

鹿児島県北西部におけるK-NET観測点の地震動増幅特性

Amplification characteristics of K-NET earthquake observation sites in NW part of Kagoshima prefecture

キーワード:

地震 増幅特性 1997年鹿児島県北
西部の地震 非線形特性 K-NET

末 富 岩 雄*
吉 田 望*

研究概要

鹿児島県北西部で1997年3月と5月に最大震度6を記録する地震が発生し、科学技術庁により1996年に全国に展開された強震観測網(K-NET)により、震源近傍の強震記録が得られた。本報では、震源近傍観測記録の基礎的分析を行い、浅層地盤特性の差異により地震動の特性が大きく異なることを示した。また、阿久根市観測点について、硬質地盤上で観測された気象庁震度計の記録と中間軟弱粘土層を有するK-NETの記録の周波数特性が著しく異なっており、一次元等価線形解析により中間軟弱粘土層が存在するために短周期成分の増幅がなく、著しい非線形挙動が現れることを示した。

目次

- | | |
|-------------|-------------|
| 1 はじめに | 4 阿久根観測点の特性 |
| 2 観測記録の概要 | 5 川内観測点の特性 |
| 3 宮之城観測点の特性 | 6 まとめ |

Abstract

Strong motion records whose maximum JMA seismic intensity scale was 6 were observed by K-NET earthquake observation sites in NW part of Kagoshima prefecture in March and May, 1997. In this paper, it is shown that spectral characteristics of earthquake motions are different from each other due to the difference of amplification characteristics between the observation sites. Especially, records at JMA observation sites on stiff ground have quite different spectral characteristics from those at K-NET observation sites which have intermediate soft clay layers. It is shown that small amplification in the short-period range and apparent nonlinear behavior are caused by the soft clay layers by the use of 1-D equivalent linear analyses.

*中央技術研究所 土木研究部門

1 はじめに

鹿児島県北西部では、1997年3月26日と5月13日の2度、最大震度6を記録する地震が発生した。阪神・淡路大震災後、科学技術庁により全国に展開されたK-NET¹⁾と気象庁95型震度計により震源を取り囲むように強震記録が得られた。特に宮之城観測点では 900cm/s^2 を越える最大加速度が観測された。本報では、震源近傍におけるK-NETデータと気象庁震度計データを用いて、浅層地盤特性の差異が地震動特性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。

2 観測記録の概要

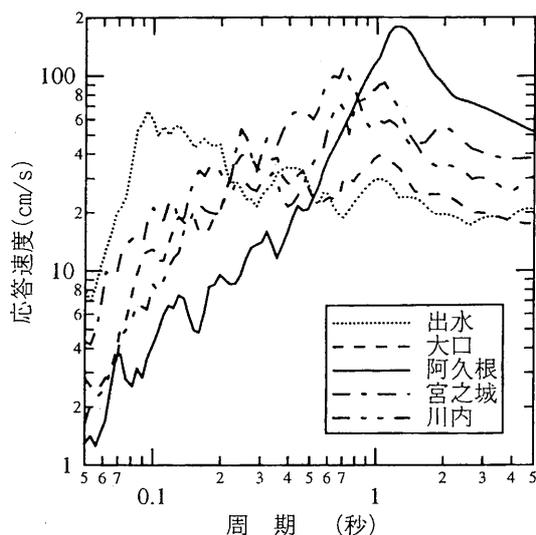
1997年3月26日17時31分頃、鹿児島県北西部でM6.3の地震が発生し、さらに5月13日14時38分頃、M6.2の地震が発生した。本報では、3月21日の地震を第1地震、5月13日の地震を第2地震と略称する。

震源近傍の5点のK-NET観測点における観測最大値を表一に示す。0.1~30Hzのバンドパス・フィルター処理を行ってフーリエ積分を実施し、水平2成分を合成して最大値を算出した。計測震度は気象庁の算出方法²⁾に基づいて算出した。出水では最大加速度は大きい、最大速度、最大変位は小さい。逆に阿久根観測点では最大加速度は小さいものの最大速度、最大変位は大きい。

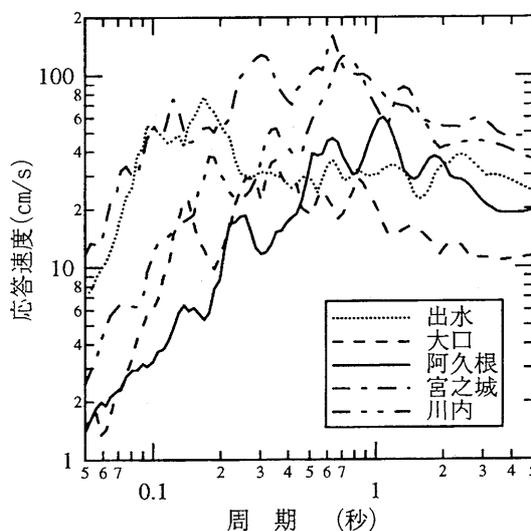
5点の速度応答スペクトルの比較を図一に示す。顕著な観測点による周波数特性の差異が見られる。最大加速度が大きい出水では10Hz付近の短周期が顕著に卓越して、0.5~2秒の中周期では他の観測点よりも小さい。硬質地盤上の出水、大口は数Hz以上の高振動数成分のみ表層地盤の増幅を受けているためと考えられる。阿久根における第1地震の記録は1.2秒付近が卓越しており、逆に短周期は他の観測点より

表一 震源近傍観測点における最大値

	観測点	PGA (cm/s^2)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	計測 震度
第1 地震	出水	859.8	17.4	4.08	5.25
	大口	320.7	18.0	2.66	4.90
	阿久根	295.6	43.7	11.45	5.68
	宮之城	548.5	36.9	5.99	5.54
	川内	238.2	29.3	5.14	5.18
第2 地震	出水	736.9	24.2	4.59	5.30
	大口	188.1	10.3	1.35	4.60
	阿久根	173.9	18.4	4.14	4.80
	宮之城	953.0	46.8	6.39	5.90
	川内	340.7	32.0	7.57	5.40



(a) 第1地震



(b) 第2地震

図一 震源近傍観測点における速度応答スペクトル (減衰5%)

も小さく非常に特徴的である。

一方、2つの地震の周波数特性を比較すると、第1地震で1秒付近が大きく、第2地震で短周期が大きいようであるが、これは震源特性の差異のみならず、観測点と震源の位置関係による影響も大きいと考えられる。

1995年兵庫県南部地震等、過去の代表的な地震観測記録との比較を図二に示す。宮之城での第2地震の記録は、1995年兵庫県南部地震での神戸海洋気象台における観測記録と比較すると、0.3秒以下で上回り、0.3秒以上で神戸海洋気象台を下回っている。したがって、最大加速度でやや上回り、計測震度では下回るという結果になっている。また、全体に1993年

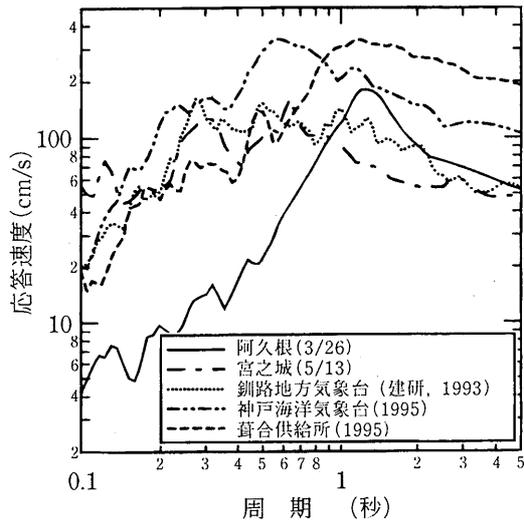


図-2 代表的地震記録の速度応答スペクトルとの比較 (減衰5%)

釧路沖地震での釧路地方気象台でのスペクトル特性に近い。これは、丘陵上である、火山灰が堆積している、といった地盤特性に共通点が多いことと対応しているものと考えられる。

阿久根での第1地震での記録は1秒強の成分が卓越しており、葦合での兵庫県南部地震の記録を全体に一回り小さくしたような特性を示している。

上述の5点における変位軌跡を図-3に示す。ここでは方向性にのみ注目しているので、変位の大きさの縮尺は地点毎に異なっている。点震源での変位軌跡と対応しているが、第1地震では震央から東西へ破壊が伝播したと考えられており³⁾、阿久根における大きなNS方向の揺れはdirectivityの影響を受けたのではない

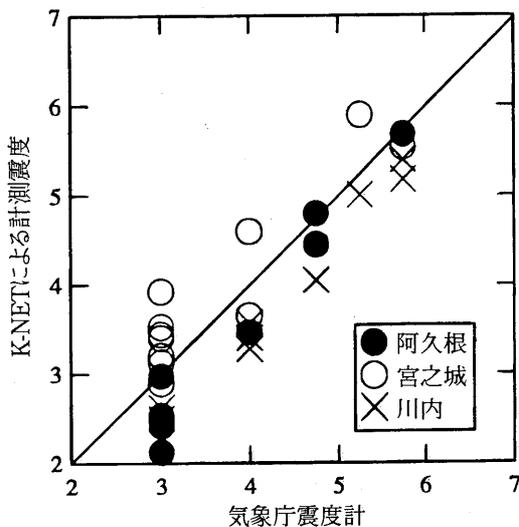
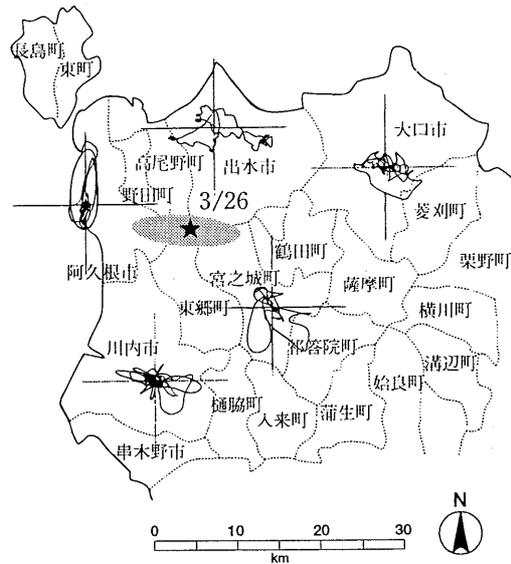
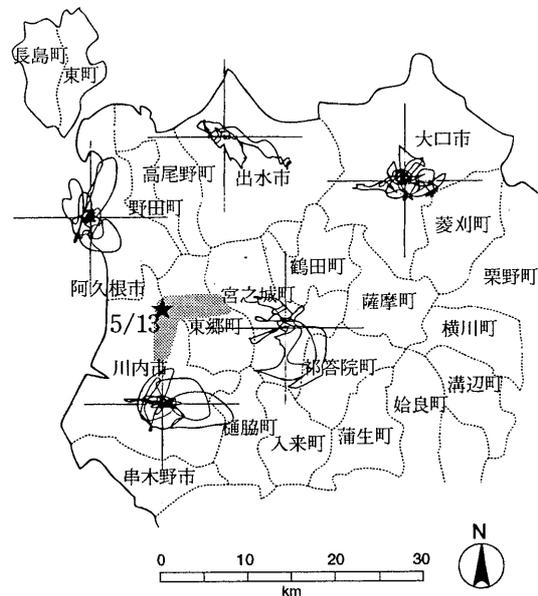


図-4 気象庁震度計による震度とK-NETによる震度の比較



(a) 第1地震

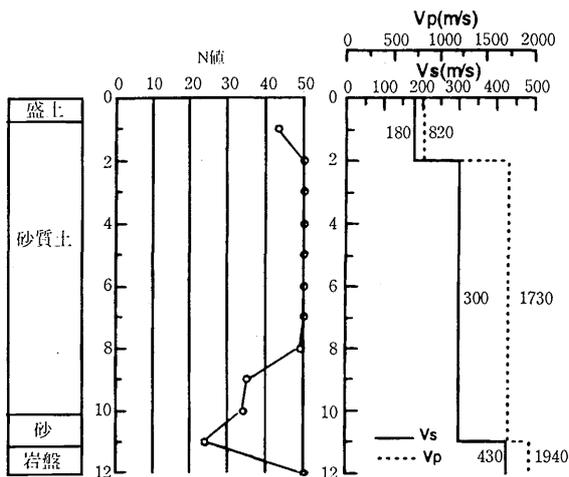


(b) 第2地震

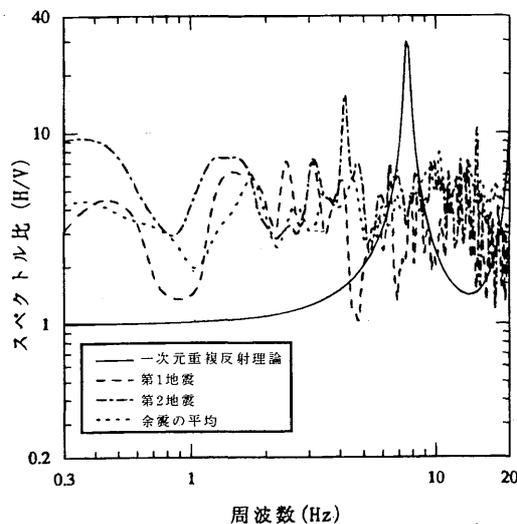
図-3 震源近傍観測点における変位軌跡

かと推測される。第2地震でも各点の卓越方向はそれぞれ第1地震のそれと概ね一致している。

阿久根、宮之城、川内では、K-NETのみならず気象庁震度計によっても観測記録が得られている。図-4にK-NET地震計記録から求めた計測震度¹⁾と気象庁震度計による震度³⁾の比較を示す。気象庁による震度に関しては、震度3→3.0、震度4→4.0、震度5弱→4.75、震度5強→5.25、震度6弱→5.75と置いている。宮之城町ではK-NETでの値の方が大きく、川内市では気象庁による値の方が大きい。阿久根市では震度が小さい時は気象庁での値の方が大きい、震度



図一5 宮之城観測点の地盤構造



図一6 宮之城観測点の伝達関数

が大きくなるにつれて両者はほぼ一致するという興味深い傾向を示している。各点で系統的な傾向を示すということは、計器が設置されている地点の地盤条件あるいは建物等の影響で、市内でも震度が異なることを示している。各点の地盤特性について以下で検討する。

3 宮之城観測点の増幅特性

図一5に地盤構造¹⁾、図一6に一次元重複反射理論により計算した伝達関数(減衰定数は全層2%)、地震観測記録の水平成分(2成分合成)と鉛直成分のスペクトル比を示す。

観測記録と理論値は対応していない。地盤構造および伝達関数は、出水観測点に近い。出水観測点での記録は伝達関数と傾向的には対応して高振動数が卓越しているが、宮之城観測点では伝達関数と対応して

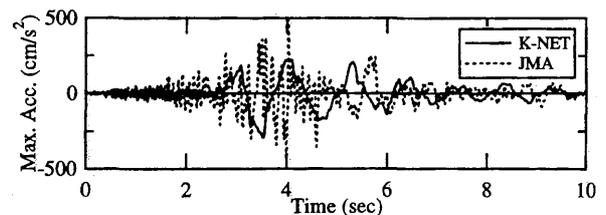
いないということは、当然用いた地盤構造が適切でないということである。その原因は、1)計算モデルの基盤が浅い、2)平面的地盤構造は地盤調査地点と異なっている(不整形構造の影響が大きい)、のいずれかと思われる。岩盤とされているGL-12m以下の層の密度は 2.0t/m^3 弱であり(出水観測点では 2.3t/m^3 弱である)、確認されている層厚も薄い。おそらく、堅い層とやや柔らかい層の互層構造になっていて、そのためにスペクトルのピークが明瞭でなく、基盤としては調査されている深度よりも深い層を採用すべきものと考えられる。強震時には、やや周期が伸び、短周期での比もやや小さくなっているが、地盤の非線形化はあまり明瞭ではない。

あべ木ら⁴⁾による宮之城町内での常時微動の観測結果では、大きな被害を受け共に丘陵上に位置する宮之城農業高校、宮之城高校でのH/Vは、K-NETの地震観測記録の水平/鉛直スペクトル比とよく似た特性を示している。一方、市街部にあり震度計が設置されている町役場では1秒以下の周期での増幅は見られない。したがって、2~5Hzの短周期成分が丘陵上で大きく増幅され、被害をもたらしたものと推察される。

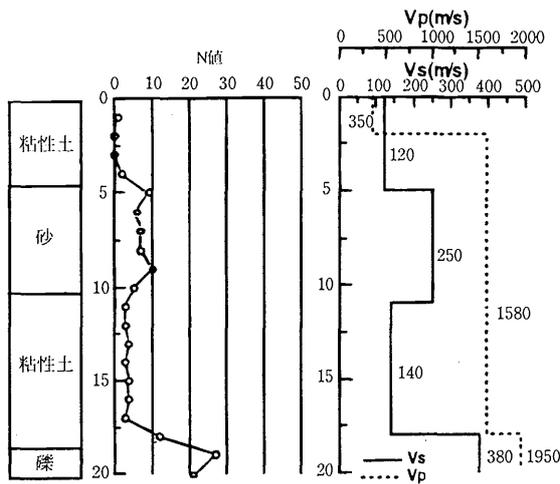
4 阿久根観測点の増幅特性

K-NET観測点は、阿久根市役所の敷地内に設置されている。液状化による被害があった阿久根新港、阿久根港のやや南に位置している。これらの被害は主として3月の第1地震によるものであり、5月の第2地震ではさらにクラックや沈下が大きくなったものである。最大加速度や震度も第1地震の方が明らかに大きい。市役所周辺では特に液状化の痕跡は認められなかった。

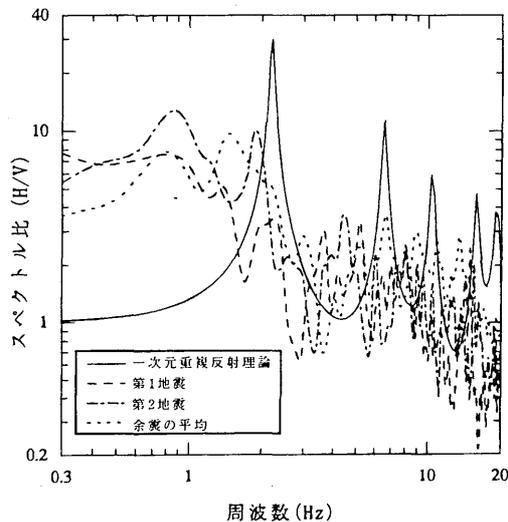
一方、気象庁震度計は山側の硬質地盤に設置されている。図一7にK-NET観測点と気象庁観測点における第1地震NS成分の加速度波形の比較を示す。気象庁観測点では短周期成分が卓越しているのに対し、K-NET観測点では1秒付近の成分が卓越している。これは、浅層地盤の差異に起因すると考えられるので、



図一7 阿久根市における観測加速度波形の比較(第1地震, NS成分)



図一八 阿久根観測点の地盤構造

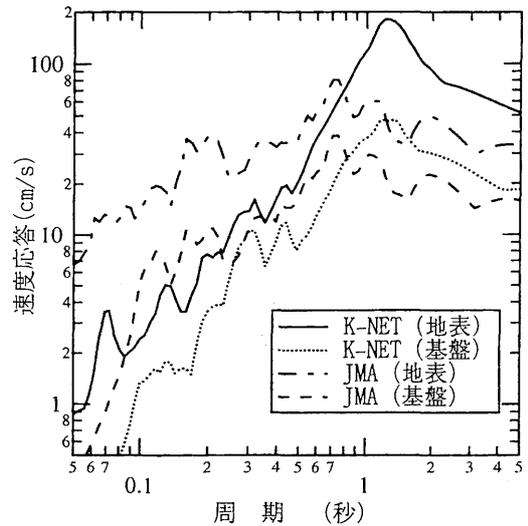


図一九 阿久根観測点の伝達関数

一次元等価線形解析により工学的基盤への引き戻しを実施する。

K-NET観測地点の地盤構造は、図一八のように報告されている¹⁾。この構造を用いて得られた伝達関数と、水平成分と鉛直成分のスペクトル比を図一九に示す。弱震時でも10Hz付近のスペクトル比の値は小さく、強震時は弱震に比べ、卓越周期がやや伸び、高振動数でのスペクトル比がやや小さくなっている程度である。理論値においても、高振動数での増幅倍率は大きくない。深度10~16mの軟弱な粘土層が当該地点の地震動特性に大きく影響しているものと考えられる。

JMA観測点とのスペクトル比を求めると、弱震時で1.5Hz、第1地震NS成分で0.7Hzとなる。したがって、S波速度380m/sの層を基盤としたのでは対応しない



図一十 2点の地表と基盤における速度応答スペクトルの比較 (減衰5%)

ので、GL-50mにS波速度500m/sの層を設けて工学的基盤とした。また、等価線形解析で卓越周波数が大きく変化することを説明できるように、中間の粘性土層のS波速度を140m/sから110m/sへ変更した。一方、JMA観測点については、地盤情報が不明なので、卓越周波数が4~5Hzとなるように、層厚を15mとして地盤モデルを仮定した。

一次元等価線形解析により得られた速度応答スペクトル (減衰5%) を図一十に示す。2地点の地表における周期特性は大きく異なっているのに対し、工学的基盤での周期特性はまだ不十分ではあるが類似したものとなっている。このことから、浅層地盤の増幅特性の差異が、数kmの距離での地震動特性の大きな差異をもたらしていることがわかる。K-NET観測点の第1地震の地震動特性の解釈として、液状化の影響とする見方もあるが⁵⁾、顕著な液状化が見られたのは比較的新しい埋立地でK-NET観測点とは離れており、砂層のN値・S波速度は比較的大きく、周辺では噴砂等は見られていない。また、砂層のS波速度を小さく仮定して液状化し易くしても中小地震での小さな増幅を説明できない。波形にもサイクリックモービリティのような液状化を示唆するものは見られない。したがって、本報のように、中間軟弱粘土層の影響と解釈するのが妥当と考えられる。

5 川内観測点の増幅特性

川内市役所の隣の向田公園内に設置されている。周辺では顕著な被害はない。第2地震から1週間後の調査なので状況は定かではないが、公園の周囲では道路

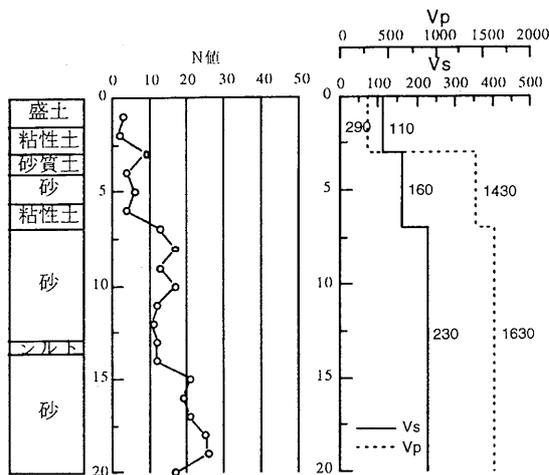


図-11 川内観測点における地盤構造

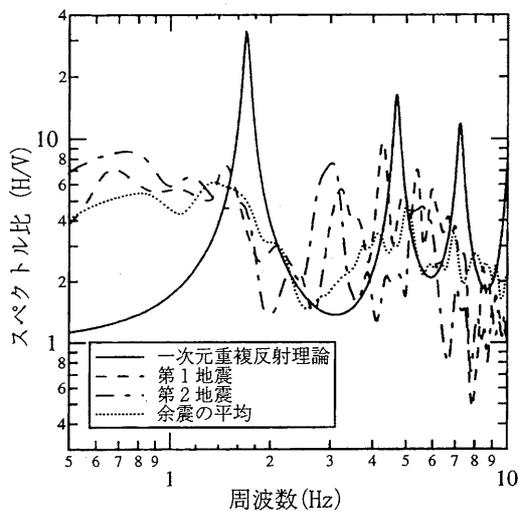


図-12 川内観測点における伝達関数

脇の舗装の隙間から若干砂が噴き出しているように見えた。

地盤構造¹⁾を図-11に、伝達関数を図-12に示す。GL-20mでもS波速度が300m/sにも達していないので、S波速度が230m/sの層がGL-35mまで続くと仮定して伝達関数を求めた。概ね余震記録の卓越周波数を説明できていると思われる。

強震時は弱震時に比べ4Hz付近でやや大きくなり、10Hz以上でやや小さくなっている。これは、浅い部分での地盤の非線形化によるものと考えられるが、それほど顕著ではない。

6 まとめ

鹿児島県北西部でのK-NET観測記録を用いて、各観測点の浅層地盤増幅特性を把握し、これが地震動特性に大きく影響することを示した。気象庁震度計と合わせた鹿児島県北西部のデータセットは震源近傍で

サイト特性が顕著に現れている貴重な記録であり、今後さらに様々な観点から検討を加えていく予定である。

本報では、科学技術庁防災科学技術研究所による強震観測網(K-NET)の地震観測記録および気象庁による95型震度計波形データを使用させていただきました。また、気象庁データの読みとりには、東京電力(株)植竹氏によるプログラムを使用させていただきました。記して関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 科学技術庁防災科学技術研究所強震観測網(K-NET)ホームページ, <http://www.k-net.bosai.go.jp>
- 2) 気象庁;震度を知るー基礎知識とその応用ー, ぎょうせい, 1996年9月
- 3) 地震・津波防災季報, 気象庁地震火山部地震津波監視課, No.41, 1997年4月
- 4) あべ木紀男・前田俊之; 1997年3月・5月の鹿児島県北西部地震ー被害地域における常時微動観測(速報)ー, ESG研究委員会資料, 1997年6月
- 5) 森伸一郎・三輪滋・沼田淳紀・他; 防災科学技術研究所のK-Netを利用した液状化調査の事例, 土木学会第52回年次学術講演会, I-B, pp.502~503, 1997年9月