

# 三陸はるか沖地震における被害と地盤特性

橋詰 豊\*, 塩井 幸武\*\*, 毛呂 眞\*\*\*

## The relationship of seismic damage for 1994 Far-Off Sanriku Earthquake and characteristics of ground

Yutaka HASIZUME, Yukitake SHIOI and Makoto MORO

### Abstract

This study examines the relationship between seismic damage of Hachinohe city in Aomori prefecture for the 1994 Far-Off sanriku Earthquake and geological characteristics based on micro-tremor measurement and its response analysis using multi-reflection theory. It is concluded that 1) Water supply damage is more affected by boundary of the grounds than predominant period and acceleration of seismic wave. 2) Ground motion spectrum is depending on thickness and hardness of shallow layers on bearing stratum (N-Value 50). 3) Damage on structures is influenced by predominant period and acceleration of seismic wave. So micro-tremor measurement is very useful for the prediction of seismic damage.

**Keywords:** 1994 Far-Off Sanriku Earthquake, seismic damage, water supply, multi reflection theory, microtremor

### 1. はじめに

1994年に発生した三陸はるか沖地震とその最大余震である岩手県沖地震により、青森県東部に位置する八戸市は台地部を中心に多大な被害を受けた。地震による被害と地盤特性、とくに地盤の卓越周期との関係性については、多数の研究者により研究されている<sup>1)</sup>。その中で常時微動測定により求まる地盤の卓越周期と構造物被害との間に関連性があるとされており、筆者らの研究グループも、八戸市、青森市、十和田市、釧路市における地盤で関連性を確認している<sup>2)3)4)</sup>。また、三陸はるか沖地震地震による上水道被害から家屋との接続部の被害を除いた道路漏水の分布を整理してみると、上水道管被害

にも地域性が見られた。しかし、水道被害分布と構造物被害分布を比較すると、必ずしも一致しているわけではなく被害の発生の仕方に差が見られた。

構造物は、地盤より伝わってきた地震動を自らの固有周期で吸収し、限界を超えると破壊する。これに対し、上水道管の被害は地盤の揺れと歪みによる破壊と考えられる。これらの関係を検証するために地盤の地震応答計算を行い、実測した卓越周期との相関性を検討することとした。さらに家屋、水道被害との間の関係についても検証した。

### 2. 1994年三陸はるか沖地震の概要

1994年12月28日21時19分八戸市で震度VIを記録するマグニチュード7.5の三陸はるか沖地震が発生し、青森県の東部、特に八戸市を中心とした地域に多くの被害をもたらした。震源は八戸市より200km東方の海底で地震の

平成12年10月2日受理

\* 大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程・3年

\*\* 構造工学研究所・教授

\*\*\* 建築工学科・教授

表-2.1 地震の諸元

	三陸はるか沖地震 (本震)	岩手県沖地震 (最大余震)
発生時	1994年12月28日 21時19分	1995年1月7日 07時37分
震央位置	40.45N, 143.72E	40.3N, 142.4E
震源深さ	ごく浅い	30 km
マグニチュードM	7.5	6.9

諸元を表-2.1に示す。

さらに1995年1月7日07時37分に三陸はるか沖地震の最大余震である、岩手県沖地震(マグニチュード6.9)が本震より近い岩手県沖(80km)を震源として発生し、八戸市では震度Vを記録した。

地震被害は本震では比較的良好な地盤の中心市街地に被害が多く、地盤が悪い(軟弱)といわれる地域においては際だった被害がみられなかった。これに対し、余震では本震と異なった地域で被害が発生し、本震では被害がない、もしくは少なかった地域の中でも、さらに良好な



図-2.1 本震時の震度

地盤上に集中している。従って両地震による被災の差は、明らかに地震波の周期特性、地盤の震動特性を反映していると考えられる。

本震時、余震時の東日本各地における震度を図-2.1, 図-2.2に、八戸市における本震時の詳細震度を図-2.3に示す。また八戸工業大学地下-20mの古生層の岩盤中で記録された三陸はるか沖地震及び最大余震の加速度波形を図-2.4, 図-2.5に、それぞれの応答スペクトルを図-2.6, 図-2.7に示す。これより解析用の波形には本震時の東西方向の加速度波形を採用して図-2.8とした。この地震波のランニングスペクトルを図-2.9に示す。加速度波形は東西成分で、サンプリングは間隔0.01秒で、約26,000点(約260秒)、



図-2.2 余震時の震度



図-2.3 三陸はるか沖地震における八戸市内の震度分布

三陸はるか沖地震における被害と地盤特性

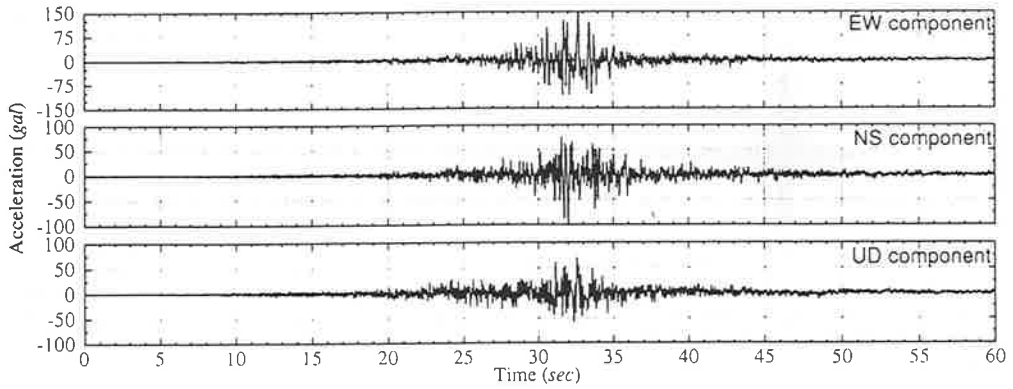


図-2.4 八戸工業大学自由地盤 G.L.-20 m での加速度波形 (本震)

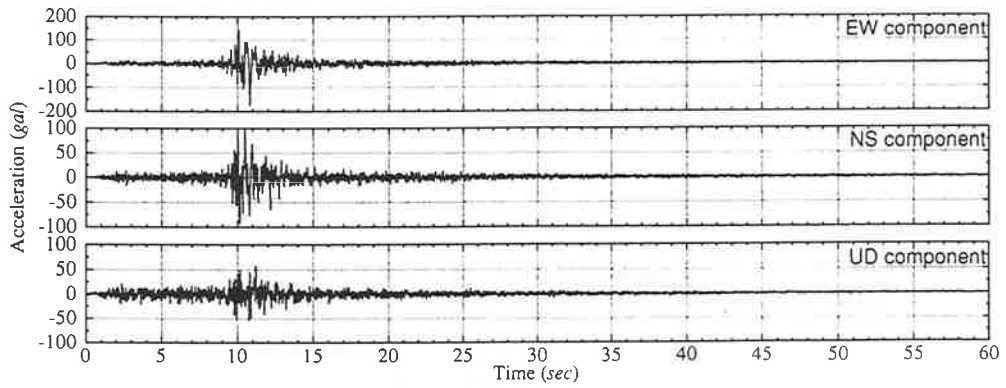


図-2.5 八戸工業大学自由地盤 G.L.-20 m での加速度波形 (最大余震)

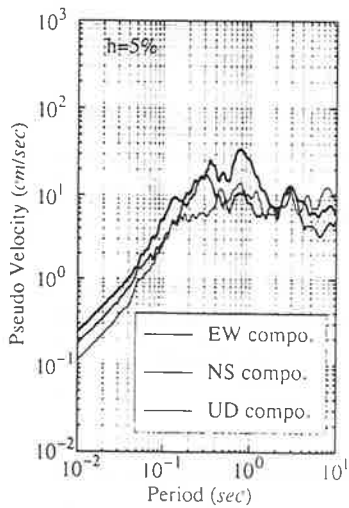


図-2.6 八戸工業大学自由地盤 G.L.-20 m での応答スペクトル (本震)

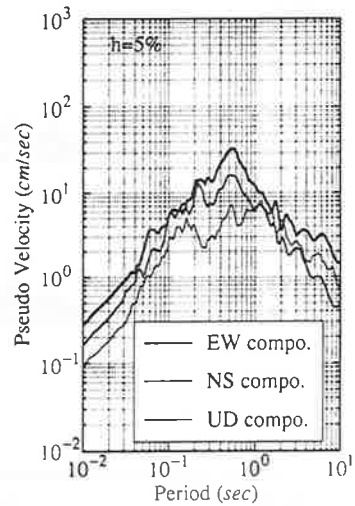


図-2.7 八戸工業大学自由地盤 G.L.-20 m での応答スペクトル (最大余震)

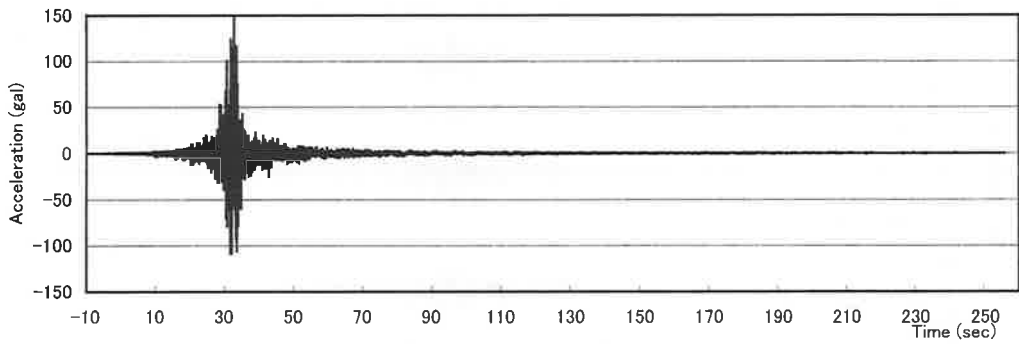


図-2.8 三陸はるか沖地震波 (EW 方向, max 147 gal)

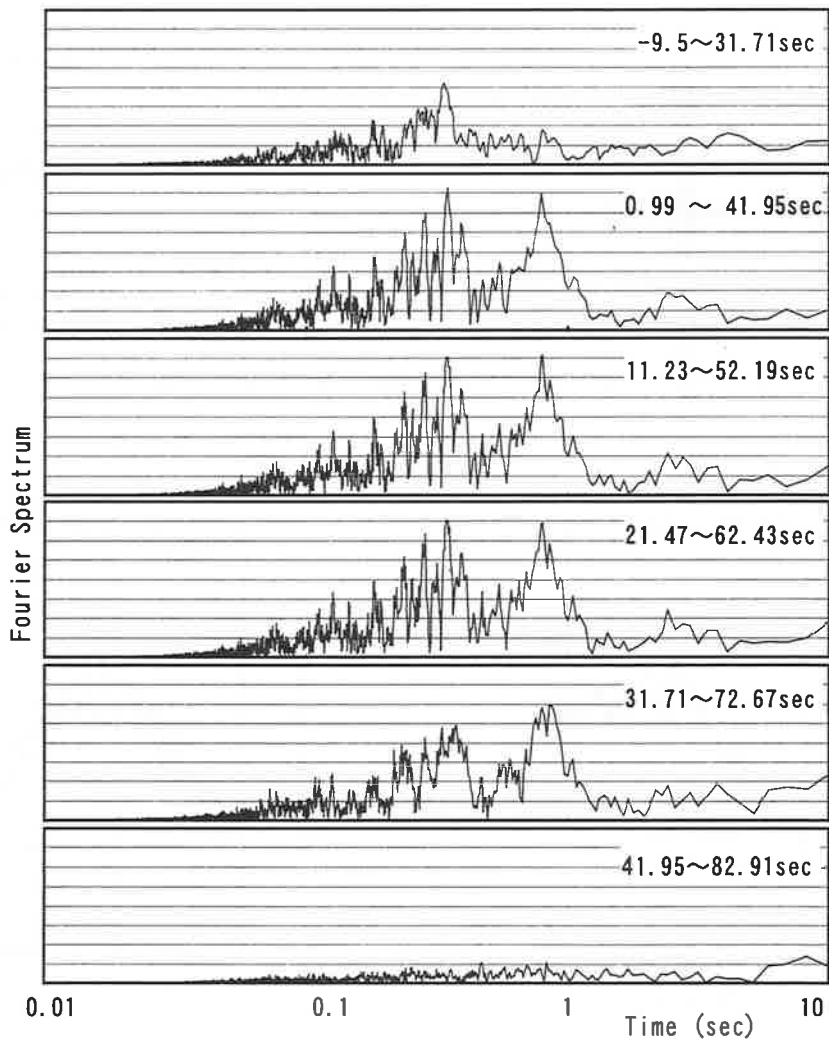


図-2.9 三陸はるか沖地震波ランニングスペクトル

最大加速度 147 gal である。ランニングスペクトル図は 4,096 点 (約 40 秒) を 10 秒づつ、ずらして計算し、上段より順に図示した。なお、50 秒以降のスペクトルは振幅値の最大が 1,000 gal・sec に満たないために省略した。これより三陸はるか沖地震波は、約 0.34 秒と約 0.78 秒の周期の波が卓越しているのが判る。

### 3. 八戸の地形・地質

八戸市では南西の、名久井岳、折爪岳、階上岳などの北上山脈北端の山々から太平洋にかけて、丘陵や段丘が広がっている。これら丘陵や段丘は、馬淵川、新井田川などの河川により分断され、その流域に沿って沖積低地が形成されている。

図-3.1 は八戸市域の地形図で、図中の白色矢印は台地部の高い方から低い方を示す。八戸市の 3 台地は、東、中央、西地域の順に標高が高

く、それぞれの地域には、東地域に蒼前平、天狗岱、高館段丘、中央地域に天狗岱、高館、田面木段丘、西地域に天狗岱、高館段丘が分布する。

これらの段丘は洪積段丘で、基岩 (剪断波速度 2~3 km/sec 以上) は比較的浅い。最も古い地層は新井田川以東 (東地域) に分布する古生層で、新井田川と馬淵川との間 (中央地域) には主に中新世の岩石と火山岩が分布している。表層を構成するのは火山活動による火山灰、軽石、火山礫、火山岩塊などが主体である。これらに対して馬淵川より西側の地域 (西地域) では、より新しい時代の第三期鮮新世 (1,200 万~200 万年前) に海底に形成した地層の上に、十分に固結していない泥岩、砂岩、礫岩、凝灰岩等が主体とする第四期 (700 万年前~現在) の地層が堆積している。図-3.2 に坂尻ら<sup>3)</sup> による長周期波動から推定した八戸地域の剪断波速度に

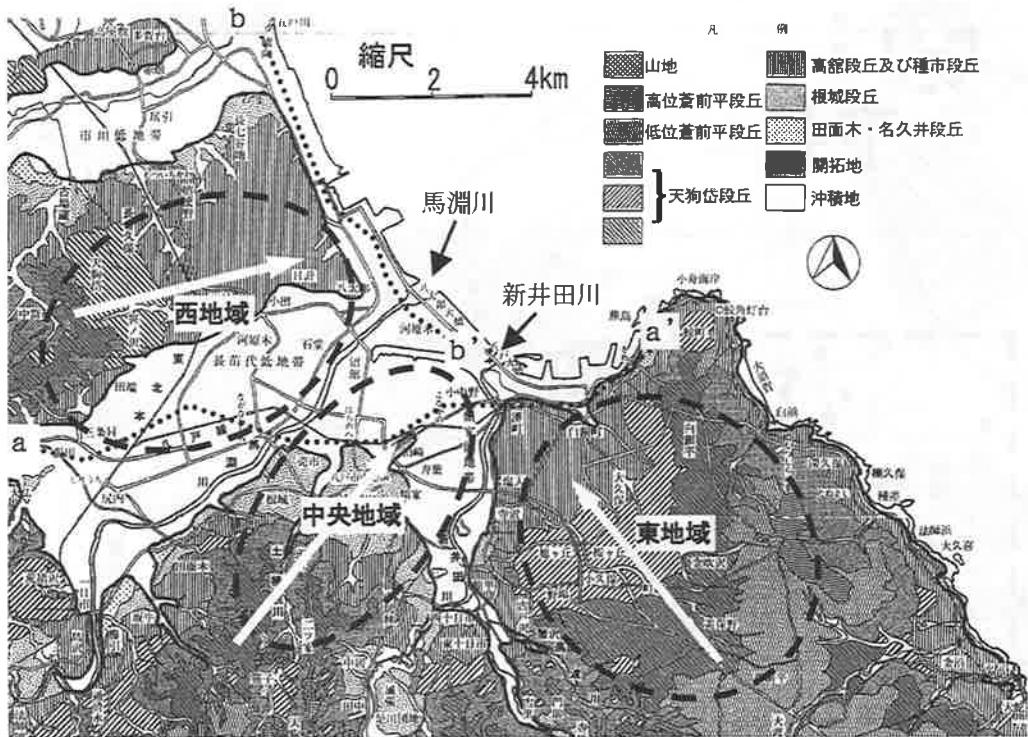


図-3.1 八戸地域の地形図

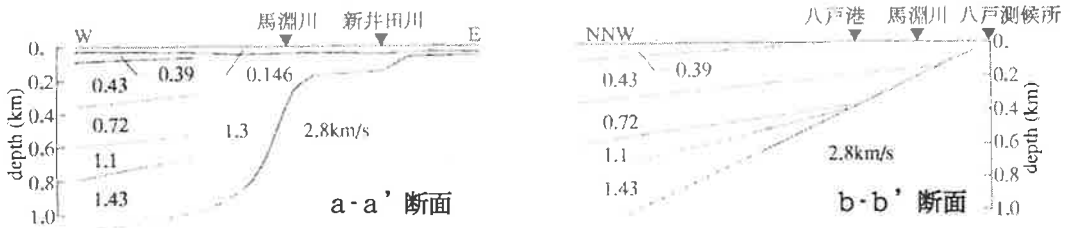


図-3.2 八戸地域の地盤の剪断波速度構成

よる地層構成を示す。八戸地域の地盤は基盤上に堆積した洪積世から沖積世にかけての水成堆積物や火山碎屑物が、表層地盤となっている。

#### 4. 主な水道及び建物被害

##### 4.1 水道管被害

三陸はるか沖地震では、道路、鉄道、水道、土構造物等の土木構造物や建築構造物を中心に多

大な被害が多方面にわたって発生した。

三陸はるか沖地震における八戸市の水道管被害分布を図-4.1に、被害の要因別内訳を表-4.1～4.3に示す。用いたデータは1995年3月15日までに八戸圏域水道企業団によりまとめられたものである。すべてのデータは公共の道路上での漏水箇所を示したもので、総数は少ないものの比較的管径の大きいものの被害である。



図-4.1 水道被害の分布図

表-4.1 被災管種

管 種	件数	比率 (%)
硬質塩化ビニール管	246	74.1
石綿セメント管	14	4.2
铸铁管	14	4.2
ダクタイル铸铁管	18	5.4
亜鉛メッキ銅管	20	6.0
塗覆装銅管	1	0.3
ポリエチレン管	3	0.9
その他	16	4.8
計	332	

表-4.2 被災状況

被災状況	件 数	比率 (%)
穴あき	1	0.3
折 損	211	63.6
亀 裂	6	1.8
破 裂	5	1.5
離 脱	86	25.9
弛 緩	17	5.1
その他	6	1.8
計	332	

水道被害が集中したのは、下長地区、柏崎地区から小中野地区にかけての連担部、吹上地区、そして大杉平地区であり、馬淵川と新井田川に挟まれた中央地域において被害が多く見られた。

#### 4.2 構造物被害

図-4.2 に三陸はるか沖地震における被害の集中した八戸市中心部の構造物被害率の分布を示す。用いたデータは1995年までの八戸市建築被害調査(最大余震の被害を含む)による。全壊、半壊については市の直接の調査に基づいているが、一部損壊については被災者が市の窓口に来

表-4.3 被災管径

口径 (mm)	件数	比率 (%)
13	58	17.5
20	84	25.3
25	41	12.3
30	22	6.6
40	14	4.2
50	31	9.3
75	30	9.0
100	14	4.2
125	2	0.6
150	11	3.3
200	5	1.5
250	6	1.8
300	6	1.8
350	2	0.6
400	2	0.6
600	2	0.6
その他	2	0.6
計	332	

庁して申告したものである。従って被害の程度はガラス破損の軽いものから、半壊に近いものまで幅の広いものである(全壊53、半壊226、一部損壊10,756棟)。

被害率は一部損壊建物をゼンリンの住宅地図により確認した後、その半ページ中の被害棟数を全棟数により除して求めた。なお、住宅地図半ページ分の大きさは240m×340mである。

八戸市は、新井田川、馬淵川により大きく三分割され、一番被害が多かったのは二つの川に挟まれた繁華街のある地域(中央地域)で、被害率が60%を越えるところが見られる。次に、新井田川より東に位置する台地(東地域)に被害が多く見られ、馬淵川より西の地域(西地域)では被害が少なかった。また被害の特徴を比べ

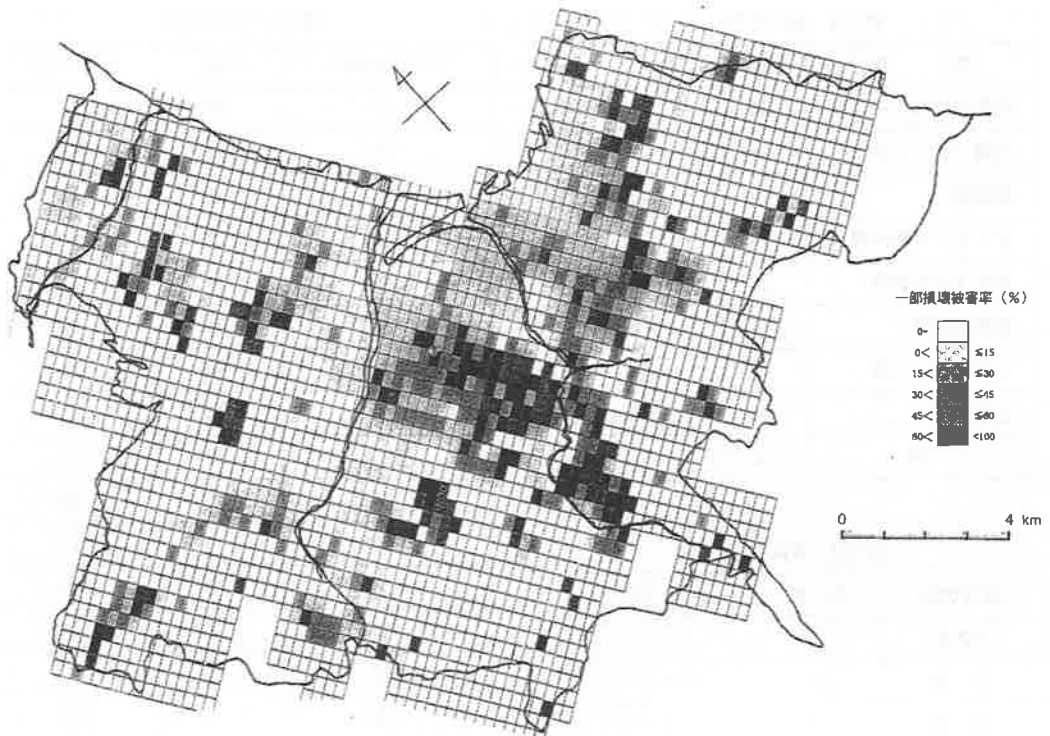


図-4.2 構造物被害率の分布図

てみると、一番被害の多かった中央地域は本震時に被害が多く発生した。これに対して、東地域では本震時にあまり被災しなかったものの、余震時には中央地域よりも多くの被害を受けた。西地区においては本震、余震ともにあまり被害が見られなかった。

また、前章に示した八戸市域剪断波速度構成図(図-3.2)より本震では約200mほどの堆積層の地盤において被害が多く、余震では約40mより浅い堆積層の地盤において、被害が多く発生したことになる。

図-4.3に八戸市繁華街における詳細な水道及び構造物被害分布図<sup>4)</sup>を示す。図中の包絡線は建築物被害の多い所を示す。水道被害と構造物の被害を比較すると、構造物被害において最も被害率が高かった繁華街に位置する三日町地区で被害は極めて少ない。

### 5. 地盤と常時微動測定結果との関係(常時微動の測定方法)

常時微動測定は、構造物被害の多く見られた台地部を中心に行った。中央地域では、内丸地区、吹上地区、中居林地区を、東地域では鮫地区、岬台地区、旭ヶ丘地区を測定した。

測定は1地点ごとの移動測定とし、固有周期1秒の常時微動計を用いて夜間から早朝にかけて行った。測定時間は5分~10分として、このなかから比較的安定していると考えられる部分を約41秒間抽出し、0.02秒間隔でA/D変換したのちにFFT解析(Fast Fourier Transform)した。なお、FFT解析は、フーリエ変換基礎方程式(式-5.1)を定義し、入力方程式 $f(x)$ のデータ数を $2^n$ 個と限定、計算を高速に行う解析手法のことである。また、解析の最も高次な振動数をあらわすナイキスト振動数は式-5.2により





図-4.3 八戸市中心部における被害分布

25 Hz となり、これ以上高い振動数については構造物の固有周期との関係から無視する事とした。

ここに、

$$F_{(ω)} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot e^{-iωx} dx$$

$$F_{n/2} = \frac{(n/2)}{nΔt} = \frac{4,096/2}{4,096 \times 0.02} = 25 \text{ hz}$$

$F_{(ω)}$  : 方程式  $f(x)$  のフーリエ変換

$ω$  : 角振動数

$f_{n/2}$  : ナイキスト振動数

$n$  : サンプル数

$Δt$  : サンプリング間隔

常時微動測定を行った地区の代表的なスペクトルを図-5.1 に、ボーリング柱状図を図-5.2 に、地盤条件を表-5.1 に示す。

旭ヶ丘、新湊、鮫、岬台の東地域は3地域の中でも卓越周期が最も短く約0.2~0.3秒程度で、ピークが比較的是っきりと現れるのが特徴である。特に新湊は約0.1秒と卓越周期が非常に短周期で、実測地点の近くでは岩の露頭が確認できた。ボーリング柱状図やスペクトル図からも東地域は基岩と考えられる層に直接表層が載っている地層構成である。また、旭ヶ丘と鮫地区はともに天狗袋段丘のうえに位置し、卓越周期もほぼ同じである。測定した地区間が離れていても段丘ごとの特性が卓越周期に現れている。

中居林、八戸ニュータウン、根城、内丸、吹上、類家の中央地域は、東地域より長周期の卓越周期である。また、スペクトルの形状もやや広めのピークをとるようになり、地盤の振動が複雑になっている。中居林、八戸ニュータウンはこの地域の中でも標高のやや高い高館・根城段丘のうえに位置しており、はっきりとしたピークが短周期側にみられる。これに対し、内丸、根城、吹上地区は、起伏が多い地形であることに加えて、もとの城下町で、城跡や堀、沼、堤等が多く、これらを干拓や埋立て等で整地した地盤である。そのため、かなり込み入った地

盤で、卓越周期もはっきりと現れず、複数のピークがみられる複雑なスペクトル形状となっている。

類家地区については約1秒とかなり長い卓越周期である。この地域の地盤は新井田川の氾濫等により形成された沖積低地である。モンケンが自沈する軟弱な地層が続き、深さが40mを越えても支持層はみられない。西地域は下長地区だけの測定となったが、いずれの測点も地盤構成をそのまま表す、非常に長周期の卓越周期になっている。

## 6. 水道及び建物被害と常時微動測定、地盤応答解析結果との関係

### 6.1 解析方法

地盤の応答計算は、重複反対理論に基づく一次元応答解析プログラム (SHAKE) を用いて、等価線形化法により地盤の剛性低下を考慮した。地盤モデル各層の剪断波速度は、実測値がない場合は地盤柱状図のN値及び地質分類より、表-6.1に示す計算式より決定した。なお、計算モデル上の基岩は、建物の支持地盤となりうるN値50以上の層とした。すべての計算の入力地震波は、図-2.4の三陸はるか沖地震で八戸工業大学の地下-20mで記録されたものである。

解析の対象は、水道構造物被害の有無、ボーリング柱状図、常時微動測定結果等を考慮し、下長地区・吹上地区・三日町・鮫地区の4地点とした(図-4.1の点線による囲み)。それぞれの地点は水道被害が多く構造物被害の少ない地域、水道・構造物ともに被害の多い地域、両被害とも少なかった地域、水道被害が少なく、構造物被害が多い地域を代表するものである。(表-6.2)

解析の対象とした4地点の地盤柱状図を図-6.1~図-6.4に示す。

#### a) 重複反射理論

一般に解析基盤から入力した剪断波は水平成層地盤を伝播するが、このとき水平成層の各境

三陸はるか沖地震における被害と地盤特性

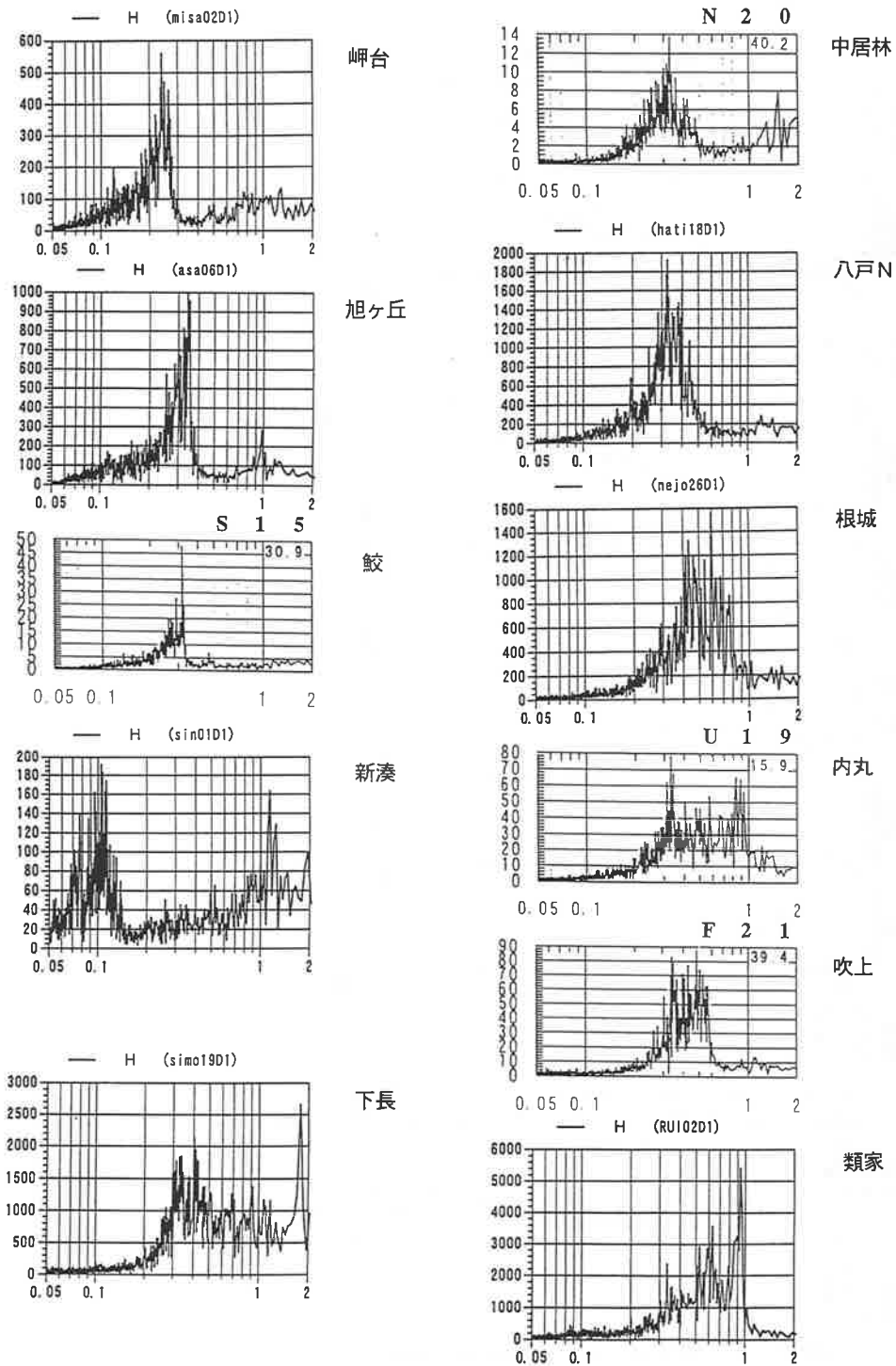


図-5.1 八戸市内の代表地点の常時微動測定からのフーリエスペクトル

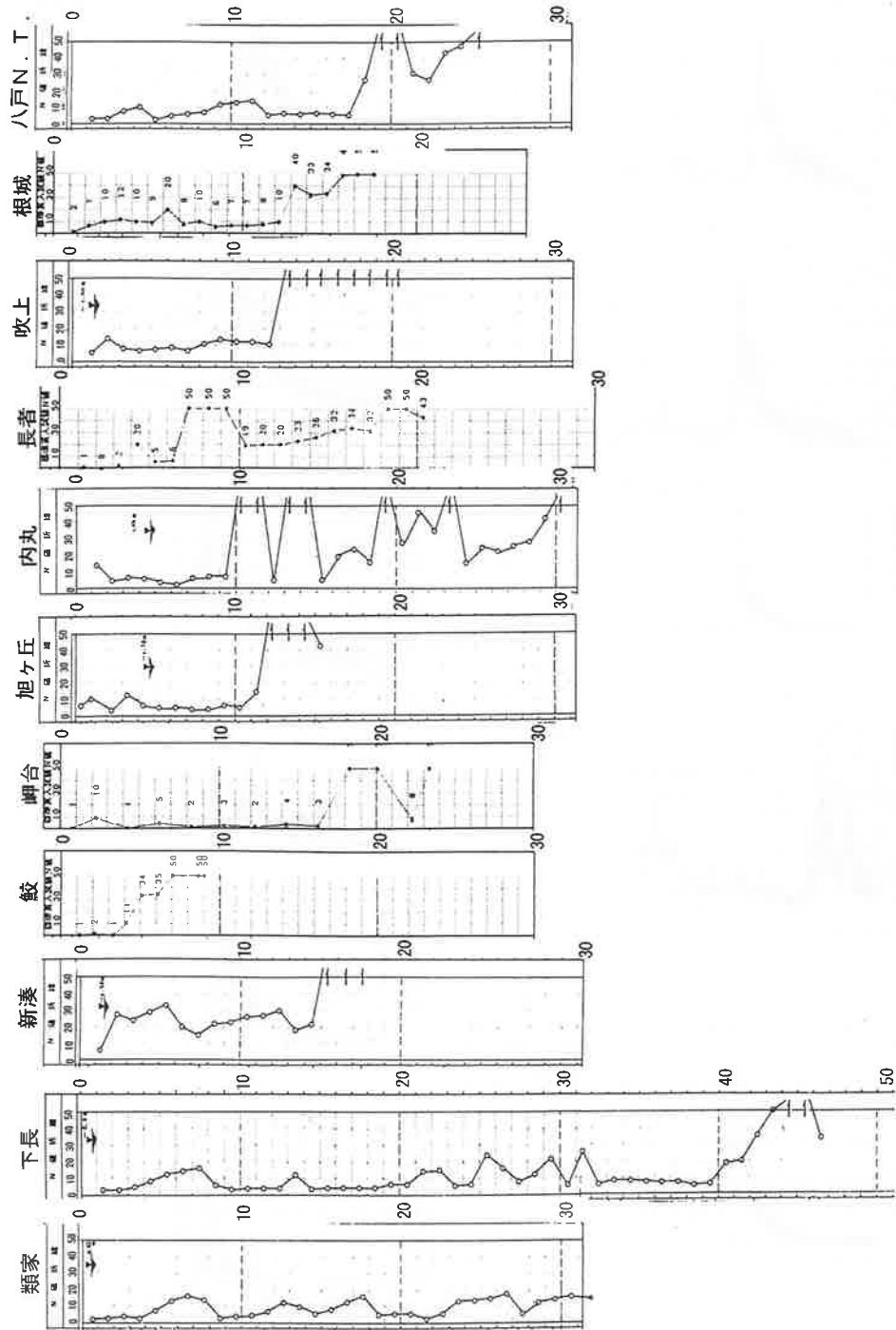


図 5.2 八戸市内の代表地点の地盤柱状図

表-5.1 地盤常時微動測定の主な地区

基岩深さによる地域区分	測定地区	所在段丘
東地域	旭ヶ丘	天狗袋
	新湊	高館
	鮫	天狗袋
	岬台	蒼前平
中央地域	内丸	田面木
	吹上	田面木
	根城	根城・高館
	中居林	根城
	八戸ニュータウン	田面木
	類家	沖積低地
西地域	下長	沖積低地

表-6.1 土質による剪断波速度算定式

	沖積世	洪積世
腐植土	$V_s=67.8N^{0.506}$	—
粘性土	$V_s=86.0N^{0.554}$	$V_s=126N^{0.225}$
砂質土	$V_s=73.2N^{0.541}$	$V_s=86.7N^{0.365}$
砂礫	$V_s=90.4N^{0.360}$	$V_s=148N^{0.219}$

表-6.2 被害地域の特徴

	水道被害	構造物被害 (%)	地 形
下長地区	多	少・軽 (1.2%)	大地縁の沖積低地
吹上地区	多	多・重 (38.7%)	二方を大地に囲まれた沖積低地
鮫地区	少	少・軽 (2.1%)	台地 (田面木低位段丘) 一部、基岩路頭
三日町	少	多・重 (35.9%)	台地 (田面木低位段丘)

界において剪断波は透過及び反射を行う。このとき地盤中の水平成層の境界においては図-6.5に示すように境界を透過する波と反射する波が発生する。境界においては応力が釣り合わなければならない。各層の歪みは応力を剪断弾性係

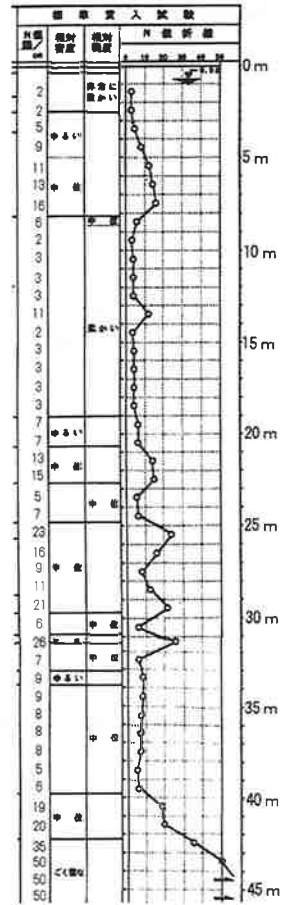


図-6.1 下長地区の地盤柱状図

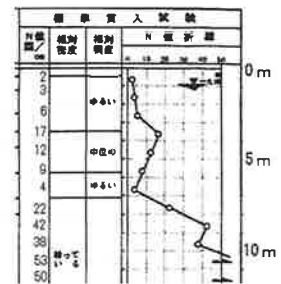


図-6.2 吹上地区の地盤柱状図

数で割って得られるため、剪断弾性係数が小さい層ほど歪みは大きくなる。水平成層からなる地盤においては、このような透過・反射が各層

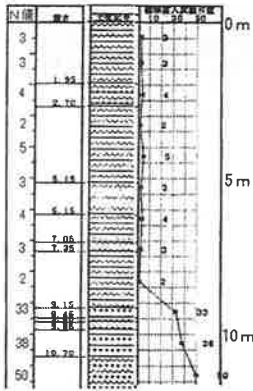


図-6.3 鮫地区の地盤柱状図

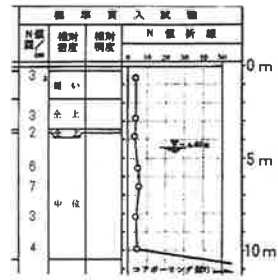


図-6.4 三日町の地盤柱状図

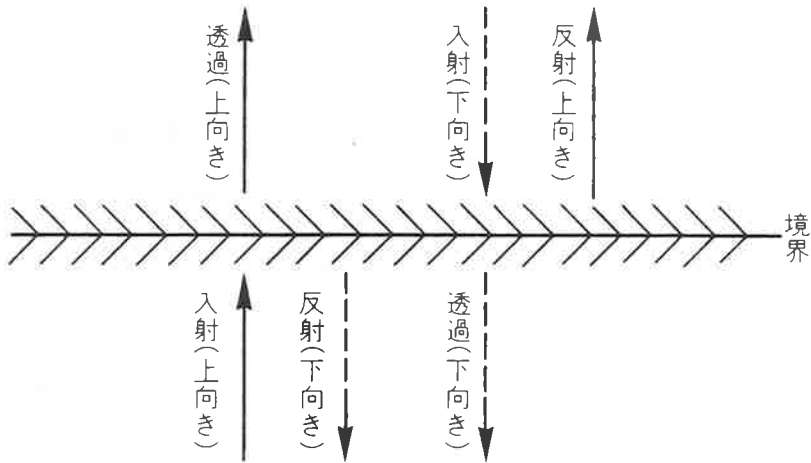


図-6.5 地盤水平成層境界の波の反射と透過

において時々刻々で行われる。図-6.6に模式図を示す。このように水平成層地盤各層の境界で、一度透過・反射された波がさらに透過・反射を繰り返す事を重複反射と言う。また、地表面のように、応力がゼロとなる境界面に地震波が伝播した場合には入射波の2倍の振幅の振動がみられる。

#### b) 等価線形化法

土は図-6.7に示すように、歪み依存による非線形性(歪みにより剪断弾性係数  $G$  及び減衰定数  $h$  が変化する)を強く有する材料である。従って応答計算においてもこの非線形性を考慮

する必要がある、一般に等価線形化法という方法を用いて非線形性を表現している。

この方法は剪断弾性係数と減衰定数の初期値を適切に想定して地震応答解析を行い、これにより得られた平均的な歪みの値を基に、新たに歪み依存曲線から剪断弾性係数と減衰定数を想定し、再計算する。これを繰り返し行い、計算に用いた物性値と算出された物性値が設定した許容誤差の範囲に収ったところで現実の物性値として扱うものである。図-6.8に方法のフローを、図-6.9に模式図を示す。

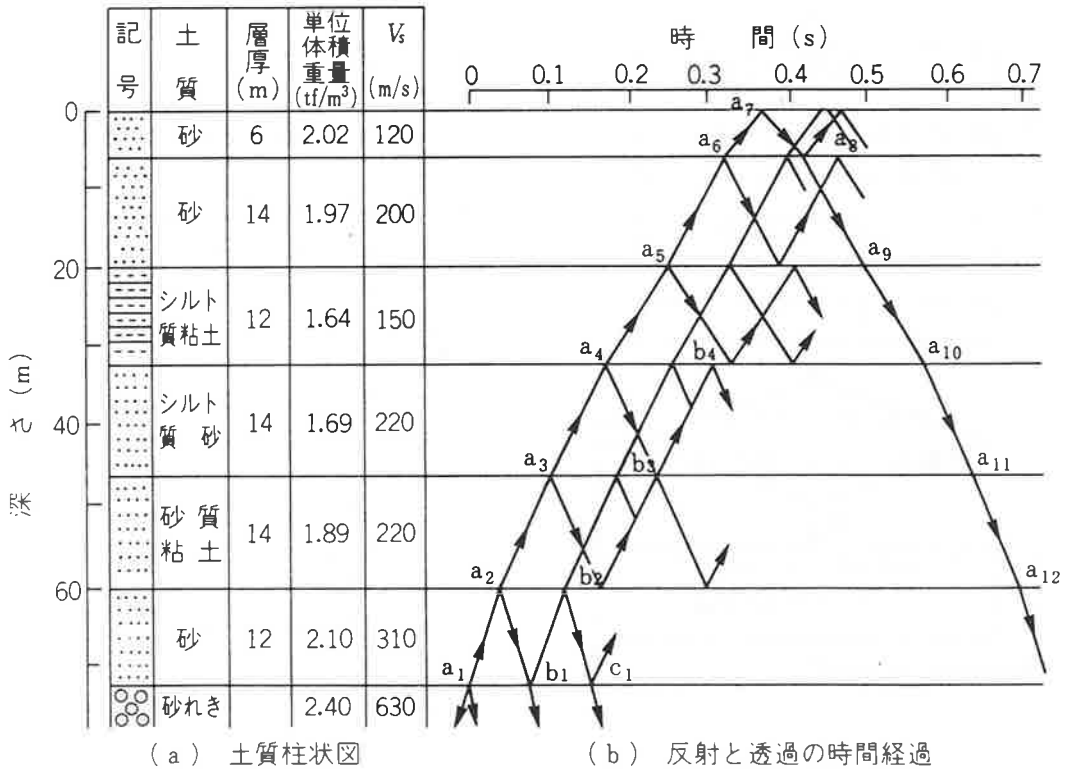
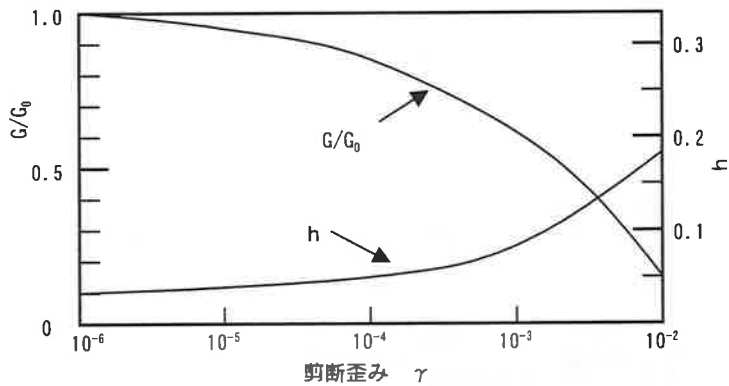


図-6.6 重複反射理論の模式図



## 6.2 解析結果

図-6.10 に下長地区, 図-6.11 に吹上地区, 図-6.12 に鮫地区, 図-6.13 に三日町の解析の結果を

示す。なお, 図の上段は応答解析からのスペクトル, 図の下段は常時微動測定より求めたスペクトルである。

4 地点のうち, 下長地区では沖積層が厚いた

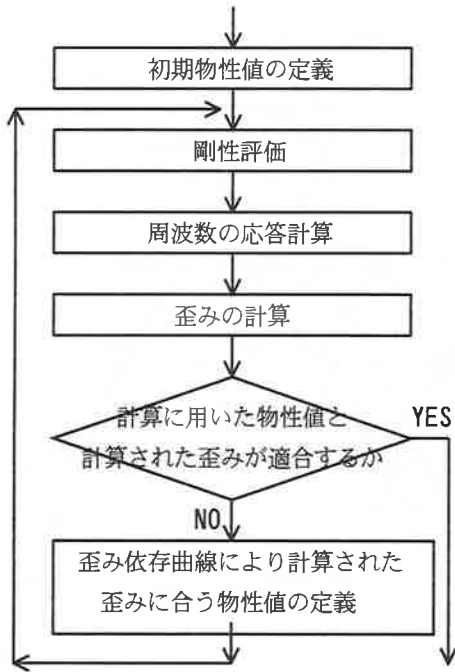


図-6.8 等価線形化のフロー

めに、卓越周期は約1秒と長いものになった。鯨地区は岩盤上の埋立土の影響で0.4秒付近に卓越周期がみられる。吹上地区と三日町は洪積台地の上にローム土が被覆しており、卓越周期は0.3秒付近にある。地層構成をモデル化して応答

計算したスペクトルは常時微動の測定結果とスペクトル形状がほぼ一致している。この中で三日町は前述の内丸、根城、吹上地区の中心にあるために複雑な地盤を反映したスペクトルになっている。

表-6.3に常時微動測定より求めた卓越周期とそれぞれの構造物被害率を、図-6.14に地盤卓越周期と被害率の関係を東地域、中央地域、西地域(低地部)に分けて示す。最大の被害率は約70%であり、その卓越周期は0.4秒前後である。これより周期が長くなると次第に被害率が小さな値となる。反対に周期が短くなっても被害率が小さくなるが、0.2秒より短周期の所では急激に小さくなっている。また、被害率が50%を越える地点の周期は0.2~0.5秒の範囲である。中央の台地では他と比べ被害率が高い値をとっている。卓越周期が0.8秒を越えて、さらに長くなると急に被害率の値が小さくなる。東側の台地では約0.4秒で被害率はピークとなり、被害率の最大値は約50%である。また、この地域では0.5秒を越えるような周期の長いところが見られない。低地部では0.6秒のあたりで被害率30%程度の緩やかなピークになっているものの、全体的に被害率が低くなっている。

これらの結果は、構造物(主に住宅)の固有周期が0.4秒弱であることを考えると、八戸市

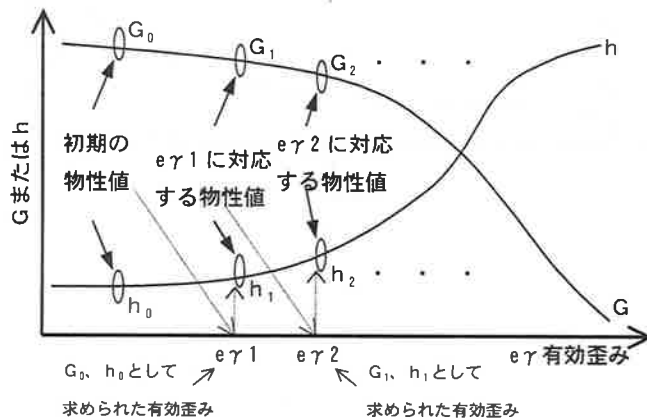


図-6.9 等価線形化法の模式図



三陸はるか沖地震における被害と地盤特性

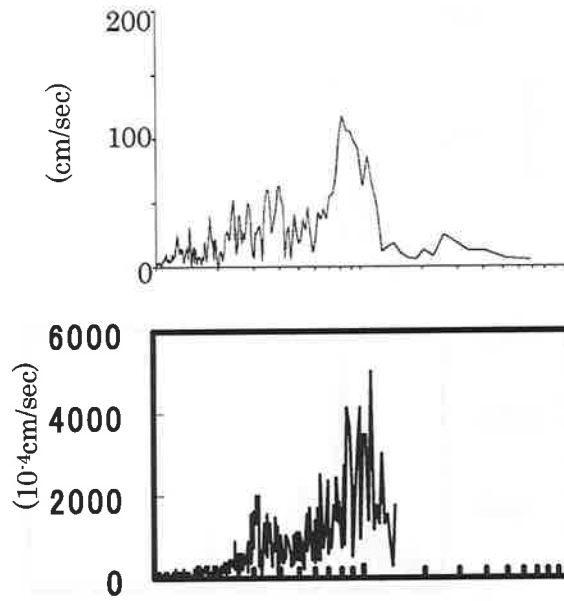


図-6.10 下長地区のスペクトル

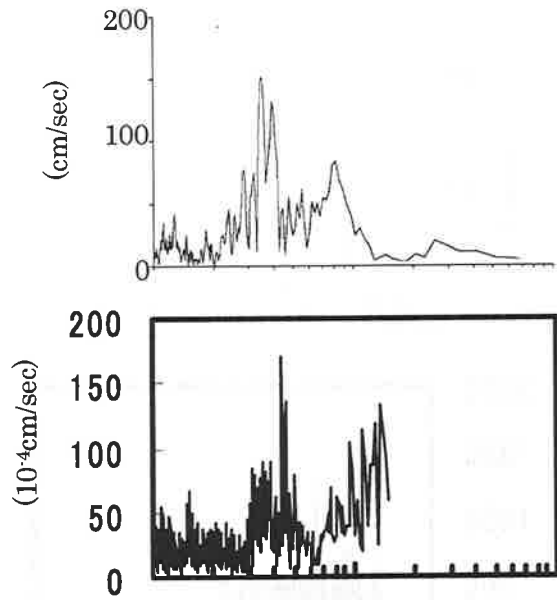


図-6.11 吹上地区のスペクトル

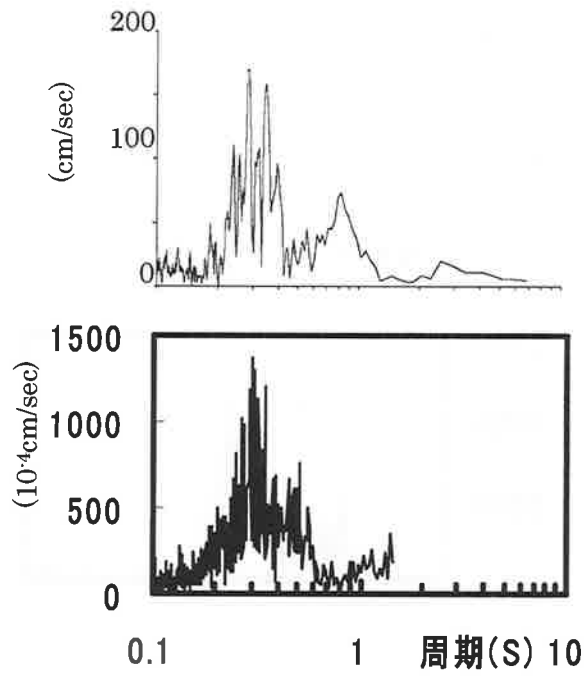


図-6.12 鮫地区のスペクトル

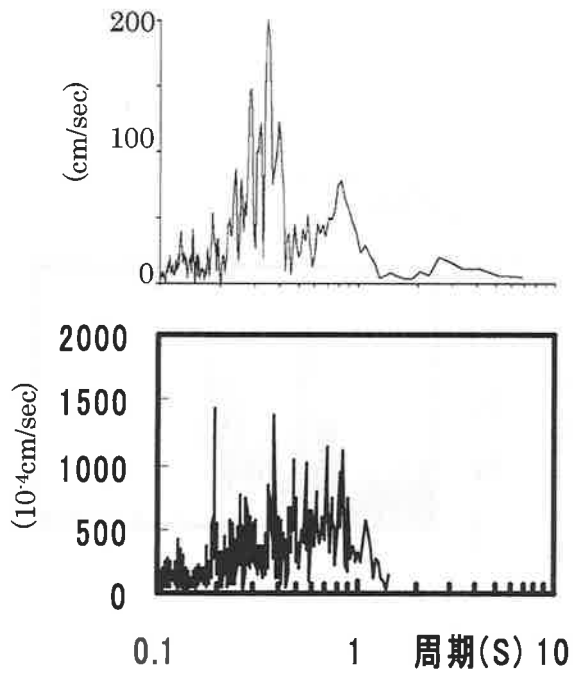


図-6.13 三日町のスペクトル

三陸はるか沖地震における被害と地盤特性

表-6.3 常時微動の測定地点と卓越周期及び構造物被害率

NO.	卓越周期 (秒)	被害率 (%)	NO.	卓越周期 (秒)	被害率 (%)	NO.	卓越周期 (秒)	被害率 (%)
U1*	0.57	28.3	F9 東高校庭	0.30	38.7	N12	0.30	45.8
U2*	0.46	28.3	F10	0.47	36.2	N13 中居林小	0.47	8.10
U3	0.45	28.3	F11	0.32	36.2	N14	0.29	47.8
U4	0.56	35.6	F12	0.39	33.7	N15	0.39	38.1
U5	0.26	35.6	F13	0.68	36.2	N16	0.24	47.8
U6	0.31	36.2	F14	0.51	36.2	N17	0.40	35.2
U7	0.31	35.6	F15	0.53	37.9	N18	0.22	40.2
U8	0.34	35.6	F16 長者山	0.71	37.9	N19	0.33	40.5
U9	0.32	36.2	F17	0.37	27.0	N20	0.33	40.2
U10 美術館	0.32	35.8	F18	0.46	24.4	N21	0.32	45.2
U11	0.47	36.2	F19 南宗寺	0.26	18.8	N22	0.53	57.7
U12	0.30	14.4	F20	0.52	33.7	N23	0.41	46.7
U13 旧市庁舎	0.67	15.9	F21 第一中	0.48	39.4	N24	0.34	66.3
U14 更上閣	0.71	18.5	F22	0.31	61.7	N25	0.23	60.0
U15 公会堂前	0.82	15.9	F23 吹上小	0.21	22.4	S1 鮫小前	0.09	2.10
U16 児童会館	0.84	15.9	F24	0.68	36.2	S2 鮫児童館	0.12	3.10
U17	0.38	35.8	F25	0.23	61.7	S3	0.19	2.10
U18	0.35	35.8	F26	0.72	17.1	S4	0.42	2.10
U19	0.33	15.9	F27* 柏崎小	0.65	17.2	S5	0.28	2.10
U20 公会堂裏	0.87	15.9	F28 願栄寺	0.48	28.0	S6	0.32	49.5
U21*	0.37	13.4	F29*	0.55	17.2	S7	0.19	37.4
U22*	0.38	13.4	F30*	0.98	13.7	S8	0.40	37.5
U23*	0.74	14.3	F31	0.33	12.4	S9	0.47	37.5
U24*	1.00	18.5	N1* 向陵高	0.59	6.30	S10	0.27	22.9
U25	0.31	36.2	N2	0.35	54.7	S11	—	24.6
U26 (* 2)	0.32	28.0	N3	0.30	47.7	S12	0.25	29.5
F1*	0.84	12.9	N4	0.37	54.7	S13	0.24	12.6
F2*	0.69	12.9	N5	0.45	35.2	S14	0.23	16.0
F3	0.44	14.7	N6	0.38	11.9	S15	0.32	30.9
F4 廣澤寺	0.42	5.80	N7	0.48	47.7	S16 東中学	0.35	8.80
F5 千葉学裏	0.22	38.7	N8	—	4.90	S17 東運公園	0.35	2.40
F6	0.29	34.2	N9	0.27	47.4	S18 測候所	0.25	1.00
F7 千葉学園	0.36	38.7	N10	0.24	45.8	八戸港	0.49	—
F8 東高正門	0.23	38.7	N11	—	35.9	八戸工大	0.34	—

の深層の地盤構成と、三陸はるか沖地震における構造物被害との関係によく対応している。

建物被害は卓越周期 0.3 秒付近の三日町や吹上地区などの表層厚が約 10 m 程度の二層系の洪積台地で多く見られ、沖積地盤である下長地

区や岩盤の浅い鮫地区等では少ない。卓越周期 0.2~0.3 秒の地盤では建物の固有周期に近いために被害が拡大したと考えられる。

水道被害が集中したのは、下長地区および、東北から南西に伸びる三日町地区の台地周辺部に

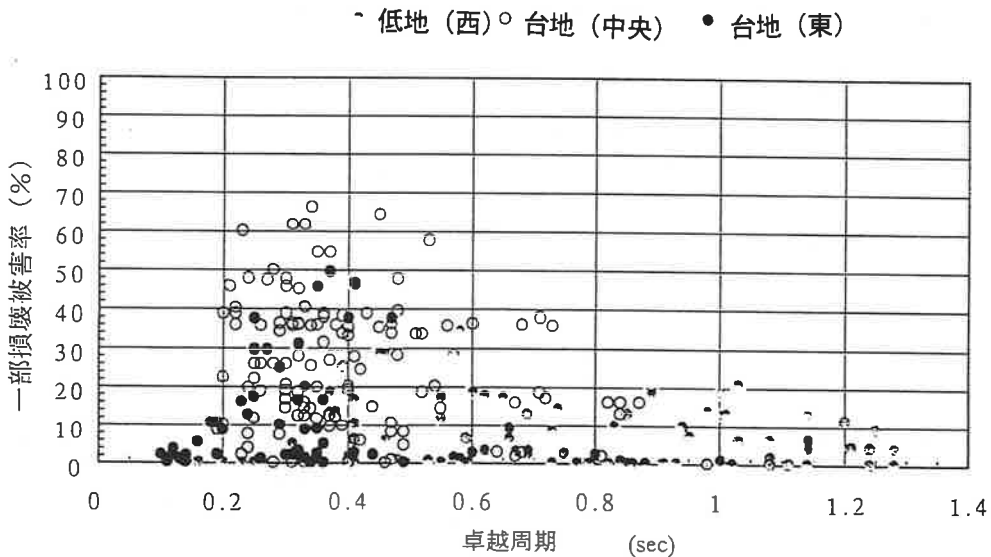


図-6.14 卓越周期と構造物被害率の関係

あたる、柏崎から大杉平、吹上地区である。馬淵川と新井田川に挟まれた中央地域において被害が多く見られる。

水道被害は、建物被害の多かった三日町では少なく、台地の狭間になっている吹上地区等では多く発生している。下長地区では沖積地盤上では少ないものの、沖積地盤と台地の境界付近では多く発生しており、岩盤の浅い鮫地区は応答加速度の値の大きさに対して、水道の被害はほとんどみられない。これより、水道は地盤中に埋設されているために、地層の境界、地形の起伏の大きい地帯で被害が生じやすいこと、同じ地盤内なら比較的大きな地震動でも被害は少なく、卓越周期に影響されがたいことなどがわかる。

ただし、各地盤ごとに卓越周期が異なるので地盤の境界付近、ビルディングのような大型構造物の近傍では水道のような地中配管に変形や歪みが集中する可能性のあることも判明した。その可能性を判定するのにも常時微動測定が簡便で効果の高い手段であることが検証された。

## 7. 結 論

(1) 構造物の被害は地盤の卓越周期、加速度レベル等に影響されやすいので常時微動測定による、地盤の卓越周期、応答レベルの推定は、耐震性を検討するうえで有効な手段である。

(2) 地盤をモデル化して基岩の入力地震動に対する応答計算から得られたスペクトルは、実測した常時微動のスペクトルに近い形状を得ることが出来た。これより常時微動による地盤振動スペクトル形状はN値50の基盤より上のごく浅い地層の影響を強く反映していることが判明した。

(3) 構造物は地震動の伝達で被災するため、構造物の固有周期に近い卓越周期を有する地盤において被害を受けやすい。これに対して水道管は地盤中にあるために地盤の卓越周期や加速度レベルの影響は少なく、地盤の変形の位相差により被災する傾向がみられる。主に傾斜地や地盤境などにおいて被害を受けやすい。

## 謝 辞

本論中の八戸市街地における詳細被害分布図

は八戸工業高等専門学校の堀田報誠先生に提供いただいた。また、八戸圏域水道企業団からは水道に関する様々なデータの提供や助言を、株式会社 JCD の易鋒、孫偉東両氏には解析に関する指導を頂いた。また、解析に用いた地震波形、スペクトル等は八戸工業大学建築工学科滝田貢教授によるものである。ここに、関係各位の御協力に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) Kiyoshi Kanai, Teiji Tanaka, Kaio Osada : On Microtremors. X, 地震研究所彙報 Vol. 44, 1996
- 2) 毛呂 眞: 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, 八戸工業大学紀要第17巻, pp. 125-138, 1998年2月
- 3) 毛呂 眞, 橋詰 豊, 八戸台地における建物地震被害と地形及び地盤特性一文久改正八戸御城下略図より一, 八戸工業大学紀要第17巻, pp. 125-138, 1998年2月
- 4) 毛呂 眞, 田端巧光, 橋詰 豊, 伊藤敬一, 築館敏栄: 1993年釧路沖地震による住宅被害分布と地盤の卓越周期, 八戸工業大学構造工学研究所紀要第5巻, pp. 125-138, 1998年2月
- 5) 日本建築学会構造委員会: 三陸はるか沖地震の被害と耐震設計, 1997.7
- 6) 地盤工学会: 平成6年(1994年)三陸はるか沖地震災害調査報告書, 1996.4.15
- 7) F・E・リチャート Jr, J・R・ホール Jr, R・D・ウッズ: 土と基礎の振動地盤振動の基本的知識, 鹿島出版会, 1975.9.30
- 8) J・P・ウォルフ: 構造物と地盤の動的相互作用解析時間領域処理法, 鹿島出版会, 1996.10.30
- 9) 建設省土木研究所・地震防災部振動研究所: 土木研究所資料第1778号, 地盤の地震時応答特性の数値解析法—SHAKE: DESRA—, 1982.2
- 10) 清水建設株式会社: 1994年三陸はるか沖地震被害調査報告書, 1995.3
- 11) 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, 1995.7.20
- 12) 東日本旅客鉄道株式会社盛岡支社: 三陸はるか沖地震災害記録誌 [技術編], 1996.1
- 13) 株式会社クボタ鉄管研究所: 1994年三陸はるか沖地震について (速報), 1995.3.20
- 14) 株式会社クボタ鉄管研究所東京本社パイプエンジニアリング部: 馬淵川西水管橋調査結果, 1996.4
- 15) 毛呂 眞, 橋詰 豊: 21はちのへ研究1994年三陸はるか沖地震で建物被害を受けた地域地盤の卓越周期特性, 1996.2.29