

名古屋地域における地震動強度の距離相関特性と地震動分布推定への応用

河野哲也¹・永田 茂²・小島清嗣³・北野哲司³・河合亜紀³

¹正会員 工修 鹿島技術研究所 土木技術研究部 (〒182-0032 東京都調布市飛田給 2-19-1)

²正会員 工博 鹿島技術研究所 先端技術研究部 (〒182-0032 東京都調布市飛田給 2-19-1)

³東邦ガス株式会社 供給管理部保安推進グループ (〒456-8511 名古屋市熱田区桜田町 19-18)

名古屋周辺では、都市ガスの供給における地震時緊急対応を目的として約 100 台の地震計 (SI センサー) が高密度に設置され、地震動分布や被害評価に活用されている。本報告では、*Kriging* 法を用いた地震動分布推定への適用を前提として、高密度地震観測網で観測された愛知県東部地震、岐阜県美濃中西部地震の最大加速度と SI 値の観測記録を基に、これらの距離相関特性について検討を行った。さらに、評価された距離相関モデルをもとに *Kriging* 法により地震動分布予測を行い、他の機関によって観測された最大加速度や SI 値との比較から推定精度に関する検討を行った。

Key Words: Nagoya city, Peak ground acceleration, SI value, Spatial Correlation, Kriging

1. はじめに

名古屋周辺では、地震時緊急対応を目的として複数の機関により地震計が高密度に設置されている (図-1)。これらのうち図-1の●印で示した約 100 台の地震計 (SI センサー) を設置している都市ガス会社を例にとると、地震発生直後に地表で観測された最大加速度及び地表 SI 値をもとに供給地域全域の地震動分布をはじめ被害状況の即時把握を行い、都市ガスの安全供給に活用している。

地震発生直後の地震動分布の推定では、観測値を重視する考えから、観測値を必ず満足する空間補間方法の *Kriging* 法を使用しており¹⁾、任意観測点間の地震動強度の相関関係を距離相関モデルによって規定している。

本報告では、地震動の実測値に基づく距離相関モデルに関する検討事例が少ないことから、表-1 に示した愛知県東部地震、岐阜県美濃中西部地震の際に高密度地震観測網で観測された最大加速度及び SI 値を基に、これらの距離相関特性について検討を行った。さらに、本検討で得られた距離相関モデルをもとに、*Kriging* 法により岐阜県美濃中西部地震の地震動分布を推定し、他機関

で観測された観測値との比較検討を行った。

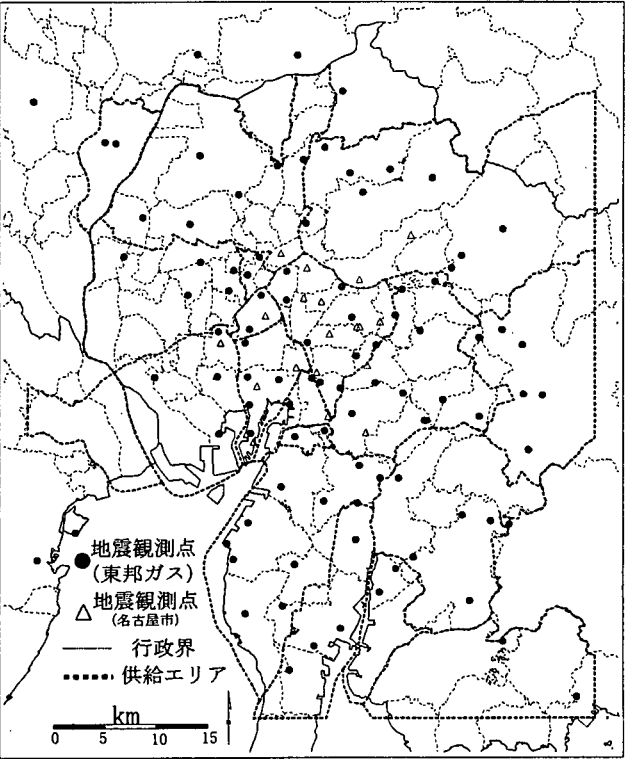


図-1 名古屋地域の地震計配置図

表-1 検討に使用した地震の概要

地震名称	発生年月日	緯度	経度	震源深さ	気象庁 M	有効観測点数
愛知県東部	1997 年 3 月 16 日	34 度 56 分	137 度 32 分	39km	5.8	81
岐阜県美濃中西部	1998 年 4 月 22 日	35 度 10 分	136 度 34 分	10km	5.4	60

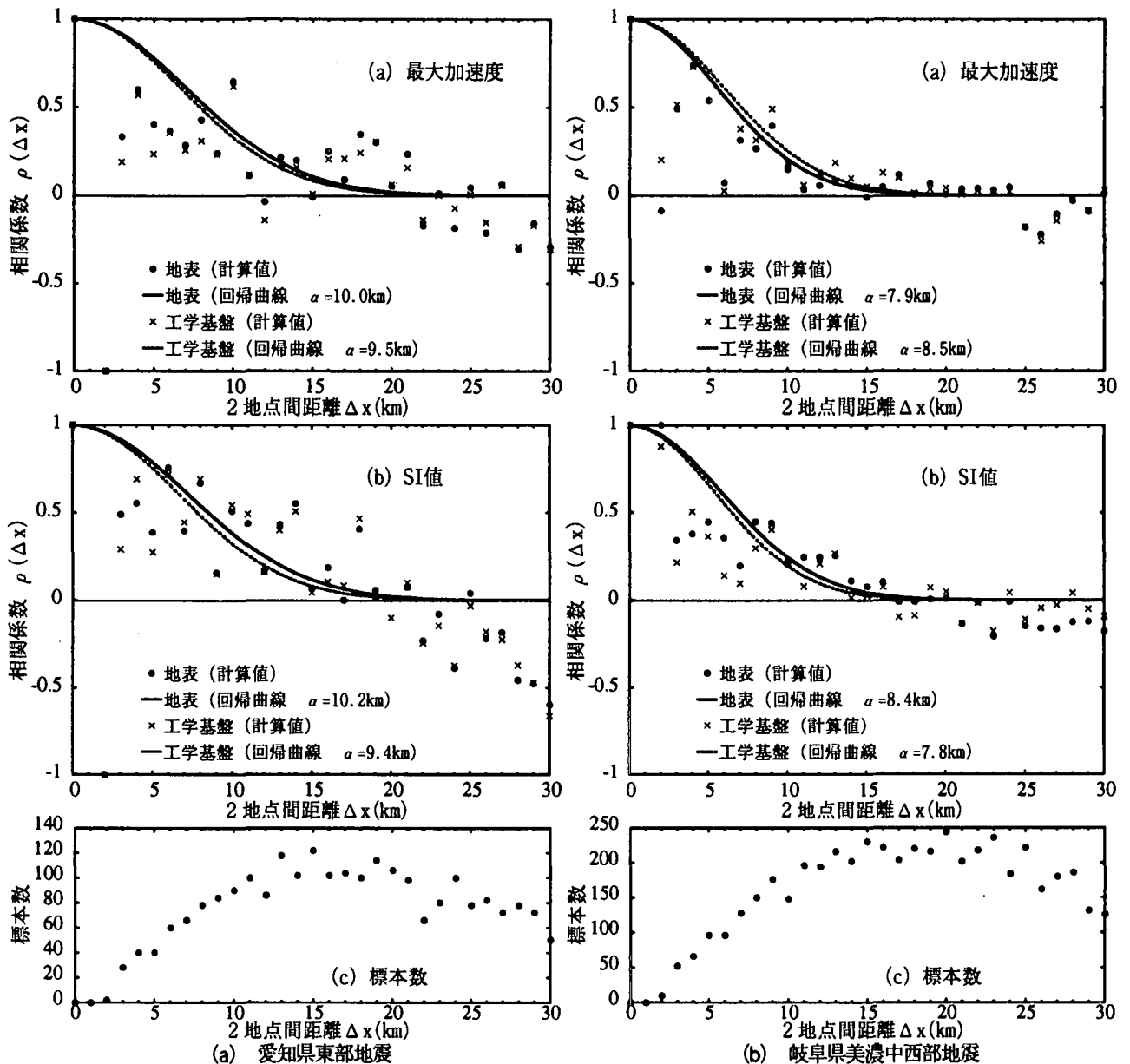


図-2 地震動強さ指標の距離相関係数と距離相関モデル

2. 観測記録を用いた距離相関特性の検討

本検討では、最大加速度や SI 値などの地震動強さ指標に関して、任意の 2 地点間の距離と地震動強さ指標の相関係数の関係（距離相関）について検討を行った。なお、震源の位置や伝播経路、対象とする 2 地点の地盤増幅特性の違いなど複雑な要因を考慮する必要性は認識しているが、上述のように観測点数の制約などから、ここでは 2 地点間の相対的な距離間隔だけに着目した。

相関係数の計算では、任意の 2 観測点間の距離 Δx を 0～30km まで 1km 刻みに設定し、2 観測点で観測された最大加速度あるいは SI 値の標本値 x, y を用いて式(1)により相関係数を求めた。なお、標本値 x, y としては図-2 の●印の観測点における観測値を使用した。

$$\rho(\Delta x) = \frac{\text{Cov}[x, y]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

ここで、 $\rho(\Delta x)$ は 2 観測点間距離 Δx の標本値 x, y の相関係数、 $\text{Cov}[x, y]$ は標本値 x, y の共分散、 σ_x 及び σ_y はそれぞれ標本値 x, y の標準偏差を表している。

表-1 の 2 地震に関して相関係数を求めた結果を図-2 に示した。図中の●印は地表の観測値に関する相関係数であり、×印は観測点の地形特性から近似的に求めた表層地盤増幅率で割り戻した工学（解放）基盤（ $V_s=600\text{m/s}$ 程度）での相関係数を示している。また、図-2 には相関係数の計算に用いた標本数をそれぞれの距離 Δx について示した。

地表の観測点に関する最大加速度、SI 値の相関係数 $\rho(\Delta x)$ は 2 地震ともに $\Delta x=3\sim 10\text{km}$ において 0.3～0.8

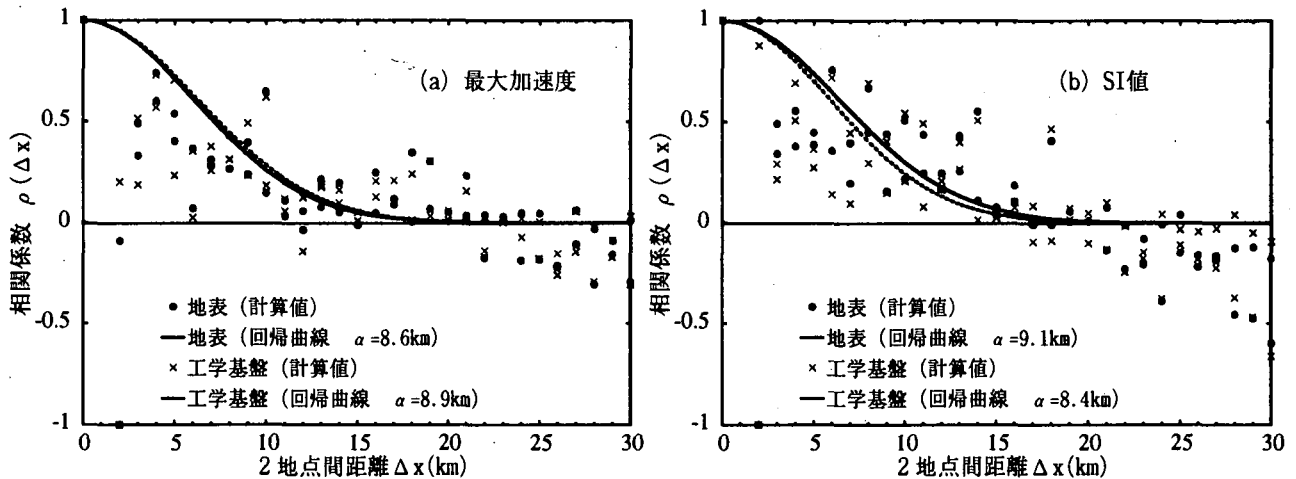


図-3 地震動強さ指標の2地震の平均距離相関モデル

程度の値となっており、一方 $\Delta x=20\text{km}$ 以上においては 0.1 以下とほとんど相関がないことがわかる。

次に、相関係数の計算結果を用いて距離相関モデルの検討を行った。使用する関数形としては、地盤物性のモデル化などに利用されている式(2)を用いた²⁾。

$$\hat{\rho}(\Delta x) = \exp \left[- \left\{ \left(\frac{\Delta x}{\alpha} \right)^2 \right\} \right] \quad (2)$$

ここで、 $\hat{\rho}(\Delta x)$ は2地点間距離 Δx の地震動強さ指標の相関係数、 α は相関距離と呼び、相関係数が1から $1/e(=0.368)$ に減少するときの距離を表しており²⁾、距離 Δx における地震動強さ指標の相関程度を示す指標といえる。

愛知県東部地震及び岐阜県美濃中西部地震における最大加速度とSI値の相関係数に関して、式(2)の距離相関モデルへの当てはめのための回帰分析を行い、その結果を前出の図-2に示した。また、上記2地震の相関係数から平均的な距離相関モデルを求め、その結果を図-3に示した。なお、以上の回帰分析において標本数が25以下の相関係数については、信頼性に疑問があることから、回帰データから除外した。

回帰分析から、地表最大加速度及び地表SI値の相関距離は、両者とも9km程度の結果が得られた。一般的に最大加速度は、SI値に比べて表層地盤特性に敏感な地震動指標であり相関距離は相対的に小さくなることが考えられたが、今回の検討では両者の相関距離がほぼ同値となった。また、工学基盤での最大加速度及びSI値の相関距離は、地表に比べて大きな値となることが予想されたが、本検討では観測点の微地形特性から簡易的に表層地盤の増幅特性を推定して使用したため両者の相関距離に顕著な違いは見られなかった。観測点直下のボーリングデータなどを用いて基盤地震動を詳細に求めた場合

の距離相関特性の検討に関しては今後の課題と考えている。

3. 地震動分布推定への適用

上述したように名古屋地域では、都市ガス会社以外の行政機関でも地震観測(図-1の△印の地点)が行われている。このため2.の検討から得られた距離相関モデルを用いて岐阜県美濃中西部地震に関する供給地域全域の地震動分布の推定を行い、図-1の△印の地点における推定値と観測値の比較を通して距離相関モデルの妥当性に関する検討を行った。

表-2は岐阜県美濃中西部地震に関する観測値と推定値の比較結果を震源距離³⁾ごとに示したものであり、図-4はそれを図示したものである。表-2における観測最大加速度は水平2成分の最大値であり、観測SI値は観測波形から計算したものである。また、図-4の縦軸には推定誤差(観測値と推定値の差の絶対値)を観測値で除した値を示しており、値が大きいほど観測値に対する誤差の割合が大きいことを示している。

これらの図表からわかるように、最大加速度に関しては観測値に対する推定誤差が50%以上となる観測点も数点見られるが概ね30%程度にあり、地震直後の対応を判断する地震動分布として妥当な値を提供しうる距離相関モデルであることが確認された。

一方、SI値に関しては、観測値2cm/s以上の観測点における推定誤差の割合が30%程度となっており、ほぼ妥当な距離相関モデルと考えられる。なお、等価震源距離が33km程度から推定誤差の割合が急増する傾向が見られるが、観測SI値そのものが小さいために信頼性が低下していることも考えられる。このため、より大きな観測SI値に対する再検討を行う必要がある。

表-2 供給地域内の地震観測点における観測値と推定値

地点 番号	等価震源 距離 (km)	観測値 (水平2成分の最大値)		推定値	
		最大加速度 (cm/s ²)	SI値 (cm/s)	最大加速度 (cm/s ²)	SI値 (cm/s)
1	25.6	41.9	3.4	39.4 (0.06)	3.2 (0.06)
2	25.7	40.5	3.3	38.8 (0.04)	3.5 (0.06)
3	29.4	26.0	1.9	31.3 (0.17)	2.4 (0.26)
4	29.5	26.2	2.0	25.1 (0.04)	2.6 (0.30)
5	31.0	58.3	2.7	79.7 (0.27)	3.8 (0.41)
6	31.3	32.3	1.7	21.0 (0.54)	2.2 (0.29)
7	32.7	41.9	1.5	22.3 (0.88)	2.6 (0.73)
8	33.4	16.4	1.2	38.8 (0.58)	2.3 (0.92)
9	34.6	15.0	0.9	38.2 (0.61)	1.9 (1.11)
10	34.6	17.9	1.3	23.4 (0.24)	2.8 (1.15)
11	35.3	15.3	0.8	19.2 (0.20)	1.9 (1.38)
12	36.6	23.3	3.0	28.9 (0.19)	3.2 (0.07)
13	38.1	22.0	1.1	29.8 (0.26)	2.2 (1.00)
14	38.2	20.8	0.8	40.2 (0.48)	1.6 (1.00)
15	39.1	16.0	0.7	21.9 (0.27)	2.5 (2.57)
16	40.1	21.2	0.7	32.2 (0.34)	2.3 (2.29)
17	43.6	21.7	0.6	16.5 (0.32)	1.8 (2.00)

() 内は|推定値-観測値|/観測値を示す
観測SI値は加速度波形から計算した値である

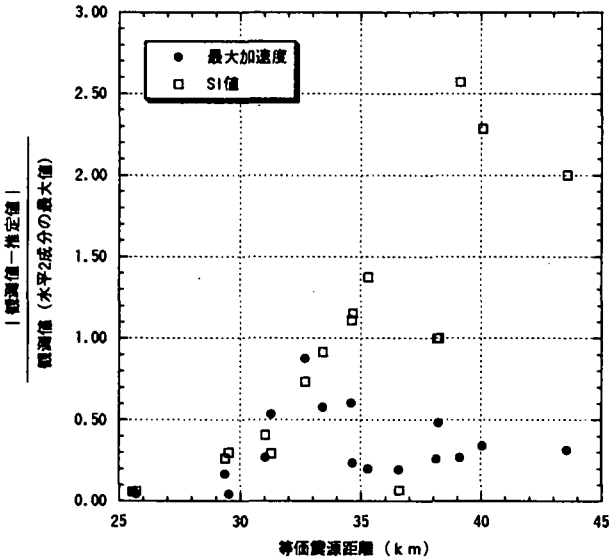


図-4 供給地域内の地震観測点における推定誤差

4. まとめ

名古屋地域の地震動強度の距離相関特性について観測値に基づいた検討を行った。地表及び地中の最大加速度の相関距離に関しては 9km 程度、地表及び地中の SI 値の相関距離に関しても 9km 程度の結果が得られた。

本検討で求められた距離相関モデルを用いて岐阜県美濃中西部地震の再現解析を行い、距離相関モデルの構築に使用した観測点以外の観測点において推定誤差の検討を行った。この結果、最大加速度に関しては観測値に対する推定誤差の割合が 30%程度となり、地震時緊急対応のための適切な判断材料を提供することが可能な距離相関モデルであることがわかった。SI 値に関してもほぼ同様な結果が得られたが、さらに大きな観測 SI 値に対して検討を進める必要性が明らかになった。

謝辞：本検討に用いた地震記録については名古屋市消防局防災室より提供されたものであります。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) 永田茂・片山恒雄：確率論手法を用いた地震動強度分布の推定, 生産研究, Vol43, No.9, pp.394-397, 1991.

2) 鈴木誠：地盤物性値の空間分布特性の確率論的記述と地盤工学における信頼性設計の基礎研究, 清水建設株式会社 ORI 研究報告, 90-01, 1990.

3) 高橋克也・武村雅之・千葉脩・渡辺孝秀・色摩康弘：硬質地盤における応答スペクトルの距離減衰式 その1 水平動, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.363-364, 1994.