

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-678 改1
提出年月日	平成30年8月27日

V-5-46 計算機プログラム（解析コード）の概要
・UC-win/Section

目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. 解析コードの概要	3
3. UC-win/Sectionの解析手法について	4
3.1 一般事項	4
3.2 解析コードの特徴	4
3.3 解析手法	4
3.4 解析フローチャート	8
3.5 検証(Verfication)と妥当性(Validation)	9

1. はじめに

本資料は、添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）UC-win/Sectionについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧、解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-33	SA用海水ピットの耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01
V-2-2-39-1	防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01
V-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01
V-2-10-4-2	SA用海水ピット取水塔の耐震性についての計算書	Ver. 6.02.01

2. 解析コードの概要

項目	コード名 UC-win/Section
使用目的	鉄筋コンクリート断面の応力度照査
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2003年
使用したバージョン	Ver. 6.02.01
コードの概要	<p>UC-win/Sectionは、鉄筋コンクリート断面の断面諸量、応力度計算、断面耐力算定を行う解析コードで、主な特徴は下記の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の情報(位置、断面積)を1本毎に考慮でき、複鉄筋など配筋に忠実な断面計算が可能である。 ・任意形状に対して2軸曲げの計算が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>UC-win/Sectionは鋼製防護壁及び鉄筋コンクリート防潮壁の地中連続壁基礎並びにS A用海水ピット及びS A用海水ピット取水塔の応力度照査に使用されている。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証内容は、以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードによる複鉄筋の断面照査結果と理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードによる2軸曲げの計算結果と理論解が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 <p>【妥当性確認 (Validation)】</p> <p>本解析コードの妥当性確認の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容の通り、複鉄筋及び2軸曲げについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

3. UC-win/Sectionの解析手法について

3.1 一般事項

UC-win/Sectionは鉄筋コンクリート断面の断面諸量, 応力度計算, 断面耐力算定を行うことができるプログラムである。UC-win/Sectionは, 地中連続壁基礎の応力度照査, 耐力照査に使用している。

3.2 解析コードの特徴

UC-win/Sectionの主な特徴を以下に示す。

- ・ 鉄筋の情報(位置, 断面積)を1本毎に考慮でき, 複鉄筋など配筋に忠実な断面計算が可能である。
- ・ 任意形状に対して2軸曲げの計算が可能である。

3.3 解析手法

(1) 曲げ応力度

本プログラムでは2軸曲げ状態を基本として曲げ応力度の計算を行う。

・ 計算上の仮定

1. 維ひずみは中立軸からの距離に比例する (平面保持の仮定)。
2. コンクリートと鉄筋のヤング係数比は15とする (デフォルト値)。鉄筋以外の材料のヤング係数は次式により算定される。

$$E_{i_design} = E_{i_input} \cdot n \cdot (E_{c_base} / 200000) \text{ -----式A}$$

ここで,

E_{i_design} : 応力度計算に使用するヤング係数 (N/mm²)

E_{i_input} : 材料～材料エディター～ で入力されているヤング係数 (N/mm²)

E_{c_base} : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)。設計基準強度が異なる複数のコンクリートが配置されている場合は, 面積が最も大きいコンクリートのヤング係数を採用する。

n : 入力されたヤング係数比 (通常は15)

3. コンクリート, 鉄筋, 鋼板, PC鋼材, 炭素繊維シート, アラミド繊維シートは線形弾性体とする。
4. コンクリートの引張強度は無視する。
5. PC鋼材の圧縮側応力, 炭素繊維 (アラミド繊維) シートの圧縮側応力は無視する (応力がゼロ)。
6. 外ケーブルは平面保持に従うものとする。
7. 荷重の入力において与えられた軸力は断面図心に作用し, 曲げモーメントは主軸 (Z_p, Y_p) まわりに作用する。

8. 計算中の力の釣り合いを考える点は断面図心まわりとする。

・ 計算手順

1. 入力された軸力と曲げモーメントから中立軸の角度と図心での軸方向ひずみ及びひずみ平面の傾き（曲率）を仮定する。
2. ひずみ平面から各材料の応力分布を求める。
3. 応力を積分して断面内に発生する軸力と曲げモーメントを求める（内力の計算）。
4. 入力された軸力と曲げモーメントと内力が一致しているかどうかをチェックする。
5. 一致していなければ、再度中立軸の角度と図心での軸方向ひずみ及びひずみ平面の傾き（曲率）を仮定しなおす。
6. 1～5を収束するまで繰返して行う。
(鉄筋とPC鋼材は、点のデータとして1本ごとに考慮して計算。)

(2) 終局曲げモーメント

終局モーメント μ は、与えられた軸力 N' と曲げモーメント M_{zp}, M_{yp} の合成方向の角度を中立軸角度として与え、その中立軸まわりに曲率を変化させて求めています。

・ 計算上の仮定

1. 維ひずみは中立軸からの距離に比例する（平面保持の仮定）。
2. コンクリート、鉄筋、鋼板、PC鋼材の応力ひずみ曲線は断面に設定された曲げ計算用準拠基準の設定を使う。
3. コンクリートの引張強度は無視する。
4. 炭素繊維シート、アラミド繊維シートは線形弾性体とする。
5. PC鋼材の圧縮側応力、繊維シートの圧縮側応力は無視する（応力がゼロ）。
6. 終局ひずみ発生位置が与えられている場合はそれを考慮する。このとき、入力された位置より外側のコンクリート領域は圧縮力を分担しないものとみなす（応力がゼロ）。
7. PC鋼材のひずみは有効鋼材応力度 σ_{pe} による初期ひずみを考慮する。このとき σ_{pe} によるコンクリートの初期ひずみは無視する。
8. 外ケーブルは平面保持に従わない。「 $\sigma_{pe} + \Delta \sigma_{pe}$ 」によるひずみ値で一定とする。ここで、 σ_{pe} は有効プレストレス応力、 $\Delta \sigma_{pe}$ は初降伏・終局モーメント計算用のプレストレス応力の増分。
9. 荷重の入力において与えられた軸力は断面図心に作用する。曲げモーメントは主

軸 (z_p, y_p) まわりに作用する。

10. 計算中の力の釣り合いを考える点は断面図心まわりとする。

・ 終局曲げモーメント M_u の算定

与えられた軸力 N' と曲げモーメント M_{z_p} と M_{y_p} を合成した方向 ($\sqrt{(M_{z_p}^2 + M_{y_p}^2)}$) の 2 つを収束条件として終局モーメント M_u をダイレクトに算定する。計算方法は下記「3次元相互作用図の作成」とほぼ同じ。ダイレクト計算が相互作用図作成時と異なる点は、次の 2 点である。

1. 軸力の分割点リスト (N_1, N_2, \dots) を作成せずに与えられた軸力 N' を使用する。
2. θ を 15 度ずつ変化させるのではなく与えられた M_{z_p} と M_{y_p} を合成した方向 ($\sqrt{(M_{z_p}^2 + M_{y_p}^2)}$) の角度 θ を使用する。

・ 3次元 M_u-N 相互作用図の作成

断面の主軸 z_p 軸を起点として反時計まわりに角度 θ を考える。

1. 圧縮側にコンクリートの終局ひずみ ϵ_{cu} を置く。
2. ひずみ平面を断面に平行なまま終局ひずみ点まで移動する。(これを B 点とする)。そのときの応力分布を積分して求めた軸力が軸力の最大値となる。
3. 引張側に終局ひずみの規定がない場合は、プログラムは非常に大きなひずみ値を仮定する。引張側に終局ひずみの規定がある場合はそれを配置する。いずれの場合も引張側のひずみを A 点とする。

非常に大きなひずみ値を仮定した場合は、2次元 / 3次元相互作用図に、それを示す緑色が表示される。

炭素・アラミド繊維シートの場合は、破断・剥離ひずみの小さいほうの値を終局ひずみとする (これを A 点とします)。

A 点を通り、断面に平行なひずみ平面から応力度分布を求め、これを積分して軸力の最小値とする。

4. 上記で求めた最大軸力点と最小軸力点の間を約 15 分割 (N_1, N_2, \dots, N_{15}) する。このとき、各分割点が (1×10^n) または (2.5×10^n) または (5×10^n) の倍数になるように調整する。したがって、調整後は 15 分割よりも多く (あるいは少なく) なることがある。また、軸力がゼロの点も追加される。
5. 軸力 N_1 でのモーメントを求めるために、ひずみ平面の傾きを仮定する。ひずみ平面の傾きは B 点を支点にして A 点側に回転させ (曲率 ϕ_1)、A 点に到達するとその後は A 点を支点にして回転する向き (曲率 ϕ_2) とする。
6. 仮定されたひずみ平面の傾き (曲率 ϕ_1 または ϕ_2) から各材料の応力度分布を積

- 分し、内力としての軸力とモーメントを計算する。
7. 与えられた軸力 N_1 と内力として計算された軸力が一致するまで繰り返す。
 8. 軸力が収束した時点でのモーメントを終局曲げモーメント M_u とする。
 9. 同様な計算をその他の軸力 (N_2, \dots, N_{15}) に対しても行う (上記5~8を繰り返す)。
 10. 各軸力位置でのモーメントを結んで2次元 M_u - N 相互作用図 ($\theta = 0$ 度) を作成する。
 11. 同様な計算をその他の角度についても24回 ($\theta = 0, 15, 30, \dots, 330$ 度) 行う (上記5~10)。
 12. 各角度で得られた2次元 M_u - N 相互作用図を集めて3次元 M_u - N 相互作用図が完成する。

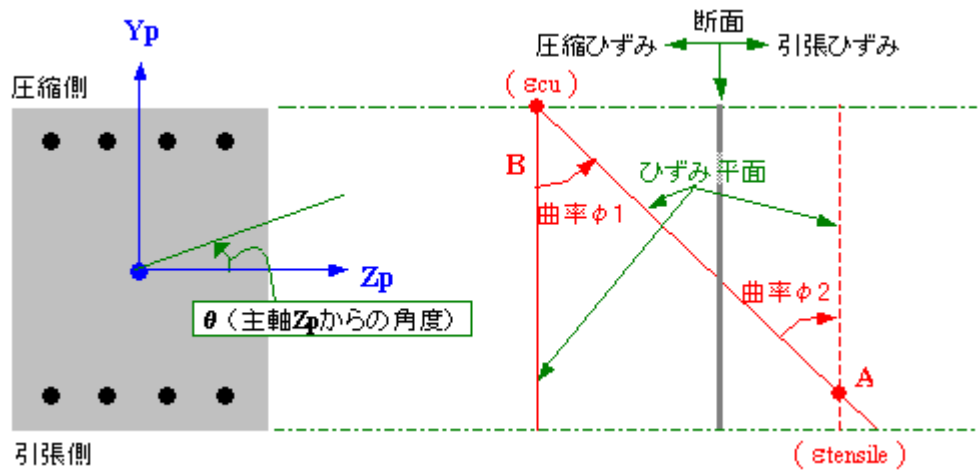


図3-1 3次元 M_u - N 相互作用図の作成

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

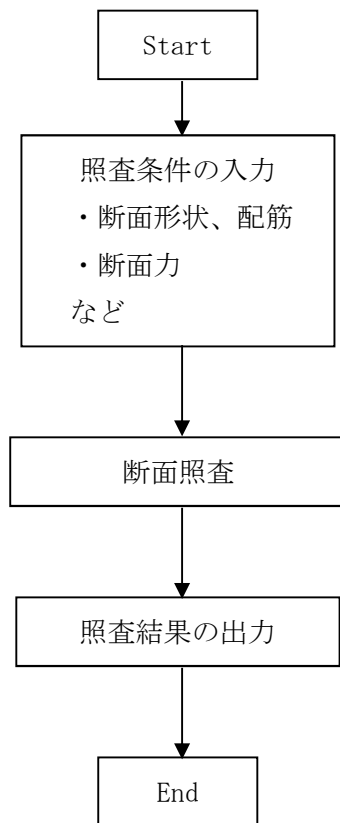


図3-2 解析フローチャート

3.5 検証(Verification)と妥当性(Validation)

a. 理論解との比較による検証

複鉄筋の計算及び2軸曲げの計算について、理論解と比較を行う。

(1) 複鉄筋の計算

複鉄筋の断面における、コンクリートの応力度、引張鉄筋の応力度、圧縮鉄筋の応力度について、計算例と解析結果の比較を行う。

・解析モデル

参考とする計算例は「実務に役立つ鉄筋コンクリート設計計算入門 計算例で学ぶ許容応力度設計法と限界状態設計法 磯貝 忠著 2006年 (株)山海堂」とし、P123の第II編第2章 複鉄筋く形断面 2.4 断面力M,Nが与えられた場合(計算例5)とする。

本計算例の解析条件は下記の通りである。

- ・コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} : 24 (N/mm²)
- ・鉄筋の強度 : SD295A
- ・ヤング係数比 n : 15
- ・全幅 b : 0.500 (m)
- ・全高 d : 0.700 (m)
- ・かぶり(上下共通) a : 0.070 (m)
- ・配置鉄筋(上下共通) : D25×5本
- ・軸力 N : 200 (kN)
- ・曲げモーメント M : 250 (kN・m)

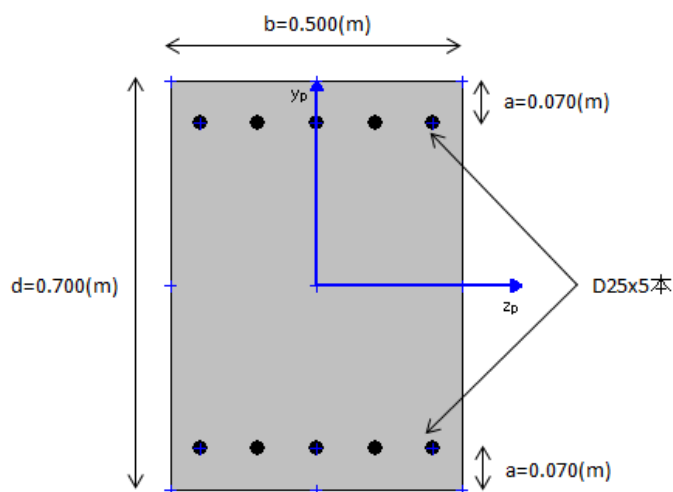


図3-3 解析モデル(複鉄筋)

この条件での計算例の応力度結果は下記の通りとなる。

コンクリートの応力度 $\sigma_c=6.27$ (N/mm²)

引張鉄筋の応力度 $\sigma_{s1}=140.7$ (N/mm²)

圧縮鉄筋の応力度 $\sigma_{s2}=68.0$ (N/mm²)



UC-win/Sectionのコンクリートの応力度, 引張鉄筋の応力度, 圧縮鉄筋の応力度の結果は下記の通りである。

OK	許容曲げ応力度の照査		
	σ_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
白部材1			
白着目点 1			
└ 応力度計算	6.18 < 8.00 OK	140.41 < 180.00 OK	66.74 < 180.00 OK

図3-4 解析結果

表3-1 計算例と解析結果の比較

対象		計算例	解析結果	比率
コンクリートの応力度	(N/mm ²)	6.27	6.18	101.5%
鉄筋の引張応力度	(N/mm ²)	140.7	140.4	100.2%
鉄筋の圧縮応力度	(N/mm ²)	68.0	66.7	101.9%

コンクリートの応力度, 引張鉄筋の応力度, 圧縮鉄筋の応力度が計算例と解析結果でほぼ一致しており, 応力度の算出が正しく算出されていることが確認できる。

(2) 2軸曲げの計算

(1)の複鉄筋の計算で応力度が正しく算出できることが確認できた。2軸曲げに対し, 単純な円形の断面の場合, 曲げモーメントの載荷角度を変えても応力度の算出結果は変わらない。そこで2軸曲げについては, 単純な円形の断面に対して, 曲げモーメントの載荷角度を変化させた場合に, 応力度の結果が変わらないことを確認する。

・解析モデル

解析条件は以下の通りとする。

- ・コンクリートの設計基準強度 σ_{ck} : 24(N/mm²)
- ・鉄筋の強度 : SD295A
- ・ヤング係数比 n : 15
- ・直径 D : 1.000(m)
- ・かぶり(全周共通) a : 0.100(m)
- ・配置鉄筋 : D16×36本
- ・基準曲げモーメント M : 100(kN・m)

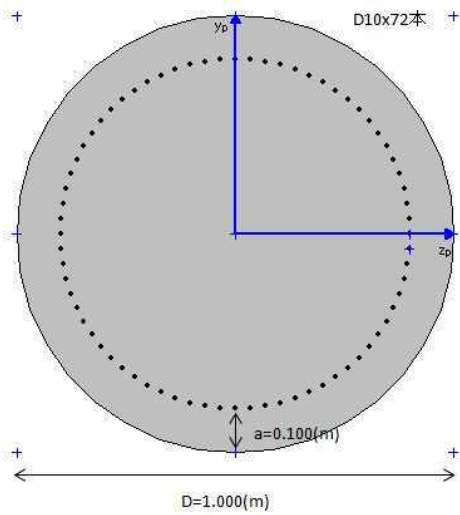


図3-5 解析モデル(2軸曲げ)

断面力としては, 基準曲げモーメント100(kN・m)を載荷角度 $\theta = 0$ 度(=Mz_pのみ)を基準として, 30度, 45度, 60度, 90度(=M_{y_p}のみ)と変化させる。

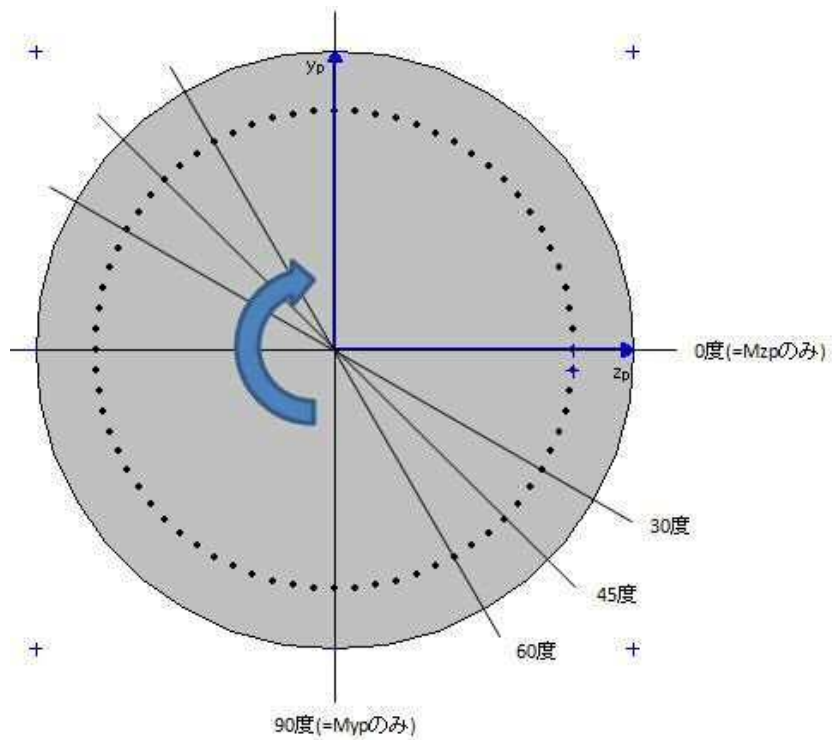


図3-6 曲げモーメントの載荷角度

各載荷角度 θ における曲げモーメントの値は下記のようなになる。

$$M_{yp} = 100 \cdot \cos(90 - \theta)$$

$$M_{zp} = 100 \cdot \sin(90 - \theta)$$

表3-2 各載荷角度における曲げモーメント

対象	角度 (度)	Myp (kN・m)	Mzp (kN・m)
0度	0	0.000	100.000
30度	30	50.000	86.603
45度	45	70.711	70.711
60度	60	86.603	50.000
90度	90	100.000	0.000

UC-win/Sectionの各載荷角度ごとのコンクリートの応力度, 引張鉄筋の応力度, 圧縮鉄筋の応力度の結果は以降の通りである。

載荷角度0度における計算結果

断面力	N' (kN):	S _{yp} (kN):	S _{zp} (kN):	T (kNm):	M _{yp} (kNm):	M _{zp} (kNm):
載荷0度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

		圧縮縁				引張縁			
材料名称	色	ε(μ)	σ(N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)	y(m)	ε(μ)	σ(N/mm ²)	σ _s (N/mm ²)	y(m)
24 MPa		80.3	2.01	8.00	-0.5000	222.7	0.00	0.00	-0.5000
SD295A		50.0	18.73	180.00	-0.4000	192.4	72.17	180.00	-0.4000

ひずみ 応力

抵抗曲げモーメント

図心位置のひずみ ε = 71.2(μ) 中立軸角度 α = 0(°) 曲率 φ = -3.0300E-004(1/m)	図心～中立軸の距離 x = 0.235(m) 中立軸～圧縮縁の距離 y = 0.265(m) 図心位置 (z, y) = (0.0000, 0.0000)(m)	抵抗 M = 249.4(kNm) 抵抗 Mz = 249.4(kNm) 抵抗 My = 0.0(kNm)
--	--	---

図3-7 解析結果(載荷角度0度)

載荷角度30度における計算結果

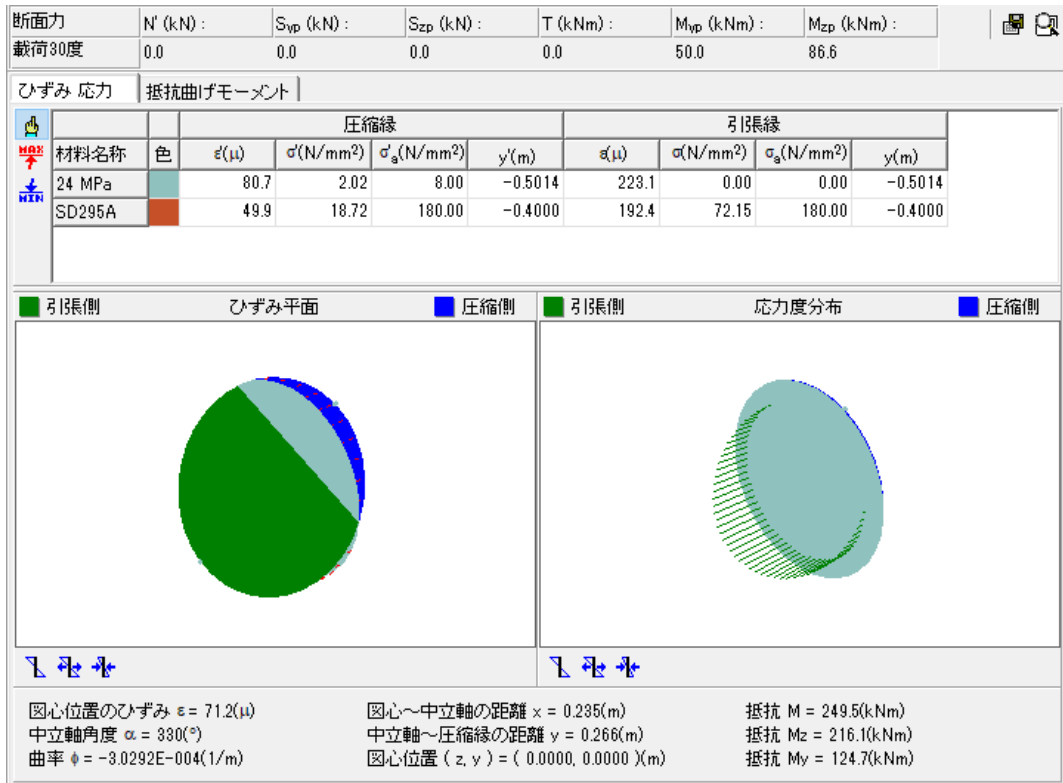


図3-8 解析結果(載荷角度30度)

載荷角度45度における計算結果

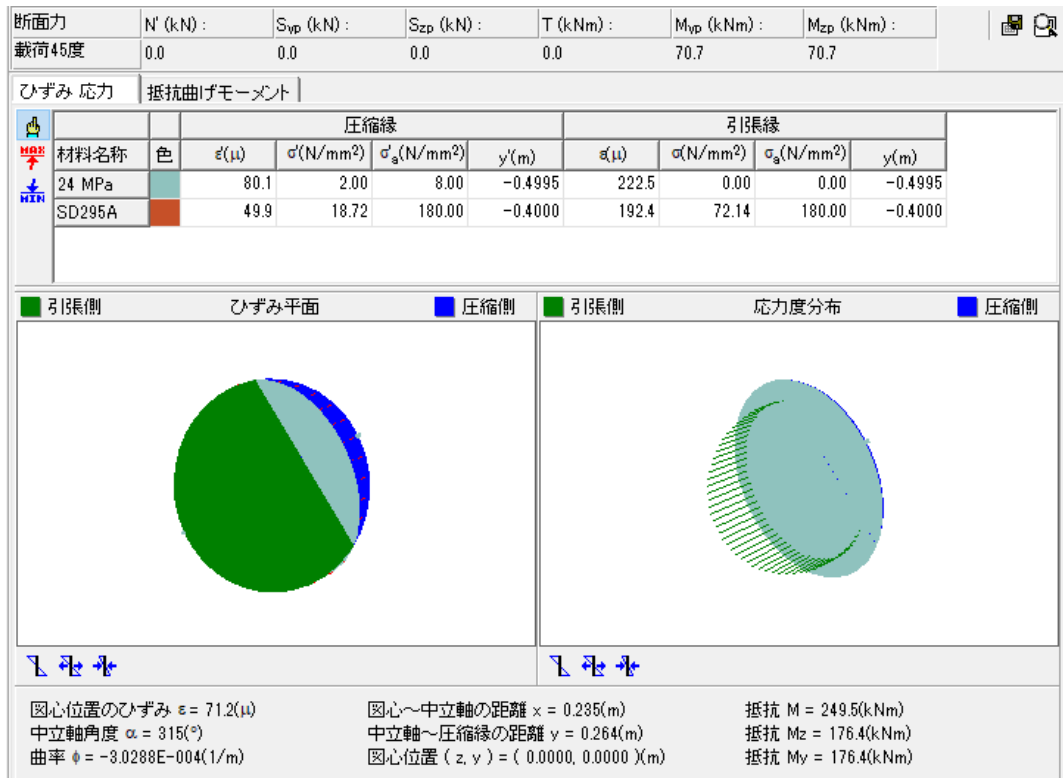


図3-8 解析結果(載荷角度45度)

載荷角度60度における計算結果

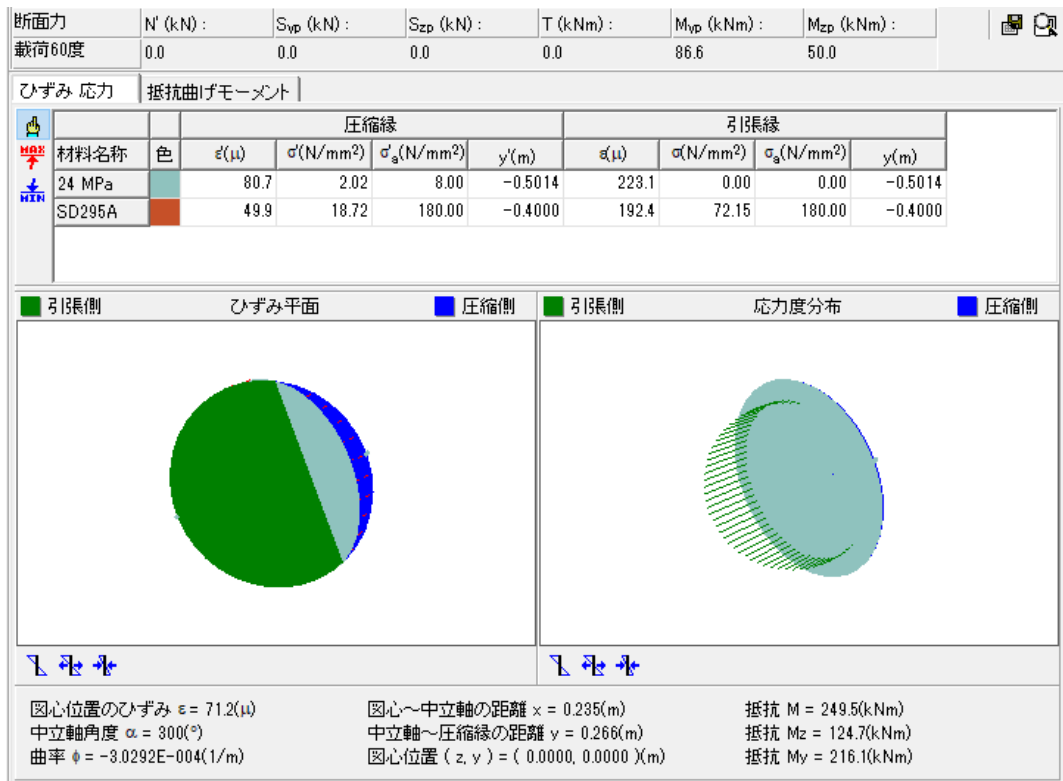


図3-9 解析結果(載荷角度60度)

載荷角度90度における計算結果

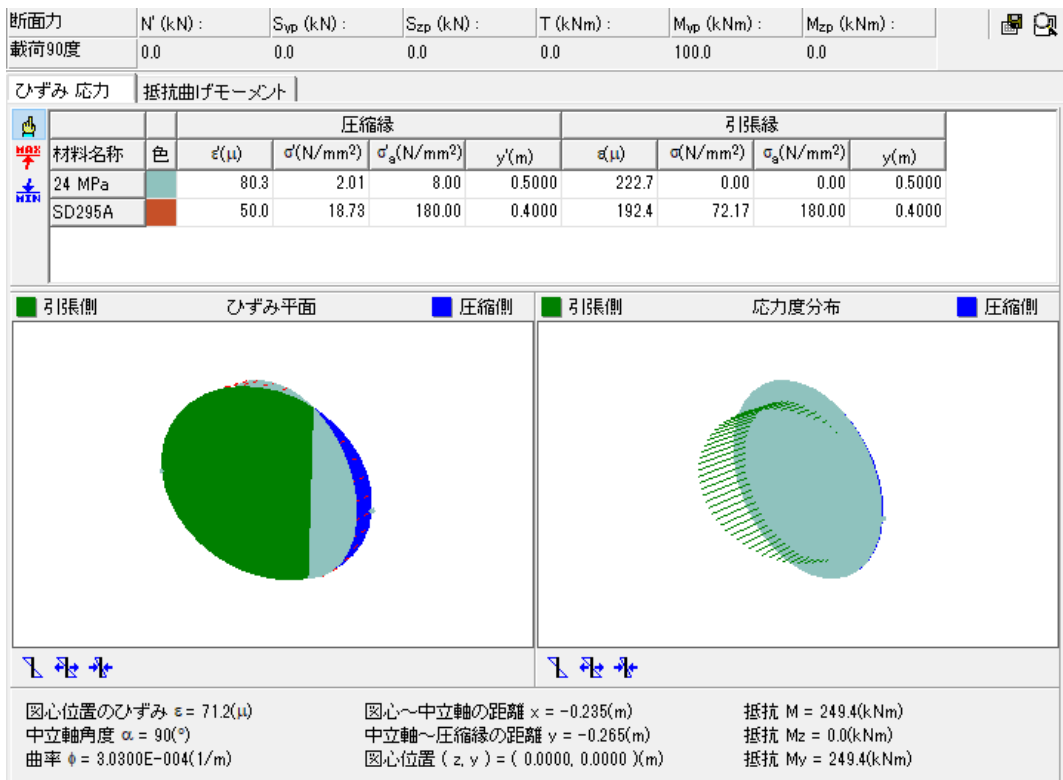


図3-10 解析結果(載荷角度90度)

以上の結果を整理すると表3-3の通りとなる。

表3-3 載荷角度0度を基準とした場合の各載荷角度の比率

対象	備考	コンクリートの応力度		鉄筋の引張応力度		鉄筋の圧縮応力度	
		解析結果	比率	解析結果	比率	解析結果	比率
0度	Mzp	2.01	100.0%	72.17	100.0%	18.73	100.0%
30度		2.02	100.5%	72.15	100.0%	18.72	99.9%
45度		2.00	99.5%	72.14	100.0%	18.72	99.9%
60度		2.02	100.5%	72.15	100.0%	18.72	99.9%
90度	Myp	2.01	100.0%	72.17	100.0%	18.73	100.0%

単純な円形断面について、コンクリートの応力度、引張鉄筋の応力度、圧縮鉄筋の応力度が各載荷角度によらず、ほぼ一致していることが確認できる。よって載荷角度が変化する2軸曲げについても、応力度が正しく算出されていることが確認できる。

b. 使用内容に対する妥当性

連続壁基礎の応力度照査、耐力照査にUC-win/Sectionを使用することは、次の通り検証されており、妥当である。

- ・ 検証の内容の通り、複鉄筋及び2軸曲げについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。