

III-39 沖積層地盤の地震応答特性および震度分布について (大阪市の場合)

京都大学防災研究所 正員 吉川 宗治
(財)大阪工実試験所 正員 ○岩崎 好規

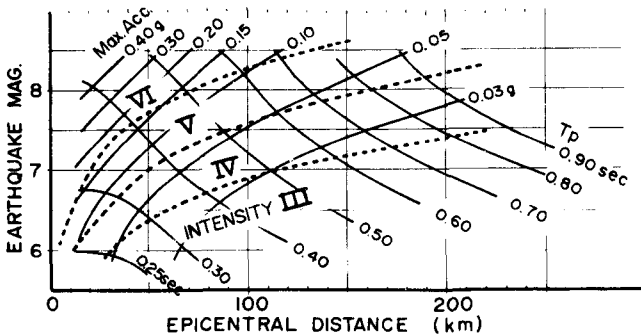
1. まえがき

沖積層が比較的硬い地盤の上にある時、その硬い地盤を地震基盤と考えて $Mag = 7$ 程度の近地地震による沖積層の地震応答を多質点系モデルを用いかつ応力-ひずみ関係のひずみ依存性をも考慮に入めて計算した。用いた沖積層モデルは水平構造をなす砂質土および粘性土系のもので、得られた結果を大阪市の場合に適用して考察した。

2. 地震動のモデル化

普通の構造物は垂直方向より水平方向の力に弱いこと、今までの地震観測による水平成分の方が垂直成分の地震の振幅より約 2-3 倍大きいことから、第一近似として震害に関係する地震のエネルギーはせん断波が地下から地表に達して伝播するものと考えることが出来る。地震基盤での地震動特性を加速度で表す“最大加速度”と“卓越周期”で代表させて考えることは、 $Mag.$ 、震央距離平面上で図-1 のように示す。最大加速度 (Max. Acc.) と卓越周期 (T_p) は実線で示してあるが震度もローマ数字で点線で示してある。今 $Mag = 7$ 程度の震央距離 20-30 km の近地地震と考えると、最大加速度 0.1-0.2 g, 卓越周期 0.3-0.4 sec の地震動を地震基盤に与えることと地震動はモデル化できることが分る。そこで基盤への入力加速度波形は、 $Max. Acc. = 0.18g$, $T_p = 0.33 \text{ sec}$ の Taft 記録 (1952) を用いた。

図-1 地震基盤での地震動特性



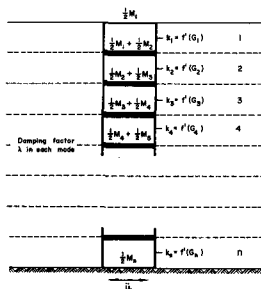
3. 沖積層モデル

沖積層モデルとしては、砂層と粘性土層の水平層を考えた小さ小層厚 5, 10, 20, 30, 40 m の場合について検討した。砂層と粘性土層の地盤構成は表-1に示したようなものである。深度の増大と共に相対密度は小さくせん断強さは増加するものと、地下水位は深度 1 m の深さにあるものと仮定した。連続体と多質点によるモデル化した際の近似の程度は、主として質点数による。連続体水平構造を多

表-1		冲積砂层			冲積粘性土	
深度	相对密度	修正係数	单体重量	せん断強さ	单体重量	
0~5 m	R_d % 40	0.5	γ g/cm ³ 1.5	S_u kg/cm ² 0.20	γ g/cm ³ 1.5	
5~10	40	0.5	1.7	0.20	1.5	
10~20	50	0.6	1.8	0.45	1.5	
20~30	65	0.8	1.8	0.75	1.5	
30~40	80	1.0	1.8	1.00	1.5	

質点セン断バリ系で水平運動をモデル化し、加速度で厳密解と比較した結果、精度と質点数との関係は主として系の固有周期によっていることが Seed 等²⁾によって示されている。こゝでは多質点系のモデル化によって生ずる誤差は5%以内になるように、固有周期によって用いる質点数を求めている。

図-2 集中質点系モデル 質点間連結要素は次に述べる方法により求め、Modal Analysisの手法により応答計算を行う。(修正係数; 図-3の G_n の値も相対密度に応じて補正する)。



4. 土の応力-ひずみ関係のモデル化

土要素の応力-ひずみ関係は、その性状が応力の大きさによって大きく変化するこゝが明らかにされている。現在の実際の土要素の応力-ひずみ関係のモデル化は、等価線型係数を用いるこゝで解決されているが、係数値の大きさは“ひずみ”レベルに応じて大きく変化するこゝが

図-3

図-4

Seed 等³⁾によつて指摘されている。

沖積層の土要素の応力-ひずみ関係を線型等価せん断係数と等価減衰定数とで表わしこゝのひずみ依存性は図3~4に示すSeedの提案する関係を採用した。

5. 等価線型係数のひずみ依存性を導入した応答解析

実際の手順はまず適当な係数と仮定して応答を試算し、ひずみレベルを求めこゝに応じた係数を新しく設定する。さらにその係数を用いて応答を試算し得らるひずみレベルを用いた係数とが適合するまでくり返す。通常3~4回程度の繰返しで充分のようであるが、

例として厚5mの砂層の計算結果を次に示す(表-2)。最初に仮定した等価線型せん断係数 G は $G_m = 200 \text{ kg/cm}^2$ でS波速度 $V_s = 115 \text{ m/sec}$ の程度であるので弾性波探査から得らる値(沖積砂層90~150%)である。 G_{1a} , G_{3a} はこゝをこゝ1回、3回目の試算で仮定された G の値で、計算されたせん断ひずみ、せん断応力、加速度 (δ, τ, a)

表-2 沖積砂層地震応答 ITERATION STEP-毎の応答比較

深度	G_{1a}	G_{10}	G_{3a}	G_{30}	$\gamma_{1, \max}$	$\gamma_{3, \max}$	$\tau_{1, \max}$	$\tau_{3, \max}$	$a_{1, \max}$	$a_{3, \max}$
0. m										
0.5	200	198	190	191	0.004	0.006	0.009	0.011	0.25g	0.30
0.5									0.24	0.30
1.0	200	231	225	223	0.013	0.015	0.026	0.034	0.24	0.30
1.0									0.21	0.28
2.3	200	175	120	100	0.029	0.062	0.057	0.074	0.20	0.23
2.3									0.18	0.18
3.6	200	133	70	57	0.048	0.182	0.095	0.127		
3.6										
5.0	200	115	55	48	0.065	0.299	0.131	0.164		
減衰	$\lambda_{10} = 0.20$	$\lambda_{10} = 0.14$	$\lambda_{30} = 0.17$	$\lambda_{30} = 0.19$	$(G_{10}, G_{30}$ は1回, 3回の試算でひずみレベルから求めたもの)					

深度別に示してある。この例から分るように、弾性波探査などの弾性範囲応力時のS波測定結果をそのまま用いて大地震時応答を推定したもの(1回目)とひずみ依存性を導入した結果(3回目)との間には、相

当の違いがある。ひすみ依存性を導入することで応答計算の結果がピークの変化が表-2から求
めると表-3のようになる。地表面加速度で約20%、地盤の固有周期は約170%と大きく変化している。

表-3

	①S波など よりGを 推定した時	②ひすみ依 存性を導入 したとき	①,②で 倍増した 値の%
G $\frac{kg}{m^3}$	200	50 ~220	75
Vs $\frac{m}{sec}$	115	60 ~120	50
地表面 Q max g	0.25	0.30	20
δ max %	0.004 ~0.065	0.006 ~0.30	45
τ max $\frac{kg}{m^2}$	0.009 ~0.130	0.011 ~0.164	25
周期 sec	0.18	0.31	170

6. 沖積層応答解析結果

以上述べてきたシミュレーションの手法を用いて、Mag=7.程度、近
地地震による沖積層の応答を計算し、得られた地表面加速度とモトは
レスポンス・スペクトラムの計算を行い図-6には、地表面での最大加
速度と加速度レスポンス・スペクトラム、又図-5には、速度レスポ
ンス・スペクトラム、変位レスポンス・スペクトラムと各層厚毎、砂層
粘性土層毎に示した。尚スペクトラム・ダンピングは5%で計算して
いる。地表面最大加速度は、層厚5m付近で最大値を示し、層厚10m
より厚い時には層厚による変化は乏しく粘性土層で約0.3g、砂層で約

0.15gを示している。加速度レスポンス・スペクトラムは層厚が厚くなるにつれて、ピーク時の鋭さは
減り、フラットな形になり、最大応答加速度を示す卓越周期の値は層厚と共に大きくなり、
と分かる。又砂層と粘性土層の応答の違いは、層厚が
約20m以上になると明確になり、砂層の応答レ
ベルは粘性土層のそれらに比べて約半分程度に低いこ
とが明らかであるが、これは主として図-3-4に示して
いるように同じひすみレベルに対して砂層の方が粘性土
より減衰定数が約2倍程度大きいことによるものであ
る。各層の固有周期は表-4

表-4 沖積層の固有周期(sec)

層厚m	5	10	20	30	40
砂層	0.31	0.74	1.17	1.41	1.60
粘性土層	0.25	0.58	0.88	0.96	1.10

7. 大阪市内 地震時応答

大阪市内は、
上町台地付近
を除いて0.5
mの層厚の沖
積層の上に都
市が形成され
ている。沖積
層の下には、
数百メートル
で大阪層群と
呼ばれる洪積
層があり、さ

図-7

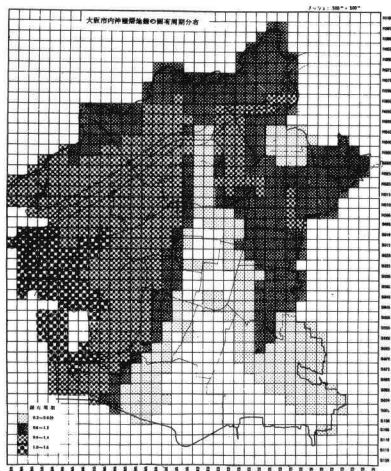


図-5

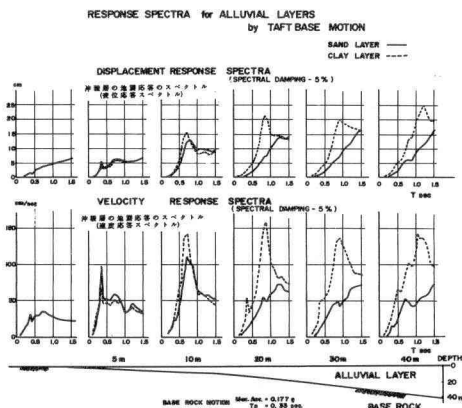
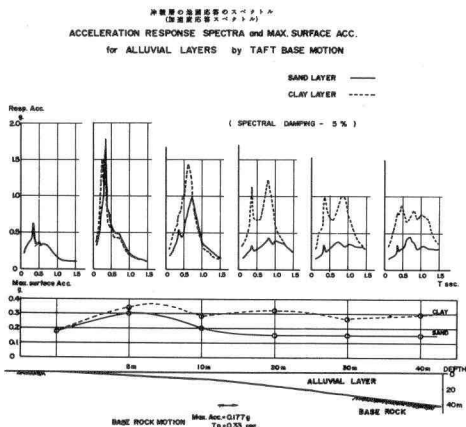


図-6



らにその下には、二
上層群がフタき、花
崗岩がその下に存
在している。

沖積層を地盤基盤
とみなせるならば、
6.で示した応答計算
の結果を参照して、
大阪市内での近地地
震で $M=7$ 程度の
ものによる地震時応
答は次のように推定
される。大阪市内の

沖積層は、砂層とか粘性土層の単一層ではなく砂、粘性土層
の互層になっている。互層の応答は、単一層の砂、粘性土層
の応答範囲内であろうと推定されるので、ある層厚を持つ互
層の応答は、同じ層厚を持つ単一層の応答と比較すること
で応答範囲の推定ができる。図-7~10には、大阪市内沖積
地盤の大地震時固有周期、最大応答加速度、最大応答速度、
最大応答変位の分布図を示した。

8. あとがき

土要素の応力-ひずみ関係にひずみ依存性を導入した沖
積層地盤の地震応答特性は、弾性波群査探から得られる微
小ひずみ時のS波速度をそのまゝ用いた場合の特性とは相当
に異なる可能性を示し、ひずみ依存性を導入した地震応答特
性を大阪市内に適用し Micro-Zoning を試みた。今回用いた lumped-mass Analysis によるにしても、
他の解析法によるにしても、土要素の応力-ひずみ関係を正確に求めるということが先決であり、
特に地震時の土の応答を考える際には、より現実的な忠実な解を得るための近道となる。今回の研究
には、機会を与えて頂いた大阪市の福山総合計画局長、近藤再開発計画課長、安藤市街地再開発係長
の方々にお世話になった。深くお礼申し上げます。

参考文献

岩崎好規(1971) "近畿地方で耐震工学上考慮すべき地震について" 土木学会関西支部年次学術
講演会 振興 Ⅲ-16, 昭和46年5月

2) Idriss, I.M. and Seed, H.B. (1969) "Seismic Response of Horizontal Soil Layers" Journ. of Soil Mech. and Found. Div. ASCE, Vol. 94, No. SM4, July

3) Seed, H. Bolton and Idriss, I.M. (1968) "The Influence of Soil Conditions on Ground Motions during Earth-
quakes" Journal. of the Soil Mech. and Found. Div. ASCE, Vol. 94, No. SM6, Nov.

図-8

