

1993年

釧路沖地震・能登半島沖地震

# 災害調査報告書



社団法人 土質工学会

1993年地震災害調査委員会

## 9. 住宅地の被害

柳澤 栄司 (東北大学 工学部)

安田 進 (東京電機大学 理工学部)

吉田 望 (佐藤工業(株) 中央技術研究所)

若松加寿江 (早稲田大学 理工学総合研究センター)

## 9. DAMAGE TO RESIDENTIAL SITES

Eiji YANAGISAWA (Tohoku University)

Susumu YASUDA (Tokyo Denki University)

Nozomu YOSHIDA (Sato Kogyo Co., Ltd.)

Kazue WAKAMATSU (Waseda University)

### ABSTRACT

Outline of the damage to buildings, houses and residential lands are mentioned firstly, then the typical damage to reinforced concrete buildings and private houses in the strongly shaken area are explained. Geological and topographical features of the damage are discussed by comparing the present state to the previous topographical maps in 1950s. A close relationship is found between the damage and foundation, especially in soft soil conditions such as in valley planes, former rivers and marshes. Then the results of investigations performed at the specific site of Midorigaoka 6-chome were mentioned, in which the safety factor of stability was found to become less than unity during earthquake, when the conventional stability analysis was performed.

Dynamic triaxial tests are performed on soil samples taken from the damaged sites to determine the dynamic shear modulus and damping ratios of the soils as well as liquefaction strength. Nonlinear response analysis was carried out using two dimensional effective stress analysis (TARA-3) in order to simulate the instability of a slope of a housing lot in Shibecha-cho due to liquefaction. Although the magnitude of displacement after liquefaction is smaller than that of measured values, the features of damage can clearly explained by this numerical model. Present states of restoration works are mentioned as concluding remarks.

## 9.1 被害の概要

釧路沖地震による建物の被害は、釧路市を中心に北海道南東部に広範囲に多数発生した。北海道庁の発表によれば、住宅の被害は全壊53棟、半壊254棟、一部破損5,311棟にのぼり、被害総額は約25億円に達する。表9.1は北海道内の主な市町村の被害戸数をまとめたものであるが、住家の被害は釧路支庁では釧路市をはじめ釧路町、厚岸町、標茶町、白糠町、音別町などで著しく、十勝支庁では本別町、豊頃町などで多く発生した。住宅の被害数は、釧路市で最も多く、次いで厚岸町、標茶町の順である。

RC造の建物の被災も釧路市を中心にかなり発生した。釧路市内では、釧路工業高校の2号棟の廊下側の柱がせん断破壊したのをはじめ釧路市消防署の望楼の最上層が破損落下し下層の建物を破壊するなどの被害があった。写真9.1に釧路市消防署の望楼の落下による建物被害を示す。また、写真9.2は緑ヶ岡のサンライフ釧路体育館における天井の仕上げ材の落下状況を示したものである。いずれも非常に大きな加速度の作用を示唆する被害である。この他、釧路港付近のRC造建物や煉瓦造建物などに液状化による地盤の不同沈下による被害が発生している。写真9.3は釧路港のマリンポトスにおける地盤の不同沈下による建物基礎部と地盤との段差を示すもので、付近の噴砂から液状化の発生が確認された。また、写真9.4は釧路港の煉瓦造の倉庫の被害を示したものであるが、無筋の煉瓦壁が分離落下している。これらの被害倉庫群の

基礎周辺でも液状化が確認されている。震央からやや離れるが帯広市でも、帯広市庁舎や帯広第一病院などRC造の建物に亀裂などの軽微な被害が発生している。

釧路市内の住宅被害の多くは、モルタル外壁の亀裂や剥離、煙突の破損や倒壊とそれに伴う被害、基礎と上屋の取付け部分の破損、地盤の変形による破損などであり、地震の規模や震度にしては比較的軽微に見受けられる。写真9.5は、釧路市内のモルタル造の家屋の典型的な被害である、モルタル壁の剥落状況を示したものである。また、写真9.6は、若松町の煙突の崩壊にともなう被害で、外壁に損傷を生じた例であるが、いずれの被害も非常に大きな加速度の影響によるものである。

表9.1 北海道内の住家被害

(Table 9.1 Damage to Housing in Hokkaido)

	住家被害		
	全壊 (棟)	半壊 (棟)	一部破損 (棟)
釧路支庁			
釧路市	42	191	2,427
釧路町	6	34	77
厚岸町			520
浜中町			124
標茶町		2	436
阿寒町			371
鶴居村			182
白糠町	2	3	111
音別町	3	2	34
十勝支庁			
帯広市			31
音更町		2	4
新得町			10
中札内村			2
更別村			2
忠類村			9
大樹町			4
浦幌町			47
本別町		1	330
豊頃町		18	16
広尾町			1
池田町			19
幕別町		1	7
根室支庁			
根室市			114
別海町			248
中標別町			23
標茶町			23
日高支庁			
門別町			6
静内町			9
浦河町			5
様似町			3
胆振支庁			
室蘭市			1
苫小牧市			2
登別市			3
上川支庁			
占冠村			7

北海道災害対策本部（平成5年10月1日現在）



写真9.1 釧路消防署の望楼の被害  
(Photo 9.1 Damage to the Watchtower of  
the Kushiro Fire Station)

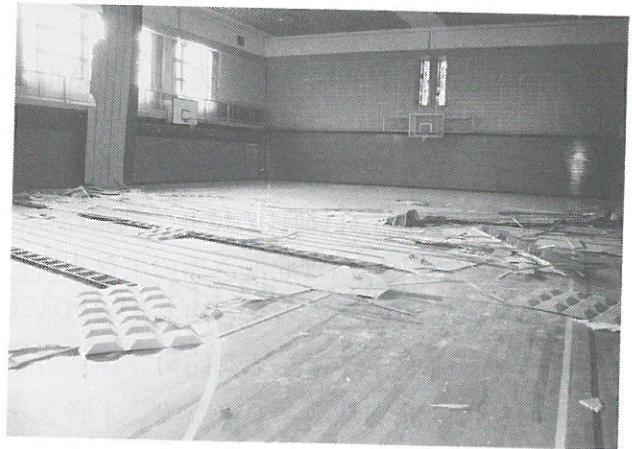


写真9.2 サンライフ釧路体育館の被害  
(Photo 9.2 Damage to the Sunlife Kushiro  
Gymnasium)



写真9.3 釧路港マリンプトスの被害  
(Photo 9.3 Damage to the Building of  
Marine Potos, Kushiro Harbor)

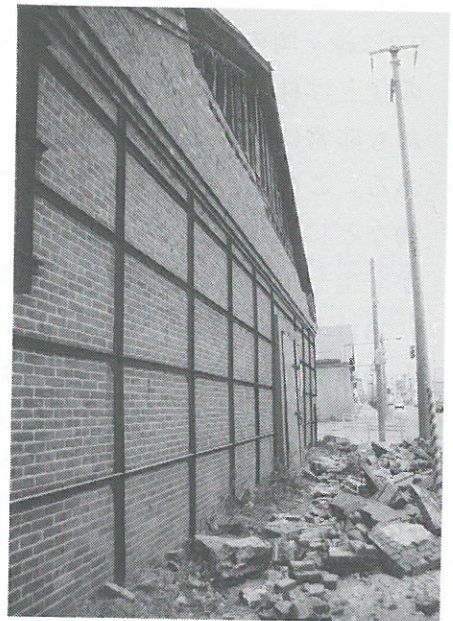


写真9.4 釧路港の煉瓦造倉庫の被害  
(Photo 9.4 Damage to a Warehouse Built  
of Brick)



写真9.5 釧路市内のモルタル造の典型的な家屋被害  
(Photo 9.5 Typical Damage to a Mortared House in Kushiro City)



写真9.6 若松町の煙突の崩壊にともなう被害  
(Photo 9.6 Damage to a House due to Collapse of Chimney in Wakamatsu-cho)



写真9.7 緑ヶ岡地区のブロック塀の倒壊  
(Photo 9.7 Collapse of a Concrete Block Wall in Midorigaoka Area)



図9.1 鋼路市近傍における住宅地の被害箇所

(Fig. 9.1 Location of Damaged Residential Sites in the Vicinity of Kushiro City)

釧路市東部の丘陵地帯の宅地では、造成宅地の崩壊あるいは変形による一般住家の被害が多く発生した。釧路市で全壊や半壊の被害数が大きいのはこのためであり、これがこの度の地震災害の特徴の一つとなっている。図9.1は、釧路市周辺における主な構造物被害の分布を示したものであるが、緑ヶ岡や武佐などの住宅地で集中的に被害が発生している。写真9.7は、市内緑ヶ岡5丁目のブロック塀の倒壊例を示したものであるが、コンクリートブロックが無筋状態のため脆くも倒壊した例が住宅地で多数見られた。幸いブロック塀による死傷者はなかったが、宮城県沖地震に際して多くの死傷者を出した教訓が全く生かされていないことは残念である。JR釧網本線沿いの標茶町では、茅沼地区で造成地の大規模な盛土崩壊が見られた。これらの被害の原因と特徴については、9.4節で詳述する。

釧路市は、地形的には周辺の白糠丘陵および鶴居丘陵などの丘陵地と、段丘および沖積低地からなっている。段丘（台地）は、高位の根室段丘（海拔70～140m）と低位の釧路段丘（海拔30～60m）の2面からなり、開析谷がよく発達している。釧路段丘は、上部に火山灰層（屈斜路軽石流堆積物）を載せる。緑ヶ岡や武佐などの住宅地は、この段丘を整地掘削したり斜面や開析谷に盛土した造成地である。一方、釧路の中心市街地などを載せる低地は、海岸沿いの砂丘とその北側の泥炭地からなる。砂丘は、海岸から約1.5kmの間に10列あり、最高でも8m弱の海拔高度である。泥炭地は、砂丘の陸側に広く分布し、厚さ1～5mの圧縮性の高い腐食土層が発達し、いわゆる釧路湿原に続いている<sup>1)2)</sup>。釧路町木場、美原団地、中島町および双葉町の被害は、このような軟弱地盤上に造成された宅地の被害例と考えられる。本章においては、特に一般住宅の被害が著しかった、釧路市内における造成地の被害、および茅沼地区の被害を中心に考察する。

## 9.2 釧路市東部の造成地の被害

### 9.2.1 被害地域の地形・地質

釧路市東部の緑ヶ岡・武佐などの住宅地では、崖崩れを始めとする多数の地盤災害が発生し、これにより住宅・埋設管などに多大な被害を被った。この地域は、標高30～60mの釧路段丘を整地掘削したり開析谷に盛土した造成地であり、宅地造成工事規制区域に指定されている。古い地形図を見ると、旧釧路川の河口に近い本地域の南西部は大正期には既に市街化されており、昭和期に入り宅地が徐々に北東方向に拡大している様子がわかる。1960～1970年代に急速に宅地化が進展し、緑ヶ岡・武佐一帯もこの時期に造成された。

釧路段丘の地質は、根室層群（砂岩、白亜紀）、浦幌層群（礫岩、砂岩、泥岩などの古第三紀層）を基盤とし、表層には更新世の釧路層群（粘土、砂礫、砂）、大楽毛層（砂）および屈斜路軽石流堆積物（軽石質火山灰）が堆積している<sup>3)</sup>。表層部を形成する屈斜路軽石流堆積物は白色の軽石質火山灰からなり、1～20mの層厚で段丘上に一面に広がっている。台地を刻む開析谷には、軟弱な粘性土や泥炭が堆積している。釧路市都市開発部によれば、造成方法は切り盛り方式で、盛土は全て現地の切土を用いているとのことである。



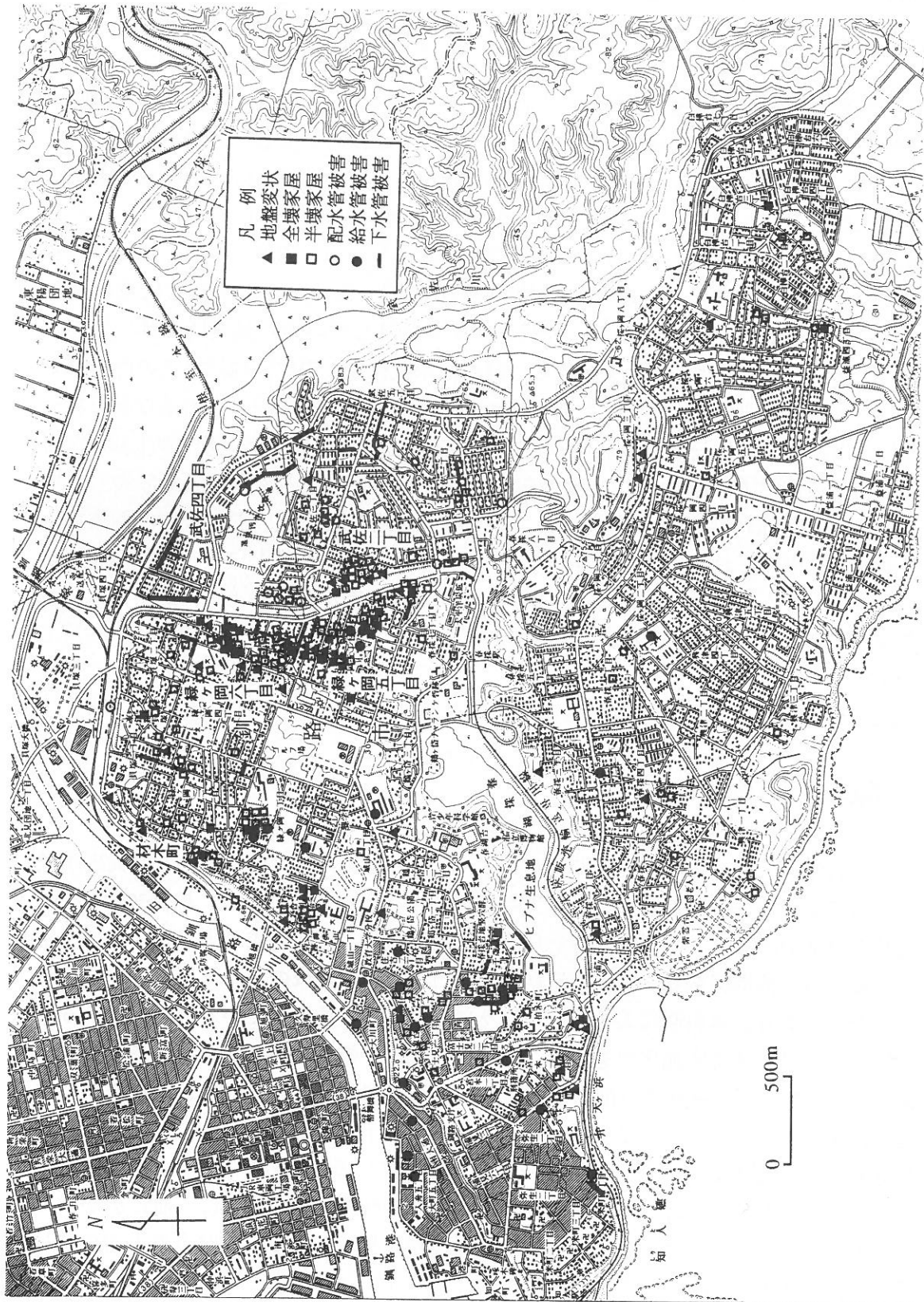


図9.2 釧路市東部の造成地における地盤変状と構造物被害

(Fig. 9.2 Map of the East of Kushiro City Showing Location of Ground Failure and Damage to Structures)

## 9.2.2 地盤変状と構造物被害

図9.2に、本地域（旧釧路川以東の地域）における顕著な地盤変状の発生地点<sup>4)</sup>と構造物の被害<sup>5)7)</sup>の分布を示す。地盤変状の種類は、斜面崩壊、擁壁の崩壊、地割れ、陥没などであり、発生地域は緑ヶ岡5、6丁目に特に集中している。図に示した以外にも、軽微な地割れ、陥没、擁壁の崩れ・亀裂などは多数発生しており、また緑ヶ岡5、6丁目地区では噴砂やマンホール・汚水マスの浮き上がりなどが認められた。

釧路市における住宅の被害は、表9.1に示したように、全壊42棟、半壊191棟、一部損壊2,427棟である<sup>5)</sup>。被害は全市にわたり見られたが、全半壊家屋の大部分が造成地である本地域で発生している。図9.2に示した全半壊家屋の分布を見ると、家屋被害と地盤変状の分布はほぼ一致している

ライフラインの被害については第10章に詳しいが、図9.2には詳細な被害地点が公表されている上下水道の管路の被害分布<sup>6)7)</sup>のみを示す。上下水道の被害とも、釧路市全体の半数近くが本地域で発生しており、家屋の被害と同様に地盤変状の発生地点付近に集中している。ガスの被害については、ガス導管継手部分の損傷により、地震直後市内9,391戸のガスの供給が停止された<sup>8)</sup>。停止地域は、緑ヶ岡・武佐・材木町全域と城山・鶴ヶ岱・春採・貝塚・大楽毛の一部であり、大楽毛の90戸を除いて全て本地域に位置している。

以下では、特に被害が著しかった地域を取りあげて、被害状況を述べるとともに地形との関連から被害の原因を考察していく。

### (1) 材木町の被害

写真9.8は材木町18番地における急傾斜地崩壊危険区域の指定地で発生した斜面崩壊の状況である。この崩壊により崖上の家屋の外壁や基礎に亀裂が入るなどの被害が出たほか、崖下では崩壊土砂に家屋の一部が埋まる被害が発生した。崩壊地に隣接した道路（国道44号線）沿いの斜面は、対策工（土留柵、排水工等を適用）が実施されており被害はなかった<sup>9)</sup>。

図9.3に造成前の地形図を、図9.4に現在の地形図に家屋被害をプロットしたものを示す。図9.4には、両図に描かれた等高線により推定した切り盛りの境界を示す。崩壊地付近は、釧路段丘のうち低位面を刻む谷部にあたり、最大で約12mの厚さの盛土によって造成されたと推定される。崩壊は盛土の末端の斜面で発生したことがわかる。さらに周辺の家屋や道路の被害は、盛土部や切土・盛土境界部に集中して発生しており、特に切り盛りの境界部では路面のアスファルトや家屋基礎の亀裂、地盤の変形が認められ、盛土全体が沈下ないし移動したと推定される。



写真9.8 釧路市材木町18番地の斜面崩壊（急傾斜地崩壊危険指定地）  
(Photo 9.8 Slope Failure at 18 Zaimoku-cho, Kushiro City)



図9.3 材木町崩壊地付近の造成前の地形図（1956年釧路市都市計画現況図、1/3,000）

(Fig. 9.3 Topographic Map of Zaimoku-cho Dated 1956)

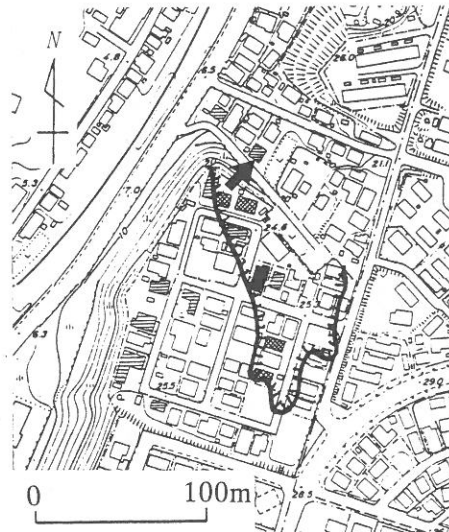


図9.4 材木町崩壊地付近の家屋被害<sup>5)</sup>と切り盛りの境界<sup>10)</sup>（基図は1987年1/2,500国土基本図）

(Fig. 9.4 Topographic Map of Zaimoku-cho Dated 1987 Showing Locations of Collapsed Houses and Boundary of Cutting and Filling<sup>5)10)</sup>)

- 凡例
- 全壊家屋
  - ▨ 半壊家屋
  - ▤ 一部損壊家屋
  - ➡ 崩壊位置と方向
  - ⊖ 切り盛りの境界

## (2) 緑ヶ岡の被害

図9.5に緑ヶ岡5、6丁目における家屋被害と<sup>5)</sup>地盤変状の分布を示す。地盤変状の分布は著者らのメンバーが実施した詳細な現地調査結果に基づいている。図に示されるように、多数の地割れが発生したほか、噴砂やマンホールの浮き上がりなど液状化の痕跡も認められた。マンホールの浮き上がり量は5~15cm程度と比較的軽微であるが、緑ヶ岡5丁目のかなり広い範囲で認められた。

写真9.9は緑ヶ岡6丁目12番地（図9.5の①）で発生した斜面崩壊による住宅の被害状況である（口絵写真17参照）。また、図9.6に、崩壊地の平面図を示す。高さ約11mの斜面が幅90mにわたって崩壊し、家屋1棟が崩壊土砂と共に崖下に転落、西隣の家屋は敷地の半分が滑落して基礎が露出した。東隣の家屋は浴室部分が崖下に転落し、その他家屋2棟の敷地の一部およびのり面が崩壊した。一方、崖下では、家屋2棟が崩壊土砂の下敷きになり、1棟の屋内に土砂が流入するなどの被害が発生した。図9.7は崩壊地付近の造成前の地



写真9.9 釧路市緑ヶ岡6丁目12番地の斜面崩壊  
(Photo 9.9 Slope Failure at 12, Midorigaoka 6-chome, Kushiro City)

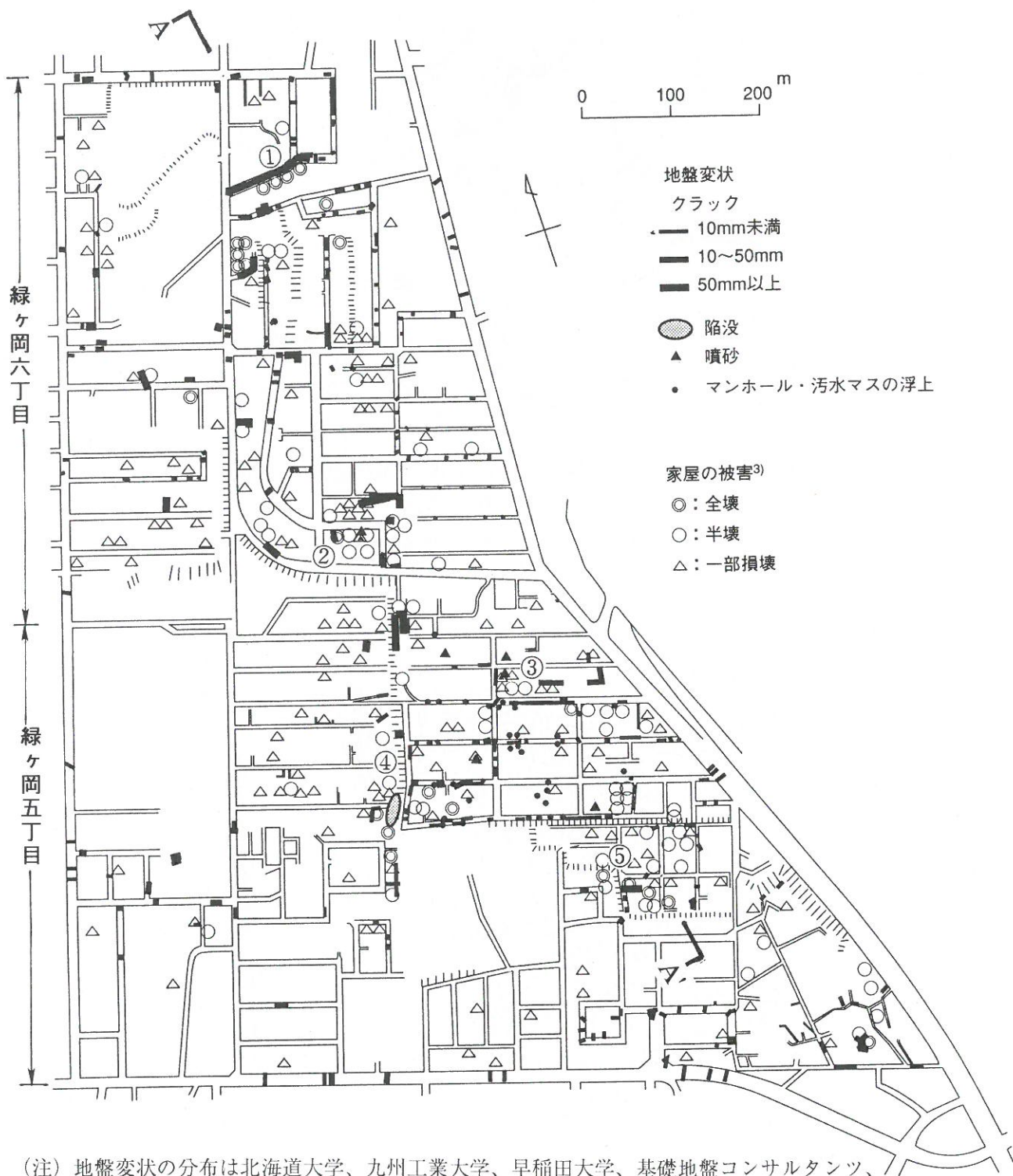


図9.5 緑ヶ岡5、6丁目における家屋被害と地盤変状

(Fig. 9.5 Map of Midorigaoka 5- and 6-chome Showing Locations of Collapsed Houses and Ground Failures)

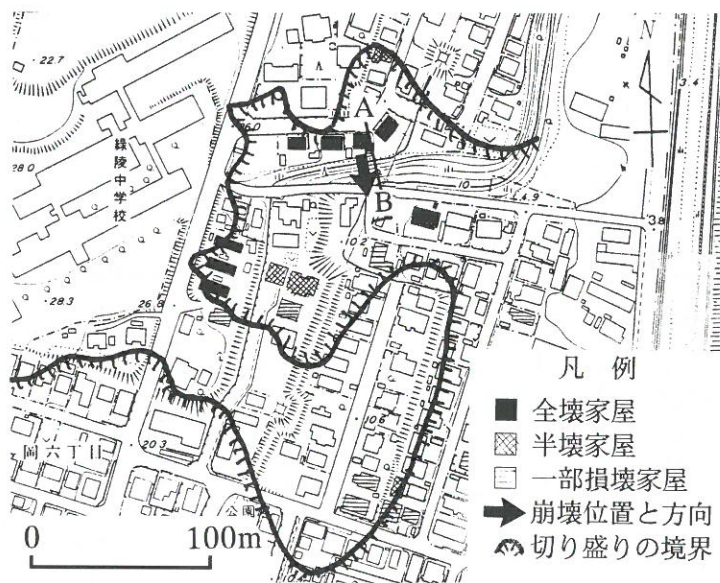


図9.6 緑ヶ岡6丁目崩壊地の家屋被害<sup>5)</sup>と切り盛りの境界<sup>10)</sup>  
(基図は1987年1/2,500国土基本図)

(Fig. 9.6 Map of Midorigaoka 6-chome Showing Locations of Collapsed Houses and Boundary of Cutting and Filling<sup>5)10)</sup>)

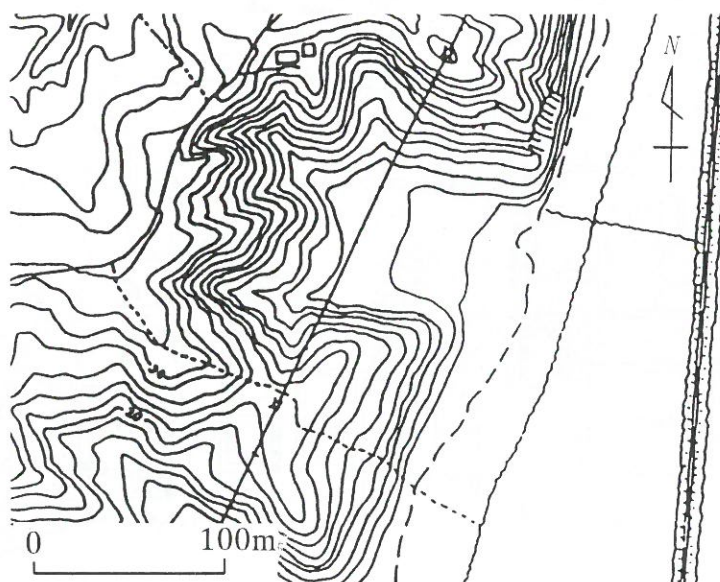
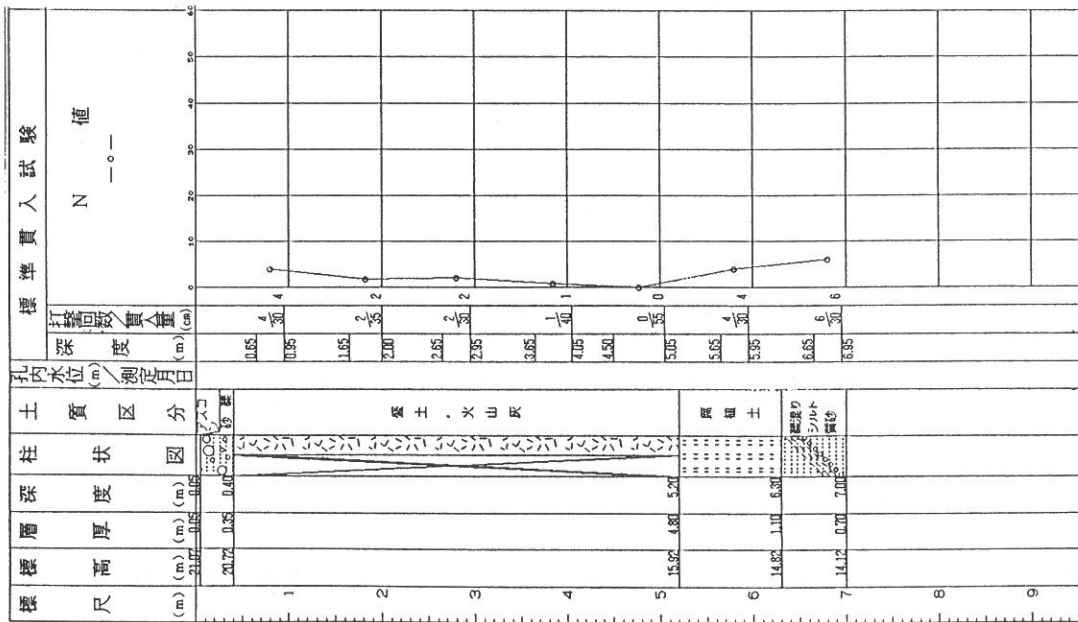


図9.7 緑ヶ岡6丁目崩壊地付近の造成前の地形図 (1956年  
釧路市都市計画現況図、1/3,000)

(Fig. 9.7 Topographic Map of Midorigaoka 6-chome Dated 1956)

A 土質柱状図



B 土質柱状図

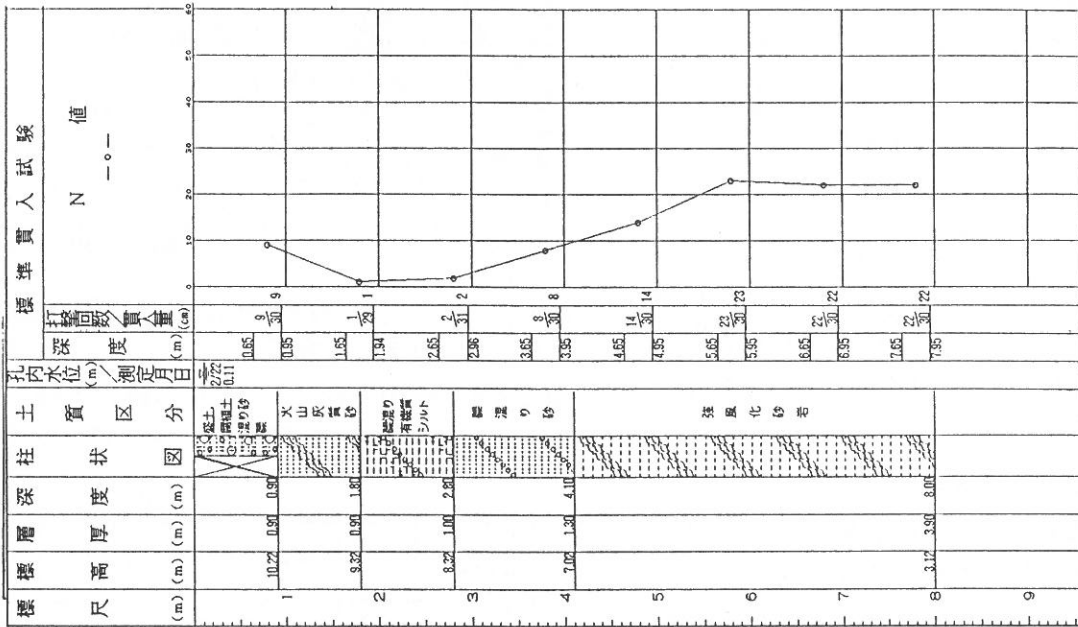


図9.8 緑ヶ岡6丁目の崩壊地付近のボーリング柱状図 (釧路市下水道建設課提供)

(Fig. 9.8 Soil and SPT Profiles at Top and Toe of the Slope in Midorigaoka 6-chome)

形図であるが、崩壊地は釧路段丘を刻む開析谷の枝谷にあたっている。この図と図9.6に示された等高線より切り盛りの境界を推定すると、図9.6に示した通りとなる。崩落部分や全半壊家屋は盛土部や切り盛りの境界部に位置していたことがわかる。

図9.8に崩壊斜面ののり肩およびのり尻におけるボーリング柱状図を示す。崩壊土砂は日本統一土質分類でSVに分類される火山灰質砂で非常に粘着性の乏しい土であり、盛土と推定される。このことは、同図のAの柱状図で、旧地表面に対応する深さ6m付近に腐植土層が現れていることから確かめられる。ここで、ボーリング資料と新旧地形図を用いて図9.9に示すような想定断面を作成し、簡単な安定解析を行った。土質定数は、表9.2のように仮定している。図9.10は設計震度を変えたときの円弧すべりに対する安全率を示したものであるが、常時におけるすべりに対する安全率を1.2と仮定しても、水平地震力が0.12以上になると安全率は1以下となる。この地震におけるような大きな加速度を受ければ、盛土斜面が不安定化する可能性は充分考えられる。

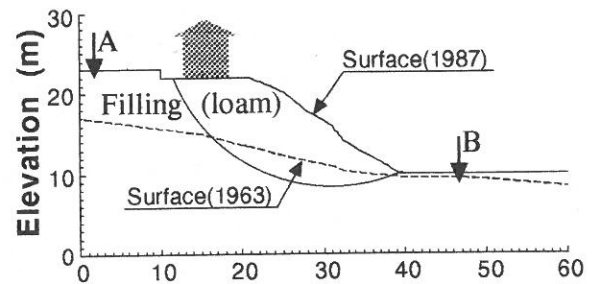


図9.9 緑ヶ岡6丁目崩壊地の盛土断面と想定円弧すべり面<sup>10)</sup>

(Fig. 9.9 Soil Profile of the Slope in Midorigaoka 6-chome and Evaluating Sliding Surface<sup>10)</sup>)

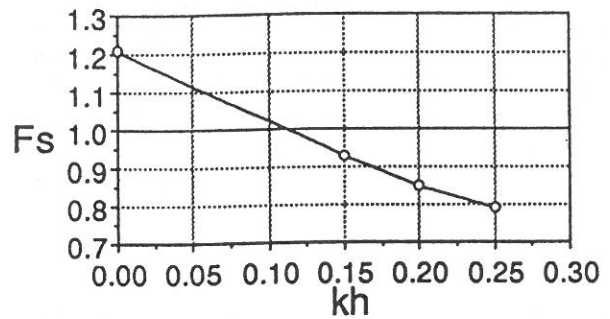


図9.10 地震力とすべりに対する安全率<sup>10)</sup>

(Fig. 9.10 Safety Factor for Seismic Force and Sliding<sup>10)</sup>)

表9.2 安定解析に用いた土質定数<sup>10)</sup>

(Table 9.2 Soil Constants for Stability Analysis<sup>10)</sup>)

	単位体積重量 tf/cm <sup>3</sup>	粘着力 tf/cm <sup>2</sup>	せん断抵抗角 deg.
盛土部分	1.56	1.50	15
地山部分	1.77	4.00	35

6丁目22番地付近(図9.5の②)には埋設管と家屋の基礎の被害が集中しており、マンホールの浮き上がりや噴砂らしき砂が認められた。また、この地区内では、住宅の基礎の亀裂、家屋のゆがみ・基礎の沈下・床面の凹凸・床落ちなど、液状化によると見られる家屋の被害が多数発生した。この付近の標高は10m程度と比較的高いが、工事現場で観察された地下水位はG.L.-1.2m程度であり、液状化が発生した可能性も十分考えられる。さらに、

注目すべきこととして、1973年の根室半島沖地震の際に6丁目22番地で地盤から泥水を噴き出すのを見たという住人の証言が得られている。

5丁目30～40番地一帯でも、上記の地域と同様、家屋基礎の亀裂・沈下・基礎と土台のずれ・土間や床面の持ち上がりなどの被害が発生した。住民によれば、5丁目37～39番地にかけては、今回の地震で幅30cm程度の地割れが多数発生したが、20年前の根室半島沖地震の際にも、ほぼ同じ位置に地割れを生じたとのことである。また、マンホールおよび汚水マスの浮上が各所に認められたほか、数箇所では明瞭な噴砂が確認された。なお、5丁目39番地（図9.5の③）では、今回の地震で噴砂が生じた地点のごく近傍で、根室半島沖地震の際にも赤茶色の水が噴き上がるのを見たという証言も得られている。

5丁目13～16番地の東端は、のり面をいわゆる布団籠で保護した高さ5～7mの崖（図9.5の④）に隣接している。崖上の敷地では、延長30m、深さ約2mの陥没や地割れを生じ、これにより全壊1棟・半壊4棟を始めとして多数の家屋に被害を生じている。地割れは地震動により斜面が滑動して生じたものと推測されるが、陥没については地震前から地盤に空洞ができていた可能性も考えられる。

5丁目27番地（図9.5の⑤）付近では、東西ないし北東－南西方向の大きな地割れが多数でき、これにより家屋に甚大な被害を生じた。27番地南端の土手の下から地震直後に水が3～4m噴き上がるのを目撃した住人がいたが、この地区では給水管の被害も報告されており、噴水が液状化によるものか、給水管の破損によるものかは不明である。住民によれば、この地区では根室半島沖地震の際にも地割れや陥没が多数発生し、家屋に大被害を生じたとのことである。また、造成前、この地区南端の土手下には湧水があり、湧水地点より北に向かう沢があったとのことである。

### （3）武佐の被害

写真9.10は、武佐4丁目27番地のわかくさ保育園前の市道の崩壊状況を示している。この付近では他にも崩壊までは至らないがすべりが発生し変状している箇所が数箇所ある。図9.11は、1956年および1987年の地形図から求めた盛土部分を示したものであるが、盛土部においてこれらの被害が発生していることがわかる。図9.12は、この地域の1963年撮影の航空写真である。盛土箇所はちょうど貯水池に流れ込む小谷にあたることが明瞭に読み取れる。図9.13に崩壊地の模式断面図を示す。崩壊に伴って上下水道、ガス管などが破断したが、保育園を含めて盛土部分の構造物の多くが杭基礎であったため、重大な被害とはならなかったようである。

武佐2丁目11～17番地では東西方向の地割れが発生し、家屋が地割れと直角方向（土地の傾斜方向）に移動したり、基礎が約30cm沈下するなどの被害を生じた。この一帯では、そのほか床面の盛り上がり・建具のくるい・電柱の傾斜・配水管の破損などが見られた。また、マンホールが数cm浮き上がっているのも認められたが、噴砂は確認されていない。住民によれば、被害が特に大きい家の位置は、造成前の沢地と畑の境界部とのことであった。また、13番地には、15、16年前まで湧水を利用した池があり、その池を埋め立てた地盤にまたがって建てられた家屋は特に大きな被害を被っている。





写真9.10 釧路市武佐4丁目27番地わかさ保育園前の斜面崩壊  
 (Photo 9.10 Slope Failure at 27, Musa 4-chome, Kushiro City)

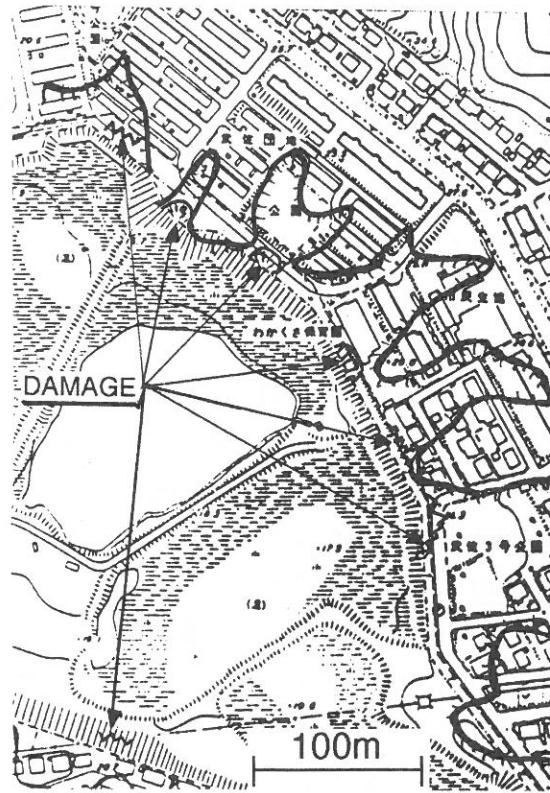


図9.11 武佐4丁目崩壊地付近の切り盛りの境界と地盤変状発生地点  
 (基図は1987年1/2,500国土基本図)<sup>10)</sup>  
 (Fig. 9.11 Topographic Map of Musa 4-chome Showing Boundary of Cutting and Filling  
 and Locations of Ground Failures<sup>10)</sup>)



図9.12 武佐4丁目崩壊地付近の航空写真（1963年撮影）<sup>10)</sup>  
 (Fig. 9.12 Aerial View of Musa 4-chome in 1963<sup>10)</sup>)

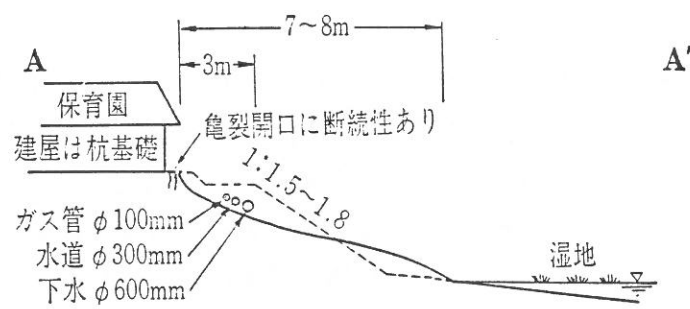


図9.13 武佐4丁目崩壊地の模式断面図<sup>9)</sup>  
 (Fig. 9.13 Schematic Profile of Slope Failure at Musa 4-chome<sup>9)</sup>)

### 9.2.3 被害と地形改変との関係

図9.14は、本地域の造成前の地形図である。被害が最も著しかった緑ヶ岡5、6丁目は開析谷にあっており、しかも谷底が湿地であることから谷底部への地下水の供給が多い地域であることがうかがわれる。

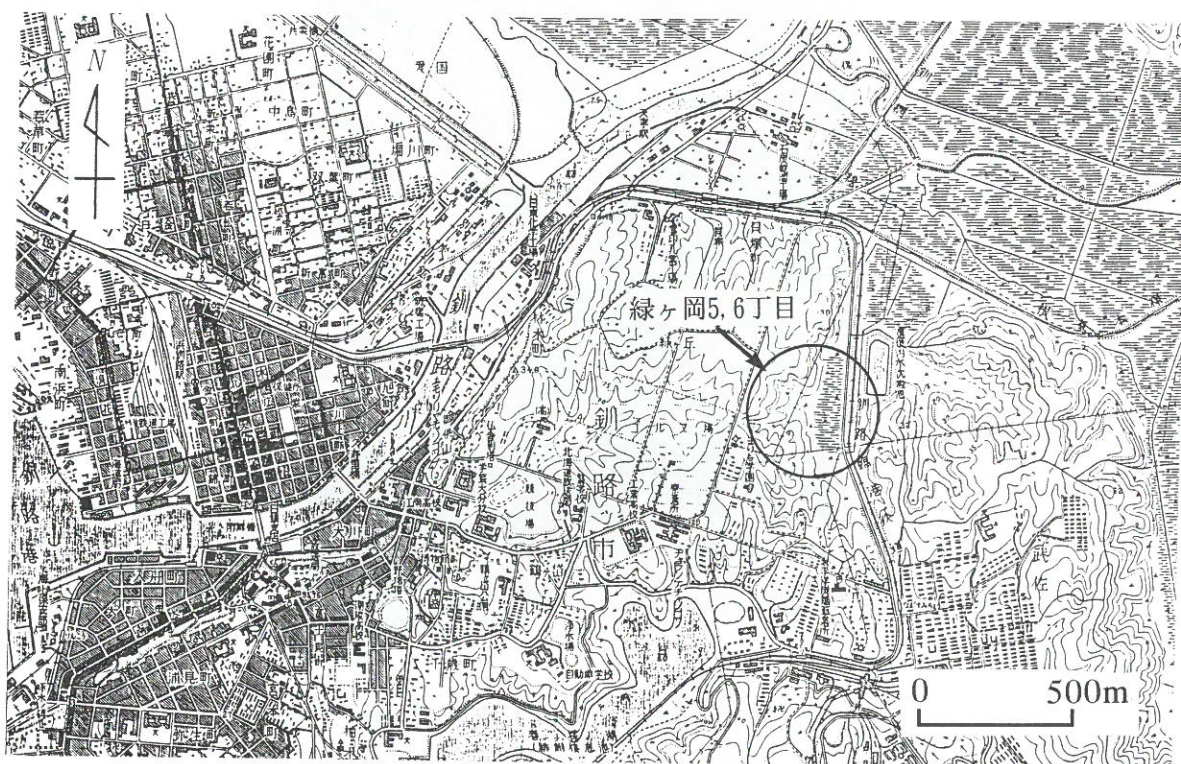


図9.14 釧路市東部地域の造成前の地形図 (1/25,000、釧路、1958)

(Fig. 9.14 Topographic Map of the East of Kushiro City Dated 1958)

図9.15に、1956年および1966年釧路市都市計画図と1987年国土基本図に描かれた2mごとの等高線の判読によって推定した切土と盛土の境界線を示す。この図の範囲でも盛土の最大厚さは約12mであった。同図には、ガスパ管補修のために掘削した地点を小さい●印で示した。ただし、この中には補修時の圧力試験用の掘削地点も多く含まれているので全部が被害地点とは言えないが、盛土部分に被害が多いことが推測される。特に大規模な掘削が行われた4地点（同図中大きい■印）はいずれも盛土部分にあり、このうち3地点は切り盛り境界部にあたることがわかる。この傾向は、1978年宮城県沖地震に際しても丘陵地の宅造地における住宅やライフラインの被害で認められたものである。

図9.16に造成前後の標高より被害地点の盛土および切土厚さを調べた結果を示す。図中の標高は、大縮尺地形図（1956年1/3,000釧路市都市計画現況図、1963年1/5,000国土基本図、1987年1/2,500国土基本図）に描かれた2m毎の等高線から読みとっている。この図からも、被害の大部分が盛土で生じたことがわかる。



図9.15 緑ヶ岡地区における切り盛りの境界とガス管修理時の掘削地点<sup>11)</sup>

(Fig. 9.15 Map of the Midorigaoka Showing Boundary of Cutting and Filling and Locations of Gas Pipelines Repair<sup>11)</sup>)

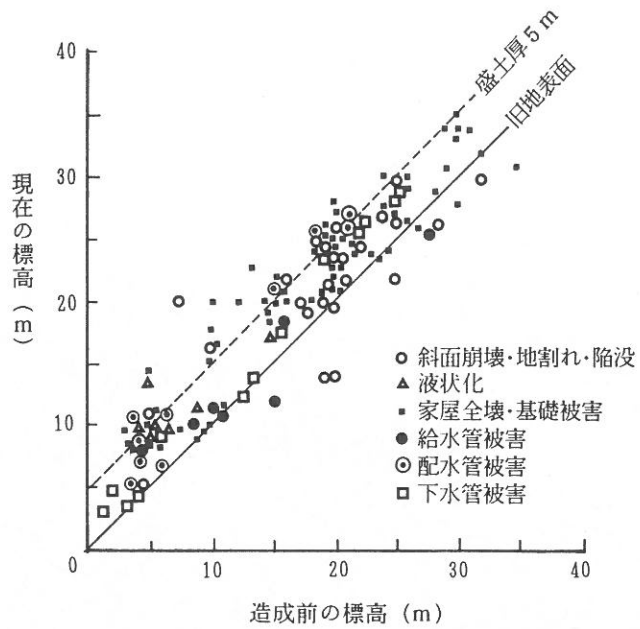


図9.16 造成地における被害地点の造成前後の標高<sup>12)</sup>  
 (Fig. 9.16 Elevation Before and After Reclamation at the Location of Earthquake-related Damage<sup>12)</sup>)

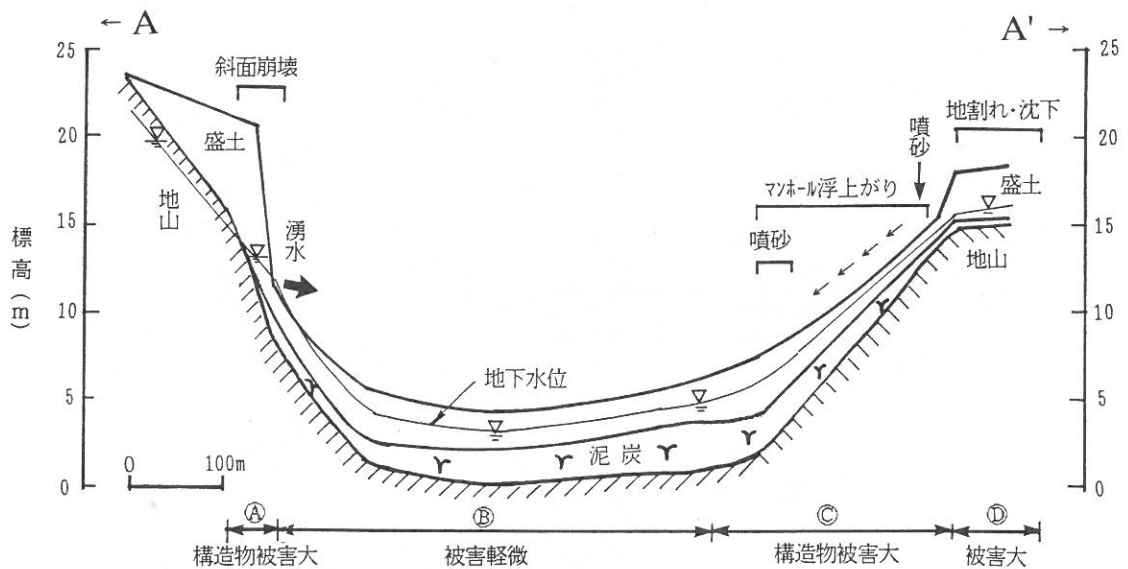


図9.17 緑ヶ岡5、6丁目の南北方向推定土層断面図<sup>13)</sup> (断面位置は図9.5に示す)  
 (Fig. 9.17 Soil Profile along Cross-section A-A' in Midorigaoka 5- and 6-chome (See Fig. 9.5 for Location)<sup>13)</sup>)

図9.17は、ボーリング資料を基に作成した推定土層断面図である。谷の旧地表面付近には、厚さ1～数mの泥炭層が堆積しており、それ以浅は盛土と推定される。盛土は細粒分が多い火山灰質細砂が主体であり、 $N$ 値は5以下と極めて緩い。地下水位は、区間Aの崖上では深い、崖下では若干被圧されている。区間BおよびCでは極めて浅くGL-1m以浅にある。区間Dではそれよりやや深く、GL-2～-3mである。

以上の地形・地盤状況と被害の発生状況を対比すると、以下のことが推察される。区間Aでは、谷壁部を高盛土した斜面が崩壊したことにより構造物に多大な被害を生じた。区間BCでは地下水位以深の盛土の一部が液状化したと推定される。しかし、液状化層が薄かったために、その影響は区間Bでは少なかった。これに対して区間Cでは、地表面や液状化層が緩傾斜していたため側方流動を生じ、家屋基礎や埋設管に大きな被害を与えた。ただし、液状化層が薄かったために、噴砂は軽微で、マンホール等の浮き上がり量も数cm～10数cmと小さかった。区間Dでは、液状化層が極めて薄く、その上部の非液状化層の厚さが2～3mと厚かったために、地表に液状化の痕跡は現れなかった。しかし、表層地盤の側方流動の起点となったために、大きな地割れや沈下が発生し、これにより家屋基礎や埋設管に被害を生じた。

#### 9.2.4 地盤災害を生じた土の特性

図9.18に緑ヶ岡5、6丁目で採取された噴砂と崩積土の粒径加積曲線を示す。また、表9.3には、これらの土の物理試験結果を示す。同図および同表には本地域以外の地盤災害発生日点の土も併せて示している。緑ヶ岡および茅沼の土以外は、細粒分が少ないきれいな砂であるのに対して、緑ヶ岡の噴砂や崩積土は細粒分を40～50%程度含んでいる。ただし、緑ヶ岡の噴砂の粘土分含有率は低く、5%未満である。噴砂は地表に噴き出してくる過程で分級されている可能性があるが、緑ヶ岡の噴砂は従来の地震による噴砂と比べても細粒分が多い土と言えよう。

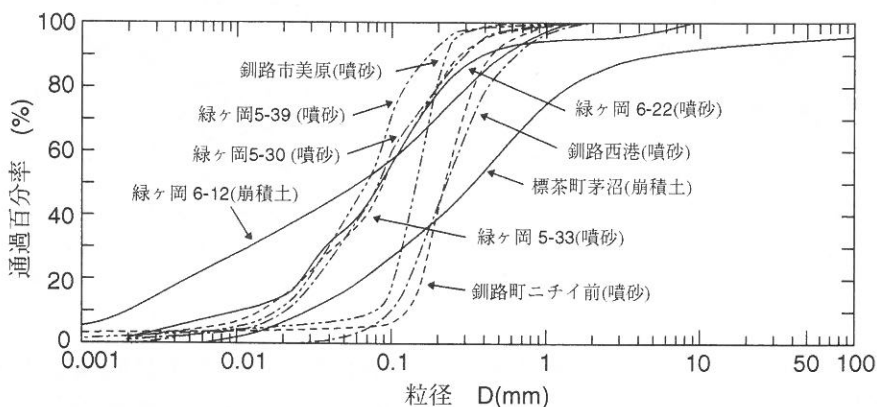


図9.18 釧路地域における噴砂および崩積土の粒径加積曲線<sup>13)14)</sup>

(Fig. 9.18 Grain Size Distribution Curves for Boiled Sands and Colluvial Deposits in Kushiro District<sup>13)14)</sup>)

表9.3 釧路地域における噴砂および崩積土の物理特性<sup>13)14)</sup>  
 (Table 9.3 Physical Properties of Boiled Sands and Colluvial Deposits in Kushiro District<sup>13)14)</sup>)

試料名	D50(mm)	FC(%)	PC(%)	$G_s$	$e_{max}$	$e_{min}$	$I_p$
釧路西港(噴砂)	0.397	3.5	0.0	2.761	0.936	0.545	NP
釧路町ニチイ前(噴砂)	0.225	5.6	4.6	2.699	0.067	0.652	NP
釧路市美原(噴砂)	0.148	9.6	3.6	2.693	1.303	0.766	NP
緑ヶ岡6-12(崩積土)	0.045	55.8	21.2	2.582	2.314	1.120	4.6
緑ヶ岡5-30(噴砂)	0.080	45.9	1.5	2.450	4.020	2.021	—
標茶町茅沼(崩積土)	0.310	20.2	7.3	2.603	1.616	0.964	4.0

図9.19に表9.3に示した地点での噴砂や崩積土について、繰返し三軸試験装置を用いて液状化試験を行った結果を示す。また、これらの試験結果を細粒分含有率と粘土分含有率と液状化強度比との関係で整理すると図9.20および図9.21となる。なお、両図には、1987年千葉県東方沖地震、1989年ロマ・プリエタ地震での噴砂や埋立柱としてよく用いられているまさ土、山砂、建設残土などに対する試験結果も併記されている。これらは、

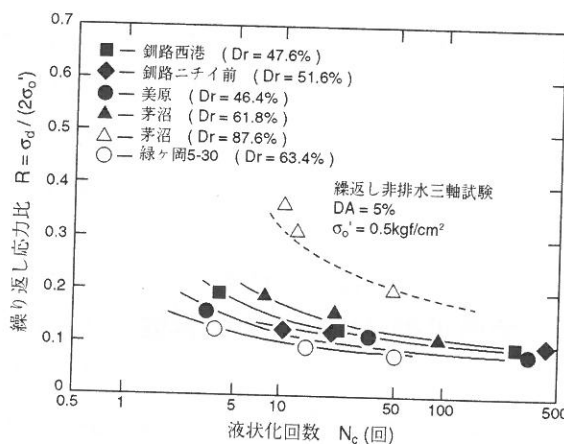


図9.19 噴砂および崩積土の液状化試験結果<sup>13)14)</sup>  
 (Fig. 9.19 Cyclic Stress Ratio  $R$ , Versus Number of Cycles to  $DA=5\%$ ,  $N_c$ , Forboiled Sand and Colluvial Deposits in Kushiro District<sup>13)14)</sup>)

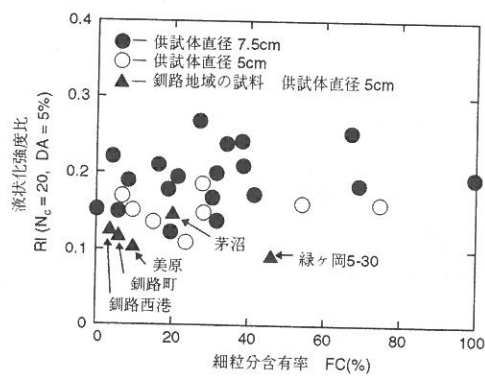


図9.20 噴砂および崩積土の液状化強度と細粒分含有率<sup>13)14)</sup>

(Fig. 9.20 Liquefaction Strength  $RI$ , Versus Fine Contents  $FC$ , for Boiled Sands and Colluvial Deposits<sup>13)14)</sup>)

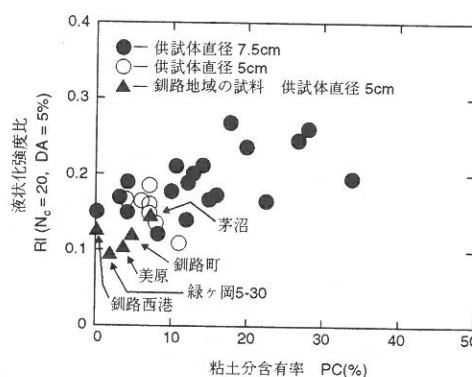


図9.21 噴砂および崩積土の液状化強度と粘土分含有率<sup>13)14)</sup>

(Fig. 9.21 Liquefaction Strength  $RI$ , Versus Clay Contents  $PC$ , for Boiled Sands and Colluvial Deposits<sup>13)14)</sup>)

不攪乱試料ではなく、全て同様な試料の詰め方（内径1.2cmのロートを使って30cmの高さから落下させて詰める方法）を行って液状化強度を求めている。このような同一な詰め方をした場合の液状化強度を比較すると、今回の釧路沖地震での被害地の試料は、他の地域の試料に比べて液状化強度が小さく、液状化しやすい砂であると言える。

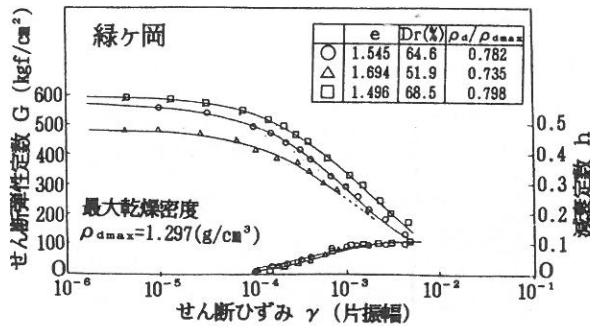


図9.22 緑ヶ岡6丁目の崩積土のG、h~ $\gamma$  関係<sup>14)</sup>

(Fig. 9.22 Shear modulus G, Damping Constant h, Versus Shear Strain  $\gamma$ , for Colluvial Deposits at Midorigaoka 6-chome<sup>14)</sup>)

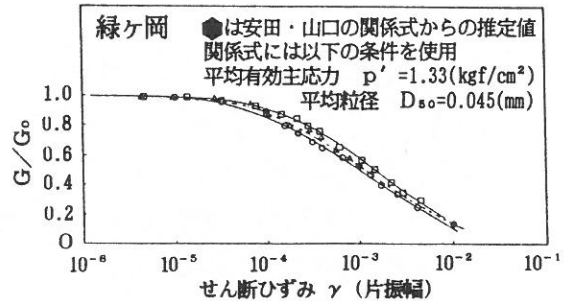


図9.23 緑ヶ岡6丁目の崩積土のG/G₀~ $\gamma$  関係<sup>14)</sup>

(Fig. 9.23 Normalized Shear Modulus  $G/G_0$ , Versus Shear Strain  $\gamma$ , for Colluvial Deposits at Midorigaoka 6-chome<sup>14)</sup>)

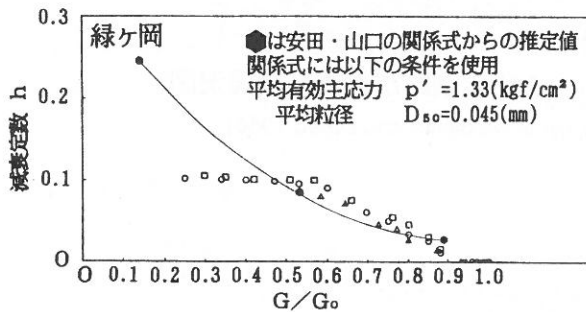


図9.24 緑ヶ岡6丁目の崩積土のh~G/G₀関係<sup>14)</sup>

(Fig. 9.24 Damping Constant h, Versus Normalized Shear Modulus  $G/G_0$ , for Colluvial Deposits at Midorigaoka 6-chome<sup>14)</sup>)

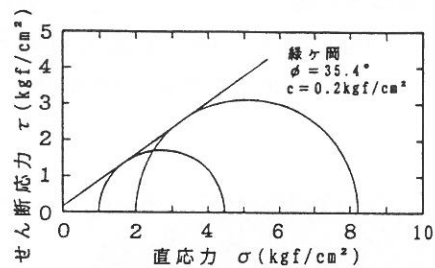


図9.25 緑ヶ岡6丁目の崩積土のモールの応力円<sup>14)</sup>

(Fig. 9.25 Mohr's Stress Circle for Colluvial Deposits at Midorigaoka 6-chome<sup>14)</sup>)

緑ヶ岡6丁目12番地の試料（崩積土）について、前述の供試体の作成方法で落下高さを3段階に調整し、異なる相対密度をもつ3種類の供試体に対して繰返しねじりせん断装置を用いて、動的変形特性試験が行われている<sup>14)</sup>。図9.22にせん断弾性定数G、減衰定数h~せん断ひずみ $\gamma$ の関係を示す。この図からG/G₀~せん断ひずみ $\gamma$ の関係を示したものが図9.23である。また、減衰定数h~G/G₀の関係を示したものが図9.24である。図中の実線は安田・山口の関係式<sup>15)</sup>からの推定値である。これらの図より、せん断ひずみが小さいところでは豊浦標準砂の試験結果とほぼ同様であるが、せん断ひずみが大きい範囲では減衰定数hが大きくならず、振動が減衰しにくい傾向が認められる。

また、緑ヶ岡6丁目12番地の試料（崩積土）については、圧密排水三軸圧縮試験も行われており、その結果を図9.25に示す。



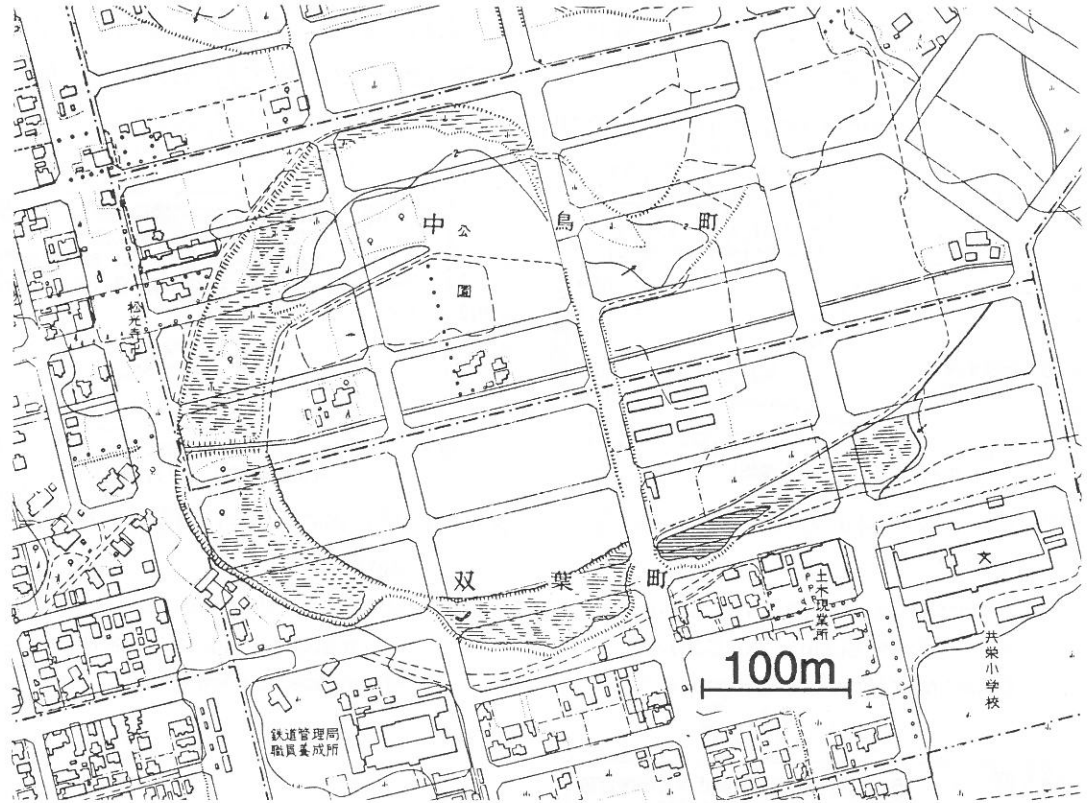


図9.26(a) 中島公園付近の三日月湖 (1956年釧路市都市計画現況図)  
 (Fig. 9.26(a) Locations of Oxbow Lake in Nakajima-cho Dated 1956)

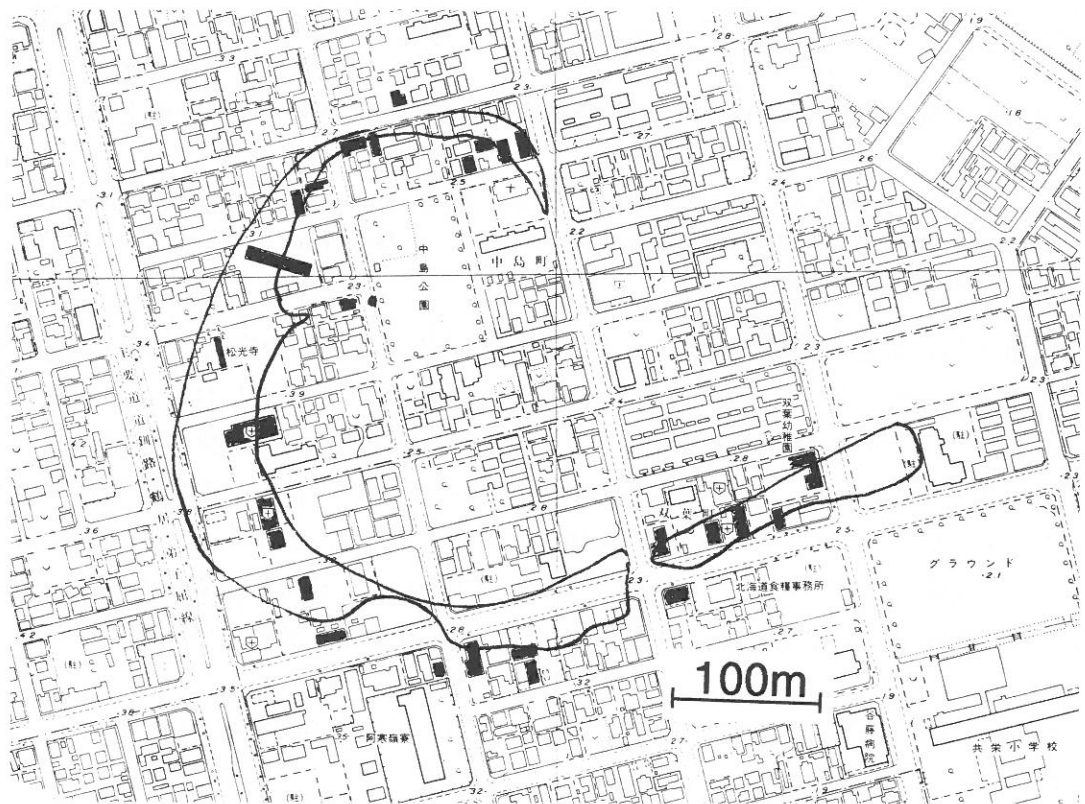


図9.26(b) 中島公園付近の家屋被害と三日月湖  
 (Fig. 9.26(b) Locations of Collapsed Houses and former Oxbow Lake in Nakajima-cho)

## 9.3 釧路市西北部の造成地の被害

### 9.3.1 中島町および双葉町

住宅地の被害の多くは、腐食土層の厚い箇所や山間の谷地に盛土をした場所などに発生しており、旧地形との関連が深い。地震被害と旧地形との関係について前節でも詳しく述べたが、釧路市中島町および双葉町付近で、旧河川跡の三日月湖上の造成された土地の被害と旧地形との関係が明瞭に見られたので、ここではこの地区を取り上げてみる。

中島町および双葉町は、釧路平野に広がる低地のうち砂丘の後背湿地にあたり、1956年の地形図によれば、図9.26(a)に示すように、明らかに旧河道跡の三日月湖を含む地域である。1950年代の後半に土地区画整理事業によって市街化が進められ、現在は住宅や病院あるいは中低層のアパートなどが立ち並んでいる。ボーリング柱状図および新旧地形図によれば、全体的に少なくとも1m程度、旧河道では3m程の盛土がなされているものと推定される。盛土材料としては石灰殻を使用した例もあったと言う。

地震の影響により建物の外壁や基礎あるいはブロック塀などに亀裂などの損傷がかなり認められ、老朽化した建物ばかりでなく比較的新しいRC構造の建物にも被害が認められた。図9.26(b)には被災した建造物を黒く示してあるが、これらの被害箇所と旧河道の三日月湖の位置が極めて明瞭に重なることがわかる。また、中島公園脇の舗道の電柱は、若干の傾斜と沈下傾向が認められ、液状化が発生した可能性もある。

### 9.3.2 美原地区

美原地区は釧路市の北部の泥炭地に位置するが、昭和49～53年頃盛土を行って、住宅団地が造られている。団地の中央部に小、中学校および公営住宅のアパートが建てられ、その周囲に一戸建ての木造家屋が建てられている。

図9.27に示すように、地震によって団地内の南西端および北西端で液状化が発生した。この噴砂地点およびそこでの被害状況は岡崎<sup>16)</sup>により詳細に調べられたものである。図9.18で前述したように、噴砂は平均粒径が0.15mm前後の細砂であった。図9.27のうち、A地点付近から東の方に向かって、幅の狭い地割れも生じていた。また、釧路市によると、図中に示したように水道の給・配水管が5カ所で、下水道管が8カ所で被害を受けた。噴砂発生地点は木造家屋が建てられている区域のみで発生したが、写真9.11に見られるよ

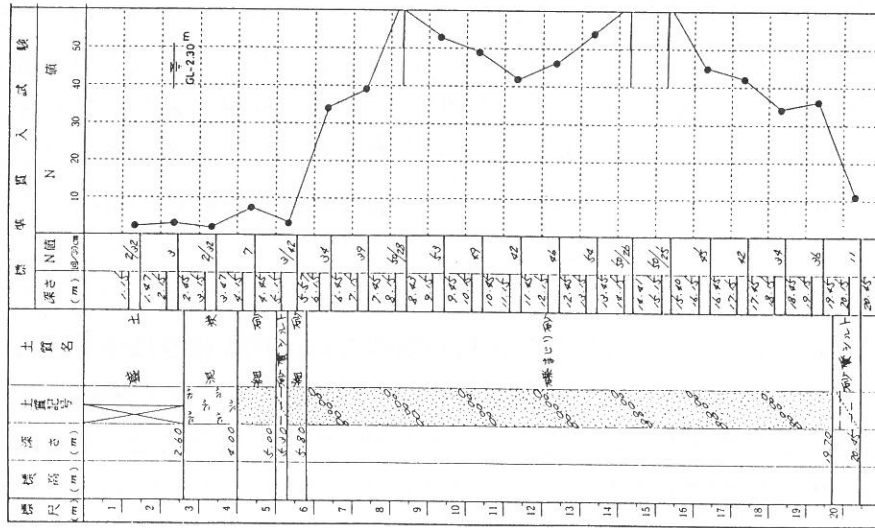


写真9.11 美原団地における噴砂発生状況  
(Photo 9.11 Boiled Sand Observed at Mihara Housing Area)

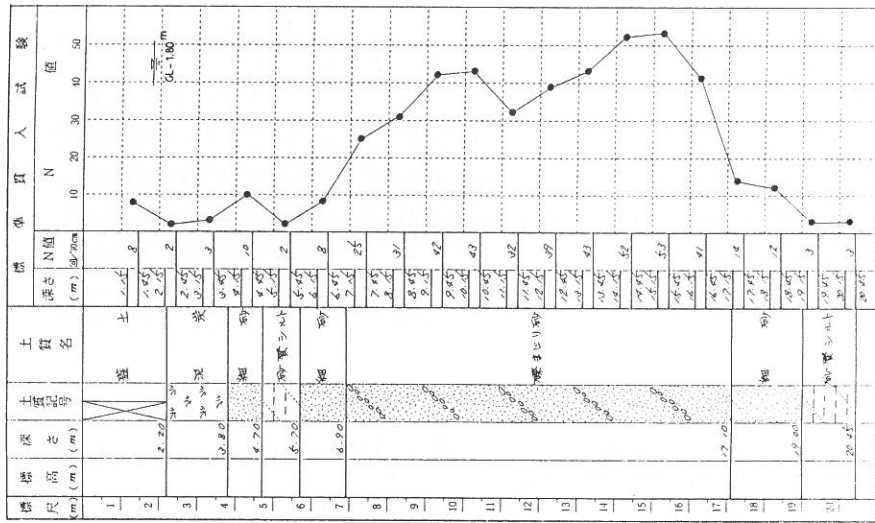


図9.27 美原団地における噴砂および上下水道管等の  
被害発生箇所（岡崎<sup>16)</sup>の原図に加筆したもの）

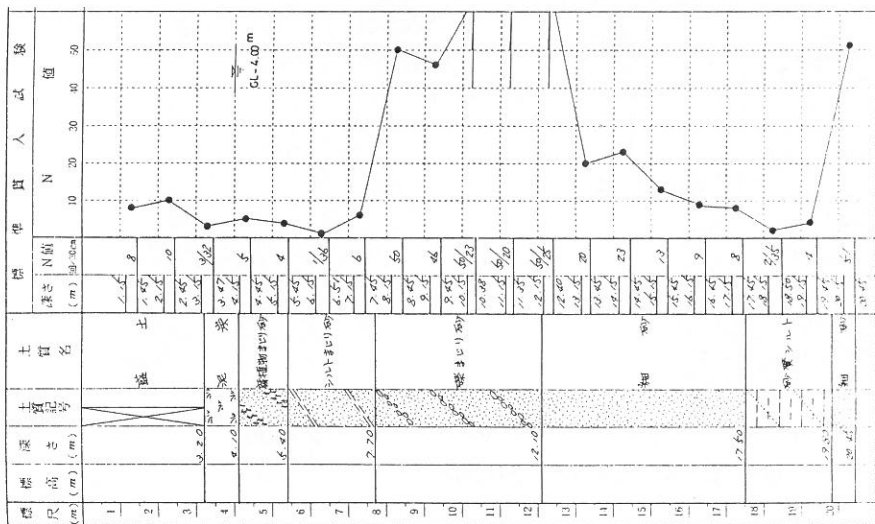
(Fig. 9.27 Locations of Boiled Sands, Damaged Water  
Distribution Pipes and Damaged Sewage Pipes at  
Mihara Housing Area<sup>16)</sup>)



(c) No. 10



(b) No. 19



(a) No. 26

図9.28 代表的な3地点の土質柱状図 (釧路市<sup>17)</sup>の資料から抜粋)  
(Fig. 9.28 Soil Profiles at Typical Three Sites<sup>17)</sup>)

うに、家屋自体に沈下や傾斜が生じるほどには至っていなかった。なお、下水道の被害箇所と噴砂地点とは必ずしも一致していない。

美原団地内では造成後にいくつかの地点で地盤調査が行われているが、そのうち、比較的深い所までボーリングが行われており、かつ標準貫入試験も行われている代表的な調査結果として、図9.27のNo.10、19、26の地点における調査結果<sup>17)</sup>を図9.28に示す。これらにみられるように、美原団地では地表から2~3mの深さまで盛土がされている。盛土の下には原地盤の泥炭層が1~2mの厚さで堆積し、また、その下部は沖積の細砂層が堆積している。地下水位は盛土層と泥炭層の境界付近にある。

以上のことから考えると、液状化した層は盛土か泥炭下の細砂層のどちらかであると考えられる。10.3節で後述するように、一般にこの沖積の細砂層の液状化強度は小さくはないようである。また、この層が液状化したとしても、その上に泥炭層と盛土層が4mほどもあり、地表にまで噴き上がってきにくい。また、噴き上がってきた場合には、美原団地全体で噴砂・噴水が発生するはずである。したがって、美原団地で見られた噴砂はこの層の液状化によるものではないのではないかと考えられる。

一方、盛土層の液状化に起因すると考えた場合にも、噴砂は団地の全域で発生するはずである。ところが、図9.27にみられるように噴砂は局所的にしか発生していない。ただし、図9.29に模式図を示すように、泥炭層が局所的に凹地となっていて、その中に盛られた土が液状化したと考えると、①のように液状化層が厚い所や、②のように液状化層は厚くなくてもその上の盛土層が薄い所では噴砂・噴水が地表に出てくる可能性がある。

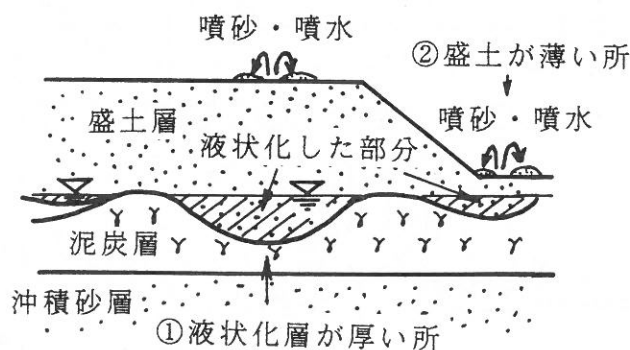


図9.29 噴砂・噴水発生の一の原因についての模式図

(Fig. 9.29 One Idea on Sand Boiling)

## 9.4 標茶町茅沼地区宅地造成盛土の被害

### 9.4.1 被害状況と地形・地質

本節では、標茶町茅沼地区シラルトロエトロで生じた大規模な宅地造成地の被害とその原因検討の結果を示す。対象と地点は図9.30に示されている。

写真9.12～9.15に被害状況を示す。泥炭地盤上に作られた長さ200m程度の造成地が、湿地帯に向かって崩壊し、その上に建てられていた住宅が大きな被害を受けたと言うのが、被害の概要である（口絵写真18参照）。図9.31(b)に被害状況を示す。最も湿地帯よりである住宅地南側の道路より南側では、表9.4に示すように、9棟の住宅が、斜面滑落を含む全壊・半壊の被害を受け、ほとんどが継続使用が不可能な状況になった。また、排水路、電線・電話線架空部分も大きな被害を受けた。この住宅は、温泉が利用できる住宅地として販売されていたものであるが、浄水と温泉を各戸に排水する管路も全面的に破壊された。



写真9.12 造成地被害の全景  
(Photo 9.12 General View of Damaged Site)



写真9.13 盛土部の被害（手前が図9.31(b)の住宅G、奥に見えるのが住宅HとI。崩壊部には水のたまっているのが見える。）

(Photo 9.13 Damaged at Reclaimed Area)



写真9.14 住宅の被害（住宅F。地中ばりの鉄筋が抜け出している）

(Photo 9.14 Damage to Houses)



写真9.15 湿地帯の変状（写真の右側が住宅地。地表が持ち上がり灌木が山側に傾斜している）

(Photo 9.15 Ground Deformation at Marsh)

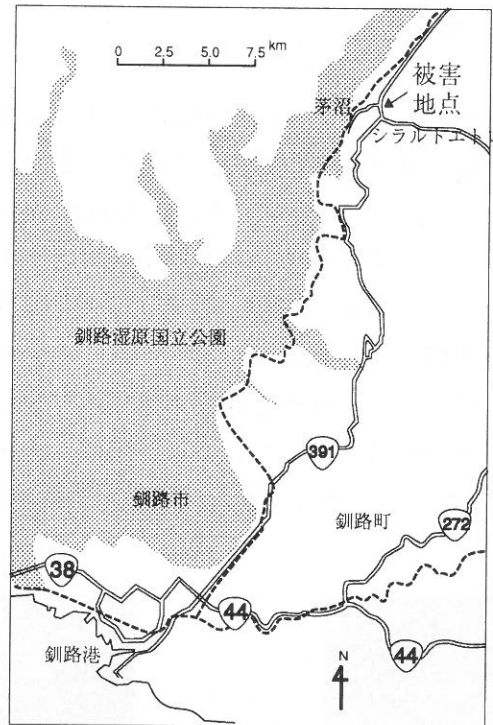


図9.30 調査地点位置図

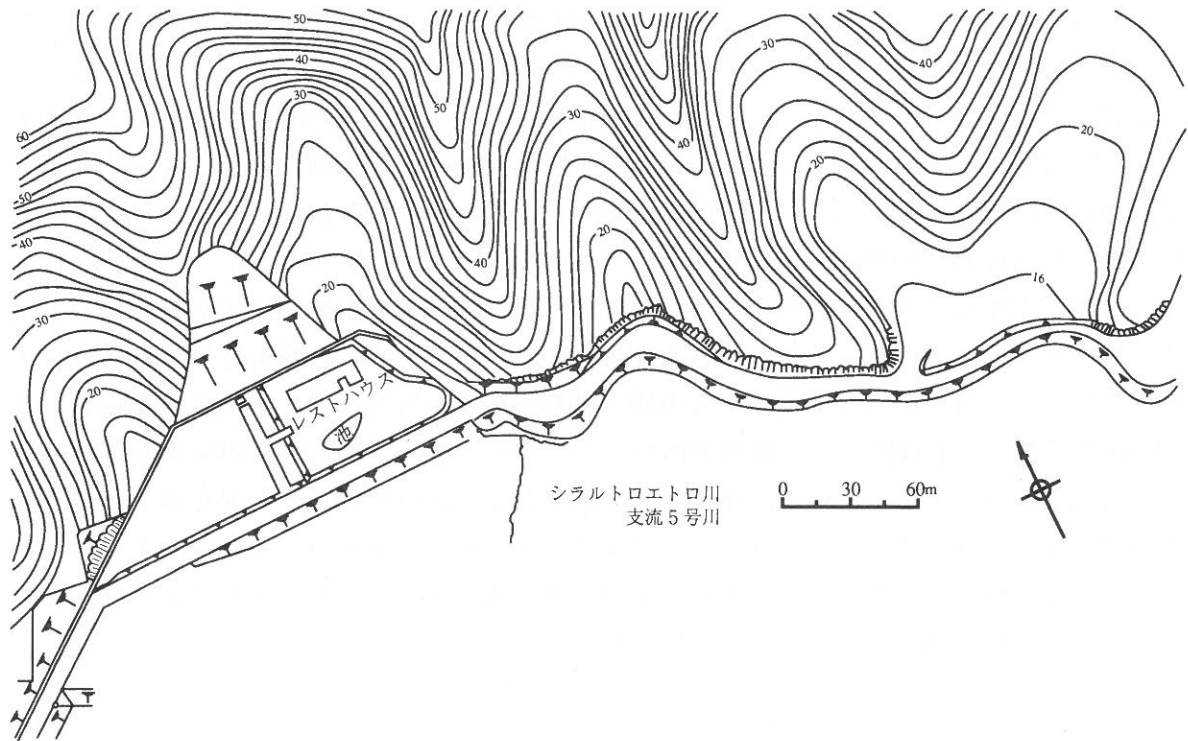
(Fig. 9.30 Location of Investigated Site)

表9.4 住宅地の被害状況

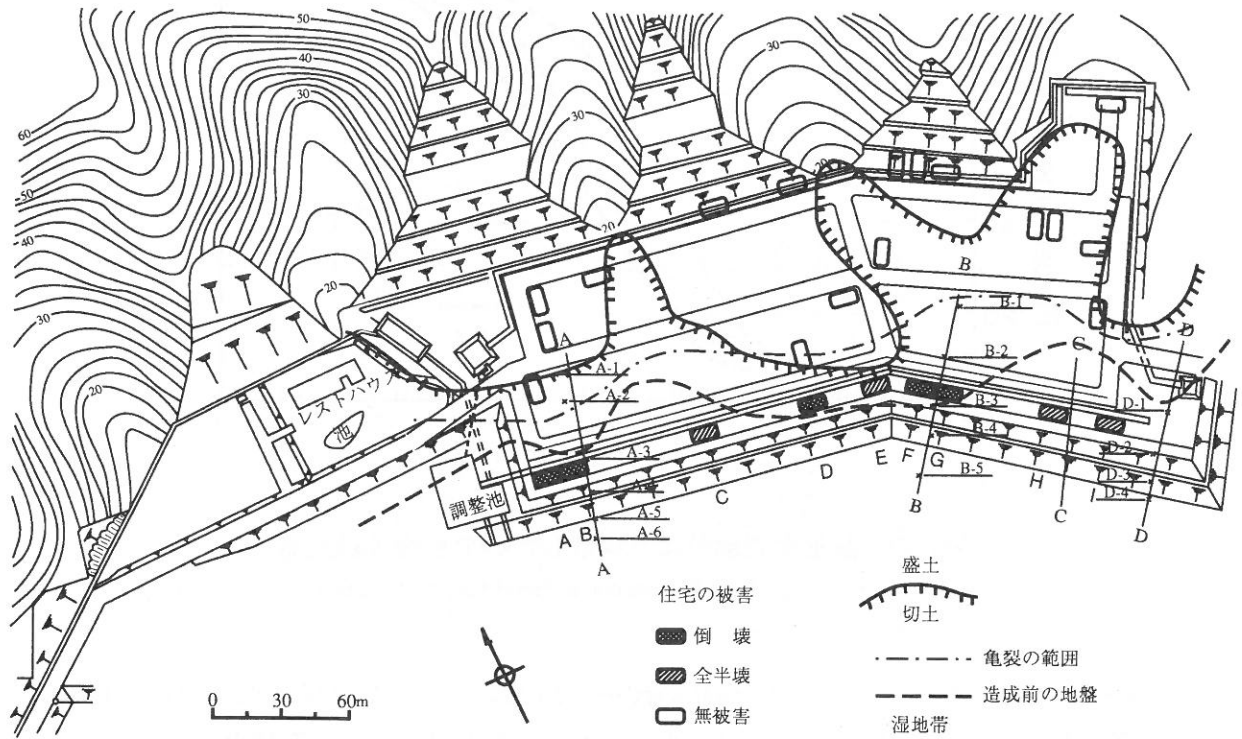
(Table 9.4 Summary of Damage of Houses)

記号	構造	傾斜	水平移動	沈下	庭	基礎底面	構造被害	居住
A	木造平屋	大湿地側	無し	0.5m		露出小	破損大	不可
B	木造平屋	大湿地側	1m	小	流出	露出大空洞1m	破損小	不可
C	木造平屋	小湿地側	小	1m	流出	露出小	破損小	不可
D	木造平屋	大山側	1m	1m	流出	露出小	破損小	不可
E	木造平屋	大湿地側	1.5m	1m	流出	露出大	破損大	取り壊し
F	木造2階	大湿地側	1.5m	1m	流出	露出小	破損大	不可
G	木造平屋	大湿地側	1.5m	1m	流出	露出小	破損大	不可
H	木造2階	小	小	小	流出	露出無し	破損軽微	可
I	木造平屋	小	小	小	流出	露出無し	破損軽微	可

(注) 記号は、図9.31(b)と対応している。



(a) 造成1期工事  
 ((a) First Stage of Construction)



(b) 造成2期工事と被害状況  
 ((b) Second Stage of Construction and Damaged Pattern)

図9.31 宅地造成地域の地形と被害

(Fig. 9.31 Geometry and Damage Pattern of Area Damaged)



この造成地は、シラルトロエトロ湖につながる湿地帯に面した斜面に造成されたものである。1982年に行われた1期工事では、西側の一部に温泉を利用して、レストランとホテルが建設されている。1985年の2期工事では南側の湿地帯との境界付近で大規模な造成が行われ、温泉が利用できる住宅地として販売された。図9.31(a)は1期工事終了時の地形図、(b)は2期工事の造成計画平面図に変更箇所を修正した地形図である。また、(b)には地盤変状の状況と家屋の破壊状況も示している。

造成は、湿地帯に面した北側の地山斜面を切り崩し、残土を湿地帯に向かって盛土することによって用地を拡幅するという方式で行われた。したがって、盛土材料は地山を切り崩した際の発生残土であり、他所からの盛土材料の搬入は行われていない。最大盛土厚は10m程度である。土質は、この地域全体がそうであるように、火山灰性のシルト質砂あるいは砂質シルトである。図9.32に崩壊部分より採取した砂の粒径加積曲線を示す。盛土の転圧はブルドーザーのキャタピラとショベルのアタッチメントといった重機により行われた。巻き出し厚等の管理は特に行われていないと考えられる。また、盛土部分でも地下水対策としての排水施設は特に設けられていない。

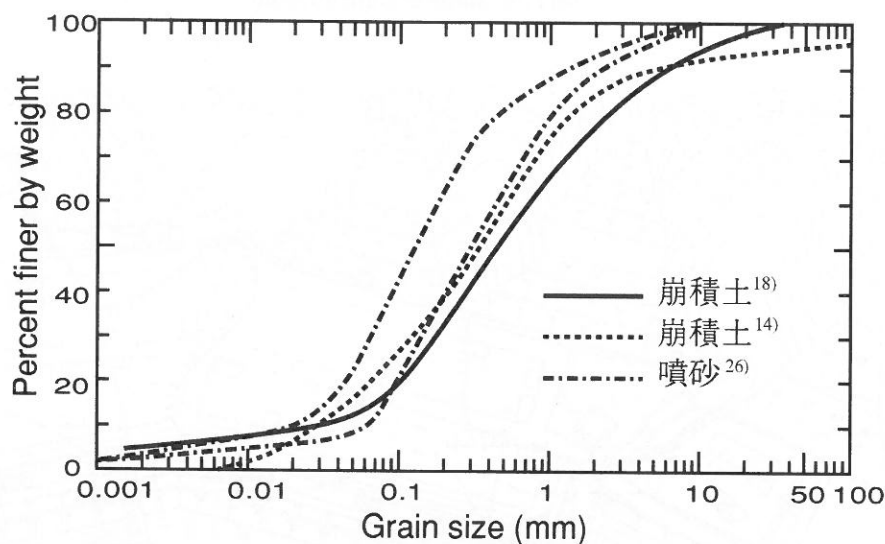


図9.32 盛土崩壊部分より採取した砂の粒径加積曲線  
(Fig. 9.32 Grain Size Distribution of Sand Taken at Failure)

図9.30に示されるように、盛土は4筋の沢を埋めるようにして造成されている。被害はこの盛土部に集中して発生している。図9.31(b)に一点鎖線で示した亀裂の範囲は、幅2cm以上の地表面の亀裂の大まかな分布範囲であるが、特に急な斜面を形成していた部分との境界とよく一致しており、湿地帯の上に盛土された部分が今回の被害を起こした範囲となっている。住宅の被害もこの地域に集中している。

被害調査のため1993年4月20～22日、崩壊地域の断面測量およびスウェーデン式貫入試験によるサウンディング調査を行った。図9.33に調査結果をまとめて示す。図のA～D断面の位置は、図9.31(b)に示されている。B-B断面は最も被害が大きかった部分、D-D断面は最も被害の小さかった部分に相当している。4つの断面の内、C-C断面を除く3つの断面ではスウェーデン式貫入試験を行った。試験は、各断面につき4～6地点で実施した。地形の凹凸により足場確保が困難であった調査地点では、調査地点は直線から1m程度ずれていることもあり、調査地点の標高が縦断面図と一致していない地点もある。試験は原則として、半回転数 $N_{sw}$ が80を越える、基盤と判断される地層まで行ったが、ロッド延長が10mを越える箇所については、これ以上の調査は行わなかった。

図9.33の土質分類、地下水位は、サウンディング調査の結果より推定したものである。旧沢部では集水地形となるため、斜面崩壊部では水たまりも多みられた。図の地下水位はこの水たまりと、ロッド回収時のロッドの汚れ具合から推定したものである。また、荷重によってのみ自沈する層は泥炭性の軟弱層と判断した。この軟弱層は薄い砂質土を若干含んでいるようであるが、斜面先端部での厚さは7mにも及んでいる。表9.5に泥炭地盤の各調査地点における $N_{sw}$ の平均値を示すが、上部の盛土の有無により貫入抵抗の顕著な差が認められ、盛土の下に位置する泥炭層では圧密の進行による強度増加がある。盛土層は $N_{sw}$ が10前後といえるが、表層部は若干固い。盛土内部では一時的な $N_{sw}$ の低下（自沈）がよくみられたが、これは、内部に発生した亀裂によるものと考えられる。

表9.5 泥炭地盤の平均 $N_{sw}$   
(Table 9.5 Average  $N_{sw}$  Value at Peat Site)

調査地点	泥炭層の深さ (m)	$\bar{N}_{sw}$	盛土
A-3	5.5	23.0	有
A-4	3.5	15.1	有
A-5	1.75	7.0	無
A-6	0.25	5.3	無
B-3	4.0	39.8	有
B-4	2.75	20.9	有
B-5	2.0	15.6	無
D-3	3.5	40.0	有
D-4	1.25	9.7	無

なお、この調査後、盛土復旧作業が行われた。この際には、盛土のり面は第2期造成工事の時よりも穏やかなものとし、盛土の崩壊によって流下した土砂の一部を押さえ盛土として残して転圧している。道路の沈下部には採石を投入して補修している。この後、管路の復旧と家屋の補修または取り壊しが行われた。

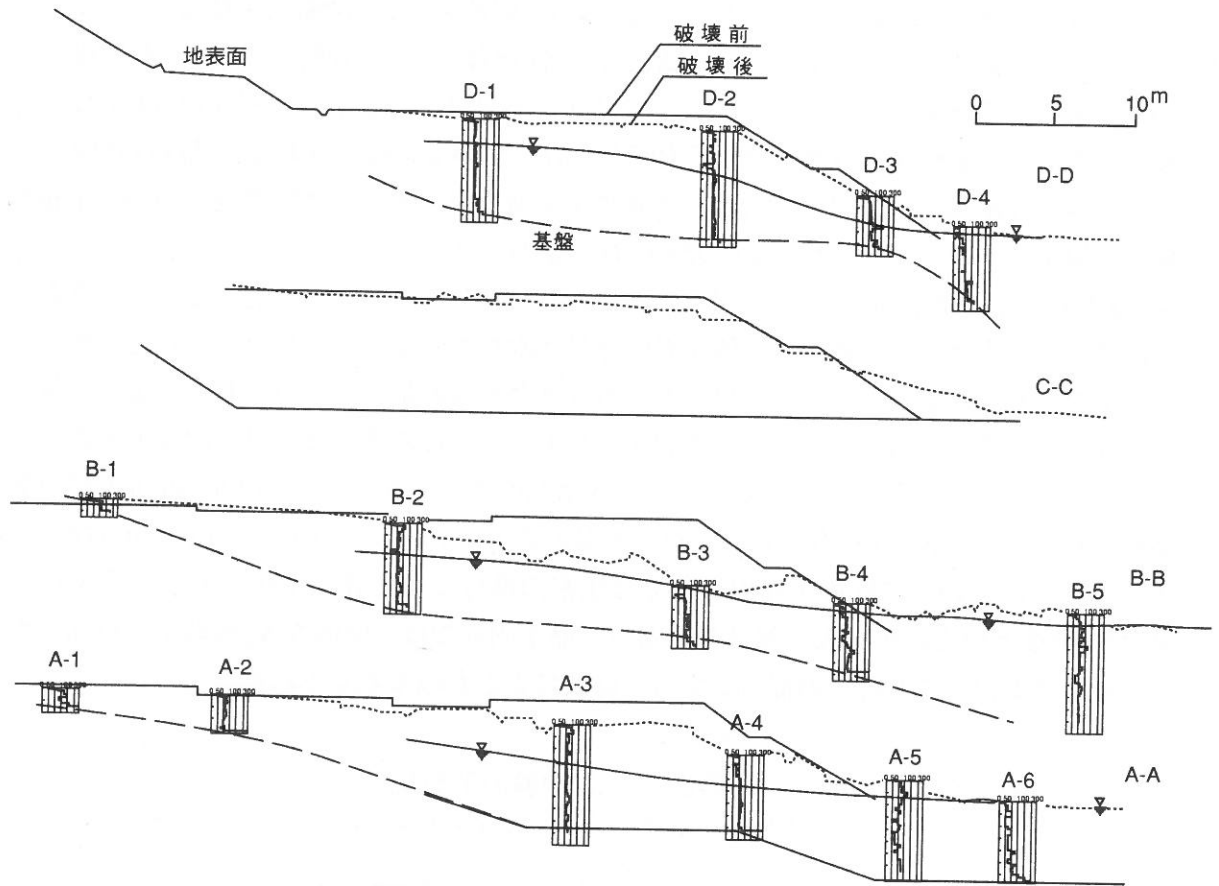


図9.33 盛土部分の縦断面図  
(Fig. 9.33 Sections of Reclaimed Portion)

#### 9.4.2 斜面崩壊に対する検討

図9.33に示したように、盛土部分の斜面崩壊の形態は、流動型である。また、住宅の沈下と山側への傾斜が生じている箇所もあり（表9.4参照）、さらに、斜面の先の湿地帯では灌木の山側への傾斜、転倒も見られている（写真9.15）。この様な被害状況は、いわゆる円弧滑りによる崩壊が生じていることを示唆するものである。そこで、ここでは、分割簡便法<sup>19)</sup>による円弧滑りの計算を行う。

現地調査結果と造成計画資料を参考にし、解析断面の形状および土質分布を図9.34の様に設定する。また、解析に用いる土質定数を表9.6に示す。表の盛土材料の土質定数は室内試験<sup>18)</sup>に基づき決定し、泥炭地盤については、サウンディング結果に基づき推定した<sup>20)</sup>。先に示したように、泥炭地盤では盛土による圧密の進行に伴う強度増加が見られる。表に示した数値は、盛土下の泥炭地における $N_{sw}$ の平均値27.78を用いて計算したものである。

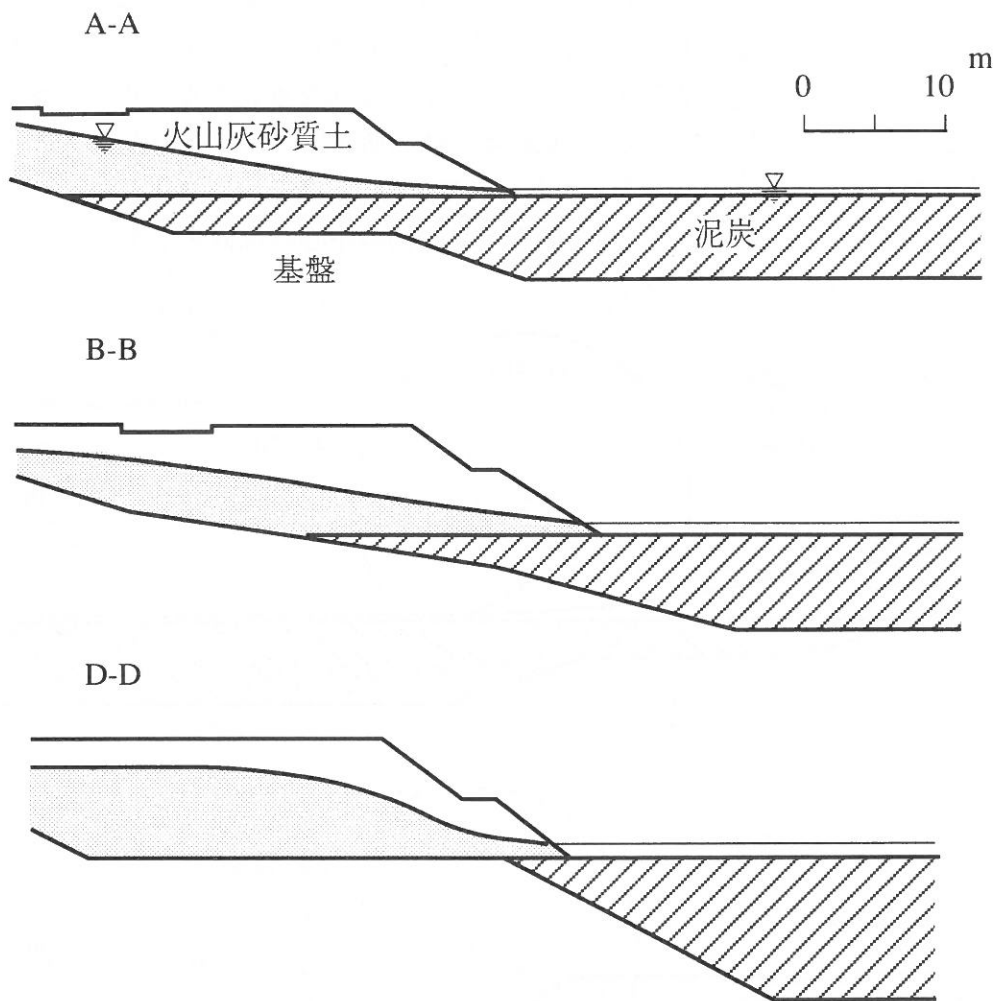


図9.34 検討に用いた断面形状  
(Fig. 9.34 Sections Used in the Investigation)

表9.6 土質試験等により推定される土質定数  
(Table 9.6 Soil Properties Estimated from the Soil Test)

土質	単位体積重量 $\gamma$ (tf/m <sup>3</sup> )	粘着力 $c$ (tf/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	比重 $G_s$	間隙比 $e$	含水比 $\omega$ (%)	飽和土 $S_r$ (%)
①盛土	1.40	1.40	36.	2.574	1.35	28	54
②盛土	1.67	1.40	36.	2.574	1.35	52	100
③泥炭	1.14	3.29	0.	2.700	10.80	400	100

①②：火山灰質砂、②③：地下水位以下

解析では、水平震度 $k_h$ をパラメータとし、0.0（自重のみ）から0.3まで0.1刻みで変化させて安全率を計算した。前述のように、ここでは地下水排水のための施設は作られていないが、地下水の排水のための対策を行ったとした場合の効果を推定するために、地下水がある場合（Case-a）と地下水がない場合（Case-b）の二通りについて解析を行った。後者の計算では、地下水位以下の盛土に地下水より上の盛土の定数を用いた。

解析結果の例として、図9.35と9.36に断面と臨界円の中心の位置を示す。また、全ケースについての安全率を表9.7に示す。

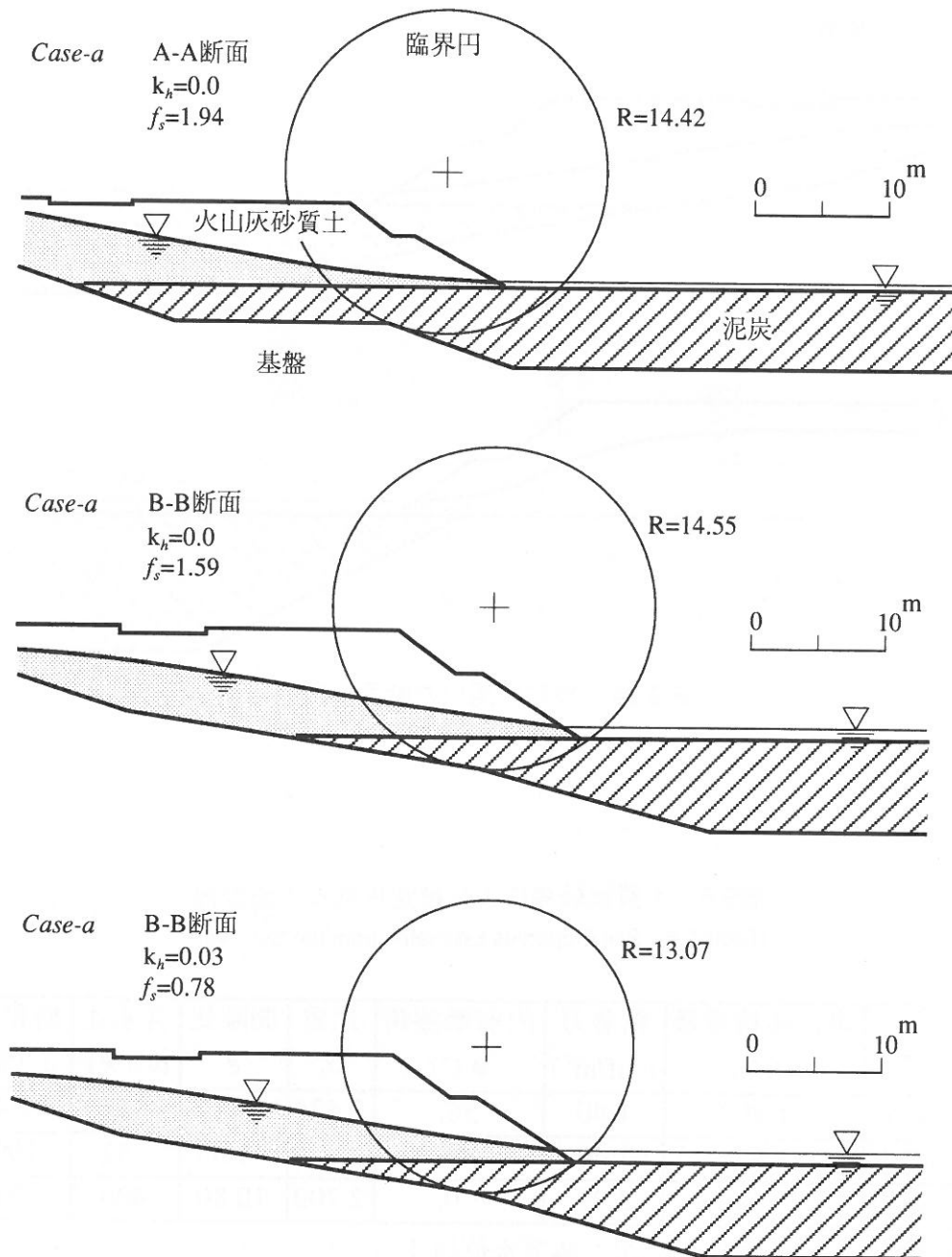


図9.35 円弧滑り解析による臨界円（Case-a：地下水有り）

(Fig. 9.35 Critical Circular Slip Surface by Slope Stability Analysis  
(Case-a Water Table within Reclaimed Area))

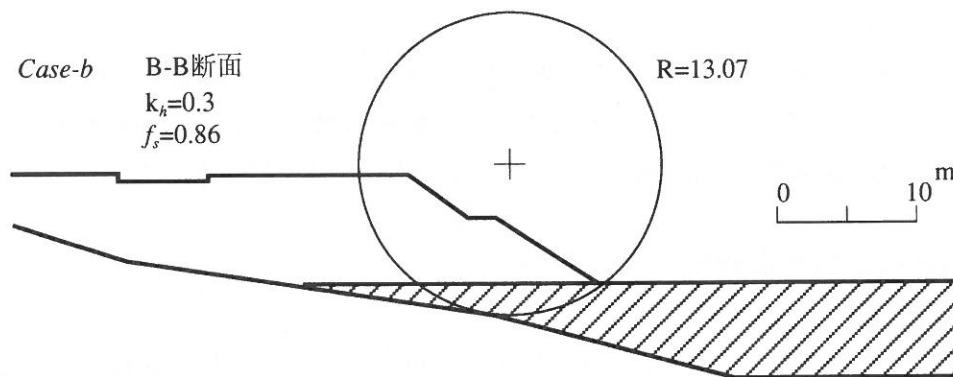
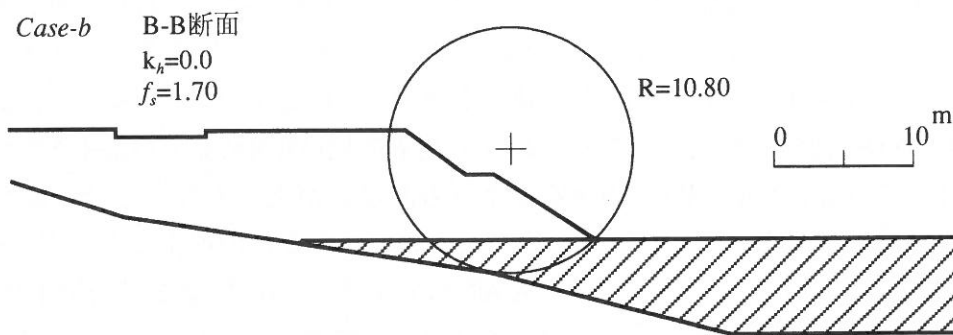
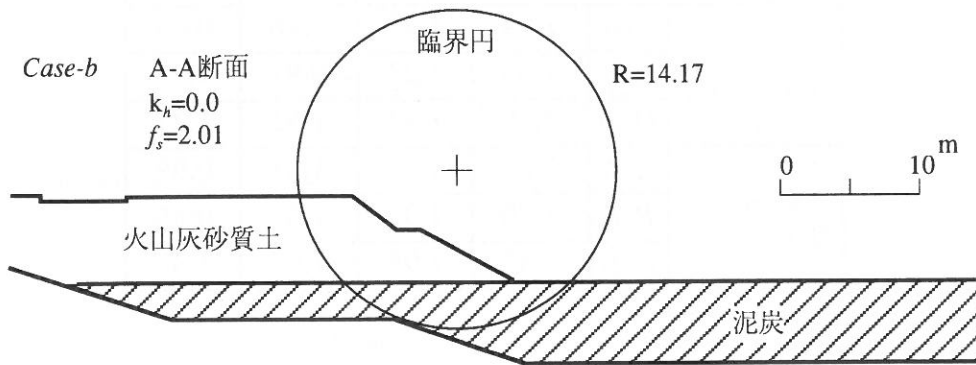


図9.36 円弧滑り解析による臨界円 (Case-b: 地下水無し)

(Fig. 9.36 Critical Circular Slip Surface by Slope Stability Analysis  
 (Case-b Water Table below the Reclaimed Area))

表9.7 円弧滑りに対する安全率  
(Table 9.7 Safety Factors against Slope Failure)

Case	断面	$k_h = 0.0$	$k_h = 0.1$	$k_h = 0.2$	$k_h = 0.3$
Case-a 地下水有り	A-A	1.94	1.47	1.16	0.93
	B-B	1.59	1.23	0.97	0.78
	D-D	2.29	1.83	1.51	1.27
Case-b 地下水無し	A-A	2.01	1.52	1.21	0.99
	B-B	1.70	1.32	1.05	0.86
	D-D	2.42	1.95	1.62	1.37

図に見られるように、臨界円は全てのケースについて基盤に接しており、泥炭層を通る底部破壊となっている。また、震度が大きいほど臨界円が泥炭層に大きく入り込み、安全率が大きく低下する要因になっている。地下水がある、Case-aについてみると、安全率はB-B、A-A、D-D断面の順に大きくなり、最も安全率の低いB-B断面では $k_h=0.2$ でも安全率が1を下回っている。A-A断面ではB-B断面よりも泥炭層が深く入り込んでいるものの、B-B断面では盛土高が高いこと、地下水位がより高いことなどの理由により安全率はB-B断面の方が安全率が小さくなっている。A-A断面でも震度が0.3になると安全率は1.0を下回っている。次に示すように、ここでは最大加速度は300Gal程度と考えられるので、A-A断面までは被害を受けることとなる。これらの解析結果はおおむね現地における被害の程度と整合している。

次に、地下水排水の効果を見ると、安全率は全般的に0.1程度増加するが、震度が大きいほどその効果は小さくなる。したがって、この解析結果で見ると、地下水排水工を施していたとしても、A-A断面やB-B断面の崩壊を防ぐほどの効果はなかったといえる。

#### 9.4.3 液状化に対する検討

被害地域は盛土で、地下水位も高いことから、液状化の発生も想定される。そこで、有効応力解析を用いた検討を行う。解析には、有効応力解析プログラムTARA-3<sup>21)</sup>を用いる。このプログラムでは、せん断応力-せん断ひずみ関係を双曲線モデルで、また、ダイレタンシーに伴う過剰間隙水圧の発生をMartin-Finn-Seedモデルで求めている。

地盤被害の最も著しく、また、円弧滑り解析で最も安全率の低かったB-B断面を解析する。図9.37に地盤モデルを示す。図の範囲を要素数282、節点数308の有限要素に分割し解析を行った。解析に必要な諸定数は次のようにして決定した。

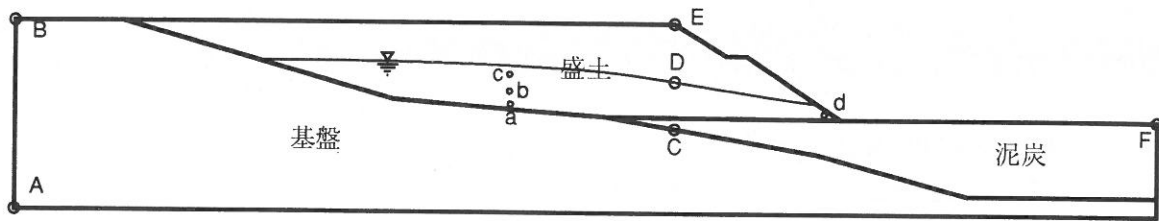


図9.37 解析対象断面 (図中の記号は後に引用される)  
 (Fig. 9.37 Analyzed Section (Notations will be Referred Later))

①盛土

弾性定数を求めるため、スウェーデン式貫入試験の結果より稲田の経験式<sup>20)</sup>

$$N = 0.067N_{sw} + 2$$

を用いて $N$ 値を求め、さらに、道路橋示方書の式を用いてせん断波速度 $V_s$ を求めると、 $V_s=120\text{m/s}$ となる。現地の状況を考えて、これは少し大きすぎると考えられる。これは、稲田の式の $N$ 値の下限が2であることに起因している。さらに、この式では拘束圧依存性は示されていないので、液状化解析には向いていない。これに代わる資料は特にないが、ここでは、経験的に、国生の式を用いることとする。

非線形特性は、双曲線モデルを用いているので、せん断強度のみを設定すればよい。表9.6に基づき設定するが、粘着力は無視し、内部摩擦角を36度とする。

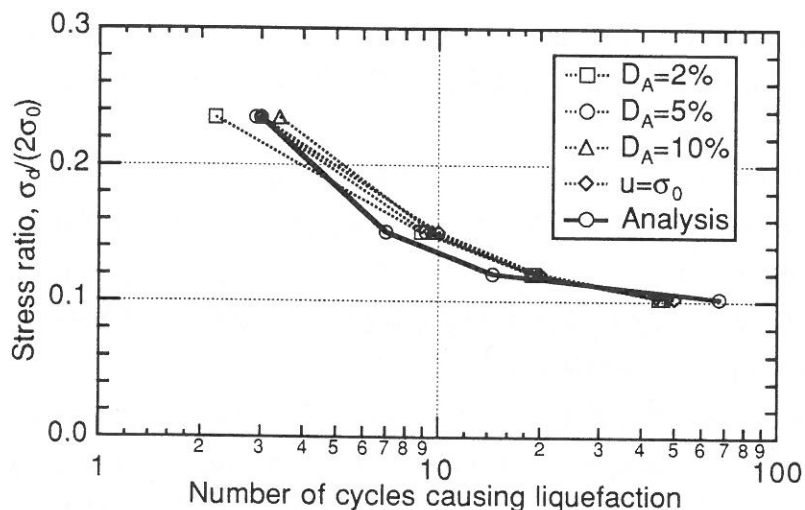


図9.38 液状化試験とシミュレーション結果  
 (Fig. 9.38 Liquefaction Strength)



液状化特性は、初期有効拘束圧 $0.5\text{kgf/cm}^2$ の下で行われた、再構成試料の液状化強度試験<sup>18)</sup>のシミュレーションを行い決定した。用いた値は、 $C_1=1.0$ 、 $C_2=0.8$ 、 $C_3=0.5$ 、 $C_4=0.8$ 、 $k_2=0.52$ 、 $m=0.4$ 、 $n=0.6$ である。図9.38に比較した結果を示す。なお、文献14)でも同様な液状化強度が得られている。

## ②泥炭

能登らの実験<sup>22)23)</sup>によれば、北海道の泥炭の動的変形性能について、次の式が成立する。

$$\begin{aligned} G_{\max} &= 1740 \cdot W_c^{-0.67} (\sigma'_c)^{0.55} \\ \frac{G_{\max}}{G} &= \frac{1}{1 + \gamma / \gamma_r} \\ h &= h_{\max} (1 - G / G_{\max}) \\ \gamma_r &= 4.81 \times 10^{-5} \cdot W_c (\sigma'_c)^{0.42} \\ h_{\max} &= 0.23 \end{aligned}$$

表9.6に従い、含水比を400%とすれば、次の式を得る。

$$\begin{aligned} G_{\max} &= 31.4 \sigma'_m{}^{0.55} \\ \gamma_r &= 0.0192 \sigma'_m{}^{0.42} \end{aligned}$$

ここで、双曲線モデルを用いることから、減衰特性は無視している。これよりモデルのせん断強度は、次のようになる。

$$\tau_{\max} = G_{\max} \gamma_r = 0.604 \sigma'_m{}^{0.97}$$

式から分かるように、せん断強度は拘束圧とほぼ比例している。そこで、ここでは、砂質材料として扱うことにする。拘束圧 $0.5\text{kgf/cm}^2$ における値を基にして、内部摩擦角を計算すると、 $52.8$ 度となる。この値は円弧滑りによる解析を行った際の値と異なるが、これは、前項では強度に着目したのに対し、ここでは、動的変形特性に着目したことに起因する。

## ③基盤

洪積の砂質土である。この地点でのデータはないので、釧路における代表的な値ということで、 $V_s=300\text{m/s}$ を用いる。必要なら内部摩擦角を $50$ 度に設定する。

## ④地震波

電力中央研究所が厚岸で記録した波<sup>24)</sup>のNS成分を用いる。この波は、岩盤で採れているので、解放基盤複合波として扱う。解放基盤複合波の最大加速度は $380\text{Gal}$ である。なお、原記録は $0.005$ 秒間隔の記録であるが、一つ置きに読み飛ばし、数値積分時間間隔を $0.01$ 秒間隔で行った。また、記録の最初の $15$ 秒を無視し、主要動を含む $30$ 秒の部分解析した。図9.39に解析に用いた部分の波形を示す。

図9.40に最大加速度の分布を、図9.41に解析終了時の変形形状を示す。解析を非排水条件で行っていること、地震動による変位はわずかで図の変位はほとんどが過剰間隙水圧の発生に伴う材料の劣化に起因していることから、図の変位分布を最大変位分布と考えてもよい。図9.42と図9.43に代表的な節点の加速度時刻歴および要素の過剰間隙水圧比時刻歴を示す。

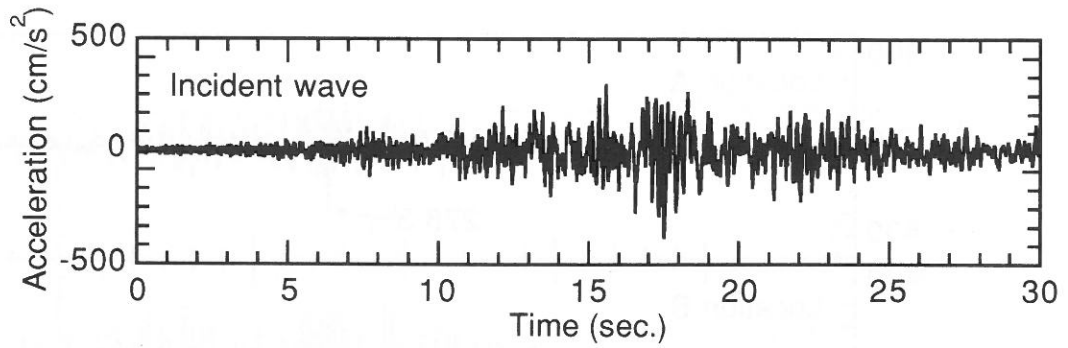


図9.39 解析に用いた地震波（解放基盤複合波）  
 (Fig. 9.39 Earthquake Motion (Ground Shaking at the Base as an Outcrop))

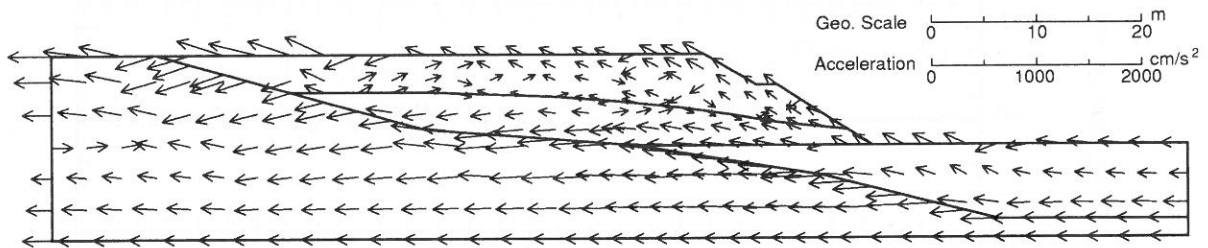


図9.40 最大加速度分布（矢印の向きは、水平方向と鉛直方向それぞれ独立に、最大値の起こった向きを表す。）  
 (Fig. 9.40 Peak Ground Acceleration (Arrows Indicate the Direction to which Acceleration Takes it Maximum Value))

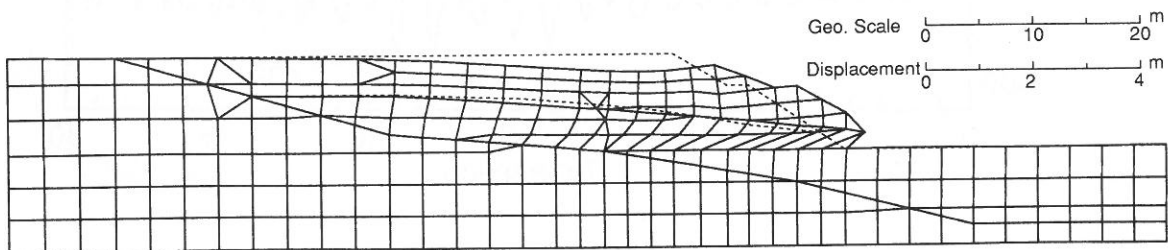


図9.41 解析終了時の変位分布  
 (Fig. 9.41 Displacement at the End of Analysis)

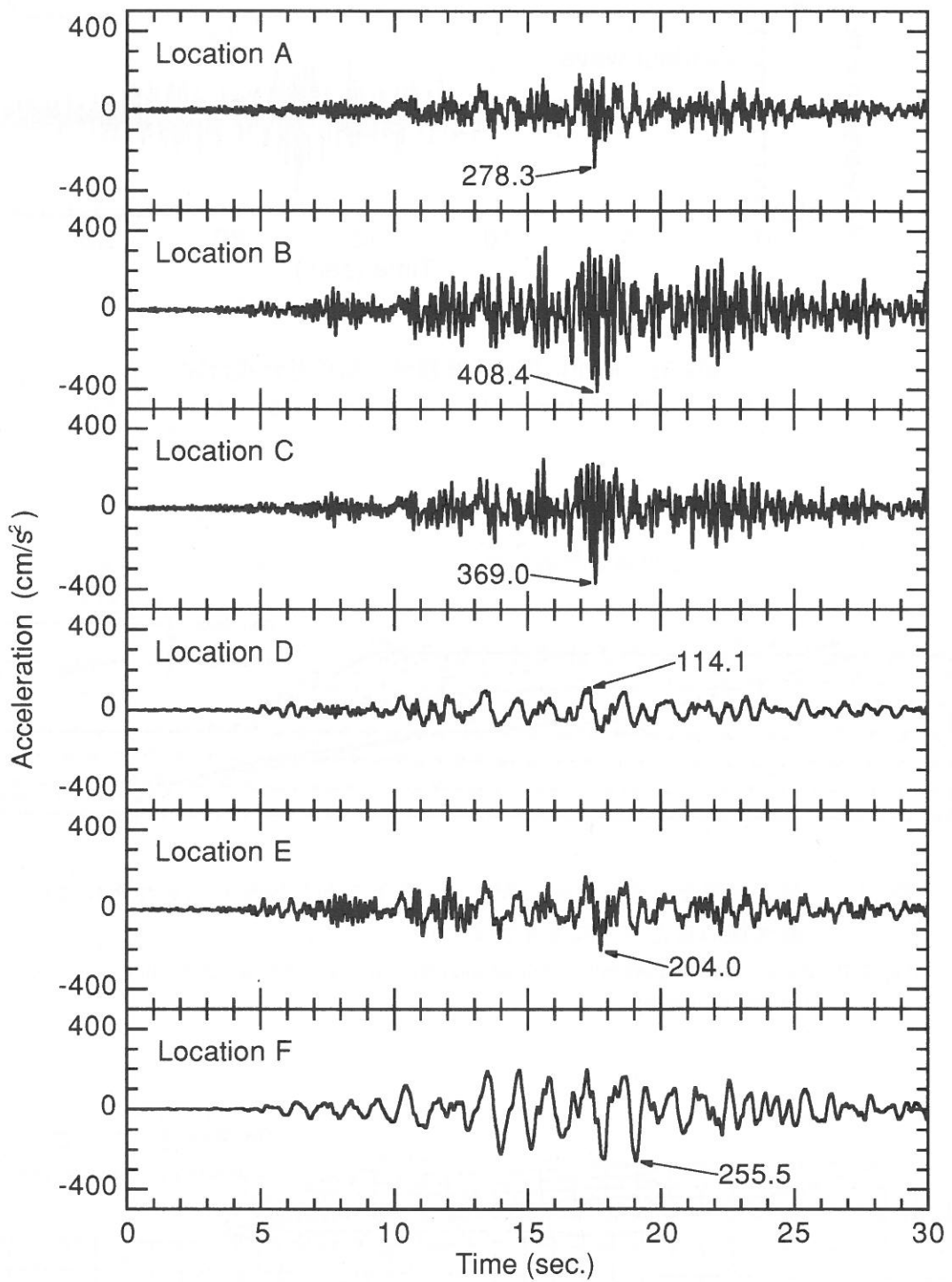


図9.42 加速度時刻歴 (節点の位置は図9.37参照)  
 (Fig. 9.42 Acceleration Time History)

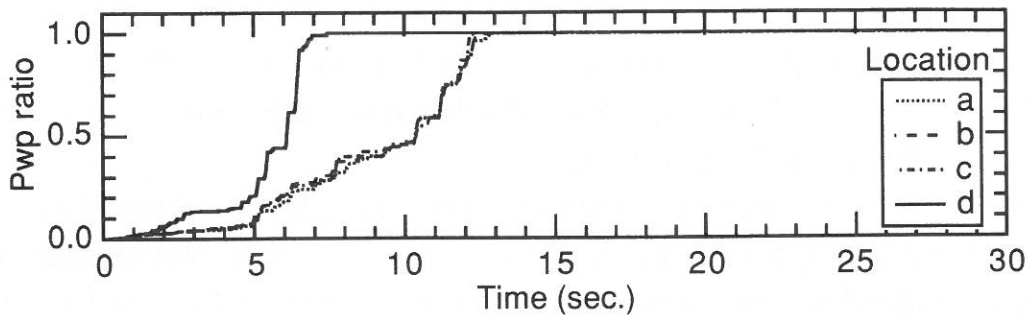


図9.43 過剰間隙水圧比時刻歴（要素の位置は図9.37参照）

(Fig. 9.43 Excess Pore Water Pressure Ratio Time History)

時刻約7.4秒で、最も湿原側の下端の要素（位置d）に液状化が発生する。その後、しばらく液状化する要素はないが、11秒を過ぎることから多くの要素が液状化し始める。多くの要素が12秒から14秒の間で液状化し、16秒後には地下水位以下にある盛土の要素48のうち33の要素が液状化し、地震終了時（30秒後）には3つの要素を除いて全ての要素が液状化した。図9.43には、盛土中央部付近で鉛直に並ぶ三つの要素a～cについて間隙水圧比を示しているが、わずかの時間差であるが、液状化は地下水位直下の層から始まり、次第に下方の要素も液状化していく。その他の要素についても類似の過剰間隙水圧上昇曲線が得られている。したがって、解析の最後まで液状化しなかったのは基盤や泥炭の境界に接した要素である。この地震の主要動は16秒以降であることを考えると、この地域では全面的に液状化が発生したと考えられる。

図9.41には、解析終了時の変形を示している。大きな変形は、地下水位以下の盛土で起こっており、液状化の発生に伴うものである。上部の非液状化層は液状化した部分の変形に引きずられるようにして変形しており、斜面先端部では山側に傾斜するという様な現象も現れている。しかしながら、解析で得られた最大変位は約1mであり、実地盤で生じた変形と比べるとやや小さいようである。これは、ここで行った解析では、基盤や泥炭層と液状化層がその境界で同じ節点を共有しているため、液状化層下端はほとんど変位しないことが大きな理由となっている。図からこの様な液状化層下部の境界における変位拘束の効果が明瞭にうかがえる。この様な効果をなくすには、同じ節点を共有しないよう、ジョイント要素<sup>25)</sup>を用いるなどの考慮が必要である。ただしジョイント要素は元々接していた要素としか接合条件を検討しないので、滑り線が直線の場合にはよいが、円弧滑りなどのような曲線形状の滑り線を持つものについては適用性に限界がある。また、実際の状況としては、過剰間隙水圧の発生に伴い、材料特性の劣化が起これ、そのため先に述べたような滑りが生じた可能性もある。一旦滑りが生じるような現象が発生すれば、液状化解析の前提としている仮定が崩れるので、それ以降の計算値は意味がなくなる。

前項の滑り解析では、破壊面は盛土と泥炭部の両方を横切っていたが、図9.41の変形図では泥炭部は液状化した層に比べほとんど変形していない。これは、②の泥炭の材料特性の決定法のところで述べたように、泥炭部に関しては動的変形特性に着目してモデルのパラメータの値を決めたので、強度としては、滑りの計算に用いた値よりもかなり大きなものとなっていたことが主要な要因である。

以上に示した二つの要因から、解析で得られた変位は、被害として観測されるものよりも小さかったが、それでも1mに近い変位が得られており、また、変形パターンも実被害をある程度説明できるものとなっている。

最後に、加速度応答を検討する。基盤の自由地盤では最大加速度の増幅が解析に用いた基盤に対して約1.5倍となっている。これに対し、盛土部分の応答（図9.37の点C～E）では、盛土層下端の応答（点C）は解析基盤に比べ増幅し、また、入射波に見られるような短周期成分を含む波であるが、地下水位位置（点D）では加速度の振幅は小さくなり、さらに波形に短周期成分が見られなくなり、長周期の成分が卓越した波形となっている。加速度応答が最も小さくなっているのがこの位置で、これより上の非液状化層（点E）では再び加速度は大きくなる。これは、上部の層で再び増幅が現れたのと、側方からの振動が伝播したためであろう。しかし、点BやDと比べると長周期成分が卓越した波形となっており、下方で発生した液状化の影響を大きく受けた波形となっている。湿地帯地表（点F）の波形は基盤表面の波形（点B）とは非常に異なり、長周期成分の卓越した波形となっている。これは、泥炭層はせん断波速度が小さく、また変形しやすいため、固有周期が長いためであると考えられる。

#### 9.4.4 まとめ

標茶町茅沼地区で生じた宅地造成地盤の被害について、現地調査と解析的な検討を行った。円弧滑りを用いた解析では、盛土、泥炭層を含む、基盤に接する様な滑りが生じることが示された。一方、有効応力法に基づく液状化解析の結果から、盛土の地下水位以下の部分ではほとんど液状化が発生したことが指摘された。二つの解析にはそれぞれ長所、短所があり、独立して完全に被害の状況を説明しているわけではないが、いずれの場合をとっても被害の発生は明らかである。被害状況を考えると、過剰間隙水圧の発生に伴い、滑りに対する地盤の安全率が低下し、滑りが生じたと考える方が妥当であろう。その場合には、被害地点で噴砂の発生がほとんど認められなかったことも説明が付く。

### 9.5 復旧状況および対策

住宅地は私有地であるために、基本的には復旧は土地を所有する個人ないしは法人が行なう立場にあり、このため対策は小規模に行なわざるを得ない場合が多い。しかし、一部の大規模崩壊箇所では、道路の復旧と兼ねる形で斜面が補修されている例もある。復旧の方法は被害箇所によって異なるが、斜面の切り直し、崩壊斜面の再盛土や斜面安定工など

が、被害状態に応じて適宜用いられている。

写真9.16は、平成5年9月における材木町の崩壊箇所の復旧状況であるが、崩壊土砂を取り除いて斜面を整形しており、白いシートの仮遮水膜を施工して本格的な斜面保護工の施工を待つ状態にある。また、緑ヶ岡6丁目では、写真9.17および18に示すように、斜面を緩傾斜に切り直して安定化を図る方法が取られている。一方、武佐のわかくさ保育園では、敷地の盛土の斜面先端に矢板を打設して安定化を図るとともに、道路盛土は盛り直して復旧している。写真9.19は、わかくさ保育園の敷地境界の矢板と道路盛土の復旧のための施工状況を示すものである。上記の写真は、平成5年9月現在の暫定施工中のものであり、本復旧状態を示すものではない。

釧路の震度階がⅥであったことからすると、市内の住宅の被害は予想外に小さかったと言ってよいであろう。軟弱な泥炭地を含む低地において一部に液状化が発生し、家屋等に比較的軽微な被害が発生した。美原団地では、3丁目および5丁目で液状化による噴砂が確認されたが、家屋等に甚大な被害は認められない。この団地は昭和40年代に造成されており、プレローディング工法により3年程度圧密を促進したために被害が小さかったものと考えられ、対策が適切であったと評価できる。一方、丘陵地（台地）の造成地においては、



写真9.16 材木町の崩壊箇所の復旧状況  
(Photo 9.16 State of Restoration of the Damaged Site in Zaimoku-cho)

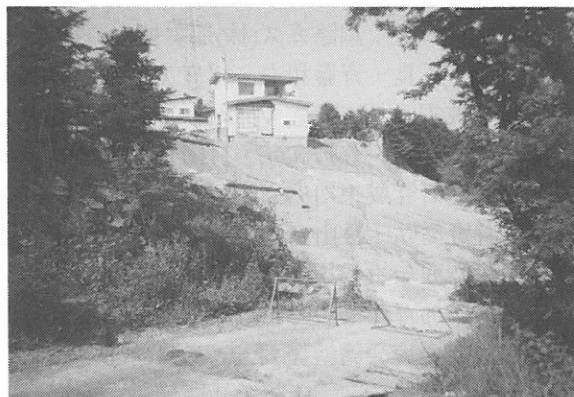


写真9.17 緑ヶ岡6丁目の盛土斜面の復旧状況  
(Photo 9.17 State of Restoration of the Slope in the Damaged Site in Midorigaoka 6-chome)



写真9.18 緑ヶ岡6丁目の斜面の復旧状況  
(Photo 9.18 Repair Work of the Slope in Midorigaoka 6-chome)



写真9.19 武佐のわかくさ保育園の復旧状況  
(Photo 9.19 Repair Work of the Slope of the Wakakusa Kindergarten in Musa)

住宅地の崩壊にともなう家屋の被害はかなり大きかったが、1978年宮城県沖地震においても今回の地震と類似の大規模な宅地造成地の被害が認められたことは記憶に新しい。宮城県沖地震ではブロック塀の崩壊による圧死者も多く出たが、今回の地震のブロック塀の崩壊例などを見ても、必ずしも過去の震害の経験が有効に生かされていないことが知られる。今後、住宅地の被害の原因を十分に理解して、地震災害に対する対策を考えることが重要である。

#### <参考文献>

- 1) 岡崎由夫：釧路の地質，釧路叢書，釧路市，1966.
- 2) 岡崎由夫：釧路湿原，釧路新書16，釧路市，1990.
- 3) 北海道建築士会釧路支部：釧路市の地盤，1982.
- 4) 釧路市都市開発部：釧路沖地震災害箇所位置図，1993.5.
- 5) 釧路市総務課：災害状況の内訳(住家被害)最終版，1993.10.1.
- 6) 釧路市水道部：平成5年釧路沖地震による給配水管被害箇所分布図，1993.2.10.
- 7) 釧路市下水道部：下水道施設被害箇所図，1993.5.
- 8) 釧路ガス：釧路ガス(株)地震被害の復旧状況について，1993.2.10.
- 9) 山下正良・斉藤和夫・稲直美・小西彰：1993年釧路沖地震における住宅地およびライフラインの被害，土と基礎，Vol.41，No.6，pp.21-26，1993.
- 10) 柳沢栄司・菅野高弘・村山良之：1993年釧路沖地震による地盤災害，文部省科学研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，pp.75-85，1993.
- 11) 菅野高弘・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回年次学術講演会講演概要集（第I部），pp.490-491，1993.
- 12) 若松加寿江：1993年釧路沖地震による宅地造成地の地盤変状と被害，土木学会第22回地震工学研究発表会講演概要，pp.403～406，1993.
- 13) 若松加寿江・吉田望・辻野修一・末富岩雄：1993年釧路沖地震による台地造成地での液状化，第12回日本自然災害学会学術講演会講演概要集，pp.121-122，1993.
- 14) 安田進・柳畑亨・宍道玲・小田真也：釧路沖地震で地盤災害を生じた土の力学特性，土木学会第22回地震工学研究発表会講演概要，pp.403-406，1993.
- 15) 安田進・山口勇：種々の不攪乱土にける動的変形特性，第20回土質工学研究発表会発表講演集，pp.539-542，1985.
- 16) 岡崎由夫：私信，1994.
- 17) 釧路市下水道部の資料による.
- 18) 斉藤和夫・稲直美：私信，基礎地盤コンサルタンツ（株）札幌支店，1993.
- 19) Bishop,A.W. : The use of the sliding circle in the stability analysis of slopes, Geotechnique, Vol.5, pp.7-17, 1955.
- 20) 稲田倍穂：スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について，土と基礎，Vol.8，No.1，pp.13-18，1960.
- 21) Finn,W.D.L., Yogendrakumar,M., Yoshida,N. and Yoshida,H. : TARA-3: A program for nonlinear static and dynamic effective stress analysis, Soil Dynamics Group, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 1986.
- 22) 能登繁幸・熊谷守晃：泥炭の動的変形特性に関する実験的研究，土木試験所月報，No.393，pp.12-21，1986.

- 23) 能登繁幸・加治屋安彦：泥炭の動的変形特性に関する実験的研究（第2報），土木試験所月報，No.406, pp.14-24, 1987.
- 24) 井上大栄他：1993年釧路沖地震被害調査報告，電力中央研究所報告，調査報告，U92047, 1993.
- 25) 吉田望：液状化解析に用いるジョイント要素，第28回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1225-1228, 1993.
- 26) 森伸一郎：1993年1月15日釧路沖地震における液状化調査，第28回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1091-1094, 1993.





## 10. ライフラインの被害

安田 進 (東京電機大学 理工学部)

坂本 容 (北海道電力(株) 土木部)

宮島 昌克 (金沢大学 工学部)

## 1 0 . DAMAGE TO LIFELINE FACILITIES

Susumu YASUDA (Tokyo Denki University)

Yoh SAKAMOTO (Hokkaido Electric Power Co., Inc.)

Masakatsu MIYAJIMA (Kanazawa University)

### ABSTRACT

Many water supply facilities, sewage facilities and gas pipes were damaged during the 1993 Kushiro-oki Earthquake in and around Kushiro city. Damage to water supply pipes, pump stations and filtering plants occurred in 34 cities and towns. The maximum duration of suspension of water supply was 17 days. Total length of damaged sewage pipes in Kushiro city and Kushiro town was about 19km. Many sewage pipes were uplifted due to the liquefaction of backfill sands and alluvial sands. Some manholes were also uplifted up to 1.3m due to the liquefaction. Damage to gas pipes occurred at hill zones in Kushiro city. It was necessary for 23 days to recover them because the excavation of ground was hard due to the freezing of surface soils. Damage to electrical power supply facilities and telecommunication facilities were slight because these facilities have been strengthened against earthquakes. However two telecommunication cables were damaged due to the failure of road embankments.

## 10.1 被害の概要

ライフラインの被害としては、鉧路市を中心に周辺の町村で上下水道、電力、ガス、通信の諸施設で多くの被害が発生した。各施設によって、被害状況、被害の程度、被災原因、復旧に要した日数等が異なった。

水道施設では鉧路市をはじめ、34の市町村で多くの被害を受けた。被害箇所も導水施設から配水施設まで多岐にわたった。地震が発生したのが厳冬期であり、地表付近が凍結していたため、管路の被災箇所の発見と復旧が困難を極め、断水が17日間に及んだ町もあった。

下水道施設では、鉧路市、鉧路町、標茶町で、処理場、ポンプ場、下水管渠が大きな被害を受けた。管渠の被害のうち、鉧路町においてマンホールが最大1.3mも浮き上がるといった特異な現象が生じた。また、鉧路町、鉧路市とも管渠がかなり浮き上がっており、これらは埋戻し土の液状化にも原因がある可能性が指摘されている。

ガス施設では鉧路市の緑ヶ岡等の台地を造成した地区と大楽毛でガス導管の被害が発生した。特に前者では被害箇所が多く、大ブロック（約9,300件）の供給停止にまで至り、水道管と同様、地表面の凍結のため、復旧に多くの日数を費やした。この地区では盛土により造成した所で多く被害が発生していた。

電力設備の被害は鉧路町、白糠町、音別町で発生したが、耐震化が進められてきていたため、被害の程度は軽かった。配電設備および変電所の被災により約57,200戸が停電したが、1日後には全線復旧した。

電気通信設備では、通信サービスに影響を与えるような重大な被害は発生しなかった。ただし、道路盛土の崩壊により、そこに埋設されていたケーブルが切断する被害が発生した。

## 10.2 上水道の被害

今回の地震で上水道施設に被害の発生した道東地域、とくに鉧路・標茶保険所管内の水道事業体における施設の概要と被害の概要を述べるとともに、被害が顕著だった鉧路市および厚岸町の被害について詳しく述べる。

### 10.2.1 施設の概要

図10.1に道東地域における配水管路の被害件数の分布を示す<sup>1)</sup>。上水道施設に影響のあった地域は34市町におよび、鉧路市を中心として西は室蘭市、東は根室市、北は網走市の広範囲に亘っている。震央距離の増加に伴って被害件数が減少している様子が同図から読みとれる。この中でも特に被害を受けた上水道施設は、鉧路・標茶保険所管内の水道事業体である。すなわち、鉧路市、鉧路町、厚岸町、浜中町、白糠町、標茶町の6上水道と、18簡易水道の24水道事業である。各事業ごとの簡易水道の配水管総延長距離を表10.1に示す。

上水道については管種ごとの導水管、送水管、配水管の合計延長距離を表10.2に、管径ごとの配水管延長距離を表10.3に、それぞれ示す。

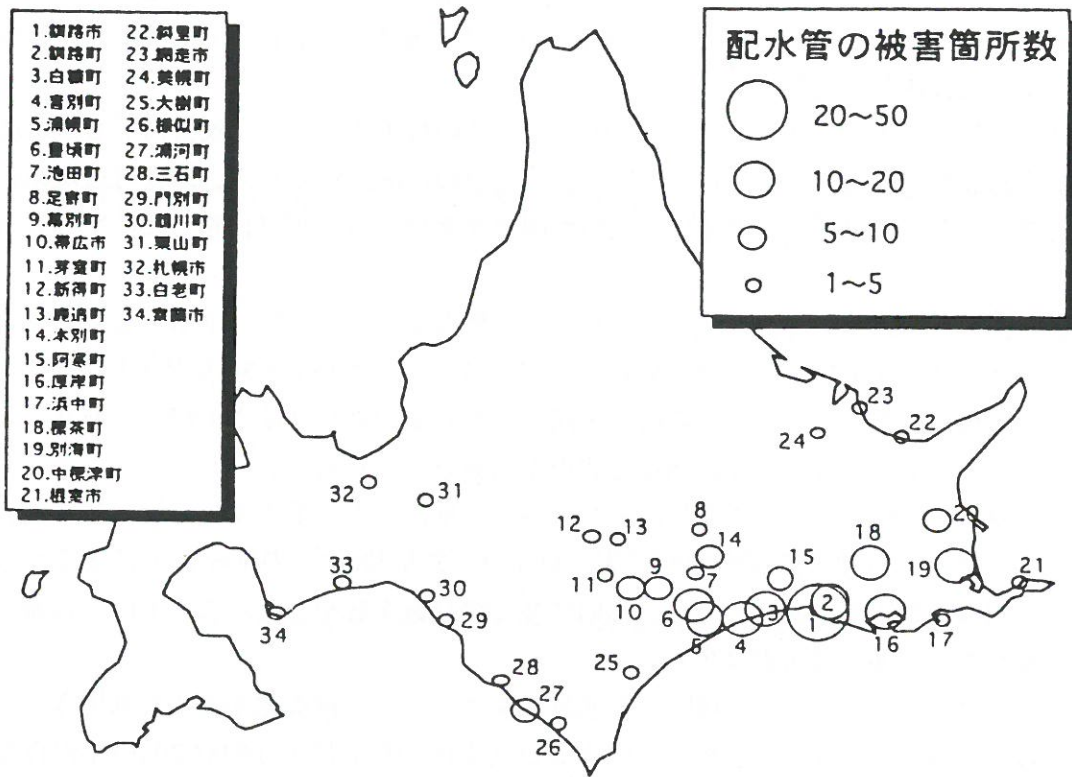


図10.1 北海道における配水管路の被害件数分布<sup>1)</sup>  
 (Fig.10.1 Distribution of Number of Damage to Water Pipes in Hokkaido<sup>1)</sup>)

表10.1 釧路・標茶保険所管内の簡易水道事業別配水管路総延長 (単位:m)<sup>2)</sup>  
 (Table 10.1 Total Length of Provisional Water Supply Pipes in Kushiro and Shibecha Areas (unit:m)<sup>2)</sup>)

釧路市	山 花	2,117	浜中町	茶内簡水	5,686
釧路町	別 保	7,603	阿寒町	阿寒簡水	38,449
	遠野団地	17,362		湖畔簡水	7,567
	老 者 舞	2,448	鶴居町	鶴居簡水	7,053
	昆 布 森	4,143		幌呂簡水	3,050
	仙 鳳 趾	2,724	白糠町	二股簡水	2,957
厚岸町	上 尾 幌	4,516	音別町	音別簡水	8,266
	尾 幌	2,285		直別簡水	2,122
	糸 魚 沢	,705			
	厚岸小鳥	2,686			

表10.2 釧路・標茶保険所管内の上水道の事業別管種別管路延長  
(導水管、送水管、配水管) (単位:m)<sup>2)</sup>

(Table 10.2 Total Length of Water Supply Pipes in Kushiro and Shibechea Areas (unit:m)<sup>2)</sup>)

延長m	釧路市	釧路町	厚岸町	浜中町	白糠町	標茶町
C I P	129,944	220		15,005	1,350	
D I P	343,202	27,760	12,253		41,537	7,885
S P	10,239		500		193	592
A C P	15,334	969	8,493	9,732	15,416	20,059
V P	1,151	18,164	44,835	88,342	4,491	26,792
P P	171,448					
C P						
L P						
不詳			16,995			4,087
計	671,318	47,113	83,076	113,079	62,987	59,415

※水道管の種類  
 CIP : 鋳鉄管  
 DIP : グクタイル管  
 SP : 鋼管  
 ACP : 石綿セメント管  
 VP : 塩化ビニール管  
 PP : ポリエチレン管  
 CP : セメント管  
 LP : 鉛管

表10.3 上水道の事業別管径別配水管路延長 (単位:m)<sup>2)</sup>

(Table 10.3 Total Length of Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Diameter (unit:m)<sup>2)</sup>)

延長m 口径mm	釧路市	釧路町	厚岸町	浜中町	白糠町	標茶町
	671,318	46,974	73,984	78,528	59,293	36,063
50以下	171,448	16,152	16,995	11,474	2,423	5,298
75	21,270	2,665	11,191	15,077	8,721	20,885
100	261,796	10,790	18,274	25,029	24,841	3,897
125	7,425			1,607	563	886
150	84,939	8,997	20,424	17,135	4,592	404
200	38,253	8,370	2,700	2,568	1,851	560
250	24,200		3,480	5,638	2,406	4,123
300	27,456		920		6,725	
350	4,670				6,927	
400	7,922				154	
450	9,029					
500	6,139					
550	1,207					
600						
700	2,892					
800	2,672					

## 10.2.2 被害の概要

文献2)に基づき上水道施設の被害の概要を述べる。北海道内でも比較的寒冷な釧路地方で、厳寒期の1月に地震が発生したことにより、積雪と厚い凍結地盤により管路被害の発見と復旧に困難を極め、断水が長時間に及んだ地域もあった。表10.4に、各水道事業における計画給水人口、最大断水戸数、最大断水時間を示す。最長の断水日数は、音別簡易水道の17日間となっている。

水源の被害としては、釧路市山花簡易水道において水源である深井戸が黒色懸濁物質の混入により使用できなくなった。取水施設には顕著な被害は生じなかった。導水施設の被害としては、釧路市上水道の岩保木導水ポンプ場で建物、圧力水管、通信ケーブルが被災した。また、標茶町上水道では、導水管に3箇所ひび割れが生じた。浄水施設では、釧路市上水道、厚岸町上水道、浜中町霧多布上水道、茶内簡易水道および白糠町上水道の浄水場が被災した。送水施設の被害としては、白糠上水道と音別町音別簡易水道で送水管が破損した。

表10.4 水道事業別の最大断水戸数および最大断水継続時間<sup>2)</sup>  
(Table 10.4 Maximum Number and Duration of Suspension of Water Supply<sup>2)</sup>)

市町村	水道事業名	計画給水人口	最大断水戸数	最大断水時間
釧路市	上水道	227,400	556	114時間
	山花簡易水道	800	24	21時間
釧路町	上水道	10,000	266	16時間
	別保簡易水道	2,000	506	65時間
	遠野団地簡易水道	720	430	144時間
	老若舞簡易水道	250		
	昆布森簡易水道	1,200		
	仙鳳趾簡易水道	170	3	5時間
厚岸町	上水道	15,000	4,330	62時間
	尾幌簡易水道	377		
	上尾幌簡易水道	1,100		
	糸魚沢簡易水道	268		
	小島飲料水供給施設	74		
浜中町	霧多布上水道	6,250	188	20時間
	茶内簡易水道	1,800		
阿寒町	阿寒簡易水道	4,950	115	9時間
	阿寒湖畔簡易水道	2,700		
鶴居村	鶴居簡易水道	2,100	6	80時間
	幌呂簡易水道	500		
白糠町	上水道	15,500	12	70時間
	二股簡易水道	378		
音別町	音別簡易水道	3,600	969	408時間
	直別簡易水道	205		
標茶町	上水道	7,000	1,929	120時間

表10.5 水道事業別の管種、管径別の配水管被害箇所および被害率（箇所/km）<sup>2)</sup>

(Table 10.5 Number of Damage and Damage Ratio of Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Type and Pipe Diameter<sup>2)</sup>)

釧路市上水道

口径	CIP	DIP	SP	ACP	VP	PP	計
50以下						1	1
75	1						1
100	6	4	2	4			16
150	3	6					9
200		2					2
400			1				1
計	10	12	3	4		1	30
延長	129,944	343,202	10,239	15,334	1,151	171,448	671,318
被害率	0.08	0.04	0.30	0.26		0.01	0.04

厚岸町上水道

口径	CIP	DIP	SP	ACP	VP	PP	計
50以下			4			7	11
75					3		3
100				2			2
150				2	2		4
200	1						1
計	1		4	4	5	7	21
延長		12,253	500	8,493	44,835		83,076
被害率			8.00	0.47	0.11		0.25

白糠町上水道

口径	CIP	DIP	SP	ACP	VP	PP	計
75	1			1	1		3
100					3		3
150	2			1			3
450		1					1
計	3	1		2	4		10
延長	1,350	41,537	193	15,416	4,491		62,987
被害率	2.22	0.02		0.13	0.89		0.16

釧路町上水道

口径	CIP	DIP	SP	ACP	VP	PP	計
50以下						2	2
100		4					4
150		1					1
計		5				2	7
延長	220	27,760		990	18,161		47,113
被害率		0.54					0.15

浜中町上水道

口径	CIP	DIP	SP	ACP	VP	PP	計
75					1		1
150					1		1
計					2		2
延長	15,005			9,732	88,342		113,079
被害率					0.02		0.02

標茶町上水道

口径	CIP	DIP	SP	ACP	VP	PP	計
50以下					1	1	2
75					4		4
200	1		1	2			4
250	2						2
計	3		1	2	5	1	12
延長		7,885	502	20,059	25,792		50,415
被害率			1.69	0.10	0.19		0.20

簡易水道

水道事業名	口径	CIP	DIP	SP	ACP	VP	PP	計	延長	被害率	
釧路町別荘簡易水道	75			1				1	7,693	0.13	
釧路町遠野団地簡易水道	50以下						1	1	8	17,332	0.46
	100	1			4	2		4			
釧路町山陽簡易水道	75			1				1	1	2,731	0.37
	50以下			1		1	1	3			
阿寒町阿寒簡易水道	100				1			1	6	28,449	0.16
	150			1				1			
	200				1			1			
釧路村鉢形簡易水道	100				1			1	1	7,053	0.14
	75				1			1			
釧路村鉢形簡易水道	100				1			1	3	3,050	0.08
	150			1				1			
音別町音別簡易水道	50以下					1		1	20	8,266	2.42
	75					9		9			
	100					10		10			



今回の地震被害で件数、金額ともに最も大きな被害を受けたのは給配水施設である。表10.5に、各水道事業ごとの配水管の被害箇所数、被害率を管種、管径別に示す。同表より、被害率を管種、管径との関係でそれぞれ示すと図10.2、10.3のようになる。なおここでは、配水管の被害箇所数を導水管、送水管、配水管の合計延長距離で割って被害率を求めているが、導水管、送水管の延長距離は配水管の延長距離に比べると非常に小さいので、同図の傾向は被害箇所数を配水管の延長距離で割って求める被害率と大差ないものと考えられる。また、図10.2には50mm以下の管路はすべて50mmのところにプロットされている。同図によれば、管径別にみると100mm以下の小口径管において比較的被害率が高くなっている。これは、管径が小さいほど強度が相対的に小さくなるためと考えられる。図10.3によれば、VP（塩化ビニール管）、ACP（石綿セメント管）、SP（鋼管）が比較的大きな被害率を示しており、これまでの地震被害の傾向と類似している。

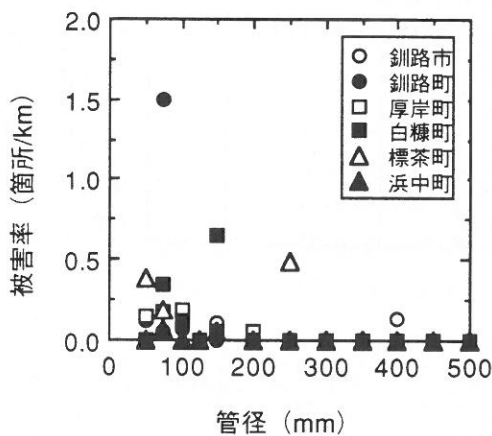


図10.2 釧路・標茶保険所管内の上水道の管径と被害率の関係  
(Fig.10.2 Damage Ratio of Water Pipes in Relation to Pipe Diameter in Kushiro and Shibeche Areas)

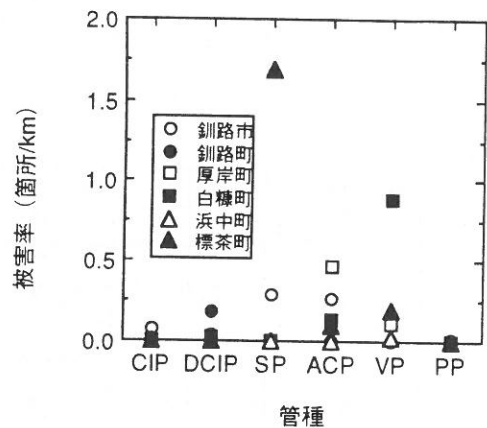


図10.3 釧路・標茶保険所管内の上水道の管種と被害率の関係  
(Fig.10.3 Damage Ratio of Water Pipes in Relation to Pipe Type in Kushiro and Shibeche Areas)

### 10.2.3 釧路市上水道の被害

#### (1) 施設の概要

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、1日平均配水量は73,000m<sup>3</sup>である。釧路川河口から10km上流にある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。旧釧路川以東へは貝塚配水場、桜ヶ岡配水場を経て配水される。桜ヶ岡系のみが自然流下配水であり、他は全てポンプ圧送である。

#### (2) 水源、取水施設の被害

釧路川を水源とし、河口から約10kmの地点で取水しているが、水源、取水施設には被害が生じなかった。

### (3) 導水施設の被害

岩保木導水ポンプ場の建物、圧力水管、通信ケーブルが被災した。導水場周辺の被害を表10.6に示す。釧路川沿いの湿原に立てられた14本余りのコンクリート製電柱のうち10本にひび割れが生じ、腕金が曲がり、碍子が損傷し、電線を碍子に結束するバインド線が外れ、6,000ボルト送電線が地絡する危険が生じた。また、通信ケーブルが切断され、導水ポンプ場の機器、計器の作動状態および水質監視の遠隔監視が出来なくなった。管路の被害としては、導水ポンプ場内の圧力水管（SGPWφ75mm）に19.7mにわたり撓みが生じた。

表10.6 岩保木導水ポンプ場周辺の被害状況<sup>2)</sup>  
(Table 10.6 Damage at Iwabokki Pump Station<sup>2)</sup>)

被害箇所	復旧期間	復旧内容	被害額(千円)
排水管(SGPφ80)漏水	1/27～2/8	漏水箇所を切断し継手にて接合	2,277
圧力水管(SGPφ75)撓み	2/9～2/16	配管部基礎手直し、配管替え	
電力ケーブル管(SSφ80)破損	3/10～3/22	配管替え	
遠隔制御用ケーブル切断	1/25～3/25	切断箇所40cm切り落とし接合	
専用配電線路電柱損傷	1/18～3/25	電柱取り替え	
専用配電線路腕金曲がり	〃	腕金取り替え	
専用配電線路高圧碍子	〃	取り替え	
専用配電線路巻き付バインド	〃	締め直し	
専用配電線路電柱支線	〃	〃	
専用配電線路通信スパイラル	〃	取り替え	
低圧動力盤、継電器盤	〃	所定位置への移設、アンカー締め直し	
ポンプ井排泄用サンドポンプ	3/10～3/26	サンドポンプ用ケーブルの取り替え	

表10.7 愛国浄水場の被害状況<sup>2)</sup>

(Table 10.7 Damage at Aikoku Water Filtering Plant<sup>2)</sup>)

被害箇所	復旧期間	復旧内容	被害額(千円)
アクセレーター室の廊下・壁	2/10～3/25	モルタルをはがし、塗り直し	6,787
アクセレーター処理水渠継ぎ目	〃	〃	
管廊エキスパンション部	〃	〃	
管廊部処理水渠継ぎ目	〃	〃	
濾過池室壁エキスパンション	〃	〃	
配水ポンプ室壁	〃	〃	
愛国浄水場圧力水管	1/27～2/1	亀裂部配管取り替え	475

### (4) 浄水施設の被害

愛国浄水場の被害状況を表10.7に示す。建設年次の異なる建物の継ぎ目部分で損傷が生じている。また、増築された建物を水渠が貫いていたので、水渠継ぎ目で漏水が発生した。

### (5) 配水施設の被害

貝塚送配水ポンプ場の被害状況を表10.8に示す。容量5,000m<sup>3</sup>のプレストレス・コンクリート製配水池2池のうち1池の底版にひび割れが発生し、漏水した。配水池を空にして調査したところ、底版コンクリート表面に総延長770mにわたり、幅0.2mm～0.6mmの亀裂が発見された。

表10.8 貝塚配水ポンプ場の被害状況<sup>2)</sup>  
(Table 10.8 Damage at Kaizuka Pump Station<sup>2)</sup>)

被害箇所	復旧期間	復旧内容	被害額(千円)
貝塚配水池(PC配水池)	1/19～1/26	漏水調査	20,067
〃 本復旧	2/8～3/25	エポキシ樹脂充填	
排気清音室基礎	3/10～3/23	モルタル補修	
蓄電室エキスパンション部	〃	〃	

(6) 給配水管路の被害

配水管の被害状況を表10.9に示す。総数は弁類の被害を含めて32箇所である。管種別に被害箇所数の割合を示すと図10.4のようである。DCIP（ダクタイル鋳鉄管）が12箇所、37.5%と最も多く、CIP（鋳鉄管）、ACPがこれに次いでいる。DCIPの12箇所はすべて接合部における離脱である。一方、CIPでは8箇所が折損であり、亀裂1、離脱1となっている。ACPはすべて折損である。しかし、被害箇所数を管路延長距離で割って求める被害率で表すと、表10.5に示したように、SPとACPが高い値を示す。また、管径別に被害箇所数の割合を示すと、図10.5のようである。被害のほとんどは100mmと150mmの管路で生じており、中小口径の配水管に被害の多いことが分かる。

表10.9 釧路市上水道の配水管の被害内容<sup>2)</sup>  
 (Table 10.9 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Kushiro City in Relation to Failure Modes<sup>2)</sup>)

管種	口径(mm) 事故内容	50	75	100	150	200	400	小計	比率
		PP	1						
	離脱	1						1	3.1
SP				2			1	3	9.4
	穿孔			2			1	3	9.4
ACP				4				4	12.5
	折損			4				4	12.5
CIP			1	6	3			10	31.2
	折損			5	3			8	25.0
	亀裂			1				1	3.1
	離脱		1					1	3.1
DIP				4	6	2		12	37.5
	離脱			4	6	2		12	37.5
弁			1	1				2	6.3
	空気弁不良		1					1	3.1
	仕切弁不良			1				1	3.1
合計		1	2	17	9	2	1	32	
比率		3.1	6.3	53.1	28.1	6.3	3.1		

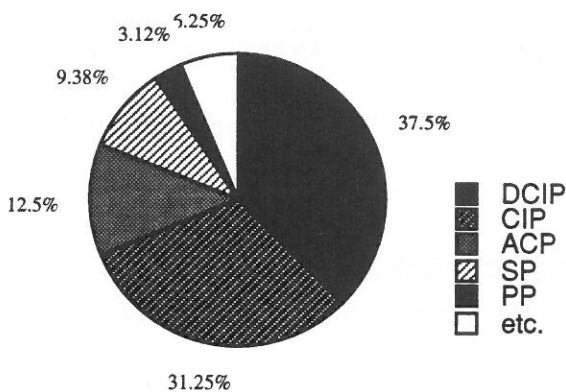


図10.4 釧路市上水道における管種別の配水管被害件数

(Fig.10.4 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Type in Kushiro City)

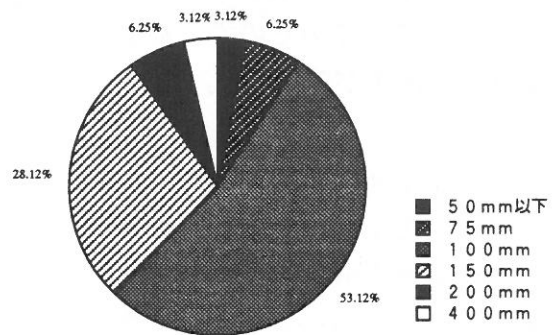


図10.5 釧路市上水道における管径別の配水管被害件数

(Fig.10.5 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Diameter in Kushiro City)



給水管（道路内および敷地内）の被害総数は141箇所である。管種別にみると、SPが56箇所、39.7%で最も多く、次いでPP（ポリエチレン管）が49箇所、34.8%となっている。管径別では、40mmが36箇所、25.5%と最も多く、13mmが27箇所、19.2%でこれに次いでいる。被害形態では、SPでは折損、亀裂、離脱、継手の破損がほぼ同数となっており、PPでは離脱が最も多くなっている。

図10.6に給配水管の被害箇所分布を示す。釧路市の地形は、旧釧路川を境に高台部と低地部に分けられるが、配水系統からみても緑ヶ岡、貝塚、武佐、桜ヶ岡、春採地域の標高40～70mの高区と橋北、鉄北、鳥取、大楽毛地域の標高2～5mの低区に分けることができる。高区と低区における給配水施設の規模を、給水人口、1日平均配水量、配水管総延長で比較すると図10.7のようである。同様に両区の被害の程度を配水管の被害箇所数と被害率で比較すると図10.8のようになる。両図より、給配水規模の小さい高区において配水管被害が多く発生していることが明らかである。

高区の被害は丘陵地や傾斜地に発生している。高区は岩盤の上に火山灰砂が厚く堆積しており、地盤が軟弱で、地震動の増幅が比較的大きかったことと、地震による斜面崩壊や地盤変位により、埋設管路に大きな被害が生じたものと考えられる。また、低区の美原地区や釧路港周辺では液状化が発生したが、これらの地区においては液状化に起因していると考えられる被害が生じている。

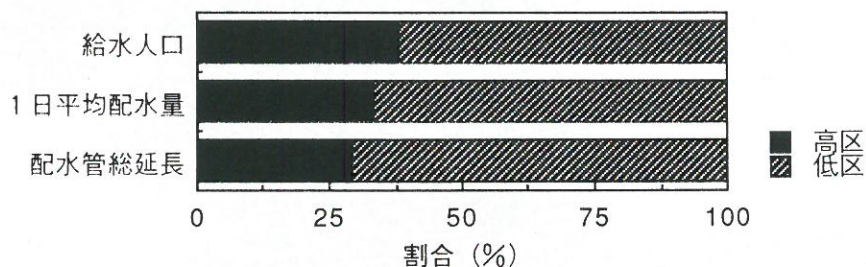


図10.7 釧路市上水道における高区と低区の給配水規模の比較

(Fig.10.7 Comparison of Scale of Water Supply System at Highlands and Lowlands in Kushiro City)

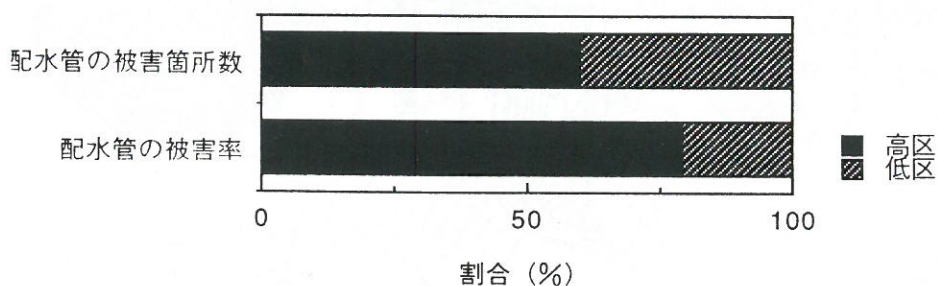


図10.8 釧路市上水道における高区と低区の被害の比較

(Fig.10.8 Comparison of Number of Damage to Water Supply Pipes at Highlands and Lowlands in Kushiro City)

## 10.2.4 厚岸町上水道の被害

### (1) 施設の概要

厚岸町上水道の平成4年度の給水人口は11,824人であり、1日平均給水量は3,864m<sup>3</sup>となっている。給水区域は厚岸湖の北部の湖北地区と南部の湖南地区に大きく分けることができる。水源は湖北地区にあるホマカイ川であり、湖北地区には取水場のほかに、門静浄水場、苫多配水池、宮園配水池がある。また、湖南地区には末広配水池がある。

### (2) 水源、取水施設、導水施設の被害

水源、取水施設、導水施設には被害が生じなかった。

### (3) 浄水施設の被害

門静浄水場の管廊において壁の剥離などが生じたが、比較的軽微な被害にとどまったので、浄水機能には障害が生じなかった。

### (4) 配水施設の被害

配水施設には被害が生じなかった。

### (5) 給配水管路の被害

配水管の被害状況は表10.5に示したが、管種別の被害件数の割合でまとめると図

10.9のようである。PP、VP、ACPの被害件数が大きいことが分かる。PPはすべて50mm以下の小口径管の被害であり、被害形態はすべて継手部の離脱である。VPは直管部の破損と継ぎ手部の離脱が半々である。ACPはほとんどが直管部の破損である。また、管径別に被害件数の割合を示すと図10.10のようである。50mm以下の小口径管の被害が多いことがわかる。

図10.11に配水管の被害箇所分布を示す。湖南地区、湖北地区ともに砂地盤のところが多く、管路の被害も砂地盤や湿地で多く発生した。若竹町港3の通りでは噴砂が確認されており、液状化が発生したともと思われる。この地域においてはACP φ150mmが2箇所、直管部で破損しており、液状化に起因する被害と考えられる。

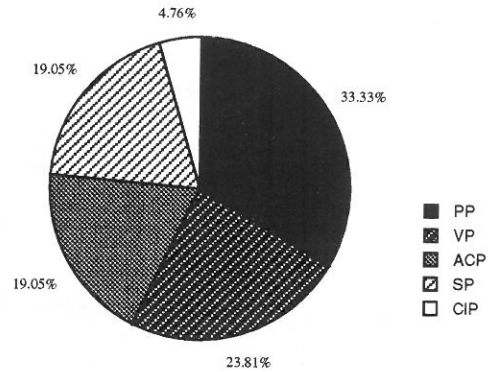


図10.9 厚岸町上水道における管種別の配水管被害件数

(Fig.10.9 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Type in Akkeshi Town)

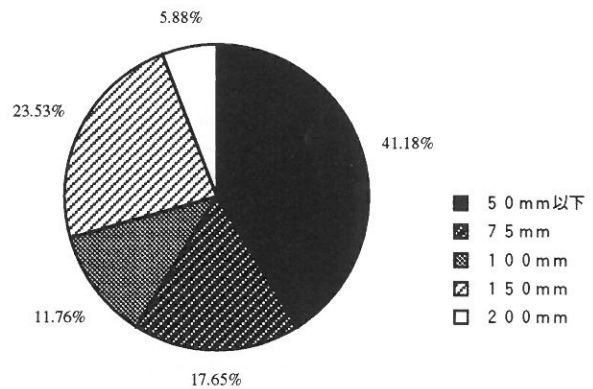


図10.10 厚岸町上水道における管径別の配水管被害件数

(Fig.10.10 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Diameter in Akkeshi Town)

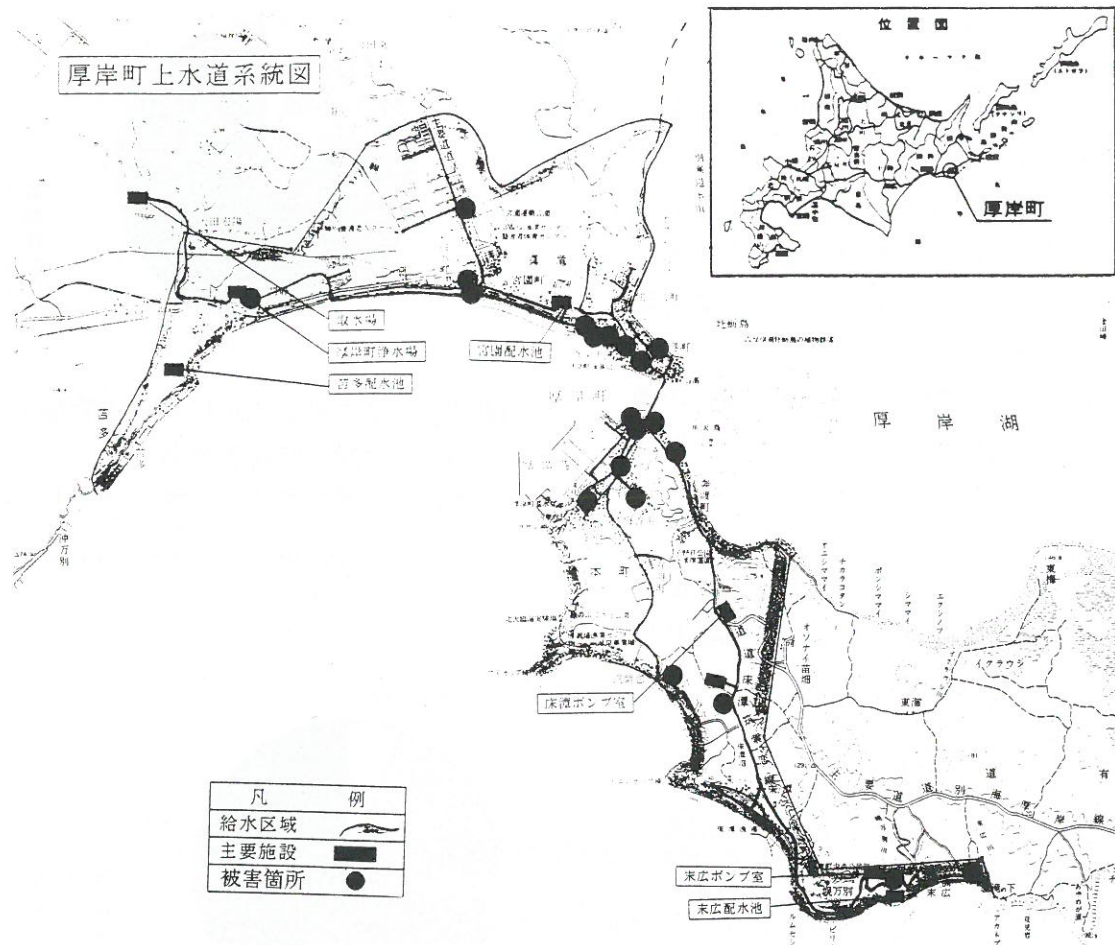


図10.11 厚岸町における配水管の被害箇所の分布  
 (Fig.10.11 Distribution of Damage to Water Distribution Pipes in Akkeshi Town)

### 10.2.5 復旧状況

今回の地震災害で特徴的であったことは、管路の破損箇所の発見が困難であったことである。地震発生当時の地盤は30cmから110cmの深さまで凍結していたので、管路が破損した水が地上へ全く漏出しなかったり、破損箇所から10mあまり離れた地上に噴出した事例が多数あった。また、漏水の修理を終えたにも関わらずに配水池の水位が十分に上がらなかったり、配水量が異常に多いことから初めて漏水を察知した例も多数あった。今回の地震で断水箇所がきわめて長かった水道事業者は、いずれも破損箇所の発見に苦労したものであった<sup>2)</sup>。

## 10.3 下水道の被害

### 10.3.1 釧路市および釧路町における施設および被害の概要

釧路市および釧路町における下水道計画、整備状況、地震による被災概要を示すと表10.10となる<sup>2)3)</sup>。

釧路市では平成4年度末における下水道施設は、処理場3、ポンプ場9、管渠総延長は947.5kmであった。地震による処理場、ポンプ場における被害としては、表10.11に示すように、建物等の伸縮部の破損と構内の地盤沈下が主であったが、処理および送水機能に影響

表10.10 釧路市および釧路町における下水道計画、整備状況、地震による被災概要（釧路市<sup>2)10)</sup>および釧路町<sup>3)</sup>による）

(Table10.10 Sewerage Facilities in Kushiro City and Kushiro Town, and Their Damage During the 1993 Kushiro-oki Earthquake<sup>2)3)10)</sup>)

			釧 路 市	釧 路 町
行政人口 (H 5. 3. 31) (千人)			200.9	21.2
普及率 (%)			81.3	55.2
下 水 道 計 画	人 口 (千人)		(282.1) 213.4	(23.9) 14.3
	面 積 (ha)	合 流	777	
		汚 水	(5,197) 3,285	(647) 377
		雨 水	(5,529) 3,467	(647) 377
	処 理 能 力 (千m <sup>2</sup> /日)		(187.2) 148.0	
	管 渠 延 長 (km)	合 流	159.5	
		汚 水	706.0	86.1
雨 水		685.3	87.0	
整 備 計 画	人 口 (千人)		164.0	11.7
	面 積 (ha)	合 流	776.3	
		汚 水	2,205.1	238
		雨 水	1529.6	121
	処 理 能 力 (千m <sup>2</sup> /日)		94.0	
	管 渠 延 長 (km)	合 流	161.2	
		汚 水	453.8	52.0
雨 水		332.5	32.3	
被 災 内 容	処 理 場		3 ケ 所	
	管 渠	合流・汚水 (m)	7,431	10,814
		雨 水 (m)	313	23.5
		マンホール (ケ所)	450	
被 災 額	処 理 場 ・ ポンプ場 (千円)		93,706	
	管 渠 (千円)		1,134,238	1,090,300
	合 計 (千円)		1,227,944	1,090,300

( ) 内は全体計画



表10.11 釧路市の処理場およびポンプ場の被害状況（釧路市<sup>2)</sup>による）

(Table10.11 Damage at Sewage Disposal Plants and Pump Stations<sup>2)</sup>)

施設名	主要な構造物基礎	被害箇所土質	被害箇所基礎	被害状況と対応
古川終末処理場 (S.49年 4月供用)	杭基礎	砂質土	杭基礎 RC φ300	予備エアレーション槽と最初沈澱池間水路エキスパンション破損により、汚水の出水吐出槽のエキスパンション破損による汚水流出
		砂質土	杭基礎 RC φ300	管廊（最初沈澱池、濃縮槽）エキスパンション破損により地下水等の流入
		砂質土	杭基礎 RC φ300	エアレーションタンク入口階段破壊、最初沈澱池防水モルタル破損
		砂質土	はしご胴木	ブロー配管エキスパンション破損による空気流出
		砂質土	杭基礎 RC φ300	自家発電設備基礎部固定ボルト曲がり発生による本体及び配管類のずれ発生
				場内一部地盤沈下 約42m <sup>2</sup>
大楽毛終末処理場 (S.62年 3月供用)	直接基礎	砂質土	直接基礎	予備エアレーション棟と最初沈澱池間のエキスパンションの開き 間隙 3cm→11~17cm
		砂質土	直接基礎	最初沈澱池入口の管廊エキスパンションの止水板破損
				場内道路の地盤沈下 約288m <sup>2</sup>
		砂質土	直接基礎	エアレーションタンク1、2系間エキスパンション破損により汚水の出水
白樺終末処理場 (S.62年 3月供用)	連続地中壁	砂質土	直接基礎	管理棟と濃縮槽間管廊エキスパンション破損し、一部段差が発生し、エキスパンション開口部より砂、地下水等の流入 段差10cm
				場内道路等の地盤沈下 約290m <sup>2</sup>
浜町ポンプ場	杭基礎			場内道路等の地盤沈下 約45m <sup>2</sup>
南浜ポンプ場	杭基礎			場内道路等の地盤沈下 約78m <sup>2</sup>
大川ポンプ場	杭基礎			場内道路等の地盤沈下 約53m <sup>2</sup>
柏木ポンプ場	杭基礎			場内道路等の地盤沈下 約46m <sup>2</sup>
旭町ポンプ場	杭基礎			増築部分の躯体剥離 間隙10cm

響はなかった。これに対し、管渠施設では延べ延長7,744mに及ぶ被害が発生した。被害の形態としては蛇行、屈折、継手破損が主なものであった。

釧路町では管渠総延長は約84.3kmであったが、そのうち10.8kmで被害を受けた。被害の形態としては蛇行、屈折、継手破損が主なものであった。また、特筆すべきこととして、木場、桂木地区の一部で約20個のマンホールが最大1.3mも浮き上がった。

### 10.3.2 釧路町におけるマンホール浮上の状況と被災原因の考察

釧路町では旧釧路川右岸側の地区において下水管渠およびマンホールが大きな被害を受けた。この地区の被害箇所を図10.12に示す<sup>3)</sup>。この地域はもともと泥炭地であったところに盛土をして、工業団地や住宅地として利用されているところである。管渠の被害は図10.12にみられるように広い地域で発生した。また、木場、桂木の一部の地区ではマンホールの浮き上がりが発生した（口絵写真20（その1）参照）。

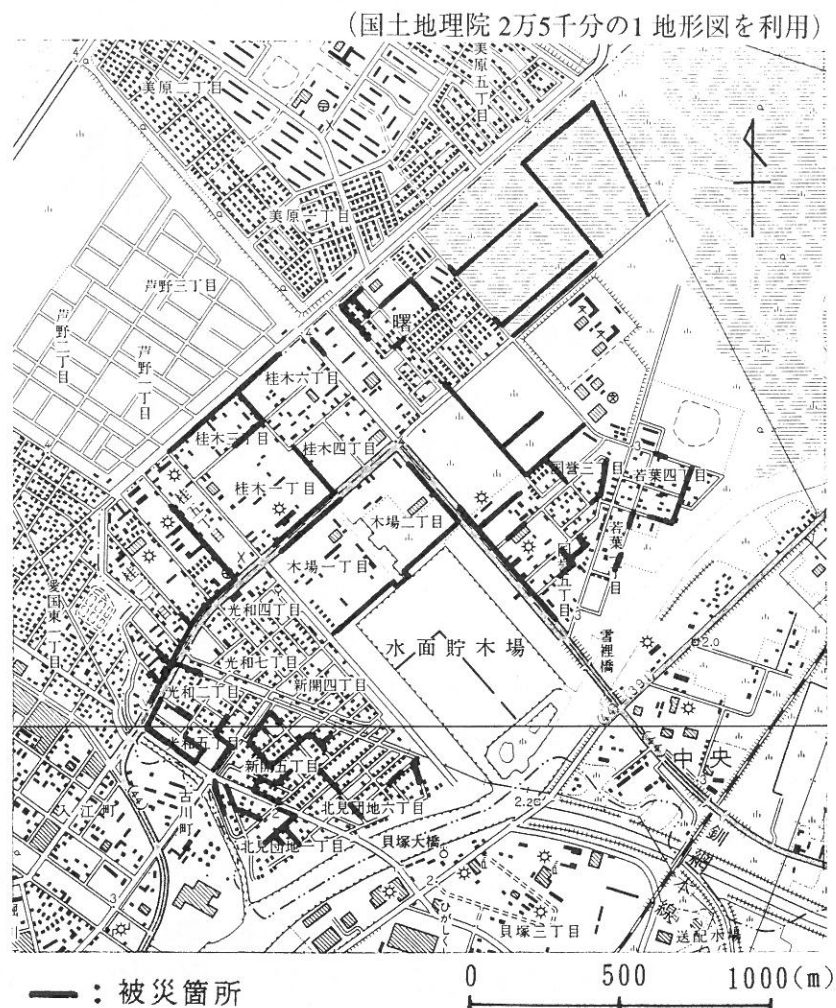


図10.12 釧路町における下水道管被害箇所（釧路町<sup>3)</sup>による）  
 (Fig.10.12 Locations of Damaged Sewerage Pipes at Kushiro Town<sup>3)</sup>)

図10.13にこの地区でのマンホールの浮き上がり量<sup>4)</sup>を示す。図にみられるように、国道44号線（バイパス）の歩道部に設けてあったマンホールと、それに直交する道路の歩道部に設けてあったマンホールが浮上した。ニチイの角の部分で最大で1.3mも浮き上がり、その両側で浮き上がり量が小さくなるような分布をしている。一部の歩道上で噴砂はみられたものの、マンホール周囲に多量の噴砂が発生している状況ではなかった。また、マンホールは傾かず、ほぼ鉛直に浮き上がっていた。

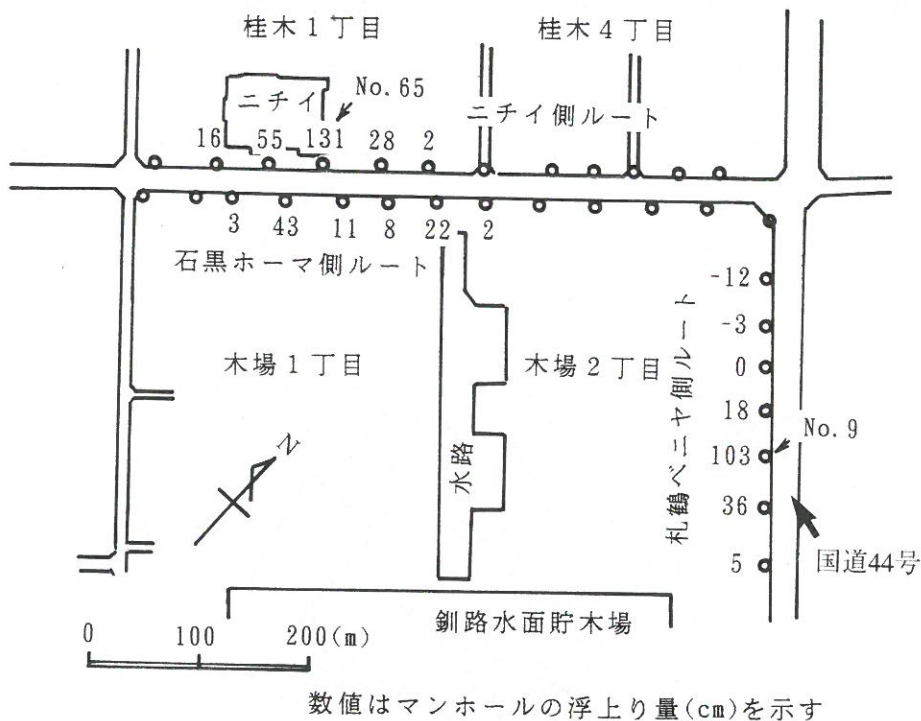


図10.13 下水道マンホールの浮き上がり地点と浮き上がり量  
 (釧路町木場・桂木地区、建設省土木研究所<sup>4)</sup>による)  
 (Fig.10.13 Locations and Heights of Uplifted Manholes<sup>4)</sup>)

このように浮き上がった原因を解明するため、地震後9カ月たった10月に開削調査が釧路町と建設省土木研究所で行われた。また、同時に、詳細な土質調査も行われた。図10.14にニチイ側のボーリング結果と地質断面図を示す<sup>4)</sup>。ボーリングは原地盤部と埋戻し部で行われており、断面図は原地盤部のものを示している。これによるとGL.-2m程度まで盛土があり、その下に1~2mの厚さの泥炭層があって、沖積のシルト質細砂層へと続いている。シルト質細砂層のN値は10以下と小さい。一方、埋戻し土は礫混りの細砂~中砂からなり、N値は0~11（平均3）と非常に小さい。ニチイの反対側および直交する札鶴ベニヤ側ルートも同様の地質断面であった。マンホールの底はGL.-4m付近にあった。この深さは泥炭層と沖積砂層の境界付近かまたは少し沖積砂層にはいったところに相当する。

開削調査はニチイ側および札鶴ベニヤ側それぞれで最大に浮き上がったマンホール（図10.13のうちNo.65、No.9の地点）に対して行われた（口絵写真20（その2）、同（その3）参照）。この開削調査によって次のようなことが観察されている。

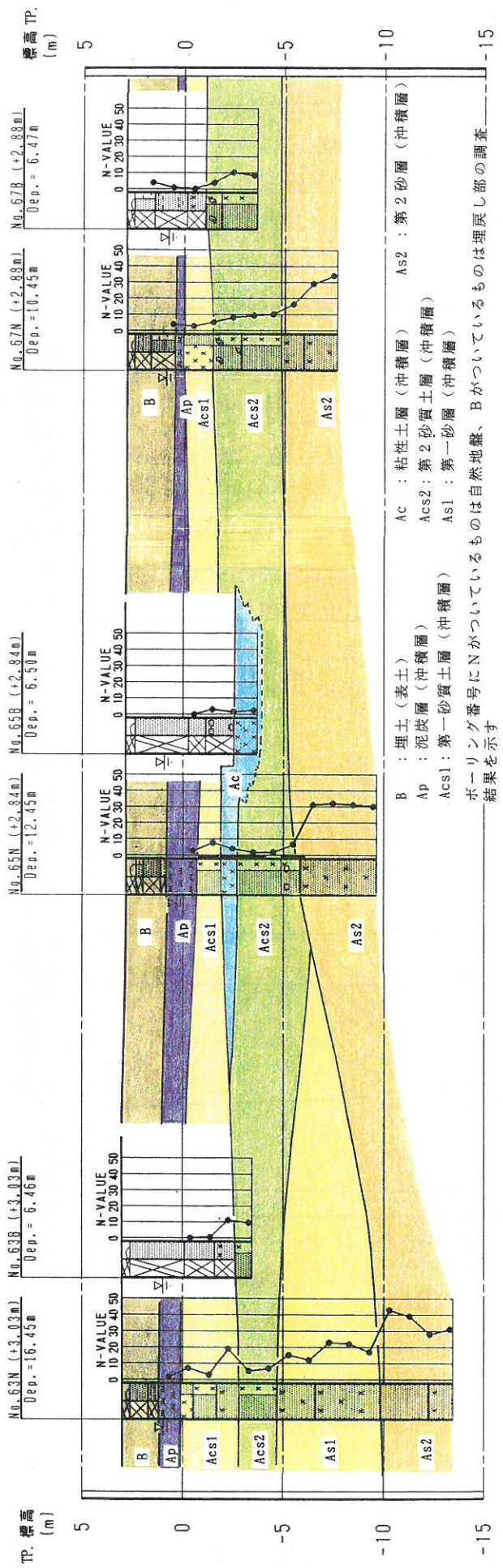


図10.14 ニチイ側地質断面図 (建設省土木研究所<sup>4)</sup>による)

(Fig.10.14 Soil Cross Section around No.65<sup>4)</sup>)

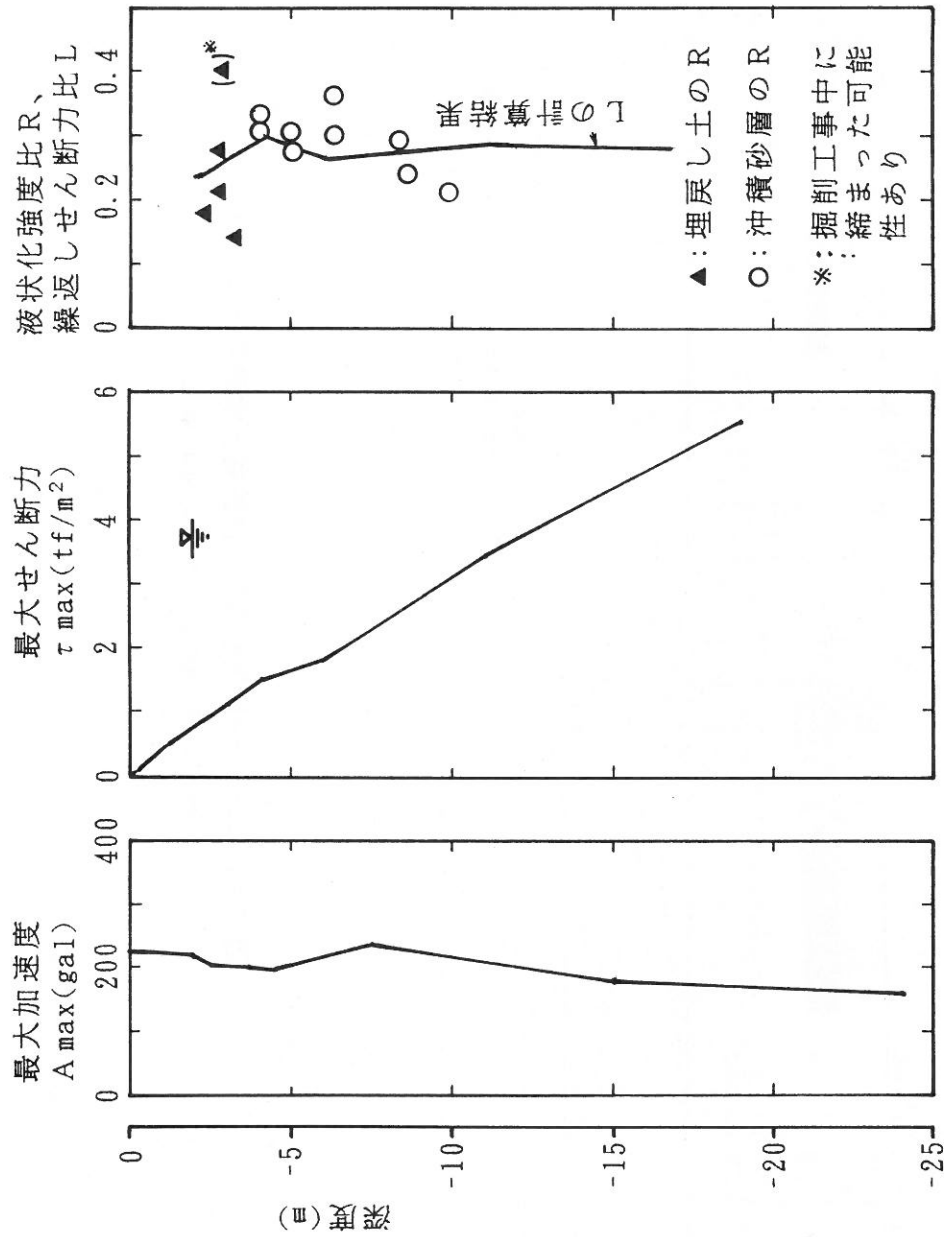


図10.15 沖積砂層・埋戻し土における液状化強度比および繰返しせん断力比の深度分布(建設省土木研究所<sup>4)</sup>および安田ら<sup>6)</sup>による)

(Fig.10.15 Comparison of Cyclic Strength Ratios of Alluvial Sands and Backfill Sands, and Cyclic Stress Ratios Induced in the Ground During The 1993 Kushiro-oki Earthquake<sup>4,6)</sup>)

- (1) マンホールのリングははずれずに、全体として浮き上がっていた。
- (2) 両側の管渠もマンホールからはなれず、同時に浮き上がっていた。マンホール No.65 の北東側ではさらに下水管の方が大きく浮き上がっていた。
- (3) マンホールの下部は空洞にはならず砂が入り込んでいたが、その砂は沖積のシルト質砂よりは埋戻し土に近いものであった。
- (4) マンホールを設置する際に掘削底面に井桁基礎を敷いて、その上にマンホールが置かれているが、その井桁は大きくは浮き上がっていなかった。

建設省土木研究所では沖積シルト質細砂層に対し、乱さない試料を採取して繰返し非排水三軸試験が行われている<sup>4)</sup>。図10.15にその結果を示すが、液状化強度比 $R$ は0.3前後とあまり液状化し易いと言えない土ではなかった。また、地質年代的にみても約3千年前に堆積したものではないかと考えられており、この点からも特に液状化し易い地層であったとは言えないようである。これに対し、埋戻し土の液状化強度比は図10.15に示すように0.14~0.28 (平均0.20) と小さく、液状化し易い土であった。

この地区の地盤モデルに対して厚岸の砂岩・礫岩互層上で記録された波形<sup>5)</sup>を基盤に入力し"SHAKE"によって1次元地震応答解析を行い、繰返しせん断力比 $L$ を求めた結果<sup>6)</sup>を図10.15に示す。 $L$ と $R$ を比較すると、 $R$ の方が沖積砂層では全体に大きく、埋戻し土では小さくなっている。したがって、埋戻し土は液状化したのは明かなようであり、沖積砂層では液状化していないのではないかと考えられる。

ただし、図10.16に沖積層の基底分布図<sup>7)</sup>を示すように、丁度この付近で沖積層の基底が約70mと大変深い埋没谷が存在している。これに起因してこの地区だけマンホールが浮き上がったのではないかと岡崎<sup>8)</sup>は推測している。杉戸<sup>9)</sup>は、地震後に図10.16のうちのA-Bラインに沿って常時微動観測を行っているが、それによると図10.17に示すように、この付近でピーク周期が大きくなっており、基盤が深いことと対応している。このようにこの地区では沖積層の

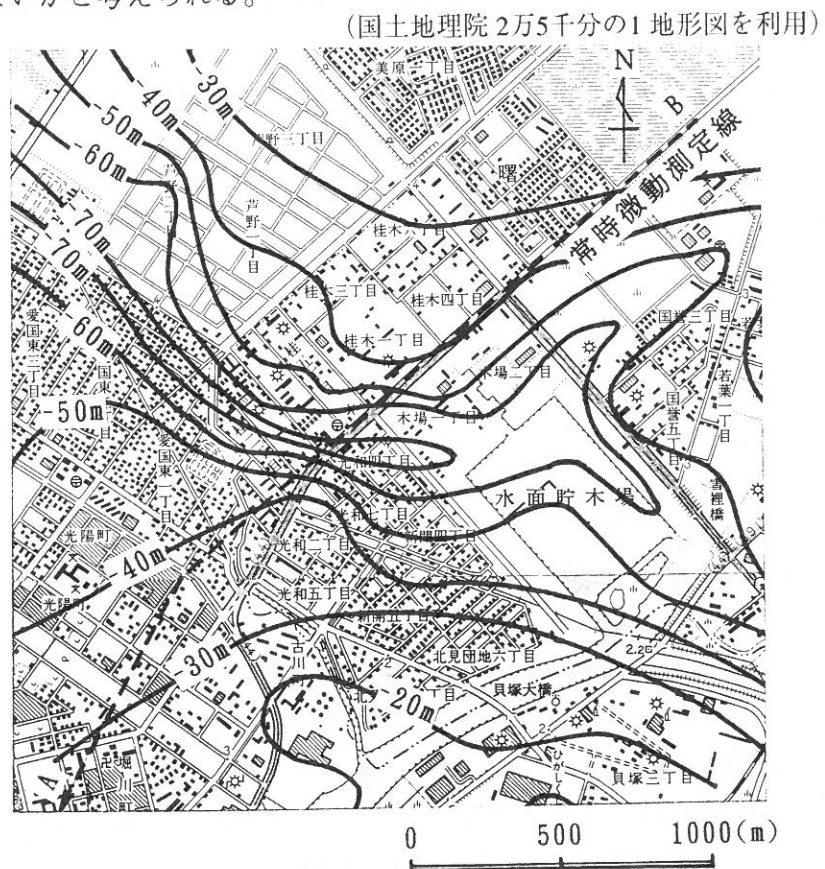


図10.16 木場付近の沖積層の基底分布図  
(岡崎<sup>7)</sup>による)

(Fig.10.16 Contour Lines of the Bottom of Alluvial Soils<sup>7)</sup>)

厚さが厚いとか基盤が凹状になっているために、地震応答が大きくてLが図10.15に示した値より大きい所が局部的にあり、沖積砂層内でも部分的に液状化した可能性も考えられる。なお、図10.13と図10.16、図10.17を比べてみると、No.9点は基底が深い所に一致するが、No.65点は少しずれている。これは、単に基盤の深さだけでなく、基盤が凹状になっている2次元効果により地震応答が大きいの位置がずれた可能性も考えられる。

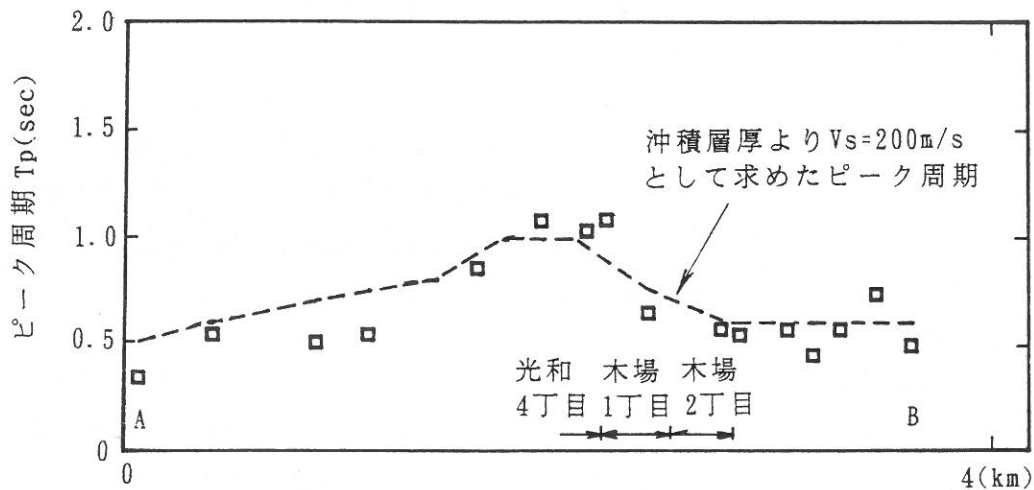


図10.17 常時微動測定結果 (杉戸<sup>9)</sup>による)

(Fig.10.17 Distribution of Predominant Periods Measured by Microtremor<sup>9)</sup>)

以上より、マンホールが浮き上がった原因として次の2ケースが考えられる。

(a) 埋戻し土が液状化したため

(b) 原地盤の沖積砂層が液状化したため (ただしこの場合も埋戻し土は液状化している)

後者とした場合、液状化による過剰間隙水圧の消散にともなって、液状化した砂が埋戻し部へ噴き上がってきているはずである。ところが、前述したように開削調査によるとマンホールの下部にあったのは埋戻しの砂らしきものであった。また、図10.15などによると、沖積砂層が液状化していたとしても局部的であったのではないかと考えられる。さらに、10.3.3項で後述するように、釧路市内の他の地域でも、埋戻しの液状化によると考えられる下水管渠の浮き上がりが生じていた。これらのことにより、マンホールが浮き上がった主な原因は埋戻し土の液状化にあるのではないかと推察される。ただし、沖積砂層が液状化したか否かは微妙なところであり、今後さらに検討が行われることが望まれる。

埋戻し土の液状化に起因していると思なした場合、この地区が特に液状化し易かった理由としては次のことが考えられる。

- ① 泥炭地で応答や繰返しせん断変形が大きかった。
- ② 基盤が深く応答が大きかった。
- ③ 泥炭層は不透水層であり、また表層は凍結していたため非排水状態となっていた。
- ④ 元々泥炭地のため、地下水位が浅かった。

なお、新潟地震では液状化に起因して下水のマンホールが大きく浮き上がった例はあるが、その後の地震ではあまり例がない。今回特により浮き上がり易かった原因としては、

以下のようなことが考えられる。

- ア) 図10.18にマンホールの構造図を示すが、  
釧路町や釧路市では深さ方向に一定直径の円筒状タイプのマンホールを使用していた。そのため、首があるタイプに比べて、浮き上り易かった。
- イ) マンホールが歩道に設置してあったため、  
舗装の部分の浮き上がりに対する抵抗力が小さく浮き上がり易かった。
- ウ) マンホールの下に井桁基礎が敷かれており、  
液状化した埋戻し土がマンホールの下にもぐり込み易く、そのため浮き上がり易かった。
- エ) 液状化の程度が激しかった。

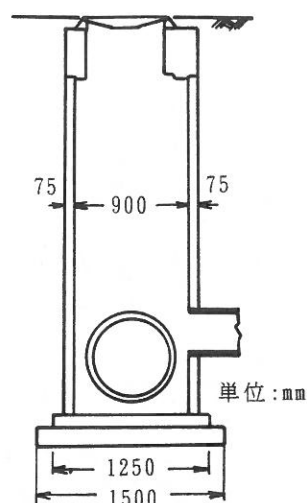


図10.18 マンホールの構造  
(釧路町<sup>3)</sup>による)

(Fig.10.18 Cross Section of a Manhole<sup>3)</sup>)

### 10.3.3 釧路市および釧路町における管渠の被災原因の考察

釧路市および釧路町における下水管渠の被災箇所および被災状況を示すと図10.19および表10.12となる。被害は大別して、次の3地域で発生している。

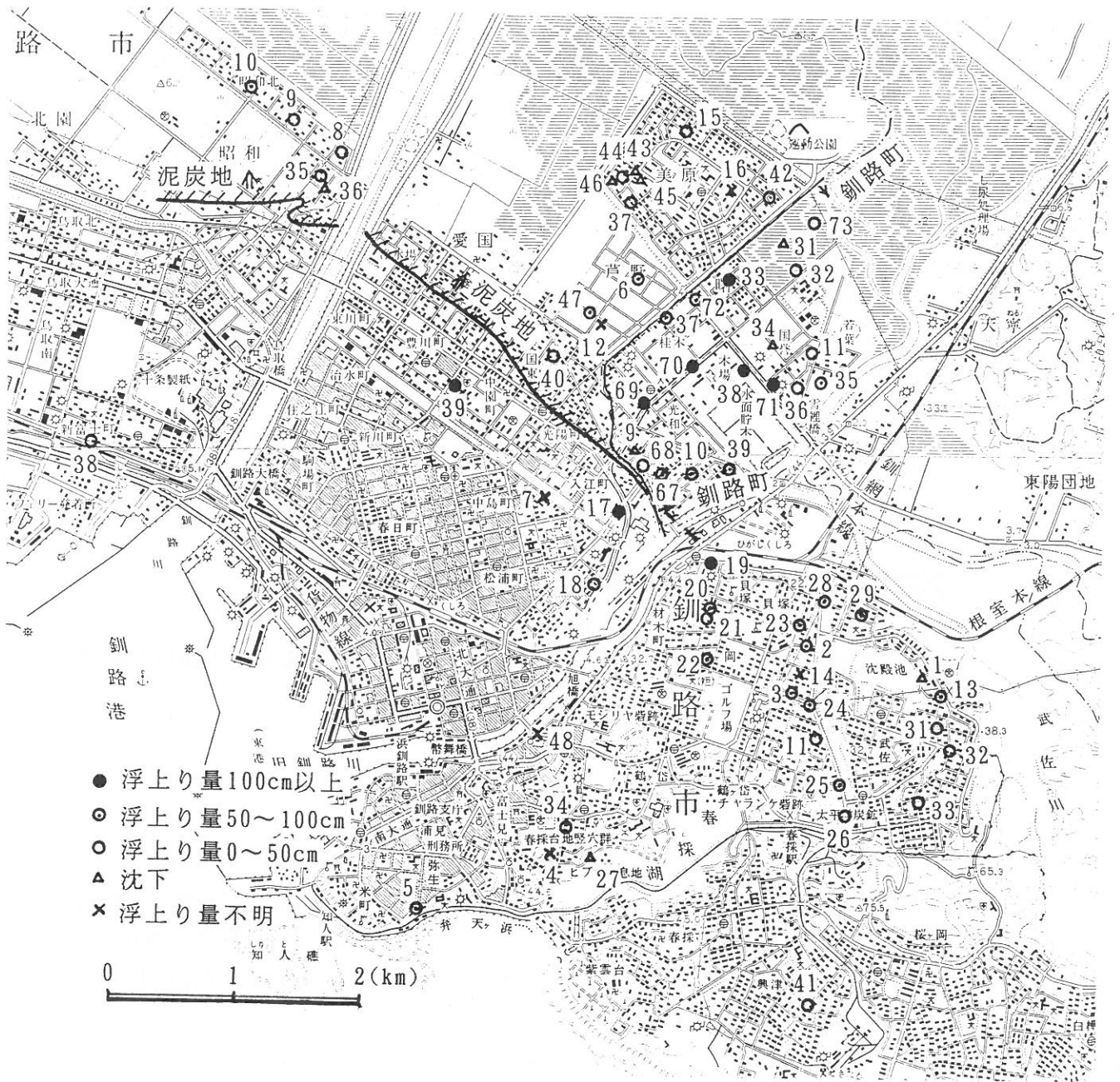
- (a) 緑ヶ岡などの台地の斜面付近
- (b) 緑ヶ岡付近の低地
- (c) 釧路市北部や釧路町西部での低地

表10.12には管渠の復旧にあたって測定された、管の移動量も示した。ただし、この値は各被災区間での移動量の最大値を示している。この値と、復旧作業にあたられた釧路市の職員の方の意見を合わせると、(a)の地区では斜面のすべりに伴って下水管が押しされ、屈折したり切断したものが多かったのに対し、(b)や(c)の地区では下水管が10cm~1m程度浮き上がった所が多かったようである。

前者は斜面のすべりやはらみ出しによる強制力で生じたと言えよう。これに対し、後者の浮き上がった原因としては、上述したマンホールと同様に液状化によるものではないかと推察される。図10.20に浮き上がりを生じた例として、No.6区間での被災状況を示すが、ここでは87cm浮き上がっている。なお、表10.12に示したように被災した管の基礎としては砂利やはしご胴木が用いられている。これらは図10.21に示すように、砂利等で10~30cm程度、はしご胴木で15~20cm程度の厚さになっている。

図10.19にはこの地域における泥炭地の分布図<sup>7)</sup>も示したが、これと被災箇所を比較してみると、(b)、(c)の被害地域は泥炭地にほぼ該当していると言えそうである。釧路市では下水管渠の被災原因について、地層断面図などを作成し検討を続けているところである<sup>11)</sup>が、そのうち、被災および無被災箇所での管渠埋設深度における原地盤土の土層名をまとめた図を図10.22に示す。これにみられるように、被災箇所は砂質土層のみでなく泥炭層でも





(注) 図中の数字は表10.12に示す被災箇所番号を示す。

(国土地理院 5万分の1 地形図を利用)

図10.19 下水道管渠被災箇所 (釧路市<sup>10)</sup>および釧路町<sup>3)</sup>による)  
 および泥炭地の分布 (岡崎<sup>7)</sup>による)

(Fig.10.19 Locations of Damaged Sewer Pipes and Areas of Peat Ground<sup>3)7)10)</sup>)

表10.12 (その1) 釧路市の下水道管渠被災状況 (釧路市<sup>2)10)</sup>による)(Table10.12(1) Damage of Sewage Pipes in Kushiro City<sup>2)10)</sup>)

番号	管 径 (mm)	埋設深度 (m)	基 礎	移動量 (cm)		被害 状況
				鉛直	水平	
1	250	2.5-3.1	原地盤	-12	9	A
2	250	1.8-3.7	はしご胴木	+98	20	
3	250 900	1.5-4.2 2.6-4.9	下流から216m 地盤改良原地盤	+76	45	A
4	500	1.7-3.3	はしご胴木・砂利			
5	250	3.0-4.7	砂利	+91	5	
6	250	2.2-3.6	砂	+87	3	
7	350-450	4.1-5.4	砂利			
8	200	2.2-2.6	はしご胴木・砂	+26	1	
9	200	1.6-4.1	はしご胴木・砂	+46	8	
10	200	2.7-3.1	砂・はしご胴木	+61	15	
11	250	1.7-2.6	碎石	+35	3	
12	250	3.7-4.2	碎石			
13	250	4.2-4.7	はしご胴木	+69	6	
14	300, 200-250	2.0-3.8	鳥居基礎			A
15	250	3.2-3.7	砂利	+24	7	
16	250	6.2-6.9	なし			
17	250	3.0-3.1	はしご胴木	+102	4	
18	250	3.7-3.8	はしご胴木	+46	3	
19	250	3.6-3.7	砂利	+135	12	
20	250	3.6-3.7	砂利	+66	8	
21	450	3.0-3.5	砂利	+40	5	
22	250	2.0-2.4	砂利	+51	2	
23	200-250	2.9-3.3	砂・砂利	+52	4	
24	250	2.0-3.0	はしご胴木	+67	8	
25	250	1.6-3.0	砂利	+55	5	
26	250	2.7-3.1	はしご胴木	+34	3	
27	250	2.9-3.0	砂	-51	5	
28	250	2.8-3.5	砂利	+87	4	
29	250	3.2-4.3	はしご胴木・砂利	+65	1	
30	250	1.9-2.5	原地盤			
31	250	2.4-3.3	砂利	+35	60	
32	250-900	2.5-3.4	砂利	+35	2	
33	250	2.1-2.5	砂利	+21	5	
34	250	1.8-3.3	はしご胴木	+47	4	
35	200	2.8-3.2	はしご胴木	+21	7	
36	250	3.2-3.4	砂	-10	9	
37	250	2.8-3.1	砂利	+34	1	
38	250	1.9-2.0	原地盤	+37	7	
39	250	3.8-4.5	砂利	+116	12	
40	200	2.4-3.4	はしご胴木	+30	14	
41	200	2.8-3.5	はしご胴木	+45	4	
42	800-900	3.3-3.9	砂利	+42	5	
43	250	2.3-2.8	砂利	-23	10	
44	250	1.6-4.4	砂利	+26	7	
45	250	2.2-2.5	砂利	-12	5	
46	250	2.1-2.3	砂利	-19	4	
47	250	2.7-4.4	砂	+83	3	
48	800	4.1	砂利			

A:道路、崖の崩れによる破損

鉛直移動量の+は浮上りを示す

表10.12 (その2) 釧路町の下水道管渠被災状況 (釧路町<sup>3)</sup>による)  
 (Table10.12(2) Damage of Sewage Pipes in Kushiro Town<sup>3)</sup>)

番号	基礎	鉛直移動量(cm)
9	はしご胴木	-31.3
10	はしご胴木	+80.3
11	はしご胴木	+36.2
31	砂基礎	+22.0
32	砂基礎	-18.0
33	砂基礎	+121.7
34	はしご胴木	-36.9
35	はしご胴木	+59.0
36	はしご胴木	+30.8
37	はしご胴木	+73.3
38	はしご胴木	+165.7
39	はしご胴木	+59.2
67	はしご胴木	+76.0
68	はしご胴木	+33.4
69	はしご胴木	+121.2
70	はしご胴木	+140.0
71	はしご胴木	+162.0
72	はしご胴木	+66.6
73	砂基礎	±20.0

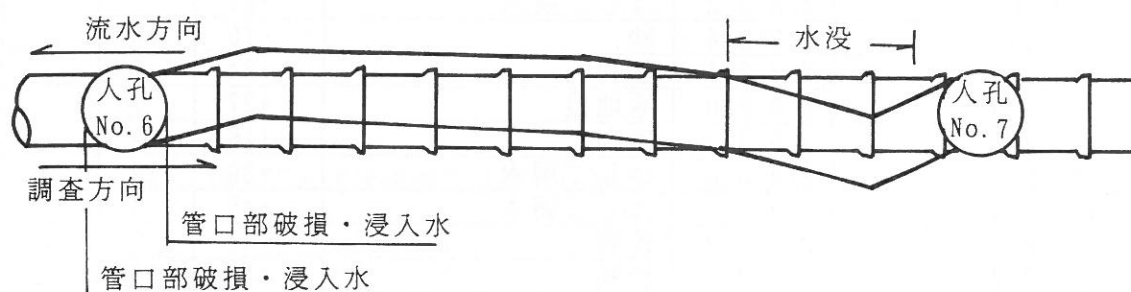
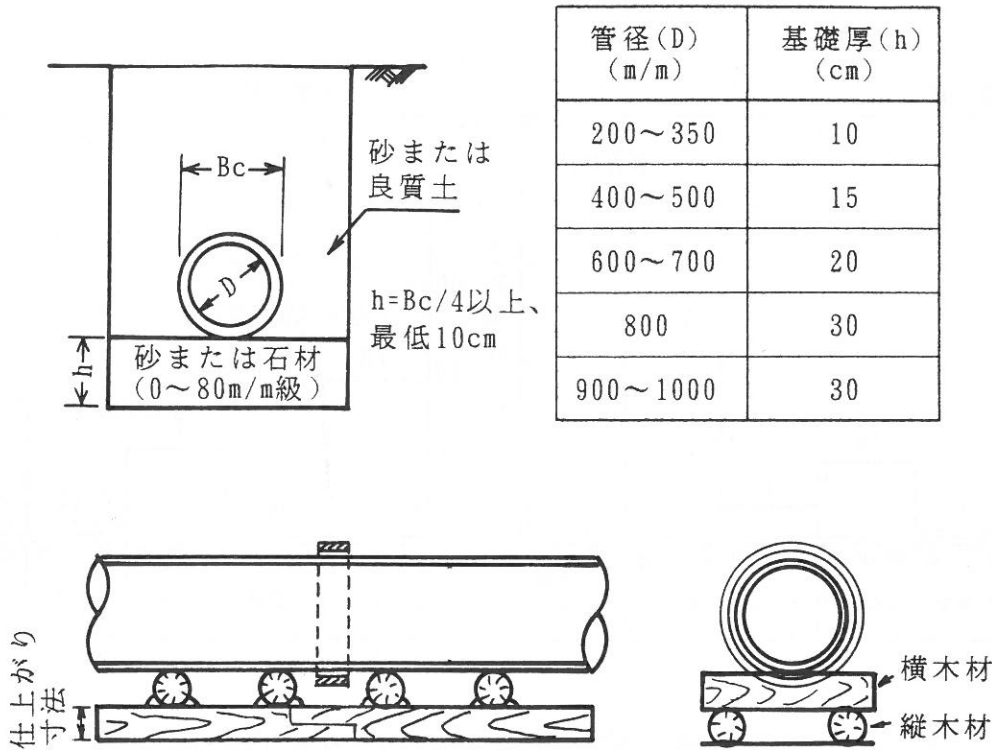


図10.20 下水管渠被災状況例 (No.6、釧路市<sup>11)</sup>による)  
 (Fig.10.20 An Example of a Damaged Sewage Pipe<sup>11)</sup>)



管径 (m/m)	横木材寸法 (cm)	縦木材寸法 (cm)
250~350	180 * 10.5 * 7.5	400 * 12.0 * 9.0
400	180 * 12.0 * 9.0	400 * 12.0 * 9.0
450~600	180 * 12.0 * 9.0	400 * 12.0 * 9.0
700~1000	180 * 15.0 * 12.0	400 * 15.0 * 12.0

寸法は、長さ \* 末口 \* 仕上げ

図10.21 下水管渠の基礎 (釧路市<sup>11)</sup>による)

(Fig.10.21 Foundations of Sewage Pipes<sup>11)</sup>)

多かったようである。したがって、下水管が浮き上がった主な原因も、上述したマンホールと同様に、埋戻し土の液状化にあるのではないかと推測される。ただし、沖積砂層の液状化の可能性も考えられるため、今後検討が進められることが望まれる。

埋戻し土の液状化が主な被災原因と考えた場合、釧路市内の他の地区に比べて泥炭地で埋戻し土が液状化し易かった理由としては、以下のことが挙げられる。

- ①泥炭層が軟弱なため地震動が増幅し易く、繰返しせん断変形も大きかった。
- ②泥炭層は難透水層であり、また表層は凍結していたため、埋戻し土の周囲は非排水状態となっていた。
- ③元々泥炭地のため、地下水位が浅かった。

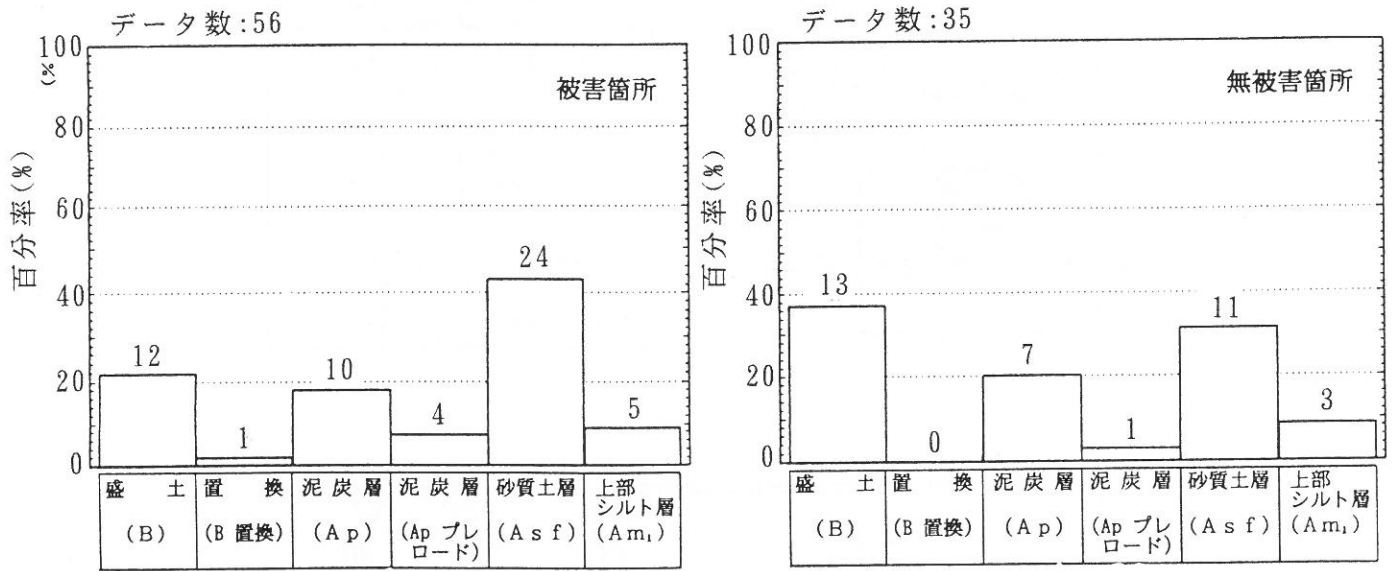


図10.22 下水管渠埋設深度での原地盤土の土質名 (釧路市<sup>11)</sup>による)  
 (Fig.10.22 Soil Types at the Depth of Damaged and Non-damaged Sewage Pipes<sup>11)</sup>)

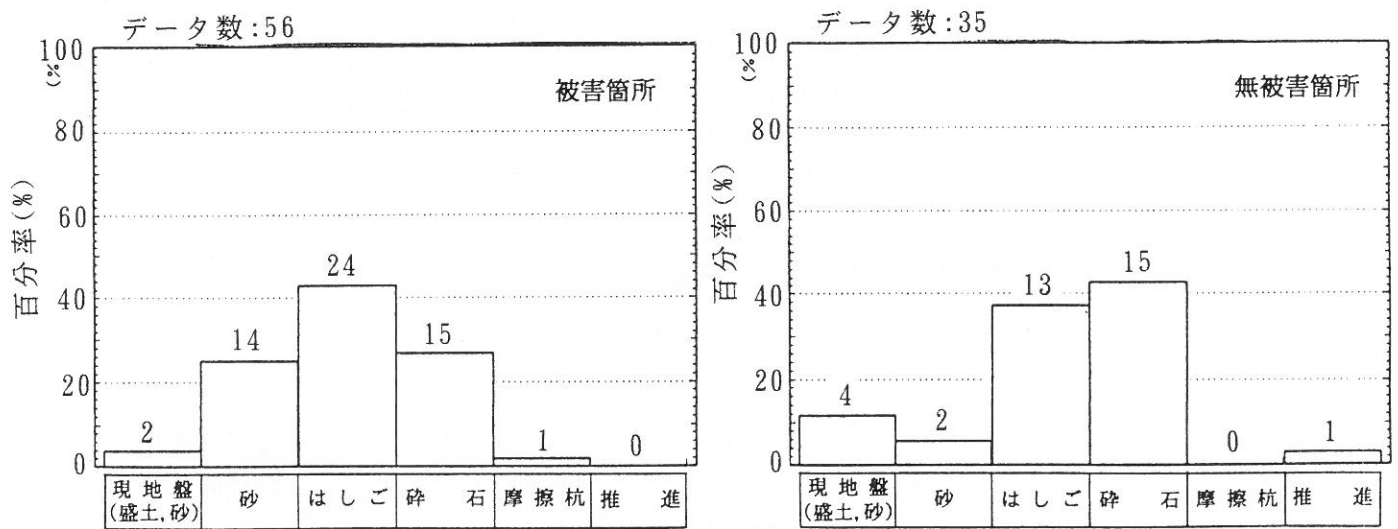


図10.23 下水管渠基礎の種別 (釧路市<sup>11)</sup>による)  
 (Fig.10.23 Types of Foundations of Damaged and Non-damaged Sewage Pipes<sup>11)</sup>)

また、液状化によって浮き上り易かった理由としては、次のことが考えられる。

- ア) 図10.23にまとめられているように、管渠の基礎に砂やはしご胴木が用いられた箇所の被害が多かった。管渠が浮き上がるためにはその下部に液状化した埋戻し土が回り込む必要があると考えられる。砂の場合では基礎も液状化して、また、はしご胴木では掘削底から15～20cmほど管が上にあったため、回り込み易かったのではないかと考えられる。
- イ) 上述したように液状化し易かったため激しい液状化が発生して、浮き上ががりに対する土の抵抗力が大幅に低下した。

#### 10.3.4 復旧状況

下水道施設の被害のうち、下水処理場及びポンプ場については、表10.11に示すようにエキスパンション部の破損や地盤の沈下といった被害が生じた。エキスパンション破損部からの湧出水に対しては、応急復旧として排水ポンプで対応され、本復旧では可とう性継手を設けて復旧された。また、構内の地盤沈下については、碎石を投入して応急復旧が行われた<sup>2)</sup>。

管路の被害に対しては、まず、道路決壊によって雨泥水管の欠落した武佐4丁目など、被害の大きかったところで、サニーホースを用いて被害を受けなかった管渠まで送水するなどの応急措置がとられた。その後、査定に応じて本復旧が行われていった。本復旧における工法は基本的に被災前と同じ工法で行われ、原形復旧とされた<sup>2)</sup>。

### 10.4 ガスの被害

#### 10.4.1 被害状況

本節では文献12)に基づいてガス施設の被害ならびに復旧状況について述べる。釧路市と釧路町の一部の地域に対し、釧路ガスによりガスの供給が行われている。需要家件数は約7万件であり、ガス導管は表10.13に示すように総延長2,751kmであった。

今回の地震により、表10.14に示すように、中圧本管で3カ所、低圧本管で17カ所などの被害が発生した。これらはガス導管の接続部分の被害（管の抜け出し、折損、亀裂等）がほとんどであり、その他としてガスメーターの損傷が2件発生した。なお、製造設備には全く被害がなく、また、整圧器、バルブ等においても被害はなかった。

地震後、被害を受けた中圧本管のバルブ閉止、低圧管のバルブ閉止等によるブロック化、並びに引込管のバルブ閉止によって、合計9,391戸の供給支障が生じた。また、大楽毛地区および城山地区等において漏洩したガスによる一酸化中毒が発生し、うち1名の方が亡くなられた。

表10.13 釧路ガスにおけるガス導管の延長（日本ガス協会<sup>12)</sup>による)  
 (Table 10.13 Length of Gas Pipelines in Kushiro City<sup>12)</sup>)

導管の種類	延長
中圧本管	51km
低圧本管	243km
支管	526km
供給管	130km
灯外内管	913km
灯内内管	888km
計	2,751km

表10.14 ガス導管の被害箇所数（日本ガス協会<sup>12)</sup>による)  
 (Table 10.14 Number of Sites of Damaged Gas Pipes<sup>12)</sup>)

導管区分	供給停止地区	供給継続地区	計
中圧本管	3	0	3
低圧本管	11	6	17
支管	74	39	113
供給管	62	11	73
灯外内管	36	61	97
灯内内管	7	7	14
合計	193	124	317

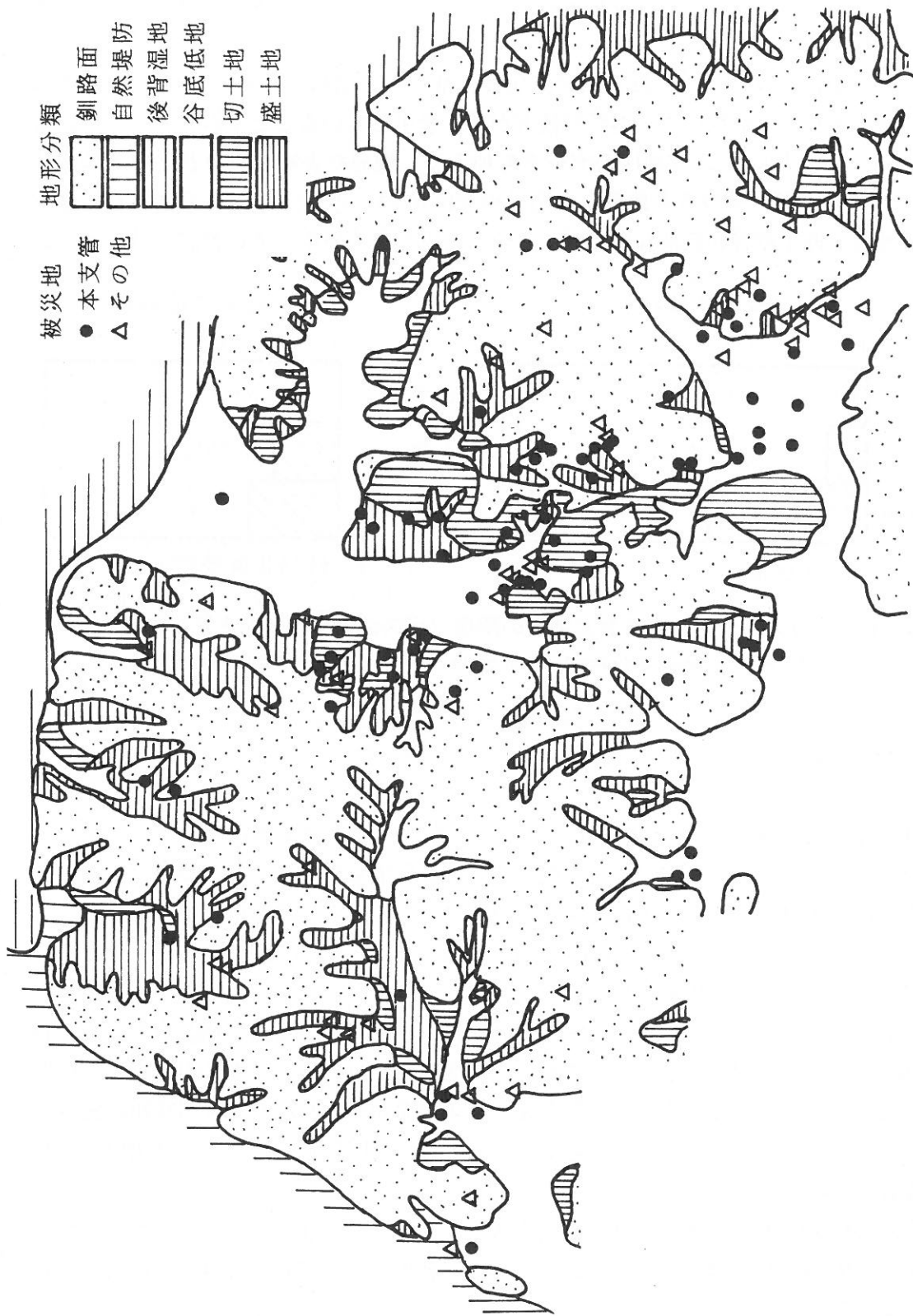


図10.24 武佐・緑ヶ岡・貝塚地区におけるガス導管の被害発生箇所と地形  
 (ガス協会<sup>12)</sup>による)

(Fig.10.24 Comparison of Locations of Damaged Gas Pipes and Topography  
 at Musa, Midorigaoka and Kaizuka Districts<sup>12)</sup>)



## 10.4.2 被害と地盤の関係

ガス導管の被害は釧路市東部の武佐・緑ヶ岡・貝塚地区に特に集中して発生した。9.2節で前述したように、この地区は段丘を切り盛りにより造成して宅地化したところで、盛土の崩壊や地割れが多く発生している。

この地区におけるガス導管の被害発生箇所と、地形との関係を比較したのが、図10.24である。盛土部や谷底低地にガス導管の被害が多く発生していることがわかる。この地区のデータに美原や大楽毛など6地区のデータも加えて、地形や表層地質などと被害の関係が調べられているが、そのうち地形との関係例を図10.25に示す。これにも見られるように、混在地盤（盛土や谷底低地等）でガス導管の被害が多く発生していた。

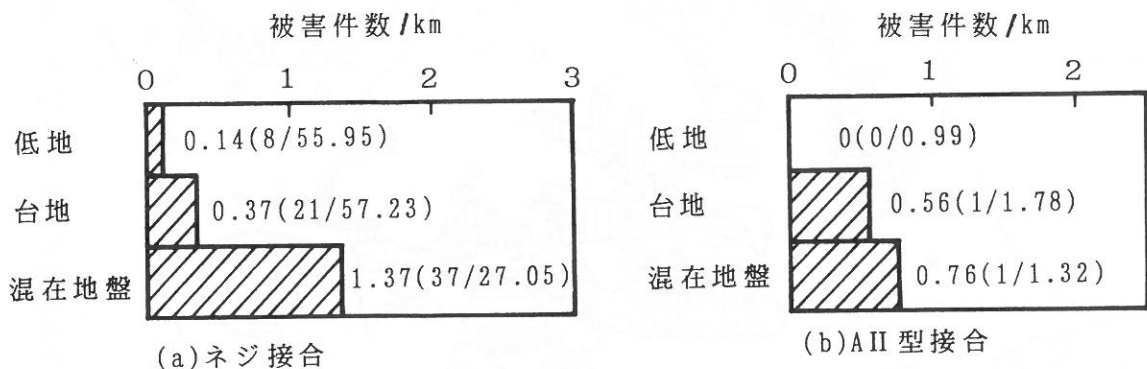


図10.25 ガス導管の被害件数と地形の関係（ガス協会<sup>12)</sup>の資料を基に作成）  
 (Fig.10.25 Relationships Between Number of Damaged Gas Pipes and Topography<sup>12)</sup>)

## 10.4.3 復旧状況

釧路ガスでは供給地域を7つの大ブロックとそれをさらに区分する17の小ブロックとに分けてあった。したがって、地震による被害が東部に集中していることがわかったため、全面的な供給停止は行わず、被害の大きかったブロックのみの供給停止が行われた。

被害を受けた地域のうち、大楽毛地区の90件に関しては、地震発生の2日後にはガス導管の修理が完了し、供給が再開された。

これに対し、武佐・緑ヶ岡・貝塚地区の9301件については、地震発生後22日たった2月6日に全地域の完全復旧が完了した。この地区では区内を27のブロックに細分化し、復旧作業のあと各ブロックの健全性を確認した後、ガスの開通が行われた。復旧時期は厳冬期であり、また、火山灰土からなる丘陵地であったため、復旧作業にあたっては次のような厳しい条件がつけ加わった。

- ①最低気温が-10℃程度と非常に低く、途中吹雪、霰、雨等が降る最悪の条件であった。
- ②80cm～1m程度の深さまで地盤が凍結しており、掘削の作業に通常の3倍程度の作業時間を要した。
- ③導管損傷箇所から水、泥が侵入し、除去作業に時間を要した。

## 10.5 電力施設の被害

### 10.5.1 釧路地域における地域特性と電力施設の概要

#### (1) 地域特性

全道面積の約26%、全道人口の13.1%、全道契約口数の13.7%が北海道電力(株)釧路支店管轄内にある。

産業構造の特色は、第一次産業の従事者が多いことである。第一次産業の従事者は17.5%で、全道の平均10.8%を上回っている。特に、釧路、根室管内の水産業、帯広管内の農業が大きなウエイトを占めている。第二次産業では、石炭、森林、工業用水等に恵まれていることから、石炭、紙、パルプなどの資源立地型の産業が古くから発展してきた。

表10.15 供給設備概要

(Table 10.15 Outline of Power Station in Kushiro Area)

			許可出力 (kW)	備 考	
北海道電力(株)発電所	水	阿寒水系	上飽別発電所	4,150	調整池式 流 込 式 " "
		飽別発電所	6,500		
		徹別発電所	2,250		
		蘇牛発電所	3,270		
		小 計	16,170		
		十勝水系	然別第一発電所	13,500	
	然別第二発電所	7,100			
	上岩松発電所	30,000			
	岩松発電所	12,600			
	富村発電所	40,000			
	十勝発電所	40,000			
	小 計	143,200			
計		159,370	(1,093,425)		
火力	音別発電所	148,000	ガスタービン		
計		148,000	(3,079,260)		
原子力			(1,158,000)		
合 計		307,370	(5,330,685)		
他社発電所	水力(電源開発)	幌加発電所	10,000	調整池式	
		糠平発電所	42,000	貯水池式	
		芽登第一発電所	27,400	調整池式	
		芽登第二発電所	28,100	"	
		足寄発電所	40,000	"	
		本別発電所	25,000	"	
		熊牛発電所	15,400	貯水池式	
	合 計		187,900	(火力 250,000 水力 261,300)	
総 計		495,270	(5,841,985)		

注 1. 備考欄( )内数値は全道計

## (2) 電力施設の概要

表10.15に、管内供給設備概要を示す。水力発電所が10ヶ所、火力発電所が1ヶ所、そのほか他社の水力発電所が7ヶ所管内に存在する。管内にある発電所の90%は、水力発電所である。ただし、この管内唯一の火力発電所である音別発電所は、バックアップ電源であり常時には稼動していない。通常は、負荷への供給を行う2次変電所として稼動している無人の発電所である。今回の地震においては、緊急用電源として稼動した。

図10.26に、管内送電系統図を示す。送電線は、187kV基幹系線路と66kV、33kV、22kV、6.6kV 2次系線路の5つの種類があり総延長は、約1,440kmである。このうち主な線路は架空線であり、地中線は、全体の0.9%にすぎない(66kV系のみ)。

管内変電所は、187kV系の1次変電所が3ヶ所、その他の変電所は、66kV、33kV、22kVの2次変電所で、合計で54箇所となっている。

管内配電線は、総延長約14,500kmのうち地中線は全線の約0.6%であり、ほとんどが架空線となっている。

## 10.5.2 電力施設の被害

### (1) 系統事故の概要

1月15日20時06分に発生した釧路沖地震により道東地域を中心に、57,200戸(釧路支店管内：37,050戸、帯広支店管内：19,000戸、旭川支店管内：700戸、北見支店管内：400戸、苫小牧支店管内：50戸)に停電が発生した。このうち変電所などの電源停電(送電系統の損傷)による供給支障戸数が36,300戸、配電線フィーダー故障(配電系統の損傷)による供給支障戸数が20,900戸であった。

### (2) 設備被害の概要

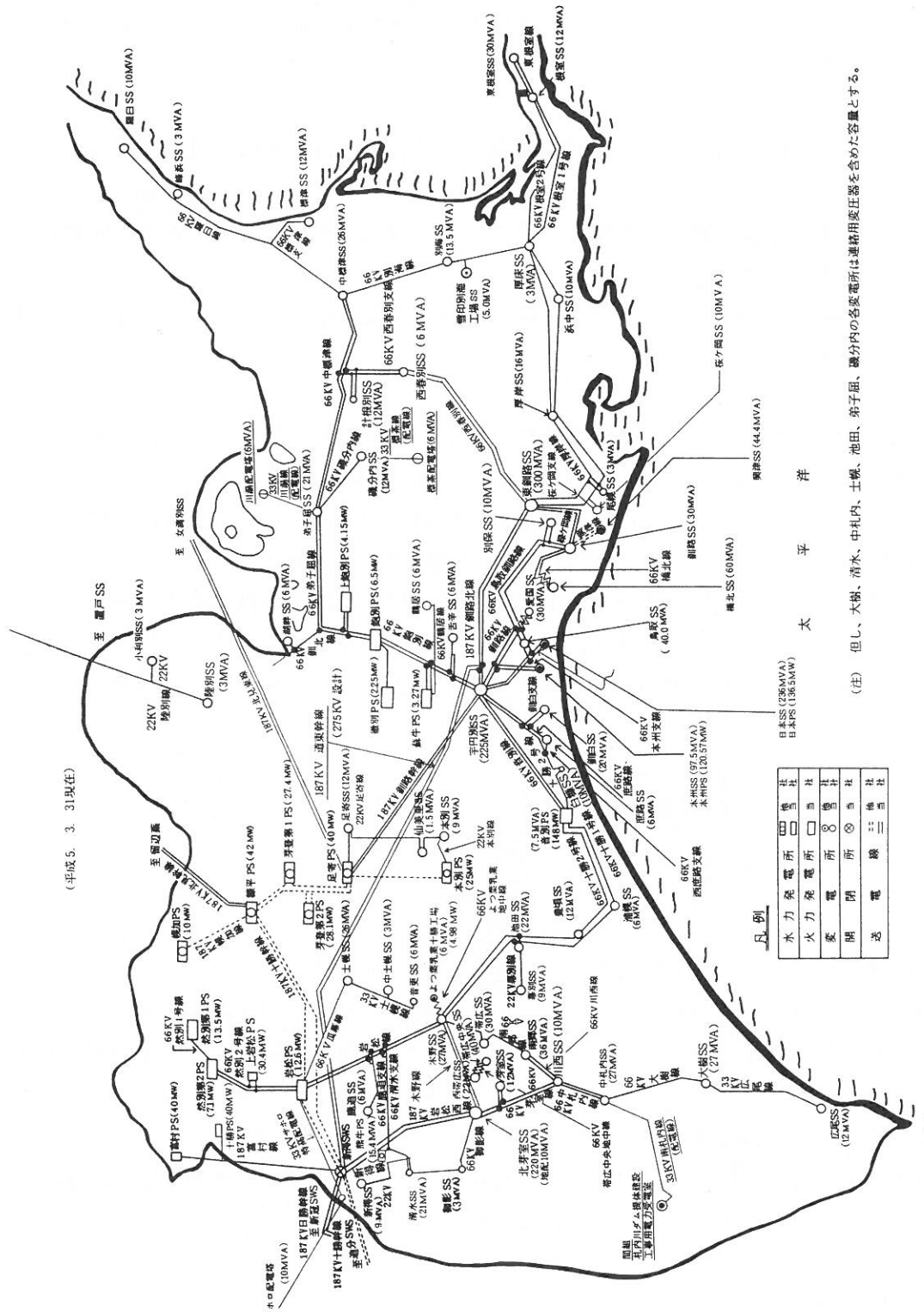
#### (a) 発電設備

地震時は、全道で全供給能力(5,842MW)の57%にあたる3,330MWの発電を行っていた。このとき稼動していた発電所には、機器の損傷は起こらなかった。

ただし、上飽別、徹別、飽別の3つの水力発電所は、宇円別系統に接続していた発電所であったため、地震直後の宇円別変電所の全停によって、急停止せざるを得なかった。

また、地震当時、発電を行っていなかった音別発電所にも被害が生じた。音別発電所では、燃料タンクの周辺地盤に変形や亀裂が生じたため、燃料の補給管に7~8cmのずれが生じる等の被害がでた。燃料タンクは、内径19.4m、高さ13.7m、容量3,700klのものが2基、設置されている。地盤の状態は、深さ18~20mまで泥炭および粘性土が続き軟質であるが、燃料タンクの基礎は、深さ30m以深の砂質泥岩に鋼管杭により支持されているため被害が生じなかった。

また、2つの変圧器のうち、2号変圧器本体が3°傾斜した他、Tr-1次ブスダクト間の接続部およびダクト内碍子の破損、1次ブッシングの破損によるコンサベータ内油の全量流出等の被害が出た。この変圧器は重量約90tonで、周辺地盤は湿原の泥炭である。変圧器



(平成5. 3. 31現在)

図10.26 釧路支管内送電系統図

(Fig. 10.26 Transmission Facilities in Kushiro Area)

(注) 但し、大樹、清水、中札内、土幌、弟子屈、釧分内の各変電所は連絡用変圧器を含めた容量とする。

の基礎は深さ25m以深の砂礫層まで打設されたコンクリート杭により支持されていた。幸い、被害を受けた変圧器は、休止中であったため、ここでの被害による電力供給への支障はなかった。

(b) 送電設備

ほとんど送電設備には被害がなく、地震力により短絡および地絡が発生し、事故遮断した送電線は、5区間だけであった。

(c) 変電設備

1次変電所である東釧路変電所、宇門別変電所では、変圧器が倒壊、滑動するなどの被害が発生した。

そのほか送変電に直接影響がでる被害がでたのは、橋北、釧路、鶴居、舌辛、尾幌、木野、池田の各変電所であった。

また、十条製紙、本州コーポレーションは、自社で変電所をもっている大口需要家であるが、これらの変電設備にも被害が生じた。

(d) 配電設備

表10.16に、配電設備（6.6kV以下）の被害状況を示す。被害が多くでたのは、釧路、弟子屈営業所管内であった。被害は、柱上変圧器の傾斜が極めて多く7,903台で、変圧器の落下は、2台だけであった。支持物（電柱）は、傾斜が199箇所と多く、折損は12本であり、これらの折損のうち5本は集合煙突の倒壊や土砂崩れにより被害を受けたものである。

図10.27に地震被害の平面的分布を示す材料として、柱上変圧器の被害率の分布を示す。

これによると、被害率の高い地域は、阿寒川、釧路川に囲まれた地域、厚岸から中標津の地域など湿原や軟弱地盤の範囲で、各地の震度とは必ずしも一致せず、地盤条件も重要な要素であることがうかがえる。

(e) 通信設備

今回の地震では、社内通信設備に被害はなく、通信に支障がでることはなかった。

### 10.5.3 復旧状況

(1) 初動体制

地震発生後、1月15日20時55分に1号非常災害態勢が発令され、関係職員は、ポケットベル等により非常召集を受けた。1号非常態勢とは、「局部的に相当の被害が予想される場合または発生した場合」に発令される。発令後、関係職員は、任務の一覧にのっとり非常事態に対処し、復旧作業を開始した。

復旧順位は、各設備の被害状況および被害復旧の難易度、系統上の重要度等を勘案し、復旧効果の大きいものから行うことが原則とされる。

(2) 発電所制御

事故直後、約300MWの負荷脱落（総需要3,330MWから3,030MWに変化）のため、周波数が約0.63Hz（周波数50.00Hzから50.63Hzに変化）上昇した。このため、主に火力発電所で

表10.16 配電系統の設備被害状況  
(Table 10.16 Damage of Distribution Facilities)

支店名	全 回 線 数	停電 回 線 数	停電 回線 率 (%)	全 需要家 戸数 (千戸)	停電 需要家 戸数 (千戸)	需要家 停電率 (%)	被害の状況					復旧の 日時		
							支持物				電線		変圧器	
							折 半	傾 斜	倒 壊	滅 失			落 下	傾 斜
旭川	411	2	0.5	480.5	0.74	0.15					(1) 1	55	1/15 23:04	
札幌	756			1162.9										
釧路	307	40	13.0	322.5	32.25	10.0	12	190	6	(291) 111	2	7903	1/16 20:06	
室蘭	187	1	0.5	232.1	0.04	0.02		9		(6) 2		162	1/15 22:17	
函館	157			235.1										
合計	1818	43	2.4	2433.1	33.03	1.36	12	199	6	(298) 114	2	8120		

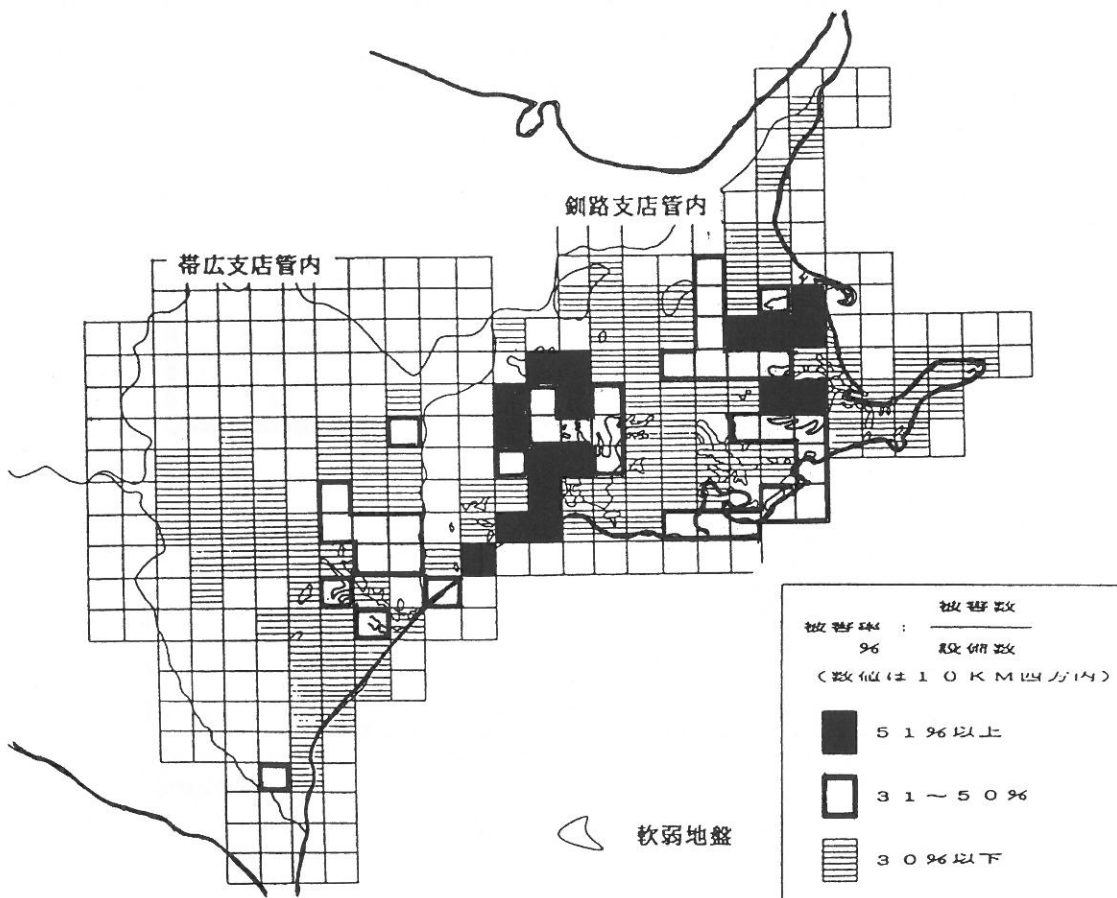


図10.27 変圧器被害率分布図  
(Fig. 10.27 Rate of Damage at Transformer on Poles)

240MW、水力発電所で154MWをガバナーにより調節した。これにより約8分後の20時14分には、ほぼ周波数が50Hzに戻った。周波数安定のための一連の作業は、一部を除き自動的に行うことができる。

また、2次系統の発電所である上飽別発電所、徹別発電所、飽別発電所は、宇田別変電所が全停となったため、地震直後、急停止した。発電が再開されたのは、上飽別発電所が16日の2時33分、徹別発電所が15日の23時36分、飽別発電所が16日の0時27分であった。

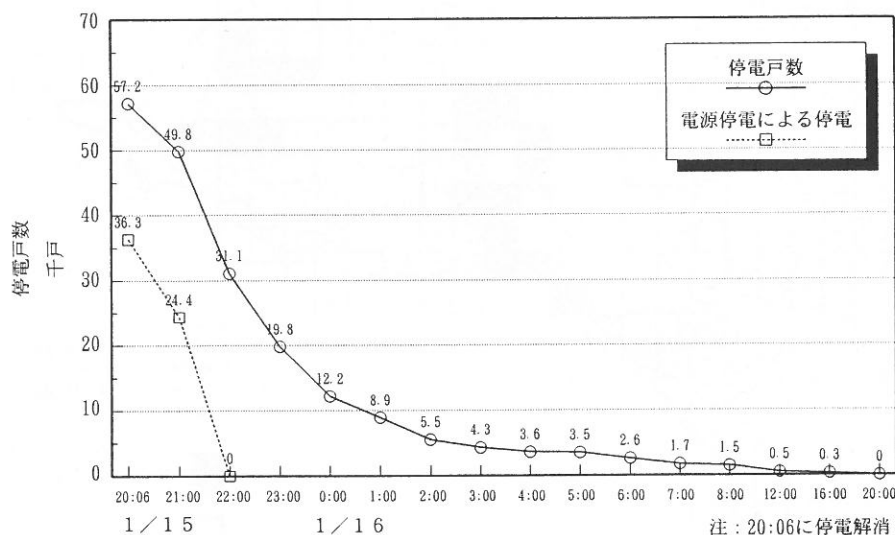
### (3) 送電系統の復旧

通常、電力系統の復旧は、①系統切り替えによる復旧、②設備修理、交換による復旧と大きく分けることができる。系統切り替えによる復旧とは、遮断器や断路器のつなぎ変えにより負荷への供給支障量を減少させていくことを意味する。今回の地震で発生した送電系統による供給支障は、地震発生後約2時間半経過した22時45分までに、①の復旧により、すべて解消することができた。

### (4) 配電系統の復旧

釧路支店管内では配電線40フィーダーで供給支障事故が発生し、最大32,250戸が停電した。15日中には、停電戸数12,200千戸に減少、約62%を復旧した。根室営業所は、16日2時08分、中標津営業所は3時22分、弟子屈営業所は10時07分に各々の復旧を完了し、地震発生から24時間後の16日20時06分には、管内全線の復旧を完了した。

図10.28に、今回の地震で発生した停電戸数の経時変化を示す。



停電戸数の推移

図10.28 停電戸数の推移

(Fig. 10.28 Transition of Power Failure Houses)

## (5) 復旧人員

1月15日20時55分の1号非常災害態勢発令から解除されるまでの1月16日13時00分までの間に動員された人員は延べ820名であった。

復旧に要した動員人数は、管外からの応援37人を含め、最大240人/日で、2日間で延べ402人にのぼった。

## (6) 停電による他のライフラインへの影響

今回の地震では、停電期間が短かったことや主要なライフラインがバックアップ電源をもっていたことにより、停電による影響はさほど大きくなかった。

ただし、道路交通を制御する信号機は、かなりの数が停止した。釧路警察署によると、釧路沖地震の直後に停止した信号数は、釧路警察署管轄内で693箇所、釧路市内で137箇所のにぼった。釧路市内で比較すると釧路市内の信号数は、240箇所であり、約57%の信号器が停止（滅灯）したことになる。停止は、ほとんどの信号機が30分以内に収まっており、2時間以上の長期の停止を強いられたのは1機だけであった。事故当時は、休日の晩であったことにより道路交通にさほどの影響はでなかった。

## 10.6 電気通信設備の被害

### 10.6.1 被害状況

本節では文献2)13)14)に基づき電機通信設備の被害ならびに復旧状況について述べる。電気通信設備の被害としては、盛土の崩壊にともなう光ケーブルの切断等が発生したが、通信サービスに影響を与えるような重大な被害には至らなかった。通信設備とNTT建物被害総額は約11億円である。

図10.29には被害箇所の大きな位置図を示すが、次のような被害が発生した。

- ①国道38号白糠町和天別（馬主来）付近で道路盛土が大きく崩壊し、そこに埋設してあった光ケーブルが切断（写真10.1）
- ②国道272号標茶町茶安別（東阿歴内）付近の道路崩壊のため市外ケーブルが切断
- ③弟子屈営業所の伝送装置のパネル半脱落によりPCMが切断
- ④電柱損傷、傾斜60本、架空ケーブル損傷20km、架空ケーブル移設30km、地下ケーブル移設6km
- ⑤橋梁添架管路のソケット外れ25カ所、マンホールの損傷89カ所、交換機等の基礎ボルト弛み200カ所

このような被害にもかかわらず、通信サービスへ影響を与えるような被害が発生しなかったのは、十勝沖地震を契機に伝送路の2ルート化及び耐震対策の強化等の対策を講じており、今回も2ルート化で回線を分散していたことと、迂回ルートへの自動切替及び手動切替を行ったためと考えられている。



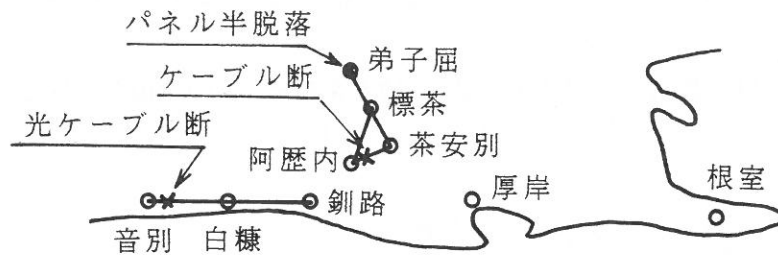


図10.29 電気通信設備の被害箇所<sup>2)</sup>

(Fig.10.29 Sites of Damaged Telecommunication Facilities<sup>2)</sup>)



写真10.1 白糠町和天別付近の道路盛土崩壊による光ケーブル切断箇所

(Photo 10.1 Damage of an Optical Fiber due to the Failure of a Road Embankment at Shiranuka Town)

### 10.6.2 復旧状況

被害のうち和天別における光ケーブルの切断に対しては、応急復旧用光ケーブルを用いて接続作業が行われ、翌日には応急復旧が完了した。土木設備、マンホール等については、橋梁付近の管路の外れ、曲がり等に対し、必要な応急措置がとられた。また、線路設備については、電柱の傾斜、支線のゆるみ、ケーブル外被の損傷に対して措置がとられた。

なお、ケーブル被害は迂回ルートを使用するとともに、仮復旧用ケーブル敷設や交換機のパネルの切り替えなどが行われ、地震発生後約20時間以内に設備被害についてはほぼ復旧した。

#### <参考文献>

- 1) 高田至郎：地震被害調査報告, 3.2 上水道施設, 地震工学振興会ニュース, No.130, pp.43-44, 1993.
- 2) 釧路市釧路沖地震記録書作成委員会：平成5年（1993年）釧路沖地震記録書, 1993.
- 3) 釧路町の資料による.
- 4) 建設省土木研究所：釧路沖地震により浮上した下水道マンホールの調査, 土木研究所資料, 第3275号, 1994.
- 5) 井上大栄他：1993年釧路沖地震被害調査報告, 電力中央研究所報告, 調査報告, U92047, 1993.
- 6) 安田進・吉田望・宍道玲：釧路沖地震による下水道施設の被災箇所の特徴について, 第4回地域安全学会研究論文発表会, 1994.（投稿中）
- 7) 岡崎由夫他：5万分の1地質図幅説明書“大楽毛”, 北海道開発庁, 1966.
- 8) 岡崎由夫：釧路沖地震－地盤地質と被害－, Borealopithecus, 地学団体研究会北海道支部, 第145号, pp.1-14, 1993.
- 9) 横山禎之・杉戸真太・土岐憲三・年縄巧：釧路市における常時微動観測による地盤震動特性の推定と被害との対応, 第29回土質工学研究発表会発表講演集, 1994.
- 10) 釧路市下水道部：釧路沖地震下水道施設災害報告書, 1994.
- 11) 釧路市下水道部の資料による
- 12) 日本ガス協会：釧路沖地震, 北海道南西沖地震と都市ガス, 1994.
- 13) NTT北海道釧路支店：1月15日午後8時6分. 大地震発生. その時、釧路支店はどう動いたか. , NTTぷらざ, Vol.45, No.3, p.9, 1993.
- 14) 平井正孝：釧路沖地震について, 電気通信, Vol.56, No.557, pp.34-38, 1993.