

1993年北海道南西沖地震  
災害調査報告書

社団法人 **地盤工学会**

1993年地震災害調査委員会





## 10. ライフライン・産業施設の被害

- 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)  
中村裕昭 (中央開発(株) 東京支社技術部)  
宮島昌克 (金沢大学 工学部)  
森伸一郎 (飛鳥建設(株) 技術研究所)  
森本 巖 (基礎地盤コンサルタンツ(株) 技術部)

## 10. DAMAGE TO LIFELINE AND INDUSTRIAL FACILITIES

Susumu YASUDA	(Tokyo Denki University)
Yoh SAKAMOTO	(Hokkaido Electric Power Co., Inc.)
Hiroaki NAKAMURA	(Chuo Kaihatsu Co., Ltd.)
Masakatsu MIYAJIMA	(Kanazawa University)
Shin'ichiro MORI	(Tobishima Corporation)
Iwao MORIMOTO	(Kisojiban Consultants Co., Ltd.)

### ABSTRACT

Many water supply facilities, sewage facilities, gas pipes, telecommunication cables and tanks were damaged during the 1993 Hokkaido-nansei-oki Earthquake at several cities and towns in Oshima Peninsula and Okushiri Island. Damage to water supply pipes occurred at Hakodate city, Oshamanbe town and several towns. Asbestos cement pipes and vinyl pipes were mainly damaged. In Oshamanbe town, damage to water supply pipes was concentrated in the area where liquefaction occurred. Sewage facilities were damaged in Oshamanbe town, Hakodate city and four towns. Many sewage pipes and manholes were floated due to the liquefaction of alluvial sands and backfill sands in Oshamanbe town. Damage to gas pipes occurred in Oshamanbe town also due to liquefaction. Many joints of gas pipes were broken. Damage to electric power supply facilities occurred due to strong shaking in soft grounds, liquefaction, tsunami and slope failure. Telecommunication cables were damaged due to the slide and settlement of road embankments and liquefaction. Two cement silos in Hakodate city and two oil storage tanks in Okushiri town were damaged due to liquefaction and slope failure, respectively.



## 10.1 被害の概要

ライフラインおよび産業施設では、渡島半島や奥尻島の市町村で、上下水道、電力、ガス、通信、貯蔵タンクの諸施設が被害を受けた。

水道施設では函館市、長万部町をはじめ、渡島半島や奥尻島の多くの市町村で被害を受けた。被害を受けた管種は、主として石綿セメント管と塩化ビニール管で、耐震強度の弱い管が被災した。また、液状化などの地盤変状が発生した地区に被害は集中した。

下水道施設では長万部町や函館市などの6市町村で被害を受けた。特に被害を多く受けた長万部町では、液状化に起因した管渠やマンホールの浮上りが多く発生した。これには原地盤が液状化したものに加えて、埋戻し土の液状化のみで被災したと思われる被害もあった。

ガス施設では長万部町でガス導管の被害が発生した。被害の形態は継手の破損が主で、被害を受けた箇所は上・下水道管と同様に、液状化が発生した地区に集中していた。

電力施設では渡島半島や奥尻島の発電所、変電所、送電設備、配電設備で被害を受けた。送電設備や配電設備の被害では、軟弱地盤での被害や、液状化や津波、崖崩れにともなう被害が多く発生した。

電気通信設備でも渡島半島や奥尻島の広い地域にわたって、ケーブルの被害が発生した。これらには、道路盛土の崩壊にともなう被害や、橋台際盛土の沈下による被害、液状化に起因した被害があった。

産業施設の被害としては、函館市でセメントサイロが傾斜し、また、奥尻町で灯油貯蔵タンクが破損した。前者は地盤の液状化、後者は背後斜面の崩壊に起因した被害であった。

## 10.2 上水道の被害

### 10.2.1 被害の概要

今回の地震で、渡島半島の各市町村において上水道管路の被害が発生した。被害の特徴として、各市町村とも液状化の発生した地域や、液状化に伴う地盤変状の発生した地域に被害が集中して発生していることが挙げられる。すなわち、地表面において亀裂や陥没などが発生している所で埋設管被害が生じている場合が多かった。また、被害を受けた管種は、主として石綿セメント管と硬質塩化ビニール管であり、耐震強度の比較的弱い管路が破損しているといえる。

以下では、函館市、長万部町、上磯町、木古内町、八雲町、森町、奥尻町、上ノ国町、乙部町、北桧山町の被害状況および被害原因について述べる。

## 10.2.2 函館市における被害

### (1) 施設の概要

函館市の水道事業は、表10.1に事業拡張経過として示したように、100年を越える歴史を持つ。明治19年のコレラ・天然痘の大流行を契機に上水道創設の機運が一気に高まり、明治21年6月より亀田川表流水を水源に給水人口6,000人、1日給水量4,090m<sup>3</sup>の基本計画の基に事業に着手した。その後、6次にわたる拡張事業を経て事業を拡大し、昭和48～53年度にかけて実施された第6次拡張事業によってほぼ現在の供給体制が整った。現在（平成4年度末）の函館市の水道は、図10.1水道給水区域図に示したように亀田川水源（70,000m<sup>3</sup>/日）、汐泊川水源（45,000m<sup>3</sup>/日）、松倉川水源（40,000m<sup>3</sup>/日）の3つの系統からなり、給水人口は300,053人、普及率99.01%、1日最大給水量127,900m<sup>3</sup>、管路延長838.1km（導水管30.1km、送水管17.5km、配水管790.5km）である。管種・管径別の敷設延長（平成5年度末現在）を表10.2に示したが、この表より、導水管はφ700mmの鋼管（SP）が中心で全体の75%を占め、送水管では、φ600mmの鋼管（SP）が55%、φ250mmとφ500mmのダクタイル鋳鉄管（DCIP）がそれぞれ12%を占め、配水管では、ダクタイル鋳鉄管（DCIP）が73%（φ100mmが26%、φ150mmが17%、φ200mmが14%、その他が16%）を占めていることが分かる。

表10.1 函館市水道事業拡張経過<sup>1)</sup>

(Table 10.1 Process of Water Supply System in Hakodate City<sup>1)</sup>)

事業名	事業期間 (年. 月～年. 月)	事業費 (円)	給水人口 (人)	1日最大計画 給水量 (m <sup>3</sup> )
創 設	明治21.6～22.12	242,000	60,000	4,090
第1次拡張	明治27.9～29.10	217,000	150,000	10,900
第2次拡張	大正 6.5～13.3	3,124,000	200,000	25,000
第3次拡張	昭和11.6～25.3	12,419,000	200,000	25,000
第4次拡張	昭和25.4～38.3	758,106,000	200,000	70,000
第5次拡張	昭和41.4～47.3	1,017,097,000	250,000	100,000
第6次拡張	昭和48.4～54.3	3,300,705,000	300,000	154,000
給水区域拡張	平成 4.4～ 6.3	346,684,000	308,000	154,000

### (2) 被害の概要

函館市の上水道施設は、昭和43年（1968年）に発生した十勝沖地震の際、老朽化（1888年の創設期に敷設）していた送水管と配水管を中心に大きな被害を受けた経歴がある。今回の北海道南西沖地震による函館市内での震度は、1968年十勝沖地震の時とほぼ同程度のIVであったことから、表10.3に1968年十勝沖地震と1993年北海道南西沖地震における函館市水道被害の概要を比較した。また、1993年北海道南西沖地震における上水道被害箇所を図10.2に、1968年十勝沖地震における上水道被害区域を図10.3に示した。





表10.2 管種・管径別敷設延長 (函館市水道局技術部建設課資料)

(平成4年度末現在)

(Table 10.2 Total Length of Water Supply Pipes in Hakodate City)

用途別 管種 管径 (φmm)	導水管				送水管			配水管							
	(DCIP) ダクタイル 鋳鉄管 (m)	(CIP) ソケット 鋳鉄管 (m)	(SP) 鋼管 (m)	小計 (m)	(DCIP) ダクタイル 鋳鉄管 (m)	(CIP) ソケット 鋳鉄管 (m)	(SP) 鋼管 (m)	小計 (m)	(DCIP) ダクタイル 鋳鉄管 (m)	(CIP) ソケット 鋳鉄管 (m)	(SP) 鋼管 (m)	(ACP) 石棉 セメント管 (m)	(PP) ポリエチレン 管 (m)	小計 (m)	合計 (m)
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	235	—	112,827	113,062	113,062
75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,093	1,660	—	36,044	36,044
100	—	180	—	180	—	—	—	—	—	—	2,161	—	—	248,480	248,660
150	—	1,135	—	1,135	533	—	533	—	—	—	2,580	—	—	151,084	152,752
175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	160	160
200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,686	—	—	121,419	121,419
250	—	—	—	—	2,056	50	2,106	—	—	—	63	—	—	20,872	22,978
300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,123	—	—	17,879	17,879
350	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,090	—	—	39,818	39,818
375	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90	90
400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—	635	635
500	—	—	3,379	3,379	2,014	1,248	974	4,236	—	—	81	—	—	1,884	9,499
550	—	809	—	809	—	—	—	—	—	—	—	—	—	809	809
600	3	—	1,229	1,232	87	463	10,204	—	—	—	63	—	—	16,897	28,333
700	487	110	22,685	23,282	—	—	—	—	—	—	140	—	—	12,862	36,144
800	—	—	—	—	88	—	88	—	—	—	161	—	—	9,291	9,379
1,000	124	—	—	124	284	—	284	—	—	—	—	—	—	—	408
合計 占有率	614 2%	2,234 7%	27,293 91%	30,141 100%	5,062 29%	1,761 10%	10,628 61%	17,451 100%	579,869 73%	71,545 9%	24,576 3%	1,660 0.2%	112,827 14%	790,477 100%	838,069



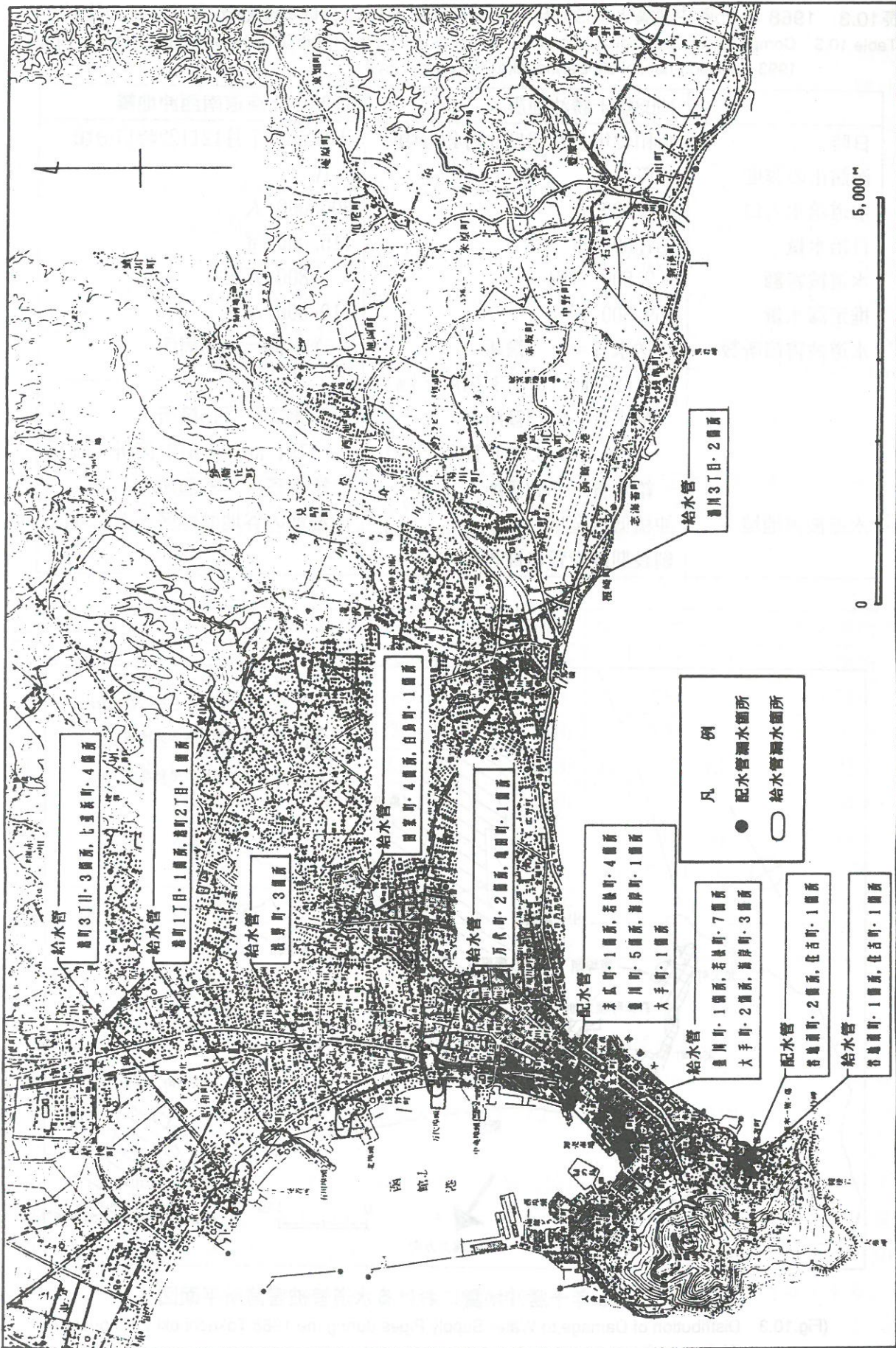


図10.2 水道管被害箇所平面図 (函館市水道局技術部建設課資料)  
 (Fig.10.2 Distribution of Damage to Water Supply Pipes in Hakodate City)



表10.3 1968年十勝沖地震と1993年北海道南西沖地震における函館市水道被害の比較  
 (Table 10.3 Comparison of Damage to Water Supply Pipes during the 1968 Tokachi-oki Earthquake and the 1993 Hokkaido-nansei-oki Earthquake (Hakodate City))

	1968年十勝沖地震	1993年北海道南西沖地震
日時	昭和43年5月16日9時49分頃	平成5年7月12日22時17分頃
函館市の震度	IV	IV
水道給水人口	214,000人	300,000人
日給水量	57,000 m <sup>3</sup>	115,000 m <sup>3</sup>
水道被害額	2,800万円	800万円
推定漏水量	169,300 m <sup>3</sup>	10,300 m <sup>3</sup>
水道被害箇所数	送水管 = 6箇所 22 km (0.273 箇所/km) 配水管 = 173箇所 245 km (0.707 箇所/km) 給水管 = 542箇所	送水管 = 0箇所 配水管 = 15箇所 791 km (0.019 箇所/km) 給水管 = 37箇所
水道被害地域	沖積低地全域 創設期敷設管に被害集中	旧湿地の谷地頭地区と海岸地区

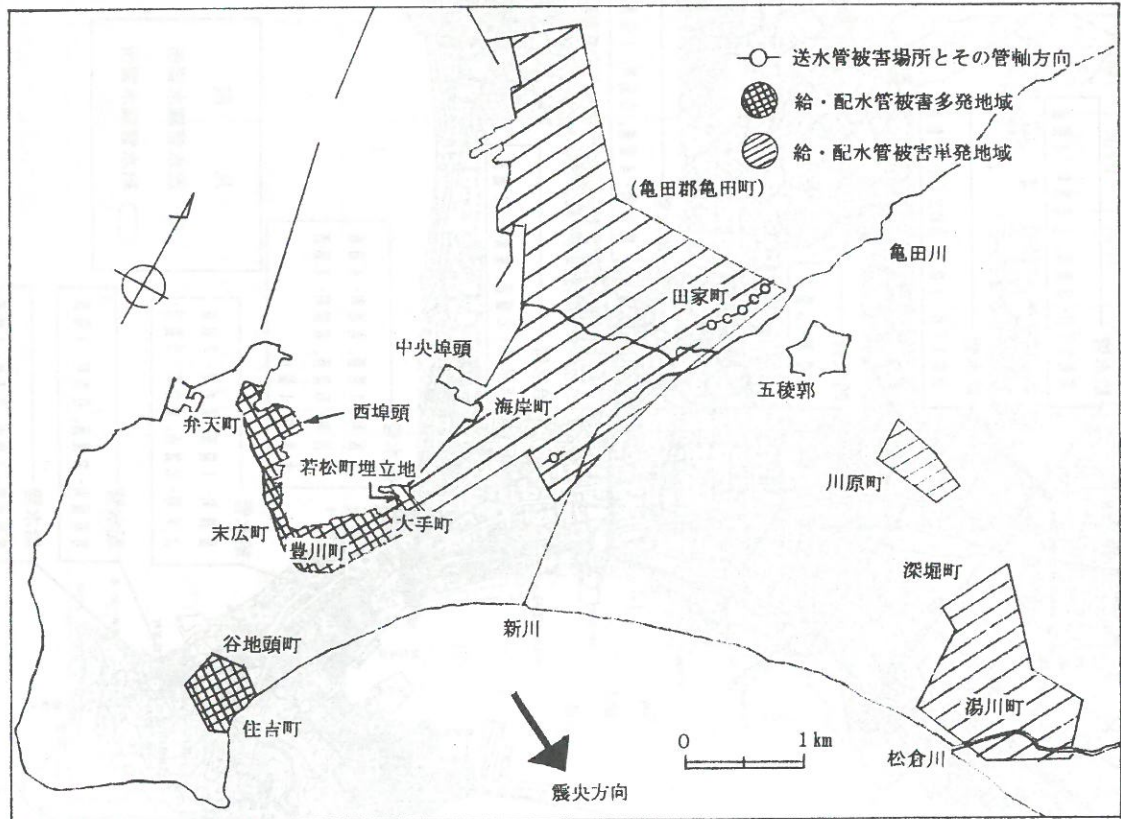


図10.3 1968年十勝沖地震における水道管被害箇所平面図  
 (Fig.10.3 Distribution of Damage to Water Supply Pipes during the 1968 Tokachi-oki Earthquake (Hakodate City))



これより、地震の規模は同程度であったが、今回の地震による上水道被害は、1968年十勝沖地震に較べ10分の1以下に激減していることが分かる。これは、1968年十勝沖地震の時は前日まで降り続いた集中豪雨で地盤が飽和化し緩んでいたことと、1968年十勝沖地震後の老朽管路の更新事業が功を奏したものと見られる。また、今回の被害箇所が旧湿地の埋立地である谷地頭地区と海岸地区の軟弱地盤地帯に集中していることは特徴的である。即ち、地形・地質の弱部で選択的に被害が発生していることが窺える。

今回の地震による配水管（主にダクタイル鋳鉄管）の延長当たりの被害率は0.018箇所/kmであり、1968年十勝沖地震の0.707箇所/kmや、過去の被害事例<sup>4)</sup>の1993年釧路沖地震による釧路市の0.04箇所/km、1978年宮城県沖地震による仙台市他平均の0.22箇所/km、1982年浦河沖地震による浦河町他平均の0.60箇所/km、1983年日本海中部地震による能代市他平均の0.65箇所/km、1987年千葉県東方沖地震による山武水道他平均の0.08箇所/km等に較べても極めて低いことが分かる。

表10.4 水道被害修理箇所町別一覧表（函館市水道局技術部建設課資料）  
 (Table 10.4 Number of Damage to Water Supply Pipes in Relation to Towns during the 1993 Hokkaido-nansei-oki Earthquake (Hakodate City))

(a) 配水管

(b) 給水管

No.	町名	被害箇所	No.	町名	被害箇所	No.	町名	被害箇所
1	末広	1箇所	1	谷地頭	1箇所	9	港町1丁目	1箇所
2	谷地頭	2箇所	2	住吉	1箇所	10	港町2丁目	1箇所
3	住吉	1箇所	3	豊川	1箇所	11	港町3丁目	3箇所
4	豊川	5箇所	4	大手	2箇所	12	亀田	1箇所
5	大手	1箇所	5	若松	7箇所	13	田家	4箇所
6	若松	4箇所	6	海岸	3箇所	14	白鳥	1箇所
7	海岸	1箇所	7	万代	2箇所	15	湯川町3丁目	2箇所
合計		15箇所	8	浅野	3箇所	16	七重浜	4箇所
			合計		37箇所			

表10.4には水道被害の町別一覧を、表10.5には水道被害の管径別および被害原因別内訳をまとめた。これより配水管では受口部の鉛離脱と直部の輪ビリが計9箇所（60%）、給水管では鋼管直部および継ぎ手部の折損が計23箇所（62%）と主要被害原因であったことが分かる。

表10.6には、配水管と給水管別に敷設時期別の被害箇所数をまとめた。これより、配水管については約3分の2の被害が大正13年までに敷設された管で発生し、残り3分の1の被害は昭和44年代に敷設された管で発生している。また、給水管については、昭和10～50年代に敷設された管に殆どの被害が集中（約95%）して発生していることに特徴がある。

表10.5 管径別および被害状況別内訳 (函館市水道局技術部建設課資料)  
 (Table 10.5 Number of Damage to Water Supply Pipes in Relation to Pipe Diameter during the 1993 Hokkaido-nansei-oki Earthquake (Hakodate City))

(a) 配水管

No.	原因	口径 (φ100 mm)
1	鉛離脱 (受口部)	5
2	輪ビリ (直部)	4
3	継手離脱 (メカニカル継手)	2
4	分水栓部輪ビリ (直部)	2
5	破損 (異形管)	2
計		15件

(b) 給水管

No.	原因	口径	
		φ65mm以下	φ75mm以上
1	鋼管折損 (直部)	6	2
2	鋼管亀裂 (直部)	3	—
3	鋼管折損 (継手部)	11	4
4	铸铁管折損 (直部)	—	2
5	铸铁管離脱 (メカニカル継手部)	—	6
6	铸铁管亀裂 (仕切弁)	—	1
7	修理不可 (布設替え必要)	(5軒共同管) 1	(北埠頭) 1
計		21	16
合計		37件	

表10.6 水道被害箇所敷設年度別件数一覧表 (函館市水道局技術部建設課資料)  
 (Table 10.6 Number of Damage to Water Supply Pipes in Relation to Constructed Year)

(a) 配水管

敷設時期	被害箇所数
明治21~22年	6箇所 (40%)
明治25~26年	1箇所 (7%)
明治 (年度不明)	2箇所 (13%)
大正6~13年	1箇所 (7%)
昭和44年	5箇所 (33%)
合計	15箇所

(b) 給水管

敷設時期	被害箇所数
昭和10~20年	5箇所 (14%)
昭和21~30年	6箇所 (16%)
昭和31~40年	13箇所 (35%)
昭和41~50年	7箇所 (19%)
昭和51~60年	2箇所 (5%)
昭和61年以降	0箇所 (0%)
不明	4箇所 (11%)
合計	37箇所



### (3) 復旧状況

地震は平成5年7月12日（火曜）の午後10時17分頃に発生したが、主に市民からの通報に基づき直ちに（13日午前1時頃から）復旧にかかり、14日の午後8時頃には北埠頭と万代埠頭の2地区を除き、ほぼ復旧は完了した。但し、市民通報による被害情報であった為、修理箇所の優先順位付けが難しかったようである。被害箇所の復旧状況を表10.7に示した。

主な復旧内容は、表10.8に示したように配水管では、切管修理が6箇所（40%）で一番多く、以下、ステンレスクランプ取付が4箇所（27%）、フクロジョイント取付と漏水防止金具取付それぞれ2箇所（13%）、Tボルトナット交換が1箇所（7%）であった。一方、給水管では、ステンレスクランプ取付が10箇所（28%）と一番多く、以下切管修理が8箇所（22%）、一部ポリエチレン管に取替が7箇所（19%）、チーズ取替が5箇所（14%）等であった。

表10.7 水道被害箇所復旧日（函館市水道局技術部建設課資料）  
(Table 10.7 Number of Damage to Water Supply Pipes in Relation to Restoration's Day)

復旧日	配水管	給水管	合計
7月13日	12箇所（80%）	18箇所（50%）	30箇所（59%）
7月14日	3箇所（20%）	17箇所（47%）	20箇所（39%）
7月15日	—————	—————	—————
7月16日	—————	1箇所（3%）	1箇所（2%）
合計	15箇所	36箇所	51箇所

表10.8 水道被害箇所復旧内容一覧表（函館市水道局技術部建設課資料）  
(Table 10.8 List of Repairment for Damage to Water Supply Pipes in Hakodate City)

主な復旧内容	配水管	給水管	合計
切管修理	6箇所（40%）	8箇所（22%）	14箇所（27%）
ステンレスクランプ取付	4箇所（27%）	10箇所（28%）	14箇所（27%）
一部ポリエチレン管に取替	—————	7箇所（19%）	7箇所（14%）
チーズ取替	—————	5箇所（14%）	5箇所（10%）
フクロジョイント取付	2箇所（13%）	1箇所（3%）	3箇所（6%）
漏水防止金具取付	2箇所（13%）	—————	2箇所（4%）
ガス管短管接続	—————	2箇所（6%）	2箇所（4%）
Tボルトナット交換	1箇所（7%）	—————	1箇所（2%）
エルボ取替	—————	1箇所（3%）	1箇所（2%）
残存管分岐止め	—————	1箇所（3%）	1箇所（2%）
官民境界で切断プラグ止め	—————	1箇所（3%）	1箇所（2%）
合計	15箇所	36箇所	51箇所



### 10.2.3 長万部町における被害の概要

長万部町の上水道の管路延長は51,493m、給水世帯数は2,990世帯である。管路の種類の内訳は、石綿セメント管が49%、ダクタイル鋳鉄管が26%、塩化ビニル管が23%、その他2%となっている。

図10.4に配水管の被害箇所を示す。本町地区給水区で33箇所、中の沢地区給水区で18箇所、国縫地区給水区で15箇所の合計66箇所配水管の被害が生じた。本町地区における被害は、国道5号線と海岸の間に集中している。後述する図10.16には、地震後に調査された噴砂・地盤変状発生箇所、および旧沼地・旧河道・旧砂鉄採掘場が示されているが、配水管の被害が旧河道や旧砂鉄採掘場に対応する地域に集中していることがわかる。これらの地域では液状化の発生が確認されており、液状化により配水管が被災したものと考えられる。中の沢地区でも、かつての砂鉄採掘場所において液状化の発生が確認されており、そのような場所において配水管の被害が生じている。大規模な液状化が生じた中の沢小学校の前の歩道が大きく陥没したので（写真10.1）、反対側に埋設されている管路もたぶん大規模な被害を被っているであろうと判断され、 $\phi 150\text{mm}$ の塩化ビニル管の地上仮配管（写真10.2）で応急給水が行われた。国縫地区では15箇所の被害が報告されているが、液状化は確認されておらず、地震動による被害であると考えられる。

管種、管径別に被害をまとめると図10.5、10.6のようである。石綿セメント管の管体部での折損がもっとも多い。口径別に見ても $\phi 100\text{mm}$ 以下の小口径管の被害がほとんどで



写真10.1 中の沢小学校前の歩道の陥没（長万部町）

(Photo 10.1 Settlements of Sidewalk in front of Nakanosawa Elementary School in Oshamanbe Town)



写真10.2 塩化ビニル管による地上仮配管（長万部町）

(Photo 10.2 Temporary Piping by Using Vinyl Pipe in Oshamanbe Town)



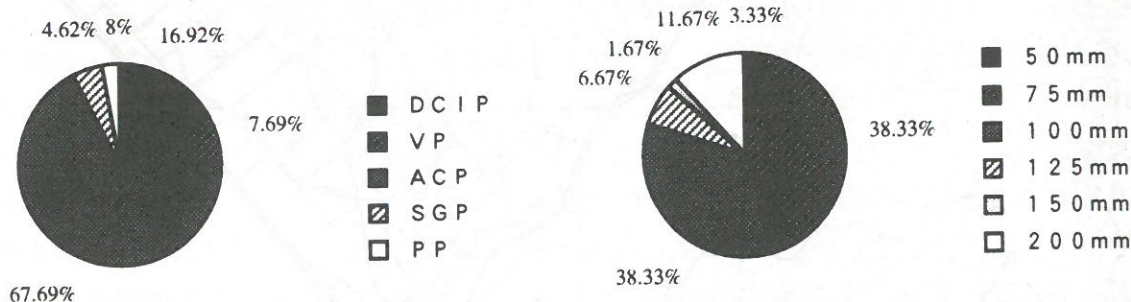


図10.4 長万部町の配水管の被害分布  
 (Fig.10.4 Distribution of Damage to Water Distribution Pipes in Oshamanbe Town)



ある。しかし、 $\phi 200\text{mm}$ の管路の被害も比較的多い。これはすべてダクティル鋳鉄管の直管部における継手の離脱であり、中の沢地区で生じた。液状化に伴う地盤変状によってこのような比較的強度の大きな埋設管も破損したものと考えられる。

水源としては地下水を用いており、地震による水源地、配水池の被害はなかったが、流出量が激増したために配水をストップした。地震の翌日13日には長万部温泉の消火栓まで通水できたので、そこから給水車を使って応急給水した。本町地区では15日に、中の沢地区では17日に、国縫地区では19日にそれぞれ復旧した。



長万部町の管種と被害箇所数の関係

長万部町の管径と被害箇所数の関係

図10.5 長万部町における管種別の配水管の被害件数

図10.6 長万部町における管径別の配水管の被害件数

(Fig.10.5 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Type in Oshamanbe Town)

(Fig.10.6 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Diameter in Oshamanbe Town)

#### 10.2.4 上磯町における被害の概要

上磯町の上水道の管路延長は導水管2,403m、配水管91,646m、総延長94,049mであり、給水人口は28,816人である。

図10.7に配水管の被害箇所を示す。配水管が33箇所において破損した。また、給水管の被害は485箇所に入った。被害発生地区は大きく分けて、七重浜地区の浜側、久根別・東浜地区、上磯駅前地区の3地区であるが、これらは液状化の発生地区でもあり、埋設管路の被害に液状化が深く関わっていることを示唆している。管種、管径別に配水管の被害をまとめると図10.8、10.9のようである。管種による被害箇所数の違いは見られないが、 $\phi 100\text{mm}$ 以下の小口径管で被害が多かったことがわかる。なお、被害形態としては、ダクティル鋳鉄管では全て継手の離脱、石綿セメント管と白ガス管では全てが管体部の折損であり、塩化ビニル管では離脱と折損が半々であった。また、給水管の9割が継手部での離脱であり、被害のほとんどが老朽管において発生した。

地震直後に宗山橋から東側の地域の15,000世帯のうち7,500世帯が断水したので、町所有の車と消防車によりポリタンクにて応急給水を行った。地震3日後の7月15日に配水管の本復旧が完了し、給水管についても7月20日に復旧工事が完了した。



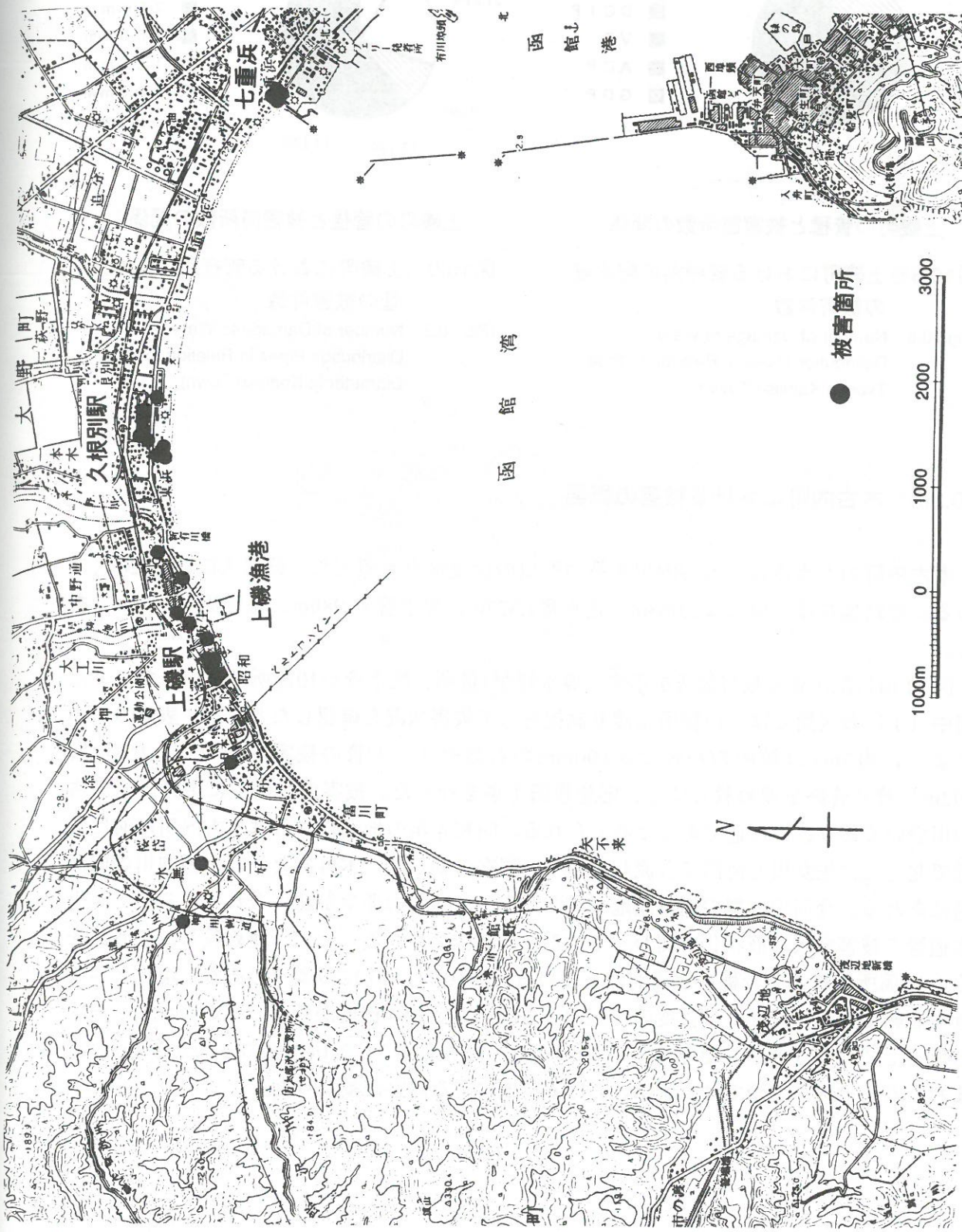
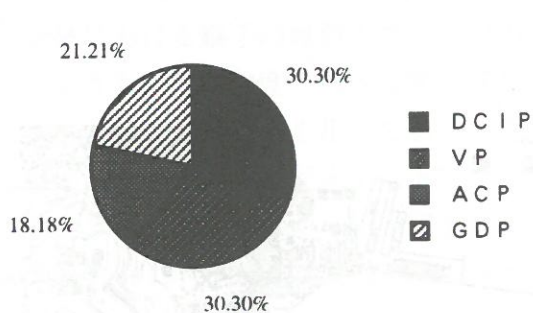


図10.7 上磯町の配水管の被害分布  
 (Fig.10.7 Distribution of Damage to Water Distribution Pipes in Kamiiso Town)

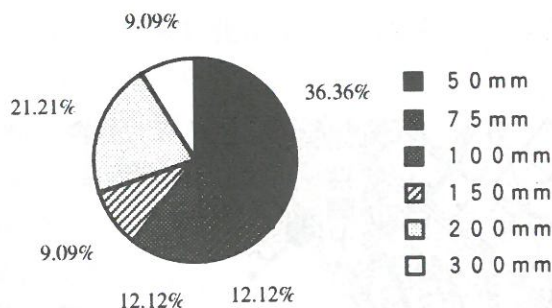




上磯町の管種と被害箇所数の関係

図10.8 上磯町における管種別の配水管の被害件数

(Fig.10.8 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Type in Kamiiso Town)



上磯町の管径と被害箇所数の関係

図10.9 上磯町における管径別の配水管の被害件数

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

## 10.2.5 木古内町における被害の概要

木古内町の上水道は、木古内川水系中野川の伏流水を水源とし、給水人口は7,620人である。管路延長は、導水管2,063m、送水管1,327m、配水管53,980m、総延長57,370mである。

図10.10に配水管の被害箇所を示す。導水管が1箇所、配水管が10箇所破損した。また、図中(1)の区間では、12箇所に渡り試掘をして被害状況を確認したところ、表10.9に示すように約3mに1箇所の割合でφ100mmの石綿セメント管の被害が見つかったので、992mに渡り管路を埋め殺しにし、応急復旧工事を行った。被害箇所は主に中野川、木古内川沿いであり、旧河道であると考えられる。昭和4年の地図によれば木古内川は河口付近で北上し、佐女川と河口で合流しており、現在の朝日町、本町あたりは木古内川の旧河道にあたる。今回の地震で朝日団地など旧河道で液状化の発生が認められているので、上水道管の被害原因に液状化が関わっているものと推察される。なお、埋め殺し部の管路を除く11箇所の被害を管種、管径別にまとめると図10.11、10.12のようである。塩化ビニル管や石綿セメント管などの強度の比較的小さな小口径管の被害が多いことがわかる。被害形態としては継手部の引き抜けがほとんどで、離脱量は2~3cm程度のものが多かった。また、石綿セメント管では直管部における折損による被害が多かった。



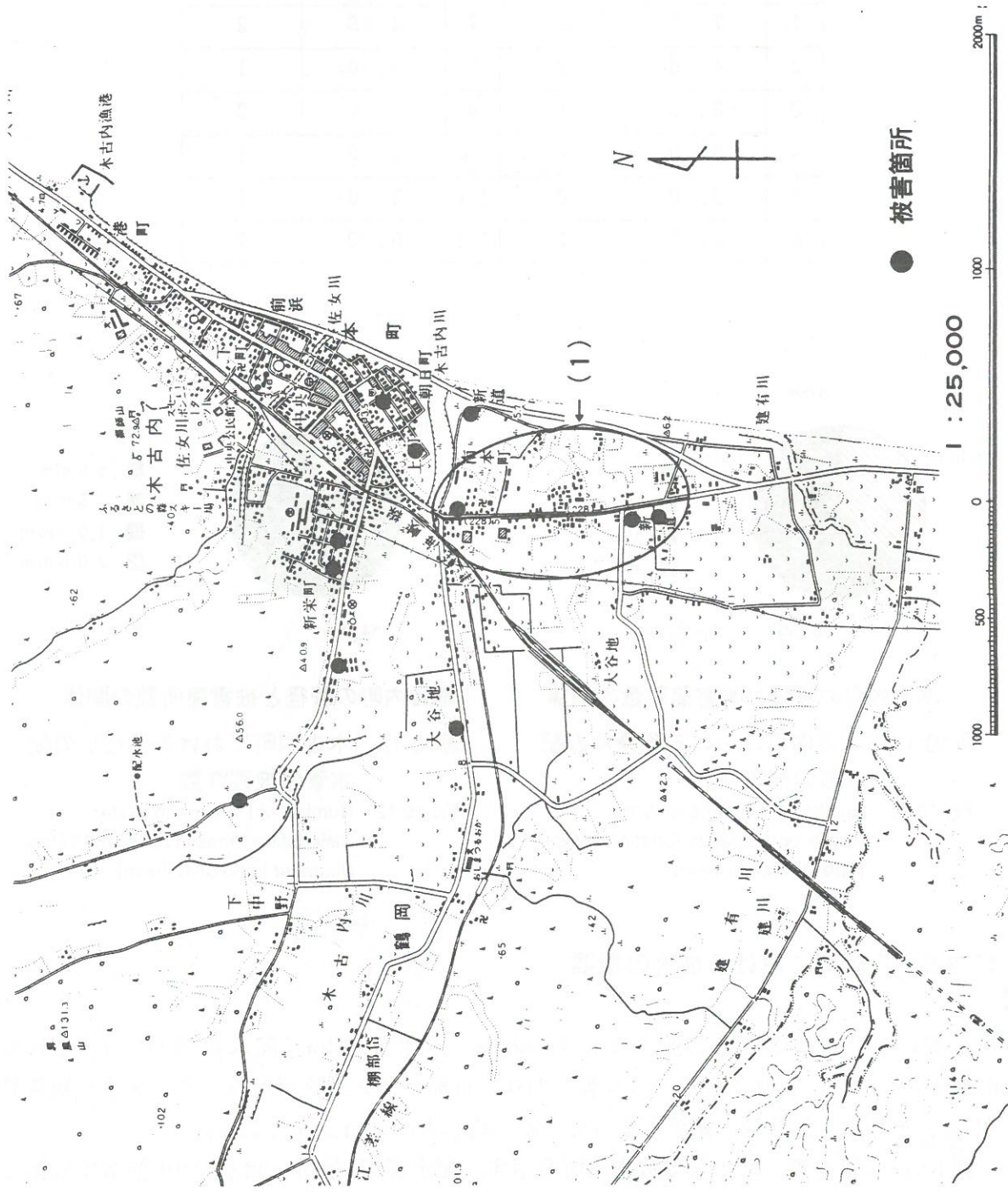


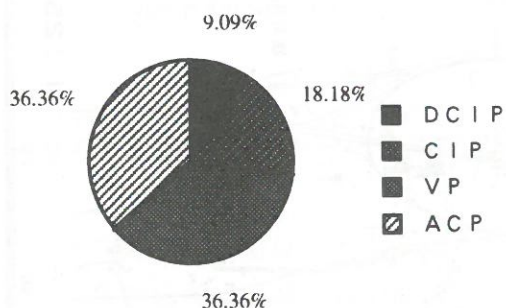
図10.10 木古内町の配水管の被害分布  
 (Fig.10.10 Distribution of Damage to Water Distribution Pipes in Kikonai Town)



表10.9 木古内町における上水道管の試掘の結果

(Table 10.9 Damage to Water Supply Pipe Obtained from Trial Digging in Kikonai Town)

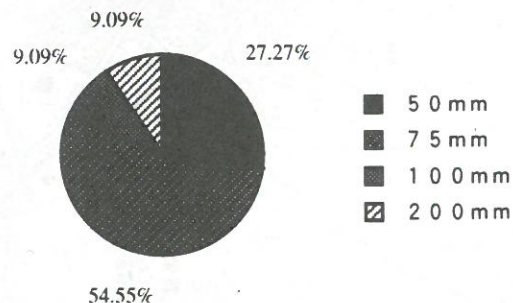
	試掘長さ (m)	被害箇所数		試掘長さ (m)	被害箇所数
1	7.2	2	7	4.5	2
2	4.5	2	8	3.0	1
3	3.5	1	9	5.0	2
4	6.0	2	10	3.0	1
5	5.0	2	11	3.0	1
6	2.5	1	12	5.0	1



木古内町の管種と被害箇所数の関係

図10.11 木古内町における管種別の配水管の被害件数

(Fig.10.11 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Type in Kikonai Town)



木古内町の管径と被害箇所数の関係

図10.12 木古内町における管径別の配水管の被害件数

(Fig.10.12 Number of Damage to Water Distribution Pipes in Relation to Pipe Diameter in Kikonai Town)

## 10.2.6 八雲町における被害の概要

八雲町の上水道の管路延長は導水管6,667m、送水管114m、配水管75,029m、総延長81,810mである。管種は塩化ビニル管が71%、石綿セメント管が21%、ダクトイル鋳鉄管が7%、その他、鋳鉄管、銅管となっている。給水人口は11,385人である。

図10.13に給水管、配水管の被害箇所を示す。配水管が3箇所、給水管が6箇所破損した。配水管の被害はそれぞれφ150mmのダクトイル鋳鉄管とφ100mm、φ50mmの塩化ビニル管であるが、いずれも橋梁の取り付け部における地盤沈下によるものである。泥炭層が地震により沈下したものと考えられる。

これらの被害により2地区、約20戸で断水したが、地震の翌日には復旧した。

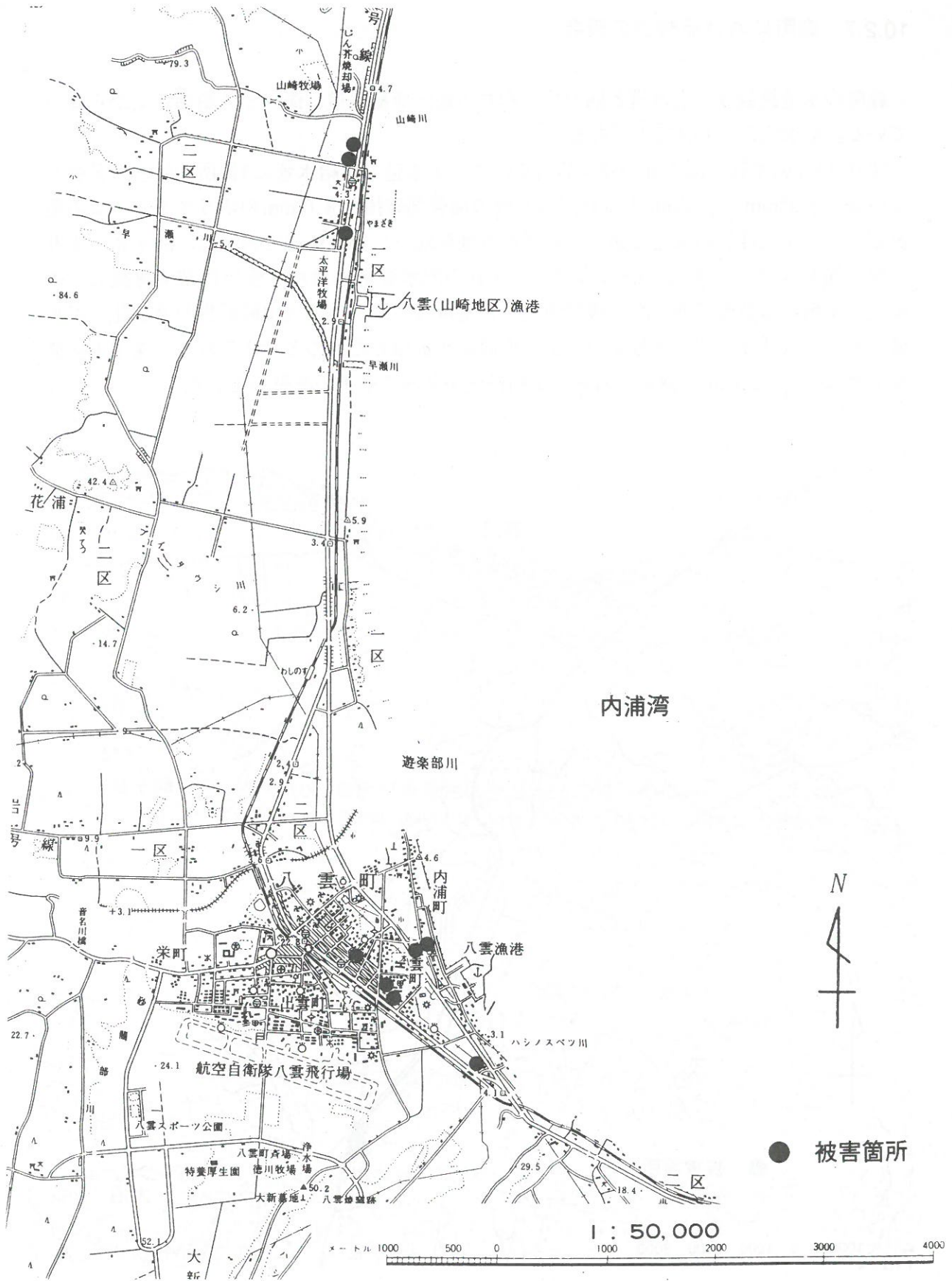


図10.13 八雲町の給水管・配水管の被害分布  
 (Fig.10.13 Distribution of Damage to Water Distribution and Water Supply Pipes in Yakumo Town)



### 10.2.7 森町における被害の概要

森町の水道施設は、上水道と駒ヶ岳・赤井川地区簡易水道、濁川地区簡易水道からなっている。給水人口は14,472人である。

図10.14に給水管、配水管の被害箇所を示す。上水道では給水管に3箇所の被害が発生している。 $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$ の塩化ビニル管の曲管部破損と $\phi 13\text{mm}$ のポリエチレン管の亀裂といった小口径管の被害であり、いずれも地盤沈下に伴う被害であった。駒ヶ岳・赤井川地区簡易水道では $\phi 150\text{mm}$ の塩化ビニル管の配水管が10箇所、受け口部で離脱し、その内の4箇所は曲管であった。被害の生じた地域は、駒ヶ岳の火山碎屑物が液状化した地域であり、液状化に伴う地盤変形により埋設管が破損したものと考えられる。濁川地区簡易水道では、 $\phi 50\text{mm}$ の鋼管の給水管が稲穂橋添架部で継手の離脱が生じた。

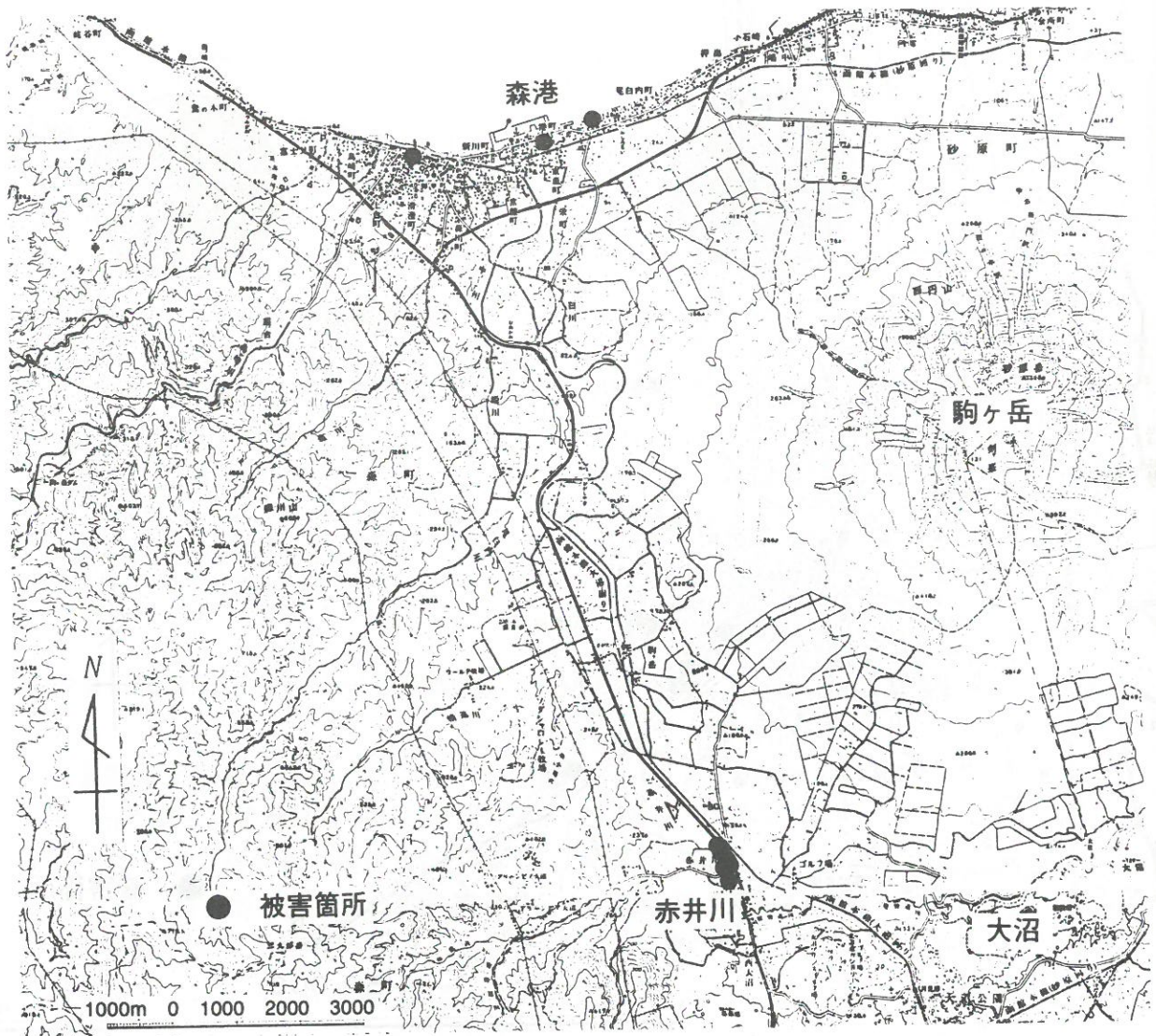


図10.14 森町の給水管、配水管の被害分布

(Fig.10.14 Distribution of Damage to Water Distribution and Water Supply Pipes in Mori Town)



## 10.2.8 奥尻町における被害の概要

奥尻島の水道施設は、奥尻地区簡易水道と青苗地区簡易水道の2簡易水道と10の地区水道からなっている。奥尻地区の給水人口は1,440人、配水管路長は約6,300mであり、青苗地区のそれらは、それぞれ1,538人、約7,650mである。奥尻地区と青苗地区の中心部はともにダクタイル鋳鉄管を用いているが、青苗地区の中心部以外のところは塩化ビニル管である。青苗地区は昭和61～62年度にかけて、奥尻地区では平成4年度に老朽管更新事業として管種の向上などの整備がなされたところである。

青苗地区の被害の概要を表10.10に示す。青苗地区では津波と火災により437戸が流出あるいは焼失し、給水管以降が解放状態となって水を流せなくなり、地上仮配管を行った。配水管の被害はいずれも接合部であり、ゴムリングの離脱が2箇所、亀裂が2箇所である。地震発生から1日近く完全に断水したが、水を送り続けながら復旧工事を進めたところ、3日間ほどでほとんど仮復旧でき、最終的には7月24日に仮復旧を完了した。

奥尻地区の被害の概要を表10.11に示す。沈澱池への流入管が接合部で破損したので、一時的に沈澱池が空の状態になってしまい、その後ポンプにて水を流入するなどして対処した。平成4年度に整備してからあまり時間が経っていないこともあって、配水管路に離脱や切損などの被害は生じなかった。7月23日に完全復旧している。

なお、島内には管工事の業者がいないので、地震後島外から業者が来るのを待って本格的な復旧作業が始まった。

表10.10 奥尻町青苗地区簡易水道の被害の概要

(Table 10.10 Damage to Provisional Water Supply System in Aonae, Okushiri Town)

被害箇所	口径	概要
配水管	φ 75～150mm	接合部4箇所
配水(枝)管	φ 40mm以下	接合部4箇所
給水管	φ 13～25mm	流出と焼失 437戸
合計		接合部8箇所, 437戸

表10.11 奥尻町奥尻地区簡易水道の被害の概要

(Table 10.11 Damage to Provisional Water Supply System in Okushiri, Okushiri Town)

被害箇所	口径	概要
沈澱池	φ 150mm	流入管 接合部2箇所, 掘削長さ5m
高区配水池	φ 150～200mm	流入管 接合部3箇所, 掘削長さ10m
低区配水池	φ 75mm	流入管 接合部2箇所, 掘削長さ16m
給水管	φ 13～25mm	38箇所 (球浦地区含む)
合計		45箇所



## 10.2.9 上ノ国町における被害の概要

天の川下流にひらけた上ノ国町では、旧河道において液状化が発生しており、その地域を中心に、河川堤防の亀裂、沈下、道路の亀裂、沈下などの被害が生じた。

液状化の発生が確認されている大溜地区を中心に21箇所の配水管被害が生じた。大溜橋伏せ越し部では、 $\phi$  200mmのダクタイル鋳鉄管が破断したが、地震動の影響で護岸の矢板が管体部を破断したものと考えられる。ここでは鋼管のさや管で地上仮配管し、応急復旧している。また、7月18日に $\phi$  200mmのダクタイル鋳鉄管の継手部の亀裂からの漏水が発見され、袋ジョイントを巻いて復旧した。その他の被害としては、 $\phi$  13~75mmの塩化ビニル管の継手の離脱などがほとんどであった。

地震発生直後、水道課長の判断により供給を停止し、その後約1日間断水したが、14日には応急復旧を完了した。

## 10.2.10 乙部町における被害の概要

乙部町の水道施設は、乙部地区、元和・三ツ谷地区、豊浜地区の3つの簡易水道からなっている。給水人口は5,721人である。

乙部地区では昭和32年頃に管路が敷設されている。配水管のほとんどが塩化ビニル管となっており、道路横断箇所にはダクタイル鋳鉄管が用いられている。しかし、一部には石綿セメント管も残っている。水源は、鳥山地区と館浦地区の2箇所である。乙部地区の被害を表10.12に示す。導水管、送水管は石綿セメント管の継手部における破損であり、配水管は塩化ビニル管の継手部の離脱、食い込みなどである。液状化による建物被害の発生した館浦温泉団地では、 $\phi$  150mmの塩化ビニル管の継手部の離脱が発見された。これにより団地内で被害が激しいと判断し、13日午前中にポリエチレン管による地上仮配管を行い、応急給水を行いながら復旧作業に取りかかった。14日夕方には完全復旧している。なお団地内では、噴砂の激しいところや、地盤変状などにより道路に亀裂が入っているところで、管路の被害が多く生じていたとのことである。同地区は、元は水田であり、10年前に埋め立て造成された地域である。

元和・三ツ谷地区と豊浜地区においては大きな被害が報告されていないが、給水管には多少被害が生じているであろう、とのことである。

表10.12 乙部町乙部地区簡易水道の被害の概要  
(Table 10.12 Damage to Provisional Water Supply System in Otobe, Otobe Town)

被害箇所	被害箇所数	概要
導水管	1箇所	石綿セメント管の継手部
送水管	2箇所	石綿セメント管の継手部
配水管	3箇所	塩化ビニル管の継手部
給水管	多数	異種管の接合部での漏水が多い

## 10.2.11 北桧山町における被害の概要

北桧山町の水道施設は、北桧山地区、若松地区、太櫓地区の3つの簡易水道からなっている。それぞれの給水人口は、北桧山地区3,730人、若松地区1,610人、太櫓地区約270人である。後志利別川左岸は下流に至るまで若松地区に含まれており、液状化の激しかった兜野も若松地区である。

北桧山地区では、真駒内川下流にある真駒内団地においてφ100mmの石綿セメント管が4箇所、管体部で切断された。団地内では液状化が確認されているが、被害箇所は噴砂の見られた場所というよりは、道路に亀裂の入っている場所であった。この地区では、地上仮配管による応急給水体制を整えた後、復旧工事に取りかかった。

若松地区の若松では、40mにわたり道路が陥没したので、そこに埋設されていたφ100mmの塩化ビニル管はあきらめ、全面敷設替えをした。兜野では36箇所の被害が生じた。主な被害は塩化ビニル管のベルジョイントの離脱である。大きいところでは約1m離脱しているところもあった。また、水管橋の立ち上がった部分の屈曲部でφ100mmのステンレス管が破損した。

太櫓地区では、石綿セメント管が4箇所、管体部で破断した。太櫓は津波に襲われて大きな被害の生じたところであるが、津波によって家屋とともに管路の埋め戻し砂が波にさらわれ、石綿セメント管が露出したところがあったが、管路は無傷であった。

水源として伏流水を用いているが、地震後砂利が締まったためか流入量が減少したので、約1週間にわたり日中給水量がゼロとなったところが一部の高台地域にあった。なお、浄水場の周辺地盤が40～50cm沈下したが、施設には異常が生じなかった。

## 10.3 下水道の被害

### 10.3.1 被害の概要

下水道の被害は渡島支庁の6市町で発生した。各市町での被害金額を示すと表10.13となる。

表10.13 下水道の被害金額  
(Table 10.13 Damage to Sewage Facilities)

市町名	件数	被害金額(千円)
函館市	7	48,967
上磯町	2	41,733
大野町	2	16,277
七飯町	2	8,000
八雲町	1	8,732
長万部町	13	393,028
合計	27	516,687



表に示されるように、下水道施設の被害総額は約5億円であったが、そのうち約3/4は長万部町での被害であった。以下には、被害の大きかった長万部町の被害状況および被災原因について述べる。

### 10.3.2 長万部町での被災状況

長万部町では下水道の整備が現在行われているところであるが、平成22年度までの全体計画を示すと表10.14となる。

この計画のうち、污水管渠の21.8kmほどが、地震発生の約9カ月前の平成4年10月に供用開始されていた。そして、北海道南西沖地震により、図10.15に示した13地区で管渠およびマンホールが被災した。各地区での復旧に要した管渠の延長およびマンホールの箇所数を図中に示すが、管渠は総延長で2,055m、マンホールは合計51箇所であった。被害の状況としては、管渠では蛇行、屈折、浮上り、継手破損などで、マンホールでは浮上りや沈下、ブロックのずれなどであった。

地震後に調査された噴砂・地盤変状発生箇所、および旧沼地・旧河道・旧砂鉄採掘場を図10.16<sup>6)</sup>に示す。図に示した範囲内で北海道南西沖地震により液状化が発生した区域は主に次の4地区ではないかと推定される。

- ①長万部駅の東側から南東部で長万部郵便局付近から長万部町立病院付近までの長万部川の旧河道部
- ②長万部駅の南東部で長万部小学校付近の旧沼地
- ③長万部駅南部の旧砂鉄掘削地
- ④長万部川の河川敷

表10.14 長万部町公共下水道事業計画（長万部町<sup>5)</sup>による）  
(Table 10.14 Sewage Facilities Installation Plan in Oshamanbe Town<sup>5)</sup>)

項	目	全体計画（平成22年）
都市計画内容	行政人口	12,800人
	用途地域	376 ha
下水道計画	排除方法	分流式
	計画区域面積	352 ha
	計画人口	10,100人
処理施設計画	処理能力水量 (晴天時、日最大)	7,020 m <sup>3</sup> /日
管渠	污水延長（幹線）	59,222 m
	雨水延長（幹線）	26,620 m
	合計	85,840 m
ポンプ場	ポンプ場箇所数	3

一：下水管復旧区間

地区番号	管渠復旧長	マノホール
125	135m(φ200) 219m(φ450)	7 箇所
126	173m(φ450)	2
127	266m(φ200) 46m(φ250) 76m(φ450)	9
128	75m(φ200) 27m(φ450)	6
129	69m(φ400)	2
130	82m(φ400) (管推進工)	1
131	171m(φ200)	3
132	195m(φ200)	3
133	221m(φ200)	1
134	19m(φ200) 108m(φ400) 亀裂復旧 6箇所	2
135	25m(φ200) 114m(φ350)	1
136	34m(φ200)	2
137	人孔接合部 4箇所 亀裂復旧 15箇所	12
合計	2055m	51箇所

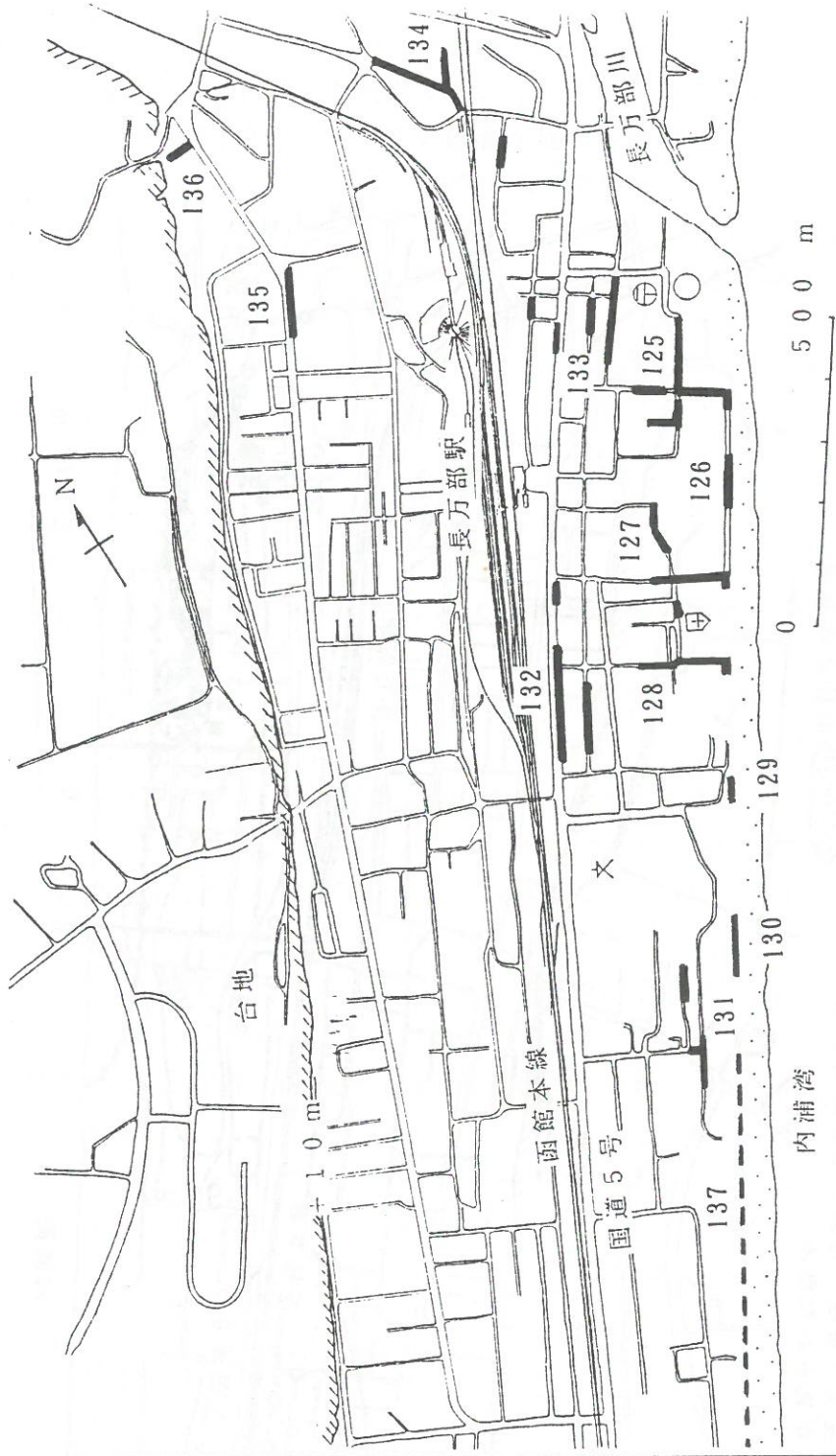


図10.15 長万部町における下水導管被害箇所 (長万部町<sup>5)</sup>による)  
(Fig.10.15 Location of Damaged Sewage Pipes in Oshamambe Town<sup>5)</sup>)



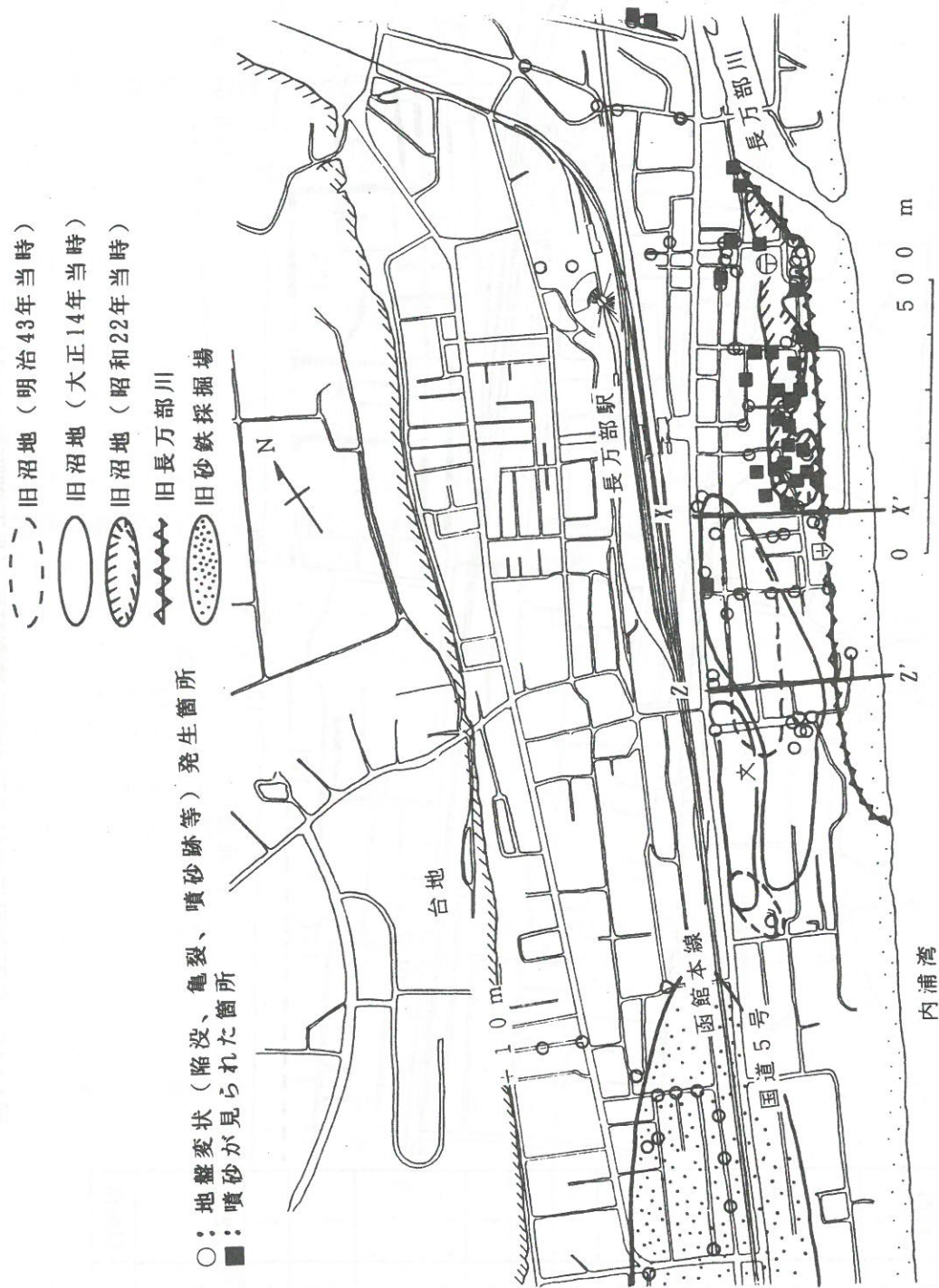


図10.16 長万部町における地盤変状発生箇所 (日本ガス協会の調査<sup>6)</sup>による)  
 (Fig.10.16 Location of Liquefied Sites<sup>6)</sup>)

これらのうち、①、②の地区を通る地質断面図を示すと図10.17、図10.18となる。これは図10.16のX-X'、Z-Z'に沿った断面である。前者では旧河道部、後者では旧河道部および旧沼地にN値が10程度以下のゆるい砂層が地下水位以下に1~4m程度堆積している。これらの図には、また、北海道南西沖地震によって液状化が発生したと推定される層も示している。これは、図中に示したボーリング資料をもとに、道路橋示方書・同解説<sup>7)</sup>の方法に準じて推定したものである。ただし、長万部駅における強震観測結果では290Gal程度の地表最大加速度が得られているが、道路橋示方書等で用いられている液状化簡易判定式に大きな加速度を用いると、液状化層を過大評価してしまう可能性が、最近指摘されているため、ここでは250Galの値を用いている。液状化推定結果をみるとほぼ前述のゆるい砂層で液状化に対する抵抗率（安全率）が1を下回っており、旧河道や旧沼地の底に堆積していたゆるい砂や埋土（盛土）部分が液状化したものと考えられる。

### 10.3.3 長万部の下水道マンホールおよび管渠の被災原因に関する考察

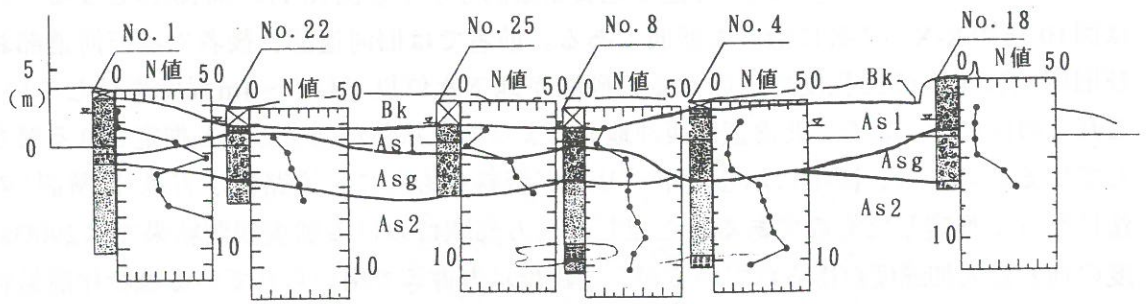
長万部町では地震後にマンホール・管渠の被害状況および被災箇所の地盤状況を詳しく調べている<sup>8)</sup>。マンホールの浮上りまたは沈下量を示したのが図10.19である。マンホールだけでなく地表面も沈下した箇所もあるため、それも図中に示してある。これらの差がマンホールの相対沈下量になるが、地盤の沈下がマンホール底部より下層で発生したケースと上の層で発生したケースとが考えられ、複雑なため、とりあえず前者のマンホールの絶対浮上り量を浮上り量とみなし、液状化の発生との関係を考察してみる。

図10.19と図10.16とを比べてみると、マンホールの浮上りと液状化の発生地域との間には大まかに次のような関係があると言えそうである。

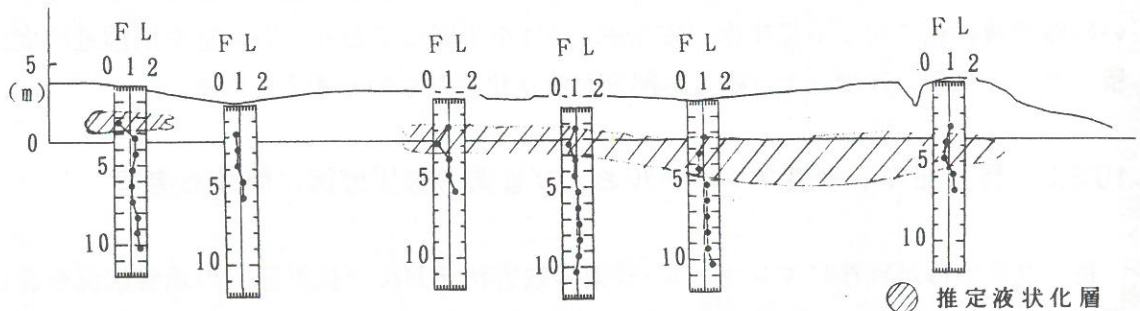
- ①地盤で液状化が発生した地区（長万部町役場から長万部町立病院付近）ではマンホールが浮き上がった。
- ②液状化が発生しなかった地区ではマンホールはほとんど浮き上がらなかった。
- ③ただし、液状化が発生しなかった地区でBラインの一部（B2）ではマンホールが大きく浮き上がった。

長万部町では地震後にボーリング調査を行い、地震前のボーリング資料と合わせて、図10.19に示した線に沿った地質断面図を作成している<sup>8)</sup>。この断面図の中から上記の①、②、③に相当する断面図を抜き出してみると図10.20となる。まず、①に相当するD<sub>2</sub>-D<sub>2</sub>'断面ではD-5、D-6、D-7のマンホールが浮き上がって、その他のマンホールは浮き上がっていなかったが、D-5、D-6のマンホールでは底面より下部に液状化したと推定されるゆるい砂層が存在している。これに対し、少し沈下したD-3、D-8、D-9ではマンホール底面付近は砂礫層となっている。次に、②に相当するF-F'断面ではF-1を除いて他のマンホールではほんの少し沈下しているが、それらのマンホールの底面下付近には、N値が10以上の比較的密な砂や、砂礫が存在している。これらの層は液状化していないと推定される。③に相当するB-B'断面では53cmと大きく浮き上がったB-2のマンホールの底面付近には泥炭層が存在している。B-1ではマンホール底面付近に①と同様にゆるい砂があるようである。



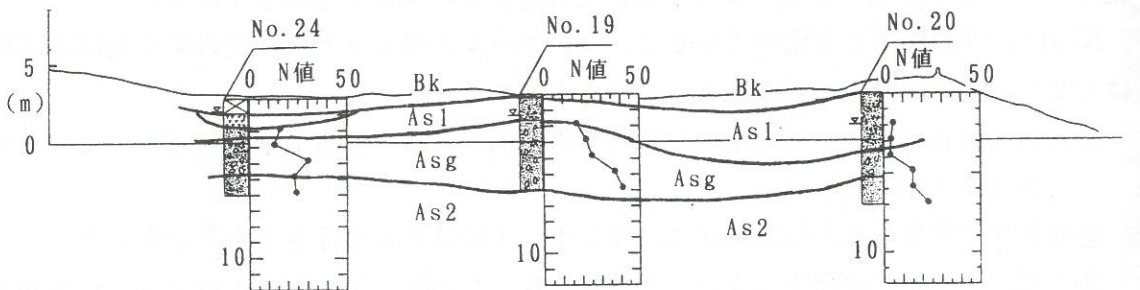


(a) X-X' 線に沿った地層断面

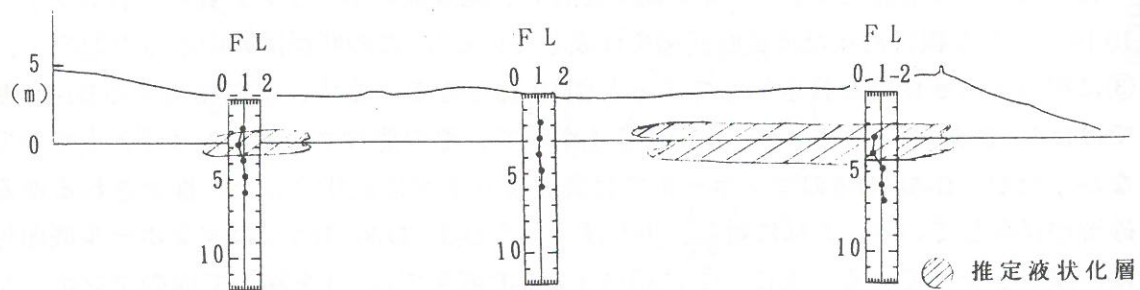


(b) X-X' 線に沿った推定液状化層

図10.17 X-X'線に沿った地質断面図および推定液状化層  
(Fig.10.17 Soil Cross Section along X-X' Line and Estimated Liquefied Layer)



(a) Z-Z' 線に沿った地層断面



(b) Z-Z' 線に沿った推定液状化層

図10.18 Z-Z'線に沿った地質断面図および推定液状化層  
(Fig.10.18 Soil Cross Section along Z-Z' Line and Estimated Liquefied Layer)

測線	番号	変位量(cm)	
		道路	段差
A	1	-1	-13
	2	-0.6	-12
	3	-0.6	-6
	4	2.9	-3
	5	5.4	-19
	6	0.4	-12
	7	1.3	0
	8	1.5	-6
	9	-0.5	1
	10	-0.3	1
B	1	11.3	-11
	2	53.0	-4
C	1	-4.3	-13
	2	3.3	-9
	3	0.0	-8
	4	-10.8	-25
D	5	6.5	-3
	6	6.1	-6
	7	5.2	-8
	1	1.2	-33
	2	-3.2	-14
	3	-0.3	-14
	4	0.9	-9
E	5	7.4	-9
	6	2.9	-6
	7	2.4	-3
	8	-13.5	-14
	9	-1.8	-7
	10	0.0	-12
	11	9.0	-20
	12	43.1	-17
	13	11.1	-17
F	1	1.0	-1
	2	19.2	-10
	3	24.3	-13
	4	22.7	-13
	5	-3.9	-1
G	1	3.1	2
	2	-1.5	-18
	3	-1.5	-10
	4	-0.3	-3
	5	-1.7	-5
	6	-2.5	-6
H	1	4.0	-3
	2	-0.7	-3
	3	0.0	-1
	4	0.9	0

(-)沈下、(+)浮上り

●: 50cm以上浮上  
 ○: 0~25cm浮上  
 ⊙: 25~50cm浮上  
 △: 沈下

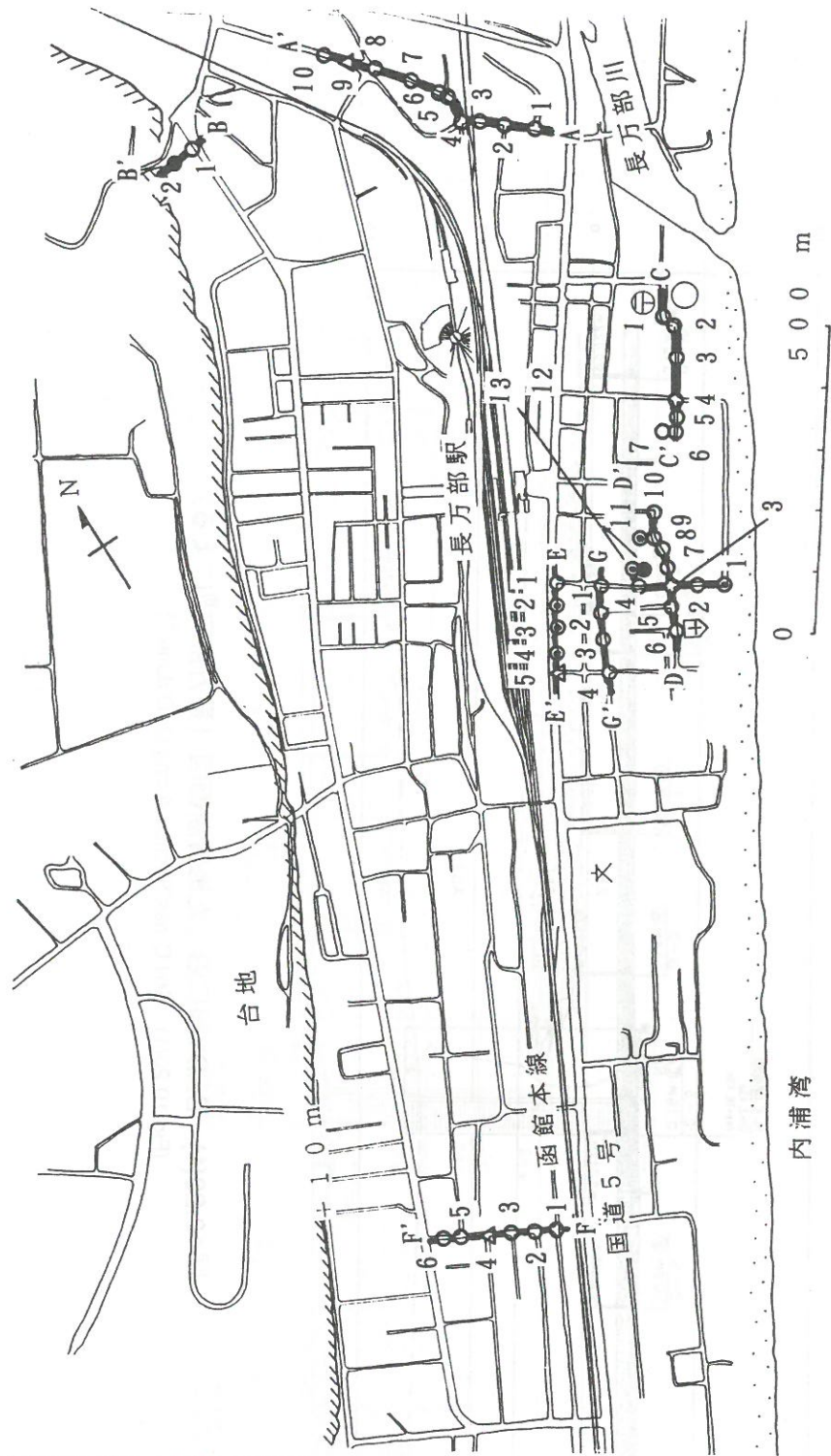


図10.19 下水道マンホールの浮上り地点と浮上り量 (長万部町<sup>8)</sup>による)  
 (Fig.10.19 Sites and Heights of Floated Manholes<sup>8)</sup>)



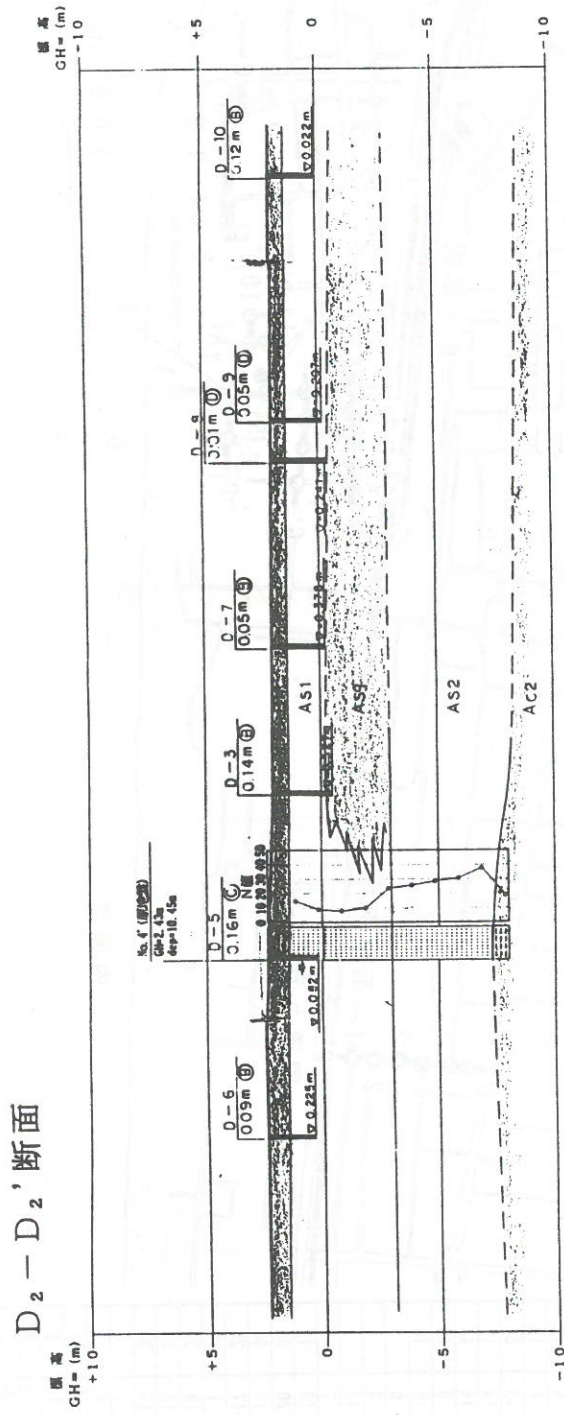


図10.20(1) D<sub>2</sub>-D<sub>2</sub>'線に沿った地質断面図 (長万部町<sup>8)</sup>による)  
(Fig.10.20(1) Soil Cross Section Along D<sub>2</sub>-D<sub>2</sub>'Line<sup>8)</sup>)





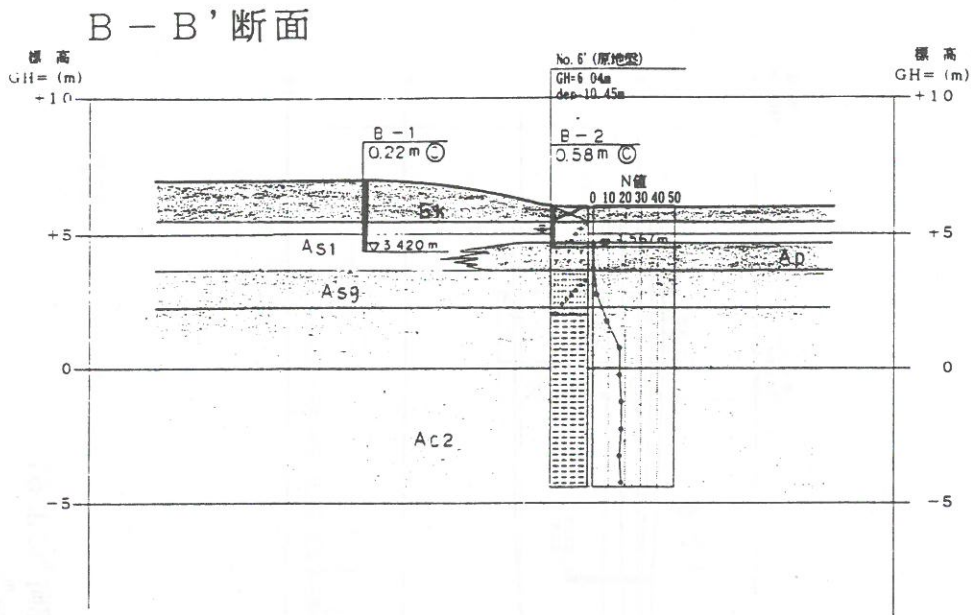


図10.20(3) B-B'線に沿った地質断面図 (長万部町<sup>8)</sup>による)  
 (Fig.10.20(3) Soil Cross Section Along B-B' Line<sup>8)</sup>)

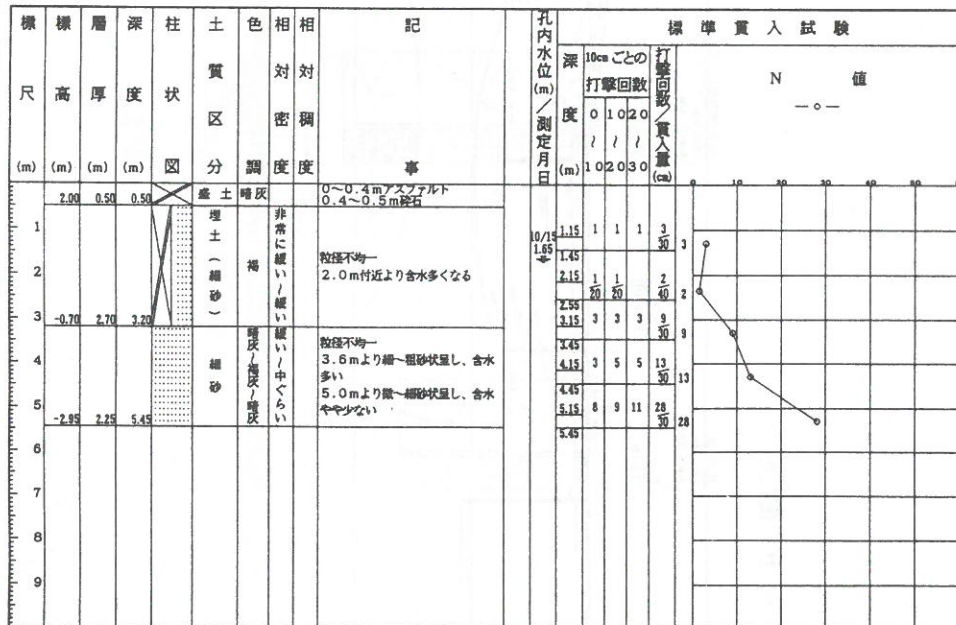


図10.21 埋戻し土のN値 (長万部町<sup>8)</sup>による)  
 (Fig.10.21 SPT N-values of a Backfill Sand<sup>8)</sup>)

さて、二宮ら<sup>9)</sup>は図10.19、図10.20などをもとに、ゆるい砂層がマンホール底面付近に存在した場合に液状化によってマンホールが浮き上がったと推定している。これは上記のパターンでは①に相当する。したがって、マンホール底面下付近の原地盤が液状化したものではマンホールは浮き上がったといえる。これに対して③のB-2で浮き上がったのは、以下に示す別の理由ではなかったかと推察される。

図10.21は埋戻し部で行われた土質調査結果例<sup>9)</sup>を示す。これに見られるように、埋戻した砂はN値が2~3程度以下と非常にゆるく、液状化し易かったものと考えられる。1993年釧路沖地震では同様な条件の埋戻し土が液状化したと考えられており、それを確かめるため、安田ら<sup>10)</sup>により振動台を用いた模型実験が行われている。その結果、図10.22に示されるように、埋戻し土の液状化発生に影響を与える要因として、埋戻し土の粒度・密度、地下水位、地震動の大きさ、原地盤部への透水性などがあることが指摘されている。これらの要因のうち、原地盤部の透水性についてみると、上記の②と③では条件が大きく異なっているといえる。つまり、②の地区では埋戻し土で過剰間隙水圧が発生しても周囲の原地盤が砂や砂礫のため、透水性が良く、すぐに過剰間隙水圧が消散し、結局埋戻し土は液状化に至らなかったのではないかと推察される。これに対し③のB-2では周囲の泥炭層の透水性が悪く非排水状態となって埋戻し土が液状化してしまい、そのため、マンホールが浮き上がったのではないかと推察される。釧路沖地震でマンホールや下水管渠が浮き上がった原因に対しては、埋戻し土の液状化だけに起因するのか、それとも下部の原地盤も液状化したためかといった検討がなされているが、浮き上がったマンホールや管渠の底面付近には泥炭層が存在したものがあり、これと今回のB-2の被害とよく似ているといえそうである。

次に、復旧にあたって調べられた管渠の鉛直変位量を示すと図10.23となる。ここでの値は隣り合った二つのマンホール間での最大変位量をとっている。また、地盤自体が沈下している地区もあるが、マンホールでの図10.19と同様に管渠の鉛直方向の絶対変位量をとっている。この図と図10.16、図10.19を比較してみると、マンホールが浮き上がった地区で管渠も浮き上がっていたことがわかる。したがって、管渠もマンホールと同様に、原地盤や埋戻し土の液状化に起因して浮き上がったものと考えられる。最大の浮き上がり量を示したのは長万部町役場の南側で、107cmも浮き上がっていた。

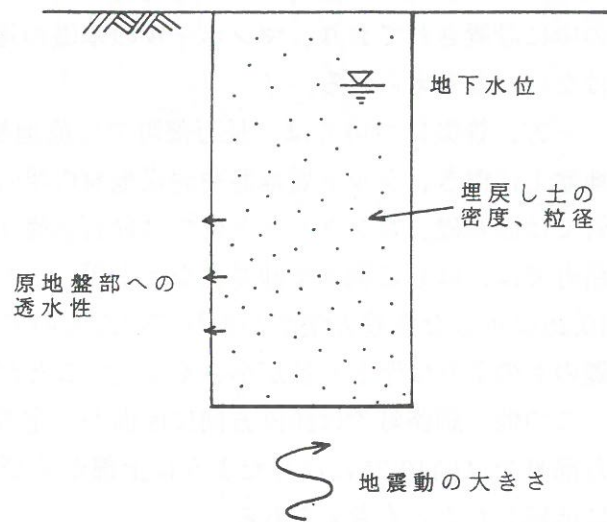


図10.22 埋戻し土の液状化発生に影響を与える要因

(Fig. 10.22 Some Factors Which Affect the Liquefaction Potential of Backfill Sands)



#### 10.3.4 釧路沖地震による被害との比較

1993年釧路沖地震でも、下水道施設の被害としてマンホールおよび管渠の浮上りが発生した。この被害の原因としては埋戻し土の液状化が指摘され、また、マンホール下部の原地盤土の液状化の可能性もあると考えられた<sup>11)</sup>。このように、原地盤や埋戻し土の液状化に起因してマンホールや管渠が浮き上がったのは、今回の地震でも同様と考えられるが、両者での浮き上がり量はかなり異なっていた。マンホールでは釧路沖地震の際、最大1.3mも浮き上がったのに対し、北海道南西沖地震では最大で0.5mであった。また、管渠ではそれぞれの地震で最大1.5m、1.0mであった。これらの差は有意なものか否か現時点では明らかではないが、一応有意な差であるとみなした場合、両者が相違した理由について考察してみる。ただし、埋戻し土だけが液状化した場合で比較してみる。

前述した安田らの実験<sup>10)</sup>によると、マンホールや管渠が浮き上がるためには、これらの周囲の土が構造物の下に回り込む必要があり、この回り込み易さに関係して、埋戻し土のみが液状化するパターンでは、図10.24に示した様な要因が浮上り易さに関係しているらしいことが指摘されている。

これらのうち、まず、埋戻し土の液状化の程度について長万部町と釧路市・釧路町の場合を比較してみる。埋戻し土の粒径や密度は両者で大差がないと考えられるが、地震動は前者に比べ後者の方が大きかったはずで、埋戻し土が両者とも液状化した場合でも、液状化の程度は長万部に比べて釧路市・釧路町の方が激しかったのではないかと考えられる。したがって、まず、この違いが浮上り量に影響した可能性が考えられる。

次に、基礎の形式の違いについて比較してみる。マンホールに関しては、長万部町では図10.25に示すように基礎に碎石が敷かれていた。これに対し、釧路町で浮上ったマンホールでは、軟弱な地盤のため、井桁基礎が用いられていた。ただし、井桁基礎は切込碎石の中に設置されており、マンホールの基礎の違いは浮上り量にあまり影響しなかったのではないかと考えられる。

一方、管渠については、長万部町では原地盤が砂質土の場合は図10.26に示すように原地盤上に置き、シルト質地盤や泥炭地盤の場合には砂基礎が用いられていた。また、塩ビ管では砂基礎、コンクリート管では碎石基礎が用いられていた。これに対し、釧路市や釧路町では、はしご胴木や砂基礎などが用いられていた。したがって、長万部町において図10.26に示した敷設方法がとられていたものでは、液状化した土が回り込み難く、他の基礎のものよりは浮上り量が小さくなったことが考えられる。

この他、釧路町では鉛直方向に断面が一定のマンホールが用いられていたのに対し、長万部町では図10.25に示したように上部がくびれたものを使ってあり、その部分で浮上りに抵抗したことも考えられる。

以上、釧路市や釧路町での被害と長万部町の被害とを比較してみたが、まだ定性的な推測の域を出ず、今後定量的な比較が必要と考えられる。

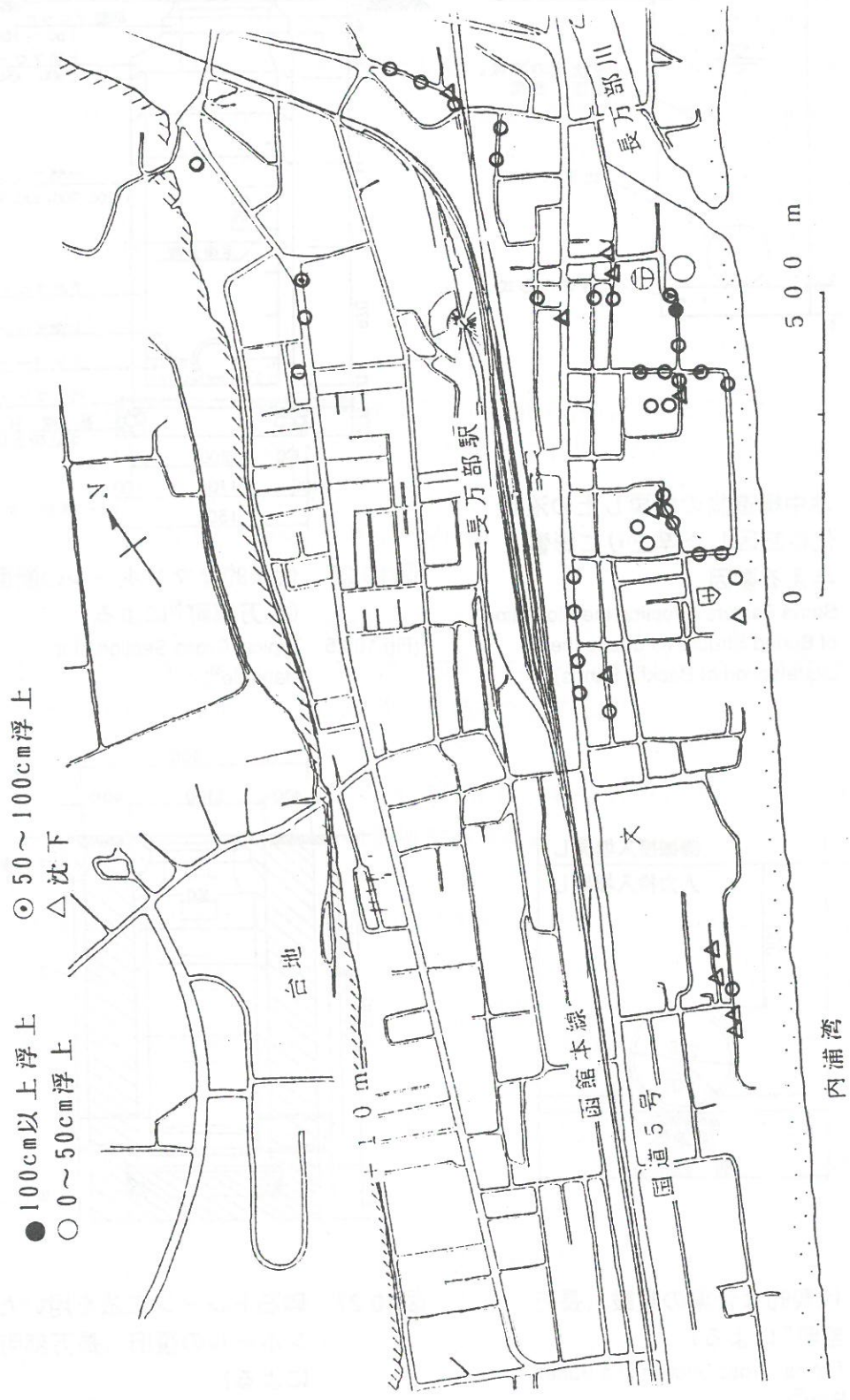


図10.23 下水道管渠の浮上り地点と浮上り量 (長万部町<sup>5)</sup>による)  
 (Fig.10.23 Sites and Heights of Floated Sewage Pipes<sup>5)</sup>)



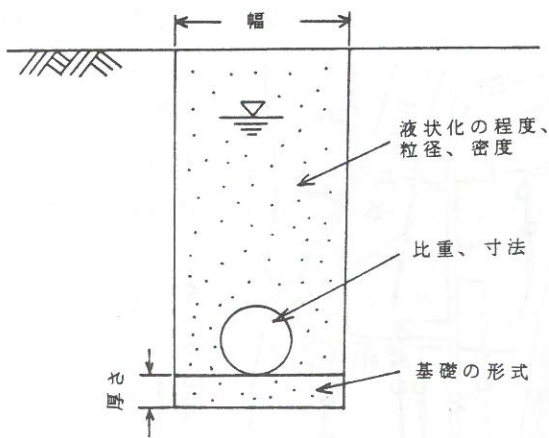


図10.24 地中構造物の埋戻し土の液状化に起因した浮上りに影響を与える要因  
 (Fig.10.24 Some Factors Affecting the Floatation of Buried Structures due to the Liquefaction of Backfill Sands)

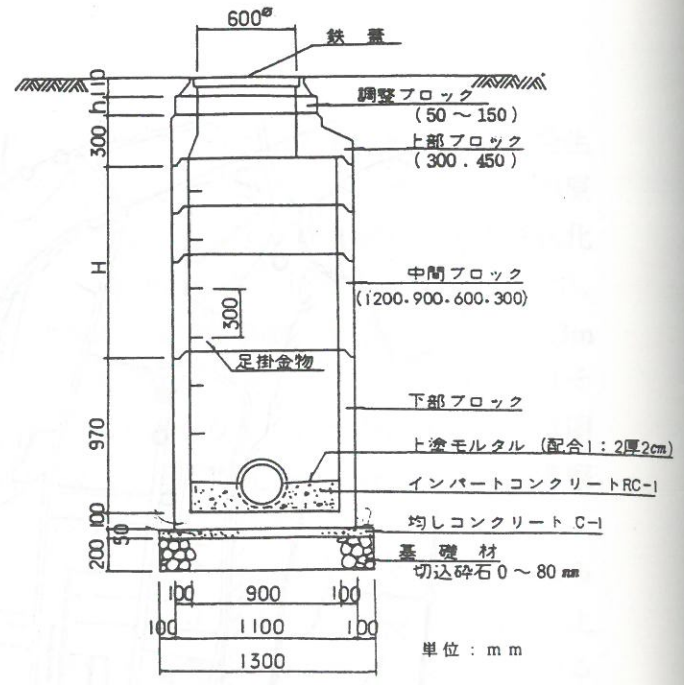


図10.25 代表的なマンホールの断面 (長万部町<sup>5)</sup>による)  
 (Fig.10.25 Typical Cross Section of a Manhole<sup>5)</sup>)

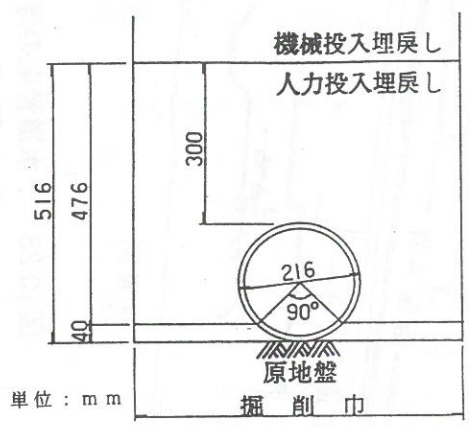


図10.26 代表的な管渠の敷設 (長万部町<sup>5)</sup>による)  
 (Fig.10.26 Typical Cross Section of a Buried Pipe<sup>5)</sup>)

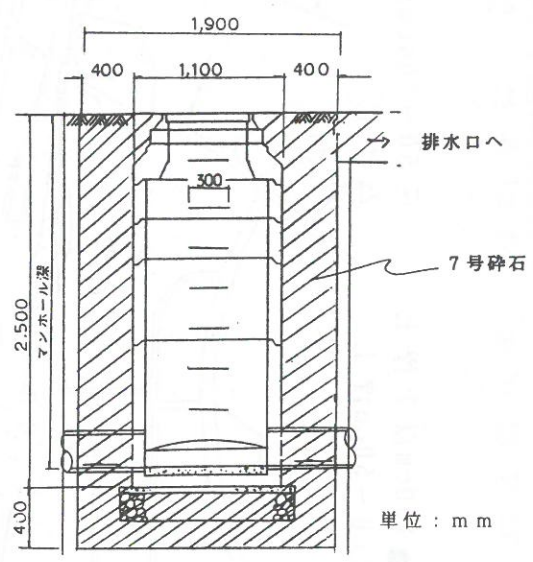


図10.27 砕石ドレーン工法を用いたマンホールの復旧 (長万部町<sup>8)</sup>による)  
 (Fig.10.27 Reconstruction of Damaged Manholes Using the Gravel Drain Method<sup>8)</sup>)

### 10.3.5 長万部町における復旧状況

長万部町では被災後からすぐ応急復旧にとりかかった。そして、地震後約3ヵ月たった11月から本復旧にとりかかり、翌年3月に本復旧も終えた。本復旧にあたっては原形復旧とすることが原則とされたが、マンホールに対しては5箇所ほど液状化対策を施した復旧が行われた。これらでは、図10.27に示されるように、埋戻し土として碎石が用いられた。

## 10.4 ガスの被害

### 10.4.1 被害状況

本節では文献6)に基づき、ガスの被害ならびに復旧状況について述べる。ガスの被害は長万部町で発生した。長万部町営ガスでは天然ガスを利用して町内にガスの供給を行っていた。表10.15にガス導管の延長を示す。このうち、図10.28に示した箇所でガス導管に被害を受けた。本支管および管内管の被害状況は以下のようであった。

#### ①本支管

中間圧本管および低圧本管で、MKD継手の拔出しがそれぞれ1件ずつ発生した。低圧支管では、ねじ折損が7箇所、ねじ亀裂が1箇所、ねじゆるみが1箇所、LA継手拔出しが4箇所、LA継手ゆるみが1箇所、合計14箇所で被害が発生した。

#### ②供給管

供給管の被害は22箇所で発生した。その内訳は、ねじ折損14箇所、ねじ亀裂3箇所、LA継手拔出し4箇所、LA継手ゆるみ1箇所であった。

#### ③内管

内管の被害は灯外内管で30箇所、灯内内管5箇所、合計35箇所で発生した。その大半が、ねじの折損、亀裂またはLA継手の拔出し・ゆるみであった。

図10.28の被災箇所をみると、10.2節、10.3節に示した上・下水道管の被害発生地区と同様に、地盤の液状化が発生した地区内にガス管の被害も集中していることがわかる。これを定量的にまとめたのが表10.16である。ここでは液状化発生地区とそうでない地区での被害率がまとめているが、中間圧本管と低圧管とも液状化発生地区で被害率が大きくなっている。なお、地震後に数カ所で被災原因の詳細な検討が行われているが、長万部町立病院の南西側（図10.28にDと示した箇所）では口径80Aの低圧鋼管が最大で64cm下方に押し下げられる変形が生じており、その原因が液状化にともなう地盤の側方流動（永久変位）にあったのではないかと推察されている。

### 10.4.2 復旧状況

地震発生後、製造所からの低圧ガスの送出量が急激な増加を示し、低圧導管からのガス漏洩が多数発生したことが推定されたため、地震発生後の11分後に送出管のバルブを停止



表10.15 長万部町営ガスの材質・継手別導管延長<sup>6)</sup>

(Table 10.15 Length of Gas Pipelines in Oshamanbe Town<sup>6)</sup>)

圧力	管径	管材質	継手		延長 (km)		
			既設	新設			
中間圧 0.3kg/cm <sup>2</sup>	100A	鋼管	溶接、MKD		1.8		
	80A						
低 管	200A	鋼管	溶接、MKD		0.5		
		ダクタイル鑄鉄管	A型(特押)	A型(特押)	2.3		
	150A	鋼管	溶接、MKD		2.0		
		ダクタイル鑄鉄管	GMⅡ、A型(特押)	A型(特押)	1.4		
	125A	鋼管	溶接、MKD		2.3		
	100A	鋼管	ねじ、溶接、MKD		1.4		
		ダクタイル鑄鉄管	GMⅡ、A型(特押)		0.3		
	80A	鋼管	溶接、MKD		1.5		
		ダクタイル鑄鉄管	A型(特押)		0.1		
	(小計)					11.8	
	支 管	50A	鋼管	ねじ、LA		PCM	4.8
		32A	鋼管				1.7
		(小計)					6.5
		50A ≤	鋼管	ねじ、LA		PCM	0.49
供 給 管	32A	鋼管	ねじ、LA		PCM	1.11	
	25A						
	20A						
	(小計)						1.60

表10.16 本支管および供内管の被害<sup>6)</sup>

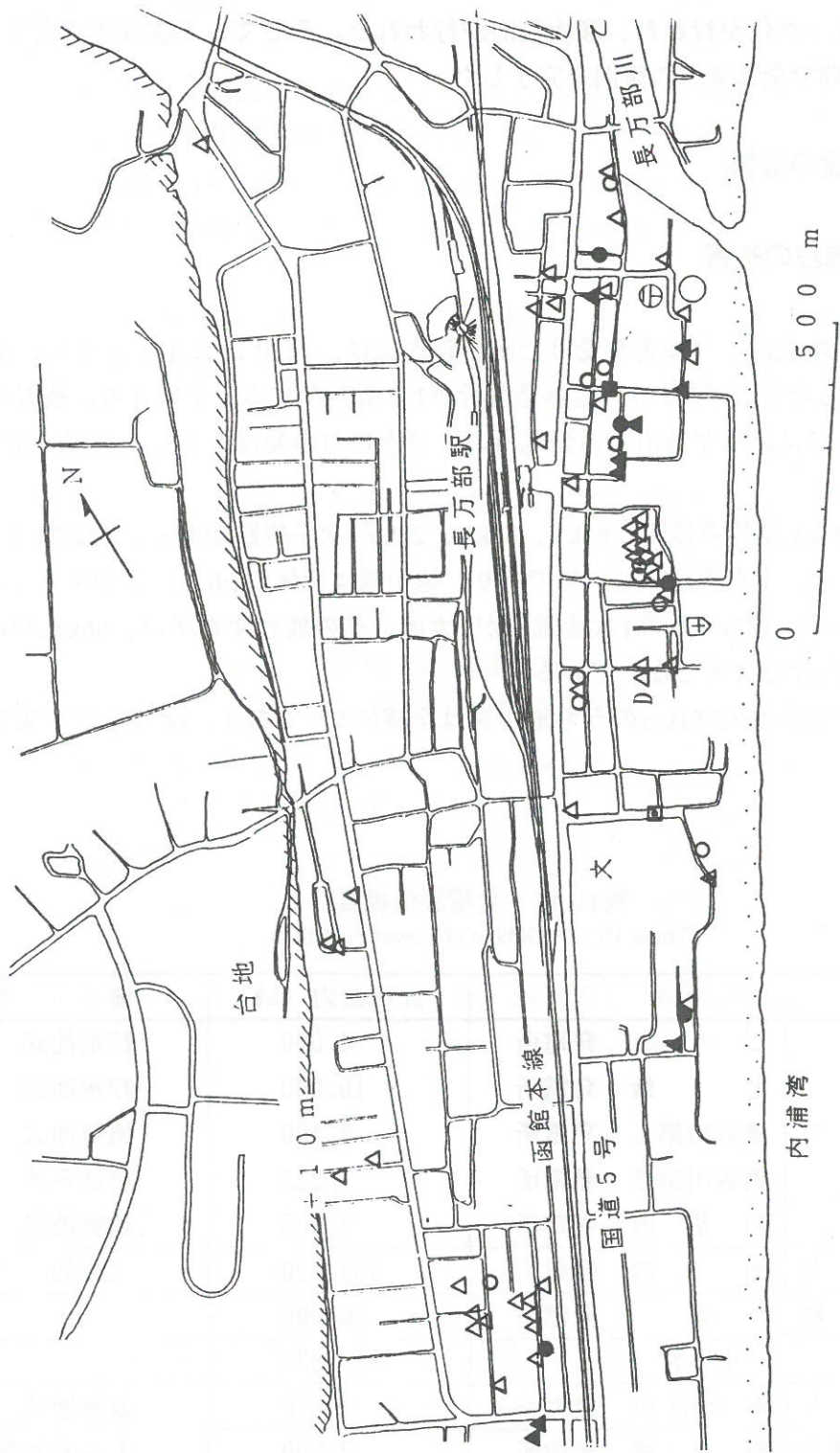
(Table 10.16 Number of Damaged Gas Pipelines<sup>6)</sup>)

	液状化地区 ※1				非液状化地区			
	被害箇所数	延長、戸数	被害率		被害箇所数	延長、戸数	被害率	
中間圧 ※2 本管	1	MKD 1	km 1.59	箇所/km 0.63	0	-	km 0.24	箇所/km 0.00
低	本管 (80A 以上)	MKD	km	箇所/km	0	-	km	箇所/km
		1	6.37	0.16			5.474	0.00
	支管	LA	km	箇所/km	0	-	km	箇所/km
		5	2.09	6.70			4.386	0.00
供給管	LA	戸	箇所/1000戸	3	ねじ	戸	箇所/1000戸	
	5	703	27.0			722	4.16	
灯外内管	LA		箇所/1000戸	2	ねじ		箇所/1000戸	
	7		39.8			2	2	2.77
灯内内管	ねじ		箇所/1000戸	1	ねじ		箇所/1000戸	
4	4		5.69	1	1		1.39	

※1 液状化地区は地盤変状等調査結果により区分

※2 中間圧灯外内管(給食センター)100Aねじのゆるみ漏れ箇所あり

(全被害箇所数 74)



被害凡例

中間圧	MKD	■
	ねじ	▲
本支管	MKD	■
	LA	●
	ねじ	▲
供内管	LA	○
	ねじ	△

図10.28 長万部町におけるガス導管の被害箇所<sup>6)</sup>  
 (Fig.10.28 Location of Damaged Gas Pipelines<sup>6)</sup>)



することにより、供給を停止した。

翌日からブロック化が行われ、順次復旧が行われた。そして、二次災害の発生もなく、地震発生後8日間で全需要家の復旧を完了した。

## 10.5 電力施設の被害

### 10.5.1 電力施設の被害

北海道南西沖地震により被害を受けた函館管内には、表10.17に示すように、水力発電所が7カ所、火力発電所が2カ所、地熱発電所が1カ所存在する。そのうち、被害の最も大きかった奥尻島には、ホヤ石川水力発電所および内燃力の発電所として奥尻発電所の2発電所がある。

送電線は、187kV基幹系線路と66kV、33kV、22kV2次系線路があり、総延長は1,048kmに上る。このうち、主な線路は架空線であり、地中線は全体の2.6%にしかすぎない。

管内の変電所は、187kV系の1次変電所が1カ所、その他の変電所は、66kV,33kV,22kVの2次変電所で合計33カ所となっている。

配電線は、総延長約3,354kmのうち地中線は全線の1%であり、ほとんどが架空線となっている。

表10.17 発電設備概要  
(Table 10.17 Outline of Power Facilities)

				許可出力 (kW)	備 考
北 海 道 電 力 道 電 所 (株)	本 道	水 力	ピ リ カ 発電所	4,000	貯水池式
			七 飯 発電所	10,000	貯水池式
			磯谷川第1 発電所	2,400	調整池式
			磯谷川第2 発電所	1,233	流込み式
			相 沼 内 発電所	2,000	調整池式
		火 力	知 内 発電所	350,000	(重油)
	地 熱	森 発電所	50,000		
	小 計			419,633	
	奥 尻 島	水 力	ホヤ石川 発電所	170	調整池式
			内燃力	奥 尻 発電所	3,200
小 計		3,370			
計			423,003		
そ の 他	本 道	水 力	大 野 発電所	1,500	
		小 計		1,500	
	計			1,500	

## 10.5.2 系統事故の概要

7月12日に発生した北海道南西沖地震により、北海道南部を中心に約26,700戸に停電が発生した。このうち北海道電力株式会社（以下北電）所有の変電所、発電所の電源停電による供給支障は、表10.18、表10.19に示すとおり、送電線事故で停電した変電所が2箇所、水力発電所が3箇所、地熱発電所が1箇所あり、また、配電線事故は30フィーダーにも及んだ。

地震発生時に、2,860MW供給を行っていたが、地震直後には設備被害が発生したために、約25MWの発電支障と約140MWの供給支障が発生した。このため、系統周波数が50.58Hzまで上昇したが、北本連系設備により緊急送電を行ったため、瞬時に、50.00Hzの平常周波数に回復した。

また、被害が大きかった奥尻島では、崖崩れや津波により配電線路が各所で分断されたために、島内の約2,300戸のうち約1,700戸が停電となった。（表10.20参照）

表10.18 供給支障<sup>12)</sup>  
(Table 10.18 Suspension of Supply<sup>12)</sup>)

地区名	支障電力	支障時間	原因
松 前	4,400kW	5時間18分	送電線事故
渡島当別	800kW	5時間08分	送電線事故
福 島	2,700kW	17分	緊急作業
(参考) 奥 尻	2,140kW	解 消 済	配電線事故

表10.19 発電支障<sup>12)</sup>  
(Table 10.19 Suspension of Power Generation<sup>12)</sup>)

所 名	支障電力	支障時間	停止原因
ピリカ（水）	700kW	10時間08分	系統分離過電流リレー
森（地）	20,800kW	13時間34分	地震検出リレー
知内（火）	出力制限	7月16日まで	電気集塵機短絡
蘭越（水）	3,200kW	1時間12分	圧油集油槽油面低下
壮警（水）	420kW	49分	加速度リレー



表10.20 奥尻島の停電状況<sup>12)</sup>  
 (Table 10.20 Outline of Power Failure in Okushiri Island<sup>12)</sup>)

地区名	お客さま戸数	停電戸数	損壊家屋	送電時間	送電状況
奥尻地区北	415	119	0	14日 19:30	奥尻PSより送電
〃 南	137	0	0	—	(供給支障なし)
谷地地区	198	0	10	—	(供給支障なし)
赤石地区	131	131	30	13日 10:00	奥尻PSより送電
球浦開拓地区	17	17	0	14日 11:15	奥尻PSより送電
松江地区	146	146	111	14日 15:15	奥尻PSより送電
青苗・富里方面	753	753	272	15日 17:24	高圧発電機車(500KW)で送電(20日 14:32 奥尻PSより送電)
米岡地区	71	71	0	15日 19:35	高圧発電機車(500KW)で送電(20日 14:32 奥尻PSより送電)
球浦・宮津方面	312	312	40	16日 15:00	高圧発電機車 a (200KW)で送電(21日 15:28 奥尻PSより送電)
稲穂方面	85	85	44	16日 15:55	高圧発電機車 a (200KW)で送電(21日 15:28 奥尻PSより送電)
幌内・神威脇	59	59	12	16日 15:40	高圧発電機車 b (200KW)で送電(20日 16:41 奥尻PSより送電)
計	2,324	1,693	519		

### 10.5.3 設備被害の概要

設備被害は表10.21、図10.29に示すとおり、北電函館支店の火力発電所、水力発電所、変電所および配電線にいくつかの被害があった。以下に被害が大きかった設備に対して、各設備ごとに被害の概要を述べる。

#### (1) 発電設備

今回の地震でもっとも被害の大きかった奥尻島内に設置されている2つの発電所のうち、主な島内供給源である奥尻火力発電所(3,200kW)は、燃料輸送用パイプラインに被害があったが発電に支障はなかった<sup>13)</sup>。

一方、需給調整用の水力発電所であるホヤ石川発電所(170kW)は、定期検査のため運転をしていなかったが、津波による冠水の影響により、水車・発電機本体が被害を受け、これらは修理・再使用が可能であるが、付属設備・電気関係部品等はほとんど交換が必要となった<sup>13)</sup>。

被害箇所	
●	発電所
●	送電線
○	変電所
●	配電線

震源  
X

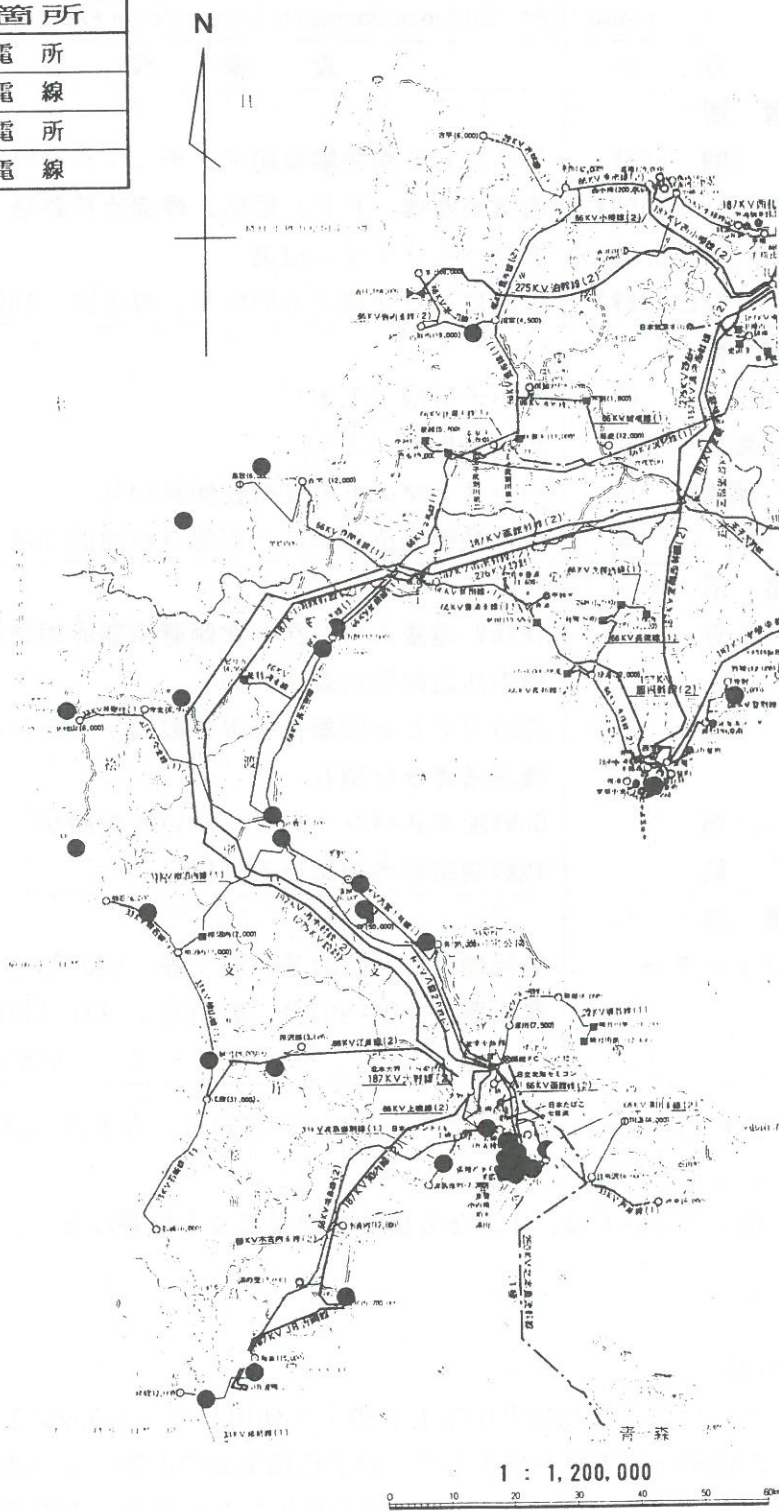


図10.29 電力設備被害の分布  
(Fig.10.29 Distribution of Damage to Electric Power Facilities)



表10.21 設備被害概要<sup>12)</sup>

(Table 10.21 Outline of Damage to Electric Power Facilities<sup>12)</sup>)

設備名	設備被害
<b>発電所</b> 森 (地熱 50MW) 知内 (石油 350MW) 奥尻 (内燃力 3.2MW) 榑石川 (水力0.17MW)	生産井しゃ断弁駆動用アクチュエーター配管漏油 電気集塵機 (EP) 短絡、煙突支持鉄塔一部損傷 燃料パイプライン損傷 津波による発電所本館冠水、導水路 100m区間移動
<b>送電線</b> 33kV松前線 33kV渡島当別線 33kV瀬棚線 他 33kV檜山線	がい子折損 (1本) がい子折損 (2本) パンザーマストの支持物傾斜14基 鉄塔基礎変位および一部部材の湾曲 3基
<b>変電所</b> 大野 上磯 長万部 福島	187kV 連変Aバンク一次側避雷器赤相倒壊 構内法面擁壁亀裂 (100m) 72kVガスしゃ断器青相碍管破損、母線ジャンパー線素線切れ 機器基礎ひび割れ 66kV配変AバンクLTCがい管部漏油 72kV開閉器赤相がい子折損
<b>配電線</b> 30フィーダー	支持物 : 857(278)基、電線 : 690(659)条 変圧器 : 850(96)台、開閉器 : 17(11)台 ( ) は奥尻島は再掲

また、導水路が約100mに渡って地山崩落のため移動し、導水路入口制水門コンクリートピアの損壊等も発生した。

泊原子力発電所においては、1、2号機とも地震による影響はなく、地震後も平常に稼働した。

## (2) 送電設備

送電線パンザーマスト支持物と中実LP碍子を使用している33kV送電線において、支持物傾斜および碍子折損事故が発生した。碍子折損事故の影響により渡島当別地区および松前地区に供給している2線路に供給支障が発生した。また、水田等の比較的軟弱な地盤においても支持物の傾斜が14基発生し、特に、33kV檜山線のうち鉄塔3基において、砂質シルトからなる軟弱地盤(層厚35m前後)のため、基礎の変位が発生し、鉄塔部材の一部が湾曲した。

### (3) 変電設備

変電所の被害は函館地区に集中し、碍子形遮断器の碍管折損、断路器・避雷器などの碍子・碍管類の折損、また、負荷時タップ切替変圧器の操作用碍管、変流器碍管等のセメチング部からの漏油等の被害があった。

また、その後の巡視により、電力用蓄電器の支持碍子の亀裂および擁壁等にひび割れが発見された変電所もあった。

### (4) 通信設備

北電の通信設備に関しては、上磯変電所のライントラップ(LT)が溶断したが、変電所の機能を停止するような事故にはいたらなかった。

奥尻島に関しては、奥尻発電所～ホヤ石川発電所～奥尻営業所の通信ケーブルが複数断線した。

### (5) 配電設備

配電設備の被害は、表10.22、図10.30に示すとおり、支持物の折損・傾斜・沈下および柱上変圧器の傾斜など約2,300カ所の被害があったが、本道側は、供給上、主回路から切り離すことで対策・仮復旧ができ、長期的な供給支障には至らなかった。釧路沖地震では電柱上部に設置されている変圧器に被害が多かったが、北海道南西沖地震では支持物の被害が多いことが特徴的である<sup>13)</sup>。

この違いは、地盤の液状化があったかどうかの違いによるものと考えられる。特に、北海道南西沖地震の場合、被害の集中した上磯地区および北檜山町後志利別川沿いは、液状化被害が数多く報告されている地域である。地盤が液状化すると支持物を支えている地盤自体の崩壊による支持物傾斜等の被害が発生する。これに対し、地盤が凍結していた釧路沖地震では、地震動が地盤によりあまり減衰せずに、変圧器上部まで伝わったものと推定できる<sup>13)</sup>。

また、奥尻島では津波・崖崩れによる支持物の折損・倒壊・滅失などが約280基、高圧線の断線・滅失などが約660条にも上った。(図10.31参照)

表10.22 配電線の被害<sup>12)</sup>  
(Table 10.22 Damage to Distribution Facilities<sup>12)</sup>)

支店別		函 館	奥尻 注)	室 蘭	小 樽	岩見沢	合 計
支持物	基	5 7 2	2 7 8		7		8 5 7
電 線	条	2 7	6 5 9		4		6 9 0
変圧器	台	6 3 3	9 6	1 8	5 7	1	8 0 5
開閉器	台	3	1 1	2		1	1 7

注) 奥尻分は 函館支店と別掲



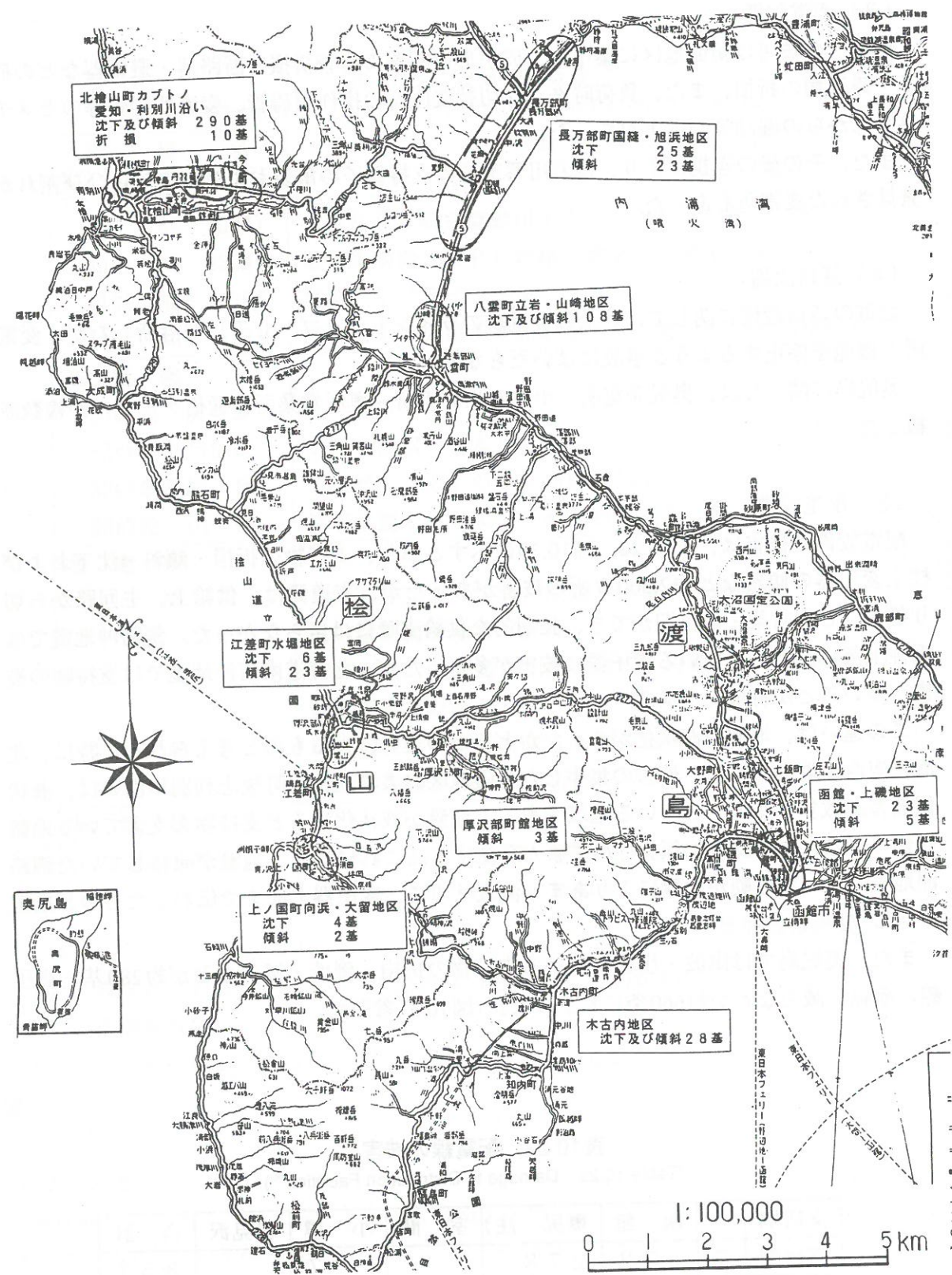


図10.30 配電設備被害概況図 (本道)  
(Fig.10.30 Outline of Damage to Distribution Facilities in Hokkaido)

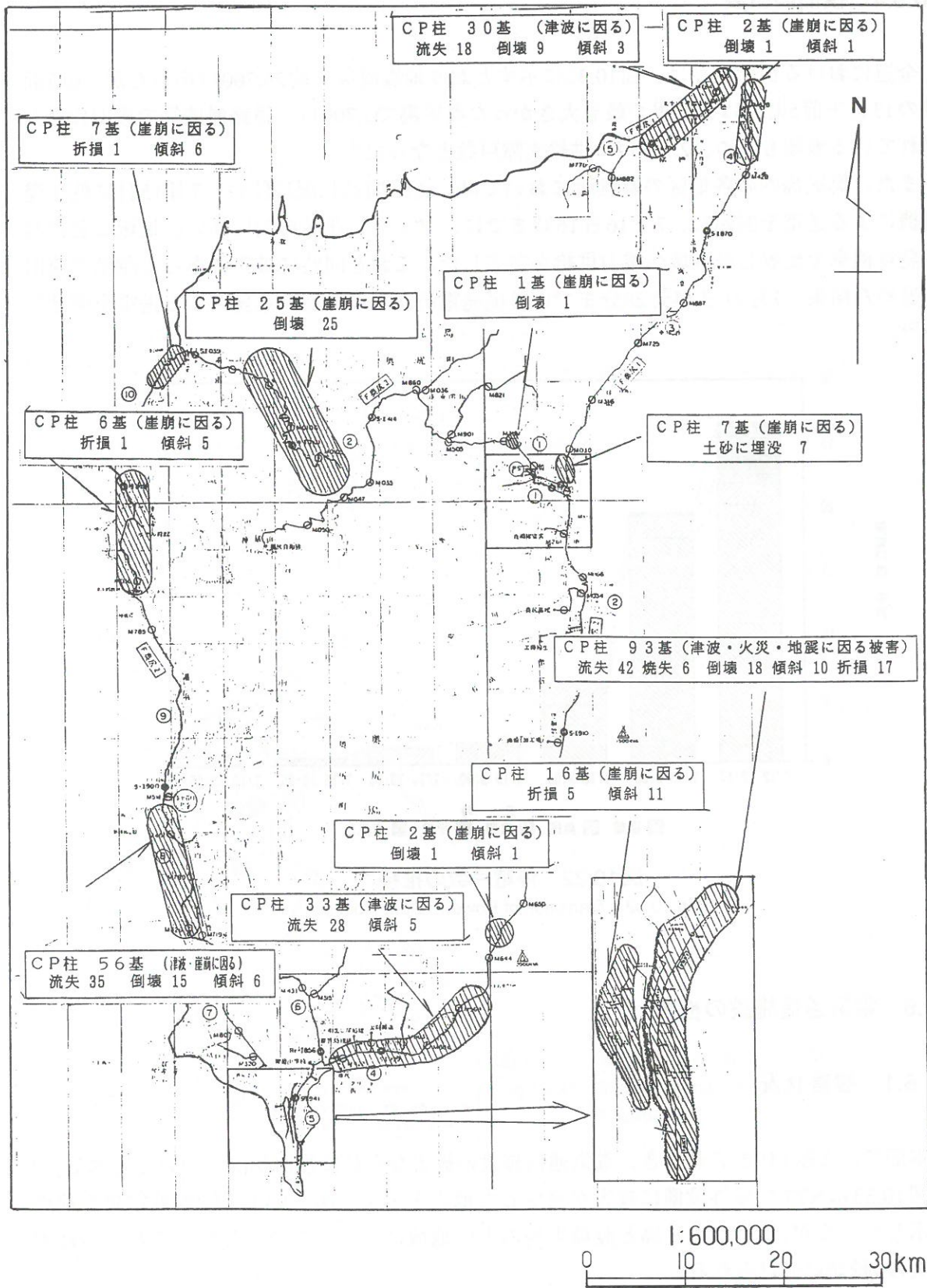


図10.31 配電設備被害概況図 (奥尻島)

(Fig.10.31 Outline of Damage to Distribution Facilities in Okushiri Island)



### 10.5.4 復旧の概要

全道における供給支障は、図10.32に示すとおり地震直後で約26,700戸あったが、6時間後の13日午前5時には、被害が最も大きかった奥尻島で1,700戸、道路崩壊等で復旧作業が遅れている地域も含め、2,100戸の供給支障戸数となった<sup>12)</sup>。

また、奥尻島内の各地区の避難所においては、道路開通状況に伴い、7月15日に低圧発電機による送電を開始し、7月16日16時までには、フェリー運航再開に伴い、地域ごとに高圧発電機車を配置し島全域へ電力供給を完了した。これと同時に被害にあった設備の復旧を進めた結果、7月21日15時28分までに奥尻発電所からほぼ通常系統による送電を開始した<sup>12)</sup>。

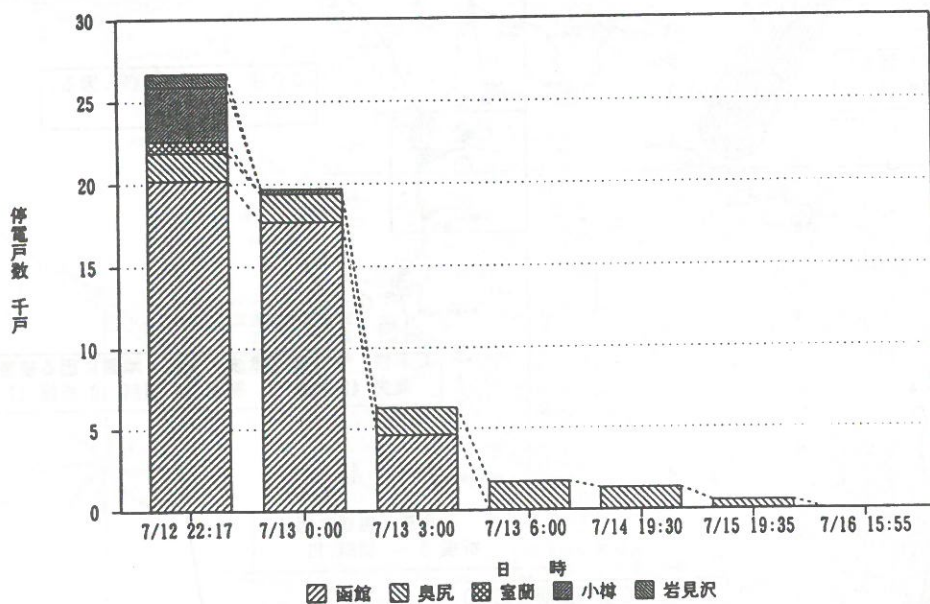


図10.32 停電戸数の推移<sup>12)</sup>  
(Fig.10.32 Transition of Power Failure Houses<sup>12)</sup>)

## 10.6 電気通信施設の被害

### 10.6.1 被害状況

本節では文献14)15)に基づき、電気通信施設の被害ならびに復旧状況について述べる。

図10.33はNTTの屋外設備に被害が発生した地点を示す。図中の①～⑦が被害発生地点を示しているが、被害は奥尻島と渡島半島の広い地域にわたって発生した。これらの被害は次の4種類に分けられる。

#### (1) 道路盛土の崩壊による被害

国道5号線二股地区(図中①)では、道路盛土の崩壊にともなって地下管路が流され、同軸ケーブルがマンホール内接続点で全断した。また、光ケーブルにも過大な張力が作用し

移動した。なお、釧路沖地震の際にも同様の盛土の崩壊によるケーブルの切断が2箇所で見られている。

(2) 橋台際盛土の沈下による被害

国道5号線二股地区知来跨線橋（図中①）、国道228号線上磯地区の上磯新橋（図中⑤）および国道228号江差地区（図中⑥）では橋台際の盛土地盤が沈下し、マンホール内へのダクトの突出し等の被害が発生した。なお、釧路沖地震の際にもこのような被害は数カ所で見られている。

(3) 液状化による被害

第3章に示したように、長万部町から八雲町にかけて国道5号線沿いに数地区で液状化が発生し、道路などが被害を受けた。電気通信設備においても国道5号線国縫地区（図中②）で電柱が連続的に傾斜、沈下した。また、同じく国道5号線の黒岩地区（図中③）ではマンホールが浮上し、管路が抜け出す被害が発生した。

(4) 奥尻島における津波、火災、土砂崩れによる被害

奥尻島（図中⑦）では青苗地区で加入者線路設備の約8割が、津波、火災により被害を受けた。また、奥尻地区でも一部の加入者ケーブルで、土砂くずれ、津波により被害を受けた。奥尻～青苗間の光ケーブルが津波と崖崩れにより全断した。

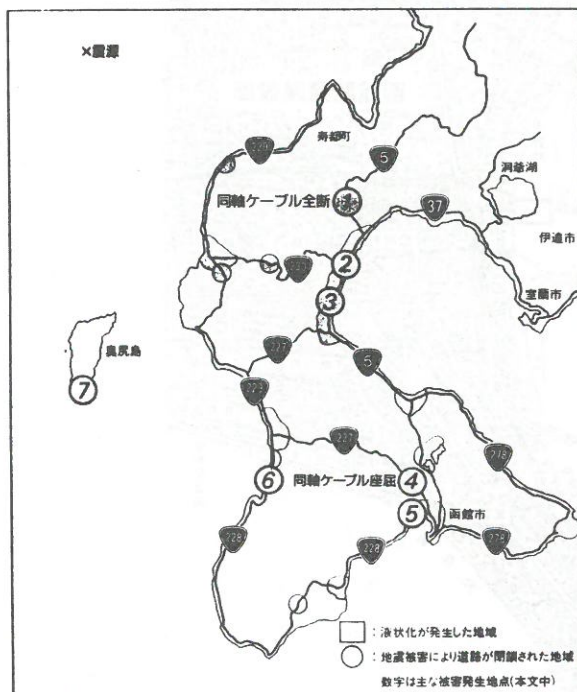


図10.33 電気通信設備の被害発生箇所<sup>14)</sup>  
 (Fig.10.33 Sites of Damaged Telecommunication Facilities<sup>14)</sup>)

10.6.2 復旧状況

上記の被害箇所の内、(1)のケーブルが全断した箇所については応急復旧同軸ケーブルを用い、地震発生の日翌の7月13日には回復した。また、奥尻島の光ケーブルの被害に対しては、応急復旧光ケーブルを用い、7月16日に復旧が完了した。また、加入者ケーブルの復旧も進められ、7月24日に奥尻島の全面応急復旧が完了した。



## 10.7 函館市北埠頭のセメントサイロの被害

### 10.7.1 被害の概要

函館市浅野町の北埠頭の埋立地では、岸壁や臨港道路、上水道、産業施設などが、液状化が主な原因と考えられる被害を受けた。その中でも、岸壁の背後地に建つセメントサイロが傾斜するという重大な被害が生じた。

図10.34に位置図を示す。写真10.3に西から見た傾斜したサイロを示す。傾斜量は1/20(約3度)である<sup>17)</sup>。



図10.34 被災したセメントサイロの位置  
(Fig.10.34 Location of Damaged Cement Silo)

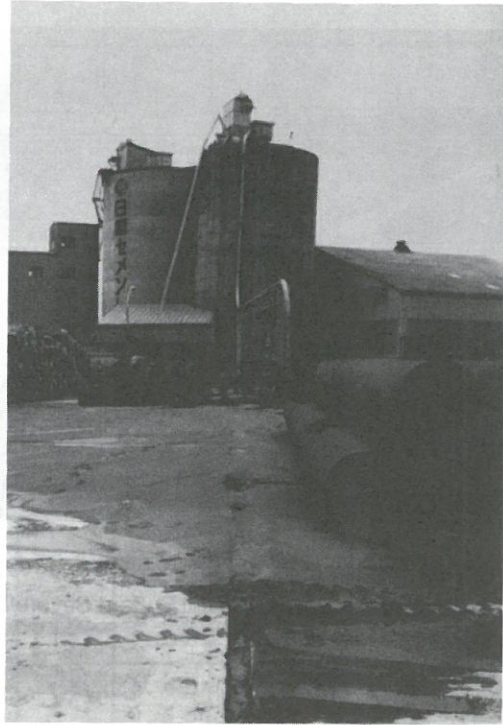


写真10.3 被災したサイロ（傾斜量は1/20）  
(Photo 10.3 Damaged Silo Tilting of 1/20)

#### 10.7.2 セメントサイロ周辺地盤の地震の履歴

北埠頭のセメントサイロ周辺の地盤は、1965年10月から1966年3月にかけて浚渫によって埋め立てられた<sup>16)</sup>。1968年十勝沖地震においては、函館周辺で最も大きな港湾被害があったのは北浜埠頭（現在の北埠頭）の岸壁であり<sup>16)</sup>、岸壁のはらみ出し量は最大60cmに達した。その区間はこのサイロの前方の岸壁である。また、十勝沖地震では岸壁背後地で多数の液状化による噴砂（噴出した泥）が確認されているが、工業用地である背後の造成地にはまだ構造物などはあまり建設されておらず被害も報告されていないし、液状化の重要性も一般的には認識されていなかった。液状化によって20～70cmに達した沈下は客土と整地により、標高+3mになるよう復旧された<sup>16)</sup>。すなわち、埋立後3年目に液状化による被害を受けた地域が、さらに25年を経て今回の地震で再液状化して、多くの構造物に被害を及ぼしたものと考えられる。

ただし、十勝沖地震において被災した岸壁はその後復旧され、今回の地震では岸壁に噴砂が生じたもの、岸壁の変形は小さく復旧の際に採られた対策方法は有効に働いたものと考えられる。写真10.4に1968年十勝沖地震で被災した岸壁の今回の地震後の状況を示す。

今回の地震で最も被害が大きかったものの1つが函館港の関連諸施設であるが、フェリー埠頭から万代埠頭の中の北側に液状化の発生地点も多く、特に北埠頭周辺が最も噴砂の量が多く、港湾構造物はもとより埠頭背後地内構造物に被害が甚大である<sup>17)</sup>。このセメン



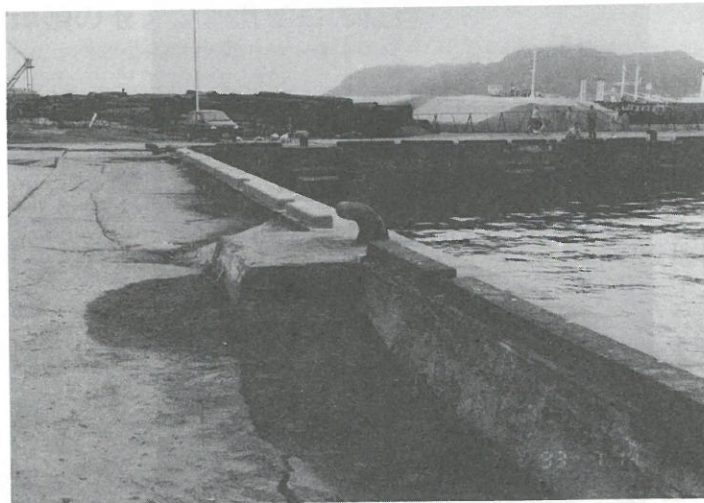


写真10.4 1968年十勝沖地震で被災した岸壁の今回の地震後の状況  
(Photo 10.4 View after This Earthquake around Quay Wall Suffered Severe Damage during the 1968 Tokachi-oki Earthquake)

トサイロはその地域の中心に位置する。

すなわち、このセメントサイロ周辺は1968年十勝沖地震でも今回の地震でも、函館港湾地域で最も被害の大きかった地域の一つであるといえる。

### 10.7.3 敷地の地盤構造

被災したサイロの敷地で、地震直後（7月24～27日）にボーリング調査が実施された。図10.35に地盤柱状図を示す<sup>17)</sup>。地表近くに盛土層、GL-0.6m～-7.0mにN値が0～7の軟弱な浚渫埋立土層（*Bk*層）、極めて軟弱なシルト層に続き、GL-7.6m～-13.8mにN値が3～7のシルト質砂層（*As1*層）、GL-13.8m～-16.9mに約厚さ1mの円礫が混入する固結砂層を有するN値5～13のシルト質砂層（*As2*層）、N値8～13のシルト層に続きGL-19.5m～-27.8mに火山灰質の砂層、その下GL-50mまでは、薄い火山灰質の砂層や礫混じり層腐植土層などが狭在しているが、概ねN値10程度のシルト層が続いている。解体工事の関係でそれ以深は調査されていない。すなわちシルト分の多い埋立層の下には、シルト質の砂層や火山灰質の砂層とシルト層が互層となって堆積している。また、*Bk*層、*As1*層、*As2*層が液状化する可能性のある土層と考えられる。

さらに、函館市の基盤構造についてはあまりよくわかっていないが、既往の文献によれば、このサイロの敷地は函館市で最も基盤が深い位置に相当し、沖積層基底深度はおおむね110m程度と考えられる。

### 10.7.4 サイロと周辺の被害状況

写真10.5にサイロ前面の道路の様子を示す。北埠頭周辺では液状化によるおびただしい噴砂・噴水が見られ、水道管の破損による漏水の水と合わせて北埠頭内の道路は、地震後

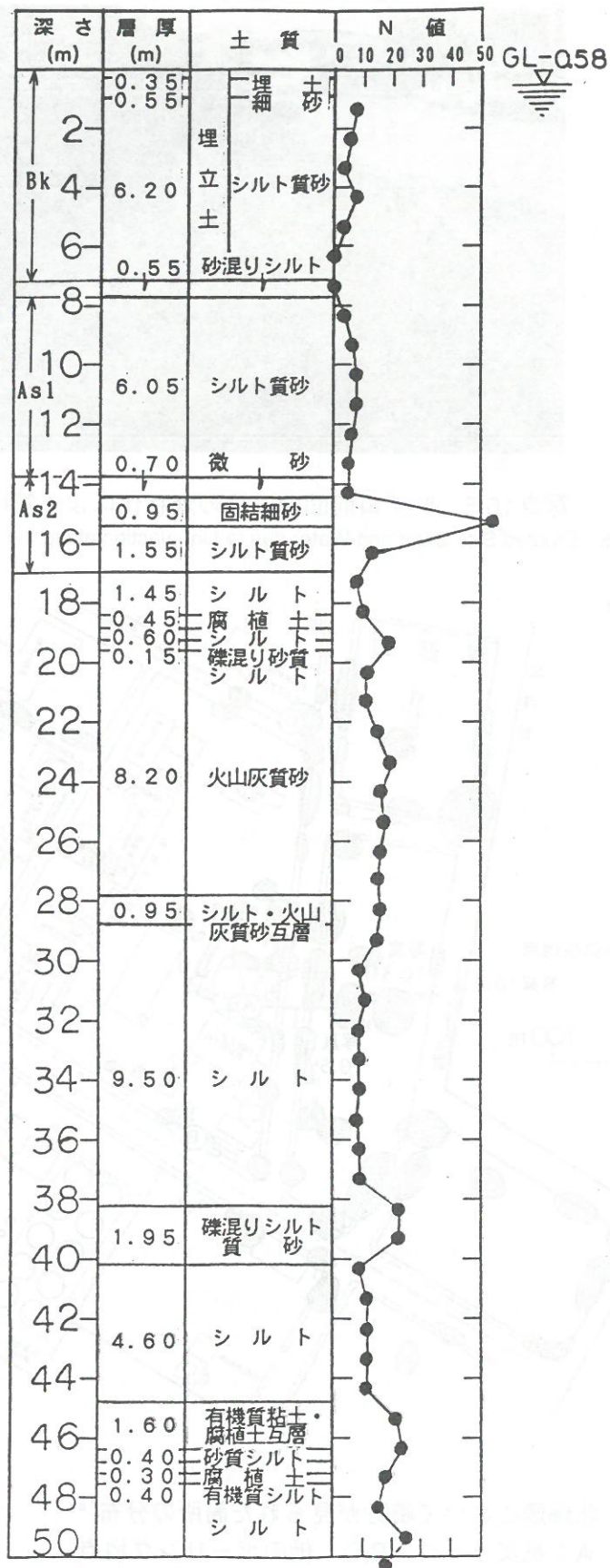


図10.35 被災サイロの敷地の地盤柱状図<sup>17)</sup>  
 (Fig.10.35 Soil Profile at the Damaged Silo Site<sup>17)</sup>)





写真10.5 サイロ前面の道路の液状化による噴砂・噴水  
 (Photo 10.5 Erupted Silty Sand and Water due to Liquefaction along the road in front of the Silo)

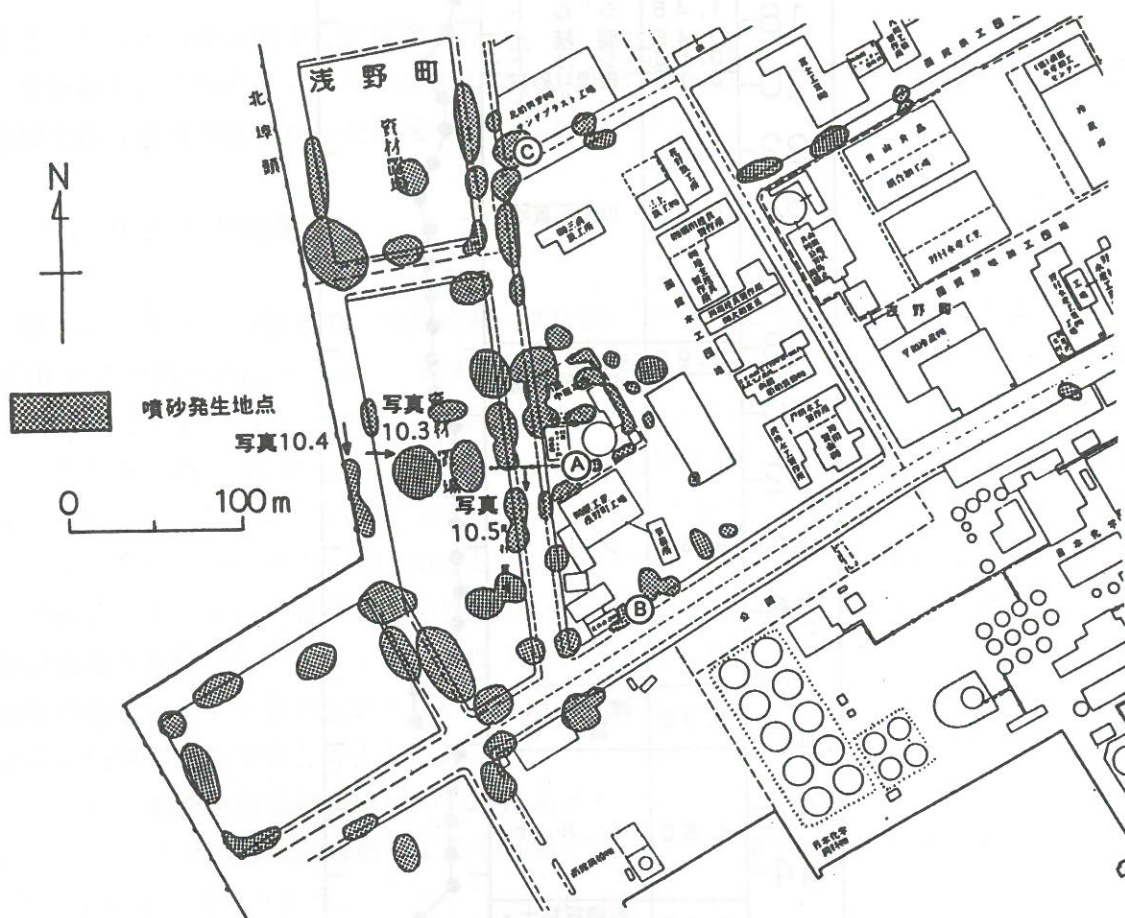


図10.36 北埠頭において噴砂が見られた箇所<sup>18)</sup>  
 A:被災サイロ B,C:他のボーリング地点  
 (Fig.10.36 Distribution of Silty Sand Eruptions Observed around the Kita Warf A:Damaged Silo B,C:Other Bored Sites)

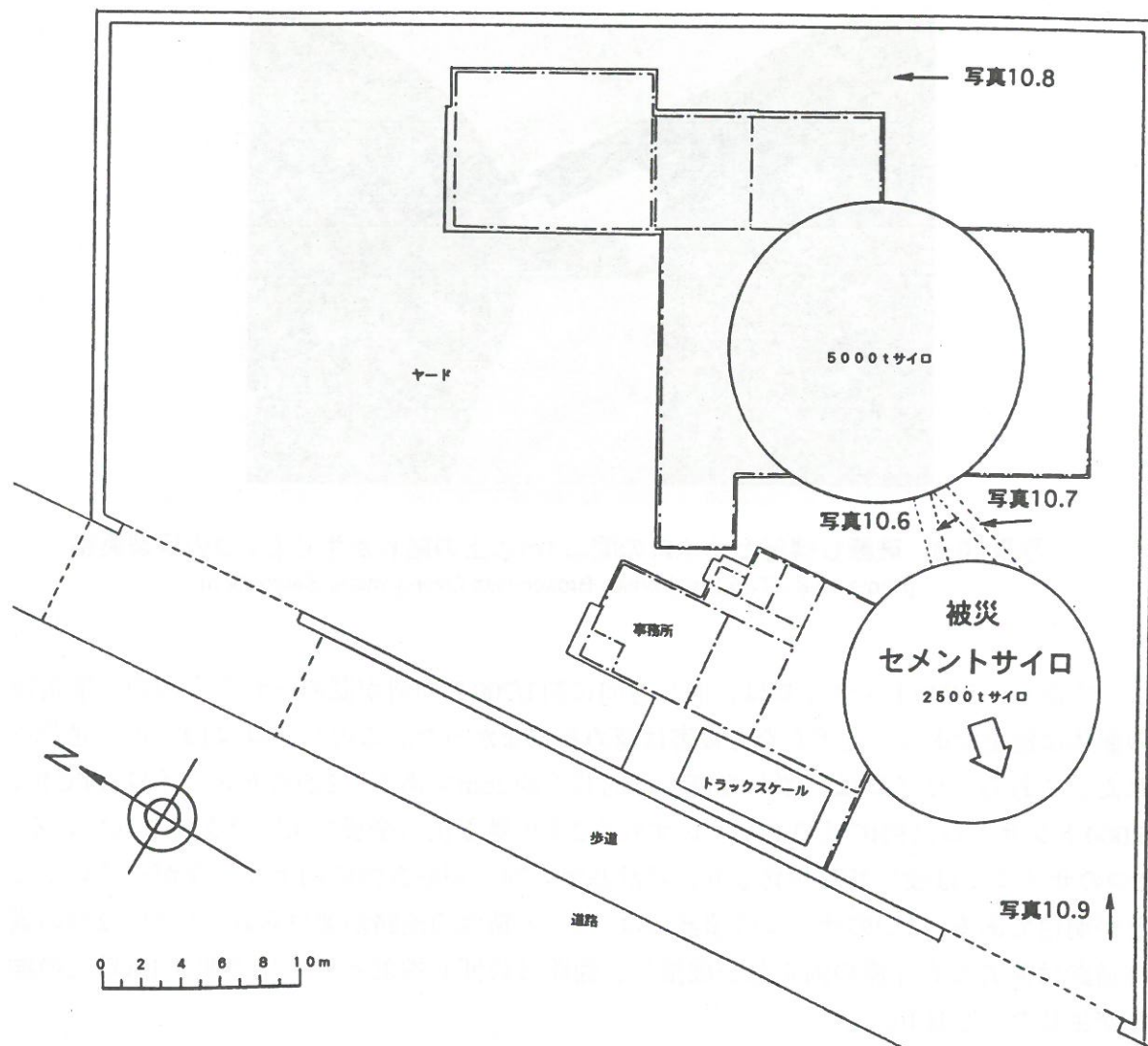


図10.37 セメント中継基地の構造物の配置  
(Fig.10.37 Arrangement of Facilities in the Cement Delivery Station)

2週間以上も水浸しの状態であった。図10.36に北埠頭において噴砂が見られた箇所の分布<sup>18)</sup>とこのサイロの位置を示す。埠頭全面にわたり液状化したことがわかるが、特に被災サイロ周辺の噴砂が多い。

図10.37に被災したセメントサイロのある敷地内の構造物の配置を示す。敷地には、2基のセメントサイロ（5,000トンサイロ、2,500トンサイロ）の他、出荷棟、トラックスケール、事務所建物、その他の施設がある。そのほかに道路を横断する架空部と背後地の物置場や臨港道路を貫く地下埋設部から成る入荷用のパイプラインがある。いずれの施設も何らかの被害を受けた。

特に、2基のセメントサイロのうち、2,500トンサイロが30～90cmの沈下と約1/20（約3度）の傾斜を生じ、傾斜に伴う地表面高さに対する頂部の相対水平変位は約1.3mに達した。ただし、地表面より上の構造物の躯体は、クラックすら認められず健全であった。このサイロは、1968年十勝沖地震の翌1969年冬に建設が着工し1970年に竣工した、という



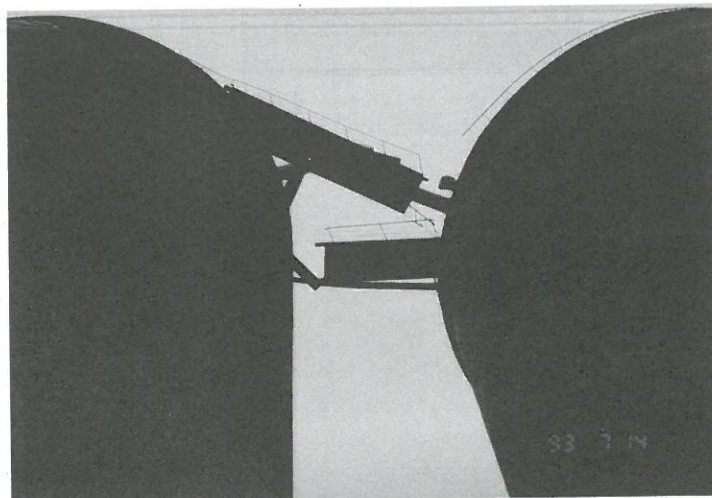


写真10.6 破断し端部とサイロの間に1m以上の離れが生じた2つの鋼製通路  
(Photo 10.6 Two Steel Walks Broken with Over-1-meter Separation)

ことである。5,000トンサイロは、同じ方向に約1/200の傾斜が認められたものの、構造物の躯体は健全であり、沈下もなく被害は認められなかった。このサイロは1977年に建設された。これらのサイロはいずれも高さは同じく約26mである。2,500トンサイロはPC杭、5,000トンサイロはPHC杭であり、いずれも2本の継ぎ杭（全長22m）で支持されている。2つのサイロでは設計基準が異なり、設計基準の向上が耐震性の向上につながっていることが明白である。2つのサイロの頂部には、2つの鋼性の通路が架けられていた。2つの鋼性通路は両方とも片側の固定部が破損し、通路は破断し端部とサイロの間に1m以上の離れが生じた（写真10.6）。

また、敷地内はいたるところに大量の噴砂が見られ、3～5日間噴砂口からの水の湧出が続いた<sup>19)</sup>。2つのサイロの間には幅1m長さ7mの陥没（写真10.7）が生じ、陥没内には噴砂が見られた。ただし、5,000トンサイロの周辺は噴砂の数が少なくまた噴出量も少ない。これは、このサイロの基礎の剛性のために周辺地盤の変形が抑制され、地盤に亀裂が生じ難かったためであると推察される。写真10.8に5,000トンサイロの東側周辺地盤の様子を示す。敷地南側のフェンスは地盤の変状に起因して波状に変形するとともに、平行に埋設された高圧電線を通した側溝は蛇行していた。また、その近くの電柱は沈下傾斜した。写真10.9にそれらの被害状況を示す。2,500トンサイロは前面の道路の方向に傾斜したが、傾斜方向の周囲の地表面はサイロの沈下に引き込まれ、最大約60cm沈下した。前面の道路は全区間で液状化による噴砂が見られ波打っていたが、サイロ傾斜方向との交点付近の道路舗装面には、3m×5mの領域が15cmの高さで盛り上がっていた。後述するように傾斜したサイロは水平移動したことでサイロ周辺地盤の高さが道路舗装面より高かったことから、地盤が液状化したために高低差とサイロの移動により、地盤が水平移動したものと考えられる。

地震直後の被害調査の結果、この被災したサイロのPC杭は、ほぼ全数折損していることが推測された。



写真10.7 2つのサイロの間には幅1m長さ7mの亀裂  
(Photo 10.7 Fissures with 1m Width and 7m Length between the Two Silos)

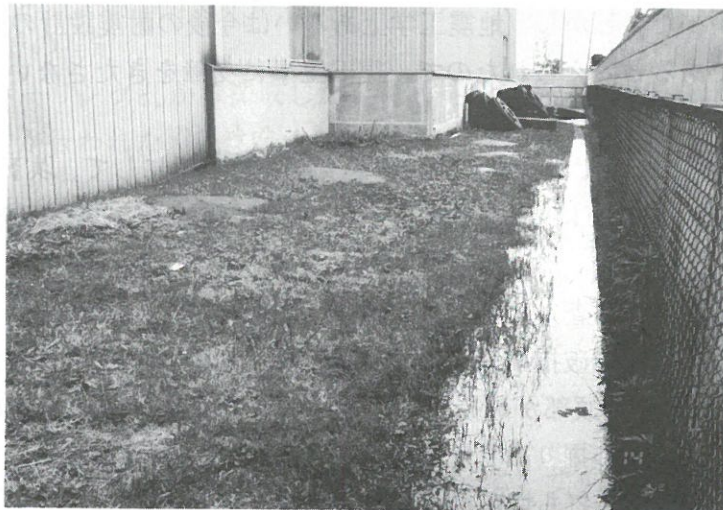


写真10.8 5,000トンサイロの東側周辺地盤  
(Photo 10.8 East Side Ground Surface of 5000 ton Silo)



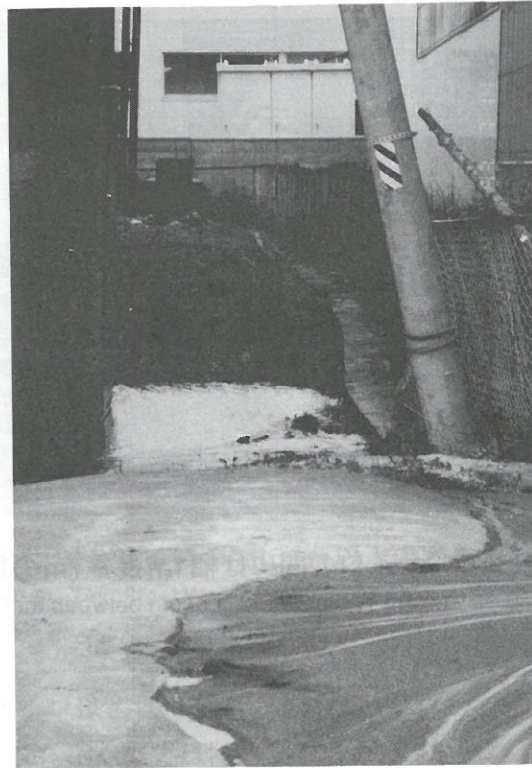


写真10.9 被災サイロ南側の地盤変状と被害状況

(Photo 10.9 Ground Failure and Damage to Surrounding Facilities on South Side of Damaged Silo)

#### 10.7.5 上部構造解体後の基礎の調査

既存の杭は破損しているという推測に基づき、補修して使うことを考えるよりは新設した方がよいという方針で復旧することになったので、復旧する立場からは杭の被害状況を調査する必要がなかった。しかし、地震工学上あるいは今後の耐震設計の向上のためには、極めて貴重な被害であると考えられたので、復旧工事に支障をきたさないという条件の下で、調査が実施された<sup>17)</sup>。

調査にあたっては、これまでいくつかの杭の調査事例を参考にして、以下のような調査方法が計画、実施された<sup>17)</sup>。以下に、調査にあたった技術者からのヒアリングを基に記述する。

##### ①破損杭全長の掘り出し調査

主要調査として1～2本の破損杭全長の掘り出し調査を計画し着手されたが、杭頭部が最大深さ2mにあることや杭頭部が破損していることなどから、費用が極めて高くなりまた地盤を緩めること、下杭の掘り出しは困難であり上杭だけが残れば新設杭打ち工事に支障をきたすことから、断念し打ち切られた。

##### ②破損杭の杭頭部の掘削調査

杭頭部の破損状況を調査するために、基礎版解体後に杭頭部周辺地盤を掘削すること

により杭頭部を露出させ観察するという調査が計画・実施された。写真10.10に典型的な杭頭部の被害状況を示す。せん断破壊したことがわかる。

また、基礎版中央部で杭と基礎版の接合状況を調査するため、調査計画と併せて基礎版解体計画が立案された。写真10.11に解体されていない基礎版と杭との接合状況と杭の破損状況<sup>17)</sup>を示す。接合部の接合状態はよく、破損は杭頭部のPC部の曲げせん断破壊である。

被災サイロと新設サイロの基礎版の周囲に鋼矢板による自立山留めが施工されていたが、調査用の掘削深さに対しては十分な根入れがなかった。そこで、杭頭部よりさらに深いところを観察するために、1～2本ずつ周辺の掘削埋め戻しを繰り返して調査された。

### ③杭中間部の調査

地盤の水平変位などによる杭の中間部の破損状況を調査するために、埋設管の破損調査に使われるパイプカメラを用いた内視調査が実施され、杭中間部でも破損していることがわかった<sup>17)</sup>。

以上の調査により、被災したサイロの杭は、杭頭部や杭の中間部で破損していることがわかった。

## 10.7.6 被害の原因推定

### (1) 地震動の推定

図10.35に示した地質調査結果を元に地盤モデルを作成し、建設省建築研究所によって北埠頭に近い函館開発建設部で観測された本震の加速度記録を用いて、この地盤の等価線形解析による地震応答解析が実施された<sup>20)</sup>。地震応答解析の結果によれば、本震の際に北埠頭背後地の地表面では最大加速度が180～200Gal程度であったであろうこと、GL-17m付近までの緩いシルト質細砂層が液状化したであろうこと、がわかった。

### (2) 液状化層の推定

噴砂試料とボーリング孔から採取した土質試料の粒度試験結果を比較することにより、液状化層の特定が行われた<sup>17)</sup>。粒度の一致性などから、地表に噴出したのは浚渫埋立土層であると考えられている。また、As<sub>1</sub>層もBk層と比べて、粒度特性には大差がなく、N値も僅かに大きい程度であるので、液状化した可能性は高いと考えられる。

地震応答解析により求められたせん断応力とN値に基づく液状化判定がなされた結果と併せて考えれば、GL-14.4mの深さまでのシルト分の卓越する埋立土層と沖積層が液状化したものと考えられる。

### (3) サイロの動特性

サイロー基礎－地盤の連成系の振動特性を考えると、サイロに作用する地震力は、構造的にRC造の円筒シェルであるサイロそのものの変形に起因する固有振動よりも、ロッキングやスウェイが卓越する振動モードに支配されると考えられる。そして、前者は後者よりも短周期であると考えられる。



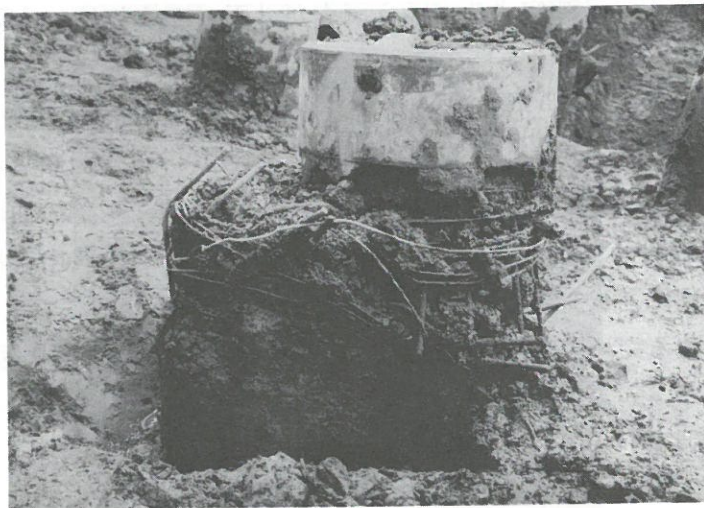


写真10.10 典型的な杭頭部の被害状況（せん断破壊）  
(Photo 10.10 Typical Damage Mode of Pile Cap (Shear Failure))  
(飛島建設技術研究所提供, Courtesy of Tobishima Corp. TRI)

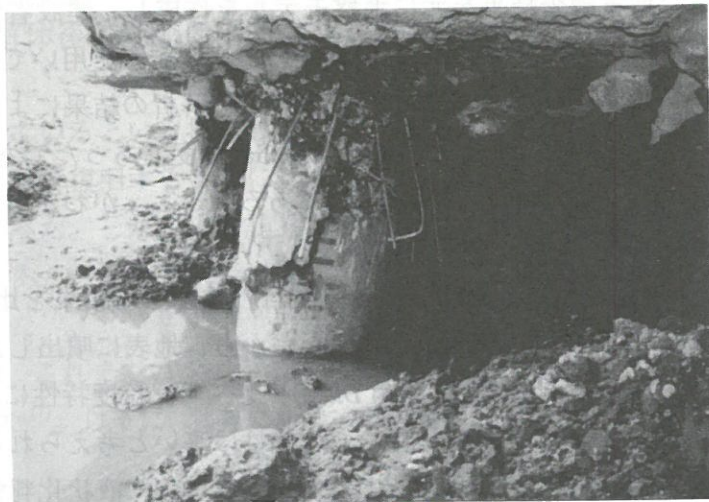


写真10.11 解体されていない基礎版と杭との接合状況と杭の破損状況  
(Photo 10.11 Bond Condition between Basement and Pile Cap, and Crushed Pile)  
(飛島建設技術研究所提供, Courtesy of Tobishima Corp. TRI)

#### (4) 地盤の地震時震動特性

本震の際の地盤の地震時挙動を推定することを目的として、余震観測が実施された。北埠頭にあるこのサイトの記録と新第三紀層の浅い地盤の良好な気象台の記録とを比較することにより、相対的な地震動増幅特性が検討された<sup>21)</sup>。その結果、平均的に最大加速度で約1.6倍に、最大速度で約2.4倍に増幅すること、主要動が4～6倍の時間にわたり継続すること、GL-20mより浅い緩いシルト質細砂層の固有周期と考えられる周期0.5秒付近は、特に地震動の増幅度が大きいこと、2.0～2.5秒のやや長周期成分が主要動の後に続くこと、など当敷地の地震時震動特性がわかった。

#### (5) 被害原因の推定

以上の検討から、軟弱な地盤における地震動増幅のため地盤の揺れが大きかったこと、表層の約14mが液状化したために杭の水平抵抗が低下したこと、それらが相乗効果となって現れたこと、杭の強度が小さかったこと等が原因として考えられている。

### 10.7.7 復旧及び対策

#### (1) 緊急対策

地震の翌朝よりサイロを建設した建設会社の技術者が現地に入り、被害状況が調査された。以下の記述は、その技術者からのヒアリングを基に記述した。地震の翌日と翌々日のサイロの傾斜量に有意な変化が見られたこと、周辺の噴砂口から水の湧出が止まっていないことから、杭は全て破損していることや地盤と構造物の両方が力学的に不安定な状態にあることが推察された。このような状態で大きな余震が発生すれば、サイロの倒壊の危険性があり、隣接する第三者の事業施設や前面の道路を利用する車輛や人間に対する重大な2次災害の発生が懸念された。そこで、各方面に協力を依頼し、道路の通行止めや各種計測のモニター結果に基づいた危険な場合の避難要請、地震被害調査の人達へ向けた被害概要書の配布と注意勧告などの緊急対策が講じられた。

#### (2) 復旧対策

被害を受けたサイロは、見かけ上傾斜・移動・沈下するという被害を受けたのみであり、上部構造はクラックさえも生じていない。そのため、使用者の立場からは、傾いているという不安定感と傾斜したことによる有効容量の減少という景観上・機能上の損出があるのみで、貯蔵・排出という基本的なサイロの機能はほとんど失っていない。しかし、所有者と技術者の協議の結果、十分に安全な対策を講じることとし、被災したサイロの躯体を解体して新たにセメントサイロを増設することが7月29日に決定され、7月30日から解体工事が開始された。解体工事中の8月8日4時42分に江差沖でM6.5の最大余震が発生し、函館は震度4と発表された。前述したように、当該地盤では函館海洋気象台の発表震度よりおよそ1つ大きい震度の揺れになると考えられるので、この地震の際には震度5程度の揺れがあり、過剰間隙水圧が発生したと考えられた<sup>19)</sup>。緊急に実施した解体による対策工事は、余震による2次災害に進展するのを防ぐことができたと言える。写真10.12に最大余震の際のサイロの解体状況を示す。



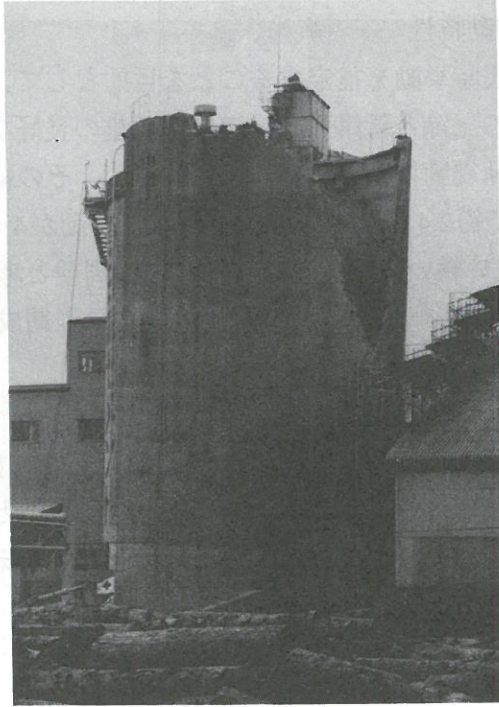


写真10.12 最大余震の際のサイロの解体状況  
(Photo 10.12 Silo under Destruction just after the Greatest After Shock)

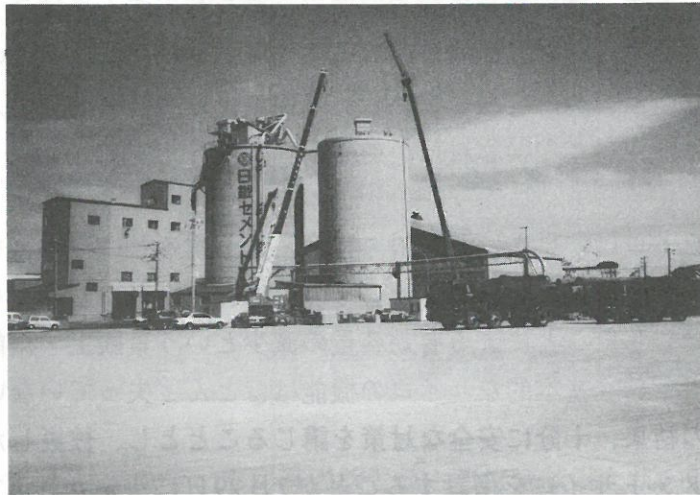


写真10.13 新設による復旧工事完成後のサイロ左は5,000トンサイロで右が新たに増設された3,500トンサイロ  
(Photo 10.13 Newly Constructed 3500 ton Silo : Right Not Damaged 5000 ton Silo : Left)

### (3) サイロ新設による復旧

解体後、同じ場所に3,500トンの容量を持つセメントサイロが建設され、1994年8月23日に竣工した。基礎は鋼管杭である。写真10.13に完成後のサイロを示す。写真中、右が新たに増設されたサイロである。

## 10.8 奥尻町灯油貯蔵タンク

文献22)に基づき奥尻町灯油タンクの被害を述べる。奥尻港フェリーターミナル背後の斜面(標高140m)が、高さ120m、幅200mにわたって崩壊し、崩壊土砂が崖下にあった道路の防護策を押し倒し、灯油の屋外貯蔵所のタンクにぶつかった。このため貯蔵所の2基のタンクのうち1基のタンク本体に亀裂が入り、油が流出するという被害があった。これらのタンクは、冬季間における島民への灯油の安定供給のために奥尻町が保有しているもので、1979年から使用されている。タンクの形式は全溶接鋼製縦円筒固定屋根式で高さ11.25m、容量は800klであった。地震当時、タンク内には灯油が容量の約半分の400kl程度貯蔵されていた。

本体に亀裂が入ったタンクは斜面に沿って並んだ2基のタンクのうち南側のもので、ほぼタンク頂部まで崩壊土砂に覆われた(図10.38)。タンク本体は側板の下部が「くの字」に陥没・変形するとともに、捻れが生じた(写真10.14)。屋根板は側板の捻れによって上方に開口している状態であった。このような変形によって側板に亀裂が生じたため、タン

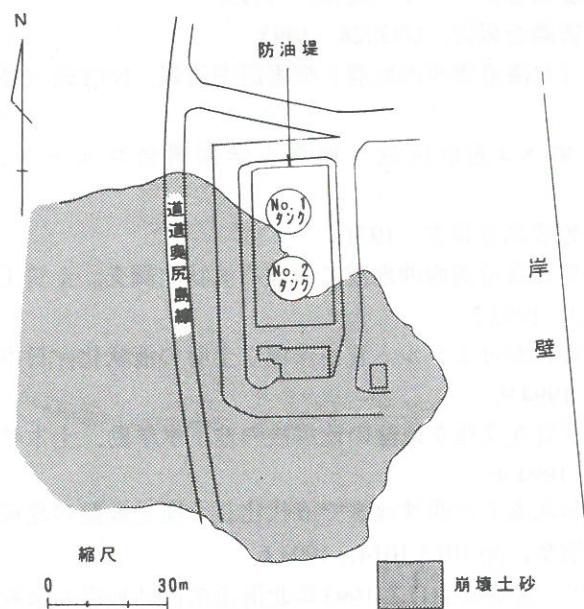


図10.38 タンクを直撃した崩土の分布  
(Fig.10.38 Location of Tank and Extent of Debris Flow)

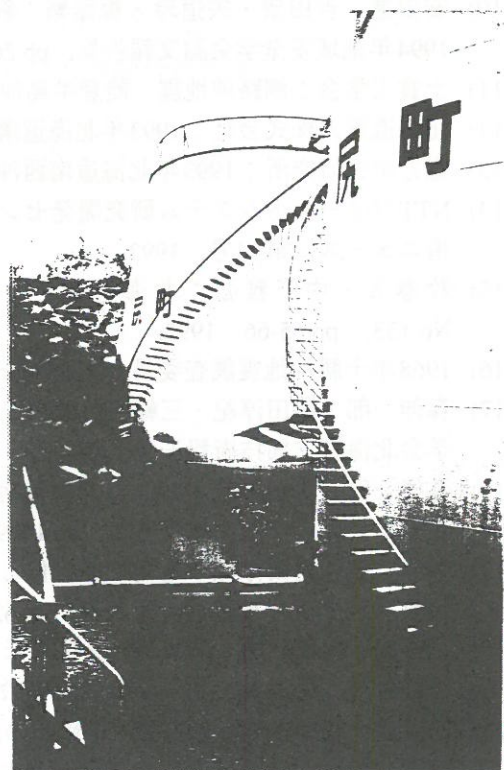


写真10.14 被害を受けたタンクと流出した灯油  
(Photo 10.14 Damaged Tank and Spilled Oil)



ク内の灯油約400klが防油堤内に流れ出し、その一部は湾内に流出した。

防油堤内の容量1200kのうち約1/3の360kが崩壊土砂により埋没した。これにより付帯設備の一般取扱所、ポンプ棟等が埋没した。また防油堤の北側に1箇所幅3cmの亀裂が入った。防油堤内には可燃性蒸気の発生を防ぐため泡消化剤による被覆を行い、流出した油はポンプ及びバケツ等でドラム缶に回収した。

### <参考文献>

- 1) 函館市水道局：はこだての水道，1993.
- 2) 函館市水道局：平成4年度事業概要，1994.2.
- 3) 日本水道協会青森県支部：十勝沖地震による水道施設の被害と今後の災害対策，1968.
- 4) 厚地学・中村裕昭：1993年釧路沖地震によるライフライン被害，土木学会第48回年次学術講演会講演概要集I，pp24-25，1993.
- 5) 長万部町の資料による.
- 6) 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.
- 7) 日本道路協会編：道路橋示方書・同解説V，耐震設計編，1990.
- 8) 長万部町：元町・陣屋町下水施設（管渠）災害復旧工事地質調査委託業務，1993.
- 9) 二宮嘉明・古関潤一・塩路勝久・阿部法彦・斉藤和夫・森本巖：北海道南西沖地震における水道マンホールの残留変位量と液状化の関係，第29回土質工学研究発表会発表講演集，pp.997-998，1994.
- 10) 安田進・吉田望・宍道玲・板藤繁：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，1994年地域安全学会論文報告集，pp.269-276，1994.
- 11) 土質工学会：釧路沖地震・能登半島沖地震災害調査報告書，1994.
- 12) 北海道電力株式会社：1993年北海道南西沖地震被害について（速報），1993.
- 13) 電力中央研究所：1993年北海道南西沖地震被害調査報告，U93028，1993.
- 14) NTTフィールドシステム研究開発センター：「北海道南西沖地震」被害調査速報，NTT筑波技術ニュース，第44号，1993.
- 15) 牧春久・中野雅弘：北海道南西沖地震特集 5.4通信施設，地震工学振興会ニュース，No.133，pp.65-66，1993.
- 16) 1968年十勝沖地震調査委員会：1968年十勝沖地震調査報告，1971.
- 17) 森伸一郎・沼田淳紀・三輪滋・柴田登：1993年北海道南西沖地震における液状化調査，土質工学会北海道支部技術報告集，第34号，pp.64-73，1993.2.
- 18) 森伸一郎・沼田淳紀：1993年北海道南西沖地震におけるシルト質浚渫埋立土層の液状化，日本建築学会大会学術講演概要集，pp.1409-1410，1994.9.
- 19) 森伸一郎・沼田淳紀：地震で液状化したシルト質浚渫埋立地盤の地震後の地下水挙動，土木学会第49回年次学術講演会第Ⅲ部，pp.626-627，1994.9.
- 20) 三輪滋・森伸一郎・関宝琪・立花秀夫：1993年北海道南西沖地震で液状化した埋立地盤の地震応答解析，第29回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1013-1014，1994.6.
- 21) 三輪滋・森伸一郎・関宝琪：函館市の北埠頭埋立地盤における1993年北海道南西沖地震の余震観測，第29回土質工学研究発表会発表講演集，pp.1019-1022，1994.6.
- 22) 佐藤和紀：北海道南西沖地震における危険物被害状況について～奥尻町備蓄タンク被害状況について～，KHKだよりNo.40，1994.