

長周期地震動を受ける超高層建物と免震建物の床応答特性に関する研究
その3 地震応答解析による地表地震動の予測

経験的グリーン関数法 長周期地震動 表層地盤
等価線形解析 全応力非線形解析 有効応力解析

正会員 ○鶴ヶ野翔平*1 同 高橋広人*2
同 福和伸夫*1 同 護 雅史*1
同 千葉大輔*3 同 片山貴裕*3
同 吉田献一*3 同 中野時衛*4
同 土肥 博*5

1 はじめに

本稿(その3)では、(その2)で示した新宿・名古屋における強震動予測結果を用いて、表層地盤の非線形性を考慮した地震応答解析を行った。

2 解析方法と対象地点の表層地盤モデル

地震応答解析は、等価線形解析に加え全応力非線形解析及び有効応力解析の3通りの解析を行う。ただし液化強度試験結果がないため、有効応力解析は参考解析として実施した。本検討では、一次元地震応答解析プログラムDYNEQ¹⁾及び一次元有効応力地震応答解析プログラムYUSAYUSA-2²⁾を採用した。

新宿地点及び名古屋地点における地盤モデルを表1に示す。地盤モデルは、ボーリング調査結果に基づく地層構成と、調査地で実施されたPS検層結果を基に設定した。

新宿地点においては、工学的基盤面を、S波速度で420m/sを示す砂礫層の上面に設定した。地層構成は、地表より盛土層、洪積層の成層構造となっており、水位境界、砂質土層と粘性土層の境界、S波速度境界を基に工学的基盤より上位の地盤を8層に区分した。地下水位は、孔内水位に基づき、G.L.-2.45mに設定した。動的変形特性は、土質試験結果がないため古山田・他(2003)³⁾の式を用い、H-Dモデルとして設定した。なお、YUSAYUSA-2においては双曲線モデルを用いた。また、G.L.-20m以浅の砂質土層であるDs1層を液化化対象層として設定した。

名古屋地点においては、工学的基盤面を、S波速度で440m/sを示す砂礫層の上面に設定した。地層構成は、地表より盛土層、洪積層の成層構造となっており、新宿地点と同様に工学的基盤より上位の地盤を24層に区分した。地下水位は、孔内水位に基づき、G.L.-8.50mに設定した。動的変形特性は、室内試験結果に基づきH-Dモデルにより設定した。室内試験結果を図1に示す。室内試験のない土層では、古山田・他(2003)³⁾の式を用い、H-Dモデルとして設定した。なお、YUSAYUSA-2においては双曲線モデルを用いた。G.L.-20m以浅の砂質土層及び礫質土層であるD3u-s1、D3u-g1層を液化化対象層とした。

液化化強度曲線は、室内試験結果がないため、建築基礎構造設計指針(2001)⁴⁾によりN値とFcから設定したせん

断抵抗比に対して、Seed et. al. (1981)⁵⁾に基づき設定した。これにフィットするように、要素シミュレーションにより液化化パラメータを設定した。図2に設定した液化化強度曲線とフィッティング結果を示す。

3 地盤の非線形性を考慮した地表での地震動

設定した地盤モデルを用いて、地盤を線形弾性体とした重複反射解析により、地表面における水平動の地震波形から工学的基盤面での地震波形を算出した。なお減衰は、 $Q=V_s/10$ として $h=1/2Q$ と設定した。

続いて各地点で表層地盤の非線形性を考慮した地震応答解析を行い、地表面における地震動を求めた。解析にあたっては、各層を層厚概ね1.0m程度に細分割した。また、本検討では地盤の初期剛性及び基準ひずみの拘束圧依存性を考慮していない。

地震応答解析のNS成分について、図3、4に工学的基盤及び各解析における加速度波形を、図5に減衰5%の擬似速度応答スペクトルをそれぞれ示す。また絶対加速度、相対水平変位、せん断応力、せん断ひずみ、過剰間隙水圧比の深さ方向の最大応答分布を図6に示す。

新宿においては、有効応力解析の最大応答加速度が他の結果に比べやや小さい。応答スペクトルは各解析方法で同等の結果が得られた。深さ方向の最大応答分布は、液化化対象層でひずみが大きくなっている以外は、他と概ね同様の結果が得られた。

名古屋においては、有効応力解析結果の最大応答加速度が他の結果に比べやや小さい。応答スペクトルは各解析方法で概ね同等の結果が得られた。深さ方向の最大応答分布を見ると、最大ひずみが6%程度と集中している液化化対象層の影響により当該層以浅の加速度応答及び相対変位応答に差異が生じている。

4 まとめ

等価線形解析・全応力非線形解析及び有効応力解析を用いて地震応答解析を行った結果、各解析方法で概ね同様の地表地震動が得られた。

参考文献

1) 吉田望・他(1996): DYNEQ: 等価線形法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム, 佐藤工業(株)技術研究所報, pp.61-70 2) 吉田望・他: YUSAYUSA-2の理論と使用法, 1991 3) 古山田・他: 多地点での原位置採取試

料から評価した表層地盤の非線形特性、第38回地盤工学研究発表会、pp.2077-2078、2003.7 4) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針、2001 5) Seed、

H.B. Idriss, I.M. and Arango, I (1981): Evaluation of liquefaction potential using field performance data, J. of GT, Vol. 109, No. 3, pp.458-482

表 1(a) 設定した地盤モデル(新宿)

(図中の赤線は工学的基盤面、青線は地下水位を示す)

土質	深さ(m)		湿潤密度 ρ(g/cm ³)	S波速度 V _s (m/s)	初期せん断剛性 G ₀ (GPa)	間隙率 n	有効上載圧 σ _v (kPa)	静止土圧係数 K ₀	粘着力 c(kPa)	内部摩擦角 Φ(°)	透水係数 μ(m/s)	動的変形特性			変相角 Φ _s (°)	RI15	液状化パラメータ			体積圧縮係数 mv(1/kPa)
	上端	下端										γ0.5	h _{max}	τ _{max}			B _p	B _u	κ	
Fc	0.00	2.45	1.60	180	51840	0.52	19.23	0.5	98.50	0.00	1.00E-06	1.90E-03	0.16	98.50	-	-	-	-	-	
D3u-c1	2.45	6.50	1.60	180	51840	0.52	50.37	0.5	98.50	0.00	1.00E-06	1.90E-03	0.16	98.50	-	-	-	-	-	
Lc	6.50	11.00	1.60	180	51840	0.52	75.54	0.5	103.68	0.00	1.00E-06	2.00E-03	0.20	103.68	-	-	-	-	-	
De1	11.00	13.06	1.90	260	128440	0.42	97.87	0.5	0.00	49.75	1.00E-03	9.00E-04	0.21	115.60	45.94	0.19	2.50	0.18	0.06	3.03E-05
Do1	13.06	16.15	1.90	260	128440	0.42	120.61	0.5	0.00	43.78	1.00E-03	9.00E-04	0.21	115.60	-	-	-	-	-	-
Do2	16.15	21.65	1.90	260	128440	0.52	158.53	0.5	256.88	0.00	1.00E-06	2.00E-03	0.13	256.88	-	-	-	-	-	-
Do2	21.65	24.15	1.90	260	128440	0.42	193.85	0.5	0.00	30.81	1.00E-03	9.00E-04	0.21	115.60	-	-	-	-	-	-
Do2	24.15	25.90	1.90	260	128440	0.52	212.61	0.5	256.88	0.00	1.00E-06	2.00E-03	0.13	256.88	-	-	-	-	-	-
Ebase	25.90	-	2.00	420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 1(b) 設定した地盤モデル(名古屋)

(図中の赤線は工学的基盤面、青線は地下水位を示す)

土質	深さ(m)	湿潤密度 ρ(t/m ³)	S波速度 V _s (m/s)	初期せん断剛性 G ₀ (kPa)	間隙率 n	有効上載圧 σ _v (kPa)	静止土圧係数 K ₀	粘着力 c(kPa)	内部摩擦角 Φ(°)	透水係数 E _h (m/s)	動的変形特性			変相角 Φ _s (°)	RI15	液状化パラメータ			体積圧縮係数 mv(1/kPa)	
											γ _{0.5}	h _{max}	τ _{max}			B _p	B _u	κ		
Fe	0.00	0.80	1.75	210	0.7175	0.44	6.87	0.5	0.00	79.91	1.00E-03	5.00E-04	0.22	38.59	-	-	-	-	-	
D3u-c1	0.80	2.35	1.75	210	0.7175	0.52	27.04	0.5	49.39	0.00	1.00E-06	6.40E-04	0.17	49.39	-	-	-	-	-	
D3u-s1	2.35	8.50	1.75	210	0.7175	0.42	93.13	0.5	0.00	30.12	1.00E-03	7.00E-04	0.21	94.92	-	-	-	-	-	
D3u-s1	8.50	12.75	1.75	210	0.7175	0.42	161.56	0.5	0.00	28.42	1.00E-03	8.00E-04	0.21	61.74	25.34	0.18	2.4	0.2	0.06	2.50E-05
D3u-s1	12.75	13.45	1.84	330	0.20376	0.42	180.08	0.5	0.00	36.45	1.00E-03	8.00E-04	0.21	160.30	32.87	0.55	0.02	0.01	0.06	2.40E-05
D3u-g1	13.45	14.55	1.84	330	0.20376	0.52	187.49	0.5	128.24	0.00	1.00E-06	6.40E-04	0.17	128.24	-	-	-	-	-	-
D3u-g1	14.55	15.45	1.84	330	0.20376	0.42	195.73	0.5	0.00	39.08	1.00E-01	8.00E-04	0.21	160.30	35.40	0.41	0.1	0.05	0.06	2.37E-05
D3u-g1	15.45	16.50	1.84	330	0.20376	0.42	203.77	0.5	0.00	36.45	1.00E-01	8.00E-04	0.21	160.30	32.87	0.23	1.3	0.15	0.06	2.29E-05
D3u-g1	16.50	20.55	1.84	330	0.20376	0.42	224.78	0.5	0.00	46.93	1.00E-01	1.20E-03	0.21	240.45	-	-	-	-	-	-
D3u-s2	20.55	21.70	1.84	330	0.20376	0.52	246.21	0.5	146.27	0.00	1.00E-06	7.30E-04	0.21	146.27	-	-	-	-	-	-
D3u-s2	21.70	24.95	1.93	400	0.30880	0.42	265.77	0.5	0.00	54.35	1.00E-01	1.20E-03	0.21	370.56	-	-	-	-	-	-
D3u-s2	24.95	30.05	1.80	300	0.16200	0.42	300.61	0.5	0.00	41.30	1.00E-03	1.63E-03	0.23	264.06	-	-	-	-	-	-
D3u-s2	30.05	31.80	1.80	300	0.16200	0.52	327.49	0.5	0.00	163.78	1.00E-06	1.01E-03	0.22	163.78	-	-	-	-	-	-
Dm-g	31.80	43.45	2.03	460	0.429548	0.42	393.21	0.5	0.00	60.22	1.00E-01	1.60E-03	0.19	687.28	-	-	-	-	-	-
Dm-s	43.45	44.20	2.03	460	0.429548	0.42	455.86	0.5	0.00	56.44	1.00E-03	1.60E-03	0.19	687.28	-	-	-	-	-	-
Dm-s	44.20	48.90	2.03	460	0.429548	0.42	483.39	0.5	0.00	54.88	1.00E-01	1.60E-03	0.19	687.28	-	-	-	-	-	-
Dm-s	48.90	49.75	1.84	280	0.144256	0.52	510.64	0.5	230.81	0.00	1.00E-06	1.60E-03	0.18	230.81	-	-	-	-	-	-
Dm-s	49.75	51.80	1.84	280	0.144256	0.42	522.59	0.5	0.00	23.83	1.00E-03	1.60E-03	0.19	230.81	-	-	-	-	-	-
Dm-s	51.80	54.25	1.84	280	0.144256	0.52	541.13	0.5	230.81	0.00	1.00E-06	1.60E-03	0.18	230.81	-	-	-	-	-	-
Dm-s	54.25	56.60	1.84	280	0.144256	0.42	560.91	0.5	0.00	22.37	1.00E-03	1.60E-03	0.19	230.81	-	-	-	-	-	-
Dm-s	56.60	57.65	1.84	280	0.144256	0.52	574.92	0.5	230.81	0.00	1.00E-06	1.60E-03	0.18	230.81	-	-	-	-	-	-
Dm-s	57.65	58.45	1.84	280	0.144256	0.42	582.54	0.5	0.00	21.61	1.00E-03	1.60E-03	0.19	230.81	-	-	-	-	-	-
Dm-s	58.45	59.10	1.84	280	0.144256	0.52	588.51	0.5	230.81	0.00	1.00E-06	1.60E-03	0.18	230.81	-	-	-	-	-	-
Dm-s	59.10	59.70	1.84	280	0.144256	0.42	593.66	0.5	0.00	21.25	1.00E-03	1.60E-03	0.19	230.81	-	-	-	-	-	-
Ebase	59.70	-	2.15	440	0.116240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

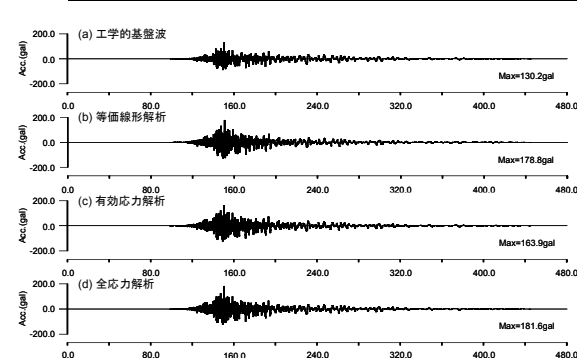


図 3 新宿における加速度波形(NS 成分)

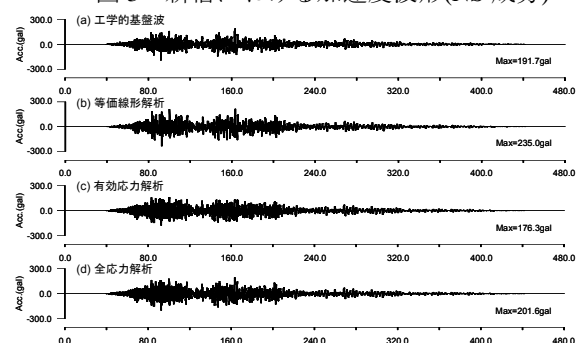


図 4 名古屋における加速度波形(NS 成分)

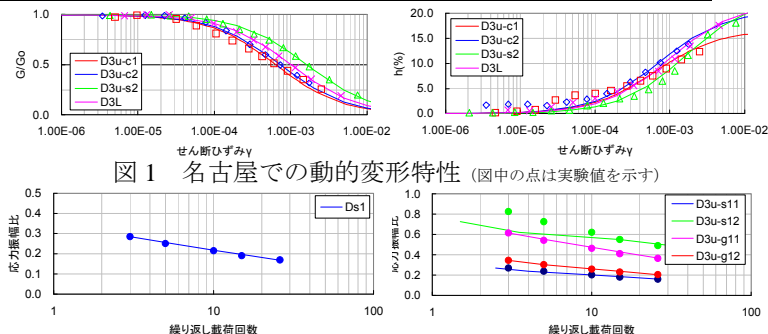


図 1 名古屋での動的変形特性 (図中の点は実験値を示す)

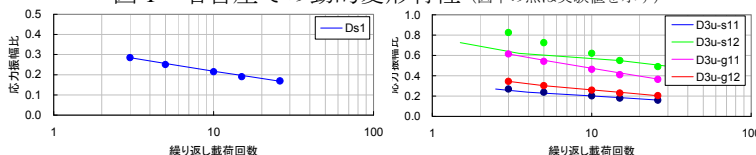


図 2 設定した液状化強度曲線とフィッティング結果

(左：新宿 右：名古屋、上層から 1、2 と設定している)

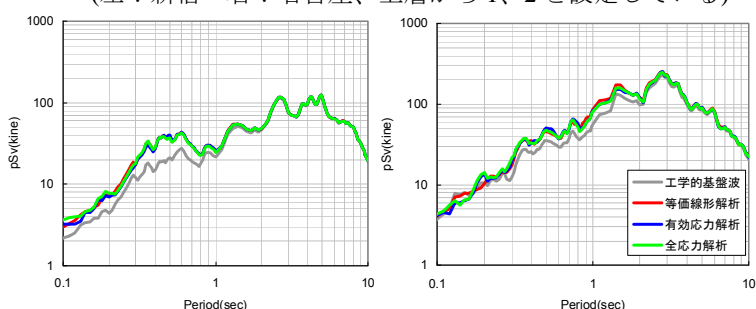


図 5 擬似速度応答スペクトル(NS 成分、h=5%)

(左：新宿 右：名古屋)

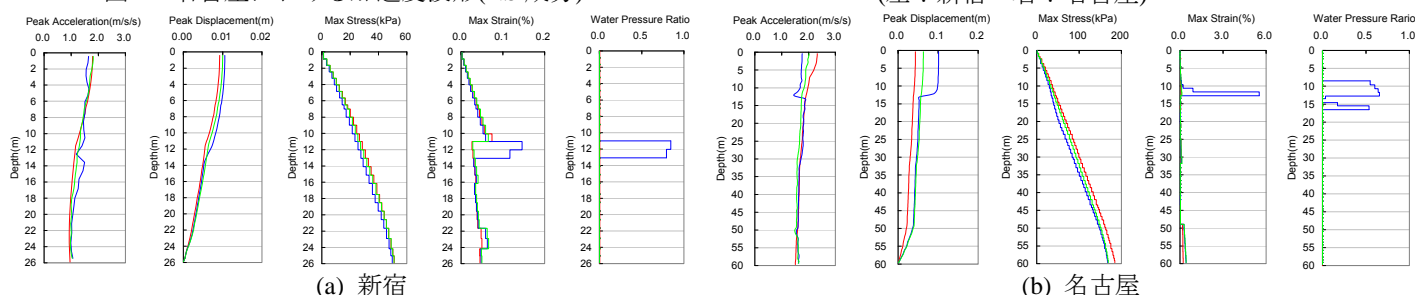


図 6 深さ方向の各最大応答値(NS 成分、 — 等価線形解析 — 有効応力解析 — 全応力解析)

- *1 名古屋大学大学院環境学研究科
- *2 応用地質株式会社
- *3 株式会社 NTT ファシリティーズ
- *4 株式会社 NTT ファシリティーズ総合研究所
- *5 日本電信電話株式会社

- *1 Grad. Student, Grad. School of environmental Studies, Nagoya Univ.
- *2 OYO Corporation
- *3 NTT FACILITIES, INC.
- *4 NTT FACILITIES RESEARCH INSTITUTE Inc.
- *5 NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION