

## 地盤特性を考慮した D. M. を用いた構造物の制震性能に関する基礎的研究

## その1 薄層要素法による地盤モデルの作成

## Research on Seismic Performance of Structure with Dynamic Mass in Consideration of Soil Characteristics

## Part 1 Creating a Soil Model by Thin-Layer Element Method

○廣谷直也<sup>3</sup>, 秦一平<sup>1</sup>, 石丸辰治<sup>2</sup>, 高松慶介<sup>4</sup>\* Naoya Hirotsu<sup>3</sup>, Ippei Hata<sup>1</sup>, Shinji Ishimaru<sup>2</sup>, Keisuke Takamatsu<sup>4</sup>

This research proposes the optimum design method of the seismic response control considering the soil characteristics. This optimum design is the most important in relation to the natural period. Therefore, in the case of considering the soil characteristics and not considering, it becomes the difference with seismic response performance. This research has adopted the method of the Thin-Layer Element Method. This paper shows the creating a soil model by Thin-Layer Element Method.

## 1-1. はじめに

近年の大地震の発生により、様々な制震装置が開発され、最近では、ダイナミック・マス(以降、D.M.)を用いたダンパーも開発された。これにより、制震設計法は、振動方程式上の質量項  $M$ 、減衰項  $C$ 、剛性項  $K$  を制御する領域まで発展した。石丸らは、制震装置が取付部材を介して構造物に接合されることから、ダンパー部と取付部の間に存在する振動モード(以降、D.M.モード)と主構造体の振動モードが同調関係となる時が最適設計であるという理論(以降、D.M.モード制御)を示している<sup>1,2)</sup>。このD.M.モード制御は、定点理論<sup>3)</sup>に基づく設計手法であり、主構造体の固有周期と制震装置の振動モードの固有周期の関係を「付加剛比  $\kappa_k$ 」という形で表すことで、最適な制震装置のパラメータを複素固有値解析により簡便に求めることが可能となった。つまり、最適な制震設計には、固有周期の正確性が重要な要素である。

一方、地盤特性を考慮した場合、主構造体の固有周期は基礎部を固定としたものと異なる。そのため、本研究では、地盤と構造物の動的相互作用に着目し、D.M.を含む制震モデルを用いて、薄層要素法<sup>4)</sup>により地盤特性を考慮した場合の固有値及び応答特性の変化を複素固有値解析と時刻歴応答解析によって把握することを目的とする。

その1では、固有周期及び建物規模を変化させた2つの解析対象モデルを示す。さらに、地盤周期の異なる3つの地盤モデルを作成し、薄層要素法を用いた動的地盤ばねの算出方法及びその結果を示す。

## 1-2. 解析対象モデル概要

本研究では、固有周期及び建物規模を変化させた2つの解析モデルを用いて解析検討を行う。解析モデル図をFig.1-1に示す。Model①は15質点で中高層建物、Model②は42質点で超高層建物を想定しており、Table1-1に示すように、非制震時の1次固有周期  $T_1$  はそれぞれ1.314、3.119(sec)である。なお、内部減衰は剛性比例型で1次モードに2%としている。

Table1-1 非制震時固有値

## a). Model①

固有周期 $T$ (sec)	
モード	Model ① (15質点)
1次	1.314
2次	0.451
3次	0.274
4次	0.199
5次	0.158

## b). Model②

固有周期 $T$ (sec)	
モード	Model ② (42質点)
1次	3.119
2次	1.236
3次	0.766
4次	0.555
5次	0.435

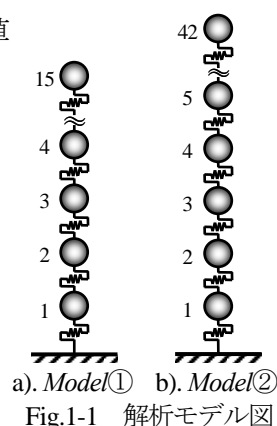


Fig.1-1 解析モデル図

## 1-3. 薄層要素法による動的地盤ばねの算出方法

次に、薄層要素法を用いて動的地盤ばねの算出を行う。薄層要素法は、固有値、固有ベクトルの重ね合わせによって加振解を簡便に求めることができる手法である。また、基礎形式に依らず適用可能な手法であり、地盤の逸散減衰を考慮できるというメリットがある。薄層要素法では、Fig.1-2、1-3に示すように、地盤の基礎底面境界を半無限境界、基礎を無質量剛基礎として基礎底面中央部を単位定常加振する。それにより算出された動的変位マトリックス  $[U(\omega)]$  の逆マトリックス  $[U(\omega)]^{-1}$  を動的地盤ばねのマトリックス  $[K(\omega)]$  とする。この際、水平(Sway)方向の動的地盤ばねを算出する場合は水平方向に、回転(Rocking)方向の場合は回転方向に加振する。算出される  $[K(\omega)]$  は、(1-1)式ようになるが、一般に水平と回転の連成項の影響は小さいため、対角項(式中の枠内)のみを採用する<sup>5)</sup>。また、動的地盤ばねは、Fig.1-4に示すように、加振振動数(図中では固有円振動数  $\omega$ )に対して複素数で求まる。そのため一般的には、0.1Hz等の低振動数時の実数部(Real値)を静的地盤ばね  $K$  とし、その地盤ばねを取り付けた建物-地盤ばねモデルの1次固有円振動数  $\omega_1$  に対応する虚数部(Imag.値)を  $\omega_1$  で除した値を地盤の減衰係数  $C$  とすることで実数化して用いる。

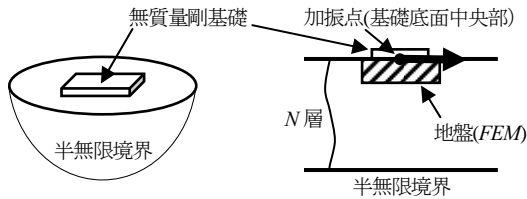


Fig.1-2 半無限境界 (イメージ)

Fig.1-3 薄層要素法の解析モデル

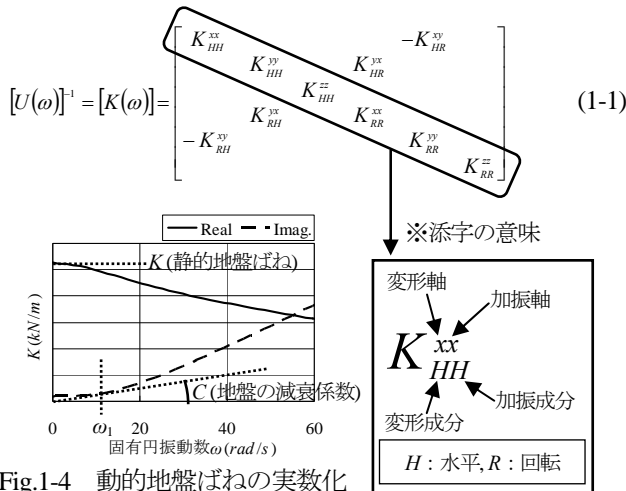


Fig.1-4 動的地盤ばねの実数化

1-4. 対象地盤モデル概要

対象モデルは2層の水平成層地盤とし、地盤周期  $T_G$  を変化させた3モデルとする。各地盤特性を Fig.1-5 に示す。工学的基盤は、全モデルで統一とした。検討用地盤 A, B, C でそれぞれ  $T_G=0.23, 0.40, 0.80(\text{sec})$  であり、第1種～第3種地盤をほぼ模擬した地盤である。各モデルの工学的基盤面に BCJ-L2 波を入力した際の表層波の擬似速度応答スペクトルを Fig.1-6 に示す。検討用地盤 A～C と表層地盤が軟弱になる程、増幅効果は大きくなっている。

30m	表層	$V_s$ 350 m/s, 密度 1.80 t/m <sup>3</sup> ポアソン比 0.35, 減衰 2%
70m	基盤	$V_s$ 400 m/s, 密度 2.00 t/m <sup>3</sup> ポアソン比 0.35, 減衰 2%

a). 検討用地盤 A

$V_s$ 200 m/s, 密度 1.80 t/m <sup>3</sup> ポアソン比 0.35, 減衰 2%	$V_s$ 100 m/s, 密度 1.60 t/m <sup>3</sup> ポアソン比 0.45, 減衰 2%
$V_s$ 400 m/s, 密度 2.00 t/m <sup>3</sup> ポアソン比 0.35, 減衰 2%	$V_s$ 400 m/s, 密度 2.00 t/m <sup>3</sup> ポアソン比 0.35, 減衰 2%

b). 検討用地盤 B

c). 検討用地盤 C

Fig.1-5 各地盤モデルの地盤特性

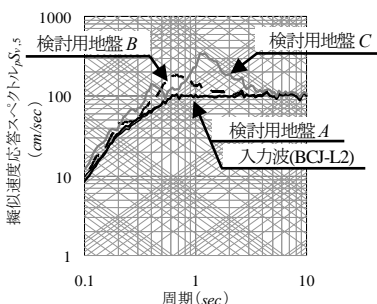


Fig.1-6 擬似速度応答スペクトル( $h=5\%$ )

1-5. 対象地盤モデルの動的地盤ばねの算出

薄層要素法を用いて、各地盤の水平及び回転方向の動的地盤ばねを算出する。基礎形式は、Fig.1-7 に示すような杭基礎とし、全解析モデルで共通とする。杭は支持層(工学的基盤)に2.0(m)根入れさせている。動的地盤ばねの算出結果を Fig.1-8 に示す。これより、表層の地盤特性の変化に伴い、地盤の剛性に関わる実数部(Real 値)は大きく変化するが、減衰に関わる虚数部(Imag. 値)はあまり変化しないということがわかる。

- ※ 杭諸元 :
- 杭本数  $N=6 \times 6$  (6.0 m ピッチ)
- 杭径  $d=1.5$  m
- ヤング係数  $E=2.1 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>
- 密度  $\rho=2.4$  t/m<sup>3</sup>
- ポアソン比  $\nu=1/6$
- 粘性減衰定数  $h=2.0\%$

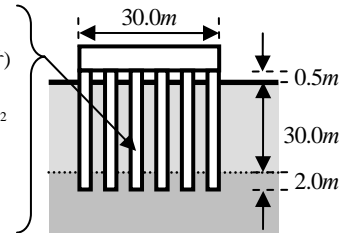
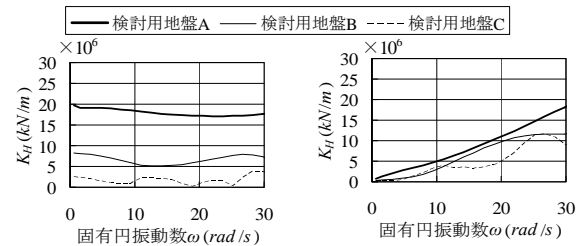


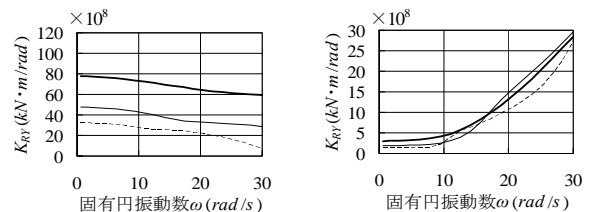
Fig.1-7 対象基礎モデル(杭基礎)



a-1). 実数部(Real 値)

a-2). 虚数部(Imag. 値)

a). 水平方向(Sway ばね)



b-1). 実数部(Real 値)

b-2). 虚数部(Imag. 値)

b). 回転方向(Rocking ばね)

Fig.1-8 各地盤モデルの動的地盤ばね

1-6. まとめ

その1では、固有周期及び建物規模を変化させた2つの解析対象モデルの概要及び複素固有値解析結果を示した。さらに、第1種～第3種地盤を模擬した3つの地盤モデルを作成し、薄層要素法を用いた動的地盤ばねの算出方法及びその結果を示した。

【参考文献】

- [1] 石丸辰治, 三上淳治, 秦一平, 古橋剛: 『D.M.同調システムの簡易設計法』日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第652号, 2010.6
- [2] 石丸辰治, 秦一平, 三上淳治, 公塚正行: 『付加剛比によるD.M.同調システムの簡易設計法』日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第654号, 2010.8
- [3] 背戸一登, 松本幸人: 『振動の制御』, 丸善, 1999.3
- [4] 田治見宏, 下村幸男: 『3次元薄層要素による建物-地盤系の動的解析』日本建築学会論文報告集, 第243号, 1976.5
- [5] 日本建築学会: 『建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計』日本建築学会, 2006.2