

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-754 改2
提出年月日	平成30年9月28日

V-5-19 計算機プログラム（解析コード）の概要・SPRINT

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. SPRINT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	5
3.5 検証(Verification)及び妥当性確認(Validation)	6

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）SPRINT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-2-2-4	使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答計算書	1997/7版

2. 解析コードの概要

項目	コード名 SPRINT
使用目的	杭基礎の有効入力動及び地盤ばねの算定
開発機関	株式会社大林組
開発時期	1988年
使用したバージョン	1997/7版
コードの概要	SPRINT (以下「本解析コード」という。) は、薄層要素法により、杭による拘束効果を考慮した有効入力動の計算並びに杭基礎の水平、上下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。なお、本解析コードは、インハウスコードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	<p>SPRINTは、使用済燃料乾式貯蔵建屋の有効入力動の計算並びに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)】</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"> ・SPRINTを用いて評価した有効入力動及び地盤インピーダンスが論文及び他解析コードの結果と良い一致を示す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)】</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"> ・検証の内容のとおり、有効入力動、基礎底面地盤の水平ばね、鉛直ばね及び回転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。 ・日本原子力発電東海第二発電所使用済燃料乾式貯蔵設備工事に係る工事計画認可申請書のV-2-3（使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性についての計算書）において、有効入力動の計算並びに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基礎底面地盤ばねを評価する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している。 ・本工事計画において使用するバージョンは、同プラントの既工事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。

3. SPRINTの解析手法について

3.1 一般事項

SPRINTは、薄層要素法により、杭による拘束効果を考慮した有効入力動の計算並びに杭基礎の水平、上下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。SPRINTは、薄層要素法により、杭基礎の伝達関数（有効基礎入力動）及び地盤ばねの評価に使用している。

3.2 解析コードの特徴

サブストラクチャー法による地盤・構造物動的相互作用解析コードSPRINTは、以下に示す特徴を有している。

- ・薄層要素法を用いているため、成層地盤を取り扱うことが可能である。
- ・薄層要素法を用いているため、水平方向の無限性が解析的に考慮されている。
- ・精度の高いダッシュポット(Paraxial境界要素)を用いて、鉛直方向の半無限性を考慮している。
- ・基礎の埋込みを考慮できる。
- ・群杭の効果を考慮できる。
- ・実体波の斜め入射を考慮できる。
- ・対称条件を用いて計算速度を向上させている。

3.3 解析手法

3次元薄層要素法を用いている。

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。

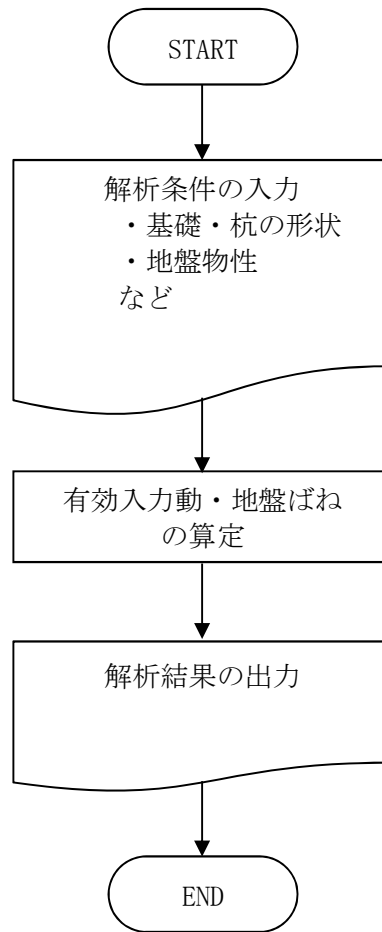


図3-1 解析フローチャート

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

a. 文献, 他解析コードとの比較による検証

既往の文献において, SPRINTとKayniaの手法との比較や上下方向点加振解の比較を実施した。また, 社内別途解析コード「ABLE (動的有限要素法解析コード)」との比較を実施した。比較結果を図3-2～図3-4に示す。

有効入力動は, SPRINTとKayniaによる手法を比較した結果^{*1*2*5}, 両者は, 定性的及び定量的によく一致している。

上下方向点加振解はHalpens等と, 円形基礎のグランドコンプライアンスは庄等の結果と比較^{*3*6*7}し, よく一致している。

また, SPRINTと軸対象FEM解析コードABLEの結果も良好に一致している^{*4}。

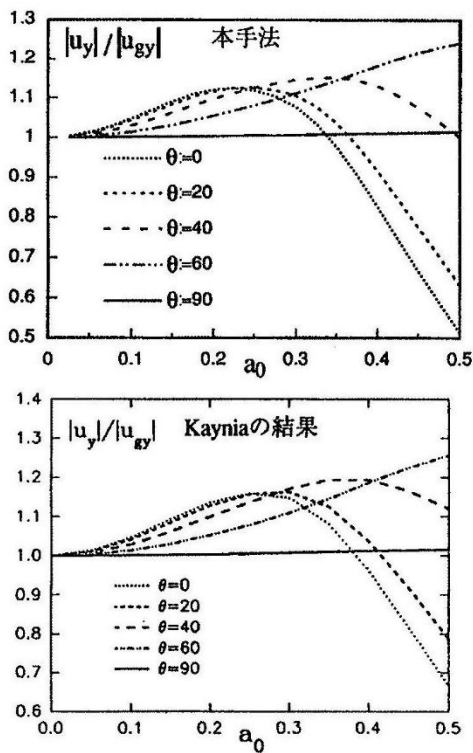


図1. SH波斜め入射時の水平方向有効入力

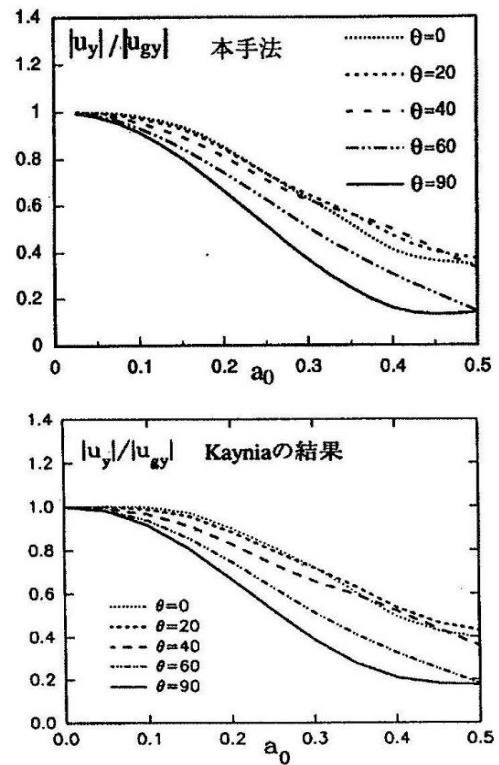


図1 SH波入射に対する水平方向有効入力 (9本群杭)

図3-2 有効入力動の比較^{*1*2*5}

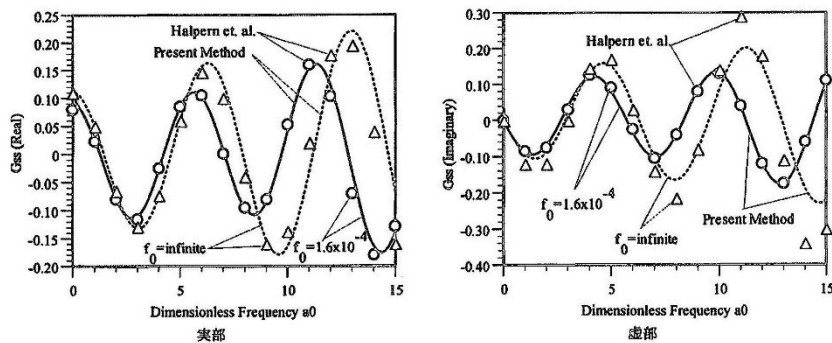


図2 飽和多孔質半無限地盤の上下方向点加振解

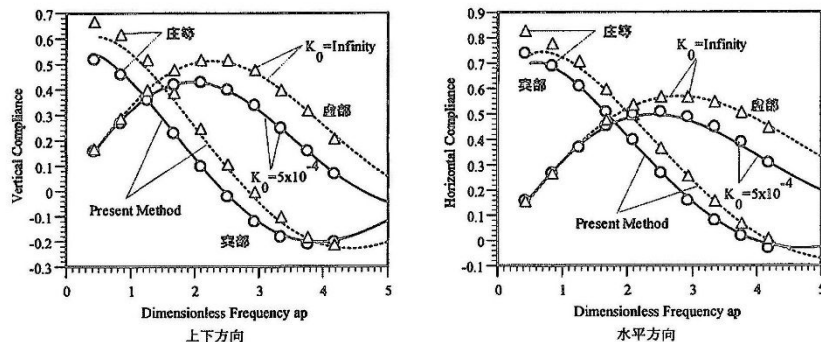
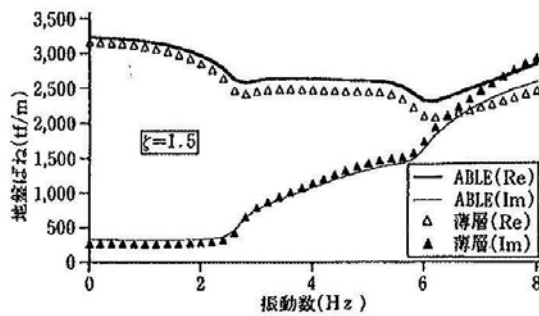
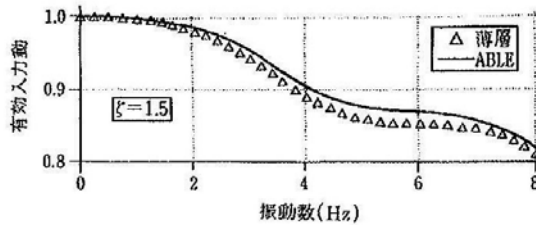


図3 飽和多孔質半無限地盤の地表面円形基礎の動的コンプライアンス

図 3-3 地盤ばねの比較*3*6*7



図一5 地盤ばねの振動数依存性



図一6 有効入力動の振動数依存性

図 3-4 FEMとの比較*4

- 注記 *1: 高野他(1993), サブストラクチャー法を用いた群杭基礎の三次元地震応答解析
(その8) 斜め入射実体波に対する有効入力の算定(単杭の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2177
- *2: 高野他(1993), サブストラクチャー法を用いた群杭基礎の三次元地震応答解析
(その8) 斜め入射実体波に対する有効入力の算定(群杭の場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2178
- *3: 高野他(1998), 飽和多孔質成層地盤の三次元薄層要素法による点加振解とその応用, 日本建築学会構造系論文集, 第504号, 49-56, 1998年2月
- *4: 松田他(1994), 大規模群杭基礎の地震応答特性の解析, 大林組技術研究所報 No. 48
- *5: A. M. Kaynia and M. Novak, "RESPONSE OF FOUNDATIONS TO RAYLEIGH WAVES AND DOBLIQUELY INCIDENT BODY WAVES" Earthquakeeng. struct. dyn. 21 (1992)
- *6: M. R. Halpern and P. Christiano: Response of Poroelastic Half-space to Steadystate Harmonic Surface Traction, Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech. Vol. 10, pp. 609・632, 1986
- *7: 庄健介, 北村泰寿: 半無限多孔質飽和弾性体上の円型基礎の動的コンプライアンス, 構造工学論文集, Vol. 34A, pp. 855・864, 1988. 3

b. 他解析コードとの比較による検証

SPRINTより算出した地盤ばね及び地盤減衰と、既工事計画で実績のある地盤ばね算定コードVAにより算出した地盤ばね及び地盤減衰の比較検証を行う。

VAは質点系モデルにおける基礎底面地盤ばねを振動アドミッタンス理論により求める計算機コードである。振動アドミッタンス理論を用いているVAでは地盤を伝播する波動問題を水平方向・深さ方向ともに連続体の半無限地盤として波動方程式を満足する解を求めている。

薄層要素法を用いているSPRINTでは水平方向には連続体として、深さ方向には有限要素法的な離散化手法を組み合わせている。

薄層法と振動アドミッタンスを用いて、1層の様な半無限地盤上にある40m×80mの剛基礎モデルの地盤インピーダンスを算出し、変位一様分布の加振条件により算出した縮合ばね値（地盤ばね及び地盤減衰）を比較する。なお、振動アドミッタンスの変位評価位置は要素中心である。

解析条件を表3-1に、解析モデル概念図を図3-5に、地盤インピーダンスを図3-6～図3-10に示す。

SPRINTとVAの結果は良好に一致している。

表3-1 解析条件

項目		値
基礎幅 (m)	X方向	80
	Y方向	40
分割数 (個)	X方向	10
	Y方向	5
せん断波速度 V_s (m/s)		1400
粗密波速度 V_p (m/s)		2914
ポアソン比		0.35
単位体積重量 (kN/m ³)		20.0

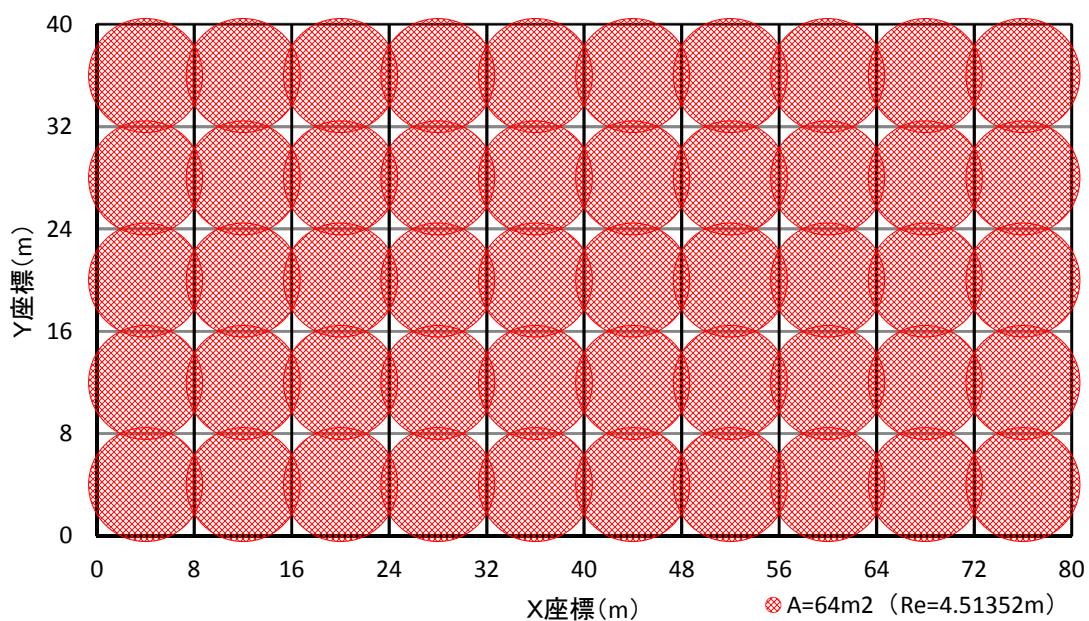


図3-5 SPRINT解析モデル概念図

表3-2 地盤インピーダンスの一覧

		SPRINT	VA	誤差
地盤剛性 kN/m	X	6.264×10^8	6.048×10^8	3.57%
	Y	6.743×10^8	6.460×10^8	4.38%
	Z	8.382×10^8	7.923×10^8	5.79%
地盤減衰* kN·s/m	X	8.312×10^6	7.861×10^6	5.74%
	Y	9.718×10^6	9.092×10^6	6.89%
	Z	1.556×10^7	1.523×10^7	2.17%

注記 *：地盤減衰は10Hzの複素剛性値と原点との傾きを示している。

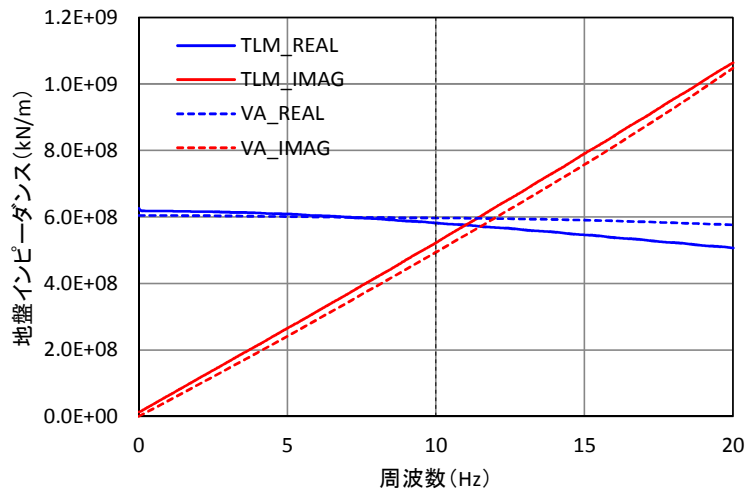


図3-6 X方向の地盤インピーダンス

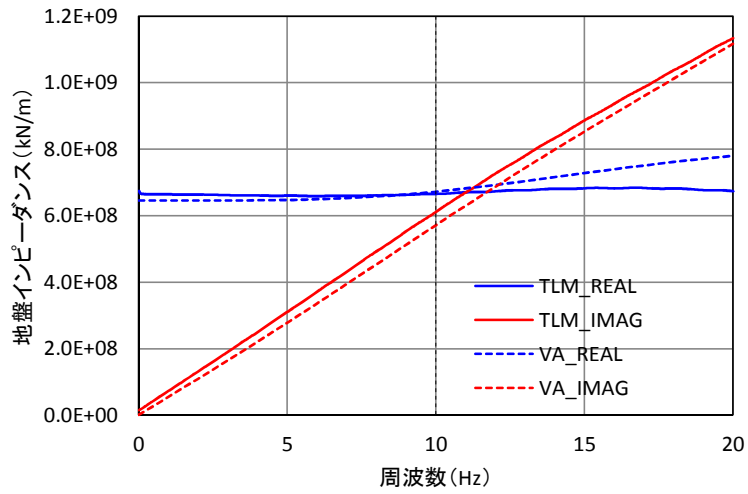


図3-7 Y方向の地盤インピーダンス

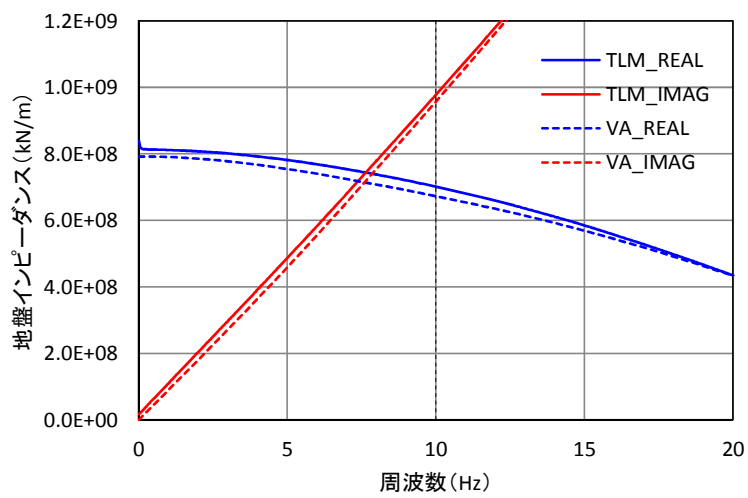


図3-8 Z方向の地盤インピーダンス

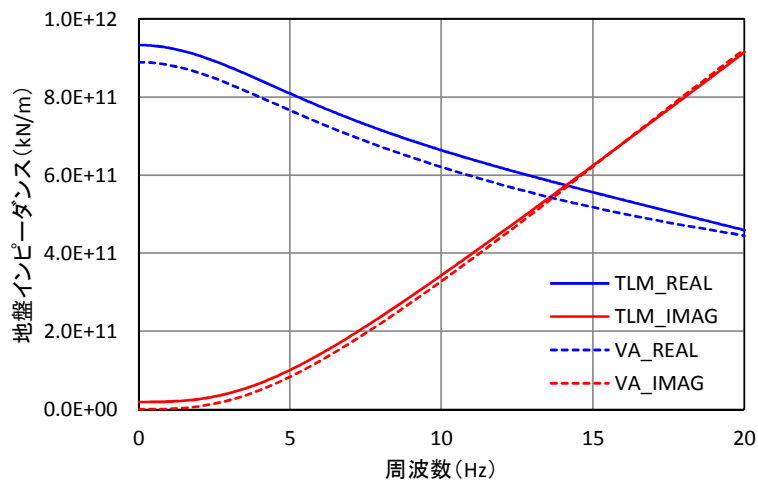


図3-9 Rx方向の地盤インピーダンス

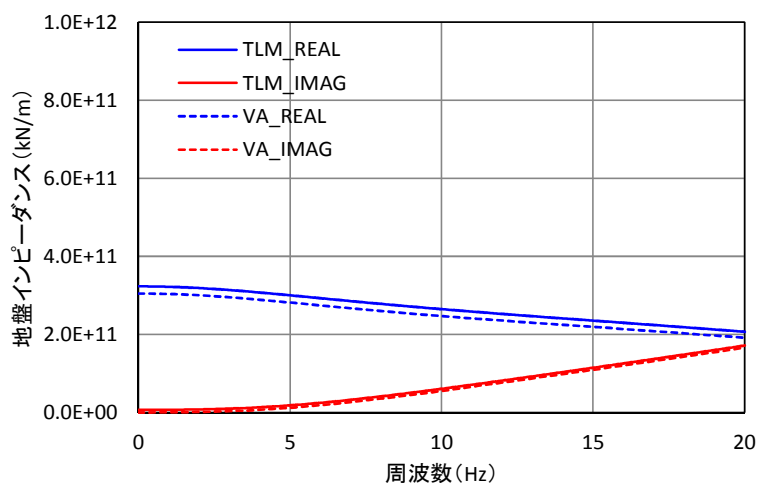


図3-10 Ry方向の地盤インピーダンス

c. 使用内容に対する妥当性

使用済燃料乾式貯蔵建屋の地震応答解析における有効入力動及び底面地盤ばねの算定にSPRINT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しており、妥当である。

- ・ 検証の内容のとおり、有効入力動、底面地盤の水平ばね、鉛直ばね及び回転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使用することは妥当である。