

(株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 香川 健志  
九州大学大学院 学生員 川野 亮  
(株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橘 義規  
九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

## 1. はじめに

周囲を地盤に囲まれている地中構造物の地震時挙動は、地上構造物と異なり、地盤に生じる変形に追従するという特徴がある。特に、地形や基盤の深さ、土質定数等の地盤条件が急激に変化する不整形地盤では、成層地盤と比較して地震動が増幅することが指摘されている。本研究では、地中構造物軸線方向の耐震設計に資するため、6種類の不整形地盤モデルについて、FEMによる地震応答解析を実施し、ひずみ分布の特徴について検討した。また、動的地盤変位分布の算定は、実務レベルではばね質点モデルによる地震応答解析で行うことが多いため、同様の不整形地盤を対象にばね質点モデルにより解析し、FEMモデルとの解析結果の比較を行った。

## 2. 対象地盤タイプおよび解析条件

### 2.1 対象地盤タイプ

本研究で対象とする地盤タイプは図-1に示す6種類の不整形構造である。①は基盤面が一様に傾斜しているモデルであり、②は基盤面の中央部に長さ40m、高さ5mの一方に傾斜した段差があるモデルである。③は基盤面の中央部に長さ80mの谷のある左右対称なモデルである。④は軟質地盤中に硬質地盤が露頭している場合を想定したモデルである。⑤は地表面が一様に傾斜しているモデルであり、⑥は地表面の中央部に長さ40m、高さ5mの段差があるモデルである。地盤条件は④以外は軟質地盤のみの1層地盤とし、④は軟質地盤と硬質地盤の2層地盤である。解析に用いた地盤物性値を表-1に示す。また、地盤の基本固有振動数は、地盤の厚い(20m)部分で1.3Hz程度、地盤の薄い(15m)部分で1.6Hz程度、硬質地盤で3.9Hz程度である。

### 2.2 解析条件

地震応答解析は二次元FEMとばね質点モデルにより行った。地盤は地震時に強い非線形性を示すことが知られているが、ここでは基本的な応答特性を捉えるために線形解析とした。FEMモデルのメッシュ間隔は2mピッチとし、図-2に示すばね質点モデルは、FEMモデルの要素間隔と同じ2m間隔で地盤を一質点系でモデル化し、各質点間を地盤の弾性変形に基づいて求めたばねで結合した<sup>1)</sup>。また、モデル②と③については、質点間隔を5m,10mとした検討も行った。入力波は、道路橋示方書V編<sup>2)</sup>I種地盤タイプIIの標準波形(JMA神戸NS)を用いた。図-3に示すように、1.37Hz付近に最大ピークをもつ波であり、地盤の一次固有振動数(1.3Hz程度)より若干大きい。

表-1 地盤物性値

	ポアソン比 $\nu$	せん断波速度 $V_s$ (m/sec)	せん断弾性係数 $G_s$ (tf/m <sup>2</sup> )	単位体積重量 $\gamma$ (tf/m <sup>3</sup> )	減衰定数 h
軟質地盤	0.45	100	1837	1.8	0.15
硬質地盤	0.45	300	18367	2.0	0.05

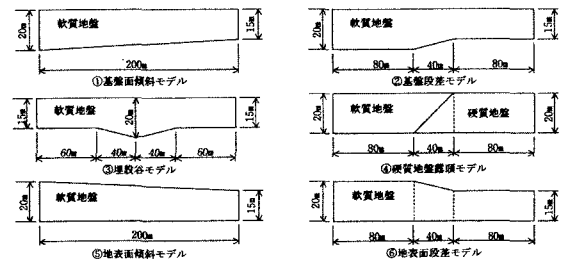


図-1 対象地盤タイプ

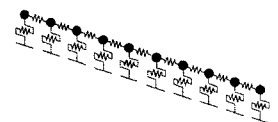


図-2 ばね質点モデル概念図

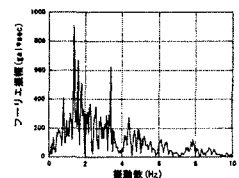


図-3 JMA 神戸波のフーリエスペクトル

キーワード 耐震設計 不整形地盤 地震時地盤ひずみ 地中構造物

神奈川県川崎市高津区久本 3-5-7 ニッセイ新溝のロビール TEL 044-812-8815 FAX 044-812-8825

### 3. 解析結果

#### 3.1 二次元FEM解析結果

図-4にそれぞれの地盤モデルの中央部から左右 60m 間における地盤のひずみ正負（引張,圧縮）の分布を示す。ひずみ分布は、地表面が水平なモデルでは地表面を深度 0m とし、地表面が水平でないモデルでは、地盤厚の最も薄い方の地表面を深度 0m として、深度 0m、5m、10m 位置の水平線に沿ってまとめたものである。以下に解析結果をまとめる。

- ・ 基盤もしくは地表面が傾斜しているモデルでは、ひずみは地盤の厚い方で一様に大きく、深度が浅くなるにつれてひずみは大きくなる。
- ・ 基盤もしくは地表面に段差があるモデルでは、段差の影響を受けて段差中央部付近でひずみが大きく、深度が浅くなるにつれて最大値は大きくなる。
- ・ 埋設谷モデルでは、基盤変化のはじまり部分で最大値が発生する。また、最大値の発生位置は深くなるにつれてモデル中央（表層地盤が一番厚いところ）に近づく。
- ・ 硬質地盤露頭モデルでは、硬質地盤に比べて軟質地盤のひずみが極端に大きく、深度が深くなるにつれてひずみの最大点が層境に近づいてくる。

#### 3.2 ばね質点モデル解析結果

図-5にFEMおよびばね質点モデルの地盤の最大ひずみ分布を示す。以下に解析結果をまとめる。

- ・ 最大ひずみ分布は、基盤段差モデルと埋設谷モデルでは FEM モデルとほぼ同等の結果が得られた。しかし、硬質地盤露頭モデルにおける両者の結果には大きな相違があった。
- ・ ばね質点間隔を変えたモデル（2m,5m,10m）では、最大変位、ひずみにほとんど差がなかった。

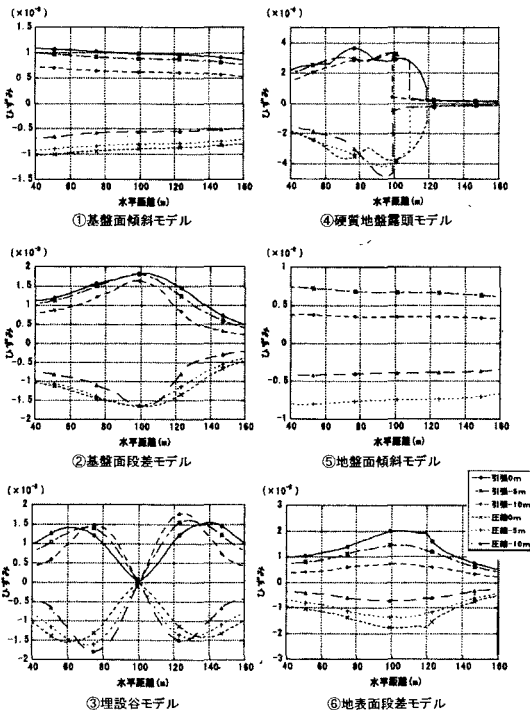


図-4 地盤ひずみ分布 (FEM)

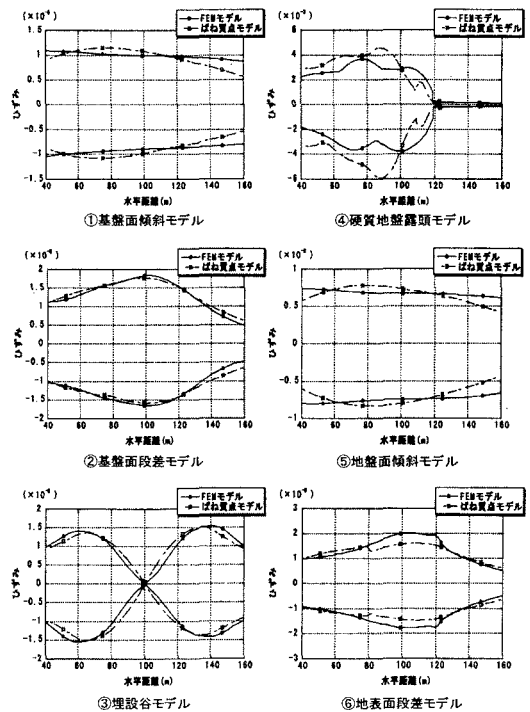


図-5 地盤ひずみ分布 (FEM とばね質点系比較)

#### 参考文献

- 1) 建設省土木研究所：沈埋トンネルの軸線上の断面力および変位の地震応答解析法に関する研究，土木研究所資料第 1193 号，1977.3
- 2) 土木学会：開削トンネルの耐震設計，1998.10
- 3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編,1996.12