

トンネル縦断方向の耐震設計に用いる地盤変化部変位分布の簡易設定法

(株) オリエンタルコンサルタンツ 正会員 ○橋 義規
九州大学大学院 学生員 矢野 恵美子・田中 宏典
九州大学大学院 正会員 大塚 久哲

1. 目的

トンネル縦断方向の耐震設計では、しばしば地盤条件変化部の耐震性が問題となる。既往基準類のなかには、このような箇所の断面力を割り増す方法¹⁾が示されているものもあるが、構造部材に発生するひずみが非線形領域に達する可能性のあるレベル2地震動に対しては、断面力を割り増す手法は馴染まず、地盤変位分布を算定し非線形構造解析を実施することが必要と考えられる。本研究は地盤変化部の動的FEM解析結果を分析し、この変位分布を再現する簡易な手法について検討したものである。

2. 対象とする地盤モデル

検討の対象とする不整形地盤を図-1に示す。薄い地盤の層厚を $H_2=15\text{m}$ に固定し、厚い地盤の層厚 H_1 ($=20,30,40\text{m}$) と地層厚の変化長 L ($=0,20,40,80\text{m}$) をパラメータとしFEMモデルを用いた動的解析を実施した²⁾。地震時の地盤剛性は $V_s=100\text{m/s}$ 、入力地震動は道路橋示方書のタイプ2地震動標準波形(Type211)である。また、ひずみを抽出する深さは $GL-5\text{m}$ である。

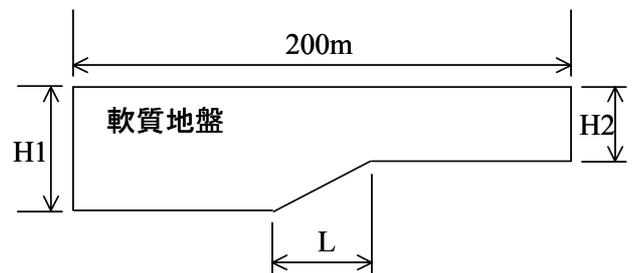


図-1 基盤段差モデル

3. FEM解析結果の分析

最大ひずみ発生時における地盤変位分布を確認したところ、地層厚が一定のモデル両側では変位が一定となり、最大ひずみが発生する地盤変化部は曲線状（三角関数的）にすりついていて、また、変位分布が変化する区間は地層厚が変化する区間よりも広いことがわかった。

次に、FEMモデルの両端で得られる変位の相対変位波形を求め、最大ひずみ発生位置におけるひずみ波形と比較した。図-2に示すように相対変位波形とひずみ波形の形状は、ほぼ相似形であることがわかる。

また、FEMモデル両端の変位波形と同じ地層モデルを用いた一次元モデルによる変位波形を比較したところ、図-3に示すようにFEMモデルと一次元モデルによる変位波形はほぼ一致した。

よって、地盤変位が変化する区間を適切に設定できれば、FEM解析を行わなくても地盤ひずみの最大値を再現する地盤変位分布の設定が可能になると考えられる。

モデル両端の変位差が各々の一次元モデルによる応答変位差により近似可能で、地盤変位が変化する区間が三角関数で表現できると仮定すると、変位が変化する部分の変位分布は式(1)、ひずみ分布は式(2)となる。

キーワード トンネル、縦断方向耐震設計、地盤変化部、地盤変位分布、地盤ひずみ

連絡先 〒213-0011 神奈川県川崎市高津区久本3-5-7 (株) オリエンタルコンサルタンツ TEL044-812-8832

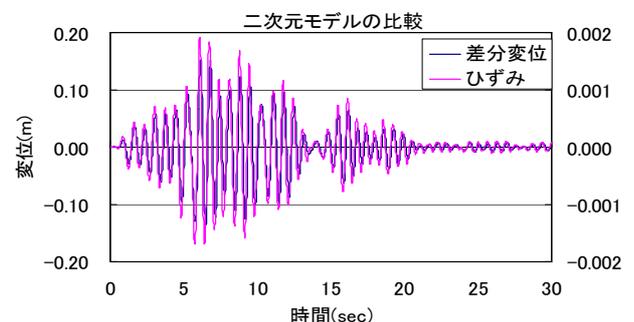


図-2 ひずみ波形と相対変位の比較

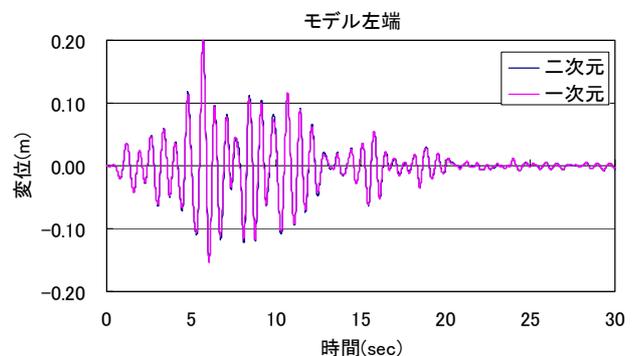


図-3 1次元・2次元モデルによる変位応答比較

$$\text{変位} : y = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L}x\right) \quad \dots (1)$$

$$\text{ひずみ} : \varepsilon = \frac{dy}{dx} = \frac{2\pi}{L}a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{L}x\right) \quad \dots (2)$$

上式において a : 地盤変位差, L : 波長である. $\cos(2\pi/L)=1$, a =最大相対変位, dy/dx =最大ひずみとおくと, (2)式から波長 L が求まる. このとき用いる相対変位は最大ひずみ発生時における相対変位を用いた.

式(2)より求めた波長を地盤の固有周期の変化率との関係として図-4に示す. ここで, 固有周期の変化率とは, モデル左右の固有周期差を地層厚の変化区間長で除したものである.

同図に示すように, 固有周期の変化率が大きくなると波長は一定値に近づく傾向がある. 一方, 固有周期の変化率が小さくなるほど波長は大きくなり, 特に変化率がゼロに近づくとき急増する傾向にある. 変化率が小さくなるということは, 水平成層地盤に近づくということであり, 水平成層地盤では地盤の相対変位が縦断方向には生じず, 波長が無限大に漸近するため, 変化率がゼロに近づくとき急増する傾向になったものと考えられる.

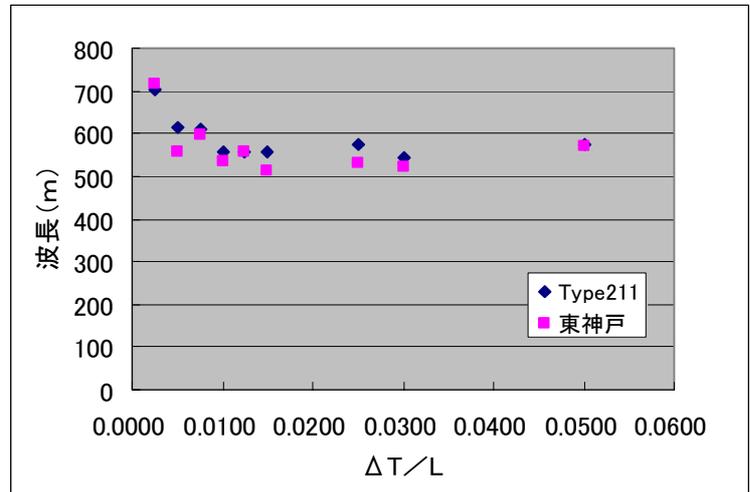


図-4 波長と固有周期の変化率 ($\Delta T/L$) との関係

4. 変位差応答スペクトルの検討

前述のしたように, FEM解析におけるひずみ波形とモデル両端の相対変位波形は相似形で, モデル両端の地盤変位は一次元のモデルで計算した値とほぼ一致した. このことから, 層厚の異なる地盤の応答変位差をあらかじめ求めておき, 固有周期の変化率を用いて波長を設定することで, FEMモデルによる最大ひずみを再現する変位分布を推定することができる.

ここでは, 地層厚の異なる地盤の応答変位を一次元モデルにより求め, 両者の相対変位を固有周期差をパラメータとして表現する「変位差応答スペクトル」を算定した. 層厚 20m, 30m, 40m をそれぞれ薄い地盤とし, 固有周期差 $\Delta t=0.4s, 0.8s, 1.2s$ における変位差応答スペクトルを試算した結果を図-5に示す.

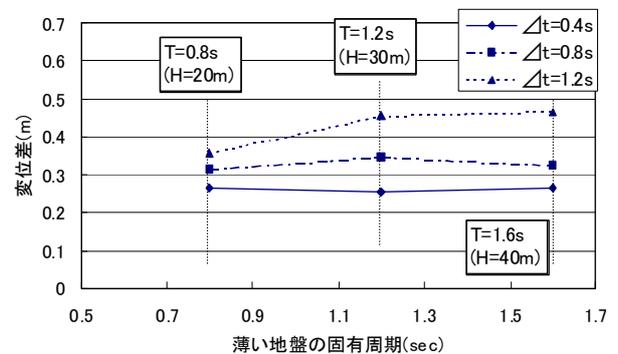


図-5 変位差応答スペクトル

5. 地盤急変部における設計法の提案

以上の検討結果を踏まえ, 地盤急変部における地盤の応答解析を行わない簡易な設計法として以下の方法を提案する. なお, 実設計への適用においては, 2) についてパラメトリック解析を充実させる必要がある.

- 1) 一次元の地盤応答解析により設計入力地震動に対応した「変位差応答スペクトル」を算定しておく.
- 2) 変化部地盤の固有周期変化率を用いて波長を設定する.
- 3) 弾性床上の梁モデルにより地盤急変部のトンネル応答を算定する.

参考文献

- 1) (社)日本道路協会: 共同溝設計指針, 1986年3月
- 2) 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. 47A, pp539-546, 2001年3月