

三陸はるか沖地震における被害と地盤特性

橋詰 豊¹・塩井幸武²・毛呂 眞³

¹学生会員 修士(工) 八戸工業大学大学院 土木工学専攻 (〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

²正会員 博士(工) 八戸工業大学教授 構造工学研究所 (〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

³正会員 工博 八戸工業大学教授 建築工学科 (〒031-8501 青森県八戸市大字妙字大開 88-1)

1994年三陸はるか沖地震における青森県八戸市の建物等の構造物被害、水道被害と地盤の振動性状の関係を、常時微動測定及び一次元重複反射理論に基づくモデル計算の結果を用いて検討した結果、次のような相関関係が得られた。1) 地盤振動のスペクトル形状はN値 50 程度の基盤より上の、ごく浅い地層の影響を強く反映している。2) 水道被害は地盤のスペクトルや加速度レベルによる影響よりも主に傾斜地や切土・盛土等の人工的なものも含めた地層境の影響を受け易い。3) 構造物の被害は、地盤の卓越周期に影響され易い。これらの事より、常時微動測定は構造物被害を推定するのに有効と考えられる。

Key Words : 1994 Far-Off Sanriku Earthquake, seismic damage, water supply, multiple 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についての研究は以前からなされており、とくに地盤の卓越周期との関連性について、多数の研究者により研究成果が報告されている¹⁾。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言われており、筆者らの研究グループにおいても、八戸市、青森市、十和田市、釧路市における地震で両者の関連性を確認している^{2), 3), 4)}。また、三陸はるか沖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^{5), 6), 7), 8)}。しかし、水道被害分布と構造物被害分布を比較すると、必ずしも対応しているわけではなく被害の発生仕方にも差が見られた。

構造物は、地盤より伝わってくる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地盤構成との相関性を

検討することとした。

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。震源は八戸市の東方沖約200kmで地震の緒元を表-1に示す。

さらに1995年1月7日07時37分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、八戸市では最大震度Vを記録した。

地震被害は本震では比較的良好な洪積台地の中心市街地に多く、地盤が悪い(軟弱)といわれる沖積地盤においては際だった被害がみられなかった。これに対して余震では本震での被災の少ない、もしくは少なかった地域で被害が目立った。中でも東地域のように基盤上に薄い堆積層のある地盤に被害が集中している⁹⁾。従って両地震による被災の差は、それぞれの地震波の周期特性、地盤の震動特性に起因していると考えられる。ただし、個々の被害例の中には本震によるものか、

表-1 地震の緒元

	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	30Km
マグニチュードM	7.5	6.9

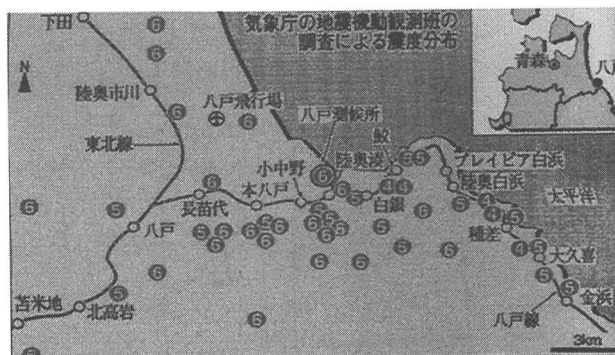


図-1 三陸はるか沖地震における八戸市内の震度分布

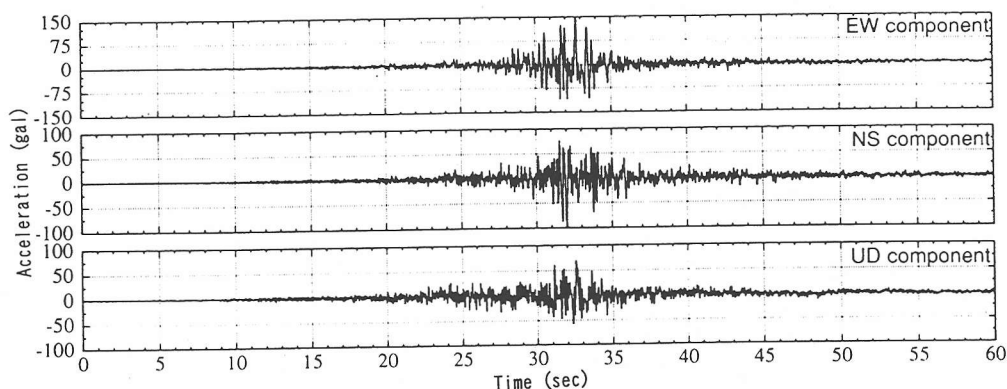


図-2 八戸工業大学自由地盤G.L.・20mでの加速度波形（本震）

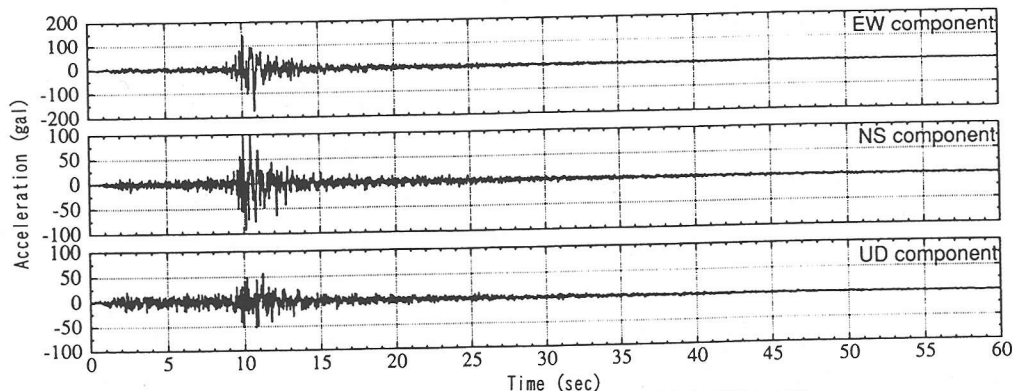


図-3 八戸工業大学自由地盤G.L.・20mでの加速度波形（最大余震）

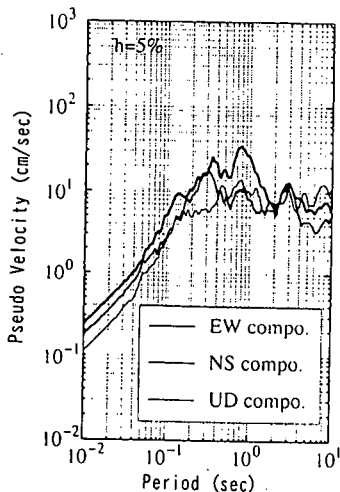


図-4 八戸工業大学自由地盤 G.L.・20m での
応答スペクトル (本震)

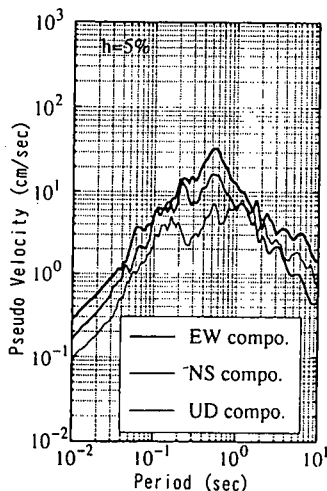


図-5 八戸工業大学自由地盤 G.L.・20m での
応答スペクトル (最大余震)

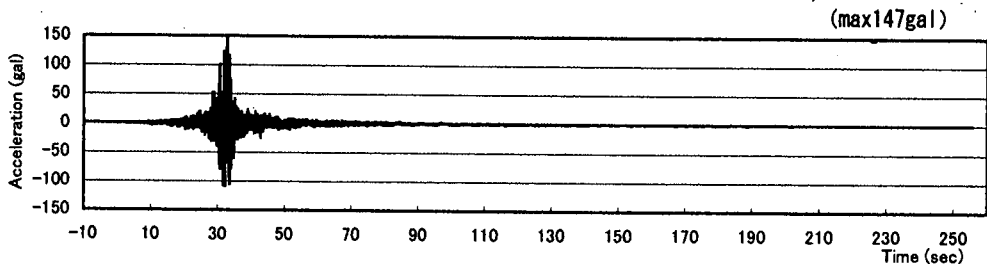


図-6 解析に用いた三陸はるか沖地震波

余震によるものかを判定しがたいものも含まれるので、以降の解析では一連のものとして取り扱う。

八戸市における本震時の震度を図-1 に示す。また、八戸工業大学の建物の影響を受けない地点(自由地盤)の地下・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、図-3 に、それぞれの応答スペクトルを図-4、図-5 に示す。これより解析用の加速度波形(本震の東西成分)を図-6 とした。この地震波の経時変化と後続の長周期波動の影響を調べるために作成したランニングスペクトルを図-7 に示す。加速度波形はサンプリング間隔が 0.01 秒で、総点数約 26000 点(約 260 秒)、最大加速度 147gal である。ランニングスペクトル図は 4096 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 1000gal・sec に満たないために省略した。これにより三陸はるか沖地震波は、約 0.34 秒と約 0.78 秒の周期の波が主要動を構成していることが判る。

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、段丘が広がっている。これらの段丘は、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-8 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。八戸市の東、中央、西の 3 地域は、東、中央、西地域の順に高く、それぞれの地域には、東地域に高位や低位の着前平、天狗岱、高館の各段丘、中央地域に天狗岱、高館、田面木の各段丘、西地域に天狗岱や高館段丘が分布する。

これらの段丘は洪積段丘で、基岩(せん断波速度 2~3km/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

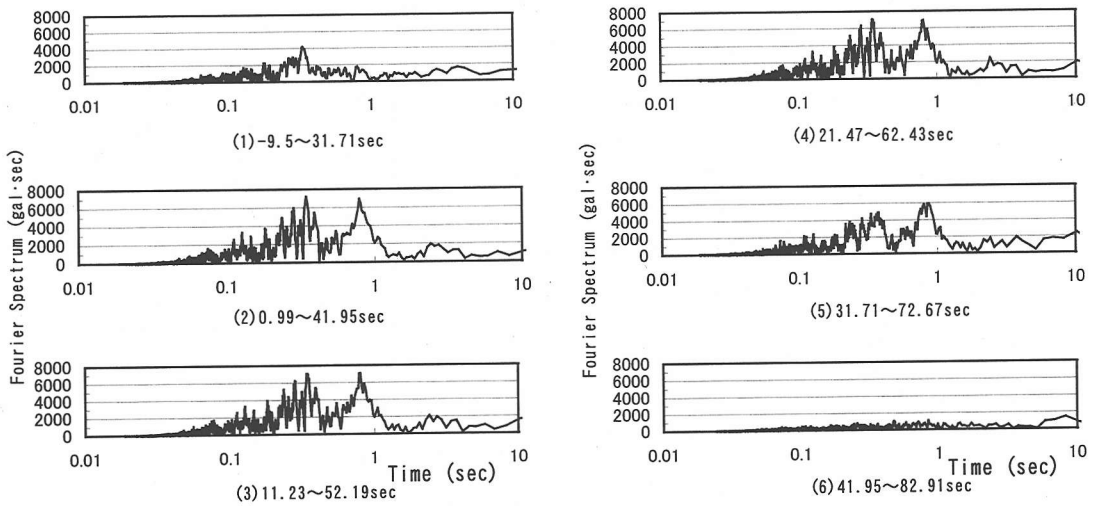


図-7 三陸はるか沖地震波のランニングスペクトル

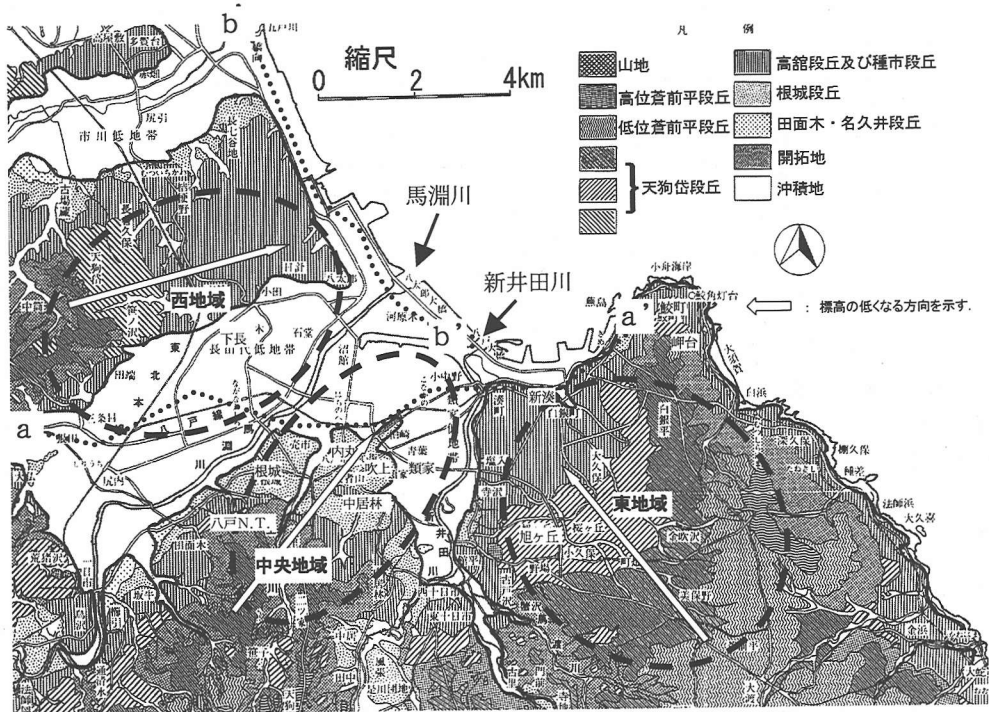


図-8 八戸地域の地形分類図

る。これらに対し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紀鮮新世（6200 万～200 万年前）に海底に堆積した地層の上に、さらに新しい第四紀（200 万年前～現在）の地層が堆積し、十分に固結していない泥岩、砂岩、礫岩、凝灰岩等が主体となっている。図-9 に坂尻ら¹⁰⁾ による長周期波動から推定した八戸地域のせん断波速度による地層構成を示す。せん断波速度 2.8km/s の基岩とみなされる地層は、

新井田川より東が深度約 100m、ここから馬淵川までの間が約 200m、そして馬淵川の西側では約 1000m まで急に深くなっている。また、南北方向では全体的に北側に向かって緩やかに傾斜している。八戸地域の地盤はこれら 3 地域の基盤上に洪積世から沖積世にかけての水成堆積物や火山砕屑物が堆積し、表層地盤となっている。

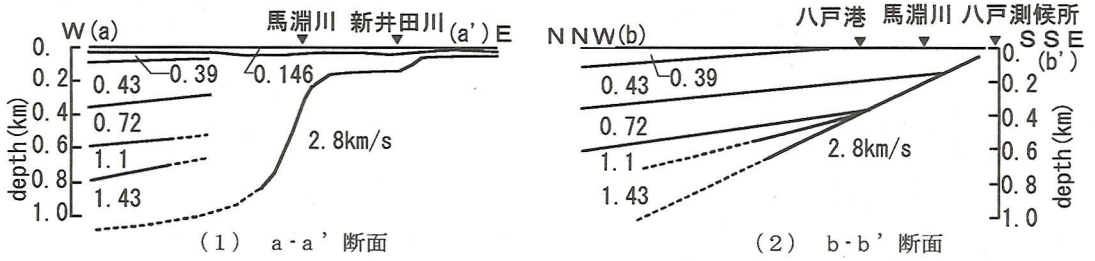


図-9 八戸地域の地盤のせん断波速度構成

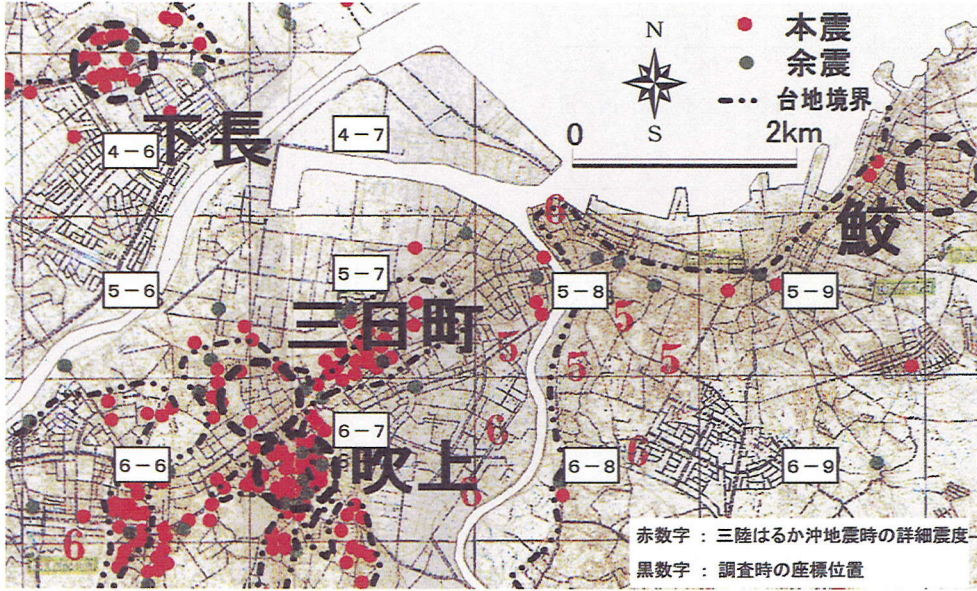


図-10 水道被害の分布図

4. 水道管及び構造物被害

(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発生した¹¹⁾。そのうち、三陸はるか沖地震の本震及び、余震における八戸市の水道管被害の分布を図-10に、要因別内訳を表-2~4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。すべての点は公共の道路上での漏水箇所¹¹⁾を示すもので、水道企業団では給水管は径13mm以上としている。

水道被害が集中したのは、下長地区および、北東から南西に伸びる三日町地区の洪積台地の周辺部、起伏のある吹上地区である。馬淵川と新井田川に挟まれた中央地域の台地周辺に被害が多く見られる。図-10の破線は台地境界で、崖地や傾斜地、切土、盛土、埋立てにより、地盤が急激に変化する線を示す。

ただし、配水管には細管が多く、被害の原因が多様化しているので、口径13mm未満の細い管は検討の対象から割愛した。

(2) 構造物被害

図-11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¹¹⁾(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10756棟)。

被害率は一部損壊建物(全壊、半壊を除く)を住宅地図により確認した後、ゼンリンの住宅地図半ページ分240m×340mの面積中にある被害棟数を全棟数で除して求めた。

表-2 三陸はるか沖地震による八戸市内水道管の被災管種

管種	件数	比率 (%)
硬質塩化ビニル管	246	74.1
石綿セメント管	14	4.2
鋳鉄管	14	4.2
ダクタイル鋳鉄管	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-3 三陸はるか沖地震による八戸市内水道管の被災状況

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	

表-4 三陸はるか沖地震による八戸市内水道管の被災管径

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	

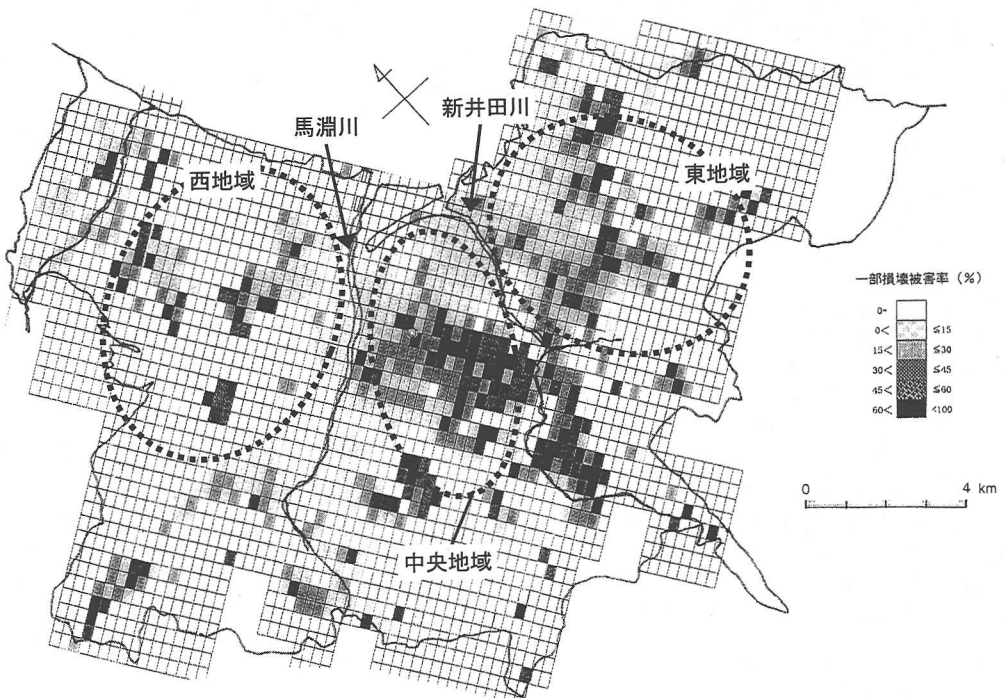


図-11 構造物被害率の分布図



* 図中の破線囲みは構造物被害の多い範囲を示す。

図-12 八戸市中心部における被害分布

八戸市で、最も構造物被害が多かったのは中央地域（図-10の座標位置 5-6, 5-7, 6-6, 6-7）で被害率は60%を越える地域もあった。次に新井田川より東側の東地域の台地（5-8, 5-9, 6-8, 6-9）に被害が多く見られ、馬淵川より西地域（4-6）では被害が少なかった。最も被害の多かった中央地域では本震時の被災が多いのに対して、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、前述の図-9の上では本震では約200mほどの堆積層の地盤（中央地域）で被害が多く、余震では約40mより浅い堆積層の地盤（東地域）において、被害が多く発生した。

図-12に八戸市繁华街における詳細な水道及び構造物被害分布図¹⁾²⁾を示す（13mm未満の細い配水管は除く）。図中の破線は構造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においては水道被害がみられない。

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、八戸 N.T.、根城地区、類家地区を、東地域では鮫地区、岬台地区、旭ヶ丘地区、新湊地区を、西地域では、下長地区を測定した（図-8 参照）。

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4.1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(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(2)により25Hzとなる。

$$F_{(\omega)} = \int_{-\infty}^{\infty} f_{(x)} \cdot e^{-i\omega x} dx \quad (1)$$

$$f_{n/2} = \frac{(n/2)}{n\Delta t} = \frac{4096/2}{4096 \times 0.02} = 25\text{Hz} \quad (2)$$

ここに、 $F_{(\omega)}$: 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-13に、N値分布図を図-14に、地形条件（基になる段丘、低地名）を表-5に示す。図-13は測定値点毎に加震源の影響でスペクトル振幅値が変動しているが、地盤の周期特性を判断するには支障とならないと考え、縦軸の縮尺を調整した。また、卓越周期に影響の大きいN値分布図（図-14）は直近のものを採用した。

旭ヶ丘、新湊、鮫、岬台の東地域は三地域の中でも卓越周期が最も短く、約0.1～0.3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、実測地点の近くで基盤岩の露頭が確認できた。N値分布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の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岱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。

表-5 地盤常時微動測定の主な測定地区

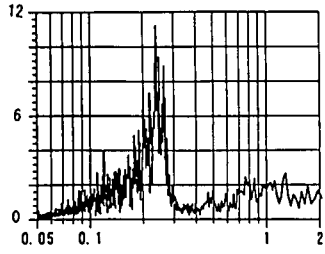
基岩深さによる地域区分	測定地区	所在段丘
東地域	旭ヶ丘 新湊 鮫 岬台	天狗岱 高館 天狗岱 蒼前平
中央地域	内丸 吹上 根城 中居林 八戸ニュータウン 類家	田面木 田面木 根城・高館 根城 田面木 沖積低地
西地域	下長	沖積低地

中央地域の中居林、八戸 N.T. は比較的高い丘陵で類似の東地域の旭ヶ丘と近い卓越周期を示すが、高度が低下するに従って、根城、内丸、吹上、類家と長周期の卓越周期となっている（図-8 参照）。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となっており、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、30mを越えても支持層はみられない。西地域は下長地区を中心とした地域のみ測定となったが、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。

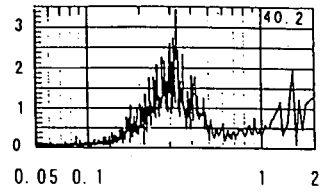
このようにN値分布図とスペクトルの形状との相関性はかなり高いと言える。

6. 水道及び構造物被害と常時微動測定、地盤応答解析結果との関係

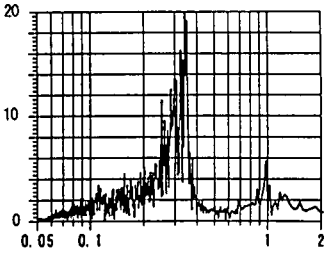
地盤の応答計算は、重複反射理論に基づく一次元応答解析プログラム（SHAKE）¹³⁾を用いて、等価線形化法により地盤の剛性低下を考慮した^{14)、15)}。地盤モデル各層のせん断波速度は、実測値がない場合は地盤柱状図のN値及び地質分類より、表-6に示す計算式より決定した¹⁶⁾。なお、計算モデル上の基岩は、構造



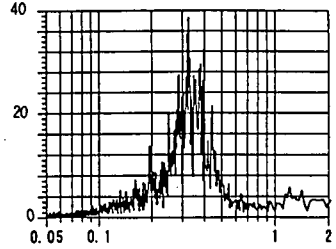
岬台
(東)
蒼前平



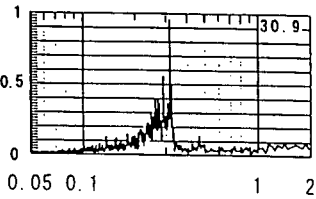
中居林
(中央)
根城



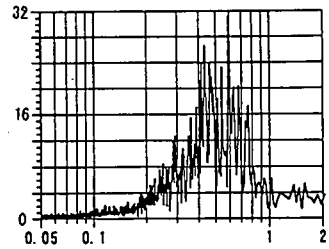
旭ヶ丘
(東)
天狗岱



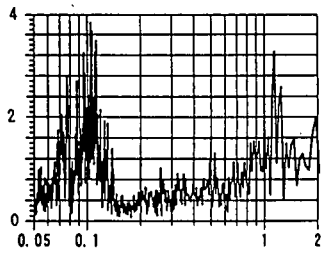
八戸N.T.
(中央)
田面木



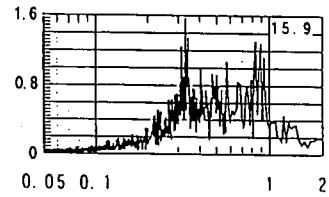
鮫
(東)
天狗岱



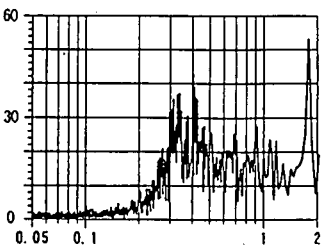
根城
(中央)
根城・高館



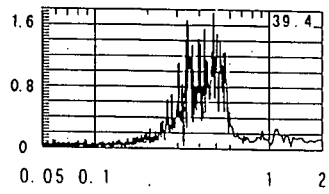
新湊
(東)
高館



内丸
(中央)
田面木



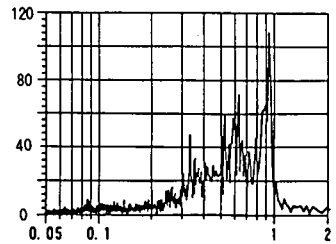
下長
(西)
沖積低地



吹上
(中央)
田面木

縦軸 : フーリエスペクトル ($10^{-4} \text{cm} \cdot \text{sec}^2$)

横軸 : Time (sec)



類家
(中央)
沖積低地

図-13 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

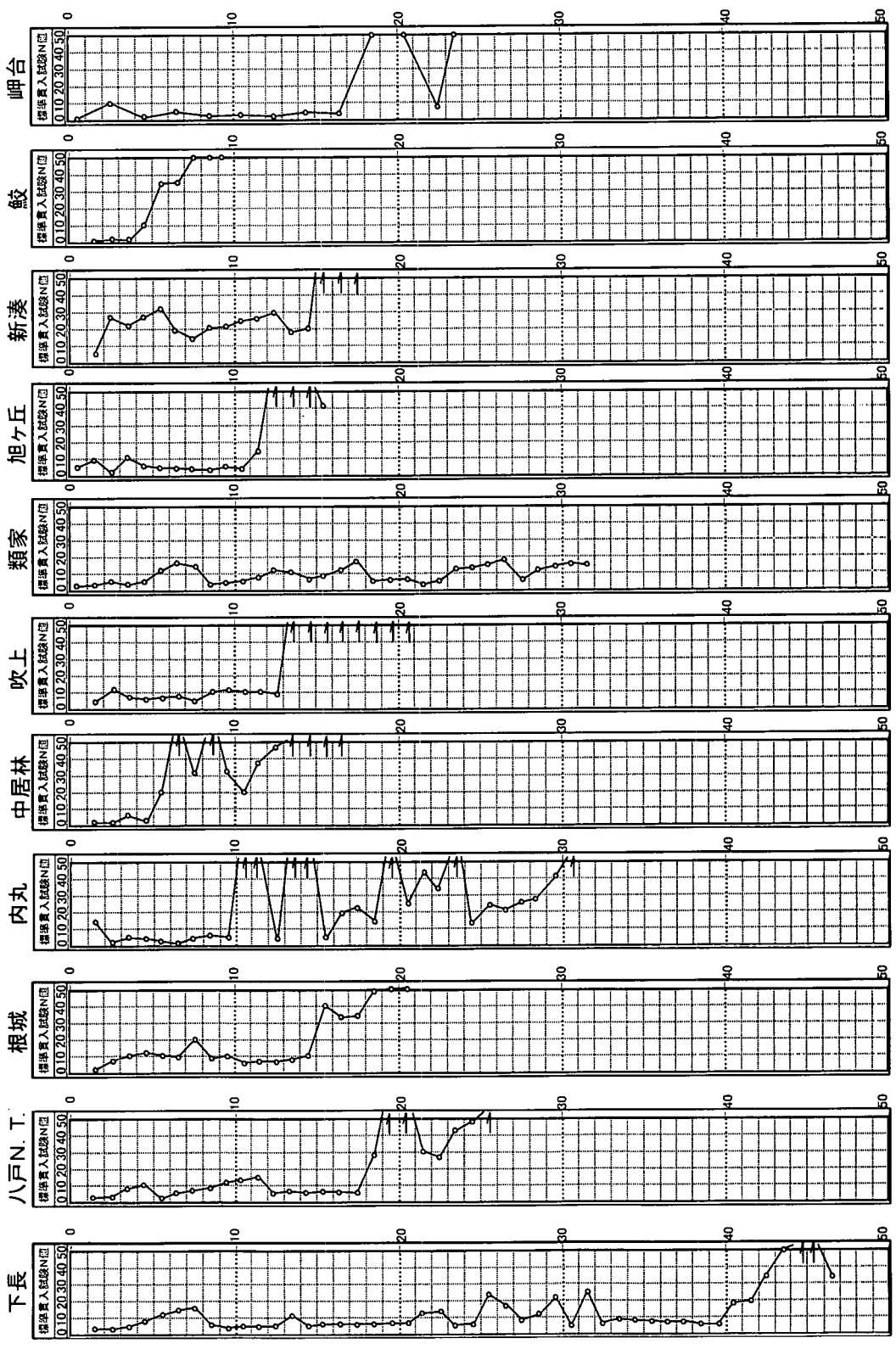


図-14 八戸市内の代表地点の地盤N値

表-6 土質によるせん断波速度計算式

	沖積世	洪積世
腐植土	$V_s=67.8N^{0.306}$	—
粘性土	$V_s=86.0N^{0.354}$	$V_s=126N^{0.225}$
砂質土	$V_s=73.2N^{0.341}$	$V_s=86.7N^{0.365}$
砂礫	$V_s=90.4N^{0.360}$	$V_s=148N^{0.219}$

表-7 被害地域の特徴

	水道被害	構造物の一部損壊被害(被害率%)	地形
下長地区	多	少・軽(1.2%)	台地の縁の沖積低地
吹上地区	多	多・重(38.7%)	二方を台地に囲まれた沖積低地
鮫地区	少	少・軽(2.1%)	台地(田面木段丘)一部、基岩露頭
三日町地区	少	多・重(35.9%)	台地(田面木段丘)

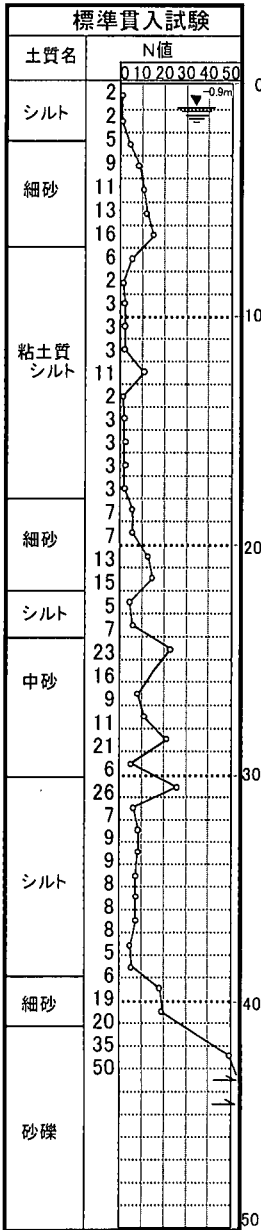


図-15 下長地区の地盤柱状図



図-16 吹上地区の地盤柱状図

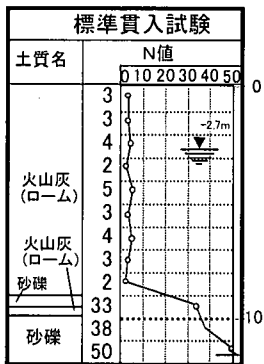


図-17 鮫地区の地盤柱状図

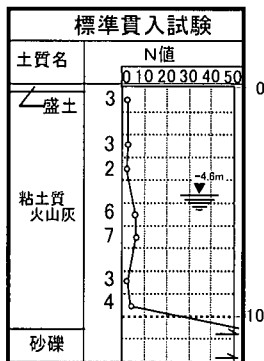


図-18 三日町地区の地盤柱状図

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-6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、地盤柱状図、常時微動測定結果等を考慮し、下長地区・吹上地区・三日町地区・鮫地区の4地点とした(図-10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-7)。解析の対象とした4地点の被害箇所に近い地盤柱状図を図-15~図-18に、解析の結果を図-19~図-22に示す。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めに、卓越周期は約1秒と長いものになった。鮫地区は基盤上のボーリング資料がないので、得られたデータ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。しかし、住宅地は基盤上の薄い表土の上に分布している。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、吹上地区の中心に位置し、複雑な地形や地盤を反映したスペクトル形状になっている。構造物被害の少なかった、下長と鮫地区のスペクトルはピークがはっきりとしている。

図-23に地盤卓越周期と建物被害率の関係を東地域、中央地域、西地域の低地部及び台地部に分けて示す。被害率の最大値は約85%で、その卓越周期は0.2~0.4秒に分布する。これより周期が長くなると次第に被害率が小さくなり、0.2秒より短周期では急激に小さくなっている。中央の台地では周期0.2~0.4秒の範囲で

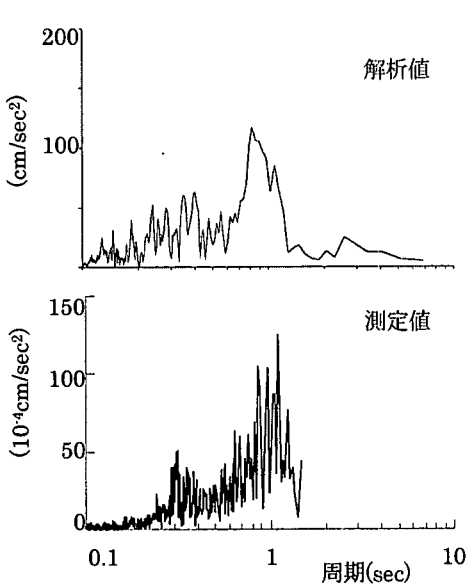


図-19 下長地区のスペクトル

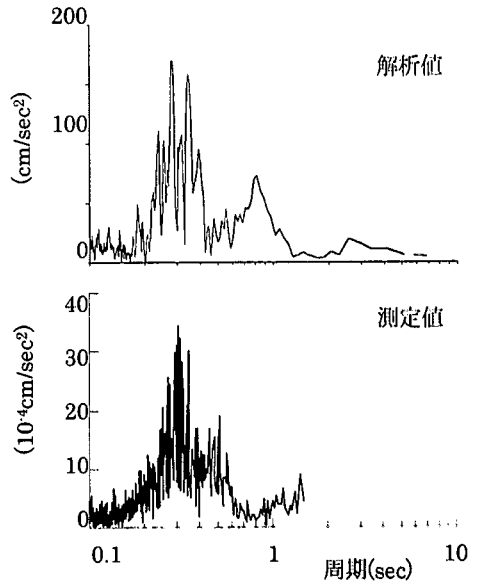


図-20 吹上地区のスペクトル

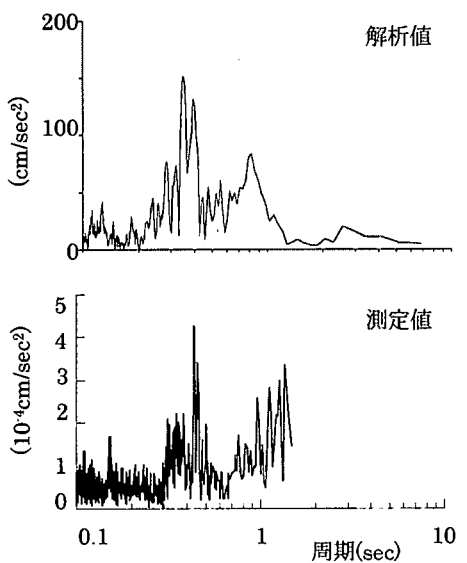


図-21 鮫地区のスペクトル

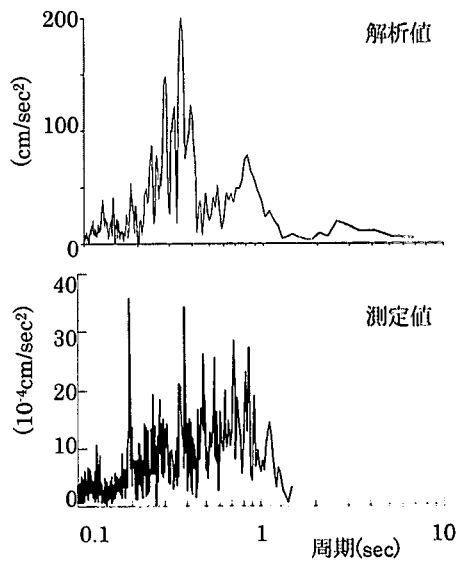


図-22 三日町のスペクトル

他と比べ被害率が高い値をとっている。東側の台地では約0.3秒でピークとなり、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は少ない。低地部全体の被害率は0.6秒付近をピークとする緩やかな曲線となっており、最大値も30%程度で低地部では被害が少なかったことを示している。

図-19～図-22の地盤の周期特性と図-23の構造物被害の関係から、八戸市の地盤構成が三陸はるか沖地震における構造物被害の現れ方に大きな影響を与えたこ

とがわかった。

特に表層厚が10m程度の二層系の洪積台地で、卓越周期0.3秒付近の三日町や吹上地区などで構造物被害が多く見られた。一方、下長地区の沖積地盤や鮫地区の岩盤上などでの被害は少ない。鮫地区では住宅のほとんどは基盤上に分布するが、埋立地(図-17)の上の倉庫、上屋でも被害は見られなかった。他の地区では卓越周期が0.2～0.4秒の地盤が構造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、北東か

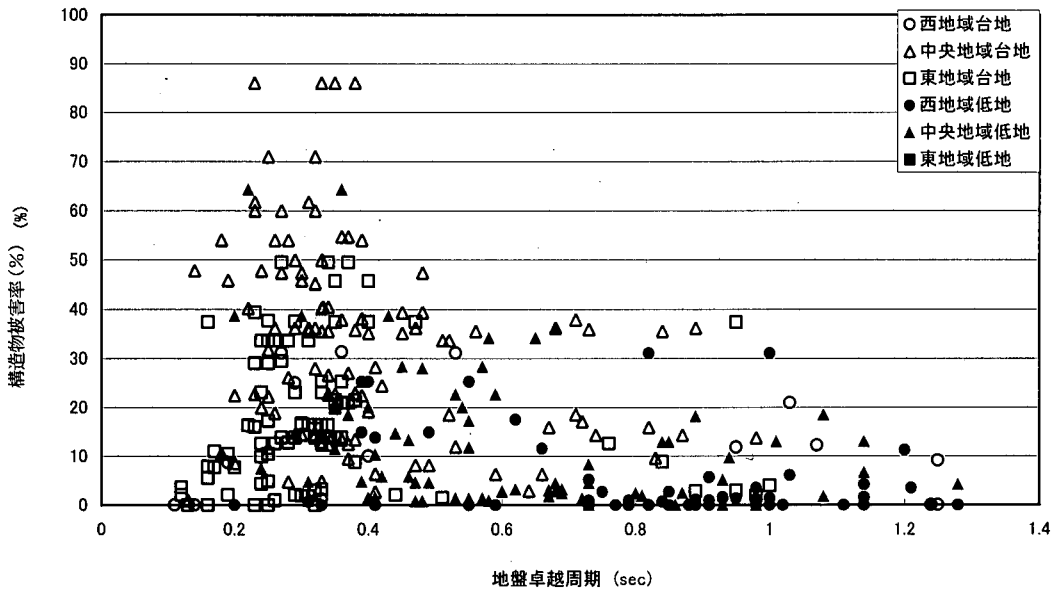


図-23 卓越周期と構造物被害率の関係

ら南西に伸びる三日町地区の台地周辺部にあたる、柏崎から大杉平、吹上地区である(図-12)。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。

構造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。この地区は起伏が多く表層の深さに変化があるために、短い区間で卓越周期に変化があり、各区間の振動性状の差(位相差を含む)により、管体に大きな歪みが生じるものと推定される。下長地区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。給水本管は埋立地で海岸に平行しており、配水管は基盤上の薄い表土層に埋設されていることが被災の少ない原因と考えられる。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、切盛土境、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難いことなどがわかる。

一方、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がある。

7. 結論

(1) 構造物の被害は地盤の卓越周期に影響されやす

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。また、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と考えられる。主に傾斜地や地盤境、切盛土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ご提供いただいた。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。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Kanai, K., Tanaka, T. and Osada, K.: On Microtremors. X, 地震研究所彙報 Vol. 44, 1996.
- 2) 毛呂真: 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, 八戸台地における構造物地震被害と地形及び地盤特性-文久改正八戸御城下略図より-, 八戸工業大学紀要第17巻, pp.139-148, 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.9-18, 1998年2月.
 - 5) 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, 第5章ライフラインの被害, 1996.4.
 - 6) 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.
 - 7) 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.
 - 8) 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.
 - 9) 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.
 - 10) 坂尻直己, 松島健, 志賀信彦, 後藤典俊, 梅村順:やや長周期微動と地下構造の関係-八戸市における移動観測-, 物理探査, Vol.43, No.2, pp.85-96, 1990.
 - 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.
 - 12) 堀田報誠:地形と地質, 平成6年(1994年)三陸はるか沖地震 災害調査報告書, pp.47-56, 1996.4.
 - 13) F・E・リチャート Jr, J・R・ホール Jr, R・D・ウツズ:土と基礎の振動 地盤振動の基本的知識, 鹿島出版会, 1975.9. 14) 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.
 - 15) 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.
 - 16) 宮城県:宮城県地震地盤図作成調査報告書, 1985.

(2000.9.26 受付)

THE RELATIONSHIP OF EARTHQUAKE DAMAGE DUE TO 1994 FAR-OFF SANRIKU EARTHQUAKE AND GROUND CHARACTERISTICS

Yutaka HASHIZUME, Yukitake SHIOI and Makoto MORO

This study examines the relationship between earthquake damage of Hachinohe city in Aomori prefecture due to the 1994 Far-Off Sanriku Earthquake and geological characteristics based on microtremor measurement and response analysis using multiple reflection theory.

It is concluded that 1) Water supply damage is more affected by boundary of the ground characteristics than predominant period and acceleration of seismic wave. 2) Ground motion spectrum depends on thickness and hardness of soil layers shallower than bearing stratum (N-value 50). 3) Damage on structures is influenced by predominant period and acceleration of seismic wave. So microtremor measurement is very effective for estimation of seismic damage.