

軟弱地盤の非線形による地盤免震効果

九州建設コンサルタント(株) 正会員 ○大塚 哲哉
佐賀大学 正会員 荒牧 軍治
佐賀大学 正会員 古賀 勝喜

1. はじめに

兵庫県南部地震におけるポートアイランドのアレー観測から加速度が増幅されずに、逆に減少した観測結果が得られた。これは、液状化により地盤の非線形性が強く、エネルギーが減少したためと考えられる。軟弱地盤においても、地盤の非線形性は強くなることが考えられ、地盤の履歴減衰により加速度の大きな地震に対してはエネルギー減少つまり免震効果が期待できる。

本研究においては、軟弱地盤の免震効果が発揮できるものとして、地震を受ける側の地盤物性値と地震を発生する入力地震動の両面から考察したものである。

2. 解析モデルと解析概要

(1) 解析モデル

地盤の地震動応答解析は、地盤を水平成層地盤とみなした1次元モデルとして解析を行う。解析モデルの地盤物性値は、表-1に示すように、表層の土質1、及び土質2のせん断波速度 V_s をパラメータにして、モデル化した。地盤種別を示す地盤の特性値 T_c は、いずれも $T_c > 0.6$ (s)で、Ⅲ種地盤として扱える地盤構成を対象としている。

表-1. 地盤構成のモデル

層厚	解析ケース	$V_s = 70$	$V_s = 100$	$V_s = 130$	$V_s = 200$
10.5 m	土質1	$V_s = 70 \text{ m/s}$	$V_s = 100 \text{ m/s}$	$V_s = 130 \text{ m/s}$	$V_s = 200 \text{ m/s}$
8.0 m	土質2	$V_s = 130 \text{ m/s}$	$V_s = 130 \text{ m/s}$	$V_s = 130 \text{ m/s}$	$V_s = 200 \text{ m/s}$
14.0 m	土質3	$V_s = 250 \text{ m/s}$	$V_s = 250 \text{ m/s}$	$V_s = 250 \text{ m/s}$	$V_s = 250 \text{ m/s}$
地盤の特性値 T_c		1.07 s	0.89 s	0.79 s	0.60 s

(2) 解析概要

地盤地震応答の解析手法としては、等価線形解析であるSHAKEがよく利用されるが、SHAKEは、地盤ひずみが大きくなり、非線形挙動が強くなると、精度面での課題から適用できないことが指摘されている。本研究においては、地盤地震応答解析手法として、Ramberg-Osgoodモデルによる逐次非線形解析により、応答解析を行った。Ramberg-Osgoodモデルに使用する軟弱地盤のひずみ依存の動的変形特性は、佐賀有明粘土について振動三軸試験を行った試験値を使用した。

基盤に入力する地震波としては、基盤波として規定されている、コンクリート標準示方書・耐震性能照査編¹⁾のサンプルデータを使用した。入力地震波は表-2に示す5波形とし、地域別補正係数として0.7を乗じた。

表-2. 入力地震動

1	レベル1地震動	
2	レベル2	海洋型①地震動
3		海洋型②地震動
4		内陸型①地震動
5		内陸型②地震動

3. 解析結果

表一のモデルにおける地盤の地震応答解析結果から、レベル1、レベル2内陸型①の地震動に対する各深度の最大加速度応答および地表面加速度応答スペクトルを図-1～図-4に示す。

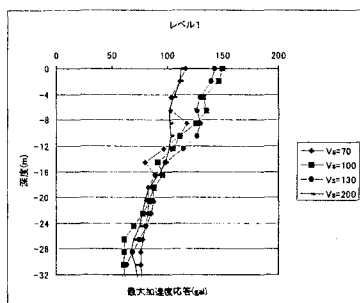


図-1. レベル1 加速度応答

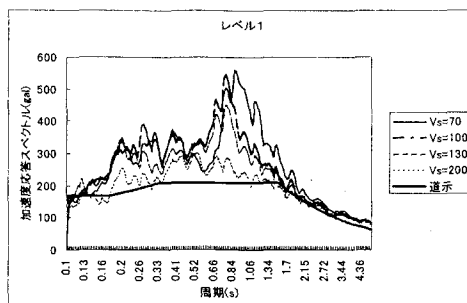


図-2. レベル1 加速度応答スペクトル

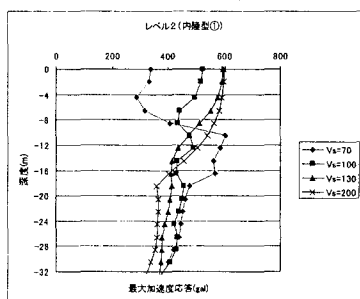


図-3. レベル2 (内陸型①) 加速度応答

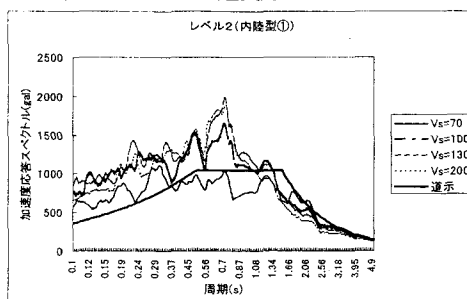


図-4. レベル2 (内陸型①) 加速度応答スペクトル

図-1. にレベル1地震動の最大加速度分布を示すが、せん断波速度 V_s が $V_s=200\text{m/s}$ から小さくなるに従って最大加速度応答は大きくなり、 V_s が 100 を下回ってくる頃から、地表面の加速度応答は逆に小さくなっていく。ただし、図-2. の加速度応答スペクトルをみると、せん断波速度 V_s が小さい場合は、長周期側の加速度応答スペクトル値が大きく、特に、周期 0.7(s) 付近から 1.5(s) 付近までは、顕著に表れている。また、せん断波速度 V_s が小さい地盤では、道路橋示方書²⁾ に示されている標準加速度応答スペクトルに比べて、非常に大きな加速度応答スペクトルを示している。

一方、レベル2地震動として内陸型①の最大加速度分布を図-3. に示す。レベル2のような大きな加速度を持つ地震動に対しては、せん断波速度 V_s が小さくなるに従って、地表面の加速度応答は小さくなっていく。特に、 V_s が 100 を下回ってくる頃から、地表面の加速度応答の減少は顕著になっていく。また、図-4. の加速度応答スペクトルをみると、せん断波速度 V_s が小さい場合は、加速度応答スペクトル値も小さく、地盤の非線形性による免震効果が表れている。特に、 $V_s=70\text{m/s}$ の場合においては、周期 0.3(s) 付近以上では、道路橋示方書に示されている標準加速度応答スペクトルに比べて、小さな加速度応答スペクトルを示している。また、長周期型地震波の海洋型でも、 V_s が 100 を下回ってくる頃から、加速度応答スペクトルは小さな値を示している。

4. まとめ

地盤の地震応答解析において、地盤の非線形性による免震効果が発揮されるのは、 $V_s=100\text{m/s}$ では顕著に加速度応答に表れてくる。レベル1地震動では、非線形性があまり強くなく、軟弱地盤の加速度応答スペクトルは大きくなるが、加速度の大きいレベル2地震動では、非線形性が強くなり、軟弱地盤の免震効果が表れてくる。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 耐震性能照査編 平成 14 年 12 月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・解説 V編耐震設計編 平成 14 年 3 月