

I-29 大地震による下水道被害調査から見た釧路市の地震動特性

若園建設 正員 若園 英 隆
専修大学道短大 正員 金子 孝 吉

1. はじめに

釧路沖地震(1993年1月15日)および北海道東方沖地震(1994年10月4日)により道東の中核都市釧路市は2度までも震度6という烈震に見舞われた。釧路市では電話、ガス、水道、電気、下水道などのライフラインの被害は甚大なもので、その調査結果はすでに関係者により貴重な報告として発表されている^{1)~10)}。

中でも都市機能において重要な下水道の被害は多大なものとなった。地震により下水道が各所で移動し、破壊したわけであるが、釧路市においてその下水道施設の上下、水平の方向への移動変位量が綿密に調べられた。この貴重な資料をもとに、2つの大地震により釧路市が受けた地震動を分析して見ることにする。地震動の条件に関しては、最大加速度、最大速度、最大変位、さらに継続時間、周期特性などいろいろな要因が考えられる。すでに下水道の被害を説明する地震動方向性については発表している¹⁰⁾が、ここでは地震動特性として、最大速度による強度の分析を行った。その結果、地震動強度SI値が両地震の別や地域別においても予測されたとおり異なった値を示すものであった。

2. 釧路沖地震および北海道東方沖地震による下水道施設災害

釧路市内の釧路沖地震および北海道東方沖地震による震度分布は図-1および図-2に示すとおりである。釧路市で行った現地調査および聞き取り調査によるものを基本にしているが、北海道東方沖地震の場合は天国、望月らの町丁目別アンケート震度を使用している^{1), 2)}。いずれも図の中央部釧路川から東へ旧釧路川方面への低地沖積層および高地との

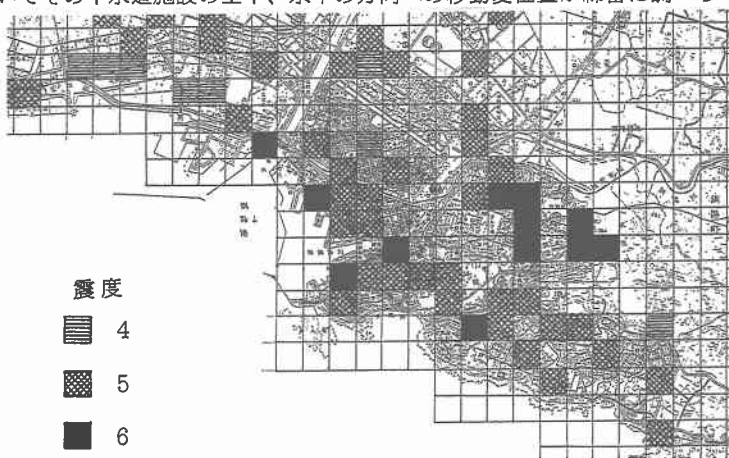
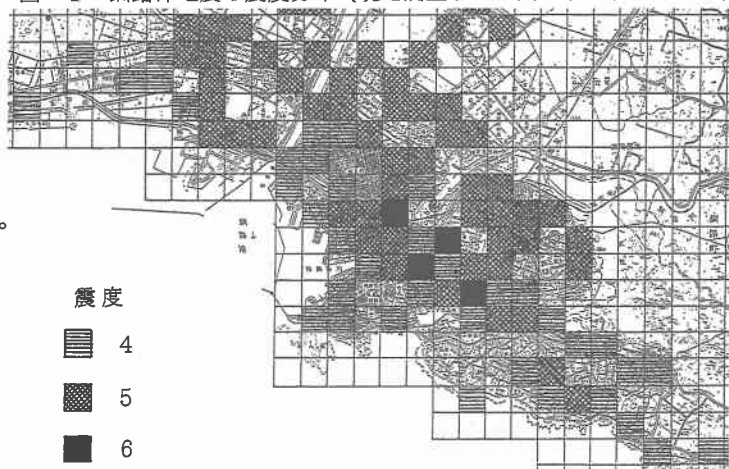


図-1 釧路沖地震の震度分布(現地調査および聞き取り調査による)

図-2 北海道東方沖地震の震度分布(天国、望月らによる^{1), 2)})

境界付近で震度が高くなっている。

震度6を記録した地域は釧路沖地震の方が多く存在している。つまり、釧路沖地震の方が北海道東方沖地震にくらべ広範囲に強い震度を示していたことになる。

地震発生後開削調査による被害状況をまとめているが、1)マンホールのリングがはずれずに全体として浮き上がっていた。2)両側の管渠もマンホールからはずれず同時に浮き上がっていた。マンホールの位置に比べ下水道管渠の方が大きく浮き上がっているところがあった。

これら浮き上がりの原因については、

1)マンホールは首のない構造で一定直径のタイプであったため浮き上がり易かった。2)マンホールが歩道に設置されていたため、舗装の部分の浮き上がりに対する抵抗力が小さかった。3)液状化した埋め戻し土がマンホールとその下井桁基礎との間にもぐり込み易かった。4)液状化の程度が激しかった。ことが考えられる。

以上、被害の形態としては蛇行、屈折、継手破損が主なものであった。各所で液状化現象を起こしていることは非線形地震動が十分に考えられる。

図-3、図-4に両地震において下水道管渠被害で開削調査された場所を示した。ここで言えることは、北海道東方沖地震における被害箇所は釧路沖地震での被害箇所とは一部を除き異なるものであった。いずれも地域によって被害の大きさが異なっていた。

そこでまず、ここではこれを地域的な見方で図-5に示すように7地域に分けてみた。

A地域：釧路東部の東側斜面に位置する釧路段丘

B地域：釧路東部の中央斜面に位置する低地を伴う釧路段丘

C地域：釧路東部の西側斜面に位置する釧路段丘

D地域：釧路東部の南部に位置する海岸線を含む釧路段丘



図-3 釧路沖地震における下水道管渠の被害箇所



図-4 北海道東方沖地震における下水道管渠の被害箇所

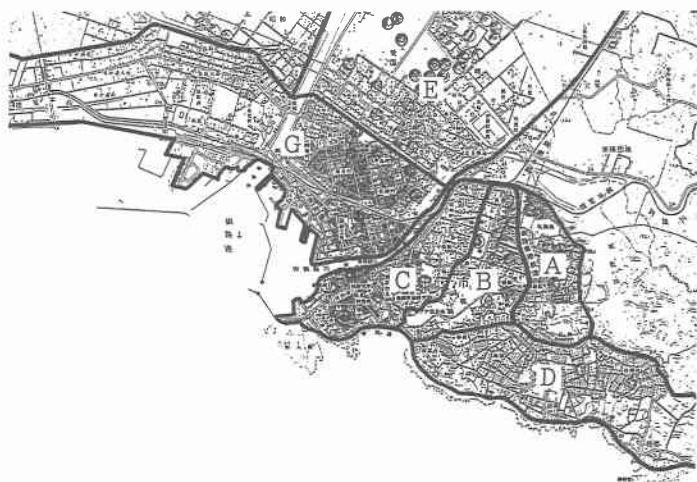


図-5 釧路市の表層地質構造を考慮した地域図

E 地域：釧路市中央北部、釧路平原

F 地域：釧路市北西部、釧路平原

G 地域：釧路南部、港湾地域から西方へ海岸沖積世地

ここに、A、B、C、Dは洪積世の釧路層群（clay、gravel、sand）でE、F、Gは海岸沖積世地、氷河期による海面の低下とその後の海進等の入海による堆積物でできたオボレ谷（drowned valley）である。

釧路市役所下水道部はこの2つの地震の影響による下水道の移動変位を克明に調査している。

ここでは、大地震が釧路市内の下水道に及ぼした影響を調べるため、特に変位量の大きさに注目してみた。データは釧路沖で代表的な47ヶ所、東方沖で79ヶ所の被害箇所のものを使用した。

3. 下水道管渠の変位量から推定される最大加速度とS I 値

下水道管渠の物理的被害は地震動強度の条件、地盤の条件および設備の条件が大きな要因となっている。地震動強度に関しては、実測された最大変位、強震計による加速度記録の最大値、最大速度、地震動継続時間および周波数特性などがその判定材料になる。久保・片山らは埋設管被害率と最大加速度の関係推定式を誘導して地震動を説明している。また、高栖、鈴木らは埋設管被害を説明する地震動強度として速度やS I 値の方が良いことを認め、S I 値と最大加速度とを比較しながら検討している³⁾。

著者らは下水道管渠の変位量から推定される地震動強度としてS I 値を基準にとり、釧路沖地震および北海道東方沖地震による釧路市の地域別地震動特性を検討した。

図-6は釧路沖地震における武佐1丁目での管渠移動の水平垂直変位図である。ここで、水平変位および垂直変位の和をそれぞれ H_0 、 V_0 とする。移動方向を+と-に分けて添字とすれば、

$$H_0 = H_+ + H_-、V_0 = V_+ + V_- \quad (1)$$

になる。仮に水平と垂直ともに考慮した平方面積 α 果乗($\alpha=1$)で変位 X_0 を表すと、 $X_0 = H_0 \times V_0 \cdot \alpha \quad (2)$

になる。一般に正弦波動の変位 X 、速度 X 、加速度 X の関係は

$$X = X_0 \beta \sin(wt) \quad (3)$$

$$X = -X_0 \beta w \cos(wt) \quad (4)$$

$$X = -X_0 \beta w^2 \sin(wt) \quad (5)$$

ここに、 β は設備の条件、地盤条件などを考慮した係数である。また、地震動の卓越周期 T は $w = 2\pi/T$ なる関係にある。このときのS I 値として

$$X_{SI} = \beta w X_0 \quad (6)$$

を用いることにする。釧路沖地震の場合、高栖、鈴木らは最大加速度記録

A_{max} が得られた場合のS I 値におい

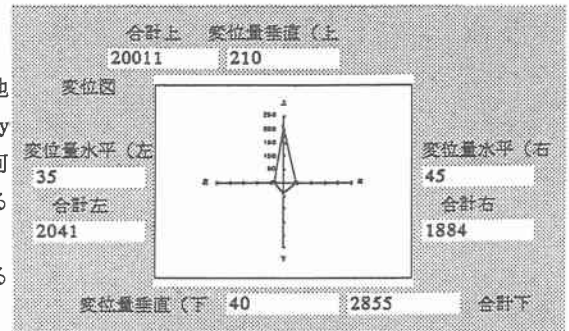


図-6 水平垂直変位図（釧路沖、武佐1丁目）



図-7 釧路市における共同強震動観測地点

Station	Amax	Area
TQH	158	C
HEU	374	C
TYR	475	C
JMA	392	C
SSK	342	C
KKP	154	C
TEP	277	C
KOS	143	G
TTR	132	G
TBS	177	G
PHRI	269	G
JSI	192	G
TIS	165	G
KMB	176	G
SMZ	261	G
NSM	268	G
ASH	320	G
KCH	169	G

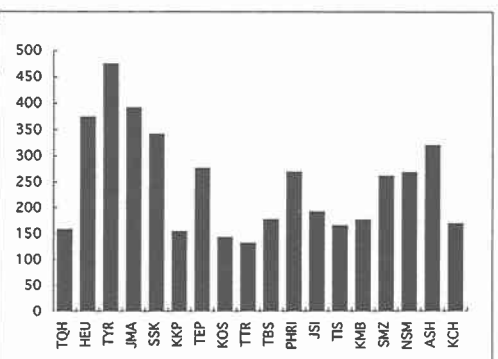


図-8 北海道東方沖地震観測記録の最大加速度

て $X_{SI} = 0.1223 A \max^{0.9612}$ を得ている。

4. 東方沖地震で見た最大加速度と S I 値

釧路沖地震の教訓から釧路市において高密度共同強震動観測が開始され、北海道東方沖地震では多くの強震記録が取れて、(財)震災予防協会と E S G 研究委員会共同で公表された。図-7 はその観測地点を示したものである。上述の C 地域と G 地域で最大加速度は図-8 の通りである。いま、高栖、鈴木らの式を使って S I 値を求めてみると、図-9 になる。これは、最大加速度記録と比較してみると、C 地域は加速度が大きく G 地域では S I 値が大きくなっていることが判る。これは、軟らかい沖積層の G 地域の地盤特性が S I を大きくしているとも言えよう。

さて、著者らは釧路沖、北海道東方沖の両地震について、各下水道管渠の変位量から式(6)を使用して、S I 値を求めてみた。まず、地震動周期 T は鈴木ら⁴⁾や松岡、翠川⁶⁾による釧路市内の表層地盤における卓越周期を使用することにした。これは常時微動観測から得た値で液状化現象などの非線形挙動を有する場合には適合しないことがある。そこで、下水道管渠設備の不確定さ、液

Station	SI	Area
TQH	5	C
HEU	17.9	C
TYR	30.2	C
JMA	25	C
SSK	10.9	C
KKP	4.9	C
TEP	13.2	C
KOS	15.9	G
TTR	10.5	G
TBS	28.2	G
PHRI	42.8	G
JSI	30.6	G
TIS	18.4	G
KMB	28	G
SMZ	29.1	G
NSM	21.3	G
ASH	25.5	G
KCH	13.4	G

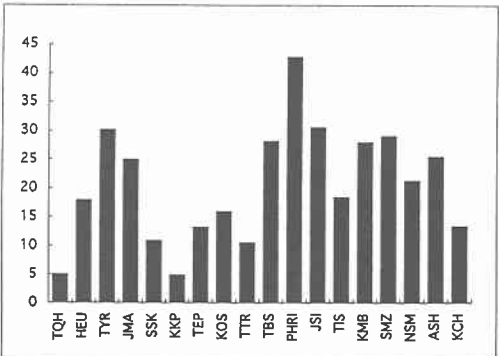


図-9 北海道東方沖地震の S I 値 (高栖、鈴木らの式による)

表-1 T および β の値

Area	T	β
A	0.1	0.08
B	0.2	0.08
C	0.1-0.4	0.06
D	0.1-0.7	0.06
E	0.7-1.0	0.1
F	0.7	0.1
G	0.5-1.0	0.1

Station	SI	Area
武佐 1, 23	54	A
武佐 1, 41	71.2	A
武佐 3	139.6	A
武佐 3, 17	78.6	A
武佐 4	176	A
武佐 4, 11	60	A
武佐 4, 33	31.2	A
貝塚 2	45.2	B
鎌ヶ岡 5	34.4	B
鎌ヶ岡 5, 40	78.8	B
鎌ヶ岡 6 その 2	163.6	B
鎌ヶ岡 6 その 3	74	B
豊原 7, 13	42.8	B
豊原 7, 27	23.6	B
貝塚 1, 4	180.4	C
貝塚 2, 6	104.2	C
鎌ヶ岡 2, 31	78.2	C
鎌ヶ岡 2, 41	45	C
米町 4	31	C
柏木町	20	C
千歳町	5.6	C

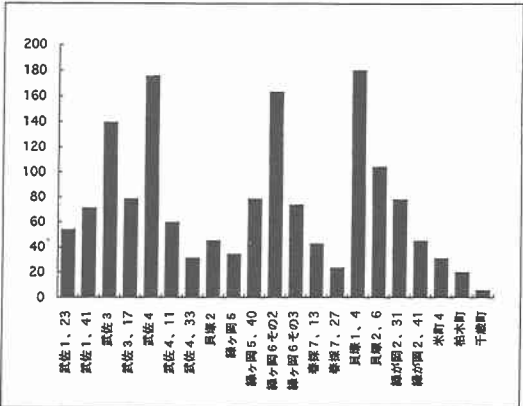


図-10 釧路沖地震における各被害箇所の S I 値 (A、B)

状化にともなう変位量の拡大などを考慮して地域ごとに β を変えた。

表-1 は地域別の T と β の値である。卓越周期に関しては同地域でも異なるところがあるため、幅を持たせている。

図-10、図-11 は釧路沖地震における S I 値を示したものである。A、B、C の丘陵地域ではかなり大きな S I 値を示すところがあるが、E、F、G の沖積層では平均した値になっている。前述の高栖、鈴木らは S I 値が 20 を越える位から埋設管に被害が表れることを示している。だとすれば、相対的に E、F 地域は

Station	SI	Area
岡津 4	18.6	D
愛国 1, 2	38.8	E
美原 2	16.2	E
美原 2, 29	15.2	E
美原 2, 35	38	E
美原 2, 40	17.6	E
美原 2, 43	34.8	E
美原 3	39.6	E
美原 5, 16	37.4	E
戸野 1, 2	26.6	E
戸野 3	36.6	E
昭和 41	22.2	F
昭和 41 その 2	31.6	F
昭和北 1	9.6	F
昭和北 1, 1	48.8	F
昭和北 2, 3	72.4	F
入江町	66	G
新田路町	67.2	G
中園町	48.8	G
新富士 4	26.2	G

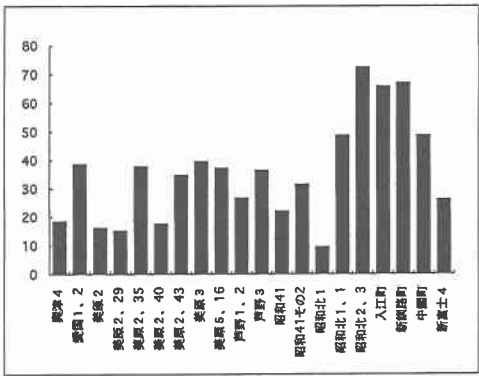


図-11 釧路沖地震における各被害箇所の S I 値 (D、E、F、G)

S I 値が小さな値になっているものの、被害が出て当然の値になっている。一方、北海道東方沖地震の場合を図-12および図-13に示した。

また、図-14には北海道東方沖地震における最大加速度値を示した。最大加速度の値は式(5)から求めており、C、D、FおよびG地域におけるものである。図-12と図-13から全体的にみれば、釧路沖地震でのS I値の方が北海道東方沖地震にくらべ大きな値になっていることが判る。

これは図-1および図-2の震度分布図の比較からも明らかである。

一般に傾斜地形を有する釧路段丘地域(A、B、C、D)は下水道管渠の被害も大小ばらばらで、地震動の強度判定には極めて難しいことが判った。

北海道東方沖地震において、図-9の強震動観測記録から求めたS I値と図-13のS I値を同じ地域で比較してみると、一見無関係に見えるが地域的な特性とおり傾向が見られる。しかし、著者らの試算によるS I値の方が大きな値を示していることに気がつく。これは、表-1で用いたTおよび β の値によるもので、特に β の見積もりが問題である。

一般に下水道管渠設備の不確定さは数倍の変位量を与え、また液状化などによって起こる非線形な震動は数倍から数十倍もの変位の増加を与えていると言われている。このことは厳密には、被害を受けた下水道管渠の変位量から妥当な地震動変位量あるいは速度、加速度の量を引き出すことは出来ないことになる。

しかし、 β は釧路沖地震と北海道東方沖地震による被害報告書の各地域における区分から誘導したもので、

Station	SI	Area
城山2	65.8	A
緑ヶ岡3	39.2	A
緑ヶ岡4	29.8	A
緑ヶ岡5	45.6	A
緑ヶ岡6	38.4	A
緑ヶ岡7	48	A
緑ヶ岡8	7.6	A
緑ヶ岡9	35.2	A
緑ヶ岡10	13.6	A
緑ヶ岡11	28.4	A
緑ヶ岡12	32.8	A
緑ヶ岡13	7.6	B
緑ヶ岡14	10.3	B
緑ヶ岡15	23.6	B
緑ヶ岡16	8.8	B
緑ヶ岡17	17.4	B
緑ヶ岡18	4.4	B
緑ヶ岡19	8.4	B
緑ヶ岡20	6.6	B
緑ヶ岡21	10.2	B
緑ヶ岡22	13.6	B
緑ヶ岡23	23.2	B
緑ヶ岡24	19.2	B

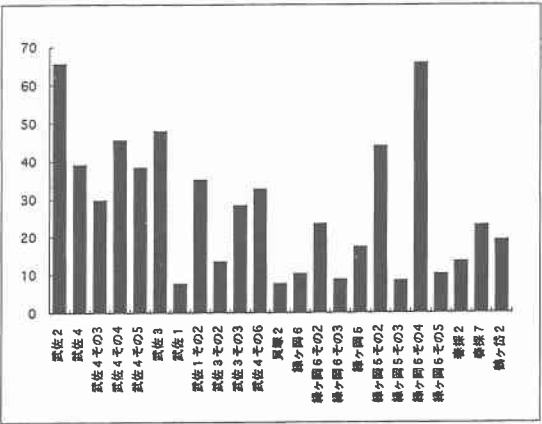


図-12 北海道東方沖地震における各被害箇所のS I値 (A、B地域)

Station	SI	Area
城山2	90	C
緑ヶ岡3	15.8	C
緑ヶ岡4	29.2	C
緑ヶ岡5	43.6	C
緑ヶ岡6	54.2	C
緑ヶ岡7	7.6	C
緑ヶ岡8	28.2	D
緑ヶ岡9	104	D
緑ヶ岡10	23	F
緑ヶ岡11	21.6	F
緑ヶ岡12	4.8	F
緑ヶ岡13	40.2	G
緑ヶ岡14	29	G
緑ヶ岡15	78	G
緑ヶ岡16	32.2	G
緑ヶ岡17	54.8	G
緑ヶ岡18	66	G
緑ヶ岡19	68.2	G
緑ヶ岡20	22.6	G

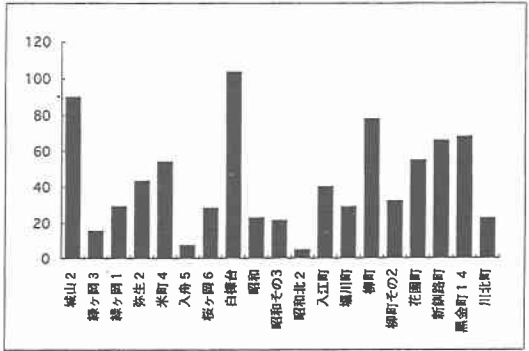


図-13 北海道東方沖地震における各被害箇所のS I値 (C、D、F、G地域)

Station	Amax	Area
城山2	239	C
緑ヶ岡3	125	C
緑ヶ岡4	233	C
緑ヶ岡5	347	C
緑ヶ岡6	144	C
緑ヶ岡7	100	C
緑ヶ岡8	224	D
緑ヶ岡9	826	D
緑ヶ岡10	128	F
緑ヶ岡11	120	F
緑ヶ岡12	55	F
緑ヶ岡13	160	G
緑ヶ岡14	115	G
緑ヶ岡15	434	G
緑ヶ岡16	180	G
緑ヶ岡17	218	G
緑ヶ岡18	157	G
緑ヶ岡19	54	G
緑ヶ岡20	180	G

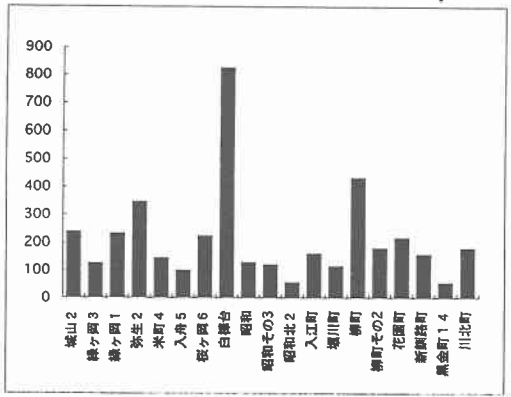


図-14 北海道東方沖地震における各被害箇所の最大加速度 (C、D、F、G地域)

データ数の多いところが信頼性も上がってくる。そのような意味から、各地域ごとの平均最大加速度とS I値を比較して表－2に示した。

地震動強度S I値としては釧路沖地震の方が北海道東方沖地震よりも大きな値を示しており、震度分布図とも同じ傾向を示していることが判った。

北海道東方沖地震の場合、共同強震観測記録から求めた平均S I値はC地域で15.3 kine、G地域で 24.0 kineであった。いずれも被害を受けた下水道管渠の変位置から求めた値より小さな値になっている。

5. おわりに

わずか2年の間に釧路市は2度も震度6という烈震を経験することになり、いずれもライフライン施設に大きな被害を受けている。とりわけ下水道施設の被害は最も大きいものであった。本研究は下水道管渠の変位置に大きな差が生じることに気づき、下水道管渠の被害状況から釧路市内における地盤がどのような地震動加速度を受け、地震動強度S I値を示すものか分析してみた。その結果、まだ釧路市における地震動の特性を解明するには至っていないがライフラインの防災に必要な地震動強度の特性を示す十分な手がかりを得たと考えている。なお、本研究を遂行するにあたり釧路市役所下水道部下水道建設課専門員開沼静雄氏には多大なご協力を戴いた。ここに深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 天国 邦博、望月 利男、荏本 孝久、鏡味 洋史、岡田 成幸：「GISを用いた1993年釧路沖地震の震度分布と被害評価手法に関する研究」、第9回日本地震工学シンポジウム、p2239-2244、1994.12。
- 2) 天国 邦博、鏡味 洋史、榊永 幸介：「1994年北海道東方沖地震における釧路市の震度分布調査」、日本建築学会大会学術講演梗概集、p23-24、1995.8。
- 3) 高栖 正洋、鈴木 崇伸、磯山 龍二、吉川 洋一：「埋設管被害と地震動強度の関係について」、第9回日本地震工学シンポジウム、p2083-2088、1994.12。
- 4) Takeyasu SUZUKI, Yoshitaka ADACHI and Minato TANAKA：Application of Microtremor Measurements to the Estimation of Earthquake Ground Motions in Kushiro City during the Kushiro-Oki-Earthquake of 15 January 1993, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.24, 595-613, 1995.
- 5) 足立 喜隆、鈴木 猛康、田中 港：「釧路市周辺の表層地盤構造と微動観測から推定される卓越周期」、土木学会第48回年次学術講演会、p926-927、1994。
- 6) 松岡 昌志、翠川 三郎：「1993年釧路沖地震における釧路市内の地震動強さ」、その2 常時微動特性について、日本建築学会大会学術講演梗概集、p3-4、1993.9。
- 7) 1993年地震災害調査委員会：「釧路沖地震・能登半島沖地震震害調査報告書」、社団法人土木学会、1994.6。
- 8) 大堀 道広、奥田 暁、若松 邦夫、安井 譲：「コンビニエンス・ストアを対象としたアンケート震度調査の試みー1994年10月4日北海道東方沖地震を例題としてー」、日本建築学会構造系論文集、第478号、p71-79、1995.12。
- 9) 飛田 潤、杉村 義広、佐藤 耕司、栗田 哲：「1993年釧路沖地震における釧路市内の地震動特性の推定」、第9回日本地震工学シンポジウム、p409-414、1994.12。
- 10) 金子 孝吉、若園 英隆：「大地震の被害調査から見た釧路市の地震動方向性に関する研究」、土木学会北海道支部論文報告集、第52号（A）、p210-213、1996.2。

表－2 最大加速度およびS I値の地域別平均値

釧路沖地震			北海道東方沖地震		
Area	Amax	SI	Area	Amax	SI
A	129	72	A	160	35
B	263	66	B	173	28
C	219	88.2	C	198	53.4
D	149	18.6	D	224	94
E	174	24.4	E	134	22.8
F	205	36.8	F	101	16.4
G	347	52	G	187	48.8