

## 不整形地盤における地震時地盤ひずみ分布

九州大学大学院 学生会員 ○川野 亮

九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橋 義規

### 1. はじめに

周囲を地盤に囲まれている地下構造物の地震時挙動は、地盤に生じる変形に追随するという特徴があるため、線状地下構造物軸線方向の耐震性を議論する場合、軸線に沿った地盤の相対変位(地盤ひずみ)を適切に評価する必要がある。また既往の地震における地下構造物の被害が、地形・地盤条件の変化部付近で発生する傾向にあることから、不整形地盤における地盤ひずみ分布を明らかにする必要があると考えられるが、これまでの不整形地盤に着目した研究は加速度の増幅特性に関するものが多く、地盤ひずみに関する研究は非常に少ないのが現状である。

本研究では、不整形地盤における地下構造物軸線方向の耐震設計に資するために、不整形地盤モデルの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。

### 2. 解析モデルおよび解析条件

本研究では図-1に示す6種類の不整形地盤を検討の対象とした。地盤条件は④以外は軟質地盤のみの1層地盤であり、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、モデル幅はすべてのモデルで同じ200mとし、層厚は最大で20m、最小で15mとした。(④は層厚20m)ここで、深い方と浅い方(軟らかい方と硬い方)のせん断土柱の基本固有振動数を求めると表-2を得る。

地震応答解析は二次元FEMで行った。メッシュ分割は、水平方向2m、鉛直方向1mを基本とした。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。数値解析法はNewmarkのβ法による直接積分法で、 $\beta = 1/4$ とした。また、境界条件は側方では粘性境界、底面では固定境界とした。入力地震動は道路橋示方書V編<sup>1)</sup>、I種地盤タイプIIの標準波形(JMA神戸NS)を用いた。この波形のフーリエスペクトルの最大ピークは1.37Hz付近にある。

表-1 地盤物性値

	ポアソン比 $\nu$	せん断波速度 $V_s(\text{m/sec})$	せん断弾性係数 $G_s(\text{tf/m}^2)$	単位体積重量 $\gamma(\text{tf/m}^3)$	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

( $G_s = \rho V_s^2$ とした)

表-2 せん断土柱の基本固有振動数

	せん断土柱の固有振動数(Hz)	
	深い方または軟らかい方	浅い方または硬い方
①基礎面傾斜モデル	1.25	1.67
②基礎段差モデル	1.25	1.67
③埋設谷モデル	1.25	1.67
④硬質地盤露頭モデル	1.25	3.75
⑤地表面傾斜モデル	1.25	1.67
⑥地表面段差モデル	1.25	1.67

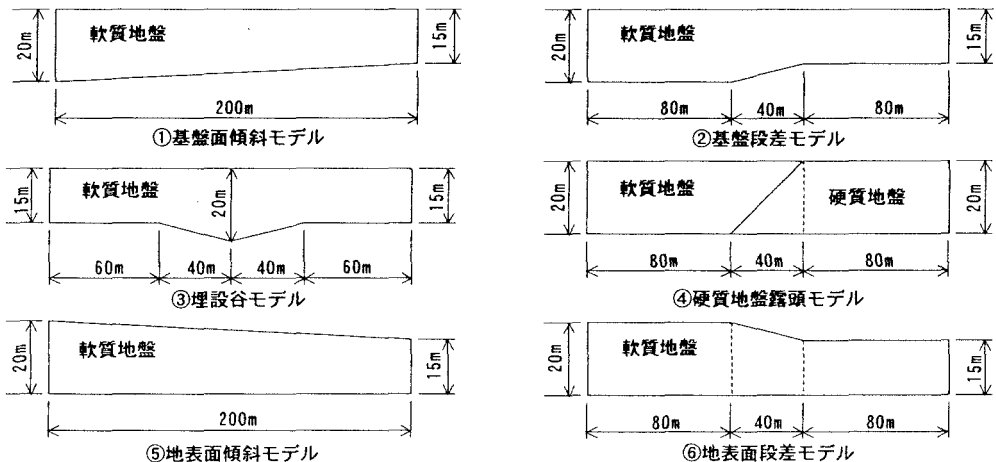


図-1 解析対象地盤

表-3 固有値解析結果

	①基盤面傾斜モデル		②基盤段差モデル		③埋設谷モデル	
次数	1	2	1	2	1	3
固有振動数(Hz)	1.35	1.57	1.31	1.62	1.53	1.84
刺激係数	18.67	12.65	18.33	11.19	20.46	-7.38
有効質量比	0.55	0.25	0.54	0.20	0.74	0.10
	④硬質地盤露頭モデル		⑤地表面傾斜モデル		⑥地表面段差モデル	
次数	1	2	1	2	1	2
固有振動数(Hz)	1.33	3.90	1.35	1.57	1.30	1.61
刺激係数	15.93	14.07	18.51	-12.82	18.46	10.16
有効質量比	0.34	0.26	0.55	0.26	0.55	0.17

### 3. 解析結果

#### 3.1 固有値解析結果

地震応答解析に先立ち、対象地盤モデルの基本的な振動特性を把握するために固有値解析を行った。各モデルの固有値解析の結果、主要と考えられるモードについて表-3に示す。表-2の結果と比較すると、1次および2次の固有振動数は、地盤モデルの深い方と浅い方(軟らかい方と硬い方)のせん断土柱の固有振動数にほぼ対応していることが分かる。また、埋設谷モデルでは1次の有効質量が他のモデルと比べて大きく、硬質地盤露頭モデルでは1次と2次の固有振動数の差が大きいのことが分かる。

#### 3.2 地震波入力結果

各地盤モデルの深度0m, -5m, -10mにおける最大軸ひずみの分布を図-2に示し、以下にその特徴を述べる。(図中には今回着目した40~160m区間を示している。)

①, ⑤では層厚が厚いほど、ひずみは大きくなる。各深度で比較すると深度が小さくなるにつれて、ひずみは大きくなる。

②では最大値は基盤変化部中央で発生している。また各深度で比較すると深度が小さくなるにつれて最大値は大きくなる。

③では最大値の発生位置は深くなるにつれてモデル中央に近づく。また各深度で比較すると深度が大きくなるにつれて最大値は大きくなる。

④では軟質地盤と硬質地盤でのひずみを比較すると、軟質地盤で極端に大きなひずみが発生することが分かる。圧縮ひずみでは深いほど最大ひずみが大きくなり、逆に引張ひずみでは浅いほど最大ひずみが大きくなる。最大値の発生位置は深くなるほど軟質地盤と硬質地盤の層境に近くなる。

⑥では最大値は地表面変化部で発生している。また各深度で比較すると深度が小さくなるにつれて最大値は大きくなる。

各モデル間でのひずみの大小関係について見てみると、不整形性の顕著な④が最も大きく、②, ③, ⑥が次に大きい。不整形性の程度の小さい①, ⑤はそれらと比較して小さい。④のような地盤では設計上特に留意する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、不整形構造を有する地盤モデルに対してFEMによる地震応答解析を行い、地盤ひずみの分布傾向を明らかにすることができた。今後、地盤の非線形性の影響、不整形性の程度の影響について検討を行う予定である。

#### 参考文献

- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 1996.12
- 大塚, 橘, 川野：FEM地震応答解析による不整形地盤の地盤ひずみ分布特性とばね質点モデルについての考察, 構造工学論文集Vol. 47, 2001.3(掲載予定)

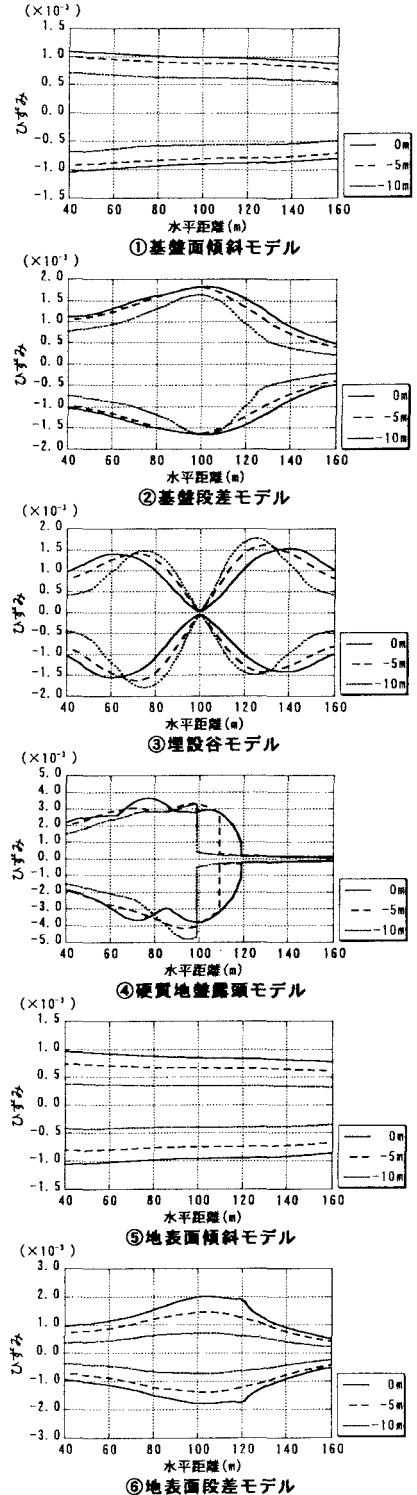


図-2 最大軸ひずみ分布 (引張+, 圧縮-)