

第21回地盤震動シンポジウム(1993)

釧路沖地震

——蘇る過去の教訓と今日的課題——

1993. 11. 19

日本建築学会

主催 構造委員会 振動運営委員会 地盤震動小委員会
共催 地震災害委員会 強震観測運営委員会 地震災害システム検討小委員会



The 21st Symposium of Earthquake Ground Motion (1993)

The 1993 Kushiro-oki Earthquake

**Insights Gained from the 1962 Hiroo-oki Earthquake, and
Hindrances Encountered in Implementing Earthquake Disaster
Mitigation**

November 1993

Tokyo

Sponsored by Architectural Institute of Japan

quali * y" be ...

第21回地盤震動シンポジウム (1993)

釧路沖地震

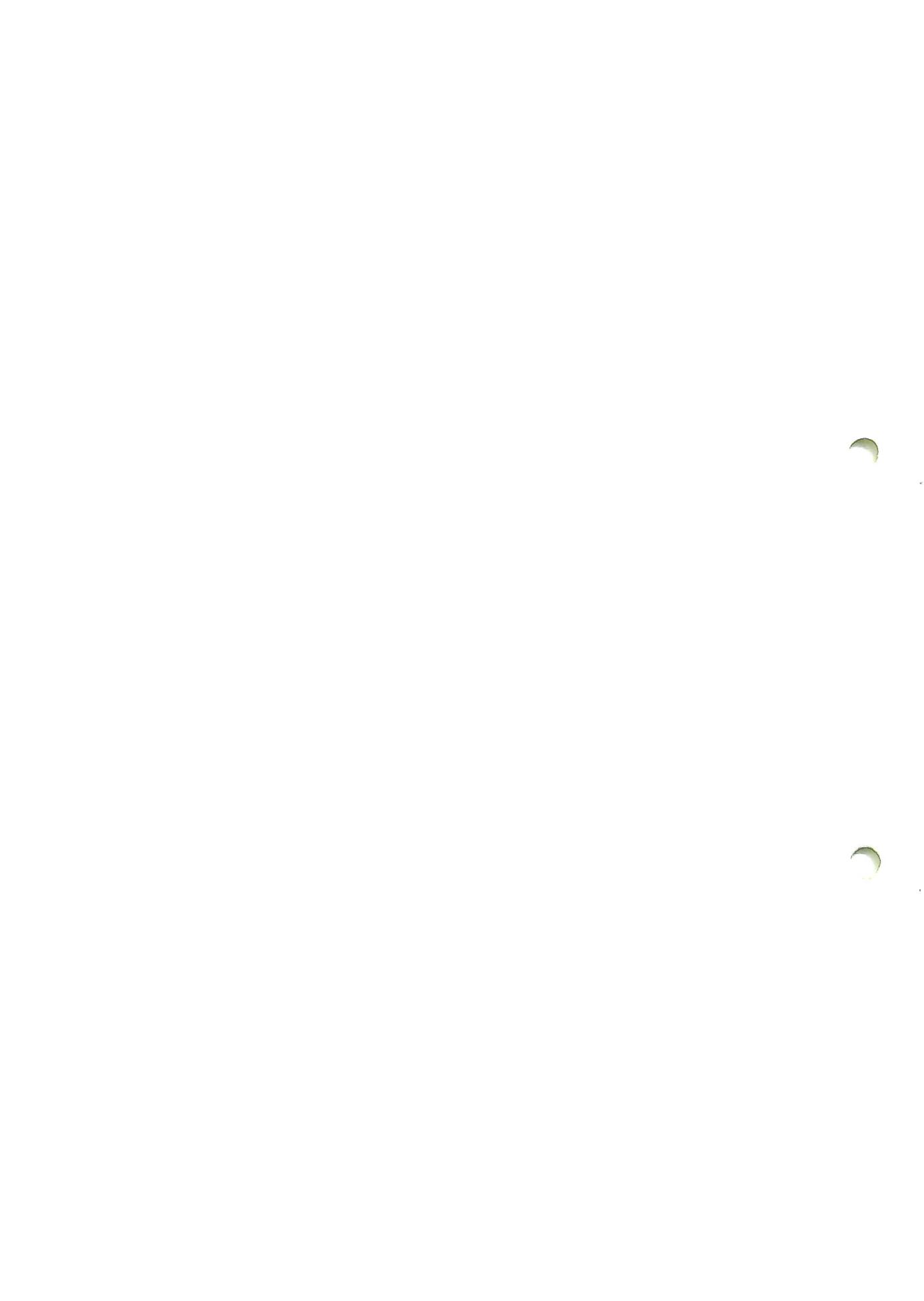
——蘇る過去の教訓と今日的課題——

1. 主旨説明	北川 良和(建設省建築研究所) ……	1
2. 1993年釧路沖地震の発生メカニズムと地震動 —やや深発地震による強震動の特徴—	武村 雅之(鹿島・小堀研究室) ……	3
3. 1962年広尾沖地震に関する研究成果とその後の 地震工学に提起された諸課題	長橋 純男(長崎総合科学大) ……	15
4. 釧路市内の地盤震動		
4-1 釧路地方気象台での強震動の特徴	鹿嶋 俊英(建設省建築研究所) ……	27
4-2 釧路港湾での強震動の特徴	井合 進(運輸省港湾技術研究所) ……	33
4-3 釧路気象台周辺の常時微動特性と建物被害	片岡 俊一(清水建設) ……	43
4-4 釧路市内の震度分布と被害	荻本 孝久(神奈川大) ……	49
5. 被害の特徴と地震予防		
5-1 1993年釧路沖地震の発生条件と被害 —概往の地震被害と比較して—	鏡味 洋史(北海道大) ……	61
5-2 1993年釧路沖地震におけるライフライン系 の被害と復旧	能島 暢呂(広島工大) ……	69
5-3 人的被害の概要と街路における危険度評価 の試み	水越 熏(鹿島・技術研究所) ……	79
5-4 被害の特徴と地震予防—釧路沖地震を契機 にして考える地震防災システム上の課題—	多賀 直恒(名古屋大) ……	87
資 料		
(1) 第20回地盤震動シンポジウムの報告 ……		95
(2) 刊行物“Earthquake Motion & Ground Conditions”紹介 ……		97

The 21st Symposium of Earthquake Ground Motion (1993)
The 1993 Kushiro-oki Earthquake
Insights Gained from the 1962 Hiroo-oki Earthquake, and Hindrances
Encountered in Implementing Earthquake Disaster Mitigation

1. Preface	1
by Yoshikazu Kitagawa	
2. Source Mechanism of the 1993 Kushiro-oki Earthquake (M=7.8) and Characteristics of the Strong Ground Motion	3
by Masayuki Takemura	
3. The Studies on the 1962 Hiroo-oki Earthquake and the Problems Presented	15
by Sumio Nagahashi	
4-1 Characteristics of Strong Earthquake Motion Observed at Kushiro Local Meteorological Observatory	27
by Toshihide Kashima	
4-2 Strong Earthquake Motions at Kushiro Port	33
by Susumu Iai	
4-3 Characteristics of the Microtremors around Kushiro Japan Meteorological Agency Station and Seismic Damage of Neighborhood Buildings	43
by Shun'ichi Kataoka	
4-4 Distribution of Seismic Intensities and Damages in Kushiro City Caused by the 1993 Kushiro-oki Earthquake	49
by Takahisa Enomoto	
5-1 A Study on Damage Due to the 1993 Kushiro-oki Earthquake, Northern Japan, Considering Its Occurrence Conditions. —Comparison with Former Damaging Earthquakes—	61
by Hiroshi Kagami	
5-2 Damage and Restoration of Lifeline Systems in 1993 Off-Kushiro Earthquake	69
by Nobuoto Nojima, Hiroyuki Kameda	
5-3 Outline of Human Casualty and a Risk Assessment on Streets During the Kushiro-oki Earthquake	79
by Kaoru Mizukoshi	
5-4 Earthquake Damages and Disaster Prevention —Some Topics and Related Problems on the 1993 Kushiro-oki Earthquake—	87
by Naotsune Taga	
Addition :	
(1) The Report on the 20th Symposium of Earthquake Ground Motion(1992)	95
(2) Publication Guide "Earthquake Motion & Ground Conditions"	97

1. 趣旨説明



第21回地盤震動シンポジウム開催にあたって

主旨説明

Preface

北川良和*

Yoshikazu Kitagawa

第21回地盤震動シンポジウムを迎えるにあたり、関係各位の御尽力・御支援に対し、地盤震動小委員会主査としてここに厚く御礼申し上げます。

地盤震動小委員会では、毎年恒例のシンポジウムを歴代の主査のもと開催してまいりました。この度「国際防災の十年」という背景のもと、我国の地盤震動研究の現状を外国に紹介し、国際的貢献に資するため、当小委員会の過去20年間の研究活動をもとに、この10年間の研究、技術の進歩・蓄積をふまえ「Earth-quake Motion and Ground Conditions」を出版致しました。出版物の内容は地震現象、地震動観測と地盤探査、地震動予測とその応用、最近の主な被害地震より構成されております^{注1)}。地盤震動にかかわる技術者・研究者の方々のお役に立てれば幸いと考えております。

今後の当小委員会活動としては主として地震防災に係る地盤震動の諸問題の発掘・整理・方向づけを行っていく予定であります。

最近、日本列島周辺では1983年の日本海中部地震以来、M8クラスの巨大地震は鳴りを潜めていましたが、本年1月15日に突如北海道釧路沖でM=7.8の地震が発生しました。この地震により北海道東部の釧路・十勝地方を中心に少なからず被害が発生したことは周知の事実であります。この地震は通常の巨大地震と異なり震源位置が約100kmと深く、この規模のものとしては地震学的に大変珍しく興味深い地震であります^{注2)}。また工学的には、釧路市において900ガルといった最大加速度値が観測されているにもかかわらず、周辺での構造物被害は非常に軽微であったことが大きな関心事となっています。

釧路市では1962年の広尾沖地震の際にも500ガルと

いった大きな加速度が記録され、その際にも構造物の被害は軽微で、そのことをテーマにした調査研究が組織的に実施された経緯があります。今回の地震はまさにその再現というべきものであります。

一方、地震動による構造物への直接の被害は年々少なくなっているにもかかわらず、二次的ともいえるべき室内の転倒物や落下物による人的被害、ライフラインの破損による市民生活のマヒ等、いわゆる都市型の地震災害はむしろ増加する傾向にあります。今回の釧路市における被害もそのような特徴をもち、寒冷地の冬に起こったという特殊条件とも相まって人々に大きな支障をきたす結果となりました。

このような状況のもと、本シンポジウムは(1)1962年の広尾沖地震以後めざましく進歩した地震学、地震工学分野での研究成果をもとに今回の強震動の解釈がどれだけ可能になったか、(2)現代の都市機能が内包する地震危険度の観点から地盤震動や地震防災の諸問題をどのように補え直すかといった2つの課題に的を絞り、地震防災システム検討小委員会と共催のもと開催されるべく企画されております。

今回の釧路沖地震における釧路市での地震動と地震被害との関係を多角的にとらえ、問題提起とあわせて今後の地震災害の軽減に少しでも役立てれば幸いと考えております。

注1) Earthquake Motion and Ground Conditions

Contents

Preface

AIJ Committee Members

Editors and Authors

*建設省建築研究所国際地震工学部長，工博

Part I Fundamental Aspects of Earthquake Motion

1. Earthquake Source Mechanisms and Their Characteristics
2. Propagation and Attenuation of Seismic Waves
3. Amplification of Seismic Waves
4. Intensity of Earthquake Motion

Part II Earthquake Motion Observation and Geotechnical Survey

1. Observation of Strong Ground Motion
2. Subsurface Investigation and Soil Dynamics
3. Survey of Deep Subsurface Structure
4. Measurement of Microtremors

Part III Prediction of Strong Ground Motion and its Application to Earthquake Engineering

1. Simulation and Prediction of Strong Ground Motion
2. Effects of Surface Geology on Strong Ground Motion
3. Seismic Zonation
4. Strong Ground Motion in Seismic Design

Appendices : Findings from Recent Earthquake

- A1. Overview
- A2. Lessons learned from the Destructive Damage of Recent Earthquake in Japan
- A3. Accumulation of Strong ground motion records in Japan
- A4. Review of Recent Earthquake

注) 釧路地方における既往の地震活動

北海道の太平洋沿岸地域は、日本列島の中で被害地震の発生が特に多い地域である。過去60年余りの間に釧路市でIV以上の震度を観測した地震を表1に示す。

北海道の太平洋岸沖で発生する地震は一般に巨大地震であることが多く、マグニチュード8級の地震は珍しくない。これらの巨大地震の多くは、低角逆断層型といわれるもので、地震の発生に伴って津波が誘発されることが多い。今回の地震は、地震位置や発震機構において、これら太平洋岸沖の巨大地震とは性質を異にしている。すなわち地震の断層破壊は深発地震面の

下面から発生し、ほぼ水平に広がっている。このことから震源直上の釧路市における地震動はP波の振幅が小さく、S波の振幅が大きくなっている。

表1 釧路市での主な既往地震(震度IV以上)

発生年月日	震央地名	マグニチュード	釧路市での震度
1931. 3. 30	十勝川河口付近	6.8	4
1933. 3. 3	三陸沖	8.5	4
1950. 2. 28	オホーツク海南部	—	4
1952. 3. 4	十勝沖	8.1	5
1953. 10. 14	釧路沖	6.5	4
1954. 9. 17	釧路沖	5.1	4
1955. 9. 5	釧路沖	5.8	4
1956. 4. 23	釧路沖	6.5	4
10. 12	釧路沖	6.0	4
1958. 11. 7	エトロフ島沖	8.0	5
1959. 1. 31	弟子屈付近	6.2	4
1961. 8. 12	釧路沖	7.0	4
11. 15	釧路沖	6.9	4
1962. 4. 23	広尾沖	7.0	4
7. 18	北海道南東沖	5.9	4
1964. 6. 23	根室南東沖	6.9	4
1965. 10. 21	千島列島南部	6.2	4
1967. 9. 19	釧路沖	5.9	4
11. 4	弟子屈付近	6.5	4
1968. 5. 16	十勝沖	7.9	4
5. 16	青森県東方沖	7.5	4
8. 7	釧路沖	5.6	4
1969. 1. 19	北海道北東沖	6.4	4
8. 12	北海道東方沖	7.8	4
1971. 8. 2	浦河沖	7.0	4
1972. 5. 11	釧路沖	5.8	4
1973. 6. 17	根室半島沖	7.4	5
6. 17	根室半島沖(余震)	5.2	4
6. 17	根室半島沖	5.7	5
6. 24	根室半島沖	7.1	5
1978. 10. 29	釧路沖	5.4	4
12. 6	国後島付近	7.7	4
1979. 5. 17	釧路沖	5.0	4
12. 14	釧路沖	5.7	4
1980. 2. 23	国後島付近	6.8	4
1981. 1. 23	日高支庁西部	7.1	4
1987. 8. 25	日高山脈北部	6.9	5

2 . 1993年釧路沖地震の発生メカニ ズムと強震動



1993年釧路沖地震の発生メカニズムと地震動

—やや深発地震による強震動の特徴—

Source Mechanism of the 1993 Kushiro-oki earthquake (M=7.8) and
Characteristics of the Strong Ground Motion

武村 雅之

Masayuki Takemura

The Jan. 15, 1993 Kushiro-oki earthquake of M=7.8 is the largest intermediate-depth earthquake in the history of Japan. Intermediate-depth earthquakes compose a double-planed deep seismic zone in a subducting oceanic slab. Events on the upper seismic plane are characterized by down-dip compression type mechanism, while those on the lower seismic plane by down-dip extension type mechanism. The hypocenter of the Kushiro-oki event is located on the lower seismic plane in the subducting Pacific plate and the focal mechanism is the down-dip extension. Taking the aftershock distribution into account, the fault plane of this event extended horizontally from the lower plane to the upper plane. In the last twenty years, there have been four large intermediate-depth earthquakes of M=7 class under the Northern Honshu and the Hokkaido Islands. Two events under the Northern Honshu Island are down-dip compression type, while two events under the Hokkaido Island are down-dip extension type as like the Kushiro-oki event. Fault planes of these events also extended horizontally in the oceanic slab.

Observed peak accelerations due to the Kushiro-oki event and the other large intermediate-depth events are examined, comparing with those due to shallow large events occurring on the plate boundary in the subduction zone along the Pacific coast of Northeastern Japan. It is found that the peak accelerations from the intermediate-depth events on the average are twice as large as those from the shallow events with the same magnitudes for the same hypocentral distances. The peak accelerations due to the Kushiro-oki event also show large values, that is about 300 to 800 cm/s^2 in the Kushio and Tokachi districts. These results indicate that the large intermediate-depth events highly generate the short-period component of seismic waves.

In the meanwhile, we examine strong ground motion in longer period range for the Kushiro-oki event using the displacement records by JMA. These records show a large amplitude and a long duration at sites on sedimentary basins as like the records from the shallow events, though an excitation of surface-waves may be lower in the source region because of the deep focal depth. The large amplitude and the long duration at these sites may be due to the generation of the diffracted surface waves due to the sedimentary basins.

Finally, we evaluate velocities of ground motions in the Kushiro and Tokachi districts from the ratio of overturning tomb stones. According to these results, the velocity is highest at

鹿島小堀研究室 主任研究員 理博

Kobori Res. Comp. Kajima Corp. Senior Res. Eng. Dr. Sci.

Onbetsu about 50km east from Kushiro city, which is approximately 50 cm/s. That is about 30 cm/s at sites along the Pacific coast in the Kushiro district and at some of the alluvial sites in the Tokachi plane. At diluvial sites and at the other alluvial sites in the Tokachi plane, that is smaller than 25 cm/s.

1. はじめに

1993年1月15日午後8時6分頃、釧路沖を震源とするマグニチュードM7.8の地震が発生した。震源の位置は気象庁により、北緯42度51分東経144度23分、深さ107kmと決定されている。この地震は過去に北海道の太平洋沿岸を襲った大地震より震源が深く全く予期せぬ大地震であった¹⁾。また、工学的には、普通被害想定から除外されている震源が深い地震で1g近い強震動が観測されたことに大きな衝撃をおぼえた。

本稿ではまず各関連の研究機関で調査された結果をもとにこの地震の発生メカニズムを解説する。次に発生メカニズムとの関連で強震動の特徴を調べる。その際過去に発生した被害地震による地震動の特徴と比較し、今回の地震の特徴がより明確になるようにする。なお強震動の特徴をまとめるにあたっては、最大加速度値をもとにした短周期地震動の検討、気象庁の変位記録をもとにしたやや長周期地震動の検討の他に、墓石の転倒率をもとにした検討も加えた。

なお、本稿は日本火災学会誌V o 1. 43, N o. 4に掲載された論文²⁾を改訂・増補したものである。

2. 発生メカニズム

Fig. 1は北海道の太平洋沿岸特に道東付近で発生する地震の起こり方をNW-SE断面で模式的に書き表したものである。この地方の地震の起こり方を支配する最も大きな要因は太平洋の海底を形成する太平洋プレートが千島海溝から同地方の地下にもぐり込んでいることである。これに伴って同地方に影響する被害地震は次の3つのタイプに分けることができる³⁾

(a) 太平洋プレートが潜る際に起こる低角逆断層型の地震でいわゆる巨大地震がよく発生し、これに伴って大津波が起こることがある。

(b) 内陸部で発生するもので、道東で発生するものは横ずれ、日高付近で発生するものは縦ずれ断層型である。一般に内陸地殻の極浅い所で発生する機会が多いが、日高付近は複雑なテクトニクスを反映しやや深い地震も発生する。

(c) (a) (b)の地震に比べ震源が深くやや深発地震と呼ばれている。発生場所はいわゆる二重やや深発地震面を形成し太平洋プレートの上面付近(上面の地震)とプレートの内部(下面の地震)に位置する。前者は地震を起こす力のうち、主圧力軸がプレートのもぐりこむ方向に沿う形の断層運動(Down Dip Compression型)、後者は主張力軸がプレートのもぐりこむ方向に沿う形の断層運動(Down Dip Extension型)で地震が起こる特徴がある⁴⁾。

Table 1に各タイプの地震群に属する過去の被害地震の例を示す⁵⁾。今回発生した地震は(c)のタイプに属し、Fig. 1に示すように震源位置(断層運動の開始位置と考えられる)は下面にあり、断層はほぼ水平方向に上面に向かって広がっている¹⁾。水平方向の広がり余震分布より西は音別沖から東は釧路沖までの約40kmと推定されている¹⁾。またすべり方向は北北西方向を向き下盤が北海道に、上盤が海溝に向かって相対的に平均約8m食い違ったと推定されている¹⁾。

Fig. 2は、やや深発地震面の上面、下面の深さ⁴⁾ならびに、過去に強震速報に報告されている比較的大きな地震動を記録したやや深発地震の震央位置および震源メカニズムである⁵⁾⁻⁹⁾。メカニズム解は下半球に等面積投影したもので斜線部がP波の押しの領域にあたる。1981年と1987年に北海道で発生した2地震は今回の釧路沖地震と同様のメカニズム解でDown Dip Extension型、東北地方の2地震は逆にDown Dip Compression型である。また、断層面は1978年の地震を除いて、余震域より求められており、いずれもほぼ水平な断層面が運動したことが分かっている¹⁰⁾。

以上のことから分かるように大きな地震動を起こす比較的規模の大きいやや深発地震は北海道では下面、東北地方では上面に多くどちらの場合も水平に近い断層が運動するという特徴がある。近年のやや深発地震についての研究¹⁰⁾では、このようにほぼ水平なP波節面(断層面かどうかは不明)をもつやや深発地震は、Fig. 3のような分布を示すことが分かっている。白丸が対応する地震で、バツ印がそれ以外の地震である。上面の地震では全体の20%がこの種の地震で日高から岩手・宮城県沖にかけて深さ75kmの等深線に沿うように分布する特徴がある。一方下面の地震では32%を占め、根室沖から日高山脈付近にかけて多く発生している。尚、図で同じ地震に対して白丸とバツ印が重なっているものは、どちらにも解が求められているものである。

3. 短周期地震動

3.1 地域性

今回の釧路沖地震で最も注目されているものの一つに釧路地方気象台で重力の加速度にも匹敵する水平動の最大加速度値が記録されたことである。また釧路だけでなく根室から広尾にかけての太平洋沿岸の広い範囲で300gal以上の加速度値が記録されている。これに対し網走や旭川等内陸部では極端に地震動が小さくなっていることが分かる¹³⁾。両者の間には火山がある領域とそうでない領域を分ける火山フロントと呼ばれる線がある¹¹⁾。Fig. 1に示すように火山フロントより北西側の上部マントルには地震波を大きく減衰させる領域(Low-Qゾーン)が横たわり、太平洋プレートが地震波をよく伝える領域(High-Qゾーン)であるのと対症的である。上記のように火山フロントより北西側で地震動が極端に弱まる原因はこのような上部マントルのLow-Qゾーンが影響しているものと考えられており、東北地方や関東地方でも同様の現象が報告されている^{11) 12)}。

Fig. 4は今回の地震に対して観測された加速度最大値¹³⁾のうち水平動の平均値を震央距離 Δ および震源距離 X についてプロットしたものである。火山フロントより太平洋側の観測点を黒丸、日本海側の観測点を白丸で示している。図には武村¹¹⁾が東北日本

の太平洋側で発生した $M=7.5$ クラス以上の地震(全て(a)タイプ)に対し求めた火山フロントの両側での距離減衰式がA、Bとして実線で示されている。Aはいわゆる金井式($T_g=0.4\text{sec}$)で T_g は本来地盤の卓越周期を示すがここでは距離減衰式の絶対レベルを単に上げ下げするために使われている。A、Bとも今回のデータの距離減衰の傾向をそれぞれよく説明しているが、地震動強さのレベルについてはほぼ1/2程度の評価になっていることが分かる。そこで、これらの関係式をそれぞれ2倍した点線を今回の地震に対する平均的な加速度最大値と考える。この2倍の差は震源からの距離の如何に関わらず現れているため震源特性の差によるものと考えられる。このことは、今回の地震が通常の(a)タイプの巨大地震に比べ震源において短周期地震動を強く励起したことを示している。

次にデータのばらつきが比較的少ない黒丸のデータとその平均値と見なした $A \times 2$ の点線に注目する。JMAと記した2つのデータは、いずれも釧路地方気象台での観測結果であり大加速度値を示したとして注目されているものである。図から分かるように平均的關係から約2倍弱のレベルにあることが分かる。釧路地方気象台では、1962年の広尾沖地震(Table 1参照)の際にも大加速度が記録され、その記録をめぐる地盤調査等が実施されている¹⁴⁾。それらの結果を参照するとここで示す2倍弱の差は主に気象台での深さ約30m以浅の表層地盤の影響によるものではないかと考えられる。

一方、*印を付けた襟岬のすぐ西側の観測記録¹³⁾に着目すると、これら2地点の結果は平均的な加速度レベルに比べて有に1/5程度になっている。襟岬付近は火山フロントから十分離れた太平洋に面する地域であり、先に指摘したLow-Qゾーンの影響は考えられない。また、地質図でみ限り表層地質は隣接する浦河や広尾と大きく変わるとも考えにくい。このような現象は以前から指摘されており、古村・森谷¹⁶⁾は日高山脈下の3次元Q構造を求め深さ75km以浅にLow-Qゾーンが存在することを指摘しているが、その実体は良く分かっていない。Fig. 4から分かるようにこれらのデータの平均値からのずれは釧路地方気象台の場合よりもはるかに大きく、今後さらに詳しい原因究明が必要であろう。

3.2 過去の地震との比較

今回の地震の加速度値が従来よく発生している (a) タイプの大地震に比べて平均的に2倍程度大きいことが、今回の地震特有の現象であるかまたはやや深発地震に共通する現象であるかを調べるため、Fig. 2の地震および比較のために震源が浅い地震に対して観測されている加速度最大値を検討した^{17) 18) 19) 20) 21) 22)}。Fig. 5は1987年1月に北海道で発生した地震のデータのうち火山フロントより太平洋側の観測点のものが示されている。Aは先に説明した金井式であり、図にはAの関係を2倍した関係も示されている。また、同図には1987年の地震とメカニズムがほとんど同じでマグニチュードもほぼ同じ1981年の地震に対するデータも震源距離Xに対してプロットされている。図の結果からこれら2地震の最大加速度値は今回の地震と同様金井式のレベルに比べ平均2倍程度大きいことが分かる。またJMAは釧路地方気象台の値、*は襟岬付近の観測点の値である。両者の傾向も今回の地震と同様である。

以上の地震がやや深発地震の下面の地震であるのに対して1987年1月に東北地方で発生した地震は上面の地震である。この地震に対する同様の検討結果をFig. 6に示す。Fig. 6には1987年の地震と同様上面の地震でしかもMがほとんど同じ1978年の地震のデータも震源距離Xに対して示されている。これらの結果はFig. 5の下面の地震程顕著でないが、やはりAの關係に比べて加速度が大きくなっていることが分かる。図には白丸と白三角で比較のために1987年に福島県沖で発生した(a)タイプの地震に対するデータも示されている。白三角で示す4月7日の地震は断層面上での応力の不均質性が非常に強く、通常の(a)タイプの地震に比べて短周期地震波の励起が大きい地震、白丸の2月6日の地震は通常の(a)タイプの地震であるといわれている²³⁾。2月6日の地震の加速度レベルが平均的にAの關係でよく説明されるのに対し、4月7日の地震の加速度値がAの關係よりやや大きめになっているのはこのためである。2つのやや深発地震は4月7日の地震とほぼ同じないしはやや大きめの加速度値を与えている。

このように加速度最大値で見ると、やや深発地震では同じ規模をもつ(a)タイプの地震に比べ、短

周期地震波の励起が多いことが分かる。釧路地方気象台での大加速度の原因は、地盤条件だけでなくこのような震源からの短周期地震波の励起の特性を反映したものであると考えられる。

4. やや長周期地震動

4.1 地域性

Fig. 7に気象庁による強震記録の例を示す。記録は一倍強震計と呼ばれる固有周期5ないし6秒の変位計によるもの、および近年配置がすすんでいる87型強震計の記録を一倍強震計相当の記録に直したものである。図には帯広(OUV)と広尾町茂寄(MYR)で北大理学部が速度計によって観測した速度最大値の値¹³⁾も示されている。図から分かるように釧路、広尾、八戸など硬質地盤上の観測点では、地震動の継続時間が20秒程度であるのに対し、十勝平野や石狩平野等千m以上の深さの堆積層上にある帯広や札幌では、主にそれらの影響で二次的に励起される表面波のため継続時間が長くなることが分かる。また、北大の結果から振幅の値も堆積平野では硬質地盤上と比べかなり大きくなるのがわかる。気象庁の一倍強震計は3cmで振り切れるため詳しいことはわからないが、過去の地震についても振り切れていた時間から以上のような傾向をよみとることができる。Fig. 8は巨大地震の際に地震記録が振り切れていた時間を観測点毎に示したものである。この図から明かなように札幌、苫小牧、帯広等平野部にある厚い堆積層上の観測点では、その他の硬質地盤上の観測点に比べ有意に地震動の継続時間が長いことが推測できる。今回の地震は震源位置が深いため震源付近からの表面波の励起が小さく硬質地盤ではやや長周期地震動の勢力は小さい。しかしながら堆積層が厚い平野では、二次的な表面波の励起等の影響で、振幅や継続時間が大きくなるため通常の浅い地震と同様これらの地域における長周期構造物への影響には十分注意する必要がある。

4.2 震動の方向性

地震が発生すると、どちら向きの震動が強かったかがよく話題になる。今回の地震の場合、家具や墓石等の物体の転倒や橋梁の被害の状況等から南北方

向の震動が強かったとの推定がある²⁴⁾。先に述べたように今回の地震の断層すべりの方向は平均的にほぼ南北方向であり、その運動から期待されるS波の震動は北海道の太平洋沿岸で南北方向に卓越することが予想される。

Fig. 9に、主に太平洋沿岸地域の観測点の加速度最大値、速度最大値、変位最大値のNS成分とEW成分の比を示した。変位最大値は87型強震計記録から固有周期5秒の変位計相当の記録を計算して得たものである。図から分かるように、変位最大値や速度最大値等のやや長周期成分の特性を反映する観測値は、震源のすべり方向から期待されるようにNS成分が大きい、短周期成分の影響を強く反映する加速度最大値ではそのような傾向は見られない。これは短周期地震動が震源での平均的なすべりよりもむしろ断層面上での局所的なすべりを反映することの他に、伝播経路の媒質による散乱、屈折、反射等の影響をより強く受ける結果であると考えられる。近年、断層モデルを用いた地震動評価が盛んに行われ一部は設計用入力地震動としても用いられているが²⁵⁾、その際にもこのような周期による地震動特性の差異を十分に考慮する必要がある。

5. 墓石の転倒率からみた地震動の強さ

5.1 対象周期

昔から墓石の転倒状況をもとに地震動強さが評価されており、特に加速度値を評価している例が多い。Ishiyama²⁶⁾は剛な単体の転倒問題を理論的、実験的に研究し、転倒現象と加速度、速度、変位等地震動強さの物理的指標との関連をまとめている。その中で、単体はある周期以下の地震動に対しいくらか大きな加速度を与えても倒れなくなること²⁷⁾を改めて指摘し、その周期Tcを以下のような式で表している。

$$Tc = \sqrt{H/16}$$

ここでHはほそ長く四角い単体の高さ (cm) である。

最近の墓石は規格化がすすみほとんどの墓石の高さは80cm前後、幅は30cm前後である。H=80cmとして上式からTcを求めると0.6secとなる。つまり墓石の転倒現象から推定できる地震動強さは0.6秒以上の周期帯に対するものであり、より短周期領域の地震動強さを良く反映する最大加速度値との関連は薄いと

考えられる。

5.2 調査結果と解釈

墓石の転倒率は地震発生直後直接現地調査をしたものと、しばらく後に市町村役場に電話で問合わせた結果によるものがある。²⁸⁾ 釧路・十勝地域では主な墓の管理は市町村単位で行われている場合が多く、池田町等一部の例外を除き、地震発生直後に市町村の担当職員が墓石の転倒状況を含む墓地の様子を調査し、その際の資料が保管されていた。

Fig. 10に転倒率の分布を示す²⁸⁾。先に示したように今回調査の対象とした地域では、おしなべて観測された最大加速度値が300galを越えているが、墓石の転倒率は以外に小さい。その原因として、上記Tcの影響があるものと考えられる。調査結果から表層地質と転倒率の関連等をまとめると以下のような点を指摘することができる。(調査結果の詳細は文献²⁸⁾参照)

(1) 沖積層が薄い洪積以前の締った地盤(釧路のfや十勝平野西部例えばaやd付近)や、沖積れきで構成された地盤(例えばc付近)での墓石転倒率は比較的小さい。

(2) 全般に最大加速度値が大きいにも拘らず、建物の震動による被害は小さいが、音別、白糠、糠内、高島等沖積層ないしはその近傍の墓石転倒率が大きい地点では、倉庫、体育館、店舗等、比較的規模が大きい木造建物の震動被害がよく見られる。

(3) 墓石転倒率からみると、震動の強い中心は音別付近にあることが分かる。

このように墓石転倒率は地盤条件や建物被害と関連しているように見える。さらに地震動強さとの関連を検討するため震度調査の結果と比較する。震度については、市町村毎にアンケート調査によって詳細な分布が求められている²⁹⁾。この震度分布は市町村の平均として求められているため、それに対応する墓地としてできるだけ大規模な公共墓地で人口が比較的密集している地域に近いものを選び、震度と転倒率の関係を求めた。Fig. 11にその結果を示す。これによれば震度と墓石転倒率の相関は良く、震度5.0以下では、墓石はほとんど転倒せず、5.5でほぼ

半分が転倒する関係が得られた。比較的震度の高い場合、震度は最大加速度値との相関が弱く最大速度値とよく相関するとの結果³⁰⁾があるが、先に指摘した墓石の転倒に関わる地震動の周期帯を考慮すると、震度と墓石転倒率の相関が高い理由も理解できる。

Fig. 1 1 によく知られた村松³¹⁾による震度と最大速度値の関係を加える。白四角は観測された速度最大値と観測点を含む市町村の平均震度の対応を示す。広尾では北海道大学の茂寄の観測点の地下壕の中、厚岸では電力中央研究所の観測点が地盤が比較的硬い場所を選んで地震計を設置しているということで、観測された速度最大値がやや小さいのはこれら設置状況と関連している可能性がある。これら設置状況を考慮すると震度と最大速度値の関係は概ね村松の式³¹⁾で説明されているといえる。

Ishiyama²⁶⁾は単体が転倒しはじめる速度と単体の形状との関係を半実験式によって評価している。先に指摘したようにほとんどの墓石がほぼ80cmx30cmの形状をしておりその形状に対する転倒速度を半実験式より求めると35cm/secとなる。ほとんど全ての墓石の形状が80x30cm付近に集中していることから、その転倒速度が転倒率0.5に対応すると考えると図の白三角(80x30cm)のようになる。この結果は先に求められた震度と墓石転倒率との関係とよく整合する。参考のためそれよりやや小さく、今回調査した墓石のサイズのほぼ下限と考えられる60x20cmに対する転倒速度を求めると転倒率が上昇しはじめる点に対応することも分かる。Fig. 1 1の結果を基にFig. 1 0の転倒率の分布を見ると、転倒率が大きく大きい丸で示された音別付近では地震動の速度は50cm/sec程度、中くらいの丸印で示す地域は30cm/sec程度、十勝平野の西部の洪積台地等では転倒率がほとんどゼロに近く速度が25cm/sec以下であったと推定される。

6. まとめ

1993年釧路沖地震は強震動について我々にいくつかの知見を提供してくれた。それらは既に指摘されていることもあれば初めてのこともある。主な点をまとめると以下ようになる。

(1) 震源が深く今まで工学的には見過ごされがち

であったやや深発地震でも大きな被害を出す場合がある。やや深発地震の発生域はすでに特定されている⁴⁾。その中から今回のような大規模な地震が発生する可能性のある地域を見つけ出す努力が今後必要であり、一部の試み¹⁰⁾は本稿でも紹介している。

(2) 過去のやや深発地震に対し観測された最大加速度値と今回の地震に対する観測結果をみると、この種の地震は震源から強い短周期地震波を励起し、震源が浅い通常の地震に比べ同じ震源距離の観測点において最大加速度値が大きくなる性質がある。

(3) 震源が深いため震源付近からの表面波の励起が小さく硬質地盤ではやや長周期地震動の勢力は小さい。しかしながら堆積層が厚い平野では、二次的な表面波の励起等の影響で、振幅や継続時間が大きくなるため通常の浅い地震と同様これらの地域における長周期構造物への影響にも十分注意する必要がある。

(4) 一般に地震動は周期によってその特性が異なるため、単一のパラメータ(例えば最大加速度値)で全てを評価すると大きな誤りを犯す可能性が高い。さらに工学的には対象構造物の周期特性も考慮し、適切な入力地震動評価が必要である。

なお、今回の地震の震源位置、震源メカニズムならびに震源パラメータに関する検討は最近まとめられた科学研究費報告書³²⁾に詳しく記載されているのでそちらも参照されたい。

謝辞

本稿で用いた気象庁の記録は各気象台および本庁から御提供頂いた。電力中央研究所澤田博士には強震観測データの速報を見せて頂いた。やや深発地震については弘前大学小管博士に貴重なご意見を頂き資料もを見せて頂いた。また87型強震計データの解析処理は鹿島小堀研究室の山中博士によるものである。以上の方々には心より御礼申し上げます。

参考文献

1) 笠原稔, 本谷義信, 小平秀一: 1993年1月15日釧路沖地震(M=7.8)とその周辺の前後の地震活動: 1993年1月15日釧路沖地震被害調査報告, 土木学会耐震工学委員会, pp.1-4, 1993.

- 2) 武村雅之：1993年釧路沖地震の発生メカニズムと強震動の特徴，日本火災学会誌，43，pp.11-16,1993.
- 3) 笹谷努：北海道及びその周辺における地震の起こり方、北海道における地震災害の地域性に関する調査研究 I，pp.27-35,1987.
- 4) 海野徳仁，長谷川昭，高木章夫，鈴木貞臣，本谷義信，亀谷悟，田中和夫，澤田義博：北海道および東北地方におけるやや深発地震の発震機構—広域の震動データの併合処理，地震2，37，pp.523-538,1984.
- 5) 鈴木貞臣：1987年1月14日日高山脈直下のやや深発地震（ $M=6.9$ ）について，地震学会春季大会講演予稿集，p.5,1987.
- 6) 鈴木貞臣，笠原稔：1981年1月23日日高西部のやや深発地震（ $M=7.1$ ），地震予知連絡会会報，昭和56年8月，pp.6-8.
- 7) 仙台管区気象台：岩手県中部の地震活動（1987年），地震予知連絡会会報，昭和62年8月，pp.45-52.
- 8) 東北大学理学部：1978年2月20日の宮城県沖の地震について，地震予知連絡会会報，昭和53年8月，pp.16-23.
- 9) ハーバード大グループ：1993年釧路沖地震CMT解速報，1993.
- 10) 佐藤魂夫，小管正裕，長谷川昭，鈴木貞臣，本谷義信：東北、北海道におけるやや深発地震のメカニズム解の空間分布，科学研究費重点研究：内陸地震活動の総括的評価に関する研究，1993.
- 11) 武村雅之：地球内部における地震波の減衰と距離減衰式，第15回地震震動シンポジウム—地盤における地震動の減衰評価，pp.33-46,1987.
- 12) 武村雅之，太田外気晴，池浦友則：大地震により励起された短周期地震波の減衰過程，鹿島建設技術研究所年報，32，pp.135-140,1984.
- 13) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報—1993年1月15日 平成5年（1993年）釧路沖地震，No.41,1993.
- 14) 大沢胖（代表）：広尾沖地震における釧路の強震記録と構造物の被害について，昭和43年度文部省科学研究費報告書，1969.
- 15) 電力中央研究所：1993年釧路沖地震の岩盤強震観測データ，1993.3.
- 16) 古村孝志，森谷武男：日高山脈とその周辺の3次元Q構造，地震2，43，pp.121-132,1990.
- 17) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報—1978年2月20日 宮城県沖地震，No.14,1978.
- 18) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報—1981年1月23日 北海道日高地方西部地震，No.18,1981.
- 19) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報—1987年1月9日 岩手県中部地震，No.32,1987.
- 20) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報—1987年1月14日 日高山脈北部地震，No.33,1987.
- 21) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報—1987年2月6日 福島県沖地震，No.34,1987.
- 22) 強震観測事業推進連絡会議：強震速報—1987年4月7日 福島県沖地震，No.36,1987.
- 23) Takemura, M., T. Ikeura, and T. Uetake : Characteristics of source spectra of moderate earthquakes in a subduction zone along the Pacific coast of the Southern Tohoku district, Japan, J. Phys. Earth, 41, pp.1-19, 1993.
- 24) 鹿島建設：1993年1月15日釧路沖地震被害調査報告書，1993.2.
- 25) 太田外気晴，嶋悦三，丹羽正徳，池浦友則，武村雅之：東京湾岸における高層建築物の耐震設計用入力地震動評価，日本建築学会構造系論文報告集，426，pp.47-57,1991.
- 26) Ishiyama, Y.: Criteria for overturning of bodies by earthquake excitations, Trans. of A. I. J., 317, pp.1-70,1982.
- 27) 望月利男，小林計代：単体の運動から地動加速度を推定するための研究—単体の動的挙動の解析，日本建築学会論文報告集，248，pp.63-70,1986.
- 28) 武村雅之，鈴木康嗣：墓石等の転倒率よりみた1993年釧路沖地震の地震動強さ—釧路・十勝地方の状況，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.7-8,1993.
- 29) 鏡味洋史，岡田成幸：1993年1月15日釧路沖地震の北海道内広域震度分布調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.9-10,1993.
- 30) 岡田成幸，鏡味洋史：震度と強震動指標の関係の考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.369

-370,1987.

31) 村松郁栄：地震動の極値および振動継続時間について，地震2，29， pp. 223-232, 1976.

32) 鏡味洋史（代表）：1993年釧路沖地震による被害の調査研究、文部省科学研究費突発災害調査研究，1993.

Table 1 Damaging earthquakes in the Hokkaido region after 1930²⁾.

タイプ	年月日	地域	深さ(km)	M
M ≥ 7	1952. 3. 4	十勝沖	0	8.2
	1961. 8.12	釧路沖	80	7.2
	1962. 4.23	広尾沖	60	7.0
	1964. 6.23	根室沖	80	7.1
	1968. 5.16	青森東方	0	7.9
M ≥ 6.5	1973. 6.17	根室沖	40	7.4
	1932.11.26	日高支庁	20	7.0
	1967.11. 4	釧路支庁	20	6.5
	1970. 1.21	日高山脉	50	6.7
M ≥ 6.5	1982. 3.21	浦河沖	40	7.1
	1965.10.26	国後南岸	160	7.1
	1974.11. 9	胆振沖	130	6.5
	1981. 1.23	日高支庁	130	7.1
	1987. 1.14	日高山脉	123	6.9
	1993. 1.15	釧路沖	107	7.8

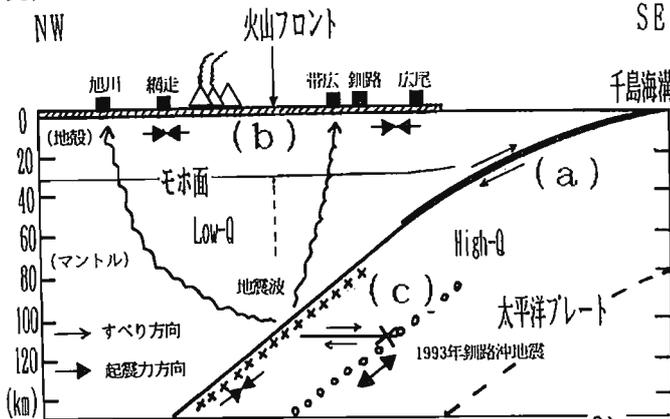


Fig.1 Tectonics of Eastern Hokkaido region²⁾.

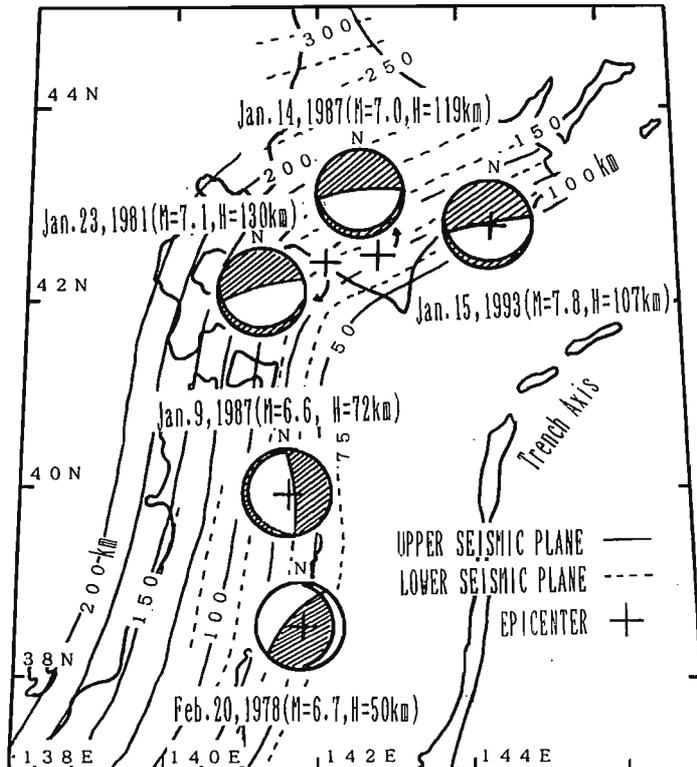


Fig.2 Focal mechanisms of large intermediate-depth event and the double-planed seismic zone. Focal mechanisms are shown by the lower hemisphere projected on the equal area net. Shaded areas correspond to the expected compressional first arrivals of P-waves. Crosses designate locations of epicenters of these events. Solid and dotted curves are contours of hypocentral depths to the upper and lower seismic planes, respectively.

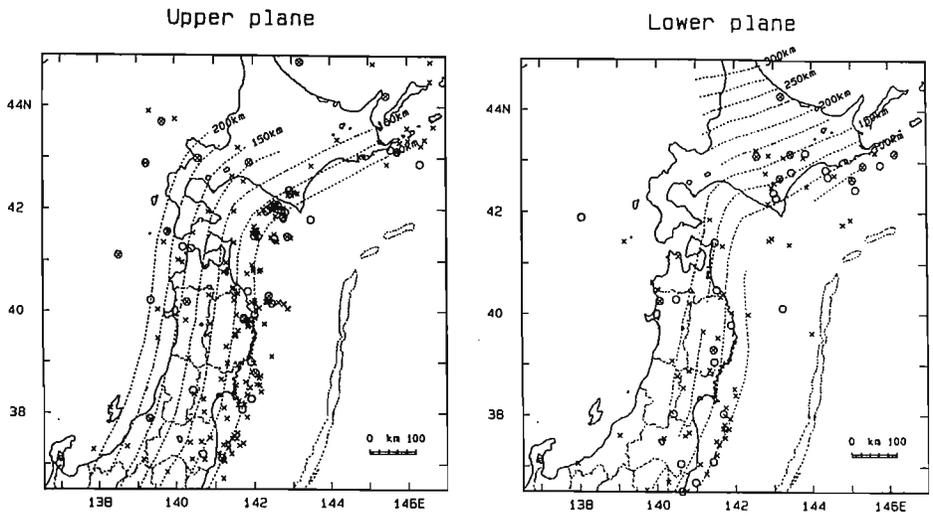


Fig.3 Distribution of intermediate-depth events with horizontally extending fault planes (indicated by open circles)¹⁰⁾. Dotted curves indicate contours of hypocentral depths to the upper and lower seismic planes.

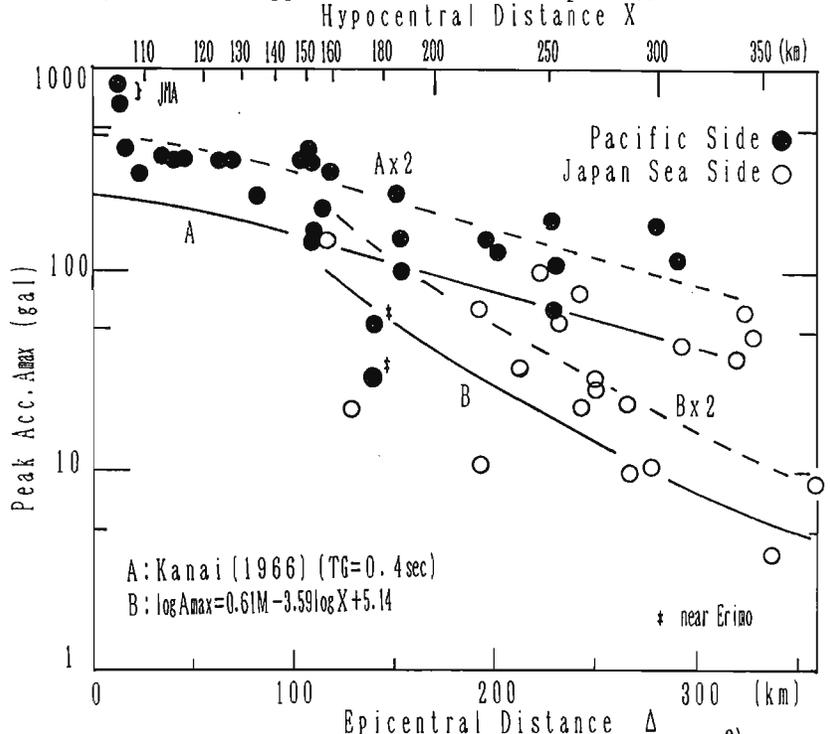


Fig.4 Peak accelerations from the 1993 Kushiro-oki earthquake²⁾. The values are the average of NS and EW components. Solid and open circles designate the data in the eastern and the western regions. These regions are bounded by the volcanic front. The curve A shows the attenuation relation by Kanai (1966), which satisfies the data in the eastern region from the large shallow thrust events along the Japan trench and the Kurile trench¹¹⁾¹²⁾. The curve B shows the attenuation relation by Takemura (1984), which satisfies the data in the western region¹¹⁾¹²⁾. JMA and * indicate the data at Kushiro observatory of Japan Meteorological Agency and the data near Erimo Cape, respectively. Peak accelerations from the Kushiro-oki event can be explained by doubles of the A and B curves on the average.

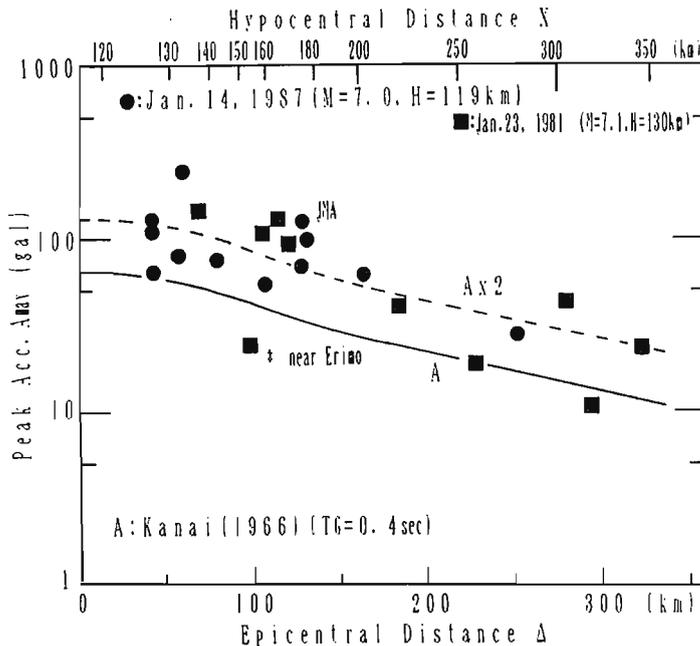


Fig.5 Peak accelerations in the eastern region from the 1987 Hidaka earthquake (indicated by circles). Solid squares indicate the data for the 1981 Hidaka earthquake, which are plotted for the hypocentral distances. Other explanations are shown in the caption of Fig.4.

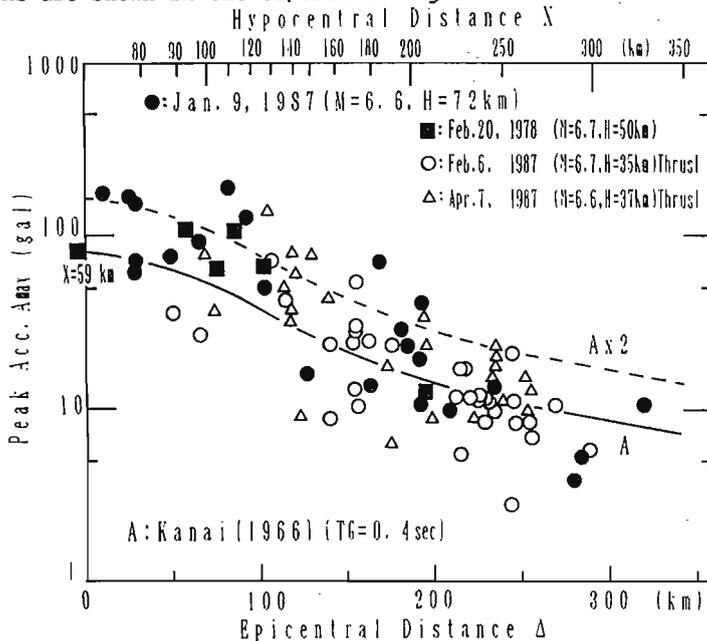


Fig.6 Peak accelerations in the eastern region from the 1987 Central Iwate Prefecture earthquake (indicated by solid circles). Solid squares indicate the data for the 1978 off Miyagi Prefecture earthquake, which are plotted for the hypocentral distances. These two events are intermediate-depth earthquakes. Open circles and squares show the data from the two shallow thrust events of Fukushima Prefecture, which are also plotted for the hypocentral distances. The April 7th event is a high frequency event, while the Feb. 6th event is a normal event²³⁾. Other explanations are shown in the caption of Fig.4.

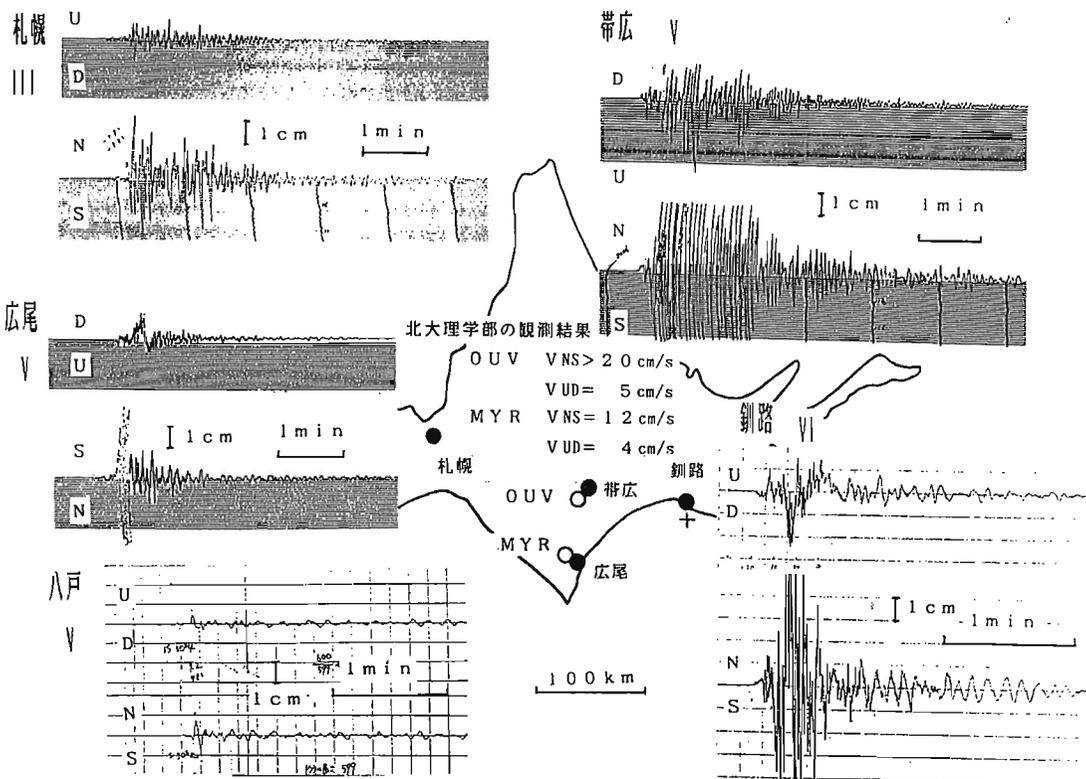


Fig.7 Displacement seismograms by JMA from the Kushiro-oki earthquake²⁾. Natural periods of the seismographs are 6 and 5 sec for horizontal and vertical components, respectively. The maximum velocities observed by Hokkaido University are also written in the figure.

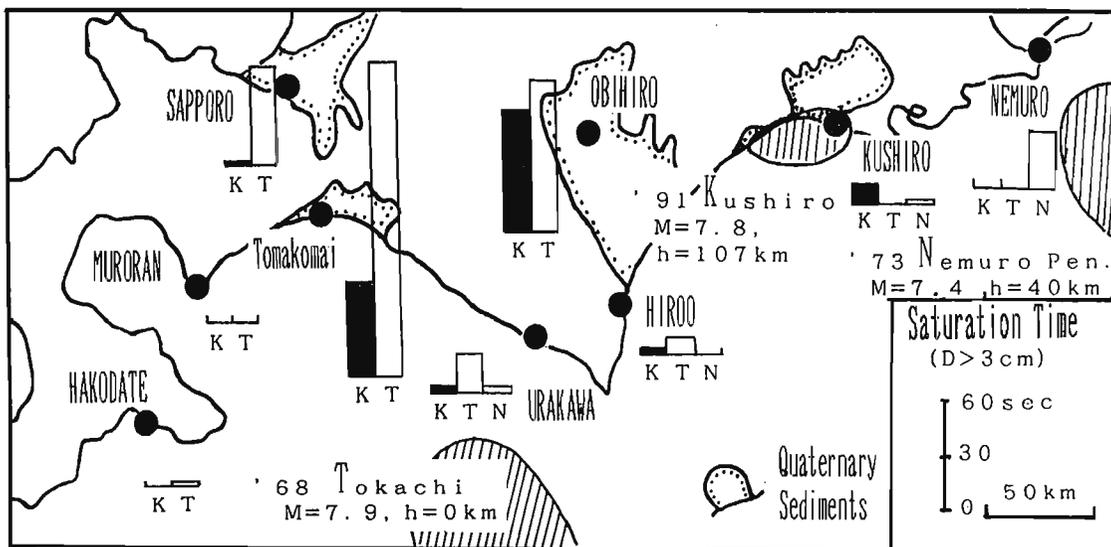


Fig.8 Times of the amplitudes larger than 3 cm on displacement seismograms by JMA from the Kushiro-oki event and two large shallow thrust events²⁾. The old type seismograph by JMA is saturated with the amplitudes larger than 3 cm. The saturation time for the Kushiro-oki event is long at the stations on the Quaternary plains as like that for the shallow thrust events. K, T, N indicate Kushiro, Tokachi, and Nemuro-oki events, respectively.

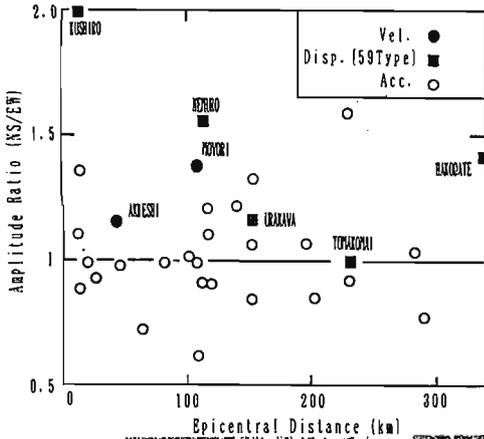


Fig.9 Ratio of the maximum amplitude in NS component to that in EW component for acceleration, velocity, and displacement records for the Koshiro-oki earthquake²⁾. The displacement records are observed by the 59-type seismographs with natural period of 5 sec.

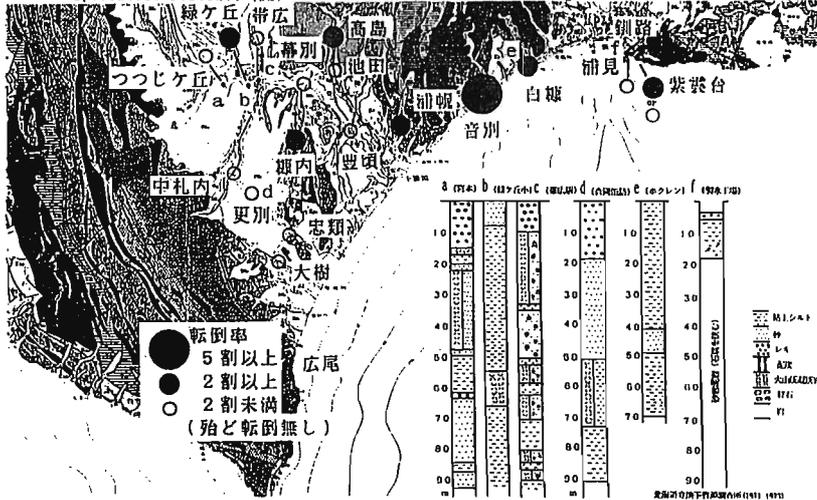


Fig.10 Distribution of the ratio of overturning tomb stones and surface geology²⁸⁾. Larger solid circles show the ratio larger than 50%, and smaller solid circles show the ratio from 20 to 50%. Open circles smaller than 20%.

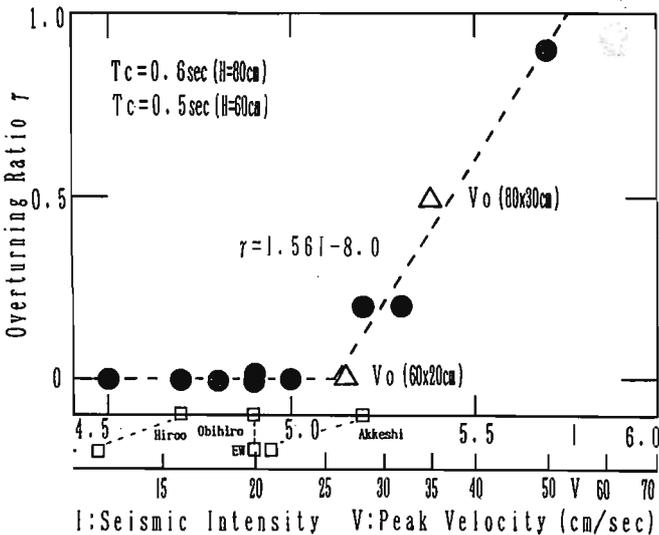


Fig.11 Relation between the ratio of overturning tomb stones and the seismic intensity in JMA scale²⁸⁾. The seismic intensity is examined for every municipality by Kagami et al.(1993)²⁹⁾. Relation between seismic intensity and peak velocity by Muramatsu (1976)³⁰⁾ is used. Squares indicate observed peak velocities at observation stations and seismic intensities at corresponding municipalities. Solid circles show the ratios of overturning tomb stones at graveyards for the seismic intensities at corresponding municipalities. Triangles indicate peak velocities evaluated from the proportions of the tomb stones with the standard and the smallest sizes by using a criteria²⁶⁾ for overturning of rigid bodies.

3 . 1962年広尾沖地震に関する研究
成果とその後の地震工学に提起
された諸課題



1962年広尾沖地震に関する研究成果と その後の地震工学に提起された諸課題

The Studies on the 1962 Hiroo-oki Earthquake and the Problems Presented

長 橋 純 男
Sumio NAGAHASHI

The Hiroo-oki, Hokkaido in the north part of Japan, earthquake of 23 April 1962 ($M_{JMA}=7.0$) was, from the point of view of earthquake engineering, very interesting event. The strong motion accelerometer installed at the meteorological agency in Kushiro City, which locates at 90km north-northeast from the epicenter, recorded the maximum amplitude of 385gal. The maximum peak acceleration of "385gal", larger than that of the strong motion accelerogram recorded at El Centro in 1940, was the world new record at the time. This earthquake, however, caused little damage to buildings and civil engineering structures in Kushiro City. Then, the researchers in the field of earthquake engineering organized the research group, and they studied on these strange phenomena on the base of several kinds of viewpoints and methods. This paper, in comparison to the strong motion accelerograms observed in the Kushiro-oki earthquake of 15 January 1993, shows the outline of these cooperative research results and the problems presented to earthquake engineering.

§ 1. はじめに

1962年4月23日14時58分に北海道広尾沖に発生した地震(以下「1962年広尾沖地震」と呼ぶ)は、当時の地震工学界において、不可思議な地震事象との印象を強くもたれた、興味尽きない地震であった。

この1962年広尾沖地震による北海道各地の震度階は、

震度Ⅴ：広尾、帯広

震度Ⅳ：釧路、浦河、苫小牧

震度Ⅲ：根室、旭川、網走、札幌、室蘭、函館

の如くであり、また被害の概要も「津波はなかった。十勝川流域の池田地方に被害の中心があった。傷3、住家被害158、集合煙突の破損多く、建物は半壊2で、他は小被害。道路の亀裂・崩壊も諸所にあった」¹⁾という具合であって、“大震災”というわけでは決して

ない。震度Ⅳの釧路市においても、構造物には殆ど被害がなかった。しかしながら、釧路気象台に設置されていたSMA C型強震計がこの地震の際に記録した加速度記象からは、385galの最大振幅が読みとられた²⁾。この「最大加速度振幅385gal」という値は、1940年のインペリアルバレー地震によるエルセントロでの加速度記録の最大振幅を超える大きなものであり、したがって当時の“世界新記録”たる大加速度を記録したことになるものであった。

この様な「大加速度の強震動」と「被害僅少」との関係については、当然のことながら、当時の地震工学界において大きな問題として注目されることとなった。そして、後述する如く、この地震についての調査研究が文部省科学研究費等の支援を得てなされることにな

長崎総合科学大学工学部建築学教室・教授・工学博士
Professor of Nagasaki Institute of Applied Science, Dr. Eng.

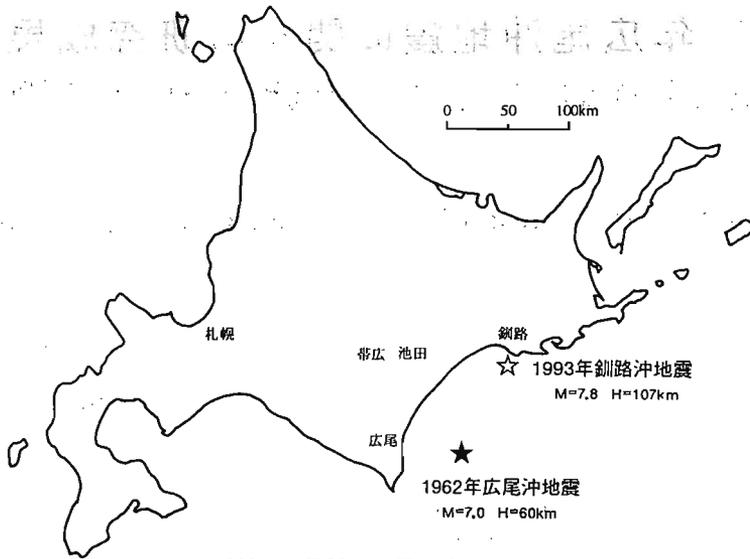


図1 1962年4月23日広島沖地震の震央位置

るのであるが、その研究代表者の1人でもあった金井はこの辺の事情に関連して、「地震計記録と震害実態との関係で、記録的な騒ぎは Long Beach 地震の際の Long Beach であったが、Kern County地震の際の Los Angeles、1957年の San Francisco 地震などでも話題になっていたところに、広島沖地震の釧路の記録は、Imperial Valley 地震の El Centro の記録を上廻っていたのに、建物の振動的被害が無かったので、建築構造設計者に強い衝撃を与えたもので、公の組織的な研究としては非常に微妙な環境下にあった⁴⁾と述懐していることから、当時の雰囲気が推察されようというものである。その様な中で、1963年から1968年にかけての約5年間にわたり、文部省科学研究費(特定)「構造物に対する地震動の応答に関する研究」(研究代表者:金井清)を始めとする5件の協同研究(以下「協同研究」と略称する)が実施された。因みに、これらの協同研究が進められていた5年間には、松代群発地震の最盛期に保科で観測された地震動が0.5g以上の加速度を記録し、またその3ヶ月ほど後には米国の Parkfield地震でも Cholame No. 2において0.5gに迫る加速度振幅が観測されるなど、1962年広島沖地震による釧路気象台での SMA C 記象の“世界新記録”たる地位の寿命は4年ほどで消えることになるのである。そして、これら協同研究の最終年度には、かの1968年十勝沖地震(M=7.9)が発生し、やや長周期成分の顕著

に卓越した SMA C 記録が多く観測されて、いわゆる「超高層時代の幕開け」に「手荒なメッセージ」を送ったものである。広島沖地震に関する協同研究はこの様な中で進められたのである。そして、その総合的な研究成果が1969年3月に公表され²⁾(以下『研究成果報告書』と略記する)、その概要については、翌1970年5月の報告会、および同年11月に開催された第3回日本地震工学シンポジウムにおいても報告された³⁾。

本稿は、主として上記の協同研究についてレビューすることにより、「大加速度と被害僅少」という不可思議な地震事象と思われた諸問題について当時どの様な研究がなされたのか、そしてそれらの研究成果の上にならって、なお今後への研究課題として認識されていた問題はどの様な事項であったのかについて概観し、もって此度の1993年1月15日に発生した釧路沖地震にみられた同様の「大加速度と構造物の振動的被害僅少」の現象について考察することへの参考に供しようとするものである。

§ 2. 1962年広島沖地震と被害の概要

図1に示すように、この地震の震央は北海道広島町の東方沖50kmの東経143°55'、北緯42°14'に位置し、震源深さ60km、地震規模はM=7.0の地震である。被害は、震度Vの広島町とその北方25kmの大樹町、それに同じく震度Vの帯広市の東方10~20kmで十勝川流域に

表1 主要被災地における負傷者及び建築土木被害²⁾

被害区分	広尾町	大樹町	池田町	幕別町
重 傷			1	
住宅被害	1	20	53	40
小中学校	2	7	19	9
道 路			6	
橋 梁			3	
水 道	18		4	

位置する池田町と幕別町とに集中しており、これら4町の負傷者及び建築・土木構造物関連の主要な被害は表1（『研究成果報告書』をもとに作成）に示すとおりである。これら各地の被害を局所的にみるならば、軟弱地盤よりもむしろ見掛け上は割合に地盤の良い地域で、木造建築物以外のものに目立って被害が生じており、このことはこの地震による地盤震動の状態が震源の浅い地震による場合とは異なっていたものと思われる旨の推察が、報告されている。⁸⁾

そこで、震央距離で90km以上（震源距離で110km）離れた釧路市における人的被害及び構造物被害等について、『研究成果報告書』の記載から被害状況を抽出してみれば、幣舞橋付近で土砂くずれ（10立米崩落）、釧路-新富士間で橋梁1件に被害、東釧路で建築物被害が1件、一般市街電話の不通93回線、一般市内電話の不通200回線、トランス落下4件、高圧線断線2件、

高圧線混線2件、その他一時停電、という被害状況であった。いずれにせよ、被害はさして大きなものとはいいがたいのである。

§3. 釧路気象台のSMAC強震計による観測記録

さて、建設省建築研究所によって1959年に釧路気象台に設置されていたSMAC-A型強震計（固有周期 $T=0.1$ 秒、減衰定数 $h=1.0$ ）は、この1962年広尾沖地震による強震動の観測に成功した。その加速度時刻歴の28秒間の記録を図2に示す。この加速度振幅の時刻歴でみるならば、主要動部の継続時間は10秒程度である。この地震の規模が $M=7.0$ であることからから考えれば、包絡線関数の既往の提案式⁹⁾や地震動継続時間の経験式⁹⁾を適用して得られる値におおよそ対応する継続時間とみなせるものであって、此度の1993年釧路沖地震で釧路気象台において観測された強震動現象の主要動継続時間（翠川⁷⁾によれば、「0.05gを最初に上回ってから最後に下回るまでの時間」によって継続時間を定義すれば、「約60秒」の継続時間と見積もられている）に比べれば、かなり短い継続時間ということになる。ところで、この強震動の水平動2成分のうち最大加速度振幅の大きな方のN21W成分について、その加速度応答スペクトルを図3に示す。この図から知れるように、この強震記録は周期 $T=0.33$ 秒付近に鋭いピークをもち、その前後の周期では顕著な減衰性を示すという特徴的な周期特性を有する強震動である。すなわち、仮に固有周期 $T=0.33$ 秒で減衰定数 $h=5$ ％の構造物であれば、弾性応答なれば2gにもおよぶ

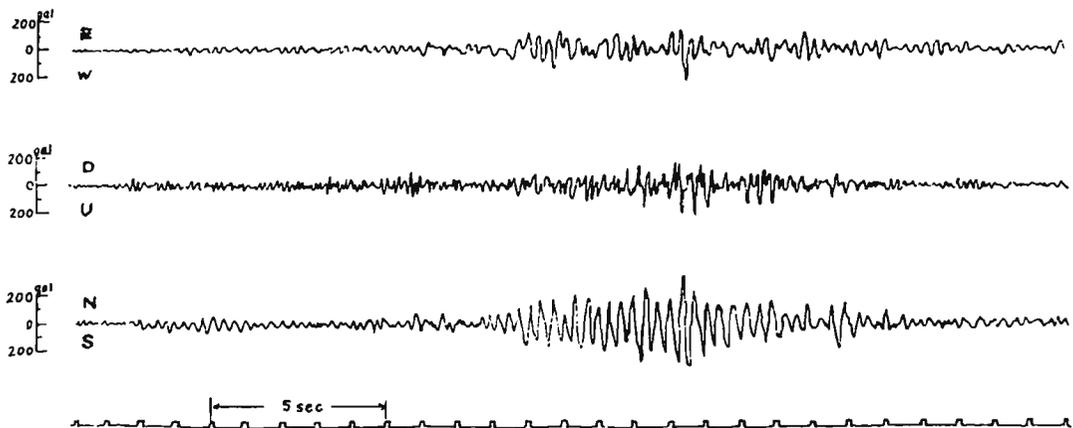


図2 1962年4月23日広尾沖地震の釧路気象台SMAC強震計による加速度記録

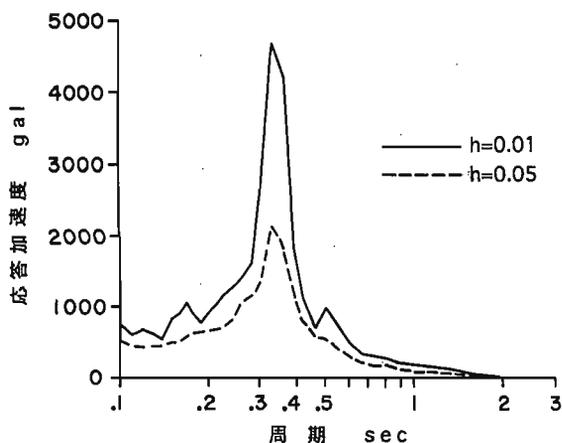


図3 加速度応答スペクトル KUSHIRO A 1962 N21W

ほどの大きな加速度応答を履歴した筈ということになる、そのような強震動記録である。

§4. 協同研究における問題意識

協同研究においては、第一に、観測された強震計記録が、釧路気象台或いはその周辺地域の地動加速度を忠実に表していたかどうかについて検討を行うとともに、第二には、加速度が大きいのに被害の殆どなかった事実をどの様に解釈するのか、について調査研究を行っている。すなわち、

- ① 強震計設置条件の検討—強震計基礎の強制震動実験とそのロッキング振動解析
- ② SMA C記録のスペクトル解析による検討、並びに強震計設置点近傍や同市港湾の記録との比較検討
- ③ 釧路地域一帯の地質調査
- ④ ボーリング、弾性波探査、常時微動測定等による同地域地盤の振動特性の調査
- ⑤ 強制振動実験、常時微動測定による周辺、建築物の振動特性の調査、及びそれらの地震応答解析による検討

の諸項目を挙げて協同研究を行った。そして、これらの結果を総合的に検討して、この問題に関してある程度の結論を導くとともに、強震計記録の取扱いや耐震設計への適用上の問題点について有益な示唆を得た、としている²⁾。そこで以下に、これら協同研究成果のいくつかについてその概要を記し、あわせてその後の地震工学界に託された諸問題を挙げてみる。

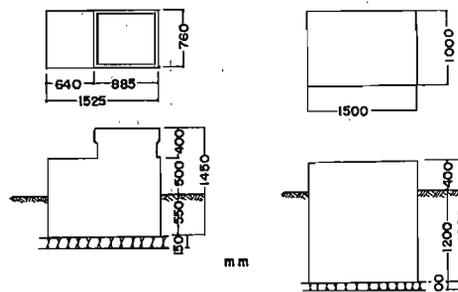


図4 釧路気象台のSMA C設置台 (Aが旧、Bが新)

§5. SMA C設置台の検討

1962年広尾沖地震を観測した強震計の記録について、400gal近い大きな加速度が生じたこと、また記録そのものにBeat現象もみられたことなどを解明する一助として、酒井はSMA Cが設置されている台の特性による影響の有無について検討した。図4のAは、1962年広尾沖地震を観測した強震計の設置台であり、Bはこの協同研究のための比較観測の必要から建築研究所が更に1台のSMA C-A型を庁舎屋外に追加設置したが、その強震計のために新設した特設基礎である。

そこで、このSMA C設置台について、起振機による振動実験をSMA C自身と固有周期1秒の地震計を用いて行うとともに、SMA C設置場所の後庭及び前庭それにSMA C台上での常時微動測定を行っている。これらの結果は、表2に示すとおりである。これらの結果より、図3の加速度応答スペクトルにみられる顕著なピーク周期については、SMA C設置場所での常時微動測定によってNS方向に $T=0.14\sim 0.16$ 秒あるいは $0.26\sim 0.33$ 秒のピークが認められることを示すとともに、SMA C強震計によるNS方向の記録にBeat現象が現れていることについては、固有周期1秒の地震計を用いた起振機実験によるSMA C台のNS方向周期 $T_{NS}=0.25\sim 0.3$ 秒から説明できるとしている²⁾。

また、田治見はSMA C設置台(図4のA)について、ロッキングとスウェイとの連成振動として数理解析を行い、前記強制振動試験との比較を行っている。解析に用いた仮定及び結果は表3に示すとおりであり、解析結果はNS、EW両方向とも実測1次周期と比較的よい一致を示している²⁾。

表2 強震計基礎の常時微動測定及び振動実験²⁾

方向	SMAC 設置場所 常時微動T (sec)	SMAC台 常時微動 (sec)	SMAC台の振動実験	
			SMAC 記録 (sec)	長周期 地震計 (sec)
N S	0.14~0.16 or 0.26~0.33	0.22 及び 0.25	0.23	0.25~0.3
E W	0.14 及び 0.17		0.13	0.1前後

表3 強震計基礎のロッキングの数理解析結果²⁾

		N 2 1 W	N 6 9 E
台の底面積	(cm ²)	115.90	
k h'	(kg/cm ³)	2.0	
k v'	(kg/cm ³)	3.0	
重量	(kg)	33.66	
底面より重心までの高さ	(cm)	65.6	
水平方向の定数	(kg/cm)	2.318x10 ⁴	
回転ばね定数	(kg/cm)	1.674x10 ⁷	6.738x10 ⁷
重心まわりの慣性モーメント	(cm ⁴)	2.513x10 ⁶	6.673x10 ⁷
計算結果	1次固有周期 (sec)	0.26	0.14
	2次固有周期 (sec)	0.04	0.05
実測1次周期	(sec)	0.23~0.3	<0.15

§ 6. SMAC強震記録についての検討

小林は、図2の観測記録について、これをA-D変換装置により読みとり（読みとり間隔は0.01秒）、ゼロ線決定、記録の送り速度補正、記録ペンの円弧補正、振子の特性補正（周期T=0.1秒、減衰定数h=1.0としている）を施して、Δt=0.01秒の加速度時刻歴を求めている。これによる最大加速度振幅は、N21W成分が513gal、N69E成分は255galである。そこで、この地震動の応答スペクトルであるが、N21E成分の加速度応答スペクトルは図3に示すように、T=0.33秒に非常

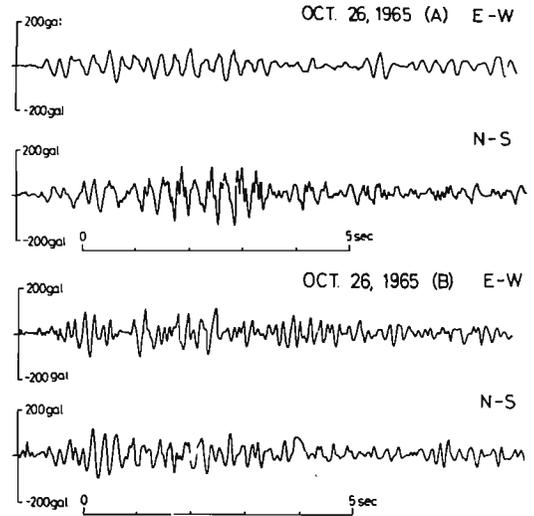


図5 1965年国後島沖地震の釧路気象台同時観測記録

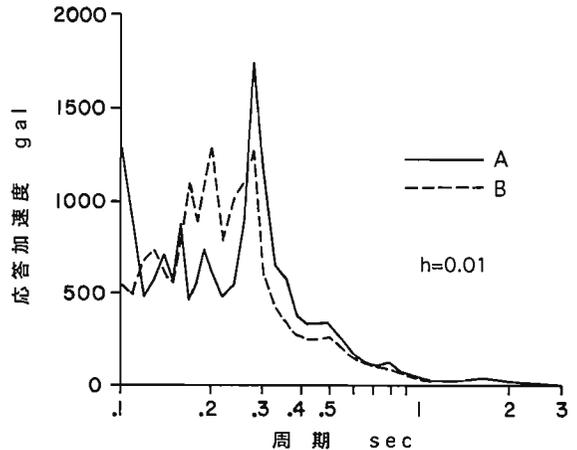


図6 1965年国後島沖地震の釧路気象台同時観測記録の加速度応答スペクトルに関する比較

に顕著なピークを有することについては先に述べたとおりであり、その他の周期成分についてはあまり優勢な成分が見当たらない。ただし、もう一方の水平成分であるN69E成分のスペクトルにはT=0.26秒に顕著なピークを有するほか、他の周期成分にも幾つかピークがみられるものであって、前記N21W成分のそれとはだいぶ特性を異にしたものとなっている。

さて、前節にも述べたように、1962年広尾沖地震の釧路気象台でのSMAC記録について、基礎の特性と強震記録との関係の有無に関する検討を行うために、図4に示すような既設SMACの基礎とは振動特性の異なる基礎を、既設位置から約30mほど離れた気象台

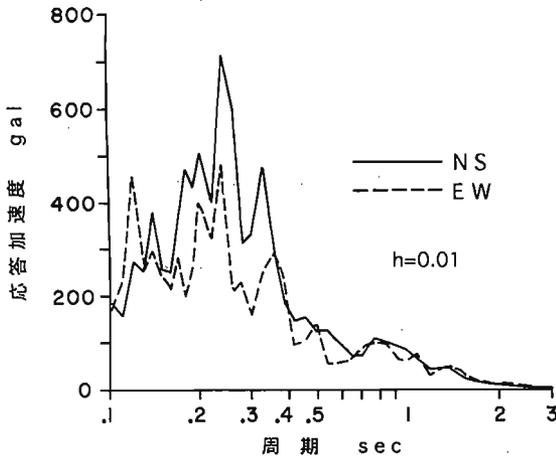


図7 1965年国後島沖地震の釧路港湾SMAC記録の加速度応答スペクトル

構内に新設し比較観測を始めた（既設のSMACをA、新設のをBとする）。折から釧路市に震度IVをもたらした1965年10月26日の国後島沖地震（ $M=6.2$ ）において、これら2台のSMACは強震動の同時観測に成功した。その加速度記録を図5に、また加速度応答スペクトル（ $h=1\%$ ）を図6に示す。AとBの両地点は地盤特性に殆ど差はないものと考えられ、同時観測記録のあいだに相違があるとするならば、それは主として基礎の形状の違いによる影響であると考えられたが、それは0.25秒より短周期の部分のみであらわれていることが知れた。このことに基づいて、小林は、1962年広尾沖地震のSMAC記録の応答スペクトルにみられた顕著なピークの $T=0.33$ 秒に対しては、基礎の振動特性は大なる影響を与えていないものとみなされること、また0.25秒より短周期成分にみられるA及びBの両者の相違が加速度記録の様相と最大加速度値に相違をもたらす結果となっていること、との理解を示している²⁾。

なお、この1965年国後島沖地震については、運輸省港湾技術研究所によって釧路港湾に設置されていたSMAC-B型強震計もこの地震の観測に成功している。図7はその水平2成分の加速度応答スペクトルであるが、小林は、港湾の記録は釧路気象台のSMAC記録のそれに比べてやや複雑なスペクトル特性を示し、短周期についてピークが数多く見受けられるのみならず、1秒附近にも釧路気象台の記録にはないピークが見られることを、その特色として指摘している²⁾。

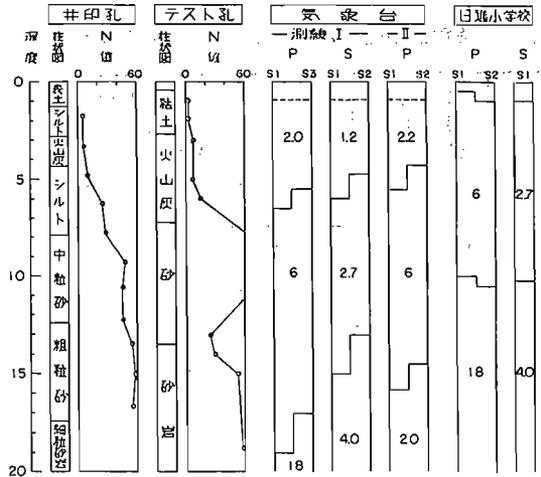


図8 釧路台地の弾性波構造とボーリング資料の比較²⁾

表4 釧路気象台及び日進小学校の地盤周期の比較²⁾

	釧路気象台	日進小学校
Vp-波群最大振幅の周期	0.10s	0.07s
ラブ波群最大振幅の周期	0.03	
起振機による地盤の固有周期		0.11
常時微動の卓越周期	0.14~0.16	0.08~0.12

§7. 地盤の振動特性に関する検討

田治米は、1966年と1967年に釧路市の地盤調査を行ない、台地上の釧路気象台の構内と日進小学校の校庭で弾性波探査を実施している。その結果を、構内2ヶ所のボーリング資料と併せて図8に示す（図中のP波及びS波の速度は100m/s単位）。S波速度0.4km/sは粗粒砂または砂岩の地層に対応し、やや安定した地層であって、釧路気象台での深度は約15m、日進小学校では約10mである。両地区ともその上に厚さ約10mの砂層がのっている。この地層内のS波速度は0.27km/sであり、N値も50位であってかなりの支持力を期待できるものである。最表層の表土は厚さ1m程度の軟弱な層があるが、釧路気象台ではそのすぐ下にS波速度が0.12km/sの地層があり、火山灰・シルト層に対応したものである（この層は日進小学校にはない）。釧路気象台と日進小学校とで測定された顕著な波の周期を整理すると表4の如くなる²⁾。

そこで、図8の弾性波探査結果に1/4波長則を適用することによって、田治米は表4の地盤周期について以下の様な考察をしている。まず、第1層のP波速度

0.20km/sと層厚5mから $T=0.10$ 秒が試算され、これは釧路気象台のレイリー波群の周期と一致する。次に、釧路気象台の第1層のS波速度0.12km/sと層厚5mから $T=0.17$ 秒と試算され、これを常時微動の卓越周期に対応させると金井のいう「地盤の固有周期」になるが、この“ $T=0.17$ 秒”は上記のP波速度0.20km/sの第1層の下にP波速度0.60km/sで層厚10mの第2層をも加えて対象とした場合にも求められ、この場合にはこれら2層に関連したレイリー波群の周期とみなすべきであろうが、何れが正しいかこれらの測定資料のみから答を出すことはできぬ、としている²⁾。

小林は、1966年8月に釧路市内41ヶ所で常時微動の調査を行ったが、このうち、気象台とその周辺地盤についてみれば、0.26秒、0.3~0.33秒、0.5秒附近に顕著なピークが存在することを指摘するとともに、これらの地盤の動特性より考えれば、1962年広尾沖地震及び1965年国後島沖地震で0.33秒、0.26秒あたりに顕著な応答スペクトルのピークが現れたことと併せ考えて理解は出来るものとしている。また、前述の釧路港のSMACサイトとその周辺地盤については、常時微動のフーリエスペクトルにおいて1秒前後の非常に卓越した特性を有しており、0.4~0.6秒近くにも表層地盤の影響と考えられるピークが見られて、釧路気象台の地盤とは非常に異なった地盤特性を示すものであることを指摘している²⁾。

田中は、釧路気象台ほか2、3の場所について、前述の弾性波探査資料やボーリング資料から推定される地盤構造モデル(表5)を対象に、主としてS波の重複反射理論から期待される地盤の増幅特性をしらべた。釧路気象台の地盤については、3層構造の各層境界面の深度が浅い場合(Model I)と深い場合(Model II)の2種のモデルについて計算し、図9-aの増幅特性を得た(図中のAは粘性減衰を無視した場合、Bは考慮した場合を示す)。これより、気象台地盤では基本卓越周期が0.2~0.25秒の範囲にあり、約3倍の増幅度をもつことを示している。なお、P波による重複反射の基本周期は0.11~0.15秒に現れることも併せ示している。気象台と同じ釧路段丘にある日進小学校の地盤については、基本周期が0.15秒で気象台地盤に比べて短く、増幅倍率も2倍以下であること(図9-b)、また、釧路港湾SMACサイトは第1層、第2層の速度はかなり小さく、2層構造とみなせる地盤であって、

表 5 地盤構造モデル²⁾

場所	層	S波速度 m/s	密度 g/cm ³	厚さ m	ε (ξ/μ)
気象台	I	1	120	5	0.002
		2	270	8	0.005
		3	400	-	0.008
	II	1	120	6	0.002
		2	270	9	0.005
		3	400	-	0.008
日進小学校	1	120	1	0.002	
	2	270	9	0.005	
	3	400	-	0.008	
港湾	1	50	1.6	2	0.001
	2	70	1.7	5.5	0.001
	3	400	2.0	-	0.008

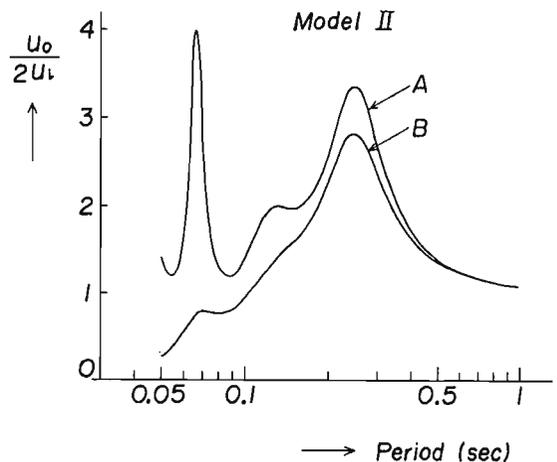
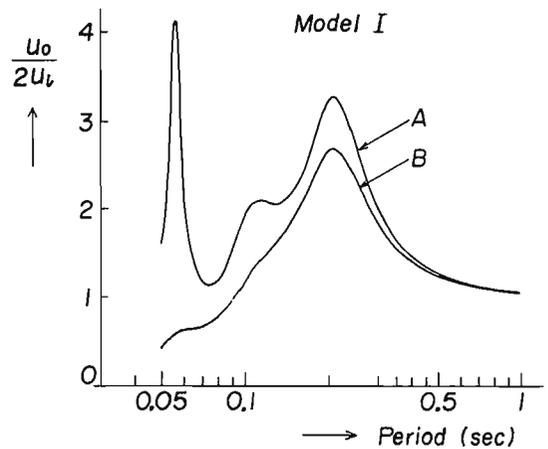


図9-a 釧路気象台の地盤の増幅特性

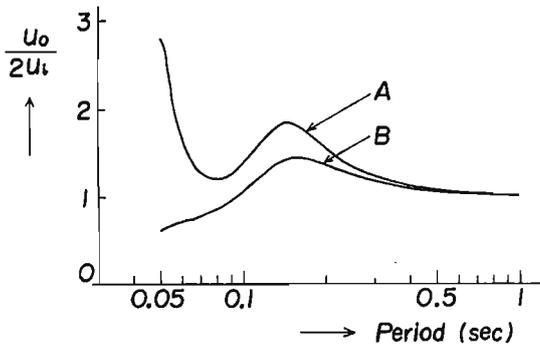


図9-b 日進小学校の地盤の増幅特性

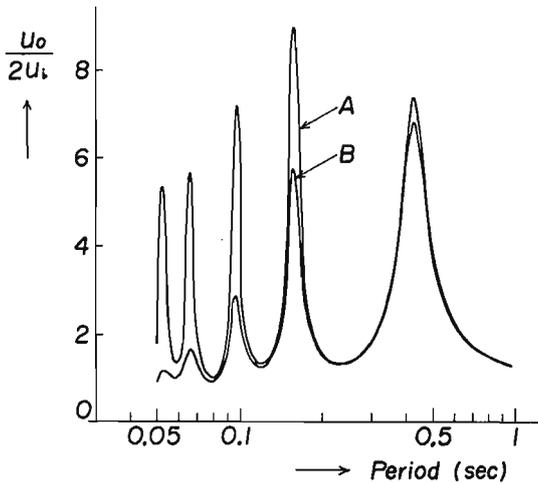


図9-c 釧路港湾SMACサイトの地盤の増幅特性

約0.4秒の基本周期のほかに0.16秒、0.10秒付近での増幅度も大きいことを示している。以上のことより、釧路気象台の地盤については、強震計記録のスペクトル解析から見出される0.2~0.3秒の卓越周期をこれら計算結果と比較すれば、地盤の増幅特性が示す卓越周期の値は多少短めではあるが、ほぼ両者は一致していると見ることも出来よう、としている²⁾。

以上、釧路気象台の地盤及びSMAC基礎について、種々の方法で調査検討された卓越周期等を整理比較すれば、表6に総括するとおりである。

§8. 建築物の振動特性に関する検討

酒井は、釧路市内の鉄筋コンクリート2階建支庁舎(3階部分は鉄骨造で増築)および木造2階建小学校(日進小学校)について、起振機による振動実験を行った²⁾。また、小林は、釧路気象台構内及びその近

表6 釧路気象台の地盤及びSMAC基礎の卓越周期²⁾

方法別	SMAC附近	SMAC台上
レイ-波群 最大振幅 の周期	0.1sec	
ラブ波群 最大振幅 の周期	0.08sec	
常時微動 卓越周期	0.14~0.16 0.26~0.27 0.3~0.33 0.5	NS 0.23, 0.25~0.3 EW 0.13, 0.1前後
地盤の 増幅特性 より求め た 周期	S波 0.06s以下 0.2~0.25	
	P波 0.11-0.15	
ロッキングの		NS 一次 0.26 二次 0.04
数理解析		EW 一次 0.14 二次 0.05

辺にあるRC造(気象台本館)、補強ブロック造(住宅、アパート)、それに木造建物(消防署及び住宅4件)について常時微動を測定した²⁾。これらの結果を表7に示す。

これによれば、1次固有周期は0.15秒~0.42秒の範囲にあるが、1962年広尾沖地震の気象台のSMAC記録のスペクトルにみられる顕著なピーク周期0.33秒は丁度この範囲のなかにあるのであるが、小林によれば一般住宅については大部分のものは0.25秒より短いものが多いとしている。すなわち、この地方の木造住宅の特徴として、屋根は鉄板葺き、またはこけら葺きのものが多く、壁体には開口が少なく、外壁には南京下見張のものが多くて振動周期は短くなっている傾向がみられる、としたものである²⁾。

§9. 総合的検討

以上のような、地震計設置条件、地盤特性、建物の振動特性等についての調査検討結果に基づいて、本稿冒頭に記した問題、すなわち、「大加速度の強震動」と「被害僅少」との不可思議な関係については、どの様に解釈することができるのか、この中心的な問題について総合的な検討が試みられた。

表7 建築物の固有周期⁹⁾

建築物	構造その他	測定位置	固有周期 (sec)
釧路 支庁舎	RC 2階建 SC 3階	1~3階床 NS方向	一次 0.31 (強制) 0.299 (計算) 0.31 (常時微動)
			二次 - (実測はず)
			三次 0.13 (計算) 0.11 (強制) 0.12 (計算)
日進 小学校	木造 2階建 鉄板葺	1~2階床	一次 0.41 (強制EW) 0.36~0.4 (微動EW)
			二次 0.28 (微動NS) 0.19 (強制EW)
気象台 本館	RC造 2階建	屋上桁行 屋上張間	一次 0.26 (微動) 一次 0.26 (微動)
7 th ート	ブロック造 2階建	2F床桁行 " 張間	0.28 (") 0.23 (")
住宅	ブロック 平屋	鴨居桁行 " 張間	0.24 (") 0.20 (")
消防署	木造 2階 鉄板葺	2F床桁行 " 張間	0.24 (") 0.42 (")
住宅	木造 2階建 鉄板葺 モルタル塗	2F床桁行 " 張間	0.28 (") 0.24 (")
住宅	木造 2階建 2階7 th ート	2F床桁行 " 張間	0.20 (") 0.22 (")
住宅	木造平屋 7 th ート瓦葺	鴨居桁行 " 張間	0.24 (") 0.24 (")
住宅	木造平屋 鉄板葺	鴨居桁行 " 張間	0.15 (") 0.18 (")

小林・長橋^{2), 8), 9)}は、この強震動は最大加速度振幅が大きく、その応答スペクトルは周期0.33秒に著しいピークを有して、仮に固有周期 $T=0.33$ 秒、減衰定数 $h=5\%$ の1質点系構造物であれば2gもの大加速度を受け、6cmもの大変位を履歴した筈のものであるが、応答スペクトルのピーク周期幅巾が大変に狭いことより、構造物が塑性化した状態に入ることによって被害を免れたものと考えた。

図10は、減衰定数 $h=1\%$ 、降伏強度 $Q_y=0.2W$ (W は1質点の重量)で完全弾塑性型復元力特性を有する1質点系の弾塑性変位応答をスペクトル表示した

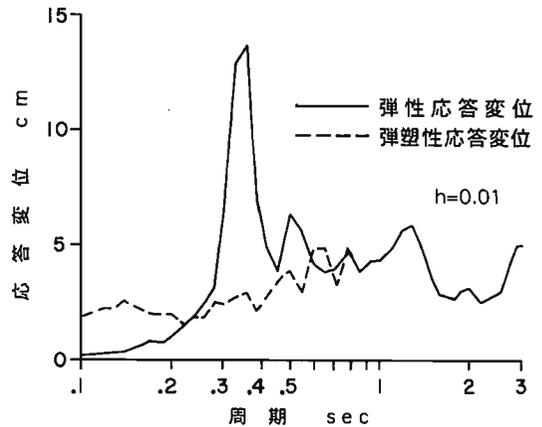


図10 1質点系弾塑性応答スペクトル ($Q_y=0.2W$)

ものである(図の横軸は1質点系の弾性時固有周期)。これによれば、弾性時固有周期が0.33秒の場合であっても、構造物の塑性履歴によってエネルギーを吸収し、仮に $h=1\%$ であれば弾性変位応答は15cmにも達する筈であるが塑性応答によって最大変位は高々2~3cm程度に収まり、弾性応答に比するならば約1/6程度に変位応答は激減することになる。この「最大変位は高々2~3cm」という変位応答量は、1階建の建物でも1/100ラジアン以下の柱の変形であり、木造建築物については全く被害が生じなくてもよい程度の変形に止まっており、鉄筋コンクリート造についても許容変形量が塑性率 $\mu=5$ 程度のものについては終局強度に達するには相当の余裕があったと考えられる。また、図10の様に、1質点系の弾塑性応答を半対数軸座標にスペクトルで表示したものは、周期(弾性) $T=0.1\sim 1.0$ 秒の範囲においては地震動特性によらず概してほぼ直線的な性状を示す傾向が認められることを利用して、弾塑性応答スペクトルの傾きからこの周期範囲における平均的な地震動の破壊力を評価するならば、1962年広尾沖地震の釧路気象台SMA C記録は、EL CENTRO 1940の1/4~1/3程度、HACHINOHE 1968の1/2程度の強さと見積られるのである。

この様に、構造物に作用する地震動の破壊力を単に最大加速度が大きいからといって強い地震動とみなすことは不適當であることに鑑み、小林・長橋はその後、構造物の固有周期によっては、速度振幅又は変位振幅が、地震動の破壊力を評価する簡便な尺度として適切であることを提案することになるわけである^{10), 11)}。

田治見は、1965年国後島沖地震と1967年9月19日釧路沖地震(M=5.9)において釧路気象台のA及びBの2台の強震計による同時観測記録を加速度時刻歴及び応答スペクトルについて比較することにより、

- 1) 2台のSMA Cは方位は完全に合わせてあるにもかかわらず、波型は一見非常に異なっている。
- 2) 最大加速度については、両地震とも、NS方向はAの方が大きく、EW方向はBの方が大きい。
- 3) 卓越周期については、1965年国後島沖地震ではかなりの差があったが、1967年釧路沖地震では両者は一致していた。
- 4) 波型はNS方向に関する限りAの方が規則性に富んでいる。

ことを指摘している。

また、1967年11月4日北海道東部地震(M=6.8)では、釧路気象台のSMA C(B)と大楽毛SMA Cとの同時観測記録が得られたが、これについて応答スペクトル比を求めると、長周期ではEW方向はほぼ1に等しく、NS方向はむしろ大楽毛の方が大きいくらいであるが、短周期では釧路気象台の方が断然大きく、NS方向では周期0.2~0.3秒で15倍にも達している。

田治見は以上の2つの検討を基にして、釧路台地上の震度分布は非常に複雑で、わずかに離れてもかなり異なり、380galの大きな加速度はごく局所的なものであること、また釧路台地は地震に敏感で、ここの強震計は他よりもとびぬけて大きい加速度を記録していること、との考察を要約している²⁾。

金多は、釧路気象台の表層深さ約5mまでは火山粘土・火山灰質の土壌でN値は10未満であり、極めて軟弱な層であるが、この軟弱な表層の存在が強震計に及ぼした影響は無視できないであろうとしている。このことは、常時微動測定から0.26秒、0.3~0.33秒及び0.5秒付近に顕著なピークが存在することから考えて、地震時にこれらの周期成分の地震動が著しく増幅される可能性はあると考えて差し支えない、としている。

また、棚橋諒の「速度-ポテンシャルエネルギー説」(1935年)を想起しつつ、地震動が構造物に及ぼす破壊的な因子は単に地震波のもつ最大加速度値のみではないことを指摘している。併せて、当時の釧路市内の建築物の多くは0.2gの静的加速度を基準にした耐震設計が施されており、材料の安全率が2倍以上もあれば、

広尾沖地震に対して十分な耐力をもっていたのではないかと、広尾沖地震で破壊しなかった建築物はどのような静的耐力、動的特性をもっていたのか、釧路市内の建物のみならず日本の他の都市についても解明すべく研究目標をしばってゆく必要があるとしている²⁾。

大沢は、松代地震、えびの地震、1968年十勝沖地震等の被害状況に関連して行った実験結果などを参考にして、1962年広尾沖地震のSMA C記録と建築物被害との対応について考察している。

まず、木造建築物について、釧路気象台のSMA C記録のN21W成分は、 $h=5\%$ の変位応答スペクトルが周期0.35秒付近で最大となり、約6cmの応答量である。気象台付近の木造建物の測定周期は0.2秒前後であるが、振幅が増大すれば周期はかなり伸びる傾向にあるから大振幅時には0.35秒前後に達していたかもしれない。しかし、木造の減衰定数は実測から $h=10\%$ 程度と報告されていることを考えあわせると、最悪の場合でも変形量は5cmを越えなかったと推定され、そうであれば「変形量が2~5cm程度では木造建築物は小被害(障子破れや壁のひびわれ)」であることからして、さして不思議ではないとしている。ただし、加速度はかなり大きくなり、屋根瓦落下や集合煙突被害は相当数でもよいと思われるが、瓦被害はなく、集合煙突被害もそれほど多くない事実を説明するには、更に立ち入った検討が必要であるとしている。

次に、気象台の付近にありながら被害を受けなかった鉄筋コンクリート造釧路支庁舎(3階部は鉄骨造で増築)について、これをせん断型3質点系モデル(固有周期は微小振幅実測結果から0.31秒)に置換し、これに釧路気象台のSMA C記録を最大加速度300galに圧縮して入力して線形地震応答解析を行ったところ、応答せん断力は第2層で650t、第1層で1,500tが得られた。他方、この建物の骨組耐力は概算値として、第2層400t前後、第1層はその2倍近くとなるので、上記応答結果はこれら骨組耐力を上回る力が加わったことになる。しかしながら、微小振幅時の測定周期は0.31秒であったものの、大変形時には0.4秒以上になると考えられるので、実際には降伏に至らなかったと思われ、また仮に地震の際にある程度コンクリートにひびわれが生じていたとすれば更に周期が伸び、応答せん断力は減少する方向となる、と考察している²⁾。

酒井は、被害の少なかった理由づけとして次のことを挙げている。

まず、釧路気象台のSMA C記録については、継続時間が短く、大きな加速度の繰り返し回数も比較的少ない。主要動部は殆ど同一周期であり、その加速度応答スペクトルは周期0.33秒前後にピークを持つがシャープな減衰性を示し、構造物が塑性に入って周期が伸びると被害を小さくするものと考えられる。また、加速度は大きいが変位振幅は小さい。

他方、構造物については、

- 1)耐震性能の余り高くない建物についてはこの広尾沖地震の丁度10年前に発生した1952年十勝沖地震(M=8.2、釧路の震度V)によって既に然るべき被害を蒙ったあとであること。
- 2)木造建物は長周期に属する部分の波動で壊れるものと考えられ、1/7~1/15 Radian程度傾くと破壊するようであるが、力が大きくとも短時間の作用では木材の曲げ破壊に要する最大撓み限界にまで到達せず破壊しがたいようであり、このSMA C記録の如き地震動では、木造建物を破壊するだけの変位振幅や継続時間が無かったものと考えられること。
- 3)釧路段丘上の釧路気象台本館、ブロック造2階建アパート、日進小学校等々の固有周期は、0.33秒からは離れていること。

などの諸点を挙げている。但し、1つのSMA C記録から、ただ近いからとの理由で、地盤性状の異なる地点までこれを類推することは危険であり、地盤性状の異なる地点には観測点を設けて計測すると共に、例えば地震基盤の概念の導入などによる解析など理論統一の研究を推進する必要があると指摘している。そして、各種構造物の動的破壊機構を解明すべく、構造物の振動モデル化の研究と地震動の構造物への入出力の問題など、地震工学・耐震構造を根本的に見直す「秋」ではあるまいかと訴えている²⁾。

§ 10. むすび

以上、主に『研究成果報告書』をもとに、1962年広尾沖地震で観測された「SMA C強震記録の大加速度」と「構造物被害が僅少」であることの因果関係に関する研究を概観してきた。既に述べてきたように、当時この問題に势力的に取り組んだ地震工学界の諸先輩は、

これらの研究成果によって十分に説明できていると考えていたわけではなく、「今後への課題」として幾つかの重大な研究テーマを掲げているわけである。研究成果が取り纏められた頃について、金井は、「当時としては、異例に近い、時間をかけた組織的な調査・研究が行われ、突っ込んだ議論も繰り返されたが、何かかゆいところに手がとどかない雰囲気から抜け出せなく、主査の口頭報告(1970年5月)では『結論を出せないという結論に達した』となり、包括・短絡的に言えば、地震工学・耐震構造を根本的に再考すべきではなかろうかということになったようである」と述べている⁴⁾。そして、この「地震工学・耐震構造を根本的に再考」することの必要性は、広尾沖地震をまつまでもなく、それ以前からしばしば関係者のあいだで指摘されてきたことであった。「地震工学界の七不思議」というのはあまり適切な表現ではないかも知れないが、地盤震動との関わりや究明が残されている問題として、金井は下記の課題を例示している⁴⁾。

- (イ)五重塔が地震で無被害(九輪の折損が1件)の問題、
- (ロ)1922年浦賀水道地震で、丸ビルの中間層が破壊して、大関心を呼び、その後の内外の地震でも、類似の現象が生じている問題、
- (ハ)軟弱地盤では建物の柱・壁が破壊し、堅硬地盤では屋根瓦の損傷が目立ったことは、明治以来の調査で、しばしば指摘されており、寺田寅彦先生からは、架構の振動(波動)の根本にかかわることという示唆があったりした問題。

さて、そこで、今年1月の釧路沖地震である。あの広尾沖地震から31年を経過したこの1月、再び釧路気象台では広尾沖地震のSMA C記録の加速度振幅の2倍もある強震記録が観測されたのであるが、地盤災害に起因する建物被害を除けば、構造物の所謂振動的な被害は今回の地震でも少なかった由^{1,2)}。地震動の加速度振幅が広尾沖地震の2倍もあつたばかりでなく、また継続時間も決して短いわけではなく、加えて応答スペクトルにおいても応答量の大きな周期範囲は広尾沖地震のそれに比すればかなり広い。したがって、これらの諸特性をより総合的に包含している尺度と考えられるエネルギースペクトルによってこの強震動強さを評価しても、 $T \leq 1$ 秒の周期範囲においてはかなり

大きな値を示すものである”。というわけで、1962年
広尾沖地震について試みられた解釈の妥当性について
は、あらためてその吟味を求められているとともに、
当時より「今後の課題」とされてきた「地震工学の根
本的な諸問題」について、立ち入った検討がより一層
不可欠なものであることを明瞭なかたちで示されたも
のといえようか。

むすびにあたり、『研究成果報告書』の末尾には、
一流のジョーク(?)も織りませながら大変示唆に富
んだ「あとがき」を金井が記しているので、多少長く
なるがその一部を以下に引用し、本稿の締め括りとさ
せていただきたい。

「…その当時(福井地震震害調査が一段落した頃の
こと)は、…強震記録さえとれば、耐震構造につい
ての、いくたのももやした議論が明快に解決され
ると、多くの関係者が大なり小なり考えたものである。

その後、強震計の設置が着々と進められ、強震動の
記録が次々にとれてくるにしたがって、地震動と構造
物の破壊機構との関係は、強震動の十分な記録がとれ
る以前に想像していたほど簡単なものでないことを、
まざまざと見せつけられた。しかし、その受けとりか
たには、また、いろいろなちがいがあがるが、その一つ
は、震害を受けた構造物についての、強震動の記録と
構造物の破壊状態との関係は、比較的抵抗少なく説
明がつくが、構造物に、地震動の大きな記録に対応す
るだけの破壊が起こらない場合(いわゆる無被害の場
合を含む)の説明には、大きな抵抗があるということ
である。

それにしても、地震動の大きさが、従来工学的にと
りあつてきた概念のものよりも、実際の記録の方が、
はなはだしく大きいということは、実際の構造物
には、機能的ならびに材料的に、耐震計算に組み込ま
れていない部分に、有力な耐震性がひそんでいるとい
うことを暗示しているから、何だ彼だと言っても、問
題がそれほどしんどくないわけである。これが、反
対に、地震動の記録が、従来工学的に想定してきたよ
りも小さいという事実が次々とでてきたとしたら、こ
の拙文のような、のんきなことは書いておれないの
ではなからうか?…」

謝 辞

本稿を纏めるにあたり、金井清先生には種々ご教示
を賜った。記して深謝申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 宇佐美龍夫：『新編日本被害地震総覧』、東京大
学出版会、1987年3月
- 2) 文部省特定研究「災害科学」「強震動と構造物に
対する応答の基礎的研究」研究班：『広尾沖地震に
おける釧路の強震記録と構造物の被害について』、
1969年3月
- 3) 金井清・酒井良男：広尾沖地震における釧路の強
震記録と構造物の被害について、第3回日本地震工
学シンポジウム(1970)講演集、1970年11月
- 4) 金井清：私信(1993年9月27日受信)
- 5) Jennings, P.C. et al.: Proc. of the Fourth
World Conference on Earthquake Engineering,
1969
- 6) Kameda, H. and K. Kohno: Effect of Ground
Motion Duration on Seismic Design Load for
Civil Engineering Structures, Memoirs, Fac.
Eng., Kyoto Univ., Vol. 45, No. 2, 1983
- 7) 翠川三郎：1993年釧路沖地震の教訓と課題－地震
工学の見地から－、1993年度日本建築学会大会
(関東)地震災害部門パネルディスカッション資料、
1993年9月
- 8) 長橋純男・小林啓美：構造物の破壊作用を対象と
した地震動の強さの評価、日本建築学会論文報告集、
第160号、1969年6月
- 9) 小林啓美・長橋純男：木造建築物地震被害率によ
る地震動の強さの評価、日本建築学会論文報告集、
第160号、1969年9月
- 10) 長橋純男・小林啓美：地震動の強さを評価する簡
便な尺度としての地震動最大振幅、日本建築学会論
文報告集、第181号、1971年3月
- 11) 小林啓美・長橋純男：重層建築物の耐震設計を対
象とした地震動の強さを評価する簡便な尺度として
の地震動最大振幅、日本建築学会論文報告集、
第210号、1973年8月
- 12) 鏡味洋史(研究代表者)：1993年釧路沖地震によ
る被害の調査研究、文部省科学研究費(No. 04306025)、
突発災害調査研究成果、総合研究(A)、1993年3月

4 . 釧路市内の地盤震動



釧路地方気象台での強震動の特徴

Characteristics of Strong Earthquake Motion observed at
Kushiro Local Meteorological Observatory

鹿嶋 俊英

KASHIMA, Toshihide

Synopsis

During the 1993 Off-Kushiro Earthquake, accelerograms with a maximum amplitude of 711 gals were recorded on the ground at Kushiro Local Meteorological Observatory. The response spectra of this strong earthquake motions are predominant in the short period range of 0.1 to 0.5 seconds as compared with the large strong motions for the seismic design. The remarkable influence of surface geology on earthquake motions at this site was ascertained by the statistical and theoretical analyses, as one of the causes for the large earthquake motion.

1. 序

1993年1月15日に発生した釧路沖地震で建築研究所の強震観測網は多くの貴重な記録を採取した。なかでも釧路地方気象台の地盤上に設置された強震計は、最大加速度が711galに及ぶ強震動を観測した。本稿では、この強震記録を紹介するとともに、その大きな加速度記録の生成要因について若干の解釈を試みる。

2. 建築研究所の強震観測

建築研究所は1957年から全国規模の強震観測を開始し、以来良質な観測記録の収集と観測体制の充実に努めている。現在観測地点は34カ所に達し、図1に示すようにほぼ日本列島を網羅するように配置されている。

観測に用いている強震計は、1970年代初頭までは主にSMAC-B(B2)と呼ばれる機械式のもので設置されていた。その後多くの地点でサーボ式加速度形とカセットテープを用いたSMAC-M型に置き換えられ、更に



図1 建築研究所の強震観測地点(円は観測地点を中心とした100km圏)

建設省建築研究所国際地震工学部研究員

Research Engineer, International Institute of Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction

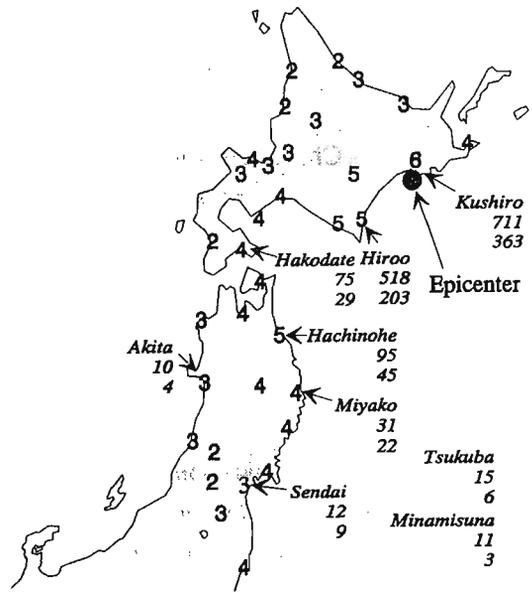
1988年からはICメモ리카ードを記録媒体としたデジタル式のSMAC-MD型に更新されつつある。現在はSMAC-MD型が34カ所中28カ所に達している(1993年度見込み)。

3. 1993年釧路沖地震の強震記録

1993年釧路沖地震では、北海道から東北、関東にかけての10カ所の観測地点で強震記録を採取した¹⁾。表1に各観測地点で得られた記録の最大加速度を示す。またこのうち地表または建物の基部で得られた最大加速度を各地の気象庁震度と併せて図2に示す。図中の数値の上が水平最大加速度のうち大きいもの、下段が鉛直最大加速度である。特に震央から14kmと近い釧路地方気象台構内で観測された711galの記録は、同気象台庁舎内で観測された87型強震計の922galの記録²⁾とともに、希にみる強震動として地震工学分野に大きな波紋を引き起こした。

4. 釧路地方気象台の強震記録

釧路地方気象台は、釧路市の南東部、旧釧路側に架かる幣舞橋の南側に位置する。気象台の周辺は小高い丘になっており、標高は30m程度である。図3に示す



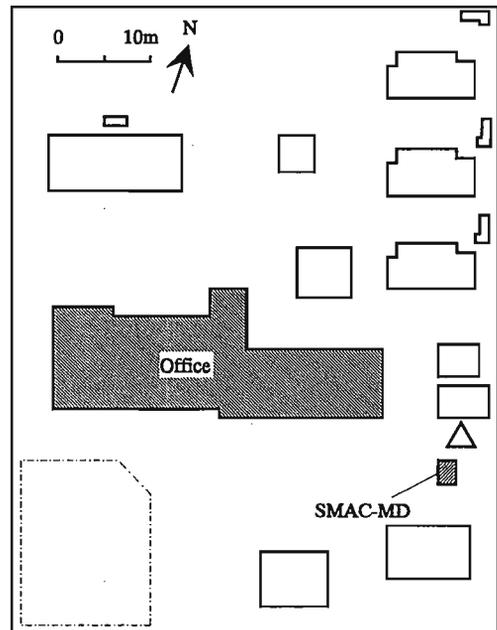
1993 Off Kuroshio Earthquake

図2 1993年釧路沖地震の各地の震度と建築研究所が観測した最大加速度(上段:水平、下段:鉛直)

表1 建築研究所の観測地点で観測された最大加速度

観測地点	距離(km)	機種	設置場所	設置方位	最大加速度(gal)		
					H1	H2	V
釧路地方気象台	14	MD	GL	N063E	711.4	637.2	363.4
広尾町役場	108	M	01F	N320E	518.1	403.7	202.3
函館開発建設部	323	MD	GL	N180E	75.1	53.8	29.0
八戸市役所	354	M	B1F	N074E	95.3	75.0	45.4
			05F	N254E	213.4	278.5	107.0
宮古市立愛宕中学校	410	MD	01F	N180E	30.8	23.9	21.5
秋田県庁	499	MD	B1F	N087E	9.8	7.9	4.2
			08F		27.3	31.8	5.2
仙台第2合同庁舎	590	MD	B2F	N162E	11.0	11.6	8.6
			15F		18.9	19.2	23.7
			-40m		8.3	9.3	7.2
東北大学工学部	592	M	01F	N202E	24.0	24.3	23.3
			09F	N202E	78.9	70.0	29.1
いわき市役所	710	M	09F	N090E	36	63	9
建築研究所	834	MD	01F	N180E	13.7	14.8	5.6
			15F		26.8	27.7	3.0
南砂住宅(江東区)	889	MD	01F	N180E	10.9	7.2	2.7
			15F		26.8	27.7	3.0

注) 距離は、震央距離。機種MDはSMAC-MD、MはSMAC-M。最大加速度のH1は設置方位方向。H2は直交方向。



Kushiro Local Meteorological Observatory

図3 釧路地方気象台の強震計の位置

20:06 1993/01/15 M=7.8 SMAC-MD KSR:Kushiro Local Meteorological Observatory

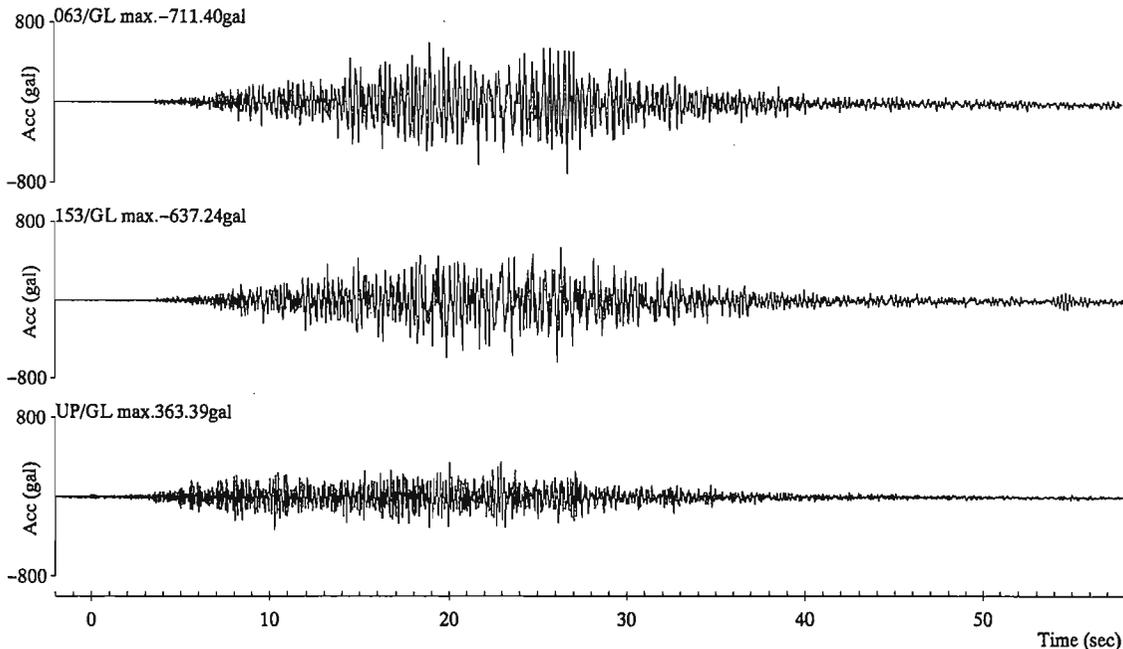


図4 釧路地方気象台で観測された強震記録

ように、気象台の敷地の隅に強震計用の小屋が設けられている。SMAC-MD強震計は、幅1.5m、奥行き1m、高さ1.6m(内1.2m埋め込み)のコンクリート製の基礎の上に設置されている³⁾。強震計の設置方向は、敷地と建物の軸に合わせてあるため、N063E(北から東回りに63度)となっている。

釧路沖地震の際、この強震計で観測された加速度記録を図4に示す。比較的なだらかな包絡形を有しており、数百galの振幅の激しい揺れが20秒程度継続している。図5はN063EおよびN153E成分の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルである。図中には参考として1940年にEl Centroで観測された記録⁴⁾NS成分、および1968年に八戸で観測された記録⁵⁾のNS成分の応答スペクトルを併せて示してある。釧路気象台の強震記録の応答スペクトルから観察される特徴をまとめると以下のようになる。

相対的に1秒以下の短周期領域の応答が優勢で、0.3秒以下ではEl Centro、八戸の2倍以上になっている。特にN062E成分は応答スペクトルの0.25秒から0.30秒に大きなピークがあり、速度応答で150cm/sec以上、加速度応答に換算すると3.5Gに及ぶ。

方向による差異が長周期領域で顕著に表れ、1秒以

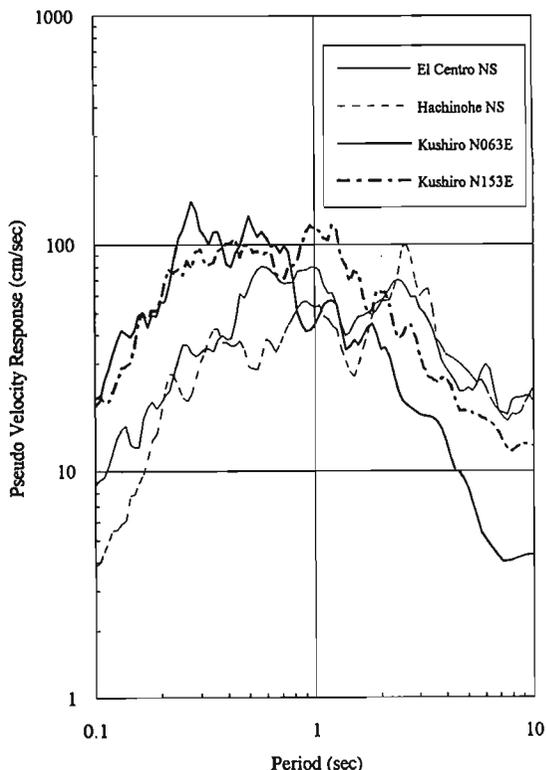


図5 釧路地方気象台の強震記録と1940年El Centro NS成分、1968年八戸NS成分の擬似速度応答スペクトル

上の領域ではN153E成分の応答がN063E成分の応答の1.5から2倍程度となっている。ただし相対的には長周期の応答は小さく、El Centroや八戸より小さい。

5. 回帰分析結果からみた釧路の強震記録の特徴

釧路地方気象台で観測された強震記録の特徴を建築研究所の強震記録の回帰分析から検討する⁶⁾。まず過去の強震記録の水平最大加速度について回帰分析を行った。回帰式は以下の形式とした。

$$\log A_{max} = aM + b \log X + c$$

ここで、 A_{max} は最大加速度 (gal)、 M はマグニチュード、 X は震源距離 (km)、 a 、 b 、 c は回帰係数である。対象としたのは1987年以降に前述の強震観測網で観測された記録で、地震のマグニチュードは4.1から7.8、記録の最大加速度は3galから711galの範囲にある。これらの強震記録は何れもSMAC-MあるいはSMAC-MDで観測されたものである。水平2成分の最大加速度はそれぞれ独立の観測値として扱った。この結果以下の式が得られた。

$$\log A_{max} = 0.438M - 1.088 \log X + 1.032$$

図6は、上式による最大加速度の推定値と、実際の観測値との関係を示している。図中●は釧路地方気象台で観測されたもの、○は1993年釧路沖地震で観測されたもの、+はその他のものである。明らかに釧路で観測された最大加速度は推定値を上回る傾向が認められ、平均的には2倍以上の値となっている。

更に釧路地方気象台の記録の特徴を周期領域で分析するために、応答スペクトルの回帰分析を行った。回帰式は以下の形式とした。

$$\log {}_pS_v(T) = a(T)M + b(T) \log X + c(T) + s(T) d_i$$

ここで、 ${}_pS_v(T)$ は擬似速度応答スペクトル (cm/sec)、 T は固有周期 (sec)、 $a(T)$ 、 $b(T)$ 、 $c(T)$ 、 $s(T)$ は回帰係数、 d_i はダミー変数で、釧路地方気象台の記録の場合1、他は0とする。つまり、釧路地方気象台固有の特徴を $s(T)$ として抽出する。用いた記録は最大加速度の回帰分析と同様だが一部微小な記録を除外している。図7に回帰分析で得られた回帰係数を示す。実線が $a(T)$ 、破線が $b(T)$ 、細線が $c(T)$ 、一点鎖線が $s(T)$ を表わす。 $s(T)$ に着目すると、0.5秒より長周期領域ではほぼ1.0か、若干下回る程度である。これに対し、0.1秒から

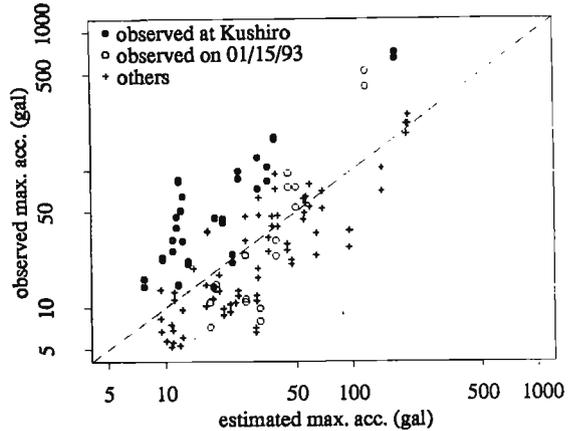


図6 回帰式による最大加速度の推定値と観測値

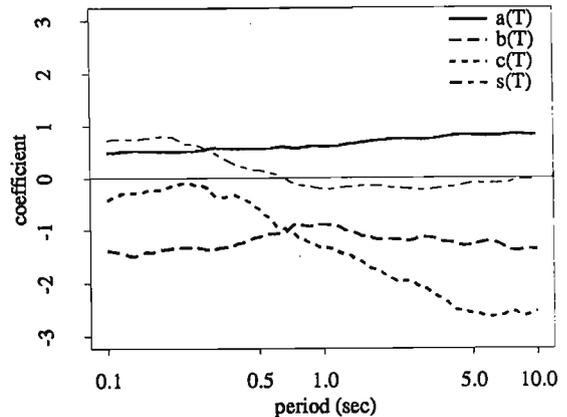


図7 速度応答スペクトルの回帰係数

0.5秒辺りの領域で $s(T)$ は非常に大きな値を示し、0.25秒辺りがピークのように見られる。つまり他の観測地点と比較すると、釧路地方気象台では0.5秒以下の短周期成分が卓越する傾向があり、このため最大加速度も大きくなると考えられる。

6. 釧路地方気象台の表層地盤の影響

1962年の広尾沖地震の際も、釧路地方気象台のSMAC-Aが大きな加速度を記録し、その生成要因や被害との対応について検討が行われている³⁾。文献3にはボーリング調査とPS検層結果も報告されており、図8に示す2つの地盤モデルが提案されている。このモデルのSH波の伝達関数(振幅)を図9に示す。なお伝達関数の分母は入射波の2倍である。伝達関数は0.2秒から0.25秒付近にピークを有し、N063E成分の応答スペクトルや応答スペクトルの回帰分析結果と調和的となっ

ている。

ここで表層地盤モデルとしてModel-2を採用し、地表面下15mの砂岩層が露頭していると仮定した場合の地震動を、伝達関数より推定する。なおここではSH波のみを、また地盤は弾性として扱っており、参考程度と考えていただきたい。図10は推定した加速度波形であり、図11はこの加速度波形の疑似応答スペクトルである。最大加速度はN063E成分が343gal、N153E成分が390galとなり、それぞれ地表で観測された値の0.48倍、0.61倍となっている。一方応答スペクトルに着目すると、0.1秒から0.6秒辺りの応答が大幅に減っている。今回得られた地震動の特筆すべき大きさは、浅い表層地盤の影響に因るところが大きいと推察される。

7. 結び

1993年釧路沖地震の釧路地方気象台の強震記録は、その生成過程の解明と周辺の被害との対応という大きな課題を残した。今のところ前者については表層地盤の影響が第一の要因として考えられるが、例えば地盤の非線形性の問題や、地震動の方向性の問題など検討すべき課題も多い。このため建築研究所では気象台構内の地盤調査や地中地震観測などを今後実施する予定である。また後者の問題についても気象台庁舎や周辺の建物の常時微動測定を既に実施しており、数値解析等の検討を進める予定である。

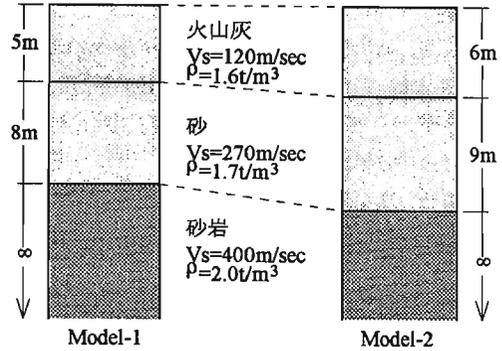


図8 釧路地方気象台敷地の地盤モデル³⁾

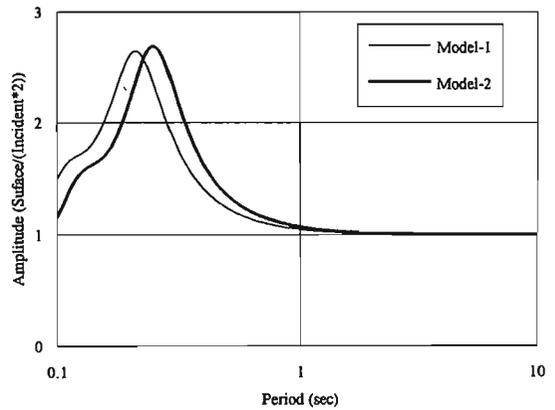


図9 表層地盤の伝達特性(表層/(入射波*2))

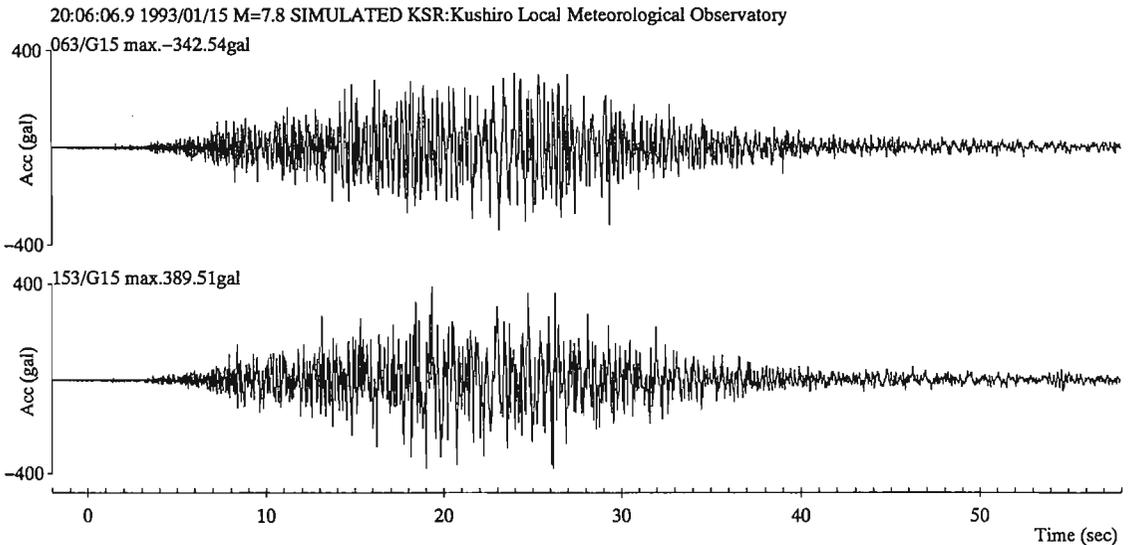


図10 砂岩上の推定加速度時刻歴(水平2成分)

参考文献

- 1) 鹿嶋俊英、北川良和「平成5年(1993年)釧路沖地震強震観測速報」、建設省建築研究所、1993年2月
- 2) 「災害時地震速報・平成5年(1993年)釧路沖地震」、気象庁、1993年2月
- 3) 金井清他「広尾地震における釧路の強震記録と構造物の被害について」、1969年3月
- 4) 鹿嶋俊英他「釧路地方気象台の強震記録の特性」、日本建築学会学術講演梗概集、1993年9月
- 5) "Strong Motion Accelerograms", EERL 76-02, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of Technology
- 6) "Digitized Strong Motion Earthquake Accelerograms in Japan", 学術文献普及会、1972
- 7) 強震観測事業推進連絡会議「強震速報No.41・1993年1月15日平成5年(1993年)釧路沖地震」、科学技術庁防災科学技術研究所、1993年2月

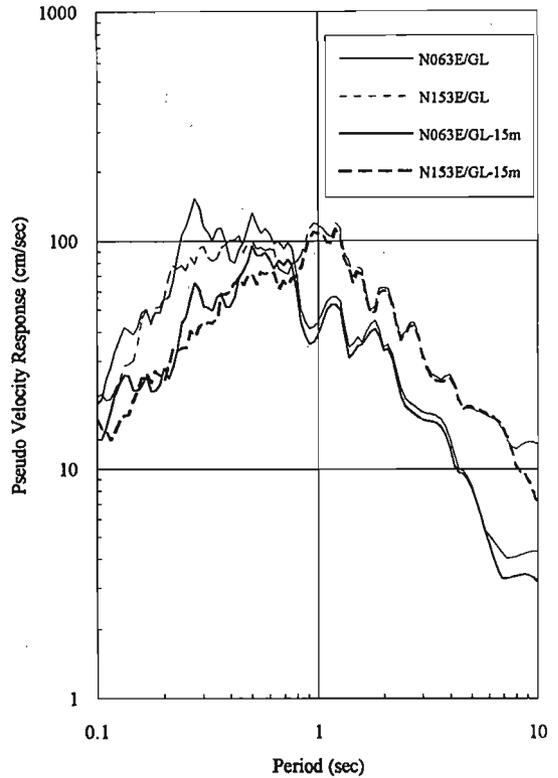


図11 地表上の観測記録と砂岩上の推定加速度時刻歴の疑似速度応答スペクトル

釧路港湾での強震動の特徴

Strong Earthquake Motions at Kushiro Port

井合 進・松永康男・森田年一・桜井博孝

S. Iai, Y. Matsunga, T. Morita, and H. Sakurai

In the 1993 Kushiro-Oki Earthquake of magnitude 7.8, a strong earthquake motion record was recovered from a dense saturated sand deposit. The peak horizontal acceleration at the ground surface was 0.47g. The record clearly indicated a peculiar ground response which manifested the effect of cyclic mobility of sand; a long period motion of about two seconds was overlain by a spiky wave form at each peak of the long period motion. The strong observation at this site consisted of a vertical seismic array with a depth of 77 meters. The peak horizontal acceleration at the depth of 77 meters was 0.20g. A ground response analysis, which takes into account the effect of non-linearity and dilatancy of soils, strongly suggests that these properties of soils play a significant role in the response of ground undergoing strong earthquake motions.

1. はじめに

平成5年(1993年)釧路沖地震では、釧路港において地表と地中(深さ77m)の地震動の同時観測がなされ、強震動による地盤の応答に関する実証的なデータが得られた。最大加速度は、地表のNS成分で469Galであった。この報告では、この地震動記録の概略について記すとともに、強震動時における地盤の応答特性に関する考察を行い、地盤震動シンポジウムにおける議論のための一つの材料を提供することを目的としている。本観測記録に関する本格的な取りまとめは、別途予定している。

2. 観測地点と地震計

釧路港の強震観測地点は、図-1に示すとおり、新釧路川の河口に位置している。同図における破線は旧

海岸線を示しており、強震計の設置地点は、丁度この旧海岸線上に位置している。同地点の地盤条件は、図-2に示すとおりとなっており、表層3m程度は埋立土であるが、それ以深は旧砂丘を構成していたと見られる中密な砂質土からなっている。

地震発生時においては、釧路市内では地盤の表層部が0.5~1m程度の厚さにわたって凍結していたと言われている。しかし、港湾関係技術者によれば、港湾地域においては、0.8m厚さの凍上抑制層が用いられているとのことであり、これまでのところ、地震発生時に地震計設置地点の地表が凍結していた否かについて判断を下すための直接的な証拠は得られていない。

釧路港における地震計は、先に触れたとおり、地表および深さ77mの2箇所に設置されている。使用している地震計はフォースバランス型の加速度計であり、半導体カセットメモリによるデジタル型の記録装置が取り付けられている。

運輸省港湾技術研究所

Port and Harbour Research Institute, Japan

3. 地震動記録と応答スペクトル

平成5年(1993年)釧路沖地震における地震動記録波形を図-3に示す。地表のNS成分の波形では約30秒付近以降においてスパイク状の波形が見られるようになっているのが特徴である。これらの波形から求めた疑似速度応答スペクトルを図-4に示す。また、加速度およびこれを積分して求めた速度、変位の水平面内での軌跡を図-5に示す。速度、変位においては、南北方向への振動の卓越が著しいのが特徴である。

これらの結果を、気象台における観測結果と比較することにより、種々の知見が得られるものと思われるが、現在のところ、港湾地域強震観測網による観測結果の全体的なとりまとめ、港湾構造物の被害のとりまとめなどに追われ、本格的な検討に着手できずにいる状況であり、今後の検討にまっところが大きい。

4. 地盤の地震応答特性

本地震で得られた記録のように、基盤で200Galを越すレベルの強震時における地表と地中での地震動の同時観測結果は、地盤の地震応答特性の検討のために、極めて有用な情報を提供しているものと考えられる。特に、地表における南北成分のスパイク状の波形は、強震動における地盤の応答特性を示すものとして注目される。

この点について検討するため、地盤の地震応答解析を実施した。土の応力ひずみ関係としては、著者らによる多重せん断機構のモデル(lai et al., 1992)を用いた。このモデルでは、せん断応力-せん断ひずみにおける非線形履歴ループおよび土の特徴ともいえるダイレイタンス(平均応力一定の条件でもせん断に伴って体積変化が発生するという特徴のこと)を考慮している点に特徴がある。詳細は省略するが、同モデルを有限要素法に組み込み、深さ-77mにおける観測記録のNS成分を基に水平成層地盤としての一次元解析を実施した結果を図-6に示している。

地表の地震動について、この解析結果と先に示した観測結果を比較したものが図-7である。観測波形に見られる特徴的なパルスなどを含み比較的よい一致が見られている。この解析における地盤の応力ひずみ関係を図-8に示す。同図に示すとおり、振動初期には

同図の中央付近に示すように線形に近い応力ひずみ関係を示しているが、振動につれてダイレイタンスの影響でハードニング型のバネ特性を示すようになっていく。この部分で、スパイク状の波形が現れている。以上のことから、強震動における地盤の応答においては、土の非線形性、特にそのダイレイタンスが鍵を握っていることが分かる。

図-9は、同解析モデルを用いて、深さ-77mにおける地震動の振幅を種々のレベルに調整して、解析した結果を示している。地盤の地震応答が、地震動レベルに応じて種々変化することを伺わせるものとなっている。

5. 余震の記録

釧路港においては、余震の記録もいくつか得られている。図-10はその一例を示すものである。本震の記録に見られたスパイク状の特徴のある波形は見られていない。現在のところ、これら余震の記録の解析も未着手の状況であるが、これらの波形を眺める限りでいえば、地盤は概ね線形系としての応答特性を示しているように見える。

6. 結論

本報告は、はじめに述べたとおり、地盤震動シンポジウムにおける議論の材料の一端を提供するためのもので、必ずしも結論が導ける書き方とはなっていないが、強震動に対する地盤の応答特性として、その非線形性、特にダイレイタンスを考慮することが重要であることが指摘できよう。

謝辞

わが国の港湾地域において強震観測が開始されてから約30年が経とうとしている。ようやくその所期の成果が得られる段階に達したとの感がある。これまでの港湾地域強震観測に対する関係各位のご尽力に対し、深い敬意を抱くものであり、ここに衷心より感謝の意を表したい。

参考文献

Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, Y. (1992) :
 "Strain space plasticity model for cyclic
 mobility," Soils and Foundations, 土質工学会、
 Vol.32, No.2, pp.1-15

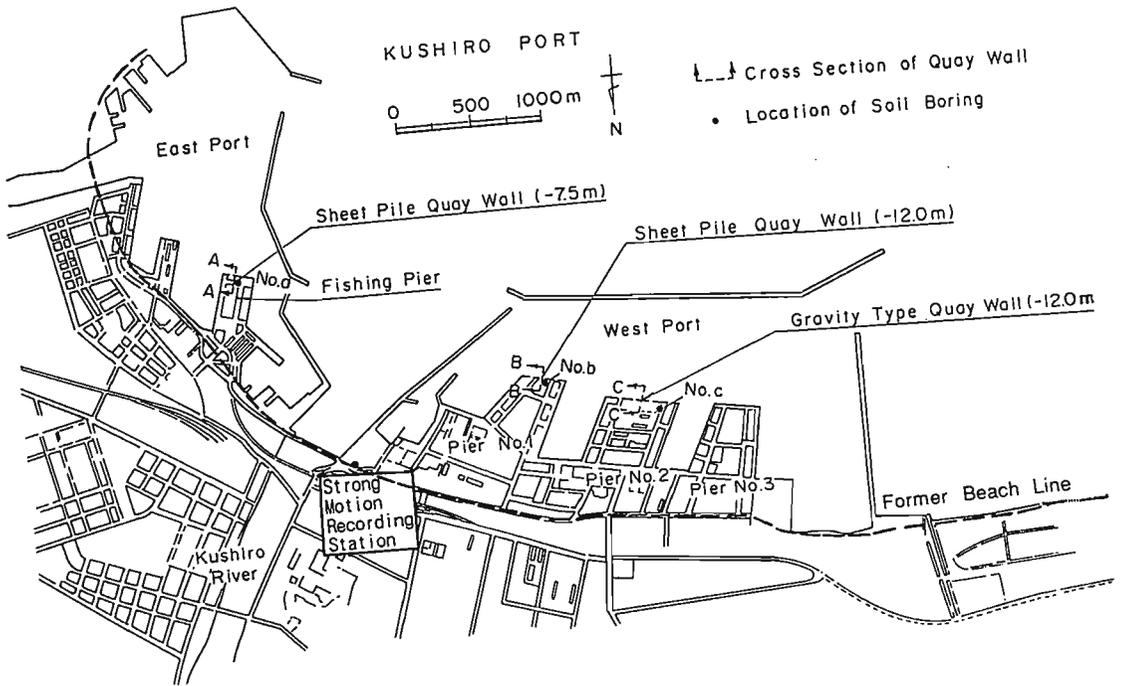


図-1 釧路港における強震計設置地点

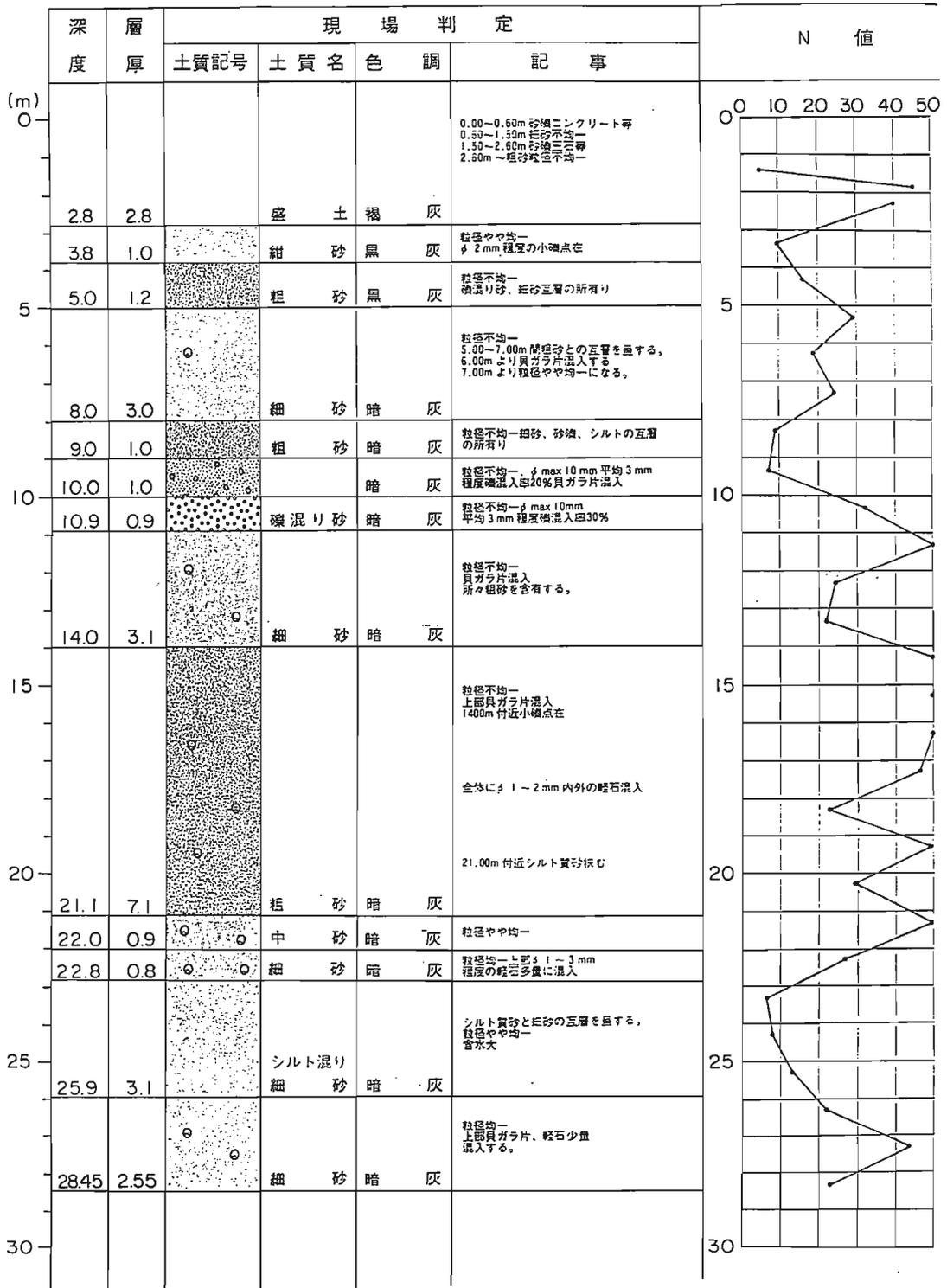


図-2 釧路港の強震計設置地点の土質柱状図

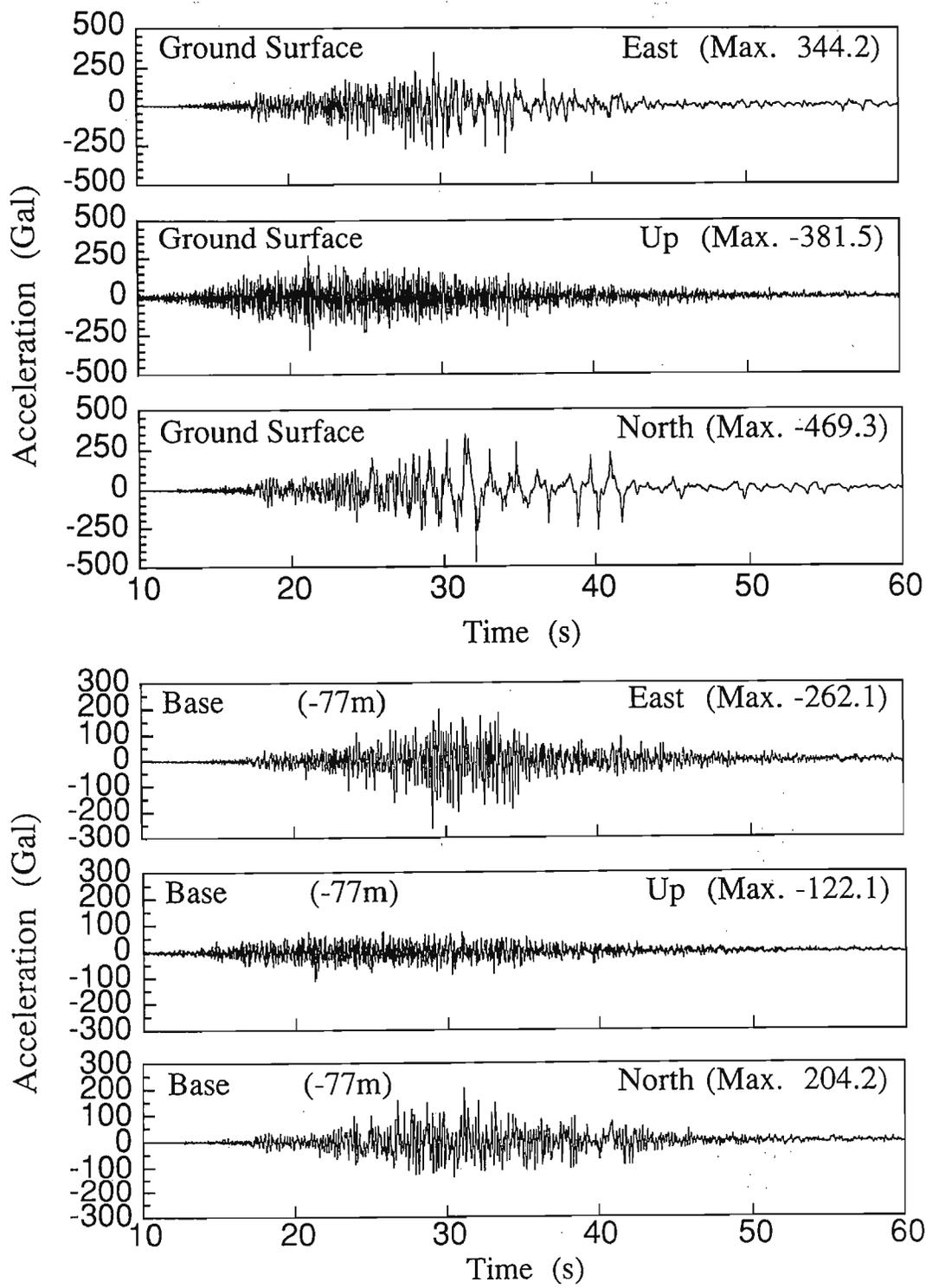


図-3 平成5年(1993年)釧路沖地震の強震記録

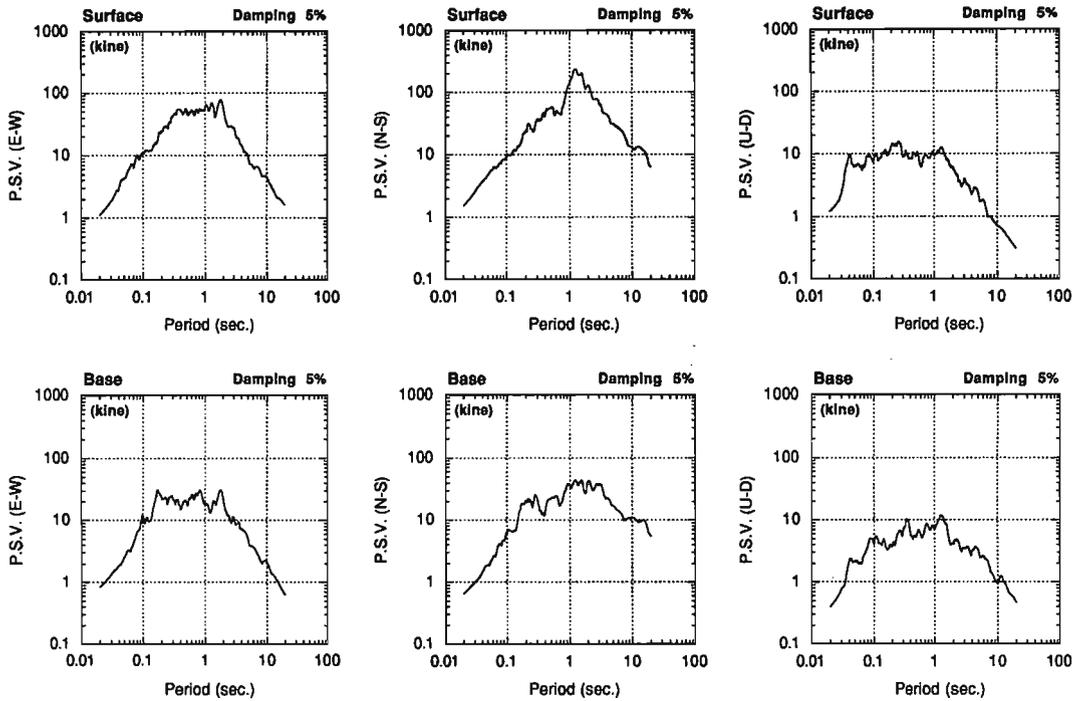


図-4 平成5年(1993年)釧路沖地震の疑似速度応答スペクトル

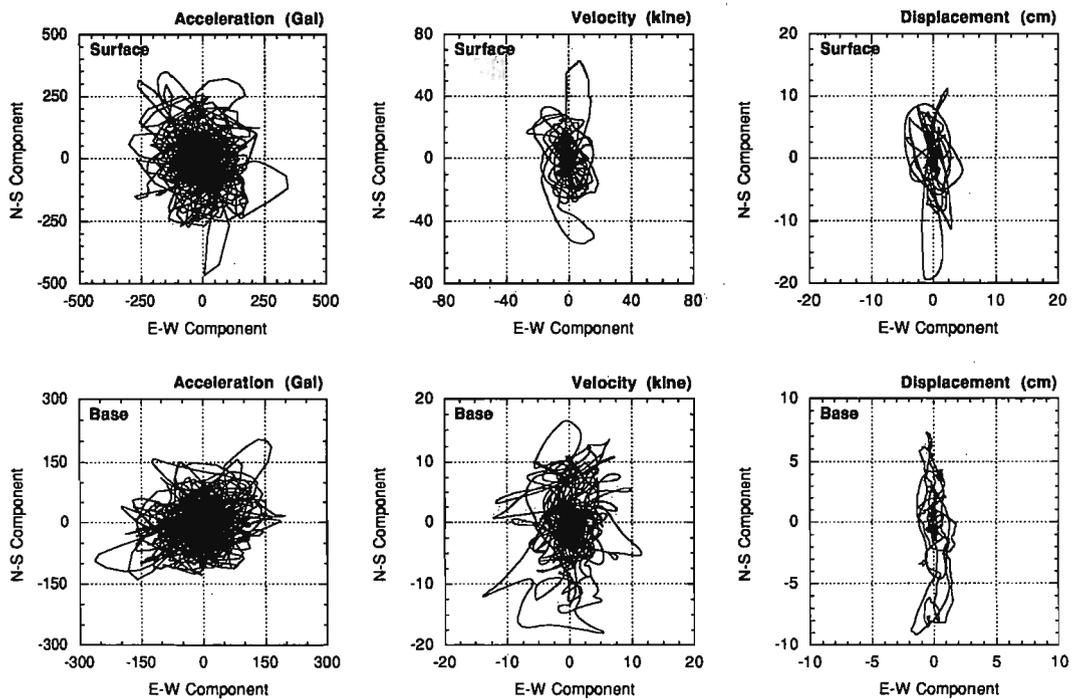


図-5 平成5年(1993年)釧路沖地震の地震動の水平面内の軌跡

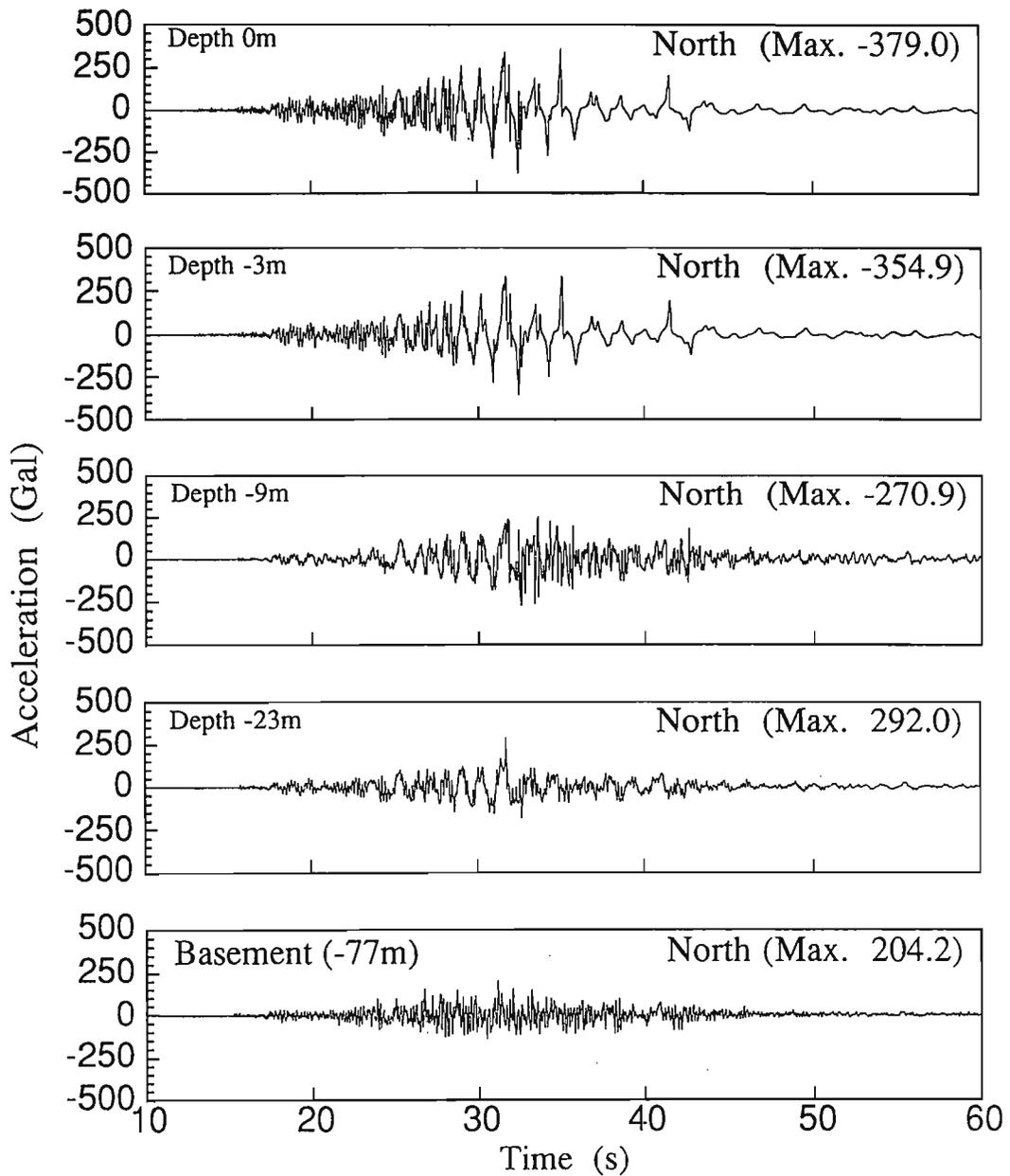


図-6 非線形モデルによる地盤の地震応答解析結果

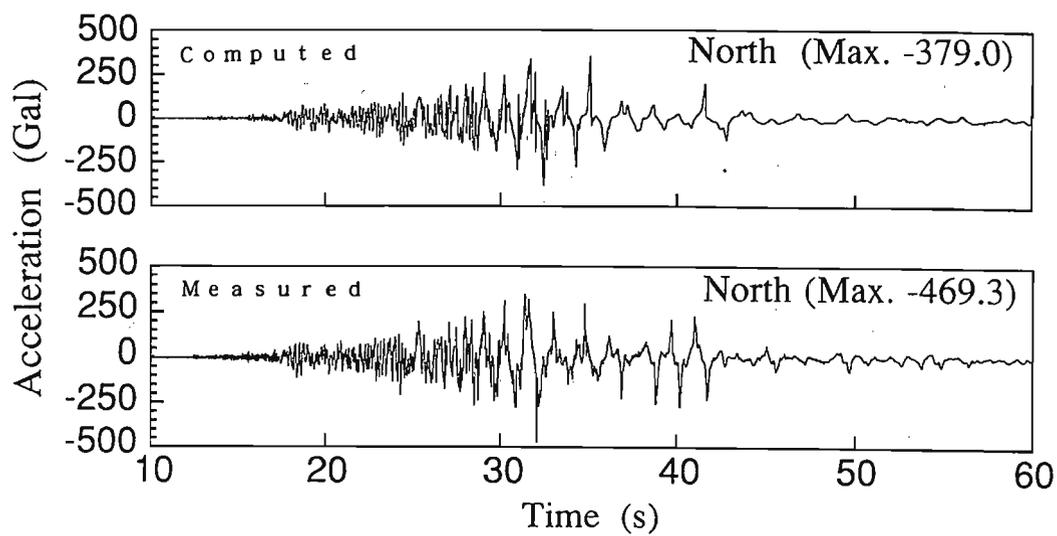


図-7 観測結果と解析結果との比較

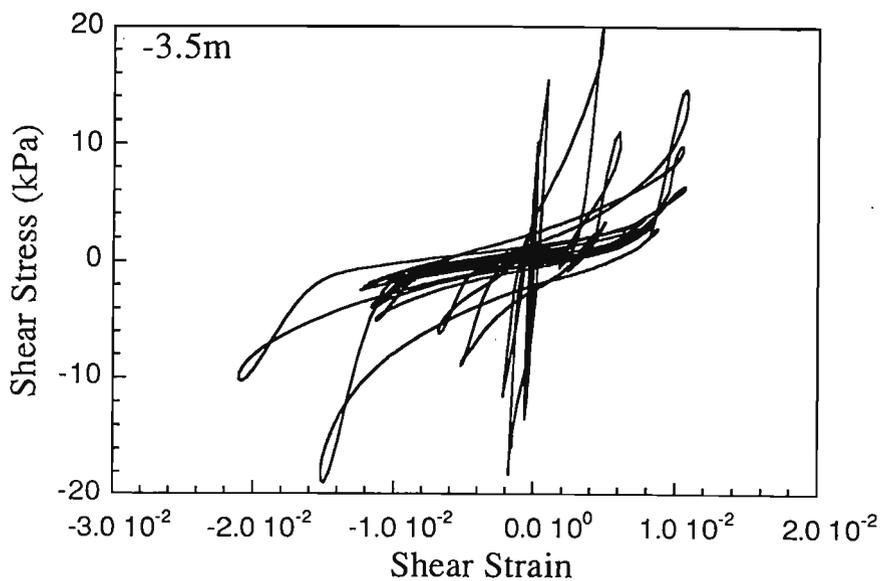


図-8 非線形モデルによる地盤の応力ひずみ関係 (深さ3.5m)

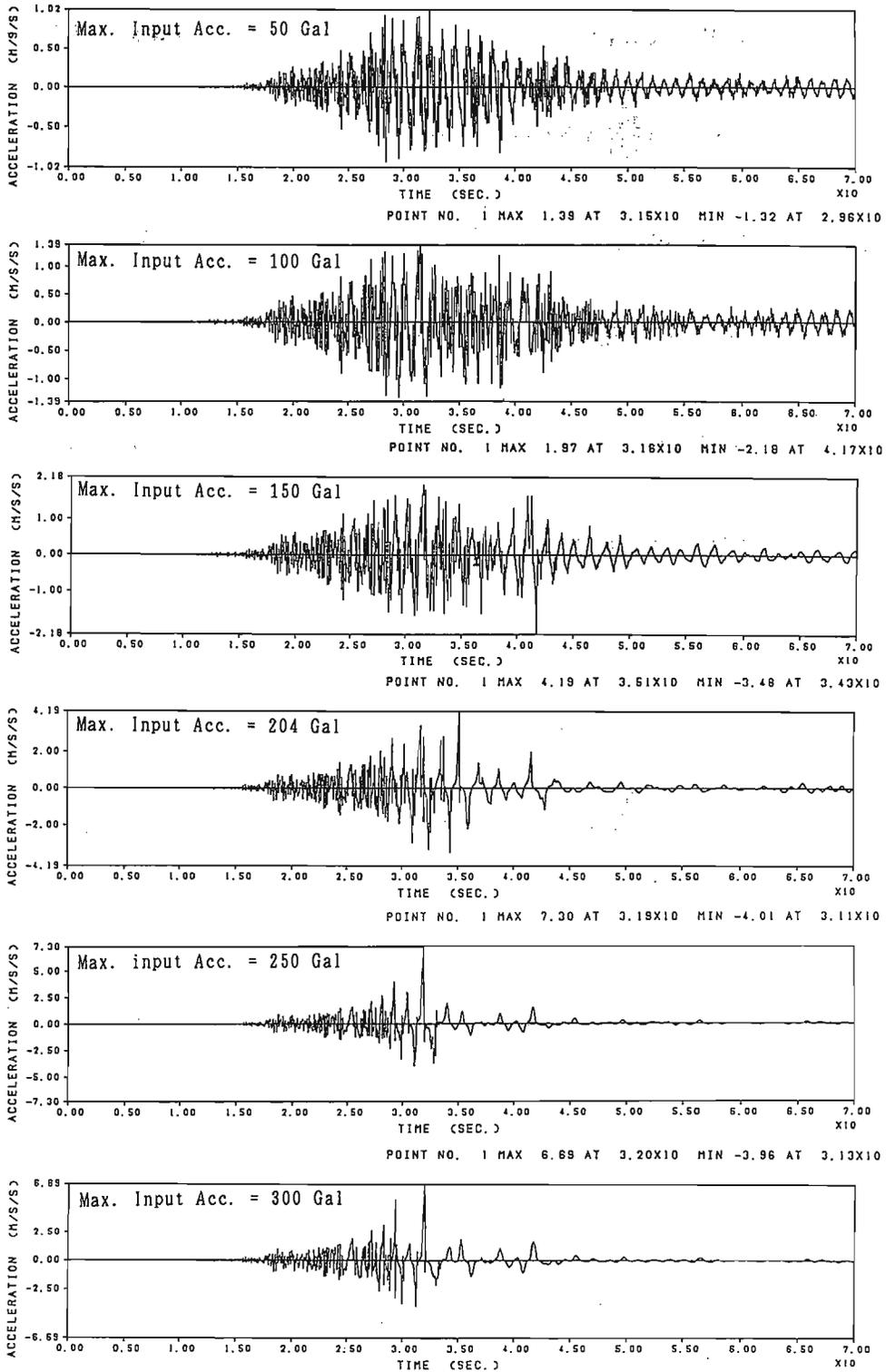


図-9 種々の地震動レベルに応じた地表の地震動の解析結果

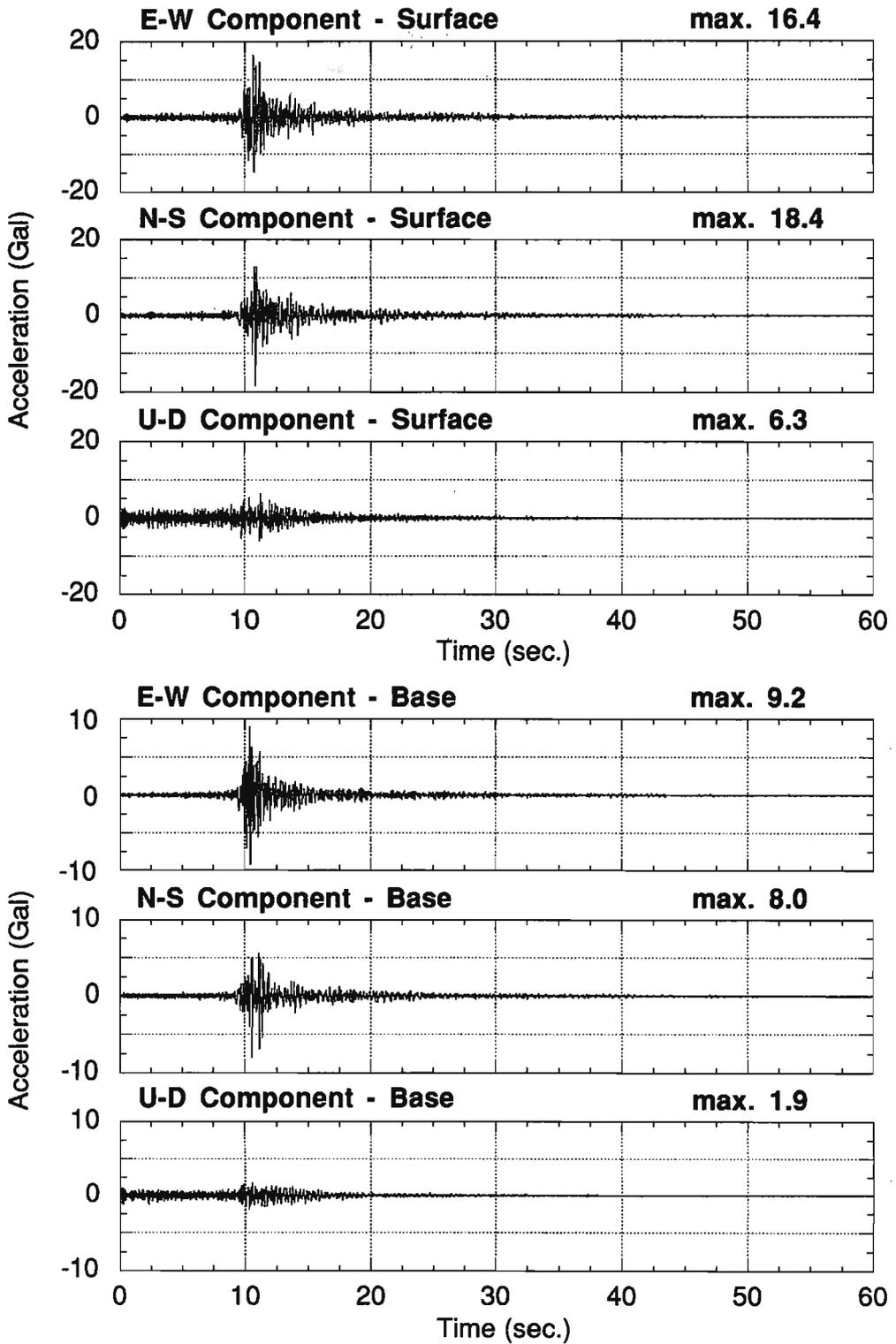


図-10 余震（平成5年2月4日）の記録

釧路気象台周辺の常時微動特性と建物被害

Characteristics of the microtremors around Kushiro Japan Meteorological Agency Station
and seismic damage of neighborhood buildings

片岡 俊一*

Shun'ichi Kataoka

Large acceleration is observed at Kushiro Japan meteorological agency(JMA) station during 1993 off Kushiro earthquake by SMAC-MD and JMA-87 type seismometer. PGAs are 0.7g and 0.9g respectively. While almost building damages are minor or slight in Kushiro city, especially at low land area. Main reason why acceleration is so large and damage is so slight might be local site effect. Surface layers around JMA station might amplified seismic motion. Kushiro JMA station is located at top of the hill that height is about 30m, and surface is covered with soft volcanic ash($V_s=120\text{m/s}$).

In this paper, there are two part. In the first part, the microtremors that observed around JMA station are discussed, to estimate the amplification of the ground. Power spectra of the microtremors observed at top of the hill show that there is a peak around 5Hz. Spectral ratio between middle and foot of the hill is about four around 5Hz. This predominant frequency is correspond to the natural frequency of the ground. Variation of microtremors in JMA station is also studied. In the second part, result of dynamic analyses for two buildings, one is JMA station and the other is located next to JMA station, and actual seismic damages are explained. Because it is a good opportunity to evaluate a dynamic analysis technic and to find out a problem to estimate a design motion. As it is difficult to estimate an exact strength, result of dynamic analysis overestimate a damage.

1. はじめに

1993年(平成5年)釧路沖地震では、釧路地方気象台において、気象庁の87型地震計及び建設省建築研究所のSMAC-MDにより、それぞれ最大加速度 919cm/s^2 、 711cm/s^2 という大きな加速度が観測された。2つの記録の最大値は2割程度異なるが、過去に日本で観測された記録の中でも最大級のものである。一方、釧路市内の低地部では、建築被害は軽微であったことが報告されている。気象台で大加速度が観測された原因として、気象台がある台地上で表層の影響により地震動がかなり増幅されたことが考えられる。このことは、アンケート調査による震度分布¹⁾、釧路市内の他の観測記録²⁾との比較、他の観測点と比較した釧路地方気象台の特性³⁾等から裏付けられる。

ここでは、大加速度を観測したにも関わらず周辺の建物の被害も少なかったという大きな問題を解決する手掛かりとして、気象台構内およびその周辺の振動特性を常時微動もとに議論する。また、気象台周辺の建物の被害と気象台及び隣接するRC造5階建ての建築物に対して

行なわれた地震応答解析の結果を整理し紹介する。

2. 気象台周辺の常時微動特性

2.1 やや広域の同時観測データから

(1)観測概要

土質工学会「軟弱地盤における地震動増幅と被害に関する研究委員会」の活動の一環として、1993年7月13日の深夜から7月14日の未明にかけて、釧路開発建設部から釧路市役所の範囲で微動の一斉観測を行なった。我々は、Fig.1に示す7点で、速度計を用いて原則的に3成分の微動をサンプリング周波数100Hzで約5分間、計4回(土質工学会の一斉観測は2回)観測した。この結果を以下にまとめる。

観測点のうち、L1は気象台裏の崖の下にあたり、L3、L6は台地上であり、L2、L7はほぼ同じようなレベルで台地の中腹に位置する。深夜であるにも関わらず、交通量は比較的多く、特にL6の近傍は交差点があるために車両が停止、発進しており、静穏時のデータを得ることは困難であった。観測点の間隔は、60m~150mである。

* 清水建設(株)技術研究所 研究員

Research Engineer, Institute of Technology, Shimizu Corporation.

(2)観測結果と考察

台地上と台地の中腹との微動を比較することで、台地上の微動特性が把握出来ると考えられる。そこで、台地上の代表点として観測点L3、中腹の代表点としてL7の微動のパワースペクトルをFig.2に示す。なお、L3のNS成分はセンサーが不調であった。このスペクトルは、ラグタイムを10秒とし300秒のデータを用いて自己相関関数を計算した後に、Parzenウィンドをかけフーリエ変換したものである。このことから、スペクトルの自由度は約100、有効振動数幅は約0.18Hzとなる。図から、台地上では水平動において5 Hz付近に卓越が見られるが、台地中腹ではこの振動数付近には際だったピークはないこと、両観測点ともに10Hz付近にピークがあることが分かる。台地上で5 Hz（周期0.2秒）が卓越すること、10Hz付近にもピークがあることは松岡・翠川⁴⁾も指摘している。Fig.3に、L7における計4回の観測結果を重ねて示すが、スペクトル形状に変化が見られない。また、台地中腹全体の様子を見るためにFig.4にL1、L2、L4、L7のスペクトルを重ねて示すが、これらの観測点のスペクトルは、傾向が似ている。そこで、L3に近く、崖の直下であるL7を基準として、L3とのスペクトル比を求めてFig.5に示す。図から5 Hz付近で約4倍増幅されていることが分かる。但し、ここで示したスペクトル比の90%信頼区間は表示した値に対して約0.85~1.18倍である。台地中腹と台地上では、標高差にして約10m（幣舞公園で標高22.0m、気象台で31.7m）程度であること、水平距離もそれほど離れていないことを考えると、5 Hzの卓越は極く表層の影響と考えられる。田治米⁵⁾が板叩き法により推定した釧路気象台の地盤構造によると、表層5mまではS波速度120m/s程度の火山灰あるいはシルトであり、この構造を用いた増幅特性の検討⁶⁾では5 Hzに卓越が見られる。以上のことより、台地中腹と台地上の差異は、この表層の層厚の影響と判断できよう。

2. 2 気象台構内の微動特性

(1)観測概要

震災予防協会「表層地質が地震動によぼす影響に関する研究委員会」等を母体として、「釧路沖地震に関わる合同微動観測研究グループ」が発足し、その活動の一環として、1993年8月21日の16時から19時

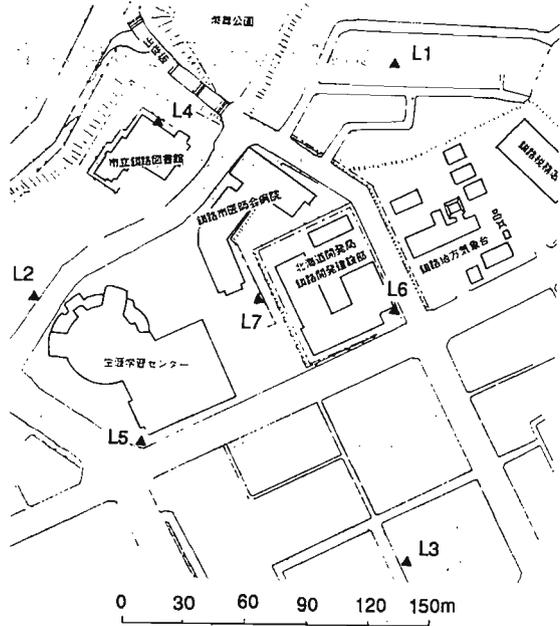


Fig.1 Observation site locations.

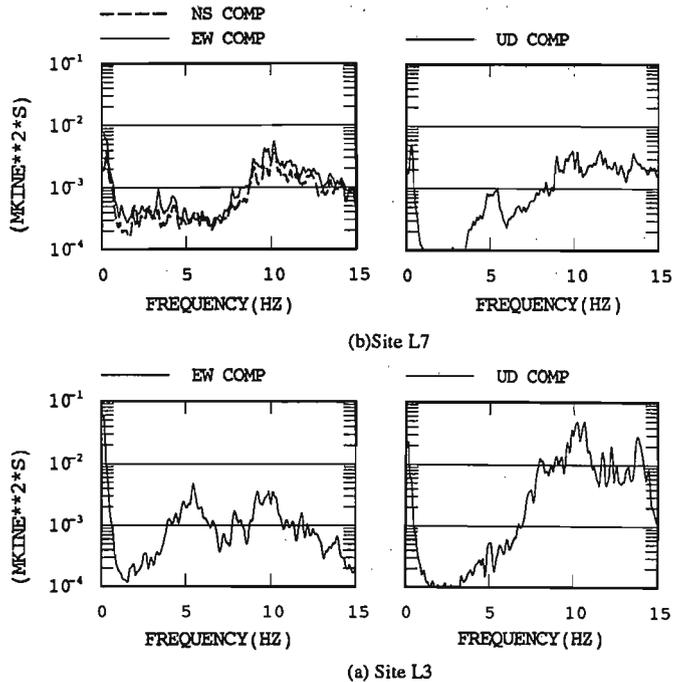


Fig.2 Power spectra for the microtremors. Power spectra are estimated from auto-correlation function Degree of freedom of spectrum is about 100. Equivalent bandwidth is about 0.18Hz. North-south component at site L3 was out of order.

て、気象台構内で3回の微動観測と杭打ちによる振動の観測を行なった。この観測時間は、活動全体のスケジュールから設定されたものである。観測点はFig.6に示すと

おり、構内全域にはほぼ10m間隔に配置されており、8機関の協力により全点同時に観測が行なわれた。合同観測の最低条件を、原則的に速度計を用いて上下・水平2成分の計3成分を測定する。データ長はサンプリング周波数100Hzで最低5分間とする。我々の分担は、気象台の裏庭を中心としたS12,S14,S16,S17, S18,S19,S20の7点であり、これに加えて合同観測終了後に気象台正面のS1,S3,S4,S6,S9,S10,S18の7点でも同時観測を行なった。

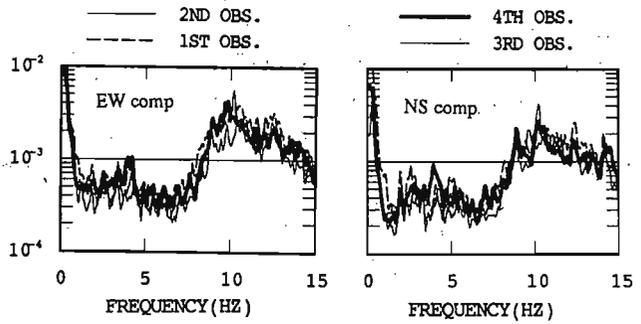


Fig.3 Power spectra at site L7. We observed the microtremors four times. Each spectrum is almost similar.

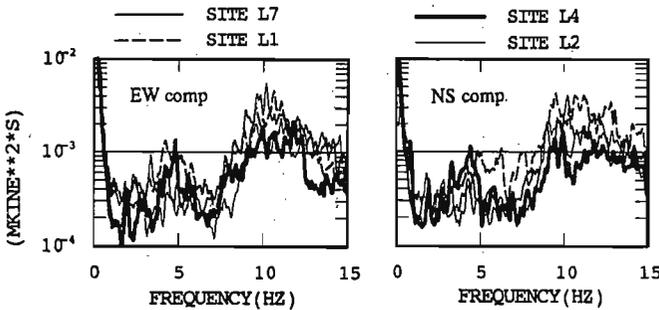


Fig.4 Power spectra at site L1, L2, L4 and L7. These sites are located at middle of the hill. Similarity of each spectrum show stability of the microtremors.

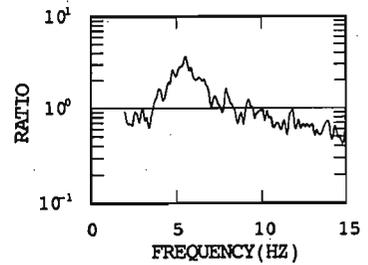


Fig.5 Spectral ratio between L7 and L3. At the top of the hill, site L3, microtremors is amplified four times at 5Hz.

観測時間が昼間であり、前述したように気象台周辺は交通量が多いことから、残念ながら理想的な観測状況ではなかった。

(2)観測結果と考察

前述したように、気象台構内の2つの地震計の最大値は約2割程度異なっていた。この原因として、構造物の影響が考えられるが、微動の振幅及び卓越振動数が気象台構内で一様であることを確認することも重要であるとされる。そこで、S17とS1における微動のパワースペクトルをFig.7に示す。パワースペクトルは、前述した方法で求めた。両観測点では、水平2成分どうしはよく似ており方向性は特に見られない。観測点間で比較すると、観測時間は異なるが5Hzより低い振動数ではよく類似している。しかしながら、それより高い振動数特に10Hz付近の振幅が大きく異なる。10Hzの卓越は前項で見たように気象台周辺の広い地域で観測されるが、その発生メカニズムや伝播の状況は現在のところ不明であり、両観測点の地震時の差異は結論できない。また、水平動と上下動との比のピークは、S17で4.3Hz、S1で4~5Hzにあった。

微動の振幅の比較を行なうために、S17を基準点としてS18,S19,S20とのスペクトル比を求めFig.8に示す。スペクトル比も前項と同様に求めている。比のパラッキはスペクトルでピークになる振動数(5, 10Hz)付近以外で

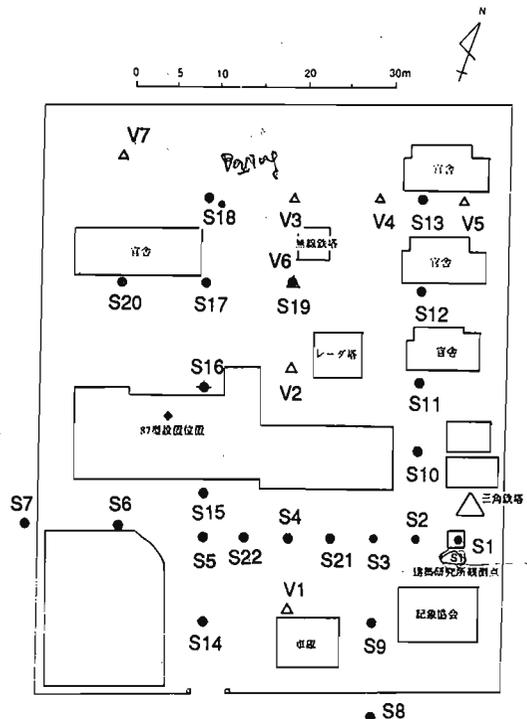


Fig.6 Observation site locations in the JMA station. At the all 29 sites, the microtremors is observed by eight groups simultaneously. At the black circled point, three component are observed and at the triangle mark only vertical motion is observed. We are in charge of sites S12, S14, S16, S17, S18, S19, S20.

はほぼ1である。図から、各観測点とS17との比は同様な傾向を示しており、S17が異質とも考えられる。また、S19はタワーの近傍に位置するが、スペクトル比に見られる約1.8Hzのピークがタワーの影響であると考えられる⁹⁾。測定当日が穏やかな日であったためか、タワーの影響はそれほど大きくもなく、他の観測点ではその影響は見られない。以上のことより、気象台の裏庭の微動の振幅は、ほぼ一様であると考えられる。一方、Fig.9は、気象台に最も近いS16の水平動のスペクトルである。NS方向で顕著であるがS17と比較すると5 Hz付近が谷になっている。これは、建物の卓越振動数が約5 Hzであり⁴⁾、NS方向は建物短辺方向に近いことから地盤との相互作用等の影響が考えられる。

S1を基準としたS4, S9, S10のスペクトル比をFig.10に示す。気象台の表側は、裏庭に比べてスペクトル比が安定しておらず、基準点の振幅が5 Hzを超える振動数から大きくなっている。また、ここには示していないが、コヒーレンスが高い区間も裏庭に比べて狭い。原因は不明であるが、十分な長

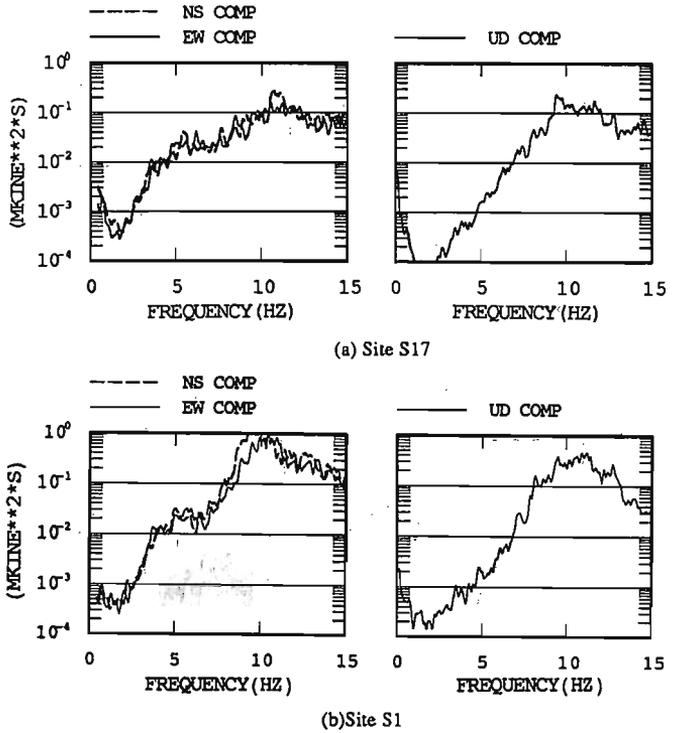


Fig.7 Power spectra at the site S17 and S1.

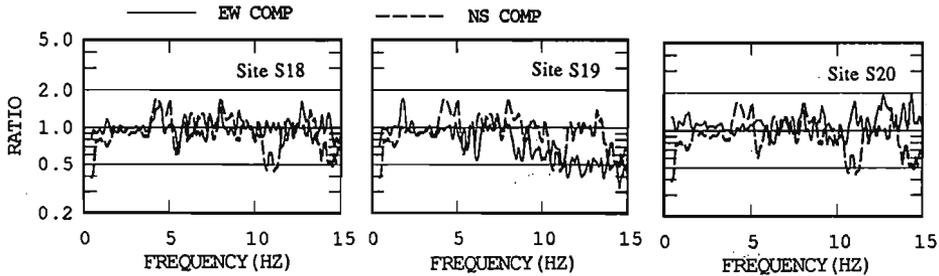


Fig.8 Spectral ratio. Reference site is S17.

さの同時観測データを用いているので交通振動等の振動源の影響とは考えにくい。また、このような常時微動の空間的変動が地震時に表われるかについては、変動の原因と振動源との関係を明かにする必要があるため、今後の検討課題と言えよう。

2. 3 気象台周辺の微動特性に関するまとめ

釧路気象台の位置する台地上の微動について、まず中腹を基準点として増幅率を検討した。また、気象台構内の微動の振幅分布を検討した。その結果次のことが言えよう。

1) 台地上の卓越振動数は約5 Hz程度であり、増幅率は中腹に比べて約4倍程度になる。

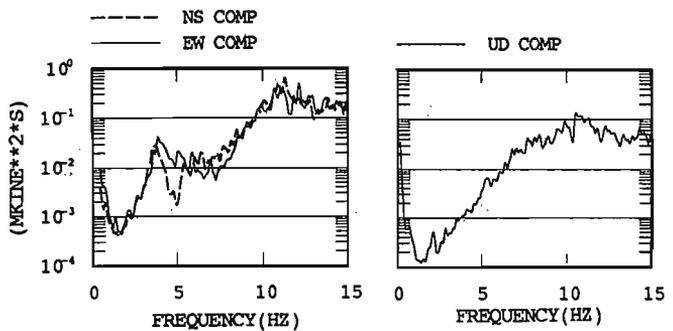


Fig.9 Power spectra at the site S16. Site S16 is the nearest site to the JMA station building. The trough at the 5Hz is effect of building motion.

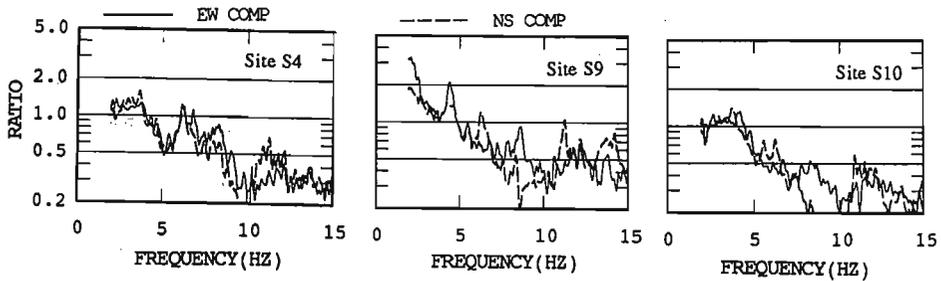


Fig.10 Spectral ratio. Reference site is S1.

2)どの地点でも約10Hzに卓越が見られた。

3)釧路気象台構内の裏庭では、微動の振幅はほぼ一様といえる。しかしながら、スペクトルのピークの振動数付近では大きく変化する。

4)構内の表庭では、微動の振幅の変化が大きい。

本報告では、卓越振動数と振幅の比較について検討を行なったが、両者は振動の発生メカニズムに大きく影響されるので、これ以上の検討を行なう場合には、常時微動の波動的性質を含め十分な吟味をする必要がある。

3. 気象台周辺の建物の地震応答解析と実被害

地震後に釧路気象台及び隣接する5階建ての建物について動的解析が行なわれ⁹⁾ている。ここでは、その内容を紹介する。この紹介例をもとに、観測された地震動を入力地震動として用いる問題点についても考えたい。

3.1 釧路気象台

壇他⁹⁾は、気象台の建物の地震応答解析を行なっている。気象台の建物は、約40年前に完成した2階建てコンクリートブロック構造の部分と、その東側の約20年前に建設された耐震壁を有するラーメン形式の鉄筋コンクリート構造の部分からなる。材料特性が不明であることから、コンクリートの圧縮強度を仮定し、平面図から質量と剛性を求めている。Fig.11にモデル化した質量と剛性を示す。入力波を気象庁の記録とし、2つの構造が一体になっている場合と分離している場合や、2次部材の影響もパラメータにして検討している。結果は、壁式構造部分はせん断ひび割れが入らない程度であり、ラーメン構造部分の耐震壁にはひび割れが発生してもおかしくないレベルであった。一方、実際の被害は増築連結部の破損、間仕切り壁の亀裂などで小破と判定されており、ほぼ解析結果と実被害が対応していると言えよう。また、解析上の固有振動数⁹⁾が常時微動測定から推定される固有振動数とかなり異なっている。ここでは観測記録は相互作用効果を含むものと考えているが、実記録を建物への入力する際の問題点を指摘しているとも言えよう。

3.2 隣接するRC造

田才他¹⁰⁾は、建築研究所の記録を入力波とし、気象台に隣接する昭和46年に建設されたRC5階建ての建物の長辺

方向をモデル化して非線形地震応答解析を行なった。各階質量は支配面積に相当する質量とし、各部材の力学特性は構造計算資料に基づいた材料強度および断面と配筋によって決めている。Fig.12に応答解析の結果求められた、最大塑性率を示す。解析結果は中破程度となり、実際の被害(小破)より、やや大きめになった。この検討では、質量・剛性ともはかなり精度良く評価できたと考えられ、非設計上の余力を考慮すればほぼ被害が説明つくと言えそうであるが、ここでも問題となるのは地震波の入力機構であろう。

3.3 その他

微動の解析の項で参照地点として用いた観測地点の付近には釧路市生涯学習センター(SRC造10F, BF, PH)がある。この建物については、動的解析は行なわれていないが、微動時の増幅が地震時にも見られれば、気象台の記録より入力した地震動は小さいはずである。被害状況は、外壁下部コンクリートの圧壊とそれにとまう鉄筋の露出、RC造壁の縦・せん断亀裂などで、軽微と判断されている¹⁰⁾。一例ではあるが、気象台およびその近接建物の被害との相対比較は、妥当な結果と言えよう。

3.4 建物被害に関するまとめ

2例の地震応答解析と実被害との比較から、以前から指摘されていることであるが、剛性の評価が難しいことが分かる。今後、今回の例のように強震記録が得られた近傍の建造物の動的解析データが蓄積し、構造物側の不確かさがどの程度であるかを明確にする必要がある。また、その際には観測された地震動をどのように入力すれば妥当であるか建物と地盤との相互作用の重要性も指摘されている。この点に関しても、観測データとそれに対する解析データの両者の蓄積が必要であろう。

4. まとめ

本報告では、気象台が位置する台地上では、常時微動が増幅されていることが明確にし、周辺の構造物に対する応答解析から、建物応答と被害の関係を紹介した。地盤震動の立場から、地震動推定に対する不確かさを更に減少させるためには、気象台周辺あるいは釧路市の地盤構造を明かにする必要がある。そのために、今後同時観

測された微動データを用いて、地下構造を推定する予定である。なお、ここで用いたデータは、川瀬博、佐藤俊明、渡辺孝英、石井透、松井正宏、早川崇、林康裕、佐武直紀（以上清水建設）、宮腰研（北海道大学）各位の協力により観測されたものである。

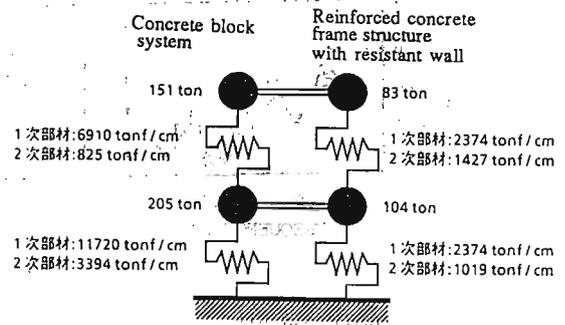


Fig.11 Dynamic analysis model for JMA station building(NS component,N153E). This building is divided into 2 part. One part is composed of concreteblock structure. The other part is reinforced concrete frame structure with resistant wall. (after Dan et al.)

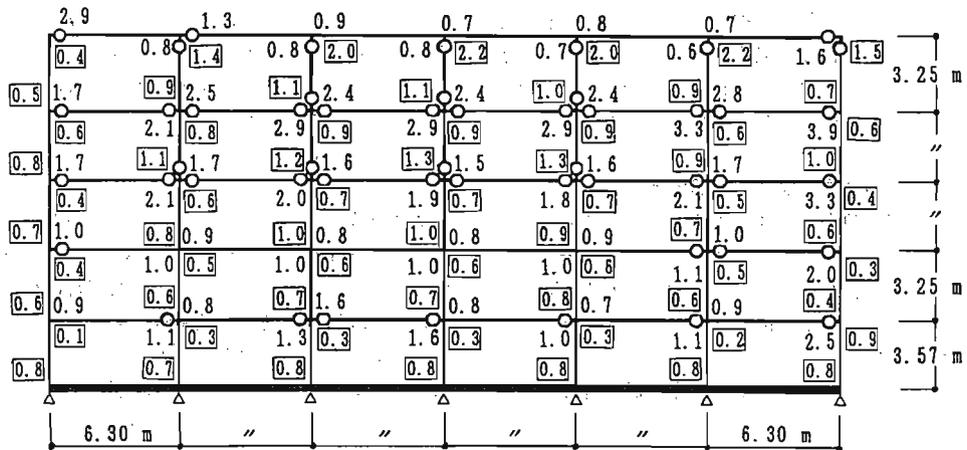


Fig.12 Maximum ductility factor. Ductility factor for beam is indicated its end and ductility factor for column is indicated in the box.(after Tasai et al.)

参考文献

- 1)佐藤俊明、翠川三郎、松岡昌志(1993)：1993年釧路沖地震における釧路市内の地震動強さ、その1、日本建築学会学術講演概要集（関東）構造Ⅰ，pp.1-2.
- 2)(財)震災予防協会：地震工学振興会ニュースNo.128，1993.1.
- 3)鹿島俊英・北川良和：釧路地方気象台の強震記録の特性、日本建築学会学術講演概要集（関東）構造Ⅰ，pp.11-12，1993.
- 4)翠川三郎、松岡昌志：1993年釧路沖地震における釧路市内の地震動強さ、その3、日本建築学会学術講演概要集（関東）構造Ⅰ，pp.5-6，1993.
- 5)田治米鏡二：弾性波探査、広尾沖地震における釧路の強震記録と構造物の被害について、pp.54-59，1969.
- 6)田中貞二：地盤の増幅特性、広尾沖地震における釧路の強震記録と構造物の被害について、pp.87-91，1969.

- 7)太田外氣晴・友野章・山中智裕：釧路気象台87型地震計基礎の振動特性、日本建築学会学術講演概要集（関東）構造Ⅰ，pp.13-14，1993.
- 8)堀一男・渡辺宏一・菊池優・海老原学：1993年釧路沖地震(M7.8)の釧路地方気象台における強震記録のもつ建物破壊力に関する検討、日本建築学会構造系論文集，No.454（掲載予定），1993.12.
- 9)渡部丹：極めて強剛だった釧路気象台寒冷地の壁式RC造の強さを実証、日経アーキテクチャー，1993年5月10日号，pp.140-145，1993.
- 10)田才晃・境有紀・隅澤文俊・柏崎隆志：「1993年釧路沖地震」の教訓と課題（建築構造学の見地から）、1993年日本建築学会大会（関東）地震災害部門パネルディスカッション資料，pp.13-16，1993.

4. 4 釧路市内の震度分布と被害

Distribution of Seismic Intensities and Damages in Kushiro City Caused by The 1993 Kushiro-Oki Earthquake

○荏本孝久¹⁾ 鏡味洋史²⁾ 望月利男³⁾
Takahisa ENOMOTO, Hiroshi KAGAMI, Toshio MOCHIZUKI

Abstract

The 1993 Kushiro-Oki Earthquake (M7.8) occurred near Kushiro City, Hokkaido, Japan in the 15th day of January. Many damages happened in Kushiro City and its vicinity, especially concentrated in Kushiro City. And also, some very important strong ground motions were recorded in Kushiro City where located near the epicenter. It is very important and interested to investigate the reason why not so many structural damages were occurred even though the very strong ground motion hit this area and also the reason why so large PGA value of the strong motion was recorded at hilly site than the PGA values recorded in alluvial low land sites.

In this paper, we indicated the detailed seismic intensity distribution used questionnaire survey method. Then we concluded that the highest intensity was recognized in Onbetsu Town in JMA Intensity Scale. In Kushiro City, the seismic intensity was concerned with the geological and topographical condition and the distribution of damages caused by this earthquake were also related to the seismic intensity.

4. 4. 1 はじめに

1993年1月15日20時06分に発生した釧路沖地震は、マグニチュード(M)7.8の大規模な地震であり、北海道釧路支庁を中心に被害が発生した¹⁾。本地震の震源は、釧路市の南方沖約10kmの北緯42°51'，東経144°23'，深さ107kmの深発性の地震であった。この地震により、人口20.6万人で北海道内で4番目に大きな都市²⁾³⁾である釧路市において、死者1名，重軽傷者314名，住家全半壊45棟，一部損壊・破損108棟の被害が発生し，電力・ガス・上水道などのライフライン施設の被害も多数発生した。特に，この地震において注目された現象は台地上に位置した釧路地方気象台において，87式地震計によってNS成分919.4gal，EW成分814.9gal，UD成分465.5galを記録し，また同気象台敷地内において建設省建築研究所が設置したSMAC-MD型強震計によって，NS成分711.4gal，EW成分637.2gal，UD成分363.4galという極めて大きな最大加速度値が観測されたことである。一方，低地部においても釧路港湾建設事務所において運輸省港湾技術研究所が設置したERS-G型地震計で観測された強震記録が，NS成分469.3gal，EW成分344.2gal，UD成分381.5galを示し，幾つかの観測地点においても大きな最大加速度値が観測されたが，相対的に台地上の釧路地方気象台で観測された最大加速度値に比べ，低地部において観測された強震記録の最大加速度値が小さい値を示したことであり，本地震の発震機構および地形・地質あるいは地盤構造との関係から，地震動特性ならびに地震動強さの地域的な分布特性に関する検討が大変大きな調査研究の課題となった。

本報告は，釧路沖地震における北海道内，釧路支庁管内および釧路市内の各地における震度分布について，アンケート方式による震度分布の調査方法⁴⁾に基づいて算定された各地の震度分布の結果をまとめ，上述の検討課題へのアプローチに寄与すること目的としたものである。本報告では，特に釧路市内の詳細な震度分布調査の結果に重点をおいて震度分布と地形・地質と地盤および被害の分布との関係についての考察をまとめた。なお，

1) 神奈川大学工学部 (Kanagawa University, Faculty of Engineering)

2) 北海道大学工学部 (Hokkaido University, Faculty of Engineering)

3) 東京都立大学都市研究センター (Tokyo Metropolitan University, Center for Urban Study)

北海道内各市町村別の震度分布については、鏡味・岡田による調査結果報告⁵⁾を引用し、釧路支庁および釧路市に関する調査は、東京都立大学・北海道大学・神奈川大学・関東学院大学の共同研究による調査結果をまとめたものである。

4. 4. 2 調査方法の概要

震度分布の調査は、すでに多くの地震の際に利用されているアンケート方式の調査票によった。配布回収については、北海道内各市町村別の震度分布調査では、北海道庁の協力を得て、支庁経由で各市町村の職員に依頼し配布回収する方式を採用したものである。配布枚数は各市に50枚、各町村に25枚とし、配布した全市町村から回収した。また、釧路市を含む釧路支庁管内の10市町村を対象とした高密度な震度分布調査における配布回収は、各市町村の教育委員会を通して公立小学校に依頼し、児童の家庭に配布し回答後に小学校あるいは教育委員会単位で回収し、返送してもらう方式を採用したものである。この場合、表-1に

表-1 アンケート調査票の配布と回収

市町村名	小学校	児童数	配布枚数	回収枚数	有効枚数
釧路市	28	15038	7630	6131	6050
音別町	2	269	150	130	124
白根町	5	955	520	418	395
阿寒町	6	535	320	264	257
釧路町	6	1915	1000	950	928
厚岸町	10	1159	730	534	491
浜中町	14	736	560	412	352
標茶町	15	930	630	418	310
弟子屈町	7	748	520	398	359
鶴居村	6	226	180	138	128
合計	99	22511	12240 (54.4%)	9793 (80.0%)	9392 (76.7%)

アンケート調査票の配布回収の結果を示した。配布枚数は、釧路支庁管内の小学校の児童生徒数の約半数(54.4%)にあたる12240枚である。また、回収枚数は9793枚(80.0%)であり、その回収票の中で回答欄への記入の不備や住所等が確認できない調査票を除いた有効な調査票の回収枚数は、9392枚(76.7%)であった。なお本報告では、釧路支庁管内および釧路市についてのやや詳細な震度分布の算定結果を中心にまとめることとする。

4. 4. 3 北海道および釧路支庁における震度分布 (1) 震度分布の算定結果

北海道内の市町村を対象とした震度分布の算定結果を表-2、図-1に示す。アンケート方式による震度は、既

表-2 北海道内各市町村別の震度調査結果

市町村名	解析枚数	算定震度												
(石狩支庁)			ニセコ町	35	3.3	名寄市	60	2.6	紋別市	46	3.2	三石町	24	4.5
札幌市	3579	3.6	真狩村	25	3.4	高良野市	49	3.7	東郷茅村	25	3.8	浦河町	20	4.6
江別市	267	3.6	留寿都村	26	3.1	鷹栖町	22	3.0	女満別村	24	3.8	標似町	23	4.6
千歳市	67	4.1	喜茂別町	25	3.3	東神楽町	11	2.9	美幌町	29	3.9	えりも町	7	3.6
恵庭市	183	3.8	京極町	22	3.1	当麻町	19	3.0	遠別町	17	3.7	(十勝支庁)		
広島町	146	3.8	似知安町	51	3.5	比布町	27	2.6	新川町	31	4.5	帯広市	40	4.9
石狩町	236	3.7	共和町	19	3.3	愛別町	22	2.8	香更町	19	4.5	音更町	31	4.9
当別町	29	3.8	岩内町	40	3.0	上川町	23	2.8	小清水町	21	4.1	士幌町	22	4.5
新藤原村	23	3.9	治村	16	1.2	東川町	17	3.1	鶴野町	13	3.8	七土幌町	22	4.5
厚田村	19	3.5	神恵内村	23	2.6	美瑛町	25	3.0	開子府町	23	3.8	鹿追町	25	4.9
浜益村	21	3.0	積丹町	22	2.7	上富良野町	23	3.6	辰戸町	22	3.7	新得町	22	5.0
(渡島支庁)			古平町	22	3.2	中富良野町	21	3.9	留辺蘂町	22	3.8	清水町	21	5.0
函館市	40	3.6	仁木町	21	3.0	南富良野町	22	4.2	佐呂間町	23	3.5	野宮町	22	4.9
松前町	16	2.9	余市町	48	3.5	古越町	23	4.3	常呂町	23	3.5	中札内町	21	4.5
知内町	21	3.3	赤井川村	16	3.4	和歌町	23	3.0	生田原町	24	3.5	更別村	21	4.5
福島町	19	3.6	[空知支庁]			剣淵町	25	2.7	遠軽町	34	3.2	志和村	21	4.8
木古内町	21	3.3	夕張市	49	3.7	朝日町	21	1.3	九層布町	23	3.0	大樹町	22	5.0
上ノ国町	21	3.7	岩見沢市	81	3.8	風連町	15	3.0	白滝町	24	3.3	広尾町	25	4.7
大野町	17	3.7	美瑛市	50	3.6	下川町	20	2.8	上湧別町	22	3.5	幕別町	28	4.9
七飯町	27	3.6	芦別町	49	3.0	美瑛町	25	2.5	湧別町	25	3.7	池田町	24	5.3
戸井町	15	3.9	赤平市	43	3.3	音威子府村	24	2.3	滝上町	20	2.7	豊原町	19	5.1
恵山町	23	4.2	三笠市	43	3.7	中川町	14	2.0	興部町	21	3.4	本別町	23	5.2
樺法華村	22	4.3	滝川市	67	3.5	(留萌支庁)			西興部町	20	2.8	足寄町	25	4.8
南茅渚町	20	3.7	砂川市	58	3.3	留萌市	49	2.6	雄武町	20	2.1	陸奥町	20	4.3
茅渚町	23	4.0	歌志内市	42	3.2	増毛町	24	2.9	(胆振支庁)			浦幌町	22	5.3
砂原町	18	4.0	深川市	53	3.0	小平町	18	3.0	室蘭市	4258	3.9	(釧路支庁)		
森町	32	3.7	北村	19	3.9	苫前町	24	2.3	苫小牧市	63	4.2	釧路市	###	###
八雲町	30	3.3	栗沢町	19	4.1	羽幌町	22	2.7	赤井町	2829	3.9	釧路町	15	5.3
長万部町	25	3.2	南幌町	19	3.7	初山別村	23	1.2	伊達市	49	3.7	厚岸町	24	5.2
(釧路支庁)			奈井江町	24	3.4	遠別町	21	2.5	虻田町	23	3.0	浜中町	17	5.1
江狩町	27	3.1	上砂川市	23	3.3	天塩町	27	0.6	虻田町	31	3.4	標茶町	23	5.6
上ノ国町	26	3.3	山手町	24	3.8	網走町	18	3.2	酒巻村	21	3.4	弟子屈町	22	5.0
厚沢部町	24	3.3	長沼町	29	4.2	(宗谷支庁)			大滝村	19	3.9	釧路町	22	5.5
乙部町	25	3.2	栗山町	26	4.2	稚内市	54	1.4	稚内市	16	3.4	網走村	18	5.5
熊石町	26	2.1	月形町	21	3.8	猿払村	19	2.3	白老町	16	4.2	白根町	24	5.2
大成町	20	0.7	浦白町	18	3.7	浜頓別町	15	2.6	早来町	19	4.4	音別町	19	5.7
奥尻町	23	2.0	新十津川町	27	3.4	中頓別町	20	1.8	道分町	15	4.4	(根室支庁)		
標居町	21	2.9	妹背牛町	17	3.4	枝幸町	23	1.6	厚真町	23	4.1	根室市	45	4.6
北陸山町	22	3.3	秩父別町	19	3.4	歌登町	22	2.4	鶴川町	20	4.6	別海町	26	5.2
今金町	27	3.3	北竜町	20	2.9	豊前町	25	2.6	越前町	25	4.5	中標津町	28	5.1
(根室支庁)			北竜町	20	3.1	礼文町	23	0.0	(日高支庁)			標津町	14	4.9
小樽市	420	3.2	沼田町	26	3.0	利尻町	21	0.0	日高町	23	4.3	羅臼町	22	4.7
島牧村	21	2.4	幌加内町	21	2.7	利尻富山町	17	0.5	平取町	21	4.3			
登別町	14	1.2	[上川支庁]			利尻富山町	17	0.5	門別町	23	4.4			
瓜拉内町	23	3.1	旭川市	40	3.0	(網走支庁)			北見市	73	3.8			
蘭越町	24	2.9	士別市	54	2.9	網走市	46	3.8	静内町	31	4.5			

にその有効性が認められている小数点以下1桁までを有効値とした算定値で示されており、四捨五入すると気象庁の震度階に対応するようになっている。最高の震度を示したのは音別町であり、算定された平均震度は5.7であり、被害状況、被害踏査報告などと一致している。震度VIに相当する5.5以上の地域は、釧路市の北方にも認められる。震度Vの地域は、根室から十勝にかけてであり、一部日高にも及んでいる。

釧路支庁管内の震度分布を表-3、図-2に示す。これは、図-1に示した北海道内を対象としたやや粗な震度分布に対して、震源に近く最も被害が多く発生した釧路支庁管内を対象として10の各市町村において、地域区分として町村字単位にまとめて震度を算定したもので、釧路支庁管内のやや粗な震度分布と減衰の傾向を見たものである。

震度の算定にあたって、1地区に5枚程度以上のアンケート調査票が回収されていることを条件として、町村字単位の地域区分を行っているが、各市町村とも中心となる市街地周辺において密になり、逆に郊外の農村地域においてはかなり粗となる傾向が認められるため、地域によっては2枚程度の回収した調査票であっても、震度の評価を行わざる得ない場合もある。そのような場合には、調査票の回答から算定された震度が極端に高かったり低かったりするような回答は除外することとしている。この結果、震度の最も高い地域は音別町内の緑町であり、震度6.1と算定された。

(2) 震度分布の特徴

北海道内の粗な震度分布を示した図-1では、各市町村での平均震度として音別町で震度5.7、標茶町で5.6、阿寒町、鶴居村で5.5を示しており、釧路支庁管内で高い震度が算定されている。釧路市での平均震度は5.2である。同図中のコンターは半径100kmの範囲のデータに対して平滑化を施し、自動作図した結果を示したものである。局所的な地盤の違いなどによる揺らぎをカットしたものであり、震度の減衰の大まかな傾向を読み取ることができる。震度は、釧路付近では東西に延びた形状を示しており、北見・網走にかけて震度のコンターが密になっており、北方に向けて震度の減衰が大きいのことを表している。また、渡島半島についても同様の傾向が見られ、西方に向かって震度の減衰が大きくなっていることを示している。道央の低地帯では、コンターが北方に延びており地盤の増幅を表しているものと考えられる。

釧路支庁管内のやや粗な震度分布の結果を示した図-2では、全体的には図-1に示した北海道内全域を対象とした粗な震度分布の傾向に整合した特徴を示しているが、各市町村内においても震度の高い地域と低い地域が分布していることが明瞭に認められる。図中に示したコンターは、半径10kmの範囲内のデータに対して平滑化を施したものであり、震度分布を細く見るために0.2の間隔でコンターを作図したものである。

最も震度の高い値が分布する市町村は上述した結果と同様音別町であり、音別町内の緑町で震度6.1と最も高い震度を示している。音別町の東に隣接する白糠町においても、震度5.8と高い震度を示す地域が分布しており、音別・白糠町の周辺地域が、今回の釧路沖地震において最も震度の高かった地域であることを示している。また、釧路市の北側に位置する標茶町においも、震度5.7～5.8と震度の高い地域が認められる。これ

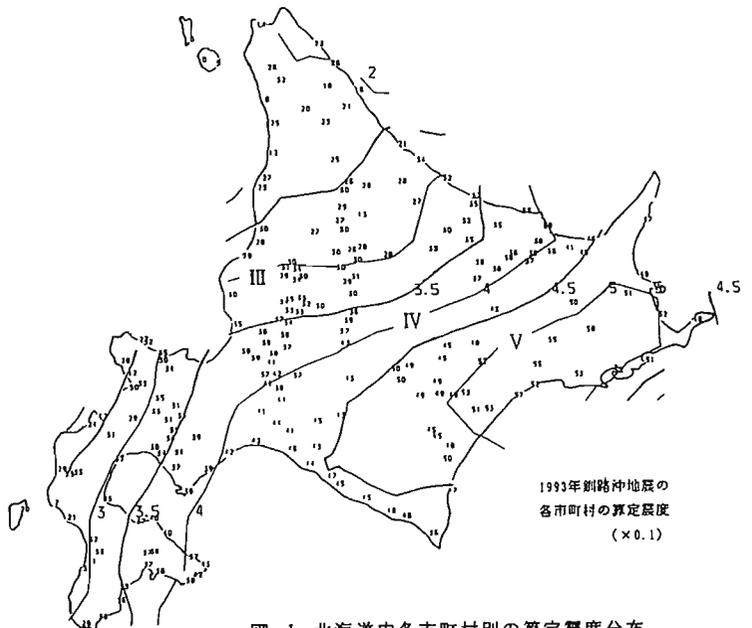


図-1 北海道内各市町村別の算定震度分布

表-3 釧路支庁管内10市町村の詳細震度調査結果

市町村別 地名(注)	解析 枚数	算定 震度	市町村別 地名(注)	解析 枚数	算定 震度	市町村別 地名(注)	解析 枚数	算定 震度	市町村別 地名(注)	解析 枚数	算定 震度	市町村別 地名(注)	解析 枚数	算定 震度
【春別町(02)】			24. 西鹿路東2			24. 流布町	20	5.2	7. 扇原	16	5.1	4. 跡佐登	10	4.6
1. 二股	5	5.4	北1-3	11	5.4	25. 老若舞	7	4.8	8. 窪野	28	5.6	5. 礼次内	6	4.5
2. 中寺別	9	5.7	25. 西鹿路甲区	21	5.4	28. 知方字	7	5.0	9. 幕端別	35	5.5	6. すずらん台	5	4.7
3. 本町	16	5.6	28. 扇別	3	4.8	27. 仙風止	11	5.3	10. 齊橋戸	14	5.3	7. 塚丘	11	4.8
4. 湯光	20	5.8	【阿寒町(04)】			【厚岸町(06)】			11. 輝多布	76	5.3	8. 泉町	47	4.8
5. 中国	15	5.8	1. 湖畔	52	4.5	1. 富岡町	48	5.2	12. 火取布	10	5.0	9. 中央	28	4.8
6. 朝日	14	5.8	2. 湖畔吾草	12	4.5	2. 白浜町	18	5.4	13. 藤敷布	5	4.8	10. 仁多	11	4.9
7. 川東	29	5.9	3. 扇別	9	5.4	3. 佐の江町	41	5.0	14. 丸山敷布	5	5.1	11. 奥野別	10	4.9
8. 森町	5	6.1	4. 布伏内	16	5.3	4. 厚町	21	4.9	15. 敷布村	5	5.2	12. 阿部子居	10	5.3
9. 共栄	4	5.9	5. 仁々志別	19	5.3	5. 若竹町	22	5.4	16. 渡敷布	5	5.3	13. 湯子居	31	4.9
【白糠町(03)】			6. 富士見町	46	5.5	6. 松園町	17	5.3	17. 輝別	20	5.4	14. 奥里	39	4.8
1. 鹿越	13	5.2	7. 中央町	56	5.5	7. 浜辺町1-4	24	5.2	18. 東門余別	3	5.0	15. 高栄	49	4.9
2. 和天別	17	5.8	8. 中阿寒	13	5.5	8. 浜辺町5-7	32	5.1	【標茶町(08)】			16. 朝日	20	5.0
3. 茶路	21	5.5	9. 下吾字	3	5.1	9. 御香町	18	5.1	1. 阿曇内	27	5.4	17. 磯の島	6	5.2
4. 西1北1-4	16	5.4	10. 川橋	4	5.7	10. 滝月町	30	5.2	2. 鹿越	16	5.5	18. 奥村1-7	2	5.3
5. 西1北5-7	17	5.6	【網走町(05)】			11. 有明町	10	5.3	3. 下村1-7	4	5.5	【釧路村(10)】		
6. 西1南1-4	25	5.5	1. 湖畔	55	5.1	12. 栄町	32	5.4	4. 五十石	2	5.7	1. 尻置橋	6	5.3
7. 西4北1-2	8	5.3	2. 鳥通西	6	5.4	13. 真栄町	26	5.2	5. 阿村	20	5.7	2. 上様島	7	4.9
8. 西5北1-2	19	5.6	3. 鳥通東	6	5.4	14. 太田町	18	5.3	6. 上村1-7	6	5.7	3. 様島西	10	4.5
9. 東1.2北1-4	36	5.5	4. わらび	31	4.8	15. 別家辺牛	5	5.3	7. 坂町	27	5.7	4. 下様島	10	4.9
10. 東1北5-8	24	5.5	5. 遠矢	33	5.5	16. 釜多	4	5.2	8. 富士町	4	5.5	5. 中置橋	6	5.0
11. 東1南1-4	16	5.3	8. 遠矢南	10	5.1	17. 門前	14	4.9	9. 藤通町	7	5.5	6. 下置橋	5	5.1
12. 東2.3北5-6	6	5.0	7. よし野	31	5.3	18. 太田	21	5.3	10. 川上町	11	5.4	7. 下久寄呂	16	4.9
13. 東2南1-3	13	5.5	8. 雨降台	30	5.6	19. 片敷去	17	5.3	11. 新栄町	8	5.7	8. 釧路西	13	5.2
14. 東3北1-2	6	5.6	9. 西西	51	5.3	20. 上尾橋	13	5.4	12. 旭町	17	5.6	9. 釧路東	19	5.0
15. 東3南1-2	4	4.9	10. 泊東	35	5.6	21. 尾橋	22	5.5	13. 常盤町	14	5.4	10. 釧路南	3	4.8
16. 町	10	5.3	11. 越	32	5.8	22. 来別	4	5.4	14. 村中	10	5.6	11. 釧路北	2	5.0
17. 駒牛	12	4.9	12. 豊美-北西	87	5.3	23. 上村1-7	4	5.5	15. 中久留島	12	5.5	12. 中様島	2	5.2
18. 西鹿路西1 北1-4	6	5.3	13. 塚	92	5.3	24. 吾松	4	5.1	16. 中村1-7	13	5.3	13. 新様島	3	4.8
19. 西鹿路西1 南1-3	15	5.2	14. 陸-佐木	73	5.3	25. 赤坂	2	4.6	17. 栄町	7	5.8	14. 支置橋	3	5.4
20. 西鹿路西2 北南1-3	25	5.2	15. 国曾	16	5.3	26. 糸魚沢	2	5.4	18. 上村1-7	9	5.3			
21. 西鹿路東1 北1-2	15	5.0	16. 陸	12	5.3	27. 筑紫志	2	5.3	19. 釧牛	8	5.2			
22. 西鹿路東1 北3-4	18	5.3	17. 光和	39	5.3	【浜中町(07)】			20. 磯分内	34	5.0			
23. 西鹿路東1 南1-4	8	5.0	18. 新湖	37	5.2	1. 中門余別	9	5.2	21. 上多	16	5.4			
			19. 北見団地	40	5.1	2. 西門余別	7	5.8	22. 虹別	12	5.2			
			20. 若菜	23	5.2	3. 葉内	71	5.1	【弟子屈町(09)】					
			21. 中央	10	5.0	4. 後野	18	4.7	1. 愚野路	25	4.7			
			22. 別保	55	4.9	5. 釧牛原野	8	5.0	2. 奥留和	15	4.8			
			23. 別保南	11	4.8	6. 悪茶人	8	4.9	3. 川越	29	4.5			

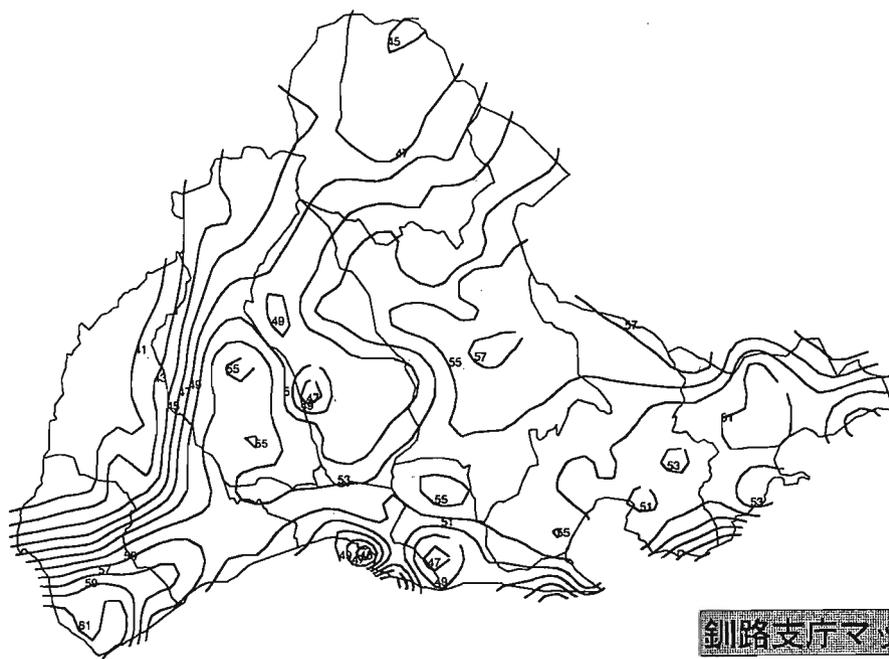


図-2 釧路支庁管内10市町村の詳細震度分布

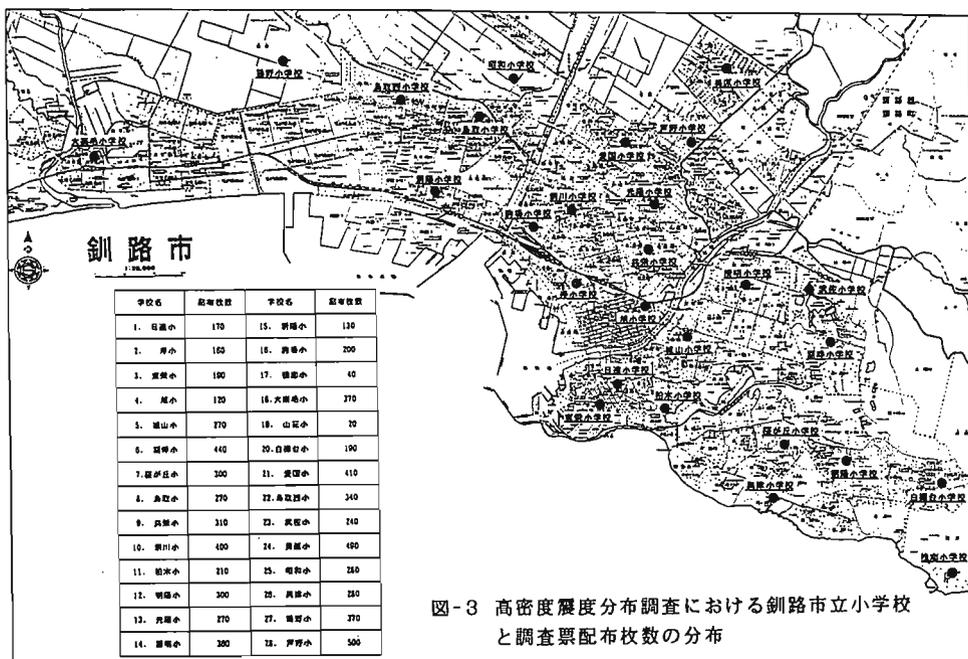


図-3 高密度震度分布調査における鉚路市立小学校と調査票配布枚数の分布

は、鉚路湿原などを形成した鉚路川の北方上流への延長上に当たる地域であり、この地域の地盤特性に起因する地震動の増幅効果による影響と考えられる。一方、鉚路市の東側に位置する厚岸町・浜中町においても、幾つかの地域において震度5.5を越す地区も分布しているものの、相対的には鉚路支庁管内の西部の音別町や北部の標茶町などの市町村の地域に比べて低い震度分布となっている。

4. 4. 4 鉚路市における詳細震度分布

(1) 震度分布の算定結果

鉚路市内の震度分布調査については、前述したように鉚路市内において極めて大きな強震記録が観測され注目されたため、市内の地形・地質あるいは地盤構造などによる震度分布の違いなどについても考察することができるように、高密度な震度分布調査を実施した。調査は、図-3に示したように市内の全市立小学校28校を対象として、7630枚のアンケート票を配布し、6050枚(79.3%)の有効回答票を回収した。鉚路市内の震度分布を表-4および図-4に示す。鉚路市内の震度の算定に当たっては、ほぼ各町丁別に地域を区分して、各々の地域別に震度を算定することとしたが、この場合についても1地域において5枚程度の調査票の回収枚数があることを条件として、若干の地域において幾つかの町丁を合わせた地域区分を行っている。また図3-3-4中には、震度分布の地域的な変化や連続性を把握しやすくするため、鉚路市に隣接して市街地化が進展している鉚路町西部の一部の地域についても同様に震度を算定して、記入することとした。この結果、最も震度の高い地域は鉚路市緑ヶ岡6丁目付近であり、震度5.7と算定された。この地域の周辺では、住宅の全・半壊・一部損壊などを含む被害箇所が多く分布しており、また地下埋設管の破損などの被害が多く見られた地域に相当しており、被害との対応が認められた。

(2) 震度分布の特徴

鉚路市内のシロな震度分布を示した図-4では、旧鉚路川を境として西側の低地地域と東側の台地地域において、各々震度の高い地区が認められている。前者は、鉚路副港付近の浜町・仲浜町・宝町2丁目を中心とし

た地域であり、埋立地盤における液状化現象の発生ならびに港湾施設に大きな被害が発生した地域に対応している。後者は、緑ヶ岡6丁目付近であり、住宅の損壊や地下埋設管路の被害が多く集中した台地上の地域に対応している。全体的には、上述の低地に位置した地域よりも台地上に位置した地域の震度の方が相対的に高く、宅地造成などの台地の開発に伴う人工改変地盤によるものか、あるいは台地縁辺部などの不整形な特殊地形に起因する地形効果によるものと考えられる。一方、低地地域では、海岸部の埋立地や湿原を構成している泥炭地や氾濫原堆積物地域など、いわゆる軟弱な地盤を形成している地域で震度が高く、低地でも砂丘などの地形に位置する地域では、震度はやや低い値を示す傾向が認められる。いずれにしても釧路市内における震度分布については、より詳細な地形・地質および地盤構造との関係についての分析が必要であると考えられる。

表-4 釧路市の詳細震度調査結果

町丁目名 (釧路市)	解析 枚数	算定 震度	町丁目名 (釧路市)	解析 枚数	算定 震度	町丁目名 (釧路市)	解析 枚数	算定 震度
北大通、東広町			入舟 8	8	5.1	曹塚 2	59	5.1
栄町、川上町 1-9	10	5.2	入舟 7	8	5.0	曹塚 3	32	5.0
北大通、東広町			知人町	10	4.4	曹塚 4	37	5.3
栄町、川上町 9-14	14	5.4	栄町 1	12	4.8	曹塚 5	36	5.1
緑町、黒金町、栄町			栄町 2	37	5.0	曹塚 6	31	5.3
浪花町 1-3	14	5.2	栄町 3	9	5.2	曹塚 7	69	5.3
黒金町、栄町			栄町 4	12	5.3	曹塚 8	5	5.1
浪花町 9-14	21	5.2	弥生 1	17	5.2	曹塚 9	15	5.2
海町 1	9	5.2	弥生 2	12	5.1	曹塚 10	104	5.2
海町 2-4	9	5.3	彌見 1-4	13	5.2	曹塚 11	13	5.2
南浜町	15	5.1	彌見 5-9	19	5.0	曹塚 12	33	5.3
空町 2、仲浜町、浜町	10	5.0	宮本 1	9	5.0	曹塚 13	38	5.2
川北町	33	5.1	宮本 2	24	5.1	坂が岡 1	32	5.3
海川町	50	5.2	富士見 1	8	5.6	坂が岡 2	36	5.3
新調路町	37	5.3	富士見 2	14	5.5	坂が岡 3	12	4.9
松浦町	36	5.4	富士見 3	35	5.8	坂が岡 4	51	5.3
新富町	19	5.3	柏木町	19	5.2	坂が岡 5	29	5.2
新富大通 1-5	9	4.8	大川町	15	5.1	坂が岡 6	68	5.1
新富大通 6-9	8	4.5	住吉町 1	19	5.2	坂が岡 7	43	4.9
白金町	26	5.0	住吉町 2	18	5.1	坂が岡 8	7	5.2
菅竹町	35	4.9	城山 1	20	5.3	益溝 1	26	5.3
若草町	51	4.9	城山 2	8	5.3	益溝 2	44	5.4
喜多町	11	5.1	材木町	39	5.5	益溝 3	15	5.3
喜多町	69	5.2	千歳町	37	5.2	益溝 4	43	5.2
折川町	41	4.9	貝塚 1	16	5.4	徳恋	19	5.0
住之江町	49	5.0	貝塚 2	57	5.4	三津浦	5	4.6
駒場町	78	5.1	貝塚 3	5	4.8	白塚台 1	15	4.7
川崎町	25	5.0	貝塚 4	26	5.3	白塚台 2	15	5.0
共栄大通 1-5	8	5.2	穂村 1	13	5.2	白塚台 3	18	4.7
共栄大通 6-9	11	4.9	穂村 2	23	5.4	白塚台 4	20	4.8
若松町	21	5.1	穂村 3	30	5.3	白塚台 5	11	5.0
双葉町	26	5.1	穂村 4	60	5.2	白塚台 6	9	4.9
新栄町	32	4.9	磯村 1	23	5.4	入江町	10	5.4
中島町	36	5.3	磯村 2	55	5.4	光陽町	48	5.2
花園町	15	5.0	磯村 3	84	5.4	東川町	25	5.2
勝町	15	5.2	磯村 4	67	5.7	豊川町	49	5.1
泉町	26	4.9	武佐 1	101	5.3	中園町	14	5.5
池水町	41	5.0	武佐 2	98	5.4	奥原 1	174	5.2
南大通 1-4	14	5.2	武佐 3	83	5.4	奥原 2	53	5.3
南大通 5-8	14	5.1	武佐 4	111	5.3	奥原 3	89	5.2
大町	13	4.8	武佐 5	10	5.1	奥原 4	79	5.2
入船 3-5	8	5.1	豊塚 1	16	5.0	奥原 5	169	5.1

4. 4. 5 震度分布と地形・地質および地盤との関係

(1) 釧路市の地形・地質および地盤の概要⁶⁾⁷⁾

釧路市の地形・地質は、釧路湿原に代表される沖積平野とその周囲を取り囲む丘陵地・台地により構成されている。図-5は、地質図を示したものである。釧路湿原は、北部火山地帯を水源とする釧路川、仁々志別川および阿寒川の下流に広がる沖積平野であり、湿原内には多くの支流が曲がりくねって蛇行し、その氾濫の跡は著しい網状を描き、氾濫原堆積地域を形成している。湿原の南側には、海岸線に沿って砂丘地が幅約1.3km程の帯状に分布し、その上に釧路市の市街地が形成されている。一方、釧路湿原の周囲は釧根台地と呼ばれる丘陵・台地地形が広がって

町丁目名 (釧路市)	解析 枚数	算定 震度	町丁目名 (釧路市)	解析 枚数	算定 震度	町丁目名 (釧路市)	解析 枚数	算定 震度
愛国東 1	34	5.2	鳥取南 5	13	4.9	豊美 1	23	5.3
愛国東 2	81	5.3	鳥取南 6-7	9	4.9	豊美 2	19	5.1
愛国東 3	66	5.2	鳥取南 8	15	4.8	北郷 1	24	5.5
愛国東 4	38	5.2	北郷	20	5.3	北郷 2	21	5.3
愛国西 1	44	5.0	大森毛	16	5.1	曙 1-2	21	5.4
愛国西 2	54	5.1	大森毛 1	26	5.0	曙 3	21	5.4
愛国西 3	53	5.2	大森毛 2	28	5.2	曙 4	44	5.3
愛国西 4	21	5.3	大森毛 3	21	5.3	富原	5	5.0
戸野 1	39	5.2	大森毛 4	9	5.1	徳	71	5.3
戸野 2	32	5.2	大森毛 5	9	5.0	岡警	16	5.3
戸野 3	82	5.1	大森毛西 1	30	5.4	徳	12	5.3
戸野 5	48	5.1	大森毛西 2	47	5.2	光和 1-2	10	5.4
新富士町 1	21	5.1	大森毛北 1-2	8	5.2	光和 3-4	8	5.3
新富士町 3	11	5.0	大森毛南 1-2	9	4.8	光和 5-6	8	5.5
新富士町 4	47	5.1	大森毛南 3	10	5.1	光和 7-8	8	5.2
昭和	119	5.3	大森毛南 4	18	5.1	新調 1-2	8	5.3
昭和町 1	6	5.2	大森毛南 5	19	5.1	新調 3-4	14	5.2
昭和町 2	13	5.1	星が浦大通 1	15	4.9	新調 5-7	15	5.3
昭和町 3	18	5.1	星が浦大通 2	16	5.2	北見団地 1-3	10	5.3
昭和町 4	34	5.0	星が浦大通 3	14	4.9	北見団地 4-5	16	5.1
昭和北 1	22	5.5	星が浦大通 4	14	5.1	北見団地 6-7	13	5.0
昭和北 2	27	5.3	星が浦大通 5	22	4.9			
昭和北 3	35	5.4	星が浦北 1	15	5.3			
鳥取大通 1	18	5.1	星が浦北 2	20	5.1			
鳥取大通 2	23	5.1	星が浦北 3	7	4.8			
鳥取大通 3	32	5.0	星が浦北 4	24	4.7			
鳥取大通 4	11	4.8	野野	169	5.3			
鳥取大通 5	13	5.0						
鳥取大通 6	6	5.1						
鳥取大通 7	19	5.1						
鳥取大通 8	6	5.2						
鳥取大通 9	8	5.2						
鳥取北 3	39	5.2						
鳥取北 4	69	5.1						
鳥取北 5	25	5.2						
鳥取北 6	23	5.0						
鳥取北 7	16	5.1						
鳥取北 8	7	5.2						
鳥取北 9	54	5.2						
鳥取北 10	29	5.3						
鳥取南 3	25	5.0						
鳥取南 4	20	5.2						

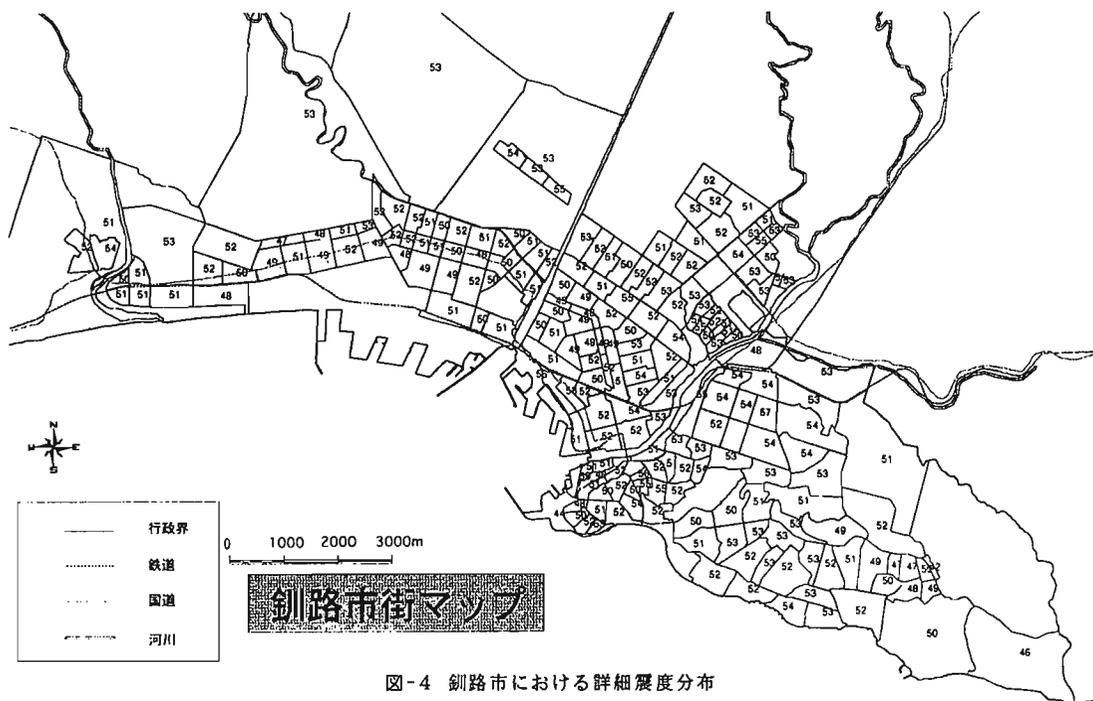


図-4 釧路市における詳細震度分布

る。釧根台地は、その形成年代と高度により、釧路段丘と根室段丘に区分されている。釧路段丘は、釧路湿原に直接接しており、高度は約30m～50m程度であり、釧路市の東部から釧路町に掛けて広がり、西は釧路白糖工業団地の背後の丘陵地を形成している。根室段丘は、釧路段丘を構成する地質より形成年代が古く、釧路段丘の更に外側に広がっている。高度は約60m～140m程度であり、根室地方に至る広大な台地を形成している。これらの台地上には、軟かな火山灰や軽石が堆積している。釧路市内においては、上記の沖積平野を構成している低地部と釧根台地と呼ばれる丘陵地・台地の境界は、東側では旧釧路川であり、西側では阿寒川
の西方で白糖町との行政界をなす丘陵地帯の麓で境されている。特に東側の境界である旧釧路川の東西は、釧路市の中心市街地の中で西側の低地部と東側の台地部に高さ20m～30m程度の段丘により明瞭に区分される地形・地質の差異を示している。

沖積平野である釧路湿原の地盤の構造としては、石炭の探炭用あるいは地下水調査のための深層ボーリングや地耐力調査のための多数のボーリング資料により地下構造の調査研究が進められており、深層の地層については、古第三紀層（浦幌層群）、白亜紀層（根室層群）の地層構造が明らかにされている。またそれらの上層に位置する第四紀洪積層（釧路層群、大楽毛層、屈斜路軽石流地積物など）と沖積層（泥炭、シルト、砂および氾濫

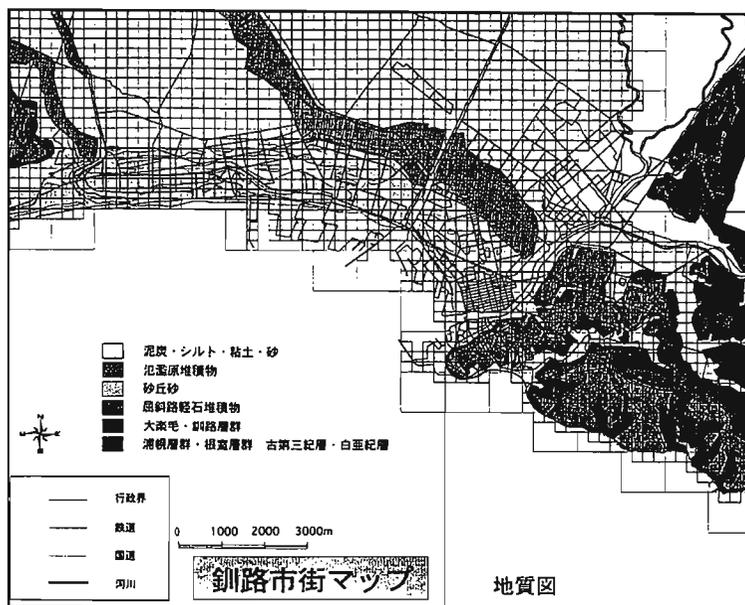


図-5 釧路市の地形・地質の概要

原堆積物など)の分布形状について、ほぼその地層構造が明らかにされている。

図-6は、釧路湿原下の東西断面の地下構造の概要を示したものである。石炭を多く含む堅固な岩盤の地層である古第三紀層が、沖積層・洪積層の下部に存在している。その層厚500mに及んでおり、天寧付近から湿原下にもぐり最大で約550mの深さまで沈み、西側で再び浅くなる向斜構造を呈している。この層は釧路市内や天寧付近では地表にも露出している。第四紀の洪積層は、古第三紀層上に堆積した火山噴出物と貝を含む未固結で海性の地層である。湿原東西から沈み次第に深くなり最大で550m程度に達している。この地層は、台地の地表面によく見られ、釧路台地はこの地層で形成されている。

図-7に示す南北方向の断面における沖積層の地盤では、地層構成はどこでもほぼ同様であり下部礫層、中部泥層、上部礫砂層、最上部層(砂丘砂)の4層に区分されるが、やや内陸の泥炭地では全体に泥質を増し、上部礫砂層がなく直接最上部層の泥炭になっている。東西断面では、釧路川河口付近で約70m~80m程度の最大の層厚を示している。

一方、南北断面では南側で深く北側で浅くなる傾向を示しており、上述したように表土部の地層は海岸側と湿原地側では異なっている。図-8は、沖積層基底の深さの等深線を示したものであるが、釧路川河口付近で最も深くなっている。また、同様に阿寒川河口の大楽毛付近でも同様に60m~70mに達している。一方、釧路川から旧釧路川に掛けて東方へ向かうにつれて深度は、次第に浅くなり旧釧路川の東川の台地部(洪積層)へと連続する。しかし、旧釧路川のやや上流で木場から釧路町との行政境界に沿って貝塚・武佐付近まで約40m~50mの等深線が延びている。

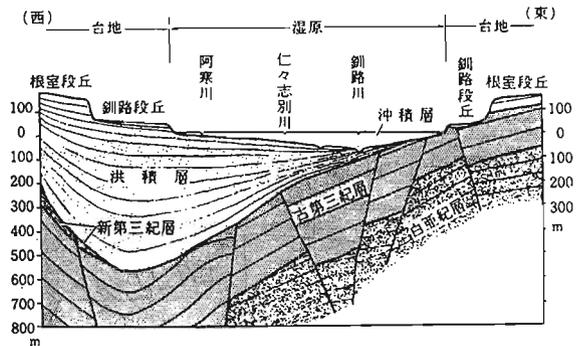


図-6 釧路湿原の東西断面 (文献7による)

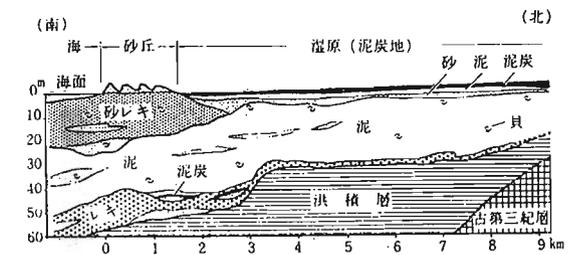


図-7 沖積層の南北断面 (文献7による)

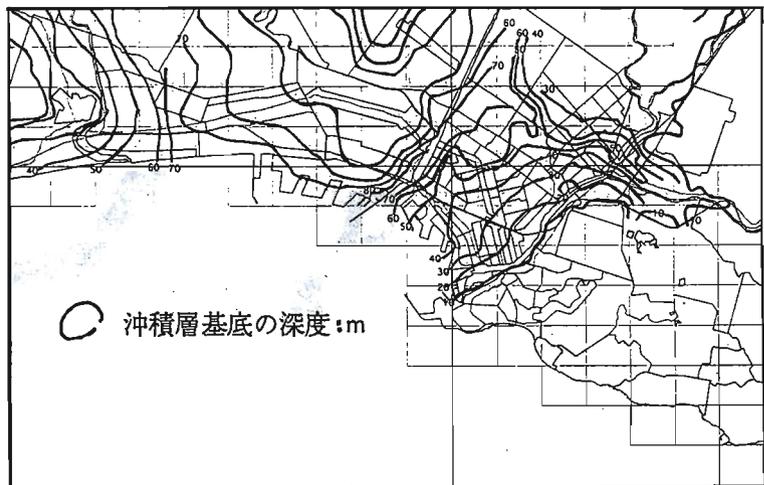


図-8 沖積層基底のコンター (文献6による)

(2) 震度分布と地形・地質および地盤との関係

ここでは、先に4.4.4で示した釧路市内の詳細震度分布と地形・地質および地盤との関係を考察する。図-9は図-4に基づいて、震度評価をIV~VIまでの5段階に区分して、震度値のコンターを描いたものである。釧路市内の各々の町丁別の算定震度値については、図-4および表-4に示した値を参照されたい。ここに示

した図-9によれば、
 釧路市内での震度
 分布の高低差の傾
 向が良く把握でき
 るものと考えられ
 る。

すなわち、震度
 の高い地域が、旧
 釧路川の西側の低
 地部および東側の
 台地部に認められ、
 一見すると震度と
 地形・地質および
 地盤との間に明瞭
 な関係を示す傾向
 は認められないか
 のように感じられ
 る。しかしながら、
 旧釧路川の西側の
 低地部と東側の台

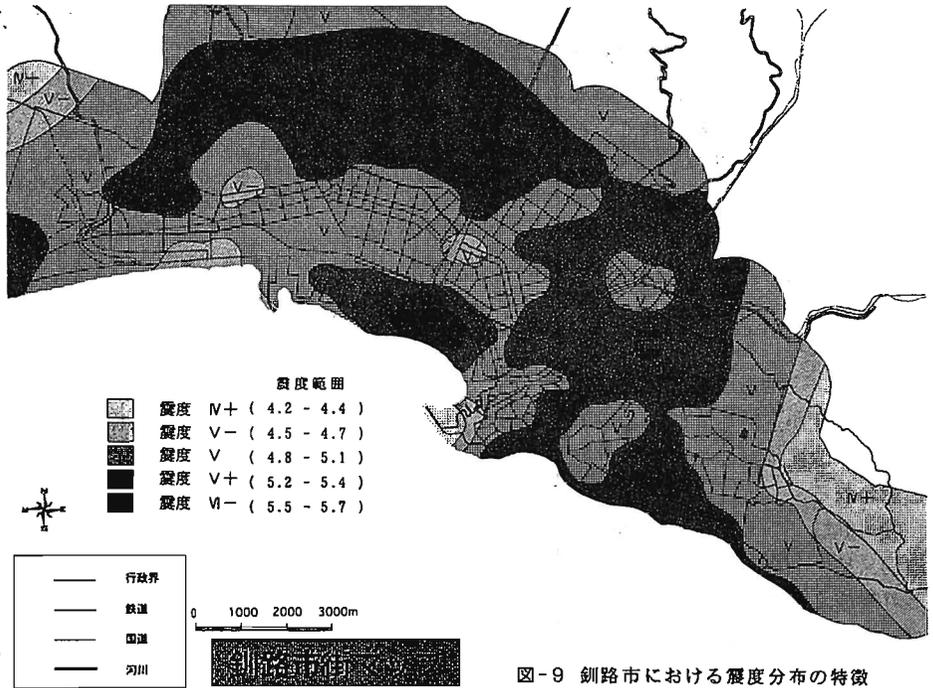


図-9 釧路市における震度分布の特徴

地部とに区分して考えると、低地部では震度と地形・地質
 および地盤との間に比較的明瞭な関係が認められ、台地部
 においても同様に震度と地形・地質との間に明瞭な関係が
 存在する傾向が認められる。すなわち、低地部においては、
 海岸付近の宝町2丁目・浜町・西港などの埋立地あるいは
 帯状に伸びた砂丘地の南側に位置した沖積層地域で震度が
 最も高く、V+~VI-となっている。しかしながら、この
 北側に位置する砂丘砂の帯状の地域では、V~Vとやや
 震度が低くなり、さらにこの北側の釧路湿原に連なる氾濫
 原堆積物の地域、泥炭・シルト・砂の地域では、再び震度V
 +と高くなる傾向を示し、地形・地質と明瞭に対応してい
 る。また、このことは、先に図-8に示した沖積層基底深
 度のコンターによる沖積層厚分布との関係において考察した場
 合、地形・地質の条件で砂丘砂の地域において震度の減少
 傾向がやや大きいのが、これは最上部層の砂丘を形成してい
 る砂層の性質によるものと考えられる現象であり、このこ
 とを考えれば全体の震度分布の傾向は、沖積層厚の分布と
 もそれほど無理なく整合しているものと考えられる。今後、
 ボーリング資料等から表層部の平均N値などを読み取り、より
 詳しい地盤特性を考慮して考察していく必要があるもの
 と思われる。

一方、旧釧路川の東側の台地部では、地形上の高度に対
 応して震度が高くなる傾向が認められるように思われる。
 すなわち、一種の地形効果によるものと考えられる。しか

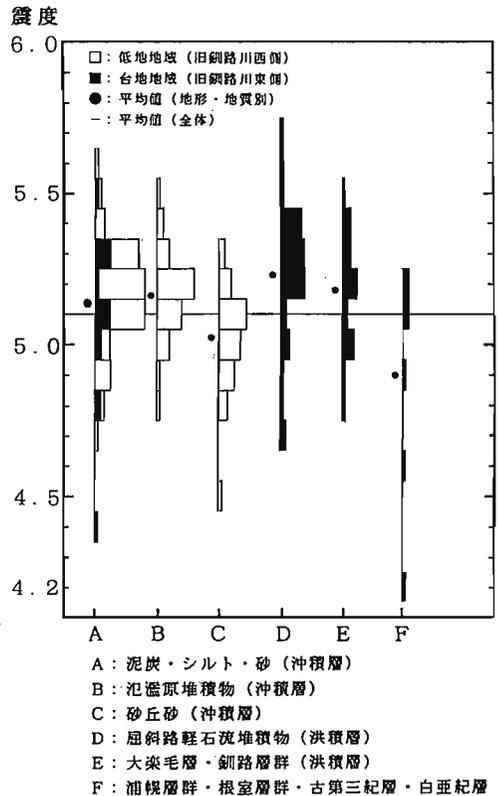


図-10 震度と地形・地質の関係

しながら台地上は、前述したように第四紀洪積層で構成されており、最上部は火山噴出物の軟らかい火山灰や軽石堆積物で覆われている。その堆積層厚は、恐らく場所によって著しく異なっているものと考えられ、局所的にはかなり厚く堆積しているような場所も存在している可能性も否定できない。また、昭和30年代後半から市街化が進展し⁹⁾、宅地造成などにもなう地形改変が進められているため、これらの改変地形の検討も不可欠と思われる。

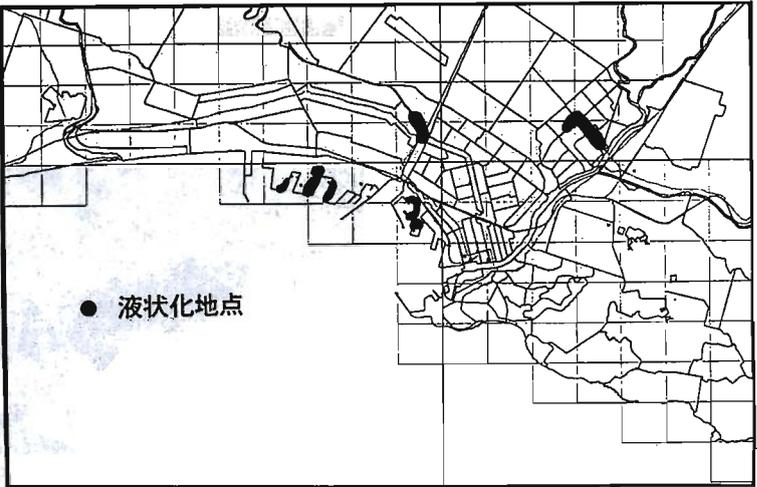


図-11 地盤の液状化現象の発生箇所の分布

図-10は、図-5に示した6種類の地形・地質別に、詳細震度調査により震度を算定した193の各町丁の震度を読み取り、震度値の頻度分布を示したものである。同図中には、この頻度分布図から直接算定した全体の平均値(ー)と各地形・地質別の平均値(●)を示してある。実際には、この平均値を震度値として評価するためには、各町丁の解析枚数による重みを考慮する必要があり、最終的に計算される平均震度値とは若干異なる数値であること認識しておく必要がある。しかしながら、この図によれば地形・地質により震度値の頻度分布に差異が認められ、単純に計算した平均値でも上述したように低地部では、砂丘砂上で平均値が低く、泥炭・シルト・砂の地域と氾濫原堆積物の地域では高い平均値の値を示している。また、台地部では古第三紀層・白亜紀層の地域で最も低い平均値を示し、洪積層の大楽毛層・釧路層群さらに屈斜路軽石堆積物に分類される地域において、この順番で高い平均値を示す傾向があり、地形上の高度も概略的に見れば、この順番で高くなる方向にシフトしている。

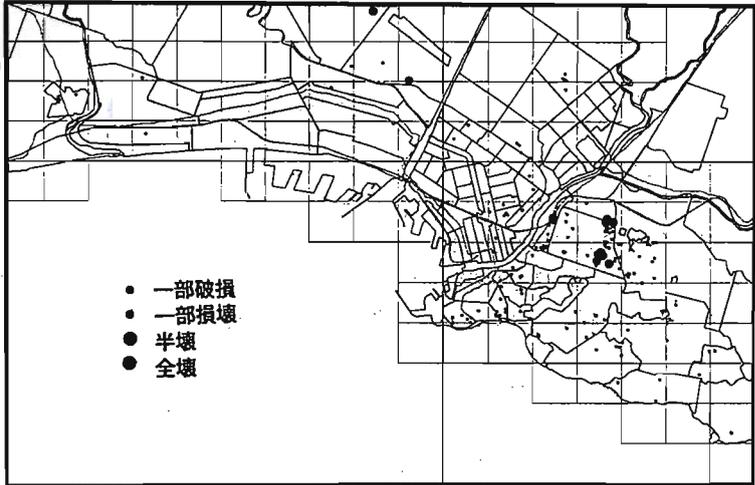


図-12 住家被害の発生箇所の分布

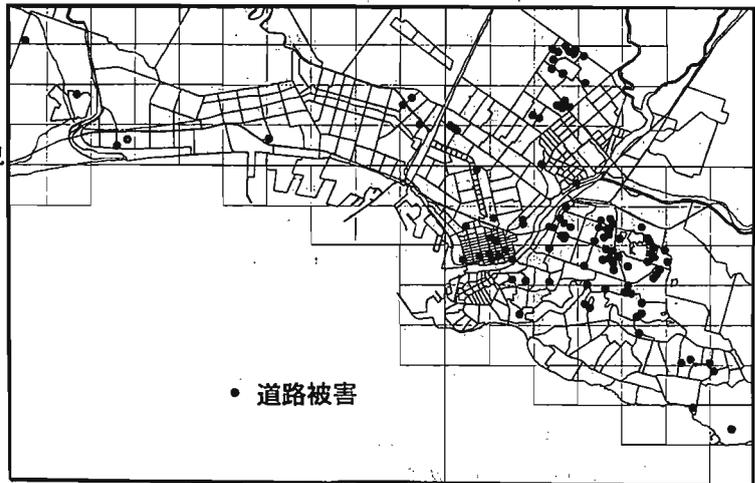


図-13 道路被害の発生箇所の分布

4. 4. 6 震度分布と被害分布の関係

釧路市内における主な被害の分布をまとめる。地盤災害として、液状化の発生を確認した地点を図-11に示した。液状化が発生した地域は、低地部の埋立地域を中心に泥炭・シルト・砂の地域に分布している。これらの地域は、比較的震度の高いと評価された地域に対応している。

また、図-12は住家被害（全壊、半壊、一部損壊、一部破損）の被害分布を示したものである。住家被害の多くは、旧釧路川の東側の台地上に位置しており、次いで低地部の泥炭・シルト・砂の地域と氾濫原堆積物の地域に分布しており、比較的高い震度値の分布している地域と対応している。一方、低地部でも砂丘砂上に位置している市街地においては、ほとんど住家被害は発生していない。

図-13は、道路被害の分布を示したものであり、住家被害の分布とほぼ同様な地域に被害が集中していることが分かる。このことは、道路被害箇所の分布についても釧路市における詳細な震度分布図の結果と良好な対応を示しているものと考えられる。また、図-14および図-15は、上水道および下水道施設の配管の被害発生箇所の分布を示したものであり、全体的に震度の高い地域に被害が分布しており、住家被害、道路被害の分布ほどに明瞭ではないが、本報告で示した釧路市内の震度分布とも比較的良く整合しているものと考えている。ガス管の被害箇所については、すべて判明していないので、被害箇所の分布について図示することができなかったが、被害箇所は相対的に台地上に多く分布していると報告されている。このことも上下水道の配管網の被害と同様に震度分布との相関性は大きいものと考えられる。今後、各被害についてより定量的な震度との相関性についての整理・検討を実施する予定であり、別の機会を報告したいと考えている。

4. 4. 7 まとめ

以上、釧路沖地震における震度分布について調査結果をまとめた。以下に要約する。

- i) 北海道内各市町村別の震度分布の調査結果および釧路支庁管内のややミミ加な震度分布の調査結果から、震度の最も高い地域は、音別町であり平均震度において震度5.7と算定された。音別町の中でも緑町に

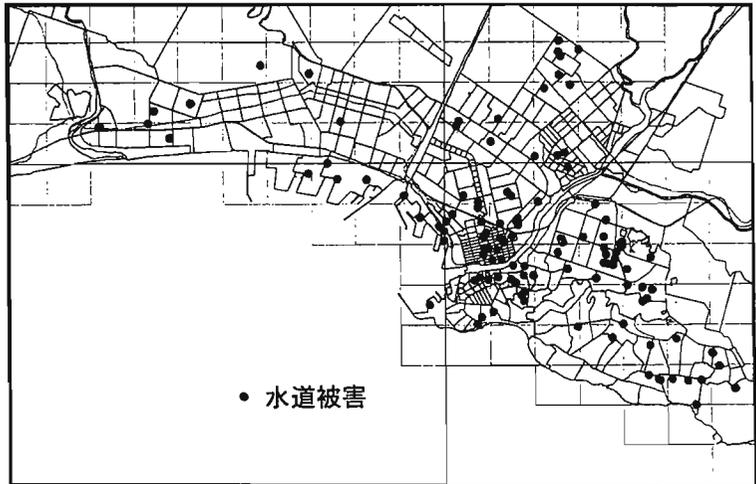


図-14 上水道の配管施設の被害発生箇所の分布

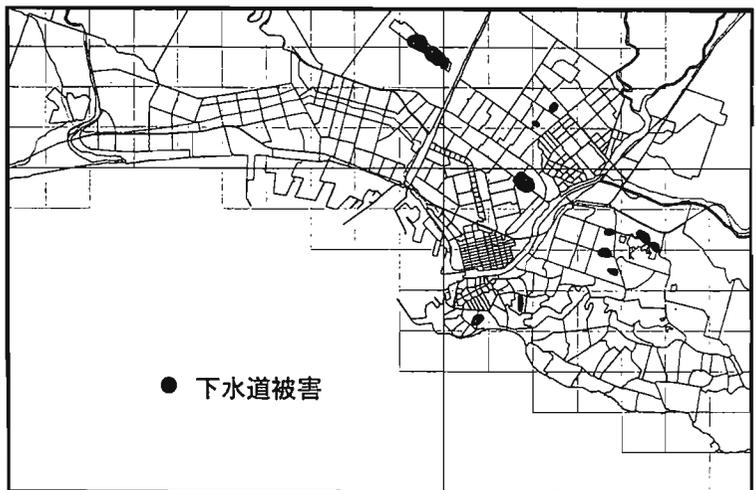


図-15 下水道の配管施設の被害発生箇所の分布

において震度6.1と算定された。この値は、今回の釧路沖地震において最も高い震度を示すものと考えられる。

- ii) 釧路支庁管内のややミカな震度分布により、各市町村の中でも相対的に震度の高い地域と低い地域が存在し、特に音別町から白糠町に掛けての地域が最も震度が高く、また、釧路市の北東部の緑ヶ岡から標茶町に至る地域においても震度の高い地域が分布している。前者の地域は、本地震の震源の発震機構に関連するものと考えられるが、後者の地域は、釧路湿原を形成した釧路川の上流へ向かう北方への延長上に位置しており、地盤の増幅効果による震度の高まりを表すものであると考えられる。
- iii) 釧路市の平均震度は、震度5.2であるが、釧路市内を対象とした高密度な震度分布調査結果では、最も高い震度は、旧釧路川の東側に位置する台地上の緑ヶ岡6丁目における震度5.7であり、相対的に台地上の地域で高い震度分布を示す傾向が認められる。一方、旧釧路川の西側の低地部においても宝町2丁目、浜町、仲浜町付近で震度5.6と算定され、高い震度を示す地域が存在している。
- iv) 釧路市内の震度分布と地形・地質および地盤との関係について検討した結果、低地部においては、特に地質条件で泥炭・シルト・砂および氾濫原堆積物の地域で震度が高く、砂丘砂地域で震度が低い傾向を示した。これは、最上部層の地盤特性により影響が異なるが沖積層厚の分布とも概ね整合する。台地部では、古第三紀層・白垂紀層で震度は低く、大楽毛層・釧路層群および屈斜路軽石堆積物層の地域で震度が高く、ほぼ地形上の高度に対応している。以上の結果、低地部における震度分布の差異は、主に地形・地質および地盤によるものと考えられ、台地部における震度の差異は人工的な改変地形や台地縁辺部などの局所的な影響を考慮すべきであるが、主に地形上の高度に関係した地形効果によるものと考えられる。
- v) 釧路市における被害分布と震度の関係では、定性的な傾向として震度の高い台地部の地域において各種の被害が多数発生しており、震度分布と良く整合している。今後、より定量的な考察を加えて行く必要がある。

謝辞： 本調査を進めるにあたり、北海道庁を始め道内各市町村および釧路支庁内の各市町村教育委員会ならびに公立小学校の関係各位に多大な御協力を頂いた。末筆ながら記して御礼申し上げます。

また、本報告をまとめるにあたり関東学院大学精木紀男先生、北海道大学岡田成幸先生、村上ひとみ先生ならびに天国邦博氏（東京都立大学研修生・パシフィックコンサルタンツ(株)）には、大変有意義な討議をして頂いた。記して感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会：1993年釧路沖地震の教訓と課題，1993
- 2) 釧路市：釧路市の人口，1992
- 3) 釧路市：釧路市統計書，1991
- 4) 太田裕・後藤典俊・大橋ひとみ：アンケートによる地震時の震度の推定，北大工学部研究報告No. 92，1979
- 5) 鏡味洋史・岡田成幸：1993年釧路沖地震の北海道内市町村別震度分布調査，文部省科学研究費突発災害調査研究成果・1993年釧路沖地震による被害の調査研究，1993
- 6) 岡崎由夫：釧路の地質，釧路叢書第7巻，1966
- 7) 釧路市史編さん事務局編：釧路湿原，釧路新書，1992
- 8) 釧路市：目で見える釧路の歴史，1992

5. 被害の特徴と地震防災



1993年釧路沖地震の発生条件と被害
- 既往の地震被害と比較して -

A study on damage due to the 1993 Kushiro-oki earthquake, Northern Japan, considering its occurrence conditions.

- Comparison with former damaging earthquakes -

鏡味 洋史

Hiroshi Kagami

ABSTRACT

A feature of the damage due to the 1993 Kushiro-oki earthquake was discussed considering its occurrence conditions. Four conditions are pointed out: These are (1) deep earthquake of 107Km focal depth, (2) occurred in the coldest season in cold region, (3) occurred at 8pm of national holiday and (4) attacked local city of 200,000 population. First, damages due to 5 earthquakes attacked Kushiro city in the past are discussed both on their similarity and singularity. Then the damages due to the 1993 earthquake are characterized by the four conditions and lessons are pointed out.

1. はじめに

釧路の歴史は北海道の他の地域と同様に江戸時代後期まで遡ることができるが、釧路に市街地が形成されるのは明治期になってからである。釧路地方ではその約150年の期間に数多くの被害地震を経験しており、釧路市においても被害の記録が多く残されている。歴史が短い割に複数の被害地震に見舞われており、このような都市は歴史の長い日本の他の地域においてもそう多くはない。今回の地震被害を釧路における既往の地震被害と比較し、災害の共通点・相違点を探ることができる。共通点からは地盤など自然条件の特性を、相違点からは時代による社会的条件の変化のみならず地震そのものの発生時間・季節などの発生条件の違いを明らかにすることができる。小論では今回の地震災害の特徴を発生条件と関連づけて議論してみる。

2. 1993年釧路沖地震の発生条件

今回の地震災害の概要は次のようにまとめられる。マグニチュード7.8という近年まれにみる規模の地震であったが、震源が107Kmと深かったため津波の発生はなく、津波なしの発表が7分後になされている。津波の常襲地域である道東地方にとっては幸いなことであった。この、地震では室内の照明器具の落下による怪我がもとで1名、ガス漏れによる中毒で1名の計2名が亡くなっている。休日の夜8時頃であったため、公共施設などでの負傷は少なかったものの、家庭内での負傷は多く冬季間であったためストーブなどによる火傷が目立った。しかし、火災の発生は少なく、いずれも延焼火災には至らなかった。釧路気象台で観測された強震記録は900galを

越える最大加速度を記録している。しかし、市内の構造物の被害は一般に軽微であり、大きな被害を受けたものは、宅地造成地の斜面崩壊や砂地盤の液化化に起因するものが殆どであった。ガス、水道などライフラインの被害も目立ち、寒冷地の厳冬期の生活支障、復旧などに大きな問題を投げかけた。

今回の地震の特徴を発生条件で整理すると次の4つに要約され、これらの条件が地震災害を特徴づけていると考えられる。

- 1：震源深さが107 Kmのやや深発地震
- 2：寒冷地の厳寒期に発生
- 3：休日の夜間8時ごろに発生
- 4：人口20万人の地方中心都市を襲った地震

3. 釧路における既往の被害地震の概要

3.1 釧路市の沿革

最初に釧路市の沿革を述べておく。1880年戸長役場を置き、1884年これを廃して厚岸・郡役所釧路出張所を設置。1900年一級町村制を施行し釧路町とする。1920年区制施行、同時に釧路村を分村。1922年市制施行。1949年隣接の鳥取町を合併、同時に白糠村の一部を編入し現在に至っている。

図1に明治30年の地形図を示す。市街地は初め自然港に臨む知人岬付近の釧路川左岸に自然発生的に形成され、港湾・水産業の発展にともなって低地より段丘上へ拡大した。1870年函館、青森、秋田などの漁夫が移住して漁場が開け、昆布、ニシン、サケを中心とした漁業が栄えた。春採地区の採炭は1887年安田春採炭山の開坑によって始まり、1920年太平洋炭礦(株)の発足後出炭量が漸増し、炭坑開発にともなって周辺の住宅地化が進んだ。1900年釧路一帯の鉄道工事が始まり、右岸に釧路駅が開業すると、左岸のほか西帯舞にも市街地が発達し、さらに1917年釧路-厚岸の鉄道が開通して釧路駅が現在位置に移転すると、右岸市街地が北西へ拡大して、一部は根室本線北方の鳥取村に達した。鳥取村東部は1884、85年に入植した鳥取県士族によって開拓され、幹線道路と阿寒川の自然堤防を中心に農村を形成

したものである。1920年阿寒川右岸に富士製紙釧路工場(十条製紙釧路工場の前身)が操業開始、紙パルプ製造業が村の基幹産業になった。戦後5万都市にとどまっていた釧路市は、1949年鳥取町を合併し、水産業、鉱工業(石炭・紙パルプ)を基盤として20万都市(1971)に発展、市街地の外延的拡大が進行し、現在は泥炭地の釧路湿原方面にも発達してきている。

図1の地形図から地形・地盤の状況を良く読み取ることができる。阿寒川は現在大楽毛で太平洋に注いでいるが、この地図では海岸線に平行に蛇行しながら釧路川(現旧釧路川)に合流している。その後、阿寒川の放水路が開削されている。これは現在の釧路川になっている。西側の海岸には砂丘が広がり、その背後が湿地帯になっているのが容易に読み取れる。

3.2 主要な被害地震

釧路では表1に示すように1839年から現在に至るまで20の主要な被害地震を上げることができる。こ

釧路における被害地震一覧

年月日	地域	M	被害状況
1839. 5. 1	釧路厚岸沖	7.3	釧路厚岸地方強震。厚岸国壽寺で被害。
1843. 4. 25	釧路南方沖	8.4	園後、根室、釧路で被害。大津波のため水死45人、家屋破壊75戸、船舶破損61隻。
1894. 9. 22	根室半島南東南東沖	7.9	厚岸、根室、釧路で被害。死者1人中津波あり。
1902. 5. 28	釧路沖	7.4	標茶、釧路、厚岸で軽被害。厚岸に地割れあり。
1907. 12. 23	釧路沖	7.8	釧路地方で軽被害。厚岸大黒島で地割れあり。
1916. 3. 18	十勝沖	7.0	釧路地方で中被害。
1952. 9. 4	十勝沖	8.1	北海道東南部で大被害。死者28人、全壊家屋815戸、焼失20戸。大津波あり。
1958. 11. 7	択捉島付近	8.0	釧路地方で小被害。津波による軽微な被害あり。
1961. 8. 12	根室半島沖	7.0	釧路地方で軽被害、小津波あり
1961. 11. 15	根室東方沖	6.9	釧路、根室地方で軽被害、小津波あり。
1962. 4. 23	広尾沖	7.0	釧路、帯広、広尾地方で軽被害
1964. 6. 23	根室南東沖	7.0	根室、釧路地方で軽被害。
1969. 8. 12	北海道東方沖	7.8	釧路、根室地方で軽被害。
1971. 8. 2	浦河沖	7.0	釧路地方で軽被害。
1973. 6. 17	根室半島沖	7.4	釧路地方で中被害。建物、道路港湾施設が一部破損。
1973. 6. 24	根室半島沖	7.1	釧路地方で軽被害。
1987. 1. 14	日高山脈北部	6.9	釧路市で軽被害。

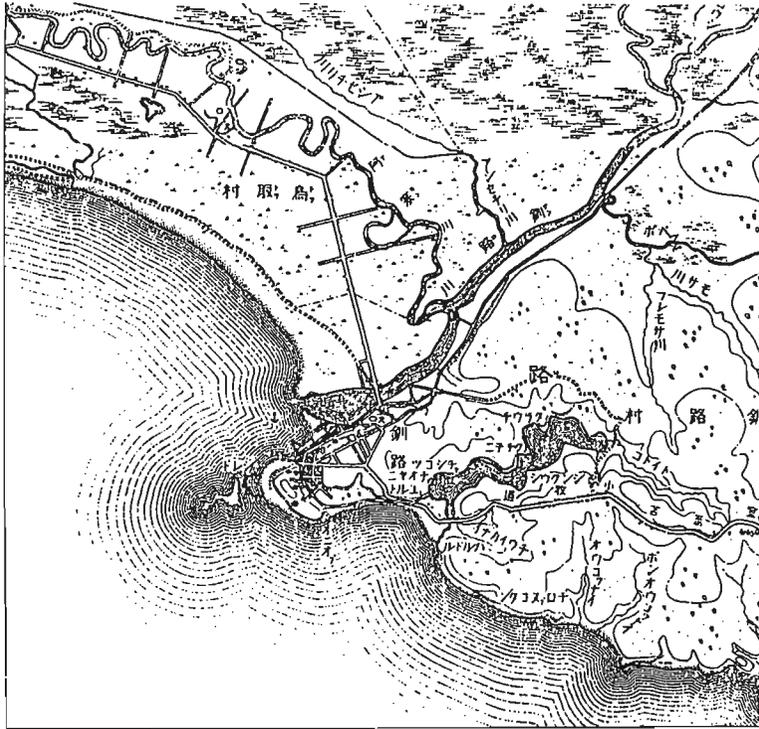


図1 明治30年の釧路の地形図

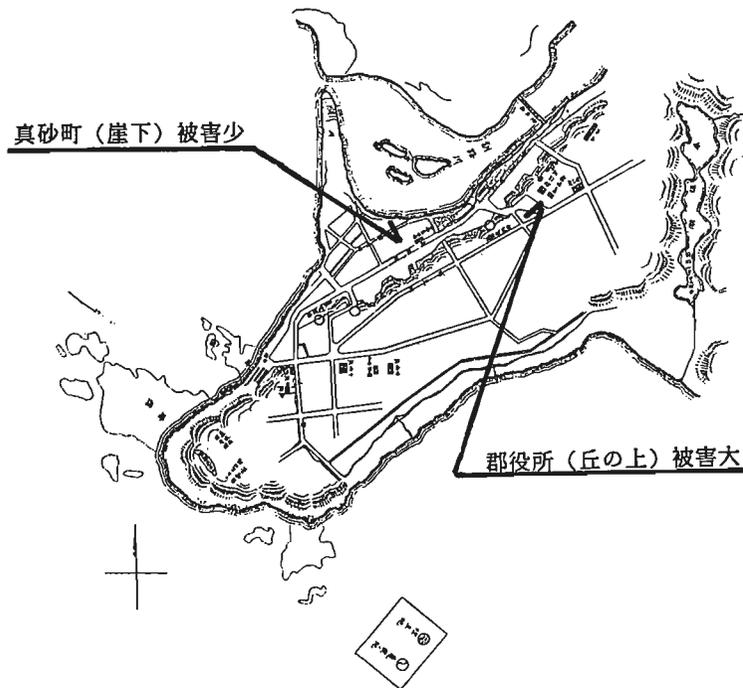


図2 1894年根室半島南東沖地震の被害

れらの中で特に釧路市における被害の顕著であった、1894年根室半島南東沖地震、1952年十勝沖地震、1962年広尾沖地震、1968年十勝沖地震、1973年根室半島沖地震の5つをとりあげ、被害の特徴・分布をみてる。

(1) 1894年根室半島南東沖地震

この地震は1894年3月22日19時20分ごろ、根室半島南東沖に発生したものでその有感域の広さからM=7.9と推定されている。釧路市内の被害について震災予防調査会報告(1895)では次のように述べている。『釧路市街は釧路川口南岸に突出して高台状を為せる小半島の北面にありて一部分は高台の上に建設し其首なる部分は台下の砂浜地にあり此の場合には厚岸と相反し浜辺の低地(真砂町)に於いては震動軽くして屋根石の墜落、障子の外れ、壁紙の亀裂等の事も無く僅かに酒瓶の転倒等に止まりしか高台にて其北側に近く建設せる郡役所の如きは震害を受くること頗る甚だしく机、書箱の転倒、壁紙の亀裂等多かりし其他米町の如きも震動頗る強く家屋の二三寸傾斜せるものあり戸障子は大抵外れたりし』。図2に報告書の付図に加筆して示す。すなわち、現在気象台が位置する高台では、崖下に比べ震動が大きく被害が顕著であったことを指摘している。これは今回の地震で指摘されていることと一致している。

(2) 1952年十勝沖地震

1952年3月4日10時23分ごろ、襟裳岬東方70km付近、深さ45kmで地震発生したM=8.2の巨大地震である。気象台の踏査によれば、浦河町付近と釧路沿岸部と十勝地方に震度VIの地域がみられる。地震により津波が発生し、特に根室～釧路には南下していた流水が海岸に押し寄せ被害を大きくしている。厚岸・浜中での津波による被害は甚大であった。被害は十勝・釧路・日高地方を中心に北海道の広い範囲で生じ、死者・行方不明者33名、負傷者287名、全壊家屋287に及んでいる。

釧路市は震度Vでこの地震による最大の被災地となった。全壊家屋は14戸、半壊家屋は12,000戸にのぼった。死傷者については集合煙突の倒壊・折損により7名、太平洋炭鉱のズリ山崩壊からの家屋倒壊・埋没による8名の計15名の死者が発生した。土木

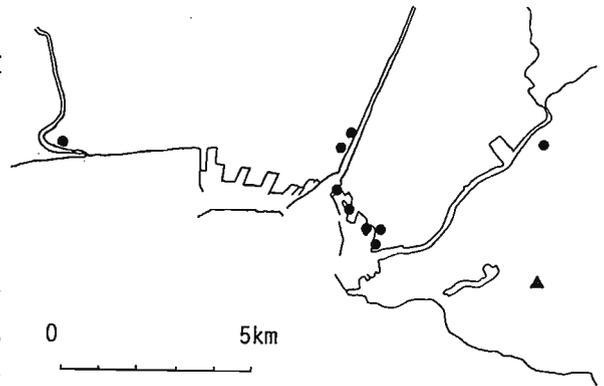


図3 1952年十勝沖地震の主要な被害箇所

- 液状化・地盤被害
- ▲ ズリ山の崩壊(死8名)

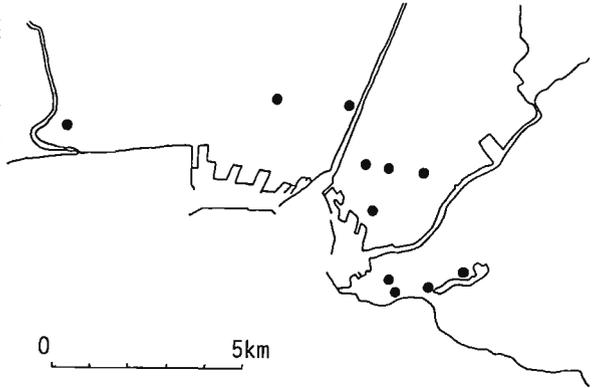


図4 1968年十勝沖地震の学校被害箇所

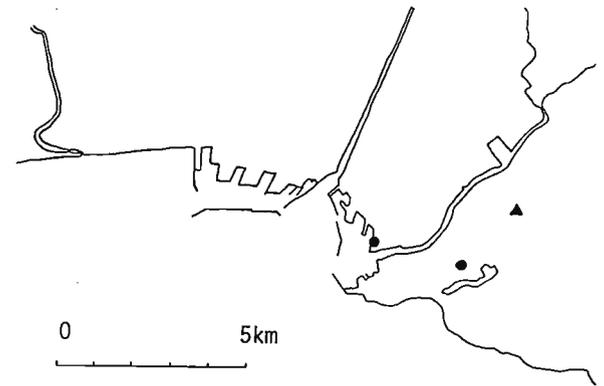


図5 1973年根室半島沖地震の被害箇所

- 液状化 ▲ 斜面崩壊(緑ヶ岡)

被害について護岸の滑り出し・陥没による釧路港北埠頭が甚大で壊滅的状況となった。鉄道路線・道路の被害は泥炭地帯の釧路湿原で甚だしく交通は遮断され、また電気・通信も途絶した。冬季の採暖時にも関わらず火災による被害は比較的少なく全焼は2戸にとどまった。津波は第1波の波高が243cmで水塊を伴い、漁船百隻あまりの損害と漁具の流出をもたらし浸水家屋58戸をだした。また津波から下町住民が山手に避難する際、2万人が久寿里橋通りほかに集中し大混乱を呈した。図3に主な被害箇所を示す。

(3) 1962年広尾沖地震

1962年4月23日14時58分ころ、広尾沖を震源に、震源深さ70km、規模M=7.0の地震発生。広尾と帯広で震度V、池田町での家屋被害72戸をはじめに、十勝地方および釧路地方で被害が発生し、重軽傷者3名を出している。

釧路市内は震度IV、住宅の被害、非住家の被害は顕著なものはあまりみられない。鉄道路盤の沈下、幣舞橋付近の土砂崩れが発生した。電信電話関係の被害では市外通話市内通話300回線が混線により不通、その他電力関係で高圧線の断線混線等があった程度である。釧路気象台では最大加速度300galを超

える当時としては記録的な強震記録が得られ、大きな問題となった。

(4) 1968年十勝沖地震

1968年5月16日9時49分ころ、襟裳岬南南東150Kmに地震発生、深さ0km、M=7.9、地震に伴い津波が発生し浦河で3m近く、三陸海岸では3mから5mであった。死者52名、負傷者330名、全壊建物689棟、半壊建物3千棟、被害は青森県東部を中心に北海道南部から岩手県にかけて広く分布した。

釧路市は震度IVで津波による軽傷者1名であった。建物の被害は学校施設関係の報告があるのみである。下町を中心とする13の小中学校でスレート煙突・集合煙突の破損があったほか、天井崩落3校、校舎の壁の亀裂剝離が7校あった(図4)。鉄道路路に関しては釧路川鉄橋で亀裂があり、その他土木施設では道路の亀裂、水路のパイプ破損がおもなものとしてあげられる。津波による被害は旭町で床下浸水で住宅5戸、倉庫1棟であった。器物の落下破損が市内特に下町方面でみられた。

(5) 1973年根室半島沖地震

1973年6月17日12時55分ころ、根室南東方沖50Km、深さ40KmでM=7.4の地震発生、根室・釧路で震度Vであった。

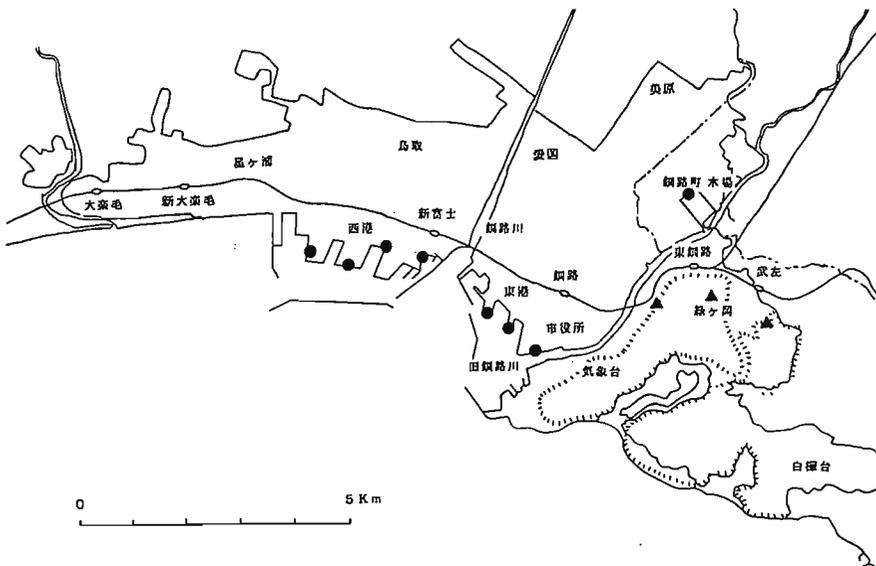


図6 1993年釧路沖地震の主要被害箇所

● 液状化 ▲ 斜面崩壊

釧路市内は気象台発表で震度Ⅴ、踏査調査の結果で震度Ⅳ（部分的に震度Ⅴほか）となっている。負傷者は物品落下による軽傷者が6名、建物被害は住家の一部破損が16戸、床上浸水1戸。土木構造物では釧路川右岸岸壁の沈下、西港護岸の傾斜、水道管破裂があった。これにより500戸の断水があったがそのほかの被害は軽微であった。宅造地の斜面崩壊が緑ヶ岡で報告されている（酒井・青木・長能、1973）。主な被害箇所を図5に示す。

図6は今回の地震の主な被害箇所を示したものである。既往の地震被害の分布と較べてみると多くの共通点がみられる。

4. 1993年釧路沖地震被害の特徴と問題点

今回の地震災害の特徴を先に上げた4つの地震発生条件から再整理し問題点を探ってみる。

（1）やや深発地震

震源深さが107kmと深かったため津波の発生がなかったことが今回の地震災害を特徴付けている。釧路地方は津波の常襲地域であり例えば1952年の十勝沖地震では前述のように津波による浸水のみならず避難の際の混乱を生じていることから、津波の発生しなかったことが幸いしたと言えよう。しかし、津波に関する報道については次の問題点が指摘されている。今回の地震では約7分後に「津波なし」の津波情報が発表され11分後に放送されている。その間、地震に関するテレビ等の報道が多くなされているが津波発生の危険性に関する注意喚起が1例あるのみで、直後の災害報道の問題点が指摘されている（廣井・他、1993）。

震源が深かったことによる特徴は、地震動そのものにも表れている。すなわち、 $M=7.8$ というマグニチュードの割には深部で応力降下量が大きいことから破壊領域が長さ40～50kmと短く破壊の継続時間が短かったことが上げられる。また、直下で発生したため表面波の励起がなく、地表の地震動は長周期の成分を余り含まない継続時間の比較的短いものであった。釧路気象台で観測された強震記録は1gに近い最大水平加速度を示しているが、構造物への影響は致命的なものにはならなかった。しかし、建物内

の家具などの転倒は多く、多くの負傷者を生じている。

（2）寒冷地の冬季の地震

地震発生は1月15日と寒冷地の厳冬期の地震であり、この災害を大きく特徴付けている。当時の外気温は零下7度であり、暖房が必須の時期であった。火災の発生は釧路市で9件あり、大半が暖房器具からの出火である。暖房器具の転倒によるもの他、暖房器具への物の落下・散乱が原因となっている。また、不在の住宅からの出火も2件あり、短期の不在中も暖房が不可欠で日常化している状況下での問題点を指摘していると言えよう。また、これらの火災は延焼火災には至らず済んでいる。火災発生件数が少なかった背景には家庭内での相当の努力があったものと思われる。そのため、負傷のなかでは火傷が目だっている。これは、1952年十勝沖地震の際にも指摘されていることである。

当地は冬季間に地表から70cmないし1m程度凍結する。地震発生当時は積雪もほとんどなく広範囲で凍結していたものと思われる。砂地盤の液状化は釧路港湾地域の被害や釧路町木場のマンホール浮上などにみられたが、その他の地域では余り顕著に認められなかった。これは、地表面が凍結していたことにより液状化をある程度抑制していたものと考えられる。現に雪解けの時期に液状化の痕跡が湿原を埋立て開発された新興住宅地で多くみられた。このように、地表面の凍結は液状化あるいはそれに伴う砂の移動を抑制し、被害を最小限に留めたものと考えられる。しかし、地盤の凍結は一方では地盤の掘削を困難にし、被害を受けた埋設管の復旧を著しく困難にした。

（3）休日の夜間の地震

今回の地震では、発生日時が休日の夜であったことから、在宅率が高く市民の大半は家庭内で被災をしている。また、発生時が夜8時と夕食時間を外れ就寝前であったことから、室内での人的被害は居間を中心に家具の転倒、暖房器具による火傷を含む負傷が多かったものの、寝室での就寝中のタンス等の転倒による人身事故が少なかった。さらに屋外での

負傷は件数としては少なかった。しかし、一般に屋外での負傷はブロック塀の転倒や落下物による負傷のように重傷になるケースが多く、今回の地震の負傷に関する調査からも屋外での被災の場合ほど重傷が多いことが指摘されている（望月・村上, 1983）。

また、1952年の十勝沖地震では集合煙突の倒壊により7名の死者を生じている。北海道では無補強の煉瓦・ブロックの集合煙突は淘汰され数は減少しているものの地域によっては相当数残っており、屋間の地震に対しては要注意である。

夜間の地震であったことから多くの人が集まる施設などでの集団としての被災がなかったことは特徴的である。被害を受けた施設、例えば市内のある体育館では構造的被害は無かったものの仕上げの天井が一面に落下している。利用時間を外れていたために人身事故にはつながらなかったものの中であったらと心配される例である。この様な例は、1971年のサンフェルナンド地震の場合の被害を受けた病院や高速道路が早朝のため人的被害を最小限にとどめた例などに見られ、地震発生の時間が施設での人的被害に支配的であることを示している。

また、休日のそれも土曜日を含めれば3連休の初日の夜とあって、職場での被災が非常に少なかった。このため、職場での室内被害に伴う人的被害は少なかった。例えば、釧路市消防本部の望楼の最上部が倒壊し直下の署長室を直撃したが、執務中でなく一難を免れている。職場での被災が無かったことは一方では、一斉の帰宅行動を生じさせなかった。停電に伴い釧路市を中止に663基の信号灯が30分程度消えたが、大きな交通障害・混乱を引起こさなかった（加来・他, 1993）。都市規模による所も大きいが休日であり一斉の帰宅行動が生じなかったことが大きく影響している。

一方、当然のことながら休日故に大半の行政機関においては勤務時間外であり、直後の対応に大きく影響している。しかし、職員の動員・参集は交通混乱もなく比較的スムーズに行われている。

今回の地震では多数の負傷者が発生したものの、ライフライン被害がそれほど甚大でなく、また交通量が少なく医療スタッフの集合が容易であったという好条件下で、拠点病院の救急医療活動は比較的有

効に機能した。しかし発災直後に当番医療機関であった釧路医師会病院に集中するなど、情報の混乱が指摘されている。

（4）地方中心都市を襲った地震

今回の地震による被災の中心は人口20万人規模の釧路市であった。休日の夜間と言うこともあってさしたる交通混乱は生じなかった。そのため行政体職員の非常召集も、職住も接近していることも含め比較的スムーズに行われている。また、北海道と言う単位で考えれば行政の中心の札幌が被災地から外れていたことを上げることができる。1952年の十勝沖地震は被災域がさらに広がったが、同様に行政の中枢の札幌が被災しなかったことが応急対応・復興に幸いしたと指摘している（北海道(1953)）。この点は1978年の宮城県沖地震と大きく異なる点である。さらに、首都圏などを襲う地震の場合には相当状況が異なってくると考えられる。

5. むすび

以上、釧路における今回の地震被害の特徴を既往の地震被害と対比させて比較してみた。そのなかで、多くの共通点を見いだすと共に、今回の地震の発生条件に大きく支配されている点を見だし問題点を指摘してみた。地震災害の様相は地震発生の条件によって大きく支配されている。実際の被害として発現したのはこれらの条件の一つの組合せの場合に過ぎない。今回の被害を条件を種々に変化させた場合のシナリオを種々描くことにより学ぶことは多く、防災に生かして行くべきである。

参考文献

廣井 脩・中村 巧・是永 論・松田美佐・中森広道(1993). 1993年釧路沖地震における災害情報の伝達、1993年釧路沖地震による被害の調査研究(科研費報告書) 195-209.

北海道(1953). 十勝沖震災誌、739pp.

和泉正哲・植村 康・木村 実(1993). 1993年釧路沖地震による負傷者の行動と救急医療活動に関する調査、1993年釧路沖地震による被害の調査研究(科研費報告書) 161-168.

加来照俊・中辻 隆・藤原 隆・萩原 享(1993). 1993年釧路沖地震による道路交通の被害、1993年釧路沖地震による被害の調査研究(科研費報告書) 103-106.

望月利男・村上ひとみ(1993). 1993年釧路沖地震による負傷者へのアンケート調査、1993年釧路沖地震による被害の調査研究(科研費報告書) 169-172.

大森房吉(1895). 明治27年3月22日北海道地震概報告、震災予防調査会報告、5, 27-36.

酒井良男・青木武志・長能正武(1973). 根室半島沖地震による被害について、1973年6月17日根室半島沖地震調査報告(科研報告書) 268-289.

1993年釧路沖地震におけるライフライン系の被害と復旧

Damage and Restoration of Lifeline Systems
in 1993 Off-Kushiro Earthquake能島 暢呂* ・ 亀田 弘行**
Nobuoto NOJIMA and Hiroyuki KAMEDA

Damage and restoration process of lifeline systems in 1993 Off-Kushiro earthquake has been investigated. Physical vulnerability of networks, especially that related to ground failure, and functional damage to users were prominent as had been in past earthquakes. It should be appreciated, however, that some of pre-earthquake disaster countermeasures and post-earthquake emergency operations effectively worked, which successfully reduced disaster propagation. System interactions among lifelines has also been investigated on the basis of five different categories of their aspects.

1. はじめに

1993年1月15日に発生した釧路沖地震は、釧路市を中心とする広い地域に強い震動をもたらし、これによるライフライン施設の被害は、都市機能に多大な影響を及ぼした。筆者らは、地震直後に釧路市及びその周辺において、ライフライン系の被害と復旧についての資料収集と、関係者への聞き取り調査を行い、その成果を、他の著者とともに文献1), 2)などにとりまとめた。これらをベースに、本稿の2.～6.では、主として釧路市内の供給・処理・情報系のライフライン機能の被害と復旧の概要を述べる。7.ではそれらのライフライン系の間で見られたシステム間相互連関の問題について考察こととする。

2. 上水道システム

釧路市上水道は、釧路市内の約20万人に給水を行っており、一日平均配水量は7.3万 m^3 である。釧路川河口から約10km上流の岩保木導水ポンプ場から愛国浄水場に導水され、旧釧路川以西へはここから直接配水されている。旧釧路川以東(鉄西系・鉄北系)へは貝塚配水場、桜ヶ

岡配水場を経由して配水される。桜ヶ岡系のみが自然流下配水である他はポンプ圧送であり、施設全体の電力依存度はかなり高い。導水管、送水管の延長はそれぞれ13.4km, 10.2kmで、ダクタイル鑄鉄管と鋼管よりなっている。配水管延長は660.4kmで、管種構成比はDCIP(ダクタイル鑄鉄管), PP(ポリエチレン管), CIP(鑄鉄管)がそれぞれ50%, 25%, 21%である。止水性の良いPPは釧路市北部の泥炭地に造成された新興住宅地に多く布設されている。一方、ACP(石綿セメント管)は、旧釧路川以東の洪積台地の緑ヶ岡・武佐・春採・白樺台などに約2%残存するのみである。

今回の地震では、浄水場や配水場などの基幹施設や導・送水管には、機能に支障が生じるような被害は発生していない。表1に給・配水管の管径別被害箇所数を示す。給水管には46箇所、配水管には22箇所、計68箇所の被害があった。配水管の被害率は全体で0.03(箇所/km)であるが、ACPに限ると0.37(箇所/km)と高い値を示している。最も管径の大きい管被害は、貝塚1丁目の配水幹線(SP400mm)の空気弁の破損および愛国東1丁目の

* 広島工業大学工学部, 講師
Hiroshima Inst. of Tech., Faculty of Eng., Lecturer** 京都大学防災研究所, 教授
Kyoto Univ., Disas. Prev. Res. Inst., Professor

配水管（SP400mm）の折損である。図1に漏水箇所分布を示す。配水管の被害は緑ヶ岡・武佐に多いが、給水管の被害は釧路駅周辺や泥炭層上の美原地区にも広く及んでいる。

主な修理状況は表2に示すように、ACPとCIPの折損・亀裂の修理継手取り付け29件、ACPとSPの折損部の布設替えが15件、SP400mmの空気弁破損の解体修理1件などである。

断水状況の把握は、主として市民からの電話通報によって行われた。断水は緑ヶ岡を中心として計330戸で発生したが、表3のような発見・修理過程を経て、地震から6日目の1月20日にほぼ解消した。その結果、累積断水戸数は696（戸・日）にとどまった。釧路市では応急給水活動のため、6日間で延べ44台の給水車が出動した。出動地点は図1の68箇所の漏水地点中○印を付けた30箇所で、運搬された水量は積載水量の推定値で74トンである。

3. ガス供給システム

釧路ガスは釧路市ほぼ全域の6.6万戸に都市ガスを供給しており、導管延長は767kmである。ガス導管の被害は、図2のように旧釧路側以東の武佐・緑ヶ岡に集中した。この地域周辺の被害は、1960年代に行われた宅地造成によって、切土・盛土の境界となった付近に多発している可能性が指摘されている³⁾。

地震から約1時間半後の21時37分に、武佐での被害多発が判明し3,978戸への供給が停止され、さらに22時45分には緑ヶ岡周辺の5,287戸への供給が停止された。ブロック・バルブの閉止による被害区域の局限化によって、ガスの停止は9,301戸、全体の14.2%に限定された。約4km×3kmの被災区域が、被災状況や地形的・地理的条件に応じて、図3のように7ブロック25セクターに分割され、34社の応援事業者の協力を得て復旧作業が進められた。

図4に、既往地震におけるガス被害の復旧率の日変化を比較した。1978年宮城県沖地震で被害を受けた仙台市ではブロックバルブが設置されておらず、ガスは全面的に遮断され、復旧段階において、ブロック化のための導管切断作業を要した。1983年日本海中部地震での男鹿市・能代市でも、無被害地域を含めてガスが供給停止された。ただし開栓作業の開始後は無被害地域への供給再開が速いため、復旧曲線の立ち上がり急である。釧路ガスの復旧曲線は、見かけ上、仙台市と類似した経過をたどっているが、これは、迅速なブロック化と多数のガス事業者の応援という好条件と、作業効率の面での悪条

件が複雑に作用した結果である。地表面付近の凍土のため、被害発見や復旧の作業性は著しく悪く、宮城県沖地震の仙台市における作業効率の3分の1程度とみられている。開栓作業は、地震から4日後の1月19日に開始され、全戸の開栓完了まで23日間を要した。

ガスが停止している間、家庭用の代替熱源としてカセット式卓上コンロ1,301台、カセットコンロ用ガスボンベ4,001本、LPGコンロ60台、石油ファンヒーター112台が、被災者に無料で貸し出された。図4に、ガス停止世帯の14%にゆきわたった卓上コンロの貸し出し数の日変化を示した。

このほか、市西部の大楽毛の市営住宅では、内管の破損により漏洩し、滞留していた生ガスのため一酸化炭素中毒で16名が病院に運ばれ、うち一名が翌朝死亡する事故となった。

4. 電力供給システム

北海道電力釧路支店の管轄区域では、十勝系・日高系・石狩系などの発電設備から複数の幹線が新得開閉所に入っており、ここから宇円別変電所（225MVA）に至る185kV道東幹線と、宇円別変電所から出る多数の66kVの送電線が多重の送電ネットワークを構成している。北海道電力では1968年十勝沖地震と1982年浦河沖地震の教訓から、100年間期待最大地震加速度の値が200galを超える南北海道に札幌市を加えた地域を地震対策地域と定め、支持物の根入れ深さ、固定方法、支線取り付けなどについて特別の規定を設けるとともに、柱上変圧器の緊縛などの地震対策を強化している⁴⁾。釧路市内へ配電を行っているのは、橋北（60MVA）、鳥取（40MVA）、愛国（30MVA）、釧路（30MVA）、別保（10MVA）、桜ヶ岡（10MVA）の6つの変電系統である。各変電所の配電量の日変化を比較すると、鳥取変電所と橋北変電所では週末・祝日と週日の差が大きい一方、その他の変電所ではほぼ一定の配電量となっている。

地震によって、発電・変電・送電設備には機能に支障をきたすような被害は生じていないが、釧路市中心部に配電を行っている橋北変電所の変圧系統の一つであるDバンクで冷却オイル漏れがあり、15日22時から17日19時まで配電を停止した。図6は橋北変電所の5つのバンクの配電量の日変化であるが、Dバンクの失った機能をEバンクが完全にバックアップしており、機能的支障を回避できたことがわかる。

音別町から浦幌町にかけてと、標茶町、釧路市内などの配電設備には被害が多数発生した。被害発見手段は、主として短絡・地絡の検知と、巡視、利用者からの電話

表1 釧路市上水道における配水管と給水管の管種・管径別漏水件数
(1月21日現在、括弧内は配水管で分水栓2箇所を除く)

管径(mm) 管種	13	20	25	40	50	75	100	125	150	200	400	計	配水管 延長 (m)	配水管 被害率 (数/km)
CIP						2 (1)	6 (3)		2 (2)	1 (1)		11 (7)	137,961	0.051
DCIP							3 (3)		3 (2)	2		8 (5)	328,088	0.015
ACP							3 (3)	1	3 (3)			7 (6)	16,013	0.374
SP		2	4	2	6	1	1		1		2 (2)	19 (2)	10,239	0.163
VP					1							1	1,335	
PP	2	2	7	3	5							19	166,765	
LP	1	2										3	-	
計												68 (20)	660,401	0.030

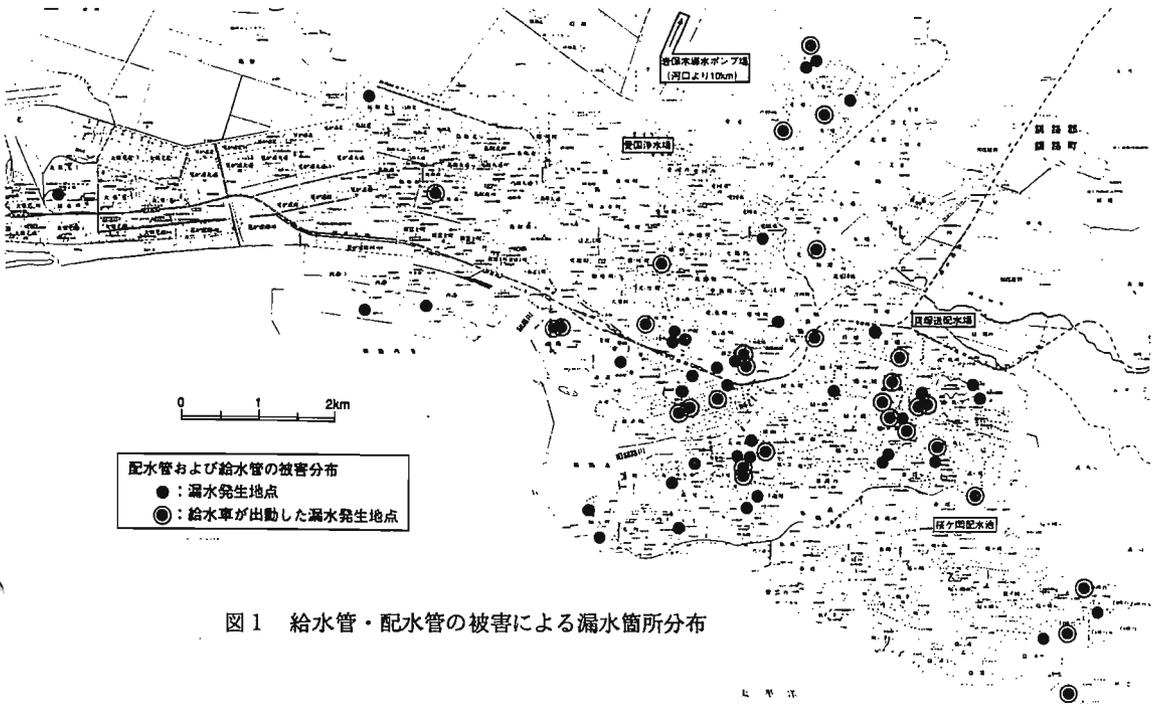


図1 給水管・配水管の被害による漏水箇所分布

表2 釧路市上水道における被害修理状況

修理継手取付	29件 (ACP, CIPの折損・亀裂)
取替・布設替	15件 (ACP, SPの折損)
継手取替	6件 (継手破損)
継手取付	2件 (継手抜け出し)
解体修理	1件 (SP400mm空気弁破損)
分水栓・止水栓取替	4件
継輪取付	3件
栓止め・プラグ止め	2件
内部分解	1件
解体除去	1件
止水のみ	3件
未復旧	3件

表3 釧路市上水道における被害発見・修理件数
および断水戸数の日変化

	被害発見件数			被害修理件数			断水戸数
	配水管	給水管	消火栓	配水管	給水管	消火栓	
1/15	6	5		0	0		265
1/16	8	11		8	7		265
1/17	4	14		7	15		45
1/18	2	8	1	4	8	1	60
1/19	2	6		2	8		60
1/20	0	2		0	6		1
計	22	46	1	21	44	1	

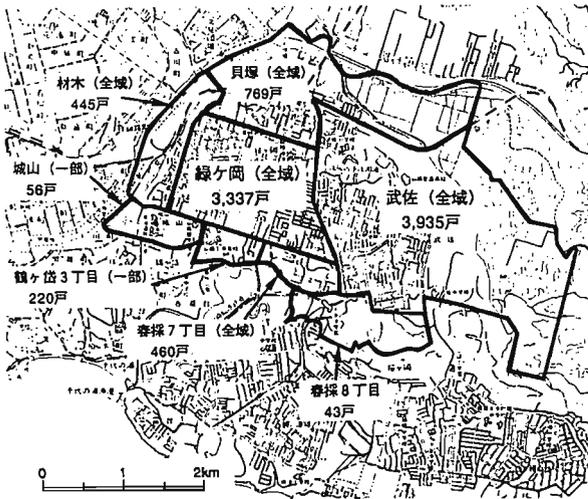


図2 釧路市東部のガス供給停止戸数の地域別分布

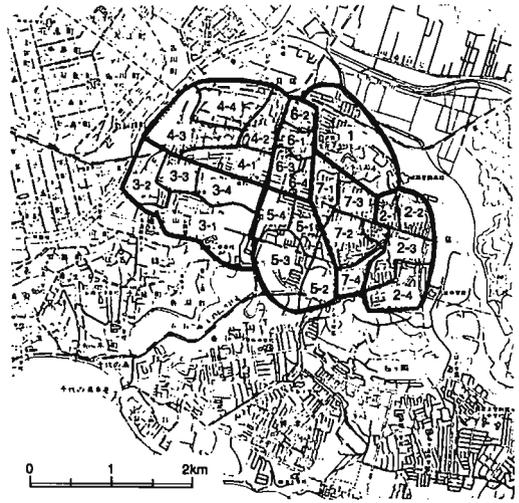


図3 被害地域のブロック・セクター分割

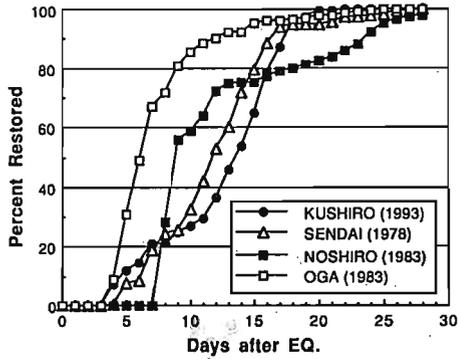


図4 地震災害におけるガス供給機能復旧過程の比較

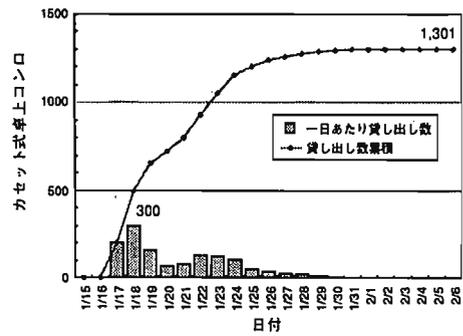


図5 釧路ガスによる代替熱源器具の貸出状況

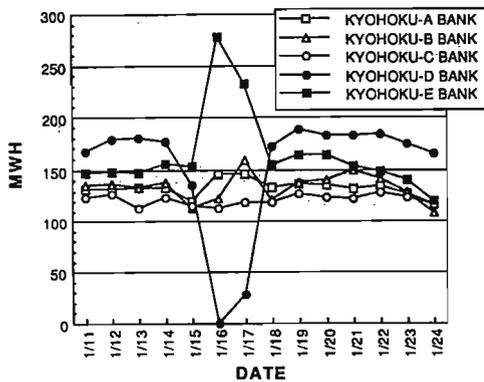


図6 橋北変電所の5つのバンクの配電量の日変化

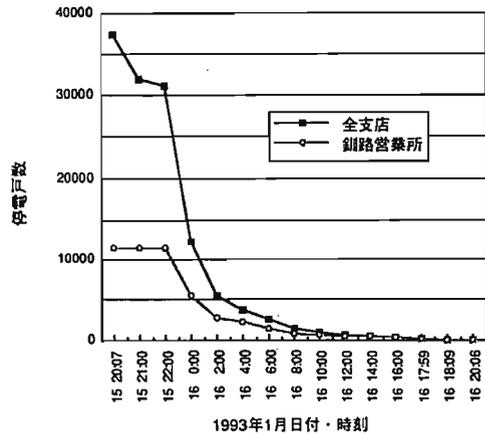


図7 釧路沖地震における停電の解消過程

通報である。主な被害を挙げると、ビル集合煙突倒壊や土砂崩れによる支持物の折損12基、倒壊6基、傾斜110基、高圧線断線11条、パインドはずれ約130箇所、変圧器の落下2台、傾斜・ずれ約4,400台、引き込み線の断線約140箇所、支持点はずれ約770箇所である⁵⁾。これらの原因により、池田から根室に至る広範囲にわたって、3.7万戸で停電したが、図7に示すように機能的復旧は迅速で、停電は地震から24時間以内に解消した。祝日の夜間に発生した停電であったため、社会・経済活動への支障は小さかったと考えられる。しかし、震動によって多くの住宅で家具の転倒やガラス破損が発生した状況の中で、護身・火の始末・家族の介護などの災害対処行動には支障があったのではないかと考えられる。

5. 下水処理システム

釧路市下水道は、全体計画の62%が整備された段階で、普及率は81%である。整備済みの管渠延長は933.4kmであり、分流式汚水、分流式雨水、合流式の構成比は48%、35%、17%である。ほとんどがヒューム管であるが一部で塩化ビニール管が使用されている。これは地下水位の高い泥炭地帯での止水性確保と、小勾配での遠距離輸送のため粗度係数の低い材料が望ましいという2つの理由によるものである。釧路川と旧釧路川をはさんで大楽毛・古川・白樺台の3箇所に終末処理場がある。最大規模の施設は古川終末処理場であり、処理能力で全体の76%を占める。ポンプ場は全体計画では13箇所であるが、うち4箇所は大楽毛地区に整備予定となっており、9箇所が稼働中であった。

管渠の被害は図8および表4に示す10箇所を確認されている。いずれも自然流下部分であり、圧送部分には被害はなかった。被害延長は3.9kmで、135.4haの面積、約7,400人に影響が出ている。主な破壊形態は、斜面崩壊による管渠破断、液状化による管渠の折損・屈折とそれに伴う土砂堆積である。後者に関しては、下水が詰まっているとの市民からの通報で被害が判明した。図表中の(1)・(6)・(7)の3箇所では地上に仮設管を布設し、ポンプで下水を圧送する処置がとられた。また3箇所の終末処理場と7箇所のポンプ場でも被害があったが、いずれも軽微なものにとどまっている。

釧路郡釧路町の木場および桂木では、マンホールの浮上が約20箇所認められており、最大浮上高さは136cmであった⁶⁾。

6. 情報通信システム

N T T 釧路支店は、釧路支庁と根室支庁の15市町村を

エリアとし、加入者数は16.8万加入であり、架空ケーブル約6,500km、地下ケーブル570km、約100局の交換局（無人局を含む）などの設備を有する。

釧路沖地震による屋外通信設備の主な被害の分布を図9に、被害の概要を表5に示す。国道38号線の白糠町馬主来では、盛土崩壊に伴う道路崩落によって、谷側に埋設されたマンホールと管路が流出し、収容されていた地下光ケーブルが切断されるとともに、付近約1kmにわたってケーブルに張力がかかった状態となった。帯広-釧路間の市外回線と、音別-白糠間の公衆回線などが影響を受けたが、北見経由の迂回ルートへの切り替えの処置がとられ、翌日に架空ケーブルが仮設されている。

国道272号線の東阿歴内では道路が上下線とも崩壊し、山側に埋設された管路・マンホールが流され、市外中継用の地下メタルケーブルが破断した。迂回ルート切り替えと架空ケーブル仮設の措置がとられた。国道391号線の遠矢、塘路、茅沼などでは電柱倒壊・傾斜の被害が多発している。

加入者回線の被害は、電話機の故障404件、引き込み線断150件など679件である。104番と113番への問い合わせは、翌16日昼までに1.3万件あった。釧路市内においては、地震当日の深夜~16日未明、16日の昼間、18・19日の昼間と、週末をはさんで断続的に輻輳が発生しており、2台の広報車と1台のパトロール車を用いた広報活動によって発着信の緩和が図られた。主な広報内容を表6に挙げる。

7. システム間の相互連関⁷⁾

ライフライン系の地震被害は、個々のシステムの施設被害にとどまらず、システム相互に種々の影響が波及する性質を持つ。筆者らはこれまで、1923年関東地震、1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震、1989年ロマ・プリエタ地震などの地震におけるライフライン系のシステム間相互連関の様相を整理して、(a)物理的被害波及、(b)機能的被害波及、(c)復旧支障、(d)代替システムによるバックアップ機能、(e)複数ライフラインによる複合災害の5項目に類型化し、各発生要因の分析を行ってきた⁷⁾。釧路沖地震においても多面的な相互連関が認められたので、その様相を上記の分析と同一の観点から分類し、釧路沖地震の特徴的側面を考察する。表7は、左端の行に示されるシステムが上端の列に示されるシステムに与えた被害波及の様相と、被害波及を防止し得た場合にはその具体的内容をまとめたものである。これらを5項目に分類し、それぞれの特徴的な側面を以下に述べる。【】内の数字は表7の数字に対応している。

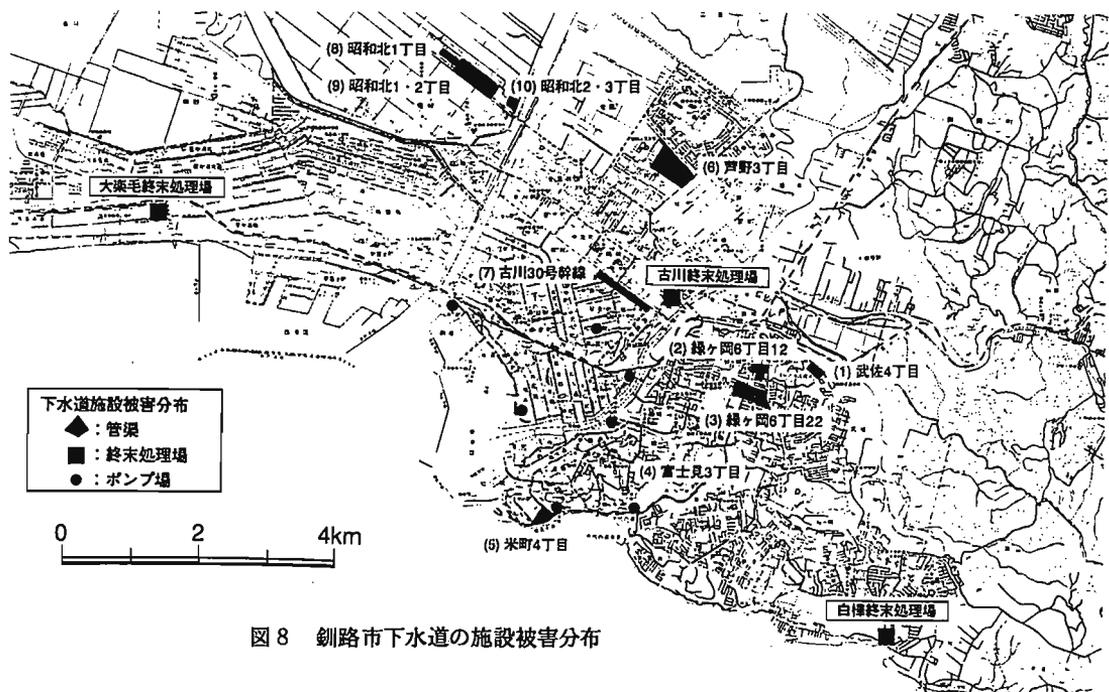


図8 鉧路市下水道の施設被害分布

表4 鉧路市下水道における管路網の被害概要

	被害箇所	被災内容	管種	管径 (mm)	用途	延長 (m)	影響面積(ha) 影響人口(人)	対応
古川処理区	(1)武佐4丁目 (若草保育園裏)	若草保育園裏 人道通路決壊 に伴う管渠破損	t ₁ -d管	250 500	汚水 雨水	210 130	3.68 ha 326 人	地上仮設管+ ポンプ
	(2)緑ヶ岡6丁目12	かけ崩れによる 損傷	t ₁ -d管	300 200-250	雨水 汚水	95 153	2.09 ha 138 人	
	(3)緑ヶ岡6丁目22 (佐々木宅前)	折損・蛇行・ 屈折に伴う 土砂堆積	t ₁ -d管	250 900	汚水 雨水	266 269	7.76 ha 540 人	
	(4)富士見3丁目	折損・蛇行・ 屈折・亀裂に 伴う土砂堆積	t ₁ -d管	500	汚水	81		
	(5)米町4丁目	折損・屈折に 伴う土砂堆積	t ₁ -d管	250	汚水	150	9.81 ha 700 人	
	(6)芦野3丁目	蛇行・屈折に 伴う土砂堆積	塩ビ管	250	汚水	465	37.7 ha 1,561 人	地上仮設管+ ポンプ
大塚毛処理区	(7)古川30号幹線	屈折・蛇行に 伴う土砂堆積	t ₁ -d管	300-450	汚水	754	59.0 ha 3,210 人	地上仮設管+ ポンプ
	(8)昭和北1丁目 (2~4番地)	屈折・蛇行に 伴う土砂堆積	塩ビ管	200	汚水	142	1.63 ha 105 人	
	(9)昭和北 1・2丁目	屈折・蛇行に 伴う土砂堆積	塩ビ管	200	汚水	828	11.08 ha 655 人	
	(10)昭和北 2・3丁目	屈折・蛇行に 伴う土砂堆積	塩ビ管	200	汚水	334	2.66 ha 157 人	
計						3877	135.41 ha 7,392 人	

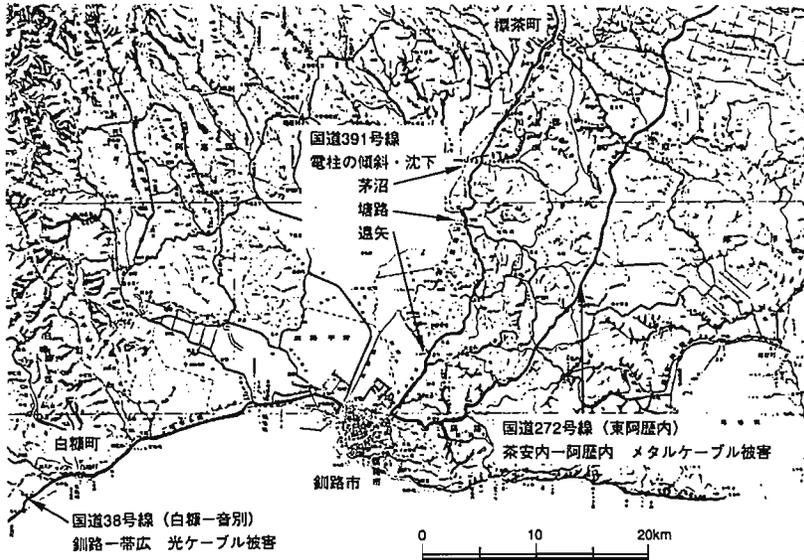


図9 屋外通信設備の主な被害箇所

表5 NTT鉧路支店における設備被害概要

<p>地下光ケーブル切断 1箇所 国道38号線、馬主来付近の盛土崩壊、道路崩落による</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・帯広～鉧路間 ・音別～白糠間 <p>市外回線 専用線 公衆回線 自動車電話 船舶電話</p> <p>迂回ルートに切替え (帯広-北見-鉧路) システム切替え</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1月15日 国道通行止めのため現場に到達できず ・1月16日 被災区間を架空ケーブルにより仮復旧 ・ケーブル移動は約1km先の接続点まで到達 ・本復旧は、道路の復旧に付随して実施予定
<p>地下メタルケーブル切断 1箇所 国道272号線、阿歴内～茶安内間の斜面崩壊・道路崩落による</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・迂回ルートに切替え ・被災区間を架空ケーブルにより仮復旧
<p>通信ケーブル損傷 地下管路破損等 電柱倒壊・傾斜等 マンホール傾斜・ひび割れ 建物壁面亀裂・ガラス破損</p>	<p>約 90 km 約 70 km 約 400 本 (国道391号線沿い、遠矢、塘路、茅沼など) 約 100 箇所 約 100 箇所</p>
<p>停電</p>	<p>約100局のうち70局で停電。 バッテリーに切り替え、自家発電機の稼働には至らず。 市内の7局では停電なし。</p>
<p>被害総額</p>	<p>約 10 億円</p>

表6 鉧路支店における利用者への広報活動

1/15(金)	21:30～23:00	市内一円；“見舞い電話が殺到している。しばらく待っておかけ下さい”。
1/16(土)	10:00～15:00	愛国；“見舞い電話が殺到している。しばらく待っておかけ下さい”。
1/17(日)	なし	
1/18(月)	10:30～12:00	愛国；“見舞い電話が殺到している。しばらく待っておかけ下さい”。
	14:00～16:00	同上。
	17:40～19:30	鉧路から発信しやすいので、発信を促して着信の防止効果を狙う。 鳥取、星が浦、新富士に着信多い。
1/19(火)	午前	“かかりやすくなってきた。御協力ありがとうございました”。
	10:00～12:00	着信多い(緑ヶ岡、春採、鳥取、浦見)。

(a) ライフライン間での物理的被害波及【9～14】

ライフライン・ネットワークの要素構造物は、道路の地上・地下を占有して設置・埋設もしくは橋梁に添加されているものが大半を占める。釧路沖地震では道路や橋梁の損傷が電気通信設備の屋外施設の直接的な破損につながる事例が多数発生した。前述のように、国道38号線の白糠町馬主来および国道272号線の東阿歴内では、盛土崩壊に伴う道路崩落によって、埋設されたマンホールと管路が流出してケーブルが切断された。また音別～白糠間の橋梁ではアプローチ部の沈下が多発しており、和天別橋では添加管路継手の曲げ損傷が確認されている⁹⁾。

(b) ライフライン間での機能的被害波及【4～7】

ライフライン系の相互依存体系が地震によって破壊されると機能的被害波及が発生する。特に他システムへの影響が著しいのは電力供給の途絶であり、1978年宮城県沖地震では停電によって他のライフライン系施設の運転用動力や系統管理・制御機能が失われ、機能マヒにいたったケースが多く報告されている。

釧路沖地震では全体的に短期間の停電であったため、他のライフライン機能への影響は軽微なものにとどまった。釧路市の西方に位置する音別町では、停電による取水ポンプ稼働停止で貯水池の水位が低下し、営農水道が断水した。音別町は今回の地震で停電が最も長時間続いた町で、市街地に給水する簡易水道より規模の小さい営農水道が停電の影響を受けていることから、取水池容量が十分であれば断水は回避可能であったと考えられる。釧路市上水道においては、停電時に自家発電機が短時間稼働した施設もあるが、復電が速かったので配水機能上の支障は出ていない。N T T 釧路支店管内の約7割にあたる70の交換局で停電が発生したが、バッテリーの作動と早期復電により、交換機能には支障がなかった。

(c) 復旧段階におけるシステム間での相互影響【1, 3, 15】

地震が発生すると複数のライフライン被害が同時多発し、事業者が一斉に緊急活動や復旧作業を開始するため、復旧段階で種々の相互影響が発生する。釧路市緑ヶ岡および武佐における配水管・ガス導管の同時被害箇所においては、漏れた水がガス管破損部分に差水・封水した。このため修復作業での作業効率が悪化し、地表付近の凍土とともに大きな復旧障害となった。釧路市黒金町のガス導管修理作業現場においては、管の取り違え事故防止のためにN T T 社員が立会いのもとに作業が進められた。また前述の国道38号線の白糠町馬主来では、地震当日は国道不通のため復旧班が現場入りできず、架空ケーブルの仮設を翌日まで待つという事態となった。

(d) システム間代替性によるバックアップ機能【2, 16】

複数システムが相互にバックアップ機能のように作動し、結果的に都市機能マヒを防御する相互連関を指す。エネルギー供給を担う電力とガスにおいては、一方の機能を他方が補える場合があるので、地震時に需要が増加する可能性があるが、釧路沖地震ではこの事例が確認された。図10は釧路変電所の3つのバンクA・B・Cの配電量の日変化を示している。釧路変電所は9,265戸でガスが停止した武佐・緑ヶ岡周辺地域を含む釧路市東部に、釧路市全体の約15%にあたる電力の供給を行っている。Bバンクの配電量がガスの停止戸数とほぼ対応して増加しており、ガス停止世帯での代替熱源として、電力へのニーズが一時的に高まったことを示唆している。Bバンクにおける配電量の経時変化を、地震前(1月11～14日)とガス供給停止期間の一部(1月18～21日)における平均値の比で示したものが図11である。午前中よりも午後において両者の比が大きく、最高1.35倍の使用量となっている。これらよりガス停止が利用者の電力消費を促進し、電力供給パターンに変化をもたらしたとえる。

1989年ロマ・プリエタ地震においては、落橋したベイ・ブリッジの一月に及ぶ閉鎖中、ほぼ無被害であった鉄道交通システム(BART)の利用が急増したことが明らかにされている⁹⁾が、釧路沖地震では逆に、不通となった根室本線および釧網本線の一部においてバスによる代行輸送が行われた。

(e) 複数ライフラインによる複合災害【8】

ライフラインが生み出した災害因が、複合的に新たな災害に結び付く場合がある。釧路市北方に広がる標茶町の上下水道システムの復旧プロセスにおいては、下水流出による二次的な環境汚染防止が配慮された¹⁰⁾。標茶町の上水道では延長23kmの配水管に2カ所の被害が発生した。試験通水が進められる中で1月20日15時、一部地域で下水道水位が危険水位に達しポンプアップで対処したが、終末処理場付近で20時20分再び危険水位に達したため、市街域全域に節水協力の要請がなされた。標茶町において断水が解消したのは地震から6日後の1月21日であり、結果的に今回の地震では断水が最も長期化した町となった。この原因については、釧路湿原国立公園の水質保全・環境保全を目的として下水道の処理能力を監視しながら上水道農業用水の復旧を行ったためと考えられている¹⁰⁾。これについては、下水管への地下水流入による処理能力超過、下水管の土砂閉塞による下水滞留・危険水位超過・流出、下水の生放流と環境汚染、節水要請と上水道の復旧猶予、といった多数の要因が複雑に作用していると予想され、これら項目群の因果関係を解

表7 1993年釧路沖地震におけるライフライン系のシステム間相互連関

被影響 影響	被影響						交通	
	上水道	ガス	電力	下水道	ごみ・ 廃棄物 処理	電話	道路	鉄道
上水道		1						
ガス			2			3		
電力	4, 5					6		
下水道	7, 8							
廃棄物処理								
電話								
道路			9	10, 11		12~15		
鉄道								16

- (1) 配水管・ガス導管同時被害箇所においてガス管破損部分への差水のため、修復作業の作業効率が悪化
- (2) ガス供給停止によって、代替熱源として電力需要が一時的に増加（釧路市緑ヶ岡・武佐周辺）
- (3) ガス導管修理作業現場において、管の取り換え事故防止のためにN T T社員が立会い（釧路市黒金町）
- (4) 上水道施設での停電→自家発電機稼働で影響回避（釧路市上水道）
- (5) 停電による取水ポンプ稼働停止で貯水池の水位が低下し、営農水道が断水（音別町）
- (6) 交換局での停電→自家発電機稼働で影響回避（N T T釧路支店管内）
- (7) 下水道管路の破断と折損による土砂流入・管閉塞のため水道が使用不能（釧路市下水道）
- (8) 下水道の処理能力低下のため、上水道の節水要請および復旧猶予（標茶町）
- (9) 橋梁添加管のずれ1箇所（場所不明）、C A Bは今回の地震で無被害
- (10) 橋梁取り付け道路の沈下で橋梁添加管路継手に曲げ損傷（和天別橋の歩道橋部分）
- (11) 人道崩落に伴い、下水管渠・マンホール流出（釧路市武佐4丁目若草保育園裏）
- (12) 高盛土崩落に伴い、地下埋設管・マンホール・收容光ケーブルが破損（国道38号線白糠町主来）
- (13) 道路崩落に伴い、地下埋設管と收容されていた市外中継用メタルケーブルが破損（国道272号線東阿歴内）
- (14) 橋梁取り付け道路の沈下で橋梁添加管路継手に曲げ損傷、收容ケーブルに引張力（和天別橋の車道橋部分）
- (15) 国道38号線不通のため、地下光ケーブル破損現場に地震当日は到達できず（国道38号線白糠町主来）
- (16) 鉄道不通中のバス等代行運転（根室本線、釧網本線）

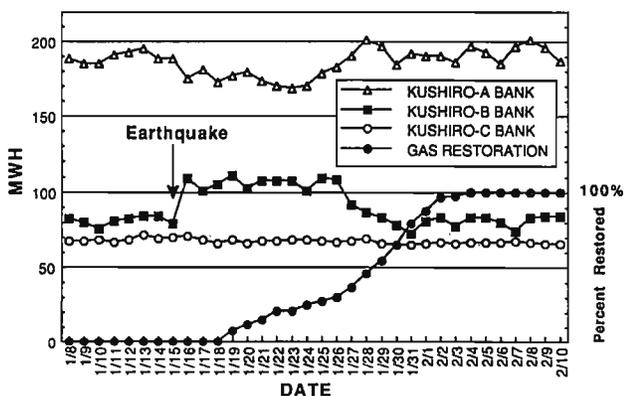


図10 釧路変電所における配電量の日変化とガス復旧過程

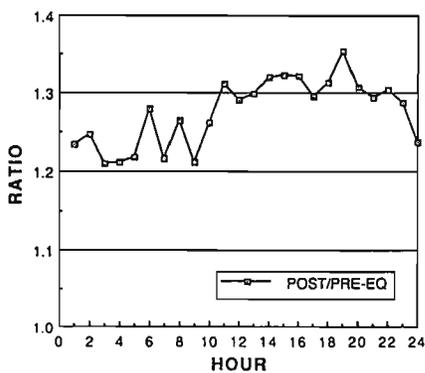


図11 釧路変電所Bバンク配電量の地震前後の比
（地震前：1月11～14日平均
地震後：1月18～21日平均）

明する必要がある。

8. おわりに

釧路沖地震におけるライフライン系の被害では、宅地造成のための人工地盤改変や、地盤の液状化、斜面崩壊などに起因する地中埋設物の被害が目立つとともに、特にガス供給機能の停止が長期化するなど、ライフライン系の地震に対する脆弱性が依然として重要問題であることが示された。

一方、釧路ガスで採用が進められていたメカニカル継手やポリエチレン管の耐震性が確認されたことや、地震後の供給網ブロック化、ガス事業者の復旧支援体制など、種々の地震対策が有効に生かされた点で、釧路沖地震の経験は意義深い。今後もこうした努力が、地震時信頼性の向上に役立てられる必要がある。さらに、橋北変電所での変電系統におけるバンク間の機能的バックアップの例に見られるように、システム冗長化（もしくはシステム余裕）が、災害時に効果を発揮することが再確認された。電力供給機能の回復が迅速であったため、停電から他ライフラインへの被害波及がほとんど表面化しなかったのは幸運であったといえる。

寒冷地特有の現象としては、凍土によって被害地点の発見・掘削作業の支障になるという、予期し得なかった問題点が提起された。また盛土崩壊に伴って被害を受けた電気通信施設については、マンホール内のケーブルに余長を持たせ、引張力の作用を緩和する方策や、山側斜面を占用する設計方針などが新たに検討されている⁹⁾。

ガス-電力間で見られた、システム間代替性による機能的バックアップの現象は、大規模災害ではより重要な意味を持つと考えられる。個別システムを強化・冗長化するだけでなく、同種の都市機能をできるだけ異質なシステムによって支え、非常時には相互の機能をバックアップできるようなフェイル・セーフ設計の概念を導入する必要がある。

以上のように、都市ライフライン系の健全なあり方を考えるうえで、釧路沖地震は、示唆に富んだ地震であった。ライフライン機能の低下・停止による被災市民の生活支障については、アンケート調査の集計・解析をふまえて別途報告したいと考えている。

謝辞

本稿に関する調査と資料収集では、釧路市水道部工務課の渡部忠光氏・岩城正良氏・盛岡孝道氏、釧路ガス総務課の伊藤氏、北海道電力釧路支店営業部配電課の南雲恵介氏、釧路市下水道部の岡部欽也氏、N T T 釧路支店

の鈴木照夫氏、標茶町庶務掛の佐藤啓一氏に御協力いただいた。また大阪ガス供給部の福家貞二氏・小川安雄氏、N T T 関西設備総合センターの西野龍太郎氏には、釧路沖地震関連の資料と貴重なコメントをいただいた。記して深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 亀田弘行・能島暢呂・盛川仁・高田至郎・林春男・渡辺千明：1993年釧路沖地震によるライフラインの被害と復旧，文部省科学研究費（No. 04306025）突発災害調査研究成果（代表 鏡味洋史），1993年釧路沖地震による被害の調査研究，pp. 127-137，1993. 3.
- 2) 能島暢呂・亀田弘行：1993年釧路沖地震における都市ライフライン系のシステム間相互連関について，第22回地震工学研究発表会講演概要集，pp. 427-430，1993. 7.
- 3) 菅野高広・村山良之・柳沢栄司：1993年釧路沖地震による地盤被害に関する一考察，土木学会第48回年次学術講演会 I-171，pp. 490-491，1993. 9.
- 4) 北海道電力(株)釧路支店：釧路支店の概況
- 5) 北海道電力(株)営業部・技術研究所：配電設備の地震対策について，1985. 5.
- 6) 宮島昌克・池本敏和・吉田雅穂：1993年1月15日釧路沖地震調査報告-速報-，1993. 2.
- 7) 加藤多郎・能島暢呂・亀田弘行：都市ライフラインの地震被害とライフラインシステム間の相互連関の分析，京都大学防災研究所都市耐震センター研究報告別冊第3号，京都大学防災研究所，1990. 4.
- 8) 八木高司他：平成5年釧路沖地震第1次調査結果報告，N T T フィールドシステム研究開発センタ，1993. 2.
- 9) 亀田弘行・浅岡克彦・能島暢呂・小川信行：ロマ・プリアタ地震によるサンフランシスコ湾岸地域の交通システムへの影響について，第21回地震工学研究発表会講演概要集，pp. 321-324，1991. 7.
- 10) 林春男・亀田弘行：環境問題に配慮した災害復旧-1993年釧路沖地震の際の標茶町の水道被害-，第22回地震工学研究発表会講演概要集，1993. 7.

人的被害の概要と街路における危険度評価の試み

Outline of Human Casualty and a Risk Assessment on Streets
during the Kushiro-oki Earthquake○水越 薫、石田 寛、中村雅彦
Kaoru Mizukoshi, Hiroshi Ishida, Masahiko Nakamura

The outline of human casualties in the Kushiro-oki Earthquake and its background are reviewed using a damage propagation flow diagram. Fortunately in this earthquake, no casualties on the streets were reported. This is thought to be owing to the occurrence time of the earthquake, the late evening of a national holiday. Authors surveyed through questionnaires fallen debris into a street from the buildings facing the street in a shopping district in Kushiro City. As a result, quite a few objects were found to have fallen during the earthquake. Using this data, the potential danger on the street at different time of day was evaluated in a relative form for trial, and the future research items to be accomplished in order to establish the human risk evaluation method were pointed out.

1. はじめに

釧路沖地震では、地震動の強さのわりに建物の構造的な被害は軽度で、倒壊率はきわめて低かった。しかし、非構造壁や内外装材、窓ガラスなどに被害を受けた建物の割合はかなり高く、また、多くの建物で家具や書棚の転倒、什器の散乱、照明器具の落下などの室内変容が発生した(岡田他、1993)。

今回の地震による人的被害をみたとき、負傷者数は多かったものの死者数が最小限にとどまったのはこのような建物被害の形態に起因するところが大きいと思われる。

人的被害の発生パターンに大きな影響を与えたもうひとつの要因は地震の発生時間(季節と時刻)である。厳寒地の真冬で、休日の午後8時過ぎ。多くの人が家族とともに家庭に居り、夕食後の団欒を過ごしていた時刻である。室内での負傷者が多かった反面、街路など屋外での被災者が少なくすんだのはこのことによると思われる。

起こってしまった災害を論ずる場合に「もしも…」は適当でないかもしれないが、もしこの地震が平日の昼間に起こっていたら、少なくとも人的被害の様相はかなり異なったものになっていただろうと思われる。そのひとつは街路での被災である。

本論では、まず人的被害の発生状況とその背景を

被害連関図を用いて概観し、今回の被害の特徴を述べる。次に、筆者らが行った街路における落下物の実態調査結果を報告するとともに、街路での人的被害危険度の評価法について若干の検討を試み、これをもとに今後の課題を抽出することとする。

2. 人的被害の概要

2.1 被害連関図

地震被害の発生・波及状況や被害事象間の因果関係を表わす方法として、筆者らは被害連関図を用いてきた(水越他、1992)。ここでも、人的被害に関する図-1のような連関図を作成し、被害の特徴を考えてみる。

この連関図では、図の下部に被害事象の発生や波及プロセスをできるだけ因果関係が分かるようなフロー図で表わし、上部にそれら被害事象に関連する物理的あるいは社会的背景を示している。この連関図から、今回の地震における人的被害の発生状況および負傷者への救急医療対応に関する特徴として、以下のことが指摘できる。

a. 地震の規模のわりに死者数が少なかった。これには津波がなかったこと、家屋の倒壊が少なかったこと、および延焼火災が発生しなかったことが大きく寄与した。

* 鹿島技術研究所 主管研究員 工博 ** 同 主任研究員 *** 同 研究員

* Kajima Technical Research Institute, Chief Research Engineer, Dr. Eng.

** Kajima Technical Research Institute, Senior Research Engineer

*** Kajima Technical Research Institute, Research Engineer

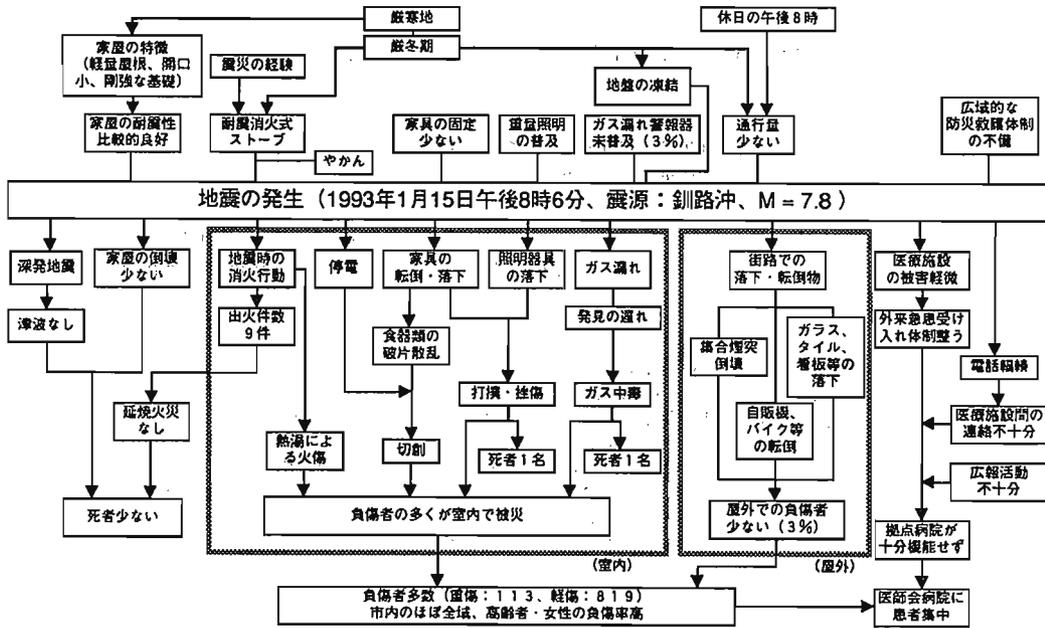


図-1 釧路沖地震における人的被害連関図

- b. 負傷者は多数発生したが、その被災場所は室内がほとんどを占め、屋外での被災は少なかった。街路での落下・転倒物や集合煙突の倒壊などが相当量発生したにもかかわらず屋外での人的被害が少なかったのは、真冬でしかも休日の午後8時という地震発生時刻が幸いした。
- c. 室内の負傷原因をみると、ストーブ上のやかんなどの熱湯による火傷、家具の転倒や落下による打撲、散乱したガラス破片などによる切創が多い。熱湯による火傷の多発は、寒冷地特有の現象といえる。
- d. ほとんどの家庭でストーブなどの火気を使用していたにもかかわらず火災の発生は9件にとどまり、しかも延焼火災には至らなかった。これには、自動消火装置の普及と住民の消火行動が効を奏したといえる。さらに、消防活動を妨げる交通障害などが少なかったことも幸いした。
- e. 救急医療に関しては、医療施設の被害は軽微であったが、医療施設間あるいは災害対策本部との情報伝達が十分でなかったため、特定の病院に患者が集中するという現象が起きた(和泉他、1993)。

このように見ていくと、人的被害の発生パターンは地震の特性、地震の発生時間、その地域の気候条件に強く依存していることが分かる。

2. 2 室内での人的被害

今回の地震による北海道内の人的被害は、死亡1名(10月6日に道警はガス中毒による死者を本地震による死者と認定し、この時点で死者2人)、重傷113名、軽傷819名(北海道防災消防課、2月17日現在)で、このうちの多くが室内での被害に起因していると指摘されている。

釧路市消防本部予防課(1993)の調査によると、家具の転倒や落下物(写真-1参照)があった世帯は釧路市内で90.9%に達している。望月ら(1993)が実施した負傷者に対するアンケート調査によると、家具転倒・落下物・ガラス破片による負傷が4.2%を占めている(図-2、3参照)。ガラスによる切創の多くが散乱した食器類の破片に起因すると推定されることから、家具等の耐震対策によって今回の負傷

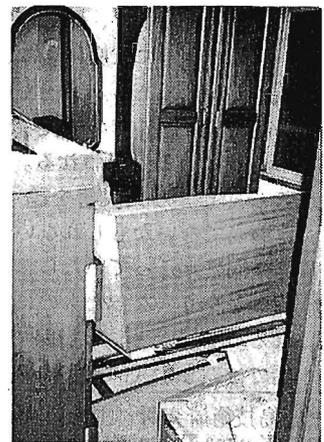


写真-1 転倒したタンス (写真提供: 東京海上)

者数の4割が防止できたことになる。山崎ら(1993)の調査によると、たんす等の転倒・移動防止の固定をしていた世帯は15%しかなかった。室内での防災対策の重要性が改めて指摘できる。

また、熱湯やストーブによる火傷が負傷原因の36%を占めている(望月他、1993)。火傷のほとんどはストーブ上のやかんや湯沸器の落下に起因している。厳寒地特有の現象であるが、早急に何らかの具体的対策が必要であろう。

2.3 街路での人的被害

負傷原因(望月他、1993)のうち明らかに屋外での負傷は、塀や門柱、煙突の倒壊に起因する3%のみであり、屋外での人的被害が非常に少ないことが今回の特徴といえる。この要因としては、津波や延焼火災の発生がなかったという幸運の他に、地震発生の時間帯が幸いしたと考えられる。後述するように、街路への落下物(図-4参照)は相当量発生しており、またこの地方に特有の集合煙突の倒壊(写真-2参照)も相当数に達していることから、もし地震が通行者の多い時間帯に発生していたら屋外での人的被害はもっと大きくなった可能性がある。

3. 街路の被害調査

今回の地震で街路への落下物がどの程度発生していたかを調べるため、地震から4か月あまり経過した6月上旬、釧路市橋北地区の商店街でアンケートによる実態調査を行った。

3.1 街路調査の概要

釧路駅前から幣舞橋に至る延長約830mの通り(北大通り)に面した店舗、事務所など100事業所を対象にアンケート用紙を配付し、回答を郵送により回収した(回収率は75%)。アンケートの主な質問事項は以下のとおりである。

- ・建物属性(階数、構造種別、建築年代など)
- ・街路への落下物の発生状況(何が、どこから、どの程度落下したか)
- ・街路に面した破損物の発生状況(何が、どこで、どの程度破損したか)

今回の調査では、上記のアンケート調査と同時に、建物属性や建物側面の状況に関する目視調査もあわせて実施した。

3.2 調査結果

回答総数75の内訳を図-5に示す。街路側に何らかの落下物があったと回答したものが37%、さらに落下はしなかったものの街路に面した建物側面で何らかの破損物があったと回答したものを合わせる

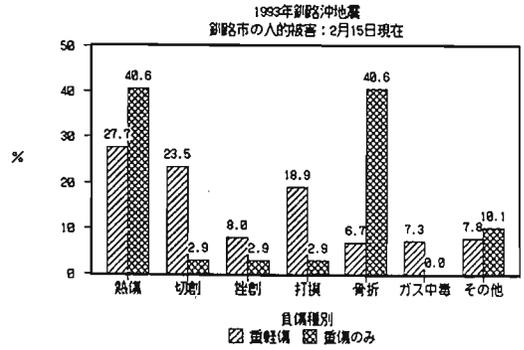


図-2 釧路市における負傷種別(望月他、1993)

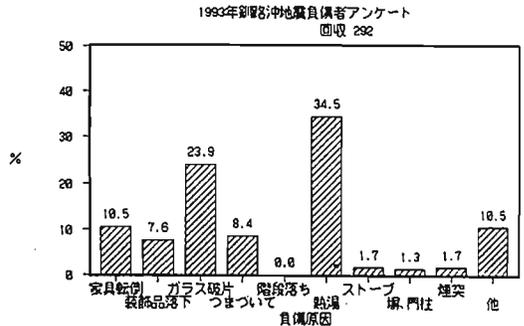


図-3 重傷者の負傷原因(望月他、1993)

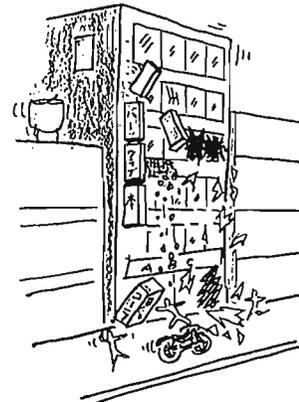


図-4 街路での落下物・転倒物

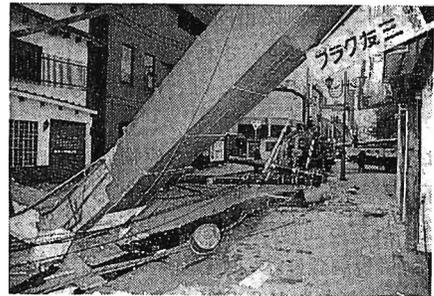


写真-2 街路に倒れた集合煙突
(写真提供:北海道新聞)

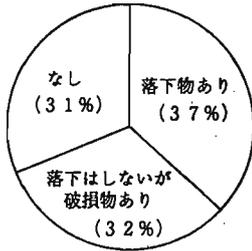


図-5 回答の内訳

と69%に達している。また、落下物、破損物の種類別の内訳を図-6に示す。外壁タイル、ショーウィンドー、窓ガラスの落下が多く、看板は3件と少ない。その他、路上の立て看板や自転車、バイクの転倒もかなりの数にのぼっている。なお、以上の結果は各事業所からの回答内容の内訳であり、建物毎にみた内訳ではない。

そこで、アンケートの回答から建物別の被害状況を判定した。落下件数の多かったガラス（窓ガラス+ショーウィンドー）と外壁タイルについて、落下または破損の分布状況を図-7、8に示す。これらの図では、街路に沿った5m刻み毎に、歩道に面して存在するガラス、タイル面積を棒グラフで示し、そのうち地震時に落下または破損した面積を色分けして示した。但し、タイルの破損は面積が確認できたもののみを示しており、実際はもっと多い。

アンケートに回答のあった建物については、ガラスは総面積の7.7%が落下または破損し、タイルは総面積の1.6%が落下したことになる。但し、被害を受けた事業所の回答率が低く、また修復工事などで営業停止中のためアンケート用紙が配付できなかった事業所もあったことを考えると、全体としての落下・破損率は上記の値以上であったことが推測される。

図-7と8を比較すると、落下が集中した場所はガラスとタイルで概ね一致している。鏡味らのアンケート調査による釧路市内の震度分布では、北大通り一帯は震度5.2~5.4とされているが、街路に沿った震度の強弱を判定できるほどの分解度はなく、震度との関係はわからない。もっとも、この落下物の集中は地動の強弱よりも個々の建物属性や応答特性に依存するところが大きいと思われる。

街路に面する建物総数は101棟である。アンケートおよび目視調査に基づく構造種別内訳を図-9に示す。RC造と木造が85%を占める。また、建物階数別、建築年代別の内訳を図-10、11に示

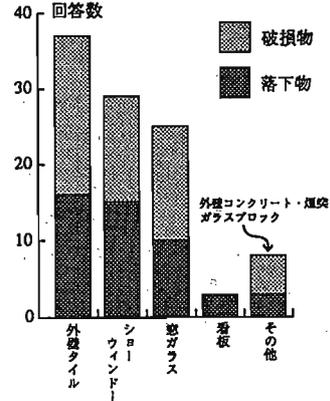


図-6 落下・破損物の種類別内訳

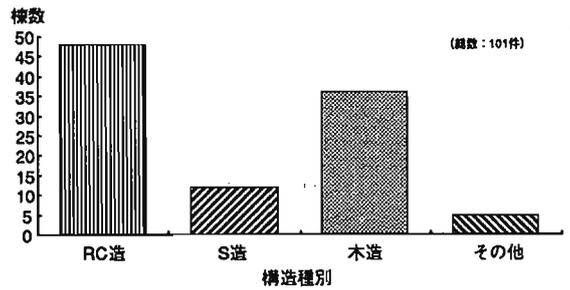


図-9 調査建物の構造種別内訳

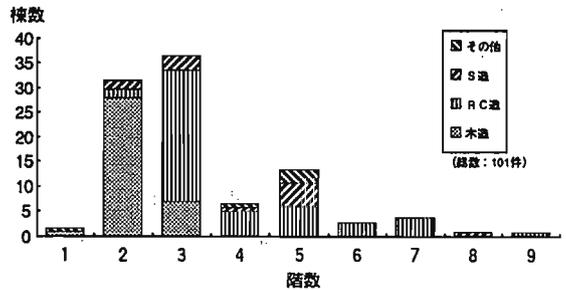


図-10 調査建物の階数別内訳

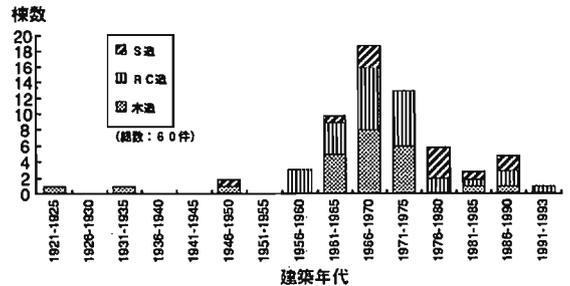


図-11 調査建物の建築年代別内訳

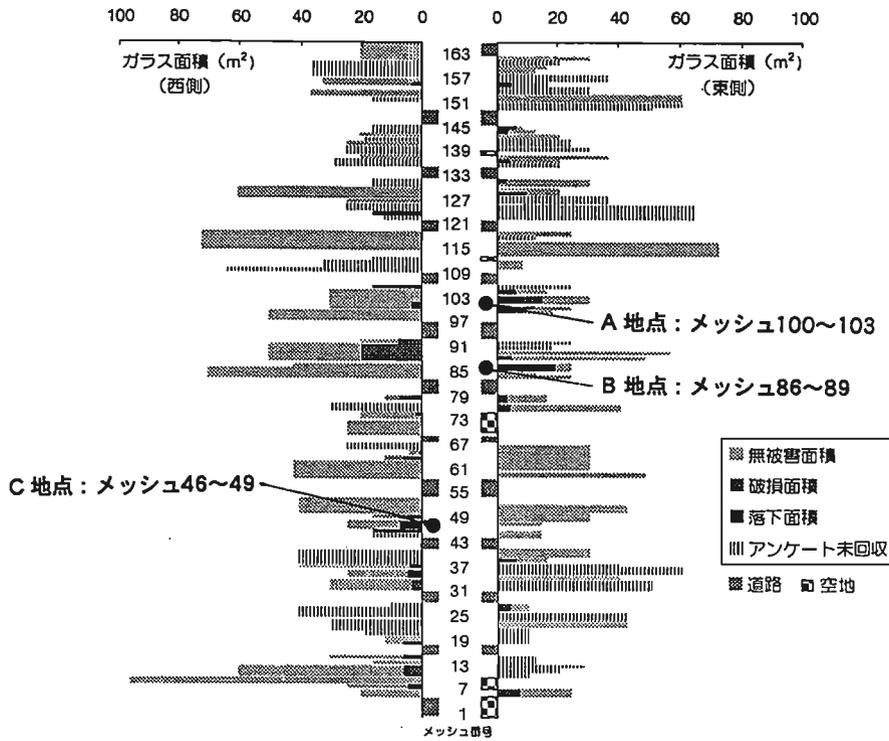


図-7 ガラスの落下・破損分布

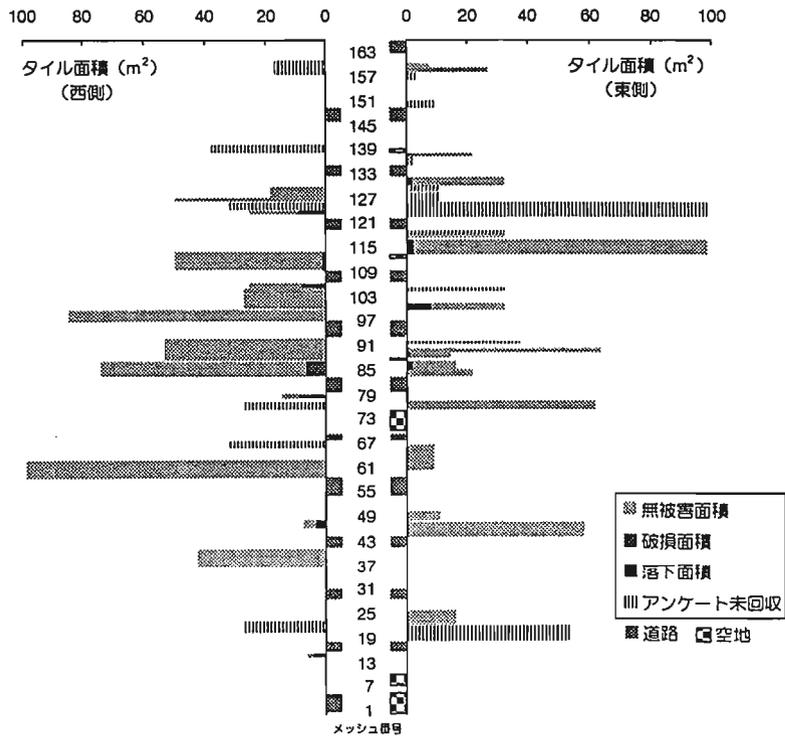


図-8 外壁タイルの落下・破損分布

す。階数では、2～3階建てが圧倒的に多く、最高は9階建てである。2階建てでは木造が、3階建て以上ではRC造が多い。建築年代では、1960～70年代の高度経済成長期に建てられたものが多い。

次に、建物の属性（構造種別、階数、建築年代）とガラスおよびタイルの落下率との関係を見てみよう。この場合の落下率（または破損率）は建物属性ごとに次のように定義した。

・ガラス落下（破損）率＝〔街路側で落下（破損）したガラス面積〕／〔街路に面したガラス総面積〕

・タイル落下率＝〔街路側で落下したタイル面積〕／〔街路に面したタイル総面積〕

構造種別と落下率の関係（図-12参照）では、ガラス、タイルとも木造の落下率が大きい。また、RC造とS造を比べると、ガラスの落下傾向が明らかに異なる。即ち、RC造では破損はしたがあまり落下しなかったのに対し、S造では破損したガラスの大部分が落下したといえる。

次に、建物階数と落下率の関係（図-13参照）をみると、ガラス、タイルとも2階建てが突出していることによる。5階建てのガラス破損率が特に高いのは、築28年のRC造事務所ビルで窓ガラスの破損が著しかったことによるが、その原因は今回の調査からは特定できなかった。

最後に、建築年代と落下率の関係を構造種別ごとに見てみよう（図-14参照）。木造の場合は建築年代によるはっきりした傾向はなく、ガラスの落下・破損率はほぼ一様に高い値となっている。これは、木造では層間変形がかなり大きく、ガラスの取付け方法によらず破壊したことを示していると思われる。これに対し、RC造とS造の場合には、建築棟数が増える1961年以降についてみると、年代とともに落下率が減少する傾向が見られる。特に、1970年代後半以降の比較的新しい建物ではガラスやタイルの落下率がきわめて低いことがわかる。この理由が宮城県沖地震（1978）後の窓ガラスや外壁タイル張りの耐震安全対策の効果によるものかどうかについては、今回の調査結果からは何とも言えない。

今回調査対象とした通りは、電柱もなく、東京の繁華街などに比べると外見上はかなりすっきりとしている。それでも、今回の地震でかなりの落下物が発生していたことがわかった。幸い通行量が少なかったために負傷者の発生は免れたが、季節や時間帯が異なれば人的被害につながった可能性は否定できない。

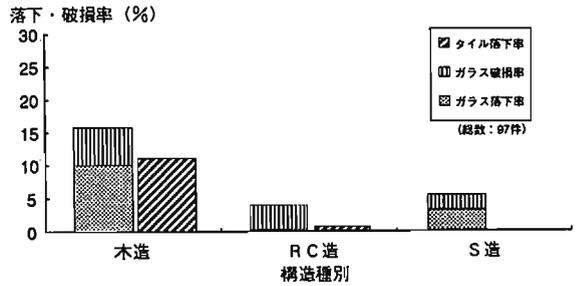


図-12 構造種別による落下率の比較

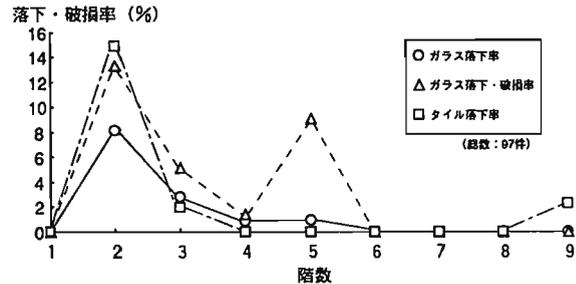


図-13 建物階数による落下率の比較

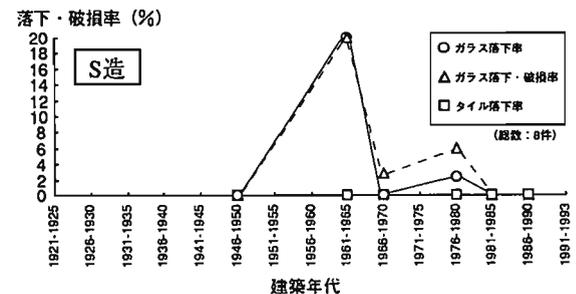
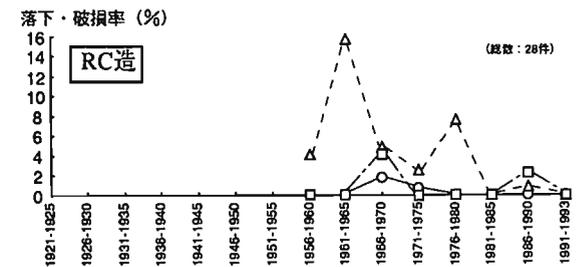
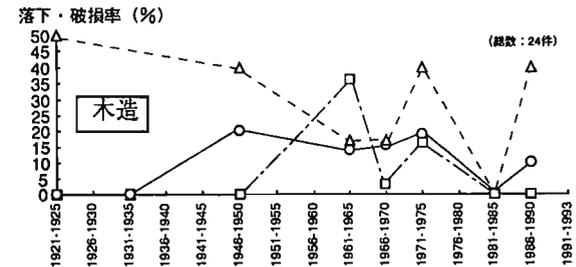


図-14 建築年代別にみた落下率の比較

3. 3 街路での人的被害危険度評価の試み

街路への落下物による人的被害危険度については、現状では合理的な評価法がない。ここでは、前節の調査結果をもとにきわめて大胆な仮定に基づいた人的危険度評価を試み、今後の研究課題を抽出することとする。

(1) 評価フロー

街路での落下物による人的危険度の評価フローの一例を図-15に示す。評価フローは、対象街路を特定した後、大きく3つのステップに分けて考えることができる。

第1のステップでは、街路が存在する地域の地震環境および地盤条件に基づいて、街路の地震危険度を評価する。第2ステップでは、街路に存在する危険物の落下フラジリティ（落下しやすさ）およびそれらの負傷影響度（人に当たった場合の負傷程度）を求め、これらと地震危険度から落下危険度（落下物による街路自体の危険度）を評価する。最後のステップでは、通行量のデータを用いて、街路での人的危険度（落下物による負傷者数）を評価する。

(2) 相対的な危険度評価の試み

図-14は地震の発生が想定されている地点について危険度を予測する評価フローであるが、これを実際に地震が発生した釧路に適用する場合には若干の変更が必要になる。ここでは、「もしも釧路沖地震が別の時間帯に発生していたら...」という発想の下に人的危険度の評価を試みる。基本的な考え方は以下のとおりである。

- a. 落下危険物はガラスを対象とする。
- b. 落下危険度はアンケート調査に基づいた落下量で代表させる。
- c. 人的危険度(R)は落下危険度(F)と歩道上の通行密度(D)に比例するものとする。

$$R = kFD \quad k: \text{比例定数}$$

本来、落下危険度(F)は、落下物の重さ、形状、材質、落下高さなどから人体に与える影響度（負傷影響度）を考慮して評価すべきであるが、ここではアンケート調査に基づくガラスの落下量で代表させ、負傷影響度は考慮しないこととする。また、負傷者数の絶対量の評価は現状では困難であるので、相対的な評価とする。

(3) 釧路商店街への適用

今回アンケート調査を実施した釧路商店街では、平成2年10月に休日と平日の昼間の通行量調査を3地点で実施している。その調査結果（釧路市商業近代化プロジェクト推進協議会、1991）を図-16

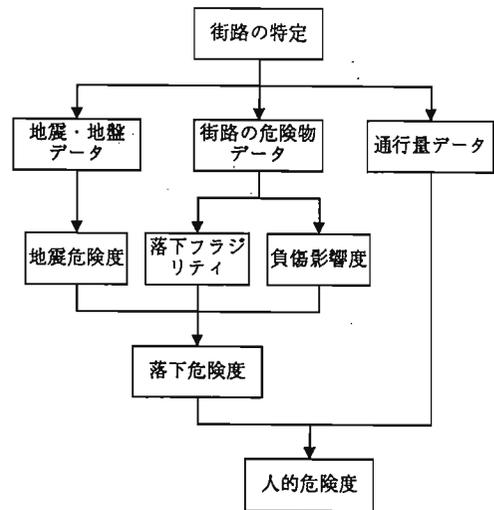


図-15 街路における被災危険度評価フロー

に示す。平日は地点による差が比較的小さいのに対して、休日は大きくなっている点が注目される。

アンケート調査の結果から被害が顕著であった3地点（図-7中に示すA、B、C地点）を選び、各々に最も近い地点の通行量データを用いて各時刻における人的危険度の相対的な評価を行うこととする。基準化した落下危険度を表-1に示す。

図-16の通行量に表-1の落下危険度を乗じて相対的な人的危険度を求めた。結果を図-17に示す。人的危険度の値は、最大となったB地点の休日14～15時の値を1として表示した。図-17より、各地点の危険度は午前中は比較的小さいが、午後になるとその差が拡大し、B地点の危険度が平日および休日とも他の2地点を大きく上回っていることがわかる。

(4) 危険度評価法確立への課題

この評価法を確立するためには以下のような課題を解決する必要がある。

- a. 対象街路の落下危険物に関するデータベースの構築
- b. 各種落下危険物についての落下フラジリティの評価法
- c. 下物が通行者に当たった場合の傷害の程度（負

表-1 3地点の落下危険度の相対評価

地点	落下危険度
A	0.77
B	1.00
C	0.64

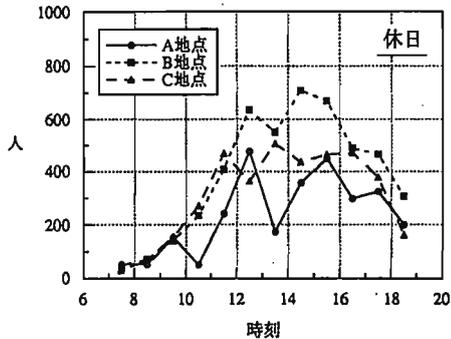
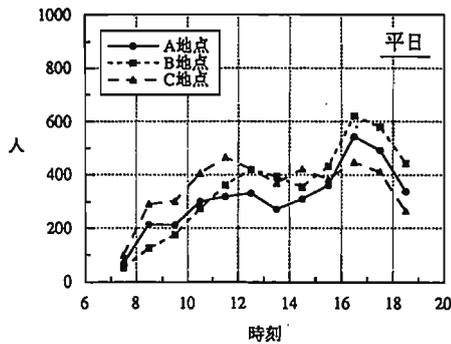


図-16 3地点の通行量の時間変動

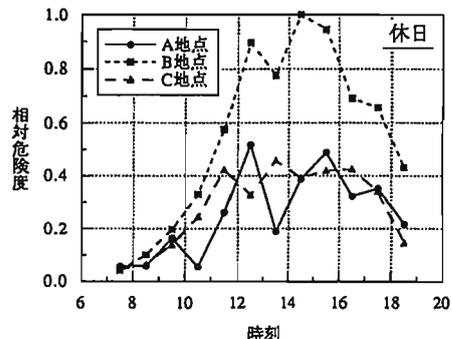
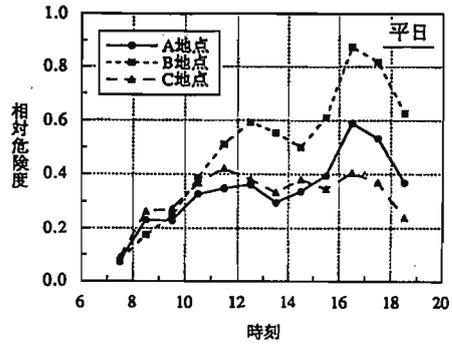


図-17 3地点の相対的な人的危険度

傷影響度) の評価法

- d. 種類の異なる危険物が同時に落下する場合の複合危険度の評価法
- e. 街路における人的被害データの蓄積による評価手法の検証

4. おわりに

釧路沖地震では、街路での人的被害は幸いにして少なかったが、今回の実態調査の結果をみるかぎりその潜在的危険度は決して低くないと思われる。

東京都では、1980年から都内の3階建て以上の建物約7万棟を対象に窓ガラスなどの実態調査を行っており、地震時に落下物が生じる恐れのある建物は11%にのぼると報告している(東京都、1989)。

しかしながら、街路での人的危険度を正しく評価するにはまだまだ多くの解決すべき課題がある。

坂井ら(1986)が指摘するように、街路は都市施設としての様々な機能をもっている。街路被害の低減は単に人的被害を防ぐだけでなく、都市機能の保全という観点からも今後ますます重要となろう。

街路に係わる被害シナリオ評価法を確立し、今後の地域防災計画に反映していくことが、過密化が進む都市の地震防災上の重要課題の一つといえる。

参考文献

岡田、坂井、1993：1993年釧路沖地震による室内変容と人間行動調査、文部省科学研究費突発災害調査研究成果、1993年釧路沖地震による被害の調査研究

水越他、1992：社会工学的アプローチに基づく地震被害低減、その4・社会背景との関連に着目した地震被害分析、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)

和泉、植松、本村、1993：1993年釧路沖地震における負傷者の行動と救急医療活動に関する調査、文部省科学研究費突発災害調査研究成果、1993年釧路沖地震による被害の調査研究

釧路市消防本部予防課、1993：釧路沖地震資料

望月、村上、1993：1993年釧路沖地震による負傷者へのアンケート調査、文部省科学研究費突発災害調査研究成果、1993年釧路沖地震による被害の調査研究

山崎、副島、目黒、1993：釧路市民に対する地震防災アンケート調査、地域安全学会論文報告集

釧路市商業近代化プロジェクト推進協議会、1991：釧路市都心商店街通行量調査報告書

東京都都市計画局、1989：窓ガラス等の落下物実態調査結果の概要

坂井、太田、1986：地震時の「街路」危険度評価に関する一考察、第7回日本地震工学シンポジウム、pp. 2131-2136

被害の特徴と地震防災

釧路沖地震を契機にして考える地震防災システム上の課題

Earthquake Damages and Disaster Prevention

- Some topics and related problems on the 1993 Kushiro-oki earthquake -

多賀直恒*

Naotsune TAGA

Fundamental and important features in various damages happened in the 1993 Kushiro-oki earthquake are indicated in four categories; research field, administration, inhabitant and enterprise. Main discussions are focused on two points of view: (1) the increasing developments of research field of disaster prevention strategy with the change of time and urban society. (2) establishment of research field for earthquake disasters in not only natural science approach field, but also social and cultural science or humanities.

The final goal of research purpose of a strategy of prevention and mitigation of earthquake damage and disaster is to build up a safe urban performance. Therefore, there are many difficulties and problems to overcome for the settlement of a safer period and society. It is of most importance how to maintain the functions of urban performance and life convenience, rather than safety of human life and resistance of structures to destructive strong earthquake motions.

1. 地震災害の実態把握

釧路沖地震の被害経験を通じて考えなければならない「地震防災システム」と言う立場からの問題提起と解決すべき事項を整理し、今後の緊急的な取り組みの課題を対象とする。直接的な被害、これを契機として検討すべき大きな問題、新しいテーマ、これまで扱われなかった問題点の指摘は何か、地震被害像の具体的なイメージ化のため釧路沖地震の特徴としては、次のような一般的事項が指摘されている。

- 1) 揺れが大きかった
- 2) 住家の被害が少なかった
- 3) 揺れの割りに死者が少なかった
- 4) 室内散乱による負傷者が多かった
- 5) ライフラインが被害を受けた
- 6) 電話が輻輳して情報伝達に支障をきたした

さらには、

- 1) 加速度が大きいのに被害程度は小さい
- 2) 造成地の被害と対策の在り方が問題である
- 3) 被害者への対応と生命保障や生活補償の問題
- 4) 負傷者の救急医療体制と情報の伝達・連絡体制
- 5) 一部破損の被害や室内での被害が増大した
- 6) ライフライン系の被害や復旧速度、特にガス
- 7) 地震火災の発生状況の判断、真冬の休日の夜
- 8) ソフト地震工学の勧め

これを地震防災システム的な立場から釧路沖地震被害の全体像の概観し、都市のアキレス腱、都市の脆弱性を検討追及するために、その特徴の要約する。

1) 人的被害の状況と解釈が比較的大きくて重要な問題である。人災構造の解明、死者・重症者・軽傷者の属性と被害原因など状況の整理

- 2) 物的被害は土木分野での被害が大きい
港湾や道路など、構造的な被害と住宅内での被害状況、構造部材から非構造部材へと被害対象が変化
- 3) ライフラインの被害から都市の機能被害
都市生活の依存度、市民生活の障害として交通の混乱はない、冬の寒い休日の夜の地震だから
- 4) 被害発生地域は限定された所で発生している
造成地の被害、劣悪な地盤条件
危険な地盤条件での居住生産施設の立地
- 5) 経済的な被害損失額の算定方法
460億円と言われている。
災害の経済的な評価と心理的損失に対する対応
- 6) 工学的な問題の提起と解決
災害発生時での機能維持をいかにするか
- 7) 行政的に対応を迫られている課題
法律・条例、経験的、事例的、
災害情報の収集整理連絡伝達保存方法体制の確立

2. 対象とする研究範囲の拡大

研究領域の新しい構成(別項目参照)、災害研究の拡大は詳細化と総合化と境界領域の拡大がある。

地震動の研究→地盤震動の研究→耐震構造の研究→
→地震工学の研究→都市災害と都市防災→
→社会システムとしての研究→社会心理学的な研究→
→災害研究の総合化

(1) 皮相的な一次災害現象の記述

基本的には建築をベースに地震被害現象を観察する。関係する研究分野の広域化と専門化が並存する中での災害を見る眼は、種々存在する。既往の方法と新しい視点での災害研究が多岐にわたって行われている。

(2) 人的被害、震度調査、構造物の被害の規模と程度

* 名古屋大学工学部建築学科、教授、工学博士

死者・負傷者の被災原因や属性の歴史的・統計的な比較によって、社会の耐震性整備の変遷が窺える。最近の地震被害の一般的な傾向として、構造物の全壊・半壊に比較して一部破損の増大する特徴は、地震による死者数の減少と軽傷者の増大に象徴される。社会的な耐震制度の普及程度を計る一つの尺度になる。

地震計のない地点での地震動の大きさや震動状況を、墓石の転倒調査による水平震度や卓越震動方向の推定が良く行われる。墓地の立地条件としての地形や墓石の積み方・数量などを科学的に整理する必要がある。

アンケート震度は観測精度を1桁向上させているが、何を判断するのか、定量的評価の向上と被害程度の関係

(3) 災害発生時の緊急応急対応

災害時の情報の収集と必要な情報の伝達連絡体制

負傷者と病院の連絡体制

災害時の情報連絡体制

消火活動

緊急時の救急車の稼働状況

(4) 研究範囲の広域化

地震動の研究 → 建築構造の研究 →

→ 都市社会システムの機能障害という視点

(5) 人間行動・災害時の人間の心理

災害時の人間行動を重視

- ・避難行動：津波と土砂災害時と一般的な場合
- ・対策行動：転倒防止
- ・消火行動：地震を感じての叫びの行動
- ・介護保護行動：病人、ハンディキャップ、老人、幼児
- ・不動行動：動けなくなる、個人の物理的・心理的衝撃と集団的な行動
- ・ボランティア活動：救急支援活動

(6) 都市計画・社会システム上の課題

個人の能力を越えたシステムの中での人間の行動と判断が迫られる。

(7) 都市機能と都市問題

ライフライン依存の生活の中で、都市ガスの被害状況と復旧対応が緊急の課題である。地域の社会的な耐震性の整備が必要である。

(8) 情報化時代の防災対応

災害情報の伝達方法、緊急連絡体制、

家族の安否の確認方法

(9) 人文社会科学的問題

自然現象から人間の係わる社会的関係として検討する。

(10) 高齢化時代の防災

やがて高齢時代にはいる

地震による死亡者の原因と属性の詳細研究

死者2名(老人)の状況の解明

3. 防災関係者の意識の変革

時代の変化、社会状況の変化に従って、災害に関心を持つ研究者の対応と対象及び研究方法が変化しつつある。防災に携わる関係者の意識も変化してきている。

(1) 災害研究者の取り組み

災害の専門研究者の不在、別の専門領域の研究の傍ら災害の研究もするという2足の草鞋、ついでに副次的研究などが契機で災害の研究に入る場合が多い。災害研究を本格的に追究し、研究していくためには、多くの方法と情報・知識が必要であり、それを有機的に総合化していく事が求められている。既往の研究方法の踏襲から、より詳細な研究方法の確立と新しい視点に立った研究の内容・方法・分析の提案が期待される。

(2) 行政担当者の防災に対する考え

多くの自治体の防災行政担当者は、数年を単位に部署の移動をする場合が多く、従って防災を専門にする行政マンが少ない。この事実は仕事の内容に関する本質的な取り組みが困難になる可能性が強い。対応する施策や計画立案に際して担当者の意識構造が如実に反映することになる。平均的には、横並び、縄張り、数字偏重、一過性などの傾向が強く、独自の考え方を展開することは稀であり、抵抗がある。防災計画の拠り所として行われる地震被害予測に関しても、非専門化集団であるため、学者依存のお任せ的な結果に頼り勝ちであるので、今後は地域に根ざした固有の独自の考え方の提示と判断を確立することが必要である。

(3) 一般国民の防災意識

住民にとって日常性と非日常性の安全に関する認識は地域特性に依存し、各個人の過去の災害体験に大いに関係する。例えば、地震の活動度の高い地域は地震対策が主体になり、台風が毎年襲来する地域は、台風や水害を基本にした災害に対する取り組みがある。

現代は情報化社会であるので災害に関する最新の情報を住民に周知徹底して、個人意識の高揚・強調と地域社会の連帯感の欠如を補い突発する災害に備えなければならない。

時代認識として古く片寄った防災意識、周辺環境が変化した状況での対応と災害観、個人主義と近隣社会のコミュニティの形成など多くの問題を検討すべきである。

(4) 企業の防災活動

企業活動の一貫として、文化活動いわゆるメセナーに見られる最近の企業の社会的なアピールとして、社会の一員として周辺住民に対しての災害救援活動が一部で行われている。特に企業活動の中で得意な分野において威力を発揮する。

(5) ボランティア活動と教育

今春、上智大学文学部社会貢献講座がスタートした。日本の若者にボランティア意欲・社会貢献意識が薄い

は偏差値教育の現われ。人を思いやる教育が必要である。

企業のフィランソロピー（社会貢献活動）を担う人材を養成するのが狙い。そのためには正規のカリキュラムで位置づけ、勉強の成果をきちんと評価することも必要である。授業の狙いとして、ボランティアに興味はあるが、どうしていいかわからないという学生は多い。ボランティアの楽しさや感動を体験することによって、今後この道に入るきっかけになることを期待する。ボランティア活動を評価する試みは教育現場だけでなく企業まで及んでいる。ある銀行では来春の新卒者採用試験で、ボランティアの活動歴も専攻基準の一つに加えている。履歴書に記入欄を設け、面接でも必ず聞くという。こうした動きに対する反対意見も存在する。ボランティアはあくまでも自主性に任せるもので、学校や企業が奨励や評価することで、興味のない人に無言の圧力や強制力が加わる危険性もある。

4. 災害研究体制の再構築

（地震災害研究者の災害を見る視点の拡大）

災害が時代と共に変化し社会状況が激変する中で人々の災害に対する意識も変化している。従って災害の実態と本質を追究するためには、新しい視点が要求される。新しい問題の発見と同時に新しい解決の視点が要求される。具体的には、都市災害の特徴と機能災害の側面に関し、被災した都市の地域の全体像を先ず知るべきであろう。次に個々の被災事象を全体像の中での過去の災害と対比して見る。さらに地域の地形地盤条件を調査する。また、単一の対象に留まらずに時間と空間の分布の関係を明白にすべきである。以下に幾つかの立場を指摘する。

（1）研究の領域の現状

- 1) 地震動：入力地震動の研究と工学と地震学の接点
- 2) 構造と抵抗：各種構造の耐震性の研究と耐震設計手法の開発
- 3) 地盤条件：立地条件として、地形・地質・土質など災害と関係する要因の研究
- 4) 都市機能ライフライン：社会システムの災害
- 5) 人間行動と国民意識：災害と人間
- 6) 被災住民の救済制度：制度法律保障
- 7) ハードからソフトへ：構造施設から維持管理運営まで災害発生から復旧過程
- 8) 災害の実態の詳細分析と新しい問題の発見：
災害は進化する
- 9) 国際化時代の対応：技術移転と交際協力援助体制
- 10) 学会の災害研究分野の再編成：災害を本質的に研究する分野の確立が必要と考えられる。
地震学会、建築学会、土木学会、地域安全学会

（2）個別事象から全体事象へ

社会的な事象として都市構造が複雑化し多様化し互いに相互関連を有するようになってきた。例えば、空間的

に地域的な広がりの中で、個別の事象から地域的な被害分布さらには日本の他の事例から世界における位置づけを調査する。

時間的に過去から現在までのマクロな時間変化と地震記録に見られるようなミクロな時間変動の中での被害事象の詳細な追及が求められる。

（3）地震の発生から被害を受けて復旧・再建まで

地震動や構造物など理学的工学的な見地から、都市構造・社会構造・人間行動など人文社会的な立場からの被害現象に対する総合的な検討考察が必要になってきた。

地震工学から社会工学や人間行動、人間心理に及ぶ広範囲な領域を対象にするようになってきた。

（4）情報化社会の情報連絡ネットワークの形成

被害地震発生情報は現在電波を通じてテレビ上に写し出され被災地を除けば全国ほとんど同時に知らされる。この情報伝達の速さに対して、国民の反応と対応は複雑である。その理由は、情報化社会における情報連絡体制のハードとソフトの問題点が一挙に反映されるからである。一般国民は被災地に向けて親類知人に安否の問い合わせ電話をかける。その結果、許容範囲を越えて集中する電話の交信で輻輳状況を生じ、一般加入の電話では連絡が取れなくなる。被災地では行政に被害状況が報告され、火災の発生・負傷者の救出・ガス漏れの対応・重傷者の病院移送などの情報連絡は、一般加入電話の他に各種無線の連絡ネットワークが利用される。しかし地震によって施設に被害が生じておれば使用が不可能であり、専用の連絡回線は、他のネットワークとの連絡が出来ない。この地震の一つの大きな課題は、各機関相互のネットワークを早急に整備することを指摘している。医療機関相互の緊急連絡体制の整備が当面の課題となる。

（5）国民の災害救済意識と行動

災害時、人の手助けは有り難い。困った人を見ると人を助けるのは人間の本能である。しかしこれを具体的な行為で実行するには、努力と勇気がある。欧米に比べて日本では、なかなかボランティア文化が根付かないと言われる。しかしこれを浸透させるために、地域活動への取り組みを評価し、支援していこうという機運が教育現場や企業社会の中で盛り上がりつつある。被災者の救援、義援金、救急活動を通じて社会貢献や国際貢献への関心の高まる中で、ボランティア活動と防災の意識を定着していくであろうか。

（6）ライフライン災害と都市機能

防災先進国の地震対策の課題として、機能被害が重要視されてきている。都市における社会活動や一般の市民生活がライフラインに依存しているが、これが地震時に何等かの被害を受けると、都市機能生活機能がマヒするという問題を抱えている。これまでの経験によると、地盤条件の劣悪な地域における埋設管が現代都市の持っている災害に対する脆弱性を露呈している。ライフライン

はネットワークで機能しており一箇所でも支障が発生するとその影響は広域に及ぶ場合があり、これはまさにシステム災害である。この安全性と機能維持を確保する体制を整備することが都市の重要な安全性の鍵である。

復旧作業も長期に及び他の事業に比較して、重大な問題をこの地震においても指摘している。地域住民が受けた地震時の印象と行動の分析し、今後の課題とすることが解決の道と考えられる。

(7) 社会システムとしての視点

個別研究から関連研究また境界領域の問題を扱い、さらに総合的な研究など多岐にわたるアプローチが求められているが、研究成果が社会に貢献するためには、時代と社会の要請に応えるものでなければならない。災害研究が地域の防災計画に活用されるには、人間社会が社会システムの中での営みであり、システムの関連性を常に念頭においた考慮が必要と考えられる。

5. 防災行政の現状と問題点

(1) 防災対策の歴史的展望

防災対策の基本的な立場は、地震災害か風水害を対象にしている。地域によって地震が基本になったり、風水害を問題とする地方もある。釧路市においては、現実に地震と津波に際しての役割と機能の意義を対象に計画を立ててあった。

(2) 具体的な災害時の役割

現実に災害にあった場合、どのような対策が具体的に災害時に役に立ち機能しているのか、逆にどのようなことが必要であったかを明確にして、行政が防災に対して今後どのように取り組んでいかなければならないのか、現実の被害体験に基づいた対策が講じられることが必要である。

雲仙噴火災害を例にすると、防災行政の縦割りや許認可制度の間で、被災住民の現状と対応をどのように評価するか、被災住民への対応、仮設住宅、移転事業など国家や自治体は個人の緊急時に対する救援は出来ないのか、自助努力の限界と国家保障の可能性を検証することが重要な問題と考える。行政は災害に際して一般住民に一次的な救援や見舞金などの補助は現実可能であるし実施してきた。さらに進んだ個人の生活の再生や財産補助につながる行為には問題がある。

(3) 住民の参加

地域社会の住民が、安全を確保するには、個人の力で出来る範囲と個人の力を越えているものの基本的な認識が必要である。防災対策も個人が家庭内で家族が相談して準備し対策を実行するものを理解しておくことが肝要である。現代生活はライフラインに依存したライフスタイルの中で、地震時の生活機能をどのように維持するかが最近の被害の示す教訓である。これには関連の事業主体の責任で対応して貰う。行政は、地域的な規模から国

家的なレベルの問題に方策を発揮する。つまり、行政、企業、住民がそれぞれの立場を相互理解して災害に備えることが必要であることは自明であろう。そのために自主防災活動の支援するなど行政と一般住民との協力体制を整備してきた。

(4) 防災行政の存在意義

一般住民の地震災害時の意識や対応を見ると、災害状況や不平不満さらには要求など困ったことを全て行政に持ち込む習性が高い。一方行政側は、緊急時にそれぞれの市民の対応をするだけの人員は居らず当面の緊急性の高い応急対策に追われるのが現状である。突発的な非常時に十分対応できるシステムになっていない。自分自身の災害に対する持って行き場のない内容などあらゆる事柄を行政に持ち込む。

事前の対策はどのように生かされたか、何が欠けていたか、改善するとすればどのようなことか、緊急的な対応としての状況、応急対応・防災対策は有効に機能したか、事後の対応・地震対策と水防対策の比較、防災に対する財政経済的な負担と有効な活用などの多くの検討課題を今後十分に調査し分析し安全を計る根拠を明確にする。国や自治体は、国民・市民に何をすることができるか、やりたいけれど出来ない、許認可と縦割り行政の限界を住民の協力体制の整備や地域の自主防災組織の育成や企業の防災救援体制などを連携して防災行政の有効な運用活用を計ること。

(5) 行政の防災対策の現状分析

予防対策→応急対策→復旧対策→再建施策→復旧再建対策の問題など具体的な内容を地域に即して、過去の歴史的状況や現在の社会的環境そして自然条件に合致した計画をすることが求められる。

国家レベルの問題と地方自治の役割 基本は自助努力というけれど、現実的には限界がある、誰がどのように生活の将来設計の支援をするのか。制度の問題と経済的な問題と地域に密着した対応が迫られている。

(6) 被災住民の救済

被災住民の救済対策はこれでよいのか、被災者の社会復帰をできれば被災以前に近い状況で検討すること事例を通じて現状の問題点と将来の課題を整理し可能であればあるべき姿を提案する

- ・雲仙普賢岳の実態：3年間仮設住まい
- ・釧路沖地震：85万円の見舞金
- ・北海道南西沖地震：家も生活手段もない

土地も家も失った人をどのように救済すればよいのか、現在の国や自治体の制度や法律では十分に対応が出来ない。民間や一般の国民の善意に頼るべきなのか。

(7) 地震被害予測

昭和30年代東京都で行われ始めた防災会議の予測内容の公表から現在まで、国や県、市町村において多くの被害予測が行われているが、その内容や結果に関して今、

客観的に検討し反省する時期にある。死者数と倒壊家屋数・防災拠点の提案など住民にとって分かりやすいものである反面、果たしてその結果が具体的な施策や住民の対策行動にどれだけ反映されてきたか。被害予測の結果に対して誰が責任を持つのか。

災害予測の方法と内容や公表された数字の意味と責任体制などに検討する課題は多い。総務庁行政監察局は平成4年11月に「耐震対策の現状と問題点」総務庁の都市防災に関する調査結果からみて²⁾、を刊行している。行政監察の指摘するところ、成果の年次毎の積み重ねや各自治体の隣接間の整合性などを検討するように指摘している。現実に関与被害予測にするためには、学者・行政・報道・住民の立場など関係するものが一体となって真剣に議論しなければならない問題である。単に一過性の報道関係者に発表する内容であってはいけない。

6. 調査研究報告の分析と役割

我々は、災害の実態を現地調査で観察すると同時に、各種の速報と詳報などにより全体像を概観しあるいは関連分野の状況を他の調査研究を介して認知することが出来る。

(1) 情報の種類

災害の情報源・調査報告は大別すると、大学企業研究グループ、行政、個人等と新聞テレビなどマスメディアの報道される情報がある、得意な企画として朝日新聞の奥尻のその夜（津波の発生前後の取材）

(2) 調査内容及び項目

被害調査項目の整理をすると、これまでの報告から地震記録・地盤被害・構造物の被害・人的被害・ライフライン・特種構造物・情報伝達・救急体制・社会的な機能障害・災害統計・写真図表統計などがある。

(3) 調査の特徴と性格

日本の国民的な風土として画一性、横並び意識が強い。餅は餅や的な調査は減少し、一般的に総花的・網羅的で、概して皆画一的な様相が窺える。個々を重点的に行った特徴のある調査が少ない。

(4) 調査目的と調査方法

主体的な調査項目の選択と詳細研究を目的にしたものが少ない。調査方法として、現地調査・資料収集・アンケート調査・測量・地盤調査・航空写真などがとられている。

(5) 報告書の容姿

報告書のスタイルは、手書きの速報からワープロ、写真から8mmビデオ、日本語から外国語（英語）、国内向けから外国へ、災害体験の共有化など

公表の方法：パンフレット、写真集、ビデオ、被害統計、体験集、記者発表、パネル写真、統計、アニメ、グラフ、地図

(6) 内容に対する責任

調査の意義の確認 基本は専門とする領域の詳細な調査と吟味・分析した内容表現に対する著作権と、追加加筆資料など自分の調査と他人の調査の区別及び引用の態度、を明確にすべきであろう。

(7) 問題点の指摘

● 調査の在り方

学会・業界・行政・その他多くの調査団が被災現場を調査した。その際、現地現場で何を観察検討をしたのか。調査研究の方法と内容の纏めて見ると、多くの興味ある事実が浮かび上がって来る。しかし、横並びの調査内容、総花的・網羅的内容、調査主体が誰なのか。新しい領域の発見と境界領域の配慮があっても良いのではないかと、時系列的な調査観点の欠落と調査結果の詳細な分析がない。一過性の報告に終わる、今後の課題とする、他の関係災害との比較検討や比較対評価なども必要と考えられる。

● 既往の報告書に関する反省

総合化と専門化の中で横並び的な総花的な内容のものが多く深い専門的な詳細報告が少ない。

(8) 地震被害調査の在り方

報道記者の取材と研究者の調査の違いがあり、目的と表現や対象が異なる。調査は多様な方法が考えられる。直後の調査と事後の調査、現地に行かずとも情報収集はできる。問題は、何を調査し、結果をどのように生かすかではないか。

学会の立場と調査団の中央管理統制は問題である。標準的な調査及び情報整理の方法は必要であるが、調査した人間の独創性も同時に必要と考える。経験豊富な調査マンと初心者とは明らかに対象を見る目は違う。人身の一心を図れば、新しい事実の発見も期待される。結果の整理を纏める調査報告と資料収集集に関しても工夫が必要である。

7. 災害科学研究の目標

(1) 災害の現場から現象の本質を求める

地震の物理的な波動・振動現象から人間的社会的な被害現象までを全体的に捉える。

(2) 自然現象と社会現象の接点と係わりを追究する

従来の自然科学的な対応の偏重してきた状況に対して、社会科学的なアプローチと問題追究の視点が、新しく取り組む姿勢として求められている。

(3) 人間との係わり・社会システムとの係わりで災害は発生する。

社会心理学、災害心理学などの立場から災害時の人間の心理的精神的な諸問題に対して検討を加える研究が必要であり、徐々にこの種の研究が行われてきている。

(4) 研究体制の状況と研究内容と項目

災害研究においても、時代社会の変化に対応した事が求められるのは、社会的な要請でありこれに応えるものでなければならない。その解決には、広範囲の人々を巻き込んで対応を迫られている。

学者・企業・行政・報道など多方面からのアプローチと意見を集約した学際的な研究方法が有効と考えられる。しかしながら現在の一般的な研究の状況は、あまり横の関連関係がない。ともすれば、学会主導・住民優先・社会慣用優先・企業活動優先など問題も多い。最終目標の共通認識と意識の共有化を実行する新しいネットワークを構成する協議体制の確立する試みが求められる。

(5) 学際的な研究の特徴と個別の研究の関心

クロスオーバーの中で新しい本質的な問題の発見する機会がある。個別の詳細研究も必要である。

(6) 21世紀に向けての課題

災害が社会時代の変化と共に変化していることから、国際化、情報化、高齢化など時代の要請に対する先見的な対応を指摘し検討しなければならない。

8. 地震防災システム確立の方向性

地震防災システムの整備状況、防災対策と防災研究の現状を徹底的に分析し考察する。

(1) 進化している災害への対応

社会が構造的に複雑多様化しており、人間の意識も変化している中で、多様な災害が多発している。都市化など社会の変化と時代の急激な変化に伴い災害の内容が変化している。情報化・高齢化・国際化など将来に向けてのキーワードと防災の関係を検討する必要がある。

(2) 研究の質が変容している

個別の科学的な研究では問題解決が出来ない事象が出現している。加速度が大きいのに被害が小さい、死者と負傷者がほぼ同じ数字である、地震の物理的数量と被害尺度の関係を改めて問い掛けている。

研究成果の社会的な反映として、地震被害予測手法の総合的な検討と総合評価法の確立する検討が待たれる。

(3) 被害を教訓として生かせるか

過去の被害地震による災害の特徴は、その後の国民の防災意識に重要な影響を与え、ある意味では、国家的な地震災害観を形成している。特に技術的な問題に対しては耐震設計手法に反映され最新の技術や情報をハードな建造物の耐震性に大いに寄与している。一般住民の最近のライフスタイルは急激に変化しているが、大きな地震に際しては「火を消す」意識は日本国民全体に浸透してきている。しかし、津波や液状化現象さらに都市災害に関しての対応は、徹底したものではなく多様な姿を留めている。今後国民の意識の中に、最近の地震災害の特著や対策をどのように周知徹底していくかが課題である。

「関東地震：地震火災」「新潟地震：液状化現象」

「十勝沖地震：RC建造物の耐震性」

「宮城県沖地震：都市災害」「日本海中部地震：津波」

「千葉県東方沖地震：震度Vの都市型地震被害」

(4) 災害科学の研究方法の基本的な方針

地震災害研究の現状分析と問題点の指摘をし、社会的システムの整備と国家保証の在り方、国民の防災意識の高揚など重要な解決を迫られている。

工学と他の分野の協力体制を含めて、多くの災害に関する課題を追究していくには、独自の研究領域としての確立を学会が認知する。

これまでのハード優先の研究体制から、災害時の問題としてソフトな対応の欠陥が多く指摘されている。この状況に鑑みて、人間的な立場からの問題の追及と対応を精力的に研究しなければならない。

防災関係や災害研究に関する研究費の増大獲得を図り、研究費の有効な活用するように心掛ける。

(5) 段階的な確立ステップ

国家をはじめ地域社会の災害に対する安全性を確保するには、これまで時系列的に段階を踏んで整備をしてきたし、今後も順次問題の優先順位を考慮しながら段階的に臨む事が必要である。

- 1) ハードな耐震性の確保として、耐震設計法の普及
- 2) 建物施設の安全管理と維持運用法の徹底
- 3) 災害の体験の共有化と防災意識・防災訓練
- 4) 地域社会総体としての均衡のとれた防災対応の整備
- 5) 防災技術の国際協力と技術移転

9. 学会として立場

(1) 学会としての防災関連分野に対する研究体制

研究分野・研究方法・研究体制に関して、学会内の分野の分類は従来の伝統的なカテゴリーに基づく関連分野の中で対応をしいられている。災害関係では唯一「火災」と言う分野があるが災害全体を統括は出来ない。

災害現象の直視・歴史的变化・将来への展開を求められている現状から見て、なんらかの組織的・制度的な対応が必要ではないか。濃尾地震を契機に設置された震災予防調査会により、指摘された項目の中には理学から工学にわたる基本的で重要な課題があるが、その現代的な意義は大きいし現在でも生きている。

災害研究の国際化や発展途上国に対する対応も重要な課題であるが、国内の研究体制を独自のものを確立することが先決ではないか。

先進国の努めとして防災問題に対する取り組みを総合的に整備すると共に、国際的にも貢献することは日本の持つ高度の防災技術を活用することが求められている。

(2) 国・自治体との協力体制と責任・役割の認識

被災者の苛酷な状況に対する救援体制の確立や国家保障制度はどのようにあるべきか。当事者の自助努力は基本であるが、避難仮設住宅生活から通常の社会復帰への

シナリオをどのように描いて、社会として国家としてのサポートをする方法を確立していく方向にあるのか。

自治体の防災体制の中での被害予測の現状は、各自治体と協力者が独自の考え方で実施されている。その方法や内容及び計画への組み込み方も多様である。それには、行政の防災意識のレベルと防災研究者や学者の責任意識の係わりで総合的な検討の時期に来ている。

(3) 企業活動と防災

文化活動から災害支援活動へ
企業活動の一貫として社会還元するのにも努め

(4) 国民・住民の意識と責任役割

意識の変革と時代の変化の認識
消火活動とライフライン依存生活
災害の特徴と変化に対する対応

(5) 防災問題のシステム化

学会としての対応
国連の活動支援
研究内容の活性化と深化
総合化・関連化・階層化・連鎖化・有機化・
地域化広域化・住民参加

● 参考文献

1. 新聞報道：朝日新聞，日本経済新聞，毎日新聞，中日新聞，北海道新聞
2. テレビ番組：NHK特集
3. ラジオ放送：防災の日の特集9月1日，NHK
4. 企業レポート：鹿島，清水，基礎地盤，三菱総研，住友海上，国際航業（航空写真）
5. 大学の研究者：調査報告書
6. 行政の調査団報告：名古屋市，愛知県
7. 日本建築学会：“1993年釧路沖地震の教訓と課題”，1993.9.4.，日本建築学会大会 P.D.資料
8. 鏡味洋史（研究代表者）：“1993年釧路沖地震による被害の調査研究”，平成5年3月，科研成果総合研究(A)
9. 火災（日本火災学会誌）：“特集—1993年釧路沖地震”，Vol.43, No.4, 1993, pp.11-49.
10. 小川雄二郎：“1993年釧路沖地震による図書館・美術館・博物館の地震被害報告書” 1993.8.
11. 土と基礎（土質工学会誌）：“緊急小特集釧路沖地震” Vol.41, No.6, Ser.No.425, pp.5-26.
12. 釧路市：“平成5年釧路沖地震意識調査報告書”，平成5年9月

事例研究1. 「地震動の大きさと被害程度」

基本的な検討課題の設定に問題がある。
系統的に系統的に問題の本質を探る。

- 入力が大きかった：釧路で約900gal 震源深さ107 km, 応力降下量400 bar 震度VI M 7.8
- 木造住家被害率の関係は？：建物の建設年代，工法，

内容，系時表現，科学的説明

○被害数字の本質を解釈する：

死者1，重傷者113，軽傷者819 全壊12，半壊72，一部破損3387 被害損額463億円

釧路気象台の地震記録の最大加速度の値と被害の程度の解釈として，地震動の空間的な時間的な分布と地形地盤条件との対比はどの程度分かっているのか。特殊なものを一般的に議論をしていないか。事例研究と普遍性の追及，木造建築の北海道と本州との比較など多くの問題が残されている。横並び研究と横並び調査の弊害であろう。地震被害現象の解釈と解決には，工学的・科学的判断と解釈が必要である。地震動記録の詳細分析だけでは明確に出来ない。

建物の被害災害は，“入力（地震動）>抵抗（構造物）”の関係で生じる。構造物の耐震性に関する研究とタイプアップして初めて明らかになる。設計手法・施工方法・一般の技術水準は時代と共に変化する。鉄筋コンクリート構造・鉄骨構造・木構造は，それぞれ構造材料特性に基づく抵抗を有する。

地震災害に関係する研究者が専門化し過ぎている，構造の研究者ではなく地震の研究者であったり，構造の研究者ではなく，RC・S・W構造の中でのさらに細分化した研究領域での専門家であり，総合的な判断が求められるような問題に対して正当な方法を行使できない場合がある。専門領域での判断，既往の方法と既往の手法による判断には限界があり，新しい発想の考え方や視点がでにくい状態にある。ある場合は一般論的議論である，また別の場合は，個別的議論である，歴史的な比較をした詳細議論も必要である。このような状況は，学会の研究体制なのか，研究者個人の意識の問題か，地震災害の研究は，学際的で総合的で多くの分野の基本的な情報が必要である。基本的な立場は建築であり，建築をベースに関連分野を総動員して判断されることが必要である。起こっている現象に対して，社会の変化に対して災害も変化し新しい方法・立場が求められているにも関わらず，研究者の個人の歴史的な変容は余りなく，青年・壮年・若手・熟年・老年といった世代の役割が感じられない。

一方的に観測された地震動記録の詳細な解析により複雑性を指摘はあるが，構造物側の詳しい検討は余りなく，例えば構造物の破壊や被害程度は，構造物の建設年代・設計方法・施工方法・維持管理状況で耐震性は大きいに依存する。木造・鉄骨造・鉄筋コンクリート造のそれぞれの構造形式に対して被害程度規模の経年的な検討が必要である。木造全体を一纏めにせず構造物サイドの被害の科学的に詳細な分析をすべきである。えてして専門分野からのみのアプローチに徹しているきらいがある。

事例研究2. 「人災構造の変化と分析」

災害の規模や大きさを計る尺度として種々のものが使われている。その中で人間の災害に対する係わりを分析

して見るのも重要な視点である。歴史的に統計的な数字を分析して見ると、その国の耐震性整備の変遷が浮き彫りになる。幾つかの特徴や傾向を考えてみよう。

特に最近の地震では、死者や重傷者が激減してその反面軽傷者の数が増加している。死者の減少と被災原因の変化は、ハードな耐震性の整備の中で構造物の構造的な設計法が社会的に浸透した結果と解釈できる。重傷者と軽傷者の比率などを見ると、建物の構造は耐震的であるが、居住空間の内部や周辺に未整備の状況が存在することを現実に示している。しかし北海道南西沖地震の奥尻島における被害状況から改めて、津波・火災・土砂災害の危険性が我が国にはまだ存在することを示した。

釧路沖地震では、造成地の被害により家屋の転倒・ブロック塀の倒壊は生じたが幸い人命を失うことはなかった。死者1、重傷者113、軽傷者819の統計的な数字は、相対的に軽傷者の数が如何に多いか、このことは、被災原因が屋内にあることを考えると、基本的に我々の住宅内におけるライフスタイルに依存する問題ではあるが、日常考えておくべき重要な宿題である。同時に怪我をした人々が一部の救急病院に殺到したこと、病院間の救急連絡体制が整備されていなかった事などの救急医療体制に新たな問題を提示した。

この他にも、被災者の避難生活の状況、被災住民の社会心理的な対応の必要性、災害心理的な立場から個人と集団の人間行動、など災害後の人間の心理や行動に対する十分な対応を考えていくことが課題であり今後検討を迫られる問題である。

災害に対する国民的な問題として、国民の防災意識と災害観の変化や人間としての連帯感の形成の必要性など、地震を契機に防災も重要な問題として、人間の教育と啓蒙がある。

最近、特に関心の高まってきた傾向として、ボランティア活動に関心を持つ人々がマスコミを通して報道されている。地震災害に際しても、奥尻島では、多くのボランティアが実際に活動していたし、日本にもこのような風土が育っていくことを希望と期待がもてる様になってきた。

事例研究3. 「欠落している重要課題」

災害の全体像を概観して重要な物が放置されていないか

(1) 研究の総合化とシステム化

社会科学のアプローチや社会システムとの関係で重要な検討課題がある。災害としての扱いと、個別の詳細論とは違う。関連性とクロスオーバーなど新しい試みが期待される。

個別研究のアセンブルではなく、地震時の都市全体の姿や市民それぞれのその日の行動や対応などを対象に従来の災害に対する取り組みとは異なる立場から災害を見直す、ドキュメンタリータッチの報道番組のようなアプ

ローチの必要である。

人間と社会との係わりで災害現象が存在する。地震・建築・構造だけでは説明がつかない。

(2) 防災行政の係わり方

市民は行政を非常に頼りにしている。しかし行政はその全てに対応は出来ない。現実の対応と課題はなにか。防災行政・地震被害予測の在り方と信頼性・研究者の係わりはどのようにあるべきか。社会の変化・技術の進歩・対策の実施・想定根拠・基礎データの整備・予測手法など非常に多くの問題が関係し最終的に誰が結果に対する責任を持つのか。活用目的と責任体制が不明確である。

(3) 社会的要請と時代的な要請

21世紀に向けての時代的な要請
国際化時代 先進国と発展途上国
国内の問題と技術の海外移転
情報化時代、高齢化時代

(4) 住民参加と住民意識の高揚

自主防災と防災カルテ
住民の防災意識と災害観
国の総合的な防災力の評価
国民の災害に対する支援活動と救援行為

(5) 被災住民の救援体制の現状分析

長崎雲仙普賢岳の火山噴火
釧路沖地震
北海道南西沖地震

(6) 災害調査体制の充実

改めて、何を地震被害調査として調査すべきであったかを項目を挙げて検討しておくことは重要である。

(7) 住民の災害意識調査アンケート

● 平成5年9月に公表された釧路市の調査(1993.5.25)

<1月15日の地震に関連して17項目の設問>

1. 直後の行動、2. 不安感、3. 情報源、4. 必要な情報の可能性、5. 欲しい情報、6. 家庭での被害状況、7. 被害額、8. 災害融資、9. 怪我と病院、10. 非常持ちだし
11. 家庭での地震対策、12. 避難場所、13. 防災訓練の経験、14. 防災訓練への参加、15. 自主防災の存在
16. 自主防災への参加、17. 今後必要な防災対策

● 愛知県の住民の地震に対する意識アンケート調査

<昭和58年調査項目>

1. 日常家庭での地震対策、2. 行政に対する地震対策

<平成2年調査項目>

1. 濃尾地震の周知度、2. 大地震が起こる可能性
3. 地震が発生した場合の心配事、4. 地震に対する備え
5. 地震対策に関する要望

<平成5年調査項目>

1. 東海地震発生の危機感、2. 特に心配な事
3. 家庭での地震対策、4. 警戒宣言発令時の行動
5. 重点を置くべき地震対策

資 料



地震予測：設計のための地震動予測をめざして

構造委員会 振動運営委員会 地盤震動小委員会

第20回記念地盤震動シンポジウムが、1992年12月11日（金）「地震動予測：設計のための地震動予測をめざして」をテーマに、山田真（早稲田大学）、工藤一嘉（東京大学地震研究所）、太田外気晴（足利工業大学）の司会のもと、約200名の参加者を集めて建築会館において開催された。

まず、地盤震動小委員会主催の北川良和（建設省建築研究所）が、地盤震動小委員会が20周年を迎えるに至ったのは先輩各位の尽力によるものであるとの礼を述べた。また「地震動と地盤」に引き続き、この十年間の研究・技術の進歩・蓄積を踏まえ、さらに「国際防災の十年」という背景のもとで、我が国の地盤震動研究の現状を外国に紹介し国際的貢献に資するために「Earthquake Motion and Ground Conditions」を発行することを報告した。さらに、地震動のシミュレーション技術は進歩しているが、設計には用いられていない現状や、データの吟味、結果の検討の必要性が増してきたことから、地震動研究者と設計実務者が忌憚のない意見を交換する場として、シンポジウムを開催した旨の説明があった。また、早くから地震学と地震工学の接点に立って地震動・地盤震動研究を進めてこられた表俊一郎先生に特別講演をお願いしていることを紹介した。

入倉孝次郎（京都大学防災研究所）は震動を物理的に見た話として、震動モデルを決定論的運動学モデル、統計的モデル、ハイブリッドモデルに分けてその生い立ちや特徴を紹介した後に、工学的に有効な手段と考えられる経験的グリーン関数法を日本海中部地震に適用し、その有効性を示した。また、強震動予測の実用化における問題を、①将来の地震の震源域の不確定性、②①に関連して破壊の開始点と終了点が不明確なこと、③モーメントの比とスケールリング則がどこまで成り立つか、④どの程度まで断層を細分化するか、とした。

武村雅之（鹿島小堀研究所）は、「地震学は自然現象を正確に記述するものであるから、そのままでは設計という行為に直結しない」と述べた後に、距離減衰式の話に移った。設計用入力地震動の究極の姿は正確な予測であるが、現状では無理であり、安定した評価が望まれている。距離減衰式は地震の現象を記述するだけでなく、設計用入力地震動の評価に用いる目的で作られたものであり、結果が安定していることから実務でも盛んに用いられていると考察した。今後の課題として、物理的な根拠が必要であると述べ、自身の研究を紹介した。武村の発表に対して、野田茂（鳥取大学）から「距離だけでなく方向も加味した評価がよいのではないが、さらに応答まで確率論的に評価した方がよいのではないか」と意見があった。これに対して、ベクトル的な評価は等価震源距離を導入することで考慮している、確率論的な評価のためには、地震の発生確率から議論する必要があるとの見解を示した。

渋谷純一（東北大学）は、表層付近の地盤構造と地形が地震動特性に与える影響について、成層地盤における実体液の増幅特性、成層地盤における表面波の励起、地盤の不整形性が地震動特性に及ぼす

影響に分け、順に紹介した。最後に今後の課題として、地盤構造の把握、入射波の推定、解析手法の開発が必要であると述べた。そのためには国内および国際的な協体制に基づくESG（Effect of Surface Geology）研究が必要であると述べた。司会の工藤がESG国際シンポジウムの主催者として、ブラインドレディクションの意義を尋ねたが、共通のデータをもとに討議ができ、非常に有益であったと回答した。

吉田望（佐藤工業中央技術研究所）は、地盤の土質力学的性質と地震動予測に関して、土の動的性質、そのモデル化、地盤のモデル化、地震動予測の現状に大別して報告した。またブラインドレディクションについて、様々な手法の比較や位置づけができる点を評価した。最後に、現状の問題点としてつぎの3項目を挙げた。①大地震時に対する検証例が少ない。②解析手法の違いによる誤差の評価例が少ない。③実務に利用する際の精度が不明である。以上の報告に対して森山健一（大成建設）から、等価線形手法では、ひずみや高周波成分はうまく表現できるかとの質問があり、実証例がないので完全な答えは無理であるが、一般的に言って両者ともうまく表せないと回答した。

昼食後、表俊一郎（九州産業大学名誉教授、元東京大学地震研究所教授）により、「原子炉施設に関する耐震設計用入力地震動を定めるためには、どのように考えればよいのであろうか」と題した特別講演が行われた。この講演は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の解説を基本としていることを断つたうえで、まず基準地震動の紹介を行った。次に、歴史地震の調査は古くからの課題であり、数人の研究者の多大なる努力により、地震カタログというべきものができたこと、およびその内容を紹介した。また、活断層はタイムスパンが非常に長く実用と整合しないという考えもあるが、5万年をめぐりに考慮することになっていることを紹介し、活断層と地震との関係に関する問題点の指摘を行った。最後に、活断層付近のひずみ・応力を測定し、周辺の知見と合わせることで、今後発生する地震の規模や時期の予測が可能になれば、活断層と基準地震動とが血の通った糸で結ばれるとの意見を述べた。

座間信作（自治省消防研究所）は、地下探査と地震工学との関わりあいのレビューと各種の探査手法の紹介を行った。さらに、深層井がある府中サイトを例に、種々の探査手法の結果を比較し、いわゆる地震基盤の深さはどの手法でも結果は同じであるが、それ以外では結果にばらつきがあることを示した。今後の課題として次の2点を指摘した。①多くの地域で調査を行うことが必要であること、②一つの地域についても三次元的かつ広域の調査が必要であること。特に、後者のためには、重力異常や微動の利用をも含めて多くの手法を用い、対象とする波長や精度を考慮して適切にモデル化をする必要がある。さらに、得られた結果を利用しやすいような形に整理すること、あるいはモデルであることを認識させる努力も必要であることを指摘した。

鎮洋史(北海道大学)は、構造物単体(点)の設計というよりも面
で考える立場の報告を行った。これは今年度から発足した、地震災
害委員会 地震防災システム検討小委員会の活動につながるもので
ある。地域全体の地震動を考える場合には、被害の空間分布も活用
すべきであり、そのためには地震動強さに関する研究が必要である
として、地震動強さの尺度と被害の関係の紹介を行った。つぎに、
被害や震度の空間分布について、それらに關与する要因をマクロ的
にとらえて紹介した。加えて、日本の気象庁震度階と外国で用いら
れている震度階とは、根本的な相違があることを指摘した。つぎ
に、地震発生危険度を表すマクロゾーネーションマップや地域の地
震動予測成果を表すマイクロゾーネーションマップについて紹介し
た。最後に、ゾーネーションの最近の動向を紹介した。

若松邦夫(大林組技術研究所)は、設計用入力地震動(カ)設定の現状
を踏まえ、各種の地震動予測手法の紹介を行った。まず、設計用地
震動策定の流れは、事前調査・検討の段階と個別解析手法の段階に
分かれることを示し、前半については表先生や座間の講演が参考に
なると説明した。個別解析手法について各手法の概要を紹介した後
に、東京における1923年関東地震の地震動を各種手法により推定し
比較した例を紹介した。若松の報告に対して武村(鹿島)は「地震動
の期待値に対して、データの存在している期間が短いにもかかわらず、
過度の期待があるような気がする」と意見を述べた。これに対し
て、若松は、レベル1ならば再現期間の長さから判断して、確率
論的に求めてもよいのではないかとの見解を示した。また、小林啓
美(日本工業大学)は、地震動の比較を応答スペクトルで行っている
が、手法により応答スペクトルの定義が異なる場合があり注意が必
要である。また基礎の定義等適用範囲を逸脱して使用している例が
あるとの指摘があった。

横田治彦(清水建設技術研究所)は、入力地震動の設定に関して、地
域を限定して検討した東京臨海部の例と日本全国を対象とした(例)
日本建築センター内の設計用入力地震動研究委員会の動向を紹介し
た。また、長周期地震動、建設地の広がりや考慮した地震動、上下
地震動、地盤の非線形増幅特性を考慮した地震動、電源近傍の地震
動を将来の課題とした。さらに、地震動評価のみならず動的解析モ
デルの検討、解析に用いる各種パラメーターの設定方法、設計方法
などを踏まえ総合的にバランスの取れた耐震設計を目指すことが大
きな課題であると述べた。入倉(京都大学防災研究所)は、「電源をモデ
ル化した地震動を推定しているが、モデル化した断層の分割数により
結果が異なり、最適な分割数が存在すると考えている」との意見を
示した。これに対して横田は、結果はかなりばらついており信頼
性・精度の議論が今後必要であるとの意見を述べた。加えて入倉
は、結果が誤っていることもあるのですべての結果の包絡形を設計
用のスペクトルとして与えるのは過大評価であるとの意見を述べ
た。また、小林(日本工業大学)から、臨海部の検討における上下動の
取り扱いについて質問があり、実際の作業担当者の丹羽正徳(鹿島

技術研究所)が、スペクトル比に関する研究を参考に定めたと回答し
た。

田治見宏(田治見エンジニアリング)は、本年5月に開催された地震荷
重小委員会主催によるシンポジウムの内容を紹介した。同小委員会
では、地震を断層という面でもとらえられるようになった現況を考
え、断層モデルに立脚したうえでできるだけ簡潔に入力地震動を策
定し(4種類8手法)、さらに構造物の応答を評価したことを紹介し
た。推定された地震動のうち、応答解析には距離減衰式を利用して
推定した地震動と経験的グリーン関数法による地震動を用いた。詳
細についてはシンポジウムの際に発行した報告書「地震荷重—地震
動の予測と建築物の応答」を参照されたい。最後に振動子のエネル
ギーに関する考察を紹介した。

続いて総合討論に移った。まず司会の太田(足利工業大学)から、予
測地震動は設計に使用可能な状態になったのが、との問いに対し
て、入倉(京都大学防災研究所)は断層の分割が適切であれば可能で
あると回答した。萩尾堅治(大成建設)は、実務では本当にニーズがあ
るのが、逆に研究者はどこまで使われ方を考えているのか、また、
設計者がどこまで遡って判断するかと問題を提起した。平島新一
(清水建設)は、地震動の評価は構造物の応答まで含めた方がよいと
述べた。武村(鹿島)は、地震動予測の現状を考えると、1つの地震
力で代表されるのではなく、幅を持たせ、入力レベルに対応する
社会的な補償システムを考えた方がよいのではないかと述べた。瀬
川輝夫(竹中工務店大阪本店)は、構造物の一次設計は様々な面から
経済性を追求せざるを得ないこと、過去の設計例の影響を受けやす
いこと等を述べた。川瀬博(清水建設)は地震予測は科学であり、建
設行為は社会的要請であるから、予測地震動が使用されるか否かは
研究者間の合意と社会的な合意との合致が必要であると述べた。一
方、吉田(佐藤工業)はいわゆる“SHAKE”について、現状では妥当
な結果を与える手法であり、研究者側で使用手順を示しておけば設
計者も利用するであろうと述べた。大越俊男(日本設計)は設計の手
順に起因する課題点を挙げた。また、“SHAKE”の検討結果の妥当
性を示した。横田(清水建設)は、大越の意見を受け、地盤と構造物
との動的相互作用を考慮すべきであり、地震動を予測する側と構造
物を設計する側とが歩み寄る必要があると述べた。長橋純夫(長崎
総合科学大学)は、梗概集に掲載されている20年間の総目次から研究
の進捗度合いがよく分かるが今後研究が進んでも不明な点が残るので
構造物側でも余裕・冗長性を持つことが必要である。また、今後は
点だけではなく面(都市計画)の耐震設計が必要であるから防災シ
ステム検討小委員会の活動に期待がかかる、と述べた。

最後に、地盤振動小委員会幹事の瀬尾和太(東京工業大学)は、地震
動の予測はばらついてはいるが、現状でも構造物の設計・建設は進ん
でおり、研究は一步ずつ前に進むほかに、その際には人間の都合
ばかりを見ないようにしなければならない、と総括し散会した。

●片岡俊一/清水建設

EARTHQUAKE MOTION AND GROUND CONDITIONS

- IN COMMEMORATION OF THE 20TH ANNIVERSARY OF THE RESEARCH SUBCOMMITTEE
ON EARTHQUAKE GROUND MOTION, THE ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN -

Edited and Published by The Architectural Institute of Japan

Preface

Twenty years ago, that is, four years after the 1968 Tokachi-oki earthquake of $M_{JMA}=7.9$, the Research Subcommittee on Earthquake Ground Motion was organized under the Steering Committee for Structural Dynamics in the Architectural Institute of Japan. Its purpose is to exchange and discuss the latest information on evaluation and prediction of earthquake ground motion. Since then, the committee has held an annual symposium to disseminate its research results to concerned scientists and engineers.

In 1983, the committee published a book in Japanese titled "Earthquake Motion and Ground Conditions", based on the knowledge accumulated during the preceding ten symposia and also from the activities of the committee during that time. After nine years has passed since that publication, the committee decided to publish this revised edition to commemorate the 20th anniversary. Since that first publication, several disastrous earthquake events have occurred in the world, for example, the 1983 Nihonkai-chubu, Japan, earthquake ($M_{JMA}=7.7$), the 1984 Naganoken-seibu, Japan, earthquake ($M_{JMA}=6.8$), the 1985 Central Chile earthquake ($M_s=7.8$), the 1985 Michoacan, Mexico, earthquake ($M_s=8.1$), the 1988 Spitak, Armenia, earthquake ($M_s=6.9$), the 1989 Loma Prieta, California, earthquake ($M_s=7.1$), the 1990 Gilan, Iran, earthquake ($M_s=7.7$), and the 1990 Luzon, Philippines, earthquake ($M_s=7.8$).

The valuable seismograms recorded during these earthquake events and the several types of phenomena observed have shown us new facts and have urged us to research new critical problems in seismology and earthquake engineering. Examples of these critical areas are:

- Accumulation of a seismogram data set due to a main shock and aftershocks, and also development of a semi-empirical approach for ground motion prediction based on the scaling law of an earthquake source;
- Understanding of strong ground motion in an epicentral region using seismological array observation data;
- Study of attenuation characteristics of ground motion and evaluation of Q-values of seismic wave propagation based on a large amount of seismogram data observed simultaneously in an extensive area;
- Survey of underground structure, and also consideration of effects of surface geology on seismic motion, in particular ground motion characteristics on a deep sedimentary basin;
- Strong ground motion in seismic design;
- Seismic zonation and disaster prevention planning.

In view of these important topics, the committee judged that this second edition should be completely revised, and also acknowledged that the need to exchange the information and knowledge on a global scale required the full text of this new edition be written in English. The committee hopes that this publication will be useful to researchers, engineers, and students throughout the world.

CONTENTS

PART I. FUNDAMENTAL ASPECTS OF EARTHQUAKE MOTION

1. Earthquake Source Mechanisms and Their Characteristics
 - 1.1 Overview of earthquake sources
 - 1.2 Earthquake source spectrum from complex faulting processes
2. Propagation and Attenuation of Seismic Waves
 - 2.1 Observed attenuation of seismic waves
 - 2.2 Seismic wave propagation in a homogeneous random medium
3. Amplification of Seismic Waves
 - 3.1 Amplification of body waves
 - 3.2 Excitation of surface waves in multi-layered ground
 - 3.3 Effects of surface and subsurface irregularities
4. Intensity of Earthquake Motion
 - 4.1 Ground motion severity measures and structure damage
 - 4.2 Seismic intensity distribution of large earthquakes
 - 4.3 Seismic intensity measurement and its application

PART II. EARTHQUAKE MOTION OBSERVATION AND GEOTECHNICAL SURVEY

1. Observation of Strong Ground Motion
 - 1.1 Historical review, instrumentation, and observation system
 - 1.2 Array observation of strong ground motion
 - 1.3 Data processing and databases for strong motion records
 - 1.4 Application of strong ground motion records and future tasks
2. Subsurface Investigation and Soil Dynamics
 - 2.1 Geophysical properties and soil investigation
 - 2.2 Deformation characteristics of soils
 - 2.3 Modeling the stress-strain relationship of soils
 - 2.4 Soil liquefaction
3. Survey of Deep Subsurface Structure
 - 3.1 Artificial seismic sources
 - 3.2 Surveying methods
 - 3.3 Exploration results in Japan
 - 3.4 Applications to earthquake engineering problems
 - 3.5 Future prospects
4. Measurement of Microtremors
 - 4.1 Microtremor or microvibration
 - 4.2 Long-period microtremors

PART III. PREDICTION OF STRONG GROUND MOTION AND ITS APPLICATION TO EARTHQUAKE ENGINEERING

1. Simulation and Prediction of Strong Ground Motion
 - 1.1 Theoretical approach
 - 1.2 Semi-empirical approach

- 1.3 Empirical approach
- 2. Effects of Surface Geology on Strong Ground Motion
 - 2.1 General review of site effects studies
 - 2.2 Effects of surface geology on strong motion during destructive earthquake
 - 2.3 International experiments on ground motion prediction
- 3. Seismic Zonation
 - 3.1 Seismic macrozonation
 - 3.2 Seismic microzonation map
 - 3.3 Seismic zonation and earthquake risk management
- 4. Strong Ground Motion in Seismic Design
 - 4.1 Seismic design in current codes
 - 4.2 Approaches to new seismic design codes
 - 4.3 Needs and prospects for design earthquake motion

APPENDICES: FINDINGS FROM RECENT EARTHQUAKES

- A1. Overview
- A2. Lessons learned from the destructive damage of recent earthquakes in Japan
- A3. Accumulation of strong ground motion records in Japan
- A4. Review of recent earthquakes
 - (1) The 1968 Tokachi-oki earthquake
 - (2) The 1978 Miyagi-ken-oki earthquake
 - (3) The 1979 Imperial Valley, California, earthquake
 - (4) The 1982 Urakawa-oki earthquake
 - (5) The 1983 Nihonkai-chubu earthquake
 - (6) The 1984 Nagano-ken-seibu earthquake
 - (7) The 1985 Central Chile earthquake
 - (8) The 1985 Michoacan-Guerrero, Mexico, earthquake
 - (9) The 1987 Chibaken Toho-oki earthquake
 - (10) The 1989 Loma Prieta, California, earthquake

Earthquake Motion and Ground Conditions

596 pp. 1993 ¥9,950

Copyright © 1993 by the Architectural Institute of Japan

5-26-20 Shiba, Minato-ku, Tokyo 108, Japan

Phone : (81-3) 3456-2051, Fax : (81-3) 3456-2058

Distributed by Maruzen Co., Ltd.

P.O.Box 5050, Tokyo International, 100-31, Japan

Phone : (81-3) 3278-9223, Fax : (81-3) 3274-2270

Earthquake Motion and Ground Conditions

Edited by Architectural Institute of Japan

9,950 yen, paperback

596 pages, B5(182x257)

ISBN 4-8189-0413-9 C3052

Publisher:

Architectural Institute of Japan
5-26-20 Shiba, Minato-ku, Tokyo
108, Japan

Phone: 81-3-3456-2051

Fax: 81-3-3456-2058

Distributor:

Maruzen Co. Ltd.
P.O. Box 5050, Tokyo International,
100-31 Japan

Phone: 81-3-3278-9223

Fax: 81-3-3274-2270

Please send your order to the publisher (Architectural Institute of Japan)
with the order form below.

ORDER FORM

Earthquake Motion and Ground Conditions

I would like to order _____ copy/copies.

Send me the invoice.

Delivery option:

Air mail.

Surface mail.

Name (please print): _____

Organization: _____

Address: _____

Country: _____

Phone: _____ Fax: _____

Date: _____ Signature: _____