

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-679 R1
提出年月日	平成30年8月27日

V-5-50 計算機プログラム（解析コード）の概要

・ A P O L L O S u p e r D e s i g n e r S e c t i o n

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. APOLLO SuperDesigner 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	5
3.4 解析フローチャート	8
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (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）APOLLO SuperDesigner 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-2-10-2-2-1	防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書	Ver. 10.11.0.3
V-3-別添3-2-1-1	防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書	Ver. 10.11.0.3

2. 解析コードの概要

項目 \ コード名	APOLLO SuperDesigner Section
使用目的	鋼部材の断面剛性算出
開発機関	株式会社横河技術情報
開発時期	1996年
使用したバージョン	Ver. 10.11.0.3
コードの概要	APOLLO SuperDesigner Sectionは、曲げねじり理論によって算出した断面諸量を用いて、垂直応力度・せん断応力度・ねじり応力度を算出し、各種適用許容応力度を用いて照査を行うプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>APOLLO SuperDesigner Section は、静的解析及び動的解析により算定された格点位置での断面力に対して応力計算を行い、各部位での発生応力が許容値内に収まっているかを照査する際の断面剛性（ねじり剛性）の算出に使用している。</p> <p>【検証 (Verification)】</p> <p>本解析コードの検証の内容は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ APOLLO SuperDesigner Section を用いて算出した断面諸量(ねじり剛性)が、構造力学公式集によって算出した断面諸量 (ねじり剛性) と一致してい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>【妥当性検証 (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、断面諸量計算結果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. APOLLO SuperDesigner Sectionの解析手法について

3.1 一般事項

APOLLO SuperDesigner Sectionは、曲げねじり理論によって算出した断面諸量を用いて、垂直応力度・せん断応力度・ねじり応力度を算出し、各種適用許容応力度を用いて照査を行うプログラムである。

3.2 解析コードの特徴

APOLLO SuperDesigner Sectionの主な特徴を以下に示す。

断面形状

- ・基本断面形状は、RC箱桁、鋼床版箱桁、鋼床版I桁に対応しているが、追加プログラムとして梯形断面等の任意断面の適用が可能。
- ・鋼床版のデッキプレートは重ね継ぎ手にも対応している。
- ・鋼床版の左右張り出し部と上フランジで材質、板厚を各々指定可能。
- ・鋼床版の縦リブは任意の位置に複数種類の断面の設定が可能。

断面力

- ・3成分断面力、6成分断面力に対応している。
- ・鋼床版については架設系、完成系に対応している。

計算方法その他

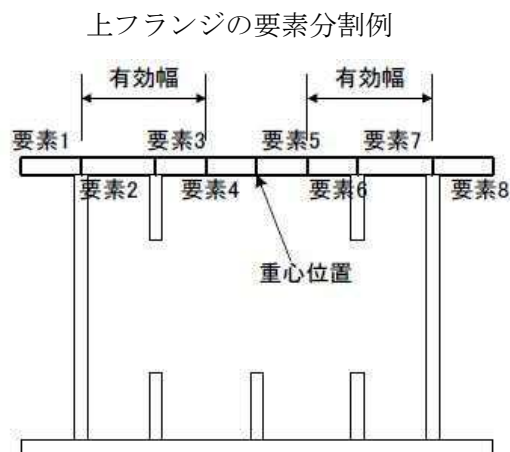
- ・せん断流の計算において、トラフリブは等価なプレートに換算して算出する。
- ・トラフリブが有効幅内かの判断は、トラフリブの中心位置が有効幅内に入っているかで判断する。
- ・板厚が40mmを超える場合には、以下の2通りの許容応力度算出方法が選択可能である。
 - ①道路橋示方書通りの許容応力度を使用する。
 - ②40mm以下の板厚と同様の許容応力度算出式を使用する。（-H仕様）
- ・部材の寸法の押さえとして、板厚の逃げ方向を以下の三種類から選択が可能。
 - ①中心押さえ
 - ②部材の定義した方向の左側押さえ
 - ③部材の定義した方向の右側押さえ
- ・縦リブ断面として①板リブ、②バルブプレート、③トラフリブの3種類が選択可能。

3.3 解析手法

3.3.1 断面諸量の計算方法

小松氏の「曲げねじり理論」により算出する。

1つの部材（フランジや腹板）を、意味がある点（腹板取り付け点、重心位置、有効幅位置など）で分割したものを「要素」とし、計算は1要素毎に計算し、その合計で求める。



(1) 断面積および重心位置

$$\Sigma A = \Sigma B_j \times T_j \quad \text{ここに } j: \text{各要素番号 } B: \text{幅 } T: \text{厚}$$

曲率がある場合,

$$A'j = A_j / \rho_j \quad \text{ここに } \rho_j: \text{各要素の中心点より平面曲率中心までの距離}$$

重心位置（曲率がある場合）

$$R_0 = \Sigma A_j / \Sigma A'j$$

$$X_c = R_0 - R$$

$$Y_c = (\Sigma (A'j \times Y'j)) \times R_0 / \Sigma A_j$$

ここに $Y'j$: 基準軸から各要素の中心までの距離（Y方向の距離）

(2) 剛度

$$I_x = R_0 \times \Sigma [(Ix'j + A_j \times Y_j^2) / \rho_j]$$

$$I_y = R_0 \times \Sigma [(Iy'j + A_j \times X_j^2) / \rho_j]$$

$$I_{xy} = R_0 \times \Sigma [(I_{xy}'j + A_j \times Y_j \times X_j) / \rho_j]$$

ここに Ix', Iy', I_{xy}' : 要素自身の断面二次モーメントと相乗モーメント

Xj, Yj : 要素の重心位置座標

I_{xy} は相乗曲げモーメントを考慮する場合にのみ有効となる。

(3) ねじり関数，ねじり抵抗

1 室の場合

・ねじり関数

$$q_k = 1/R_0 \times \Sigma [(X_e \times Y_s - X_s \times Y_e) j / \rho_j^2] / \Sigma [B_j / (\rho_j^3 \times T_j)]$$

ここに Σ : 閉断面を構成する要素の総和 R_0 : 重心位置曲率半径 ρ_j : 要素の重心位置の曲率半径 $(X_s \times Y_s), (X_e \times Y_e)$: 要素の終始点座標 B_j : 要素の長さ T_j : 要素の板厚

・ねじり抵抗

$$J = R_0^2 \times q_k \times \Sigma [(X_e \times Y_s - X_s \times Y_e) j / \rho_j^2] + \Sigma B_j \times T_j / 3$$

閉断面区間

開断面区間

3.3.2 応力度の計算方法

(1) 垂直応力度

軸力 N による応力度

$$\sigma_n = (R / \rho) \times (N / A)$$

面内曲げモーメント M_x による応力度

$$\sigma_{mx} = (R_i / \rho) \times (I_{y_i} \times y_i - I_{xy_i} \times x_i) \times M_x / (I_{x_i} \times I_{y_i} - I_{xy_i}^2)$$

面外曲げモーメント M_y による応力度

$$\sigma_{my} = (R_o / \rho) \times (I_{x_o} \times x_o - I_{xy_o} \times y_o) \times M_y / (I_{x_o} \times I_{y_o} - I_{xy_o}^2)$$

ここに， ρ : 照査位置の曲率半径

	総断面	面内有効断面	面外有効断面
重心位置 (x軸)	x_c	x_{c_i}	x_{c_o}
重心位置 (y軸)	y_c	y_{c_i}	y_{c_o}
重心位置から照査位置までの距離	x	x_i	x_o
	y	y_i	y_o
重心位置の曲率半径	R	R_i	R_o
断面積	A	A_i	A_o
x軸回りの断面二次モーメント	I_x	I_{x_i}	I_{x_o}
y軸回りの断面二次モーメント	I_y	I_{y_i}	I_{y_o}
相乗モーメント	I_{xy}	I_{xy_i}	I_{xy_o}
ねじり定数	J	---	---

2) せん断応力度

$$\tau = S_x \times q_b / T_j$$

3) ねじり応力度

$$\tau = T \times (J_1 / J) / (2 \times F \times T_j) \quad \text{閉断面}$$

$$\tau = 3 \times T \times (J_2 / J) / (B_j \times T_j) \quad \text{開断面}$$

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-1 に示す。

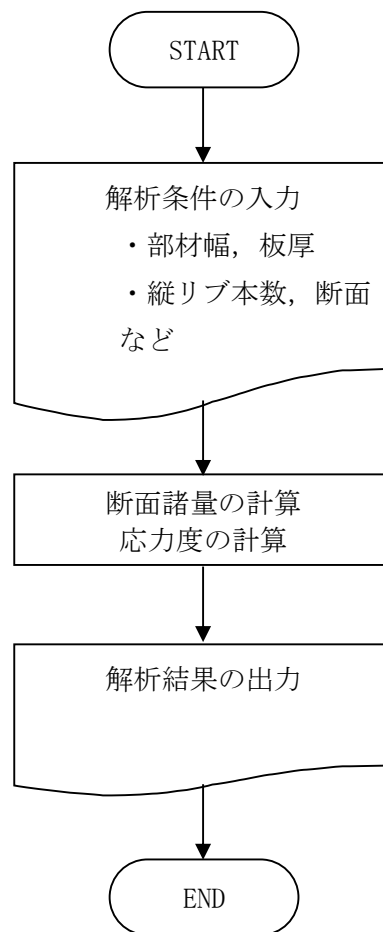


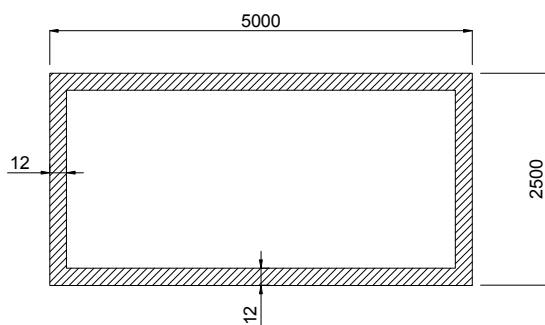
図3-1 解析フローチャート

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

(1) 構造力学公式集により算出したねじり剛性比較による検証

以下に示す断面において構造力学公式集によりねじり剛性を算出し、プログラムの出力結果と比較する。

ねじり剛性算出対象断面



構造力学公式集により算出したねじり剛性

断 面 形	ねじり剛性 GJ
	$\frac{2t_1(a-t)^2(b-t_1)^2}{at+bt_1-t^2-t_1^2} G$

(構造力学公式集 P. 46)

$a = 5000 \text{ (mm)}$, $b = 2500 \text{ (mm)}$, $t_1 = 12 \text{ (mm)}$, $t = 12 \text{ (mm)}$ より,

$$\begin{aligned}
 J &= \{2 \times 12 \times 12 \times (5000-12)^2 \times (2500-12)^2\} / (5000 \times 12 + 2500 \times 12 - 12^2 - 12^2) \\
 &= 494,419,499,500 \text{ (mm}^4\text{)} \\
 &= 49,441,950 \text{ (cm}^4\text{)}
 \end{aligned}$$

APOLLO SuperDesigner Section出力結果

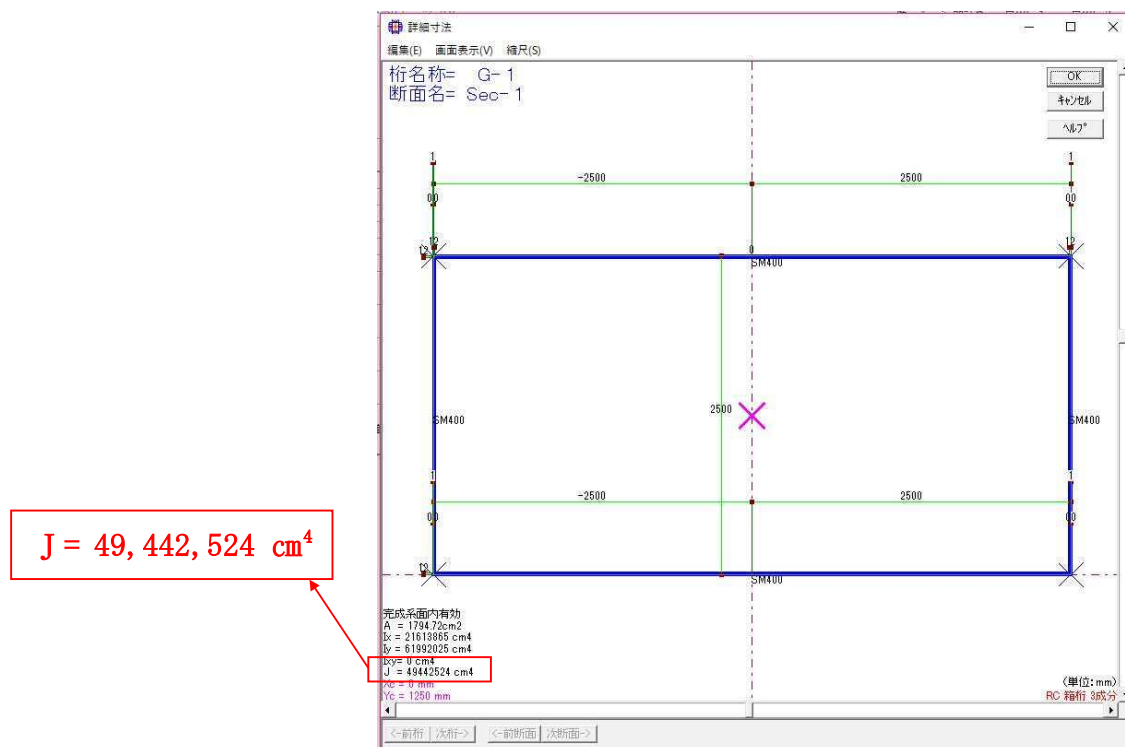


表3-1 計算例と解析結果の比較

	計算例	解析結果	比率
	構造力学公式集	APOLLO SuperDesigner Section	
ねじれ剛性 J (cm ⁴)	49, 441, 950	49, 442, 524	99.999%

構造力学公式集の計算結果とAPOLLO SuperDesigner Sectionの出力結果が良く一致していることを確認しており、ねじれ剛性の算出が正しく実行できていることが確認できる。

(2) 使用内容に対する妥当性

鋼製防護壁の鋼部材の部材連結部の設計にAPOLLO SuperDesigner Sectionによって算出したねじれ剛性を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

- ・検証の内容のとおり、ねじれ剛性を構造力学公式集による算出結果と検証を行っていることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。