

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-764 改1
提出年月日	平成30年8月29日

V-5-38 計算機プログラム（解析コード）の概要・SCARC

目次

1.	はじめに.....	1
1.1	使用状況一覧.....	2
2.	SCARC の概要	3
3.	SCARC の解析手法について	5
3.1	一般事項.....	5
3.3	解析手法.....	5
3.1.1	解析理論.....	5
3.5	検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	14

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）SCARC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-2-2-5	使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書	2014

2. SCARCの概要

項目	コード名 SCARC
使用目的	壁・床部材の断面算定
開発機関	大林組
開発時期	2014年
使用したバージョン	Ver. 2014 (2014.7) 選定理由：検証及び妥当性が確認された最新バージョンであるため
コードの概要	<p>SCARCは壁・床の面部材を対象に、FEM応力解析により得られた設計用断面力を用いて断面算定を行う解析コードである。</p> <p>断面算定は、軸力-曲げモーメントについてはコンクリート・鉄筋の応力度やひずみを、また面内・面外せん断力については許容せん断力(又は許容せん断応力度)を算出し、それぞれの許容値に対する安全裕度を評価する。</p> <p>断面算定式は、RC-N規準・RC規準及びCCV規格から、対象建屋や部材に応じて適宜選択することができる。</p>
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>本解析コードは、大林組の自社開発コードであり、壁・床部材の断面算定で使用している。</p> <p>【検証の内容】</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"> ・軸力-曲げモーメント、面内せん断力及び面外せん断力の各項目について、電算結果と理論解による結果と概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要件を満足していることを確認されている。 <p>【妥当性確認】</p> <p>SCARCを断面算定に使用することは、次の通り妥当である。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・九州電力玄海3号機工事計画認可申請書の資料3（耐震性に関する説明書）において、鉄筋コンクリート部材の断面算定に使用された実績がある。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって解析機能の妥当性も確認されている。 ・本工事計画において使用するバージョンは、他プラントの既工事

	<p>計画において使用されているものと同じであることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 検証内容のとおり，断面算定結果について検証されていることから，断面算定評価の目的に照らして今回の計算に使用することは妥当である。
--	---

3. SCARCの解析手法について

3.1 一般事項

SCARCは壁・床の面部材を対象に、FEM応力解析により得られた設計用断面力を用いて断面算定を行う解析コードである。

断面算定は、軸力-曲げモーメントについてはコンクリート・鉄筋の応力度やひずみを、また面内・面外せん断力については許容せん断力（又は許容せん断応力度）を算出し、それぞれの許容値に対する安全裕度を評価する。

断面算定式は、RC-N規準・RC規準及びCCV規格から、対象建屋や部材に応じて適宜選択することができる。

3.2 解析コードの特徴

SCARCの主な特徴を以下に示す。

- (1) 壁・床の面部材について、FEM応力解析より得られた設計用断面力を、単位幅あたりの断面力として断面算定を行う。
- (2) 断面算定式は、RC-N規準・RC規準及びCCV規格から選択でき、材料の許容応力度は任意に設定できる。
- (3) FEM応力解析結果を定形ファイル形式で取り込み、荷重組合せに応じた設計用断面力を算出し、各組合せケースに対する断面算定を一括して行うことが可能である。

3.3 解析手法

3.1.1 解析理論

断面算定は軸力-曲げモーメント、面内せん断及び面外せん断の3種類について行う。

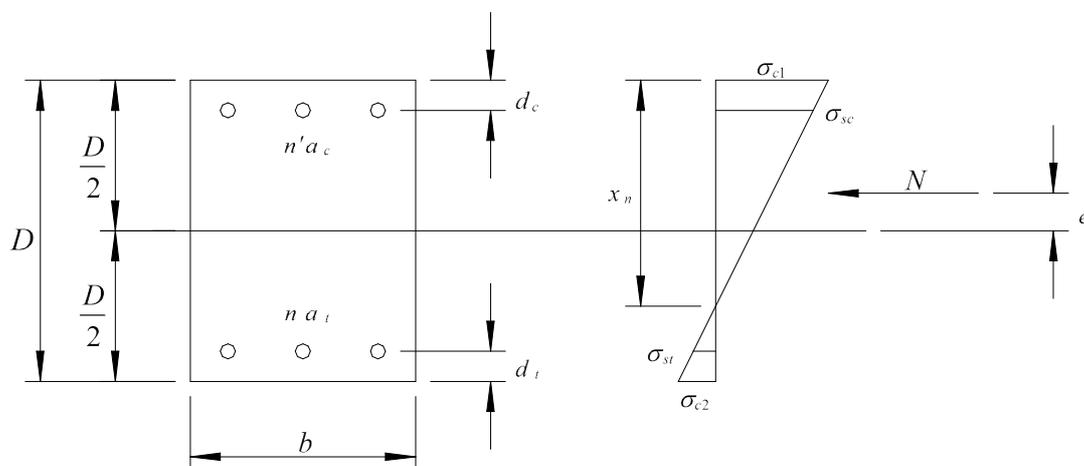
それぞれの概要を以下に記す。

(1) 軸力-曲げモーメント

軸力-曲げモーメントについては、RC-N規準・RC規準及びCCV規格とも同じ理論であり、以下の仮定に基づいている。

- a. 断面は曲げモーメントを受けた後も平面を保持し、コンクリート・鉄筋のひずみは中立軸からの距離に比例する。
- b. コンクリートの引張強度は無視する。

軸力-曲げモーメントに関する理論の概要を以下に示す。なお、ここでは中立軸が断面内にある場合を示す。



- b : 梁幅 (単位幅)
- D : 部材厚
- n', n : 圧縮側及び引張側ヤング係数比
- a_c, a_t : 圧縮鉄筋量及び引張鉄筋量
- d_c : 圧縮縁から圧縮鉄筋重心位置までの距離
- d_t : 引張縁から引張鉄筋重心位置までの距離
- N : 軸力
- e : 偏心距離 ($e = M/N$, M : 曲げモーメント)
- σ_{c1}, σ_{c2} : 圧縮縁及び引張縁コンクリート応力度
- σ_{sc}, σ_{st} : 圧縮鉄筋応力度及び引張鉄筋応力度
- x_n : 圧縮縁から中立軸までの距離

有効等価断面の中立軸まわりの断面1次モーメント S_n 及び断面2次モーメント I_n は、以下のように表される。

$$S_n = \left\{ \frac{1}{2} x_{n1}^2 + n' p_c (x_{n1} - d_{c1}) - n p_t (1 - d_{t1} - x_{n1}) \right\} b D^2 \quad (3.1-1)$$

$$I_n = \left\{ \frac{1}{3} x_{n1}^3 + n' p_c (x_{n1} - d_{c1})^2 + n p_t (1 - d_{t1} - x_{n1})^2 \right\} b D^3 \quad (3.1-2)$$

ここで、

$$x_{n1} = x_n / D$$

$$d_{c1} = d_c / D$$

$$d_{t1} = d_t / D$$

$$p_c = a_c / b \cdot D \quad : \text{圧縮鉄筋比}$$

$$p_t = a_t / b \cdot D \quad : \text{引張鉄筋比}$$

また、中立軸に関する式は以下となる。

$$x_n - \frac{D}{2} + e = \frac{I_n}{S_n} \quad (3.1-3)$$

(3.1-1), (3.1-2) 式を (3.1-3) 式に代入すると、中立軸に関する次の3次方程式が求められる。

$$\begin{aligned} & \frac{1}{6} x_{n1}^3 + \frac{1}{2} \left(e_1 - \frac{1}{2} \right) x_{n1}^2 + (n' + n) p_g \left(g_{s1} + e_1 - \frac{1}{2} \right) x_{n1} \\ & - \left\{ n' p_c d_{c1} \left(e_1 - \frac{1}{2} + d_{c1} \right) + n p_t (1 - d_{t1}) \left(e_1 + \frac{1}{2} - d_{t1} \right) \right\} = 0 \end{aligned} \quad (3.1-4)$$

また、断面に作用する曲げモーメント M を、次式のように表すことができる。

$$M = N e = \frac{\sigma_{c1}}{x_n} \left\{ I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n \right) S_n \right\} \quad (3.1-5)$$

したがって、断面上縁のコンクリートの応力 σ_{c1} ・ひずみ ε_{c1} が以下のように求められる。

$$\sigma_{c1} = \frac{M \cdot x_n}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n \right) S_n} \quad (3.1-6)$$

$$\varepsilon_{c1} = \frac{M}{E_c} \cdot \frac{x_n}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n \right) S_n} \quad (3.1-7)$$

比例関係から、断面下縁のコンクリートの応力 σ_{c2} ・ひずみ ε_{c2} が以下のように求められる。

$$\sigma_{c2} = - \frac{M(D - x_n)}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n \right) S_n} \quad (3.1-8)$$

$$\varepsilon_{c2} = - \frac{M}{E_c} \cdot \frac{D - x_n}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n \right) S_n} \quad (3.1-9)$$

同様に、鉄筋の応力・ひずみは以下のように求められる。

$$\varepsilon_{sc} = \frac{M}{E_c} \cdot \frac{x_n - d_c}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n\right) S_n} \quad (3.1-10)$$

$$\sigma_{sc} = Mn' \cdot \frac{x_n - d_c}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n\right) S_n} \quad (3.1-11)$$

$$\varepsilon_{st} = -\frac{M}{E_c} \cdot \frac{D - d_t - x_n}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n\right) S_n} \quad (3.1-12)$$

$$\sigma_{st} = -Mn \cdot \frac{D - d_t - x_n}{I_n + \left(\frac{D}{2} - x_n\right) S_n} \quad (3.1-13)$$

検定比は、これらのコンクリート・鉄筋応力度を許容応力度で除して算出する。

$$\text{(圧縮コンクリート応力度 検定比)} = \sigma_{c1} / f_c \quad (3.1-14)$$

$$\text{(圧縮鉄筋応力度 検定比)} = \sigma_{sc} / r f_c \quad (3.1-15)$$

$$\text{(引張鉄筋応力度 検定比)} = \sigma_{st} / f_t \quad (3.1-16)$$

ここで

f_c : コンクリートの圧縮許容応力度

$r f_c$: 鉄筋の許容圧縮応力度

f_t : 鉄筋の許容引張応力度

(2) 面内せん断力

RC-N規準とCCV規格について、それぞれの断面算定の概要を示す。RC-N規準については短期を、CCV規格については荷重状態IVを示す。なお、RC規準の面内せん断力の検討は、RC-N規準のものと同様であるため、省略する。

a. RC-N 規準

RC-N規準における短期許容面内せん断力は以下となる。

$$Q_A = \max(Q_1, Q_2) \quad (3.2-1)$$

$$Q_1 = t \cdot l \cdot f_s \quad (3.2-2)$$

$$Q_2 = \sum Q_w + \sum Q_c \quad (3.2-3)$$

$$Q_w = p_s \cdot t \cdot l' \cdot s f_t \quad (3.2-4)$$

$$Q_c = b j \{ \alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \} \quad (3.2-5)$$

ここで、

- t : 部材厚
- l : 部材の全せい
- l' : 部材の内法長さ
- b : 柱幅
- j : 柱の応力中心間距離
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度
- $s f_t$: 壁筋のせん断補強用短期許容引張応力度
- $w f_t$: 柱帯筋のせん断補強用短期許容引張応力度
- p_s : 壁のせん断補強筋比
- p_w : 柱の帯筋比
- α : 拘束効果による割増係数で、 $\alpha = 1.5$ とする。

断面算定は、(3.2-1)式により許容面内せん断力 Q_A を算出し、以下により検定比を評価する。

$$(\text{面内せん断力に対する検定比}) = Q/Q_A \quad (3.2-6)$$

Q : 設計用面内せん断力

b. CCV 規格

ここでは、プレストレストコンクリートの許容面内せん断応力度について記す。
CCV規格における許容面内せん断応力度は以下となる。

$$\tau_u = \min(\tau_{u1}, \tau_{u2}) \quad (3.2-7)$$

$$\tau_{u1} = 0.5\{(p_{t\phi}f_y - \sigma_{p\phi} - \sigma_{0\phi}) + (p_{t\theta}f_y - \sigma_{p\theta} - \sigma_{0\theta})\} \quad (3.2-8)$$

$$\tau_{u2} = 1.25\sqrt{F_c} \quad (3.2-9)$$

ここで

$p_{t\phi}$: 子午線方向主筋の鉄筋比

$p_{t\theta}$: 円周方向主筋の鉄筋比

$\sigma_{p\phi}$: プレストレス荷重により生じる子午線方向の膜応力度

$\sigma_{p\theta}$: プレストレス荷重により生じる円周方向の膜応力度

$\sigma_{0\phi}$: プレストレス荷重以外の外力により生じる子午線方向の膜応力度

$\sigma_{0\theta}$: プレストレス荷重以外の外力により生じる円周方向の膜応力度

f_y : 鉄筋の許容引張・圧縮応力度

F_c : コンクリートの設計基準強度

断面算定は、(3.2-7) 式より許容面内せん断応力度を算出し、以下により検定比を評価する。

$$(\text{面内せん断応力度に対する検定比}) = \tau/\tau_u \quad (3.2-10)$$

τ : 設計用面内せん断応力度

(3) 面外せん断力

RC-N規準とCCV規格について、それぞれの断面算定の概要を示す。RC-N規準については短期を、CCV規格については荷重状態IVを示す。なお、ここでは面材（壁・床）の面外せん断に関する理論を示すため、RC規準による面外せん断力の検討は省略する。

a. RC-N 規準

RC-N規準における面材の短期許容面外せん断力は以下となる。

- ・面外せん断補強筋がない場合

$$Q_A = bj\alpha f_s \quad (3.3-1)$$

- ・面外せん断補強筋がある場合

$$Q_A = bj\{\alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002)\} \quad (3.3-2)$$

ここで、

- b : 断面幅（単位幅）
- j : 断面の応力中心間距離
- α : せん断スパン比による割増係数（ $1 \leq \alpha \leq 2$ ）
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度
- $w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度
- p_w : せん断補強筋比

断面算定は、(3.3-1)・(3.3-2)式により許容面外せん断力を算出し、以下により検定比を評価する。

$$(\text{面外せん断力に対する検定比}) = Q/Q_A \quad (3.3-3)$$

Q : 設計用面外せん断力

b. CCV 規格

ここでは、シェル部の許容面外せん断応力度について記す。

CCV規格における許容面外せん断応力度は以下となる。

$$\tau_R = \min(\tau_{R1}, \tau_{R2}) \quad (3.3-4)$$

$$\tau_{R1} = \varphi \{0.1(p_t f_y - \sigma_0) + 0.5p_w f_{wy} + 0.235\sqrt{F_c}\} \quad (3.3-5)$$

$$\tau_{R2} = 1.10\sqrt{F_c} \quad (3.3-6)$$

ここで

p_t : 主筋の鉄筋比

p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比

f_y : 主筋の許容引張・圧縮応力度

f_{wy} : 面外せん断補強筋の許容引張・圧縮応力度

σ_0 : 外力による子午線方向の膜応力度

F_c : コンクリートの設計基準強度

φ : 低減係数 ($0.58 \leq \varphi \leq 1$)

断面算定は、(3.3-4)式により許容面外せん断応力度を算出し、以下により検定比を評価する。

$$(\text{面外せん断応力度に対する検定比}) = \tau / \tau_R \quad (3.3-7)$$

τ : 設計用面外せん断応力度

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを以下に示す。

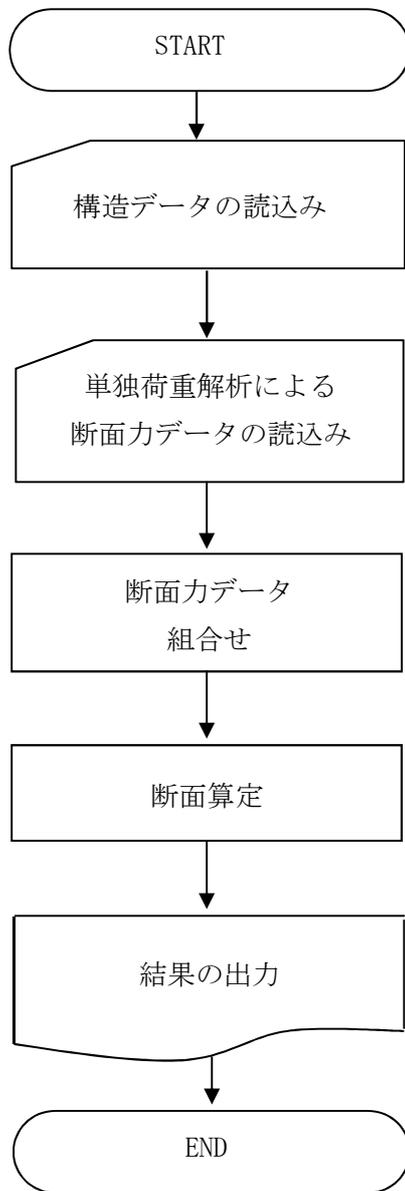


図 3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

(1) 理論解結果との比較による検証

断面算定プログラムSCARCの妥当性を確認するため、SCARCでの結果と理論解による結果を比較する。検証は軸力-曲げモーメント、面内せん断力及び面外せん断力の3種類について行う。

a. 軸力-曲げモーメントに対する検証

軸力-曲げモーメントに関する検証は、まず断面とコンクリート及び鉄筋の応力度を設定し、その応力状態となる軸力・曲げモーメントを算出する。そして、算出した軸力・曲げモーメントを入力値としてSCARCにて計算し、出力されたコンクリート及び鉄筋の応力度と、最初に設定したものと比較することでSCARCの妥当性を確認する。

本検証において、SCARCはRC-N規準を適用した場合の結果を示す。軸力-曲げモーメントについては、計算方法はRC-N規準、RC規準及びCCV規格とも同じであるので、本検証結果で妥当性が示されれば、各規準・規格で適用できるものとなる。

断面・材料及び許容応力度は以下に示すものとする。

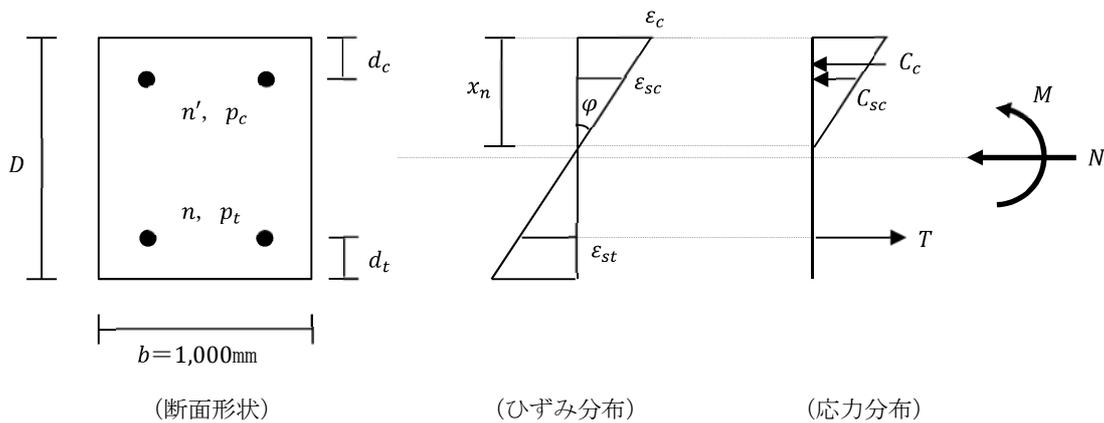


表 3-1 断面形状

部材せい D (mm)	鉄筋重心位置		主筋比	
	dc (mm)	dt (mm)	Pc (%)	Pt (%)
1,000	150	150	1.000	1.000

表 3-2 コンクリート諸元

コンクリート強度 Fc (N/mm ²)	ヤング係数 Ec (N/mm ²)	ヤング係数比	
		圧縮側n'	引張側n
36	24,000	10	10

表 3-3 鉄筋の許容応力度

主筋 f _t (N/mm ²)	面外せん断補強筋 w _f f _t (N/mm ²)
390	—

コンクリート及び鉄筋の応力度は以下より設定する。

曲率 φ 及び中立軸深さ $X_n (= x_{n1} \cdot D)$ が定められれば、コンクリート及び鉄筋のひずみ・応力度は以下となる。

(ひずみ)

$$\begin{aligned} \text{コンクリート圧縮縁ひずみ} & \quad \varepsilon_c = \varphi \cdot x_{n1} \cdot D \\ \text{圧縮鉄筋ひずみ} & \quad \varepsilon_{sc} = \varphi(x_{n1} - d_{c1})D \\ \text{引張鉄筋ひずみ} & \quad \varepsilon_{st} = \varphi(1 - x_{n1} - d_{t1})D \end{aligned}$$

(応力度)

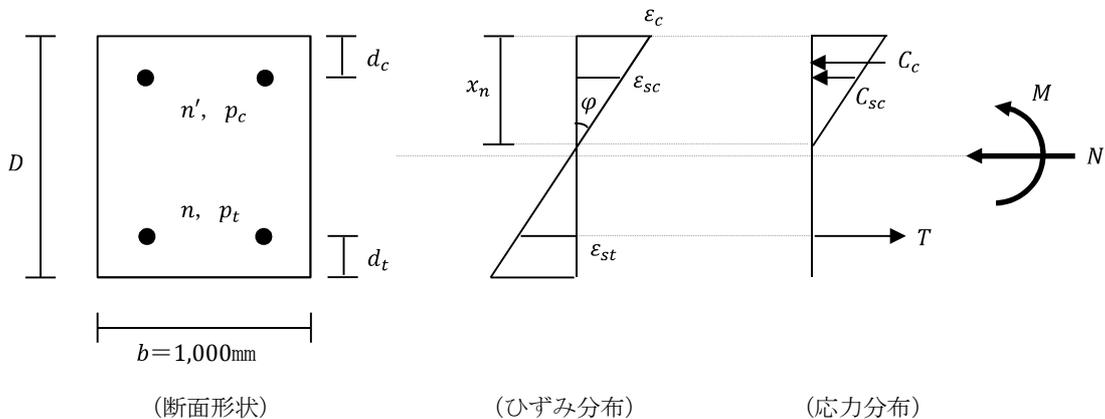
$$\begin{aligned} \text{コンクリート圧縮縁応力度} & \quad \sigma_c = E_c \cdot \varphi \cdot x_{n1} \cdot D \\ \text{圧縮鉄筋応力度} & \quad \sigma_{sc} = n'E_c \cdot \varphi(x_{n1} - d_{c1})D \\ \text{引張鉄筋応力度} & \quad \sigma_{st} = nE_c \cdot \varphi(1 - x_{n1} - d_{t1})D \end{aligned}$$

ここでは、曲率 φ 及び中立軸深さ比 x_{n1} を以下として設定する。

$$\begin{aligned} \text{曲率}\varphi & \quad = 2.00 \times 10^{-6} \text{ (1/mm)} \\ \text{中立軸深さ比}x_{n1} & \quad = 0.45 \end{aligned}$$

この場合のコンクリート・鉄筋の応力度は以下となる。(なお、本検証では、これらの応力度とSCARC出力値を比較する。)

$$\begin{aligned} \sigma_c & = 24,000\text{N/mm}^2 \times 2.00 \times 10^{-6}/\text{mm} \times 0.45 \times 1,000\text{mm} \\ & = 21.6\text{N/mm}^2 \\ \sigma_{sc} & = 10 \times 24,000\text{N/mm}^2 \times 2.00 \times 10^{-6}/\text{mm} \times \{0.45 - (150\text{mm} / 1,000\text{mm})\} \times 1,000\text{mm} \\ & = 144\text{N/mm}^2 \\ \sigma_{st} & = 10 \times 24,000\text{N/mm}^2 \times 2.00 \times 10^{-6}/\text{mm} \times \{1.0 - 0.45 - (150\text{mm} / 1,000\text{mm})\} \times 1,000\text{mm} \\ & = 192\text{N/mm}^2 \end{aligned}$$



また、軸力・曲げモーメントは以下となる。

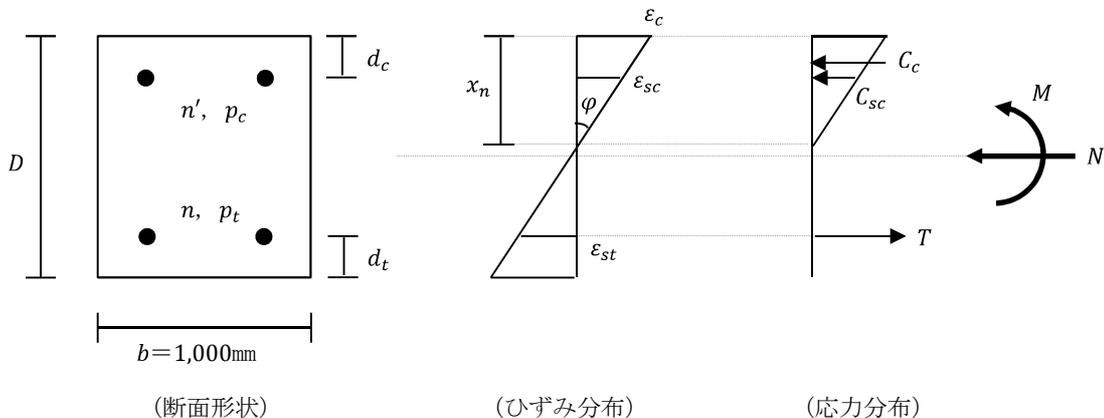
$$\begin{aligned}
 C_c &= \frac{1}{2} b \cdot x_{n1} D \cdot \sigma_{sc} \\
 &= 1/2 \times 1,000\text{mm} \times 0.45 \times 1,000\text{mm} \times 21.6\text{N/mm}^2 / 1,000 \\
 &= 4,860\text{kN (圧縮)} \\
 &\quad (\text{作用位置: 材芯より } 1/2 \times 1,000\text{mm} - 1/3 \times 0.45 \times 1,000\text{mm} = 350\text{mm})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{sc} &= p_c \cdot b \cdot D \cdot \sigma_{sc} \\
 &= 1.0/100 \times 1,000\text{mm} \times 1,000\text{mm} \times 144\text{N/mm}^2 / 1,000 \\
 &= 1,440\text{kN (圧縮)} \\
 &\quad (\text{作用位置: 材芯より } 1/2 \times 1,000\text{mm} - 150\text{mm} = 350\text{mm})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= p_t \cdot b \cdot D \cdot \sigma_{st} \\
 &= 1.0/100 \times 1,000\text{mm} \times 1,000\text{mm} \times 192\text{N/mm}^2 / 1,000 \\
 &= 1,920\text{kN (引張)} \\
 &\quad (\text{作用位置: 材芯より } 1/2 \times 1,000\text{mm} - 150\text{mm} = 350\text{mm})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N &= C_c + C_{sc} - T \\
 &= 4,860\text{kN} + 1,440\text{kN} - 1,920\text{kN} \\
 &= \underline{4,380\text{kN (圧縮力)}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M &= 4,860\text{kN} \times 350\text{mm} / 1,000 + 1,440\text{kN} \times 350\text{mm} / 1,000 + 1,920\text{kN} \times 350\text{mm} / 1,000 \\
 &= \underline{2,877\text{kN} \cdot \text{m}}
 \end{aligned}$$



この軸力N及び曲げモーメントMを入力値として、SCARCでコンクリート・鉄筋応力度及び検定比を算出する。

なお、上記入力時におけるコンクリート圧縮縁・圧縮及び引張鉄筋の検定比は以下となり、これとSCARC結果とを比較する。

$$\begin{aligned}
 (\text{コンクリート圧縮縁 検定比}) &= 21.6\text{N/mm}^2 / (2/3 \times 36\text{N/mm}^2) = 0.9000 \\
 (\text{圧縮鉄筋 検定比}) &= 144\text{N/mm}^2 / 390\text{N/mm}^2 = 0.3692 \\
 (\text{引張鉄筋 検定比}) &= 192\text{N/mm}^2 / 390\text{N/mm}^2 = 0.4923
 \end{aligned}$$

設定値とSCARC出力値の比較を以下に示す。

表 3-4 設定値と SCARC 結果の比較

(a) 応力度

	設定値	SCARC	誤差 (%)
コンクリート圧縮縁応力度 σ_c (N/mm ²)	21.6	21.6	0.0000
圧縮鉄筋応力度 σ_{sc} (N/mm ²)	144	144	0.0000
引張鉄筋応力度 σ_{st} (N/mm ²)	192	192	0.0000

(b) 検定比

	設定値	SCARC	誤差 (%)
コンクリート圧縮縁 検定比	0.9000	0.9000	0.0000
圧縮鉄筋 検定比	0.3692	0.3692	0.0000
引張鉄筋 検定比	0.4923	0.4923	0.0000

以上より、軸力-曲げモーメントについて、SCARC結果は設定値と一致したため、SCARCの計算結果は妥当であると判断できる。

(2) 面内せん断力に対する検証

面内せん断力に対する検証は、設定断面における許容せん断力（又は許容せん断応力度）及び検定比について、SCARC結果と理論解結果との比較にて行う。

a. RC-N 規準

以下に示す壁断面，材料・許容応力度及び荷重（短期）に対して，SCARCと理論解による結果の比較を行う。

表 3-5 断面形状

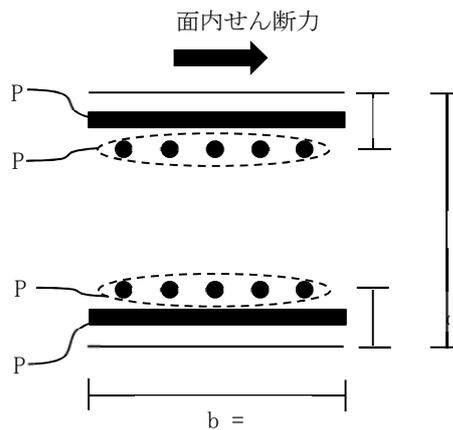
壁厚 t (mm)	鉄筋重心位置		X方向壁筋比		Y方向壁筋比	
	dc (mm)	dt (mm)	Pc_X (%)	Pt_X (%)	Pc_Y (%)	Pt_Y (%)
1,000	100	100	0.570	0.570	0.570	0.570

表 3-6 コンクリート強度及び鉄筋の許容応力度

コンクリート強度 Fc (N/mm ²)	主筋 許容応力度 ft (N/mm ²)
30	390

表 3-7 荷重条件

軸力 N (kN/m)	曲げモーメント M (kN・m/m)	面内せん断力 Nxy (kN/m)	面外せん断力 Q (kN/m)
0	0	4000	0



理論解による許容面内せん断力及び検定比を算定する。

$$Q_A = \max(Q_1, Q_2)$$

$$Q_1 = t \cdot l \cdot f_s$$

$$Q_2 = \sum Q_w + \sum Q_c$$

$$Q_w = p_s \cdot t \cdot l' \cdot s f_t$$

$$Q_c = b j \{ \alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002) \}$$

$$t = 1,000 \text{ mm}$$

$$l = b = 1,000 \text{ mm}$$

$$f_s = 1.5 \times \min(0.49 + 30/100, 30/30) = 1.185 \text{ N/mm}^2$$

$$p_s = P_c \cdot X + P_t \cdot X = 0.570 + 0.570 = 1.14\%$$

$$l' = b = 1,000 \text{ mm}$$

$$s f_t = f_t = 390 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_w = 1.14/100 \times 1,000 \text{ mm} \times 1,000 \text{ mm} \times 390 \text{ N/mm}^2 / 1000 = 4,446 \text{ kN}$$

$$Q_c = 0 \text{ kN}$$

$$Q_1 = 1,000 \text{ mm} \times 1,000 \text{ mm} \times 1.185 \text{ N/mm}^2 / 1,000 = 1,185 \text{ kN}$$

$$Q_2 = Q_w + Q_c = 4,446 \text{ kN}$$

$$Q_A = \max(Q_1, Q_2) = 4,446 \text{ kN}$$

$$\text{検定比} = Q / Q_A = 0.8997$$

SCARCによる計算結果と、理論解結果の比較を示す。

表 3-8 計算結果の比較

	SCARC	理論解	誤差(%)
許容面内せん断力 Q_A (kN)	4,446	4,446	0.0000
検定比	0.8997	0.8997	0.0000

以上より、RC-N規準を準用した場合の面内せん断力について、SCARC結果と理論解結果は一致したため、SCARCの計算結果は妥当であると判断できる。

b. CCV 規格

以下に示す壁断面，材料・許容応力度及び荷重（荷重状態IV）に対して，SCARCと理論解による結果の比較を行う。

表 3-9 断面形状

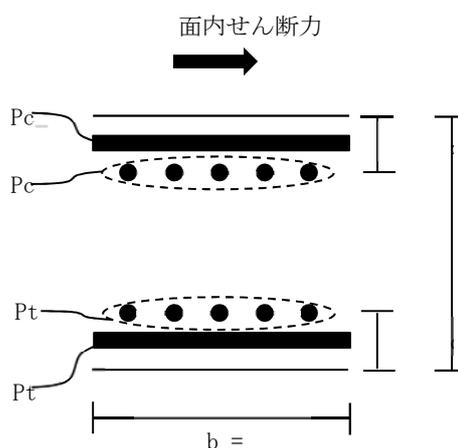
壁厚 t (mm)	鉄筋重心位置		円周方向壁筋比		子午線方向壁筋比	
	dc (mm)	dt (mm)	Pc_θ (%)	Pt_θ (%)	Pc_φ (%)	Pt_φ (%)
1,100	205	305	0.431	0.727	0.889	0.889

表 3-10 コンクリート強度及び鉄筋の許容応力度

コンクリート強度 Fc (N/mm ²)	主筋 f _t (N/mm ²)
42	390

表 3-11 荷重条件

	軸力		曲げモーメント M (kN・m/m)	面内せん断力 N _{φθ} (kN/m)	面外せん断力 Q (kN/m)
	円周方向 N _θ (kN/m)	子午線方向 N _φ (kN/m)			
プレストレス以外	-121	-8,712	0	3,886	0
プレストレス	-4,543	-5,016	0	-392	0
合計	-4,664	-13,728	0	3,494	0



理論解による許容面内せん断応力度及び検定比を算定する。

$$\tau_u = \min(\tau_{u1}, \tau_{u2})$$

$$\tau_{u1} = 0.5\{(p_{t\phi}f_y - \sigma_{p\phi} - \sigma_{0\phi}) + (p_{t\theta}f_y - \sigma_{p\theta} - \sigma_{0\theta})\}$$

$$\tau_{u2} = 1.25\sqrt{F_c}$$

$$\begin{aligned} t &= 1,100\text{mm} \\ p_{t\phi} &= P_{c_phi} + P_{t_phi} = 0.889 + 0.889 = 1.778\% \\ \sigma_{p\phi} &= -5,016\text{kN} \times 1,000 / (1,100\text{mm} \times 1,000\text{mm}) = -4.56\text{N/mm}^2 \\ \sigma_{0\phi} &= -8,712\text{kN} \times 1,000 / (1,100\text{mm} \times 1,000\text{mm}) = -7.92\text{N/mm}^2 \rightarrow 0.00\text{N/mm}^2 \\ p_{t\theta} &= P_{c_theta} + P_{t_theta} = 0.431 + 0.727 = 1.158\% \\ \sigma_{p\theta} &= -4,543\text{kN} \times 1,000 / (1,100\text{mm} \times 1,000\text{mm}) = -4.13\text{N/mm}^2 \\ \sigma_{0\theta} &= -121\text{kN} \times 1,000 / (1,100\text{mm} \times 1,000\text{mm}) = -0.11\text{N/mm}^2 \rightarrow 0.00\text{N/mm}^2 \\ f_y &= f_t = 390\text{N/mm}^2 \\ F_c &= 42\text{N/mm}^2 \\ \tau_{u1} &= 0.5 \times \{ (1.778/100 \times 390\text{N/mm}^2 - (-4.56\text{N/mm}^2) - (0.00\text{N/mm}^2)) \\ &\quad + (1.158/100 \times 390\text{N/mm}^2 - (-4.13\text{N/mm}^2) - (0.00\text{N/mm}^2)) \} = 10.07\text{N/mm}^2 \\ \tau_{u2} &= 1.25 \times \sqrt{42} = 8.101\text{N/mm}^2 \\ \tau_u &= \min(10.07\text{N/mm}^2, 8.101\text{N/mm}^2) = 8.101\text{N/mm}^2 \\ Q &= 3,494\text{kN} \\ \tau &= 3,494\text{kN} \times 1,000 / (1,100\text{mm} \times 1,000\text{mm}) = 3.176\text{N/mm}^2 \\ \text{検定比} &= \tau/\tau_u = 3.176\text{N/mm}^2 / 8.101\text{N/mm}^2 = 0.3921 \end{aligned}$$

SCARCによる計算結果と、理論解結果の比較を示す。

表 3-12 計算結果の比較

	SCARC	理論解	誤差(%)
許容面内せん断応力度 τ_u (N/mm ²)	8.101	8.101	0.0000
検定比	0.3921	0.3921	0.0000

以上より、CCV規格を準用した場合の面内せん断応力度について、SCARC結果と理論解結果は一致したため、SCARCの計算結果は妥当であると判断できる。

(3) 面外せん断力に対する検証

面外せん断力に対する検証は、設定断面における許容せん断力（又は許容せん断応力度）及び検定比について、SCARC結果と理論解結果との比較にて行う。

a. RC-N 規準

以下に示す壁断面、材料・許容応力度及び荷重に対して、SCARCと理論解による結果の比較を行う。なお、応力は短期応力として行う。

表 3-13 断面形状

壁厚 t (mm)	鉄筋重心位置		X方向壁筋比		Y方向壁筋比		面外せん断補強筋比 Pw (%)
	dc (mm)	dt (mm)	Pc_X (%)	Pt_X (%)	Pc_Y (%)	Pt_Y (%)	
1,000	100	100	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000

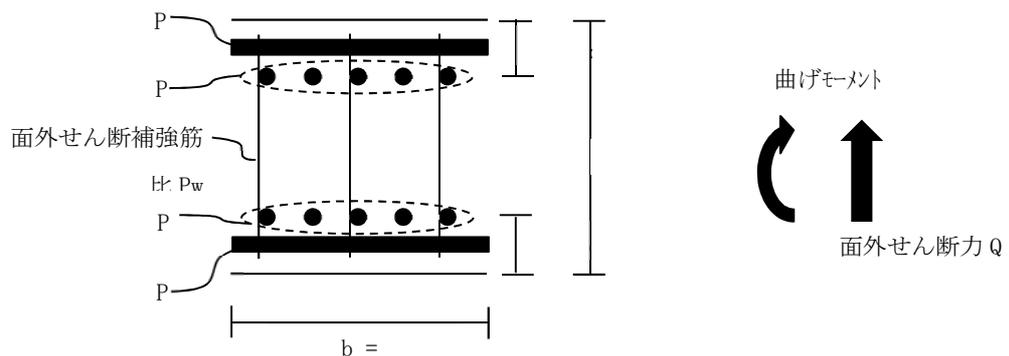
表 3-14 コンクリート強度及び鉄筋の許容応力度

コンクリート強度 Fc (N/mm ²)	面外せん断補強筋 許容応力度 wf _t (N/mm ²)
30	0

(Pw=0%の場合の検討のため、wf_t = 0N/mm²)

表 3-15 荷重条件

軸力 N (kN/m)	曲げモーメント M (kN・m/m)	面内せん断力 Nxy (kN/m)	面外せん断力 Q (kN/m)
0	460	0	400



理論解による許容面外せん断力及び検定比を算定する。

- ・面外せん断補強筋がない場合

$$Q_A = bj\alpha f_s$$

- ・面外せん断補強筋がある場合

$$Q_A = bj\{\alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002)\}$$

$$b = 1,000\text{mm}$$

$$D = t = 1,000\text{mm}$$

$$d_t = 100\text{mm}$$

$$d = 1,000\text{mm} - 100\text{mm} = 900\text{mm}$$

$$j = 7/8 \times 900\text{mm} = 787.5\text{mm}$$

$$M = 460\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$$

$$Q = 400\text{kN}/\text{m}$$

$$M/Qd = 460\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m} / \{400\text{kN}/\text{m} \times (900\text{mm} / 1,000)\} = 1.278$$

$$\alpha = 4 / (1.278 + 1) = 1.756$$

$$f_s = 1.5 \times \min(0.49 + 30/100, 30/30) = 1.185\text{N}/\text{mm}^2$$

$$p_w = 0.0\%$$

$$Q_A = 1,000\text{mm} \times 787.5\text{mm} \times 1.756 \times 1.185\text{N}/\text{mm}^2 / 1,000 = 1,639\text{kN}$$

$$\text{検定比} = 400\text{kN} / 1,639\text{kN} = 0.2441$$

SCARCによる計算結果と、理論解結果の比較を示す。

表 3-16 計算結果の比較

	SCARC	理論解	誤差(%)
許容面外せん断力 Q_A (kN)	1,639	1,639	0.0000
検定比	0.2441	0.2441	0.0000

以上より、RC-N規準を準用した場合の面外せん断力について、SCARC結果と理論解結果は一致したため、SCARCの計算結果は妥当であると判断できる。

b. CCV 規格

以下に示す壁断面，材料・許容応力度及び荷重に対して，SCARCと理論解による結果の比較を行う。なお，荷重状態IVとして検討を行う。

表 3-17 断面形状

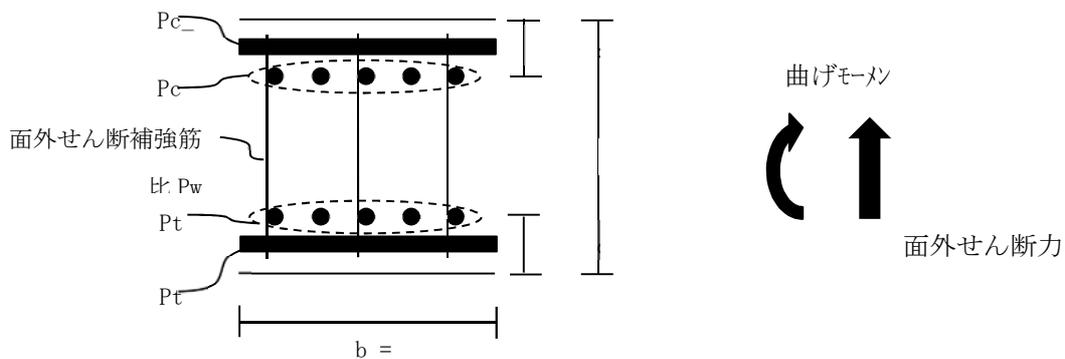
壁厚 t (mm)	鉄筋重心位置		円周方向壁筋比		子午線方向壁筋比		面外せん断補強筋比 Pw (%)
	dc (mm)	dt (mm)	Pc_θ (%)	Pt_θ (%)	Pc_φ (%)	Pt_φ (%)	
2,000	295	395	0.900	0.900	1.182	1.773	0.532

表 3-18 コンクリート強度及び鉄筋の許容応力度

コンクリート強度 Fc (N/mm ²)	主筋 許容応力度 f _t (N/mm ²)	面外せん断補強筋 許容応力度 w _f t (N/mm ²)
42	390	345

表 3-19 荷重条件

軸力 N (kN/m)	曲げモーメント M (kN・m/m)	面内せん断力 N _{xy} (kN/m)	面外せん断力 Q (kN/m)
10,680	12,258	0	2,704



理論解による許容面外せん断応力度及び検定比を算定する。

$$\begin{aligned}\tau_R &= \min(\tau_{R1}, \tau_{R2}) \\ \tau_{R1} &= \varphi\{0.1(p_t f_y - \sigma_0) + 0.5p_w f_{wy} + 0.235\sqrt{F_c}\} \\ \tau_{R2} &= 1.10\sqrt{F_c}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D &= t = 2,000\text{mm} \\ d_t &= 395\text{mm} \\ p_t &= P_{c_}\phi + P_{t_}\phi = 1.182\% + 1.773\% = 2.955\% \\ p_w &= 0.532\% \\ f_y &= f_t = 390\text{N/mm}^2 \\ f_{wy} &= w f_t = 345\text{N/mm}^2 \\ F_c &= 42 \text{ N/mm}^2 \\ N &= 10,680\text{kN} \\ \sigma_0 &= 10,680\text{kN} \times 1,000 / (2,000\text{mm} \times 1,000\text{mm}) = 5.34\text{N/mm}^2 \\ M &= 12,258\text{kN} \cdot \text{m} \\ Q &= 2,704\text{kN} \\ d &= 2,000\text{mm} - 395\text{mm} = 1,605\text{mm} \\ M/Qd &= 12,258\text{kN} \cdot \text{m} / \{2,704\text{kN} \times (1,605\text{mm} / 1,000)\} = 2.824 \\ \varphi &= 1 / \sqrt{2.824} = 0.5951 \\ \tau_{R1} &= 0.5951 \times \{0.1 \times (2.955\% / 100 \times 390\text{N/mm}^2 - 5.34) \\ &\quad + 0.5 \times 0.532\% / 100 \times 345\text{N/mm}^2 + 0.235 \times \sqrt{42\text{N/mm}^2}\} = 1.820\text{N/mm}^2 \\ \tau_{R2} &= 1.10 \times \sqrt{42\text{N/mm}^2} = 7.129\text{N/mm}^2 \\ \tau_R &= \min(\tau_{R1}, \tau_{R2}) = 1.820\text{N/mm}^2 \\ \tau &= 2,704\text{kN} \times 1,000 / (2,000\text{mm} \times 1,000\text{mm}) = 1.352\text{N/mm}^2 \\ \text{検定比} &= 1.352\text{N/mm}^2 / 1.820\text{N/mm}^2 = 0.7429\end{aligned}$$

SCARCによる計算結果と、理論解結果の比較を示す。

表 3-20 計算結果の比較

	SCARC	理論解	誤差(%)
許容面外せん断応力度 τ_R (N/mm ²)	1.820	1.820	0.0000
検定比	0.7428	0.7429	0.0135

以上より、CCV規格を準用した場合の面外せん断応力度について、SCARC結果と理論解結果の誤差は微小であり、SCARCの計算結果は妥当であると判断できる。

(4) 使用に関する妥当性

SCARCを原子力施設の壁・床部材の断面算定に使用することは次のとおり妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり，軸力-曲げモーメント，面内せん断力及び面外せん断力に対する断面算定結果は，理論解結果との比較により検証されていることから，断面算定評価の目的に照らして今回の計算に使用することは妥当である。