

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 5-055
提出年月日	2023年2月9日

VI-5-55 計算機プログラム（解析コード）の概要
・ d m a i n 2

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 dmain2 Ver. 1.0	3
3. 解析手法	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
3.5.1 検証	7
3.5.2 妥当性確認	10
3.5.3 評価結果	10

1. はじめに

本資料は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）dmain2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-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 1.0
VI-2-別添2-2	溢水源としないB, Cクラス機器の耐震性についての計算書	Ver. 1.0

2. 解析コードの概要

2.1 dmain2 Ver. 1.0

項目 \ コード名	dmain2
使用目的	振動アドミッタンス理論に基づく地盤ばね（実部，虚部）の算定
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver. 1.0
コードの概要	dmain2は，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>dmain2（以下「本解析コード」という。）は，ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析における水平，鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばね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とおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本解析コードを用いて評価した地盤ばねが文献（「基礎-地盤複素剛性解析コードSANBANEの保守に関する報告書(原子力発電技術機構，1998年)」）に記載されている理論モデルによる基礎底面の水平ばね，回転ばね及び鉛直ばねの評価例とよく一致してい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とおりである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・検証の内容のとおり，水平，鉛直及び回転に対する地盤ばね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。 ・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析における地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは，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. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは、田治見の振動アドミッタンス理論に基づき、基礎の水平、鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。本解析コードは、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析及び3次元静的線形 FEM 解析における水平、鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・振動アドミッタンス理論に基づき、底面地盤ばねを振動数領域で算定できる。
- ・点加振解を用いているため、高振動数領域に対しても適用可能。
- ・任意の正方形要素を組み合わせて表現することができるため、任意の基礎形状にも対応可能。

3.3 解析手法

基礎底面の地盤ばねは、振動アドミッタンス理論に基づき、地盤を半無限弾性体と仮定した地盤の動きを弾性波動論に基づき解析した地表面の点加振解（力-変位関係）から算定する。

振動アドミッタンス理論では、半無限弾性体上の基礎マット面に、鉛直、水平、回転の動的な力 $Pe^{i\omega t}$ を加えたとき、それに対応する変位 W との関係を下式で示している。

$$W = \frac{Pe^{i\omega t}}{K_f} \{g_1(\omega) - ig_2(\omega)\} \quad (3.1)$$

ここで、 K_f ：静的地盤ばね剛性

上式の比例係数 $g_1(\omega) - ig_2(\omega)$ を振動アドミッタンスと名付けており、地盤ばねは振動アドミッタンスの逆数の関係にあるため、次式によって求められる。

$$K(\omega) = K_f \cdot \frac{1}{g_1(\omega) - ig_2(\omega)} \quad (3.2)$$

ここで、 $K(\omega)$ ：動的抵抗係数

(3.2) 式を変形すると、地盤ばねは複素剛性の形にすることができ、実数部 $K_R(\omega)$ を剛性成分、虚数部 $iK_I(\omega)$ を減衰成分として、以下の式で表される。

$$K(\omega) = K_R(\omega) + iK_I(\omega) \quad (3.3)$$

振動アドミッタンス理論では、図3-1に示すように基礎を小領域に分割し、小領域に点加振した場合の変位を求めた後、基礎底面の応力分布（水平・鉛直ばねは一様分布、回転ばねは三角形分布）を仮定し、小領域の点加振解を基礎面について積分することによって、基礎全体加振力と基礎の代表変位（平均変位）の関係を求め、基礎の動的地盤ばねを評価する。

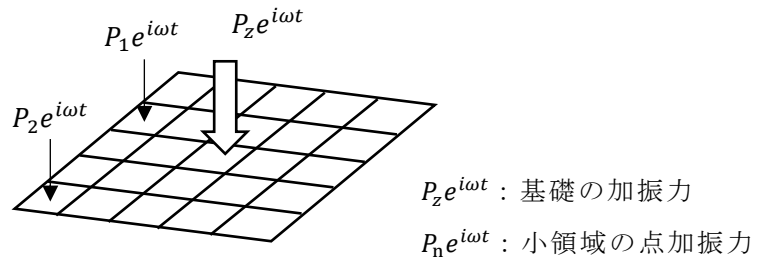


図3-1 基礎の分割

振動アドミッタンス理論では、点加振した場合の変位は、妹沢の解として知られている3次元波動方程式の解を用い、境界条件を満たす点加振解を求めている。

図3-2に示すように、x方向の点加振 $P_x e^{i\omega t}$ が作用するときの地表面の任意点 (r, θ) におけるx方向の変位 u_x 及びy方向の変位 u_y は下式で与えられる。

$$u_x = \frac{P_x e^{i\omega t}}{4\pi G} \frac{1}{r} \{(2-v)(f_{H1} + if_{H2}) + v \cos 2\theta (g_{H1} + ig_{H2})\} \quad (3.4)$$

$$u_y = \frac{P_x e^{i\omega t}}{4\pi G} \frac{1}{r} v \sin 2\theta (g_{H1} + ig_{H2}) \quad (3.5)$$

同様にz方向の点加振 $P_z e^{i\omega t}$ が作用するときのz方向変位 u_z は下式で与えられる。

$$u_z = \frac{P_z e^{i\omega t}}{2\pi G} \frac{1-v}{r} (f_{v1} + if_{v2}) \quad (3.6)$$

ここに、 G : 地盤のせん断剛性

ν : 地盤のポアソン比

$(f_{H1} + if_{H2})$, $(g_{H1} + ig_{H2})$, $(f_{v1} + if_{v2})$: 加振振動数 ω の関数

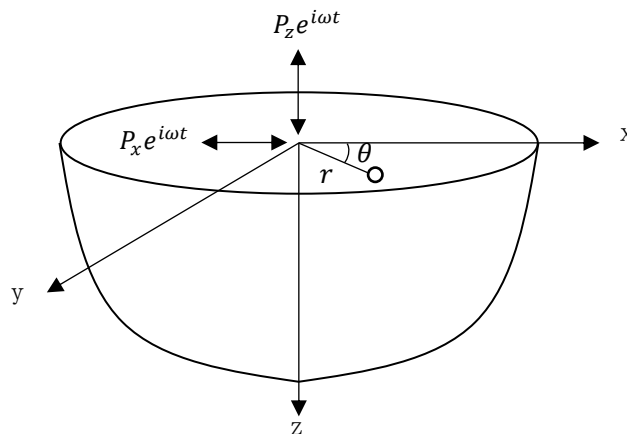


図3-2 座標系

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-3 に示す。

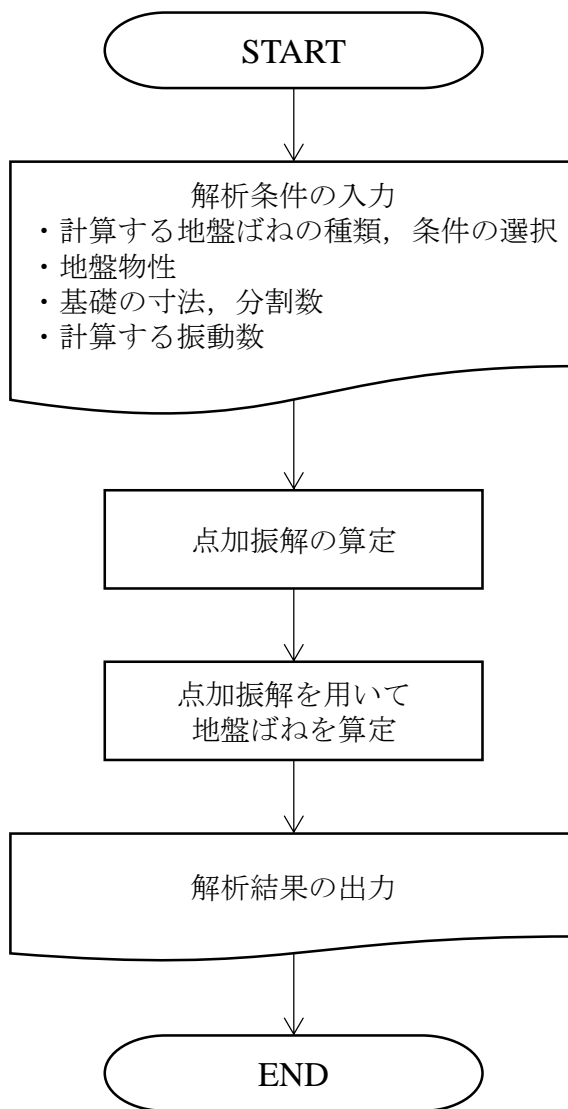


図 3-3 解析フローチャート

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

3.5.1 検証

本解析コードの検証は、公開文献（「基礎-地盤複素剛性解析コード SANBANE の保守に関する報告書(原子力発電技術機構, 1998年)」）（以下、『文献』と記載）に示されている振動アドミタンス理論による理論解との比較により行う。

解析条件を表 3-1 に示す。地盤反力分布は、一様応力分布とし、基礎の代表変位は、鉛直及び水平ばねの場合は相加平均変位、回転ばねについては荷重重み付平均変位とする。

表 3-1 解析条件

地盤	ポアソン比	0.40
	重量密度 ρ (t/m ³)	2.00
	せん断波速度 V_s (m/s)	1,000
基礎	寸法(縦(m)×横(m))	72.0×100.0
	分割(縦(m)×横(m))	20 分割×20 分割

表 3-2 及び図 3-4 に文献の結果と本解析コードによる結果を比較したものを示す。両者はおおむね一致していることが確認できる。

表 3-2 文献との比較結果

(a) 水平ばね ($\times 10^7 \text{t/m}$)

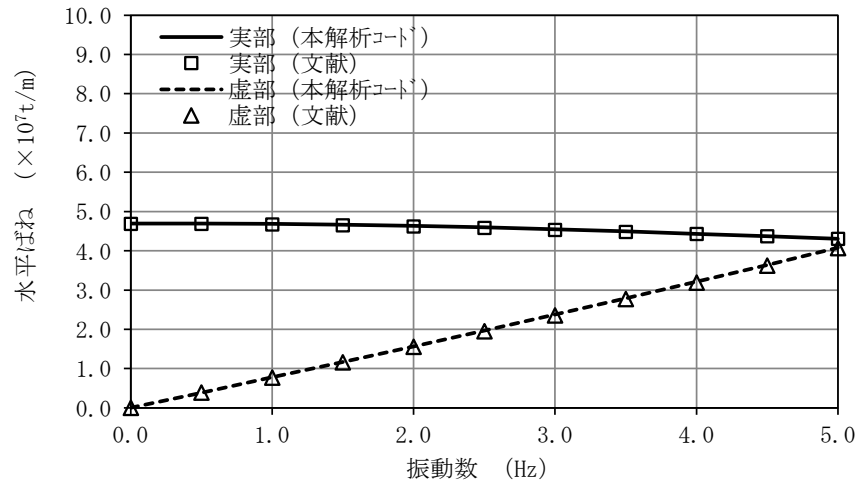
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析コード	4.694	4.694	4.684	4.664	4.634	4.595	4.547	4.492	4.431	4.369	4.306
	文献	4.686	4.682	4.668	4.646	4.615	4.577	4.532	4.480	4.424	4.365	4.304
虚部	本解析コード	0.000	0.387	0.776	1.169	1.566	1.968	2.375	2.789	3.210	3.638	4.077
	文献	0.000	0.385	0.771	1.159	1.552	1.949	2.354	2.767	3.189	3.623	4.069

(b) 回転ばね ($\times 10^{10} \text{t}\cdot\text{m/rad}$)

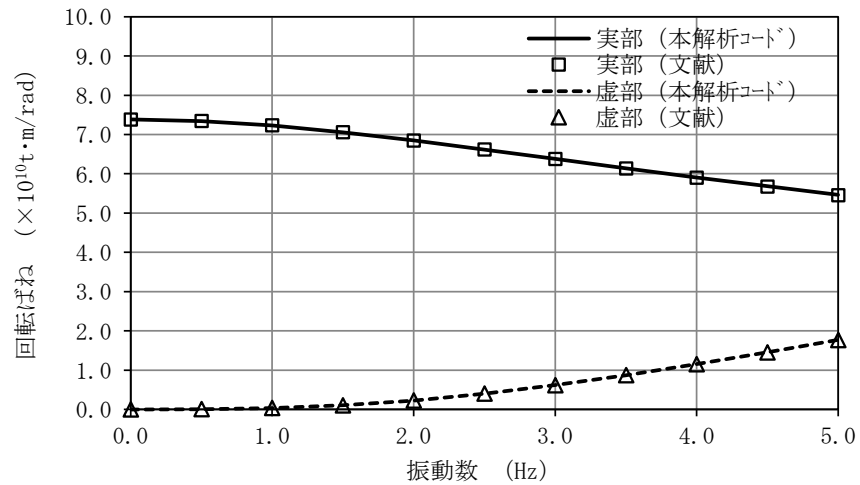
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析コード	7.383	7.344	7.230	7.058	6.848	6.616	6.378	6.140	5.908	5.682	5.462
	文献	7.385	7.346	7.232	7.060	6.849	6.616	6.376	6.137	5.903	5.675	5.453
虚部	本解析コード	0.000	0.004	0.033	0.104	0.226	0.399	0.616	0.870	1.152	1.455	1.774
	文献	0.000	0.005	0.034	0.106	0.228	0.400	0.617	0.869	1.150	1.451	1.768

(c) 鉛直ばね ($\times 10^7 \text{t/m}$)

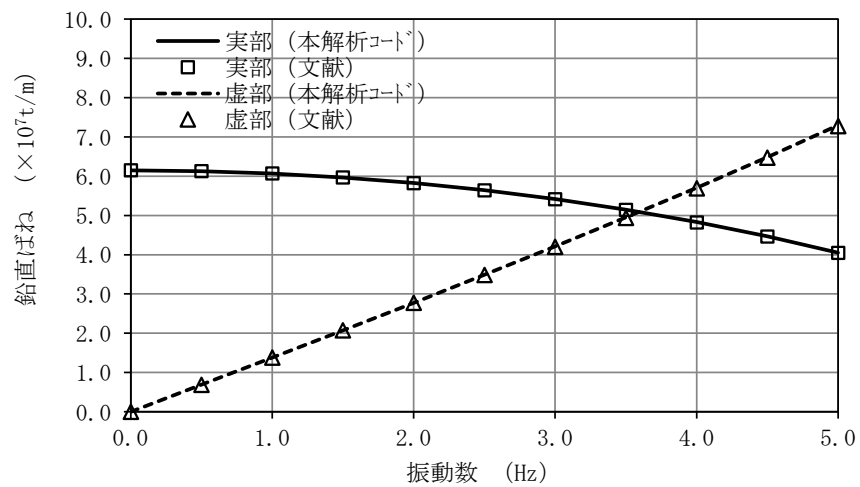
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析コード	6.146	6.127	6.068	5.968	5.827	5.644	5.417	5.146	4.830	4.466	4.054
	文献	6.153	6.131	6.069	5.967	5.824	5.639	5.412	5.141	4.824	4.461	4.048
虚部	本解析コード	0.000	0.689	1.379	2.075	2.777	3.488	4.210	4.948	5.705	6.486	7.297
	文献	0.000	0.690	1.380	2.074	2.774	3.483	4.202	4.938	5.692	6.471	7.280



(a) 水平ばね



(b) 回転ばね



(c) 鉛直ばね

図3-4 文献との比較結果

3.5.2 妥当性確認

本解析コードの検証は、水平、鉛直及び回転に対する地盤ばねに対してなされており、本解析の適用範囲と合致している。したがって、検証結果より、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。

3.5.3 評価結果

水平、鉛直及び回転に対する地盤ばねに対する本解析コードの解析結果が、文献の理論解とおおむね一致していることを確認した。

上記、検証は、本解析の適用範囲に対して実施されたものであることから、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。