

秋田県能代市における地盤の振動特性 (2)

—1983年日本海中部地震で液状化を生じた地盤の微動特性—

微動研究グループ

齋藤 徳美*・阿部 司**・小林 直太^{3*}
中島 直吉^{4*}・中村 操^{5*}・野越 三雄^{6*}
・毎熊 輝記^{7*}

**Study on the Ground Vibration Characteristics in Noshiro City, Akita Prefecture (2)—
Characterization of Short-period Microtremors at the Liquefied Ground by the 1983 Nihonkai-chubu
Earthquake—By Research Group for Short- and Long-period Microtremors (Tokumi SAITO, Mamoru
ABE, Naota KOBAYASHI, Naoyoshi NAKAJIMA, Misao NAKAMURA, Mitsuo NOGOSHI and Teruki MAIGUMA)**

The previous study (Research group for short- and long-period microtremors: 1988), proved that the damage due to soil liquefaction in earthquakes could be estimated by measurements of short-period microtremors. As a series of the previous study, intensive measurements of microtremors and S-wave velocities were made on and around the most heavily damaged areas, Shonan-cho, Hamadori-cho, and Aoba-cho, in Noshiro City in 1985.

Results of this investigation are as follows:

- 1) Most of the sites undamaged by soil liquefaction have S-wave velocities above 130 m/sec and the ground water level deeper than 3 m below the ground surface.
- 2) Most of the sites damaged by soil liquefaction have S-wave velocities below 130 m/sec and the ground water level within 3 m below the ground surface. These sites have type a of microtremor spectra, which have peaks above 4 Hz, with high probability.
- 3) It is found that type a of microtremor spectrum corresponds well to the liquefied sites with very shallow level of ground water below the ground surface and very small subsurface S-wave velocities. Therefore, the measurements of short-period microtremors give a high probability prediction of damage from soil liquefaction.

1. 緒 言

微動研究グループでは1984年8月に、日本海中部地震(1983年5月)で著しい被害をうけた秋田県能代市域を対象に、短周期微動・ポーリング・PS検層・表層S波速度・地下水位等の総合的調査を行ったが、前報(微動研究グループ, 1988)で述べたように液状化災害と微動

特性との間に関連があることが示された。

しかし、調査対象地域が広大であることでもあり、液状化災害に関連すると推測される地下水位・表層S波速度に関するデータが十分でなく、また短周期微動の測点も分散しているため、液状化災害と微動特性との関係についてはなお検討の余地が残された。

そこで、1985年8月に特に液状化災害の著しい昭南町を中心とする区域で詳細な表層S波速度・地下水位の調査を行うと共に、可能な限り短周期微動の測点を追加し、液状化を生じた地盤の振動特性について検討を行った。本報ではその結果について報告する。

昭和62年3月23日原稿受付, 昭和62年10月14日受理

*岩手大学工学部 **東北大学工学部 ^{3*}中央大学理工学部
^{4*}(株)東京ソイルリサーチ ^{5*}日本物理探査(株) ^{6*}秋田大学教育学部 ^{7*}埼玉大学工学部 (齋藤以外は五十音順)

2. 調査区域

Fig. 1 に調査区域を示す。図には1984年8月に行った短周期微動の観測点, 20 m 深のボーリングおよびPS検層の場所, 表層S波速度の測点を示す。なお, 液状化が生じた区域は100 m メッシュで表示したものである。今回測定を追加して行ったところは, 破線で囲まれた浜通町・昭南町・青葉町にかけての区域で, 東西約1 km・南北約2.7 km の範囲である。

前報(微動研究グループ, 1988)で述べたように, 能代市域において地盤災害が著しかった区域は2つに大別される。1つは市街地東側の米代川に隣接する中川原から南南西の方向に向い, 前山を経て南限を浜浅内地区とする南北約6 km・東西約800~1300 m の範囲である。もう1つは市中心部より西側に位置し, 北を浜通町・清助町としその南の末広町・松美町・昭南町を経て鳥小屋付近に至る南北約2.5 km・東西約600 m の範囲である。

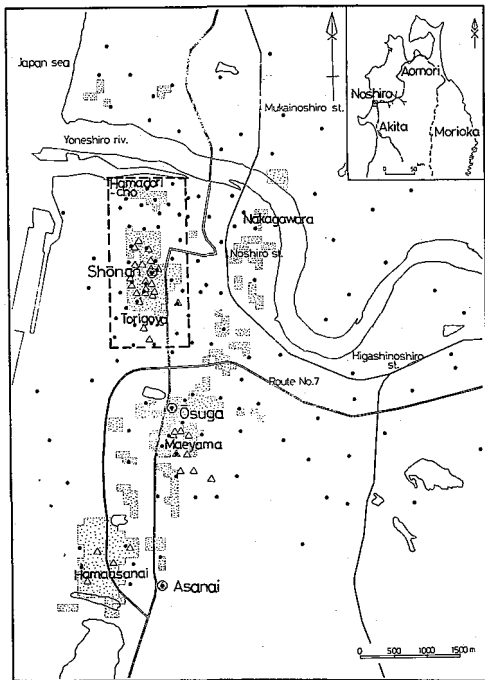


Fig. 1 Map showing the sites where microtremors were observed (solid circles), S wave velocities were measured (open triangles), and well velocity surveys were made (open circles) in 1984. The area enclosed by the heavy dashed line is the one that the present study was made. Stippled parts show liquefied areas caused by the 1983 Nihonkai-chubu earthquake.

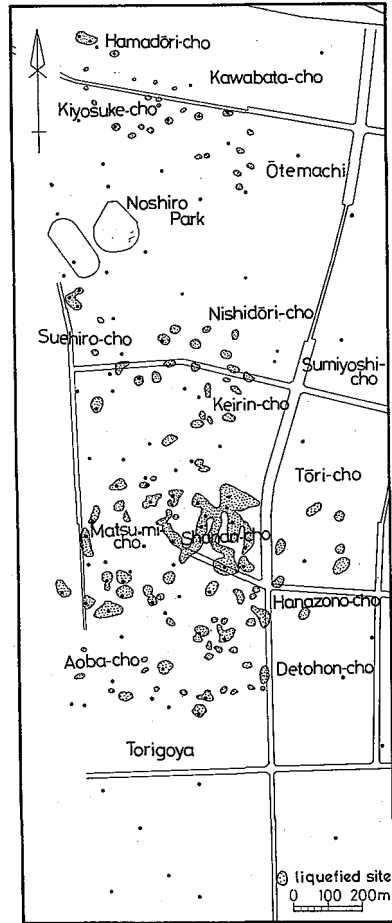


Fig. 2 Map showing the location of liquefied areas by the 1983 Nihonkai-chubu earthquake (stippled parts). Solid circles are the sites where microtremors were observed.

今回の測定は後者の区域をほぼ網羅する範囲で行われた。これらの区域はいずれも砂丘が主として砂丘間低地・後背湿地・旧河道などの沖積平野に移行する部分に位置しており, 亀裂・陥没等の他噴砂・噴水等地盤の液状化が多く見いだされた。

Fig. 2 に日本海中部地震秋田大学地質調査班の調査(1984)による測定区域内で液状化が見いだされた場所を示す。

当測定区域の中央部に位置する松美町・昭南町は能代市全域を通じて最も液状化災害が集中した区域で, 南北約250 m・東西約500 m の範囲にわたっておびただしい噴砂・噴水を伴ない, 町内のほとんどの道路は液状変形を受け, 特に激しい箇所では床上浸水が認められた。

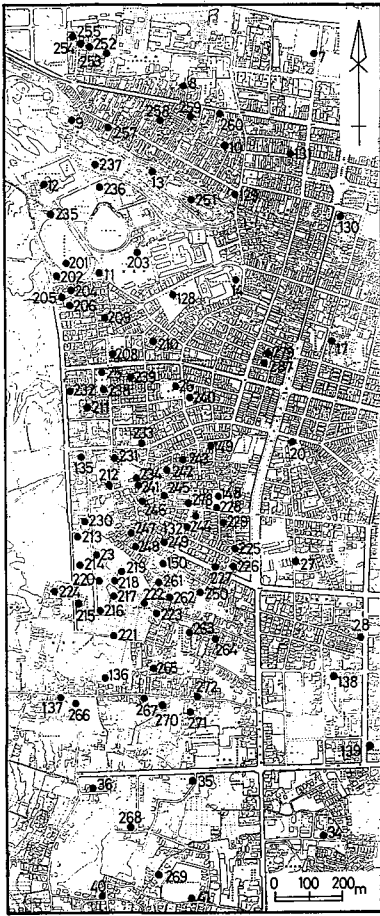


Fig. 3 Map showing the measurement sites of short-period microtremors.

Fig. 3に短周期微動の測点を示す。測定番号で200番台が1985年8月の測定(68点), その他は1984年8月の測点で, 区域内での総測点数は105点である。

3. 短周期微動の測定・解析装置および方法

短周期微動の測定・解析装置および方法は前報(微動研究グループ, 1988と同様である。すなわち, 用いた地震計は固有周期1秒の動電速度型3成分で, 増幅器により100~1000倍に増幅し, データレコーダに記録した。測定は1985年8月1日から8月6日にかけて, 雨・風等気象条件に留意し, 車両の通行等特定振動源からのノイズの少ない午前0時~4時の間に行った。1測点での測定時間は5~20分である。

解析に際しては, データレコーダの記録をリニアコーダに再生し, 直接的な人工ノイズ等が含まれる部分を除

外して解析区間を選定した。この区間を長さ3秒ごとに区分し, 各区間内の最大振幅を読み取り, それら20個の算術平均を平均最大振幅とした。また, 平均最大振幅を読みとった区間のうちの40.96秒について0.02秒間隔でデジタル化して, FFTによりスペクトル解析を行った。測定・再生系の総合周波数特性は, ほぼ1 Hzから25 Hzまでフラットである。スペクトルは前報(微動研究グループ, 1988)同様に1 Hzから10 Hzまでの範囲で, 最大ピーク値で正規化したフーリエ振幅スペクトルとして表示した。

4. 測定結果ならびに考察

短周期微動の測定が1984年8月と1985年8月の2ヶ年におわっているため, 両年度での測定データの再現性を確める目的で, いくつかの測点を重複させて比較検討を行った。その例をFig. 4に示すが, 1984年と1985年とでスペクトルのピークの位置は完全に一致しない。しかし, 各測点ともスペクトルタイプの観点からすると, 両年度の解析結果は類似しているため, 両年度の解析結果を一律に扱って検討を行うこととした。

当区域で観測された微動の波形例をFig. 5に示すが, 測点によりそれぞれ異なった波形を示している。前報(微動研究グループ, 1988)で明らかにしたように, 能代市域で見いだされたスペクトルのタイプはA・B・C・Dの4タイプまたはa・bの2タイプにそれぞれ大別されたが, 今回の測定区域で得られたフーリエスペクトルも同様に区分することができる。Fig. 6にスペクトルタイプA・B・C・Dの例を示す。タイプAは1.5 Hz以下に単一のピークを有するもの, タイプCは2~3 Hzに単一のピークを有するもの, タイプBは1.5 Hz以下と2~3 Hzに2つのピークを有するもの, タイプDは多くのピークを有するものである。なお, Fig. 6に掲げたスペクトルタイプの例はFig. 5に示した観測波形と対応している。一方, 前報(微動研究グループ, 1988)同様に, これら4つのスペクトルタイプとは別の分類として, 4 Hz以上の比較的高周波に明瞭なピークを有するタイプa, およびピークを有しないタイプbの2つに大別される。Fig. 7にスペクトルタイプaの例を示す。

今回の調査区域内における液状化区域と短周期微動のスペクトルタイプの分布をFig. 8およびFig. 9に, スペクトルタイプごとの液状化および非液状化地点のヒストグラムをFig. 10に示す。EWおよびNS水平動2成分のスペクトルは同一タイプに属しており, また大部分の測点では水平動成分と上下動成分のタイプも同じであるため, 以後図には水平動成分のスペクトルタイプを示

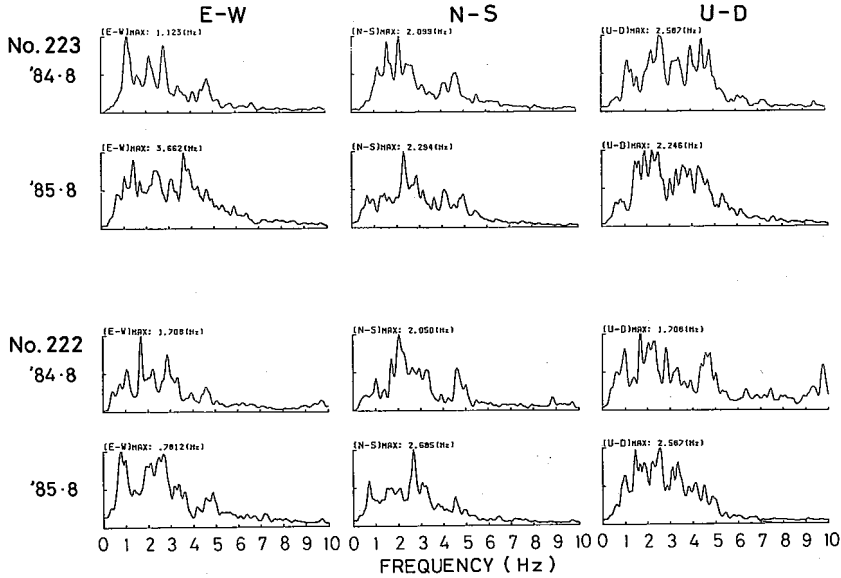


Fig. 4 Comparison between Fourier amplitude spectra measurement in 1984 and those in 1985. No. 222 and No. 223 are measurement sites as seen in Fig. 3. E-W and N-S mean horizontal components, and U-D vertical component. Spectral patterns in 1984 and 1985 are quite similar each other.

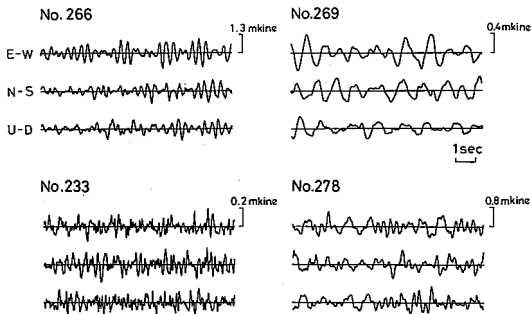


Fig. 5 Examples of wave form of short-period microtremors. No. 233, No. 266, No. 269 and No. 278 are measurement sites those are shown in Fig. 3.

した。Fig. 8はスペクトルをA・B・C・Dの4タイプに大別した場合であり、Fig. 9はaおよびbの2タイプに区分した場合である。なお、液状化区域はFig. 2に基づいて前報(微動研究グループ, 1988)より細かく50mメッシュで区分したものである。A・B・C・D4タイプの区分でみると、タイプAを示す測点では液状化を生じていない場合が多いのに対し、タイプBでは液状化・非液状化両者相半ばし、タイプDでは多くの測点で液状化を生じている。

一方、タイプaおよびタイプbの区分でみると液状化および非液状化地点との対応がより明瞭に示される。すなわち、スペクトルタイプDを示す測点では30%程度しか液状化を生じていないのに対し、タイプaを示す測点では2/3以上の確率で液状化が生じており、微動特性と液状化との間には強い相関が見出される。

当区域に分布する砂質土の粒度分析の結果中央粒径 U_{50} が0.30~0.48mmであり、粒度加算曲線からもきわめて液状化を生じやすい砂であるとみなされている(微動研究グループ, 1985, 1987)。しかし、スペクトルタイプaの測点でも液状化を生じていない場合があり、一方、タイプbの測点でも液状化を生じている場合もあり、スペクトルタイプと液状化・非液状化とは完全には対応していない。そこで、液状化に関連すると考えられる表層S波速度および地下水位の分布について検討した。

Fig. 11に当区域における表層S波速度の分布を液状化区域と共に示す。表層S波速度の測定は、1984年同様板たき震源で測線長30~60mで行ったもので、図には1984年および1985年の測定結果を併せて示してある。なお、ここで表層S波速度とした値は地表下第1層(10m以浅)のS波速度であるが、地表下1m以浅に整地等による高速度層や盛土等による低速度層が存在する場合には、これらを除外したものである。また、図にお

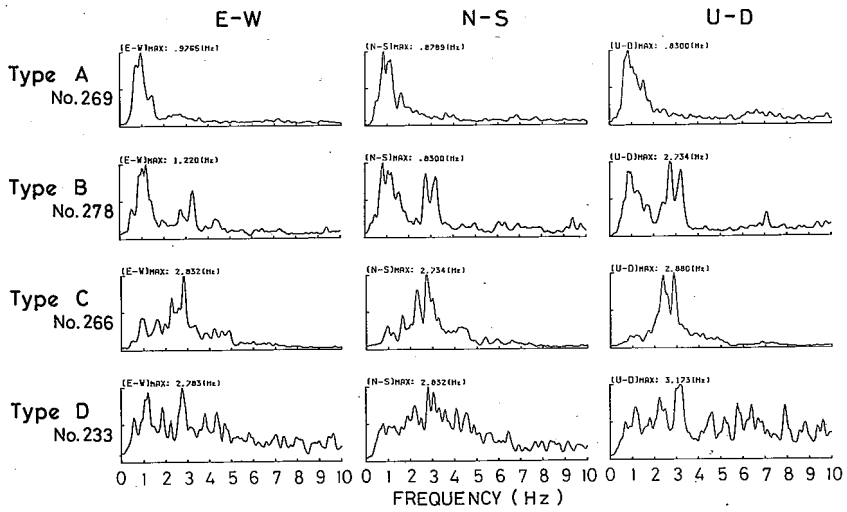


Fig. 6 Classification of spectral pattern of short-period microtremors. Type A has a single peak below 1.5 Hz, type B has a single peak below 1.5 Hz and a peak from 2.0 to 3.0 Hz, type C has a peak from 2.0 to 3.0 Hz, and type D has some peaks from 1.0 to 10.0 Hz. No. 266, No. 233, No. 269 and No. 278 are measurement sites as seen in Fig. 3.

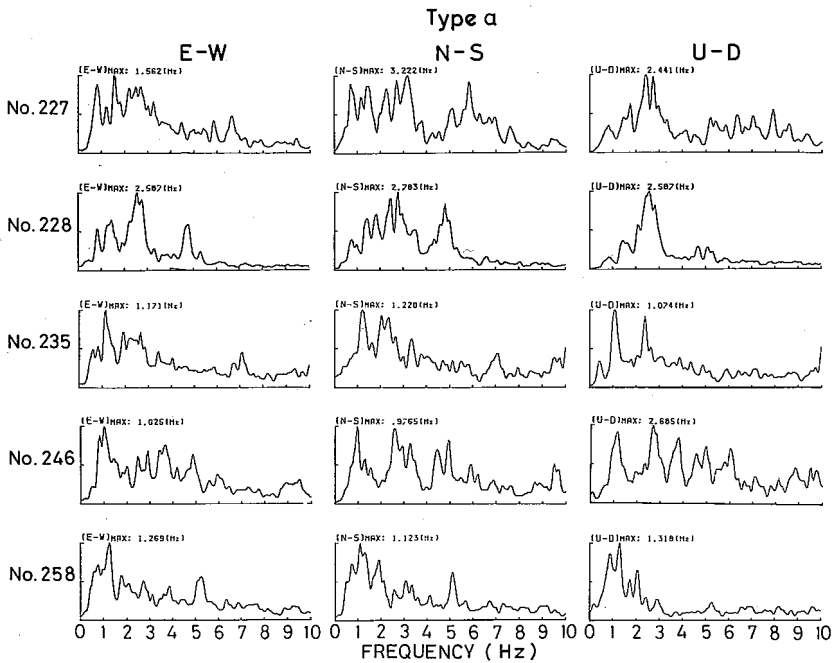


Fig. 7 Examples of type a of microtremor spectra, with some peaks above 4 Hz in spectra.

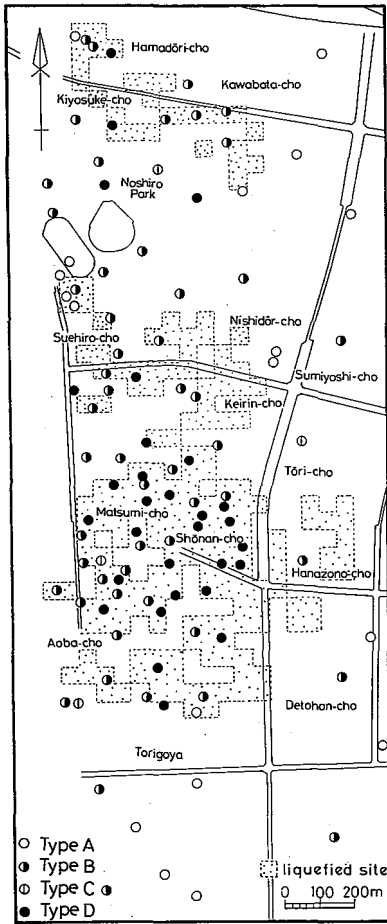


Fig. 8 Distribution of spectral types of short-period microtremors (type A, B, C and D) and liquefied areas. Stipped parts show liquefied areas. Spectral types shown in the figure indicate features of the spectra obtained for horizontal component of microtremors.

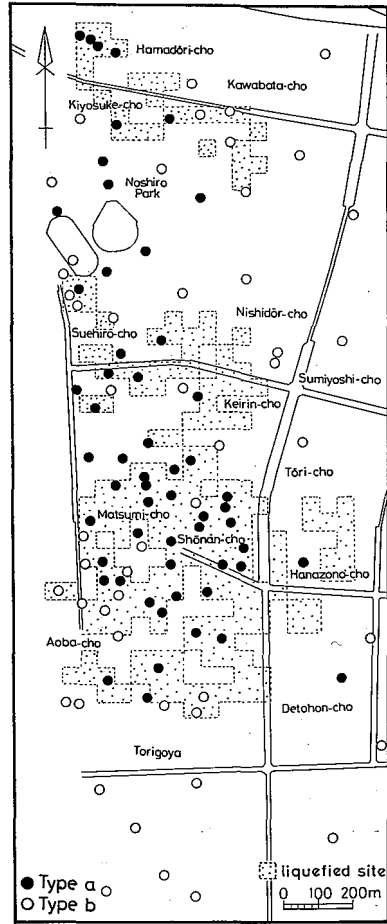


Fig. 9 Distribution of spectral types of short-period microtremors (type a and b) and liquefied areas. Stipped parts show liquefied areas. Spectral types shown in the figure indicate features of the spectra obtained for horizontal component of microtremors.

けるコンターは、区域内でこれまで行われたボーリングデータのN値（10 m以浅）の値をも参考にして描いた。図から明らかのように、町内のほとんどの場所で液状化を生じた松美町・昭南町ではS波速度が100 m/sと著しく小さく、S波速度130 m/s以下の範囲が液状化区域を包括する形で分布している。

Fig. 12に表層S波速度を100 m/s以下・100~130 m/sおよび130 m/s以上と区分した場合の液状化および非液状化地点のヒストグラムを示す。表層S波速度・地下水位・短周期微動それぞれの測点は、測点数も異なり測定場所も異なっている。そこで、後に3測定量と液状化との関係を含めて議論することを考慮し、頻度は

Fig. 11に示した表層S波速度分布にもとづき、各ゾーンに位置する微動の測点数で示したものである。表層S波速度の測点は短周期微動の測定に比して少ないためコンターは厳密なものではないし、一方短周期微動の測点も測定区域内に均質に分布していない。しかし、各速度区分での液状化および非液状化区域に位置する微動測点数の割合は、同じく表層S波速度の測点数から得られたヒストグラム、また、液状化および非液状化区域の50 mメッシュ数で表わしたヒストグラムともほぼ同じである。それ故、Fig. 12によって液状化災害と表層S波速度との関係について検討してさしつかえないと考えられる。

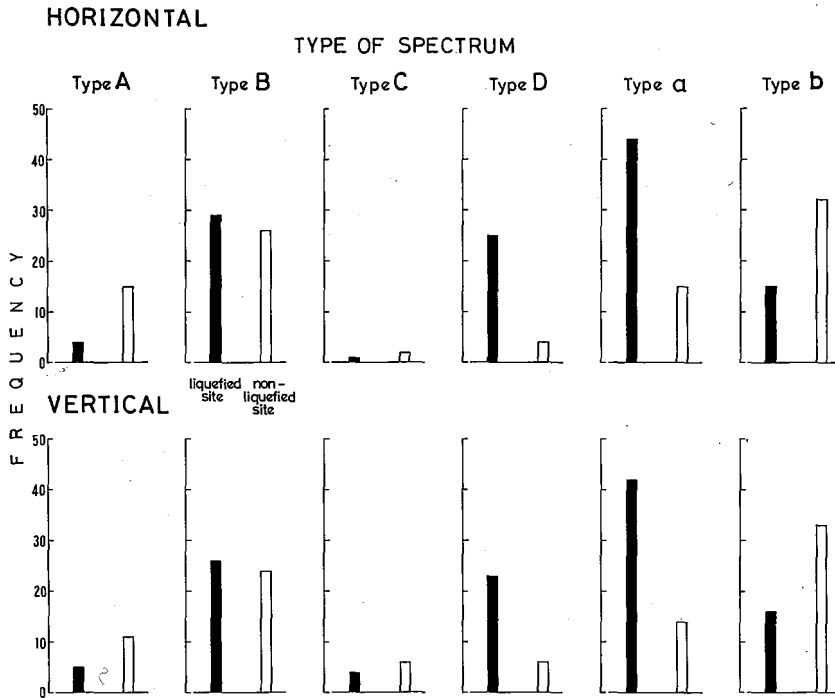


Fig. 10 Frequency distribution of liquefied and non-liquefied sites versus spectral types of short-period microtremors.

図から明らかなように、表層S波速度が100 m/s以下の測点ではほとんどすべての場所で液状化を生じ、一方、130 m/s以上の測点では液状化を生じておらず、液状化は地盤の表層S波速度に密接な関係がある。しかし、表層S波速度が100~130 m/sの測点では、液状化を生じる場合と生じない場合が相半ばして分布している。

次に、当区域における地下水位の分布をFig. 13に液状化区域と共に示す。図には地震直後に能代市が住民へのアンケート調査により求めた町内での平均地下水位(能代市, 1984)、能代市が調査した結果、1985年8月に微動研究グループが電気探査あるいはオーガーにより求めた値などが示してある。測定時期および方法を異にしているが、全般的な地下水位の分布傾向は示されていると考えてよい。当区域は能代市域の他区域に比して一般に地下水位が浅く、3m以深の場所はごくわずかであり、特に液状化が著しい昭南町・松美町ではほとんど1m以浅となっている。

Fig. 14に地下水位を1m以浅・1~3mおよび3m以深と区分した場合の液状化および非液状化地点のヒストグラムを示す。Fig. 12と同様に、頻度は地下水位分にもとずき各ゾーンごとに位置する短周期微動の測定数

で示したものであるが、この場合も表層S波速度のヒストグラム(Fig. 12)について述べたと同様に、地下水位と液状化との関係について議論してさしつかえないと考えられる。

図から明らかなように、地下水位が3m以深の測点では液状化は生じていない。当区域には3m以深の測点がわずかであるが、前報(微動研究グループ, 1988)で示したように能代市域全域における概括的な地下水位分布でも3m以深の場所では液状化がほとんど見出されておらず、この傾向は能代市域において一般的な傾向とみなしうる。一方、地下水位が1m以浅ではほとんどすべての場所で液状化が生じており、地下水もまた地盤の液状化と密接な関連があることが示されている。しかし、地下水位が1~3mでは液状化が生じた場所と生じない場所とが相半ばして分布している。

そこで、短周期微動のスペクトルタイプ(a・b区分)・表層S波速度および地下水位の3つの要素を組合せて液状化との関係について検討した。Fig. 15に当区域における短周期微動のスペクトルタイプ(aおよびbタイプ)・表層S波速度および地下水位の分布を液状化区域と共に示す。またFig. 16に表層S波速度を100 m/s以下・100~130 m/sおよび130 m/s以上、地下水位を

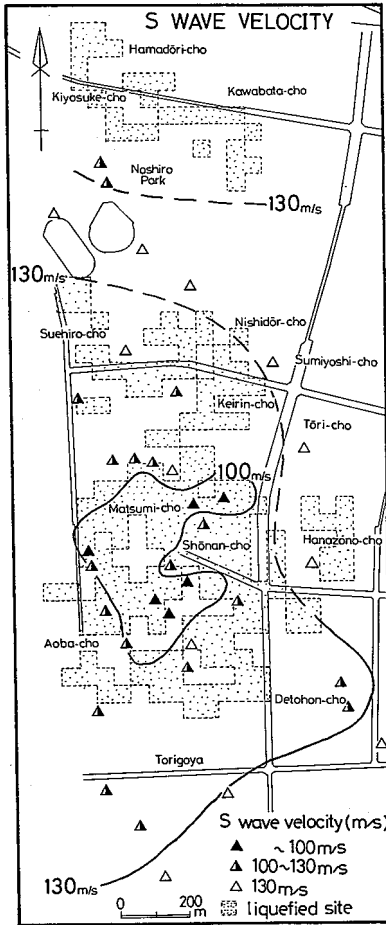


Fig. 11 Distribution of S-wave velocities and liquefied areas. Stippled parts show liquefied areas.

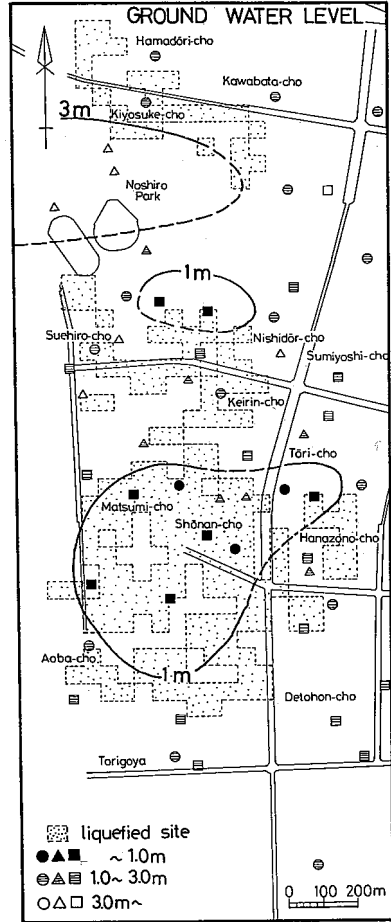


Fig. 13 Distribution of ground water level. Circles indicate the results of question survey after the 1983 earthquake by the Noshiro city office, and squares these of the investigations by the Noshiro city office. The results of the Research group for short- and long- period microtremors are shown in triangles.

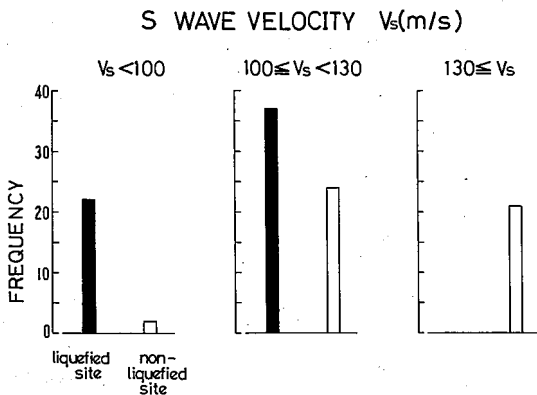


Fig. 12 Frequency distributions of liquefied and non-liquefied sites versus S-wave velocities. Most of the sites with S-wave velocity below 100 m/s are generally liquefied, but the liquefaction is not occurred at the sites with S-wave velocity above 130 m/s.

1 m 以浅・1 ~ 3 m および 3 m 以深と区分した場合のスペクトルタイプ a・b ごとの液状化・非液状化地点のヒストグラムを示す。先に述べたように当区域では地下水位が 3 m 以深の場所がわずかなため、地下水位が 3 m 以深で表層 S 波速度が 100 m/s 以下という組合せの場所は見い出されていない。しかし、能代市域における概括的な地下水分布と併せて考察すると、地下水位が 3 m 以深では表層 S 波速度・スペクトルタイプ a・b 区分によらず液状化はほとんど生じないものと考えてよい。また、表層 S 波速度が 130 m/s 以上の場所では地下水位・スペクトルタイプの a・b の区分によらず液状化は生じてい

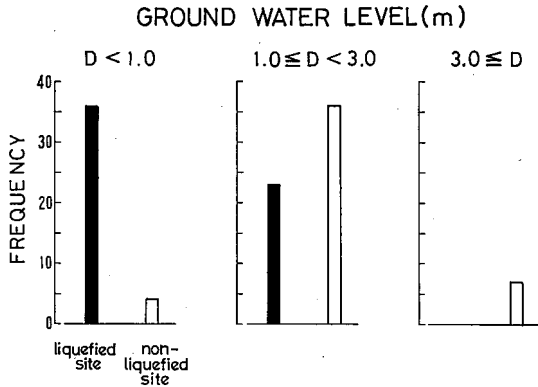


Fig. 14 Frequency distributions of liquefied and non-liquefied sites versus ground water level. Most of the sites with ground water level within 1 m below the ground surface are damaged by soil liquefaction, but the liquefaction is not found at the sites with ground water level deeper than 3 m.

ない。これに対し、表層S波速度が100~130 m/s、地下水位が1~3 mと当区域はもちろん能代市全域でも最も広く分布するいわば境界領域では、液状化を生じる場合と生じない場合が相半ばして分布する。しかしながらスペクトルタイプa・b区分で見ると、タイプaが見い出される場所では3/4以上の確率で液状化を生じているのに対し、タイプbの見い出される場所では逆に2/3以上の確率で液状化を生じておらず、この領域では短周期微動の周波数特性と液状化との間に強い関係があるものと考えられる。また、わずかながら対応のつかない場合もあるが、これらについては今後詳しい検証と精査が必要と考えられる。

前報(微動研究グループ, 1988)でも述べたように、スペクトルの比較的高周波のピークは地下浅所にS波速度の境界面が存在する場合に対応している可能性がある。そこで、当区域内においてもS波探査により地下浅所にS波速度を異にする2層構造が見い出された測点について、短周期微動のスペクトルと対比検討を行った。Fig. 17にその例としてNo. 228, No. 278, No. 223, No. 020, No. 234測点でのS波速度構造とその地盤上で観測された微動スペクトルとを対比して示す。表層のS波速度が150 m/sと速いNo. 020測点以外はいずれも液状化が生じた場所である。1/4波長則から求められたS波速度を異にする境界面に対応する周波数はそれぞれ4.5 Hz・3.7 Hz・4.5 Hz・3.6 Hz・5.7 Hzであるが、これらの周波数に近いピークが図のスペクトルに見い出され

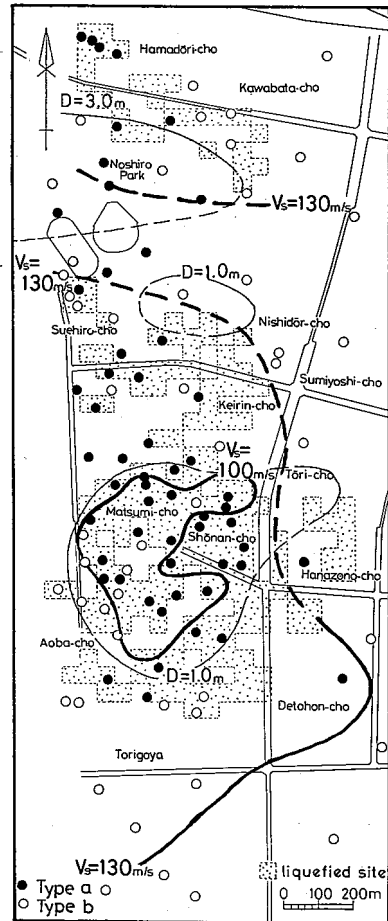


Fig. 15 Distribution of S-wave velocities, ground water level, spectral types (type a and b) and liquefied areas. Solid circles and open circles denote the type a and type b of microtremor spectra, respectively. Stippled parts indicate liquefied areas. Spectral types shown in the figure indicate features of the spectra obtained for horizontal component of microtremores.

る。前報(微動研究グループ, 1988)でも述べたように、スペクトルに見い出される比較的高周波のピークがすべてS波速度の構造から説明しうるわけではない。また、地表S波探査から得られたS波速度構造の平面的な広がりには明らかではなく、1/4波長則をどの程度まで厳密に適用できるか否かについてもなお検討の余地がある。しかし、1985年度に測定された地表下10m以浅にS波速度を異にする2層構造が見い出されるほとんどの測点で、1984年度の測定同様に4 Hz以上のピークの中に1/4波

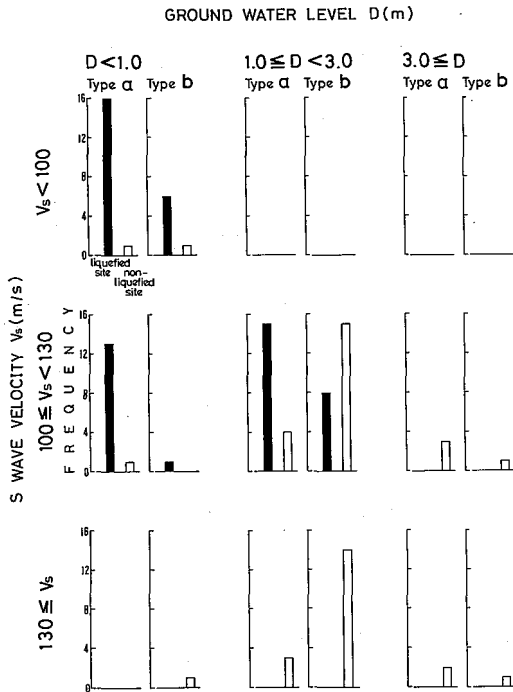


Fig. 16 Frequency distributions of liquefied and non-liquefied sites versus S-wave velocities, ground water level and spectral types (type a and b) obtained for horizontal component of microtremors. Most of the sites damaged by soil liquefaction have S-wave velocities below 130 m/s and the ground water level within 3 m below the ground surface, and show type a of microtremor spectrum.

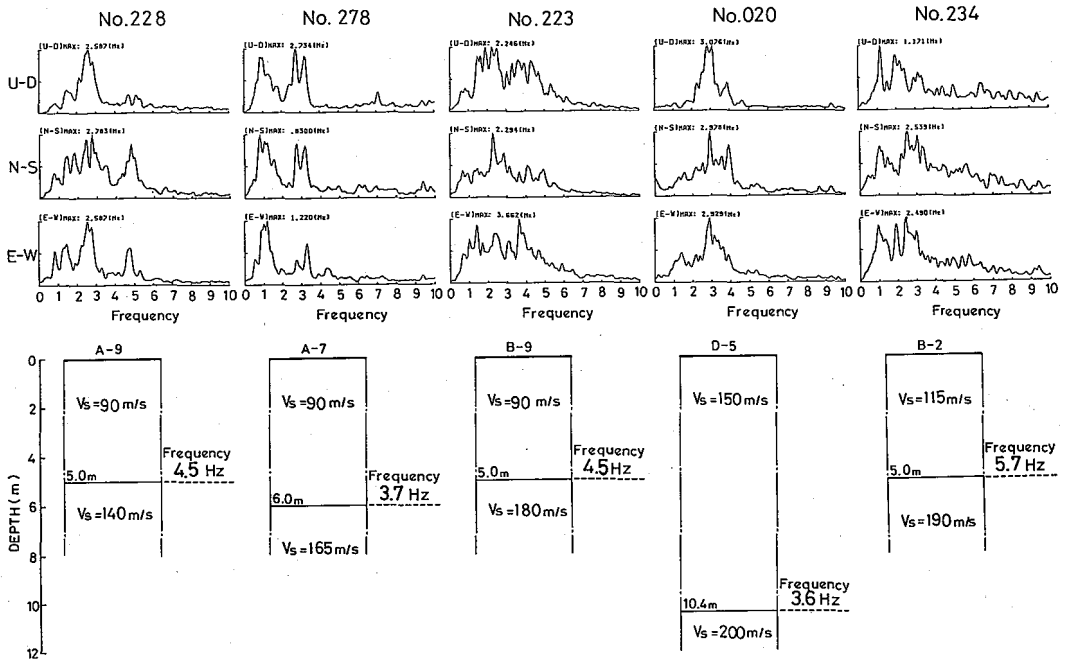


Fig. 17 Comparison between S-wave velocity structures and spectra of short-period microtremors. S-wave velocities were measured by the plank-hammer technique. A frequency corresponding to the law of quarter wave-length can be found in each spectrum of short-period microtremors.

長則で説明しうるピークが含まれ、かつ多くの場所で液状化災害が生じている。このことは、地下のごく浅い所に S 波速度を異にする境界面が存在する場合に、液状化災害が生じやすいことを示唆していると考えられる。

スペクトルタイプ a および b の区分は、4 Hz 以上の比較的高周波成分を含むか否かによって区分したが、No. 278 測点のように液状化を生じているものの表層 S 波速度が著しく小さい場合には、地下浅所に S 波速度の境界面が存在してもタイプ b に分類される場合がある。スペクトルのピークは表層の S 波速度と境界面までの深さに関係するので、スペクトルのピークは地下構造を一義的に規定するものではない。従って、ここでのスペクトルタイプ a および b の区分は一応便宜的なものである。しかし、区分値とした 4 Hz のピークは例えば表層 S 波速度 100 m/s および S 波速度のコントラスト面までの深さ約 6 m から期待される周波数である。ごく浅い地下水位も考慮して、表層 S 波速度が 100 m/s 以下の場所ではほとんど液状化が生じていること、能代市域におけるボーリング試料の N 値等から液状化は地表下 10 m 以浅で生じていると推測されること等を考慮すると、スペクトルタイプの区分値として 4 Hz は一応妥当な値であると考えられる。

これらの現象は能代市だけでなく、同地震によって局所的に砂地盤の激しい液状化被害を受けた秋田市の新屋松美町における微動特性にも同様に見られ(野越他: 1986a, 1986b, 1986c)、地盤の液状化と短周期微動とは密接に関連しているものと考えられる。

以上のように、能代市域では地盤の液状化は、砂質土の粒度・表層 S 波速度・地下水位と共に地盤の短周期微動特性と密接な関係があることが明らかになった。このことは液状化災害の予測には、測定が簡便でその経費の負担も軽い短周期微動が有効に利用しうることを意味する。しかし、能代市域で得られた表層 S 波速度・地下水位・微動特性の定量的な関係が他地域にそのまま適用しうるかどうかは今回の研究結果だけでは結論できない。液状化が地震時における地盤災害の主要な要因の 1 つであることを考慮すれば、液状化災害と地盤の振動特性についての考察はさらに重要となる。そのためには、今後他地域におけるこの種の総合的調査研究を進めることが必要である。

5. 結 言

前報(微動研究グループ, 1988)で示唆された液状化災害と地盤の推動特性との関係についてさらに究明する目的で、1985年8月に日本海中部地震(1983年5月)に

より液状化災害が特に著しかった能代市昭南町を中心とする区域で、短周期微動・表層 S 波速度・地下水位等の詳細な調査を行った。検討の結果以下のようなことが明らかになった。

- 1) 当区域における地盤の液状化は、表層 S 波速度が 130 m/s 以上および地下水位が 3 m 以深の場所では短周期微動のスペクトルタイプによらずほとんど生じていない。
- 2) 当区域にもっとも広く分布する表層 S 波速度が 100 ~ 130 m/s・地下水位が 1 ~ 3 m 深の場所では、短周期微動のスペクトルが 4 Hz 以上の高周波に明瞭なピークを有するタイプ a の場合には大部分で液状化を生じているが、そのピークが認められないタイプ b の場合にはごくわずかし液状化を生じていない。
- 3) スペクトルの高周波成分は地表下ごく浅所の S 波速度を異にする境界面の影響が大きい。その意味で短周期微動の測定は液状化災害の予測に有効な手段の 1 つとなると考えられる。

なお、本報では、短周期微動のスペクトルに 1/4 波長則を適用してスペクトルと S 波速度構造との関係について概括的検討を行ったが、液状化が生じた深度等については解析がなされていない。そこで、PS 検層により S 波速度構造が明瞭になった地点において、地震動応答解析法による液状化予測を詳しく検討したので、その結果を第 3 報で報告する。

謝 辞

本調査・研究は能代市役所の御支援のもとに行われた。ビック(株)・日本地下探査(株)・(株)東京ソイルリサーチ・日本物理探査(株)からは多くの御援助をいただいた。また、表層 S 波速度の測定および解析には埼玉大学建設工学科、短周期微動の測定と解析には岩手大学資源開発工学科の院生・学生諸氏の助力を得た。記して感謝の意を表す。

また、誤りや不備な点を指摘すると共に有意義な御討論いただいた本誌の査読者に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 1983年日本海中部地震災害秋田大学地質調査班(1984): 昭和58年5月26日日本海中部地震・地盤と地震災害の概要, 昭和58年5月26日日本海中部地震能代市の災害記録。(能代市)
- 2) 微動研究グループ-毎熊輝記他6名(1985): 能代の表層地盤と S 波速度測定について, 物理探査学会昭和60年春季講演会講演予稿集, pp. 56~57.

- 3) 微動研究グループ—野越三雄他6名(1986a): 液状化被災地域における微動特性, 第7回日本地震工学シンポジウムプロシーディングス, 7, pp. 277~282.
- 4) 微動研究グループ—毎熊輝記他6名(1987): 浅層地盤の土質特性と液状化発生に関する総合調査—日本海中部地震で被災した秋田県能代市の例一, 物理探査, vol. 40, no. 5, pp. 338~356.
- 5) 微動研究グループ—斎藤徳美他6名(1988): 秋田県能代市における地盤の振動特性(1)—微地形・地質および日本海中部地震(1983年)による地盤災害と微動特性との関係, 物理探査, vol. 41, no. 1, pp. 47~63.
- 6) 野越三雄・梅内勝彦(1986b): 液状化被災地区における短周期微動測定—秋田市新屋松美町の場合一, 物理探査学会昭和61年春季講演会講演予稿集, pp. 19~20.
- 7) 野越三雄・梅内勝彦(1986c): 1983年日本海中部地震による液状化被災地区における微動特性—秋田市新屋松美町一, 地震学会講演予稿集(昭和61年度秋季大会), no. 2, p. 267.
- 8) 能代市(1984): 昭和58年5月26日日本海中部地震能代市の災害記録