

# 名古屋市を対象とした想定新東海地震 による強震動予測

藤川 智<sup>1</sup>・佐藤俊明<sup>1</sup>・壇 一男<sup>1</sup>・石井 透<sup>1</sup>・佐藤智美<sup>1</sup>  
・早川 崇<sup>1</sup>・松島信一<sup>1</sup>・渡邊基史<sup>1</sup>・福和伸夫<sup>2</sup>・久保哲夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(株)大崎総合研究所

<sup>2</sup>名古屋大学大学院 環境学研究科 教授

<sup>3</sup>名古屋工業大学大学院 工学研究科(しくみ領域) 教授

名古屋市内の建築構造物の地震時安全性検討に必要な地震動作成を目指したプロジェクトにおいて、対象地域への影響を考慮して選定された複数の想定地震のうち、想定新東海地震による強震動の予測結果を示した。広帯域ハイブリッド法による工学的基盤上の波形と、表層の逐次非線形解析による地表面波形を求めた結果は、過去の地震の震度や液化化発生の有無によく対応し、さらに距離減衰式とも概ね対応する結果となった。これらの結果は、名古屋市域での耐震設計や地震防災の基礎資料となることが期待される。

**Key Words** : Strong Motion Prediction, Tonankai Earthquake, Tokai Earthquake, Seismic Intensity, Soil Liquefaction, Nagoya

## 1. はじめに

愛知県設計用入力地震動研究協議会<sup>1)</sup>では、性能設計化に向けた設計者の取り組みと免震・制震建物の普及への一助をなすために、地域の地震環境と地盤環境を考慮した地震動策定を目指したプロジェクトを進めている。これまでの途中成果として、想定地震の選定と断層モデルの設定、さらに地下構造モデルの設定についての発表を行ってきた<sup>1),2)</sup>。本論文では、それらの成果を用いて強震動予測を行った結果のうち、想定新東海地震の結果について述べる。

## 2. 基本方針とモデル化

### (1) 地震動策定の基本方針

同協議会による地震動策定の基本方針としては、1) 周期0.1～10秒を含む広帯域地震動の作成、2) 想定される最も起こりえる地震動を作成、3) 想定地震は被害地震や活断層の最新知見と確率的想定地震<sup>3)</sup>の考え方を合わせて設定、4) 断層破壊の非一様性を考慮、5) 濃尾平野の三次元地下構造を反映する、などとしている。想定地震としては、プレート境界型の巨大地震、特定活断層の活動による地震(3地震)、さらに活断層の存在が知られていないところで発生する地殻内地

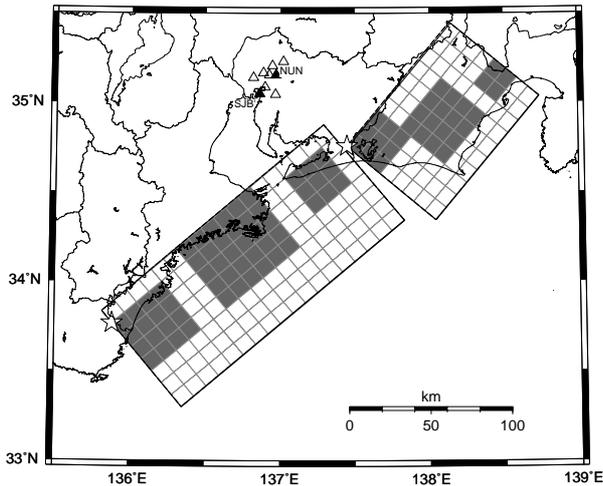
震の計5地震を選定している<sup>1)</sup>。想定新東海地震は、これらのうちプレート境界型の巨大地震として選定されたものである。

### (2) 断層モデルと地下構造モデル

想定新東海地震の断層モデルと、地震波の伝播経路および濃尾平野の堆積盆地を含む地下構造のモデル化についての詳細は文献1),2)に譲り、ここではその概要を述べる。

図-1には、想定新東海地震の断層モデルを示す。起震断層としては、東海地震と東南海地震が連動する1854年安政東海地震タイプを想定している。巨視的断層面は、1944年東南海地震の断層モデルと静岡県下の固着域に対応させて、プレート境界の形状と微小地震分布に整合するように設定した。アスペリティ位置は、1944年東南海地震の断層モデルと静岡県下の固着域を参考に設定した。表-1に設定した断層パラメータを示す。短周期レベルAについては、 $M_0 \sim A$ の経験的な関係<sup>4)</sup>による平均値と、その2倍の場合を検討したが、後述する結果の検証により、平均値の2倍の場合が適当と判断したため、以下にはその結果を示す。

地盤のモデル化範囲は、平面的には断層面と濃尾平野を含む範囲(300km × 300km)、深さ方向には断



は計算地点． は破壊開始点で西側断層から破壊．網がけの矩形はアスペリティ位置．

図 - 1 想定新東海地震の断層モデルと計算地点

表 - 1 想定新東海地震の断層パラメータ

モーメントマグニチュード	$M_w$	8.3	
気象庁マグニチュード	$M_J$	8.3	
地震モーメント [dyn·cm]	$M_0$	$4.0 \times 10^{28}$	
短周期レベル [dyn·cm/s <sup>2</sup> ]	$A$	$1.7 \times 10^{27}$	
		西断層	東断層
断層長さ [km]	$L$	180	100
断層幅 [km]	$W$	80	75
平均すべり量 [m]	$D$	4.5	3.3
すべり方向 [deg]	$\lambda$	270 (逆断層)	同左

層面とモホ不連続面を含む40km以浅とした．地震基盤以浅の堆積地盤モデルは，重力探査による推定地層境界面を基に，反射法探査やボーリングデータで拘束した密度構造モデルを作成した．次に，反射法結果を用いて深さとP波速度の回帰式を作成し，速度を付与した．図 - 2に，作成した地盤モデルの地震基盤形状を示す．三次元地盤モデルの検証は，面的に存在する微動計測などによる1次固有周期分布の説明，および養老断層付近で発生した地震(M5.4)の観測波のシミュレーションにより行った．工学的基盤以浅の浅層地盤のモデル化は，計算地点でのPS検層を基にした．ただし，1地点のみN値からS波速度を推定した．

### (3) 強震動予測地点と計算手法

強震動予測を行う対象地点は，図 - 3に示す名古屋市内の9地点である．これらは，地形や地震基盤深さなどからグループ分けされた地域の代表点として選定されている．

工学的基盤における強震動波形は，広帯域ハイブリッド法<sup>5)</sup>により作成した．接続周期を境とし，長周

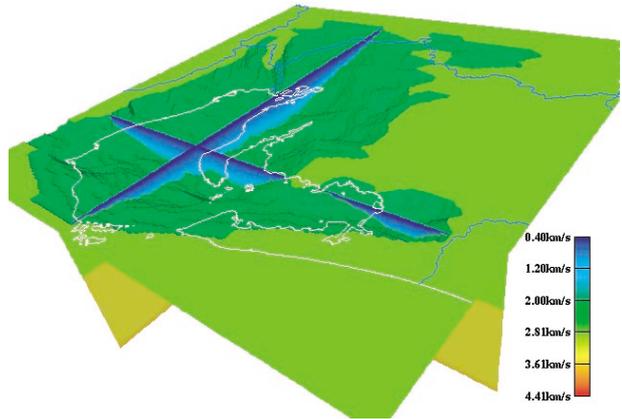


図 - 2 濃尾平野の地震基盤形状

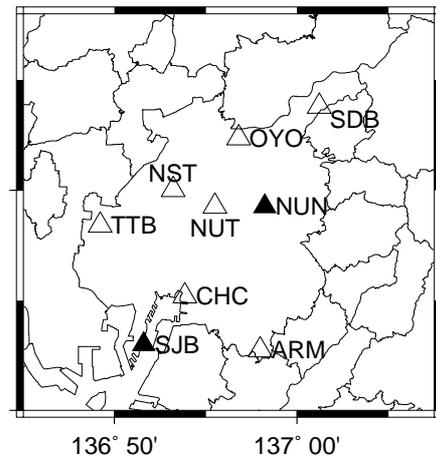


図 - 3 計算地点

期帯域は有限差分法<sup>6)</sup>による理論的方法で求め，短周期帯域は統計的グリーン関数法により求めた．想定新東海地震では，接続周期3.0秒でこれらを合成することで，工学的基盤波を求めた．次に，この波形を工学的基盤以浅の浅層地盤への入力波とした．浅層地盤の計算は逐次非線形解析とし，非線形性のみ考慮した全応力法か，過剰間隙水圧の上昇も考慮した有効応力法<sup>7)</sup>とした．計算対象とする9地点のうち，地形や補正N値から判断して4地点(NST, TTB, SJB, CHC)では有効応力解析，それ以外の5地点では全応力解析とした．

### 3. 強震動予測結果

洪積層が露頭して比較的地盤がよい地点NUNと埋立地にある地点SJBを代表点とし，工学的基盤の波形を図 - 4に，擬似速度応答スペクトルを図 - 5に示す．主要動の継続時間は100秒程度で，非常に長い．擬似速度応答スペクトルには，稀に発生する地震動の告示スペクトル，及び極めて稀に発生する地震動の告示スペクトルをあわせて示している．両地点とも，

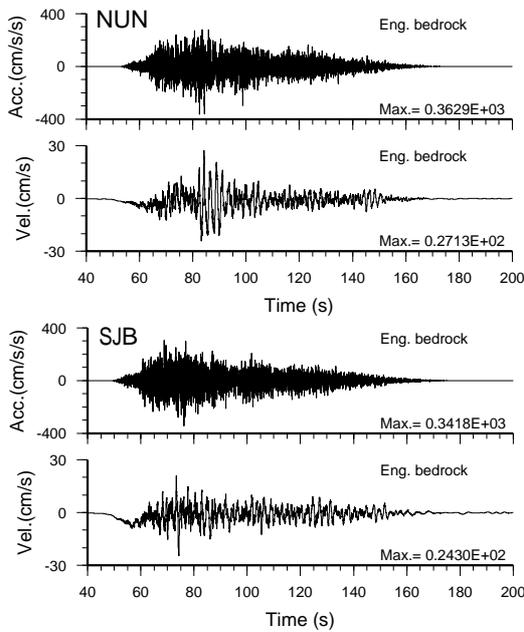


図 - 4 工学的基盤の加速度・速度波形[NS成分]

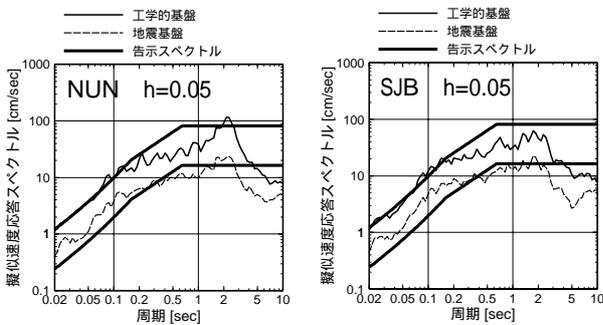


図 - 5 工学的基盤の擬似速度応答スペクトル[NS成分]

0.2秒より短周期領域で極めて稀に発生する地震動の告示スペクトルと同レベルになっている。0.2秒から2秒までの周期領域では、2つの告示スペクトルの中間レベルになっており、4秒以上の周期帯域では、稀に発生する地震動の告示スペクトルを下回る。両地点とも周期2秒付近の振幅が卓越している。また、図-5には地震基盤における応答スペクトルも示しているが、2秒付近が最も卓越している。一方、図-6に示すように、両地点とも2秒付近に堆積層の顕著な増幅を示す。これらより、工学的基盤における2秒付近の卓越は、震源特性に起因する地震動の卓越周期と、地震基盤以浅の堆積層における増幅の相乗効果によるものと考えられる。以上の結果はNS成分のみを示したが、EW成分でも同様の結果が見られる。ただし、最大値や周期特性は、三次元地盤構造の影響と地震波のラディエーションパターンの影響によりやや異なる。

図-7にはNUNとSJBにおける地表面の波形を示す。工学的基盤からの最大値の増幅は、速度は数十%の増幅を示すが、加速度は逆に半分程度に減少して

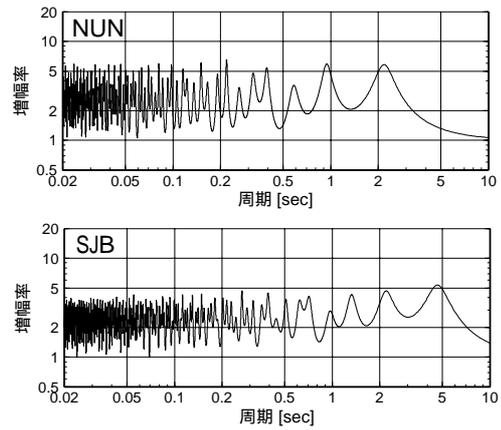


図 - 6 地震基盤から工学的基盤までの増幅率

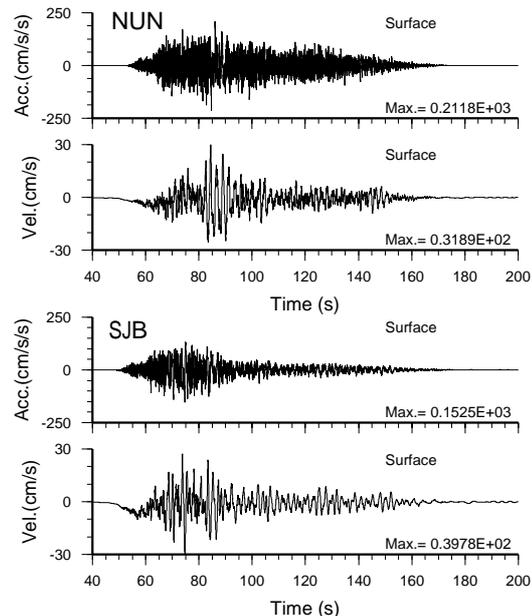


図 - 7 地表面における波形[NS成分]

いる。これは、主として地盤の非線形化の影響と考えられる。特に、SJBにおける地表面の加速度波形は、最大振幅が生じた後に振幅が急になくなっている。これは、浅層地盤で過剰間隙水圧の上昇による地盤の剛性低下と履歴減衰の増大が生じており、それにより特に短周期成分が遮断されるためである。NUNは地表数mで第三紀層が現れる比較的良好な地盤であるものの、せん断ひずみの最大値は $10^{-3}$ オーダーであり非線形化がやや進んでいる。

#### 4. 結果の検証

強震動予測結果の検証は、過去の地震の震度との比較、液化履歴の記録との対応、及び経験的距離減衰式との比較により行った。計算による地表面波形から求めた震度と、1854年安政東海地震と1944年東南海地震の震度分布<sup>8)</sup>から読み取った計算地点の震度の比較を表-2に示す。計算震度が5弱であるNSTで

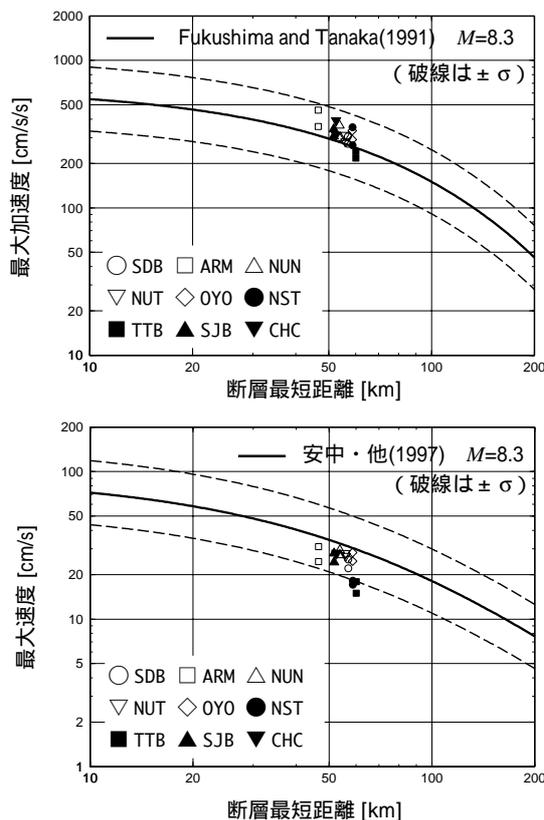


図 - 8 距離減衰式との比較

はやや過小評価であるが、それ以外の地点は過去の地震の震度をほぼ説明できている。表 - 3には浅層地盤の有効応力解析を行った地点の液状化の有無と、1944年東南海地震による液状化の記録<sup>9)</sup>との対応を示す。計算で液状化が生じたのはSJBとCHCの2地点であるが、このうちCHCでは東南海地震で液状化が生じ、記録と対応している。SJBについては東南海地震以後に埋め立てられたため、記録には示されていない。NSTとTTBは、液状化の記録がなく、計算でも液状化が生じなかった。計算地点の工学的基盤の加速度および速度の最大値と経験的距離減衰式<sup>10)</sup>との比較を図 - 8に示す。計算結果は距離減衰式から算定される平均値とばらつき範囲内でよく対応している。以上の比較から、名古屋市内の計算地点における強震動予測結果は、妥当な結果を与えているものと考えられる。

## 5. おわりに

想定新東海地震の計算結果は、過去の地震による震度や地盤の液状化発生の有無とよく対応する結果となった。また、経験的距離減衰式とも概ね対応し、対象とした計算地点では妥当な結果を与えているものと考えられる。フィリピン海プレートの沈み込み帯で発生する巨大地震の切迫性が高いと予想される

表 - 2 計算震度と過去の地震の震度との比較

計算地点	計算震度	安政東海地震(1854)	東南海地震(1944)
SDB	5強	5	5
ARM	5強	5	5
NUN	5強	5	5
NUT	5強	5	5
OYO	5強	5	5
NST	5弱	5	5
TTB	5強	5	5
SJB	5強	5 ~ 6	5 ~ 6
CHC	5強	5 ~ 6	5 ~ 6

表 - 3 過去の地震による液状化履歴との比較

計算地点	計算による液状化の有無	東南海地震(1944)
NST	なし	なし
TTB	なし	なし
SJB	液状化	(注)
CHC	液状化	液状化

(注) SJBは東南海地震以後に埋立てられた。

中、本研究による検討結果は、名古屋市域での耐震設計や地震防災の基礎資料となることが期待される。

謝辞：本研究は愛知県設計用入力地震動作成事業の一環として、設計用入力地震動作成検討部会およびWGの意見を踏まえて実施したものであり、関係諸氏に心より感謝します。また、事務局を担った(財)愛知県建築住宅センター、および地下構造モデルの作成にご協力いただきました応用地質(株)の方々に心よりお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 福和, 他: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動の策定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.81-94, 2001.
- 2) 佐藤, 他: 愛知県名古屋市を対象とした設計用地震動策定のための地下構造のモデル化, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.129-134, 2002.
- 3) 亀田, 他: 確率論的想定地震の概念と応用, 土木学会論文集, No.577/I-41, pp.75-87, 1997.
- 4) 壇, 他: 断層の非一様すべり破壊モデルから算定される短周期レベルと半経験的波形合成法による強震動予測のための震源断層のモデル化, 日本建築学会構造系論文集, 545, pp.51-62, 2001.
- 5) 佐藤, 壇: 免震構造設計指針, 日本建築学会, pp.263-274, 2001.
- 6) Pitarka: 3D Elastic Finite-Difference Modeling of Seismic Motion Using Staggered Grids with Nonuniform Spacing, BSSA, Vol. 89, pp. 54-68, 1999.
- 7) Fukutake et al.: Analysis of saturated dense sand-structure system and comparison with results from shaking table test, EESD, 19, pp.977-992, 1990.
- 8) 地震調査研究推進本部: 日本の地震活動<追補版>, 1998.
- 9) 若松: 日本の地盤液状化履歴図, 1991.
- 10) Fukushima and Tanaka: Shimizu Technical Research Bulletin, No.10, pp.1-11, 1991.
- 11) 安中, 他: 気象庁87型強震計を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp. 161-164, 1997.

( 2003.9.11 受付 )