧縮応力の合力 (kN)

y_G : 中立軸位置から P_1 までの距離 (m)

以下では、(i)圧縮側鉄筋が未降伏の場合、(ii)圧縮側鉄筋が圧縮降伏する場合、および(iii)圧縮側鉄筋が引張降伏する場合の3つのモードに対し、終局曲げモーメントを算出する。

(i) 圧縮側鉄筋が未降伏の場合

終局曲げモーメントを算出するために、上記の仮定のもとに、①部材軸方向の力の釣り合い式 (コンクリート圧縮応力、圧縮鉄筋圧縮応力、引張鉄筋引張応力および軸力の釣り合い) と②引張鉄筋位置周りのモーメントの釣り合い式 (コンクリート圧縮応力のモーメント、圧縮鉄筋応力のモーメント、曲げモーメントおよび軸力のモーメントの釣り合い) を立式する。そして、前者の①より中立軸位置を算出し、後者の②より終局曲げモーメントを求めることになる。

以下で、終局曲げモーメントの具体的な解析式の誘導を行う。

中立軸位置から、圧縮ひずみ ϵ'_{c0} ($=0.002$) となる位置までの距離 x_0 は、次式で表される。

$$x_0 = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'} x_u \quad (1)$$

また、圧縮鉄筋のひずみ ε_s' は、次式で表される。

$$\varepsilon_s' = \frac{x_u - d_2}{x_u} \varepsilon_{cu}' \quad (2)$$

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 + E_s \varepsilon_s' A_{s2} - f_y A_{s1} \quad (3)$$

ここに、 P_1 および P_2 は、それぞれ、応力値が $0.85f_c'$ を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が $0.85f_c'$ に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 P_1 は中立軸から x_0 までの距離の区間の圧縮応力、 P_2 は中立軸から x_0 離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(3)に、上記の式(1)および(2)と「補足」の式(2)を用い、両辺を $0.85f_c' b d_1$ で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ k_u に関する 2 次方程式として、次式が得られる。

$$(3 - \beta) k_u^2 + 3(\delta \psi_2 - \psi_1 - \bar{N}') k_u - 3\delta \psi_2 \gamma = 0 \quad (4)$$

式(4)を k_u に関して解けば、次式を得る。

$$k_u = \frac{-3(\delta \psi_2 - \psi_1 - \bar{N}') + \sqrt{9(\delta \psi_2 - \psi_1 - \bar{N}')^2 + 12(3 - \beta)\delta \psi_2 \gamma}}{2(3 - \beta)} \quad (5)$$

ここに、

$$k_u = \frac{x_u}{d_1}, \quad \beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}, \quad \varepsilon_{cu}' = 0.0035, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \delta = \frac{\varepsilon_{cu}'}{\varepsilon_y}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s},$$

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85 f_c' b d_1}, \quad \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f_c' b d_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1}, \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1}$$

また、 k_u に関しては、圧縮側鉄筋が未降伏の条件 $-\varepsilon_y < \varepsilon_s' < \varepsilon_y (= f_y/E_s)$ より、

$$\frac{\gamma \delta}{\delta + 1} \leq k_u \leq \frac{\gamma \delta}{\delta - 1} \quad (6)$$

の条件が付与される。

次に、引張鉄筋周りのモーメントの釣り合いにより、次式を得る。

$$M_u + N' y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot (d_1 - \frac{x_u - x_0}{2}) + E_s \varepsilon_s' A_{s2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (7)$$

式(7)に、上記の式(1)および(2)と「補足資料」の式(補 2)および(補 4)を用い、両辺を $0.85f_c' b d_1^2$ で割って無次元化した後、 M_u に関して解けば、次式が得られる。

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85 f_c' b d_1^2$$

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3} \beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u\right) + (1 - \beta) k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2} k_u\right) + \frac{k_u - \gamma}{k_u} \delta \psi_2 (1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (8)$$

ここに、 $\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}, \quad \varepsilon_{c0}' = 0.002, \quad \varepsilon_{cu}' = 0.0035, \quad \delta = \frac{\varepsilon_{cu}'}{\varepsilon_y}, \quad \varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s},$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f_c' b d_1}, \quad \gamma = \frac{d_2}{d_1}, \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1}, \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(6)の条件のもとに、式(5)を用いて k_u を求め、式(8)により終局曲げモーメント M_u を算定できる。

なお、上記において y_t は引張鉄筋位置から断面図心までの距離であるが、ここでは断面図心を断面中心とした場合を仮定している。断面図心を正確に求める場合には、鉄筋位置、鉄筋断面積、鉄筋ヤング係数、コンクリート断面積、およびコンクリートヤング係数をもとに算出する。その際には、以下の式(9)で算出することができる。

$$y_t = d_1 - y_c \quad (9)$$

ここに、 $y_c = \frac{bh^2 + n(A_{s1}d_1 + A_{s2}d_2)}{bh + n(A_{s1} + A_{s2})}$ (圧縮縁から断面図心までの距離) , $n = \frac{E_s}{E_c}$ (ヤング係数比)

また、終局時の曲率 φ_u は、

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_{cu}'}{x_u} \quad (10)$$

以上より、式(5)、(8)および(10)より、終局時の中立軸位置、曲げモーメントおよび曲率が算定できる。

(ii) 圧縮側鉄筋が圧縮降伏する場合

部材軸 (水平) 方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 + f_y A_{s2} - f_y A_{s1} \quad (11)$$

ここに、 P_1 および P_2 は、それぞれ、応力値が $0.85f'_c$ を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が $0.85f'_c$ に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 P_1 は中立軸から x_0 までの距離の区間の圧縮応力、 P_2 は中立軸から x_0 離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(11)に、上記の式(1)および「補足資料」の式(補 2)を用い、両辺を $0.85f'_c b d_1$ で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ k_u に関して解けば、次式が得られる。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N}')}{3 - \beta} \quad (12)$$

ここに、 $k_u = \frac{x_u}{d_1}$, $\beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'}$, $\varepsilon_{cu}' = 0.0035$, $\varepsilon_{c0}' = 0.002$,

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85f'_c b d_1} , \psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85f'_c b d_1} , \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1}$$

また、 k_u に関しては、圧縮側鉄筋が圧縮降伏する条件 $\varepsilon_s' > \varepsilon_y (= f_y / E_s)$ より、

$$k_u \geq \frac{\gamma \delta}{\delta - 1} \quad (13)$$

の条件が付加される。

次に、引張鉄筋周りのモーメントの釣り合いにより、次式を得る。

$$M_u + N' y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot (d_1 - \frac{x_u - x_0}{2}) + f_y A_{s2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (14)$$

式(14)に、上記の式(1)と「補足資料」の式(補 2)および(補 4)を用い、両辺を $0.85f'_c b d_1^2$ で割って無次元化した後、 M_u に関して解けば、次式が得られる。

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f'_c b d_1^2$$

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3} \beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u\right) + (1 - \beta) k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2} k_u\right) + \psi_2 (1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (15)$$

$$\text{ここに、 } \beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'} \text{ , } \varepsilon_{c0}' = 0.002 \text{ , } \varepsilon_{cu}' = 0.0035 \text{ , } \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85 f_c' b d_1} \text{ ,}$$

$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} \text{ , } \bar{N}' = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1} \text{ , } y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(13)の条件のもとに、式(12)を用いて k_u をも求め、式(15)により終局曲げモーメント M_u を算定できる。

また、終局時の曲率 φ_u は、式(10)と同じである。

(iii) 圧縮側鉄筋が引張降伏する場合

部材軸（水平）方向の力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = P_1 + P_2 - f_y A_{S2} - f_y A_{S1} \quad (16)$$

ここに、 P_1 および P_2 は、それぞれ、応力値が $0.85f_c'$ を超えない区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値および応力値が $0.85f_c'$ に達した区間におけるコンクリート圧縮応力の合力値である。すなわち、 P_1 は中立軸から x_0 までの距離の区間の圧縮応力、 P_2 は中立軸から x_0 離れた位置より外側の区間の圧縮応力に対応している。

式(16)に、上記の式(1)および「補足資料」の式(補 2)を用い、両辺を $0.85f_c' b d_1$ で割って無次元化した後、中立軸位置のパラメータ k_u に関して解けば、次式が得られる。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 + \psi_2 + \bar{N}')}{3 - \beta} \quad (17)$$

$$\text{ここに、 } k_u = \frac{x_u}{d_1} \text{ , } \beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'} \text{ , } \varepsilon_{cu}' = 0.0035 \text{ , } \varepsilon_{c0}' = 0.002 \text{ ,}$$

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{S1}}{0.85 f_c' b d_1} \text{ , } \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85 f_c' b d_1} \text{ , } \bar{N}' = \frac{N'}{0.85 f_c' b d_1}$$

また、 k_u に関しては、圧縮側鉄筋が引張降伏する条件 $\varepsilon_s' < -\varepsilon_y (= -f_y/E_s)$ より、

$$k_u \leq \frac{\gamma \delta}{\delta + 1} \quad (18)$$

の条件が付加される。

次に、引張鉄筋周りのモーメントの釣り合いにより、次式を得る。

$$M_u + N' y_t = P_1 \cdot (d_1 - x_u + y_G) + P_2 \cdot \left(d_1 - \frac{x_u - x_0}{2} \right) - f_y A_{S2} \cdot (d_1 - d_2) \quad (19)$$

式(19)に、上記の式(1)と「補足資料」の式(補 2)および(補 4)を用い、両辺を $0.85f_c' b d_1^2$ で割って無次元化した後、 M_u に関して解けば、次式が得られる。

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85 f_c' b d_1^2$$

$$\bar{M}_u = \frac{2}{3} \beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8} k_u \right) + (1 - \beta) k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2} k_u \right) - \psi_2 (1 - \gamma) - \bar{N}' \frac{y_t}{d_1} \quad (20)$$

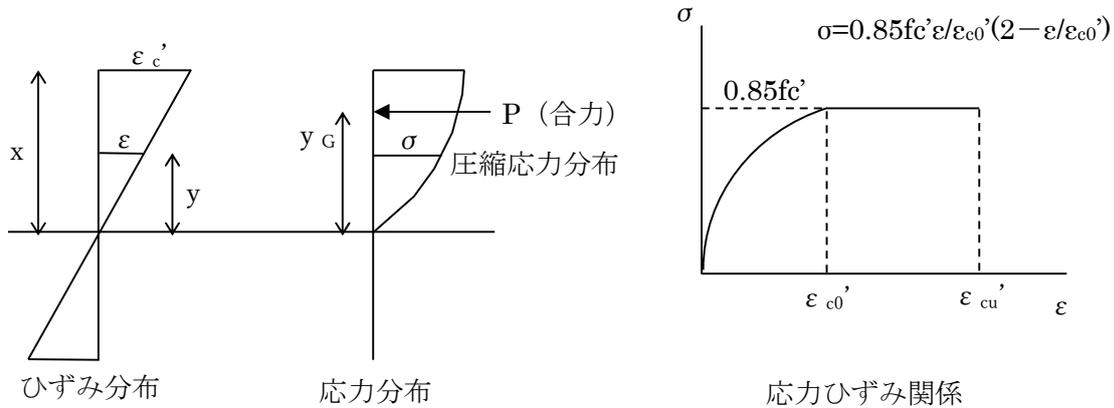
$$\text{ここに、 } \beta = \frac{\varepsilon_{c0}'}{\varepsilon_{cu}'} \text{ , } \varepsilon_{c0}' = 0.002 \text{ , } \varepsilon_{cu}' = 0.0035 \text{ , } \psi_2 = \frac{f_y A_{S2}}{0.85 f_c' b d_1} \text{ ,}$$

$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} \quad , \quad \bar{N}' = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1} \quad , \quad y_t = d_1 - \frac{h}{2}$$

以上より、式(18)の条件のもとに、式(16)を用いて k_u をも求め、式(20)により終局曲げモーメント M_u を算定できる。

また、終局時の曲率 φ_u は、式(10)と同じである。

補足資料 コンクリート圧縮応力の合力値と作用位置



中立軸から y の距離のひずみ ϵ は、

$$\epsilon = \frac{y}{x} \epsilon_c'$$

応力 σ は、

$$\sigma = 0.85f_c' \frac{\epsilon}{\epsilon_{c0}'} \left(2 - \frac{\epsilon}{\epsilon_{c0}'} \right) = 0.85f_c' \left(\frac{2\epsilon_c' y}{\epsilon_{c0}' x} - \frac{\epsilon_c'^2 y^2}{\epsilon_{c0}'^2 x^2} \right)$$

応力分布の総和 P は、 b を奥行き幅として、

$$P = b \int_0^x \sigma dy = 0.85f_c' \frac{bx}{3} \frac{\epsilon_c'}{\epsilon_{c0}'} \left(3 - \frac{\epsilon_c'}{\epsilon_{c0}'} \right) \quad (\text{補 1})$$

特に、 $x=x_0$ および $\epsilon_c'=\epsilon_{c0}'$ のとき、

$$P = 0.85f_c' \frac{2bx_0}{3} \quad (\text{補 2})$$

次に、中立軸位置から合力の作用点までの距離 y_G は、

$$y_G = \frac{b \int_0^x y \sigma dy}{P}$$

$$b \int_0^x y \sigma dy = 0.85f_c' \frac{bx^2}{12} \frac{\epsilon_c'}{\epsilon_{c0}'} \left(8 - 3 \frac{\epsilon_c'}{\epsilon_{c0}'} \right)$$

したがって、

$$y_G = \frac{8 - 3 \frac{\epsilon_c'}{\epsilon_{c0}'}}{4 \left(3 - \frac{\epsilon_c'}{\epsilon_{c0}'} \right)} x \quad (\text{補 3})$$

特に、 $x=x_0$ および $\epsilon_c'=\epsilon_{c0}'$ のとき、

$$y_G = \frac{5}{8} x_0 \quad (\text{補 4})$$

6.1.2 市販ソフトとの比較（終局曲げモーメント）

(1) 解析条件

解析条件として、以下の RC 断面を想定する。

部材高さ $h=80\text{cm}$

部材幅 $b=100\text{cm}$

鉄筋ヤング係数 $E_s=200\text{kN/mm}^2$

鉄筋降伏強度 $f_y=295\text{N/mm}^2$

コンクリートヤング係数 $E_c=23.5\text{kN/mm}^2$

コンクリート設計基準強度 $f'_{ck}=21\text{N/mm}^2$

コンクリート材料係数 $\gamma_c=1.3$

引張側鉄筋断面積 $A_{s1}=13.247\text{cm}^2$ (D16@150)

圧縮側鉄筋断面積 $A_{s2}=13.247\text{cm}^2$ (D16@150)

引張側鉄筋かぶり $c=10\text{cm}$ (有効高さ $d_1=70\text{cm}$)

圧縮側鉄筋かぶり $d_2=17\text{cm}$

作用軸力 $N=300\text{kN}$ 、 1000kN および 4000kN (3種類を設定)

(2) 解析式による計算結果

(a) 軸力 $N'=300\text{kN}$ の場合

6.1.2(1)の解析条件のもとに軸力 300kN を設定した場合、6.1.1 で示したモードのうち、(iii)の圧縮側鉄筋が引張降伏するケースとなる。このことは、先の解析式に従い、終局時の中立軸比 k_u を算出して圧縮側鉄筋が引張降伏する条件を満足することを確認する必要がある。以下で、その計算を行う。

$$\psi_1 = \frac{f_y A_{s1}}{0.85 f'_c b d_1} = \frac{295 \times 1324.7}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 70} = 0.04066$$

$$\psi_2 = \frac{f_y A_{s2}}{0.85 f'_c b d_1} = \frac{295 \times 1324.7}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 70} = 0.04066$$

$$\beta = \frac{\epsilon'_{c0}}{\epsilon'_{cu}} = \frac{0.002}{0.0035} = 0.5714$$

$$\bar{N} = \frac{N'}{0.85 f'_c b d_1} = \frac{300000}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 70} = 0.03121$$

式(17)を用いて、中立軸比 k_u を算出する。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 + \psi_2 + \bar{N})}{3 - \beta} = \frac{3 \times (0.04066 + 0.04066 + 0.03121)}{3 - 0.5714} = 0.1390$$

ここで、圧縮側鉄筋が引張降伏する条件として、中立軸比 k_u がある値以下になることを確認する。すなわち、式(18)より、

$$\delta = \frac{\epsilon'_{cu}}{\epsilon_y} = \frac{0.0035}{295/200000} = 2.373$$

$$\gamma = \frac{d_2}{d_1} = \frac{170}{700} = 0.2429$$

$$k_u \leq \frac{\gamma\delta}{\delta+1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{2.373+1} = 0.1709$$

上記より、中立軸比 k_u が 0.1709 より小さく、圧縮側鉄筋が引張降伏するモードであることがわかる。

次に、終局曲げモーメントを、式(19)により算出する。

$$\begin{aligned} \bar{M}_u &= \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8}k_u\right) + (1-\beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2}k_u\right) - \psi_2(1-\gamma) - \bar{N}' \frac{\gamma t}{d_1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0.5714 \times 0.1390 \times \left(1 - \frac{8-5 \times 0.5714}{8} \times 0.1390\right) \\ &\quad + (1-0.5714) \times 0.1390 \times \left(1 - \frac{1-0.5714}{2} \times 0.1390\right) \\ &\quad - 0.04066 \times (1-0.2429) - 0.03231 \times \frac{300}{700} = 0.06186 \end{aligned}$$

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f_c'bd_1^2 = 0.06186 \times 0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700^2 = 416200000Nmm = 416.2kNm$$

(b) 軸力 $N' = 1000kN$ の場合

3.6.2(1)の解析条件のもとに軸力 1000kN を設定した場合、6.1.1 で示したモードのうち、(i)の圧縮側鉄筋が未降伏のケースとなる。このことは、先の解析式に従い、終局時の中立軸比 k_u を算出して圧縮側鉄筋が未降伏の条件を満足することを確認する必要がある。以下で、その計算を行う。

$$\bar{N} = \frac{N'}{0.85f_c'bd_1} = \frac{1000000}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700} = 0.1040$$

式(5)を用いて、中立軸比 k_u を算出する。

$$\begin{aligned} k_u &= \frac{-3(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N}) + \sqrt{9(\delta\psi_2 - \psi_1 - \bar{N})^2 + 12(3-\beta)\delta\psi_2\gamma}}{2(3-\beta)} \\ &= \frac{-3 \times (2.373 \times 0.04066 - 0.04066 - 0.1040) + \sqrt{9 \times (2.373 \times 0.04066 - 0.04066 - 0.1040)^2 + 12 \times (3 - 0.5714) \times 2.373 \times 0.04066 \times 0.2429}}{2 \times (3 - 0.5714)} \\ &= 0.2025 \end{aligned}$$

ここで、圧縮側鉄筋が未降伏である条件として、中立軸比 k_u がある範囲内にあることを確認する。すなわち、式(6)より、

$$k_u \geq \frac{\gamma\delta}{\delta+1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{2.373+1} = 0.1709$$

$$k_u \leq \frac{\gamma\delta}{\delta-1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{2.373-1} = 0.4198$$

上記より、圧縮側鉄筋が未降伏のモードであることがわかる。

次に、終局曲げモーメントを式(8)により計算する。

$$\begin{aligned}
\bar{M}_u &= \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8}k_u\right) + (1-\beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2}k_u\right) + \frac{k_u-\gamma}{k_u}\delta\psi_2(1-\gamma) - \bar{N}'\frac{y_t}{d_1} \\
&= \frac{2}{3} \times 0.5714 \times 0.2025 \times \left(1 - \frac{8-5 \times 0.5714}{8} \times 0.2025\right) \\
&\quad + (1-0.5714) \times 0.2025 \times \left(1 - \frac{1-0.5714}{2} \times 0.2025\right) \\
&\quad + \frac{0.2025-0.2429}{0.2025} \times 2.373 \times 0.04066 \times (1-0.2429) \\
&\quad - 0.1040 \times \frac{300}{700} \\
&= 0.09099
\end{aligned}$$

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f'_c b d_1^2 = 0.09099 \times 0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700^2 = 612200000 Nmm = 612.2 kNm$$

(c) 軸力 $N' = 4000kN$ の場合

6.1.2(1)の解析条件のもとに軸力 4000kN を設定した場合、6.1.1 で示したモードのうち、(ii)の圧縮側鉄筋が圧縮降伏するケースとなる。このことは、先の解析式に従い、終局時の中立軸比 k_u を算出して圧縮側鉄筋が圧縮降伏する条件を満足することを確認する必要がある。以下で、その計算を行う。

$$\bar{N} = \frac{N'}{0.85f'_c b d_1} = \frac{4000000}{0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700} = 0.4162$$

式(12)を用いて、中立軸比 k_u を算出する。

$$k_u = \frac{3(\psi_1 - \psi_2 + \bar{N})}{3-\beta} = \frac{3 \times (0.04066 - 0.04066 + 0.4162)}{3-0.5714} = 0.5141$$

ここで、圧縮側鉄筋が圧縮降伏する条件として、中立軸比 k_u がある値よりも大きいことを確認する。すなわち、式(13)より、

$$k_u \geq \frac{\gamma\delta}{\delta-1} = \frac{0.2429 \times 2.373}{2.373-1} = 0.4198$$

上記より、圧縮側鉄筋が圧縮降伏するモードであることがわかる。

次に、終局曲げモーメントを式(15)により計算する。

$$\begin{aligned}
\bar{M}_u &= \frac{2}{3}\beta k_u \left(1 - \frac{8-5\beta}{8}k_u\right) + (1-\beta)k_u \left(1 - \frac{1-\beta}{2}k_u\right) + \psi_2(1-\gamma) - \bar{N}'\frac{y_t}{d_1} \\
&= \frac{2}{3} \times 0.5714 \times 0.5141 \times \left(1 - \frac{8-5 \times 0.5714}{8} \times 0.5141\right) \\
&\quad + (1-0.5714) \times 0.5141 \times \left(1 - \frac{1-0.5714}{2} \times 0.5141\right) \\
&\quad + 0.04066 \times (1-0.2429) - 0.4162 \times \frac{300}{700} = 0.1812
\end{aligned}$$

$$M_u = \bar{M}_u \cdot 0.85f'_c b d_1^2 = 0.1812 \times 0.85 \times 16.154 \times 1000 \times 700^2 = 1219000000 Nmm = 1219 kNm$$

(3) 市販ソフトによる計算結果（終局曲げモーメント）

6.1.2(2)の解析式による算出結果を検証するために、市販ソフトを用いて終局曲げモーメントを計算した。市販ソフトは、RC断面計算（フォーラムエイト）を使用した。解析条件は、6.1.2(1)で提示したものと同一である。市販ソフトによる終局曲げモーメントの算出結果を、表 6.1.2-1 に示す。また、表 6.1.2-2 に、解析式と市販ソフトの比較を示す。

解析式による結果は、市販ソフトの結果とほぼ一致していることがわかる。

表 6-1 市販ソフトによる終局曲げモーメントの算出結果

CASE-No	形状	LOAD-No	Mc(kN-m)	My0(kN-m)	Mls2(kN-m)	Mls3(kN-m)	$\phi_c(1/m)$	$\phi_{y0}(1/m)$	$\phi_{ls2}(1/m)$	$\phi_{ls3}(1/m)$
1	矩形	1	234.646	346.162	416.197		0.000225511	0.002908510	0.035961118	
1	矩形	2	329.074	542.359	612.034		0.000316262	0.003341299	0.024688143	
1	矩形	3	733.762	1164.670	1208.214		0.000705195	0.005279208	0.009723617	

解析条件入力パラメータ

Case1 : t=800

再描画(F5) | ステム(X) | 150 | 前(B) | 後(A)

寸法 | 材料 | 主鉄筋 | 計算設定 | 許容応力度法 | 限界状態設計法

配置方法 : Type1 Type2

種類	タイ°	位置d(m)	径(mm)	本数/枚数	As(cm ²)	分布長(m)
1	1	0.7000	0.00	0.000	13.247	1.000
2	1	0.1700	0.00	0.000	13.247	1.000
3						

コンクリート 鉄筋

設計基準強度 (N/mm ²)	16.15
許容曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	7.00
許容軸圧縮応力度 (N/mm ²)	5.50
許容せん断応力度(道示Ⅲ) (N/mm ²)	0.360
許容せん断応力度(道示Ⅳ) (N/mm ²)	0.220
平均せん断応力度 (N/mm ²)	0.330
平均せん断応力度の最大値 (N/mm ²)	2.800
許容斜引張応力度 (N/mm ²)	0.80
許容斜引張応力度 (N/mm ²)	1.400
曲げ引張強度 (N/mm ²)	1.7500
ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	2.35

コンクリート 鉄筋

設計引張強度 (N/mm ²)	440.0
降伏点応力度 (N/mm ²)	295.0
せん断補強鉄筋引張強度 (N/mm ²)	440.0
せん断補強鉄筋降伏強度 (N/mm ²)	295.0
ねじり補強鉄筋引張強度 (N/mm ²)	440.0
ねじり補強鉄筋降伏強度 (N/mm ²)	295.0
許容引張応力度 (N/mm ²)	180.00
許容圧縮応力度 (N/mm ²)	180.00
ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	2.00

断面力一覧入力

許容応力度法 | 限界状態設計法

ケースNo.	出力タイトル	断面力No.	ケース名称	曲げM(kN-m)	軸力N(kN)	せん断SkN
1	t=800	1	断面力ケース1	0.000	300.000	0.000
1	t=800	2	断面力ケース2	0.000	1000.000	0.000
1	t=800	3	断面力ケース3	0.000	4000.000	0.000

表 6-2 解析式と市販ソフトの比較（曲げ耐力）

軸力(kN)	Mu (解析式) (kNm)	Mu (市販ソフト) (kNm)	比 (解析式/市販ソフト)
300	416.2	416.2	1.000
1000	612.2	612.0	1.000
4000	1219	1208.2	1.009

6.2 せん断耐力

6.2.1 せん断耐力式

L2 地震動に対するせん断照査では、以下に示すように、構造解析によって算出される発生せん断力（応答せん断力） V_d が、設計せん断耐力 V_{yd} を上回らないことを確認する。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{yd}} \leq 1.0$$

ここに、 V_d ：設計せん断力（発生せん断力）

V_{yd} ：設計せん断耐力

γ_i ：構造物係数（=1.0）

なお、上記の設計せん断耐力 V_{yd} については、以下により算出する。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここに、 V_{cd} はせん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力で、コンクリートで負担するせん断力を表すものである。また、 V_{sd} はせん断補強鋼材が受け持つせん断力である。

(1) せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力 V_{cd}

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

上式のせん断耐力式は、コンクリート強度に依存するせん断強度 f_{vcd} にせん断断面積 $b_w \cdot d$ を乗じて耐力に換算し、さらに有効高、引張鉄筋比および軸力に関する補正をして求められたものである。それぞれの補正係数は、以下に示される。

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad \text{ただし } f_{vcd} \leq 0.72 \quad (\text{N/mm}^2)$$

f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度（N/mm²）

（ $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$, f'_{ck} ：設計基準強度, γ_c ：コンクリート材料係数（=1.3））

$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d}$ （ d : mm）ただし $\beta_d \geq 1.5$ となる場合は 1.5 とする

d ：有効高さ（mm）

$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$ 　　ただし $\beta_p \geq 1.5$ となる場合は 1.5 とする

$$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$$

A_s ：引張側鋼材の断面積（mm²）

$\beta_n = 1 + 2M_0/M_{ud}$ （ $N'_d \geq 0$ ）ただし $\beta_n \geq 2$ となる場合は 2 とする

$= 1 + 4M_0/M_{ud}$ （ $N'_d \leq 0$ ）ただし $\beta_n \leq 0$ となる場合は 0 とする

N'_d ：設計軸方向圧縮力

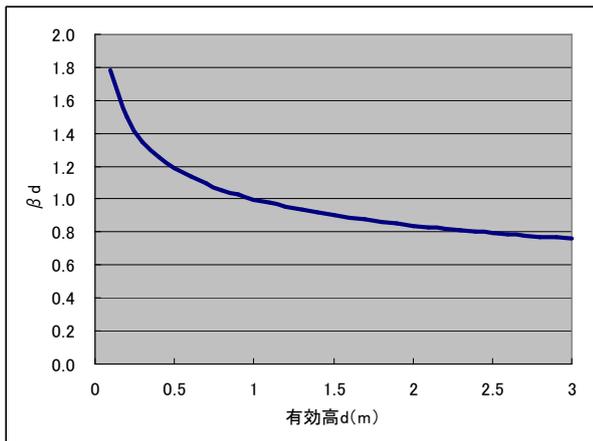
M_{ud} ：軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

M_0 ：設計曲げモーメント M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要な曲げモーメント（矩形断面では $M_0 = N'_d \cdot h/6$, h ：部材の全高）

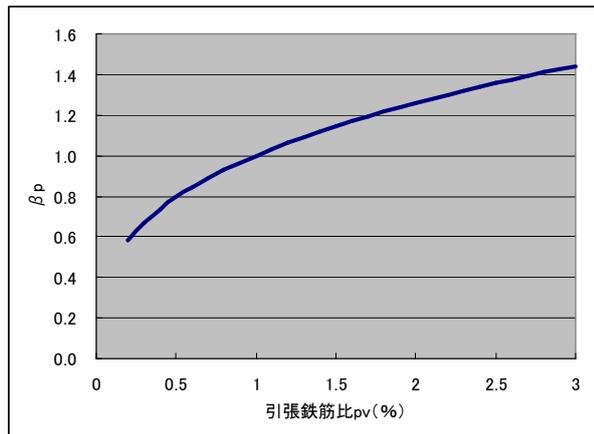
b_w ：腹部の幅（mm）

d ：有効高さ（mm）

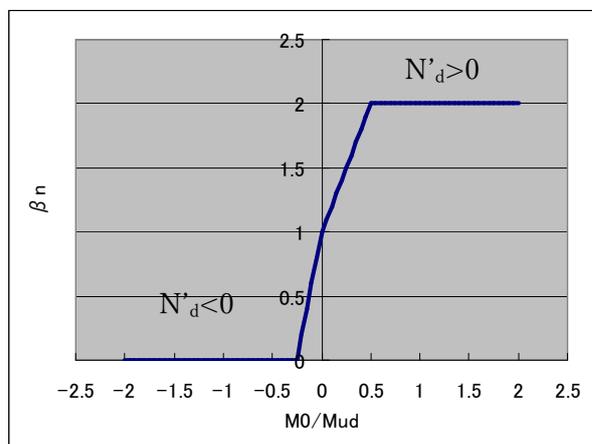
γ_b ：コンクリート部材係数（=1.3）



(a)有効高 d に関する補正係数 β_d



(b)引張鉄筋比 p_v に関する補正係数 β_p



(c)軸力に対する補正係数 β_n

図 6-3 せん断耐力の補正係数

(2) せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力 V_{sd}

$$V_{sd} = (A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s) z / \gamma_b$$

A_w : 区間 s_s におけるせん断補強筋の総断面積 (mm²)

s_s : せん断補強鉄筋の部材軸方向の配置間隔 (mm)

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の設計降伏強度で 400N/mm² 以下とする。ただしコンクリート圧縮強度の特性値 f'_{ck} が 60N/mm² 以上のときは 800N/mm² 以下としてよい。

($f_{wyd} = f_{wy} / \gamma_s$, f_{wy} : せん断補強鉄筋の降伏強度, γ_s : 鉄筋材料係数 (=1.0))

α_s : せん断補強鉄筋が部材軸となす角度

z : 圧縮応力の合力作用位置から引張鋼材図心までの距離で一般に $d/1.15$ としてよい

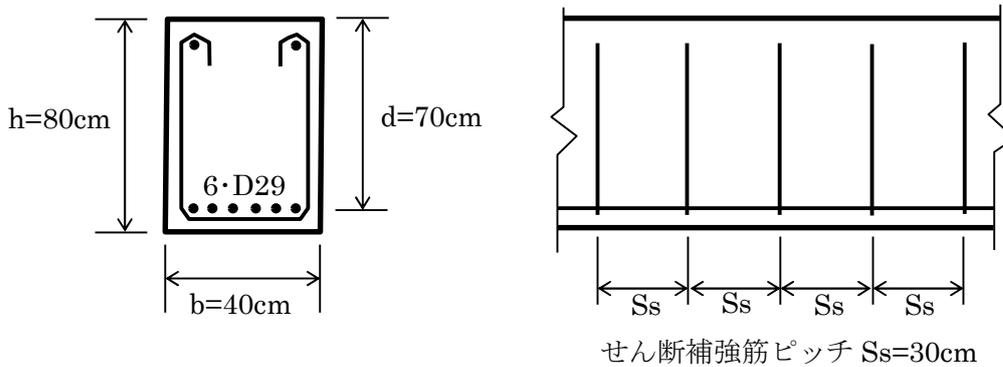
γ_b : 鉄筋部材係数 (=1.15)

6.2.2 市販ソフトとの比較（せん断耐力）

(1) 解析条件

6.2.1 で示したせん断耐力式による計算結果を確認するため、市販ソフトを用いてせん断耐力を算出した。市販ソフトは、RC 断面計算（フォーラムエイト）を用いた。

せん断耐力算出の解析条件を、下図に示す。



部材高さ： $h=80\text{cm}$ （有効高さ $d=70\text{cm}$ ）

主鉄筋：6本 - D29（芯かぶり 10cm）（D29 の公称断面積： 6.424cm^2 ）

せん断補強筋：2本 - D22@300（D22 の公称断面積： 3.871cm^2 ）

コンクリート設計基準強度： $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$

鉄筋種類：SD345（降伏強度 $f_y=345\text{N/mm}^2$ ）

軸力： $N=500\text{kN}$

図 6-4 せん断耐力算出の解析条件

(2) せん断耐力式による計算結果

(a) せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力 V_{cd}

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}} = 0.20 \times \sqrt[3]{30/1.3} = 0.569\text{N/mm}^2$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d} = \sqrt[4]{1000/700} = 1.093$$

$$p_v = A_s / b_w d = 6 \times 642.4 / (400 \times 700) = 0.01378 \quad (\text{D29 が 6 本分の鉄筋比})$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v} = \sqrt[3]{100 \times 0.01378} = 1.113$$

次に、 β_n を計算するために、純曲げ耐力（軸力を考慮しない曲げ耐力）を計算する。以下では簡単のために、単鉄筋での純曲げ耐力を算出する。単鉄筋矩形断面に対する純曲げ耐力 M_{ud} は、次式で表される。

$$\begin{aligned} M_{ud} &= b d^2 \cdot p f_y (1 - p f_y / 1.7 f_c) \\ &= 400 \times 700^2 \times 0.01378 \times 345 \times (1 - 0.01378 \times 345 / (1.7 \times 30)) \\ &= 8.449 \times 10^8 \text{Nmm} = \underline{844.9 \text{kNm}} \end{aligned}$$

$$M_0 = N_d \cdot h / 6 = 500 \times 0.8 / 6 = 66.7 \text{ kNm}$$

$$\beta_n = 1 + 2M_0 / M_{ud} = 1 + 2 \times 66.7 / 844.9 = 1.158$$

$$V_{cd} = 1.093 \times 1.113 \times 1.158 \times 0.569 \times 400 \times 700 / 1.3 = 172600 \text{ N} = \underline{172.6 \text{ kN}}$$

(b) せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力 V_{sd}

せん断補強鉄筋の部材軸方向ピッチ当たりの断面積 A_w

$$A_w = 3.871 \text{ cm}^2 \times 2 \text{ 本} = 7.742 \text{ cm}^2 = 774.2 \text{ mm}^2$$

せん断補強鉄筋が部材軸となす角度 α_s

$$\alpha_s = 90^\circ \text{ (スターラップ筋)}$$

$$V_{sd} = (A_w f_{wyd} (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s) / s_s) z / \gamma_b$$

$$= 774.2 \times 345 / 300 \times 700 / 1.15 / 1.15 = 471300 \text{ N} = \underline{471.3 \text{ kN}}$$

(c) 設計せん断耐力

設計せん断耐力 V_{yd}

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} = 172.6 + 471.3 = \underline{643.9 \text{ kN}}$$

(3) 市販ソフトによる計算結果 (せん断耐力)

市販ソフトによるせん断耐力の計算結果を、表 6-3 に示す。(2)のせん断耐力式による結果とほぼ一致していることがわかる。

表 6-3 市販ソフトによるせん断耐力の計算結果

せん断	V _{yd} (kN)	644.757				
	V _{wcd} (kN)	1293.342				
	$\gamma_i \cdot V_d / V_{yd}$	0.000 < 1.00				
	$\gamma_i \cdot V_d / V_{wcd}$	0.000 < 1.00				

解析条件入力パラメータ

The screenshot shows the software interface for structural analysis. It includes a diagram of a beam cross-section with dimensions 400mm width and 800mm height. Below the diagram is a table of design strengths (コンクリート | 鉄筋) and a table of material properties (コンクリート | 鉄筋). The design strengths table lists values for concrete and steel, such as design tensile strength (490.0 N/mm²) and design compressive strength (345.0 N/mm²). The material properties table lists values for steel, such as yield strength (345 N/mm²) and ultimate strength (490 N/mm²).

設計基準強度 (N/mm ²)		30.00
許容曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	10.00	
許容軸圧縮応力度 (N/mm ²)	8.50	
許容せん断応力度(示Ⅲ) (N/mm ²)	0.450	
許容せん断応力度(示Ⅳ) (N/mm ²)	0.250	
平均せん断応力度 (N/mm ²)	0.370	
平均せん断応力度の最大値 (N/mm ²)	4.000	
許容斜引張応力度 (N/mm ²)	0.80	
許容付着応力度 (N/mm ²)	1.800	
曲げ引張強度 (N/mm ²)	2.2200	
ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	2.80	

設計引張強度 (N/mm ²)		490.0
降伏点応力度 (N/mm ²)	345.0	
せん断補強鉄筋引張強度 (N/mm ²)	490.0	
せん断補強鉄筋降伏強度 (N/mm ²)	345.0	
ねじり補強鉄筋引張強度 (N/mm ²)	490.0	
ねじり補強鉄筋降伏強度 (N/mm ²)	345.0	
許容引張応力度 (N/mm ²)	180.00	
許容圧縮応力度 (N/mm ²)	200.00	
ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²)	2.00	

基本定数 材料・構造物係数 部材係数 せん断補強鉄筋 断	
終局限界状態 曲げ・軸耐力	1.10
終局限界状態 軸方向圧縮耐力	1.30
終局限界状態 せん断耐力(コンクリート)	1.30
終局限界状態 せん断耐力(鉄筋鋼材)	1.15
終局限界状態 ねじり耐力	1.30
使用限界状態	1.00
疲労限界状態	1.00
疲労限界状態 せん断耐力(コンクリート)	1.30

基本定数 材料・構造物係数 部材係数 せん断補強鉄筋 断	
スターラップ 鉄筋量 A_w (cm ²)	7.742
スターラップ ピッチ S_s (mm)	300.0
スターラップ 角度 α_s (°)	90
折曲鉄筋 鉄筋量 A_b (cm ²)	0.000
折曲鉄筋 ピッチ S_b (mm)	0.0
折曲鉄筋 角度 α_b (°)	0
せん断有効高さ d (mm)	0.000
引張鉄筋量 A_s (cm ²)	38.544
f_{vcd} の低減率 (%)	100

6.2.3 ディープビームに対するせん断耐力式

「下水道施設耐震計算例－処理場・ポンプ場編－ 2015年版 日本下水道協会」によれば、棒部材式によるせん断耐力式でNGとなった場合、分布荷重を受ける面部材や部材の隅角部においては、等価せん断スパンを用いたディープビーム式を適用してよいことが記載されている。

上記資料では、せん断スパン比 a/d が 2.5～3.0 以下においてディープビーム式の適用を推奨しているが、本マクロではディープビームを判定する a/d の閾値を 2.5 と設定した。

以下では、 a/d が 2.5 を超える場合にはせん断スパン比 a/d を考慮した棒部材式を、 a/d が 2.5 以下の場合にはディープビーム式を適用するものとし、それぞれの耐力式について記述する。

(1) せん断スパン比を考慮した棒部材式

本マクロでは、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」に提示される、せん断スパン比 a/d を考慮するせん断耐力式を用いた。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

$$V_{cd} = 0.2 \cdot \beta_a \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot \sqrt[3]{f'_{cd}} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ここに、 V_{yd} ：せん断スパン比を考慮した設計せん断耐力

V_{cd} ：コンクリートが負担する設計せん断耐力であり、 β_a 以外は 6.2.1(1)の提示と同じ

V_{sd} ：せん断補強筋が負担する設計せん断耐力であり、6.2.1(2)の提示と同じ

β_a ：せん断スパン比 a/d による補正係数 (a ：等価せん断スパン、 d ：有効高)

(2) ディープビーム式

ディープビームに対しては、「下水道施設耐震計算例－処理場・ポンプ場編－ 2015年版 日本下水道協会」に提示される、以下のせん断耐力式を用いた。

$$V_{dd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

ここに、 $f_{dd} = 0.19 \cdot \sqrt{f'_{cd}}$ (N/mm²)

$\beta_d = 4\sqrt{1000/d}$ (d ：mm) ただし、 $\beta_d > 1.5$ となる場合は 1.5 とする

$\beta_p = \{1 + \sqrt{100p_v}\} / 2$ ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は 1.5 とする

$\beta_a = 5 / \{1 + (a/d)^2\}$

b_w ：腹部の幅 (mm)

d ：有効高

a ：等価せん断スパン

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

A_s ：引張側鋼材の断面積 (mm²)

f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)

γ_b ：部材係数

6.3 複鉄筋矩形断面の曲げ応力度(許容応力度法)

6.3.1 応力度算出式の誘導

L1 地震動に対する耐震性照査では、通例、RC 断面を想定した発生応力度を算出し、許容応力度を上回らないことを確認する許容応力度照査が実施される。

以下では、複鉄筋矩形断面を対象として、コンクリート引張応力を無視した RC 断面に発生するコンクリート応力および鉄筋応力の算出式を誘導する。

複鉄筋の矩形断面を仮定し、コンクリート圧縮縁応力および鉄筋応力の算出式を誘導する。

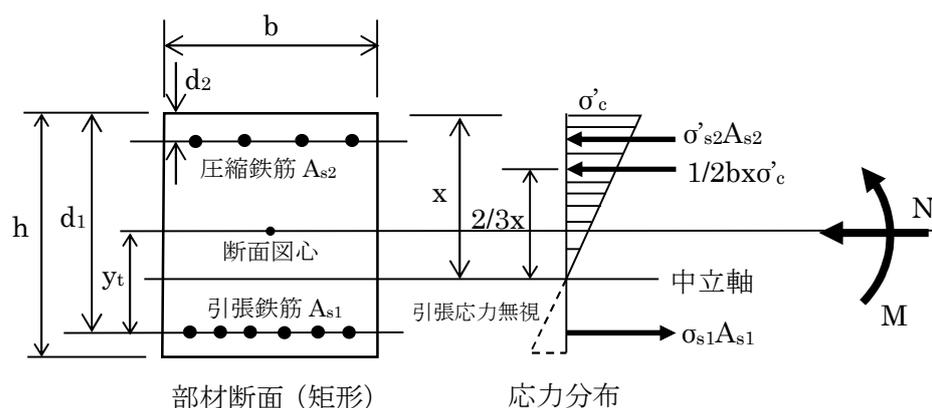


図 6-5 複鉄筋矩形断面の応力度算出における断面仮定

【記号の説明】

- h : 部材高 (全高)
- d₁ : 有効高 (圧縮縁から引張鉄筋中心位置までの距離)
- d₂ : 圧縮鉄筋の芯かぶり (圧縮縁から圧縮鉄筋中心位置までの距離)
- A_{s1} : 引張鉄筋断面積
- A_{s2} : 圧縮鉄筋断面積
- b : 部材幅
- x : 圧縮縁から中立軸までの距離
- y_t : 図心位置 (引張鉄筋位置からの距離)
- σ'_c : 圧縮縁でのコンクリート圧縮応力
- σ_{s1} : 引張鉄筋の応力
- σ'_{s2} : 圧縮鉄筋の応力
- N' : 部材断面に作用する軸力 (圧縮力を正とする)
- M : 部材断面に作用する曲げモーメント (下縁側に引張を発生させる向きを正とする)
- E_s : 鉄筋のヤング係数
- E_c : コンクリートのヤング係数
- n : ヤング係数比 (=E_s/E_c) (n=15 とする)

圧縮鉄筋応力 σ'_{s2} および引張鉄筋応力 σ'_{s1} は、コンクリート圧縮応力 σ'_c により、次式で表される。

$$\sigma'_{s2} = E_S \frac{\sigma'_c \frac{x-d_2}{x}}{E_C} = n\sigma'_c \frac{x-d_2}{x} \quad (1)$$

$$\sigma'_{s1} = E_S \frac{\sigma'_c \frac{x-d_2}{x}}{E_C} = n\sigma'_c \frac{d_1-x}{x} \quad (2)$$

RC 断面における軸力の釣り合いにより、次式が成立する。

$$N' = \frac{1}{2} b \sigma'_c x + A_{s2} \sigma'_{s2} - A_{s1} \sigma'_{s1} \quad (3)$$

また、RC 断面における引張鉄筋位置回りのモーメントの釣り合いにより、次式が成立する。

$$M + N' y_t = \frac{1}{2} b x \sigma'_c \left(d_1 - \frac{x}{3} \right) + A_{s2} \sigma'_{s2} (d_1 - d_2) \quad (4)$$

式(1)および(2)を、式(3)および(4)に代入すれば、次式を得る。

$$N' = \frac{bx}{2} \sigma'_c + nA_{s2} \frac{x-d_2}{x} \sigma'_c - nA_{s1} \frac{d_1-x}{x} \sigma'_c \quad (5)$$

$$M + N' y_t = \frac{bx}{2} \sigma'_c \left(d_1 - \frac{x}{3} \right) + nA_{s2} \frac{(x-d_2)}{x} (d_1 - d_2) \sigma'_c \quad (6)$$

したがって、 $(M+N'y_t)/N'$ を計算すれば、 σ'_c を消去できる。

$$\frac{M+N'y_t}{N'} = \frac{bx^2(3d_1-x)+6nA_{s2}(x-d_2)(d_1-d_2)}{3bx^2+6nA_{s2}(x-d_2)-6nA_{s1}(d_1-x)} \quad (7)$$

式(7)を中立軸位置 x に関して整理すれば、次式を得る。

$$bd_1 N' x^3 + 3b\{(M+N'y_t) - d_1 N'\} x^2 + 6n\{A_{s1}(M+N'y_t) + A_{s2}(M+N'y_t - (d_1-d_2)N')\} x - 6n\{A_{s1}(M+N'y_t)d_1 + A_{s2}(M+N'y_t - (d_1-d_2)N')d_2\} = 0 \quad (8)$$

式(8)の両辺に、 $1/(bd_1^2)$ を乗じれば、次式を得る。

$$d_1 N' \left(\frac{x}{d_1} \right)^3 + 3\{M+N'y_t - d_1 N'\} \left(\frac{x}{d_1} \right)^2 - 6n \left\{ \frac{A_{s1}}{bd_1} (M+N'y_t) + \frac{A_{s2}}{bd_1} (M+N'y_t - (1-\frac{d_2}{d_1})d_1 N') \right\} \left(\frac{x}{d_1} \right) - 6n \left\{ \frac{A_{s1}}{bd_1} (M+N'y_t) + \frac{A_{s2}}{bd_1} (M+N'y_t - (1-\frac{d_2}{d_1})d_1 N') \frac{d_2}{d_1} \right\} = 0 \quad (9)$$

ここで、以下のパラメータを定義する。

$$k = \frac{x}{d_1} \quad (\text{中立軸比}), \quad p_1 = \frac{A_{s1}}{bd_1} \quad (\text{引張鉄筋比}), \quad p_2 = \frac{A_{s2}}{bd_1} \quad (\text{圧縮鉄筋比}), \quad \text{および } \gamma = \frac{d_2}{d_1}$$

式(9)が、上記パラメータにより以下のように表すことができる。

$$N' d_1 k^3 + 3\{M+N'y_t - N' d_1\} k^2 + 6n\{p_1(M+N'y_t) + p_2\{(M+N'y_t) - (1-\gamma)N' d_1\}\} k - 6n\{p_1(M+N'y_t) + p_2\gamma\{(M+N'y_t) - (1-\gamma)N' d_1\}\} = 0 \quad (10)$$

さらに、以下のパラメータを定義する。

$$C = \frac{N' d_1}{M} \quad \text{および} \quad \delta = \frac{y_t}{d_1}$$

このとき、式(10)を、次式のように書くことができる。

$$Ck^3 + 3\{1 - (1 - \delta)C\}k^2 + 6n[(p_1 + p_2) + \{(p_1 + p_2)\delta - p_2(1 - \gamma)\}C]k - 6n[(p_1 + p_2\gamma) + \{(p_1 + p_2\gamma)\delta - p_2\gamma(1 - \gamma)\}C] = 0 \quad (11)$$

ここで、

$$\eta = \frac{1-(1-\delta)C}{c} = \frac{1}{c} + \delta - 1 = \frac{M}{N'd_1} + \frac{y_t}{d_1} - 1$$

を定義する。

軸力 N' がゼロでないとき、式(11)の両辺を C で除し、 $\frac{1+\delta C}{c} = 1 + \eta$ なることを考慮して書き直せば、式(11)は次式となる。

$$k^3 + 3\eta k^2 + 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2(\eta + \gamma)\}k - 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2\gamma(\eta + \gamma)\} = 0 \quad (12)$$

式(12)が中立軸位置 x を算出するための方程式となる。 k に関する 3 次方程式を解けば、中立軸比 k ($=x/d_1$) を求めることが可能である。

ここに、式(12)は吉川弘道著「鉄筋コンクリートの設計 丸善出版」p.136 に示される式と一致している（ただし、吉川の著書では上記パラメータ η が δ となっている）。

なお、式(12)は軸力 N' がゼロでないときに適用可能であるが、 $N'=0$ の場合には、式(11)において $C=0$ とし次式が得られる。

$$k^2 + 2n(p_1 + p_2)k - 2n(p_1 + p_2\gamma) = 0 \quad (13)$$

次に、圧縮縁におけるコンクリート応力 σ'_c を求める。

式(6)より、

$$\sigma'_c = \frac{M + N'y_t}{\frac{bx}{2}(d_1 - \frac{x}{3}) + nA_{s2}\frac{(x-d_2)}{x}(d_1 - d_2)} \quad (14)$$

先に定義したパラメータを用いると、圧縮縁でのコンクリート応力として、次式を得る。

$$\sigma'_c = \frac{6k(\sigma_M + \delta\sigma_N)}{k^2(3-k) + 6np_2(k-\gamma)(1-\gamma)} \quad (15)$$

$$\text{ここに、} \sigma_M = \frac{M}{bd_1^2}, \sigma_N = \frac{N'}{bd_1}$$

また、圧縮鉄筋および引張鉄筋の応力は、式(1)および(2)より、次式で表される。

$$\sigma'_{s2} = n\sigma'_c \frac{x-d_2}{x} = n\sigma'_c \frac{k-\gamma}{k} \quad (16)$$

$$\sigma'_{s1} = n\sigma'_c \frac{d_1-x}{x} = n\sigma'_c \frac{1-k}{k} \quad (17)$$

6.3.2 応力度算出の手順

応力度を算出する手順は、以下の通りである。

(1) 断面諸元に関する以下の5つの値と断面力の値を設定する。

- ①有効高 d_1 ②断面幅 b ③圧縮鉄筋かぶり d_2 ④引張鉄筋量 A_{s1} ⑤圧縮鉄筋量 A_{s2}
 ⑥曲げモーメント M ⑦軸力 N

(2) 以下に示す7つのパラメータの値を求める。

- ① 引張鉄筋比 $p_1 = \frac{A_{s1}}{bd_1}$ ② 圧縮鉄筋比 $p_2 = \frac{A_{s2}}{bd_1}$
 ③ パラメータ $\gamma = \frac{d_2}{d_1}$ ④ パラメータ $\eta = \frac{M}{Nd_1} + \frac{y_t}{d_1} - 1$
 ⑤ パラメータ $\sigma_M = \frac{M}{bd_1^2}$ (応力の次元) ⑥ パラメータ $\sigma_N = \frac{N}{bd_1}$ (応力の次元)
 ⑦ パラメータ $\delta = \frac{y_t}{d_1}$

(3) (2)の①~④のパラメータを式(12)に代入し、中立軸比 $k(=x/d_1)$ を求める。

$$k^3 + 3\eta k^2 + 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2(\eta + \gamma)\}k - 6n\{p_1(1 + \eta) + p_2\gamma(\eta + \gamma)\} = 0 \quad \text{再掲(12)}$$

なお、軸力 $N=0$ のときは、次式を用いる。

$$k^2 + 2n(p_1 + p_2)k - 2n(p_1 + p_2\gamma) = 0 \quad \text{再掲(13)}$$

式(12)を用いて k を求めるには、 $0 \leq k \leq 1$ のもとに k を変化させ、式(12)の左辺の符号が変化する k を、繰返し計算により求める。

(4) (2)のパラメータと(3)で求めた k を、式(15)に代入してコンクリート圧縮縁応力を求める。

$$\sigma'_C = \frac{6k(\sigma_M + \delta\sigma_N)}{k^2(3-k) + 6np_2(k-\gamma)(1-\gamma)} \quad \text{再掲(15)}$$

(5) (4)で求めたコンクリート圧縮縁応力を、式(16)および(17)に代入して鉄筋応力を求める。

$$\sigma'_{s2} = n\sigma'_C \frac{x-d_2}{x} = n\sigma'_C \frac{k-\gamma}{k} \quad \text{再掲(16)}$$

$$\sigma'_{s1} = n\sigma'_C \frac{d_1-x}{x} = n\sigma'_C \frac{1-k}{k} \quad \text{再掲(17)}$$

6.4 せん断応力度(許容応力度法)

本マクロでのせん断応力度に関する照査では、コンクリートせん断応力の照査と必要せん断補強筋量の照査を実施している。

6.4.1 コンクリートせん断応力の照査

コンクリートせん断応力の照査については、以下の通り、コンクリートせん断応力が許容せん断応力度を超えないとき、OK とする。

コンクリートせん断応力： $\tau < \tau_a \rightarrow \text{OK}$

$$\tau = \frac{V}{bd} \times 1000$$

ここに、 τ ：コンクリートのせん断応力 (N/mm²)

V：応答せん断力 (kN)

b：部材幅 (mm)

d：有効高 (mm)

τ_a ：コンクリートのみで負担する場合の許容せん断応力度 (N/mm²)

(地震時を想定し常時の値の 1.5 倍とする)

6.4.2 必要せん断補強筋量の照査

6.4.1 の照査において、コンクリートせん断応力 τ が、許容せん断応力度 τ_a を超えたとき、必要せん断補強筋量の照査を行う。すなわち、必要せん断補強筋量及使用せん断補強筋量を超えないとき、OK とする。

必要せん断補強筋量： $A_{wn} < A_w \rightarrow \text{OK}$

ここに、 τ ：コンクリート応答せん断応力 (N/mm²)

A_w ：せん断補強筋の部材軸方向 1 ピッチあたりの使用せん断補強筋量 (mm²)

A_{wn} ：せん断補強筋の部材軸方向 1 ピッチあたりの必要せん断補強筋量 (mm²)

$$A_{wn} = \frac{\tau - 0.5 \times \tau_a}{\sigma_{saw}} bs$$

σ_{saw} ：せん断補強鉄筋の許容応力度 (N/mm²)

(地震時を想定し常時の値を 1.5 倍する)

τ_a ：コンクリートのみで負担する場合の許容せん断応力度 (N/mm²)

(地震時を想定し常時の値を 1.5 倍する)

b：部材幅 (mm)

s：せん断補強筋の部材軸方向ピッチ (mm)

7. 計算例

エクセル入力シートを作成例および出力シートの例を、表 7-1～24 に示す。また、断面力ファイルの例を表 7-25～26 に示す。

【入力データシート】

表 7-1(a) シート「断面諸元(入力データ)」（その 1：シェル要素）（一部）

表 7-1(b) シート「断面諸元(入力データ)」（その 2：梁要素）

表 7-2 シート「要素指定(入力データ)」（一部）

表 7-3 シート「a 計算用(入力データ)」

表 7-4 シート「断面力抽出(入力データ)」

表 7-5 シート「NODE&ELEM」（一部）

【出力シート】

表 7-6 シート「応力度計算」（一部）

表 7-7 シート「耐力計算(軸力考慮)」（一部）

表 7-8 シート「耐力計算(軸力無し)」（一部）

表 7-9 シート「耐力計算(破壊モード)」（一部）

表 7-10 シート「せん断耐力」（一部）

表 7-11 シート「せん断照査まとめ」（一部）

表 7-12 シート「NG 要素(超過率順)」

表 7-13 シート「NG 要素(要素番号順)」

表 7-14 シート「側壁 NG」（一部）

表 7-15 シート「底版 NG」（一部）

表 7-16 シート「頂版柱 NG」（一部）

表 7-17 シート「断面力最大値」（一部）

表 7-18 シート「断面力最大値 2」（一部）

表 7-19 シート「断面力分布」（一部）

表 7-20 シート「断面力分布・梁」（一部）

表 7-21 シート「せん断スパン」（一部）

表 7-22 シート「モーメント分布」（一部）

表 7-23 シート「反曲点と最大点」（一部）

表 7-24 シート「a 計算」（一部）

【断面力ファイル】

表 7-25 シェル要素断面力 csv ファイル（一部）[MIDAS による出力]

表 7-26 梁要素断面力 csv ファイル（一部）[MIDAS による出力]

図 7-1 に、表 7-14～16 の NG 要素をもとに図化表示した NG 箇所を示す。なお、図 7-1 は MIDAS の図化表示機能を利用して作成した。

表 7-1(a) シート「断面諸元(入力データ)」(その 1: シェル要素) (一部)

データ数		100																
部位	IND	部材厚 h (cm)	幅 b (cm)	上唇位置 d1 (cm)	下唇位置 d2 (cm)	上唇断面積 A1 (cm ²)	下唇断面積 A2 (cm ²)	換算ヤング係数 E ₀ (kN/mm ²)	コンクリートヤング係数 E _c (kN/mm ²)	鉄筋ヤング係数 E _s (kN/mm ²)	コンクリート強度 f _c (N/mm ²)	鉄筋強度 f _t (N/mm ²)	鉄筋断面積 A _s (cm ²)	鉄筋断面積 (せん断補強筋) A _v (cm ²)	鉄筋ピッチ (せん断補強筋) S _s (cm)	鉄筋許容応力度 σ _{sa} (N/mm ²)	コンクリート許容応力度 σ _{ca} (N/mm ²)	コンクリートせん断許容応力度 τ _c (N/mm ²)
頂板	1	20	100	6	14	8.447	8.447	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
頂板	2	20	100	4.7	15.3	8.447	8.447	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-1000	1	100	100	10	90	13.24	13.24	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-700	1	70	100	10	60	25.807	25.807	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-600	1	60	100	10	50	25.807	25.807	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-500	1	50	100	10	40	25.807	25.807	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-1000	2	100	100	11.6	88.4	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-700	2	70	100	11.9	48.1	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-600	2	60	100	11.9	48.1	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
底版-500	2	50	100	11.9	48.1	9.93	9.93	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-380	1	38	100	11.45	26.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-384	1	38.4	100	11.45	26.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-560	1	56	100	11.45	44.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-564	1	56.4	100	11.45	44.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-780	1	78	100	11.45	65.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-787	1	78.7	100	11.45	65.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-1021	1	102.1	100	11.45	89.65	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-1500 T	1	150	100	11.45	138.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-380	2	38	100	10	28	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-384	2	38.4	100	10	28.4	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-560	2	56	100	10	46	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-564	2	56.4	100	10	46.4	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-780	2	78	100	10	68.8	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-787	2	78.7	100	10	68.7	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-1021	2	102.1	100	10	92.1	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁1-1500 T	2	150	100	10	140	6.62	6.62	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁2-100	1	40	100	11.3	28.7	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁2-1000	1	100	100	11.3	88.7	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁2-100	2	40	100	10	30	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁2-1000	2	100	100	10	90	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁3-384	1	38.4	100	11.45	24.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁3-380	1	38	100	11.45	26.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁3-484	1	48.4	100	11.45	46.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁3-720	1	72	100	11.45	40.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁3-560	1	56	100	11.45	44.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42
間壁3-634	1	63.4	100	11.45	51.55	4.223	4.223	200	23.5	295	21	295	0	100	176	176	8	0.42

表 7-1(b) シート「断面諸元(入力データ)」(その 2: 梁要素)

頂板縦梁 400×400	3	40	40	7.3	32.7	2.534	2.534	200	23.5	295	21	295	2.534	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×400	4	40	40	7.3	32.7	2.534	2.534	200	23.5	295	21	295	2.534	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×400	5	40	40	7.3	32.7	2.534	2.534	200	23.5	295	21	295	2.534	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×400	6	40	40	7.3	32.7	2.534	2.534	200	23.5	295	21	295	2.534	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	3	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	4	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	5	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	6	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	7	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	8	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	9	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	10	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	11	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	12	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	13	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	14	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	15	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	16	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	17	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	18	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	19	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	20	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	21	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	22	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	23	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	24	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	25	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	26	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	27	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	28	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	29	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	30	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	31	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	32	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.42
頂板縦梁 400×500	33	40	50	7.9	32.1	19.355	19.355	200	23.5	295	21	295	3.972	15	176	176	8	0.

表 7-5 シート「NODE&ELEM」(一部)

NODE	X	Y	Z	ELEMENT	I	J	K	L
21	-5.93	5.844	7.87	681	2260	2261	2262	2263
30	-8.43	5.50019	8.288095	682	2264	2265	2266	2267
39	-12.43	4.950095	8.957048	683	93	379	500	499
53	-16.43	4.4	9.626	684	92	415	508	507
75	-16.43	4.4	12.126	685	91	429	516	515
76	-12.43	4.950095	12.126	726	2261	2300	2301	2262
77	-8.43	5.50019	12.126	727	2300	2302	2303	2301
78	-5.93	5.844	12.126	728	2302	2304	2305	2303
91	-12.43	4.950095	9.626	729	2304	2306	2307	2305
92	-8.43	5.50019	9.626	730	2306	2308	2309	2307
93	-5.93	5.844	9.626	731	2308	2310	2311	2309
177	-7.93	5.568952	8.204476	732	2310	2312	2313	2311
178	-7.43	5.637714	8.120857	733	2312	2264	2267	2313
179	-6.93	5.706476	8.037238	744	2265	2318	2319	2266
180	-6.43	5.775238	7.953619	745	2318	2320	2321	2319
219	-15.93	4.468762	9.542381	766	379	380	603	500
220	-15.43	4.537524	9.458762	767	380	381	607	603
221	-14.93	4.606286	9.375143	768	381	382	611	607
222	-14.43	4.675048	9.291524	769	382	92	507	611

表 7-6 シート「応力度計算」(一部)

データ数	3444																					
通し番号	要素番号	部位	IND	M(kN・m)	N(kN)	V(kN)	鉄筋応力 σ(N/mm ²)	コンクリート 応力σ c(N/mm ²)	せん断応力 τ(N/mm ²)	圧縮鉄筋 応力σ s(N/mm ²)	中立軸位 置xs(cm)	j	必要補強 筋量 A _{wn} (cm ²)	超過率σ s/σ _{sa}	超過率σ c/σ _{ca}	超過率τ /τ _a	超過率 A _{wn} /A _w	判定σ _s	判定σ _c	判定τ	判定	補強 筋
1	1496	頂版	1	-4.04	20.44	-4.21	53.972	2.881	-0.067	1.563	6.225	1	0.000	0.205	0.240	0.106	99.000	OK	OK	OK	OK	-
2	1497	頂版	1	-2.36	32.51	-8.74	7.657	1.393	-0.139	8.661	10.246	1	0.000	0.029	0.116	0.220	99.000	OK	OK	OK	OK	-
3	1498	頂版	1	0.15	36.94	-6.18	-4.931	0.394	-0.098	5.489	1	0.000	0.021	0.033	0.156	99.000	OK	OK	OK	OK	-	
4	1499	頂版	1	1.82	37.11	-3.90	-1.801	0.921	-0.062	8.669	圧縮	1	0.000	0.033	0.077	0.098	99.000	OK	OK	OK	OK	-
5	1500	頂版	1	2.65	35.65	-1.85	9.204	1.569	-0.029	9.502	10.084	1	0.000	0.035	0.131	0.047	99.000	OK	OK	OK	OK	-
6	1501	頂版	1	2.64	33.03	0.08	11.515	1.600	0.001	8.777	9.460	1	0.000	0.044	0.133	0.002	99.000	OK	OK	OK	OK	-
7	1502	頂版	1	1.83	29.10	1.76	2.980	1.035	0.028	7.590	11.745	1	0.000	0.011	0.086	0.044	99.000	OK	OK	OK	OK	-
8	1503	頂版	1	0.61	25.54	1.97	-2.455	0.431	0.031	4.750	圧縮	1	0.000	0.018	0.036	0.050	99.000	OK	OK	OK	OK	-
9	1504	頂版	1	0.12	-0.81	-0.40	3.592	0.094	-0.006	-0.734	3.946	1	0.000	0.014	0.008	0.010	99.000	OK	OK	OK	OK	-
10	1505	頂版	1	0.45	-1.39	-0.91	11.193	0.352	-0.014	-1.783	4.484	1	0.000	0.042	0.029	0.023	99.000	OK	OK	OK	OK	-
11	1506	頂版	1	1.02	0.63	-1.27	20.004	0.775	-0.020	-1.934	5.144	1	0.000	0.076	0.065	0.032	99.000	OK	OK	OK	OK	-
12	1507	頂版	1	1.64	5.01	-1.09	26.388	1.204	-0.017	-0.987	5.689	1	0.000	0.100	0.100	0.027	99.000	OK	OK	OK	OK	-
13	1508	頂版	1	2.05	10.33	-0.49	27.344	1.459	-0.008	0.783	6.223	1	0.000	0.104	0.122	0.012	99.000	OK	OK	OK	OK	-
14	1509	頂版	1	2.08	15.65	0.40	20.950	1.414	0.006	3.142	7.043	1	0.000	0.079	0.118	0.010	99.000	OK	OK	OK	OK	-
15	1510	頂版	1	1.54	20.63	1.86	5.503	0.917	0.030	5.500	9.999	1	0.000	0.021	0.076	0.047	99.000	OK	OK	OK	OK	-
16	1511	頂版	1	-0.05	24.98	4.53	-3.427	0.251	0.072	3.620	圧縮	1	0.000	0.014	0.021	0.114	99.000	OK	OK	OK	OK	-
17	1512	頂版	1	-7.24	53.66	-18.05	73.843	4.929	-0.286	10.601	7.004	1	0.000	0.280	0.411	0.455	99.000	OK	OK	OK	OK	-
18	1513	頂版	1	-2.44	54.32	-12.20	-3.074	1.276	-0.194	12.252	圧縮	1	0.000	0.046	0.106	0.307	99.000	OK	OK	OK	OK	-

表 7-7 シート「耐力計算(軸力考慮)」(一部)

データ数	3444																					
通し番号	要素番号	部位	IND	M(kN・m)	N(kN)	V(kN)	終局モーメント Mu(kN・m)	終局曲率 φu(1/m)	終局時中立軸位置 xu(cm)	釣合軸力 Nb(kN)	釣合モーメント Mb(kN・m)	釣合時中立軸位置 xb(cm)	modu	modb	超過率 M/M _y	判定	降伏モーメント My(kN・m)	降伏曲率 φy(1/m)	降伏時中立軸位置 xy(cm)	mody	超過率 M/My	降伏判定
1	1496	頂版	1	-4.04	20.44	-4.21	-41.1	-0.0798	4.385	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.098	OK	-33.7	-0.01619	4.890	1	0.120	弾性
2	1497	頂版	1	-2.36	32.51	-8.74	-41.7	-0.0791	4.426	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.057	OK	-34.5	-0.01632	4.963	1	0.068	弾性
3	1498	頂版	1	0.15	36.94	-6.18	41.9	0.0788	4.441	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.004	OK	34.8	0.01637	4.989	1	0.004	弾性
4	1499	頂版	1	1.82	37.11	-3.90	41.9	0.0788	4.442	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.043	OK	34.8	0.01637	4.990	1	0.052	弾性
5	1500	頂版	1	2.65	35.65	-1.85	41.8	0.0789	4.437	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.063	OK	34.7	0.01635	4.981	1	0.076	弾性
6	1501	頂版	1	2.64	33.03	0.08	41.7	0.0790	4.428	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.063	OK	34.5	0.01633	4.966	1	0.076	弾性
7	1502	頂版	1	1.83	29.10	1.76	41.5	0.0793	4.414	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.044	OK	34.3	0.01628	4.942	1	0.053	弾性
8	1503	頂版	1	0.61	25.54	1.97	41.3	0.0795	4.402	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.015	OK	34.0	0.01625	4.921	1	0.018	弾性
9	1504	頂版	1	0.12	-0.81	-0.40	40.1	0.0811	4.314	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.003	OK	32.2	0.01596	4.759	1	0.004	弾性
10	1505	頂版	1	0.45	-1.39	-0.91	40.0	0.0812	4.312	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.011	OK	32.1	0.01596	4.756	1	0.014	弾性
11	1506	頂版	1	1.02	0.63	-1.27	40.1	0.0810	4.319	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.025	OK	32.3	0.01598	4.768	1	0.032	弾性
12	1507	頂版	1	1.64	5.01	-1.09	40.3	0.0808	4.333	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.041	OK	32.6	0.01603	4.796	1	0.050	弾性
13	1508	頂版	1	2.05	10.33	-0.49	40.6	0.0804	4.351	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.050	OK	33.0	0.01608	4.829	1	0.062	弾性
14	1509	頂版	1	2.08	15.65	0.40	40.9	0.0801	4.369	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.051	OK	33.3	0.01614	4.861	1	0.062	弾性
15	1510	頂版	1	1.54	20.63	1.86	41.1	0.0798	4.386	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.038	OK	33.7	0.01619	4.891	1	0.046	弾性
16	1511	頂版	1	-0.05	24.98	4.53	-41.3	-0.0795	4.400	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.001	OK	-34.0	-0.01624	4.918	1	0.002	弾性
17	1512	頂版	1	-7.24	53.66	-18.05	-42.7	-0.0778	4.499	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.169	OK	-36.0	-0.01655	5.086	1	0.201	弾性
18	1513	頂版	1	-2.44	54.32	-12.20	-42.7	-0.0778	4.501	1076.3	83.8	9.849	1	1	0.057	OK	-36.0	-0.01655	5.090	1	0.068	弾性

表 7-8 シート「耐力計算(軸力無し)」(一部)

データ数	3444																	
通し番号	要素番号	部位	IND	M(kN・m)	N(kN)	V(kN)	終局モーメント Mu(kN・m)	終局曲率 φu(1/m)	終局時中立軸位置 xu(cm)	釣合軸力 Nb(kN)	釣合モーメント Mb(kN・m)	釣合時中立軸位置 xb(cm)	modu	modb				
1	1496	頂版	1	-4.04	20.44	-4.21	-42.7	-0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
2	1497	頂版	1	-2.36	32.51	-8.74	-42.7	-0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
3	1498	頂版	1	0.15	36.94	-6.18	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
4	1499	頂版	1	1.82	37.11	-3.90	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
5	1500	頂版	1	2.65	35.65	-1.85	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
6	1501	頂版	1	2.64	33.03	0.08	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
7	1502	頂版	1	1.83	29.10	1.76	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
8	1503	頂版	1	0.61	25.54	1.97	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
9	1504	頂版	1	0.12	-0.81	-0.40	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
10	1505	頂版	1	0.45	-1.39	-0.91	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
11	1506	頂版	1	1.02	0.63	-1.27	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
12	1507	頂版	1	1.64	5.01	-1.09	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
13	1508	頂版	1	2.05	10.33	-0.49	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
14	1509	頂版	1	2.08	15.65	0.40	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
15	1510	頂版	1	1.54	20.63	1.86	42.7	0.1015	3.449	1404.6	103.2	9.849	3	1				
16	1511	頂版	1	-0.05	24.98	4.53	-42.7	-0.1015	3									

表 7-13 シート「NG 要素(要素番号順)」

せん断NG 要素数 17										せん断NG 要素数 19										せん断NG 要素数 9																		
通し番号	要素番号	部位	IND	M/Mu	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード	通し番号	要素番号	部位	IND	V/Vy	V/Vya,V/Vdd	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード	通し番号	要素番号	部位	IND	M/Mu	V/Vy	V/Vya,V/Vdd	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード						
1	1281	側壁1-1500上	2	1.001	258.5	-40.3	170.8	0.351	曲げ	1	292	底版-1000	1	1.339	1.132	-123.4	-177.3	-173.5	0.814	曲げ	1	1275	側壁1-1500上	2	1.249	1.321	1.164	284.2	-92.5	170.7	0.392	曲げ						
2	2111	側壁2-1000	2	1.224	187.1	61.4	72.8	0.251	曲げ	2	293	底版-1000	1	1.588	1.242	-129.5	-189.7	-199.1	0.829	曲げ	2	1278	側壁1-1500上	2	1.326	1.453	1.279	283.5	-101.3	176.6	0.400	曲げ						
3	2112	側壁2-1000	2	1.213	185.1	62.1	122.3	0.252	曲げ	3	294	底版-1000	1	1.263	1.068	-98.7	-165.4	-168.8	0.802	曲げ	3	1280	側壁1-1500上	2	1.217	1.351	1.190	274.9	-64.8	172.6	0.384	曲げ						
4	2113	側壁2-1000	2	1.191	177.5	55.9	139.4	0.248	曲げ	4	1681	底版-1000	1	1.306	1.106	149.4	-54.3	-224.0	0.711	曲げ	4	1342	側壁1-1500上	2	1.226	1.274	1.122	393.5	46.2	237.4	0.532	曲げ						
5	2114	側壁2-1000	2	1.122	174.0	66.7	218.8	0.255	曲げ	5	1684	底版-1000	1	1.227	1.037	159.5	-12.3	-227.6	0.686	曲げ	5	1343	側壁1-1500上	2	1.176	1.481	1.657	388.1	-91.0	237.8	0.386	曲げ						
6	2120	側壁2-1000	2	1.651	301.3	126.4	102.7	0.3	曲げ	6	1709	底版-1000	1	1.493	1.262	-121.8	-47.4	-259.2	0.706	曲げ	6	1344	側壁1-1500上	2	2.067	2.389	2.104	393.2	-136.1	228.4	0.446	曲げ						
7	2121	側壁2-1000	2	1.930	288.1	56.3	155.1	0.3	曲げ	7	231	底版-1000	2	1.651	1.151	92.9	50.7	204.8	0.328	曲げ	7	1345	側壁1-1500上	2	2.026	2.205	2.031	381.3	-136.4	220.0	0.446	曲げ						
8	2122	側壁2-1000	2	2.096	284.5	28.0	172.2	0.3	曲げ	8	346	底版-1000	2	1.343	1.399	193.8	78.3	247.9	0.342	曲げ	8	1346	側壁1-1500上	2	1.110	1.833	1.615	364.6	-102.1	214.5	0.401	曲げ						
9	2123	側壁2-1000	2	2.054	286.5	35.9	269.5	0.3	曲げ	9	247	底版-1000	2	2.087	2.174	68.6	105.0	491.3	0.340	曲げ	9	1347	側壁1-1500上	2	1.304	1.360	1.198	338.3	-38.5	213.3	0.330	曲げ						
10	2129	側壁2-1000	2	1.933	288.8	143.0	133.7	0.3	曲げ	10	850	側壁3-364	1	59.000	99.000	0.1	-229.6	136.2	1003.979	せん断																		
11	2130	側壁2-1000	2	2.440	361.0	53.6	175.0	0.3	曲げ	11	868	側壁3-364	1	2.228	4.185	1.6	-76.3	141.0	0.059	曲げ																		
12	2131	側壁2-1000	2	2.959	396.1	31	189.3	0.2	曲げ	12	892	側壁3-364	1	1.681	2.180	0.1	32.4	146.3	0.042	曲げ																		
13	2132	側壁2-1000	2	3.046	390.4	12.4	291.1	0.2	曲げ	13	1046	側壁3-364	1	1.005	1.303	-5.6	416.7	-192.7	0.046	曲げ																		
14	1046	側壁3-364	2	1.214	-84.5	-27.7	-23.3	0.2	曲げ	14	1066	側壁3-364	1	1.879	2.429	-3.2	-132.3	37.4	0.090	曲げ																		
15	148	頂版柱400×400	5	1.151	59.7	88.7	86.7	0.3	曲げ	15	1090	側壁3-364	1	1.274	1.632	-0.6	112.6	-127.1	0.043	曲げ																		
16	845	頂版柱400×400	5	1.268	54.9	87.4	79.3	0.2	曲げ	16	1118	側壁3-364	1	1.328	1.330	0.2	174.3	-151.0	0.043	曲げ																		
17	846	頂版柱400×400	5	1.415	59.7	88.7	86.7	0.8	曲げ	17	865	頂版柱400×500	3	1.028	0.697	54.5	87.4	79.3	1.446	せん断																		
										18	885	頂版柱400×300	3	1.129	0.762	35.2	68.7	68.7	1.448	せん断																		
										19	895	頂版柱400×300	3	1.136	0.730	35.2	68.7	68.7	1.433	せん断																		

表 7-14 シート「側壁 NG」(一部)

側壁 曲げNG (鉛直方向)									
通し番号	要素番号	部位	IND	M/Mu	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード
1	1281	側壁1-1500上	2	1.00	258.5	-40.3	170.8	0.351	曲げ
2	2132	側壁2-1000	2	3.05	390.4	12.4	291.1	0.247	曲げ
3	2131	側壁2-1000	2	2.96	366.1	3.1	186.3	0.240	曲げ
4	2130	側壁2-1000	2	2.44	361.0	53.6	175.0	0.279	曲げ
5	2122	側壁2-1000	2	2.10	284.5	28.0	172.2	0.259	曲げ
6	2123	側壁2-1000	2	2.05	286.5	35.9	269.5	0.3	曲げ
7	2129	側壁2-1000	2	1.94	368.8	143.0	133.7	0.3	曲げ
8	2121	側壁2-1000	2	1.93	288.1	56.3	155.1	0.3	曲げ
9	2120	側壁2-1000	2	1.65	301.3	126.4	102.7	0.335	曲げ
10	2111	側壁2-1000	2	1.23	187.1	61.4	72.8	0.251	曲げ
11	2112	側壁2-1000	2	1.22	185.1	62.1	122.3	0.252	曲げ
12	2113	側壁2-1000	2	1.19	177.5	55.9	139.4	0.248	曲げ
13	2114	側壁2-1000	2	1.12	173	66.7	218.8	0.255	曲げ
14	1046	側壁3-364	2	1.21	-84.5	27.7	-23.3	0.178	曲げ

表 7-15 シート「底版 NG」(一部)

底版 せん断NG (Y方向)										
通し番号	要素番号	部位	IND	V/Vy	V/Vya,V/Vdd	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード
1	293	底版-1000	1	1.59	1.34	-129.5	-189.7	-199.1	0.829	曲げ
2	1703	底版-1000	1	1.49	1.26	-121.8	-47.4	-259.2	0.706	曲げ
3	292	底版-1000	1	1.34	1.13	-123.4	-177.3	-173.5	0.814	曲げ
4	1681	底版-1000	1	1.31	1.11	149.4	-54.3	-224.0	0.711	曲げ
5	294	底版-1000	1	1.26	1.07	-98.7	-165.4	-168.8	0.802	曲げ
6	1684	底版-1000	1	1.23	1.04	159.5	-12.3	-227.6	0.686	曲げ

表 7-16 シート「頂版柱 NG」(一部)

頂版柱 せん断NG (Y方向)										
通し番号	要素番号	部位	IND	V/Vy	V/Vya,V/Vdd	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Vmu/Vya,Vmu/Vdd	破壊モード
1	885	頂版柱400×500	3	1.13	0.76	59.7	88.7	86.7	1.448	せん断
2	865	頂版柱400×500	3	1.03	0.70	54.5	87.4	79.3	1.446	せん断
3	885	頂版柱400×500	5	1.06	0.74	0.0	85.2	83.9	1.442	せん断
4	865	頂版柱400×500	5	0.97	0.67	0.0	84.0	76.5	1.439	せん断
5	895	頂版柱400×300	3	1.14	0.73	35.2	18.3	51.1	1.433	せん断
6	895	頂版柱400×300	5	1.10	0.71	0.0	16.2	49.4	1.427	せん断

表 7-17 シート「断面力最大値」(一部)

番号	部位	IND	要素番号 (M最大)	M最大値 (kNm/m)	要素番号 (M最小)	M最小値 (kNm/m)	要素番号 (N最大)	N最大値 (kN/m)	要素番号 (N最小)	N最小値 (kN/m)	要素番号 (V最大)	V最大値 (kN/m)	要素番号 (V最小)	V最小値 (kN/m)
1	頂版	1	1872	4.6	1512	-7.2	2002	92.2	1552	-6.1	1543	19.5	1909	-18.7
2	頂版	2	1525	9.9	1553	-6.7	2038	43.6	1552	-85.6	1906	17.1	1553	-21
3	底版-1000	1	331	249.6	315	-339.4	328	87.1	293	-189.7	239	7	315	-598.3
4	底版-700	1	1576	108.9	227	-162	387	35.4	235	-108.3	2211	26.4	234	-89.3
5	底版-600	1	1573	76.8	605	-103.3	591	20.7	605	-83	223	11.4	218	-86.1
6	底版-500	1	1642	48.9	486	-59.6	466	20.8	486	-48.7	540	9.1	1627	-77.1
7	底版-1000	2	345	169.4	282	-23.8	347	105	310	-93.2	347	40.3	283	-209.3
8	底版-700	2	1711	27.4	227	-24.9	381	21.7	361	-51.2	1621	21	1711	-69
9	底版-600	2	1666	16.9	605	-19.9	218	5.2	602	-26.2	1573	12.6	577	-14.6
10	底版-500	2	1645	9.6	480	-14.3	1630	26.1	210	-9.6	1667	43.1	466	-27.1
11	側壁1-380	1	995	1.2	2142	-5.8	2165	139.6	2179	-7.3	1015	4.8	1051	-20
12	側壁1-484	1	998	1.7	922	-2.4	1058	73.3	1162	-3.7	1014	6.2	1050	-17.7
13	側壁1-560	1	997	2.8	921	-2.8	1005	69	1165	-1.8	1013	6.7	1049	-10.3
14	側壁1-664	1	1168	5.8	1028	-3.2	1004	78	1164	1.3	1008	9.8	1168	-15.3
15	側壁1-768	1	852	13.8	745	-3.1	730	94.5	681	4.8	732	14	852	-30.7
16	側壁1-887	1	1325	19.8	1182	-1.4	1201	113.3	1212	3.4	1183	20.8	1315	-29.1
17	側壁1-1021	1	1249	24.7	1231	3.3	1248	123.3	1332	-15	1232	32.5	1262	-26
18	側壁1-1500上	1	1279	29.3	1275	-21.8	1276	93.8	1317	-53.8	1274	11.7	1334	-56.9
19	側壁1-1500下	1	1346	35.2	1341	-33.7	1341	72.7	1345	-91.2	1318	-33.1	1341	-144

表 7-18 シート「断面力最大値 2」(一部)

番号	部位	IND	要素番号 (M最大)	M最大値 (kNm/m)	要素番号 (M最小)	M最小値 (kNm/m)	要素番号 (N最大)	N最大値 (kN/m)	要素番号 (N最小)	N最小値 (kN/m)	要素番号 (V最大)	V最大値 (kN/m)	要素番号 (V最小)	V最小値 (kN/m)
1	頂版	1	1872	4.6	1512	-7.2	2002	92.2	1552	-6.1	1543	19.5	1909	-18.7
2	頂版	2	1525	9.9	1553	-6.7	2038	43.6	1552	-85.6	1906	17.1	1553	-21
3	底版-1000	1	331	249.6	315	-339.4	328	87.1	293	-189.7	239	7	315	-598.3
4	底版-700	1	1576	108.9	227	-162	387	35.4	235	-108.3	2211	26.4	234	-89.3
5	底版-600	1	1573	76.8	605	-103.3	591	20.7	605	-83	223	11.4	218	-86.1
6	底版-500	1	1642	48.9	486	-59.6	466	20.8	486	-48.7	540	9.1	1627	-77.1
7	底版-1000	2	345	169.4	282	-23.8	347	105	310	-93.2	347	40.3	283	-209.3
8	底版-700	2	1711	27.4	227	-24.9	381	21.7	361	-51.2	1621	21	1711	-69
9	底版-600	2	1666	16.9	605	-19.9	218	5.2	602	-26.2	1573	12.6	577	-14.6
10	底版-500	2	1645	9.6	480	-14.3	1630	26.1	210	-9.6	1667	43.1	466	-27.1
11	側壁1-380	1	995	1.2	2142	-5.8	2165	139.6	2179	-7.3	1015	4.8	1051	-20
12	側壁1-484	1	998	1.7	922	-2.4	1058	73.3	1162	-3.7	1014	6.2	1050	-17.7
13	側壁1-560	1	997	2.8	921	-2.8	1005	69	1165	-1.8	1013	6.7	1049	-10.3
14	側壁1-664	1	1168	5.8	1028	-3.2	1004	78	1164	1.3	1008	9.8	1168	-15.3
15	側壁1-768	1	852	13.8	745	-3.1	730	94.5	681	4.8	732	14	852	-30.7
16	側壁1-887	1	1325	19.8	1182	-1.4	1201	113.3	1212	3.4	1183	20.8	1315	-29.1
17	側壁1-1021	1	1249	24.7	1231	3.3	1248	123.3	1332	-15	1232	32.5	1262	-26
18	側壁1-1500上	1	1279	29.3	1275	-21.8	1276	93.8	1317	-53.8	1274	11.7	1334	-56.9
19	側壁1-1500下	1	1346	35.2	1341	-33.7	1341	72.7	1345	-91.2	1318	-33.1	1341	-144

表 7-19 シート「断面力分布」(一部)

1 側壁1-鉛直-左							2 側壁1-鉛直-中								
番号	要素番号	座標	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Mu(kNm)	Vy(kN)	番号	要素番号	座標	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Mu(kNm)	Vy(kN)
1	2142	11.976	-57.1	39.5	86.7	-74.8	96.6	1	2164	11.976	-0.2	19.8	-27.1	-71.6	95.9
2	931	11.626	-29.2	-7	54	-67.4	90.2	2	1031	11.626	-5.9	-29.4	-24.8	-63.7	82.7
3	930	11.306	-14	-27	39.9	-83	95.3	3	1030	11.306	-7.9	-53.9	-24.2	-77.2	85.2
4	929	10.926	-2.9	-31.4	37.5	-95.7	101.1	4	1029	10.926	-6.7	-65.5	-14.2	-87	87.3
5	928	10.406	13.9	-27.4	48.4	-115.6	111.9	5	1028	10.406	0.8	-72.8	-2.4	101.7	92
6	683	9.886	37	-16.2	66.1	138.5	125.4	6	745	9.886	16.6	-71	13.3	118.9	99.8
7	1212	9.292	75.7	4.2	88.2	169.2	143.4	7	1182	9.292	45	-50.8	34.7	146.3	117
8	1260	8.623	131.6	40.2	109.7	212.9	159.9	8	1231	8.623	80.5	3.1	50.1	195.1	152.8
9	1336	8.1	164.4	76.6	112.5	342.1	202	9	1337	8.058	94.3	81.4	66.1	345.5	206.5

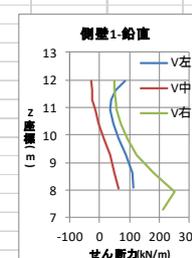
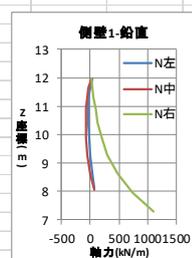
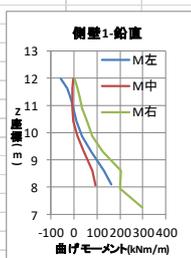


表 7-20 シート「断面力分布-梁」(一部)

23.24 頂版横梁400×300-左(I)							25.26 頂版横梁400×300-右(I)								
番号	要素番号	座標	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Mu(kNm)	Vy(kN)	番号	要素番号	座標	M(kNm)	N(kN)	V(kN)	Mu(kNm)	Vy(kN)
1	131	0.506	0	-36.9	-12.3	90.7	237.2	1	2312	0.506	-1.6	7.9	-10.7	-96.2	243
2	131	1.18	7.6	-35.3	-10.4	90.9	237.4	2	2312	1.18	4.9	9.5	-8.7	96.4	243.1
3	1893	1.18	8	-27.1	-10.3	91.9	238.6	3	2317	1.18	4.7	4.9	-4.4	95.8	242.8
4	1893	1.853	14.3	-25.5	-8.4	92.1	238.8	4	2317	1.853	7	6.5	-2.5	96	242.9
5	1562	1.853	14.6	-19.7	-5.5	92.8	239.6	5	2315	1.853	6.7	1.6	-0.3	95.4	242.6
6	1562	2.527	17.7	-18.1	-3.5	93	239.9	6	2315	2.527	6.2	3.2	1.7	95.6	242.7
7	1894	2.527	17.8	-14.5	0.2	93.5	240.4	7	2318	2.527	5.9	-1.2	0.3	95.1	242.3
8	1894	3.2	17	-12.9	2.2	93.6	240.6	8	2318	3.2	5.1	0.4	2.3	95.3	242.5
9	198	3.2	17	-10.9	6.5	93.9	240.9	9	2313	3.2	5	-2.3	-1.6	95	242.1
10	198	3.861	12.1	-9.4	8.4	94.1	241.1	10	2313	3.861	5.4	-0.7	0.4	95.2	242.4
11	1998	3.861	11.9	-8.4	13.2	94.2	241.3	11	2319	3.861	5.6	-1.3	-1.8	95.1	242.3
12	1998	4.522	2.5	-6.9	15.2	94.4	241.5	12	2319	4.522	6.2	0.3	0.1	95.3	242.5
13	1567	4.522	2	-6.5	22	94.4	241.5	13	2316	4.522	6.5	0.6	1.4	95.3	242.5
14	1567	5.183	-13.1	-4.9	23.9	-94.6	241.8	14	2316	5.183	4.9	2.1	3.3	95.5	242.6
15	1999	5.183	-13.1	-5.1	44.6	-94.6	241.7	15	2320	5.183	5.1	2	6.7	95.5	242.6
16	1999	5.844	-43.2	-3.6	46.5	-94.8	242	16	2320	5.844	0	3.6	8.6	95.7	242.7

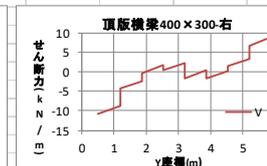
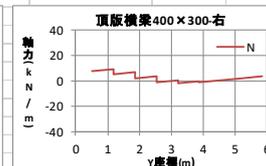
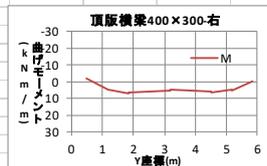
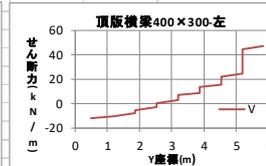
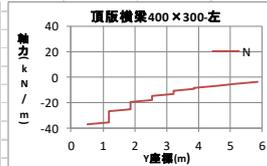
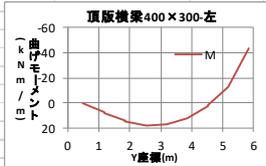


表 7-21 シート「せん断スパン」(一部)

データ数	3444				
通し番号	要素番号	位置	方向	せん断スパン (m)	
1	1496	頂版-X	1	3.733	
2	1497	頂版-X	1	3.733	
3	1498	頂版-X	1	3.733	
4	1499	頂版-X	1	3.733	
5	1500	頂版-X	1	3.733	
6	1501	頂版-X	1	3.733	
7	1502	頂版-X	1	3.733	
8	1503	頂版-X	1	0.516	
9	1504	頂版-X	1	3.733	
10	1505	頂版-X	1	3.733	
11	1506	頂版-X	1	3.733	
12	1507	頂版-X	1	3.733	
13	1508	頂版-X	1	3.733	
14	1509	頂版-X	1	3.733	
15	1510	頂版-X	1	3.733	
16	1511	頂版-X	1	0.516	
17	1512	頂版-X	1	0.668	
18	1513	頂版-X	1	0.668	

表 7-22 シート「モーメント分布」(一部)

1-側壁1-鉛直	n=10	2-側壁1-水平	n=33	3-側壁2-鉛直	n=10	4-側壁2-水平	n=9	5-側壁3-鉛直	n=10	6-側壁3-水平	n=33	7-側壁4-鉛直	n=6	8-側壁4-水平	n=21
距離(m)	曲げモーメント(kNm)														
0.000	296.252	0.000	12.168	0.000	43.235	0.000	11.450	0.000	-480.264	0.000	-6.213	0.000	-51.921	0.000	-1.520
0.674	200.595	0.500	13.775	0.674	16.183	0.487	22.338	0.674	-366.637	0.500	-11.206	0.523	-38.132	0.500	-2.437
1.343	205.293	1.000	9.429	1.343	-0.071	0.973	24.369	1.343	-234.437	1.000	-13.242	1.192	-21.565	1.000	-2.613
2.012	127.204	1.500	6.957	2.012	-8.606	1.460	18.891	2.012	-176.789	1.500	-14.463	1.827	-9.995	1.500	-2.525
2.607	82.265	2.000	5.757	2.607	-11.760	1.947	13.802	2.607	-135.615	2.000	-14.191	2.427	-3.507	2.000	-2.296
3.127	56.082	2.500	4.948	3.127	-11.474	2.433	8.670	3.127	-102.967	2.500	-11.535	3.027	-0.594	2.500	-1.992
3.647	37.035	3.000	4.987	3.647	-9.002	2.920	4.298	3.647	-72.379	3.000	-8.377			3.000	-1.802
4.027	24.919	3.500	5.694	4.027	-6.099	3.407	1.286	4.027	-50.404	3.500	-6.561			3.500	-1.781
4.347	15.041	4.000	6.772	4.347	-3.417	3.893	-0.016	4.347	-28.679	4.000	-7.557			4.000	-1.883
4.697	1.240	4.500	7.688	4.697	2.189			4.697	-5.564	4.500	-11.074			4.500	-1.952
		5.000	7.795							5.000	-15.464			5.000	-1.863
		5.500	6.902							5.500	-17.902			5.500	-1.641
		6.000	5.469							6.000	-17.375			6.000	-1.370
		6.500	4.321							6.500	-13.913			6.500	-1.132
		7.000	3.807							7.000	-9.333			7.000	-0.967
		7.500	3.972							7.500	-5.963			7.500	-0.876
		8.000	4.394							8.000	-5.198			8.000	-0.784
		8.500	4.198							8.500	-6.134			8.500	-0.588
		9.000	3.064							9.000	-6.757			9.000	-0.303
		9.500	1.044							9.500	-5.364			9.500	-0.083
		10.000	-1.293							10.000	-2.253			10.000	-0.048
		10.500	-3.086							10.500	-2.484				
		11.000	-2.967							11.000	-5.899				
		11.500	-2.235							11.500	-9.733				
		11.993	-0.080							11.993	-12.642				
		12.480	3.722							12.480	-12.265				
		12.967	6.789							12.967	-11.271				
		13.453	8.332							13.453	-10.947				
		13.940	8.526							13.940	-10.754				
		14.427	7.664							14.427	-10.192				
		14.913	6.062							14.913	-8.724				
		15.400	3.765							15.400	-5.792				
		15.887	1.551							15.887	-2.245				

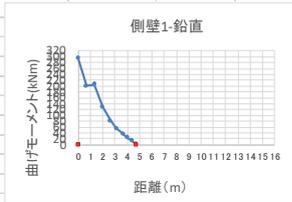
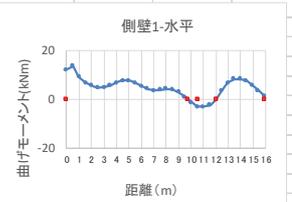
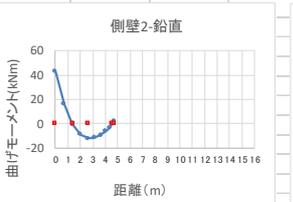
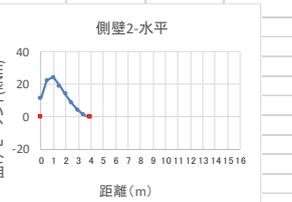





表 7-23 シート「反曲点と最大点」(一部)

1-側壁1-鉛直	n=2	2-側壁1-水平	n=5	3-側壁2-鉛直	n=5	4-側壁2-水平	n=3	5-側壁3-鉛直	n=2	6-側壁3-水平	n=2	7-側壁4-鉛直	n=2	8-側壁4-水平	n=2
番号	反曲点・最大点の距離(m)														
0	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	0
0	2	4.697	2	9.723	2	1.341	2	3.887	2	4.697	2	15.887	2	3.027	10
0			3	10.500	3	2.607	3	3.893333							
0			4	12.004	4	4.560									
0			5	15.887	5	4.697									

表 7-24 シート「a 計算」(一部)

1-側壁1-鉛直	n=1	2-側壁1-水平			n=4	3-側壁2-鉛直			n=4	4-側壁2-水平			n=2		
番号	せん断スパン(m)	範囲(下限)(m)	範囲(上限)(m)	番号	せん断スパン(m)	範囲(下限)(m)	範囲(上限)(m)	番号	せん断スパン(m)	範囲(下限)(m)	範囲(上限)(m)	番号	せん断スパン(m)	範囲(下限)(m)	範囲(上限)(m)
1	5.086	0.000	5.086	1	9.973	0.000	9.973	1	1.680	0.000	1.680	1	4.130	0.000	4.130
				2	0.777	9.973	10.750	2	1.266	1.680	2.946	2	0.248981	4.130352	4.379333
				3	1.504	10.750	12.254	3	1.953	2.946	4.900				
				4	4.126	12.254	16.380	4	0.187	4.900	5.086				

表 7-25 シェル要素断面力 csv ファイル (一部)

要素番号	Fxx (kN/m)	Fyy (kN/m)	Fxy (kN/m)	Mxx (kN*m)	Myy (kN*m)	Mxy (kN*m)	Vxx (kN/m)	Vyy (kN/m)
209	-1.61	5.274	1.404	2.772	-4.804	-3.088	-11.188	10.456
210	-11.659	9.594	9.734	15.276	0.181	5.158	-33.481	-8.603
211	39.848	-1.434	22.024	-40.072	-7.029	5.018	-19.548	21.512
212	15.994	-7.244	12.562	-14.956	-1.13	-13.053	-27.529	18.299
213	35.097	-0.713	11.873	-11.443	-5.037	2.304	-5.856	-7.84
214	25.55	-7.481	15.813	-7.736	-1.425	-1.541	-9.817	14.952
215	7.312	-0.716	9.373	0.218	-2.302	2.208	-0.142	-5.048
216	2.167	-3.002	5.982	0.525	-0.879	1.876	0.379	10.011
217	-4.913	-1.499	-2.662	6.382	3.641	2.724	-26.508	-12.143
218	-18.006	-5.249	-10.221	48.456	10.168	6.045	-86.139	-14.169
219	63.453	15.792	21.09	-99.495	-16.508	-13.989	-6.436	-1.189
220	24.039	2.413	2.439	-28.861	-3.845	-4.953	-56.133	-2.625
221	57.447	-3.601	18.505	-21.973	-3.364	-1.366	-1.808	1.963
222	38.253	-3.235	13.249	-14.674	-1.241	-0.897	-21.111	2.187
223	18.531	4.727	0.435	4.546	0.914	-1.813	11.368	-2.356
224	5.474	4.354	0.381	0.394	0.455	-0.752	2.544	-2.39
225	-6.326	13.077	-3.682	6.326	5.253	1.719	-24.707	-11.672
226	-29.957	6.295	-5.365	53.518	13.118	6.143	-85.842	-15.604
227	104	23.668	7.384	-162.006	-24.876	-20.192	-45.3	-6.71

表 7-26 梁要素断面力 csv ファイル (一部)

要素番号	軸力 (kN)	せん断-y (kN)	せん断-z (kN)	ねじり (kN*m)	曲げ-y (kN*m)	曲げ-z (kN*m)	位置
124	-20.38	2.41	2.2	-1.83	2.05	0.79	I
124	-20.4	0.88	4.11	-1.83	0.52	-0.01	J
125	-32.53	3.65	-11.74	-2.79	-6.79	1.91	I
125	-32.31	2.08	-9.76	-2.79	-1.37	0.47	J
126	-43.92	6.67	-21.21	0.61	-20.41	2.39	I
126	-43.71	5.1	-19.23	0.61	-10.21	-0.58	J
127	-49.51	6.46	-27.7	2.88	-29.32	2.3	I
127	-49.3	4.89	-25.72	2.88	-15.84	-0.56	J
128	-43.15	12.05	-35.97	6.68	-32.71	3.55	I
128	-42.93	10.48	-33.99	6.68	-15.05	-2.13	J
131	36.86	1.49	-12.33	1.84	0	1.26	I
131	35.27	1.49	-10.35	1.84	7.64	0.25	J
144	1.21	0.22	0.09	0.19	0.18	-0.05	I
144	0.99	-1.35	2.07	0.19	-0.37	0.24	J
145	-8.08	2.86	11.31	-0.21	5.54	0.9	I
145	-8.3	1.29	13.29	-0.21	-0.67	-0.15	J
146	-41.84	2.74	7.47	0.43	3.86	0.97	I
146	-42.05	1.17	9.45	0.43	-0.4	-0.02	J
147	-91.67	1.93	-5.31	-1.29	-1.05	-0.14	I

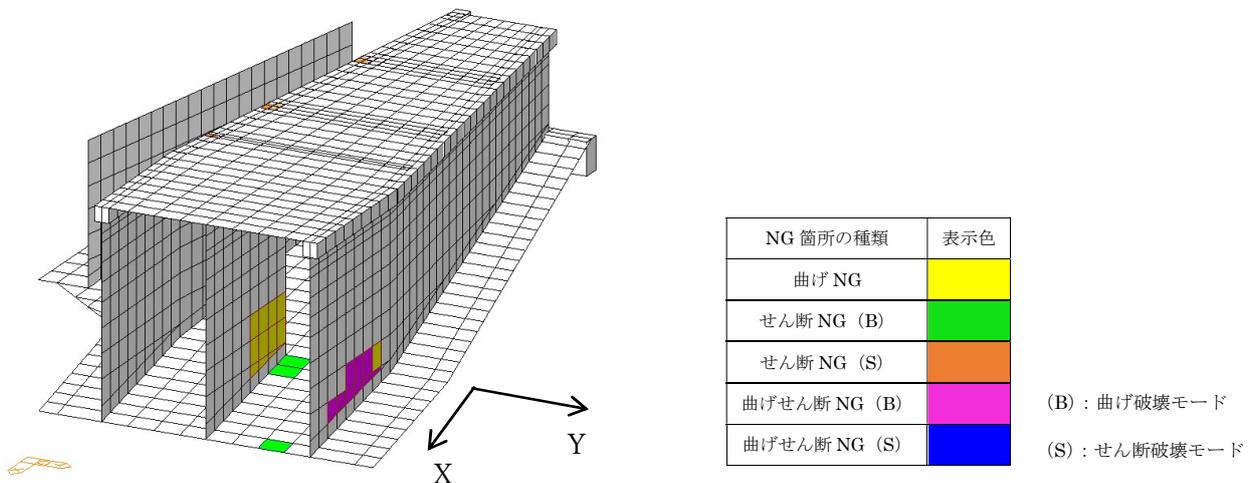


図 7-1 NG 箇所の表示例 (側壁 : 鉛直、底版 : Y、柱 : Y、加震 : +Y) [MIDAS による]