# 伊勢湾沿岸地域における動的変形特性とその動的解析結果の一考察

#### 

### 1 はじめに

近年、東海地震、東南海地震、及び南海地震の発生が 懸念されており3地震が同時発生した場合、最悪の場合 死者は約24,700人に達するとされている<sup>1)</sup>。

このため名古屋市を含む濃尾平野地域においても、耐 震解析などに必要な動的変形試験の依頼が当組合でも急 増(H18年度/H17年度=200%)している。

本報文は、当組合で実施した伊勢湾岸地域における動 的変形試験結果と既存データとの整理・比較を行い、歪 みレベルに対応した違いについて検討した。また、その 結果を適用して、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 (H14.3)<sup>2)</sup>に基づき、一次元地震応答解析(SHAKE) を行い、得られた最大変位について、ここで整理した動 的変形特性の違いが、どの程度の差異を生じることにな るのかについて、濃尾地盤の代表的な地盤モデルを2種 類選定し検討した結果について報告する。

### 2 伊勢湾地域の地質概要

濃尾平野を含む伊勢湾岸地域は、花崗岩類が基盤を成 し、この上部に東海層群と呼ばれる第三紀層が(濃尾平 野では西側に傾斜)分布し、第四紀層の沖積層がこれら を覆う形で分布している(図-1参照)ことがよく知られ ている<sup>3)</sup>。

地震応答解析に適用する地盤は、図-1において、名古 屋港付近と四日市周辺の地盤モデルで検討した。

# 3. 伊勢湾岸地域における動的変形特性の比較

# (1) データサンプル地点

今回の検討に供したサンプル地点は、名古屋市近郊の 濃尾平野、四日市港湾地区、三河港地区、豊橋地区など 伊勢湾沿岸とその周辺地域を中心に、当組合で実施した 土質試験データからサンプリングした(図-2参照)。

### (2) 伊勢湾地域の動的変形性質

過去数年に渡って、伊勢湾地域で採取された不攪乱試



図-1 伊勢湾北部臨海地帯の模式断面図<sup>3)に加筆</sup>



図-2 データサンプル地点と解析モデル地点

料から動的変形試験を行い、得られた動的せん断定数を H·D モデルを用いて整理してみた。

今回用いたデータは沖積粘土17,沖積砂質土10、洪積 砂質土9の計36試料である。これらの粒度区分を表-1に 粒度特性を図-3に示す。試験はJGS0542の「地盤材料の 変形特性を求めるための繰返し三軸試験」に従って実施 し、載荷周波数は0.1Hz とし、各段階の10波目のヒステ

表-1 材料特性

地質区分	粘土	シルト	砂	礫	
沖積粘土	$25{\sim}45$	$27 \sim \!$	$1 \sim 10$	$0 \sim 3$	
沖積砂質土	3~	-21	$41 \sim 77$	$0 \sim 8$	
洪積砂質土	4~	-18	$45 \sim 78$	$0 \sim 10$	





リシスループから定数を求めた。

図-4に各地層のせん断定数 G とせん断歪  $\gamma$ の関係を H-D モデルにより得られた初期せん断剛性定数 G<sub>0</sub>でそ れぞれ正規化した。沖積粘性土は岩崎・常田ら<sup>4)</sup>、沖積 砂質土は岩崎・龍岡ら<sup>5)</sup>、洪積砂質土は国生・佐々木ら <sup>6)</sup>によるデータに、濃尾平野の代表的データ<sup>7)</sup>をそれぞ れ比較した。

各データとも歪みレベルが小さい領域において、 G/G<sub>0</sub>の低下の割合が小さいことが特徴的であり、特に洪 積の砂質土層においては国生らのデータに比べて特に違 いが大きいことが判った。

図-5は各層の減衰定数 $h\sim G/G_0$ の関係を図化したものである。沖積粘性土には大きな違いはないものの、沖積砂質土・洪積砂質土において既存データより $h_0$ がやや小さい傾向が見られる。

以上のことから、動的解析を行う場合に、動的変形特 性をこれら既往の資料に基づいて入力すると、小さな歪 みレベル領域において、伊勢湾沿岸地域の地盤と差異が 生ずることを示唆していると考えられる。

### (3) せん断剛性率と間隙比

図-6は粘性土と砂質土でのせん断剛性率Gと間隙比eの関係を図化したものである。沖積粘性土では間隙比が 1.0~2.0でせん段剛性率が20~30の範囲にあるものの もう少しデータが増加すると相関式を提案できると考え られる。砂質土では間隙比0.5~1.0の範囲でせん段剛性 率が40~60に集中している(間隙比は圧密後のもの)。



図-4  $G/G_0$ ~せん断歪  $\gamma$  関係

# 4. 一次元地震応答解析

## (1)検討地盤モデルの作成

a.地盤モデルの選定

ここで解析した2種類の地盤モデル(図-7参照)は、 道路橋示方書における第Ⅲ種地盤<sup>2)</sup>に相当するが、沖積 粘土層が厚く分布する地盤モデルA(四日市付近<sup>8)</sup>)と、 濃尾平野の代表的地層(沖積層、D<sub>3u</sub>、D<sub>3L</sub>、D<sub>m</sub>)が分 布する名古屋港付近<sup>9)</sup>を選定した。前者の地層区分には、



図-6 せん断剛性率 G~間隙比 e の相関

図-1を適用し、後者については地盤図が特定している地 層区分を適用し図-7の地盤モデルを作成した。 b.地盤の特性値の設定

地盤モデルを設定する際に、ボーリング実施時にPS 検層、土質試験が実施されているデータを適用すること が望ましいが、本報文では*N*値による推定、道路橋示方 書が提案している単位体積重量を適用した。

耐震設計上の地盤種別については、式-1<sup>2)</sup>、**表-2**を採 用した。

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^{n} (H_i / V_{si})$$
 (\$\pi-1\$)

ここに、

 $T_G$ : 地盤の特性値

*H<sub>i</sub>*: *i*番目の地層の厚さ(m)

Vsi:i番目の平均せん断弾性波速度(m/s)

i:検討地盤の地層区分で、耐震設計基盤面 までを n層に区分される際の i 番目の地層

**表-2** 耐震設計上の地盤種別<sup>2)</sup>

地盤種別	地盤の特性値 $T_G$ (s)
I 種	$T_G\!\!<\!0.2$
Ⅱ種	$0.2 \! \leq \! T_G \! < \! 0.6$
Ⅲ種	$0.6 \leq T_G$

また、そのせん断弾性波速度 Vs の推定には、式-2<sup>2)</sup> を適用した。

粘性土層:  $V_{si}=100N_i^{1/3}$  (1  $\leq N_i \leq 25$ ) 砂質土層:  $V_{si}=80N_i^{1/3}$  (1  $\leq N_i \leq 50$ ) } (式-2)

以上の算定により、表-3および表-4の地盤モデルとなる。

また、応答解析に適用したせん断剛性比(*G/G*)および 減衰定数(*h*)とせん断ひずみ(γ)との関係については、 3.(2)で設定した提案式(提案モデル)と既往の提案式(標 準モデル)と併せて比較検討した。なお、提案モデルの 内、3.(2)でデータ整理できていなかった洪積粘性土層に ついては、大橋等が提案している文献-7を適用した。 c.耐震設計上の基盤面

道路橋示方書によると、耐震設計上の基盤面は、対象 地点に共通する広がりを有し、十分堅固な地盤の上面を 想定し、 $V_{si} \ge 300 (m/s)^{2}$ とされている。一般的に、粘性 土層では  $N 値 \ge 25$ 、砂質土層では  $N 値 \ge 50$ とされてお り、これを適用した。

d.動的解析に用いた地震動と加速度

道路橋示方書に準じて、レベル1、2地震を適用した。 レベル1地震動について、伊勢湾沿岸地域では、式-3によ り設定する。

 $S=c_z \cdot c_D \cdot S_0 \qquad (\vec{\mathfrak{X}}\cdot 3)$ 

S:レベル1地震動加速度応答スペクトル(gal)
c₂:地域別補正係数(当地域では、1.0)
cD:減衰定数別補正係数



図-7 解析用の地盤モデル

であり、*h*に応じて算出するが、当地域では、*h*=0.05を 適用すると、1.0となる。

この結果、表-2より、地盤モデルA,Bともに第Ⅲ種地盤 となり、固有周期 T は、 $0.34 \le T \le 1.5$ に相当すること から、 $S_0=300$  (gal) と設定することができる。よって、 ここで検討する加速度は、S=300gal とできる。一方、 レベル2のタイプ II 地震動については、同様に  $S_{II}$ =1,500gal と設定することができる。 以上作成した地 盤モデルを図-7に示し、地盤特性値を表-3~4に示した。 e.動的解析に用いた強震記録波形

レベル1地震動におけるⅢ種地盤では、1983年日本海 中部地震(M=7.7)津軽大橋周辺地盤上において計測さ れた波形を道路橋示方書が提案している。

レベル2タイプII地震動におけるIII種地盤では、1995 年兵庫県南部地震(M=7.3)ポートアイランド内地盤上 で計測された波形を道路橋示方書が提案している。

### (2) 解析結果

解析結果では、加速度分布、変位分布などが得られる が、最大変位の深度分布について図-8に整理した。

表示は、適用した動的変形特性の「標準」タイプとこ こで示した「提案」タイプとした。得られた結果から、 提案タイプと標準タイプでは、レベル1では大きな変位 差が生じないが、レベル2の最大変位において、地盤モ デルA,Bともに差異が生じる結果となった。このことか ら、さらに色々な地盤モデルについて検討を加える必要 があるが、濃尾地盤においても代表的モデルで検討する だけでなく、調査地域のデータの活用が望ましい。

6. まとめ

今回は、当組合で実施した試験データから伊勢湾岸地 域で採取された不攪乱試料の動的変形特性について、我 国の代表的な値(拘束圧に依存する沖積層:σ'=100 kN/m<sup>2</sup>のデータを採用)と比較し整理した。この結果、歪 みレベルの小さな領域で、代表的特性と異なることが判 明した。したがって、検討地点の調査の実施・地盤特性



図-8 解析結果(最大変異量)の比較

表−3	地盤モデルA(T <sub>G</sub> =0.973→Ⅲ種地盤)	)
-----	------------------------------------	---

表-4 地盤モデルB(T<sub>G</sub>=0.847→Ⅲ種地盤)

地層	地層	区分	層厚 (m)	平均 N/値	単体 γ t	Vs (m/s)	H/Vs	地層 悉号	地層	区分	層厚 (m)	平均 N値	単体γt (I+N/m <sup>3</sup> )	Vs (m/s)	H/Vs		
1			1.52	4	17.0	127	0.0120	1			2.00	5	18.0	171	0.0117		
2		隘土	1.52	2	17.0	101	0.0151	2		As	1.80	2	16.0	126	0.0143		
3			1.91	4		127	0.0150	3		Ac	1.90	0.5	15.5	79	0.0239		
4			1.90	2	18.0	101	0.0189	4			1.40	0.5		79	0.0176		
5	As	1.0	1.85	25		234	0.0079	5		As	2.30	6	17.5	182	0.0127		
6		AS	2.02	42	17.5	278	0.0073	6			2.30	5		171	0.0135		
7			2.32	43	18.0	280	0.0083	7		Ac	2.20	1	15.5	100	0.0220		
8	油積屋		1.46	7	17.5	153	0.0095	8		As	0.70	5	16.0	171	0.0041		
9	作慣層		2.50	2	16.0	126	0.0198	9	- 洪積層 (D3u)	Dc	0.90	12	15.5	229	0.0039		
10	~		2.50	2		126	0.0198	10		Ds	2.20	20	18.0	271	0.0081		
11		Δο	2.50	2	15.5	126	0.0198	11			2.20	33		321	0.0069		
12		AC	2.50	2		126	0.0198	12		Dc	0.50	11	15.5	222	0.0022		
13			2.50	3		144	0.0173	13		Ds	1.10	50	18.0	368	0.0030		
14			3.29	3		144	0.0228	14		Dc	1.70	15	16.0	247	0.0069		
15		As	2.95	11	16.0	178	0.0166	15		Ds	2.80	43	18.0	350	0.0080		
16		Ag	1.80	46	19.0	287	0.0063	16	、 洪積層 (D3L)		1.90	16	16.0	252	0.0075		
17	洪積層	Lsic	2.00	25	16.0	292	0.0068	17		D	2.50	10		215	0.0116		
18	(Lsi)	Lsig	-	50	19.0	300		18		Dc	3.05	7	15.5	191	0.0159		
						$T_{G}$	0.973	19						3.05	5		171
								20	洪積層 (Dm)	Ds	-	50	18.0	368			
									T <sub>G</sub>	0.847							

の把握を行うことの重要性を示していると考える。

今後はデータ不足で検討できなかった洪積粘土層につ いてもデータを集積して、より精度の高い解析に寄与す べく基礎資料となるように考察を加えていきたい。 謝辞:本検討に際し資料をご提供頂きました関係者各位に 深謝の意を表します。また、地震応答解析に際しましては、 ご指導頂きました基礎地盤コンサルタンツ㈱中部支社技術 部の細堀建司氏および萩原協仁氏に深謝の意を表します。

# 《引用·参考文献》

- 第14回中央防災会議 HP:http://www.bousai.go.jp/ jishin/chubou/nankai/14/ siryou21.pdf
- 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計 編、平成14年3月
- 3) 建設省計画局・愛知県・三重県編:伊勢湾北部臨海地帯 の地盤、p.1、1962.

- 岩崎敏男・常田賢一他1名:沖積粘性土の動的変形、土 研資料1504号、1979.
- 5) 岩崎敏男・龍岡文夫他1名:広範囲な歪領域の砂の動的 セン断変形特性-低周波動的セン断試験装置の開発 -、土研資料1080号、1975.
- 6) 国生剛治・佐々木正美:繰返し三軸試験による不攪乱洪 積砂の動的物性試験、第15回地盤工学会研究発表会、 pp.537~540、1980.
- 7) 大橋正・森本厳:濃尾平野地域の地盤の動的変形特性 について、第25回地盤工学会研究発表会、pp.841~ 842、1990.
- 5) 久保裕一・坪田邦治:伊勢湾岸地域における動的変形 特性について、全地連「技術 e -フォーラム2006」、 2006.
- 9) 地盤工学会中部支部編:最新名古屋地盤図、1988.