

石川県の地盤動特性評価と金沢旧市街地 における液状化発生地域の予測

小堀 為雄・北浦 勝・宮島 昌克・池本 敏和

I ま え が き

地震による被害は地震予知と耐震対策によって最小限にとどめることができる。しかし、現在の我々にとっては地震予知はかなりの難題と言える。また北陸地方は昔から地震の被害が比較的少ないと言われている。災害史によれば福井地震(1948年)、大聖寺沖地震(1952年)、新潟地震(1964年)が石川県に大きな被害をもたらしているものの、震度VI(烈震)という強い地震が金沢を襲ったのは180年以上も前のことである(1799年の直下型地震)¹⁾。しかし過去の災害史には地震による被害が少なからず記されていることも事実である。これらのことを考え合わせると、金沢をはじめとする石川県内の市町村に被害を伴う地震の襲う可能性を軽視することはできない。一度地震が起こったならば、むしろこれまで地震の少なかったことが災いし、将来起こりうるとされている東海地震にそなえて十分な準備を施こしている都市に比べ、大きな被害になることが予想される。

ところで、耐震対策を立てる際にはどこの地盤が軟弱な地盤であり、地震時にはどれくらいの強さや周期で揺れ動くのかを知る必要がある。そのためには石川県内のすべての地点での将来の地震記録が必要であるが、それらをすべて手に入れることは現在の学問レベルでは不可能に近い。

ところで最近起こった日本海側での地震に日本海中部地震(1983年)がある。この地震においては日本海側にはめずらしい津波と、最近地震工学の分野でも話題となっている地盤の液状化が目された。特に日本海沿岸を襲った津波により多くの尊い人命が失われたことは記憶に新しいところである。また液状化に伴う地盤の破壊が構造物、鉄道、道路などの施設を壊滅的な破壊に至らしめる原因となることが再確認された²⁾。

このような観点から本研究では、金沢大学工学部建設工学科防災研究グループが石川県の地盤を対象に1980~1984年の5年間にわたり地盤の常時微動の測定を行い地盤動特性の推定に努めた結果を報告するとともに、特に人口の多い金沢市、小松市周辺の地盤についてはボーリング柱状図を基に4分の1波長法を用いて得られた地盤動特性について詳細な検討を行った結果も報告する。また液状化現象の著しい地域は過去において潟、河道であったところが多かったことを考慮し、古地図から液状化の発生する危険性の高い地域を予測している。このとき金沢市の旧市街地をケーススタディの対象としている。

II 常時微動より求めた石川県における地盤動特性

地盤は常時、微小な振動をつけている。そのヒズミ振幅は 10^{-6} 程度であり、周期は数十分の一秒から数秒にわたっている。従って振動計の種類の違いによって、いろいろな地盤の性質が引き出される。ここで述べる常時微動とは、工学的に考え地震時に地盤一構造物系が共振す

昭和59年12月25日受理

る可能性のある振動数領域の波のことを指すことにする。常時微動の工学的利用は以前から行われており³⁾、最近では周期の長い領域までも考慮した地盤動特性の研究が進められている⁴⁾。一方、道路橋設計示方書・同解説V・耐震設計編によれば、地盤の良否を判定する指標として固有周期が用いられている。常時微動の測定は波形そのものにノイズが含まれる可能性のあるものの、一般にボーリング調査に比べ、手軽に、かつ安い費用で行えることから、地盤の良否の判定に用いられることが多い。

著者らは、1980～1984年までの5年間にわたり石川県の地盤を対象に既に115点あまりの常時微動の観測を続けてきた⁵⁾。本研究では地盤の良否の判定に用いられている比較的短周期の地盤動特性に注目をおき、地盤の評価を行う。

1 測定および解析システムの概要

測定および解析システムの概要を図1(a)、(b)にそれぞれ示す。測定にはサーボ型加速度計(明石製V401-BS型)を用い、信号をアンプ(豊田製AA3004型)で500倍に増幅し、データレコーダ(TEAC R-81)に収録する。解析は同図(b)のごとく行う。すなわち、データレコーダの記録をアンプで100倍に増幅し、ローパスフィルタでノイズと考えられる高振動数成分(20Hz以上)を除去したのち、ミニコン(三菱MELOM70)に入力する。解析時間として0.005秒刻み×2,048個の約10秒間を対象としている。解析では常時微動の時刻歴とフーリエスペクトルをX-Yプロットに出力させると同時に、1～3番目までの卓越振動数を求める(例えば、図2、No.2 N-S方向成分)。

2 石川県の地盤動特性評価

測定地点を選ぶにあたっては次の2点に留意した。

(1) 測定地点が周辺地盤の代表的な点であること。すなわち、あらかじめボーリング柱状図など⁶⁾で大体の地下構造を調べておき、地盤の構造が急変するところでは測定を行わない。また複数のボーリングデータ中にバラツキが見られる場合は、最も平均的なボーリング柱状図のある地盤をその地域の代表点として選んだ。

(2) 測定地点は比較的都市化した地域に位置していること。現在人々が居住し、生活を営んでいる地域が今回の対象とされる地盤であることから、比較的都市化した地域の中から測定地点を選んだ。

図3は測定地点を石川県の地図にプロットしたものであり、図中の数字は測定地点の番号を表わしている。また表1は常時微動で求めた各測定地点での地盤の卓越振動数をN-S方向成分、E-W方向成分のそれぞれについて表わしている。

ところで道路橋設計示方書に定められている地盤種別と常時微動より求まる地盤の卓越振動数との関係を表わすと表2のようになる⁷⁾。1種地盤は比較的良い地盤を表わし、数字が増すと従い悪い地盤を表わしている。ここでは得られた結果である図3、表1と道路橋設計示方書に規定されている地盤種別とを参考に石川県における地盤動特性を評価する。

図・表から(注目すべき地域を図3に \square で示す)、金沢市北部の河北潟干拓地において4種地盤が多いことがわかる。他には能登の輪島でも4種地盤が少なからず存在している。また3種地盤はやはり河北潟干拓地に多く、他に邑知地溝帯と呼ばれている七尾から羽咋のラインに点在している。能登の輪島市、珠洲市の一部の地盤や小松市周辺の比較的新しく宅造地化された旧市街地の周辺地盤でも3種地盤が多く見うけられる。それ以外の地点は1種、2種地盤に

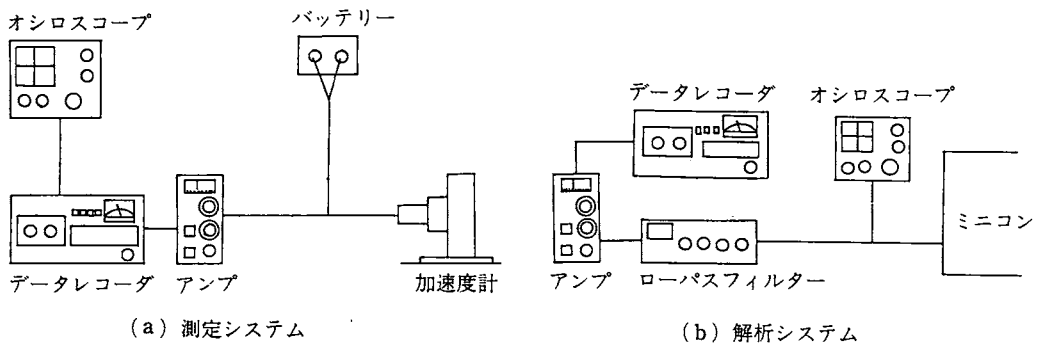


図1 測定・解析システム

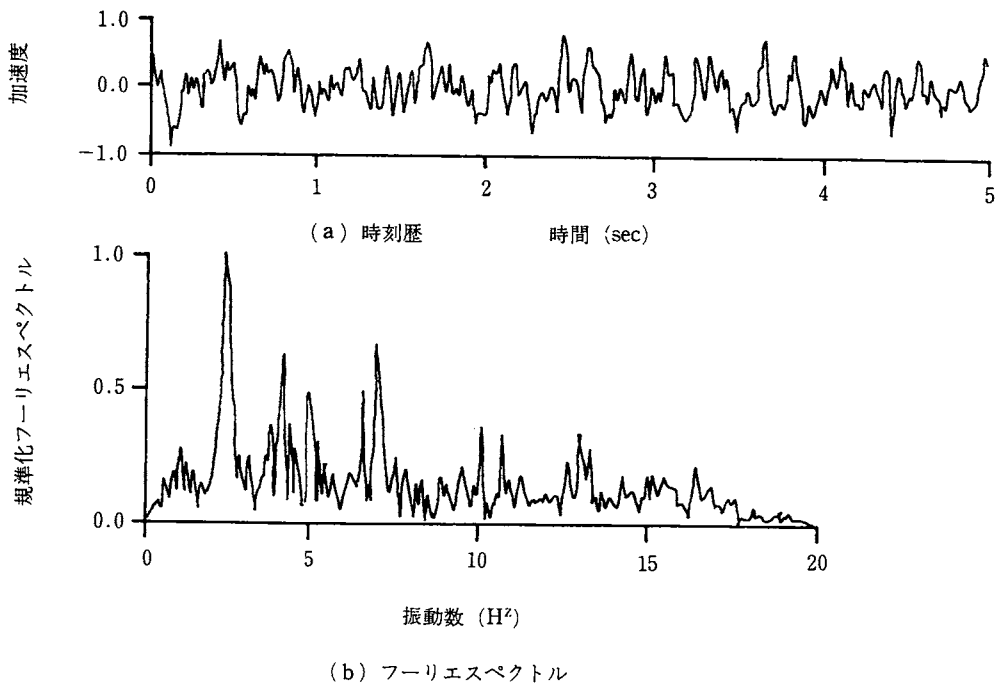


図2 常時微動の解析結果例 (No.2 N-S方向)

属しており、比較的堅固な地盤といえよう。

金沢市周辺の地盤と小松市周辺のそれに関しては次章でさらに深く検討するため、ここでは特に能登地方に注目する。ボーリングデータ⁶⁾、および地質図から⁹⁾能登の基礎をなしている地層は安山岩であり、堅固な地盤であるにもかかわらず、輪島市をはじめとする一部の地盤に4種地盤が見られた。この理由として能登地方の地形が考えられる。すなわち能登地方の町のほとんどが川によって運ばれた土砂が堆積した沖積層上に形成されている。このような谷のところに土砂が堆積する場合、平野部に比べて狭い地域にしか堆積しないもの厚く堆積することが考えられる。従って比較的短期間に堆積土が厚く地盤を覆ったためと考えられる。

ところで能登地方では広域的な軟弱地盤に邑知地溝帯が挙げられる。邑知地溝帯は今から2万年前までは海底であったという説もある⁹⁾。従って沖積層が深くまで堆積していると考えら

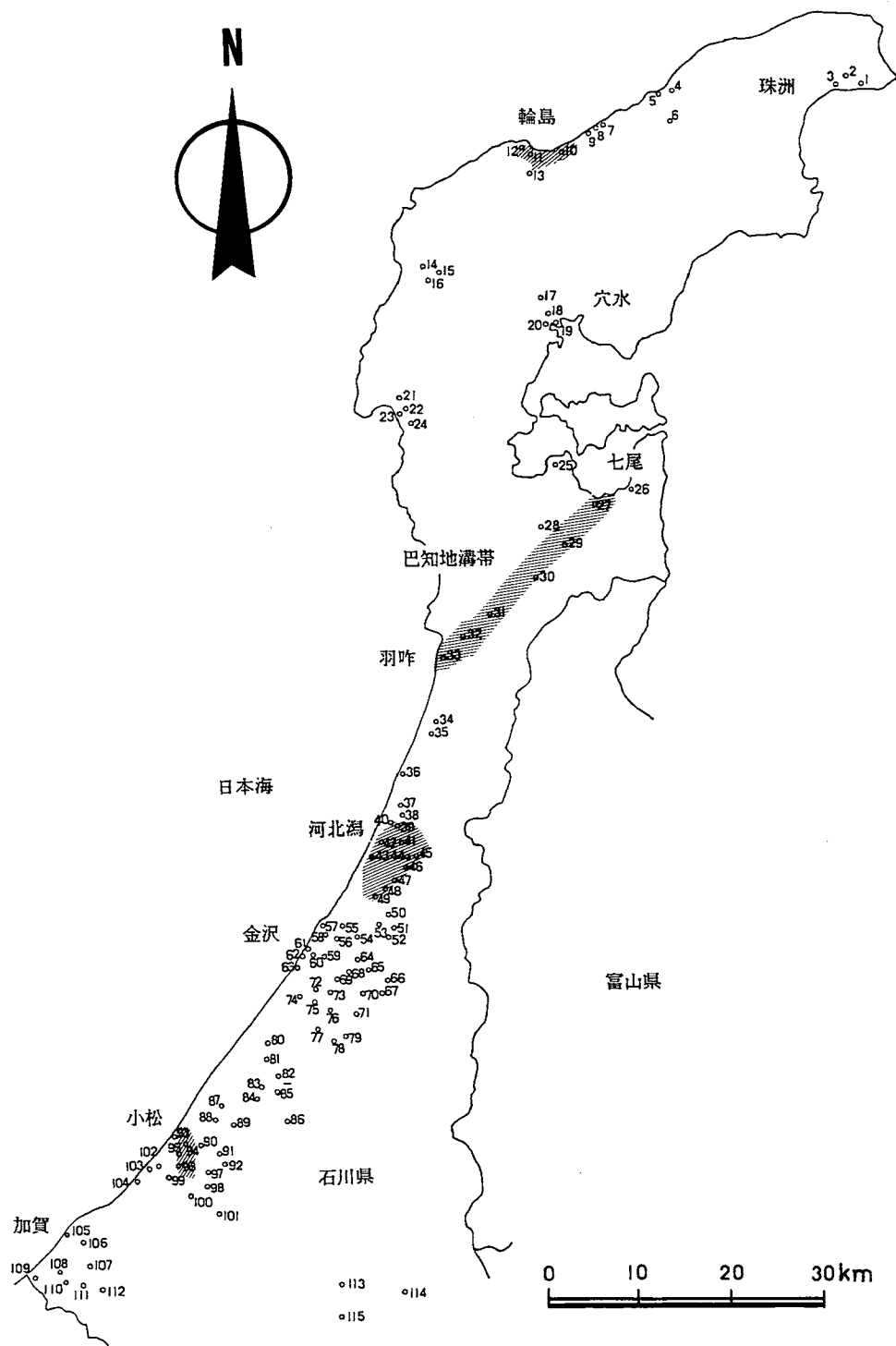


図3 常時微動測定地点

表1 石川県における常時微動の測定結果

No.	地 名	卓越振動数 (Hz)		測 定 年 度
		N-S	E-W	
1	珠洲市 蛸島町貝蔵	5.0	5.0	56
2	珠洲市 正倉町飯塚 飯塚小学校	2.3	2.4	56
3	珠洲市 上戸町寺社 上戸小学校	10.8	7.2	56
4	輪島市 町野町上時国	4.6	4.8	56
5	輪島市 町野町大川 大倉小学校	5.0	5.1	56
6	輪島市 町野町粟蔵河原田 町野小学校	4.2	4.2	56
7	輪島市 深見町大谷内	5.0	4.2	56
8	輪島市 深見町大谷内	5.0	5.0	56
9	輪島市 深見町 深見小学校	4.1	4.0	56
10	輪島市 大野町	2.8	3.0	56
11	輪島市 河井町 河井小学校	2.7	2.6	56
12	輪島市 鳳至堂町金田 鳳至小学校	1.5	1.9	56
13	輪島市 杉平町	5.0	5.0	56
14	鳳至郡 門前町清水	1.8	2.0	56
15	鳳至郡 門前町高根尾	7.7	7.8	56
16	鳳至郡 門前町広岡	2.5	3.0	56
17	鳳至郡 穴水町比木	3.9	3.5	56
18	鳳至郡 穴水町川島	5.8	5.4	56
19	鳳至郡 穴水町由比ヶ丘	6.8	7.4	56
20	鳳至郡 穴水町大町	5.1	5.0	56
21	羽咋郡 到来町小袋	4.4	5.1	56
22	羽咋郡 富来町八幡	5.0	5.0	56
23	羽咋郡 富来町小釜	7.6	7.5	56
24	羽咋郡 富来町高田	5.1	5.1	56
25	七尾市 石崎西町 香島中学校	2.6	2.5	56
26	七尾市 大田町赤崎	5.0	5.1	56
27	七尾市 本府中町 東部中学校	2.4	2.5	56
28	七尾市 町屋町	2.7	2.6	56
29	七尾市 徳田町	2.5	2.5	56
30	鹿島郡 鹿島町最勝講	2.6	2.4	56
31	羽咋市 金丸出町 神明神社	2.4	2.3	56
32	羽咋市 吉崎町 端津姫神社	2.5	2.5	56
33	羽咋市 中央町 羽咋中学校	3.0	3.0	56
34	羽咋郡 押水町小川	2.0	6.1	58
35	羽咋郡 押水町兔田	2.5	2.5	58
36	河北郡 高松町中町	10.6	10.6	56
37	河北郡 宇ノ気町 宇ノ気小学校	2.8	2.8	56

No.	地 名	卓越振動数 (Hz)		測 年 度
		N-S	E-W	
38	河北郡 宇ノ気町 内日角	3.4	2.7	58
39	河北郡 宇ノ気町 大崎	1.7	1.3	58
40	河北郡 河北潟干拓地	2.8	2.8	56
41	河北郡 津幡町能瀬	1.4	0.8	58
42	河北郡 河北潟干拓地	1.2	4.2	56
43	河北郡 河北潟干拓地	3.0	3.7	56
44	河北郡 津幡町太田庄	2.6	6.5	58
45	河北郡 津幡町加賀爪 津幡中学校	3.2	3.1	56
46	河北郡 津幡町南中条	3.0	2.7	58
47	河北郡 津幡町太田	3.2	3.1	58
48	金沢市 才田町	0.9	0.9	58
49	金沢市 八田町	0.6	0.6	58
50	金沢市 南森本町	2.4	2.7	59
51	金沢市 吉原町 吉原町児童公園	3.2	3.1	56
52	金沢市 吉原町 松陵工業高校	4.2	6.3	56
53	金沢市 荒屋町	2.5	2.3	56
54	金沢市 南新保町	3.0	3.2	59
55	金沢市 北間町	2.1	4.9	58
56	金沢市 向粟崎町	7.4	2.0	58
57	金沢市 大野町	3.3	4.0	58
58	金沢市 無量寺町	6.6	2.3	58
59	金沢市 藤江町	2.7	2.8	58
60	金沢市 寺中町	1.3	3.0	58
61	金沢市 金石東	1.1	1.6	58
62	金沢市 桂町	1.5	3.1	58
63	金沢市 寺中町 大野湊神社	2.9	2.9	56
64	金沢市 堀川町	1.5	1.3	59
65	金沢市 東山町	3.1	3.0	59
66	金沢市 鈴見台	6.6	7.1	56
67	金沢市 田井町 兼六中学校	2.4	4.6	56
68	金沢市 玉川町 玉川公園	7.2	9.8	59
69	金沢市 元菊町 大和紡績	5.1	5.0	59
70	金沢市 小將町	5.1	6.7	59
71	金沢市 菊川町	10.1	8.7	59
72	金沢市 あすなろの森	2.7	2.9	59
73	金沢市 新神田	5.7	5.1	59
74	金沢市 西インター	3.1	3.1	59

No.	地 名	卓越振動数 (Hz)		測 定 年 度
		N-S	E-W	
75	金沢市 新保本町	3.4	3.0	56
76	金沢市 西泉町	3.5	5.1	59
77	金沢市 白山町	8.5	5.0	59
78	金沢市 しじま公園	1.5	4.9	59
79	金沢市 高尾台 高尾台中学校	3.7	4.9	59
80	松任市	5.1	5.0	59
81	松任市 村井町	12.4	11.4	56
82	松任市 乙丸町	12.7	12.7	56
83	能美郡 川北町草深	3.7	3.7	56
84	能美郡 辰野口町三ツ屋	7.1	7.3	56
85	石川郡 鶴来町日向町	6.2	3.3	56
86	石川郡 鶴来町白山町	10.0	10.0	56
87	能美郡 寺井町西任田	2.9	3.0	58
88	能美郡 寺井町高堂	6.2	5.1	58
89	小松市 古府町	2.1	2.1	58
90	小松市 下小松町	3.2	4.9	59
91	小松市 打越町 小松第一小学校	2.4	2.4	56
92	小松市 千木野町	3.4	4.1	56
93	小松市 安宅の関	3.8	2.7	56
94	小松市 浜田町 市立小松女子校	2.4	4.8	59
95	小松市 末広町	1.8	2.4	59
96	小松市 須天町	5.3	5.4	59
97	小松市 北浅井町	1.5	2.9	59
98	小松市 木場町	4.7	4.8	56
99	小松市 四丁町	7.2	7.2	59
100	小松市 下粟津町	4.9	3.6	59
101	小松市 波佐谷町 波佐谷小学校	6.2	5.1	56
102	小松市 日末町 日末小学校	2.3	1.5	56
103	小松市 浜佐美町	4.6	5.5	56
104	加賀市 伊切町	3.1	3.3	56
105	加賀市 黒崎町 黒崎小学校	2.9	2.7	56
106	加賀市 八日間道町	4.0	4.2	56
107	加賀市 上河崎町 南郷小学校	4.2	4.2	56
108	加賀市 吉岡町	3.8	4.2	56
109	加賀市 瀬越町 緑丘小学校	3.9	3.9	56
110	加賀市 細坪町	5.0	5.1	56
111	加賀市 直下町 三谷小学校	5.5	5.0	56

No.	地 名	卓越振動数 (Hz)		測 定 年 度
		N-S	E-W	
112	加賀市 山代町 山代小学校	4.2	5.0	56
113	石川郡 尾口村女原	5.0	5.1	56
114	石川郡 尾口村一里野	4.2	4.2	56
115	石川郡 尾口村釜谷	5.1	5.1	56

表2 地盤種別と卓越振動数との関係

種別	常時微動から求めた地盤の卓越振動数 f
1	$f \geq 6.0 \sim 6.5$
2	$6.0 \sim 6.5 \geq f \geq 2.3 \sim 2.8$
3	$2.3 \sim 2.8 \geq f \geq 1.4 \sim 1.8$
4	$1.4 \sim 1.8 \geq f$

れるため、常時微動の結果も羽咋から七尾にかけては低い振動数が帯状に分布していた。

これらの結果から石川県全体の地盤について見てみると、広域的な軟弱地盤としては河北潟干拓地、小松市周辺などが第1に挙げられよう。他に能登の輪島の一部や邑知地溝帯でも3種、4種地盤が多いため、これらの地盤では建物建設の際に十分な耐震対策を施す必要がある。

以上石川県の地盤を対象に常時微動の測定を行い地盤の動特性を調査し、十分な耐震対策を施さねばならない地域をいくつか指摘した。しかしながら、本調査ではあまりにも広域的な地盤の評価しかしていないため、どこの地盤で重点的に耐震対策をすべきなのかというあらたな問題も生じてくる。次章では、金沢市周辺、小松市周辺の地盤を取り上げ、ボーリングデータを基に4分の1波長法を用い地盤の卓越振動数を求め、さらに詳細に検討する。

Ⅲ 4分の1波長法を用いて求めた金沢市周辺、小松市周辺の地盤動特性

過去の地震災史によれば¹⁰⁾、ほぼ同一地域に建っているにもかかわらず構造物の被害が異なっている場合のあることが記録されている。一方、構造物の被害は地表層近傍の影響を強く受けると言われている。地表層近傍の動特性を推定する有効な方法には前章で述べた常時微動のような実測データに基づく方法が、経済的かつ精度も良いため耐震工学・土質工学などの広い分野で用いられている。他方解析的な研究も最近では発達し、有益な成果を得ている¹¹⁾。これらの研究の多くはせん断振動の仮定が地震時の地盤の現象を良く説明していること、従来の被害の多くはせん断波(S波)を考へることによって説明されることなどから、地震波としてS波を用いている。特に水平な成層地盤をもつと考えられる地表層近傍の場合には、重複反射理論を用いて地盤の震動特性を明らかにする方法が金井らによって開発されている¹²⁾。ところでさらに簡単な卓越振動数の推定方法に4分の1波長法がある。この方法によると計算機にたよらずとも、表層地盤の深さとせん断波速度がわかりさえすれば、直ちに地盤の卓越振動数を求めることが可能である。4分の1波長法の具体的な方法は文献¹³⁾に譲る。本研究では、この4分の1波長法を用いることにより、金沢市周辺、小松市周辺の地盤動特性の評価を行う。

まず、金沢市周辺の地盤を対象に検討を加える。金沢市周辺のボーリング柱状図(No.44)⁶⁾に基づき図4に示されるような地盤のモデル化を行った。縦方向は堆積深さを示す。図中の各パ

ラメタはそれぞれ土の種別、平均せん断波速度を表わしている。地盤のせん断波速度 V_s (m/sec) は砂質土、粘性土ごとにそれぞれ次式を用いて N 値より推定している¹⁴⁾。

$$\begin{aligned} \text{砂質土} & \quad V_s = 80 N^{0.33} \\ \text{粘性土} & \quad V_s = 100 N^{0.33} \end{aligned}$$

次に表層地盤を 1 層であると考えた場合の平均せん断波速度 \bar{V}_s は、深さを重みに以下の式を用いて算出した。

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n V_{si} H_i}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

V_{si} , H_i はそれぞれ第 i 層の地盤のせん断波速度、深さを表わし、 n は層数を表わす。

結果として得られる卓越振動数に注目して整理を行えば、図 5 の(a)のようなコンターを引くことができる。同図から、金沢平野の地盤動特性の推定を行うと山手側から海岸側に向けて地盤の卓越振動数が低くなっていることがわかる。これは海岸側の地盤が山手側の地盤と比較してあまり良くないことを示している。また常時微動から求まる結果と同様、河北潟干拓地においては卓越振動数が 1 Hz 以下になり、本解析の中でもっとも耐震対策の必要な地域であると言える。興味深いことは金沢平野の沖積層厚さと卓越振動数との間に相関性が見られることで

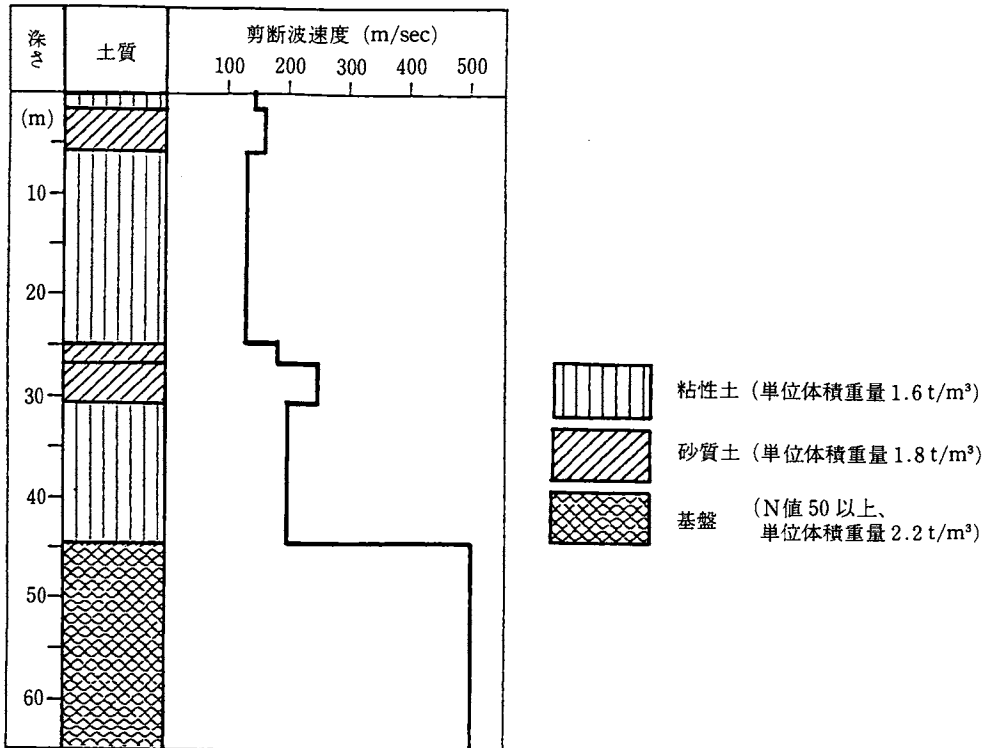


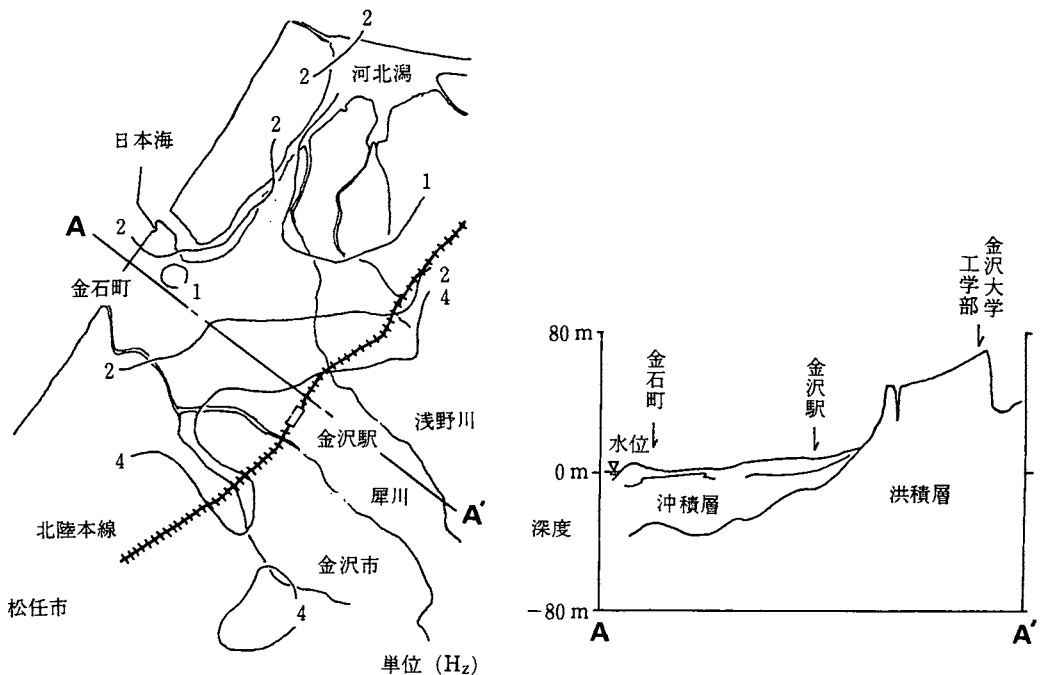
図 4 地盤柱状図の例 (No. 44)

ある。図5(a)中A—A'lineの断面図を同図(b)に示す。図(b)より沖積層が厚い、すなわち海側に向うほど卓越振動数が低くなる傾向にある。

沖積層厚さと木造家屋の被害との関係を関東地震(1923年)について調べた表らの研究¹⁵⁾によると、両地震ともに沖積層の厚さが増すにしたがい家屋の被害率も増加することが報告されている。一般に、地表層厚さは地表面の振幅の増大の度合(振幅比)に関係しており、地盤に大きな変位が生ずることにより地盤が破壊し、そのために木造家屋が破壊に至ると言われている。従って、卓越振動数—沖積層厚さ—木造家屋の被害率の関係から、山手側より海岸側の方が木造家屋にとっては地震時に不利となることがわかる。また、河北潟干拓地周辺に宅造されている地域においても、なんらかの耐震対策を施す必要があるであろう。これらの地盤では鉄筋コンクリート造などの重量構造物には、地盤の変状に伴う破壊をも考えて、堅固な地層にまで杭を打つなどの対策が必要であろうし、地震時に地盤の固有振動数と建物のそれとが一致するような設計を避けるべきであろう。比較的剛な建物が地震時に共振すると考えられる地盤は山手側であり、これらは地形的にほぼ小立野台地、寺町台地に位置する。

松任地区においては沖積層が厚く堆積しているにもかかわらず、比較的良い地盤であると評価されているが、これは地表層の浅いところに砂礫層が数十mと厚く堆積していることが、常時微動や4分の1波長法の結果に影響を及ぼしたためと思われる。従って現段階では、この地域は河北潟周辺地盤よりはるかに良い地盤であるものの、台地ほど良くないと評価されよう。

以上見てきたように、金沢市周辺の地盤動特性は大体金沢の地形に関係していることがわかる。すなわち、台地等は比較的堅固な地盤であり、反面平野部にはあまり良くない地盤が多い



(a) 4分の1波長から求めた地盤の卓越振動数のコンターライン

(b) A—A'断面

図5 金沢平野

傾向にあることが、当然のことながら言える。

次にボーリングデータを用いて小松市周辺の地盤を対象に金沢市と同様な検討を行う。結果を図6に示す。この結果によると、小松市旧市街地が卓越振動数が高く良い地盤であると言える。反面、旧市街地から離れた地域（新興地）は比較的悪い地盤であることがわかる。これらのことは既に河北潟周辺の地盤で見えてきたように、近年小松市周辺の都市化が進むにつれスプロール現象が発生しているため、新興住宅地が旧市街地の周辺に発達していること、またそれらの地盤は造成されてまもないため十分地盤が締め固まっていないことによるものと考えられる。従ってこれらの地域（例えば、末広町南部付近）では十分な注意を払い建物を建てる必要がある。また旧市街地にも3種地盤の箇所が多く存在するため、この種の地域ではある程度の耐震上の注意が必要であろう。

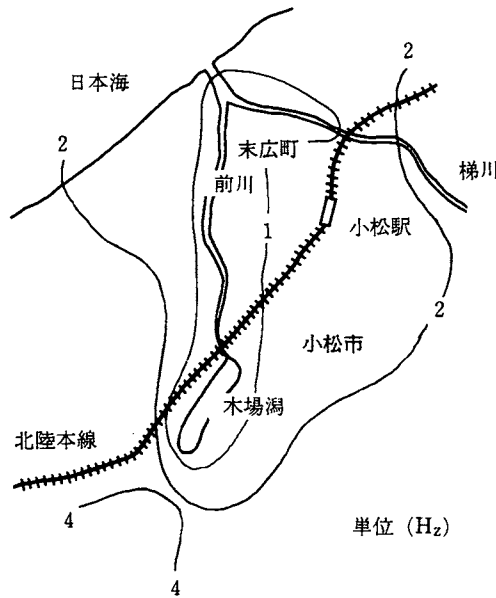


図6 小松市周辺における地盤の卓越振動数のコンターライン

IV 昔の金沢市市街地図を基に推測した液状化発生地域

1964年新潟地震以来、地盤の液状化に伴う構造物の被害が目され、この方面に関する精力的な努力が払われてきた。液状化に伴う構造物の被害の特徴には、地盤が沈下破壊することによって構造物の基礎が壊れ、上部工が壊れるといったケースが多い。液状化の発生しやすい地盤の条件には、1)砂質土、2)地下水位が高い、3)粒径が均質、4)N値が低いなどが挙げられる。これらのすべての条件がそろえば地震時に地盤が液状化する可能性が高いと言われている¹⁶⁾。

地盤の液状化を予測する方法に地盤液状化指数 P_L を用いる方法があり¹⁷⁾、この予測方法が実際の現象と良く合致することが既に確かめられている。この方法は動力学的な見地から液状化発生率を把握しようと考えだされた経験式である。著者らはこの方法を金沢市の地盤に適用した結果を既に報告している¹⁸⁾。ところで旧河道は現在も地下水位が高いところが多く、前述した液状化の発生する要素をすべて備えているため、地震時にはかなり高い確率で液状化するこ

とが予想される。事実、1983年日本海中部地震の際、地盤の液状化によって被害を受けた家屋が集中していた地域は雄物川の旧河道とよい対応を示していた²⁾。従って旧河道と現在の河道とを睨み合わせることから、おおざっぱではあるが液状化の起こりそうな地域が予測できるのではないと思われる。この方法によれば液状化指数 P_L を求めるのに必要であったボーリングデータの整理や計算が必要でない。

本研究では、江戸時代に加賀藩が調べた地図と現在国土地理院が発刊している2万5千分の1の地図を照らし合わせることで、地震時に地盤が液状化するのではないと思われる地域を推定する。

図7に江戸時代の金沢市街地図を¹⁹⁾、図8に現在のそれを載せる²⁰⁾。この図の他に昭和35年の市街地図もあるが、その図の河道は現在のそれとほとんど変化がなかったため、ここには掲載していない。現在の市街地と江戸時代のそれを比べてみると河道に大きな変化は見られないものの、江戸時代の方が現在より治水されていないことが想像される(図8の \square 地域)。

まず犀川沿いを見てみると、現在の下菊橋より南西部は江戸時代に治水されておらず、近年治水工事が進むとともに宅造地化されたと考えられる。また、現在の犀川大橋より下流の左岸にあたる地域も江戸時代に旧河道だった可能性が強い。例えば下菊橋近辺の地盤液状化指数 P_L は、地表最大加速度を300~350 gal と仮定すると16.03と算出される。この値は地盤に液状化が発生する確率が1に対応する値なので、この地域において液状化の生ずる恐れが懸念される。

次に浅野川沿いに注目する。橋場町南西部の兩岸の河道は比較的近年に整備されたのではないと思われる。また河北潟は江戸時代に干拓され、現在住宅が立ち並んでいる地域もかつては河北潟の南部および西部に位置していた。

以上述べてきたように、数百年前の市街地と現在のそれとを見比べるだけで、川沿いの地盤で液状化する恐れのある地域を、ごく限られた地域ではあるが予想できたことは興味深いことである。このように実験的データの集積や何らかの力学物理現象に基づいた方法を用いずとも、まったく主観的な方法でも液状化する危険性の高い地域を予測できると思われる。しかしながら本方法には数多くの問題点も挙げられる。例えば、1799年の地震に関する古文書の記述によれば²¹⁾、「田井筋鶴間谷(現在の田井町)など別して3尺余も地割れ、其中より水吹出し候所も見受け、吹水1丈余も空へ上り候所も有之候由」とされている。従って江戸時代の市街地と現在のそれとを見比べるだけでは、田井町が旧河道であるがどうかを明らかにすることはできないが、そうであった可能性は強い。このような場合に地図の信頼度が重要になってくる。従って当時の測量技術と現在のそれをあらかじめ認識しておくことが必要であろう。この方法は金沢旧市街地よりも、手取川のような河川が著しく変化した地域にはさらに有効な方法となろう。このように旧河道が何らかの方法によって見つかりさえすれば、その地域に耐震対策を重点的に施すことも考えられる。従って現段階においては主観的な方法と地盤液状化指数 P_L に基づくメッシュ分析の結果を多くの地盤で比較することが望まれる。

V ま と め

本研究では金沢市周辺、小松市周辺を中心とした石川県における地盤動特性の評価を、著者らが数ヶ年にわたり調査した結果を基に報告するとともに、最近話題となっている地盤の液状化の予側を、過去の地図と現在の地図とを照らし合わせるとい主観的な方法を用いて、金沢市旧市街地に対して実施した。

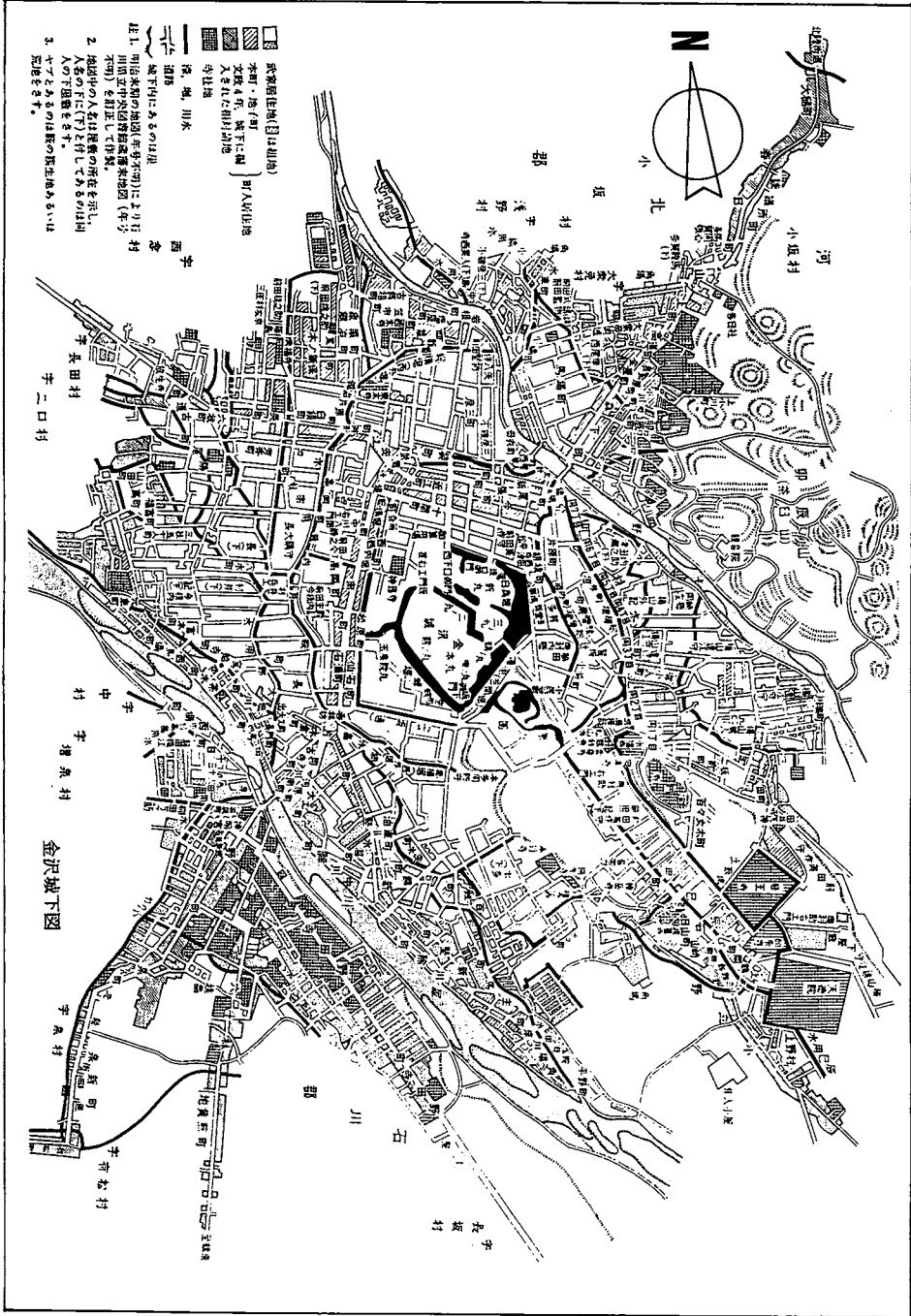


図7 江戸時代の金沢城下図¹⁹⁾

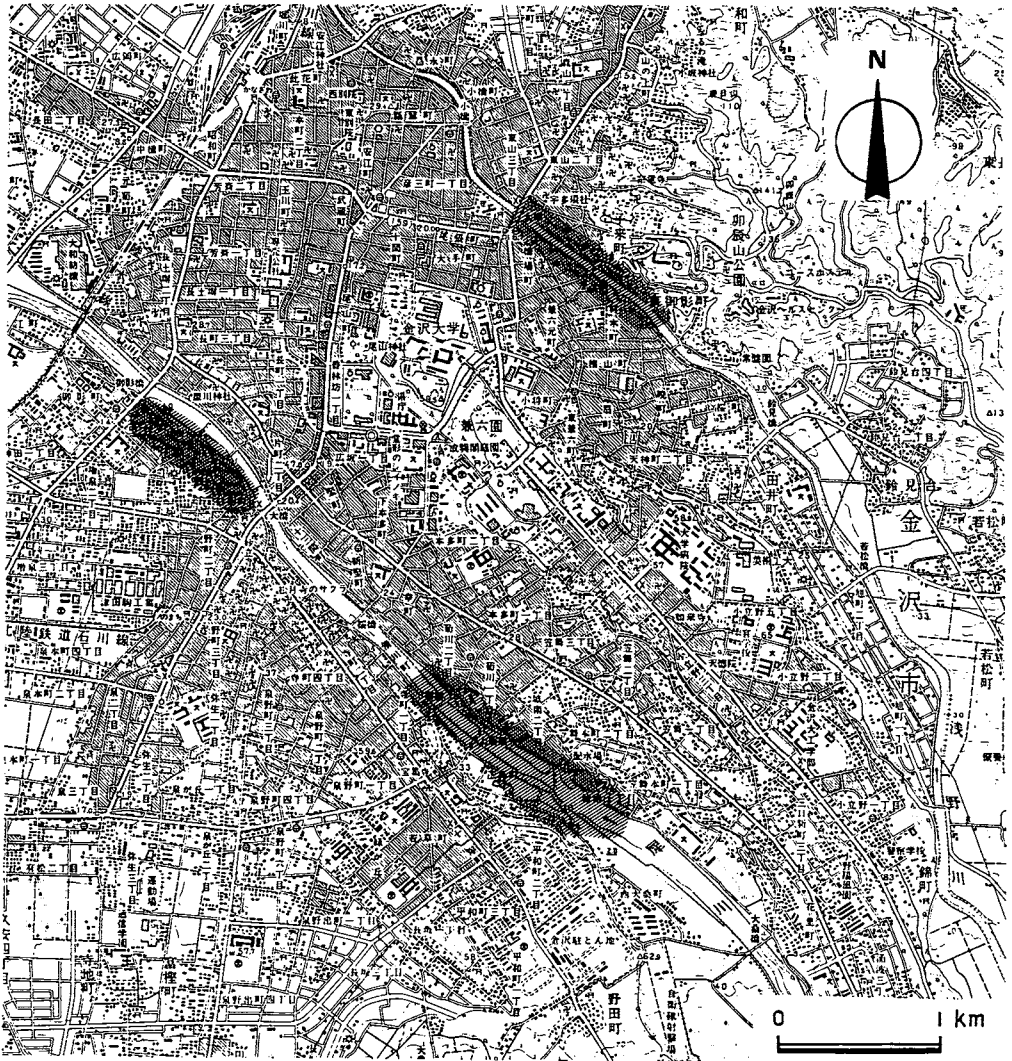


図8 現在の金沢市街地地図（国土地理院2万5千分の1）

得られた成果を以下にまとめる。

(1) 著者らは1980～1984年の5年間にわたり石川県の地盤を対象に常時微動の測定を行ってきた。その結果、非常に広範囲な地域の地盤動特性を大筋で押えることができた。すなわち、河北潟干拓地、邑知地溝帯および能登の輪島市の一部の地盤が比較的軟弱な地盤であり、地震時に大きな被害の予測されることがわかった。

(2) (1)で得られた成果にさらに検討を加えるため、金沢市周辺、小松市周辺の地盤を対象に4分の1波長法を用いた地盤動特性の評価を試みた。その結果、金沢では山手側から海岸側にいくにしたがい相対的に軟弱な地盤であることが明らかとなった。また常時微動から求めた結果と同様、河北潟周辺の地盤がもっとも広域的な危険地域であることがわかった。小松では特に旧市街地を取り巻く比較的新しく宅地化された地盤が旧市街地と比べてあまり良くない地盤であることがわかった。従って両地域のこれらの地盤では、建物を建設する際に十分な耐震対策、例えば地盤をさらに締め固めるなどの地盤改良を施さねばならない。

(3) 地盤の液状化現象が旧河道に発生する確率が高いとし、江戸時代の金沢城下図と現在の地図(国土地理院発行)とを眺み合わせることで、液状化発生地域を予想した。これは主観に基づいた方法であるものの、液状化指数 P_L とも対応している地域のあることがわかってるので、液状化予想の予備的な資料として十分役に立つ可能性のあることを明らかにした。

今後はデータの数をふやすとともに、前年度の研究成果¹⁹⁾も踏まえ、液状化の危険性を考慮した地盤の地震時危険度マップを作成したいと考えている。

最後に本研究を進めるにあたり、日夜実験・解析に助力をして頂いた本学部建設工学科防災研究室の大学院生・日比野友亮君、学部学生・吉村誠吾君をはじめとする方々に感謝の意を表するとともに、本研究の一部に北陸経済調査会の後援を受けたことを付記する。また資料提供などに御尽力を賜った建設省金沢工事事務所、石川県、金沢市および(株)応用地質調査事務所の関係各位にも謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 宇佐美龍夫：資料日本被害地震総覧、東京大学出版会、p.69、1975。
- 2) 北浦勝・宮島昌克・池本敏和・稲木英憲・鈴木広士：日本海中部地震による被害調査および地盤と震害の関係、金沢大学工学部紀要、第17巻、第1号、pp.51~61、1984。
- 3) 森芳信：地盤の常時微動特性と工学的利用、土木学会論文報告集、第313号、pp.55~64、1981。
- 4) 多賀直恒・富樫豊・宮崎正：濃尾平野の長・短周期微動特性(5)、日本建築学会論文報告集、第320号、pp.91~101、1982。
- 5) 例えば、M. Kitaura and T. Ikemoto: Evaluation of Dynamic Properties of Surface Layers Using Microtremor, Memoirs of the Faculty of Technology, Kanazawa University, Vol. 15, No. 2, pp. 13~20, 1982。
- 6) 北陸地方建設局：ボーリング柱状図、1981。
- 7) 日本道路協会：道路橋設計示方書・同解説V、耐震設計編、p.88、1980。
- 8) 石川県地盤図編集委員会：石川県地盤図、1982。
- 9) 鮎野義夫：日曜の地学6—北陸の地質をめぐって、築地書館、1979。
- 10) 例えば、田治米辰雄、望月利男、松田馨余：地盤と震害、p.110、棋書店、1978。
- 11) 例えば、I. Herrera and E. Rosenblueth: Response Spectra on Stratified Soil, 3rd WCEE, Vol. 1, pp. 44~61, 1965。
- 12) K. Kanai, et al.: On Microtremors X, Bulletin of the Earthquake Research Institute, Vol. 44, pp. 645~696, 1966。
- 13) 土岐憲三：構造物の耐震解析、新大系土木工学11、p.103、技報堂出版、1981。
- 14) 7)と同じ、p.89。
- 15) 10)と同じ、p.204。
- 16) 吉見吉昭：砂地盤の液状化、技報堂、出版1980。
- 17) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：地震時地盤液状化の程度の予側について、土と基礎、Vol. 28, No. 4, pp. 23~29, 1980。
- 18) 北浦勝・宮島昌克・鈴木広士：液状化を考慮した金沢の地盤動特性評価、金沢大学大学教育開放センター紀要、第4号、pp.61~75、1983。
- 19) 田中喜男：城下町金沢、付表II、p.296、1969。
- 20) 建設省国土地理院：2万5千分の1の地図、金沢、1976。
- 21) 石川県金沢地方気象台：石川県災異誌、p.128、1971。

Evaluation of Dynamic Properties of Surface Ground in Ishikawa Prefecture and Prediction of Soil Liquefaction Potential in Old Kanazawa City

Tameo KOBORI, Masaru KITAURA
Masakatsu MIYAJIMA, Toshikazu IKEMOTO

One of the important subjects in aseismatic engineering design is the estimation of dynamic properties of surface ground during earthquakes. In this paper, the authors investigated the surface ground in Ishikawa prefecture. The dynamic properties of surface ground were evaluated by using the spectral analysis of microtremor measurement data. From the results, such regions are considered to be weak as circumference of Kahoku lagoon, Ouchi graben belt and circumference of Komatsu.

Also the paper presents the prediction of sandy soil liquefaction in old kanazawa city, based on the field data derived from the damage experienced in past earthquakes, such as 1983 Middle Japan Sea Earthquake.