

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 5-057
提出年月日	2023年2月9日

VI-5-57 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ E M R G I N G

2023年2月

中国電力株式会社

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
2.1 EMRGING Ver. 12.4C	3
2.2 EMRGING Ver. 13.1	4
3. 解析手法	5
3.1 一般事項	5
3.2 解析コードの特徴	5
3.3 解析手法	6
3.3.1 計算方法	6
3.3.2 応力発生状態の判定	7
3.3.3 応力度の算定	8
3.4 解析フローチャート	9
3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)	10
3.5.1 検証	10
3.5.2 妥当性確認	13
3.5.3 評価結果	13

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）EMRGING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-2-10-2-3-1	防波壁（波返重力擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 12.4C
VI-2-10-2-3-2	防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての説明書	Ver. 12.4C
VI-2-10-2-3-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震性についての計算書	Ver. 13.1
VI-2-11-2-3	免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書	Ver. 12.4C
VI-3-別添3-2-1-1	防波壁（波返重力擁壁）の強度計算書	Ver. 12.4C
VI-3-別添3-2-1-2	防波壁（逆T擁壁）の強度計算書	Ver. 12.4C
VI-3-別添3-2-1-3	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の強度計算書	Ver. 13.1

2. 解析コードの概要

2.1 EMRGING Ver. 12. 4C

項目	コード名 EMRGING
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	富士通エフ・アイ・ピー株式会社
開発時期	1999年
使用したバージョン	Ver. 12. 4C
コードの概要	<p>EMRGING（以下「本解析コード」という。）は、富士通エフ・アイ・ピー株式会社によって開発された、鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用の市販コードである。</p> <p>本解析コードは、様々な断面形状を持つ鉄筋コンクリート断面の応力度計算に利用可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 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"> ・今回の工認申請で使用する機能の検証として、材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね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動作環境を満足する計算機にインストールして用いている。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 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"> ・本解析コードは、国内の土木分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工認申請で使用する矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）に本解析コードが適用できることを確認している。 ・本解析コードは検証の体系と今回の工認申請で使用する体系が同等であることから検証で実施した解析解が理論解とおおむね一致をもって、解析機能の妥当性を確認できる。 ・今回の工認申請で行う矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内であることを確認している。

2.2 EMRGING Ver. 13.1

項目 \ コード名	EMRGING
使用目的	鉄筋コンクリートの応力度計算
開発機関	富士通エフ・アイ・ピー株式会社
開発時期	1999年
使用したバージョン	Ver. 13.1
コードの概要	<p>EMRGING（以下「本解析コード」という。）は、富士通エフ・アイ・ピー株式会社によって開発された、鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用の市販コードである。</p> <p>本解析コードは、様々な断面形状を持つ鉄筋コンクリート断面の応力度計算に利用可能である。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>【検証 (Verification)】 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。 ・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動作環境を満足する計算機にインストールして用いている。 <p>【妥当性確認 (Validation)】 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"> ・本解析コードは、国内の土木分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工認申請で使用する矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）に本解析コードが適用できることを確認している。 ・今回の工認申請において使用するバージョンは、「3.5 検証」において妥当性を確認したVer. 12.4Cと異なるが、バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・今回の工認申請で行う矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認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、鉄筋コンクリート断面に対する応力度計算用の市販コードである。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの特徴は多数の断面に適用可能なことであり、定形パターンとして7種類及び任意断面に適用可能である。適用可能な断面形のパターンと出力の一覧を表3-1に示す。なお、本解析コードの開発に際しては以下の文献を参考としている。

- (1) コンクリート標準示方書 設計編 ((社) 土木学会, 2007年制定)
- (2) コンクリート標準示方書 設計編 ((社) 土木学会, 2012年制定)
- (3) 道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IIIコンクリート橋編) ((社) 日本道路協会, 平成14年3月)
- (4) 道路橋示方書・同解説 (I 共通編・IV下部構造編) ((社) 日本道路協会, 平成14年3月)
- (5) 道路橋示方書・同解説 (V耐震設計編) ((社) 日本道路協会, 平成14年3月)

表3-1 応力度計算の断面形パターンと出力一覧

		矩形 断面	円形 断面	円環 断面	任意 断面	箱形 断面	I形,T形 小判形	SRC 矩形
一 軸 曲 げ	コンクリート圧縮応力度	●	●	●	●	●	●	
	鉄筋引張応力度	●	●	●	●	●	●	
	鉄筋圧縮応力度	●			●	●	●	
二 軸 曲 げ	コンクリート圧縮応力度	●				●		
	鉄筋引張応力度	●				●		
	鉄筋圧縮応力度	●				●		
	最大せん断応力度	●	●	●		●		
	平均せん断応力度	●	●	●		●		

● : 計算可

3.3 解析手法

本解析コードは主に RC 矩形断面の曲げ応力度の照査に用いることから、以下にその解析理論を示す。

3.3.1 計算方法

断面寸法 b , d を仮定し、次の諸値を算定する。

- a. 軸力 N , 曲げモーメント M ならびにせん断力 Q が加わる場合

$$f = \frac{M}{N} + u, \quad \frac{f}{d}$$

$$u = \frac{d+d'}{2} - d'$$

$$M' = M + Nu, \quad \frac{M'}{bd^2}, \quad \frac{Q}{bd}$$

(N の符号は圧縮が正, 引張が負とする)

(f : 荷重偏心量, M' : 換算モーメント)

- b. 軸力 $N = 0$ の場合

$$\frac{f}{d} = \infty, \quad M' = M \text{ とする。}$$

鉄筋のヤング係数とコンクリートのヤング係数との比は, $n = \frac{E_s}{E_c}$

u は軸力 N の加わる点から引張鉄筋までの距離である。一般には軸力 N の加わる点を部材の中心点とする。

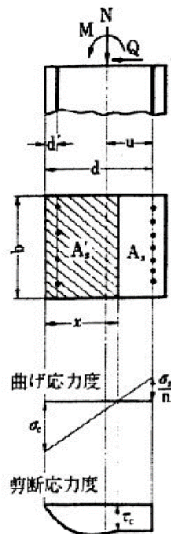


図 3-1 RC 矩形断面

3.3.2 応力発生状態の判定

側方鉄筋のない矩形断面の場合、応力発生状態は次のように判断する。

- ・全断面圧縮

設計軸力 $N > 0$ で、

$$\left| \frac{N}{db} \right| - \frac{6M}{d^2b} > 0$$

となる場合は全断面圧縮となる。

- ・全断面引張

$N < 0$ で、

$$\left| \frac{N}{db} \right| - \frac{6M}{d^2b} > 0$$

または、

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{d} \left(\frac{M}{N} + u \right) > 0$$

となる場合は全断面引張となる。

3.3.3 応力度の算定

鉄筋を配置して、次の諸数値を算定する。

$$\alpha = \frac{d'}{d}, \quad \beta = \frac{f}{d}, \quad np = n \frac{As}{bd}, \quad \gamma = \frac{A's}{As}$$

下式に上記諸数値を代入して k を求める。

a. $N \neq 0$ の場合

$$\frac{k^3}{3} - k^2(1 - \beta) - 2knp\{\gamma(1 - \alpha - \beta) - \beta\} + 2np\{\alpha\gamma(1 - \alpha - \beta) - \beta\} = 0$$

b. $N = 0$ ($\beta = \infty$) の場合

$$k^2 + 2knp(\gamma + 1) - 2np(\alpha\gamma + 1) = 0$$

ただし, $\alpha < k < 1$

この k を下式に代入して C, S, Z を求める。

$$C = \frac{2k}{k^2(1 - k/3) + 2\gamma np(k - \alpha)(1 - \alpha)}$$

$$S = C \frac{1 - k}{k}$$

$$Z = \frac{np(1 - \varepsilon)}{1/3k^3 - k^2\varepsilon + k\varepsilon^2 + np\{(1 - \varepsilon)^2 + \gamma(\varepsilon - \alpha)^2\}}$$

$$\text{ただし } \varepsilon = \frac{1/2k^2 + np(1 + \alpha\gamma)}{k + np(1 + \gamma)}$$

これからコンクリートと鉄筋の曲げ応力度 σ_c, σ_s ならびにコンクリートのせん断応力度 τ_c を次式によって算定する。

$$\sigma_c = \frac{M'}{bd^2} C, \quad \sigma_s = \frac{M'}{bd^2} S n, \quad \tau_c = \frac{Q}{bd} Z$$

また、中立軸の位置 x は次式によって求められる。

$$x = kd = \frac{C}{C + S} d$$

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。

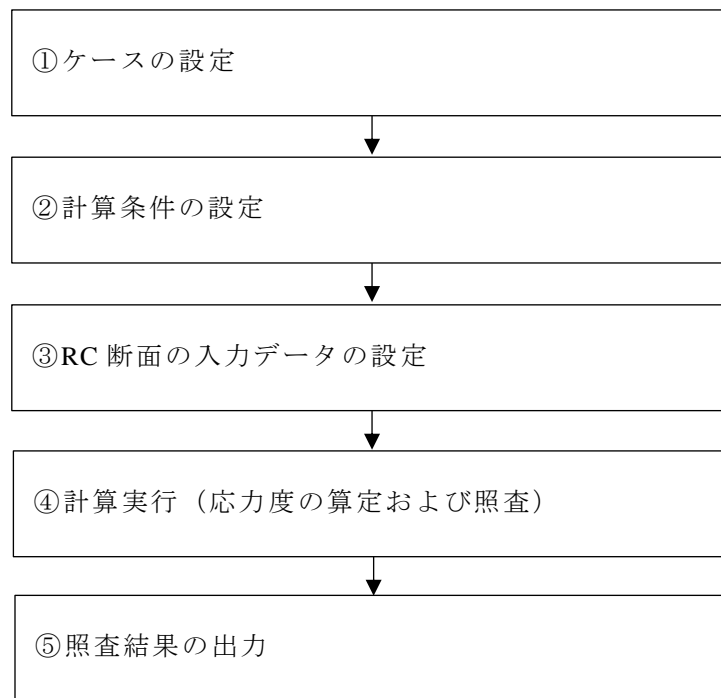


図3-2 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) 及び妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、国内の土木分野における使用実績を有しており、解析機能全般について、十分に妥当性が確認されている。また、「3.3 解析手法」に示した一般性を有する理論モデルそのままに構築されたものであることから、解析解の適切さは、当該分野で公知の理論モデルにより得られる理論解との比較により確認可能である。

以下には、「EMRGING」Ver. 12.4C の解析解と、理論モデルにより得られる理論解との比較に基づく検証及び妥当性確認結果を示す。

3.5.1 検証

理論式による手計算結果と計算機コード結果との比較を、図 3-3 の RC 断面で行う。

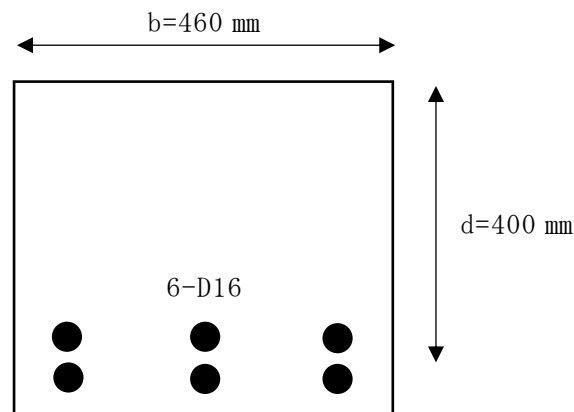


図3-3 解析モデル

図 3-3 のような RC 断面が $M = 48 \text{ kN} \cdot \text{m}$ の曲げモーメントを受けるとき、鉄筋の曲げ引張り応力度 σ_s 、コンクリートの圧縮応力度 σ'_c について比較を行った。理論式*は以下のとおり。

注記*：鉄筋コンクリート工学（1997 鹿島出版会）

$$\sigma_s = \frac{M}{Asjd}$$

$$\sigma'_c = \frac{2M}{kjb d^2}$$

ここで,

A_s : 鉄筋量 (1,192 mm²)

k : 0.355

j : 0.882

計算機コードの検証結果を図3-4及び図3-5に、理論式による手計算結果と計算機コードの結果の比較を表3-2に示す。検証の結果、手計算結果と計算機コード結果が概ね一致することを確認した。

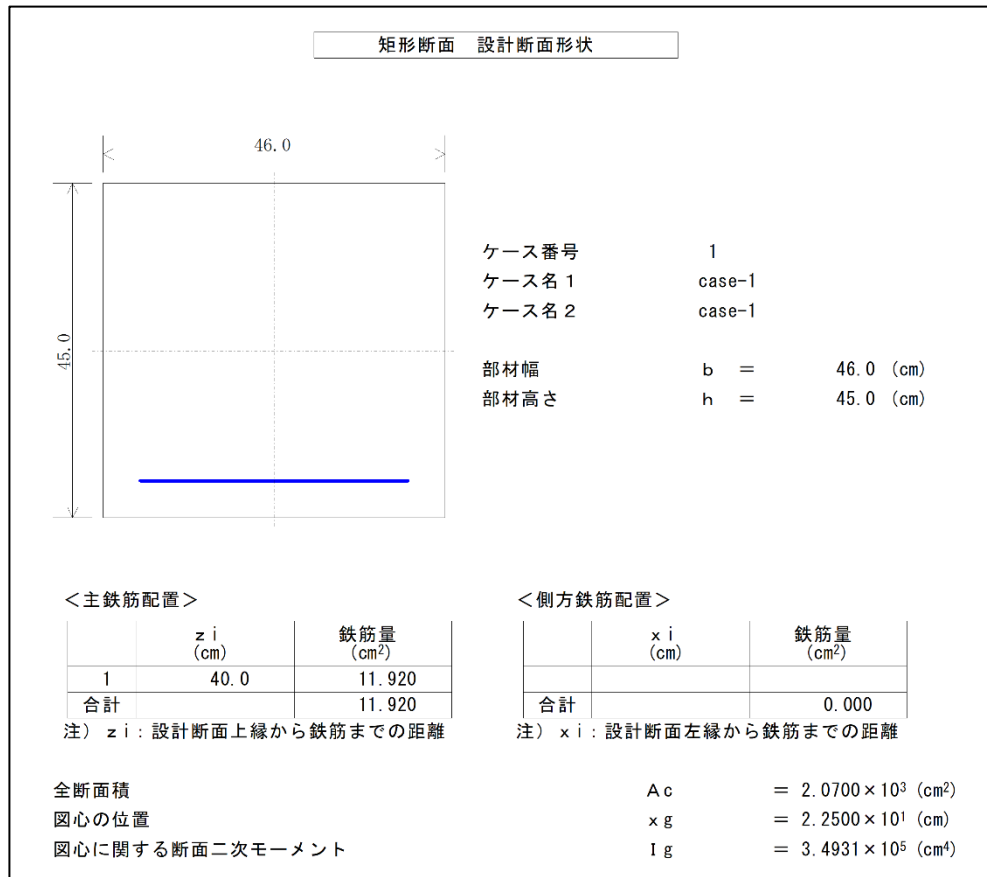


図3-4 解析コードの検証結果 (その1)

矩形断面 応力度の算定

■基本データ	コンクリート許容圧縮応力度	$\sigma_{ca} =$	8.000 (N/mm ²)	
	鉄筋の許容引張応力度	$\sigma_{sa} =$	180.000 (N/mm ²)	
	せん断許容応力度	$\tau_{a1} =$	0.390 (N/mm ²)	
		$\tau_{a2} =$	0.000 (N/mm ²)	
	弾性係数比	$n =$	15.000	
■設計断面形状	部材幅	$b =$	46.0 (cm)	
	部材高	$h =$	45.0 (cm)	
	有効高	$d =$	40.0 (cm)	
	鉄筋量 (引張側主鉄筋量)	$A_{st} =$	11.92 (cm ²)	
	(圧縮側主鉄筋量)	$A_{sc} =$	0.00 (cm ²)	
	(側方鉄筋量)	$A_{ss} =$	0.00 (cm ²)	
	(合計鉄筋量)	$A_{sg} =$	11.92 (cm ²)	
	最小鉄筋量	$A_{smin} =$	3.68 (cm ²)	
	■設計断面力	曲げモーメント	$M =$	48.00 (kN・m)
		軸方向力 [+ : 圧縮]	$N =$	0.00 (kN)
		せん断力	$Q =$	0.00 (kN)
		荷重偏心量	$e = \infty$	(cm)
		抵抗モーメント	$M_r =$	75.69 (kN・m)

■応力度計算と照査

応力度発生状態

$$\left| \frac{N}{b \cdot d} \right| - \frac{6M}{b \cdot d^2} = \left| \frac{0.000}{0.460 \times 0.400} \right| - \frac{6 \times 48.000}{0.460 \times 0.400^2} = -3.91 \times 10^3 \leq 0$$

圧縮と引張

コンクリート圧縮応力度	$\sigma_c =$	4.175 (N/mm ²)	$\leq \sigma_{ca} =$	8.000	: OK
鉄筋引張応力度	$\sigma_s =$	114.151 (N/mm ²)	$\leq \sigma_{sa} =$	180.000	: OK
平均せん断応力度	$\tau =$	0.000 (N/mm ²)	$\leq \tau_{a1} =$	0.687	: OK
鉄筋圧縮応力度	$\sigma'_s =$	0.000 (N/mm ²)			
中立軸までの距離	$x =$	14.170 (cm)			

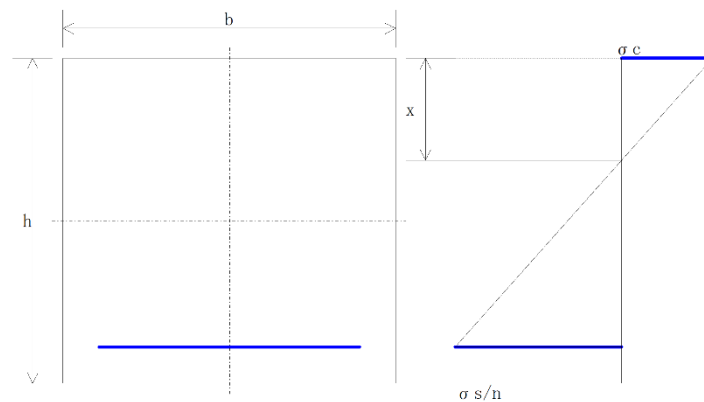


図3-5 解析コードの検証結果 (その2)

表3-2 解析結果の比較

項目	理論値 (N/mm ²)	解析コード結果 (N/mm ²)
鉄筋曲げ σ_s	114.14	114.15
コンクリート圧縮 σ'_c	4.17	4.18

3.5.2 妥当性確認

以上に述べた様に、本解析コードは、材料力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）について理論モデルによる理論解との比較を行い、解析解が理論解とおおむね一致することを確認した。

また、上記以外にも、開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工認申請で使用する矩形の鉄筋コンクリート断面の応力解析（断面照査）に、本解析コードが適用できることを確認している。

3.5.3 評価結果

以上から本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。