

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-753 改1
提出年月日	平成30年8月29日

V-5-18 計算機プログラム（解析コード）の概要・DAC3N

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. DAC3N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	6
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)	7

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）DAC3N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-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	V97
V-2-11-2-11	タービン建屋の耐震性についての計算書	V97

2. 解析コードの概要

項目	コード名 DAC3N
使用目的	固有値解析及び弾塑性応答解析
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1997年
使用したバージョン	V97
コードの概要	DAC3Nは、ばね要素やはり要素などでモデル化された建屋地盤連成系モデルの固有値解析及び地震応答解析を行うプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>DAC3Nは、原子炉建屋及びタービン建屋について、基準地震動S_s及び弾性設計用地震動S_dに対する建屋の応答を評価するために使用している。</p> <p>【検証(Verification)】 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"> ・既工事計画において実績のある別コード(TDAPⅢ)による解析結果と一致することを確認している。 ・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。 <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通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり、弾塑性を考慮した多質点系の地震応答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。 ・原子炉建屋及びタービン建屋の地震応答解析にDAC3Nを使用することは本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

3. DAC3Nの解析手法について

3.1 一般事項

DAC3Nは、清水建設株式会社が開発したプログラムであり、時間領域における構造解析用解析コードである。DAC3Nは、原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の地震応答解析における質点系地盤連成モデルの応答を評価するために使用している。

3.2 解析コードの特徴

DAC3Nの主な特徴を以下に示す。

- ・ばね要素やはり要素などでモデル化した、多質点系の応答解析を行う。
- ・質量は、集中質量として評価する。
- ・要素に非線形特性を設定し、非線形解析を行うことができる。
- ・ひずみエネルギー比例型及びレーリー減衰型の減衰を用いることができる。
- ・固有値解析は、サブスペース法による。
- ・応答解析は、時間領域の直接積分法による。

3.3 解析手法

a. 固有値解析

多自由度系の運動方程式は以下の式で表される。

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = \{f\} \quad (3.3-1)$$

ここで、

[M]	: 質量マトリクス
[C]	: 減衰マトリクス
[K]	: 剛性マトリクス
{ \ddot{u} }	: 加速度ベクトル
{ \dot{u} }	: 速度ベクトル
{u}	: 変位ベクトル
{f}	: 外力ベクトル

(3.3-1)式の荷重ベクトルを{0}とし、減衰項を除いた自由振動を表す方程式は以下の式で表される。

$$[M] \{\ddot{u}\} + [K] \{u\} = \{0\} \quad (3.3-2)$$

(3.3-2)式の変位{u}に調和振動を仮定すると次のような関係が得られる。

$$(-\omega_r^2 [M] + [K]) \{u_r\} = \{0\} \quad (3.3-3)$$

一般に、 $\{u_r\} = \{0\}$ 以外の(2.4.2-3)式を満足する ω_r 及び $\{u_r\}$ を求めることを固有値問題と呼び、 ω_r を固有値、 $\{u_r\}$ を固有ベクトルという。

b. ひずみエネルギー比例型減衰

建屋の減衰は、各次の振動モードにおける部材のひずみエネルギーに比例するものとして以下の式から設定する。

$$h_i = \frac{\sum_k h_0^j E_i^j}{\sum_k E_i^j} \quad (3.3-4)$$

ただし、

$$E_i^j = \frac{1}{2} \{ \phi_i^j \}^T [k^j] \{ \phi_i^j \}$$

ここで、

h_0^j : j部材の減衰定数

$[k^j]$: j部材の剛性マトリクス

$\{ \phi_i^j \}$: i次の振動モードにおけるj部材の材端変位ベクトル

c. 直接積分法

直接積分法はニューマークの β 法を用いる。nステップの変位 $\{u_n\}$ 、速度 $\{\dot{u}_n\}$ 及び加速度 $\{\ddot{u}_n\}$ が既知の場合、次の(n+1)ステップの変位及び速度は β 及び γ をパラメータとして、以下の式で表される。

$$\{\dot{u}_{(n+1)}\} = \{\dot{u}_n\} + (1-\gamma) \{\ddot{u}_n\} + \gamma \{\ddot{u}_{(n+1)}\} \quad (3.3-5)$$

$$\{u_{(n+1)}\} = \{u_n\} + \Delta t \{\dot{u}_n\} + \frac{\Delta t^2}{2} \{\ddot{u}_n\} + \beta \Delta t^2 (\{\ddot{u}_{(n+1)}\} - \{\ddot{u}_n\}) \quad (3.3-6)$$

(3.3-5)式及び(3.3-6)式を(3.3-1)式に代入し、 $\{\dot{u}_{(n+1)}\}$ 及び $\{\ddot{u}_{(n+1)}\}$ を消去すると、変位増分に対する次のような関係が得られる。

$$[\bar{K}] (\{u_{(n+1)}\} - \{u_n\}) = \{\bar{f}\} \quad (3.3-7)$$

ただし、

$$[\bar{K}] = [K] + \frac{1}{\beta \Delta t^2} [M] + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} [C]$$

$$\{\bar{f}\} = \{f_{(n+1)}\} - \{f_n\} + [M] \left\{ \frac{1}{\beta \Delta t} \{\dot{u}_n\} + \frac{1}{2\beta} \{\ddot{u}_n\} \right\} + [C] \left\{ \frac{\gamma}{\beta} \{\dot{u}_n\} + \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \Delta t \{\ddot{u}_n\} \right\}$$

(3.3-7)式から、(n+1)ステップの変位が得られ、速度及び加速度を得ることができる。

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3.4-1に示す。

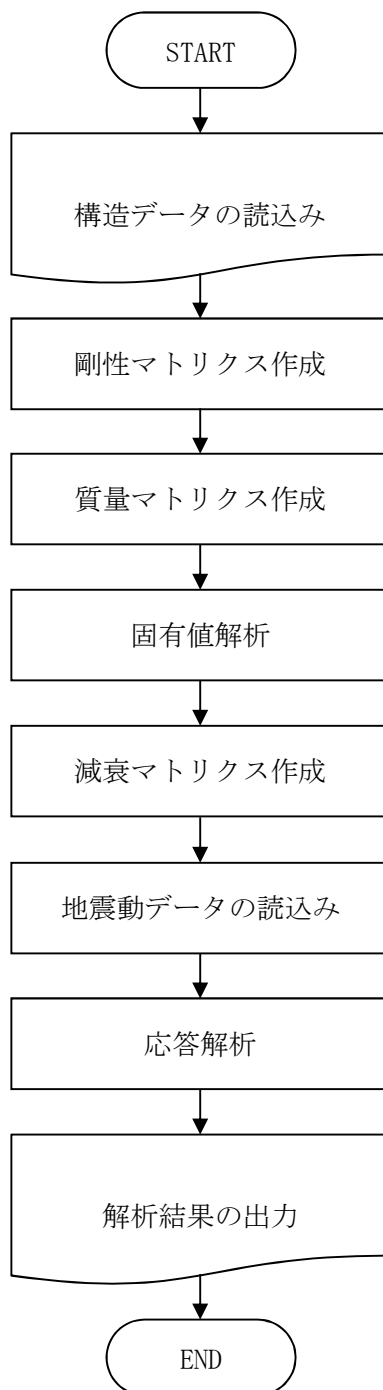


図3.4-1 解析フローチャート

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

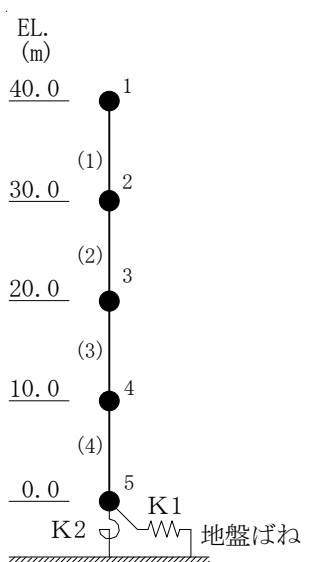
a. 他コードとの比較による検証

例題に対して、市販されている汎用構造解析コード「TDAPⅢ Ver. 3.09」(大成建設株式会社/株式会社アーク情報システム)との比較を行う。なお、「TDAPⅢ Ver. 3.09」は、既工事計画で使用実績がある。

解析モデルの諸元を表3.5-1～表3.5-4に、検討に用いる入力地震動を図3.5-1に、解析結果の比較を図3.5-2に示す。

図より、DAC3Nの結果はTDAPⅢによる結果と良い一致を示していることが確認できる。

表3.5-1 解析モデル諸元



EL. (m)	重量 W (kN)	回転慣性重量 I _g (×10 ⁶ kN・m ²)	せん断断面積 A _s (m ²)	断面2次モーメント I (m ⁴)
40.0	150,000	3.0		
30.0	200,000	4.0	100	20,000
20.0	250,000	5.0	150	30,000
10.0	300,000	6.0	200	40,000
0.0	400,000	8.0	250	50,000

() 内は要素番号を示す。

表3.5-2 材料定数

ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
22,100	9,210	5

表3.5-3 (1/2) 復元力特性 ($\tau - \gamma$ 関係)

要素 番号	τ_1 (N/mm ²)	τ_2 (N/mm ²)	τ_3 (N/mm ²)	γ_1 ($\times 10^{-3}$)	γ_2 ($\times 10^{-3}$)	γ_3 ($\times 10^{-3}$)
1	1.79	2.42	5.46	0.194	0.582	4.0
2	1.96	2.65	5.75	0.213	0.639	4.0
3	2.08	2.81	6.09	0.226	0.678	4.0
4	2.18	2.94	6.50	0.237	0.711	4.0

表3.5-3 (2/2) 復元力特性 (M- ϕ 関係)

要素 番号	M ₁ ($\times 10^6$ kN·m)	M ₂ ($\times 10^6$ kN·m)	M ₃ ($\times 10^6$ kN·m)	ϕ_1 ($\times 10^{-6}$ 1/m)	ϕ_2 ($\times 10^{-6}$ 1/m)	ϕ_3 ($\times 10^{-6}$ 1/m)
1	2.29	5.74	9.40	5.18	46.0	415
2	4.06	10.8	17.0	6.12	48.0	350
3	6.11	16.9	26.1	6.91	49.4	312
4	8.46	24.0	36.6	7.66	50.7	286

表3.5-4 地盤のばね定数と減衰係数

ばね 番号	質点 番号	地盤ばね 成分	ばね定数 K _c	減衰係数 C _c
K1	5	底面・並進	4.0×10^7 kN/m	1.0×10^6 kN·s/m
K2	5	底面・回転	3.0×10^{10} kN·m/rad	3.0×10^8 kN·m·s/rad

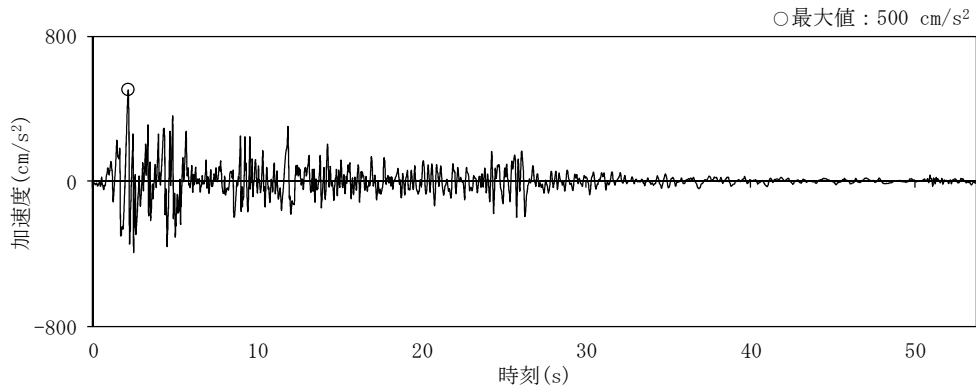
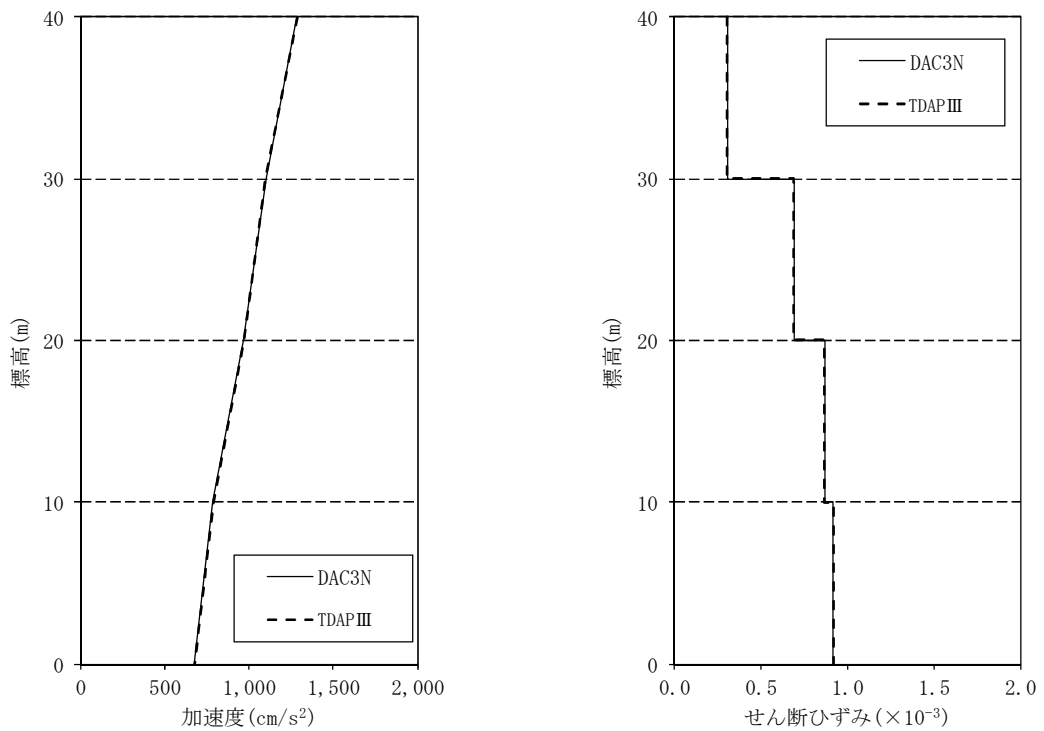


図3.5-1 入力地震動



(a) 加速度

(b) せん断ひずみ

図3.5-2 解析結果の比較 (最大応答分布)

b. 使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の地震応答解析にDAC3N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、弾塑性を考慮した多質点系の地震応答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使用することは妥当である。