

動的変形特性の入力数が地震応答解析結果に及ぼす影響

九州工業大学工学部 学生員 ○中村勇平
 同 上 正会員 永瀬英生
 同 上 正会員 廣岡明彦
 九州工業大学大学院 学生員 小田真也

1. はじめに

地震応答解析を行う際には、地盤の G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線が必要となる。応答解析結果の精度を高くするには、サンプリング個数を多くし、試験によって G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線を多く得ればよい。しかしながらサンプリング個数が多くなると手数がかかり、コストが高くなってしまふ。よって、ここでは、1)サンプリングの位置を変える、2) G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線を推定する、の2点によって精度を保つことを考える。1)のサンプリング位置については、モデル地盤を作成し、土木研究所資料に示されている $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線とHardinの式より求められる $h \sim \gamma$ 曲線を用いて解析を行った。2)の曲線推定には、東京湾岸埋立地の1本のボーリング孔より採取した不攪乱試料の G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線を用い、その埋立地盤に対して解析を行った。また、解析には等価線形法に基づく一次元全応力地震応答解析プログラム「SHAKE」を使用した。

2. 解析方法

モデル地盤の解析の場合には、基盤から地表面までの高さを20mとし、 G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線が40データ与えられたときの最大加速度を基準とし、 G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線が5データしか与えられていないときの最大加速度と比較した。ずれの程度を見るために、ずれの和として次式を定義した。

$$d = \sum_{i=0}^4 [\alpha_{\max 40}(z = -4i) - \alpha_{\max 5}(z = -4i)] \quad (1)$$

ここに、 $\alpha_{\max 40}(z)$: G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線が40データ与えられたときの最大加速度

$\alpha_{\max 5}(z)$: G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線が5データ与えられたときの最大加速度

z : 地表面からの深さ (m)

式(1)の d が大きい程、ずれの度合いが大きいことを意味する。そして、入力データの地震波、地下水位、地質、せん断弾性波速度の分布、を変化させることにより、応答のずれの傾向を調べた。入力地震波としては、EL-CENTRO地震（インベリアル・バレー観測）のNS成分と十勝沖地震（八戸観測）のNS成分を、最大加速度 $2E=100g$ に調整したものを用いた。せん断弾性波速度分布は $V_s=100m/s \sim 500m/s$ の間で全243通り変化させた。

不攪乱試料（全76供試体）を用いた G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線の推定には、安田・山口が行った方法¹⁾を参考にして、 G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線を平均粒径 D_{50} と平均有効主応力 p' の関数として整理した。

$$G/G_0 = (A1 + A2 \times \log_{10} D_{50}) \times p'^{(B1 + B2 \times \log_{10} D_{50})} \quad (2)$$

$$h = (C1 + C2 \times \log_{10} D_{50}) \times p'^{(D1 + D2 \times \log_{10} D_{50})} \quad (3)$$

ここに、 D_{50} : 平均粒径 (mm)

p' : 平均有効主応力 (kgf/cm^2)

$A1 \sim D2$: 表-1に示す定数

そして、式(2)、(3)から求められる G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線と室内試験で求められた G/G_0 、 $h \sim \gamma$ 曲線を用いて解析を行い、応答結果を比較してみた。

3. 解析結果

表-2、3にモデル地盤の解析結

表-1 式(2)(3)の係数

γ	A1	A2	B1※	B2※	C1	C2	D1※※	D2※※
3×10^{-5}	0.861	-0.035	0.000	0.000	0.013	0.002	-0.491	-0.288
10^{-4}	0.740	-0.062	0.010	0.005	0.038	0.008	-0.359	-0.211
3×10^{-4}	0.454	-0.132	0.036	0.016	0.092	0.022	-0.255	-0.150
10^{-3}	0.198	-0.143	0.075	0.034	0.144	0.030	-0.126	-0.074
3×10^{-3}	0.060	-0.107	0.164	0.075	0.183	0.031	0.000	0.000
10^{-2}	0.030	-0.047	0.350	0.159	0.230	0.032	0.000	0.000

※ $D50 < 0.0064mm$ で $B1, B2=0.0$ ※※ $D50 < 0.02mm$ で $D1, D2=0.0$

果を示す。全解析数は2×729通りである。地震波の違いでみると、表-2より、衝撃型である十勝沖の方が振動型であるEL. CENTRO よりずれが大きいようである。地質でみると沖積砂のみの方が粘土層を含むときよりずれが大きいようである。これは沖積砂のほうが、せん断ひずみ γ の増加に対する G/G_0 の減少度合いが大きいためであると考えられる。表-3にずれ度合いの特に大きかった解析を示す。地表面近くが軟弱な沖積砂で基盤近くが硬い地盤のずれが大きくなっている。また、 G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線が5データしか与えられていない地盤において $V_s=100$ m/sの層にだけ、さらにもう1データ加えた解析結果(40, 5~10階- γ)も表-3に示す。これをみると、ずれ度合いが、小さくなっていることがわかる。よって、軟弱な層においては G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線を細かく得る必要がある。

図-1に試験による G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線と式(2), (3)によって推定した G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線を用いた解析結果を示す。最大加速度、最大変位とも、比較的良く一致しているといえる。

以上より、解析に際して、地質に対応した G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線が得られていない場合や、同一層内であっても、粒度分布が変化している場合、また、変化していても上で述べたずれの度合いを大きくする条件に当てはまる場合には解析結果の精度が落ちるため、式(2), (3)などを用いて G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線を推定し、適当な位置に挿入する必要がある。

4. あとがき

今回は、 G/G_0 , $h \sim \gamma$ 曲線の推定式の変数として p' と D_{50} をとってみた。今後、他の要因として間隙比 e も考慮する必要があるのではないかと考えている。

「参考文献」

1) 安田進・山口勇：種々の不攪乱土における動的変形特性，第20回土質工学研究発表会，pp. 539-542, 1985.

表-2 各種入力条件が解析結果のずれに与える影響

		ずれの和が10gal 以上の解析数	最大ひずみ0.5% 以上の解析数	解析 数
地震	EL. CENTRO.	11	28	729
	十勝沖	71	106	729
地質	沖積砂	65	133	729
	沖積砂・粘土	17	1	729
地下水位	0.0m	42	86	729
	-4.0m	40	48	729

注) ずれの和が10gal以上の解析数には、最大ひずみが0.5%を超えたものを含んでいない。

表-3 ずれの和が40gal以上の解析

V_s の分布 (m/s)					沖積砂 十勝沖 地下水位0.0m	
0~4m	4~8m	8~12m	12~16m	16~20m	ずれの和 (gal)	ずれの和 (gal)
100	200	300	300	500	40, 5階- γ	40, ※5~10階- γ
100	200	300	500	500	40.277	0.883
100	200	300	500	500	47.412	1.382
100	200	500	300	500	44.864	0.882
100	200	500	500	300	40.453	0.705
100	200	500	500	500	52.429	1.665

※ $V_s=100$ (m/s)の層のみ、さらに1データ追加

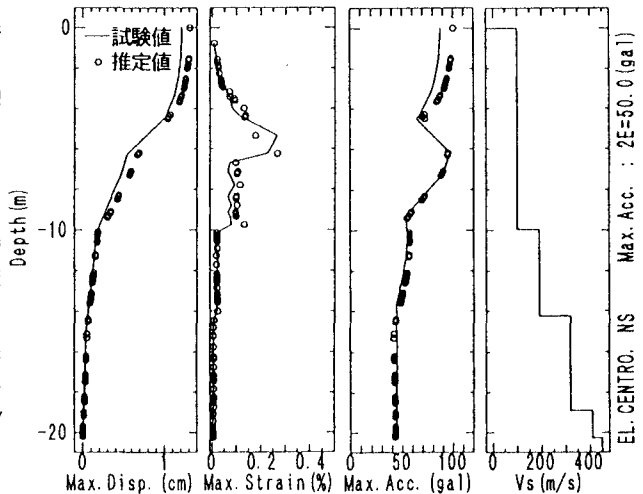


図-1 試験値と推定値を入力したときの応答比較