

1994 年三陸はるか沖地震における 建築被害と地盤の卓越周期

毛 呂 眞*

Earthquake Damage of Building Structures by the 1994 Far-Off-Sanriku Earthquake and Predominant Period of Microtremors

Makoto MORO*

Abstract

The Far-Off-Sanriku Earthquake with the magnitude 7.5 in JMA scale occurred 21:19 on December 28, 1994. The ground motion estimated as VI in JMA scale. The largest aftershock with magnitude 6.7 occurred on January 7, 1995, gave great damage to same region. The ground motion estimated as V. In Hachinohe city, complete collapse numbers of the building structures and housings were 66 at the main shock and 16 at the aftershock. Half collapse numbers were 354 at mainshock and 48 at aftershock. And partially destroyed housings were 10,756.

The object of this study is to clarify the relationship between this damage and the site effects, which are topography, geology and microtremors.

- 1) The damages concentrated on terrace deposits and it's near field.
- 2) The predominant periods in the damaged area were 0.3-0.4 second.
- 3) The thicknesses of surface layers in the damaged area were about 10-20 m*

Keywords: the 1994 Far-Off-Sanriku earthquake; the damage distribution; the predominant period of the microtremors; the thicknesses of surface layers

1. はじめに

1968 年十勝沖地震では、震源が青森県東方沖であったことから建築被害は、青森県太平洋側地区を中心に広く分布した。住宅被害の分布から見ると十和田市、三沢市および上北郡での地盤振動が大きかったものと考えられる¹⁾。これに対して、三陸沖を震源とする今回の 1994 年三陸はるか沖地震では八戸市、三戸地区に被害が集中した。特に、八戸市の被害は全・半壊被害総数の 8 割強となっている²⁾。

本稿は主に 1994 年三陸はるか沖地震での八

戸市域の建築物の被害分布と地盤の卓越周期の関係について報告し、十勝沖地震の建築物被害分布と地盤の卓越周期の関係との関係についても合わせ報告する。

2. 建物被害の分布と地盤卓越周期

2.1 全壊・半壊建物の分布と地盤の卓越周期

図 1 は八戸市の本震、余震（最大余震：1995 年岩手県沖地震）での建築物の全壊、半壊の分布と、185 地点の微動測定地点の位置と、常時微動の水平動から求めた卓越周期の分布を示す。図中ハッチの部分は低地を示し、それ以外の部分は台地である。図中に 8 カ所の強震観測地点

平成 9 年 10 月 15 日受理

* 建築工学科・助教授

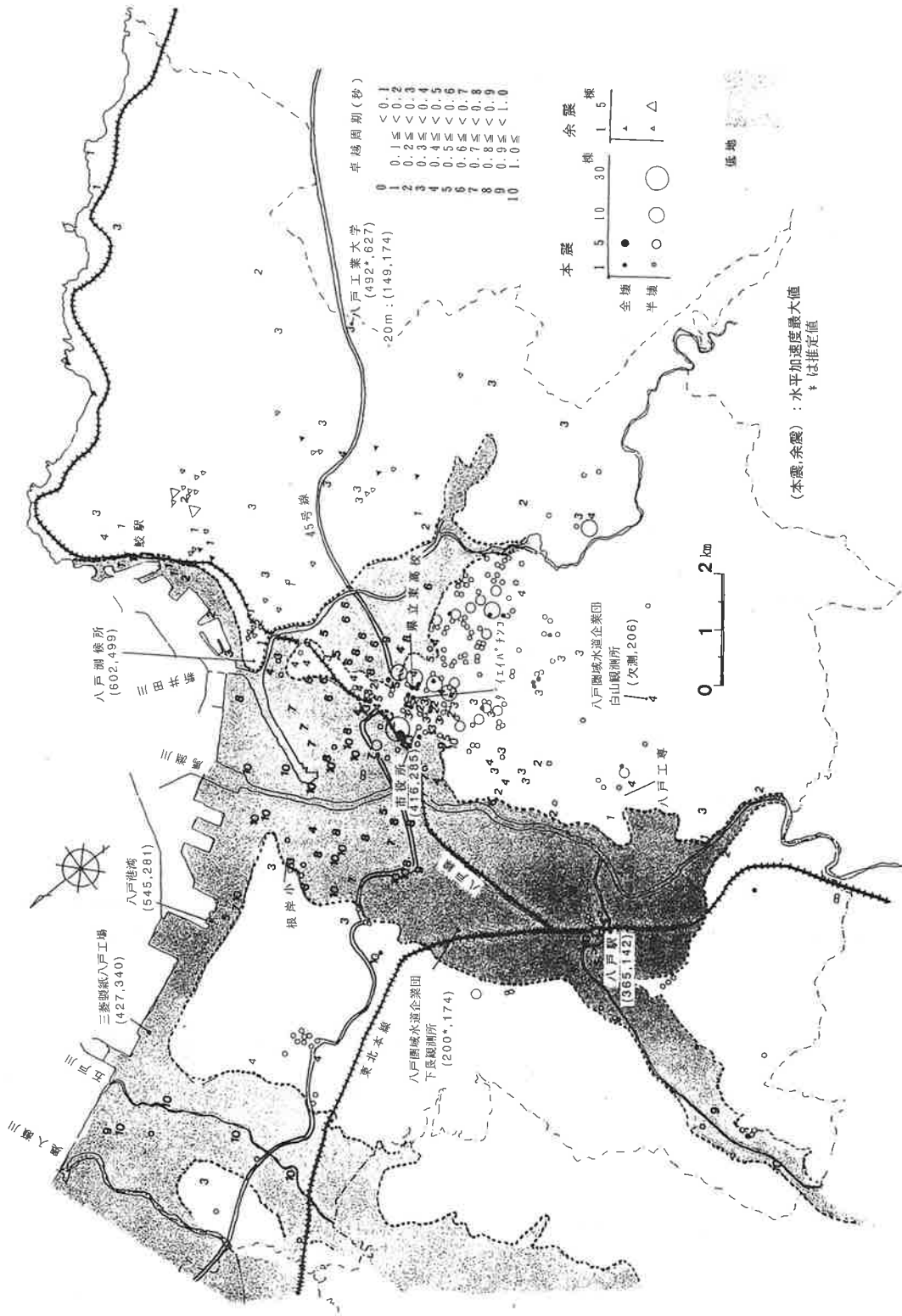


図1 八戸市の地形区分，卓越周期分布，地震観測地点および建築被害分布

(八戸測候所, 八戸市役所, 八戸港湾, 八戸工業大学, 三菱製紙八戸工場, 八戸圏域水道企業団下長観測所, 八戸圏域水道企業団白山観測所, JR 八戸駅) と本震および余震での水平動加速度最大値を示す³⁾⁴⁾⁵⁾。

用いた被害データは 1995 年 3 月 3 日までの市開発指導課のまとめたものによる。被害数は、本震では全壊 35 棟, 半壊 361 棟。余震では全壊 7 棟, 半壊 37 棟。この中には、全壊したダイエーパチンコ, 県立東高校等含む。図を見て解るように、本震, 余震とも被害のほとんどは台地部および台地縁辺に集中している。沖積低地での被害は根岸地域のような台地との縁の地域, および、沖積層厚の比較的浅いそして谷あいの浅水川沿いの尻内地区, 豊埼地区に被害が生じているが、N 値 10 以下の軟弱な地層が 30 数 m にもおよぶ新井田川低地, 馬淵川低地の中心部での被害は少ない。本震と余震の被害分布地域が異なる。本震は新井田川以西の台地に分布し、特に繁華街のある八戸台地に集中している。余震では新井田川以东の台地および丘陵性台地に分布している。

図中の地盤卓越周期は、1984 年から 1991 年にかけて測定を行なったものである。使用した機器は 3 成分の振動計, 積分増幅器, カセットデータレコーダ。常時微動計は固有周期 1 秒の振動計である。この振動計は増幅器(振動技研(株))によって固有周期を 7 秒 (あるいは 5 秒) に引き伸ばし、やや長周期微動の測定も可能である。測定は機器を車載し 1 点ごと測定した。測定時間帯は主に日中であるが、市街地部の何点かは夜間から早朝にかけて測定を行っている。測定は主に変位波形で、短周期微動を計測した。短周期微動に加えて長周期の微動の測定も行っている。計測時間は短周期微動の場合は約 5 分, 長周期微動では約 10 分である。測定地点は、公共性, 地盤ボーリング資料の有無, 分布の均等性等の事を考慮して決めた。小中学校についてはほぼ全数調査した。測定された常時微動記録を再生し、安定していると考えられる部分を、短

周期微動の場合は 41 秒間を 0.02 秒間隔で、長周期微動の場合は 102 秒間を 0.05 秒間隔で数値化した。この数値データについてフーリエ変位スペクトルを計算した。卓越周期は上下動フーリエスペクトル, 固有周期を 7 秒 (あるいは 5 秒) にして測定した波形のフーリエスペクトル, 地盤柱状図等から総合判断し、水平動フーリエスペクトルから読み取った。

図から八戸市域の地盤の卓越周期は、低地部では卓越周期は 0.3 秒近くの短い周期の地点も見受けられるが、おおよそは 0.5 秒～1.2 秒の範囲にある。地域別にみると、新井田川沿いの低地では 0.5～1.0 秒の範囲にある。最大の周期は類家 4 丁目の八戸中央公民館のもので、0.94 秒となっている。当地点の地盤ボーリング柱状図によれば 20 m 程度までモンケンが自沈し、35 m 程軟弱な層が堆積している地域である。馬淵川沿いの低地では 0.3～1.2 秒の範囲にある。最大の周期は河原木の下長中学校の 1.28 秒となっている。この近辺の河原木地区は N 値 6 程度の軟弱層が 40 m 程堆積しているところである。馬淵川より東側の江陽地域, 小中野地域の馬淵川低地では周期は比較的短く、八戸台地に近づくに従って卓越周期は短くなる傾向にあり、0.3 秒近くの値もみられる。馬淵川より西側の八戸駅近辺と、石堂近辺の低地中に、0.4 秒程度の短い周期の地点がある。此の地点は自然堤防上に位置している。五戸川低地では 0.9～1.2 秒となっている。湊, 鮫近辺の太平洋岸の海岸低地では 0.1～0.3 秒の範囲となっている。台地部では主に 0.1～0.5 秒の範囲にある。台地部内で 0.9 秒をこす地点が数箇所ある。地域別で見ると、新井田川以东の台地部では 0.1～0.4 秒, 新井田川以西では 0.3～0.5 秒の範囲にある。八戸市街地周辺地域の詳細な地盤卓越周期の分布状況を図 10 に示す。図を見ると、地形の状況に応じて卓越周期が変化の様子が良く分かる。長根運動公園から沢里にかけての土橋川沿いの谷底低地, 長者山の東から柏崎にかけての広く浅い谷底低地上では卓越周期は 0.6 秒～1 秒程度

となっているが、台地上の地盤は0.3秒～0.5秒程度であることがわかる。

被害と卓越周期の関係は、本震による被害が分布している地域の地盤の卓越周期はおおよそ0.3秒台から0.4秒台となっている。余震による被害が分布している地域ではおおよそ0.1秒台から0.3秒弱となっている。

3.2 一部損壊建物の分布と地盤の卓越周期

八戸市が1995年現在までの建築被害調査によれば、全壊53棟、半壊226棟および一部損壊10,756棟となった。全壊と半壊については市の直接の調査に基づいているが、一部損壊調査は当事者が市窓口に来庁しての申告によるものである。従って、被害の程度は、ガラス破損の程度から半壊に近いものまで、幅の広いものである。なお、一部損壊被害のほとんどが木造住宅である。

この一部損壊被害建物を住宅地図上ですべて確認し、その住宅地図の半ページ毎について被害率を求めた。その半ページ分の広さは340m×240mで、その区域内の一部損壊棟数を全棟数で割ったものを一部損壊被害率とした。八戸市全域の一部損壊被害率の分布を図2に示す。

被害率の地形的分布を地域的に見ると、全壊・半壊の地域分布とほぼおなじである。台地上での被害は新井田川の西側の方が、東側に比べ被害率が高い地域が分布しており、西側には60%を超える被害地が分布しているのに対して、新井田川の上流の是川地域を除けば、東側では越える地域はない。特に被害率の高い地域は、八戸市庁のある中心街から南の地域で、吹上2丁目から中居林にかけての地域である。

この被害率と常時微動による卓越周期との関係を、新井田川の東の台地と西の台地それに低地に分けて図3に示す。図中のデータは1995年に測定したデータを含め約280地点について検討した結果である。

図3を全体的に見ると、被害率は0.4秒前後

で最大ピークとなっており、その値は70%近くとなっており、0.2秒から0.5秒の範囲では被害率は50%を越えている。それより長い周期になるに従って被害率は少なくなる。一方、0.2秒以下でも被害率は急激に少なくなっている。地形別に見ると、西の台地では全体の状況とほぼ一致しているが、1秒を越すようなあたりでは被害率は急激に少なくなる。東の台地では、約0.4秒を最大ピークとして比較的鋭い単峰形となっており、その値は約50%となっている。この地域では0.5秒を越えるような短周期微動の卓越周期がほとんど無い。低地では、周期全域に渡って、ほぼ20%台の値となっており、0.6秒で30%を越える値となっており、ややこのあたりが山になっている。

2.3 一部破損被害住宅分布と地盤の卓越周期

図4には一部破損建物の分布の状況と地盤の卓越周期との関係を示す地域図を2例示す。(a)は馬淵川低地域である下長、石堂、根岸地域、(b)は新湊、館鼻地域である。図中に一部損壊被害建物位置、常時微動測定位置の卓越周期、および図5に示す地盤ボウリング位置を示す。(a)図を見ると、卓越周期が1秒～1.6秒と長い周期の下長、石堂地域には被害が少なく、台地の縁に近い根岸地域の被害建物が多い近辺の卓越周期が0.4秒程度である事が読みとれる。(b)図では、表層数メーターで岩に達する地域で、卓越周期も0.2秒以下の新湊地域では被害がほとんど無いが、0.3秒を越える卓越周期の地域に被害が生じていることが解る。

3. 代表的地域の地盤の微動特性と被害

ここでは図2に示した11の地域についての地盤の微動特性と土質柱状図⁶⁾のN値分布および被害との関係について概観しておく。

下長、類家地区は沖積地盤上の住宅地で、被害が少ない地域である。鯨、新湊地域はこの地

77
2



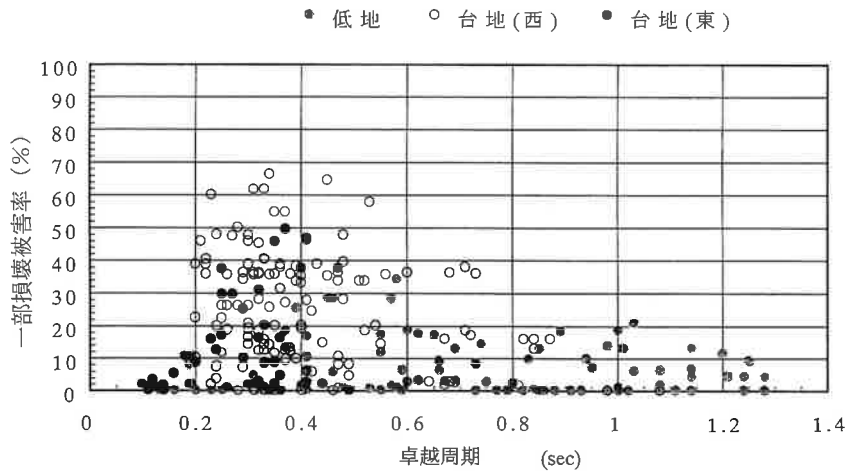


図3 地盤の卓越周期と一部損壊被害率



図4 一部損壊被害建物分布と地盤の卓越周期分布
(a) 下長・河原木地区
(b) 湊町地域(新湊・館鼻・上の山・本町)

域は今回の地震でも、十勝沖地震でもほとんど被害の生じなかった地域である。内丸、長者、吹上地域は旧市街地で八戸台地上にあり、今回多くの被害が生じた地域である。旭が丘、岬台、八戸ニュータウン地域は台地上にあり十勝沖地震以後に造成された住宅団地であり、多くの一部損壊被害が生じたが全・半壊被害の無かった地域である。

3.1 土質柱状図のN値分布、フーリエスペクトル図および被害

図5に各地域の代表的N値分布図を、図6に水平動のフーリエスペクトル図を示す。スペクトル中にその観測点の一部損壊被害率（%）を図の右肩に示す。類家および下長のスペクトルは微動計の特性を7秒までフラットにした長周期微動測定結果である。

ここで示した類家、下長のN値分布図は新井田川低地および馬淵川低地の沖積層厚の最も厚い考えられる地点のものである。特徴としては5～10程度のN値の軟弱層が40メートル程度の深さまで達する地盤である。八戸市の新井田川低地および馬淵川低地の沖積層のN値分布については、この例が概略を現していると考えられる。従って、その地点でのフーリエスペクトルはその軟弱層厚を反映した卓越周期をピークとした型となっている。この地域では建物被害は少なかった。付言しておく、沖積層といってもそのN値分布は様々である。沖積層が厚いからと言ってその層全体がここで示した地盤のように軟弱であるわけではない。

新湊、鮫はN値が10以下の軟弱層が数メートルでしか堆積しておらず、N値30を越す支持層になり、すぐに岩に達する地域である。表層地盤がほとんど無いような地盤のスペクトル特性は新湊（sin02D1）あるいは鮫（same01D1）のように短周期でのスペクトル振幅が小さく、長周期成分の振幅が相対的に大きくなり、表層の短周期の卓越周期が読みとりにくい。このような地盤では地震被害は少ないものと考えられ

る。

内丸、長者、吹上、岬台、旭が丘、八戸ニュータウンは台地上にある。これら地域地盤のN値分布も一様には決められないが、N値が50を越す、あるいは支持地盤として十分なN値が10～20メートルの深さに存在する。それ以深の分布は内丸の例のように複雑に変化する地盤、あるいは、吹上の例のようにN値が50に成るまでN値10程度の軟弱層が分布し、以深は50以上となるような地盤など、一概には類型化しえない。フーリエスペクトルもその分布を反映している。内丸の2例は複雑なN値分布を反映したその良い例であろう。また、根城、八戸ニュータウン、岬台の例はシンプルなN値分布の地盤の例である。

3.2 地盤卓越周期と住宅被害

地震の11カ月後に、住宅・宅地・住生活などの被害を調べ、被害発生にかかわる諸条件と災害の規模や内容、及び人々の対応行動・意識がどのように関係しているかの調査分析する事を目的として、5地域（白銀地区（新湊：SR）、岬台（MS）、旭が丘（AS）、八戸ニュータウン（HC）、下長（SM））についてアンケート調査を行った。図7および8はその結果の一部である⁷⁾⁸⁾。またあわせ、5地域について測定間隔密度の高い微動観測を行った。図7は各種被害について地域毎に比較したものである。(a)は主に本震での被害の比較である。(b)は本震と余震での被害を比較したものである。図8は新耐震基準施行以降に建築された住宅を対象に主要被害の発生比の地域差を示している。被害発生比とは地域毎の被害率を5地域全体での被害率で除した値である（被害発生比＝地域毎の被害率/全地域の被害率）。

図7(a)と図8を見ると、40メートル近く軟弱な沖積層の堆積し、地盤卓越周期が1秒を越す下長地域、と数メートルで岩になり、地盤卓越周期が0.2秒程度の新湊地域で被害が少なく、地盤卓越周期が0.3秒程度の台地上の3地

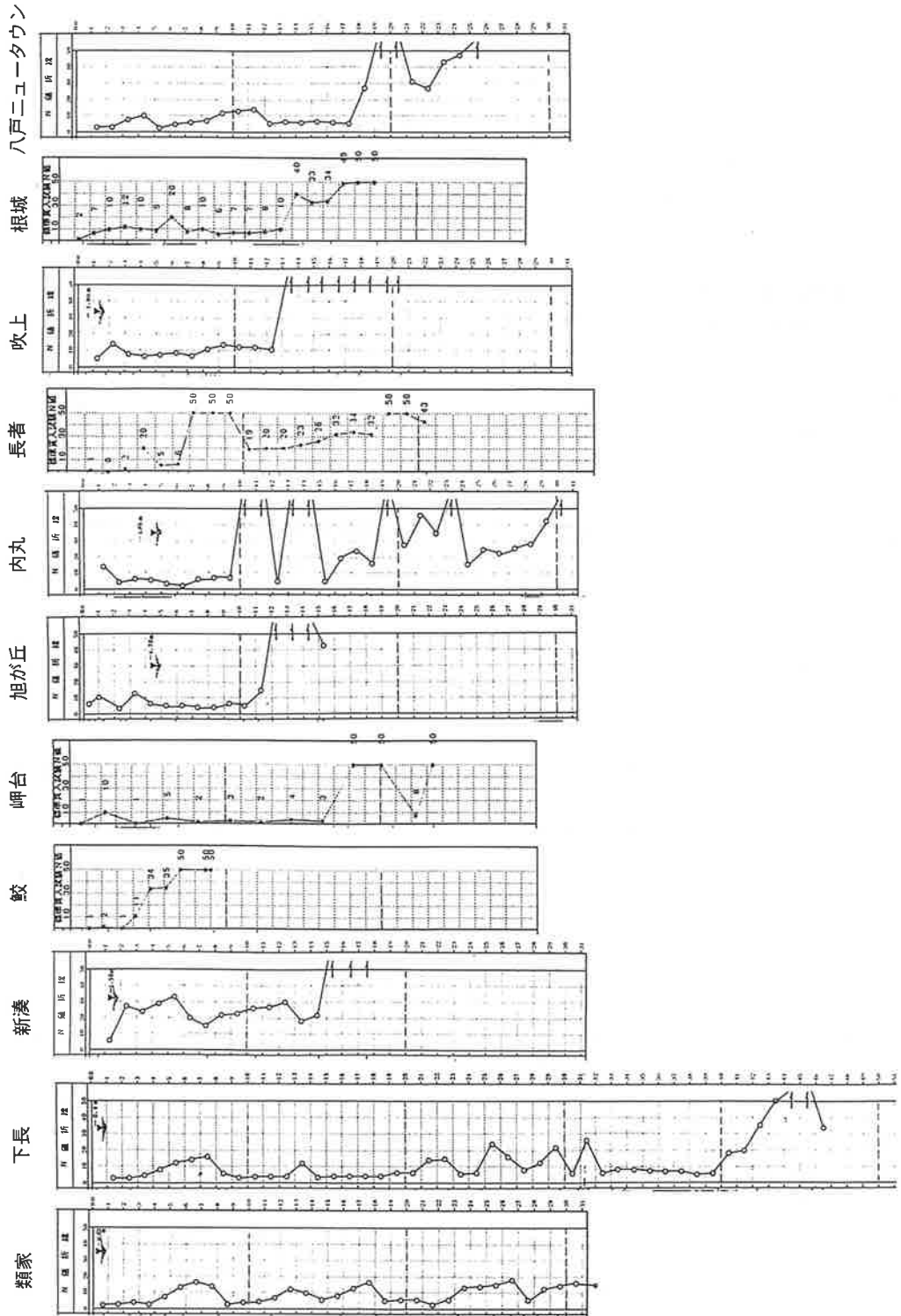


図5 地盤ボーリング図 (N値分布図)

1994年三陸はるか沖地震における建築被害と地盤の卓越周期（毛呂）

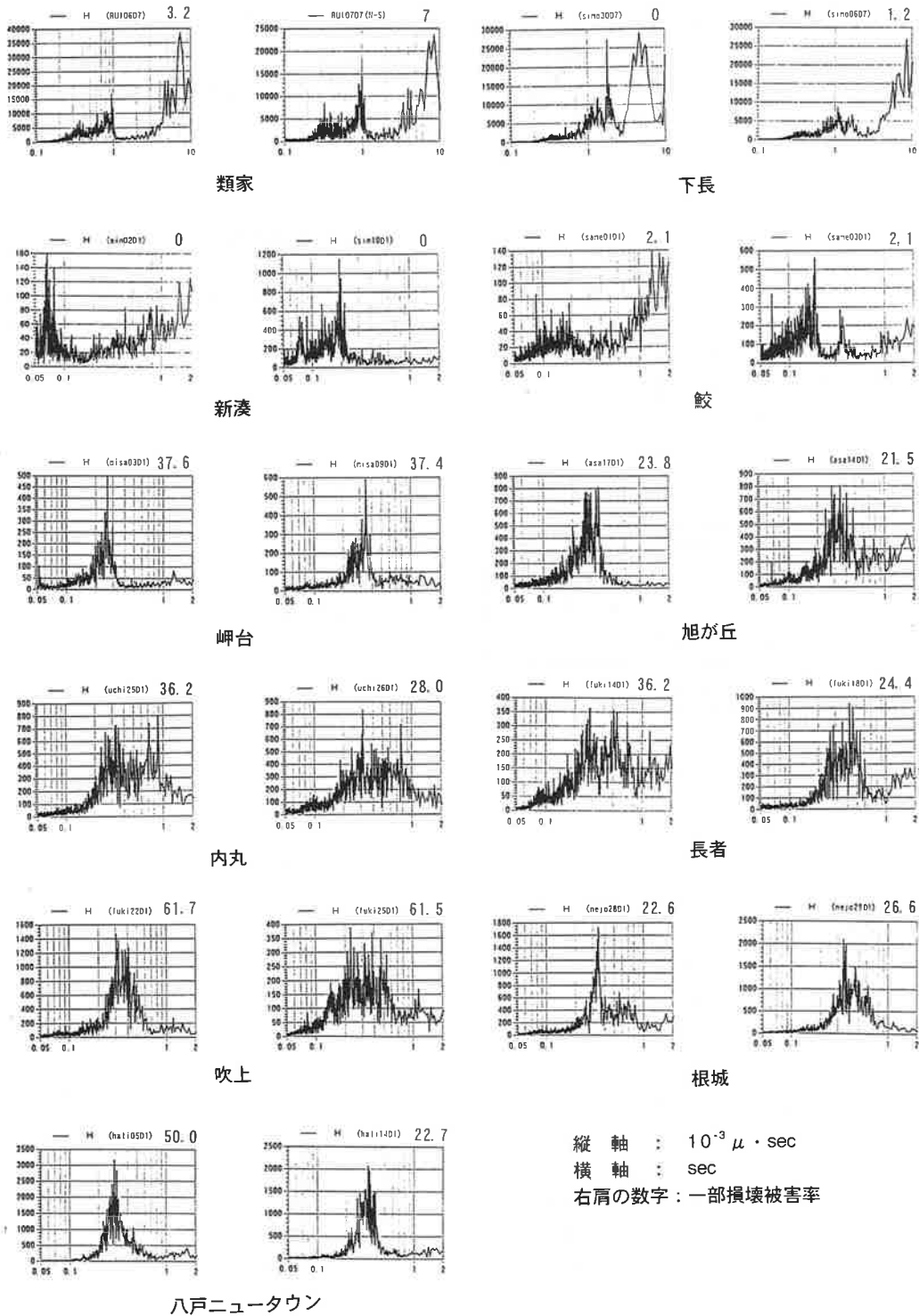


図6 変位微動波形のフーリエスペクトル

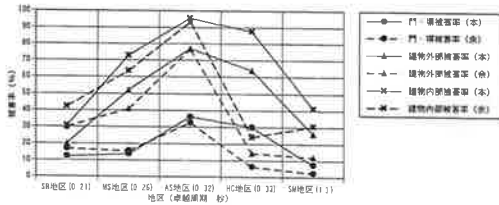
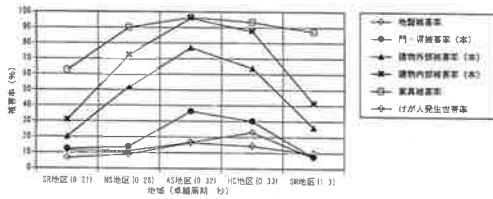


図7 5地区の各種被害率図

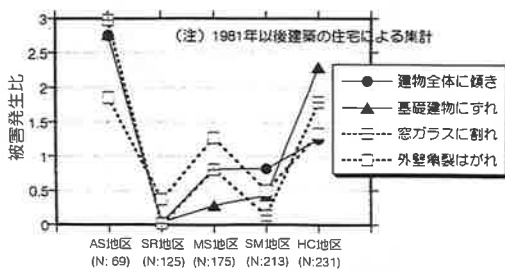


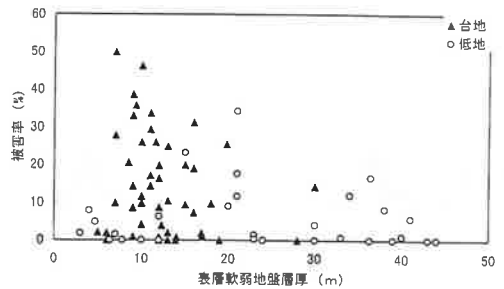
図8 5地区の主要被害発生比

域で被害が大きいことが解る。下長地域では住家の構造的被害が少ない割に家具被害が多いことが注目される。本震と余震の被害を比べた図7(b)を見ると新湊では3種類の被害すべてで余震時の被害のほうが大きい。岬台では門・塀被害のみ余震被害のほうが大きいが他は本震のほうが大となっているがその差は小さい。旭が丘地域は本震、余震とも同程度の被害となっており、すべての被害で5地域で最大の被害率となっている。八戸ニュータウン地域では本震の被害率はかなり高いが、余震の被害は本震での被害に比べるとかなり少ない。住家の構造被害は地盤卓越周期が0.3秒から0.4秒の地盤で被害が多く発生していることが言える。また余震の被害分布地域が本震より狭い地域であり、新

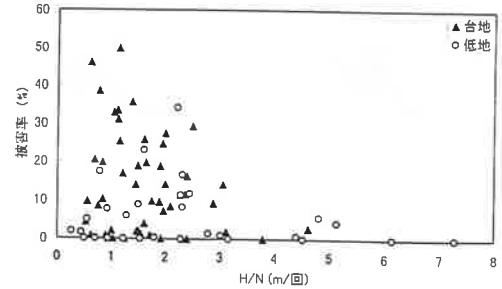
湊の被害状況は地域によっては余震のほうが大きい揺れであったことを示唆している。図1に示した強震観測記録の本震及び余震の最大加速度の分布は本震と余震での被害分布と調和している。

4. 表層地盤と建築物の被害

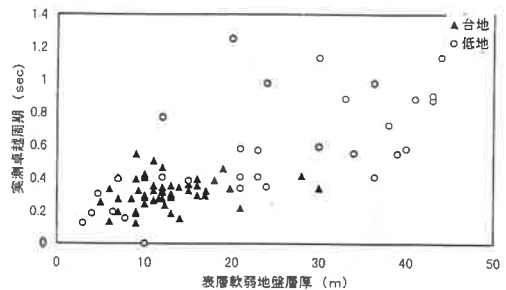
図9に一部損壊被害率および地盤卓越周期と表層軟弱地盤層厚(H:メートル)および表層地盤軟弱率(H/N)との関係を示す。ここで表層



(a)



(b)



(c)

図9 一部損壊被害率, 卓越周期, 軟弱地盤層厚およびH/N

軟弱地盤層厚とは N 値が支持地盤とみなせる N 値 (ほぼ 40 程度以上) に達するまでの深さ。N (平均 N 値) はその表層軟弱地盤層厚 (H) までの N 値の平均値。表層地盤軟弱率とはここで取りあえず表層軟弱地盤層厚 (H) を平均 N 値 (N) で割ったものとして定義する⁹⁾。

図の (a) および (b) を見ると、はるか沖地震の被害は表層軟弱地盤層厚 10~15 メーター程度の所で、表層地盤軟弱率 0.5~2 程度の所で被害率が大きく、それ以外の範囲の所では被害率は小さくなっている。図 (c) は表層軟弱地盤層厚と卓越周期との関係を示す図である。大まかな相関性がうかがわれる。

5. 1968 年十勝沖地震における八戸市の建築物被害分布と地盤の卓越周期

1968 年十勝沖地震における木造住宅の被害に関する調査は少ない。学会の調査報告書において最も希薄な部分である¹⁾。八戸市の調査に

よれば住家の全壊 144、半壊 379、一部損壊 22、700 の被害を生じている。少ない調査資料から八戸市における被害分布をまとめると、市街地のある内丸地区、尻内から上七崎、滝谷にいたる浅水川沿いの沖積平地にある部落および馬淵川低地沿いの五戸台地に被害が分布し、類家、あるいは下長などの旧河道の軟弱地盤分布域に被害はほとんどないと言える。

図 10 は堀田らの調査した 1968 年十勝沖地震における八戸市街地での被害分布図¹⁰⁾である。図中に筆者の測定した地点の地盤卓越周期を加筆した。図中の家屋半壊・全壊の分布を見ると、台地およびその縁辺に被害が生じていることが読みとれ、概略今回の被害分布と重なる。従って、地盤卓越周期との関係も図 3 と同様となるものと考えられる。

図 11 は田中らの報告書中の尻内から上七崎、滝谷にいたる浅水川沿いの沖積平地にある部落の全壊率および常時微動観測点とその卓越周期である¹¹⁾。被害地域地盤の卓越周期は 0.4 秒前

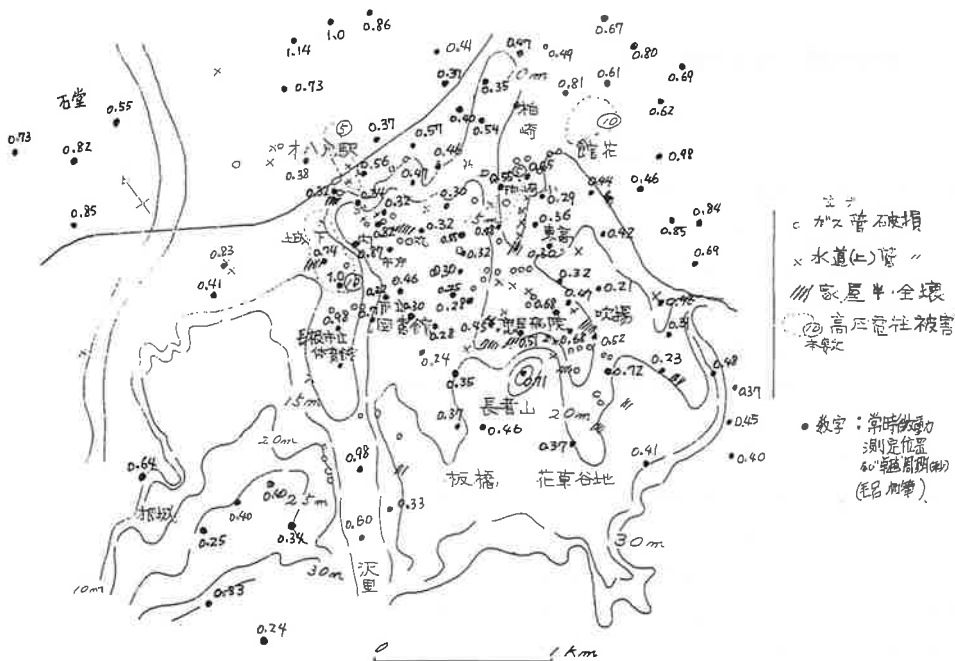


図 10 1968 年十勝沖地震における八戸市街地 (段丘部分) の住宅被害分布と卓越周期 (文献 10)

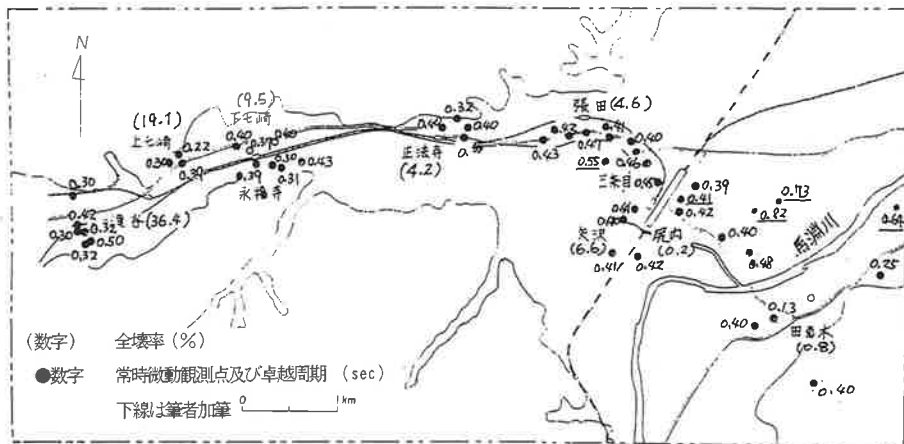


図11 1968年十勝沖地震における八戸市豊崎地区の住宅被害分布と卓越周期 (文献11)

後であることが読みとれる。この浅水川沿いの地域は図1および2を見て解るように三陸はるか沖地震でも被害が発生している。

これらの事から、十勝沖地震の建築物発生地域あるいは発生しなかった地域は、三陸はるか沖地震での建築物被害の地域分布と概略一致するものと推定できる。

6. 表層地盤と住家被害について

1994年三陸はるか沖地震における八戸市域の建築物被害は、地盤の水平動卓越周期が0.3～0.4秒程度で、支持地盤までの軟弱な層の厚さが10数mの地域に多く発生している事が解った。また、1968年十勝沖地震における建築物被害の発生地域は今回の地震における発生地域とほぼ一致している。八戸地域が被った2回の地震によって生じた建築物被害の地域的分布が、地震動の特性がかなり異なるにもかかわらず、ほぼ同じ分布となったといえる。

常時微動による地盤の卓越周期が0.4秒前後の地盤で住宅の被害率が極大となることについては、金井により1894年東南海地震、1948年福井地震および1964年新潟地震での木造家屋の震害と微動に関する調査結果で報告されて以来¹²⁾、飯田が1894年東南海地震に関して¹³⁾、阿

部が1978年宮城県沖地震に関して報告している¹⁴⁾。1993年釧路沖地震および1995年兵庫県南部地震などの最近の地震においても、同様な報告がなされている¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。0.4秒程度の卓越周期の地盤で住家被害が多い事の原因として、これらの報告の多くは、木造家屋の周期特性が地盤の周期特性に近接する事による共振現象に第1の原因が有としている。しかしながら、木造住宅の固有周期は現在かなり短周期化している、にもかかわらず地震のたびに同様な卓越周期地盤での被害が多く発生している。この事は、木造住宅の共振現象は大きな原因の一つではあるが第一の原因がではなく、この卓越周期の地盤そのものが強震時に激しく振動することに第一の原因があり、その地盤への入力地震動の特性にその地盤を増幅させる特性があるものと考えた方が妥当のように思う (文献18)。1983年日本海中部沖地震において液状化被害を多く受けた地盤の卓越周期も0.3秒程度に卓越性を持つことが報告されている¹⁹⁾²⁰⁾。このことは上記の考え方の妥当性を示唆するものと考えられる。

一方、卓越周期0.3秒程度の地盤の軟弱層の厚さは高々20m程度と考えられ、このような地盤で被害率が最大になることになる。これは沖積層厚が厚いほど木造住宅の被害率が大いという定説化した結果²¹⁾と矛盾することになる。

三陸はるか沖地震および十勝沖地震での八戸市域の住家被害地域、宮城県沖地震での仙台市での被害地域²³⁾、兵庫県南部地震での住宅被害地域の軟弱地盤層の厚さは10~20 m程度の厚さである。関東大震災における木造被害と表層地盤の関係においてもこの説と異なる結果の報告もある²⁴⁾。また、飯田の1891年濃尾地震および1944年南海地震被害資料の解析の結果を見ると、両地震においてもこの説と異なるデータとなっている²⁵⁾。3項で述べたように、沖積層の層すべてが軟弱な地質とは限らない、本論で示したN値分布図のように40 mにもわたってN値が10程度のものも有れば、沖積層基底深さが60 m近くもあるのに表層数メーターでN値が50近くに成るような沖積層もある²⁶⁾。住宅の構法も時代とともにかなり変化している。液状化による住宅被害もかなり明確に分離できるように成ってきている。これらのことを考えると地盤と住宅被害との関係はもう少しき細かい検討が必要であろう。

福井地震、濃尾地震および兵庫県南部地震は直下型であり、南海地震、新潟地震、十勝沖地震、宮城県沖地震、日本海中部地震、釧路沖地震は海洋型地震である。これらの地震において地盤卓越周期が0.4秒ぐらいの地域に木造住宅被害が多い、八戸における異なる2つの地震についての被害分布にこの共通性が見られることから、この結果を一般化しても良いのではないかと考えている。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：1968年十勝沖地震災害調査報告，日本建築学会，1968.12
- 2) 三陸はるか沖地震災害調査委員会（代表 村上孝一）：1994年三陸はるか沖地震災害調査報告書，1995.7
- 3) 地盤工学会（三陸はるか沖地震災害調査委員会）：1994年三陸はるか沖地震災害調査報告書，地盤工学会，1996.4
- 4) 小島賢悦，大島一男，大沢章宏，稻田 均：八戸市内での1994年三陸はるか沖地震時の埋設管路の挙動観測結果，第47回全国水道研究発表会講演集，1996.4
- 5) 滝田 貢，飛田 潤，毛呂 眞，伊藤敬一：八戸工業大学地盤の地震応答特性，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 42B，1996.3
- 6) 青森県土木部営繕課監修：青森県建築時盤図集，青森県建築士会+日本建築学会東北支部青森支所，1980.4
- 7) 戸部栄一，渡辺正朋，坂本磐雄，梅津光男，伊藤敬一，毛呂 眞，藤田一枝：三陸はるか沖地震による住宅被害等調査研究，住宅総合研究財団研究年報 No 23，1997.3
- 8) 梅津光男，戸部栄一，渡辺正朋，坂本磐雄，伊藤敬一，毛呂 眞，藤田一枝：居住者の地震対策一住み方の工夫と非常時のための備えーにみられる経験効果 八戸市における「三陸はるか沖地震」調査から，日本建築学会計画系論文集，No 500，1997.10
- 9) 橋詰 豊，毛呂 眞：1994年三陸はるか沖地震における建物被害と表層地盤特性，日本建築学会東北支部研究報告集，第60号
- 10) 堀田報誠，三浦 修，田村俊和：十勝沖地震災害の地形的特徴，八戸工業高等専門学校紀要第3号，1968
- 11) 田中貞二，長田甲斐男：八戸市内の各種地盤上における十勝沖地震の余震および常時微動の観測結果，地震研究所彙報 Vol. 46，1968
- 12) Kiyoshi Kanai, Teiji Tanaka, Kaio Osada ; On Microtremors. X, 地震研究所彙報 Vol. 44, 1966
- 13) 飯田汲事，正木和明：濃尾平野南部地域における常時微動の卓越周期と地盤構造・震害との関係，第12回災害科学総合シンポジウム論文集，1975
- 14) 阿部良洋，小川淳二：宮城県沖地震における建築構造物の被害と地盤，第6回日本地震工学シンポジウム論文集，1982
- 15) 瀬尾和大（研究代表者）：地震時の地盤振動特性評価のための微動の活用に関する研究—1993年釧路沖地震に関わる合同微動観測研究グループの活動—：平成5年科学研究費補助金研究成果報告書〔試験研究（B）（1）〕，1994.3
- 16) 毛呂 眞，田端，橋詰 豊，1993年釧路沖地震による住家被害と地盤の卓越周期，八戸工業大学紀要，第17巻，1998.2
- 17) 荏本孝久，喜多村学：微動観測による芦屋市南北線上の地盤振動特性の検討，1996年日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，構造
- 18) 田治米辰雄，望月利夫，松田磐余：地盤と震害，積書店，pp. 75-80，1978
- 19) 毛呂 眞：1983年日本海中部沖地震による青森県の木造住宅被害地地盤の常時微動（その

- 2), 1986 年日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造
- 20) 野越三雄: 微動のゾーニングへの応用, 日本建築学会第17回地盤振動シンポジウム, 1989.7
- 21) Yorihiro OHSAKI: EARTHQUAKE DAMAGE OF WOODEN BUILDINGS AND DEPTH OF ALLUVIAL DEPOSIT, 日本建築学会論文報告集 第72号, 1962.5
- 22) 村井 勇: 1978 年宮城県沖地震の被害分布調査, 自然災害資料解析 7, 1980
- 23) 望月利夫, 宮野道雄, 松田磐余: 1923 年関東大地震における木造家屋の被害の検討—震央距離・地形と全壊率の関係—, 日本建築学会論文報告集 第270号, 1978.8
- 24) 飯田淑事: 濃尾地震および東南海地震の被害資料の解析, 自然災害資料解析 2, 1975
- 25) 犬飼伴幸: 釧路市内の学校建物野常時微動測定, 日本建築学会技術報告集 第2号, 1996.3