

基盤段差型不整形地盤の地震時地盤変位分布の推定に関する研究

九州大学 正会員 古川愛子 九州大学 フェロー 大塚久哲
九州大学 学生員 青木克憲 (株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橘 義規

1. はじめに

本研究では、応答変位法を基盤段差型不整形地盤に適用することを想定し、不整形地盤における地盤変位分布の簡易設定手法について検討を行った。まず、不整形地盤モデルに対する地盤変位分布の傾向を分析し、設計に利用し易いスペクトルとしての表現方法を提案した。さらに、有限要素法を用いない簡易なスペクトルの算定方法についても述べ、適用可能性を検証した。

2. 基盤段差型不整形地盤の有限要素解析

(1) 解析概要

図1に示す基盤段差型不整形地盤の2次元有限要素解析を実施した。左右の層厚を H, h (m) ($H > h$)、傾斜幅を L (m)、媒質のせん断波速度を VS (m/sec) とした。それぞれ、 $H=30\text{m} \sim 60\text{m}$ 、 $h=10\text{m}, 20\text{m}$ 、 $L=20 \sim 100\text{m}$ 、 $VS=50\text{m/s} \sim 200\text{m/s}$ の範囲で値を設定し、53通りの不整形地盤モデルを作成した。地盤の単位体積重量は $\gamma=19\text{kN/m}^3$ 、ポアソン比は $\nu=0.45$ とし、減衰は1次と2次モードの減衰定数を10%とするレーリー減衰を採用した。境界条件は、底面を固定、側方は鉛直方向固定、水平方向自由とした。メッシュ幅は上下・水平方向ともに1m、積分時間間隔は0.005秒とした。入力地震動は図2に示す道路橋示方書V編¹⁾のType211を用いた。

(2) 地盤変位分布の正弦波近似の妥当性および定式化

地盤変位分布を正弦波で近似する応答変位法を、基盤段差型の不整形地盤に適用することの妥当性を確認するため、地表面深さ5mにおける地盤変位分布の例を図3に示す。地盤モデル($H=30\text{m}$ 、 $h=20\text{m}$ 、 $L=20\text{m}$ 、 $VS=100\text{m/sec}$)の最大ひずみ発生時における変位分布であり、基準点からの水平距離が-100~100mの区間において、正弦波の半波長に形状が似ていることが確認できる。以上より、地盤変位分布 $y(x)$ とひずみ分布 $e(x)$ を以下のように定式化する。

$$y(x) = \frac{A}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{l}x\right) + A_0 \quad e(x) = \frac{dy(x)}{dx} = e_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{l}x\right) \quad l = \pi A / e_{\max} \quad (1)$$

ここに A は両端の地盤の変位応答差、 A_0 は地盤変位の基線からのずれ、 e_{\max} は最大ひずみ、 λ は地盤変位の波長である。地盤変位分布を決定するには、振幅 $A/2$ と波長 λ を決定すればよく、これらは、(1)式より両端の地盤の変位応答差 A と最大ひずみ e_{\max} が決まれば地盤変位が一意に定まる。

(3) 様々な基盤段差型不整形地盤の変位応答差・最大ひずみ

図4に、有限要素解析により算出された地表面深さ5mにおける A と e_{\max} を示す。図4より、横軸に深い側の地盤の固有周期($T=4H/VS$)、凡例に h

キーワード 不整形地盤、地震動、地盤変位分布、最大ひずみ、応答変位法
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 TEL 092-802-3374

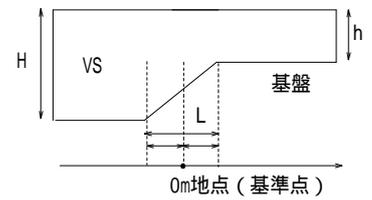


図1 基盤段差型不整形地盤

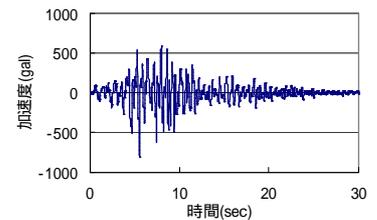


図2 入力地震動

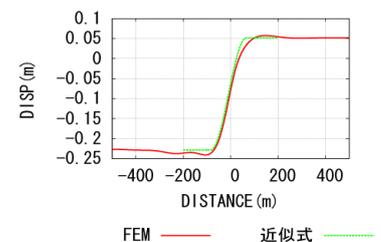
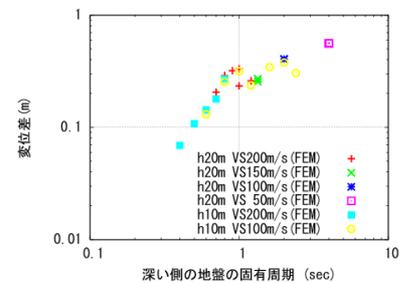
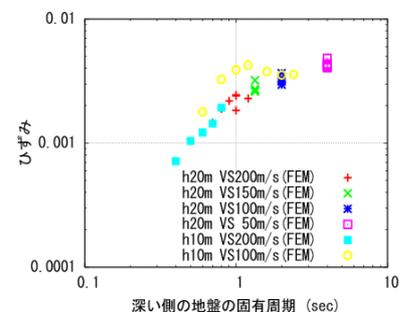


図3 最大ひずみ発生時の変位分布



(a)変位応答差



(b)最大ひずみ

図4 変位応答差と最大ひずみ

と VS を取って図化すると整理し易いことがわかる．また，傾斜幅 L を変えた複数のモデルの結果が重なっていることから， L の影響はほとんど無いことがわかる．

3. 地盤変位分布推定のための新しいスペクトル

(1) 変位差応答スペクトル・ひずみ応答スペクトル

地盤変位分布推定に必要な変位応答差 A と最大ひずみ ε_{\max} を図 4 のような形で公開すれば，設計に容易に導入できて有用である．本研究では，これらを新スペクトルとして提案し，それぞれを変位差応答スペクトル，ひずみ応答スペクトルと名づけた．これらの新しいスペクトルを求めるために，異なる条件毎（入力地震動・地盤の減衰定数）に有限要素解析を実施するのは膨大なコストがかかる．図 4 の変位応答差・最大ひずみが，入力地震動の変位・速度応答スペクトルに形状が似ていることを別途確認し(図略)，それをヒントに，本研究では以下のような新スペクトルの簡易算出方法を提案する．

(2) 新スペクトルの簡易算出手法

(a) 変位差応答スペクトル

両側の地盤の固有周期に等価な 1 自由度系のモデルを 2 つ用意し，両質点の変位応答をそれぞれ算出する．地表面深さ d (m)における変位分布を算定したい場合は，1 次モードを仮定して補正する(図 5)．補正された変位応答差の最大値を求める．深い側の地盤の固有周期 T を横軸に，浅い側の地盤の層厚 h ・せん断波速度 V_s を凡例に取り，変位応答差の最大値を縦軸にプロットすることで，変位差応答スペクトルを求める．

(b) ひずみ応答スペクトル

(a)と同様に，2 つの 1 自由度系の速度応答差の最大値 ΔV を求める．

次に，「不整形性によって生じる速度差が生む運動エネルギーが，地盤が軸方向にひずむことによるひずみエネルギーで受け持たれる」というエネルギー保存を仮定し，速度応答差をひずみ応答に変換する．

速度差によって地盤に与えられる単位面積あたりの運動エネルギーを K ，ひずみエネルギーを S とすると， $K=S$ から最大ひずみ ε_{\max} は最大速度応答差 ΔV と以下のように関係づけられる．

$$e_{\max} = \frac{\sqrt{3p-8}}{2\sqrt{2p(1+n)}} \frac{\Delta V}{V_s} \quad K = \frac{r\Delta V^2 l}{32} \left(3 - \frac{8}{p}\right) \quad S = \frac{(1+n)rV_s^2 e_{\max}^2 l}{4} \quad (2)$$

(3) 簡易算出手法と有限要素法の比較

新スペクトルの簡易算出手法の適用可能性を検証するため，簡易算出手法と有限要素解析によって得られた新スペクトルを比較する．図 6 に，6 通りの h と V_s の組み合わせに対して，簡易手法（線，凡例：提案）と有限要素解析（点，凡例：FEM）で得られた地表面深さ 5m におけるスペクトルの比較を示す．いずれも，非常によい精度で一致することが確認できた．

4. まとめ

本研究では，基盤段差型不整形地盤における線状構造物の縦断方向の耐震設計に，応答変位法を適用することを想定し，地盤変位分布の簡易推定方法に関して検討を行った．地盤変位分布を簡易に決定することのできる新しいスペクトルを提案し，有限要素解析を行わない簡易算出手法も提案した．本研究の成果である新スペクトルとその簡易算出手法により，任意の地震動・減衰定数に対して即座にスペクトルが得ることができ，地下線状構造物の縦断方向の耐震設計において非常に有用であると考えられる．

参考文献 1) (社)日本道路協会，道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2002

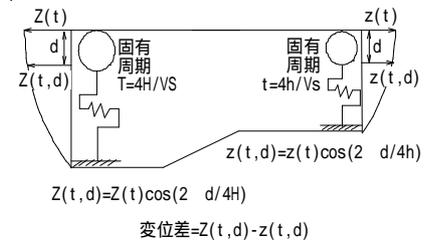
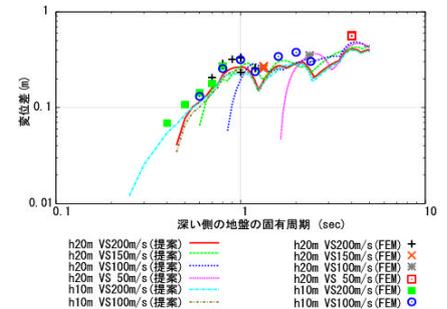
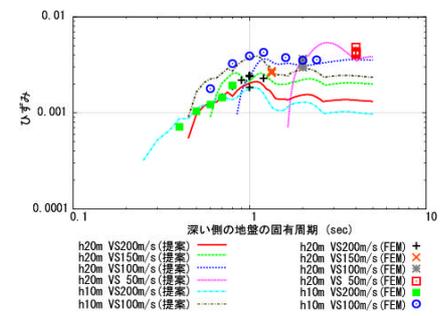


図 5 変位差応答スペクトル導出の概念図



(a) 変位差応答スペクトル



(b) ひずみ応答スペクトル

図 6 簡易算出手法と有限要素解析による新スペクトルの算定結果の比較