

# 地質別にみた地震動の強さを表す指標の距離減衰および 各指標間の関係について

## On attenuation models and relations between parameters of seismic intensity according to soil age

村松幸則†、正木和明††

Yukinori MURAMATSU and Kazuaki MASAKI

Abstract: Strong motion records during the Yoro Earthquake on April 22, 1998 were observed at 298 sites by the strong motion network organized by Nagoya University. Parameters that indicate seismic intensity of strong motion of ground surface such as maximum acceleration, maximum velocity, maximum displacement, Housner's spectral intensity SI and JMA seismic intensity were calculated by FUKUWA et al. (1999). The attenuation models of these parameters were studied according to soil age at the sites. The relations among these parameters were also discussed for making clear which is suitable as the parameter of seismic intensity.

### 1. 序

対象地点における強震動を予測する事は地震災害を考える上で重要である。強震動予測方法として、古くは河角による加速度減衰公式がある。その他、強震動の強さを表すさまざまなパラメータについて距離減衰式が提案されている。一方、断層モデルを想定し破壊過程を考慮して強震動を予測する方法、経験的グリーン関数を用いて推定する方法など、多くの研究がなされてきた。多くの強震記録の蓄積に伴ってより複雑なパラメータを用いてより正確に推定が可能な方法が提案されてきたが、一方で、実用面の立場からは、いざその方法を用いようとすると必要なパラメータが入手できないといった問題も起きている。

このような背景から、本研究では、入手可能なパラメータとして、地質年代を用いる。地質年代は、地質図に記載されているので、入手が容易である。ここでは、地盤を沖積層、洪積層、第三紀層および岩盤に区分し、距離減衰式を作成する。

強震動の強さを表す指標として、最大加速度、最大速度、最大変位が知られている。これらの指標は単純で

分かりやすいが、一方で、強震動の周期特性、震動継続時間などを表現していないので、被害に対する強度を表しにくいといわれている。被害に対する強度を表す指標として、気象庁震度階級（本研究では計測震度）やハウスマーのスペクトル強度（SI値）が用いられてきた。これらの指標を求めるためには、強震記録を数値的に処理しなければならない点でやや複雑であり、またその物理的意味が明瞭でない点で、行政関係者や市民に分かりにくいのも事実である。本研究では、これら強震動の強さを表す指標間の関係についても考察する。

### 2. 用いた強震記録

1998年4月22日三重県員弁郡北勢町の養老山脈直下、深度10kmでマグニチュード5.4の地震が発生した。最大震度は三重県北勢町の震度5強（計測震度5.05）であったが、多度町、員弁町、藤原町等震源の西部で震度5弱となった。愛知・岐阜・三重の東海三県の広範な地域で震度4～2となり、この地域としては強い地震であった。

愛知・岐阜・三重県には、気象庁、科学技術庁（K-net）、各市町村自治体、大学、中部電力、東邦ガスなどの諸機関によって約300地点に強震計が設置されている。強震計のタイプは様々であるが、多くは加速度型強震計であり、加速度波形が記録される。これらの記録は、

† 愛知工業大学工学部土木工学科研究生

†† 愛知工業大学工学部土木工学科（豊田市）

オンライン、または地震後の回収作業によって収集される。記録は名古屋大学先端技術共同研究センター内のサーバーに一括して収納される(福和、1999)。波形は数値処理により、加速度波形、速度波形、変位波形に変換され、最大加速度、最大速度、最大変位、SI 値、計測震度が計算される。これらの情報はウェブ上に公開されている。

観測地点の地質年代区分強震観測点の北緯、東経、地名は文献 1 に記載されている。K-net サイトについてはボーリング柱状図も記載されているが、地質年代は記載されていない。

強震動は対象地点の地盤の特性に強く影響される。地盤の特性を表す指標として、土質分類、微地形、標準貫入試験値、などが考えられるが、これらの指標は入手が意外と困難な場合が多い。さらに、地質年代がある。地質年代に関して言えば、地質図に大概記載されているので入手しやすい。本研究では地質年代を用いる。

地質年代を、沖積層、洪積層、第三紀層、岩盤に区分する。岩盤は地質年代区分ではないが、沖積層、洪積層、第三紀層の順に地盤の剛性が大きくなることに対応し、剛性の大きい岩盤は形成年代に関係無くひとつの区分とした。

文献 2 に記載されている地質図に強震観測点を落とし、地質年代を決定する。ただし、地質図は基本となる地図が古く、観測点位置を正確に決定することは困難である。特に、山間の観測点においては正確を期すことは難しい。岩盤上なのか谷間の地盤なのかの判定は困難である。

### 3. 強震動の距離減衰

今回の地震はマグニチュードが小さく深度も浅いので、震央距離をとる。図 1, 2, 3 に最大加速度、最大速度、最大変位の距離減衰を沖積地盤、洪積地盤、第三紀地盤、岩盤、全地盤別に示す。ひとつの地震についてのデータのみであるので点のばらつきがかなり大きいが両対数目盛で直線関係にあることはとって見られよう。近似式を

$$\log y = a \log x + b$$

とにおいて、係数 a, b を最小二乗法で求めた。

○最大加速度  $\alpha$  (gal) と震央距離  $x$  (km) との関係

(沖積地盤)  $\log \alpha = -0.77 \log x + 2.58 \pm 0.33$  (1.1)

(洪積地盤)  $\log \alpha = -1.32 \log x + 3.45 \pm 0.22$  (1.2)

(第三紀地盤)  $\log \alpha = -1.31 \log x + 3.39 \pm 0.18$  (1.3)

(岩盤)  $\log \alpha = -1.00 \log x + 2.89 \pm 0.25$  (1.4)

(全地盤)  $\log \alpha = -1.05 \log x + 3.01 \pm 0.26$  (1.5)

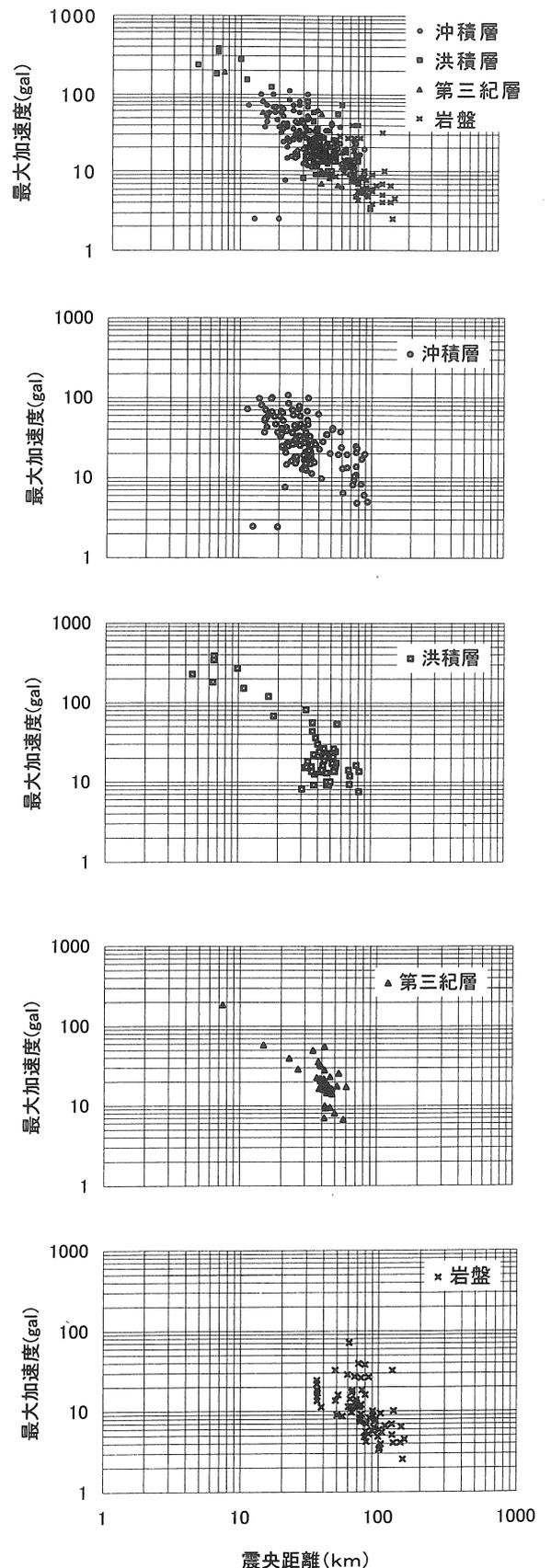


図 1 最大加速度と震央距離の関係

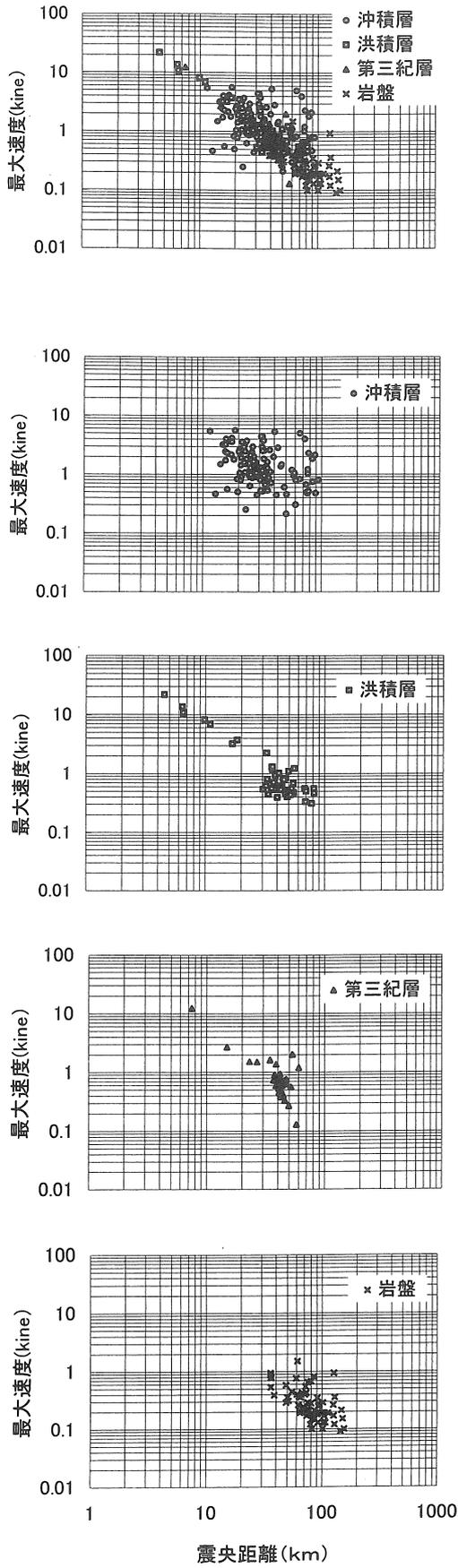


図2 最大速度と震央距離の関係

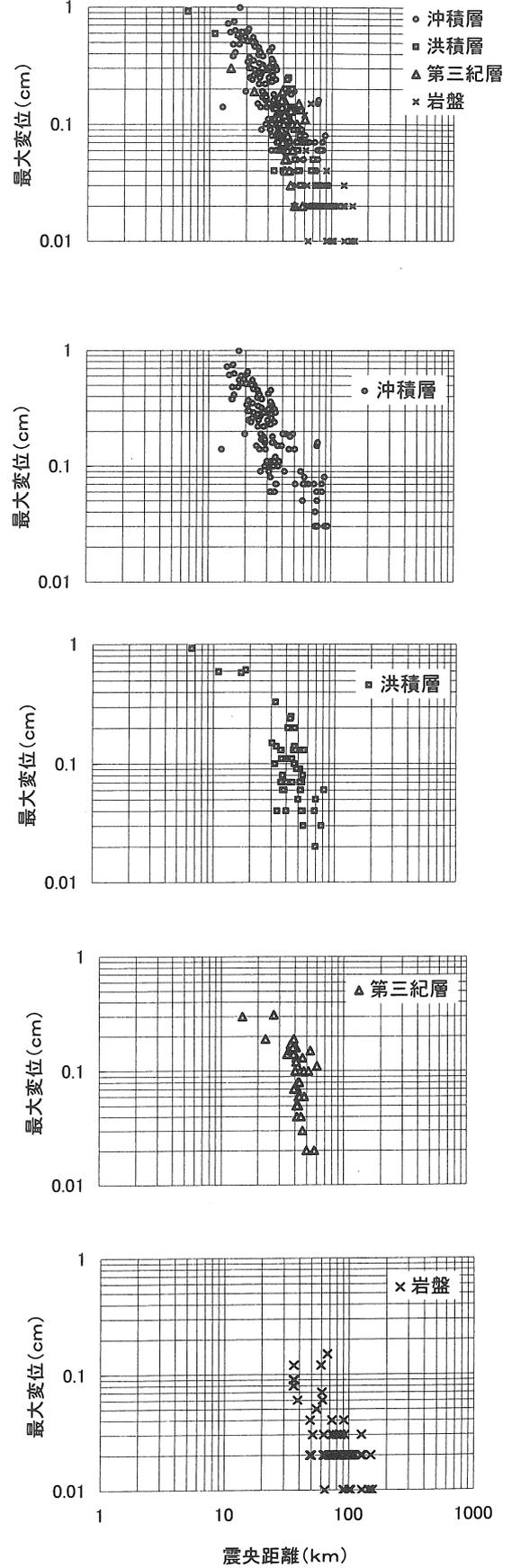


図3 最大変位と震央距離の関係

○最大速度  $v$  (kine) と震央距離  $x$  (km) との関係

(沖積地盤)  $\log v = -0.47 \log x + 0.83 \pm 0.29$  (2.1)

(洪積地盤)  $\log v = -0.84 \log x + 1.22 \pm 0.32$  (2.2)

(第三紀地盤)  $\log v = -1.56 \log x + 2.34 \pm 0.21$  (2.3)

(岩盤)  $\log v = -1.11 \log x + 1.40 \pm 0.22$  (2.4)

(全地盤)  $\log v = -1.37 \log x + 2.01 \pm 0.22$  (2.5)

○最大変位  $d$  (cm) と震央距離  $x$  (km) との関係

(沖積地盤)  $\log d = -1.14 \log x + 0.99 \pm 0.22$  (3.1)

(洪積地盤)  $\log d = -1.35 \log x + 1.19 \pm 0.22$  (3.2)

(第三紀地盤)  $\log d = -1.60 \log x + 1.54 \pm 0.23$  (3.3)

(岩盤)  $\log d = -1.29 \log x + 0.85 \pm 0.21$  (3.4)

(全地盤)  $\log d = -1.69 \log x + 1.72 \pm 0.24$  (3.5)

4. 強震動指標間関係

強震動の強さを表す指標として従来、最大加速度、最大速度が考えられてきた。これらの指標は強震動のピーク値を用いるものであるが、震動の持つ周期性を評価できない。そこで、ハウスナーはスペクトル強度 (S I 値) を提案した。これは、速度応答スペクトルを 0.1 秒から 2.5 秒の 周期範囲で積分した値である。強震動の強さを表す指標として気象庁震度 (階級) が良く知られている。気象庁震度は計測震度から決められている。本研究では、計測震度を用いる。ただし、ここで言う計測震度は強震記録に震度計相当のフィルタ処理を行って求めたものである。

図 4 に最大加速度と最大速度との関係を示す。この場合も両者は両対数上で直線関係であるので最小自乗法で求める。

○速度  $v$  (kine) と加速度  $\alpha$  (gal) との関係

(沖積地盤)  $\log v = 0.81 \log \alpha - 1.02 \pm 0.17$  (4.1)

(洪積地盤)  $\log v = 0.90 \log \alpha - 1.31 \pm 0.14$  (4.2)

(第三紀地盤)  $\log v = 1.01 \log \alpha - 1.45 \pm 0.16$  (4.3)

(岩盤)  $\log v = 0.82 \log \alpha - 1.37 \pm 0.16$  (4.4)

(全地盤)  $\log v = 0.90 \log \alpha - 1.27 \pm 0.20$  (4.5)

図 5、図 6 に S I 値と最大加速度および最大速度との関係を示す。S I 値は最大速度ときわめて良い相関を示す。S I 値が速度応答スペクトルを元に算出された値であることを考えると最もな事といえる。最大加速度との相関はあまり良くない。

○S I 値と加速度  $\alpha$  (gal) との関係

(沖積地盤)  $\log SI = 0.80 \log \alpha - 0.94 \pm 0.21$  (5.1)

(洪積地盤)  $\log SI = 0.89 \log \alpha - 1.23 \pm 0.13$  (5.2)

(第三紀地盤)  $\log SI = 0.99 \log \alpha - 1.37 \pm 0.17$  (5.3)

(岩盤)  $\log SI = 1.03 \log \alpha - 1.56 \pm 0.19$  (5.4)

(全地盤)  $\log SI = 1.03 \log \alpha - 1.39 \pm 0.22$  (5.5)

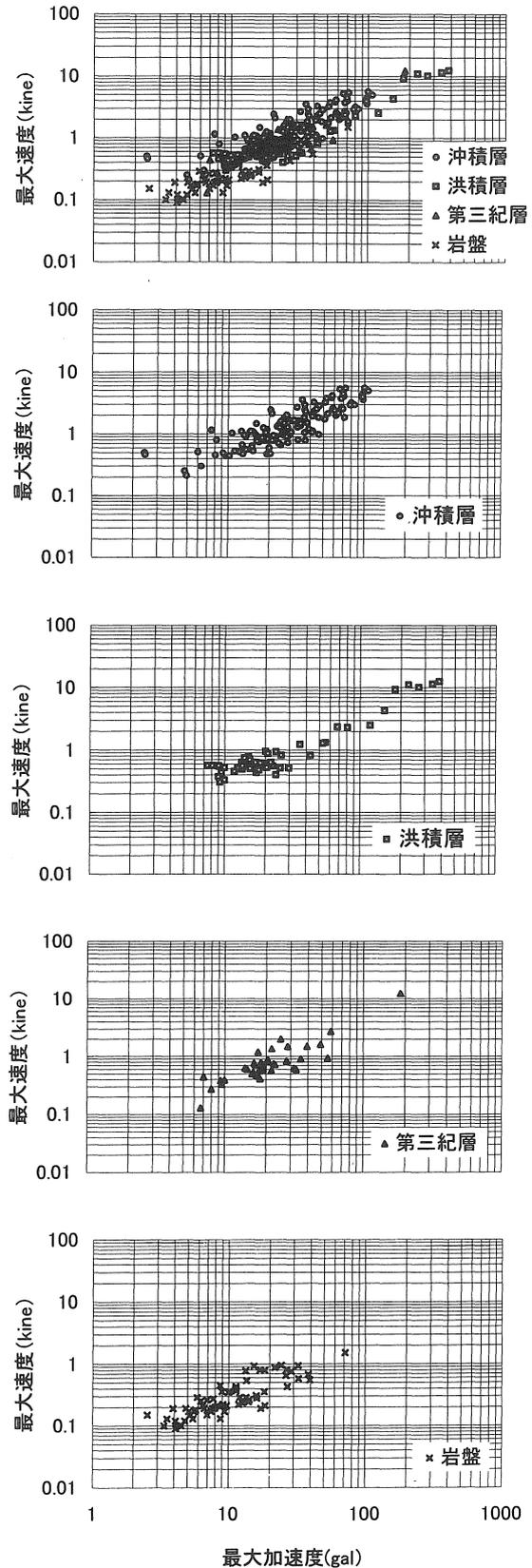


図 4 最大加速度と最大速度との関係

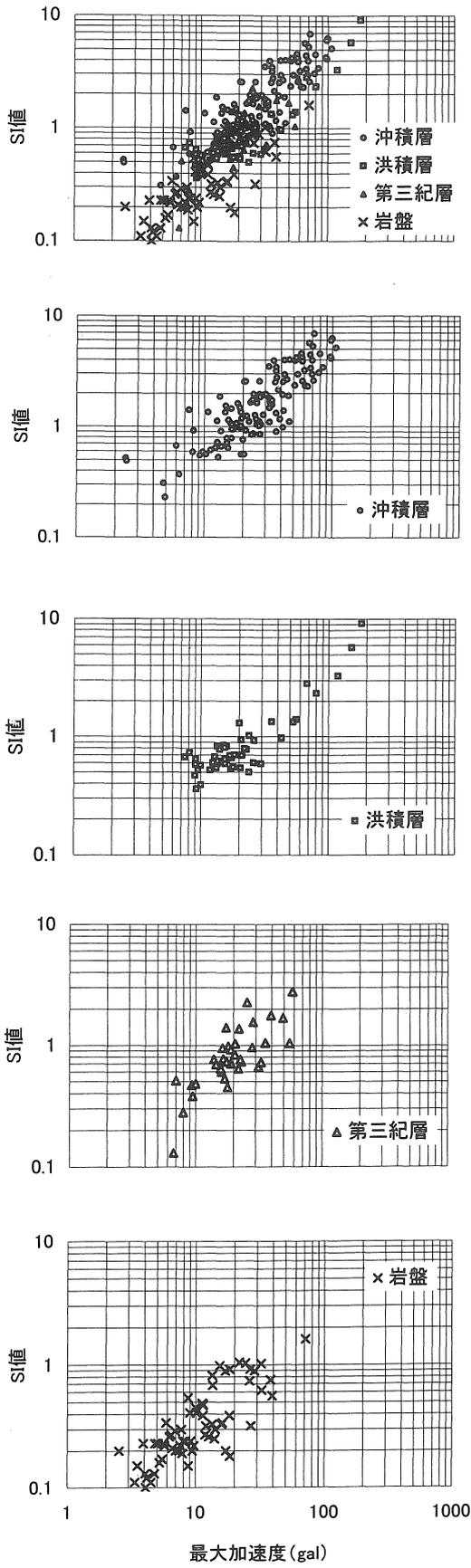


図5 SI値と最大加速度との関係

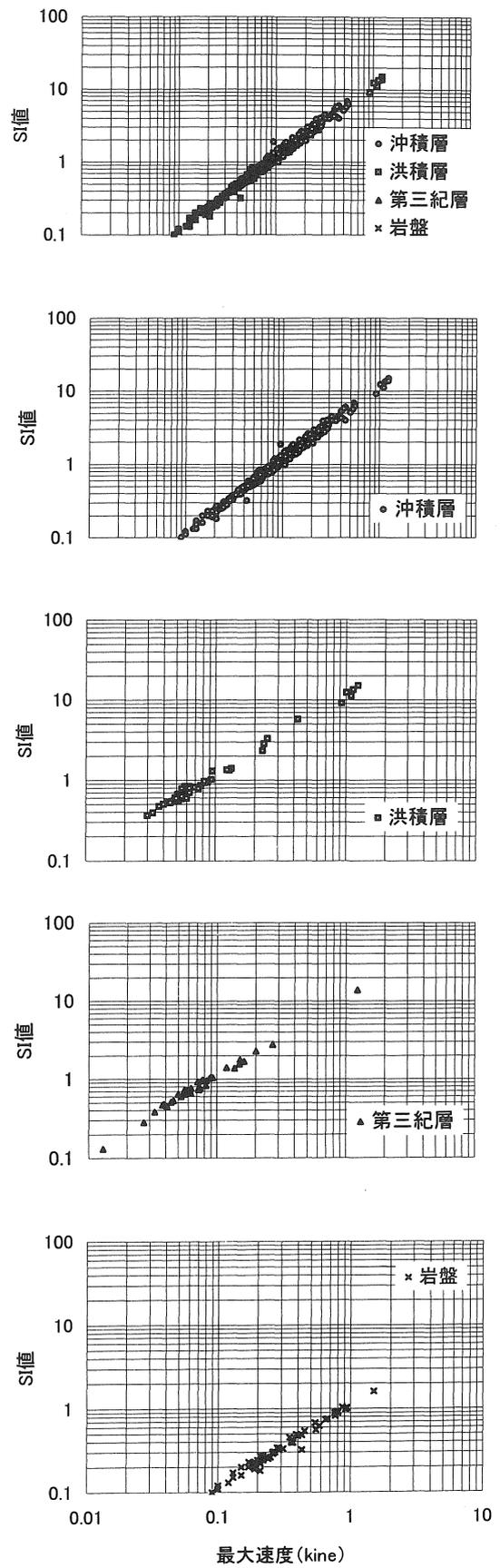


図6 SI値と最大速度との関係

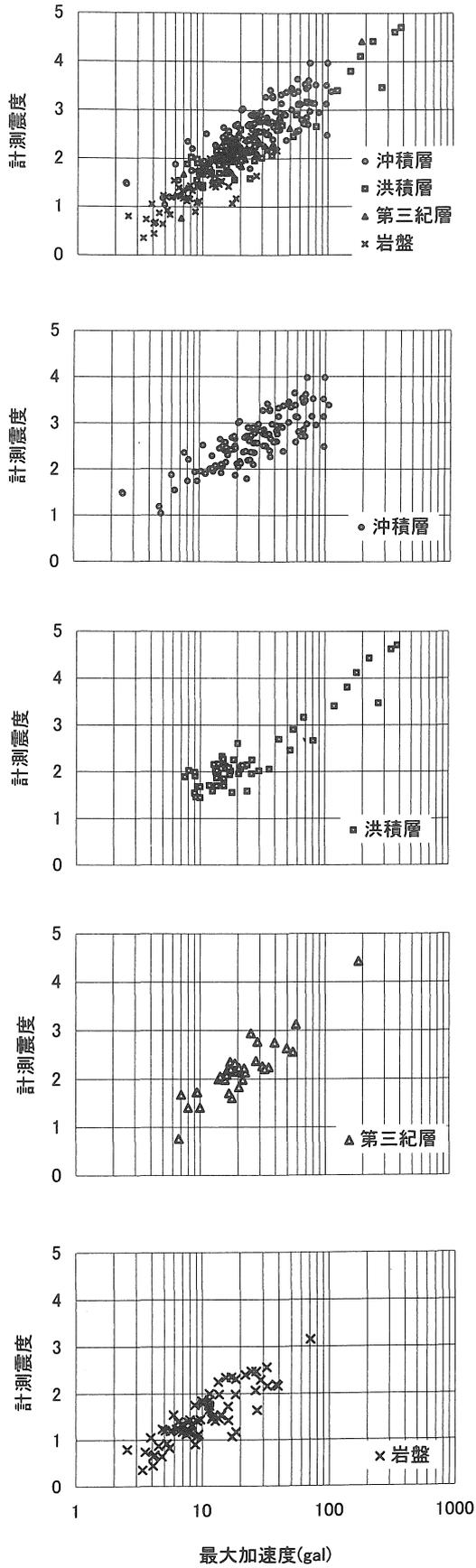


図7 計測震度と最大加速度との関係

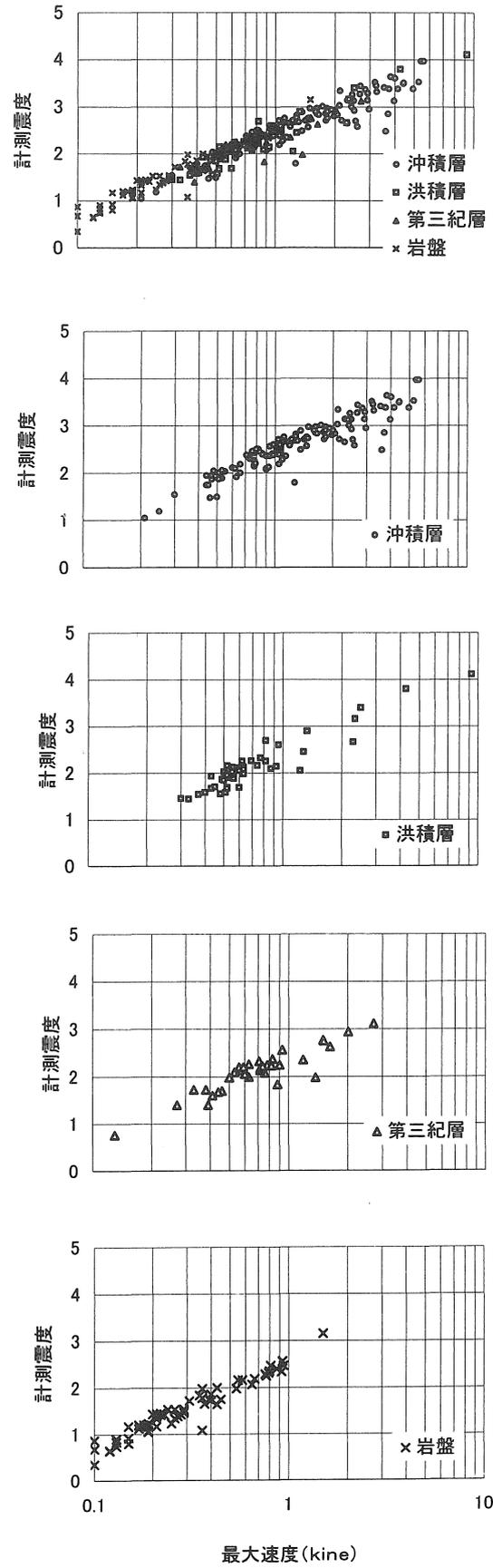


図8 計測震度と最大速度との関係

○ S I 値と速度  $v$  (kine) との関係

$$\text{(沖積地盤)} \quad \log SI = 0.99 \log v + 0.08 \pm 0.05 \quad (6.1)$$

$$\text{(洪積地盤)} \quad \log SI = 0.98 \log v + 0.07 \pm 0.04 \quad (6.2)$$

$$\text{(第三紀地盤)} \quad \log SI = 0.99 \log v + 0.06 \pm 0.03 \quad (6.3)$$

$$\text{(岩盤)} \quad \log SI = 0.98 \log v + 0.05 \pm 0.09 \quad (6.4)$$

$$\text{(全地盤)} \quad \log SI = 1.00 \log v + 0.07 \pm 0.05 \quad (6.5)$$

図7、図8に計測震度と最大加速度および最大速度との関係を示す。計測震度は加速度成分と速度成分を評価しながら算出される値である。最大速度との相関の方が、最大加速度との相関に比較して良い。

○ 計測震度  $I$  と加速度  $\alpha$  (gal) との関係

$$\text{(沖積地盤)} \quad I = 0.53 \log \alpha + 1.87 \pm 0.53 \quad (7.1)$$

$$\text{(洪積地盤)} \quad I = 1.66 \log \alpha - 0.02 \pm 0.29 \quad (7.2)$$

$$\text{(第三紀地盤)} \quad I = 1.88 \log \alpha - 0.29 \pm 0.27 \quad (7.3)$$

$$\text{(岩盤)} \quad I = 1.65 \log \alpha - 0.16 \pm 0.30 \quad (7.4)$$

$$\text{(全地盤)} \quad I = 1.77 \log \alpha - 0.07 \pm 0.36 \quad (7.5)$$

○ 計測震度  $I$  と速度  $v$  (kine) との関係

$$\text{(沖積地盤)} \quad I = 1.72 \log v + 2.40 \pm 0.21 \quad (8.1)$$

$$\text{(洪積地盤)} \quad I = 1.82 \log v + 2.42 \pm 0.22 \quad (8.2)$$

$$\text{(第三紀地盤)} \quad I = 1.72 \log v + 2.39 \pm 0.19 \quad (8.3)$$

$$\text{(岩盤)} \quad I = 1.92 \log v + 2.56 \pm 0.14 \quad (8.4)$$

$$\text{(全地盤)} \quad I = 1.73 \log v + 2.41 \pm 0.24 \quad (8.5)$$

## 5. まとめ

1998年4月22日の養老地震の強震動特性について考察した。距離減衰に関してはかなりのばらつきが見られた。ばらつきの程度は最大加速度、最大速度、最大変位とも同程度であった。今回の地震は養老山脈直下で発生した地震である。山脈の東には濃尾平野が広がっており、一方西側には鈴鹿山地が広がっている。このような地盤の非対称性の影響を受けているのかも知れない。

最大加速度と最大速度との相関は地盤の種類に関係無く高かった。S I 値は最大加速度との相関も見られるが最大速度との相関が極めて強かった。これは、S I 値が基本的に速度成分に関連する指標であるためであろう。S I 値は、速度応答スペクトルを求めさらにこれを積分しなければならず少々手間がかかるので、最大速度で代替しても有用であろう。震度はもともと体感、物体の震動形態、被害実態などから総合的に決定される強震動の強さを評価する指標である。強さを概略的に表す指標として一般的に受け入れられているが、一方で物理的定義は曖昧である。加速度成分、速度成分、変位成分さらに周期成分をも含んでいる。計測震度と最大加速度との相関を見ると比較的良好であるが、最大速度との相関は強い。速度成分が加速度成分と変位成分の中間的成分であること、加速度が短周期領域で優勢である一方変位は長周期領域で優勢である。速度成分は中間的周期領域で優勢である。いずれにしても、最大速度が計測震度と良い相関を示すのは当然といえる。

## 謝辞

本研究に用いた諸数値は名古屋大学先端技術共同研究センターの福和伸夫教授から提供頂いた。貴重な資料であり深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 福和伸夫, 飛田 潤, 中野 優: 名古屋圏にみる強震観測状況の実態と記録活用の試み, 1998年4月22日養老の地震の記録収集と分析, 名古屋大学, pp.1-318, 1999.
- 2) 通産省工業技術院地質調査所: 日本地質図体系, 中部地方, 朝倉書店, 1991.

(受理 平成13年3月19日)