

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-22-0049_改0
提出年月日	2021年2月25日

VI-5-42 計算機プログラム（解析コード）の概要
・SCC

2021年2月

東北電力株式会社

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. 解析手法.....	5
3.1 一般事項.....	5
3.2 本解析コードの特徴.....	5
4. 解析理論.....	6
5. 解析フローチャート.....	8
6. 検証(Verification)と妥当性確認(Validation).....	9
6.1 検証(Verification).....	9
6.2 妥当性確認(Validation).....	9
6.2.1 妥当性確認方法.....	9
6.2.2 解析条件.....	9
6.2.3 妥当性確認結果.....	10
6.3 まとめ.....	10
7. 引用文献.....	10

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）SCC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
VI-2-3-2	炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	SCC
使用目的	原子炉本体の基礎のスケルトンカーブ(曲げモーメント-曲率関係)の作成
開発機関	鹿島建設株式会社
開発時期	2016年
使用したバージョン	Ver. 1.0
コードの概要	<p>SCC (以下「本解析コード」という。) は、鉄筋又は円筒鋼板で補強されたコンクリート円筒構造物の断面算定を行う計算機コードである。</p> <p>本解析コードは、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005年制定)」(以下「RC-N 規準」という。) に示される基本仮定に基づき、ひずみの平面保持の仮定のもとで、断面の応力評価にファイバーモデルを適用し、鋼材で補強された円筒構造物の断面算定を行うプログラムである。</p> <p>本解析コードの入力データのうち、曲げモーメントを増加させて解析することで、鋼板製コンクリート円筒壁のスケルトンカーブを算出することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証(Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードにより得られた中立軸位置 x_n 及び曲率 ϕ をもとに、内力(軸力と曲げモーメント)を算出し、加えた外力と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、動作環境を満足する計算機にインストールして使用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、以下のとおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用マニュアルにより、本工事計画で実施するスケルトンカーブの作成に本解析コードが適用できることを確認している。

<p>検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)</p>	<ul style="list-style-type: none">• 本解析コードによる円筒鋼板で補強された円筒コンクリート部材について、「RC-N 規準」に示される基本仮定から求められる結果との比較により、両者がおおむね一致することを確認している。• 本工事計画で行う鋼材+コンクリート円筒構造物の断面算定の用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
--	---

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、鋼材(鉄筋又は円筒鋼板)で補強された円筒コンクリート部材(円筒柱)について、「RC-N 規準」に示される基本仮定に基づき、断面算定を行うプログラムである。

本解析コードは、ひずみの平面保持の仮定及び引張域のコンクリートは耐力・剛性とも無視する鉄筋コンクリート構造の基本仮定を適用している。

算定には、断面を微小幅にスライスしたファイバーモデルを適用している。これにより、ひずみ度に応じた応力度分布をもとに断面力を算出する。外力(軸力+曲げモーメント)に対して、収束計算により中立軸と曲率を求め、鋼材とコンクリートのひずみ度及び応力度を求めるものである。

3.2 本解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴としては、以下のとおりである。

- ・荷重(軸力+曲げモーメント)に対して、円筒部材の鋼材及びコンクリートのひずみ度・応力度の算出を行う。
- ・コンクリートの応力度-ひずみ度関係は線形又はパラボラ分布の非線形性状(引用文献(1)参照)が扱える。
- ・鋼材の応力度-ひずみ度関係は線形又はバイリニアの非線形性状が扱える。

本工事計画における本解析コードのバージョン、評価対象及び評価内容を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析概要

バージョン	評価対象	評価内容
Ver. 1.0	女川 2 号機原子炉本体の基礎	復元力特性設定におけるスケルトンカーブ(曲げモーメント-曲率関係)の各折点を算出

4. 解析理論

図 4-1 に示すリング状に円筒鋼板で補強された円筒コンクリート部材の軸力 N 及び曲げモーメント M は(1)式及び(2)式で表される。

コンクリートの応力度-ひずみ度関係にパラボラ分布を、鋼材の応力度-ひずみ度関係にバイリニアを適用し、軸力及び曲げモーメントの釣り合いから中立軸 x_n 及び曲率 ϕ を収束計算により算定する。

$$N = \int \sigma_c dA + \sum_k \int \sigma_s da_s \quad (1)$$

$$M = \int \sigma_c \cdot y dA + \sum_k \int \sigma_s \cdot y da_s - N \cdot \left(x_n - \frac{D}{2} \right) \quad (2)$$

ここで、

N : 軸力

M : 曲げモーメント

σ_c : コンクリートの応力度 (引用文献(1)参照)

$$\varepsilon \leq \varepsilon_0 \text{ の場合, } \sigma_c = 0.85 F_c \left\{ 2 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right\} \quad (3)$$

$$\varepsilon > \varepsilon_0 \text{ の場合, } \sigma_c = 0.85 F_c \quad (4)$$

ε : ひずみ (= $y \cdot \phi$)

ε_0 : 応力度が最大に到達するひずみ (=0.002)

σ_s : 鋼材の応力度 (バイリニア)

x_n : 中立軸位置

y : 中立軸からの距離

ϕ : 曲率

A : 圧縮を受けるコンクリートの断面積

a_s : 鋼材の断面積

\sum_k : 円筒鋼板の枚数分の総和

D : 円筒の直径(外径)

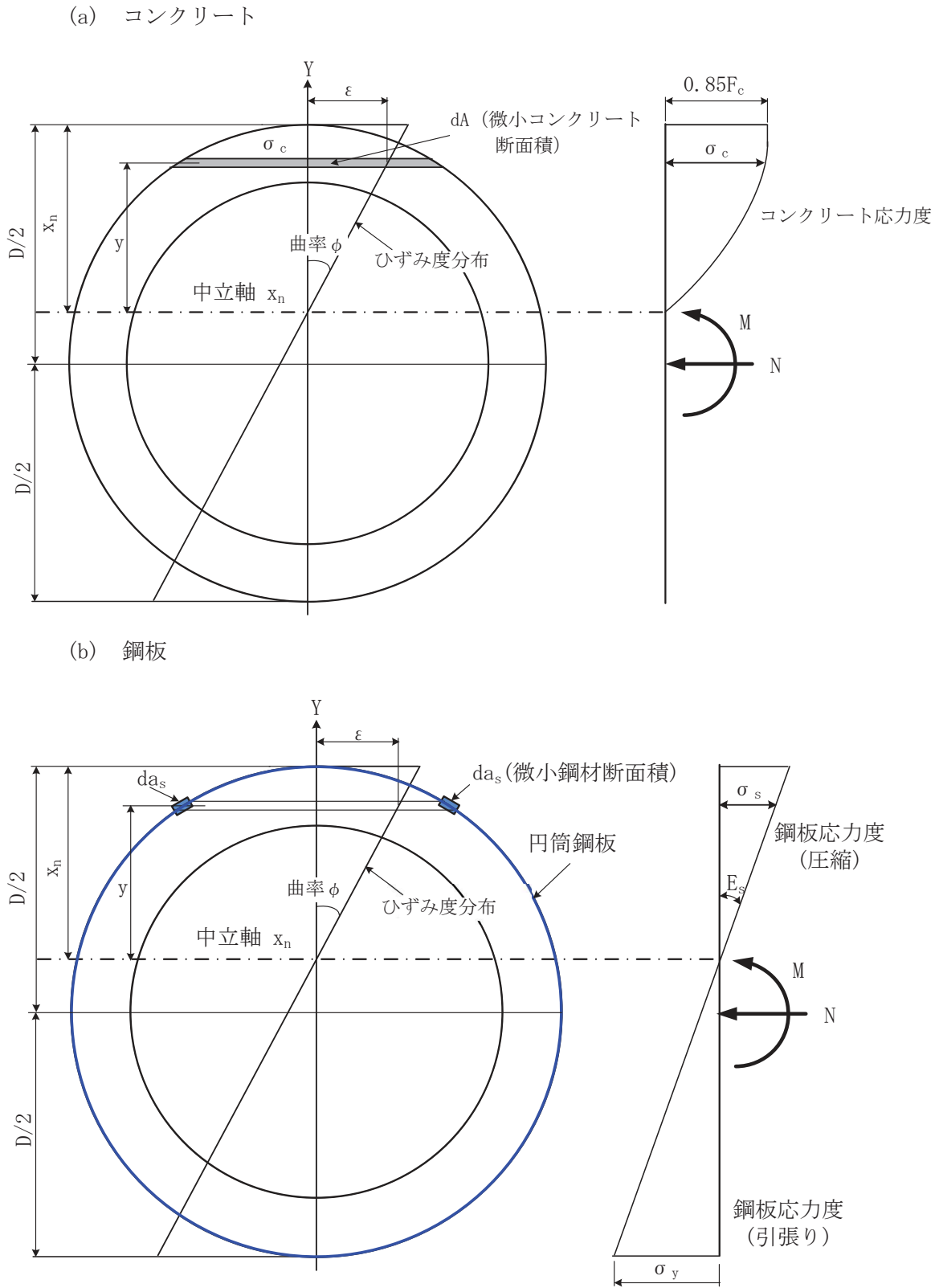


図 4-1 円筒断面のひずみ度と応力度

5. 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 5-1 に示す。

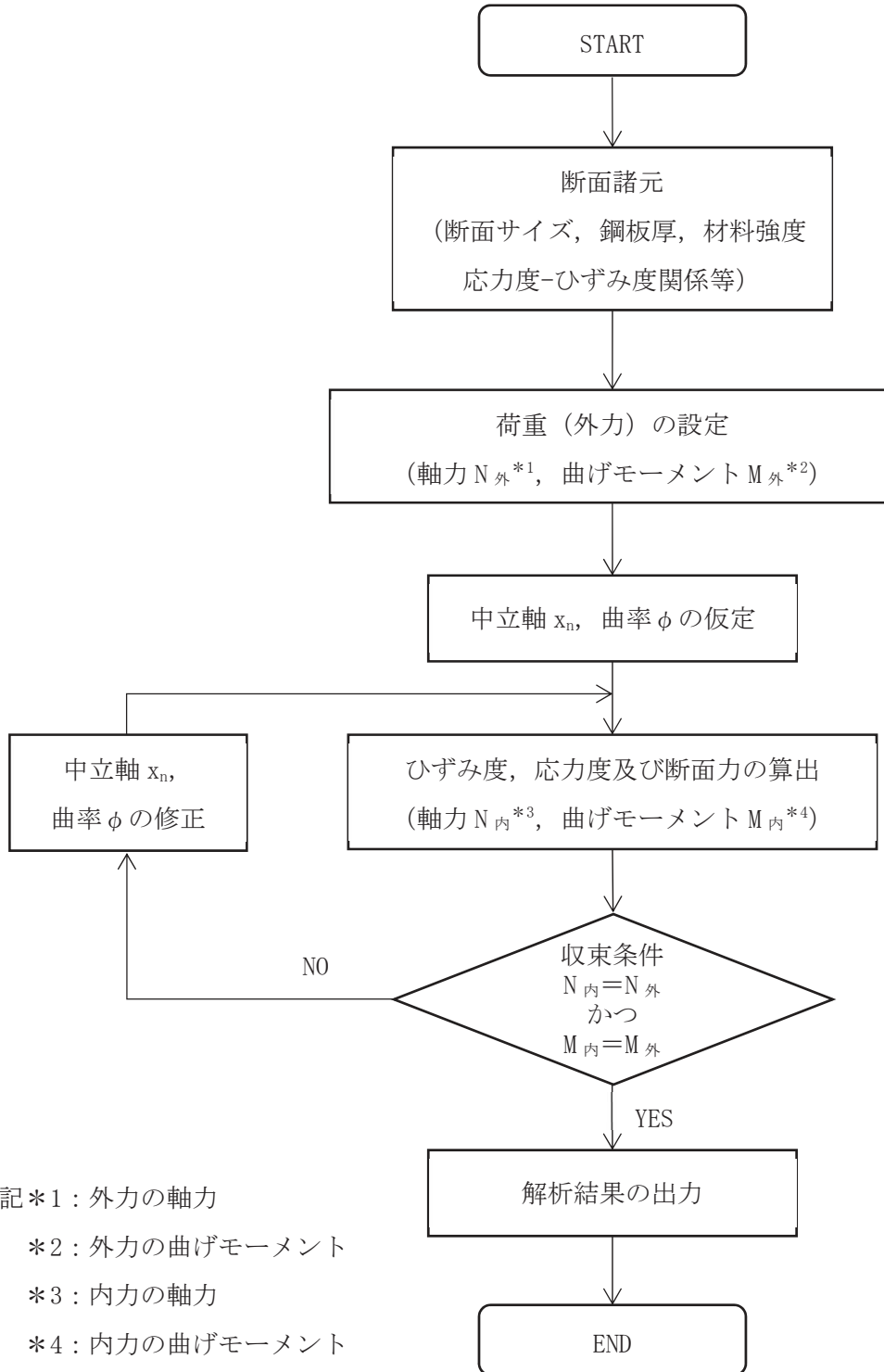


図 5-1 解析フローチャート

6. 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

本解析コードは、「4. 解析理論」に示した一般性のある理論に基づき構築された解析コードであり、「5. 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っている。

そこで、本解析コードによる円筒鋼板により補強された円筒コンクリート部材の解析結果と手計算による結果との比較により、解析解の適切さを確認している。

6.1 検証(Verification)

本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する妥当性確認の中で確認している。

6.2 妥当性確認(Validation)

6.2.1 妥当性確認方法

円筒鋼板+円筒コンクリート部材について、本解析コードにより得られた中立軸位置 x_n 及び曲率 ϕ をもとに、別途手計算で応力度から求められる内力（軸力と曲げモーメント）を算出し、加えた外力（軸力と曲げモーメント）と一致することの確認をもって行う。

6.2.2 解析条件

検証を行う円筒部材の断面諸元を表 6-1、荷重条件を表 6-2 に示す。

表 6-1 円筒部材の断面諸元

	コンクリート		円筒鋼板	
	断面諸元	外径 (m)	14.0	鋼板中心半径 (m)
内径 (m)		10.6	鋼板厚さ (m)	0.06
躯体厚さ (m)		1.7	—	—
材料定数	設計基準強度 F_c (MPa)	29.4	F 値 (MPa)	245
	$0.85F_c$ (MPa)	24.99	縦弾性係数 E_s (MPa)	192,000

表 6-2 荷重条件

	荷重条件
軸力 (kN) (圧縮を正)	83,640
曲げモーメント (kN・m)	2,030,220

6.2.3 妥当性確認結果

本解析コードによる中立軸 x_n 及び曲率 ϕ (表 6-3) から求められるひずみ度及び応力度を用いて、手計算により求めた軸力及び曲げモーメントと入力した外力と比較して表 6-4 に示す。

表 6-4 より、両者は十分な精度で一致しており、本解析コードが応力度・ひずみ度を正しく評価していることとなる。

表 6-3 荷重条件と本解析コードによる中立軸と曲率

本解析コードによる中立軸と曲率	
中立軸 x_n (m)	5.0
曲率 ϕ (1/m)	1.20337×10^{-4}

表 6-4 入力外力と手計算による断面力の比較

	項 目	①入力値	②手計算による 算定結果	(①-②)/①
断面力	軸力 (kN) (圧縮を正)	83,640	83,623	0.0002
	曲げモーメント (kN・m)	2,030,220	2,029,987	0.0001

6.3 まとめ

以上のとおり、本解析コードの円筒鋼板+円筒コンクリート部材の断面算定機能について、本解析コードによる中立軸と曲率をもとに算出したひずみ度及び応力度から手計算によって断面力を算定し、これが与条件である外力と比較し一致することを確認した。したがって、本解析コードによる各部のひずみ度及び応力度が十分な精度で算出されていることとなる。以上より本解析コードによる断面算定が適切に行われていることを確認した。

また、上記に加えて、使用マニュアルにより、本工事計画で使用する鋼板+コンクリート円筒構造物のスケルトンカーブの算定に、本解析コードが適用できることを確認している。

したがって、本解析コードを、鋼板+コンクリート円筒構造物のスケルトンカーブの算定に使用することは、妥当である。

7. 引用文献

Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993