1次せん断振動モデルを用いた地表面最大応答変位の推定法の検討

国土交通省土木研究所	正会員	西岡	勉
国土交通省土木研究所	正会員	運上	茂樹

<u>1.はじめに</u>地中構造物の耐震設計は、一般に応答変位法により行われ、表層地盤の最大応答変位(以下、Uh)の精度よい算出が重要である。各種設計基準においてUhを簡易的に求める場合、表層地盤を固有周期が等価な1層均質地盤とし、表層地盤の1次せん断振動の変位振幅からUhを求めることが多い。共同溝設計指針¹⁾、駐車場設計・施工指針²⁾では、レベル1地震動に対応する工学的基盤面の速度応答スペクトルとして入力地震動が設定され、表層地盤の1次せん断振動の変位振幅で地震時地盤変位を算出している。本文では、レベル2地震動に対して、表層地盤の1次せん断振動のモデルを用いて地表面最大応答変位(以下、Uh0)の試算を行い、その算出精度を検討した結果を報告するものである。

2.検討手法 表層地盤厚、初期せん断波速度(以下、Vs0)をパラ メータとした工学的基盤面上の1層および2層から構成される砂 質土の表層地盤モデルを設定し(表-1)、ひずみ依存性を等価線形化 法で考慮した1次元重複反射理論による地盤の動的解析(以下、 SHAKE)と表層地盤の1次せん断振動の変位振幅から求めた Uh0 の比較を行った。地盤のひずみ依存特性は岩崎らの研究³によった。

入力地震動は、兵庫県南部地震の東神戸大橋地点の地中(GL-33m)加速度記録を 図-1 に示す速度応答スペクトル(以下、Sv)に一致するように振動数領域で振幅調 整した地震波を用いた。

<u>3.地盤の剛性低下と減衰</u>地震動の強度により地盤のせん断ひずみレベルが異なることから、レベル2地震におけるひずみレベルに対応する地盤のせん断剛性、 減衰をSHAKEの結果から求める。各地盤モデルについて、表層地盤を10層に 等分割し、等価線形化による各層の収束した Vs、減衰定数(以下、h)を10層 で平均した。各地盤モデルについて、式

(1)により算出する地盤の特性値(以下、 Tg)と Vs0 に対する Vs の低下率(以下、 Vs/Vs0)および h の関係をそれぞれ、 図-2,3 に示す。

$$T_g = \sum \frac{4H_i}{V_{\text{soi}}} \tag{1}$$



の Vs0 および Vs は、各層の層厚の重みによる平均値を用いている。Vs/Vs0 は、0.18~0.34 の範囲にあり、全地 盤モデルの平均値は 0.25 となった。また、h は 0.27~0.29 の範囲にあり、平均値は 0.28 となった。ここでは、 レベル 2 地震に対応する砂質土地盤の剛性低下および減衰をそれぞれ一律に、Vs/Vs0=0.25、h=0.25 として、地 盤の 1 次せん断振動による変位振幅を算出した。

<u>4.表層地盤の固有周期と地表面最大応答変位</u> 表層地盤の固有周期(以下、Ts)および表層地盤の1次せん断振動 の変位振幅による Uh0 をそれぞれ、式(2),(3)により算出する。

$$T_{s} = \sum \frac{4H_{i}}{V_{Si}} \qquad (2) \qquad \qquad U_{h0} = \frac{4}{\pi} (\frac{S_{V}}{\omega}) = \frac{2}{\pi^{2}} \cdot T_{s} \cdot S_{V} \qquad (3)$$

キーワード:応答変位法、地表面最大応答変位、1次せん断振動モデル、レベル2地震動、擬似変位応答スペクトル

連絡先:〒305-0804 つくば市旭1番地 TEL 0298-64-4966、FAX 0298-64-4424

表-1 表層地盤モデル				
地盤モデル	表層地盤厚(m)	Vs ₀ (m/s)	ケース	
1層地盤	10,20,30,40	100,150,	4×3=12	
		200		
2層地盤	10,20,30	100/150,	9×3=27	
(上層/下層)	(5/5,5/15,10/10,	100/200,		
	15/5,5/25,10/20,	150/200		
	15/15,20/10,25/5)			







-706-

ここに、Vsi:i 層の地震時せん断波速度、 :表層地盤の基本円振 動数である。

<u>5.地表面最大応答変位の比較</u>式(3)と SHAKE による Uh0 の比較 および両者の相関係数 1を図-4に示す。Tsが2秒より長くなると、 式(3)による Uh0 が SHAKE の結果より大きくなるのがわかる。 Uh0 の差が大きくなる要因として、図-5,6,7 にそれぞれ、 h = 0.05,0.15,0.25 の工学的基盤面地震波の変位応答スペクトル(以 下、Sd)と Sv から算出した擬似変位応答スペクトル(以下、Sv/)の 比較を示す。h が大きくなると、固有周期 T が長くなるにしたがっ て、SdとSv/の差が大きくなる。図-8にSv/を用いずに、Sdを



地表面最大変位の比較(式(3)と SHAKE)

(4/π) • Sd

1.0

[•]SHAKE 1層地盤

SHAKE 2層地盤

2.0

相関係数 p 2=0.90

地盤の固有周期Ts(s)

地表面最大変位の比較(式(4)と SHAKE)

3.0

4.0

5.0

100

100.0

80.0

60.0

20.0 휲

> 0.0 0.0

叉-8

:大変位Uh0(cm)

表面最: 40.0 h=0.25

直接用いた式(4)と SHAKE による Uh0 の比較および相関係 数 2 を示す。



h=0.15

100

方が式(3)による Uh0 より SHAKE の結果に近くなる。h=0.25 の大き な減衰では、Ts が長い範囲で Sd と Sv/ の差が大きくなるため、式(3) が Uh0 を過大に評価することがわかる。また、式(3)または(4)による Uh0 の算出に影響を及ぼす他の要因として、表層地盤各層の地震波の 伝播時間の和による Ts の精度が考えられる。図-9 は Ts と、SHAKE の基盤に対する地表面の伝達関数がピークとなる周期(以下、Td)の比較 を行ったものである。ここで用いた地盤モデルでは、Ts は2秒までは Td より短く、2.5 秒以上では逆に長い傾向があるが、Ts は Td を概ね 近似できている。Td を地盤の固有周期として、式(4)に用いた場合の Uh0の比較および相関係数 3を図-10に示す。図-8に比べて Tsが 1.5

秒以内の範囲では SHAKE の結果 に近づくが、1.5 秒以上の範囲での SHAKE の結果との相関が改善し ているかは明確でない。Ts が Td と 近似しているため、Td を式(4)に用 いた場合とTsを式(4)に用いた場合 の Uh0 に大きな差はない。

6.まとめ レベル2地震動に対し ては、地盤のひずみレベルが大きく、 hが大きくなるため、Tsの長い領域 で Sv/ の Sd に対する近似度が悪く



なり、式(3)による Uh0 が過大となる傾向がある。Ts が2秒以上の範囲も対象とする場合は式(4)を用いる方がよ い。また、本検討で用いた地盤モデルでは、Ts が Td を概ね近似できているので、地盤の固有周期として Td を用 いても、Uh0 への影響は大きくないことがわかった。

参考文献 1)(社)日本道路協会:共同溝設計指針、1986 年 3 月、2)(社)日本道路協会:駐車場設計·施工指針 同解説、1992 年11月、3) 岩崎敏男ら: 地盤の動的変形特性に関する実験的研究()、土木研究所報告153の2、1980年3月

-707-