

東海第二発電所	工事計画審査資料
資料番号	工認-763改0
提出年月日	平成30年6月29日

V-5-37 計算機プログラム（解析コード）の概要・P E G A

目次

1. はじめに	1
1.1 使用状況一覧	2
2. PEGAの概要	3
3. PEGA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	7
3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)	8

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）PEGA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-2-2-10	緊急時対策所建屋の地震応答計算書	VER. 1

2. PEGAの概要

項目	コード名	PEGA
使用目的		地震応答解析モデルにおける群杭の水平，回転，上下の地盤ばねの算定。
開発機関		清水建設株式会社
開発時期		1995年
使用したバージョン		VER. 1
コードの概要		PEGAは，均質又は成層地盤内における任意の杭配置や群杭効果を考慮した杭頭インピーダンスが求められる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)		<p>PEGAは，緊急時対策所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モデルの杭基礎の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通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> • PEGAを用いて評価した杭頭インピーダンスが公開文献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)】 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，杭頭インピーダンス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. PEGAの解析手法について

3.1 一般事項

PEGAは、3次元薄層要素法により、群杭の杭頭インピーダンス（水平・回転・上下成分）を計算するプログラムである。PEGAは、緊急時対策所建屋の地震応答解析を行う際に入力データとして必要な杭基礎の地盤ばねの評価に使用している。

3.2 解析コードの特徴

PEGAの主な特徴を以下に示す。

- ・地盤は均質又は水平成層となる半無限地盤とする。
- ・杭配置は任意に設定できる。
- ・単杭および群杭の杭頭インピーダンス（水平・回転・上下成分）が算定できる。
- ・群杭効率の算定ができる。

3.3 解析手法

水平成層な半無限地盤内にN本からなる正方形列の群杭が存在する場合を考える。群杭全体系の運動方程式は次式で表わされる。

$$\{P\} = [S]\{u\} \quad (3-1)$$

$$[S] = [K_p] - [K_p^G] + [A(i\omega)]^{-1} - \omega^2([M_p] - [M_p^G]) \quad (3-2)$$

ここに、

$\{P\}$: 杭の任意節点における節点加振力ベクトル（図3-1）

$\{u\}$: 杭の任意節点における節点変位ベクトル（図3-1）

$[K_p]$: 杭の剛性マトリックス

$[M_p]$: 杭の質量マトリックス

$[K_p^G]$: 杭と同体積土柱の排土剛性マトリックス

$[M_p^G]$: 杭と同体積土柱の排土質量マトリックス

$[A(i\omega)]$: 杭間の連成効果を表す影響係数マトリックス

ω : 加振円振動数

ここで、図3-1における杭頭節点*i*=1とそれ以外の節点*i*=2~*n*に第3-1式を分けて次式のように書き直す。

$$\begin{Bmatrix} \{P\}_1 \\ \{P\}_{2-n} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} [S]_{1,1} & [S]_{1,2-n} \\ [S]_{2-n,1} & [S]_{2-n,2-n} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\}_1 \\ \{u\}_{2-n} \end{Bmatrix} \quad (3-3)$$

杭頭柔性方程式は、第3-3式に $\{P\}_{2-n} = \{0\}$ を代入した次式で与えられる。

$$\{u\}_1 = [\alpha]_{1,1} \{P\}_1 \quad (3-4)$$

$$[\alpha]_{1,1}^{-1} = [S]_{1,1} - [S]_{1,2-n} [S]_{2-n,2-n}^{-1} [S]_{2-n,1} \quad (3-5)$$

ここに、

$$[\alpha]_{1,1} \quad : \text{杭頭柔性マトリックス}$$

次に、基礎の運動方程式は、基礎の運動を*x*方向並進成分、*y*方向回転成分、*z*方向上下成分の3自由度とすれば、次式で表せる。ここで、基礎は無質量剛基礎とする。

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ M_y \\ F_z \end{Bmatrix} = [K] \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \phi_y \\ \delta_z \end{Bmatrix} \quad (3-6)$$

ここに、

$$\begin{Bmatrix} F_x \\ M_y \\ F_z \end{Bmatrix} \quad : \text{杭頭に加振力ベクトル}$$

$$\begin{Bmatrix} \delta_x \\ \phi_y \\ \delta_z \end{Bmatrix} \quad : \text{杭頭の節点変位ベクトル}$$

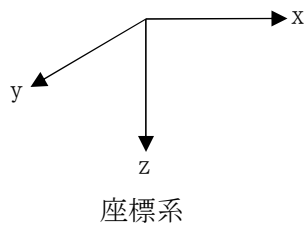
$$[K] \quad : \text{杭頭剛性マトリックス}$$

杭頭剛性マトリックス $[K]$ は、杭頭柔性マトリックス $[\alpha]_{1,1}$ を用いて次式で表わされる。

$$[K] = [T]^T [\alpha]_{1,1}^{-1} [T] \quad (3-7)$$

ここに、

$$[T] \quad : \text{杭頭の変位拘束条件を与えるための変換マトリックス}$$



- δ_{xi} : i点のx方向変位
- ϕ_{xi} : i点のx軸回りの回転角
- δ_{yi} : i点のy方向変位
- ϕ_{yi} : i点のy軸回りの回転角
- δ_{zi} : i点のz方向変位
- ϕ_{zi} : i点のz軸回りの回転角

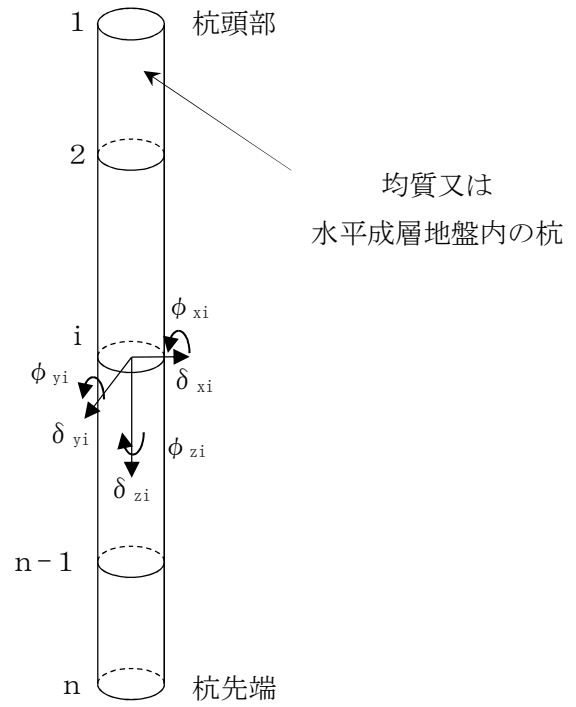


図3-1 座標系と節点自由度

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図3-2に示す。

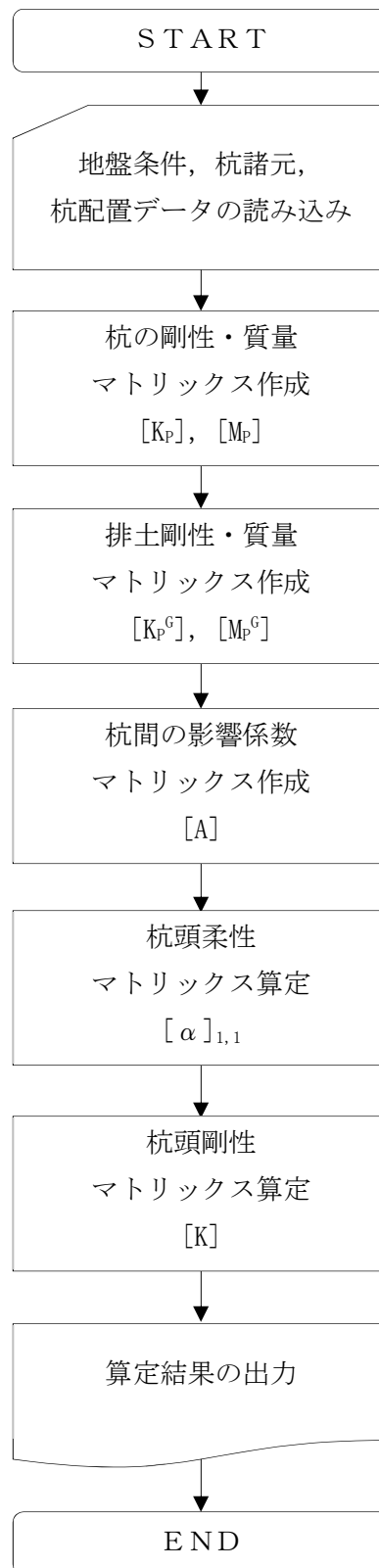


図3-2 解析フローチャート

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

(1) 公開文献との比較による検証

検証は、均質地盤を対象として、PEGAの解析解と公開文献*1で示されている解析解の比較を行う。検証を行う解析モデル図及び解析諸元を図3-3に示す。

単杭及び群杭基礎の動的地盤ばねを算定し公開文献の結果と合わせて図3-4に示す。図3-4より両者は概ね一致しており、PEGAが杭基礎の動的ばねを正しく評価していることが確認できる。

注記 *1: 入門・建物と地盤との動的相互作用 174頁～175頁 (社)日本建築学会
1996年4月, 第1版第1刷

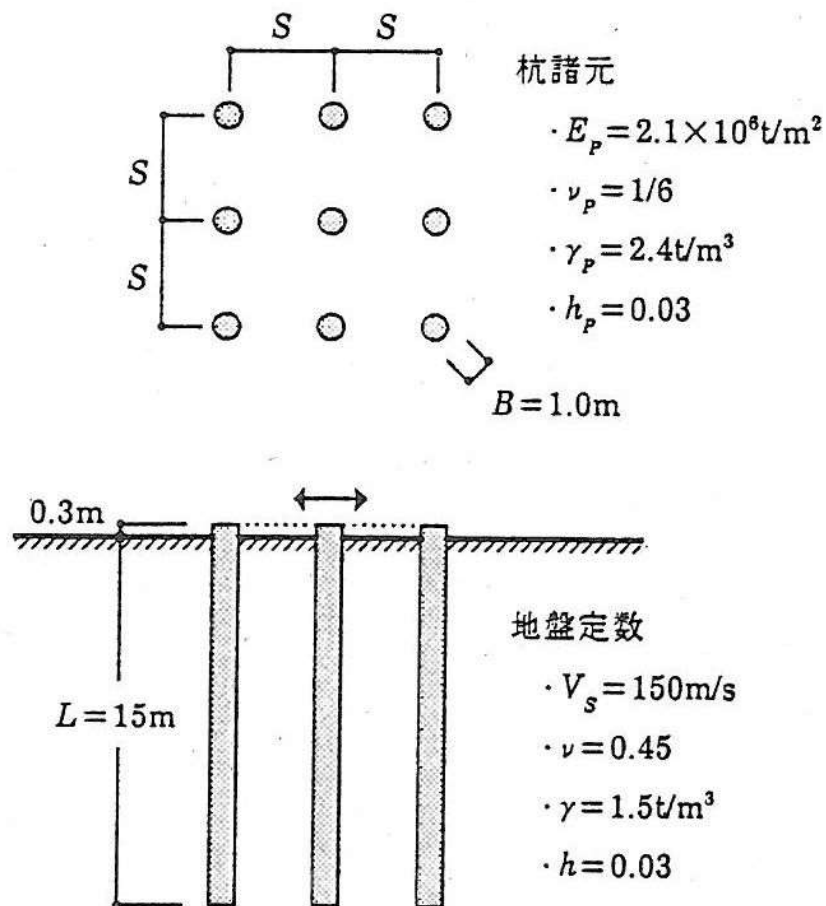


図3-3 解析モデル及び解析諸元*1

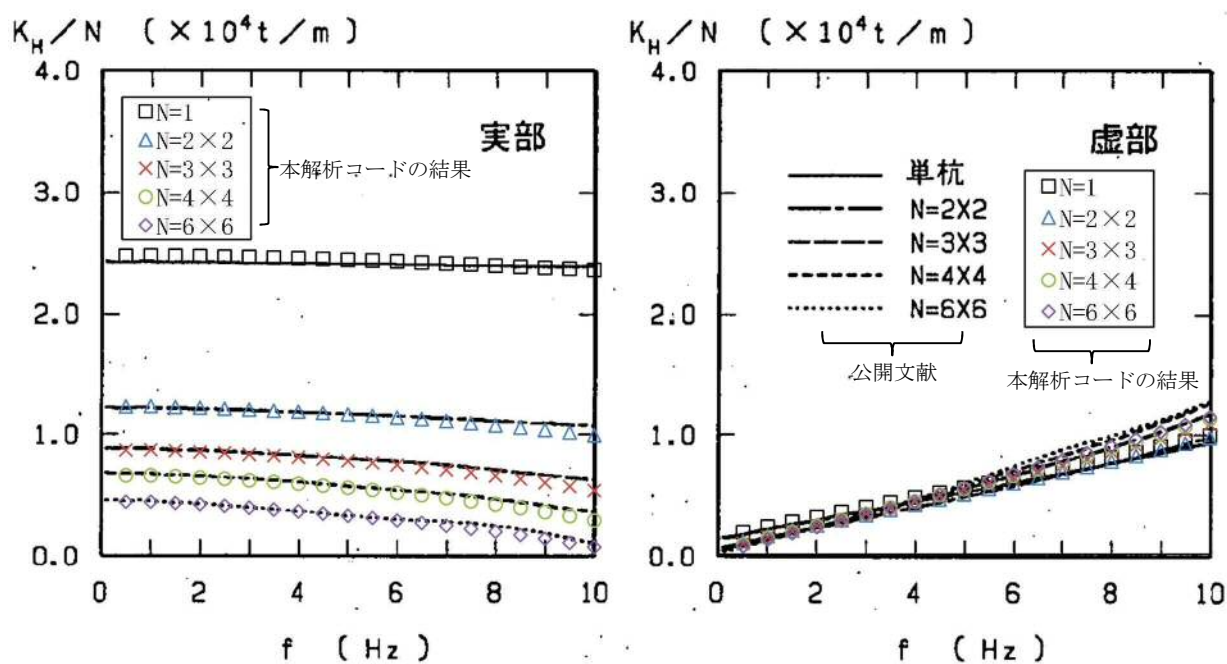


図3-4 公開文献*1の解析解とPEGAによる動的地盤ばねの比較

(2) 使用内容に対する妥当性

緊急時対策所建屋の地震応答解析における杭基礎の地盤ばねの算定にPEGA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、杭頭インピーダンス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。