



土木研究所資料

昭和58年日本海中部地震による 下水道管路施設の被害調査 ——(その1)被害の特徴——

Damage of Sewage Facilities Caused
by the Nihon-kai-chubu Earthquake of 1983
—— Part 1 Damage Features of Sewage Facilities ——

昭和60年3月

建設省土木研究所
地震防災部耐震研究室

Copyright © (1985) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

昭和58年日本海中部地震による 下水道管路施設の被害調査 ——(その1)被害の特徴——

Damage of Sewage Facilities Caused
by the Nihon-kai-chubu Earthquake of 1983

—— Part 1 Damage Features of Sewage Facilities ——

耐震研究室 室長 川島 一彦

研究員 大日方 尚巳

後藤 勝志

加納 尚史

要 旨

下水道管路施設は1923年関東地震をはじめ、1964年新潟地震、1978年宮城県沖地震、1983年日本海中部地震と過去の主要な地震の度に被害を受けている。下水道管路施設は大部分が地中に埋設されているため、被害箇所の把握が極めて困難であり、復旧に長時間を要する場合が多い。このため下水道管路の設計にあたっては、適切な対策を講じ、耐震性の向上を図ることが必要とされる。しかしながら、従来、被害の復旧時に十分な資料が残されていないため、その被害実態の解明が十分行われないのが実情である。本資料は、小型カメラを用いた管内調査結果(VTR)を基本に、1983年日本海中部地震における秋田市および能代市の下水道管路施設の被害を検討した結果をとりまとめたものである。ビデオ画像の解析により、初めて詳細な被害実態を明らかにすることができた。

キーワード：日本海中部地震，下水道施設，下水道管路，地震被害

目 次

ま え が き	1
1. 秋田県の下水道施設の概況	5
2. 管路施設被害の概要	12
2.1 秋 田 市	12
2.2 能 代 市	16
2.3 管渠布設替えに伴う新管の入替え状況	31
3. 被害調査対象	34
4. 全調査実施区間（Cランク）における被害状況の検討	41
4.1 秋 田 市	41
4.2 能 代 市	46
5. 管内調査路線（Bランク）における被害状況の検討	50
5.1 秋 田 市	50
5.2 能 代 市	56
5.2.1 能代市全体に対する調査	56
5.2.2 沈下路線および非沈下路線に分類した調査	62
5.2.3 地盤変状路線および非地盤変状路線に分類した調査	76
6. VTR調査路線（Aランク）における被害状況の検討	84
6.1 秋 田 市	84
6.2 能 代 市	88
6.3 ビデオスケーラーで判読した路線ごとの被害状況例	91
6.4 管体亀裂および破損被害の発生状況	97
7. 代表的な被害例	104
7.1 管体の亀裂・破損——秋田市土崎港南遮集幹線の被害	104
7.2 管の沈下——秋田市新屋元町の被害	108
7.3 大幅な管軸のずれ——能代市景林町における被害	110

8. 管渠の被害と地盤条件	112
8.1 解析対象地点とその地盤条件の概要	112
8.2 液状化程度の判定	117
8.3 被害状況の定量化	122
8.4 液状化程度と被害程度の関係	124
9. 結 論	132
9.1 本調査結果から得られた結論	132
9.2 下水道管路の耐震化対策と今後の研究の必要性	134
謝 辞	136
参 考 文 献	137
付属資料-1 下水道の種類としくみ	139
付属資料-2 調査地点におけるボーリング柱状図	143

まえがき

昭和 58 年日本海中部地震（5 月 26 日正午ごろ， $M=7.7$ ）により表 i-1 に示すように秋田県および青森県両県の下水道施設は 120 箇所において被害を生じ，被害額は約 11 億円（査定額）に達した。地震発生当時，秋田県で建設中のものも含めると，11 の公共下水道があったが，この他，秋田，能代をはじめとする 6 施設が地震により被害をこうむった。このうち男鹿市，大潟村他 4 施設は，施設自体の規模も小さく，被害額でみても男鹿の 3,200 万円，大潟村の 1,800 万円（以下はいずれも百万円台）と，小規模の被害といえることができる。これらの施設にくらべて秋田市（被害額 360 百万円），能代市（660 百万円）の被害は圧倒的に大きく両者を合わせると秋田県の下水道被害額（1,090 百万円）の約 94 % を占めている。青森県内においても下水道施設の被害（4 箇所 999 万円）が生じているが，被害規模は小さい。本調査は，秋田市および能代市の下水道管路を対象として，被害の形態・程度を分類・整理するとともに，各被害形態ごとに，被害と管路構造（管種，管径等），地盤条件，埋設深さ等との関係を定性的に調べることを目的として実施したものである。ただし，下水道管路は，管渠，マンホール，ます等から構成されるが，ここでは資料の質を考慮して，管渠（取付管は含まない）に解析対象を限定することとする。

なお，本調査の中では，被害の部所および程度は以下のように定義した。

① 目地ずれ

相隣る 2 本の下水道管が，水平面内もしくは鉛直面内で管軸に直交する方向に移動すること（図 i-1(a) 参照）。

② 目地開き

相隣る 2 本の下水道管が，水平面内もしくは鉛直面内で回転角の差を生じ，このために生じた目地部の相対的なはなれをいう（図 i-1(b) 参照）。

③ 目地はなれ

相隣る 2 本の下水道管が，管軸方向にはなれること（図 i-1(c) 参照）。

④ 目地破損

目地部（カラー，ソケット，小口部）のクラック，コンクリートのはく離などに伴う破損。

⑤ 目地被害

上記①～④の被害を総称したもの。

⑥ 管体亀裂

管体（目地部を除く）に発生した亀裂。

⑦ 管体破損

管体（目地部を除く）の欠落，大きなはく離，圧壊などによる被害。

⑧ 管体被害

上記⑥，⑦に伴う被害を総称したもの。

⑨ 管口被害

下水道管とマンホールの接続部における下水道管小口部の破損，亀裂程度のものを管口亀裂。コンクリートの剥離等を伴うものを管口破損という。

⑩ 管本体被害

⑧管体被害および⑨管口被害を総称したもの。

⑪ 管渠被害

⑤目地被害および⑩管本体被害を総称したもの。

以上をまとめると以下ようになる。

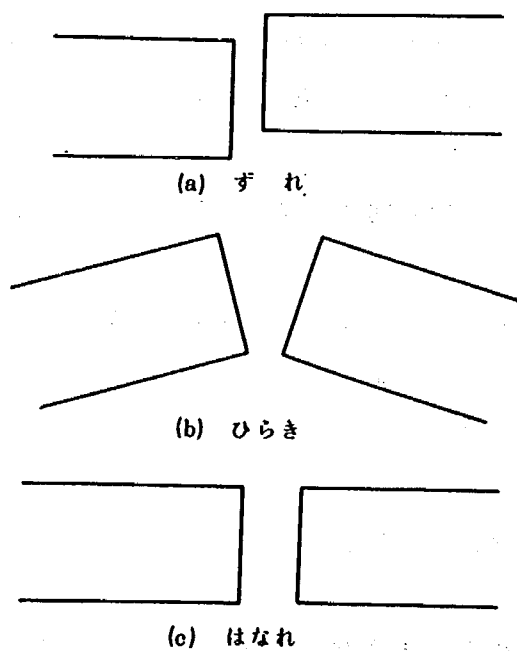
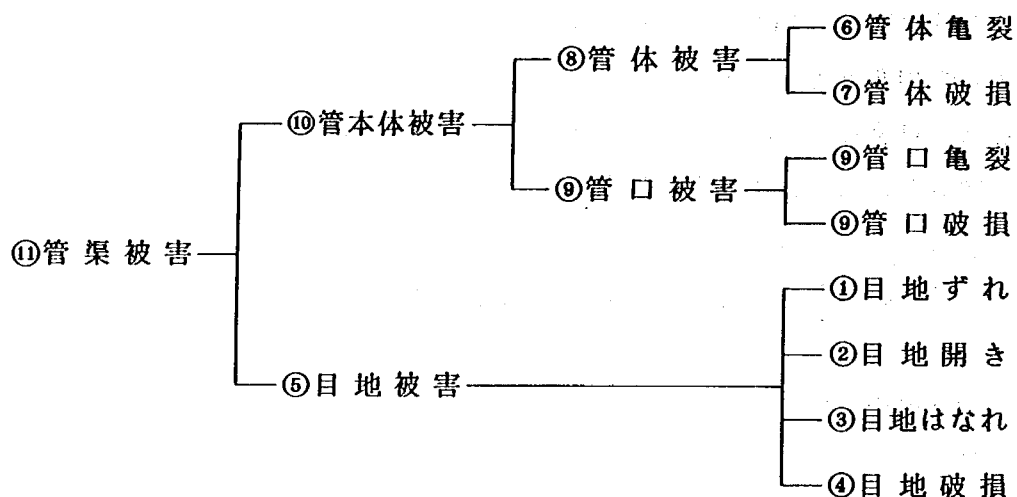


図 2-1 目地ずれ，目地開き，目地はなれの定義

表 i.1 下水道施設被害の概要

単位：百万円

施設名 下水道区分 ・都市名		管 渠		処 理 場		ポ ン プ 場		計	
		箇所数	金 額	箇所数	金 額	箇所数	金 額	箇所数	金 額
流 域 下 水 道		1	4.1	1	3.3	—	—	2	7.4
公共下水道	秋田市	36	282.5	1	5.6	2	61.7	39	349.8
	能代市	54	591.7	1	7.8	—	—	55	599.5
	その他	5	63.1	1	1.0	1	4.1	5	68.2
	小 計	95	937.3	3	14.4	3	65.8	101	1017.5
都 市 下 水 路		4	9.9	—	—	—	—	4	9.9
都 市 排 水 施 設		13	61.4	—	—	—	—	13	61.4
合 計		113	1012.7	4	17.7	3	65.8	120	1096.2

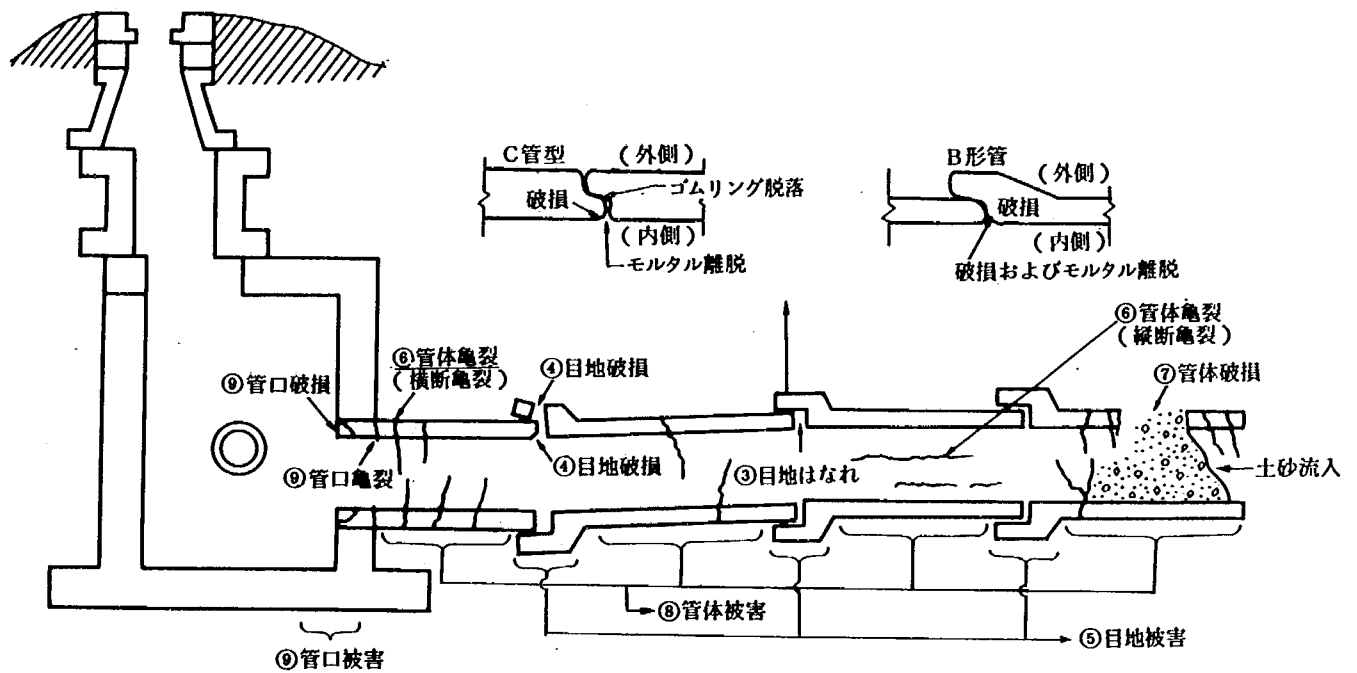


図 i.2 下水道管きよの被害形態

1. 秋田県の下水道施設の概況

秋田県における下水道事業の歴史を示すと表 1.1 のようになる。公共下水道の建設が開始されたのは秋田市では昭和 7 年、能代市では昭和 24 年と古いが、他の市町村では、昭和 50 年代に入ってから事業着手されている。昭和 58 年度現在、合計 6 市 4 町 1 村において公共下水道事業が行われていた（図 1.1 参照）が、地震発生当時に供用中の施設は秋田市の一部と大潟村の 2 箇所だけであった。流域下水道は、昭和 50 年度より秋田湾・雄物川流域下水道の臨海処理区、昭和 56 年度より大曲処理区の事業が着手されている。

浸水対策のみを目的とした都市下水路事業は昭和 28 年より着手されており、昭和 58 年現在、8 市 9 町において事業が行われていた。

地震発生直前の昭和 57 年度末現在における秋田県の下水道整備の現況は表 1.2 ～ 1.4 に示すとおりである。管渠延長は、公共下水道 358 km、流域下水道 6.5 km、都市下水道 59 km であり、全体では 424 km である。公共下水道では、管渠延長 358 km のうち秋田市公共下水道が 79 %、能代市公共下水道が 17 % を占めている。また、下水道管渠の種類としては、合流管が全体

表 1.1 秋田県における下水道事業の歩み⁵⁾

年度 (昭和)	公共下水道着手都市		運 転 開 始 処 理 場	処 理 開 始 都 市	下水道普及率 (%)
	単 独	流域関連			
7	秋 田 市				
24	能 代 市				
44	大 潟 村		大 潟 終 末 処 理 場	大 潟 村	0.1
45			八 橋 下 水 道 終 末 処 理 場	秋 田 市	0.5
46					2.2
47					3.6
48					3.8
49					3.8
50		昭 和 町			3.8
51		秋 田 市			3.9
52					3.9
53		男 鹿 市 天 王 町			4.8
54	田 沢 湖 町				4.9
55	田 沢 湖 特 環				5.1
56	本 荘 市 十和田湖特環	大 曲 市			6.6
57		飯 田 川 町	秋 田 臨 海 処 理 セ ン タ ー		6.8
58		横 手 市			7.0

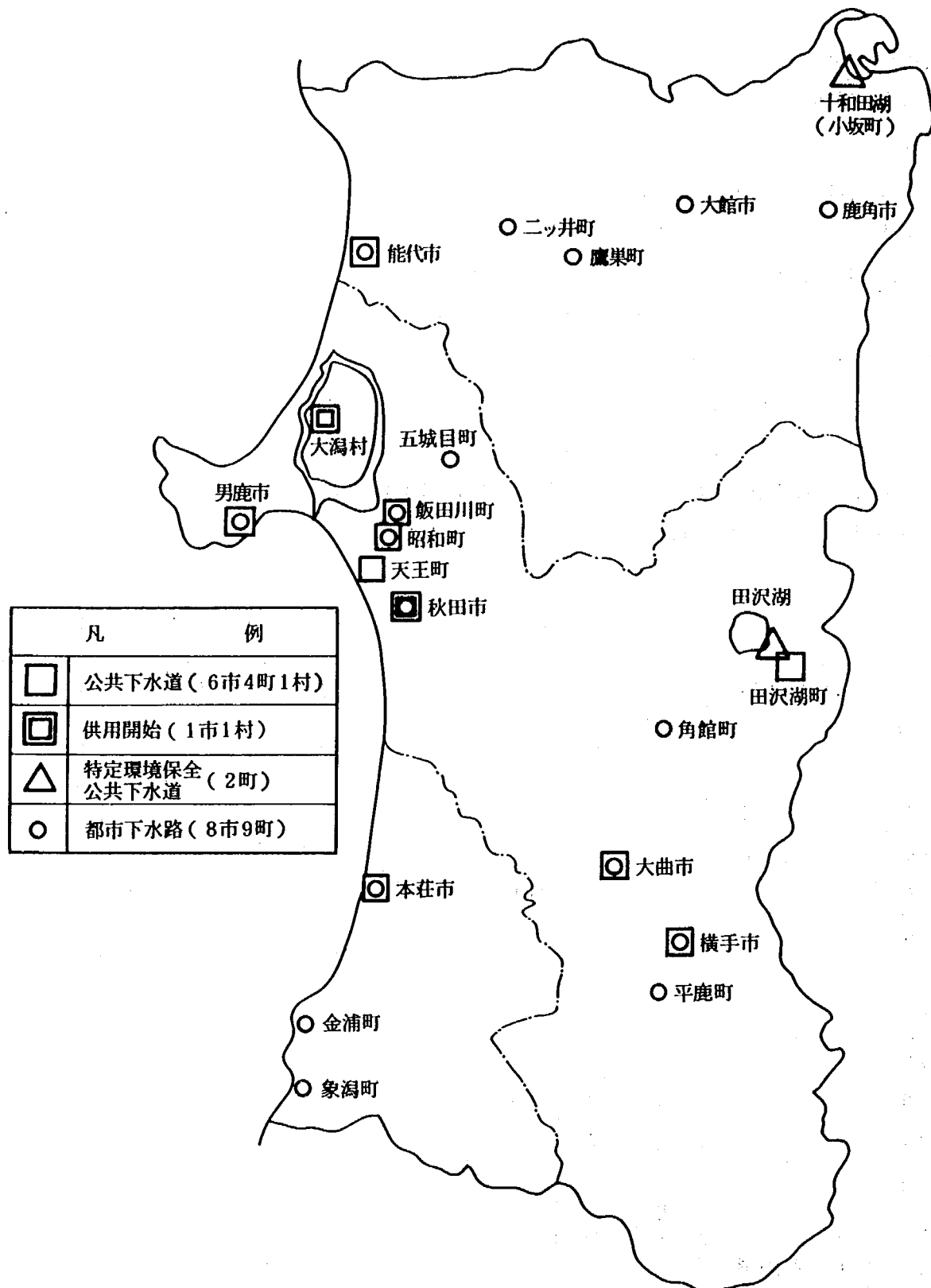


図 1. 1 秋田県における下水道事業施行都市⁶⁾（昭和 58 年度）

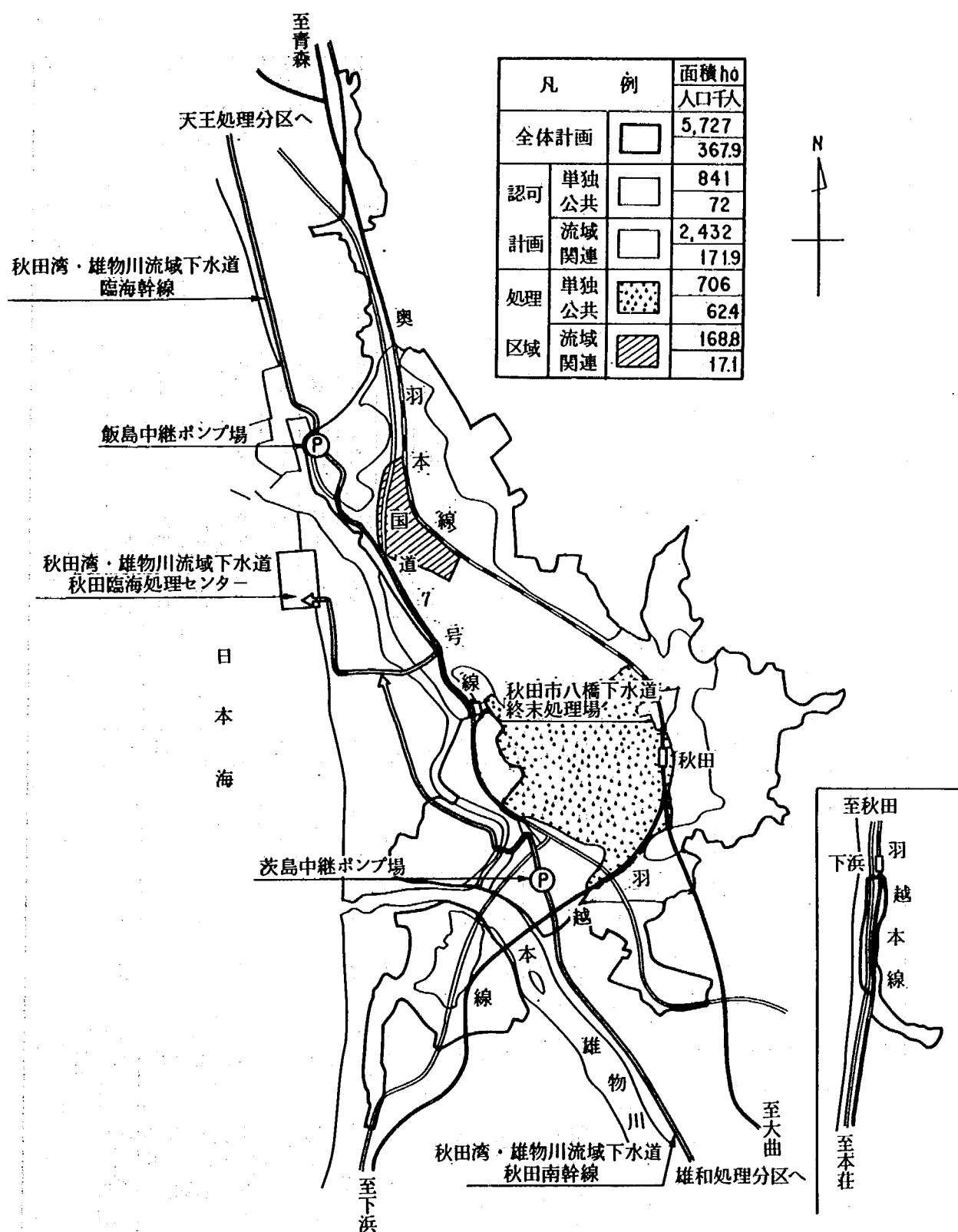


図 1.2 秋田市における下水道事業計画⁵⁾
 (処理区域は昭和 57 年 3 月末現在)

表 1.2 秋田県における公共下水道整備の現況(昭和 57 年度末)⁵⁾

都 市 名			秋 田 県 合 計						秋 田 市			能代市	そ の 他			
種 別			全 体	流 域 関 連			単 独			単 独	流域関連	計	単 独	単 独	流域関連	計
処 理 区 名				臨 海	大 曲	計	単 独	特 環	計	八 橋	臨 海		能 代			
下 水 管 渠	汚 水 管 (m)		32,200	19,228	356	19,584	12,574	42	12,616	4,400	15,500	19,900		8,216	4,084	12,300
	雨 水 管 (m)		45,161	40,061	—	40,061	5,100	—	5,100	800	36,600	37,400	4,300	0	3,461	3,461
	合 流 管 (m)		280,533	66,600	—	66,600	213,933	—	213,933	157,800	66,600	224,400	56,133	0	0	0
	計		357,894	125,889	356	126,245	231,607	42	231,649	163,000	118,700	281,700	60,433	8,216	7,545	15,761
ポンプ施設 (稼働箇所/施工箇所)			6/2	2/0	—	2/0	4/2	—	4/2	1/1	1/0	2/1	0/1	3/0	1/0	4/0
管 渠 整 備 区 域	面	分 汚水管 (ha)	600	245	2	247	353	—	353	29	211	240	15	309	36	345
		流 雨水管 (ha)	381	48	2	50	331	—	331	22	37	59	—	309	13	322
		管 小 計 (ha)	219	197	—	197	22	—	22	7	174	181	15	0	23	23
	積	合 流 管 (ha)	1,238	266	—	266	972	—	972	750	266	1,016	222	0	0	0
		合 計	1,838	511	2	513	1,325	—	1,325	779	477	1,256	237	309	36	345
	現 在 人 口 (千人)			122.0	29.5	0.1	29.6	92.4	—	92.4	67.0	29.5	96.5	21.7	3.7	0.1
処 理 区 域	面 積 (ha)		1,217	189	—	189	1,028	—	1,028	733	189	922	—	295	0	295
	計画将来人口 (千人)		86.6	18.3	—	18.3	68.3	—	68.3	64.3	18.3	82.6	—	4	0	4
	現 在 人 口④ (千人)		85.9	18.3	—	18.3	67.6	—	67.6	64.3	18.3	82.6	—	3.3	0	3.3
	現 在 水 洗 化 人 口 (千人)		74.1	9.1	—	9.1	65.1	—	65.1	61.8	9.1	70.9	—	3.3	0	3.3
終 末 処 理 場	処 理 能 力 水 量 (日最大:千m ³ /日)		67.9	—	—	—	67.9	—	67.9	66.4	—	66.4	—	1.5	0	1.5
	処 理 能 力 人 口 (千人)		66.9	—	—	—	66.9	—	66.9	62.9	—	62.9	—	4.0	0	4.0
	流 入 水 量 (日最大:千m ³ /日)		72.3	9.2	—	9.2	63.1	—	63.1	61.9	9.2	71.1	—	1.2	0	1.2
行政区域人口 ⑤ (千人)			1256.0	—	—	—	—	—	—	—	—	290.4	60.5	—	—	905.1
普 及 率 (%) ④/⑤			6.8	—	—	—	—	—	—	—	—	28.4	—	—	—	0.4

表 1.3 秋田県における流域下水道の幹線管渠の現況
(昭和 57 年度末)⁵⁾

処 理 区 名	幹 線 名	管 径 (m)	延 長 (m)
臨 海	臨 海	0.8 ~ 3.0	5,658
	湖 東	1.35	108
	放 流 渠	2.0 ~ 2.7	751
	計		6,517
合 計			6,517

表 1.4 秋田県における都市下水路の現況
(昭和 57 年度末)⁶⁾

都 市 名	施 設 数	計 画		供 用	
		集水面積	管渠延長	集水面積	管渠延長
		(ha)	(m)	(ha)	(m)
秋 田 市	〔水路〕 10	815	14,250	536	10,608
能 代 市	3	377	4,380	377	4,388
そ の 他	61	5,012	71,110	3,871	44,475
計	74	6,204	89,740	4,784	59,471

の78％，管径では400 mm以下の管渠が58％を占めている（表1.5参照）。

秋田県の下水道普及率は6.8％（昭和57年度末現在）と全国平均の約30％に比べて低い水準にある。供用中の都市では，秋田市が28.4％（昭和57年度末現在），大潟村が100％である。

秋田市公共下水道は，八橋終末処理場にて処理される合流式の処理区（単独公共），秋田湾・雄物川流域下水道臨海処理センターに流入する分流式の処理区（流域関連）に大別される。図1.2に示すように，前者は市中心部，後者は，土崎地区にはほぼ相当している。地震発生時点においては，八橋処理区758 ha および臨海処理区267 ha において281.7 kmの管渠が整備完了していた。

能代市公共下水道は，まだ汚水処理が開始されておらず，雨水等の雑排水の放流だけが行われていた。昭和57年度末現在の管渠延長は60.4 kmであり，合流式が採用されている。なお，下水処理の開始は昭和59年度の予定とされていた。

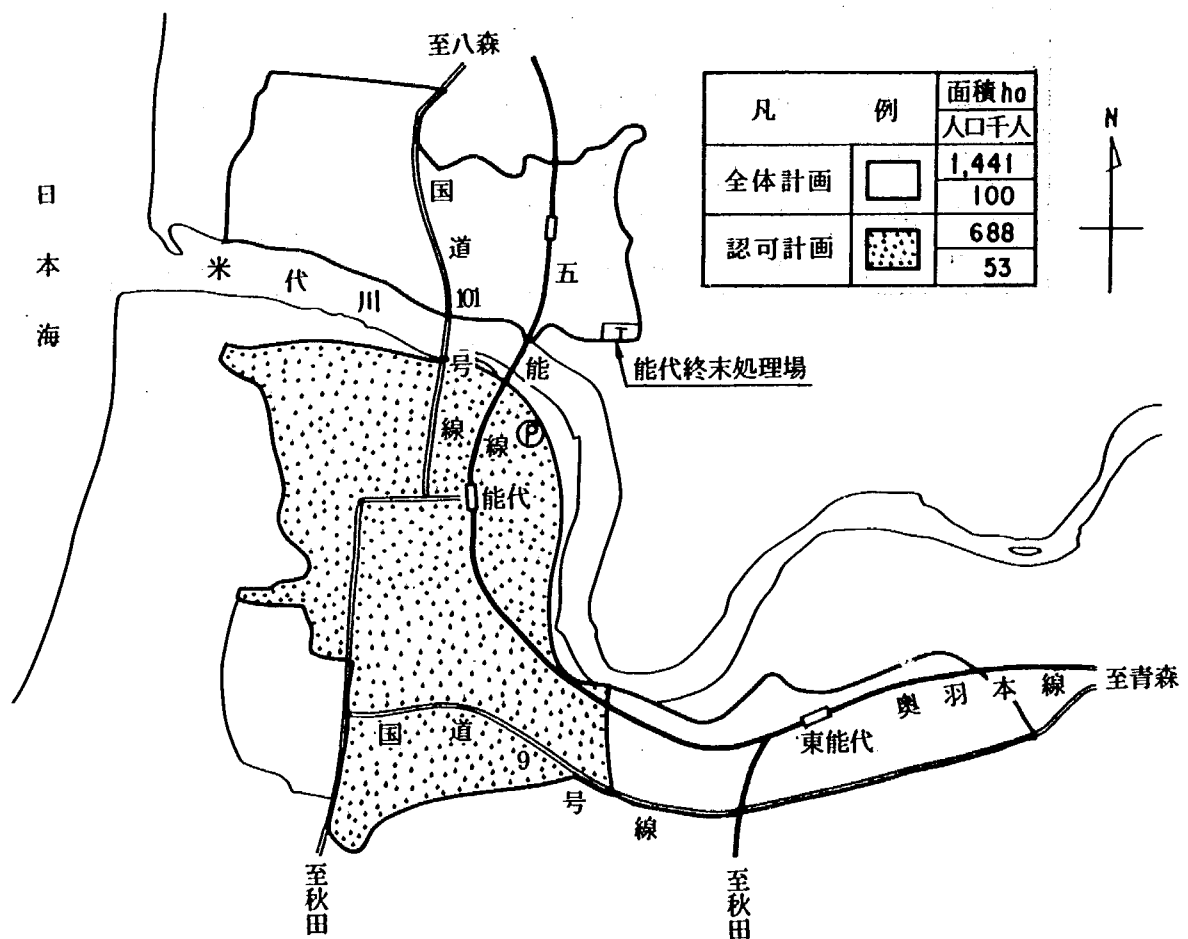


図 1. 3 能代市における下水道事業計画⁵⁾

表 1. 5 秋田県における公共下水道管渠の内訳 (昭和 57 年度末)⁶⁾

都 市 名	管きょ別	延 長 〔m〕	管 径 別 延 長 内 訳 〔m〕							備 考
			300mm 未 満	300mm ～400mm	400mm ～900mm	1000mm ～1350mm	1500mm ～1800mm	2000mm ～2800mm	3000mm 以 上	
(秋 田 県)										
秋 田 市	暗 渠	166,757	18,894	80,762	47,275	11,826	7,192	0	808	秋田湾・雄物川流域関連
		104,595	7,008	46,052	26,630	9,400	9,706	5,778	21	
	小 計	271,352	25,902	126,814	73,905	21,226	16,898	5,778	829	
	開 渠	1,822	0	0	775	810	0	237	0	
		8,275	52	1,633	2,571	756	165	2,257	841	
	小 計	10,097	52	1,633	3,346	1,566	165	2,494	841	
能 代 市	暗 渠	59,884	26,395	11,558	15,286	4,627	1,317	701	0	
	開 渠	1,122	1,122	0	0	0	0	0	0	
男 鹿 市	暗 渠	1,193	428	0	0	65	0	0	0	秋田湾・雄物川流域関連
本 荘 市	暗 渠	302	122	180	0	0	0	0	0	
大 曲 市	暗 渠	428	350	0	78	0	0	0	0	秋田湾・雄物川流域関連
天 王 町	暗 渠	888	0	0	888	0	0	0	0	秋田湾・雄物川流域関連
昭 和 町	暗 渠	3,547	1,445	142	1,268	173	519	0	0	秋田湾・雄物川流域関連
	開 渠	1,861	0	865	883	113	0	0	0	秋田湾・雄物川流域関連
田 沢 湖 町	暗 渠	3,057	1,589	0	1,468	0	0	0	0	
大 瀧 村	暗 渠	16,024	16,024	0	0	0	0	0	0	
計		369,755	73,429	141,192	97,122	28,470	18,899	8,973	1,670	
比 率 (%)		100.0	19.9	38.2	26.3	7.7	5.1	2.4	0.4	

2. 管路施設被害の概要

2.1 秋 田 市

表 2.1 に秋田市における管路施設被害をまとめて示す。ここで示した被害数量は、昭和 60 年 1 月現在で確認された数量であり、公共下水道（全延長 281.7km）および都市下水路（全延長 4.3 km）の合計である。ただし、4 章における集計は、ここに示す数量と必ずしも整合していない。

表 2.1(a)の管渠の被害においては、“管破損および沈下”，“管目地破損及びずれ”と 2 つの形態に分けて整理されている。ここで、管破損および沈下とは、著しい目地ずれ、クラック、蛇行等の被害が発生しているもので、全て布設替えとなった管渠である。一方、管目地破損及びずれとは、目地には被害が発生したが、大きな沈下、蛇行、クラック等は発生しなかったもので、目地の補修で復旧可能であったものである。表 2.1(b)に示すマンホール斜・直壁、壁立上り部においても復旧工法を基本として被害形態を 2 つに分割した。

表 2.1 から、以下の事項が指摘される。

- 1) 管破損及び沈下は、秋田市では、1,667.6 m で生じており、全延長の 0.58 % に相当している。一方、管目地破損及びずれは合計 599 箇所が発生し、1 km 当りにすると約 2.1 箇所被害が発生している。
- 2) マンホールの被害は、全市の総計 8,950 箇所の 1.04 % に相当する 93 箇所で生じている。この内訳は、斜・直壁に被害のあるもの 91 箇所、壁立上り部に被害のあるもの 31 箇所、底部インバート破損 14 箇所となっており、斜・直壁の被害が最も大きいことがわかる。なお、上記箇所数の合計が 93 とならないのは、1 つのマンホールにおいて複数の被害形態が発生しているためである。

表 2.2 に鉄筋コンクリート製の矩形きよの被害（補修箇所数）を示す。鉄筋コンクリート製の矩形きよでは、管体のクラック、破損、浮上り等重大な被害は発生しておらず、全て、目地の被害である。これらは、表 2.1(a)の管目地破損及びずれに含まれている。

図 2.1 に下水道管渠の被害分布を示す。ただし、ここで言う被害区間とは、復旧の対象となったおおよその区間のことであり、これ以外の区間では被害がなかったということではない。図中には地盤条件を示しているが、これは、秋田市下水道建設課の資料⁸⁾によったものであり、おおまかな分類を示したものである。また、図 2.2 は陶野による噴砂、噴水の見られた地域⁹⁾と管路被害の対応を示したものである。

図 2.1、2.2 は地盤条件、液状化と管渠被害の関連を見ようとしたものであるが、両者は必ずしも対応しているとは言えない。しかし、これらの結果から、管渠の被害はおおよそ河川に沿った砂地盤および八橋処理場東側および北側の粘性土系の地盤で発生していることがわかる。

秋田市では、通常の現場打ち無筋マンホールとともに、壁に鉄筋を配した特殊マンホールが

表 2.1 秋田市の下水道管施設の被害
(a) 管路の被害

構造物	被害状況 (復旧工法)	被害延長箇所数		計	被害率	全延長又は 全箇所数
		公共下水道	都市下水路			
管きよ	管破損及び沈下 (布設替え)	1,667.6 m		1,667.6 m	0.58 %	286,000 m (うち, 都市下水路 4.3 km)
	管目地破損 及びずれ (コーキング, パッカー 工法, 止水バンド等)	570 箇所	29 箇所	599 箇所	2.09 箇所/km	
マンホール	マンホール被害 (内訳は)	91 箇所	2 箇所	93 箇所	1.04 %	8,950 箇所
取付管	破損・突出等 (布設替え)	183 箇所		183 箇所		不 明

(b) マンホールの被害

部 位	被害状況 (復旧工法)	被害マンホール数	合 計	被害率	補修箇所数 ^{注2)}
斜壁・直壁	ブロック目地破損及びずれ (Vカットコーキング)	65 ^{注1)}	91	1.0 %	84 目地 ^{注1)}
	ブロック破損及びずれ(大) (ブロック設置直し)	26			83 ブロック (新ブロック数19)
壁立上り部	破 損 (取りこわし再築造)	3	31	0.3 %	3 箇所
	亀 裂 (Vカットコーキング)	28			30 箇所
底 部	インバート破損 (インバート補修)	14	14	0.2 %	14 箇所

注 1) 都市下水路の 2 マンホール(補修箇所数 2 箇所)を含む。

2) 補修箇所数とは, 目地数, ブロック数, 亀裂数を著わしたものであり, マンホールの数ではない。

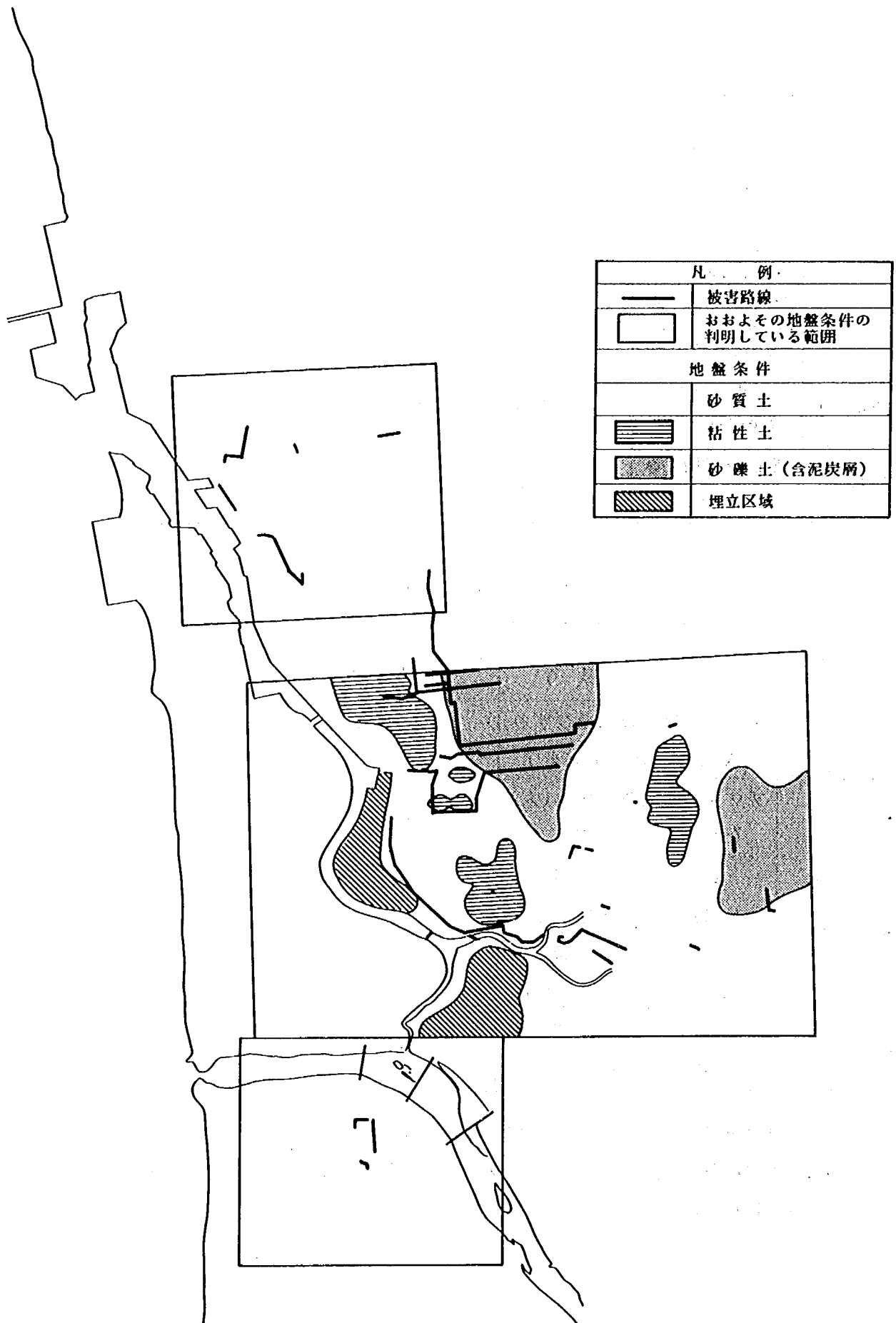


図 2.1 秋田市の下水道管路被害分布と地盤条件⁸⁾

表 2.2 秋田市の下水道管路施設の被害(矩形きよの被害)

構 造 物		被 害 状 況 (復旧工法)	補 修 箇 所 数
矩 形 き よ	□ 1500 × 2100	目 地 破 損 (目地補修)	20 箇 所
	□ 2000 × 1800		4 箇 所
	□ 1950 × 1950 ~ □ 1650 × 1650		29 箇 所

地震発生当時 128 箇所あり，このうちの 13 箇所に被害が発生した（図 2.3 参照）。ただし，13 箇所の内 11 箇所は斜・直壁の被害であり，壁立上り部の被害は 2 箇所であった。壁立上り部の被害だけに着目すると，被害率は無筋マンホールでは $(31-2)/(8950-128)=0.33\%$ であるのに対し，RC マンホールでは $2/128=1.6\%$ となり，後者の方が大きい。この理由ははっきりしないが RC マンホールの壁立上り部の被害は川口汚水中継ポンプ場付近で発生しており，被害地域内のマンホールの母数のとり方によると考えられる。

2.2 能 代 市

能代市における管路施設被害を表 2.3 に示す。管渠の破損，管目地ずれの区別は秋田市同様，各々，布設替えされたもの，目地補修が行われたものに対応している。管破損は，約 8.7 km で生じており，これは全延長の 14.5 % に相当している。秋田市の場合には管の破損率は 0.58 % であるから，これに比較して，かなり被害が大きかったことを示している。また，管目地ずれも 17.4 箇所/km と秋田市の場合の 1.8 箇所/km の約 10 倍となっている。土砂堆積は，秋田市では新屋元町地区に限られていたが，能代市では，松美町，青葉町等液状化の激しかった地区で発生している。表 2.3(a) に示した土砂堆積延長 4.1 km は，応急復旧として，土砂浚渫が行われた 19 路線の総計である。

図 2.4 は能代市における下水道管渠被害の分布を示したものである。また，図 2.5 はこれと亀裂，噴砂，噴水等の地盤変状の分布の関係を示したものである。ここで，管渠被害区間は，秋田市と同様に復旧の対象となった区間であり，また，地盤変状の分布は秋田大学の調査と陶野による噴砂，噴水地点の調査結果によっている。これによれば，地盤変状と下水道管渠の被害の間には，ある程度の相関が認めることができるが，能代駅と国道の間の市街地のように地盤変状がほとんど認められないにもかかわらず，管渠の被害が発生している箇所もある。

図 2.6 は表層地盤図を示したものである。これによれば，市域の大部分は砂質系であるが，能代駅の南から昭南および松美町にかけて舌状にのびた地域では粘性土となっている。昭南町および松美町は，昭和 30 年代にかつての出戸沼を埋立てて造成された地区であり，表層地盤図において粘性土と分類されたのは，このような点によっていると考えられる。しかしながら，この付近では図 2.5 に示したように，地表面近くのゆるい砂質土（埋立土）が液状化し，噴砂，

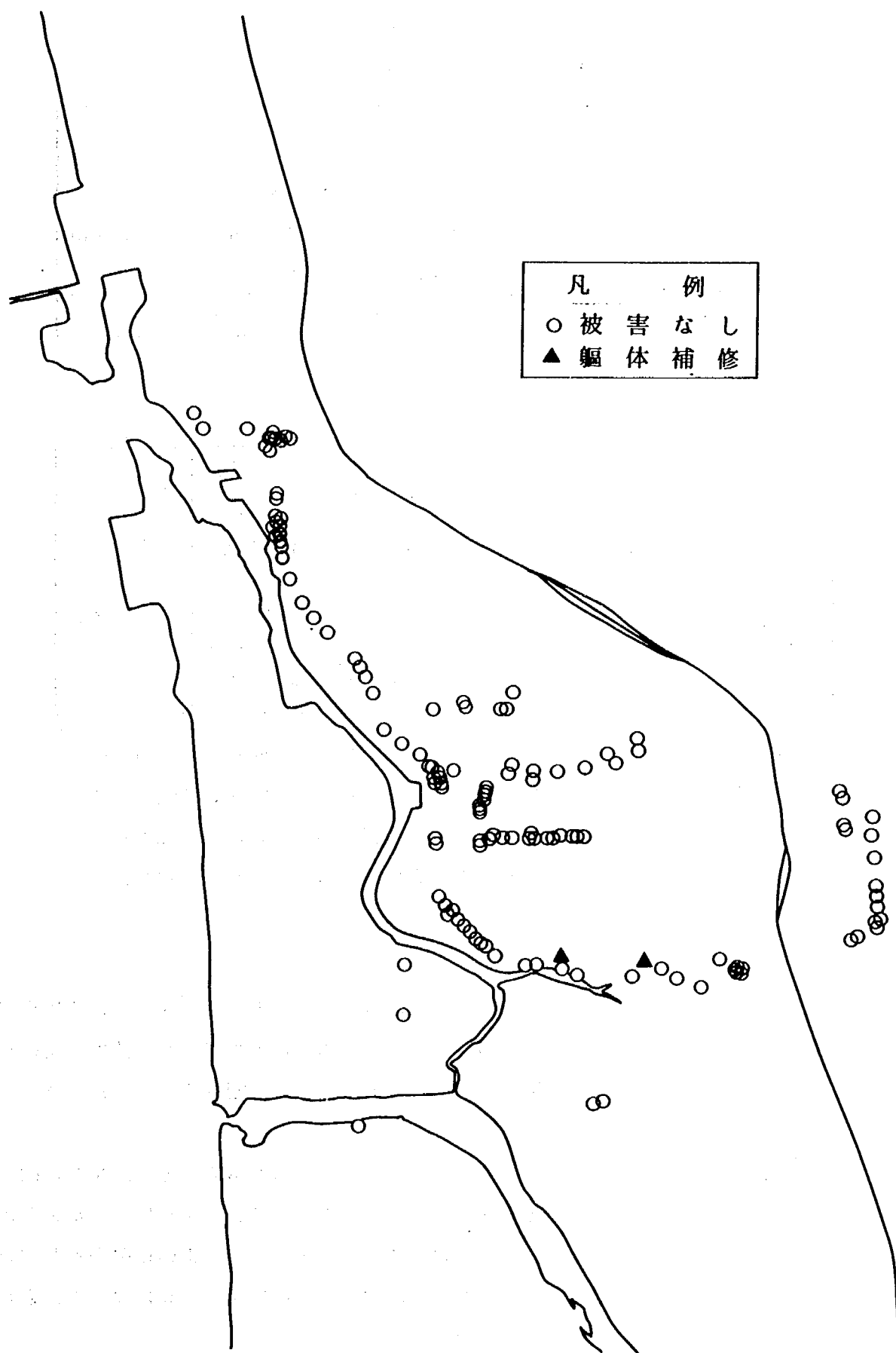


図 2.3 特殊マンホールの被害分布（秋田市）
（壁に鉄筋が配置してあるマンホール）

表 2.3 能代市の管路施設被害

(a) 管渠，取付管の被害

種 別	被 害 状 況	被 害 延 長 又は箇所数	被 害 率	全 延 長
管 渠	管 破 損	8,705.6 m	14.5 %	約 60,000 m
	管 目 地 ズ レ	1,408 箇所	17.4 箇所/km	
	土 砂 堆 積	4,100.33 m	6.8 %	
取 付 管	破 損 ・ 突 出	1,117 箇所	—	不 明

(b) マンホールの被害

部 位	被 害 状 況	被 害 マンホール数	被 害 数	全 箇 所 数
マンホール 壁 立 上 り	破損，クラック移動	約 40 箇所*	約 3.2 %	1,260 箇所
マンホール 直壁・斜壁	破損，ズレ	44 箇所	3.5 %	
マンホール 底 版	インバート破損	約 95 箇所*	約 7.5 %	

注 * 被害状況がはっきりしている，補助による復旧分（135 箇所）の割合から推定した。すなわち，補助分の復旧工事路線 66 路線のうち，壁立上り部補修に関するものが 22 路線となっているので， $22/66 \div 30\%$ を壁立上り，残り 70 %を底版に関する被害として推定した。

噴水が顕著であった。このように考えると，表層地盤図で粘性土と分類されている能代駅の南から昭南町および松美町にかけて舌状にのびた地域も含めて，下水道管渠が被害を受けた地域は大部分砂質土系の地盤であり，地盤の液状化が被害に大きな役割りを果たしたと考えることができる。

図 2.7，2.8 はそれぞれ，水道管，ガス管の被害分布を示したものである。また，図 2.9 は下水道，上水道，ガスの被害路線の比較を示したものである。これによれば，上水道およびガス管についても下水道管渠の場合と同様に地盤変状の分布ときわめてよい相関を示しているのが認められる。ただし，ガス管および水道管では，能代駅と国道 7 号の間にはほとんど被害がなく，下水道管渠の被害分布とは異なっている。



図2.4 下水道施設被害路線図

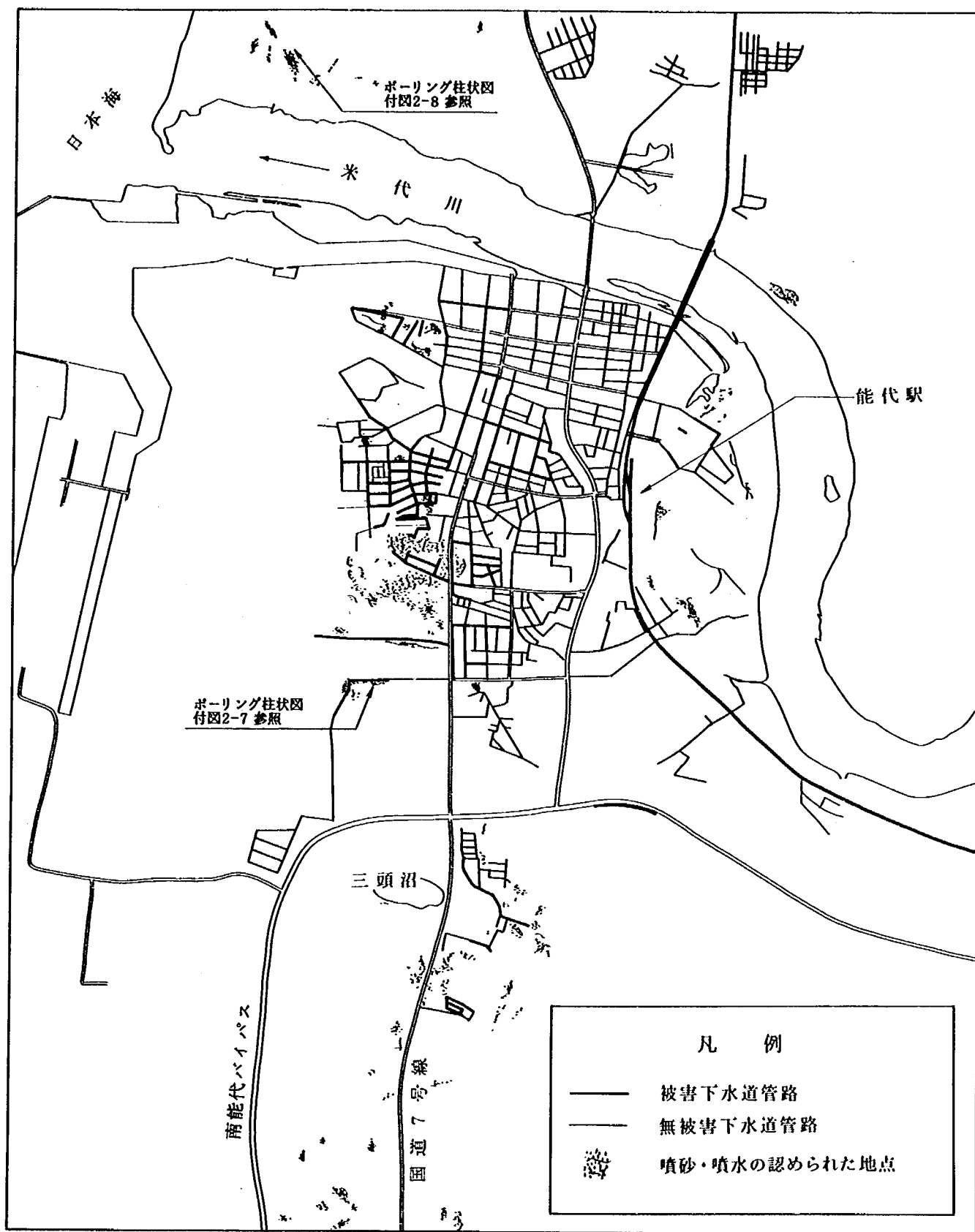


図 2.5 下水道管路の被害と地盤変状の関係（能代市）



図2.7 水道管被害箇所図



図2.8 ガス管被害箇所図



図 2.9 地下埋設管（下水道管、水道管、ガス管）の被害分布図

2.3 管渠布設替えに伴う新管の入替え状況

管渠の布設替えは、大別して3通りの場合があると考えられる。すなわち、

- ① 管体、目地に亀裂、破損などは見られないか、発生していてもきわめて軽微であるが、沈下・隆起（上下方向の蛇行）がはなはだしく、所定の流下機能を十分にはたせない場合
- ② 蛇行はないが、管体の亀裂・破損、目地の開き・ずれ・破損等の被害が顕著である場合
- ③ ①、②が同時に起っている場合

①の場合には、布設替えは開削により、既設の管をならべ直して復旧する場合が多いのに対して、②では、被害のある既設管を新管に交換して復旧が行われる。もちろん、後者の場合においても、被害の特にない管はそのまま既設管が用いられる。

秋田、能代両市において、布設替えにどれくらいの割合で新管が用いられていたかを調査した。

図 2.10 は秋田市における布設替え管総数に対する新管の入替え比率を管種・管径ごとに示したものである。総数 734 本のうち約 64 % (468 本) が、新管に入替えられている。図中のヒューム管は、ヒューム管に入替えられたもの、および陶管がヒューム管に入替えられたものを合わせた数である。なお、陶管は新しい陶管に入替えられた 4 本を除いて全てヒューム管に入替えられている。表 2.4 はヒューム管および陶管の新管入替え比率を求めた結果である。これによれば、総計でヒューム管では 58 %, 陶管では 100 % が新管を用いて布設替えされている。

布設替え された管種 管 径 (mm)	塩 ビ 管						ヒ ュ ー ム 管					
	新管入替え比率 [%]						新管入替え比率 [%]					
	0	20	40	60	80	100	0	20	40	60	80	100
230												
250			6/15					18/59				
300			10/25					101/180				
400								118/155				
450								40/74				
500								175/222				
600								0/4				
新管入替え比率	16 / 40 = 40 %						452 / 694 = 65.1 %					

図 2.10 管渠布設替え総本数と新管入替え比率（秋田市）

表 2.4 ヒューム管，陶管の新管入替え比率（推定値）

入替え種別 口径 (mm)	ヒューム管 → ヒューム管			陶 管 → ヒューム管		
	新 管 本 数	布 設 替 え 本 数	入 替 え 比 率 (%)	新 管 本 数	布 設 替 え 本 数*	入 替 え 比 率 (%)
2 3 0	—	—	—	—	—	—
2 5 0	16	57	28	2	2	100
3 0 0	42	121	35	59	59	100
4 0 0	59	96	61	59	59	100
4 5 0	40	74	54	—	—	—
5 0 0	174	221	79	1	1	100
6 0 0	0	4	0	—	—	—
計	331	573	58	121	121	100

* ヒューム管の長さに換算した場合の本数で，実際に布設替えされた陶管の本数とは異なる。

秋田市と同様に能代市の新管の入替え状況を図 2.11 に示す。能代市では全てヒューム管であるが新管による入替え比率が 17.5 %と秋田市に比べてかなり低くなっている。能代市，特に被害の多発した市街地西部（景林町，松美町等）および河川地区は顕著な液状化による地盤変状が見られた地域であり，必ずしも液状化が確認された地域だけで被害の発生している訳ではない秋田市と比較すると，被害のメカニズムに何らかの違いがあったのではないかと考えられる。

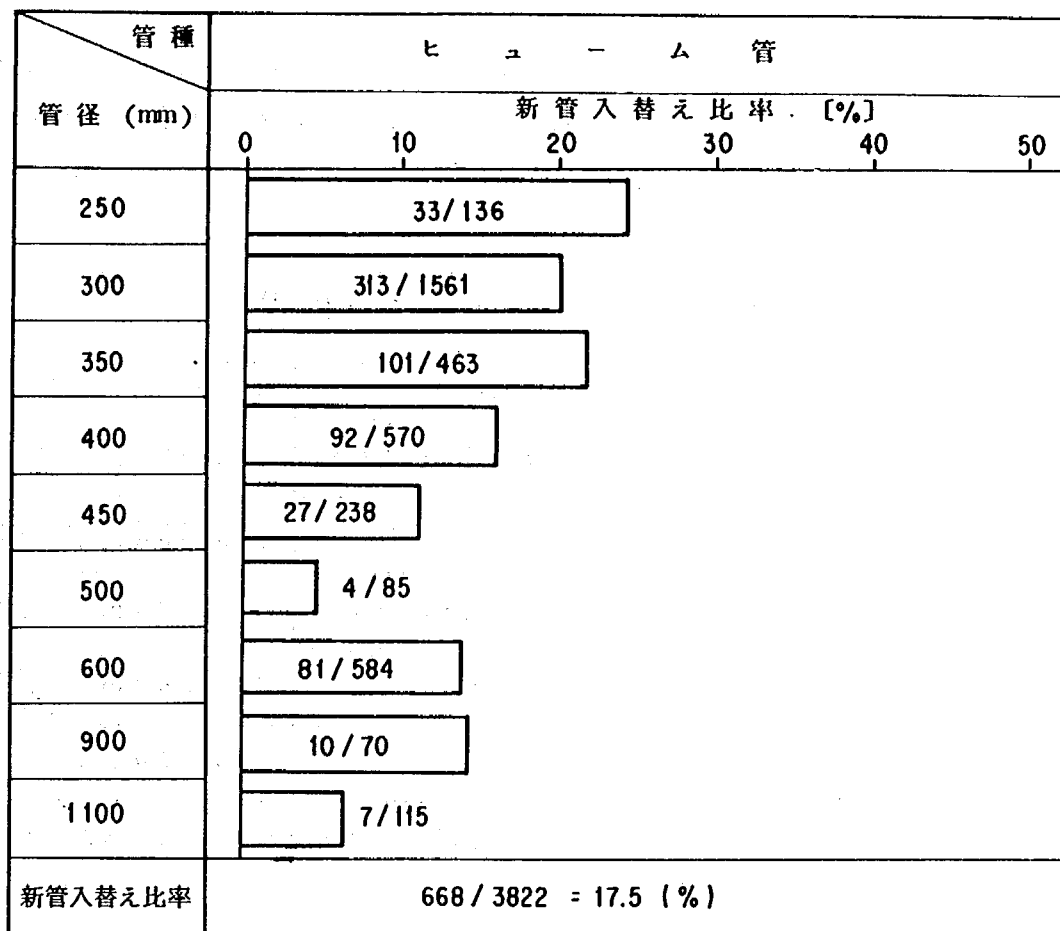


図 2.11 管渠布設替え総本数と新管入替え比率（能代市）

3. 被害調査対象

秋田市および能代市で実施された調査の種類および実績を、それぞれ、表 3.1, 3.2 に示す。両市とも調査は、人孔からの目視、管内に潜行しての目視、T V カメラ調査の 3 種類の方法によって行われている。これらの調査からはおよそその被害状況を知ることができるが、個々の詳細についてはわからない。

表 3.1 下水道管渠調査実績（秋田市）⁴⁾

		調 査 方 法	調 査 延 長	期 間
管きよ	φ 600mm 以 下	マンホールからの目視・流下状況	88,350 m	5/26～6/10
		管 内 か ら の 目 視	(9,490 m 2,200 m)	5/27～6/ 8
	φ 600mm 以 下	マンホールからの目視・流下状況	174,360 m	5/26～6/10
		T V カ メ ラ	(13,800 m)	5/31～6/ 9 8/ 3～8/12
マ ン ホ ール		目 視	8,950箇所	—

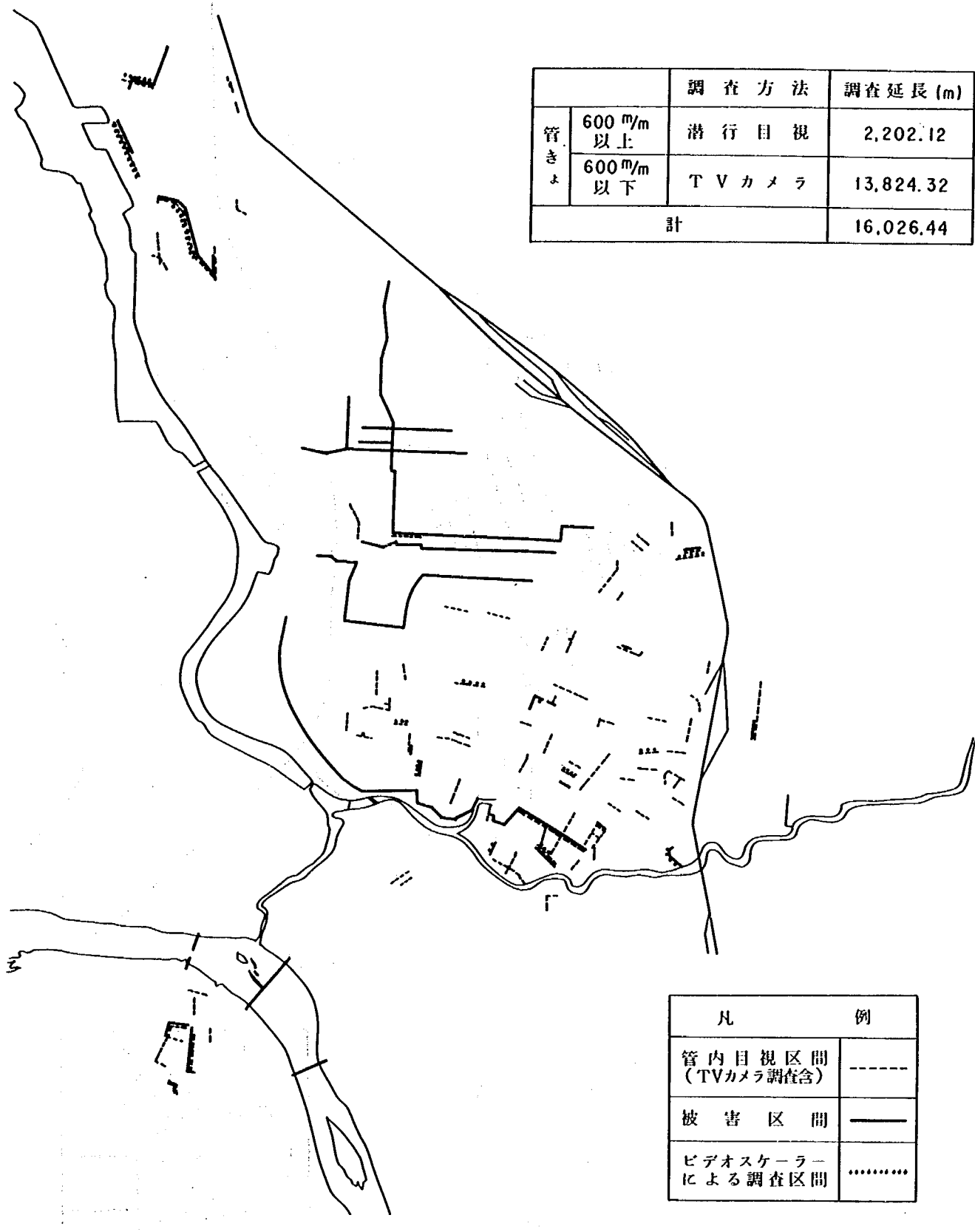
注) () 内は今回の解析に用いる資料（詳細な被害報告書）の残されている延長

表 3.2 下水道管渠調査実績（能代市）³⁾

		調 査 方 法	調査延長	期 間	人 員
管きよ	φ600 % 以 上	マンホールからの 目視・流下状況	3,252m	58. 5. 28～6. 27 7. 11～7. 31	3 班×4 人=12 人
		管内からの目視	2,882m	58. 7. 14～7. 24	1 班 6 人
		T V カ メ ラ	370m	58. 6. 10～6. 25 7. 14～7. 24	2 班×6 人=12 人 1 班 6 人
	φ600 % 未 満	マンホールからの 目視・流下状況	6,285m	58. 5. 28～6. 27 7. 11～7. 31	3 班×4 人=12 人
		T V カ メ ラ	6,285m	58. 6. 10～6. 25 7. 14～7. 24	2 班×6 人=12 人 1 班 6 人
		目 視	190 箇所	58. 5. 28～6. 27 7. 11～7. 31	3 班×4 人=12 人

表 3.1, 3.2 によれば、T V カメラおよび管内からの目視調査を合わせると秋田市で 23.29km（全延長の 8 %）、能代市で 9.37km（同 16 %）となる。延長的に見るとそれほど多くはないが、これらの調査については、調査会社によるやや詳細な報告書が両市とも残されている^{8) 10)}。

図 3.1 および図 3.2 は、それぞれ、秋田市および能代市における潜行目視、T V カメラ調査により、被害が報告されている路線を被害区間とともに示したものである。秋田市では、潜行目視



		調査方法	調査延長 (m)
管 き よ	600 m/m 以上	潜行目視	2,202.12
	600 m/m 以下	T V カ メ ラ	13,824.32
計			16,026.44

凡	例
管内目視区間 (TVカメラ調査含)	-----
被害区間	———
ビデオスケーラー による調査区間	

図 3.1 秋田市公共下水道TVカメラ等調査路線

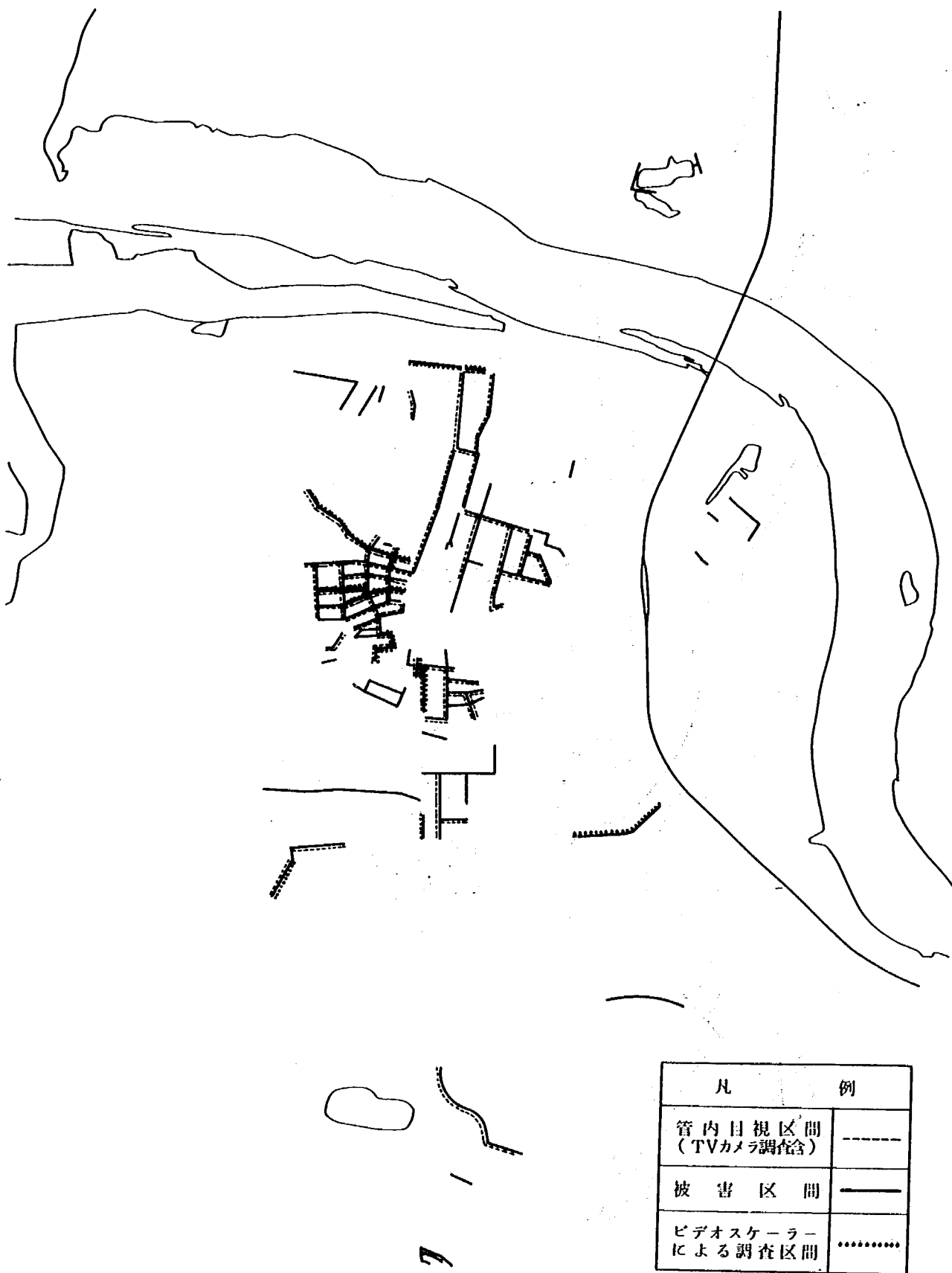


図 3. 2 能代市公共下水道潜行目視，T Vカメラ調査路線

は、わずかであり、大部分がTVカメラによる調査であるが、結果的に見ると、被害の小さい路線（復旧が行われていない路線）が多く調べられている。一方、能代市では、TVカメラ、潜行目視による調査は全て復旧工事が行われた区間で行われている。これは、一応の被害調査を実施し、被害が発見された後に確認の意味で詳細な調査が行われたためである。なお、図3.1、3.2には後述するビデオスケラーによる調査路線も示している。

図3.3は秋田市のTVカメラ調査結果の一例を示したものであるが、これよりわかるように、各目地について、スキマ、ズレ等の被害が表示されている。また、管体の亀裂、タルミ（上下方向の蛇行）等も表示されているが、いずれも、被害の程度は定量的に述べられていない。

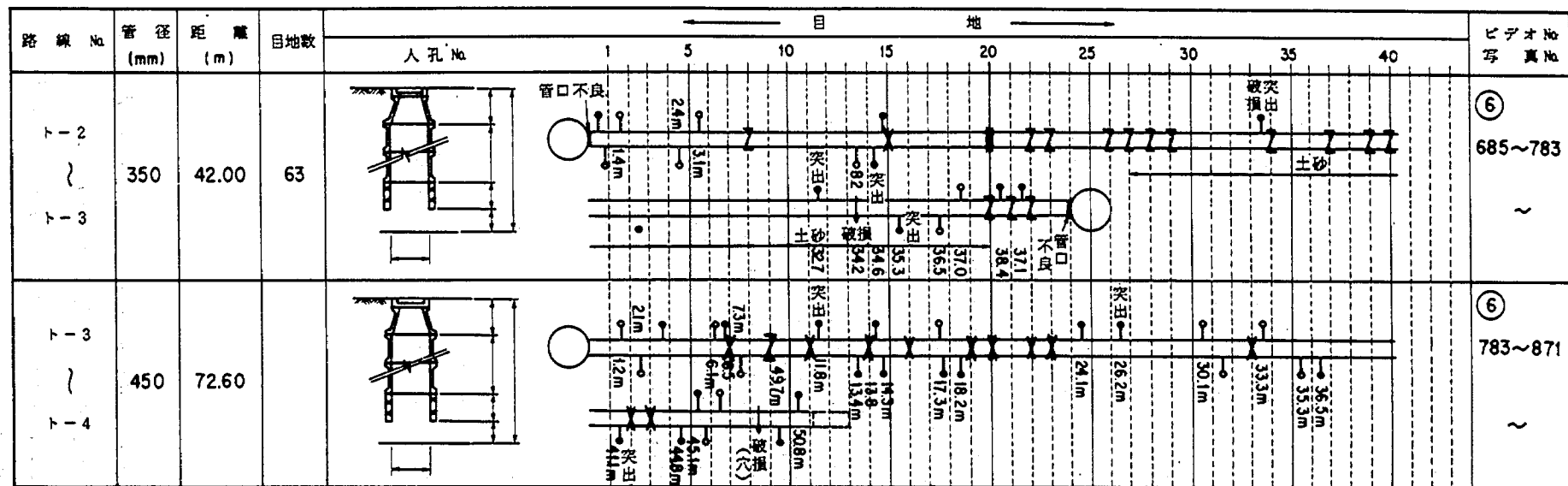
本解析では、以上に加えて、両市のビデオテープを用いて新たに調査し直した資料も用いた。ビデオテープを再調査したのは、秋田市で約3.2km、能代市で約2.3kmであり図3.1、3.2で管内調査路線と分類された区間の一部である。

以上に示したように被害調査の内容、その精粗を考慮すると、被害資料は次の3つの段階に分類される（表3.3、図3.4参照）。

- 1) Cランク——全被害路線を対象としているが、被害状況に関しては、被害区間内での目地被害数、管体破損・沈下被害延長が判明しているだけのものである。このレベルの資料に対しては、被害状況の全体把握、要因分析を行う。
- 2) Bランク——管内調査分であり、調査区間の全目地および管渠について調査されている。したがって、これより管ごと、目地ごとの被害の有無を知ることができる。しかし、被害の程度は大部分記述されていない。さらに秋田市については、復旧されていない区間に対する調査が多く、能代市では調査は被害区間に限られている。なお、水没、管の破損、取付管の突出のため、TVカメラが通らない箇所においては、被害箇所数がわからない場合がある。このレベルの資料に対しては、調査路線の延長が判明しているため、被害率を中心として被害の要因分析を行う。
- 3) Aランク——Bランクのうち代表的な路線についてTV画面からビデオスケラー*により被害を読み取り直したもので、目地被害、沈下状況については、定量的なデータが得られている。このレベルは、最も詳細かつ定量的な資料がそろい、被害の定量的把握が可能となる。

* ビデオスケラー

ビデオスケラーとは、下水道管渠の目地ずれ量を計測する目的で最近開発されたものであり、基本的には、画面にスケールをスーパーインポーズし（撮影中でも、すでに撮影されたVTRにも簡単にスーパーインポーズ可能）、そのスケールをずれ等に合わせることで、自動的に実寸を計測、画面に表示するものである。



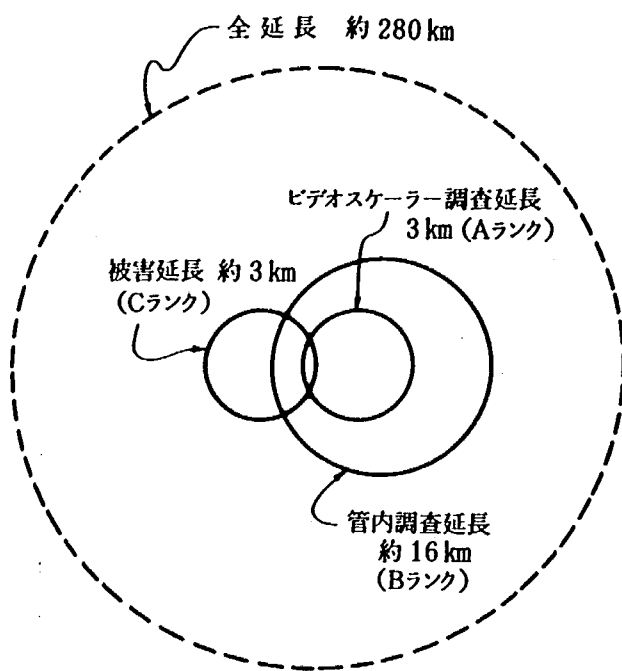
凡 例

記 号	名 称	記 号	名 称	記 号	名 称
	浸入水		取 付 管		管口不良
	スキマ		不良取付管		タ ル ミ 区 間
	ズ レ		突出取付管		土 砂 推 積 区 間
	破 損		管口からの距離		人 孔
	パッキン外れ				管 路
	クラック				未 確 認 管 路
	穴が空いてる破損				

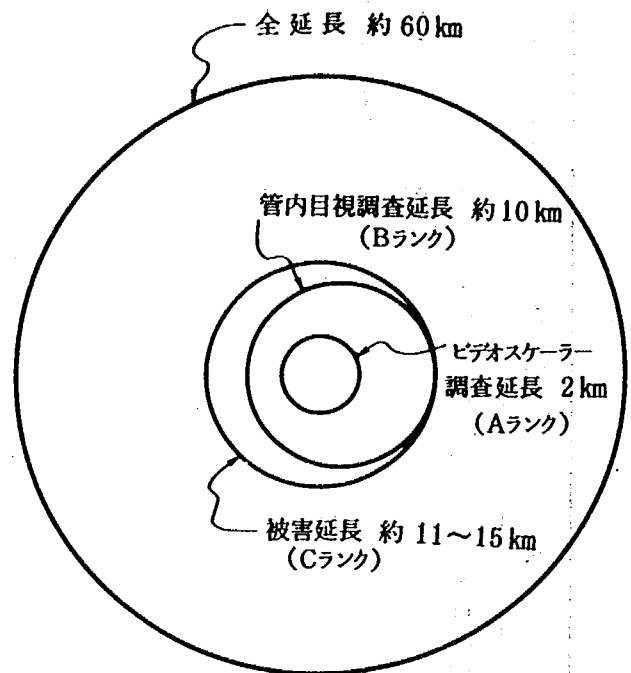
図 3.3 T V カメラを用いた調査結果の一例（秋田市の場合）

表 3.3 管渠被害分析対象のランク

ラ ン ク	調 査 方 法 ・ 範 囲	被 害 の 記 述	基 に し た 資 料	おおよその延長
C ランク	測量，マンホールからの目視， T V カメラ調査，管内からの目視 など。 全復旧工事区間	復旧方法に対応して ・管目地破損及びずれ等 （目地補修） ・管破損及び沈下（布設替え） などのような記述とともに復旧箇所数，延長（被害延長），が示されている。	昭和 5 8 年度震災総プロ調査表目 論見書	秋 田 3 ～ 5 k m 能 代 11 ～ 15 k m
B ランク	T V カメラ調査および管内目視調査 秋田……無被害区間（復旧工事 無）が主，大部分が T V カメラ調査 能代……被害区間のみ，T V カ メラ調査・管内目視調査	目地，管体，管口ごとに目地のず れ破損・管体・管口の亀裂・破損 等が示されている。能代の一部は 目地ずれ量あるいは大小等，程度 の記述もある。	秋田市……日本海中部地震による 秋田市公共下水道被害状況調 査（その 1，その 2）報告書 能代市……日本海中部地震による 能代市内下水道管渠被害調査 報告書（第 1 次，第 2 次）	秋 田 約 16 k m 能 代 約 10 k m
A ランク	秋田市・能代市の V T R の再読み 取り，およびビデオ・スケーラー による目地ずれ量，水位の測定	被害箇所の指定は，B ランクとほ ぼ同様，目地のずれ等，水位につ いては各目地ごとに mm 単位で記 述	秋田，能代市の V T R （B ランクに含まれる）	秋 田 約 3.2 k m 能 代 約 2.3 k m



(a) 秋 田 市



(b) 能 代 市

図 3.4 管内目視調査延長と被害延長の概略の関係

4. 全調査実施区間（Cランク）における被害状況の検討

4.1 秋田市

表4.1は、管目地破損およびずれ被害〔箇所数〕に対するクロス集計を示したものである。表中の地盤分類は、先に図2.1に示した分類に従ったものであり、これは、主に下水道工事の際に実施されたと考えられるボーリング柱状図から、およそその分類を行ったものである。施工年度については、不明のものが多かった。昭和39年以前のものには、昭和初期（7年～15年）に建設された5路線が含まれている（全て陶管）。

表4.2は、管破損および沈下被害〔被害延長〕に対するクロス集計を示したものである。破損・沈下被害の延長は合計1375.15mとなる。

表4.1および表4.2に示したクロス集計表の対角要素、すなわち、各アイテム・カテゴリーの単純集計結果を図4.1に示す。これらの結果は、被害を受けた管路のみを対象としているが、被害管路については以下の事項が指摘される。

- 1) 管種ごとの集計（図4.1(a)参照）では、ヒューム管の被害が目地・管体とも圧倒的に多いが、これは、秋田市においてはヒューム管が下水道管渠の大部分を占めているためである。ただし、管目地破損およびずれによる被害と管破損・沈下被害の大きさを管種ごとに相対的に比較することは意味があり、ヒューム管では両者の被害形態がほぼ同程度の割合で起っているのに対して、陶管では、管破損・沈下が多いことがわかる。これは陶管では管自体の被害が卓越していたことを示していると考えられる。また、塩ビ管では管目地およびずれによる被害は生じておらず、反対に、推進管では管破損および沈下による被害は生じていない。
- 2) 管破損・沈下による被害は、管径700mm以上では発生していないが、目地破損およびずれによる被害は管径1000mm以上でも発生している。一般に、大口径の管においても目地破損及びずれによる被害が比較的多く発生している原因としては、このような管では管の目視による被害調査が正確にできることが挙げられる。また、管径が大きくなると肉厚も大きくなり、強度が上がることも原因の1つと考えられるが、これについては地震時の作用力との関連で今後検討する必要がある。
- 3) 埋設深さ（図4.1(c)参照）および施工年度（図4.1(e)参照）の集計では、顕著な特徴は見られない。
- 4) 地盤ごとの集計（図4.1(d)参照）では、砂質土において被害が多い。

次に、クロス集計のヒューム管の行を追って見た結果を図4.2に示す。上述したように管径700mm以上では管破損および沈下による被害は生じていない。埋設深さごとの集計では、1.5～2.5mが多く、これは図4.1(c)に示した全体の傾向と大きな変化はない。地盤条件については図4.1(d)に示した全体の結果よりも、さらに砂地盤における被害が多く（約3/4程度）なっている。施工年度については、図4.1(e)に示した結果と大きな変化は認められない。

表 4.1 管目地破損及びずれによる被害(被害総数 406 箇所)クロス集計表(秋田市, Cランク)

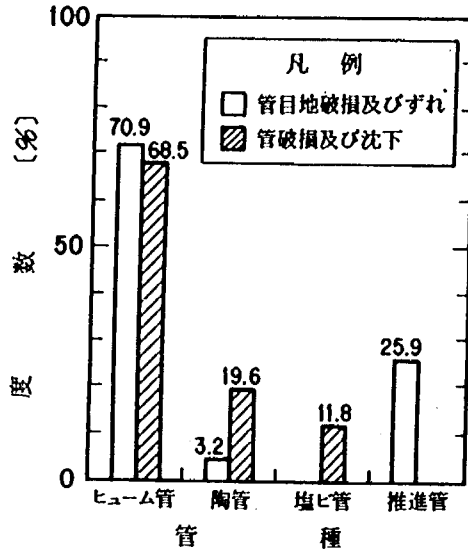
単位(箇所)

		管 種				管 径				埋 設 深 度				地 盤				施 工 年 度			
		H.P ヒューム管	T.P 陶 管	V.P 塩ビ管	J.P 推進管	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	砂質土	粘性土	シルト	砂礫土	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
管 種	H.P	288 (70.9%)	—	—	—	232	18	2	36	14	236	—	38	187	66	35	—	18	142	128	—
	T.P		13 (3.2%)	—	—	13	—	—	—	—	13	—	—	—	13	—	—	13	—	—	—
	V.P			—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	J.P				105 (25.9%)	26	15	—	64	—	—	—	105	42	9	54	—	—	—	105	—
管 径	D ₁	200mm ~ 380mm				271 (66.7%)	—	—	—	—	245	—	26	193	78	—	—	16	138	117	—
	D ₂	400mm ~ 650mm					33 (8.1%)	—	—	14	4	—	15	18	9	6	—	14	4	15	—
	D ₃	700mm ~ 900mm						2 (0.5%)	—	—	—	—	2	2	—	—	—	—	—	2	—
	D ₄	1000mm ~ 1350mm							100 (24.6%)	—	—	—	100	16	1	83	—	1	—	99	—
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m								14 (3.4%)	—	—	—	14	—	—	—	14	—	—	—
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m									249 (61.3%)	—	—	171	78	—	—	16	142	91	—
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m										—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	H ₄	3.5 m < H											143 (35.2%)	44	10	89	—	1	—	142	—
地 盤	砂	砂 質 土												229 (56.4%)	—	—	—	17	142	70	—
	粘土	粘性土, 砂質粘性土													88 (21.7%)	—	—	14	—	74	—
	シルト	シルト, 砂質シルト 粘土質シルト														89 (21.9%)	—	—	—	89	—
	砂礫	砂 礫 土															—	—	—	—	—
施 工 年 度	Y ₁	~ 昭和39年																31 (7.6%)	—	—	—
	Y ₂	昭和40年~49年																	142 (35.0%)	—	—
	Y ₃	昭和50年~																		233 (57.4%)	—
	Y ₄	不 明																			—

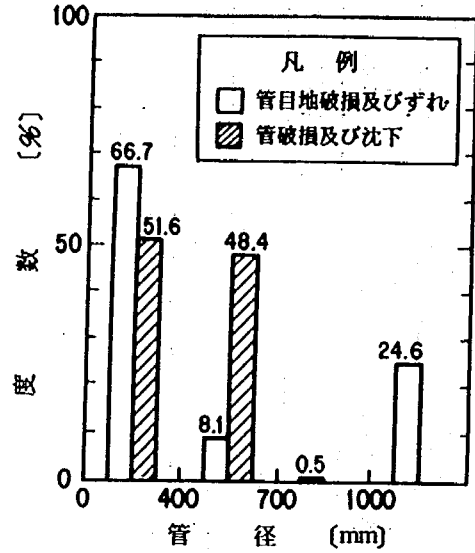
表 4.2 管破損及び沈下による被害(被害総延長 1375.15 m)クロス集計表(秋田市, Cランク)

単位(m)

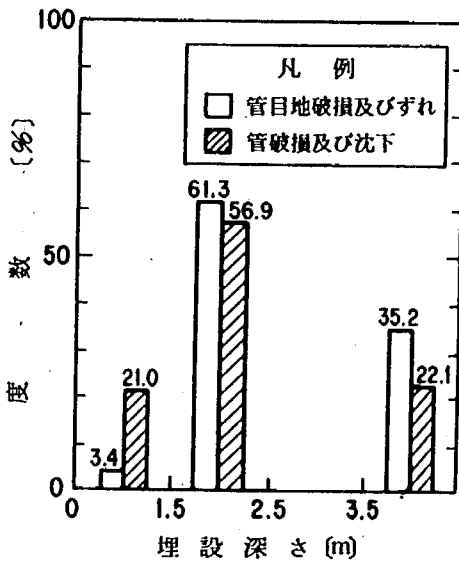
		管 種				管 径				埋 設 深 度				地 盤				施 工 年 度			
		H.P ヒューム管	T.P 陶 管	V.P 塩ビ管	J.P 推進管	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	砂質土	粘性土	シルト	砂礫土	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
管 種	H.P	942.55 (68.5%)	—	—	—	312.30	630.25	—	—	88.40	550.35	—	303.80	739.00	48.50	77.05	78.00	575.95	—	366.60	—
	T.P		269.80 (19.6%)	—	—	234.01	35.79	—	—	98.10	171.70	—	—	4.20	263.17	2.43	—	265.60	—	4.20	—
	V.P			162.80 (11.8%)	—	162.80	—	—	—	102.80	60.00	—	—	162.80	—	—	—	—	—	162.80	—
	J.P				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
管 径	D ₁	200mm ~ 380mm				709.11 (51.6%)	—	—	—	240.80	468.31	—	—	479.30	229.81	—	—	479.31	—	229.80	—
	D ₂	400mm ~ 650mm					666.04 (48.4%)	—	—	48.50	313.74	—	303.80	426.70	81.86	79.48	78.00	362.24	—	303.80	—
	D ₃	700mm ~ 900mm						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	D ₄	1000mm ~ 1350mm						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m								289.30 (21.0%)	—	—	—	142.70	146.60	—	—	186.50	—	102.80	—
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m									782.05 (56.9%)	—	—	537.50	165.07	79.48	—	655.05	—	127.00	—
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m										—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	H ₄	3.5 m < H											303.80 (22.1%)	225.80	—	—	78.00	—	—	303.80	—
地 盤	砂	砂 質 土												906.00 (65.9%)	—	—	—	450.40	—	455.60	—
	粘土	粘性土, 砂質粘性土													311.67 (22.7%)	—	—	311.67	—	—	—
	シルト	シルト, 砂質シルト 粘土質シルト														79.48 (5.8%)	—	79.48	—	—	—
	砂礫	砂 礫 土															78.00 (5.7%)	—	—	78.00	—
施 工 年 度	Y ₁	~昭和39年																841.55 (61.2%)	—	—	—
	Y ₂	昭和40年~49年																	—	—	—
	Y ₃	昭和50年~																		533.60 (38.8%)	—
	Y ₄	不 明																			—



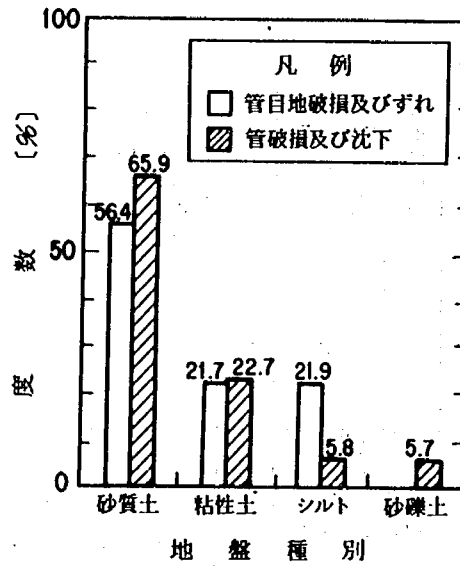
(a)管種ごとの集計



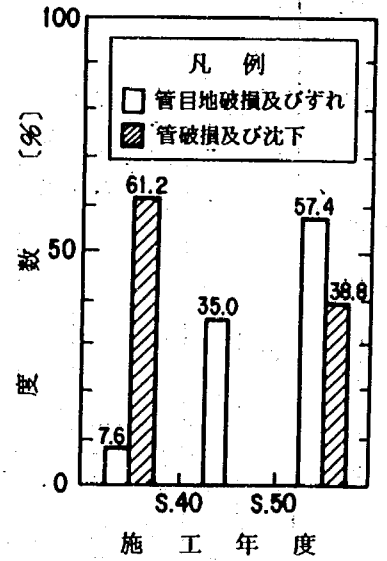
(b)管径ごとの集計



(c)埋設深さごとの集計

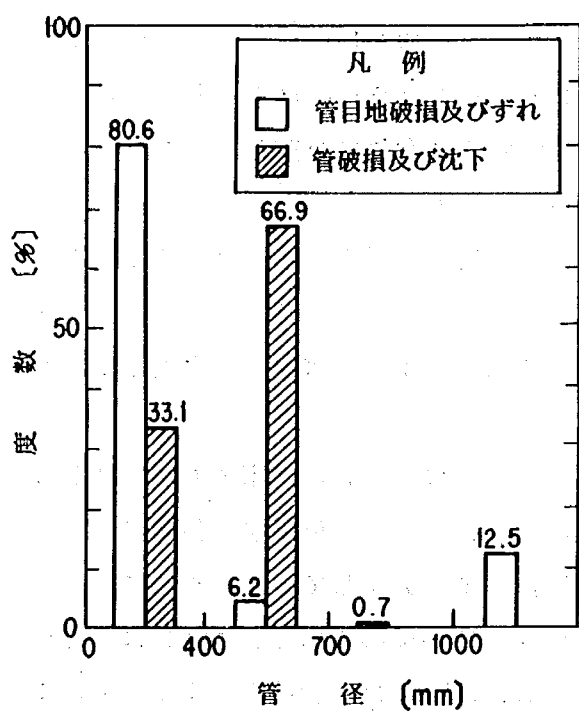


(d)地盤ごとの集計

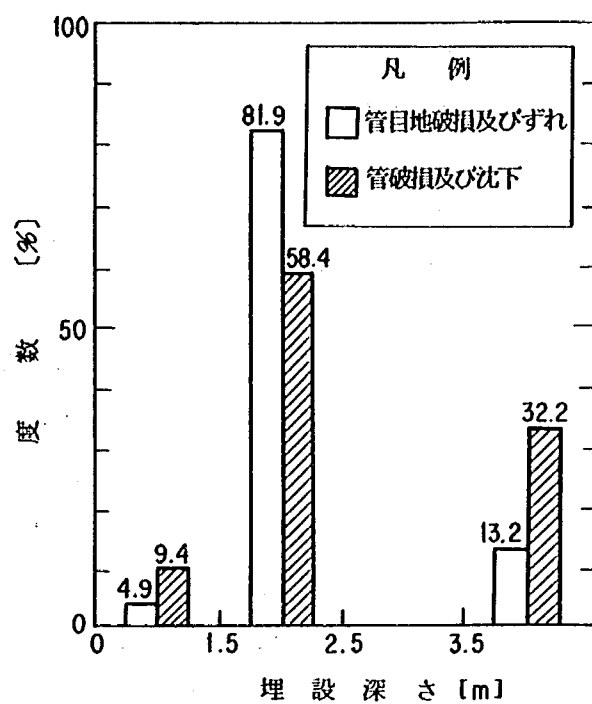


(e)施工年度ごとの集計

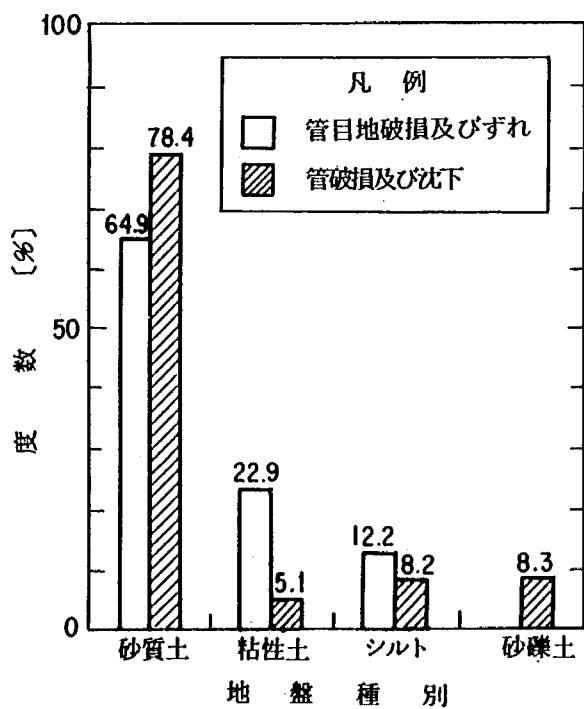
図 4.1 管渠被害の集計 (秋田市, Cランク)



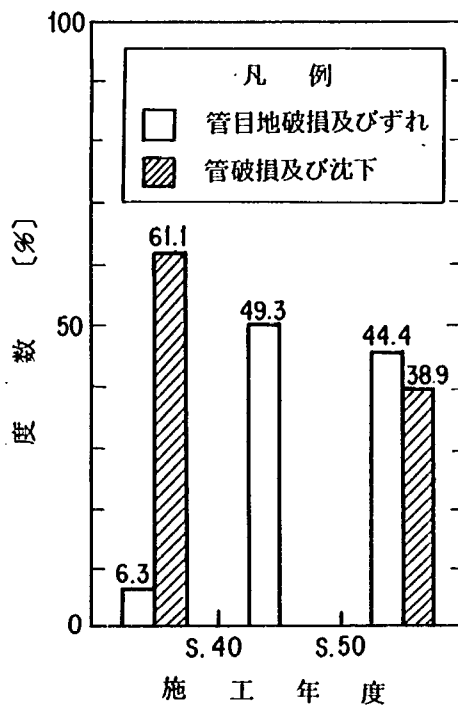
(a) 管径ごとの集計



(b) 埋設深さごとの集計



(c) 地盤ごとの集計



(d) 施工年度ごとの集計

図 4.2 ヒューム管に対する被害の集計 (秋田市, Cランク)

4.2 能代市

能代市における全被害路線を対象としたクロス集計結果を表 4.3 および表 4.4 に示す。能代市では、被害を受けた管路は全てヒューム管であったが他の管種が用いられていたかどうかについては明らかでない。また、地盤条件は、先の 2.2 で示したように、ほとんどが砂質系であるため、ここでは地盤種別という分けかたはせず、地盤変状の有無で分類した。ここで本集計で地盤変状ありと判断した範囲は、図 3.2 に示した通りである。

図 4.3 は、管目地破損ずれ、管破損・沈下に対する単純集計結果を図示したものである。これによれば以下の事項が指摘される。

- 1) 管径ごとの集計では、 $\phi 650$ mm 以下で破損および沈下による被害が多く発生している。
- 2) 1.5 ～ 2.5 m の埋設深さにおける被害が多い。
- 3) 秋田市では、施工年度による相違は必ずしもはっきりしないが、能代市においてはかなりはっきりした相関があり、施工年度が新しくなるにつれ、被害率は低下する傾向にある。
- 4) 地盤変状がある場合には、管破損・沈下による被害が多く発生している。これに対して目地破損およびずれによる被害は、地盤変状のない地域の方が優勢であり、両者にはっきりした違いが認められる。ただし、地盤変状があった地域においては、管破損および沈下による被害が大きかったため、目地破損およびずれによる被害までは十分調査されていないことに注意しなければならない。

表4.3 管目地破損及びずれによる被害(被害総数 1039箇所)クロス集計表(能代市, Cランク)

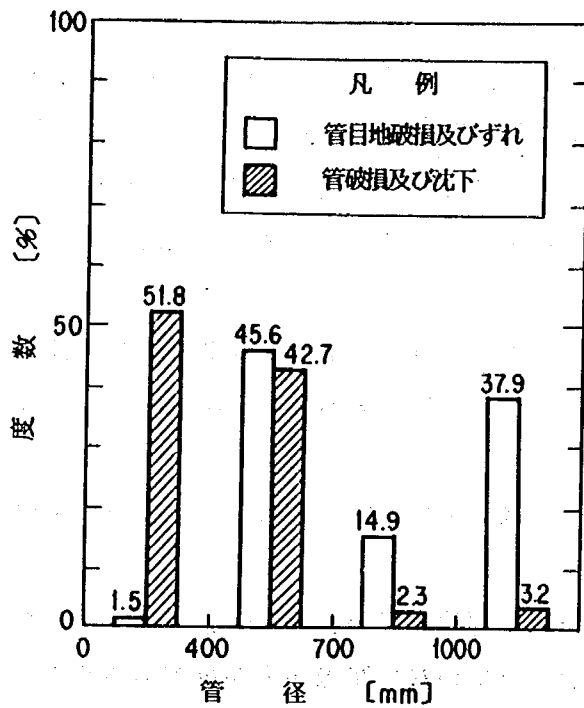
単位(箇所)

		管 径				埋 設 深 度				施 工 年 度				地 盤 変 状	
		D ₁ 200mm ~380mm	D ₂ 400mm ~650mm	D ₃ 700mm ~900mm	D ₄ 1000mm ~1350mm	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	有	無
管 径	D ₁	16 (1.5%)	—	—	—	—	16	—	—	—	—	16	—	16	—
	D ₂	—	474 (45.6%)	—	—	90	343	41	—	215	42	109	108	187	287
	D ₃	—	—	155 (14.9%)	—	—	98	57	—	155	—	—	—	—	155
	D ₄	—	—	—	394 (37.9%)	—	57	138	199	341	16	37	—	11	383
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m				90 (8.7%)	—	—	—	—	—	—	90	12	78
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m				—	514 (49.5%)	—	—	361	51	84	18	150	364
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m				—	—	236 (22.7%)	—	158	—	78	—	52	184
	H ₄	3.5 m < H				—	—	—	199 (19.2%)	192	7	—	—	—	199
施 工 年 度	Y ₁	～ 昭和 39 年				—	—	—	—	711 (68.4%)	—	—	—	45	666
	Y ₂	昭和 40 年～ 49 年				—	—	—	—	—	58 (5.6%)	—	—	42	16
	Y ₃	昭和 50 年～				—	—	—	—	—	—	162 (15.6%)	—	115	47
	Y ₄	不 明				—	—	—	—	—	—	—	108 (10.4%)	12	96
地 盤 変 状	有	—				—	—	—	—	—	—	—	—	214 (20.6%)	—
	無	—				—	—	—	—	—	—	—	—	—	825 (79.4%)

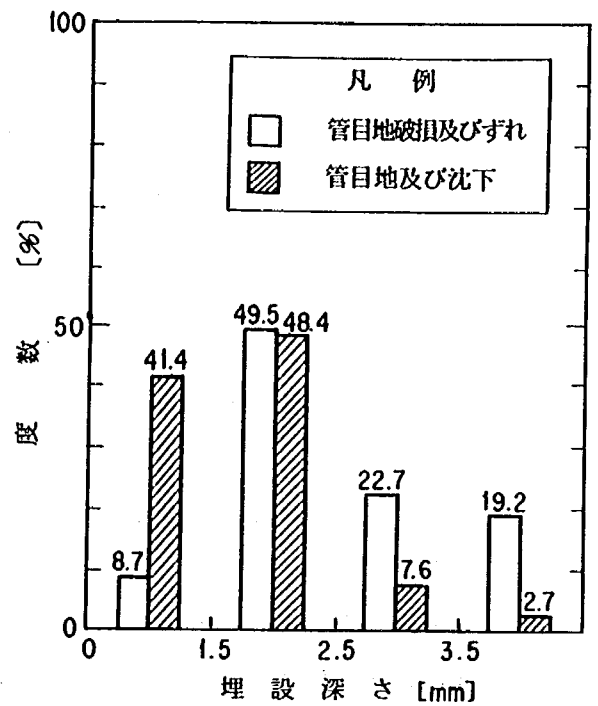
表 4.4 管破損及び沈下による被害(被害総延長-8757.1m)クロス集計表(能代市, Cランク)

単位[m]

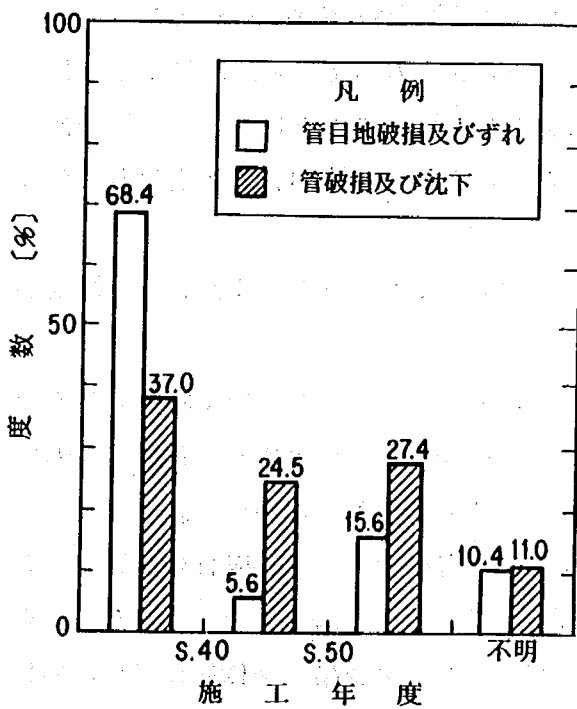
		管 径				埋 設 深 度				施 工 年 度				地 盤 変 状	
		D ₁ 200mm ~380mm	D ₂ 400mm ~650mm	D ₃ 700mm ~900mm	D ₄ 1000mm ~1350mm	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	有	無
管 径	D ₁	4533.25 (51.8%)	—	—	—	2705.60	1827.65	—	—	1695.65	1061.30	1180.95	595.35	3067.70	1465.55
	D ₂		3742.95 (42.7%)	—	—	916.40	2385.45	208.50	232.60	1375.60	801.80	1193.15	372.40	2819.60	923.35
	D ₃			200.60 (2.3%)	—	—	28.00	172.60	—	172.60	28.00	—	—	200.60	—
	D ₄				280.30 (3.2%)	—	—	280.30	—	—	250.80	29.50	—	250.80	29.50
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m				3622.00 (41.4%)	—	—	—	781.20	1233.60	944.00	663.20	3047.30	574.70
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m					4241.10 (48.4%)	—	—	2290.05	657.50	989.00	304.55	2462.80	1778.30
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m						661.40 (7.6%)	—	172.60	250.80	238.00	—	596.00	65.40
	H ₄	3.5 m < H							232.60 (2.7%)	—	—	232.60	—	232.60	—
施 工 年 度	Y ₁	昭和39年								3243.85 (37.0%)	—	—	—	2540.60	703.25
	Y ₂	昭和40年~49年									2141.90 (24.5%)	—	—	2141.90	—
	Y ₃	昭和50年~										2403.60 (27.4%)	—	1106.90	1296.70
	Y ₄	不 明											967.75 (11.0%)	549.30	418.45
地 盤 変 状	有	—												6338.70 (72.4%)	—
	無	—													2418.4 (27.6%)



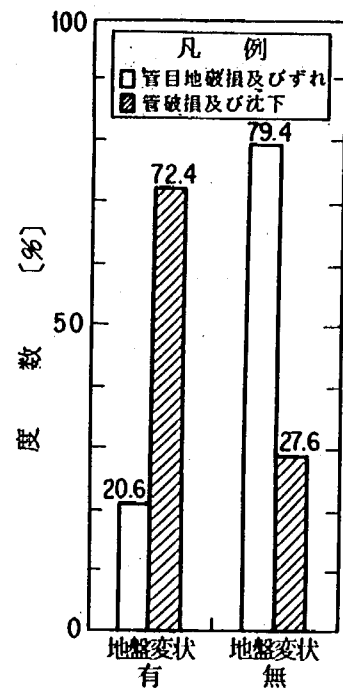
(a)管径ごとの集計



(b)埋設深さごとの集計



(c)施工年度ごとの集計



(d)地盤変状の有無による集計

図 4.3 管渠被害の集計 (能代市, Cランク)

5. 管内調査路線（Bランク）における被害状況の検討

5.1 秋田市

管内目視調査（TVカメラ調査含む）路線に対する管渠被害箇所のクロス集計結果を表5.1に示す。被害部所および被害程度は、秋田市の管内調査報告書の分類に従って目地、管体、管口（マンホールとの取合い部における管体の被害）に分けて合計6種類に設定した。管径、埋設深度、地盤種別のカテゴリー分類は、前章に示した結果と同一である。また、推進管およびシールド管はヒューム管に含めている。

表5.2は調査延長のクロス集計を示したものである。これより表5.1を表5.2で除して被害率マトリックスを求めた結果が表5.3であり、単位延長当りの被害箇所数（箇所/km）を表わしている。

表5.3の対角要素（単純集計結果）を図5.1に示す。これより、以下の事項が指摘される。

- 1) 被害状況としては、目地のずれが134.1箇所/kmと圧倒的に多い。ただし、3章で示したように、秋田市におけるBランクの調査対象は復旧されていない路線が大部分であることを考えると、放置しておいても問題のない程度の小さな目地ずれと考えられる*。管体の被害は、亀裂が10.6箇所/km、破損が9.1箇所/kmといずれも100mに1箇所程度発生していることになる。また、これに管口の被害率を加えた管本体被害率は23.8箇所/kmとなる。
- 2) 管種別の集計では、陶管が582.5箇所/kmと断然大きな値となっている。陶管1本の長さを1mと見積ると、2本に1箇所の割合で何らかの異常が生じていることになる。陶管の被害の内訳をみると、目地ずれ等が543.5箇所/kmと大部分を占めているが、管体亀裂および破損も26.7箇所/kmと大きい。
- 3) 管径ごとおよび埋設深度ごとの被害率をみると、径が大きくなるほど、また、埋設深度が深くなるほど、ともに被害率が下がる傾向がある。
- 4) 地盤種別ごとの被害率では、砂礫土（泥炭層含む）における被害率が高い（地盤分類と被害位置の関係は図2.1に示した通りである）。この原因を表5.3で検討すると管径で1,000mm以上の管渠（いずれもヒューム管）で被害が多いためであることがわかる。

以上の結果は、ヒューム管、陶管、塩ビ管全てを含んだ被害率であるが、陶管の被害率が非常に大きいため、ヒューム管だけについて単純集計した結果を示すと図5.2のようになる。これによれば、ヒューム管に対する被害の特徴は、上述した図5.1の結果と全体的にはほぼ同程度であり、管体の被害は亀裂が10.7箇所/kmとなる。また、これに管口の被害を加えた管本体被害率は24.1箇所/km、管目地被害は122.4箇所/kmとなる。

* 管渠の目地は施工時において、すでに多少の開きが存在していることが多く、これが被害としてカウントされることもあると考える。

表 5.1 下水道管渠被害箇所(被害総数 1,359 箇所)クロス集計(秋田市, Bランク)

単位〔箇所〕

			被害状況						管種			管径				埋設深度				地盤種別			
			目地		管体		管口		H・P	T・P	V・P	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	表土(砂がち)	表土(泥がち)	砂礫層	埋立区域
			はなれズレ等	破損	亀裂	破損	亀裂	破損															
被害状況	目地	はなれズレ等	1122	—	—	—	—	—	891	224	7	635	421	11	55	294	780	38	10	920	54	140	8
		破損		38	—	—	—	—	35	3	—	11	12	—	15	12	11	5	10	29	7	2	—
	管体	亀裂			89	—	—	—	81	8	—	33	54	—	2	15	18	9	47	78	6	3	2
		破損				76	—	—	73	3	—	6	8	11	51	7	34	32	3	54	1	21	—
	管口	亀裂					5	—	5	—	—	3	2	—	—	—	5	—	—	2	1	2	—
		破損						29	23	2	4	8	6	1	14	7	7	11	4	25	2	2	—
管種	H・P		ヒューム管						1108	—	—	495	453	23	137	208	732	94	74	857	71	170	10
	T・P		陶管							240	—	193	47	—	—	120	120	—	—	240	—	—	—
	V・P		塩ビ管								11	8	3	—	—	7	3	1	—	11	—	—	—
管径	D ₁		200 _{mm} ～380 _{mm}									696	—	—	—	231	429	30	6	595	60	39	2
	D ₂		400 _{mm} ～650 _{mm}										503	—	—	104	320	27	52	441	6	48	8
	D ₃		700 _{mm} ～1900 _{mm}											23	—	—	23	—	—	23	—	—	—
	D ₄		1000 _{mm} ～350 _{mm}												137	—	83	38	16	49	5	83	—
埋設深度	H ₁		H ≤ 1.5m													335	—	—	—	323	12	—	—
	H ₂		1.5m < H ≤ 2.5m														855	—	—	629	54	170	2
	H ₃		2.5m < H ≤ 3.5m															95	—	82	5	—	8
	H ₄		3.5m < H ≤																74	74	—	—	—
地盤種別	表土(砂がち)																			1108	—	—	—
	表土(泥がち)																				71	—	—
	砂礫層																					170	—
	埋立区域																						10

表 5.2 下水道管渠調査延長（総調査延長 8365 m）クロス集計表（秋田市，B ランク）

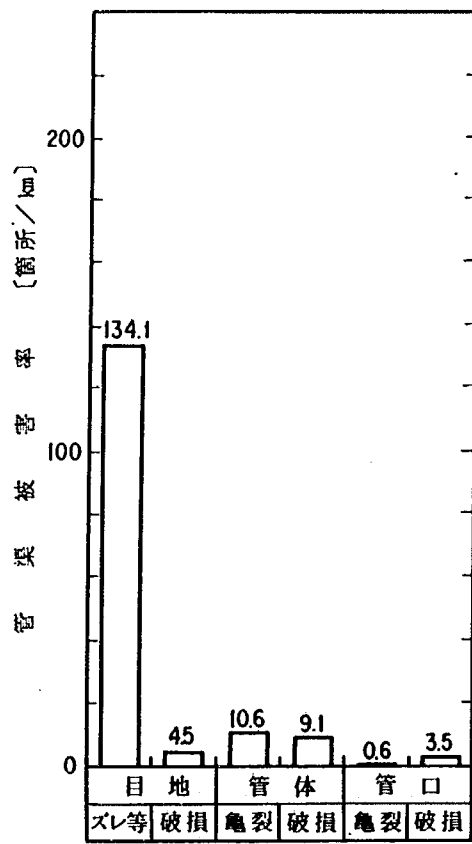
単位〔m〕

			被 害 状 況						管 種			管 径				埋 設 深 度				地 盤 種 別			
			目 地		管 体		管 口		H・P	T・P	V・P	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	表土 (砂が ち)	表土 (泥が ち)	砂礫 層	埋立 区域
			はなれ ズレ等	破損	亀裂	破損	亀裂	破損															
被害 状況	目地	はなれ ズレ等	8365	—	—	—	—	—	7562	412	391	2809	3720	296	1540	1174	4516	1287	1388	6602	853	659	251
		破 損		8365	—	—	—	—	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	管体	亀 裂			8365	—	—	—	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		破 損				8365	—	—	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
	管口	亀 裂					8365	—	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
		破 損						8365	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
管種	H・P		ヒューム管						7562	—	—	2413	3313	296	1540	889	4196	1089	1388	5799	853	659	251
	T・P		陶 管							412	—	238	174	—	—	156	256	—	—	412	—	—	—
	V・P		塩 ビ 管								391	158	233	—	—	129	64	198	—	391	—	—	—
管径	D ₁		200 _{mm} ～380 _{mm}									2809	—	—	—	554	1785	361	109	2184	274	251	100
	D ₂		400 _{mm} ～650 _{mm}										3720	—	—	620	2150	468	482	3084	200	285	151
	D ₃		700 _{mm} ～900 _{mm}											296	—	—	296	—	—	296	—	—	—
	D ₄		1000 _{mm} ～1350 _{mm}												1540	—	285	458	797	1038	379	123	—
埋設 深度	H ₁		H ≤ 1.5m													1174	—	—	—	1095	79	—	—
	H ₂		1.5m < H ≤ 2.5m														4516	—	—	3362	395	659	100
	H ₃		2.5m < H ≤ 3.5m															1287	—	757	379	—	151
	H ₄		3.5m < H																1388	1388	—	—	—
地盤 種別	表土(砂がち)																			6602	—	—	—
	表土(泥がち)																				853	—	—
	砂 礫 層																					659	—
	埋 立 区 域																						251

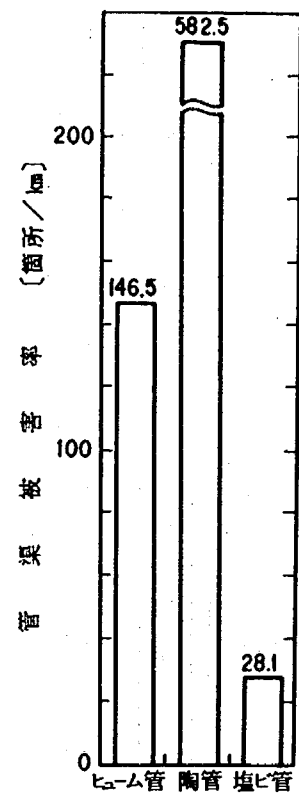
表 5.3 下水道管渠被害率クロス集計表(秋田市, Bランク)

単位〔箇所/km〕

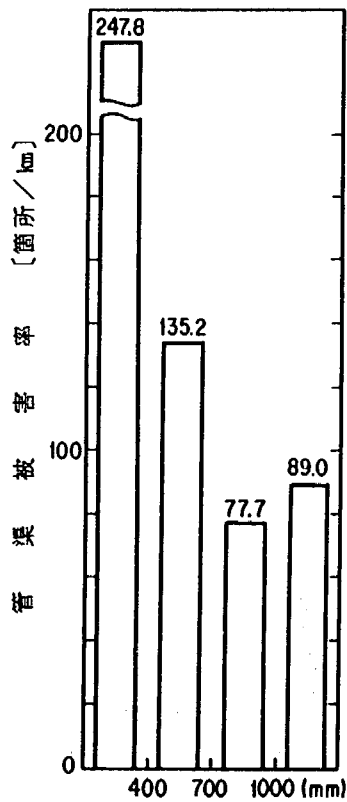
			被害状況						管種			管径				埋設深度				地盤種別			
			目地		管体		管口		H・P	T・P	V・P	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	表土(砂がち)	表土(泥がち)	砂礫層	埋立区域
			はなれズレ等	破損	亀裂	破損	亀裂	破損															
被害状況	目地	はなれズレ等	134.1	—	—	—	—	—	117.8	543.6	17.9	226.1	113.2	37.2	35.7	250.4	172.7	29.5	7.2	139.4	63.3	212.4	31.9
		破損	—	4.5	—	—	—	—	4.6	7.3	—	3.9	3.2	—	9.7	10.2	2.4	3.9	7.2	4.4	8.2	3.0	—
	管体	亀裂	—	—	10.6	—	—	—	10.7	19.4	—	11.7	14.5	—	1.3	12.8	4.0	7.0	33.9	11.8	7.0	4.6	8.0
		破損	—	—	—	9.1	—	—	9.7	7.3	—	2.1	2.2	37.2	33.1	6.0	7.5	24.9	2.2	8.2	1.2	31.9	—
	管口	亀裂	—	—	—	—	0.6	—	0.7	—	—	1.1	0.5	—	—	—	1.1	—	—	0.3	1.2	3.0	—
		破損	—	—	—	—	—	3.5	3.0	4.9	10.2	2.8	1.6	3.4	9.1	6.0	1.6	8.5	2.9	3.8	2.3	3.0	—
管種	H・P		ヒューム管						146.5	—	—	205.1	136.7	77.7	89.0	234.0	174.5	86.3	53.3	147.8	83.2	258.0	39.8
	T・P		陶管						—	582.5	—	810.9	270.1	—	—	769.2	468.8	—	—	582.5	—	—	—
	V・P		塩ビ管						—	—	28.1	50.6	12.9	—	—	54.3	46.9	5.1	—	28.1	—	—	—
管径	D ₁		200mm～380mm						—	—	—	247.8	—	—	—	417.0	240.3	83.1	55.0	272.4	219.0	155.4	20.0
	D ₂		400mm～650mm						—	—	—	—	135.2	—	—	167.7	148.8	57.7	107.9	143.0	30.0	168.4	53.0
	D ₃		700mm～900mm						—	—	—	—	—	77.7	—	—	77.7	—	—	77.7	—	—	—
	D ₄		1000mm～1350mm						—	—	—	—	—	—	89.0	—	291.2	83.0	20.1	47.2	13.2	674.8	—
埋設深度	H ₁		H ≤ 1.5m						—	—	—	—	—	—	—	285.3	—	—	—	295.0	151.9	—	—
	H ₂		1.5m < H ≤ 2.5m						—	—	—	—	—	—	—	—	189.3	—	—	187.1	136.7	258.0	20.0
	H ₃		2.5m < H ≤ 3.5m						—	—	—	—	—	—	—	—	—	73.8	—	108.3	13.2	—	53.0
	H ₄		3.5m < H						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53.3	53.3	—	—	—
地盤種別	表土(砂がち)		—						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	167.8	—	—	—
	表土(泥がち)		—						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	83.2	—	—
	砂礫層		—						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	258.0	—
	埋立区域		—						—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	39.8



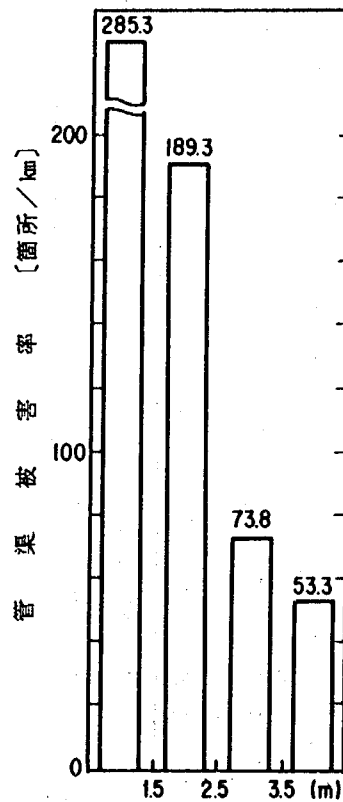
a) 被害状況



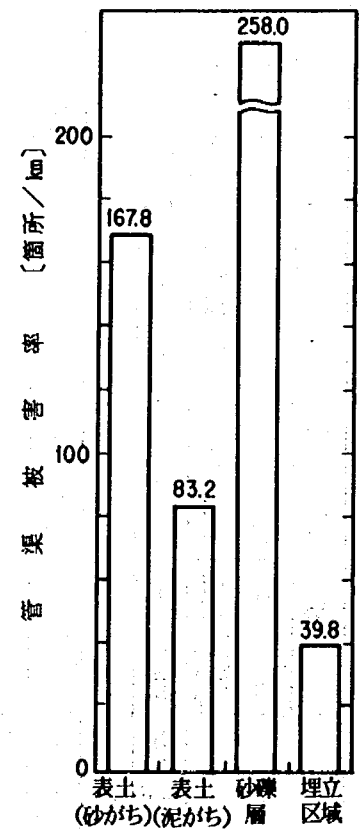
b) 管種



c) 管径



d) 埋設深度



e) 地盤

図 5.1 管渠被害率の単純集計(秋田市, B ランク)

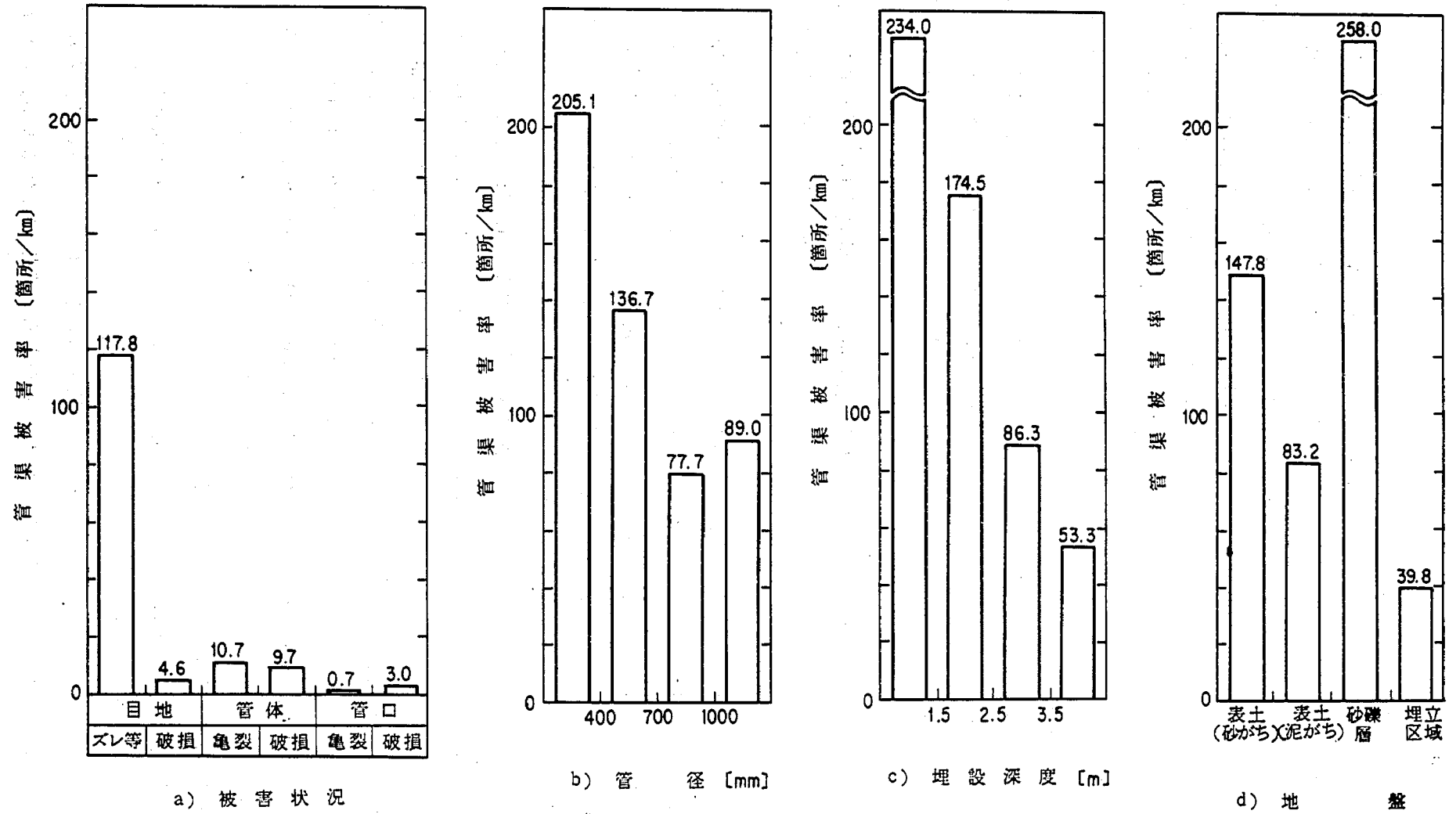


図 5.2 管渠（ヒューム管のみ）被害率の単純集計（秋田市，Bランク）

5.2 能 代 市

5.2.1 能代市全体に対する調査

能代市に対しても、秋田市と同様に、管内調査路線（ＴＶカメラ調査含む）に対して、クロス集計を行い被害率を算出した。能代市では、管内調査路線は全て復旧対象となっている。管内目視調査（ＴＶカメラ含む）路線に対する管渠被害箇所のクロス集計結果を表 5.4 に示す。被害状況としては、秋田市と同様に目地、管体、管口に分類した。ただし、秋田市の場合のように管体および管口の被害を亀裂と破損に区分して調査されていないため、これらをあわせて結果を整理している。また、能代市では、すべてヒューム管が使用されており、また、管渠の埋設されている地盤の大部分が砂地盤であることから、管種と地盤種別による分類については行わなかった。

表 5.5 は調査延長のクロス集計結果を示したものである。これより表 5.4 を表 5.5 で除して被害率（単位延長当りの被害箇所数，〔箇所/km〕）を求めた結果を表 5.6 に示す。

表 5.6 の対角要素（単純集計結果）を図化した結果を図 5.3 に示す。これより、以下の事項が指摘される。

- 1) 被害状況としては、目地被害率が 239 箇所/km と圧倒的に多い。秋田市での目地被害率（122.4 箇所/km，ヒューム管だけで集計した場合）と比較すると約 2 倍の値を示している。管体の被害率は 19.3 箇所/km であり、秋田市での管体被害率（20.4 箇所/km，ヒューム管のみの場合）と非常によく一致している。管口の被害率は 9.8 箇所/km であり、秋田市での管口被害率 3.7 箇所/km（ヒューム管のみの場合）の約 2 倍となっている。ただし、管口被害箇所数は、1 つのマンホール間で複数箇所の被害があったとしても、これを 1 箇所として数えていたため、必ずしも正確な被害率とはならないが、おおよその結果は与えていると考えることができる。
- 2) 管径別の集計では、400mm 未満の管渠被害率が 366.2 箇所/km となっている。この範囲でのヒューム管の長さは 2 m であるから、おおよそ 3 本に 2 箇所は何らかの被害が生じたことになる。全体としては、管径が大きくなるとともに、管渠被害率が低下している中で 700mm～900mm の径での管渠被害率が相対的にやや大きくなっている。しかしながら、この径での管渠の調査延長は 536.41m で、他の管径 D_1 （300～380 mm，調査延長 2853.32 m）， D_2 （400～600，調査延長 3877.31 m）， D_4 （1000～，調査延長 2581.07 m）と比較すると、それぞれ、1/5，1/7，1/5 と非常に短い。このような点から、一部の管渠の被害率が大きく寄与している可能性がある。
- 3) 埋設深度別の集計では、埋設深度が深いほど管渠被害率がさがる傾向があるが、秋田市の場合ほど明瞭ではない。

次に、能代市の下水道管渠は全てヒューム管であるが、ヒューム管の型式（Ａ型，Ｂ型，Ｃ型，図 5.4 参照）ごとに被害率に違いがあるかどうかを検討した結果が、表 5.7 である。母数が少ないため、はっきりしたことは言えないが、Ａ型管においてはＢ型管およびＣ型管

表 5.4 下水道管渠被害箇所（総被害箇所数 2,641）クロス集計表（能代市，B ランク）

単位〔箇所〕

		被害状況			管 径				埋 設 深 度			
		目 地	管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害状況	目 地	2354	—	—	955	899	150	350	619	1348	140	247
	管 体		190	—	68	56	22	44	45	90	19	36
	管 口			97	22	34	12	29	15	48	10	24
管 径	D ₁ 200mm～380mm				1045	—	—	—	503	542	0	0
	D ₂ 400mm～600mm					989	—	—	176	766	29	18
	D ₃ 700mm～900mm						184	—	0	129	55	0
	D ₄ 1000mm～1350mm							423	0	49	85	289
埋 設 深 度	H ₁ H ≤ 1.5m								679	—	—	—
	H ₂ 1.5m < H ≤ 2.5m									1486	—	—
	H ₃ 2.5m < H ≤ 3.5m										169	—
	H ₄ 3.5m < H											307

表 5.5 下水道管渠調査延長（総調査延長 9848.11m）クロス集計表（能代市，B ランク）

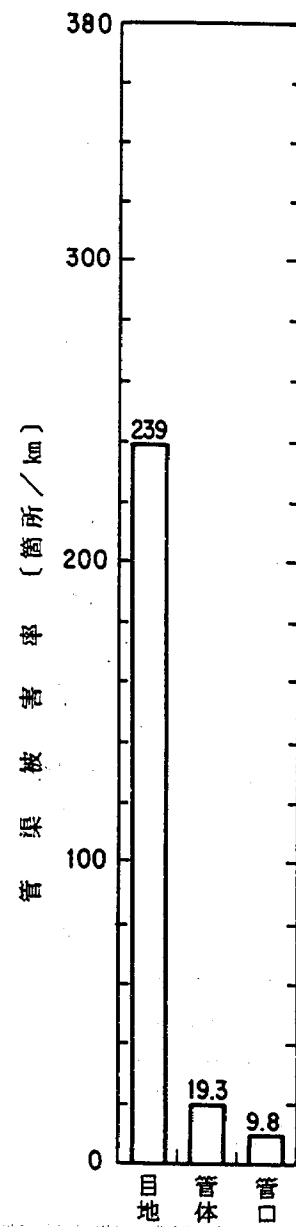
単位〔m〕

		被害状況			管 径				埋 設 深 度			
		目 地	管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害状況	目 地	9848.11	—	—	2853.32	3877.31	536.41	2581.07	2414.10	4624.67	612.12	2197.22
	管 体		9848.11	—	2853.32	3877.31	536.41	2581.07	2414.10	4624.67	612.12	2197.22
	管 口			9848.11	2853.32	3877.31	536.41	2581.07	2414.10	4624.67	612.12	2197.22
管 径	D ₁ 200mm～380mm				2853.32	—	—	—	1421.15	1432.17	0	0
	D ₂ 400mm～600mm					3877.31	—	—	992.95	2522.21	74.55	287.60
	D ₃ 700mm～900mm						536.41	—	0	417.80	118.61	0
	D ₄ 1000mm～1350mm							2581.07	0	252.49	418.96	1909.62
埋 設 深 度	H ₁ H ≤ 1.5 m								2414.10	—	—	—
	H ₂ 1.5 m < H ≤ 2.5 m									4624.67	—	—
	H ₃ 2.5 m < H ≤ 3.5 m										612.12	—
	H ₄ 3.5 m < H											2197.22

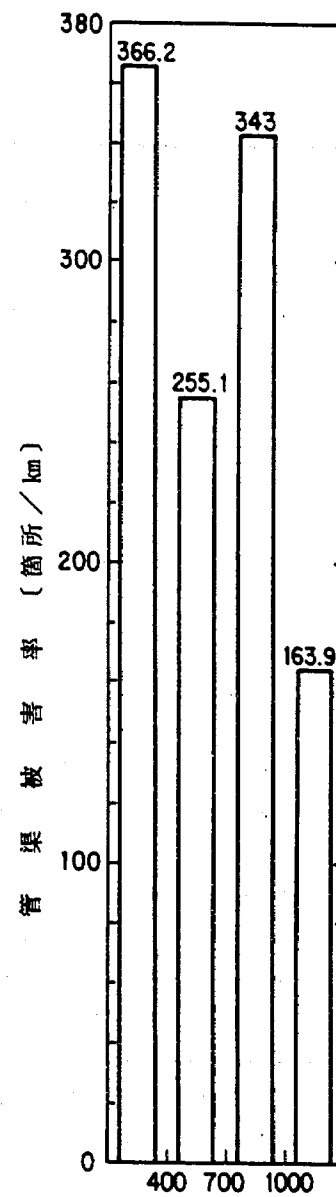
表 5.6 下水道管渠被害率クロス集計表(能代市, Bランク)

単位〔箇所/km〕

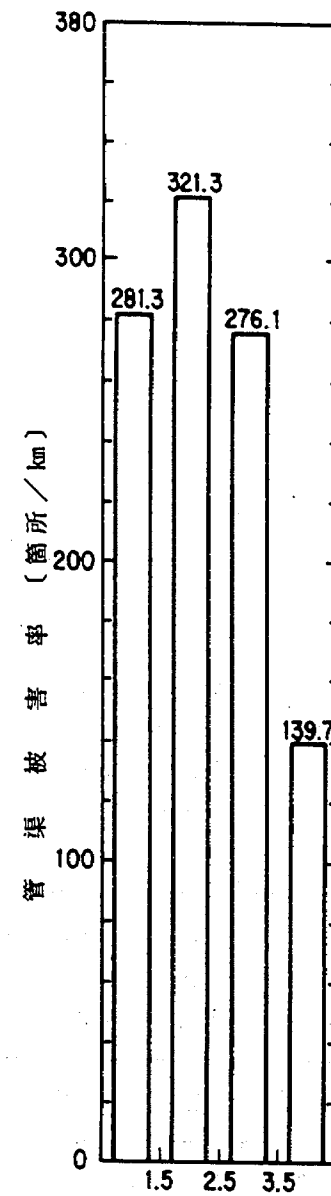
		被害状況			管 径				埋 設 深 度			
		目 地	管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害状況	目 地	239.0	—	—	334.7	231.9	279.6	135.6	256.4	291.5	228.7	112.4
	管 体		19.3	—	23.8	14.4	41.0	17.0	18.6	19.5	31.0	16.4
	管 口			9.8	7.7	8.8	22.4	11.2	6.2	10.4	16.3	10.9
管 径	D ₁	200mm～380mm			366.2	—	—	—	353.9	378.4	0	0
	D ₂	400mm～600mm				255.1	—	—	177.2	305.7	389.0	62.6
	D ₃	700mm～900mm					343.0	—	0	308.8	463.7	0
	D ₄	1000mm～1350mm						163.9	0	194.1	202.9	151.3
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m							281.3	—	—	—
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m								321.3	—	—
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m									276.1	—
	H ₄	3.5 m < H										139.7



a) 被害状況

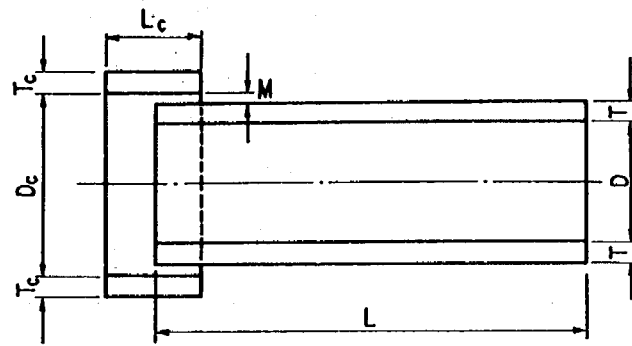


b) 管径 [mm]

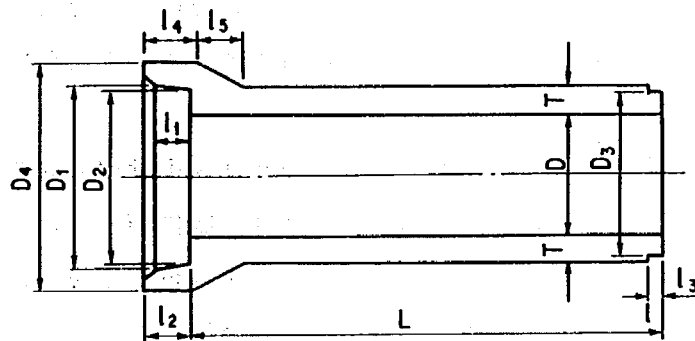


c) 埋設深度 [m]

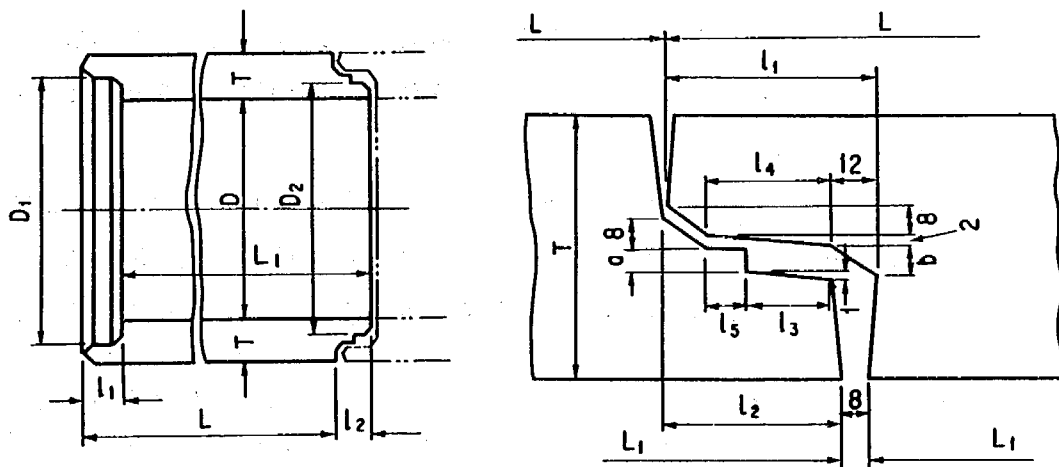
図 5.3 管渠被害率の単純集計 (能代市, B ランク)



(a) A 形 管



(b) B 形 管



(c) C 形 管.

図 5.4 ヒューム管の形式

よりも被害率が高くなっている。

表 5.7 ヒューム管の型式別の管本体被害率（能代市，B ランク）

管種	管本体被害箇所数	調査路線延長 (km)	管本体被害率 (箇所/km)
A	56	1.019	55.0
B	122	5.2134	23.4
C	76	2.7970	27.2

5.2.2 沈下路線および非沈下路線に分類した調査

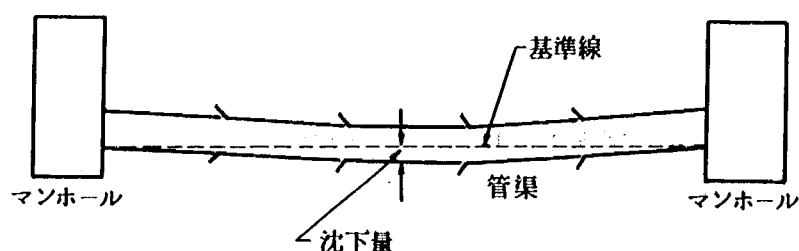
能代市では、液状化による被害が著しく、これによる管路の沈下が各所で生じた。このため、ここでは沈下路線とそれ以外の路線を区別して集計を行うこととした。^{注1)}ここで能代市では秋田市の場合のように管口の被害を亀裂と破損に区分することができなかったため、両者を一体として扱った。

沈下路線についての被害延長（沈下した延長）のクロス集計は表 5.8 に示す通りである。総計で 3,666 m に沈下が生じている。一方、表 5.9 は、能代市における管内調査延長のクロス集計である。これより、 $(\text{表 5.8}) \div (\text{表 5.9})$ で沈下被害率を求めると表 5.10 のようになる。これによれば、全体の約 35 % の路線で沈下が発生していることになる。

図 5.5 は、沈下被害発生率の単純集計結果を示したものであるが、これによれば、小口径で、埋設深度の浅いものに被害が集中していることがわかる。なお、能代市は全てヒューム管である。地盤変状の有無による沈下被害発生率をみると、地盤変状有りの地域では 50 % 以上の管が沈下被害を受けているのに対して、地盤変状無しの地域では 3.0 % であり、両者に顕著な違いが認められる。

表 5.11 は沈下路線における管本体被害箇所数のクロス集計を示したものである。ただし、沈下路線においては、水没、目地部からの管内への連続的な土砂の流入、取付管の突出等のため、TV カメラが通じない区間が数多く存在している。このため、ここに示す被害箇所数

注1) 沈下路線とは、復旧時に管路の沈下を測定し、沈下していると思なされた管路である。具体的には、下図に示すようにマンホールに取付く位置を測定し、これを結んだレベルから低下しているか否かで判断するものである。沈下している場合には、当該マンホール区間全体を沈下路線と見なすこととした。



はあくまでもTVカメラ、管内目視調査が可能であった区間における被害箇所数であり、実数はもっと多いことに注意しなければならない。表5.11と表5.8に示した沈下路線の調査延長（ここには、上述したTVカメラ、目視による調査不能区間の長さを含まない）の集計結果より、沈下路線の管本体被害率のクロス集計を求めると表5.12のようになる。各分類の管本体被害率を示すと図5.6のようになる。

これに対して、表5.13、表5.14、表5.15は非沈下路線に対する、それぞれ、被害箇所のクロス集計、対象延長のクロス集計、および管本体被害率を示したものである。また、図5.7は、表5.15の単純集計結果（管本体被害率）を図示したものである。ここで、上述した沈下路線と同様に、非沈下路線においても、TVカメラ調査不能区間があったが、表5.13～表5.15の集計には調査不能区間の管本体被害及び延長は含んでいない。

以上の結果より、沈下路線および非沈下路線ごとに管本体被害率を検討すると、以下のようになる（図5.6、図5.7参照）。ただし、前述したように、沈下路線、非沈下路線いずれにおいても管内調査不能区間があり、この区間の被害及び延長はカウントされていないことに注意しなければならない。

- 1) 管渠の沈下と地盤変状の有無の関係を表5.8および表5.14より抜き出すと表5.16のようになる。これによれば、地盤変状が無しの場合には、沈下の生じない管渠延長が3697 mであるのに対して、沈下の生じた管渠延長は113 mに過ぎない。これに対して、地盤変状有りの場合には、全体の約55%に相当する3339 mにおいて管渠の沈下が生じている。したがって、いま、全管渠延長に対する沈下管渠の延長の比により、管渠に沈下が生じている確率（適中率）を定義するものとすれば、図5.8に示すように地盤変状が無い場合には、管渠の沈下が発生している確率は3%となるのに対して、地盤変状が有る場合には、管渠の沈下が発生している確率は55%となる。
- 2) 管体の亀裂は、沈下路線では18.0箇所/km（表5.12参照）であるのに対し、非沈下路線では20.0箇所/kmであり、両者にはほとんど差が認められない（両者の被害率を延長を考慮して平均すると、19.3箇所/kmとなる）。
- 3) 沈下路線においては、管径が大きくなると、管本体被害率は低下するように見える。 $\phi 700$ mm以上では被害は生じていないが、これは、該当する管路がほとんど存在しない（ $\phi 1000 \sim 1350$ mmの管渠で27.45 mあるのみ）ためである。一方、非沈下路線においては $\phi 700$ mm以上においても被害が生じているが、管径と管本体被害率の間に、明確な関連は見出せない。なお、管径が700～900 mmにおいて、被害率が特に高くなっているが、これは、この範ちゅうに属する34箇所の被害のうち32箇所が樽子山線（延長406.27 m、昭和29年施工）1線において生じている。
- 4) 埋設深度と管渠被害率の間には明確な関係が認められない。
- 5) 地盤変状の有無と管渠被害率の関係は、表5.17のようになり、沈下路線、非沈下路線のいずれにおいても地盤変状無しの方が地盤変状有りの2倍程度の被害率を示している。

表 5. 8 沈下路線における被害延長クロス集計表（能代市，B ランク）

単位〔m〕

			被害 延長	管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
被害延長			3452.27	1372.74	2052.08	0	27.45	971.90	2172.02	20.75	287.60	3338.83	113.44
管 径	D ₁	200mm～380mm		1372.74	—	—	—	786.80	585.94	0	0	1259.30	113.44
	D ₂	400mm～650mm			2052.08	—	—	185.10	1558.63	20.75	287.60	2052.08	0
	D ₃	700mm～900mm				0	—	0	0	0	0	0	0
	D ₄	1000mm～1350mm					27.45	0	27.45	0	0	27.45	0
埋 設 深 度	H ₁	$H \leq 1.5m$						971.90	—	—	—	971.90	0
	H ₂	$1.5m < H \leq 2.5m$							2172.02	—	—	2058.58	113.44
	H ₃	$2.5m < H \leq 3.5m$								20.75	—	20.75	0
	H ₄	$3.5m < H$									287.60	287.60	0
地 盤 変 状	有											3338.83	—
	無												113.44

表 5.9 下水道管渠の調査延長クロス集計表（能代市，B ランク）

単位〔m〕

			調 査 延 長	管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
調 査 延 長			9848.11	2853.32	3877.31	536.41	2581.07	2414.10	4624.67	612.12	2197.22	6037.29	3810.82
管 径	D ₁	200mm～380mm		2853.32	—	—	—	1421.15	1432.17	0	0	2117.25	736.07
	D ₂	400mm～650mm			3877.31	—	—	992.95	2522.21	74.55	287.60	3165.43	711.88
	D ₃	700mm～900mm				536.41	—	0	417.80	118.61	0	0	536.41
	D ₄	1000mm～1350mm					2581.07	0	252.49	418.96	1909.62	754.61	1826.46
埋 設 深 度	H ₁	$H \leq 1.5 m$						2414.10	—	—	—	2270.90	143.20
	H ₂	$1.5 m < H \leq 2.5 m$							4624.67	—	—	2749.48	1875.19
	H ₃	$2.5 m < H \leq 3.5 m$								612.12	—	74.55	537.57
	H ₄	$3.5 m < H$									2197.22	942.36	1254.86
地 盤 変 状	有											6037.29	—
	無												3810.82

表 5.10 下水道管渠沈下被害発生率クロス集計表（能代市，Bランク）

単位〔％〕

			沈下 被害率	管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
沈下被害率			35.1	48.1	52.9	0	1.1	40.3	47.0	3.4	13.1	55.3	3.0
管 径	D ₁	200㎜～380㎜		48.1	—	—	—	55.4	40.9	0	0	59.5	15.4
	D ₂	400㎜～650㎜			52.9	—	—	18.6	61.8	27.8	100	64.8	0
	D ₃	700㎜～900㎜				0	—	—	0	0	—	—	0
	D ₄	1000㎜～1350㎜					1.1	—	10.9	0	0	3.6	0
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m						40.3	—	—	—	42.8	0
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m							47.0	—	—	74.9	6.0
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m								3.4	—	27.8	0
	H ₄	3.5 m < H									13.1	30.5	0
地 盤 変 状	有											55.3	—
	無												3.0

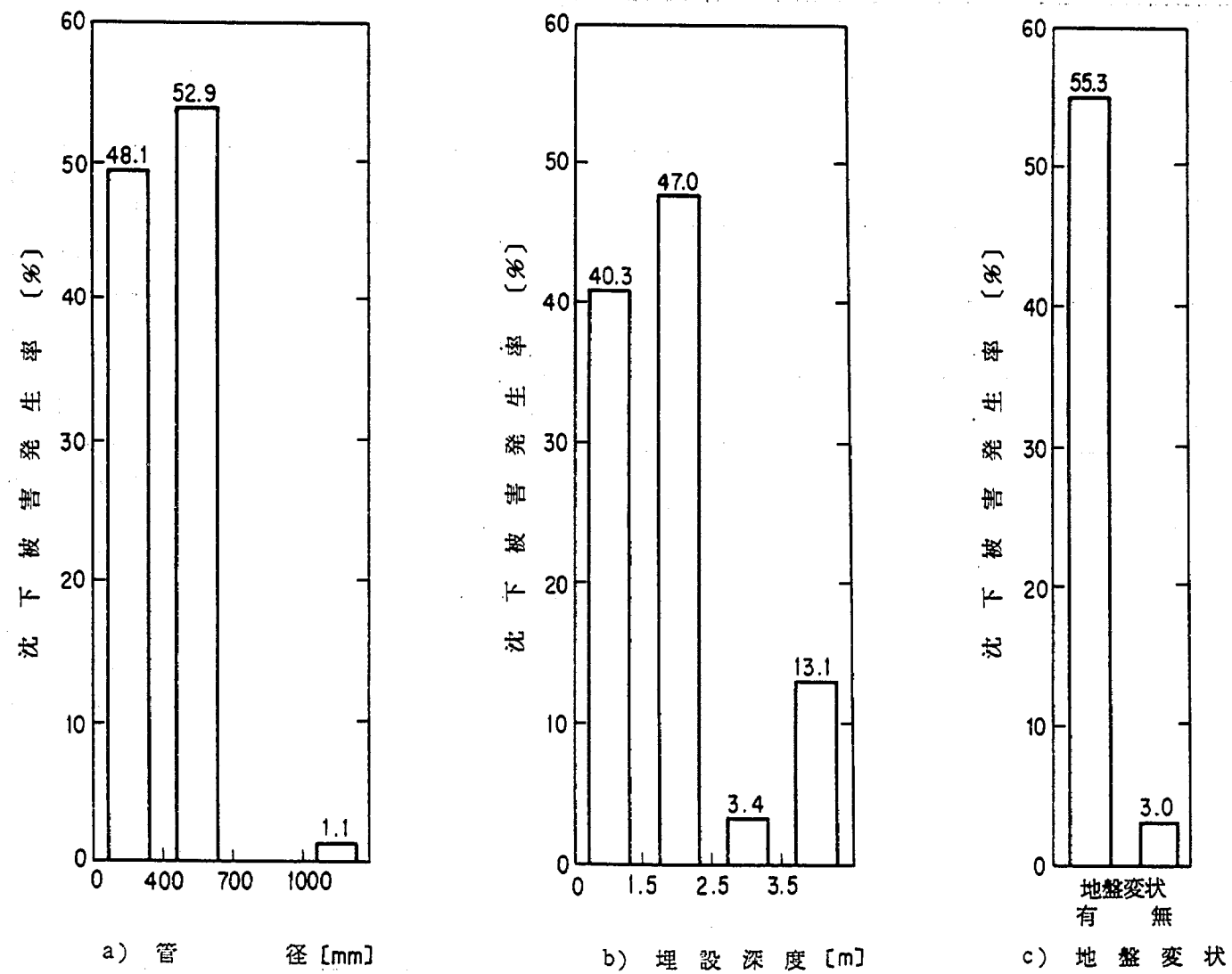


図 5.5 管渠沈下被害発生率の単純集計 (能代市, B ランク)

表 5.11 沈下路線における管本体被害箇所のクロス集計表（能代市，Bランク）

単位〔箇所〕

		被害状況		管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
		管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
被害状況	管 体	62	—	38	24	0	0	32	27	0	3	57	5
	管 口		21	4	17	0	0	5	12	0	4	21	0
管 径	D ₁	200mm～380mm		42	—	—	—	33	9	0	0	37	5
	D ₂	400mm～650mm			41	—	—	4	30	0	7	41	0
	D ₃	700mm～900mm				0	—	0	0	0	0	0	0
	D ₄	1000mm～1350mm					0	0	0	0	0	0	0
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m						37	—	—	—	37	0
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m							39	—	—	34	5
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m								0	—	0	0
	H ₄	3.5 m < H									7	7	0
地盤変状	有											78	—
	無												5

表 5.12 沈下路線における管本体被害率クロス集計表（能代市，Bランク）

単位〔箇所/km〕

		被害状況		管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
		管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
被害状況	管 体	18.0	—	27.7	11.7	0	0	32.9	12.4	0	10.4	17.1	44.1
	管 口		6.1	2.9	8.3	0	0	5.1	5.5	0	13.9	6.3	0
管 径	D ₁ 200mm～380mm			30.6	—	—	—	41.9	15.4	0	0	29.4	44.1
	D ₂ 400mm～650mm				20.0	—	—	21.6	19.2	0	24.3	20.0	0
	D ₃ 700mm～900mm					0	—	0	0	0	0	0	0
	D ₄ 1000mm～1350mm						0	0	0	0	0	0	0
埋 設 深 度	H ₁ H ≤ 1.5 m							38.1	—	—	—	38.1	0
	H ₂ 1.5 m < H ≤ 2.5 m								18.0	—	—	16.5	44.1
	H ₃ 2.5 m < H ≤ 3.5 m									0	—	0	0
	H ₄ 3.5 m < H										24.3	24.3	0
地盤変状	有											23.4	—
	無												44.1

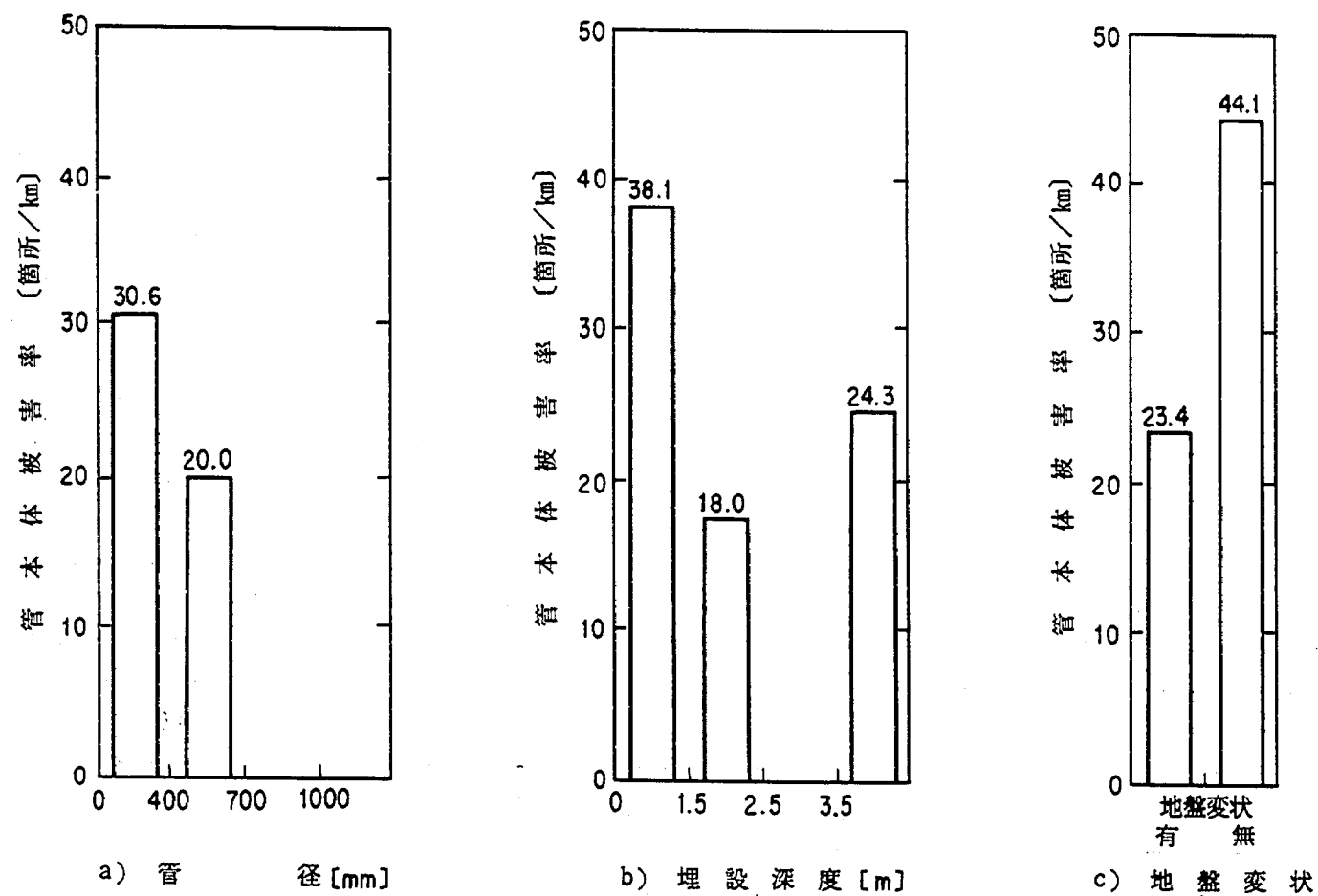


図 5.6 沈下路線における管本体被害率の単純集計 (能代市, B ランク)

表 5.13 非沈下路線における管本体被害箇所のクロス集計表（能代市，Bランク）

単位〔箇所〕

		被害状況		管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
		管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
被害状況	管 体	128	—	30	32	22	44	13	63	19	33	31	97
	管 口		76	18	17	12	29	10	36	10	20	23	53
管 径	D ₁ 200mm～380mm			48	—	—	—	17	31	0	0	22	26
	D ₂ 400mm～650mm				49	—	—	6	42	1	0	18	31
	D ₃ 700mm～900mm					34	—	0	24	10	0	—	34
	D ₄ 1000mm～1350mm						73	0	2	18	53	14	59
埋 設 深 度	H ₁ H ≤ 1.5 m							23	—	—	—	23	0
	H ₂ 1.5 m < H ≤ 2.5 m								99	—	—	16	83
	H ₃ 2.5 m < H ≤ 3.5 m									29	—	1	28
	H ₄ 3.5 m < H										53	14	39
地盤変状	有											54	—
	無												150

表 5.14 非沈下路線における管渠被害延長クロス集計表（能代市，Bランク）

単位〔m〕

		被害状況		管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
		管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
被害状況	管 体	6395.84	—	1480.58	1825.23	536.41	2553.62	1442.20	2452.65	591.37	1909.62	2698.46	3697.38
	管 口		6395.84	1480.58	1825.23	536.41	2553.62	1442.20	2452.65	591.37	1909.62	2698.46	3697.38
管 径	D ₁ 200㎜～380㎜			1480.58	—	—	—	634.35	846.23	0	0	857.95	622.63
	D ₂ 400㎜～650㎜				1825.23	—	—	807.85	963.58	53.80	0	1113.35	711.88
	D ₃ 700㎜～900㎜					536.41	—	0	417.80	118.61	0	0	536.41
	D ₄ 1000㎜～1350㎜						2553.62	0	225.04	418.96	1909.62	727.16	1826.46
埋 設 深 度	H ₁ H ≤ 1.5 m							1442.20	—	—	—	1299.00	143.20
	H ₂ 1.5 m < H ≤ 2.5 m								2452.65	—	—	690.90	1761.75
	H ₃ 2.5 m < H ≤ 3.5 m									591.37	—	53.80	537.57
	H ₄ 3.5 m < H ≤										1909.62	654.76	1254.86
地盤変状	有											2698.46	—
	無												3697.38

表 5.15 非沈下路線における管本体被害率クロス集計表（能代市，Bランク）

単位〔箇所/km〕

		被害状況		管 径				埋 設 深 度				地 盤 変 状	
		管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	有	無
被害状況	管 体	20.0	—	20.3	17.5	41.0	17.2	9.0	25.7	32.1	17.3	11.5	26.2
	管 口		11.9	12.2	9.3	22.4	11.4	6.9	14.7	16.9	10.5	8.5	14.3
管 径	D ₁ 200mm～380mm			32.4	—	—	—	26.8	36.6	0	0	25.6	41.8
	D ₂ 400mm～650mm				26.8	—	—	7.4	43.6	18.6	0	16.2	43.5
	D ₃ 700mm～900mm					63.4	—	0	57.4	84.3	0	0	63.4
	D ₄ 1000mm～1350mm						28.6	0	8.9	43.0	27.8	19.3	32.3
埋 設 深 度	H ₁ H≤1.5m							15.9	—	—	—	17.7	0
	H ₂ 1.5m<H≤2.5m								40.4	—	—	23.2	47.1
	H ₃ 2.5m<H≤3.5m									49.0	—	18.6	52.1
	H ₄ 3.5m<H										27.8	21.4	31.1
地盤変状	有											20.0	—
	無												40.6

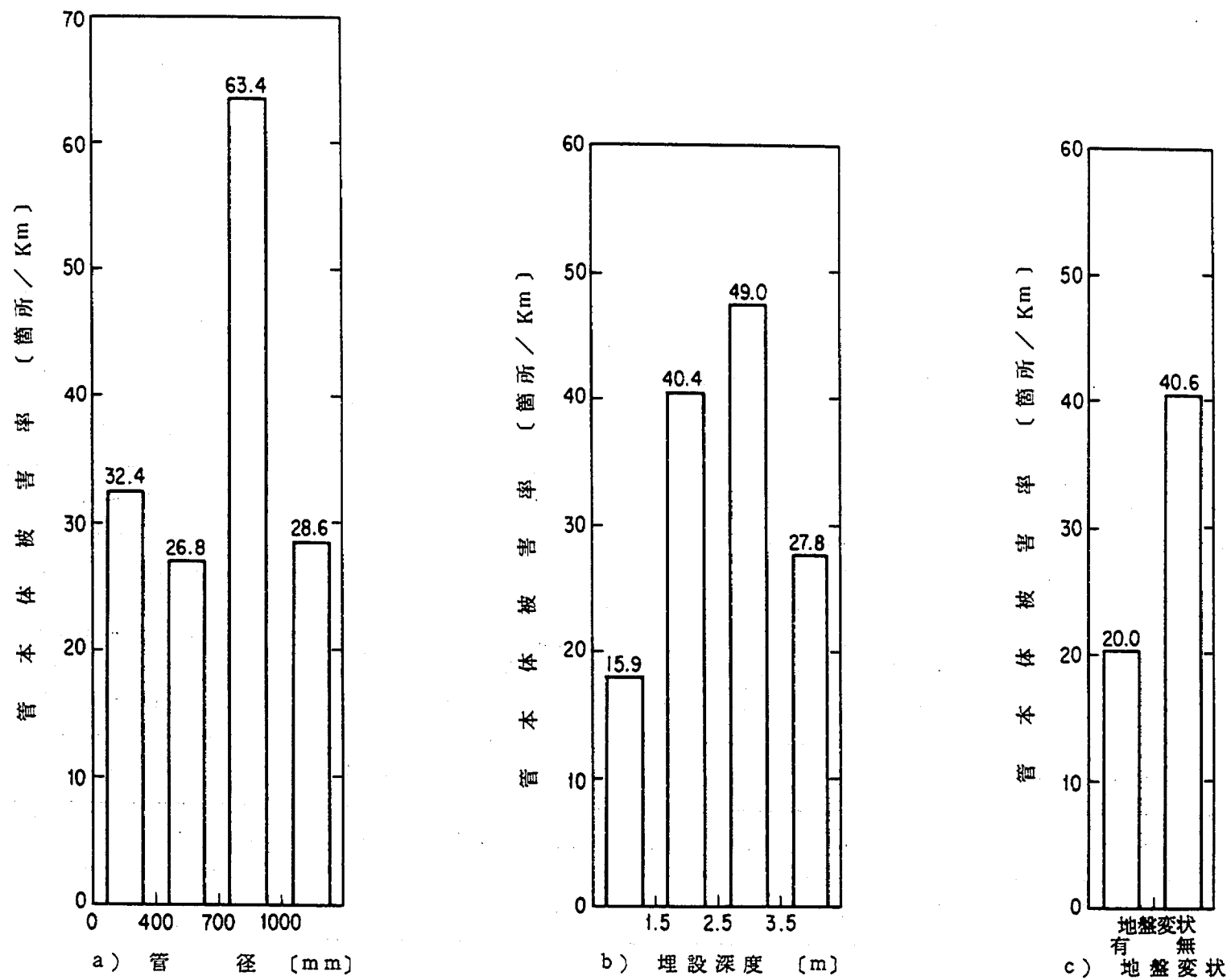


図 5.7 非沈下路線における管本体被害率の単純集計結果（能代市，B ランク）

表 5.16 管渠沈下と地盤変状の関係（管路延長で表わした場合）

		地 盤 変 状	
		有	無
管 渠 沈 下	有	3 3 3 8.8 3 m	1 1 3.4 4 m
	無	2 6 9 8.4 6 m	3 6 9 7.3 8 m

表 5.17 能代市における管本体被害率と地盤変状の関係

単位（箇所/km）

		地 盤 変 状	
		有	無
管 渠 沈 下	有	2 3. 4	4 4. 1
	無	2 0. 0	4 0. 6

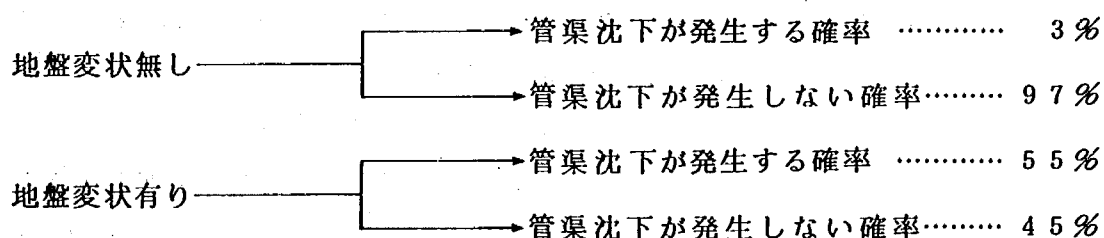


図 5.8 地盤変状と管渠沈下被害発生確率

5. 2. 3 地盤変状路線および非地盤変状路線に分類した調査

前述した沈下路線と非沈下路線の区分は、地盤変状、つまり液状化の発生箇所の区分とは必ずしも1対に対応していないため、ここでは地盤変状の有無が管渠の被害にどのように関係しているかを検討することとする。

下水道管路の被害調査延長を地盤変状の有無に着目した集計は、表 5. 18 および表 5. 23 に示すとおりである。地盤変状ありの調査延長は 6. 0 km、非地盤変状の調査延長は 3. 8 km であり、地盤変状地区の管路延長が 60 % を占めている、また、地盤変状地区では小口径管 ($\phi 650$ 以下) が 90 % を占めているのに対し、非地盤変状地区では大口径管 ($\phi 1000$ 以上) が 48 % を占めている。管径の分布は埋設深さと強い相関があるため、地盤変状地区での埋設深さが浅く、非地盤変状地区では埋設深さが深い傾向があるとみてもよい。

下水道管本体および目地の被害箇所数のクロス集計は、表 5. 19 ~ 5. 20 および表 5. 24 ~ 5. 25 に、また、これより求めた被害率は表 5. 21 ~ 5. 22 および表 5. 26 ~ 5. 27 にそれぞれ示すとおりである。

これらの結果より、地盤変状地区および非地盤変状地区における管渠被害率を検討すると以下ようになる(図 5. 9 ~ 5. 12 参照)。

- 1) 管体被害率は、地盤変状地域においては、14.6 箇所/km であるのに対して、非地盤変状地域においては、26.8 箇所/km となっており、前者に比較して後者は 1.86 倍となっている。また、これに管口の被害を加えた管本体被害率は、地盤変状地域においては 21.9 箇所/km であるのに対して、非地盤変状地域においては 40.7 箇所/km となる。一方、目地被害については、地盤変状地域、非地盤変状地域では、それぞれ、228.4 箇所/km、255.9 箇所/km となり、両者には大きな違いはない。
- 2) 目地被害率に関しては、管径および埋設深度との相関がみられる。特に非地盤変状地区では管径が大きくなる程、また、埋設深度が深くなる程被害率が低減する傾向がある。
- 3) 管本体被害率に関しては、地盤変状地域では管径および埋設深度が増えると、被害率は減少していく傾向が認められる。しかし非地盤変状地域においては、このようなはっきりした関係は認められない。

表 5. 18 地盤変状地域における下水道管渠（総延長 6037.29 m）の調査延長

（能代市，Bランク）

単位（m）

		被害状況		管 径				埋 設 深 度			
		管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害状況	管 体	6037.29	—	2117.25	3165.43	0	754.61	2270.90	2749.48	74.55	942.36
	管 口		6037.29	2117.25	3165.43	0	754.61	2270.90	2749.48	74.55	942.36
管 径	D ₁ 200～380 mm			2117.25	—	—	—	1421.15	696.10	0	0
	D ₂ 400～650 mm				3165.43	—	—	849.75	1953.53	74.55	287.60
	D ₃ 700～900 mm					0	—	0	0	0	0
	D ₄ 1000～1350 mm						754.61	0	99.85	0	654.76
埋 設 深 度	H ₁ H≤1.5m							2270.90	—	—	—
	H ₂ 1.5m<H≤2.5m								2749.48	—	—
	H ₃ 2.5m<H≤3.5m									74.55	—
	H ₄ 3.5m<H										942.36

表 5. 19 地盤変状地域における管本体被害箇所数（能代市，Bランク）

単位（箇所）

		被害状況		管 径				埋 設 深 度			
		管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害状況	管 体	88	—	47	35	0	6	45	34	1	8
	管 口		44	12	24	0	8	15	16	0	13
管 径	D ₁ 200～380 mm			59	—	—	—	50	9	0	0
	D ₂ 400～650 mm				59	—	—	10	41	1	7
	D ₃ 700～900 mm					0	—	0	0	0	0
	D ₄ 1000～1350 mm						14	0	0	0	14
埋 設 深 度	H ₁ H≤1.5m							60	—	—	—
	H ₂ 1.5m<H≤2.5m								50	—	—
	H ₃ 2.5m<H≤3.5m									1	—
	H ₄ 3.5m<H										21

表 5. 20 地盤変状地域における下水道管渠の目地被害箇所数（能代市，Bランク）

単位（箇所）

			目 地 被 害	管 径				埋 設 深 度			
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
目 地 被 害			1379	672	666	0	41	619	681	28	51
管 径	D ₁	200 ~ 380 ㎜		672	—	—	—	453	219	0	0
	D ₂	400 ~ 650 ㎜			666	—	—	166	461	28	11
	D ₃	700 ~ 900 ㎜				0	—	0	0	0	0
	D ₄	1000 ~ 1350 ㎜					41	0	1	0	40
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5 m						619	—	—	—
	H ₂	1.5 m < H ≤ 2.5 m							681	—	—
	H ₃	2.5 m < H ≤ 3.5 m								28	—
	H ₄	3.5 m < H									51

表 5. 21 地盤変状地域における管本体被害率（能代市，Bランク）

単位（箇所）

			被 害 状 況		管 径				埋 設 深 度			
			管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被 害 状 況	管 体		14.6	—	22.2	11.1	0	8.0	19.8	12.4	13.4	8.5
	管 口			7.3	5.7	7.6	0	10.6	6.6	5.8	0	13.8
管 径	D ₁	200～380 ㎜			27.9	—	—	—	35.2	12.9	0	0
	D ₂	400～650 ㎜				18.6	—	—	11.8	21.0	13.4	24.3
	D ₃	700～900 ㎜					0	—	0	0	0	0
	D ₄	1000～1350 ㎜						18.6	0	0	0	21.4
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5m							26.4	—	—	—
	H ₂	1.5m < H ≤ 2.5m								18.2	—	—
	H ₃	2.5m < H ≤ 3.5m									13.4	—
	H ₄	3.5m < H										22.3

表 5.22 地盤変状地域における下水道管渠の目地被害率（能代市，Bランク）

単位（箇所/km）

			目 地 被 害	管 径				埋 設 深 度			
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
目 地 被 害			228.4	317.4	210.4	0	54.3	272.6	247.7	375.6	54.1
管 径	D ₁	200～380 mm		317.4	—	—	—	318.8	314.6	0	0
	D ₂	400～650 mm			210.4	—	—	195.4	236.0	375.6	38.2
	D ₃	700～900 mm				0	—	0	0	0	0
	D ₄	1000～1350 mm					54.3	0	10.0	0	61.1
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5m						272.6	—	—	—
	H ₂	1.5m < H ≤ 2.5m							247.7	—	—
	H ₃	2.5m < H ≤ 3.5m								375.6	—
	H ₄	3.5m < H									54.1

表 5.23 非地盤変状地域における下水道管渠の調査延長（能代市，Bランク）

単位（m）

			被 害 状 況		管 径				埋 設 深 度			
			管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害 状況	管 体		3810.82	—	736.07	711.88	536.41	1826.46	143.2	1875.19	537.57	1254.86
	管 口			3810.82	736.07	711.88	536.41	1826.46	143.2	1875.19	537.57	1254.86
管 径	D ₁	200～380 mm			736.07	—	—	—	0	736.07	0	0
	D ₂	400～650 mm				711.88	—	—	143.2	568.68	0	0
	D ₃	700～900 mm					536.41	—	0	417.80	118.61	0
	D ₄	1000～1350 mm						1826.46	0	152.64	418.96	1254.86
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5m							143.2	—	—	—
	H ₂	1.5m < H ≤ 2.5m								1875.19	—	—
	H ₃	2.5m < H ≤ 3.5m									537.57	—
	H ₄	3.5m < H										1254.86

表 5. 24 非地盤変状地域における管本体被害箇所数（能代市，Bランク）

単位（箇所）

			被害状況		管 径				埋 設 深 度			
			管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害状況	管 体		102	—	21	21	22	38	0	56	18	28
	管 口			53	10	10	12	21	0	32	10	11
管 径	D ₁	200～380 ㎜			31	—	—	—	0	31	0	0
	D ₂	400～650 ㎜				31	—	—	0	31	0	0
	D ₃	700～900 ㎜					34	—	0	24	10	0
	D ₄	1000～1350 ㎜						59	0	2	18	39
埋 設 深 度	H ₁	H≤1.5m							0	—	—	—
	H ₂	1.5m<H≤2.5m								88	—	—
	H ₃	2.5m<H≤3.5m									28	—
	H ₄	3.5m<H										39

表 5. 25 非地盤変状地域における下水道管渠の目地被害箇所数（能代市，Bランク）

単位（箇所）

			目 地 被 害	管 径				埋 設 深 度			
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
目 地 被 害			975	283	233	150	309	0	667	112	196
管 径	D ₁	200 ~ 380 ㎜		283	—	—	—	0	283	0	0
	D ₂	400 ~ 650 ㎜			233	—	—	0	233	0	0
	D ₃	700 ~ 900 ㎜				150	—	0	105	45	0
	D ₄	1000 ~ 1350 ㎜					309	0	46	67	196
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5m						0	—	—	—
	H ₂	1.5m < H ≤ 2.5m							667	—	—
	H ₃	2.5m < H ≤ 3.5m								112	—
	H ₄	3.5m < H									196

表 5. 26 非地盤変状地域における管本体被害率（能代市，Bランク）

単位（箇所/km）

			被害状況		管 径				埋 設 深 度			
			管 体	管 口	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
被害状況	管 体		26.8	—	28.5	29.5	41.0	20.8	0	29.9	33.5	22.3
	管 口			13.9	13.6	14.0	22.4	11.5	0	17.1	18.6	8.8
管 径	D ₁	200 ~ 380 mm			42.1	—	—	—	0	42.1	0	0
	D ₂	400 ~ 650 mm				43.5	—	—	0	54.5	0	0
	D ₃	700 ~ 900 mm					63.4	—	0	57.4	84.3	0
	D ₄	1000 ~ 1350 mm						32.3	0	13.1	43.0	31.1
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5m							0	—	—	—
	H ₂	1.5m < H ≤ 2.5m								46.9	—	—
	H ₃	2.5m < H ≤ 3.5m									52.1	—
	H ₄	3.5m < H										31.1

表 5. 27 非地盤変状地域における下水道管渠の目地被害率（能代市，Bランク）

単位（箇所/km）

			目 地 被 害	管 径				埋 設 深 度			
				D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄
目 地 被 害			255.9	384.5	327.3	279.6	169.2	0	355.7	208.3	156.2
管 径	D ₁	200 ~ 380 ㎜		384.5	—	—	—	0	384.5	0	0
	D ₂	400 ~ 650 ㎜			327.3	—	—	0	409.7	0	0
	D ₃	700 ~ 900 ㎜				279.6	—	0	251.3	379.4	0
	D ₄	1000 ~ 1350 ㎜					169.2	0	301.4	159.9	156.2
埋 設 深 度	H ₁	H ≤ 1.5m						0	—	—	—
	H ₂	1.5m < H ≤ 2.5m							355.7	—	—
	H ₃	2.5m < H ≤ 3.5m								208.3	—
	H ₄	3.5m < H									156.2

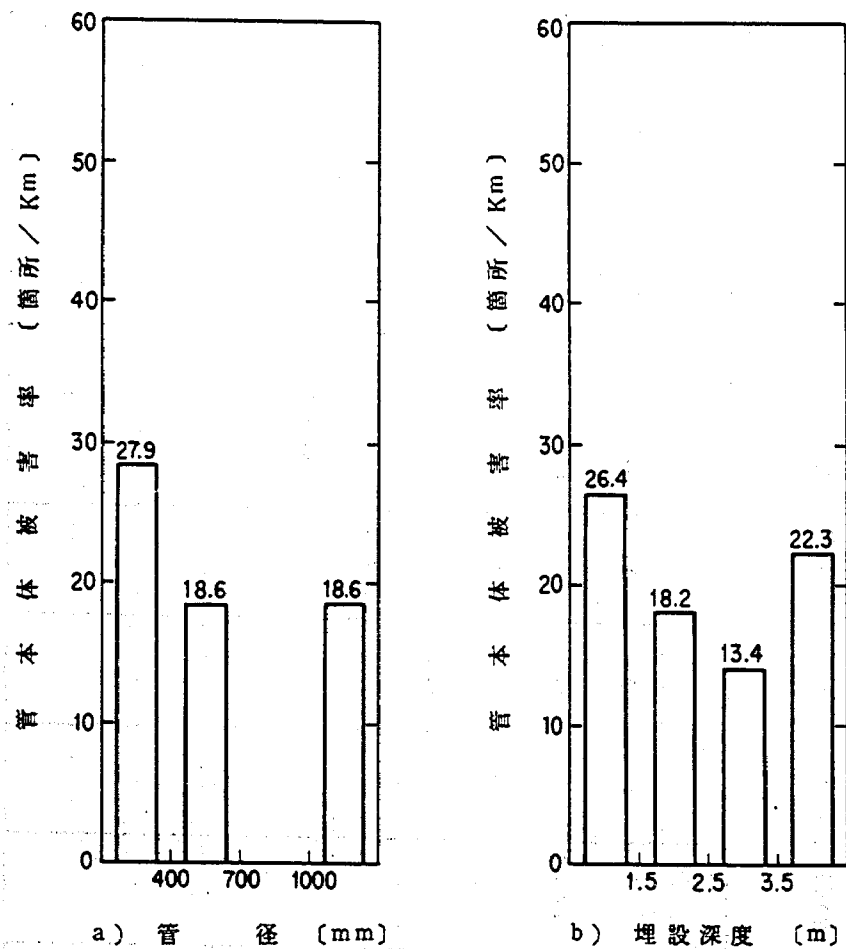


図 5.9 地盤変状地域における管本体被害率
(能代市, Bランク)

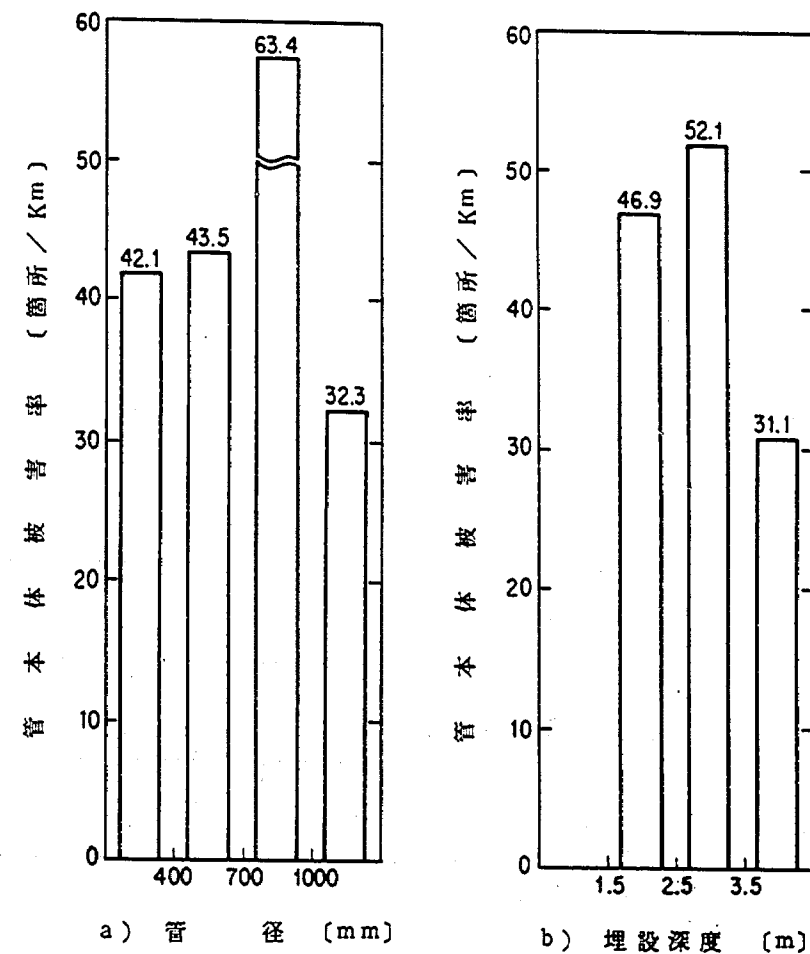


図 5.10 非地盤変状地域における管本体被害率
(能代市, Bランク)

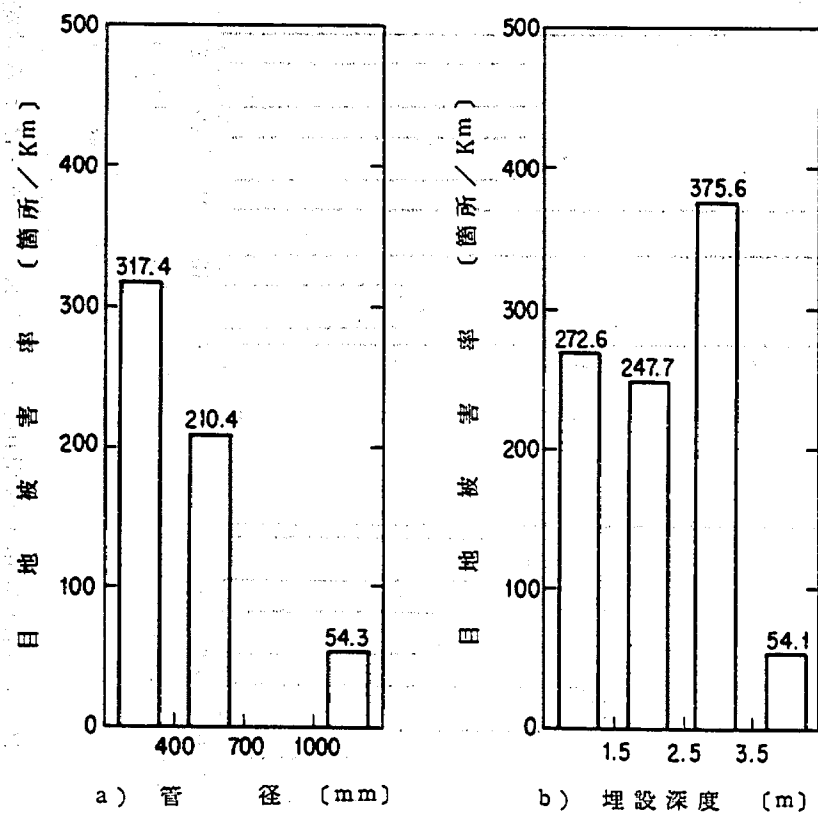


図 5.11 地盤変状地域における管目地被害率
(能代市, Bランク)

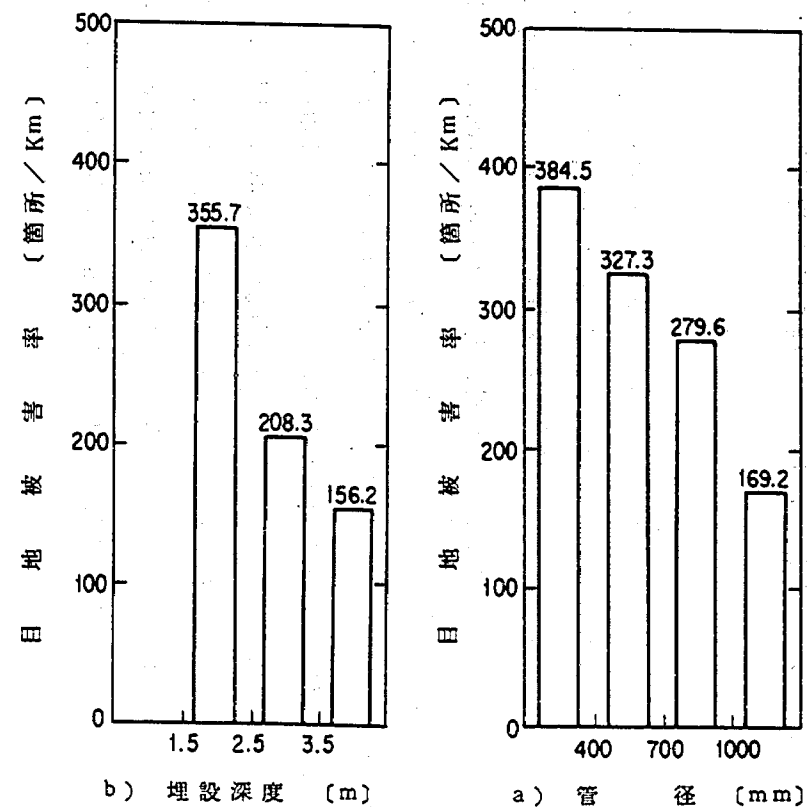


図 5.12 非地盤変状地域における管目地被害率
(能代市, Bランク)

6. VTR調査路線（Aランク）における被害状況の検討

6.1 秋田市

ビデオスケラーでは、目地のずれ量、はなれ量、ひらき量の他に、水深、亀裂幅、取付管の突き出し量などを計測できるが、ここでは、ずれ量、はなれ量、ひらき量、水深について整理を行った。なお、複数の形態が重なっている場合には最も卓越した形態を採った。

各目地のずれ量、ひらき量、すきま量、水深を計測し、マンホール区間での平均値および最大値を求めた。マンホール区間は場所によって長さが異なるが、マンホールによって物理的に区分されている区間であることを考慮してこのような処理をしたものである。図6.1は目地ずれ量の平均値および最大値の頻度分布を示したものである。ここで頻度とは、ずれ量の平均値あるいは最大値がある範囲に入っているマンホール区間の数である。同様に、目地ひらき量およびはなれ量の頻度分布をそれぞれ図6.2、図6.3に示す。ずれ、ひらき、はなれ、いずれの形態でも、当然ながら平均値はこれらの諸量が最も小さい所で頻度が高くなるが、いま、最も頻度の高い最大値に着目すると、ずれ量は10～15 mm、ひらき量は50～60 mm、はなれ量は40～50 mmとなる。

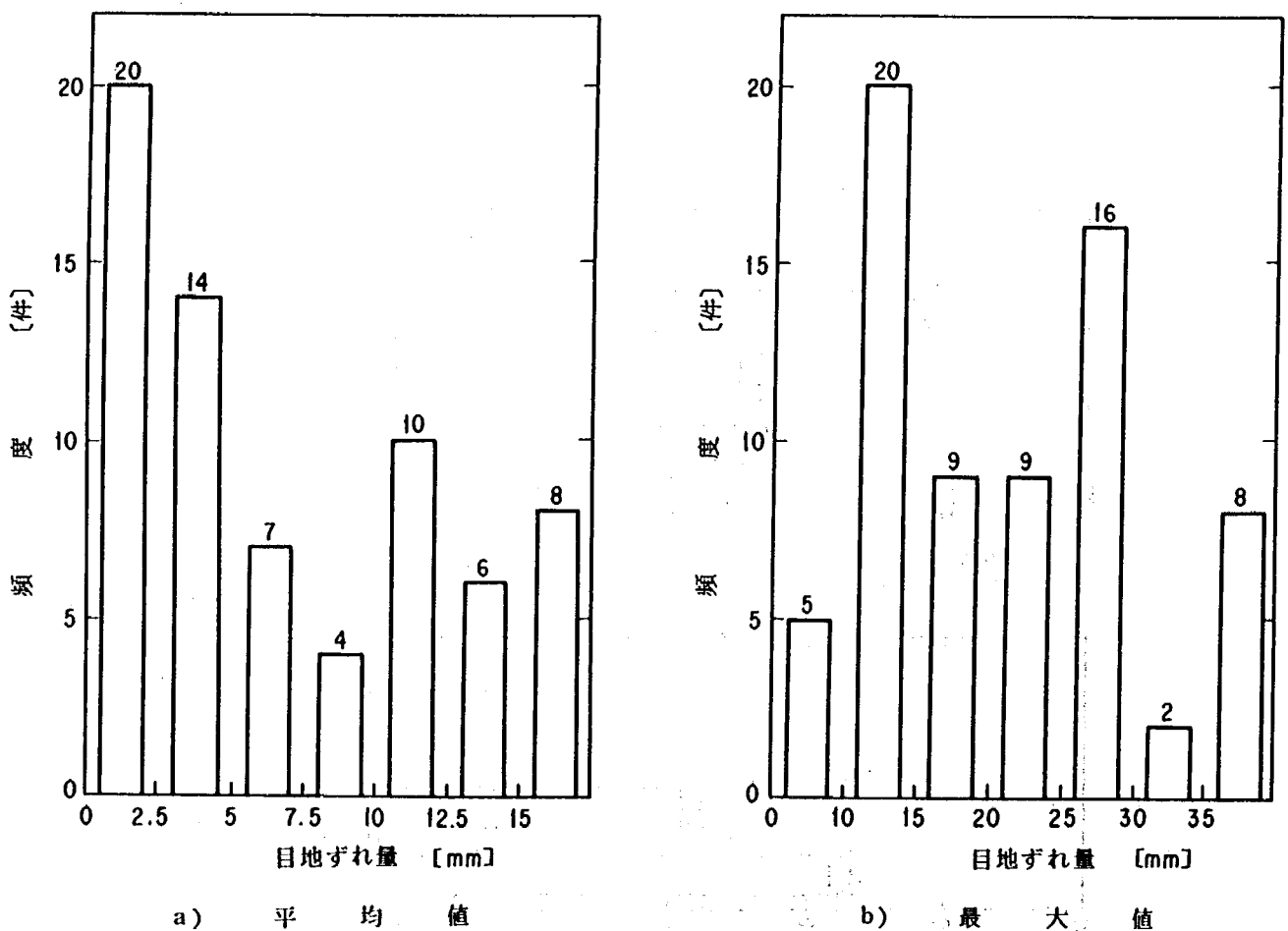


図 6.1 目地ずれ量の頻度分布（秋田市、ビデオスケラーによる計測）

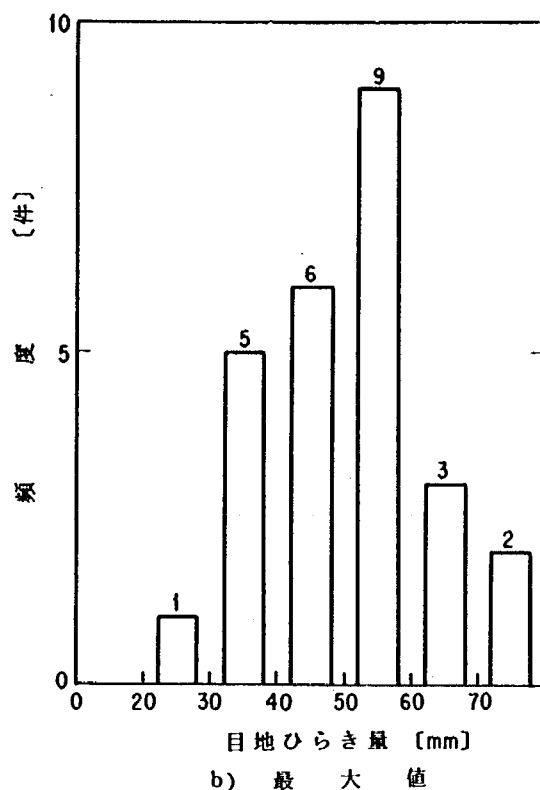
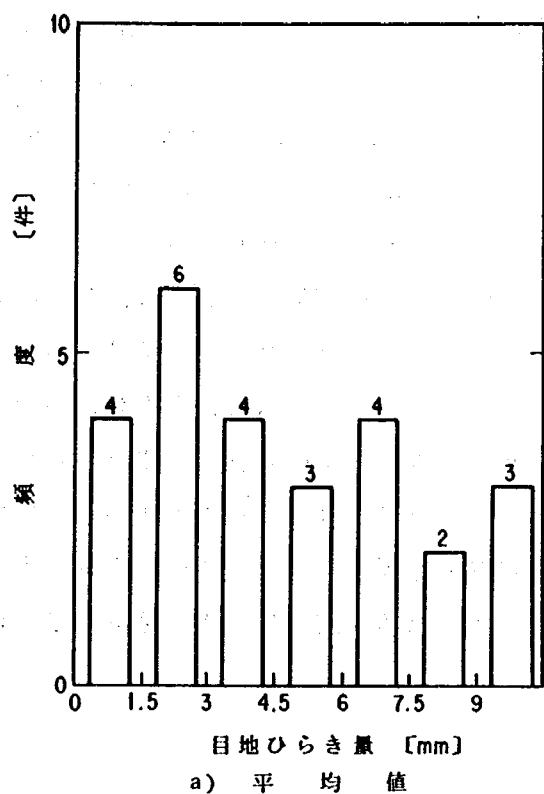


図 6.2 目地ひらき量の頻度分布（秋田市，ビデオスケラーによる計測）

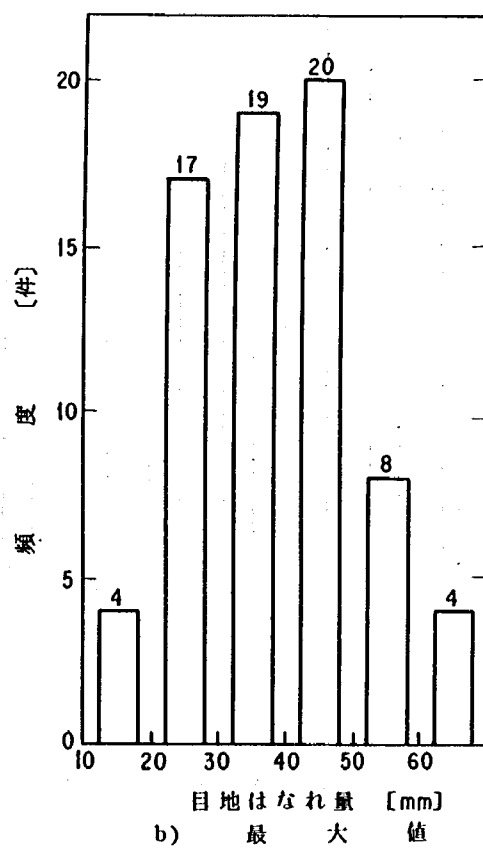
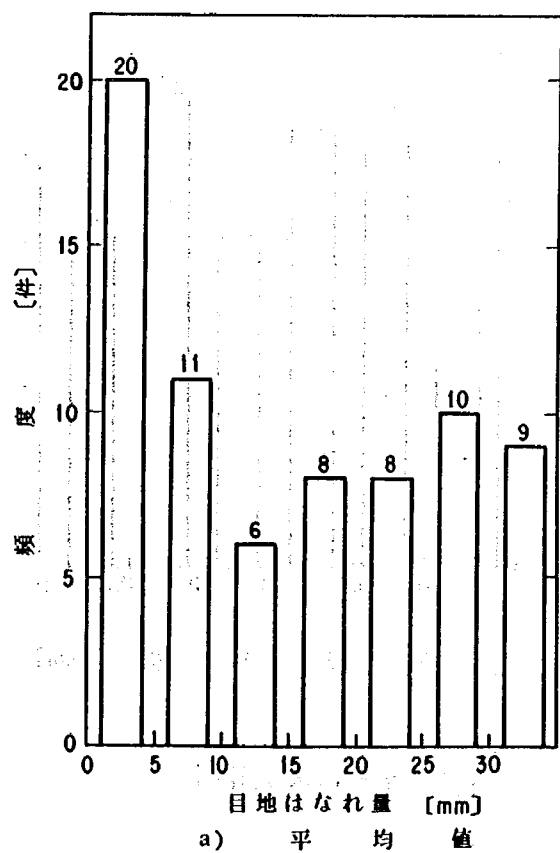


図 6.3 目地はなれ量の頻度分布（秋田市，ビデオスケラーによる計測）

図 6.4 はマンホール区間における水深の標準偏差と最大差の頻度分布を示す。水深とは、TV画面上の水深をそのままビデオスケラーで読みとったものであり、上下方向の蛇行の程度を示していると考えればよい。図 6.4 によれば、水深で 100 mm以上の差が出ているマンホール区間が 20 区間もあり、管渠の傾斜（計画高）を考慮したとしても、かなりのたるみが生じていたことがわかる。次に、マンホール区間で最大の上下方向のずれ（水深の差）がでている箇所を選び、その水深差を管 1 本の長さ（ヒューム管では、 $\phi 350$ 以下が 2 m、それ以上が 243 m）で除して、上下方向の歪（鉛直面上のせん断ひずみ）を求めた。この結果が図 6.5 であり、歪の大きさは 10^{-2} のオーダーとなっている。図 6.5 は、ヒューム管、陶管を合わせた結果であるが、両者では、被害の形態が異なるため、ヒューム管および陶管それぞれに対して歪の頻度分布を求めた結果が図 6.6 および図 6.7 である。これによれば、歪の大きい領域では、陶管が大部分を占めていることがわかる。このようになる原因の 1 つとしては、陶管 1 本の長さは、0.66 ～ 1.5 m の範囲であり、ヒューム管よりも短いため、陶管は、より地盤の動きに追随しているためと考えられる。

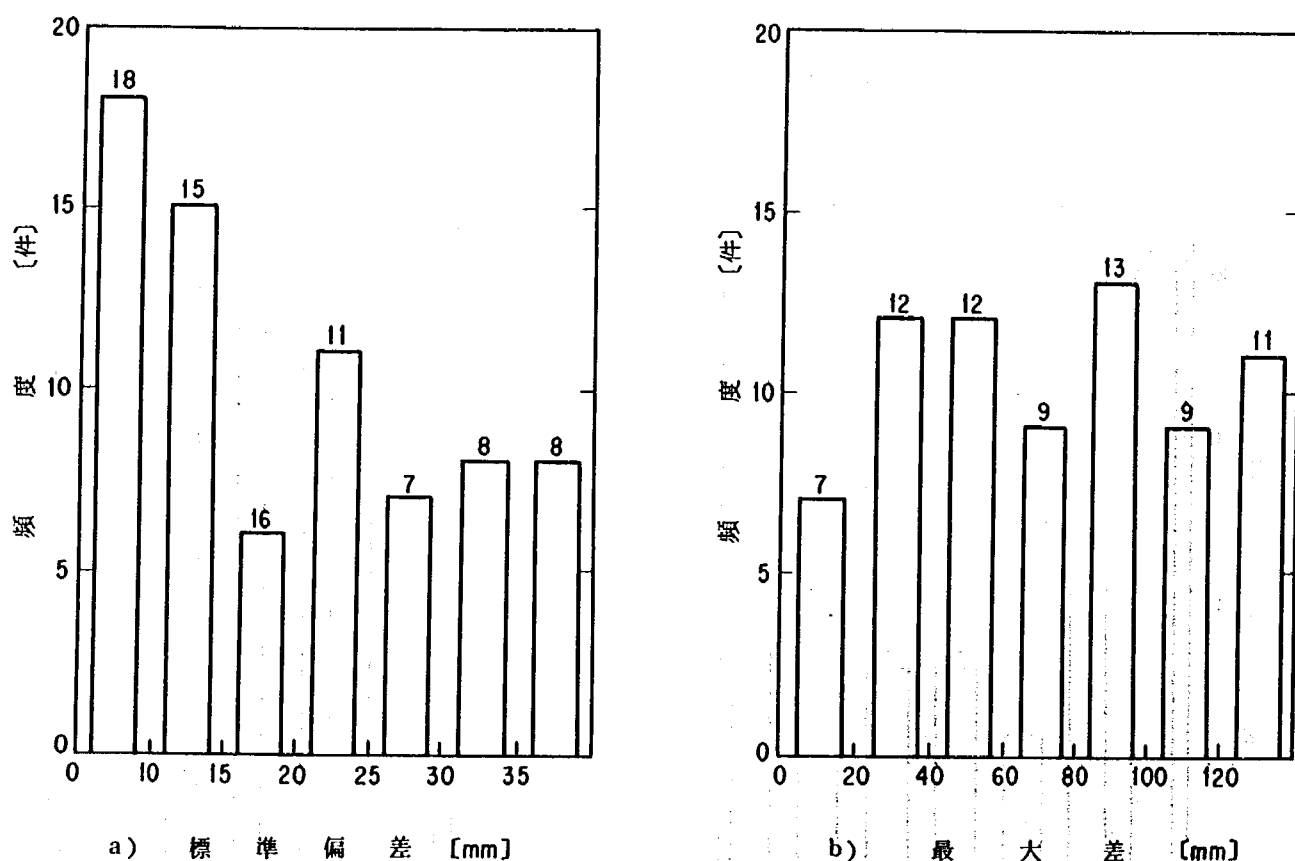


図 6.4 水深の頻度分布（秋田市、ビデオスケラーによる計測）

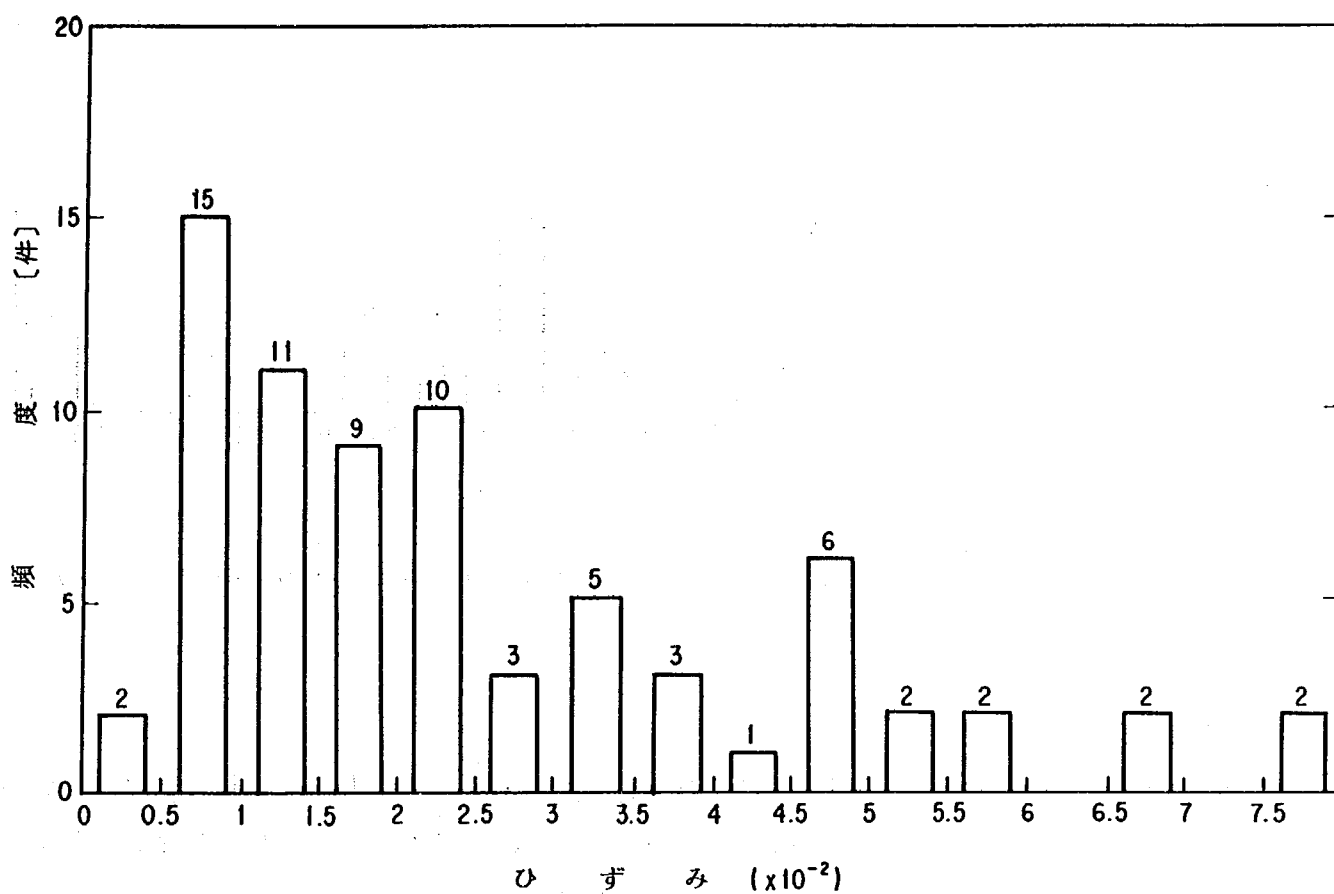


図 6.5 上下方向ひずみの頻度分布（秋田市，ビデオスケーラーによる計測）

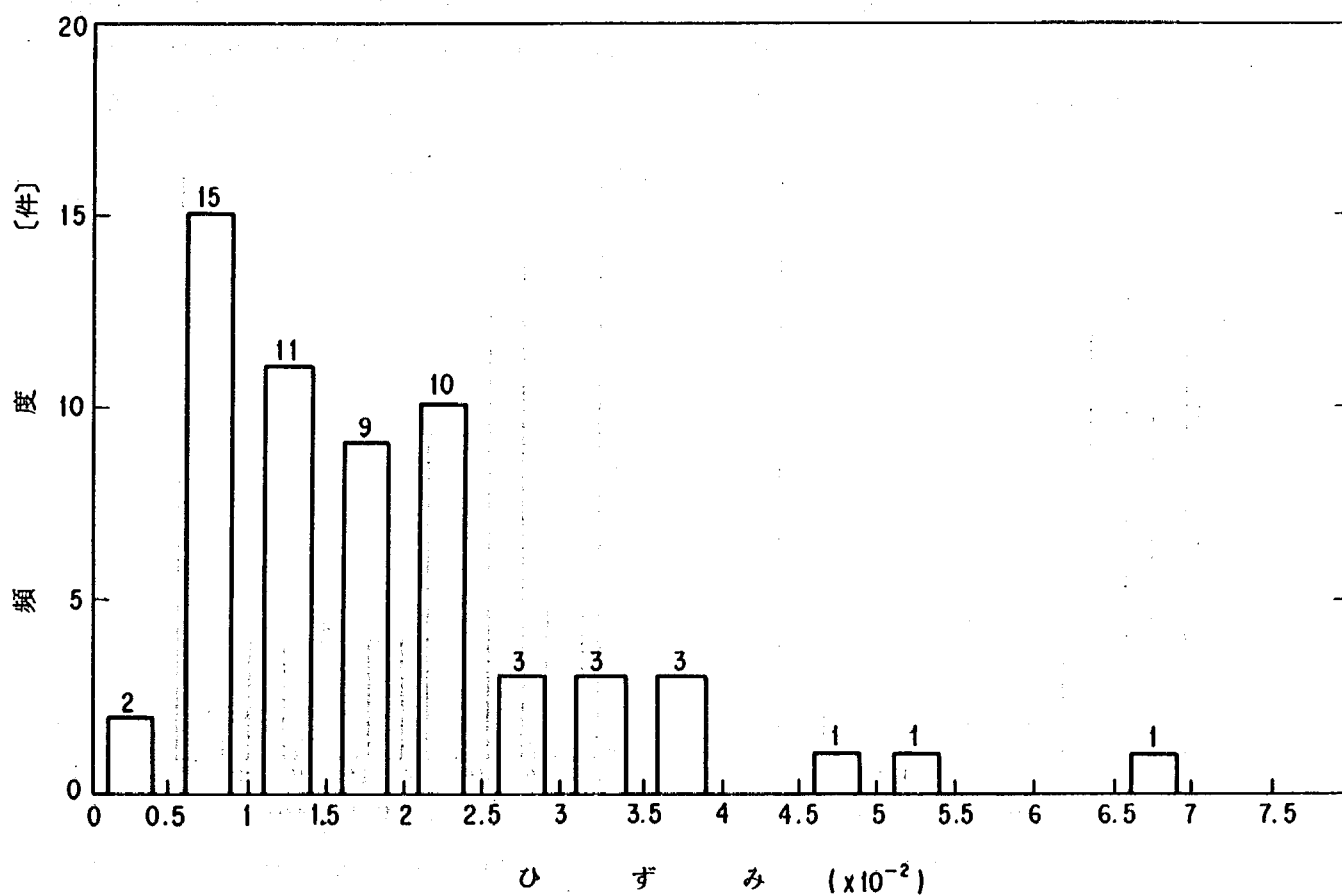


図 6.6 上下方向ひずみの頻度分布（秋田市，ビデオスケーラーによる計測，陶管を除く）

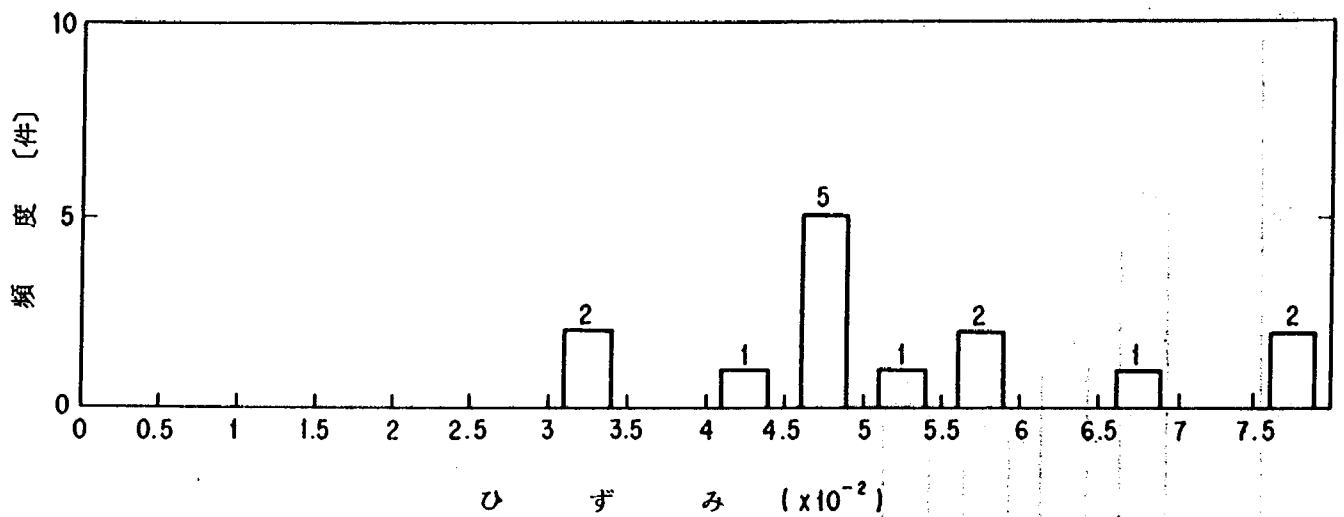


図 6.7 上下方向ひずみの頻度分布（秋田市，ビデオスケーラーによる計測，陶管のみ）

6.2 能代市

図 6.8～図 6.10 は能代市における目地ずれ量，ひらき量，はなれ量の平均値および最大値の頻度分布を示したものである。平均値および最大値の頻度分布の形状については全体として前出の秋田市の場合とよく似た傾向を示しているといえよう。

水深の標準偏差，最大差および上下方向の歪の分布をそれぞれ図 6.11，図 6.12 に示す。図 6.12 と秋田市における陶管を除く管種（ヒューム管+塩ビ管）に対して求めたひずみの分布（図 6.6 参照）を比較すると，両者はよく似た特性を示していると考えることができる。

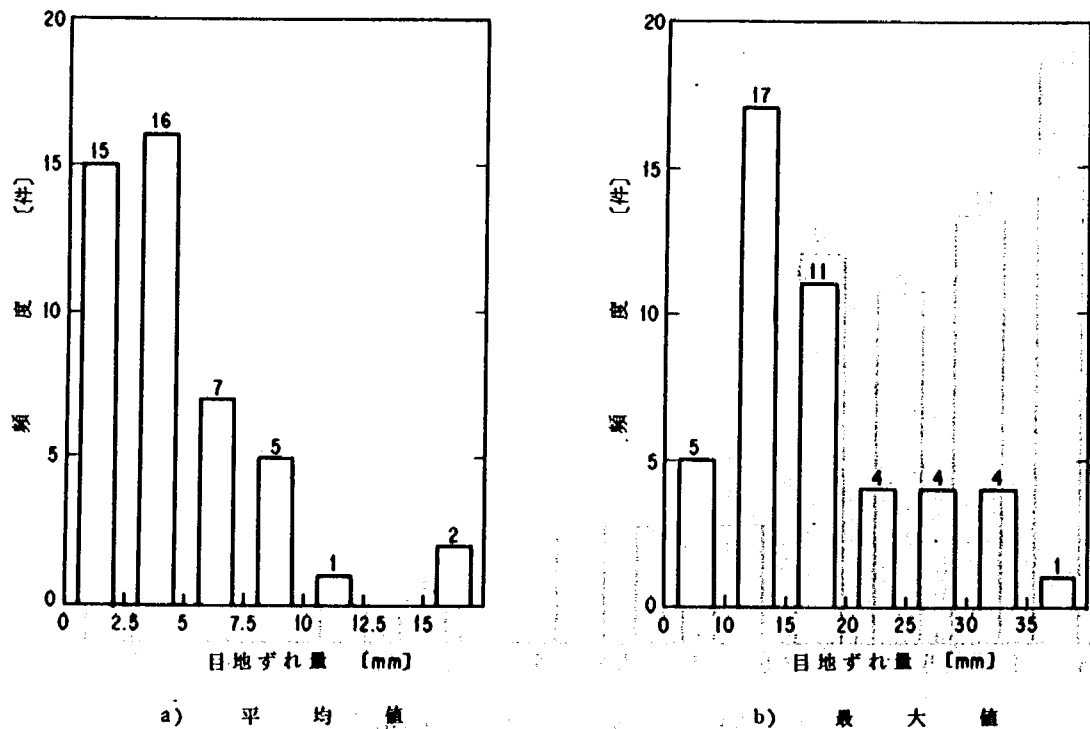
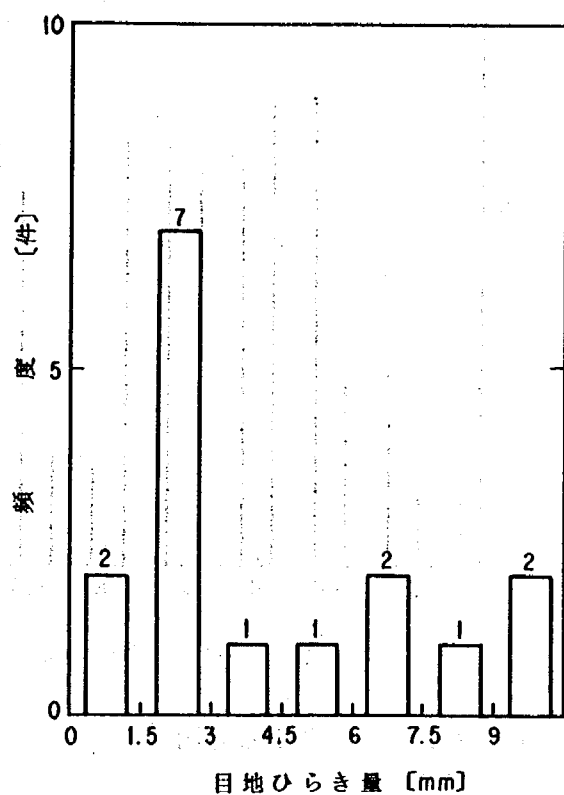
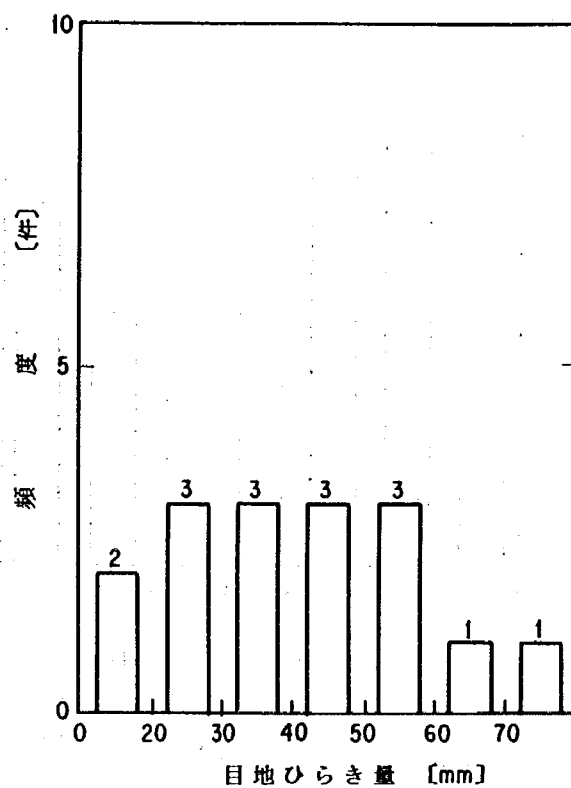


図 6.8 目地ずれ量の頻度分布（能代市，ビデオスケーラーによる計測）

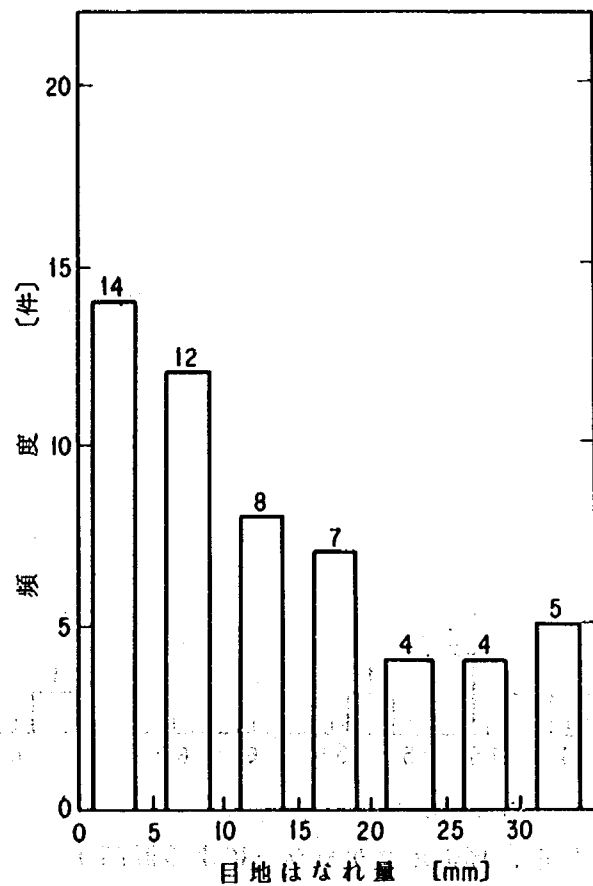


a) 平均値

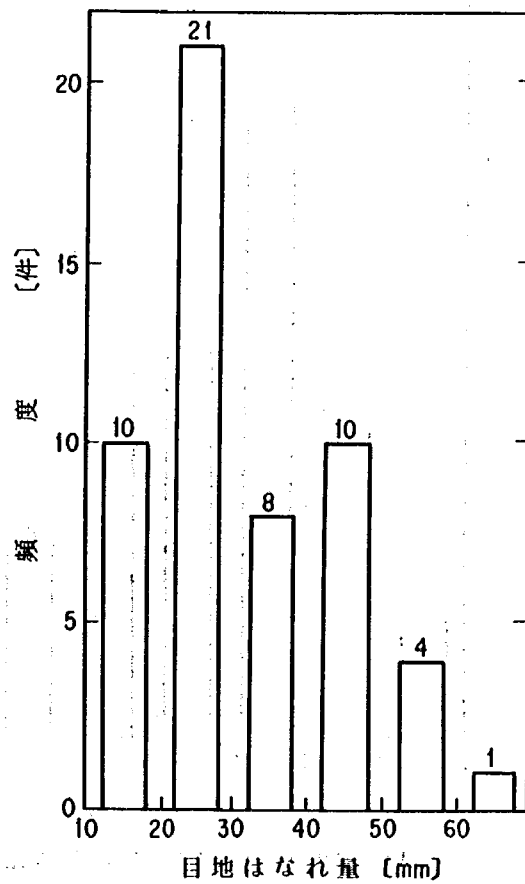


b) 最大値

図 6.9 目地ひらき量の頻度分布(能代市, ビデオスケラーによる計測)



a) 平均値



b) 最大値

図 6.10 目地はなれ量の頻度分布(能代市, ビデオスケラーによる計測)

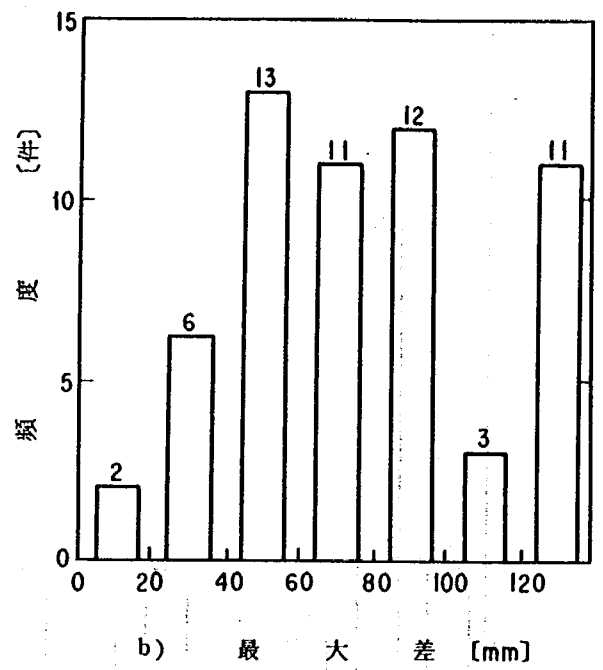
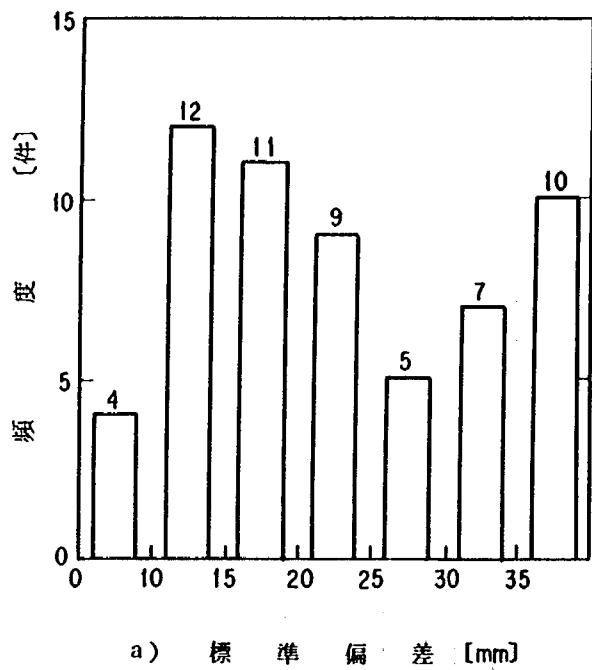


図 6.11 水深の頻度分布（能代市，ビデオスケラーによる計測）

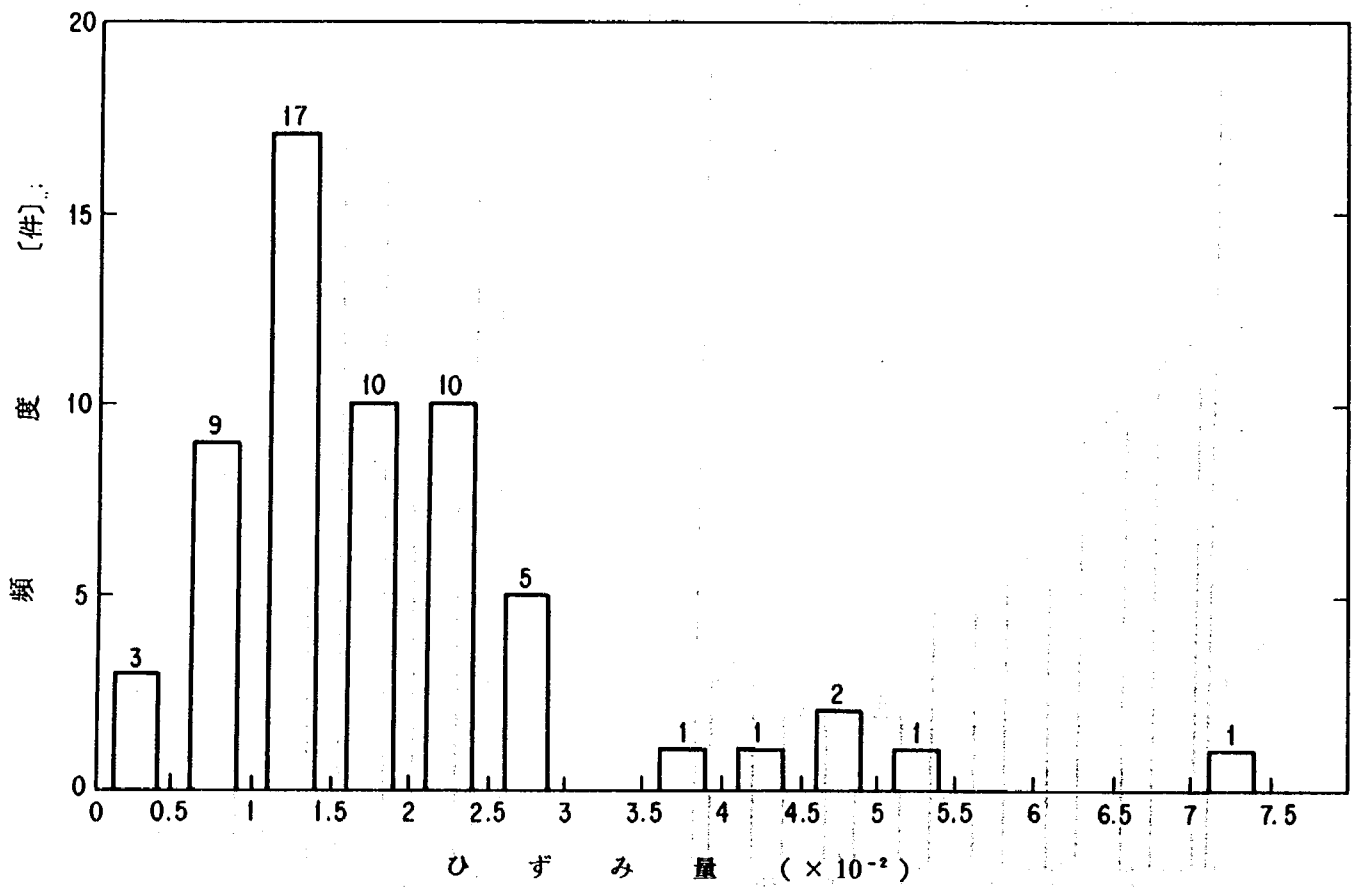


図 6.12 上下方向ひずみの頻度分布（能代市，ビデオスケラーによる計測）

6.3 ビデオスケラーで判読した路線ごとの被害状況例

図 6.13 ～ 図 6.20 はビデオスケラーから読みとった代表的な路線（22マンホール間）における目地ずれ量，はなれ量の頻度分布の一例を示したものである。ただし，いずれの結果においてもずれおよびはなれ量の小さい所では件数が少ないが，これはビデオスケラーによる計測にも限界があり，ずれおよびはなれ量の小さい所では，計測できないために件数が少なくなっていることに注意しなければならない。

図 6.21 ～ 図 6.24 は管渠の上下方向歪量の頻度分布の一例を示したものである。

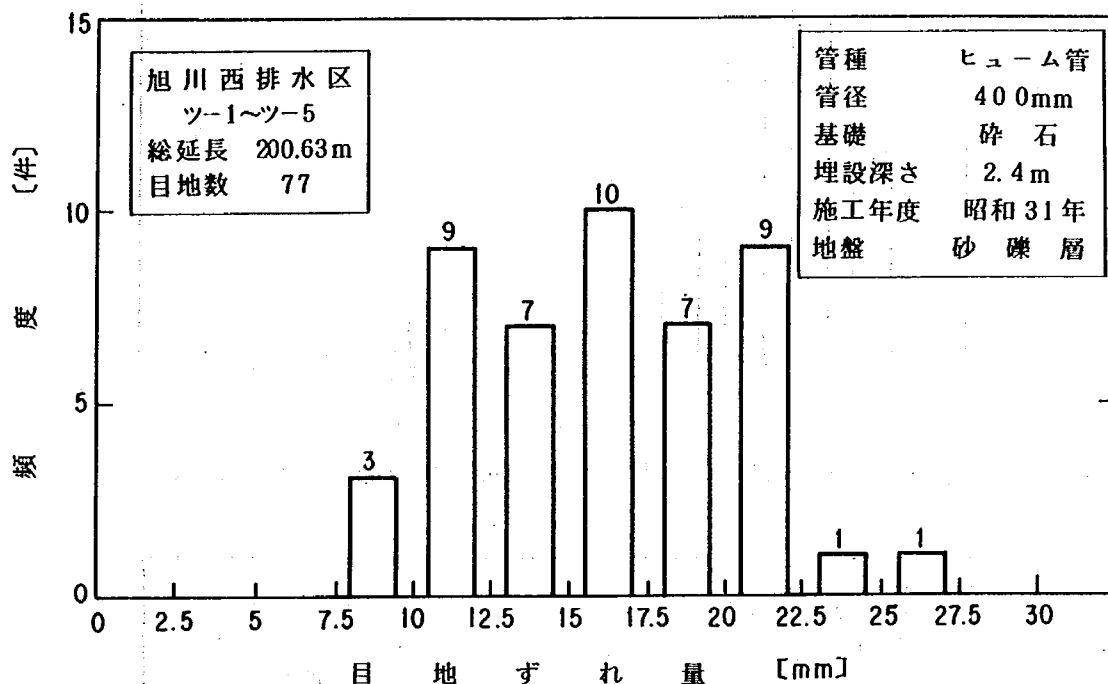


図 6.13 代表的な路線における目地ずれ量の頻度分布（秋田市，Aランク）

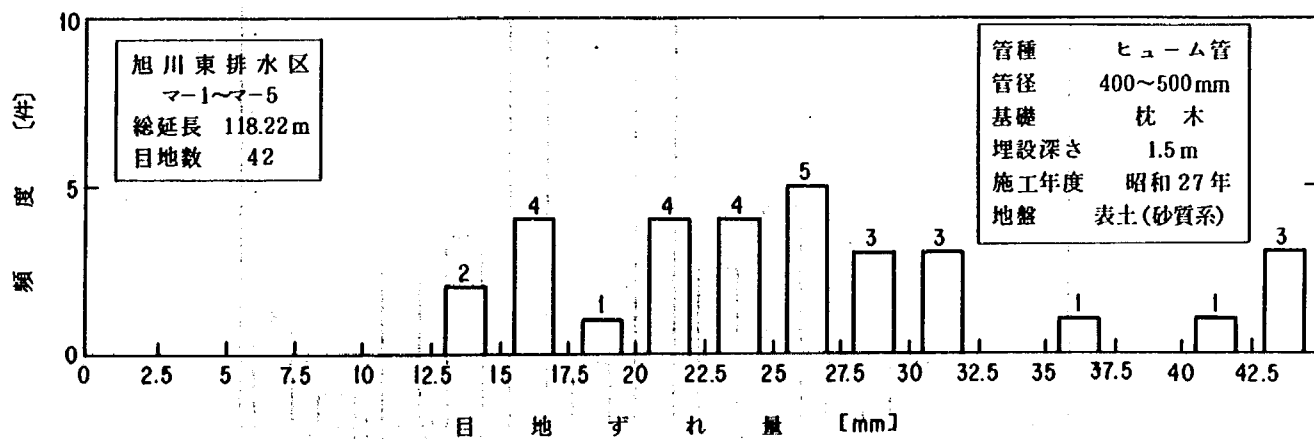


図 6.14 代表的な路線における目地ずれ量の頻度分布（秋田市，Aランク）

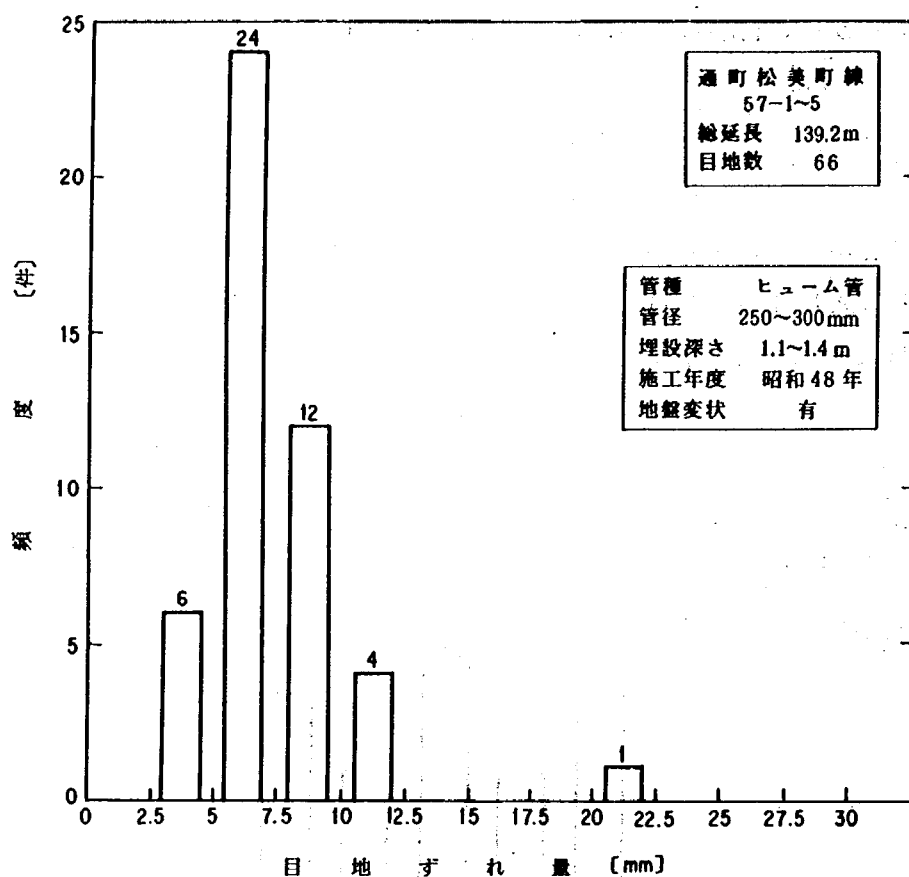


図 6.15 代表的な路線における目地ずれ量の頻度分布（能代市，Aランク）

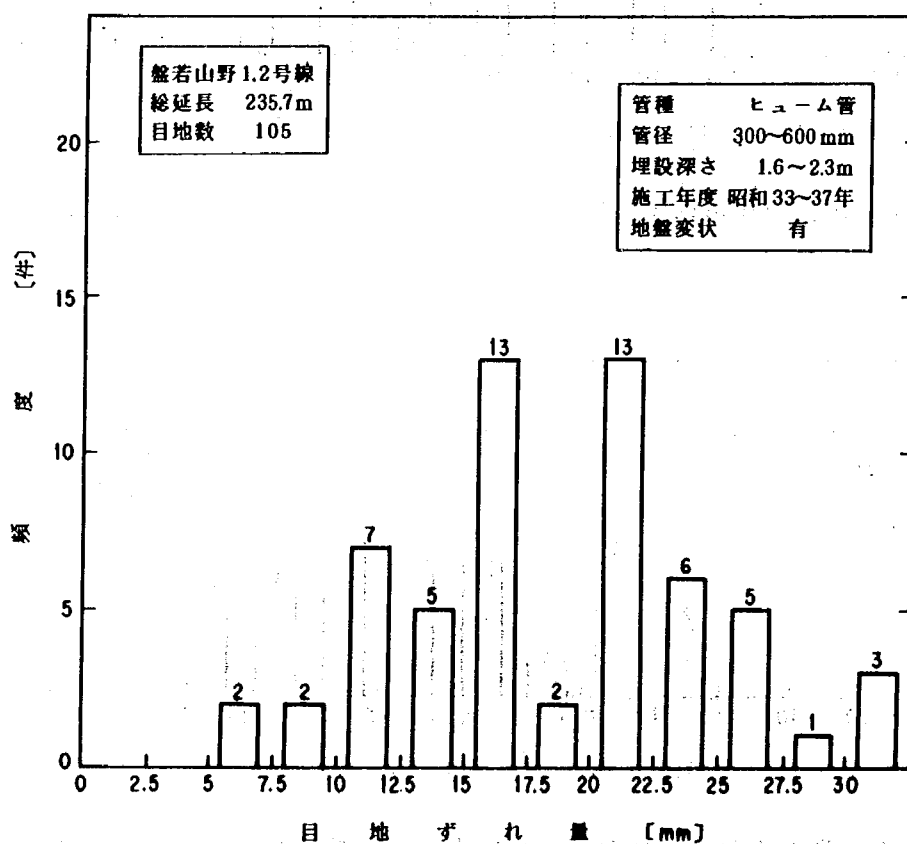


図 6.16 代表的な路線における目地ずれ量の頻度分布（能代市，Aランク）

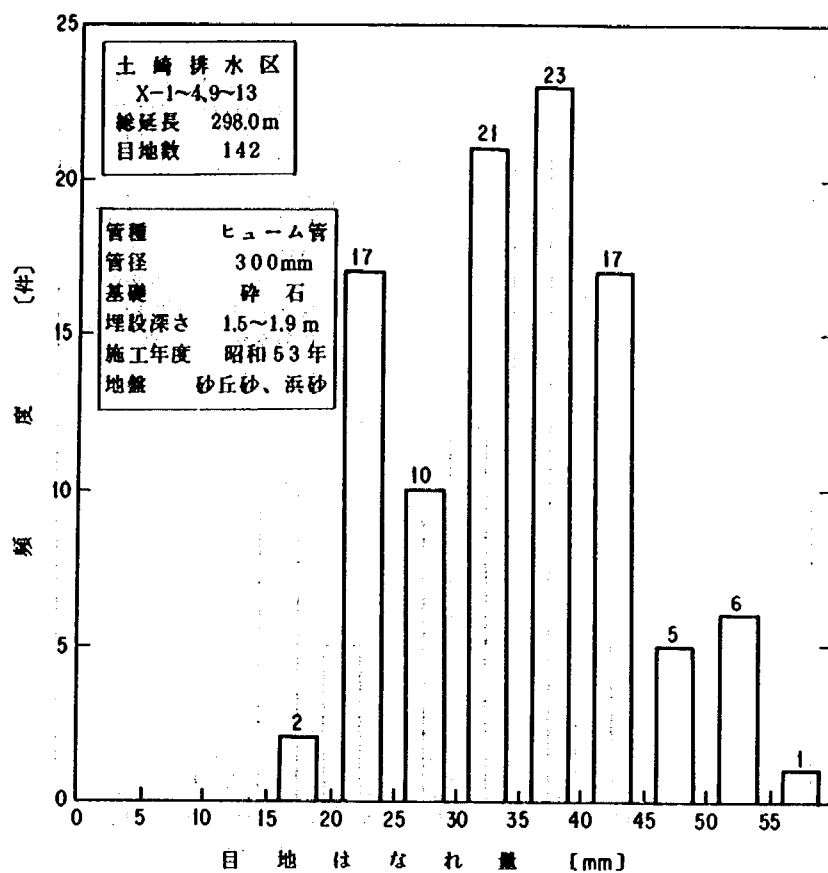


図 6.17 代表的な路線における目地はなれ量の頻度分布（秋田市，Aランク）

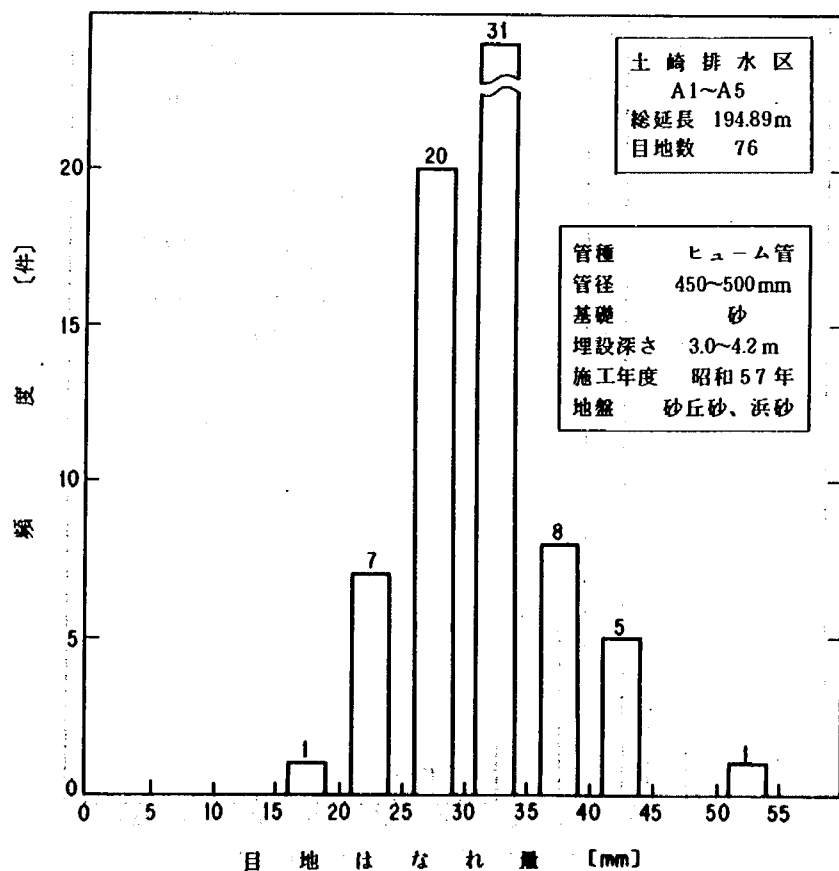


図 6.18 代表的な路線における目地はなれ量の頻度分布（秋田市，Aランク）

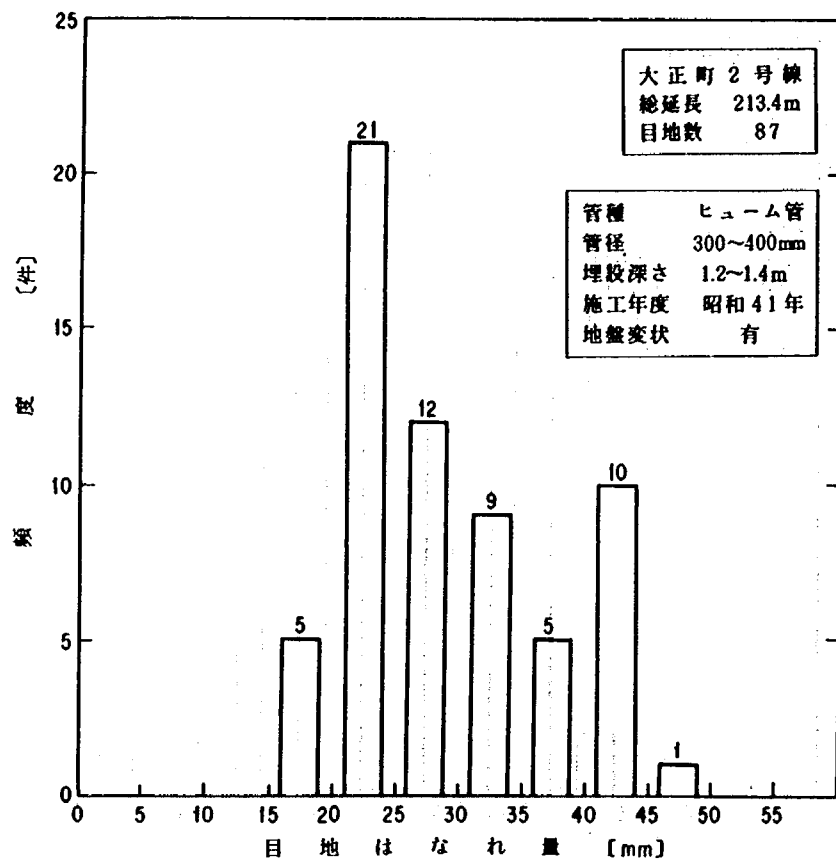


図 6. 19 代表的な路線における目地はなれ量の頻度分布（能代市，Aランク）

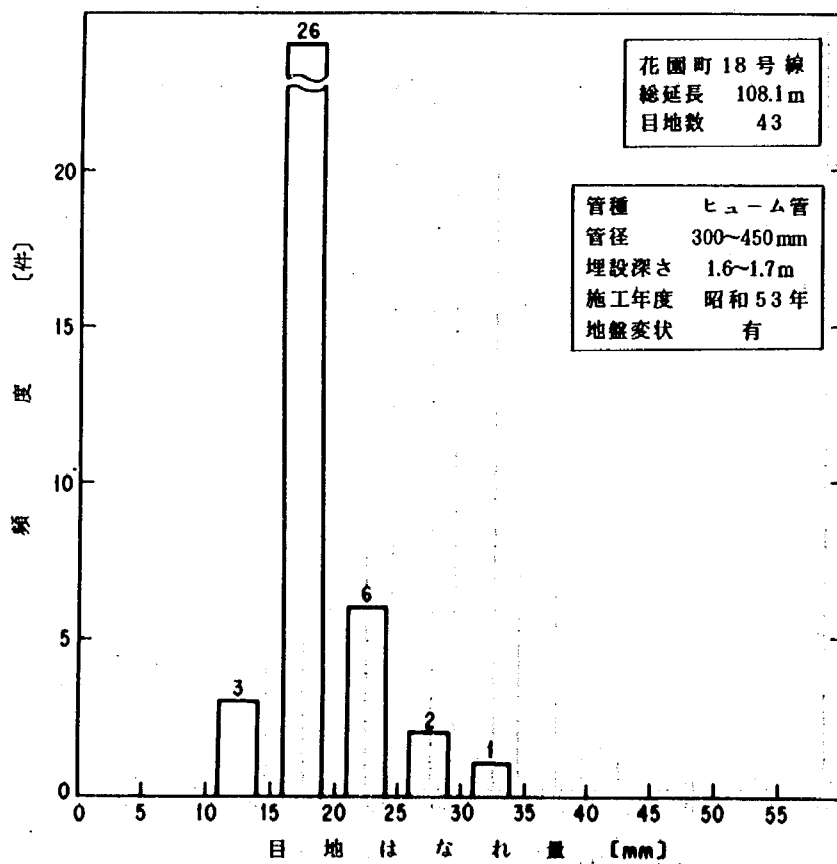


図 6. 20 代表的な路線における目地はなれ量の頻度分布（能代市，Aランク）

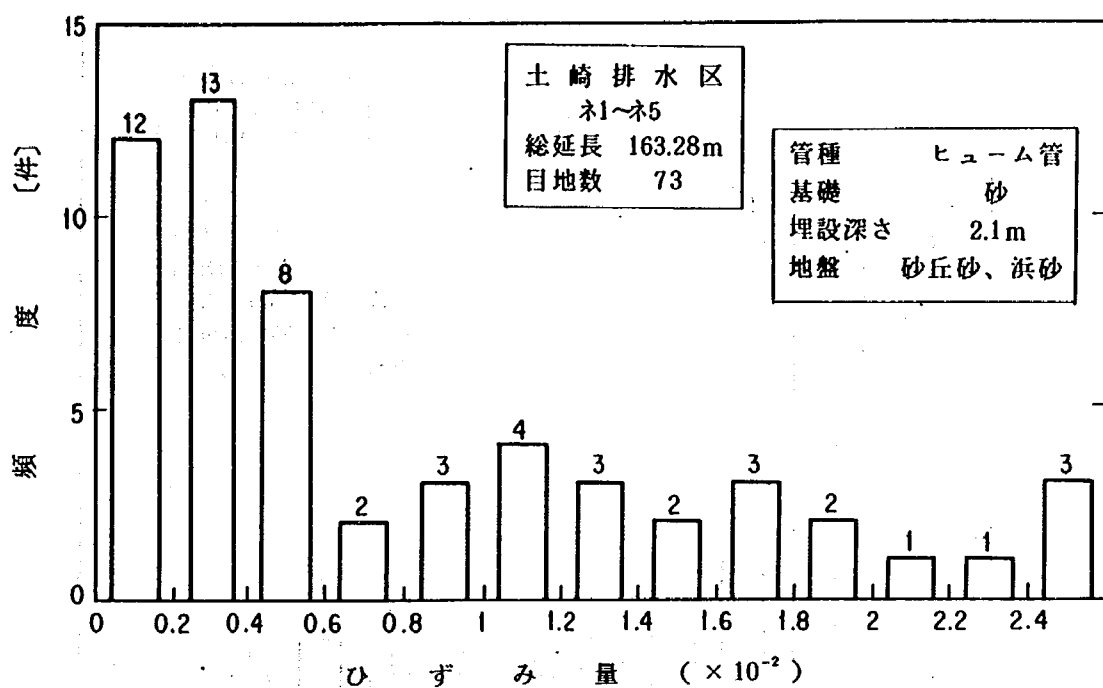


図 6.21 代表的な路線におけるひずみ量の頻度分布（秋田市，Aランク）

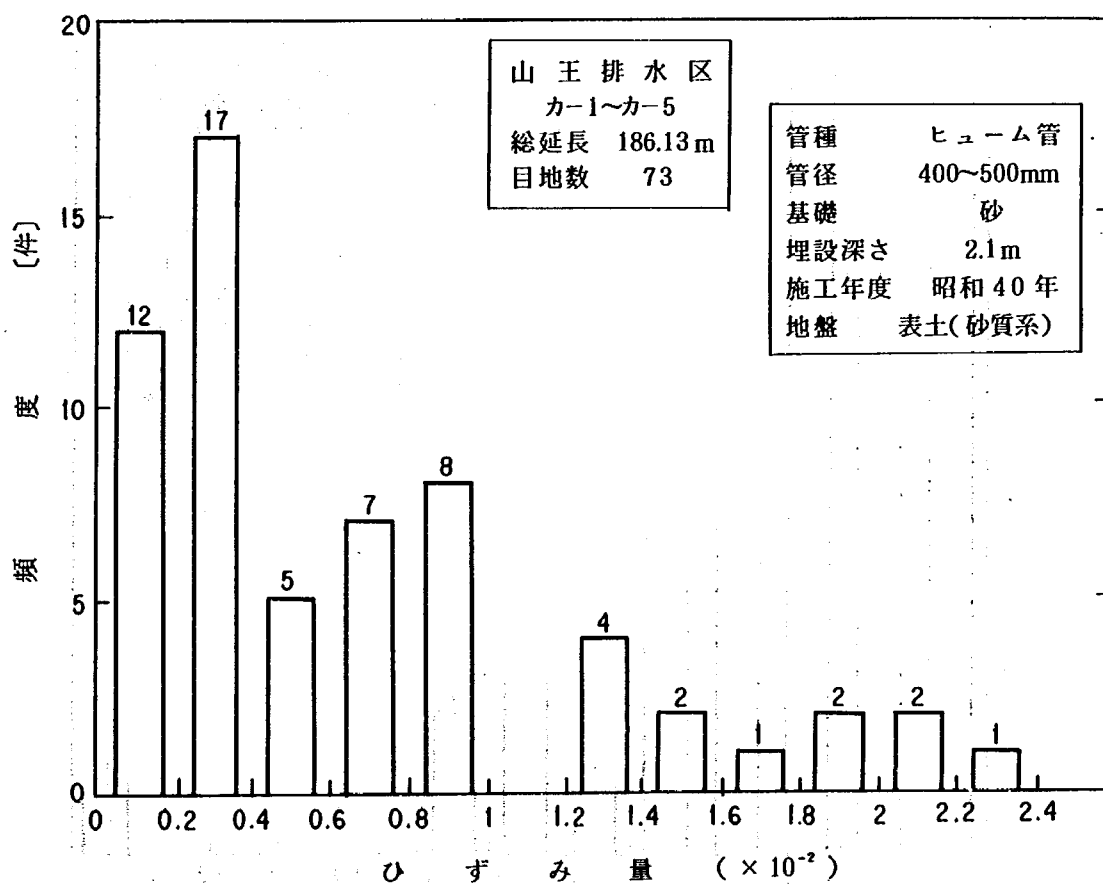


図 6.22 代表的な路線におけるひずみ量の頻度分布（秋田市，Aランク）

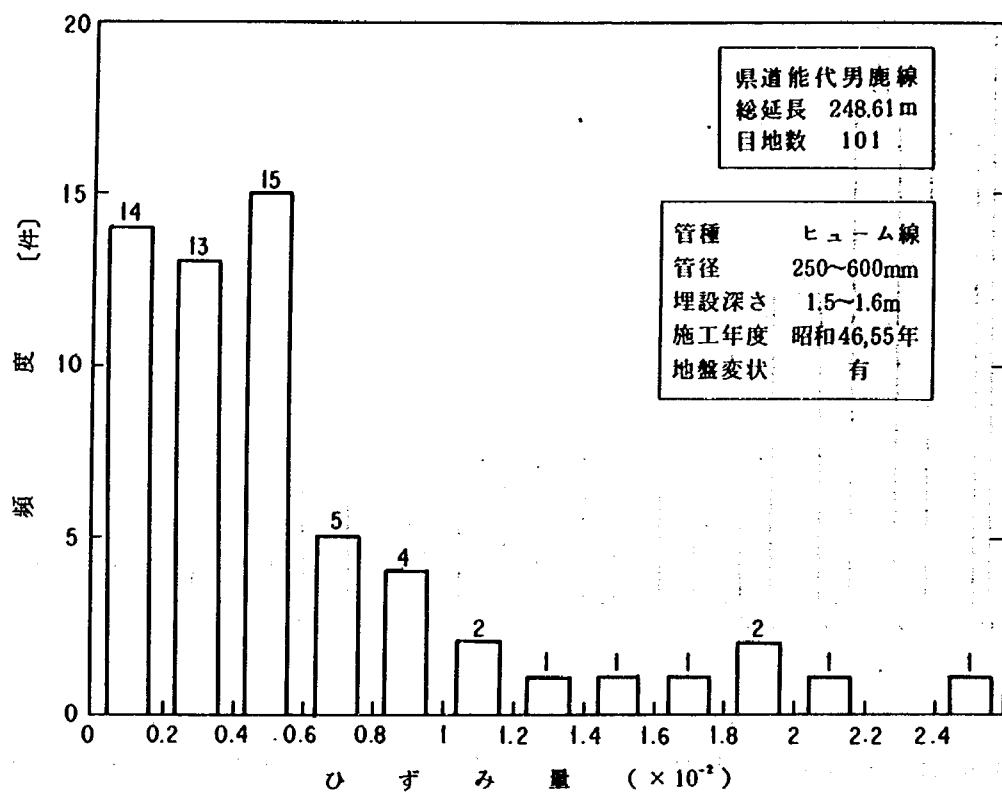


図 6. 23 代表的な路線におけるひずみ量の頻度分布（能代市，Aランク）

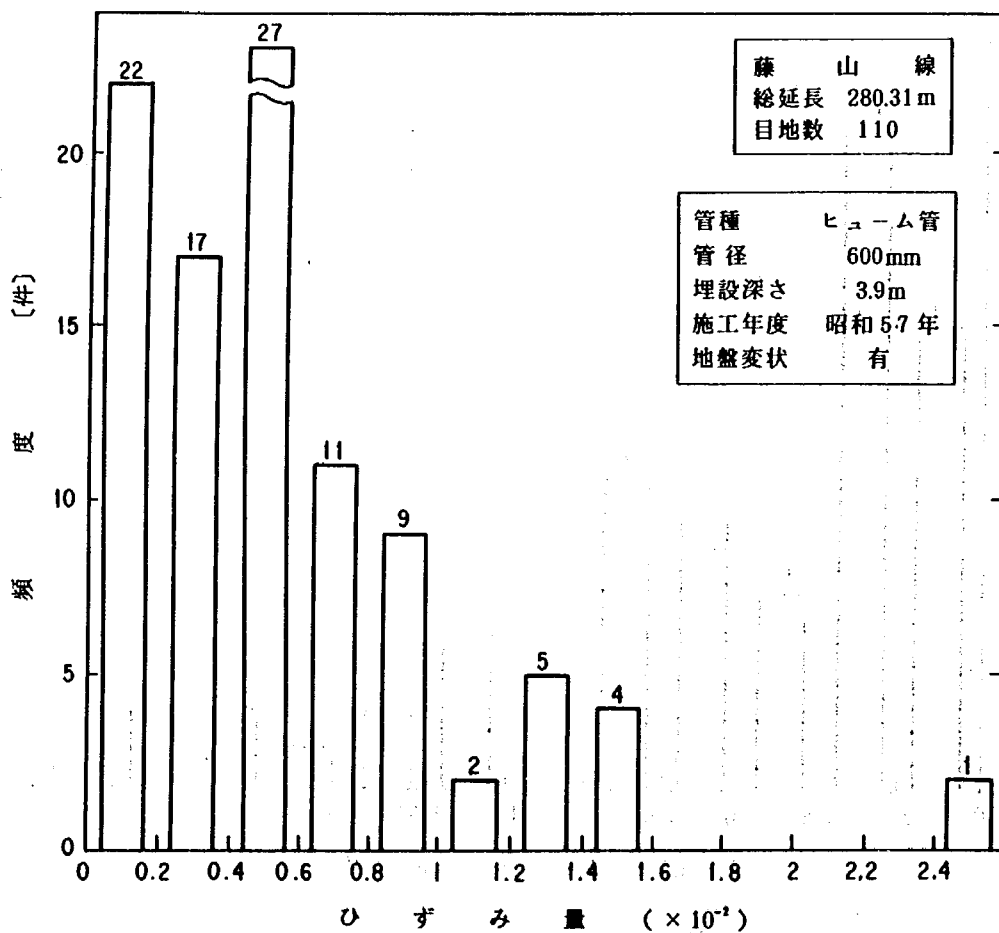


図 6. 24 代表的な路線におけるひずみ量の頻度分布（能代市，Aランク）

6.4 管体亀裂および破損被害の発生状況

図 6. 25 は秋田市におけるヒューム管について、管体亀裂の発生状況をマンホール区間ごとに調べたものである。図中には、水深の変動、地盤条件も同時に示している。これによれば、亀裂の大部分は横断亀裂であり、縦断亀裂は比較的少ない。これより亀裂の発生位置を頻度分布の形にまとめた結果が図 6. 26 である。横軸にはマンホールからの目地数をとっているが、この目地数は、図 6. 25 の各路線（全てマンホール区間である）を真中から2つに折り返した場合のマンホールからの目地数である。この結果から、マンホールに直接つながっている第1管に亀裂被害が集中しており、これ以外の管では被害は少ないことがわかる。ただし、マンホールからの目地数が10程度以上では、亀裂箇所数が減少していくが、これはマンホール間の目地数に上限があり、該当する亀裂件数が減少するためである。

図 6. 27 は秋田市における陶管の亀裂、破壊発生位置を示したものである。φ 380 mm の管（旭川西排水区、秋田市大町4丁目）ではほとんどの管が破壊している。また、破壊までには至っていない管でも全て縦断亀裂が入っている。なお、図 6. 25 に示したヒューム管では縦断亀裂はほとんど見られないが、陶管の場合には横断亀裂の他に比較的縦断亀裂も多く入っている。図 6. 28 は陶管の亀裂発生位置の頻度分布を示したものである。これによれば、亀裂はマンホール間ではほぼ一様に生じており、ヒューム管の場合のようにマンホールに直接接続する管に被害が集中する傾向は認められない。これは、陶管の場合には管材の強度が低く、軒並みに被害が生じているためと考えられる。

図 6. 29 および 6. 30 は能代市における亀裂の入った管（ヒューム管）の亀裂発生位置、頻度分布を示したものである。能代市では、秋田市よりもさらにマンホールとの接続管の被害が多い傾向となっており、全被害箇所の実に72%が接続管で発生している。また、管径400 mm以上の管に限定すると、被害はマンホールに接続する管にしか発生していない。

マンホール区間No

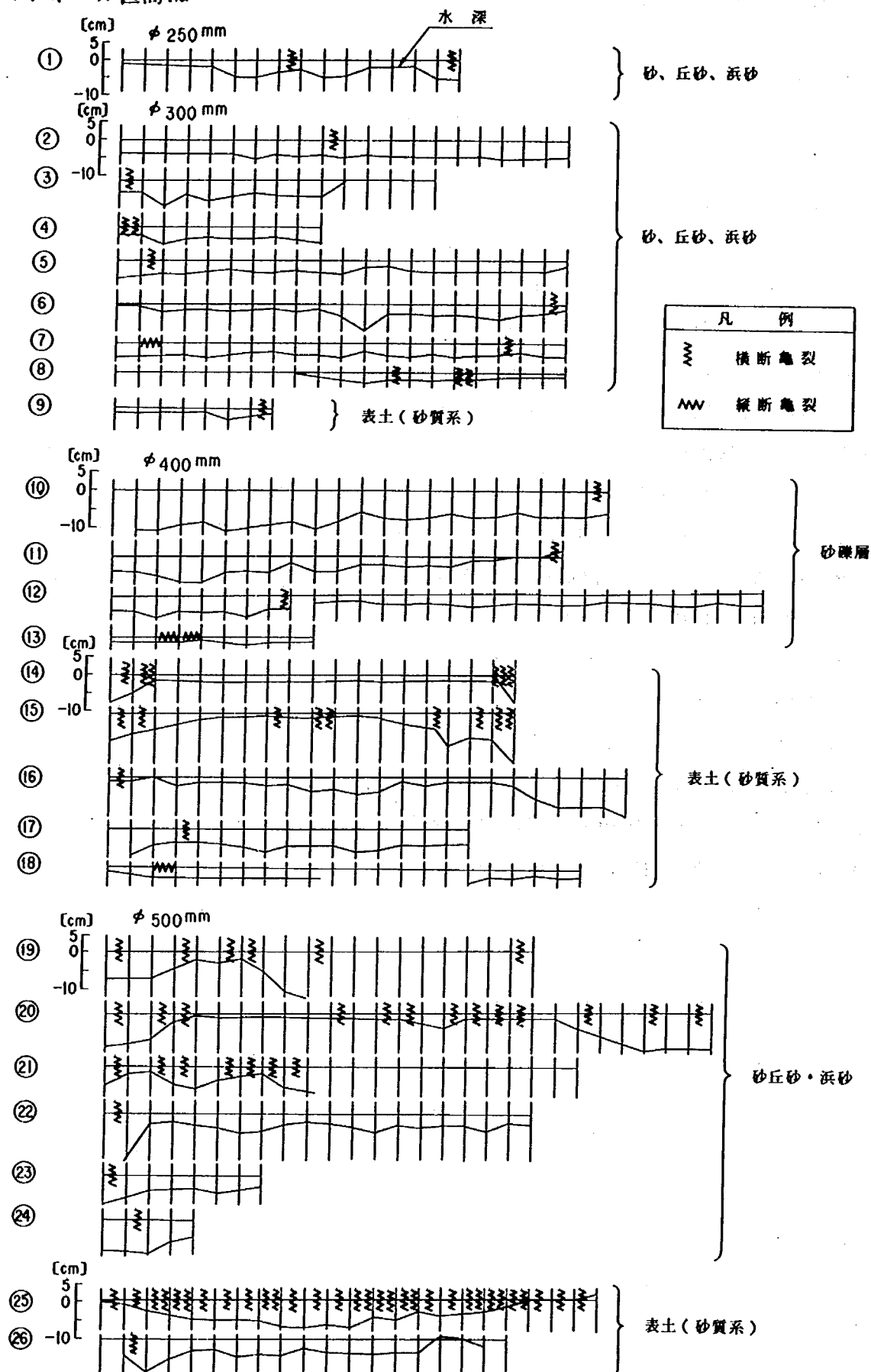


図 6. 25 マンホール間ごとにみた管体の亀裂発生位置(秋田市, ヒューム管)

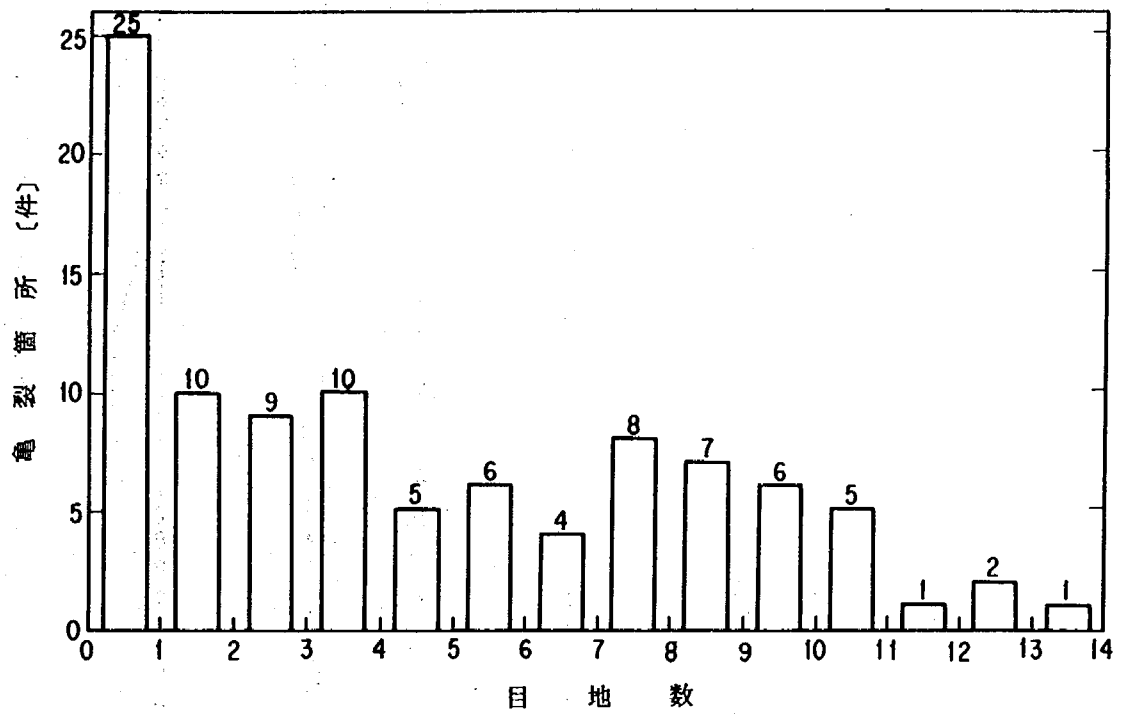


図 6. 26 マンホールを起点とした管体クラックの発生位置(秋田市, ヒューム管)

マンホール区間No.

凡 例	
	横断亀裂
	縦断亀裂
	管体破損

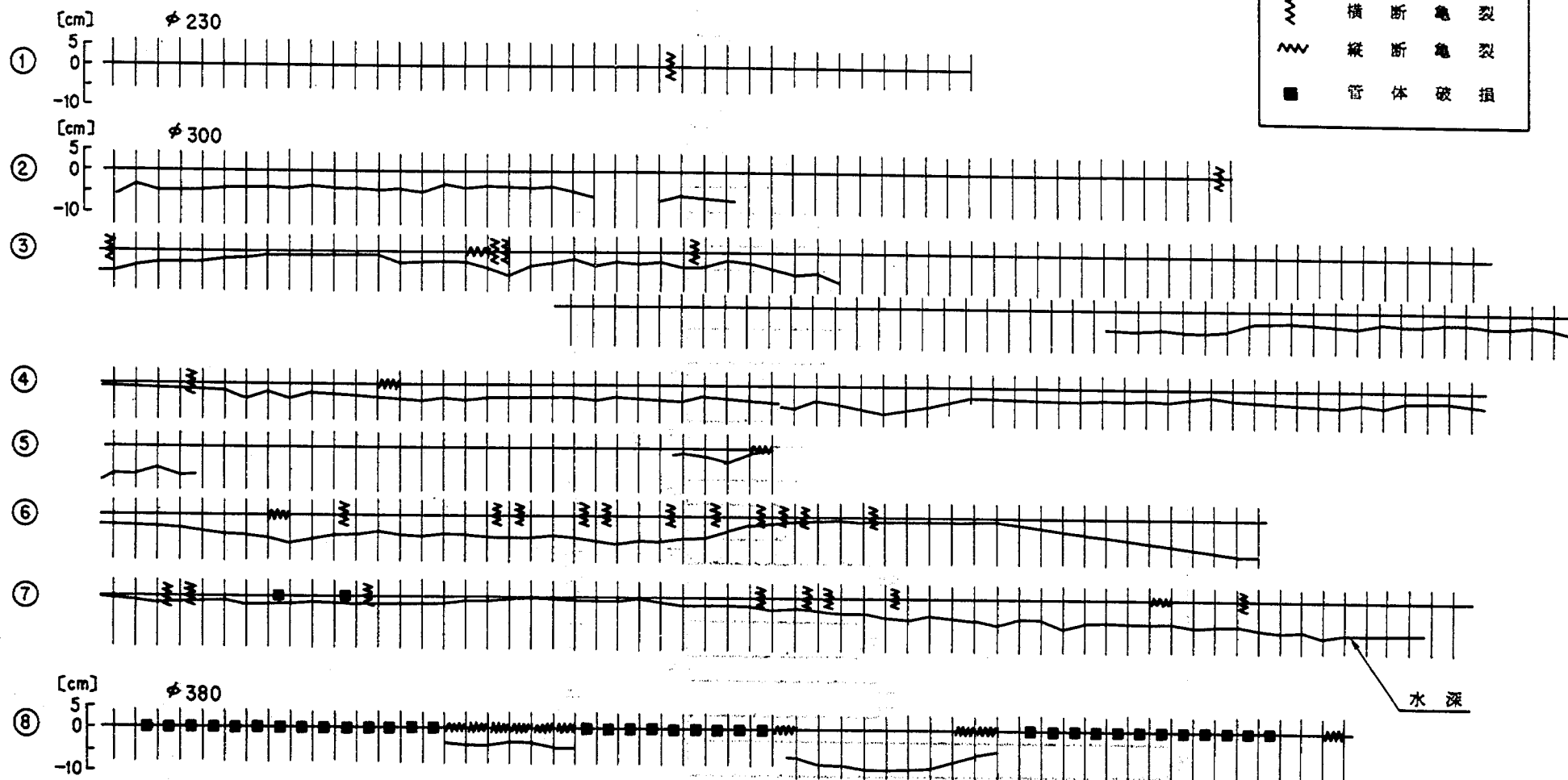


図 6.27 マンホール間ごとにみた管体の亀裂発生位置(秋田市, 陶管)

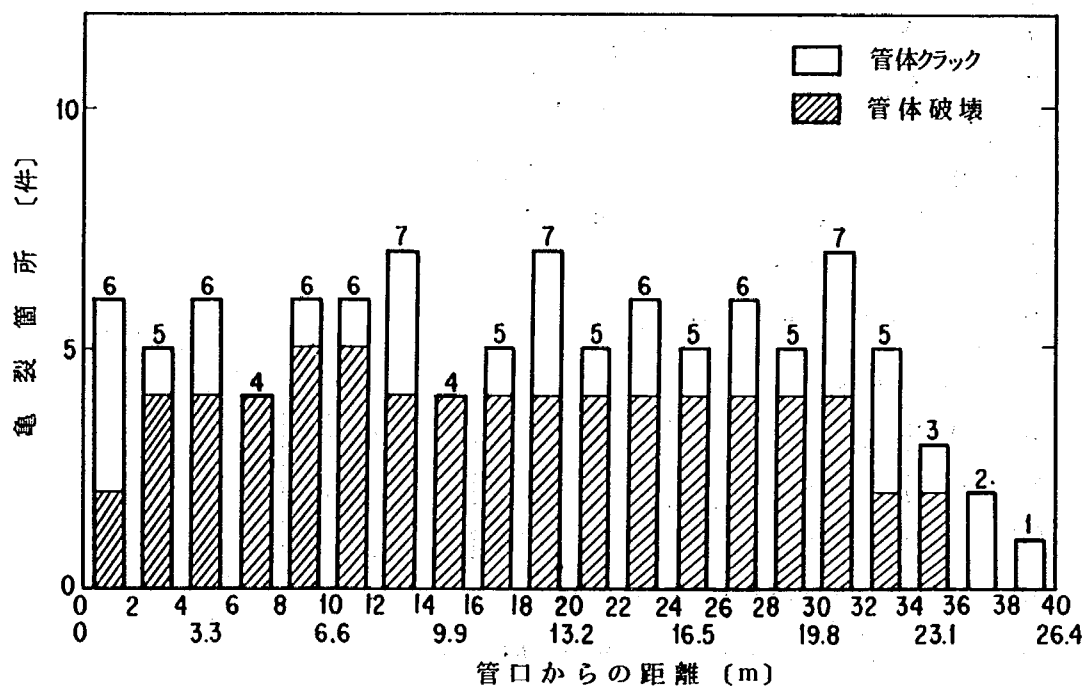


図 6. 28 マンホールを起点とした管体クラックの発生位置 (秋田市, 陶管)

マンホール区間No

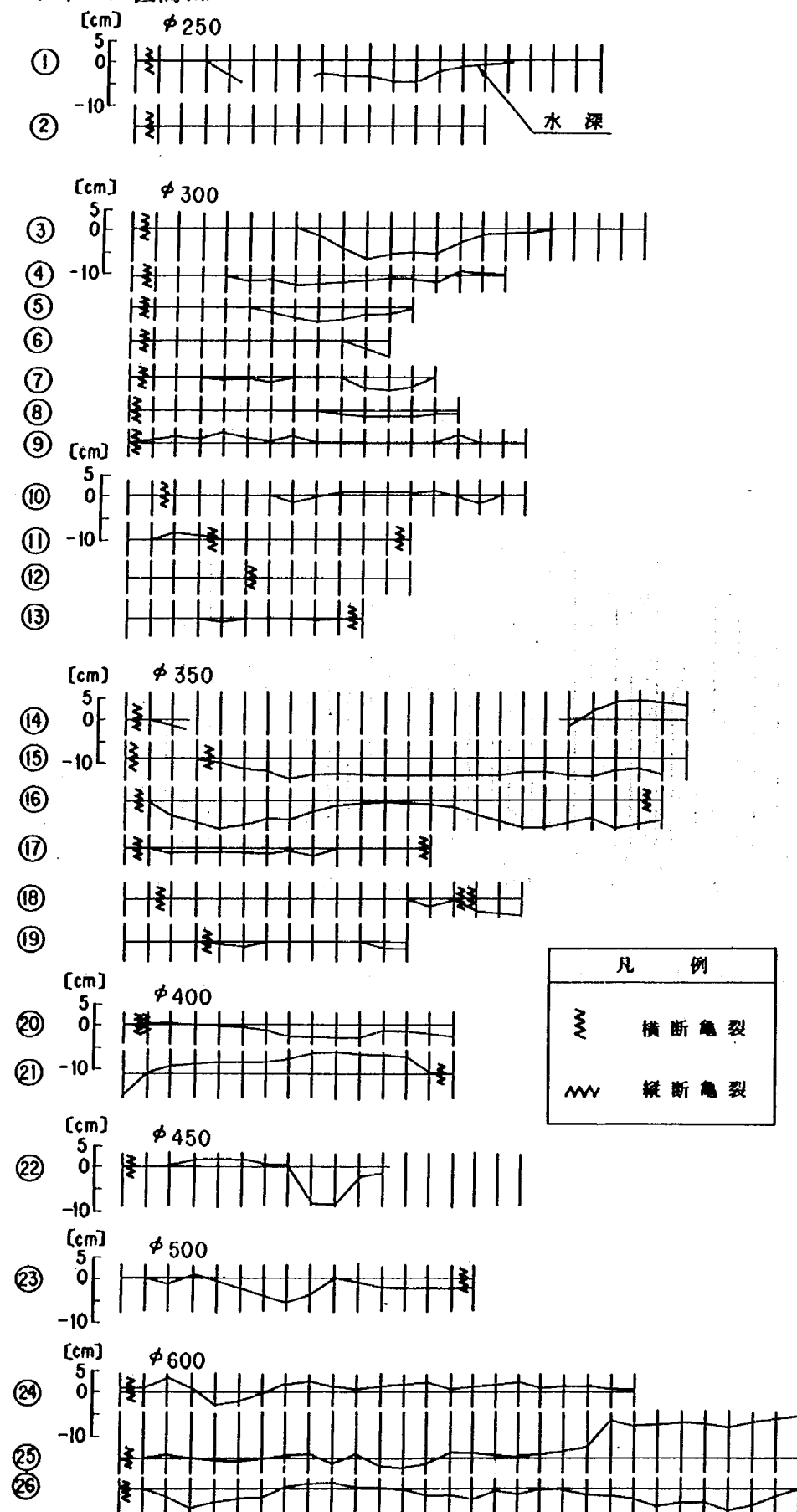


図 6.29 マンホール間ごとにみた管体亀裂発生位置 (能代市, ヒューム管)

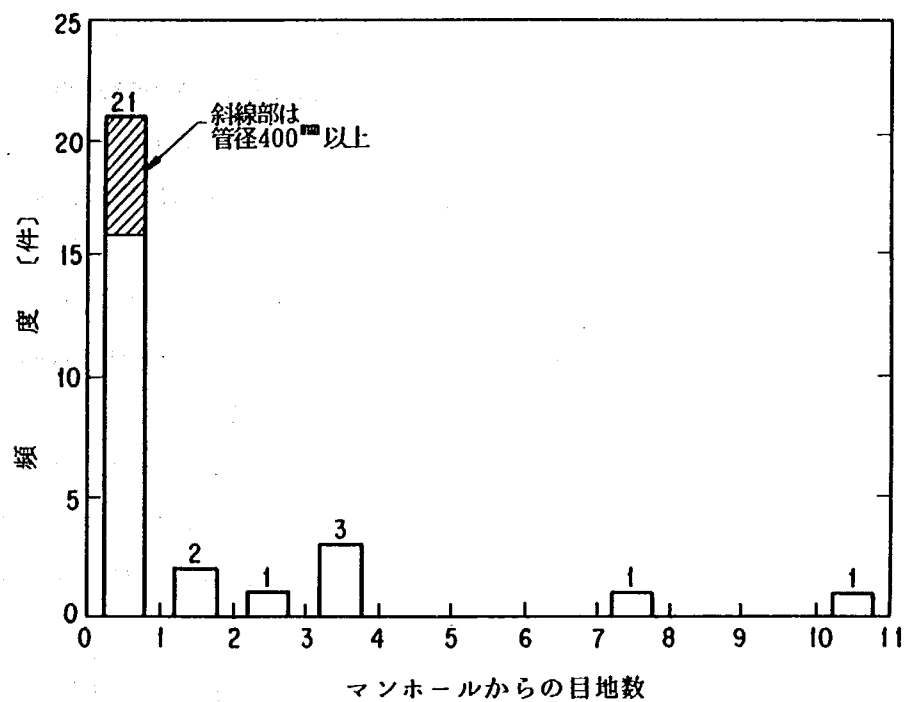


図 6. 30 マンホールを起点とした管体クラックの発生位置
(能代市, ヒューム管)

7. 代表的な被害例

7.1 管体の亀裂・破損——秋田市土崎港南遮集幹線の被害（（その2），写真1.14，1.46，1.47，1.56，1.57参照）

管体の亀裂・破損の代表例として土崎港南遮集幹線の被害を以下に示す。図7.1は同幹線の埋設状況，概略の地盤条件を被害状況とともに示したものである。図中で，ボーリングNo2およびNo3は，管渠の設置時に調査用として実施されたものであり，ボーリングA-1およびA-2は，地震後（昭和58年11月末）に埋戻し土内で実施したものである。両者の対応する深さにおけるN値を比較すると，地震後のボーリング結果の方が地震前のボーリング結果に比較して，やや小さめとなっていることがわかる。これは埋戻し施工時の締固めによると考えられる（一般に，液状化した場合には，液状化する前と比較して締固め度はよくなる）。ただし，当該地点においては，噴砂，地表面の沈下状況を総合すると液状化は周辺地盤，埋戻し地盤のいずれにおいても生じたと考えられる。

この幹線は流入管と流出管が1つの道路下に2本埋設されていた（図7.2参照）。地表面下約4 m程度に埋設されている浅い方の管は口径500 mmのヒューム管であるが，図7.1に示すようにかなりの亀裂・沈下を生じている。この被害状況は6章に示したTVカメラ調査を行っているが，この区間で46本（カメラ不通分は含まず）のうち25本の管（約54％）に亀裂が入っており，また，タルミ（上下の蛇行），浸入水も見られ，これに伴い目地ばなれもかなりの箇所で見られている。図7.3はこの区間における目地ずれ，はなれおよび上下方向のひずみをビデオスケラーにより測定した結果を頻度分布としてまとめたものである。目地ずれは2箇所で見られているのみで，目地の被害としてははなれが大部分である。このはなれは，平均して2.5 cm程度であるが，これらは，管の沈下によって生じている。上下方向の歪の分布からはこの区間でかなり大きい歪が生じていることがわかる。

浅く埋設されていた $\phi 500$ mmの管が上記のように多大な被害を受けているのに対し，地表面下約8 mに埋設されていた口径1,000 mmのヒューム管は，図7.1に示すようにほとんど被害を受けていない。I-1（マンホール番号）の管口で1箇所亀裂被害がでているのみであり，目地のずれ，ひらき等もない。しかし，人孔の斜・直壁の目地では，ずれが発生しており，浸入水も見られた。

同一路線にありながら埋設深度の異なるこれら二本

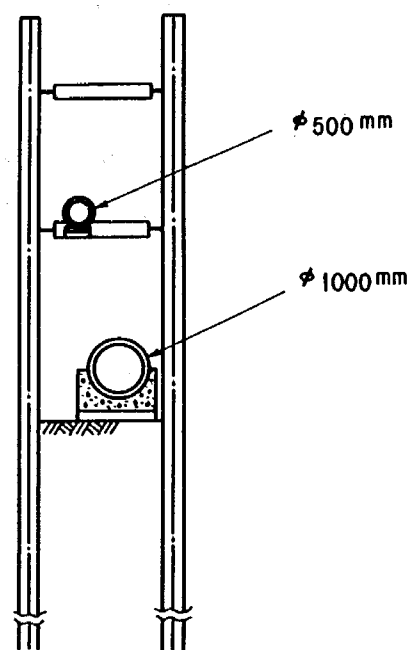


図7.2 $\phi 500$ mm管および $\phi 1,000$ mm管の設置状況（秋田市土崎港南遮集幹線，設置時の状況）

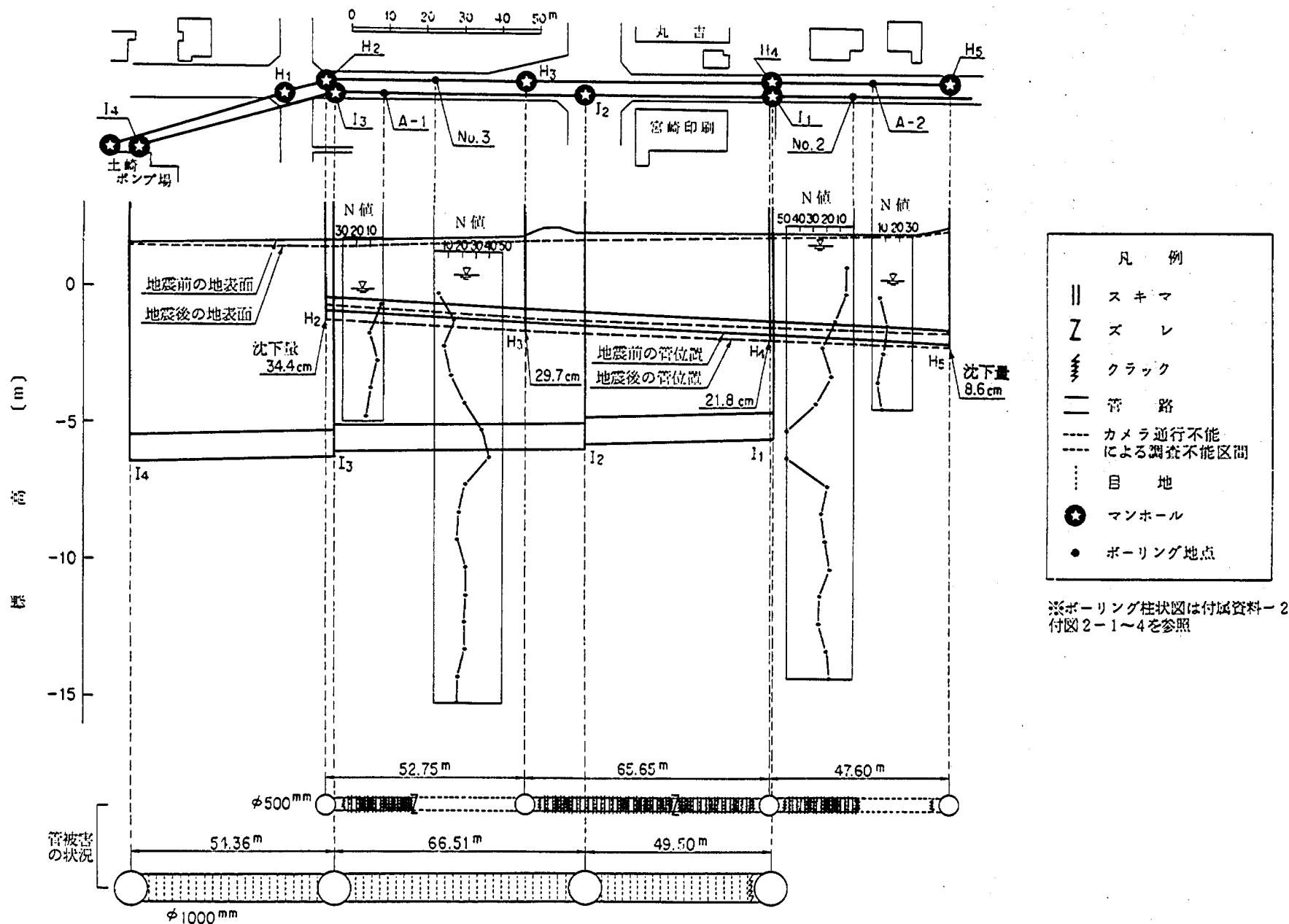


図 7.1 秋田市土崎港南遮集幹線の被害

の管路の被害状況は、地下埋設管の地震被害を考える上できわめて興味深い。図 7.1 には概略の地盤の状況も示しているが、より詳細な土質柱状図は付属資料－2，付図 2－1～2－4 を参照していただきたい。これらの柱状図から、この地点の地盤は砂質分が卓越しており、約 5 m 程度までは N 値 10 以下の表土，粗砂混りシルトとなっているのに対し、7 m 程度には N 値が 40 程度の砂層が分布している。この付近では、地震直後に噴砂が認められていることから、表層 5 m 程度以浅の砂質土が液状化し、口径 500 mm の管に被害を与えたものと考えられる。また、マンホールの目地ずれもこの層の液状化が原因と考えられる。なお、 ϕ 500 mm の管渠の被害が ϕ 1,000 mm の管渠の被害よりも著しかった理由としては、上述した液状化の他にも ϕ 1,000 mm の管渠が掘削下面に直接設置されていたのに対して、 ϕ 500 mm の管渠は埋戻土内に設置されていたことも挙げられる。

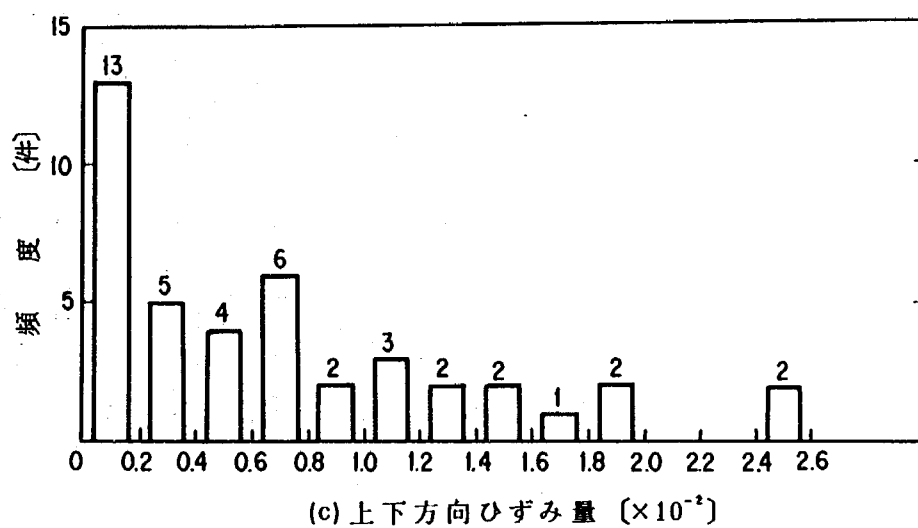
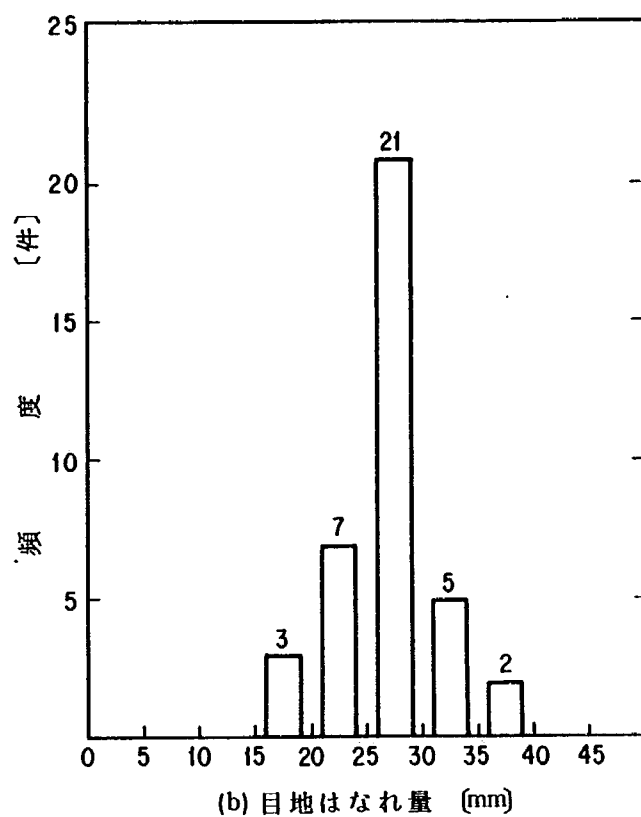
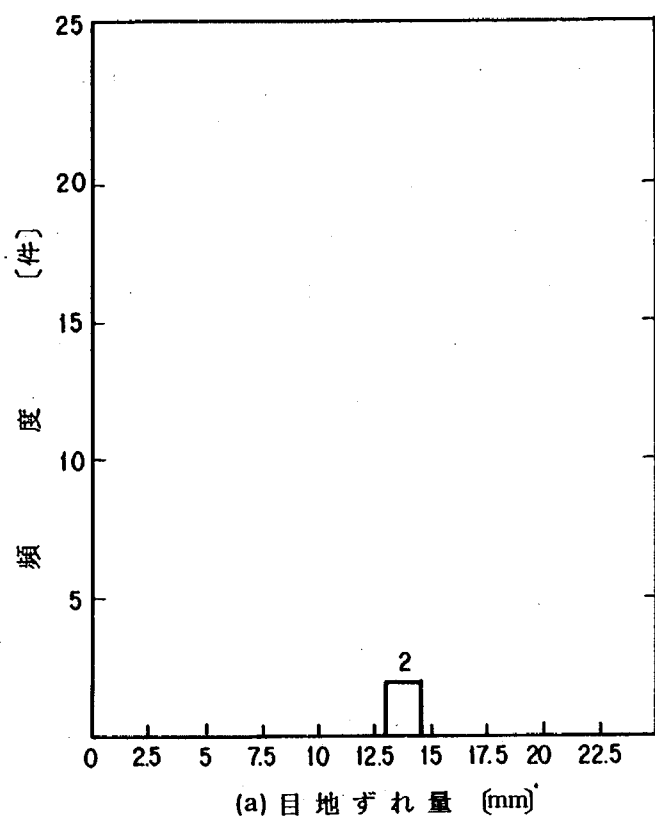


図 7.3 秋田市土崎南港遮集幹線 (φ 500 mm, ヒューム管) の目地ずれ, 目地はなれおよび上下方向ひずみの頻度分布 (ビデオスケラーによる)

7.2 管の沈下——秋田市新屋元町の被害

管の沈下、蛇行等は、秋田市、能代市の各所で見られたが、秋田市では、新屋元町の被害が最も顕著であった。図 7.4 に新屋元町における下水道管渠調査位置を示す。また、図 7.5 に新屋元町地区の本管の一部分の被害状況を示す。口径 300 mm および 400 mm のヒューム管がマンホールを支点として弓なりに沈下する被害を受けている。図 7.5 にはこの区間の TV カメラ調査結果も示している。カメラ水没、土砂等により調査されていない区間が多いが、被害は目地のずれ（沈下による管路の折れによるものと考えられる）が卓越しており、管体の亀裂・破損等の被害は見られない。同地区におけるボーリング柱状図は付属資料－2 を参照していただきたい。

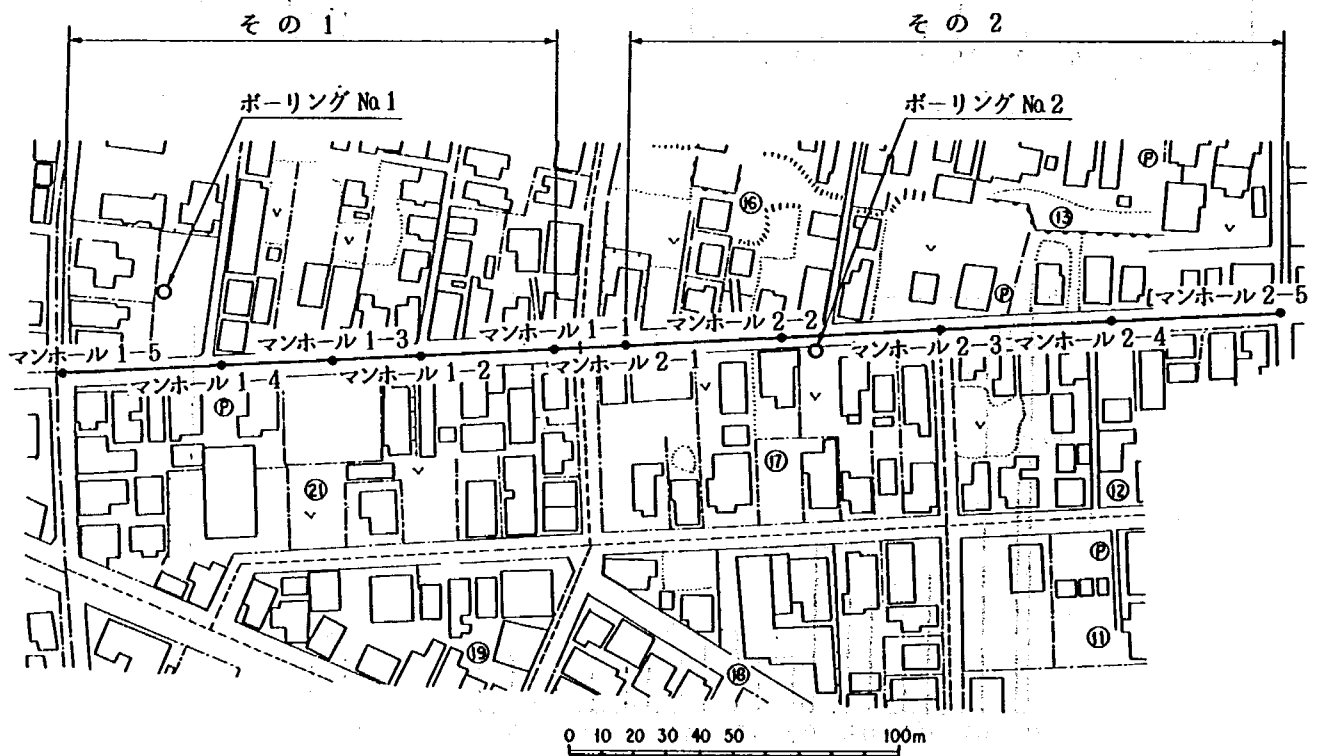


図 7.4 秋田市新屋元町における下水道管渠調査位置図

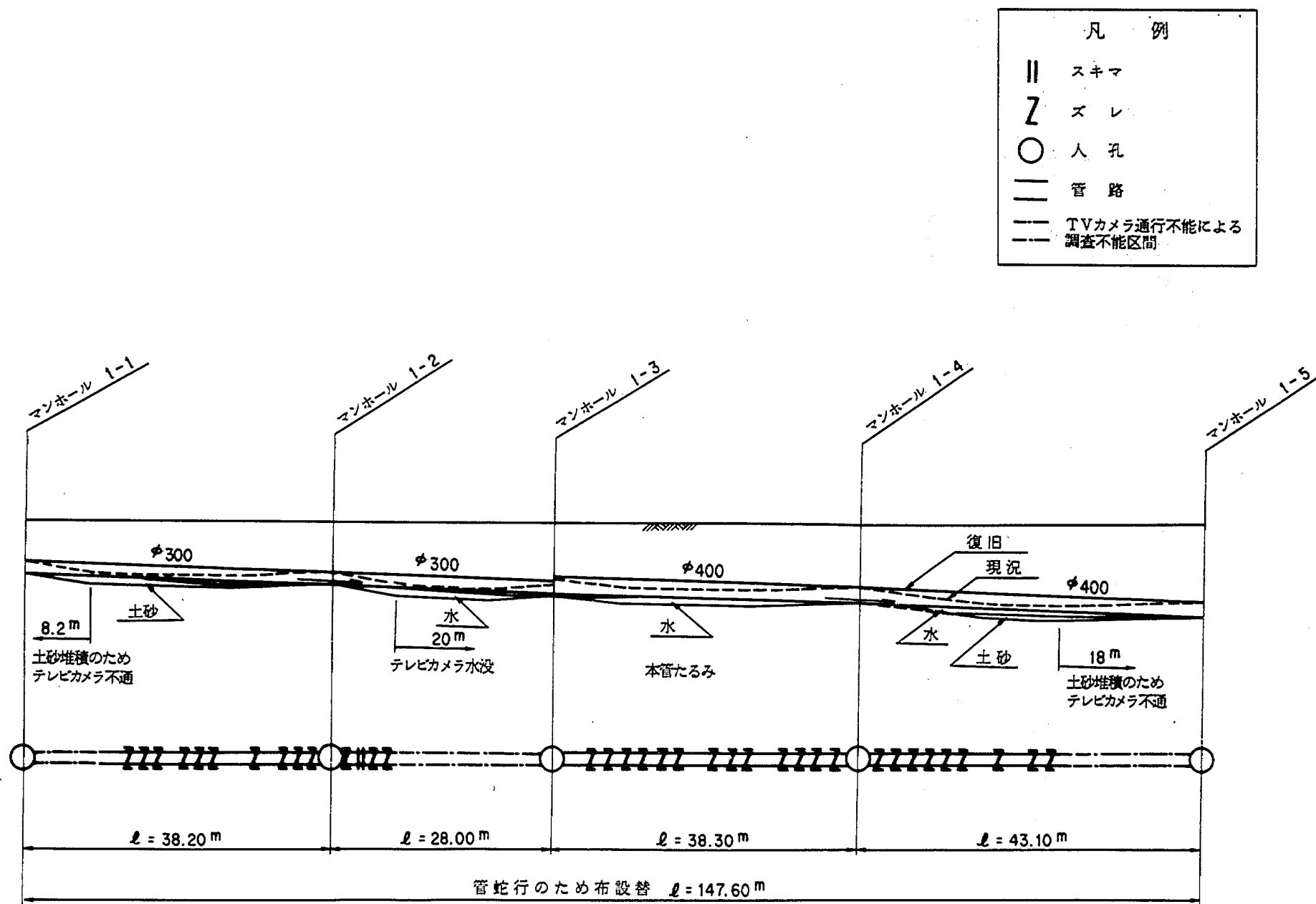


図 7.5 新屋元町地区管渠の沈下状況

7.3 大幅な管軸のずれ——能代市景林町における被害（（その2）写真集，写真 1.31～1.35 参照）

能代市では，地盤の液状化により，顕著な地盤変状が各所で発生している。噴砂，噴水とともに見られる地割れ・隆起などの地盤変状は，地盤の側方移動を表わしているものと考えられ変状の著しかった地域では，下水道管路軸の大幅なずれが幾つか発生している。能代市景林町付近に埋設されていた新柳町線（口径 600 mm，ヒューム管）はこの形態の被害の代表的な例である。図 7.6 は，マンホール区間での管の相対的なずれ量を示している。このずれ量は，マンホール間を直線で結び 1 管ずつ布設替えしていった際の新設管と既設管（次に布設替えされる管）との相対的な水平のずれ量を表わしている。ただし，管軸方向の開き量は計測されていない。図 7.5 によれば，管路はマンホール間で弓なりに変形しており，その変位量は，マンホール No 1～2 間の中央で最大約 1.5 m に達している。このことは，マンホールが地盤の側方移動に対してある程度抵抗をしたことを表わしていると考えることができよう。

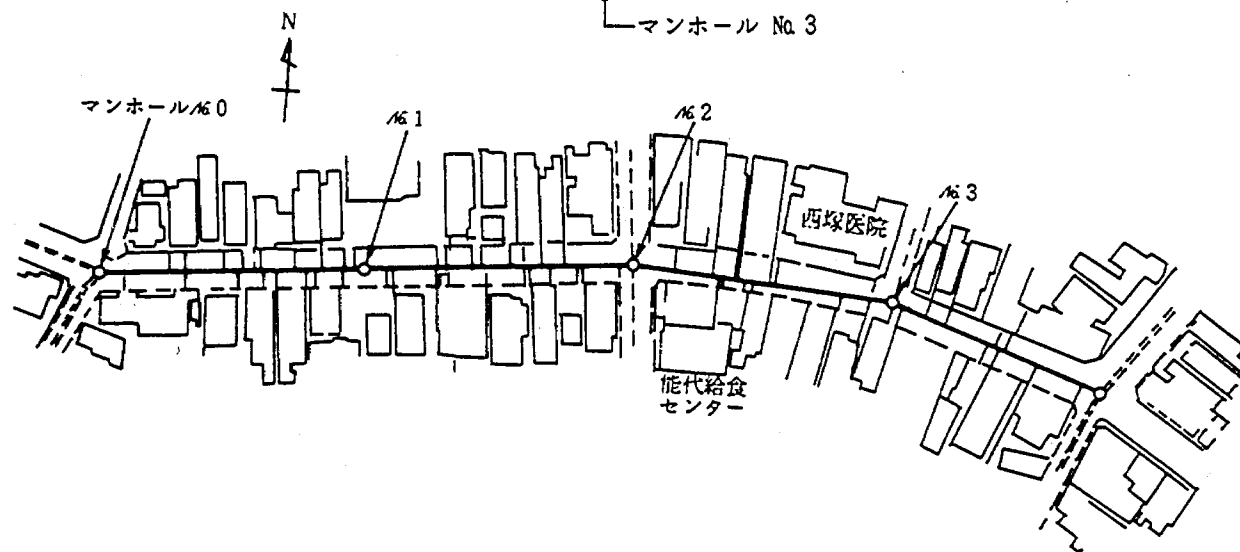
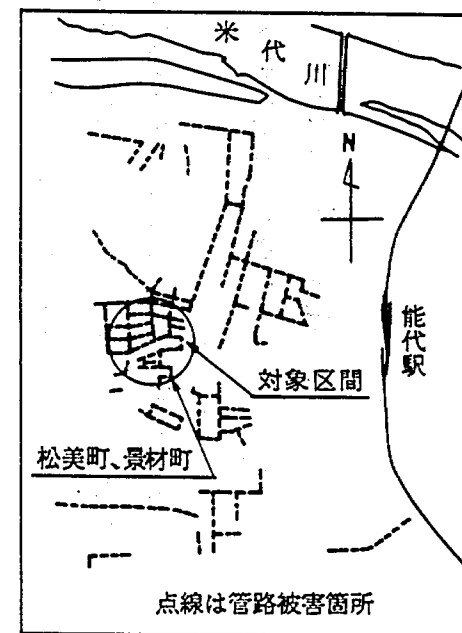
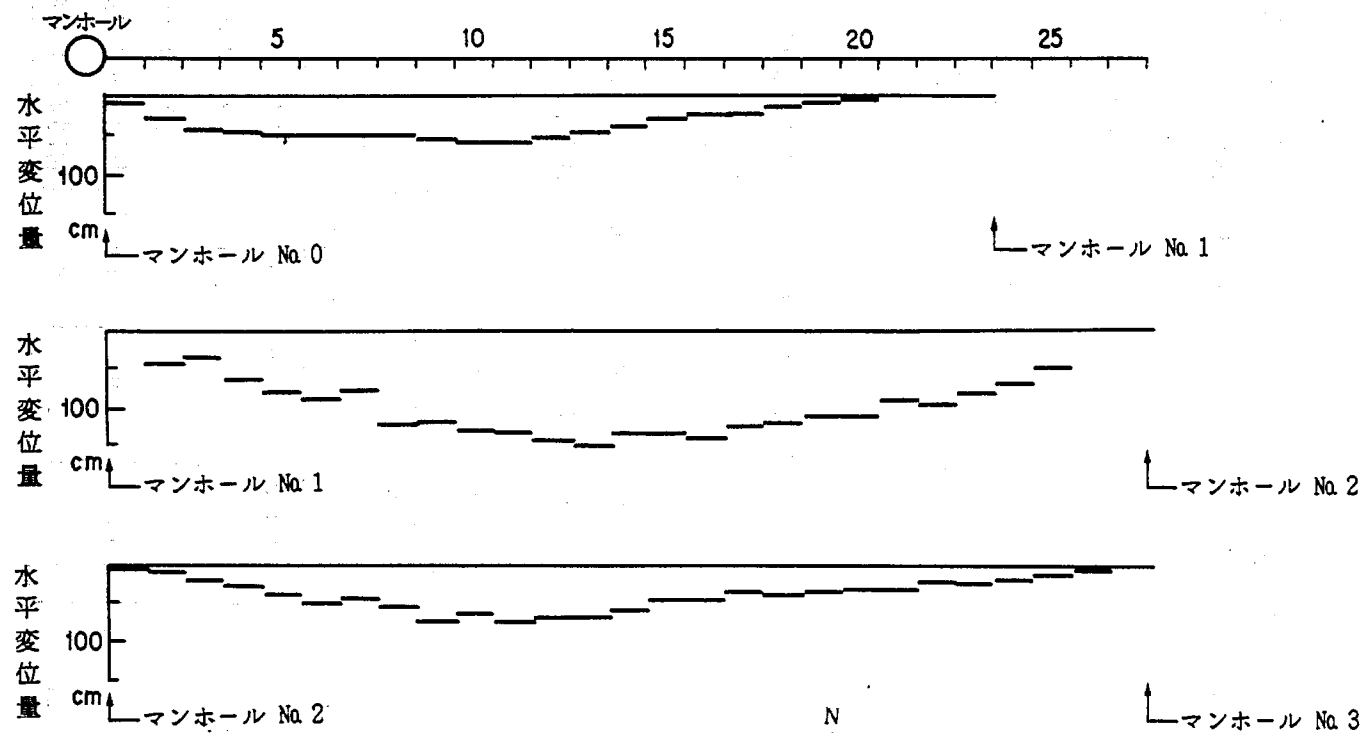


図 7. 6 能代市景林町における $\phi 600$ mm ヒューム管の管軸直角方向水平変位の分布

8. 管渠の被害と地盤条件

8.1 解析対象地点とその地盤条件の概要

以上に示したように、今回の地震においては、液状化の有無が管渠の被害に大きく影響を与えたと考えられる。そのため、ここでは特定の路線に限定して液状化の程度と管渠の被害率の関係を検討する。

調査対象としたのは、表 8.1 に示すように秋田市および能代市の両市における 4 地区 5 地点である。これらの地点においては、いずれも地震後にボーリングを行い、正確な地盤調査を実施した。図 8.1～8.4 に地盤条件の概要（詳細なボーリング柱状図は付属資料－2 に示す）および下水道管渠の被害実態を示す。各調査地区の概要は以下の通りである。

1) 秋田市土崎地区（地盤調査地点 No 1, No 2）

周辺に液状化の跡が認められ、路面には 30 cm 程度の沈下が生じている。当地区の地盤構成は、表層から約 10 m までが沖積の砂質土（As）であり、その下は沖積の粘性土（Ac）となっている。As 層の表面から 5 m 程度までは N 値 10 程度であり、この範囲で液状化が発生したと考えられる。

2) 秋田市新屋元町地区（地盤調査地点 No 3）

本地区は旧河道の埋立地であり、激しい液状化が生じ、住宅や埋設管に著しい被害が発生している。表層から 5～6 m までは N 値が 0～1 の非常に緩い砂であり、その下は軟弱粘性土をはさんで再び砂層となっている。

3) 能代市鳥小屋地区（地盤調査地点 No 4）

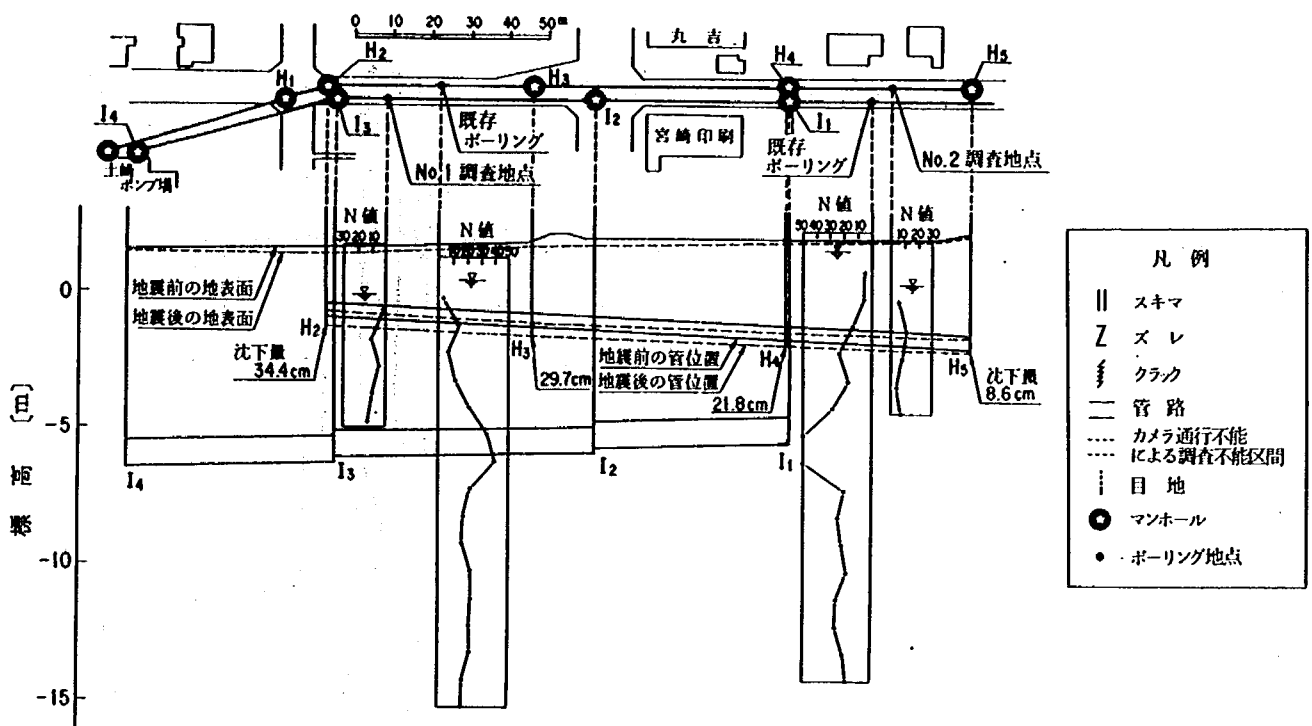
本地区では路面が多少沈下しているが、噴砂跡は確認されていない。地盤状況は表層より As 層が約 5 m 程度あり、その下は Ds 層となっている。

4) 能代市亀谷地地区（地盤調査地点 No 5）

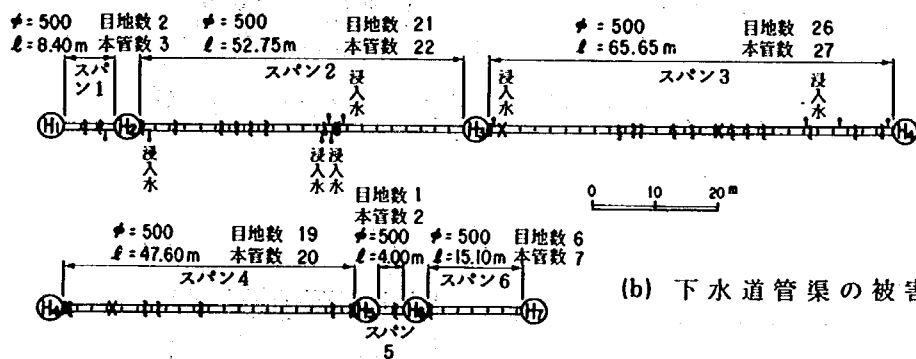
本地区では周辺に液状化の跡が認められたが、路面の不等沈下は比較的少なかった。地盤状況は表層より約 5 m の As 層があり、この層に液状化が発生したと考えられる。

表 8.1 管渠の被害と地盤条件の関係調査箇所

調査地点 No	調査地点名	下水道管路 路線名	下水道管渠の諸元				備 考
			管 種	管 径	埋設深度	施工年度	
1	秋田市土崎三丁目 (その1)	土崎排水区	ヒューム管	500mm	4.0 m	56	付図 2－1 参照
2	秋田市土崎三丁目 (その2)	土崎排水区	ヒューム管	500	4.0	56	付図 2－2 参照
3	秋田市新屋元町	新屋排水区	ヒューム管	400	2.0	46	付図 2－5 参照
4	能代市鳥小屋	藤 山 線	ヒューム管	600	3.9	53	付図 2－7 参照
5	能代市亀谷地	温泉1号線	ヒューム管	600	2.1	57	付図 2－8 参照



(a) 地盤調査箇所の概要

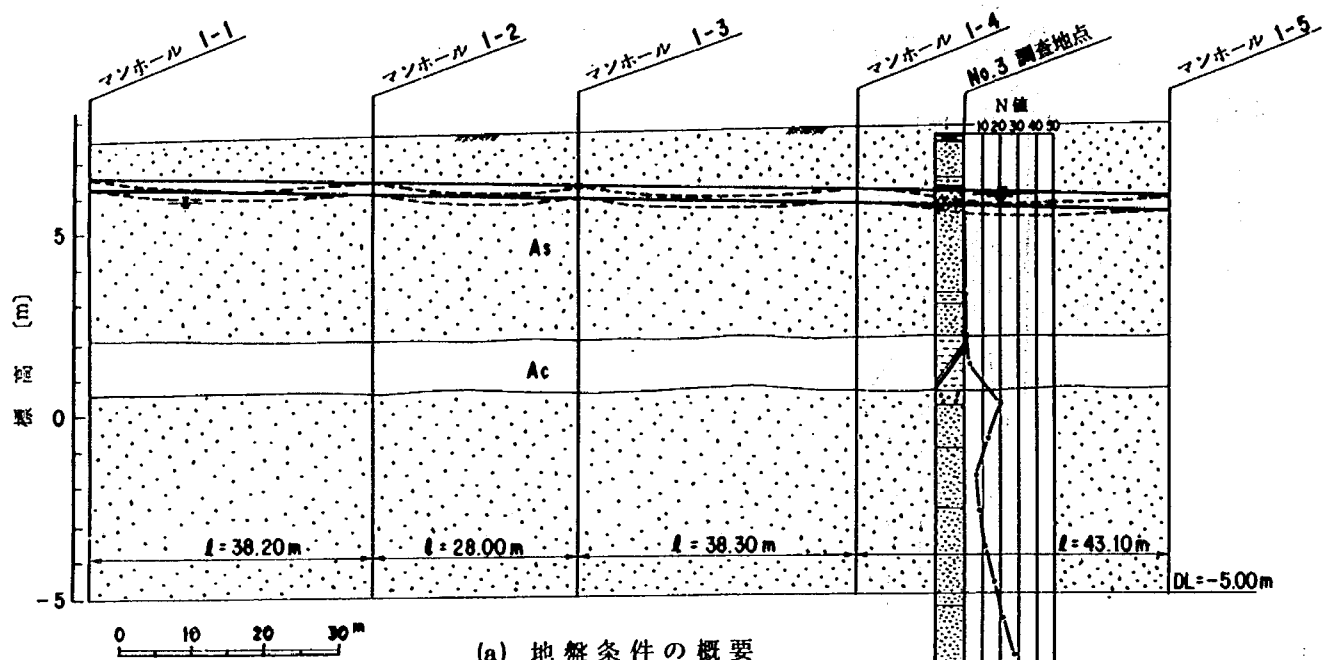


(b) 下水道管渠の被害実態

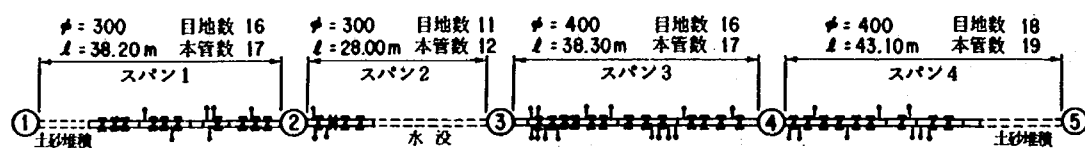
(c) 下水道管渠被害の集計

				路線名 秋田土崎地区					
スパン				1	2	3	4	5	6
距離 (m)				8.40	52.75	65.65	47.60	4.00	15.10
管 径 (mm)				500	500	500	500	500	500
目 地 数				2	21	26	19	1	6
本 管 数				3	22	27	20	2	7
取 付 管 数				1	5	4			
被 害 状 況	目	浸入水及びにじみ							
		スキマ							
		ズレ							
		破 損							
		パッキン外れ							
		クラック				1			
	本 管	穴があいてる破損							
		浸入水及びにじみ							
		スキマ							
		ズレ							
		破 損							
		パッキン外れ				2	1		
		クラック	2	8	10	5	1	1	
		穴があいてる破損							
	土 砂	タルミ 区 間							
		土砂堆積区間							

図 8.1 地盤状況および下水道管渠の被害実態 (秋田市土崎, 調査地点No.1, No.2 地点)



(注, マンホール番号については, 図7-4 参照)



(c) 下水道管渠被害の集計

				路線名 新屋本町(その1)			
スパン				1	2	3	4
距離 (m)				38.20	28.00	38.30	43.10
管 径 (mm)				300	300	400	400
目 地 数				16	11	16	18
本 管 数				17	12	17	19
取 付 管 数				6	3	14	9
被 害 状 況	目	浸入水及びにじみ					
		ス キ マ		1			
		ズ レ	10	3	13	9	
		破 損					
		パ ッ キ ン 外 れ					
		ク ラ ッ ク					
	本 管	穴のあいてる破損					
		浸入水及びにじみ					
		ス キ マ					
		ズ レ					
		破 損					
		パ ッ キ ン 外 れ					
		ク ラ ッ ク					
		穴のあいてる破損					
	土 砂	タルミ 区 間					
		土 砂 堆 積 区 間	1	1		1	

図 8.2 地盤状況および下水道管渠の被害実態(秋田市新屋元町, 調査地点No 3)

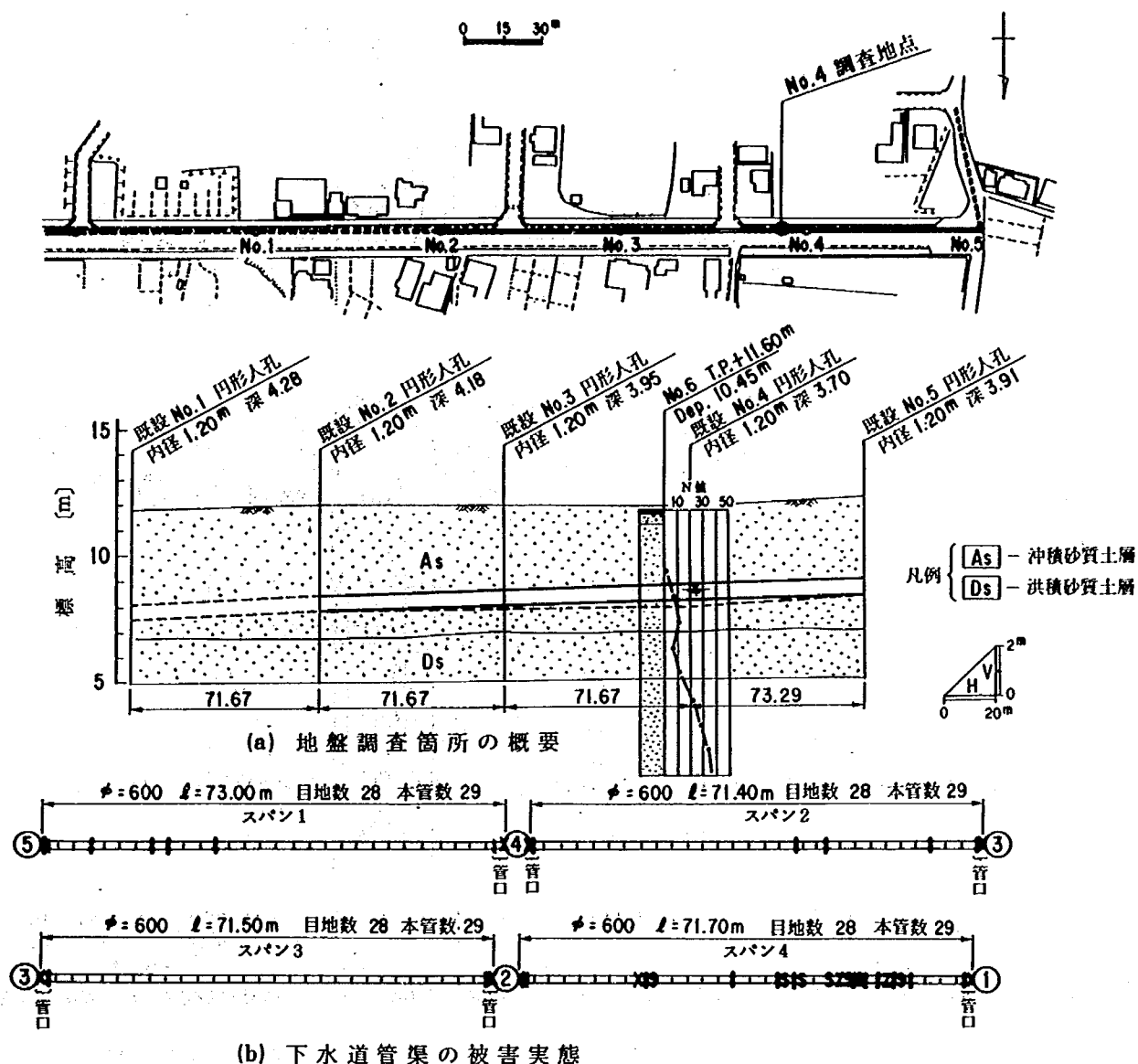
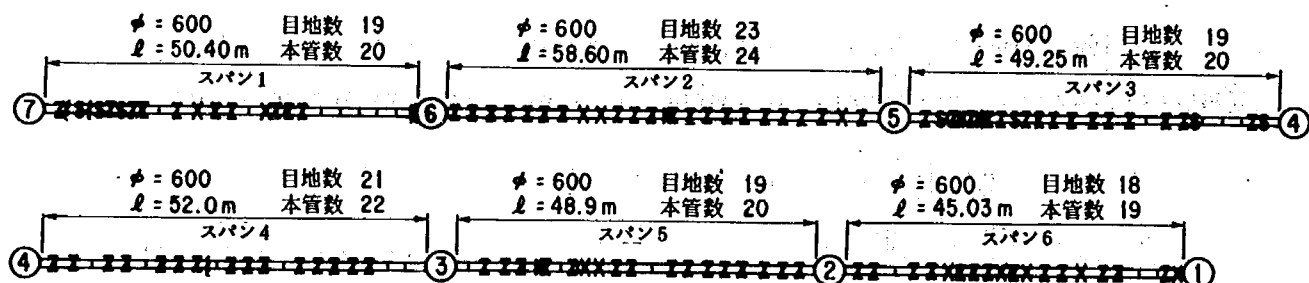
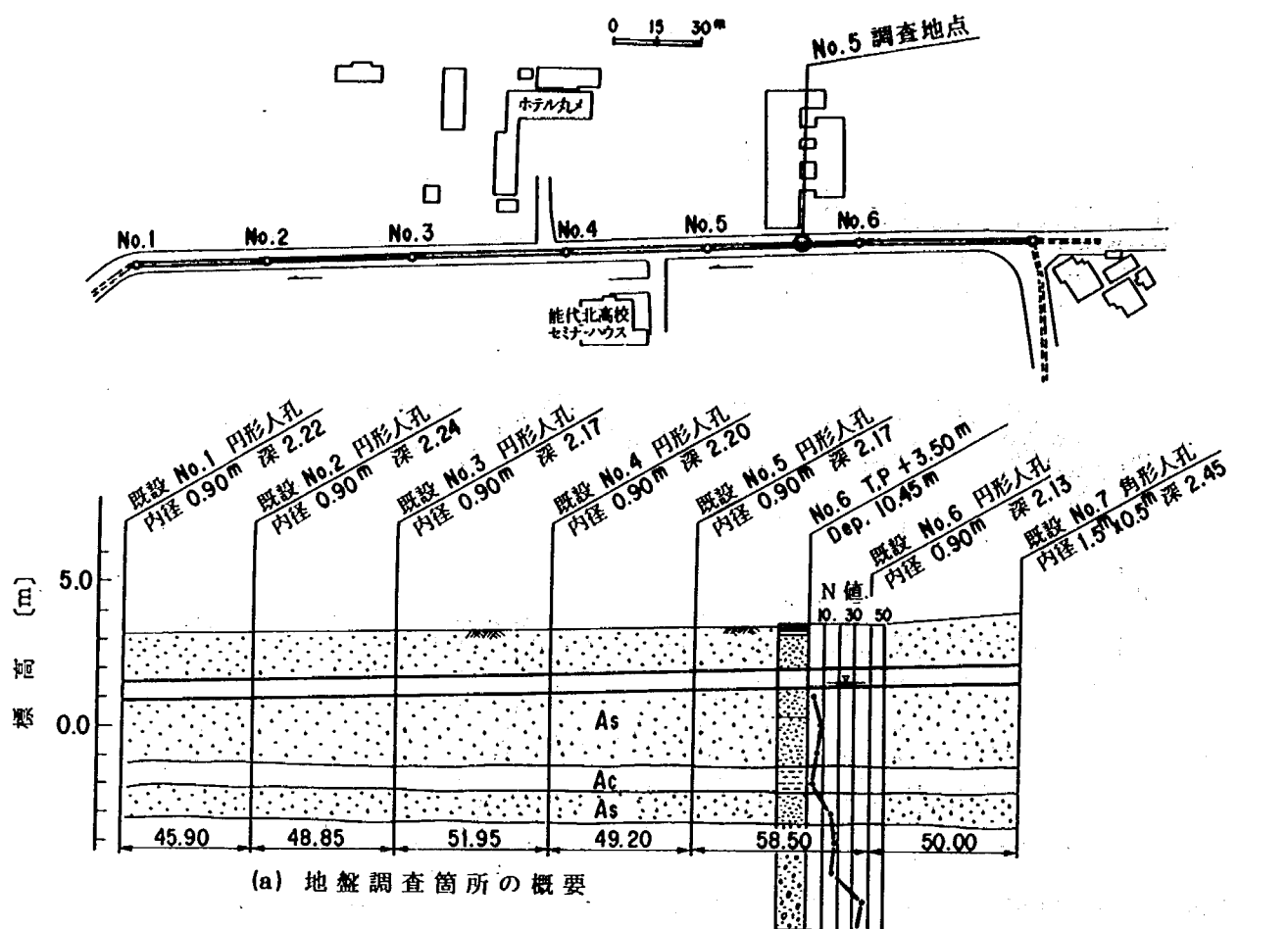


図 8.3 地盤状況および下水道管渠の被害実態（能代市鳥小屋，調査地点No.4）



(c) 下水道管渠被害の集計

		スパン	1	2	3	4	5	6
		距離 (m)	50.40	58.60	49.25	52.00	48.90	45.03
		管径 (mm)	600	600	600	600	600	600
		目地数	19	23	19	21	19	18
		本管数	20	24	20	22	20	19
被害状況	目	取付管数						
		浸入水及びにじみ						
		スキマ	1	1	2		1	
		ズレ	9	20	15	15	15	13
		破損	2	3			2	5
		パッキン外れ	3		4			
	本管	クラック				1		
		穴があいてる破損						
		浸入水及びにじみ						
		スキマ						
		ズレ						
		破損						
		パッキン外れ						
		クラック						
	管	穴があいてる破損						
		タルミ区間						
	土壌		土砂堆積区間					

図 8.4 地盤状況および下水道管渠の被害実態 (能代市亀谷地, 調査地点 No. 5)

8.2 液状化程度の判定

液状化の判定方法は道路橋示方書V耐震設計編に規定される液状化抵抗率 F_L ¹¹⁾および F_L を地盤の深さごとに重みを考慮して加え合わせた液状化抵抗指数 P_L により行った。

4地区5地点における F_L の算定結果を表8.2～8.6に示す。 F_L の算定に際しては地盤の震度 k_{so} は0.15, 0.20, 0.25の3種類とした。今回の地震での秋田～能代における地震動の最大加速度は200～250 gal程度と推定されており、震度 k_{so} はこのような点を勘案して定めたものである。

一方、 P_L は F_L の算定結果をもとに次式により計算した。

$$P_L = \int_0^{10} (1 - F_L) (10 - 0.5z) dz$$

(ただし、 $F_L \geq 1.0$ に対しては $1 - F_L = 0$) (8.1)

式(8.1)による P_L の算定では、地表面から20 mまでの深さについて F_L を加え合わせるのが一般的であるが、¹⁰⁾ここでは今回検討対象とした7地点でボーリング調査が10 m程度までしか実施されていないことから、地表面下10 mまでの深さを対象として P_L を求めたものである。なお、ボーリング深度が10 m未満の場合には、調査深度までの F_L 値が同じ値のまま10 mの深さまで続くと仮定して次式により P_L を推定した(図8.5参照)。

〈ボーリング深度6 mの例〉

$$P_L = P_L^{(x)} \cdot 6 + P_L^{(x)} \cdot \frac{S_2}{S_1} \quad (8.2)$$

ここで、

P_L : 式(8.1)により定義した P_L 値

$P_L^{(x)}$: 式(8.1)により地表面から地表面下 x mまでの間で求めた P_L 値

S_1 : 地表面から地表面下 x mの範囲で深さ方向の低減係数 r_d が持つ面積

S_2 : 地表面下 x mから地表面下10 mまでの範囲で深さ方向の低減係数 r_d が持つ面積

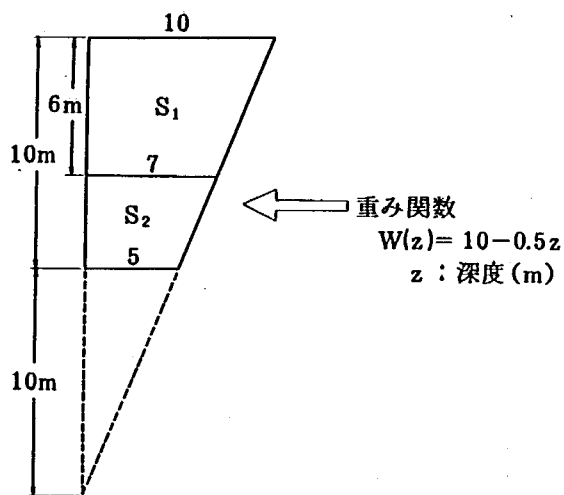


図8.5 10 mまでのボーリング柱状図がない場合の P_L の推定方法

表8.7は、以上のようにして求めた、それぞれ、 F_L および P_L の値を示したものである。ここで、表8.7においては地表面から地表面下10 m間の F_L 値の単純平均値(以下、 F_L^{10m} と表わす)および下水道管渠の直下から1 m間隔の3深度における F_L 値の単純平均値(以下、 F_L^{3m} と表わす)の両者も示している。なお、表中には後述する被害率もあわせて示してある。

表 8.2 液状化の判定（秋田市土崎，調査地点No 1）

深 度 (m)	柱 状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度	基 礎 デ ー タ					R	γ_d	L ($K_s = 0.2$)	$F_L = R/L$ ($K_s = 0.2$)	F_L の 分 布 0.5 1.0 1.5
				N	ρ_t (g/cm^3)	σ_v (kg/cm^2)	σ'_v (kg/cm^2)	D_{50} (mm)					
0			1	(2)	1.9	0.19	0.19	0.44	0.110	0.985	0.197	0.558	
2			2	2	"	0.38	0.35	0.50	0.087	0.970	0.211	0.412	
3			3	10	"	0.57	0.44	0.53	0.253	0.955	0.247	1.023	
4			4	5	"	0.76	0.53	0.36	0.175	0.940	0.270	0.649	
5			5	9	"	0.95	0.62	0.42	0.212	0.925	0.283	0.750	
6			6	13	"	1.14	0.71	0.64	0.218	0.910	0.292	0.745	

注) ()内は推定値

表 8.3 液状化の判定（秋田市土崎，調査地点No 2）

深 度 (m)	柱 状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度	基 礎 デ ー タ					R	γ_d	L ($K_s = 0.2$)	$F_L = R/L$ ($K_s = 0.2$)	F_L の 分 布 0.5 1.0 1.5
				N	ρ_t (g/cm^3)	σ_v (kg/cm^2)	σ'_v (kg/cm^2)	D_{50} (mm)					
0			1	(6)	1.9	0.19	0.19	0.48	0.198	0.985	0.197	1.006	
2			2	6	"	0.38	0.35	0.38	0.203	0.970	0.211	0.963	
3			3	11	"	0.57	0.44	0.70	0.224	0.955	0.247	0.905	
4			4	8	"	0.76	0.53	0.46	0.198	0.940	0.270	0.735	
5			5	4	"	0.95	0.62	0.34	0.156	0.925	0.283	0.552	
6			6	7	"	1.14	0.71	0.48	0.166	0.910	0.292	0.567	

注) ()内は推定値

表 8.4 液状化の判定 (秋田市新屋元町, 調査地点No.3)

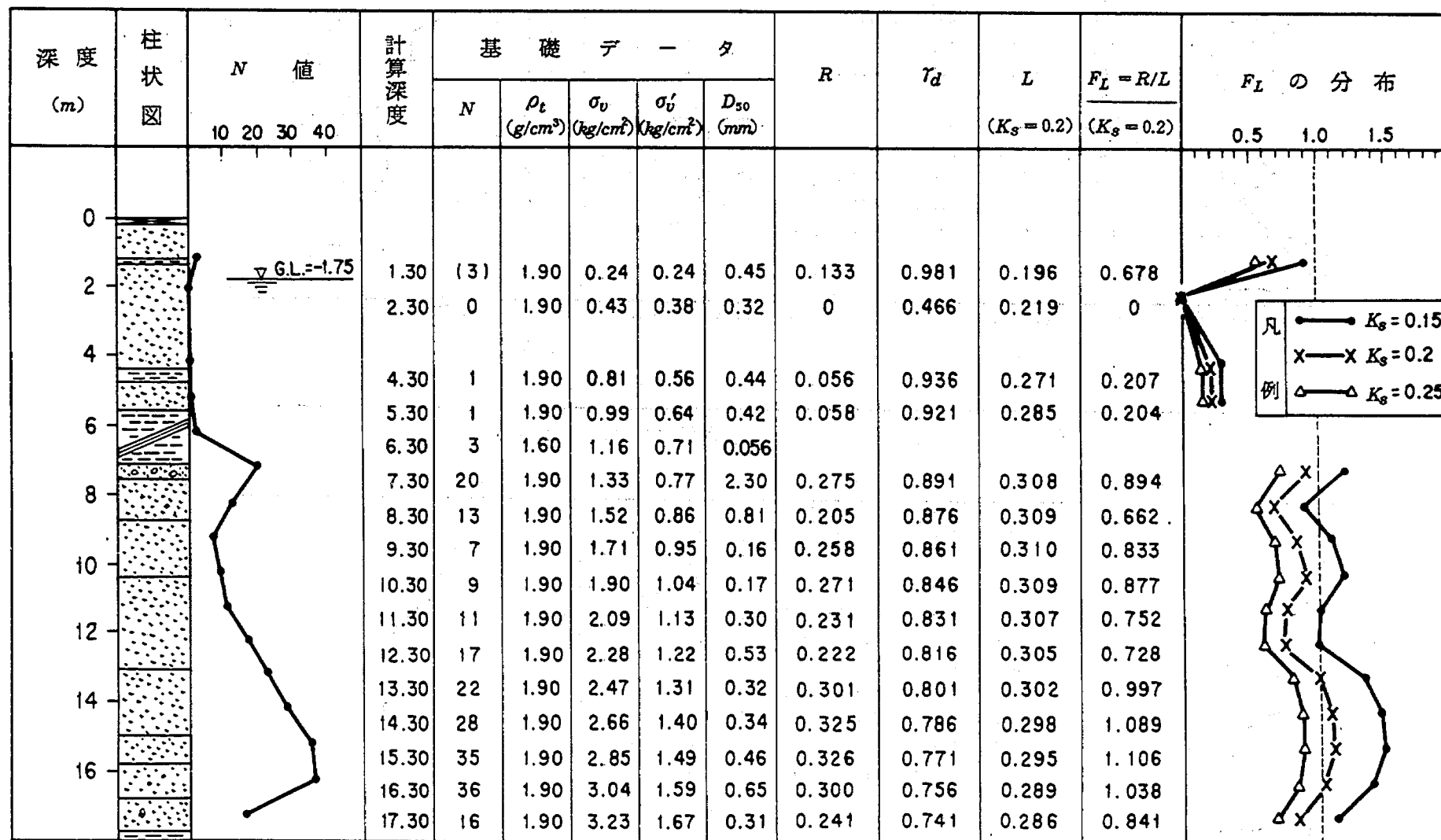


表 8.5 液状化の判定 (能代市鳥小屋, 調査地点No.4)

深 度 (m)	柱 状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度	基 礎 デ ー タ					R	τ_d	L ($K_s=0.2$)	$F_L=R/L$ ($K_s=0.2$)	F_L の 分 布 0.5 1.0 1.5
				N	ρ_t (g/cm^3)	σ_v (kg/cm^2)	σ'_v (kg/cm^2)	D_{50} (mm)					
0			1	(3)	1.9	0.19	0.19	0.40	0.149	0.985	0.197	0.756	凡 例 $\bullet$ $K_s=0.15$ $\times$ $K_s=0.2$ $\triangle$ $K_s=0.25$
2			2	3	"	0.38	0.38	0.40	0.134	0.970	0.194	0.691	
3			3	8	"	0.57	0.52	0.38	0.218	0.955	0.209	1.043	
4			4	12	"	0.76	0.61	0.36	0.264	0.940	0.234	1.128	
5			5	8	"	0.95	0.70	0.36	0.208	0.925	0.251	0.829	
6			6	12	"	1.14	0.79	0.33	0.256	0.910	0.263	0.973	
7			7	23	"	1.33	0.88	0.36	0.334	0.895	0.271	1.232	
8			8	28	"	1.52	0.97	0.35	0.361	0.880	0.276	1.308	
9			9	34	"	1.71	1.06	0.33	0.393	0.865	0.279	1.409	
10			10	36	"	1.90	1.15	(0.33)	0.395	0.850	0.281	1.406	

注) ()内は推定値

表 8.6 液状化の判定 (能代市亀谷地, 調査地点No.5)

深 度 (m)	柱 状 図	N 値 10 20 30 40	計算 深度	基 礎 デ ー タ					R	τ_d	L ($K_s=0.2$)	$F_L=R/L$ ($K_s=0.2$)	F_L の 分 布 0.5 1.0 1.5
				N	ρ_t (g/cm^3)	σ_v (kg/cm^2)	σ'_v (kg/cm^2)	D_{50} (mm)					
0			1	5	1.9	0.19	0.19	0.46	0.182	0.985	0.197	0.926	凡 例 $\bullet$ $K_s=0.15$ $\times$ $K_s=0.2$ $\triangle$ $K_s=0.25$
2			2	5	"	0.38	0.38	0.50	0.155	0.970	0.194	0.799	
3			3	9	"	0.57	0.47	0.40	0.232	0.955	0.232	1.000	
4			4	7	"	0.76	0.56	0.38	0.200	0.940	0.255	0.783	
5			5	5	1.7	0.95	0.65	—	—	0.925	—	—	
6			6	16	1.9	1.12	0.72	0.35	0.296	0.910	0.283	1.046	
7			7	19	1.9	1.32	0.82	1.40	0.262	0.895	0.288	0.909	
8			8	18	2.0	1.52	0.92	(1.00)	0.244	0.880	0.291	1.839	
9			9	37	"	1.72	1.02	1.00	0.359	0.365	0.292	1.231	
10			10	32	"	1.92	1.12	(1.00)	0.331	0.850	0.291	1.137	

注) ()内は推定値

表 8.7 $F_L \cdot P_L$ と各種被害率の関係

地 点	調査 地盤 No	F _L ^{10m}			F _L ^{3m}			P _L			マンホール 区間被害率 A〔%〕	マンホール 区間被害率 B〔%〕	地区被害率 A〔%〕	地区被害率 B〔%〕
		震 度 k _s			震 度 k _s			震 度 k _s						
		0.15	0.2	0.25	0.15	0.2	0.25	0.15	0.2	0.25				
秋 田 市 土 崎 その 1	1	0.92	0.69	0.55	1.08	0.81	0.65	11.2	23.5	33.1	34.9	27.4	35.5	29.6
秋 田 市 土 崎 その 2	2	1.05	0.79	0.63	0.82	0.62	0.49	5.7	14.2	25.9	33.3	25.0	22.2	19.6
秋田市新屋元町	3	0.66	0.50	0.40	0.18	0.14	0.11	31.4	38.3	43.8	29.1	42.7	28.1	41.5
能代市鳥小屋	4	1.44	1.08	0.86	1.30	0.98	0.78	0.8	6.6	14.1	5.8	7.1	7.3	9.3
能代市亀谷地	5	1.28	0.96	0.77	1.13	0.86	0.69	0	5.8	15.7	26.1	39.2	23.5	35.3

8.3 被害状況の定量化

液状化程度と下水道管渠の被害の度合いを定量的に検討するために、表 8.8 に示す管渠の被害状況を基本に、以下の管渠被害率の指標を定義した。ただし、被害率の算定に際してはどの範囲をとるかが問題となるが、ここでは、ボーリング調査を行った地点に最も近い 2 つのマンホールの間の路線（スパンと呼び、一般に 50 m 程度の長さとなる）をとった場合（以下、これをマンホール区間被害率と呼ぶ）と、その地区の平均的な被害率をみるために、当該スパンの前後のスパンの平均値をとった場合（以下、これを地区被害率と呼ぶ）の 2 種類を考慮した。すなわち、

$$\begin{aligned}
 \text{マンホール区間管本体被害率 } DR_P^S &= \frac{\text{管本体に被害のあった本管の本数}}{\text{本管の総数}} \\
 &\quad \times 100 (\%) \\
 \text{マンホール区間目地被害率 } DR_J^S &= \frac{\text{被害のあった目地数}}{\text{目地の総数}} \times 100 (\%) \\
 \text{マンホール区間管渠被害率 (A) } DR_A^S &= \text{マンホール区間管本体被害率} \times \frac{2}{3} \\
 &\quad + \text{マンホール区間目地被害率} \times \frac{1}{3} (\%) \\
 \text{マンホール区間管渠被害率 (B) } DR_B^S &= \text{マンホール区間管本体被害率} \times \frac{1}{2} \\
 &\quad + \text{マンホール区間目地被害率} \times \frac{1}{2} (\%)
 \end{aligned}
 \tag{8.3}$$

また、

$$\begin{aligned}
 \text{地区管本体被害率 } DR_P^A &= \frac{1}{N} \sum \text{マンホール区間管本体被害率} (\%) \\
 \text{地区目地被害率 } DR_J^A &= \frac{1}{N} \sum \text{マンホール区間目地被害率} (\%) \\
 \text{地区管渠被害率 (A) } DR_A^A &= \frac{1}{N} \sum \text{マンホール区間管渠被害率 (A)} (\%) \\
 \text{地区管渠被害率 (B) } DR_B^A &= \frac{1}{N} \sum \text{マンホール区間管渠被害率 (B)} (\%)
 \end{aligned}
 \tag{8.4}$$

ここで、N は 1 地区とみなした範囲におけるスパン数である。マンホール区間被害率および区間被害率に用いたスパンについては表 8.8 に示した通りである（スパン No の項参照）。なお、式（8.3）、（8.4）による被害率には本管のみを考慮し、取付管については考慮していない。なお、これらの被害調査は、テレビカメラおよび管内目視（能代市亀谷地の $\phi 600$ mm 管のみ）によって行なわれたものである。

表 8.8 下水道管渠の被害状況および被害率

地 点	調査 地点 No	スパン No	人 孔 番 号		管径 (mm)	距離 (m)	目 地 数		本 管 数		本 管 被 害 数		目地の 被害数	マンホール区間被害率〔%〕				調査区間被害率〔%〕				備 考
			上 流	下 流			総数	調査 数量	総数	調査 数量	総個数	被害の あった 管の本 数		① 本 管 被害率	② 目 地 被害率	③ 被害率 A $\frac{① \times \frac{2}{3}}{+ ② \times \frac{1}{3}}$	④ 被害率 B $\frac{① \times \frac{1}{2}}{+ ② \times \frac{1}{2}}$	⑤ 平 均 本 管 被害率	⑥ 平 均 目 地 被害率	⑦ 平均被害 率 A $\frac{⑤ \times \frac{2}{3}}{+ ⑥ \times \frac{1}{3}}$	⑧ 平均被害 率 B $\frac{⑤ \times \frac{1}{2}}{+ ⑥ \times \frac{1}{2}}$	
秋 田 市 土 崎 1	1	1	H1 (No.2)	H2 (No.3)	500	8.40	3	3	4	4	1	1	2	25.0	66.7	38.9	45.9	47.2	12.0	35.5	29.6	
		②	H2 (No.3)	H3 (No.4)	"	52.75	21	21	22	22	12	11	1	50.0	4.8	34.9	27.4					
		3	H3 (No.4)	H4 (No.5)	"	65.65	26	26	27	27	13	13	3	48.1	11.5	35.9	29.8					
秋 田 市 土 崎 2	2	4	H4 (No.5)	H5 (No.6)	"	47.60	19	19	20	20	6	6	3	30.0	15.8	25.3	22.9	27.6	11.5	22.2	19.6	
		⑤	H5 (No.6)	H6 (No.7)	"	4.00	1	1	2	2	1	1	0	50.0	0	33.3	25.0					
		6	H6 (No.7)	H7 (No.1)	"	15.10	6	6	7	7	1	1	0	14.3	0	9.5	7.2					
秋 田 市 新 屋 元 町	3	1	No.1	No.2	300	38.2	16	14	17	15	0.1	0.1	11.7	0.6	73.1	28.2	24.7	1.4	81.5	28.1	41.5	調査不能区 間有
		2	No.2	No.3	"	28.0	11	4	12	5	0.4	0.4	10.0	3.3	90.9	32.5	47.1					
		3	No.3	No.4	400	38.3	16	16	17	17	0	0	13	0	81.3	27.1	40.7					
		④	No.4	No.5	"	43.1	18	11	19	12	0.4	0.4	15.0	2.1	83.3	29.1	42.7					調査不能区 間有
能 代 市 鳥 小 屋	4	1	No.5	No.4	600	73.00	28	28	29	29	2	2	4	6.9	14.3	9.4	10.6	3.4	15.2	7.3	9.3	
		②	No.4	No.3	"	71.40	28	28	29	29	1	1	3	3.4	10.7	5.8	7.1					
		3	No.3	No.2	"	71.50	28	28	29	29	0	0	0	0	0	0	0					
		4	No.2	No.1	"	71.70	28	28	29	29	1	1	10	3.4	35.7	14.2	19.6					
能 代 市 亀 谷 地	5	1	No.10	No.9	600	50.40	19	19	20	20	0	0	13	0	68.4	22.8	34.2	0	70.6	23.5	35.3	
		②	No.9	No.8	"	58.60	23	23	24	24	0	0	18	0	78.3	26.1	39.2					
		3	No.8	No.7	"	49.25	19	19	20	20	0	0	15	0	78.9	26.3	39.5					
		4	No.7	No.6	"	52.00	21	21	22	22	0	0	11	0	52.4	17.4	26.2					
		5	No.6	No.5	"	48.90	19	19	20	20	0	0	14	0	73.7	24.5	36.9					
		6	No.5	No.4	"	45.03	18	18	19	19	0	0	13	0	72.2	24.0	36.1					

注1) 調査地点Noについては、表8.1参照

注2) 調査不能区間においては目地被害率を85%、管渠被害率を5%と仮定している。

注3) スパンNoで○を付したスパンは、マンホール区間被害率の算定に用いたスパンであることを示す。

また、秋田市新屋元町地区では、管渠の不等沈下による管内の滞留水又は流入した土砂のため長さにして約 40 % の区間で調査不能であった。このため、調査不能箇所の被害率は、同地区での調査可能区間中、最も被害率が高い区間の値（目地被害率 81.3 %，本管被害率 3.3 %）よりもさらに高いと考え、目地被害率として 85 %，本管被害率として 5 % と設定した。したがって、秋田市新屋元町における被害率は、調査可能区間の被害と上記被害率を仮定した調査不能区間の被害の和より求めた数値である。

8.4 液状化程度と被害程度の関係

液状化抵抗率 F_L （ F_L^{10m} および F_L^{3m} ）および液状化抵抗指数 P_L で表わした液状化程度と式（8-3），（8-4）で定義した管渠被害率の関係を整理すると表 8.8 および図 8.6～8.8 のようになる。これより以下の事項が指摘される。

1) 液状化の度合い（ F_L^{10m} ， F_L^{3m} ， P_L ）と管渠被害率（ DR_A^S ， DR_B^S ， DR_A^A ， DR_A^B ）の関係は、いずれの場合にも、全体としてよい相関がある。特に、管渠被害率と P_L および F_L^{10m} との相関が良い。これに比較して、管渠被害率と F_L^{3m} の相関がやや低いのは、 F_L の平均範囲が狭いため、局所的なデータに左右されやすいためと考えられる。

2) マンホール区間被害率と地区被害率の間には、多少のばらつきがあるが、全体としては、大きな違いはない。このことは、マンホール区間被害率で表わしても地区被害率で表わしても、いずれの場合にも、管渠の被害率をよく定量的に把握していることを示している。

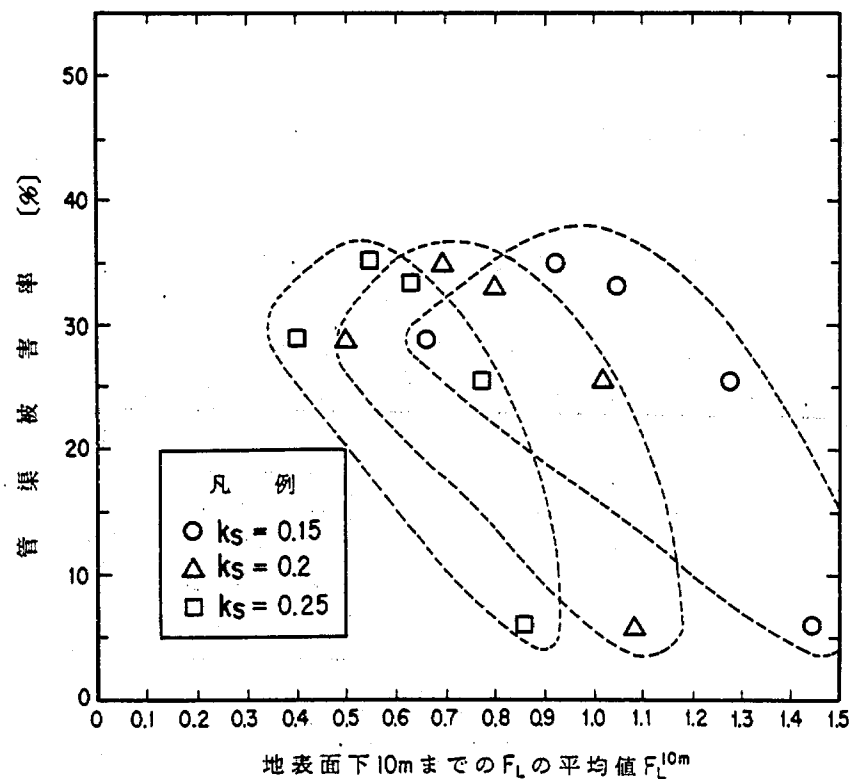
以上の結果より、 F_L^{10m} および P_L ～管渠被害率の関係を、マンホール区間被害率および地区被害率を一まとめにして震度 $k_s = 0.2$ の場合に対して示した結果が図 8.9 である。ここで震度 k_s を 0.2 としたのは、前述したように日本海中部地震により、秋田市および能代市で生じた地震動の最大加速度が 200 gal 程度であり、震度にすると 0.2 程度となると考えたためである。なお、被害率 A の場合には、 P_L との相関は必ずしもよくないため、ここには示していない。この結果によれば、管渠被害率と液状化の程度には、おおよそ次の関係があることがわかる。

$$DR_B \div 1.2 P_L \quad (8.5)$$

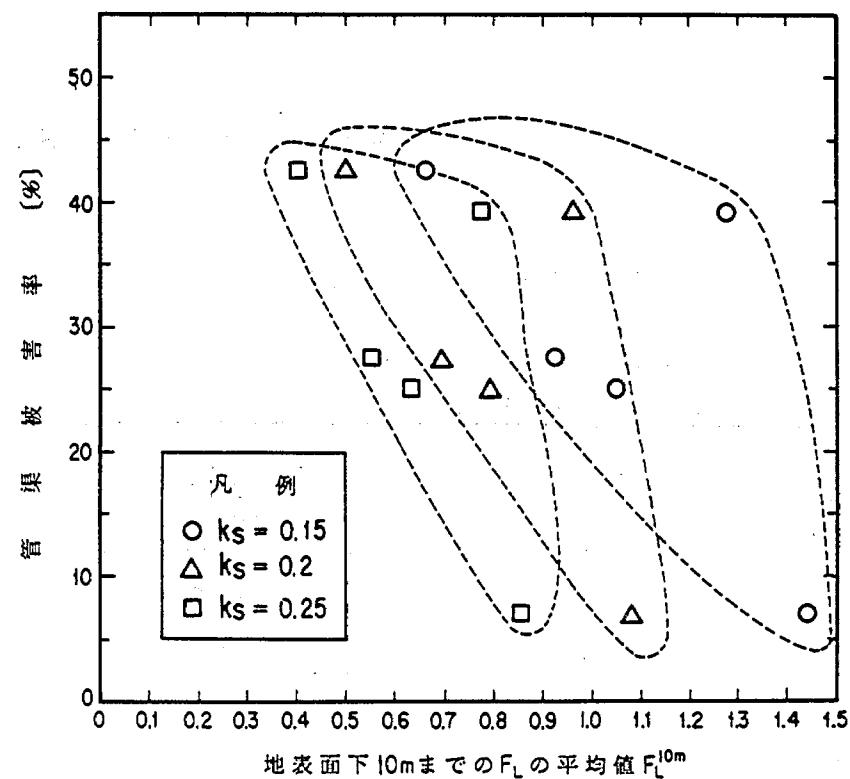
$$DR_A \div -53 F_L + 70 \quad (8.6)$$

$$DR_B \div -54 F_L + 76 \quad (8.7)$$

上式は解析対象箇所数が少ないため、今後、検討していく必要があるが、液状化した場合の下水道管渠の被害を概略推定するために利用できると考えられる。

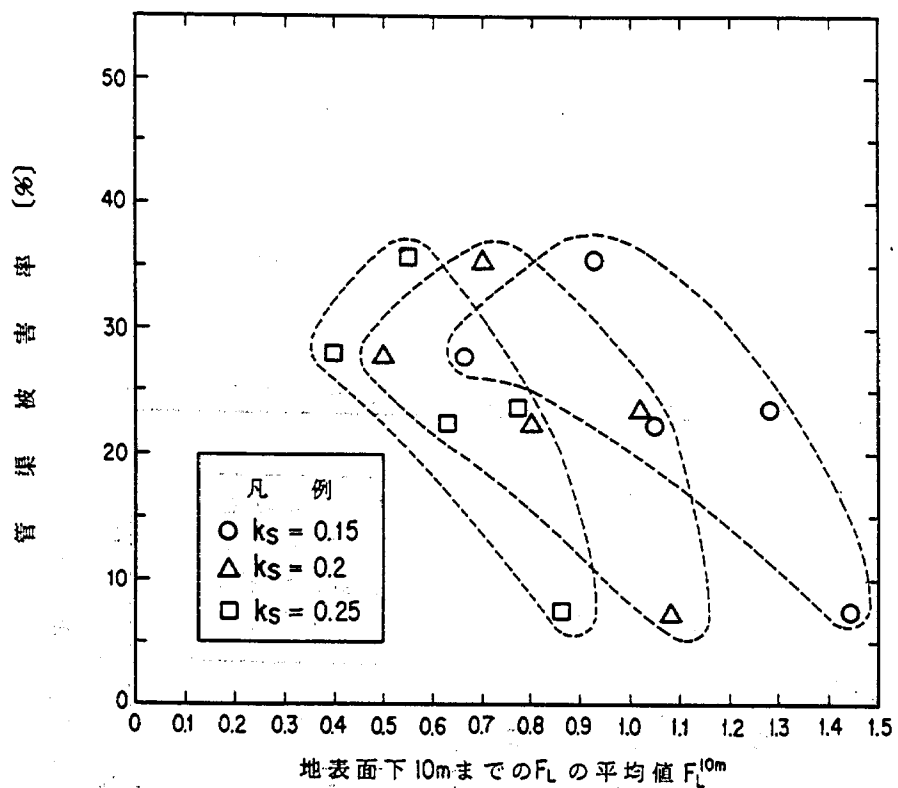


(1) F_L^{10m} とマンホール区間管渠被害率 A の関係

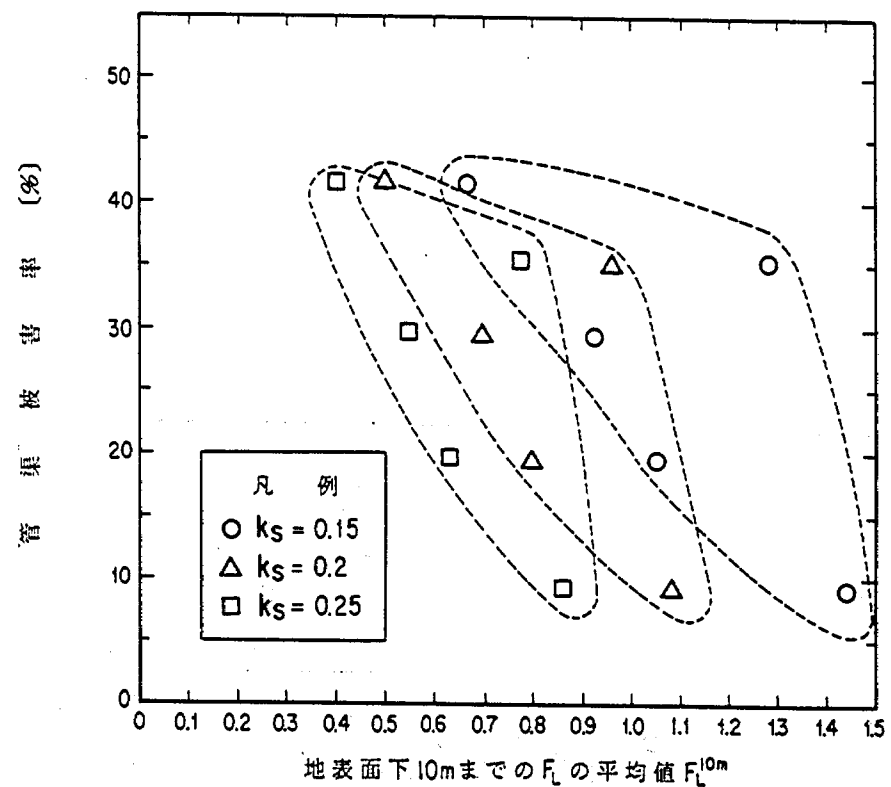


(2) F_L^{10m} とマンホール区間管渠被害率 B の関係

図 8.6(a) 地表面下 10 m までの F_L の平均値 F_L^{10m} と管渠被害率の関係

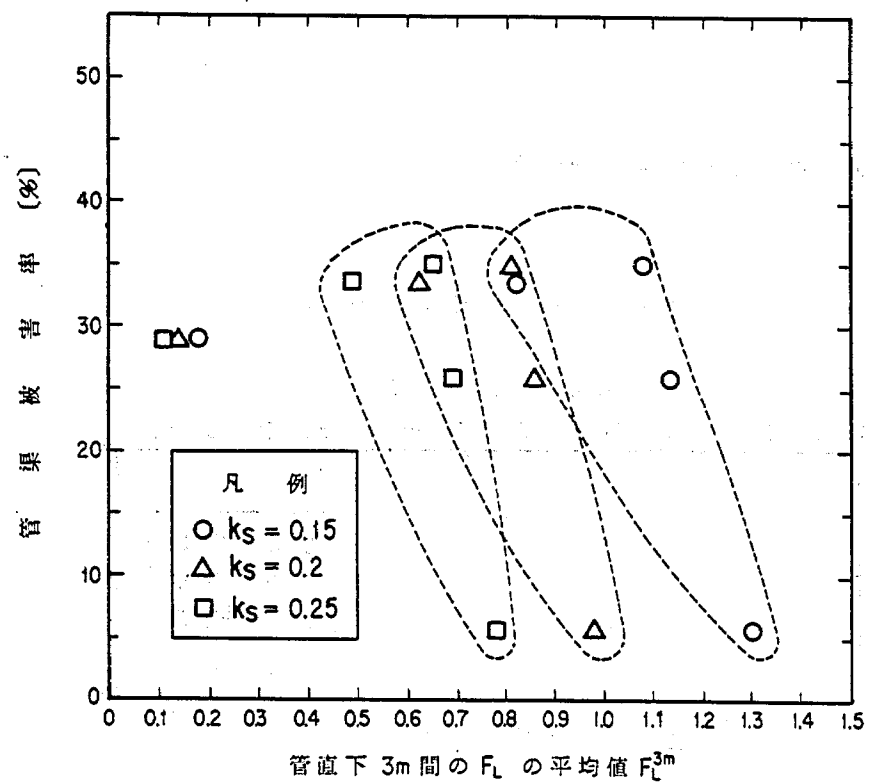


(3) F_L^{10m} と地区管渠被害率Aの関係

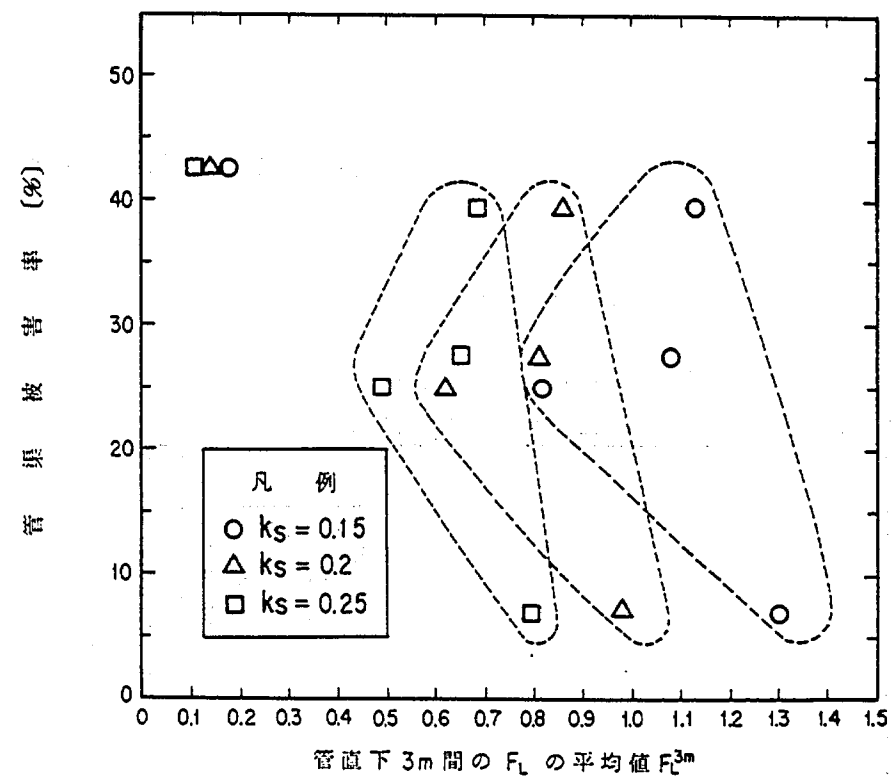


(4) F_L^{10m} と地区管渠被害率Bの関係

図 8. 6 (b) 地表面下 10 m までの F_L の平均値 F_L^{10m} と管渠被害率の関係

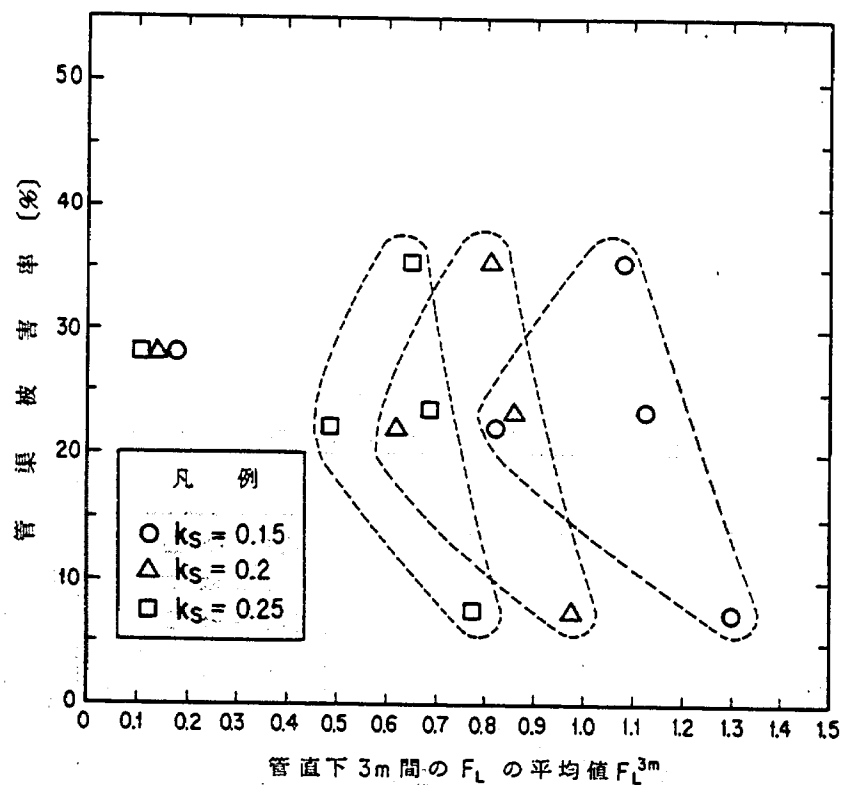


(1) F_L^{3m} とマンホール区間被害率 A の関係

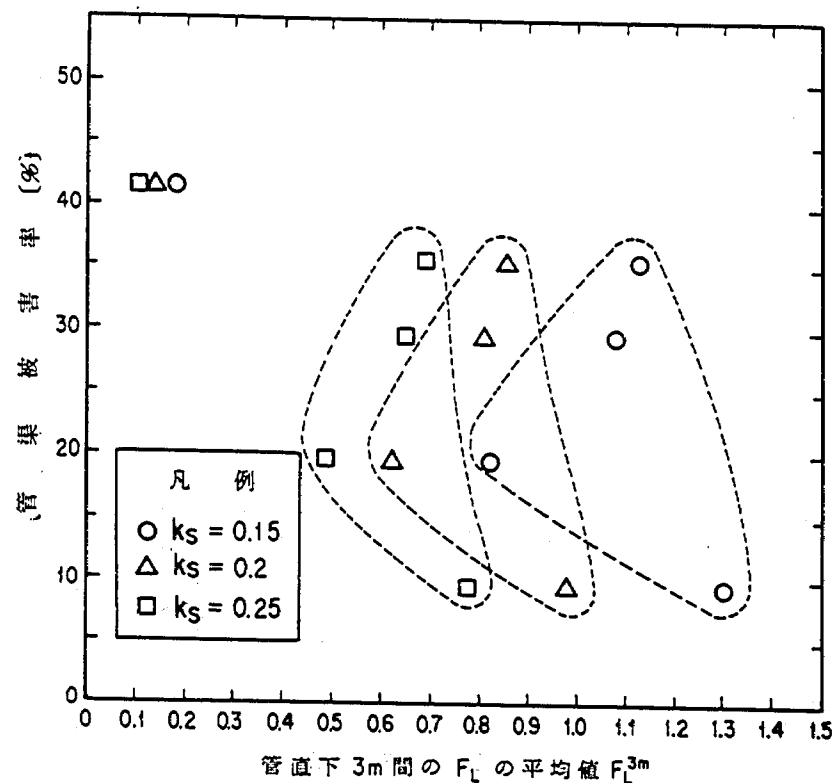


(2) F_L^{3m} とマンホール区間被害率 B の関係

図 8.7(a) 管直下 3 m 間の F_L 平均値 F_L^{3m} と管渠被害率の関係

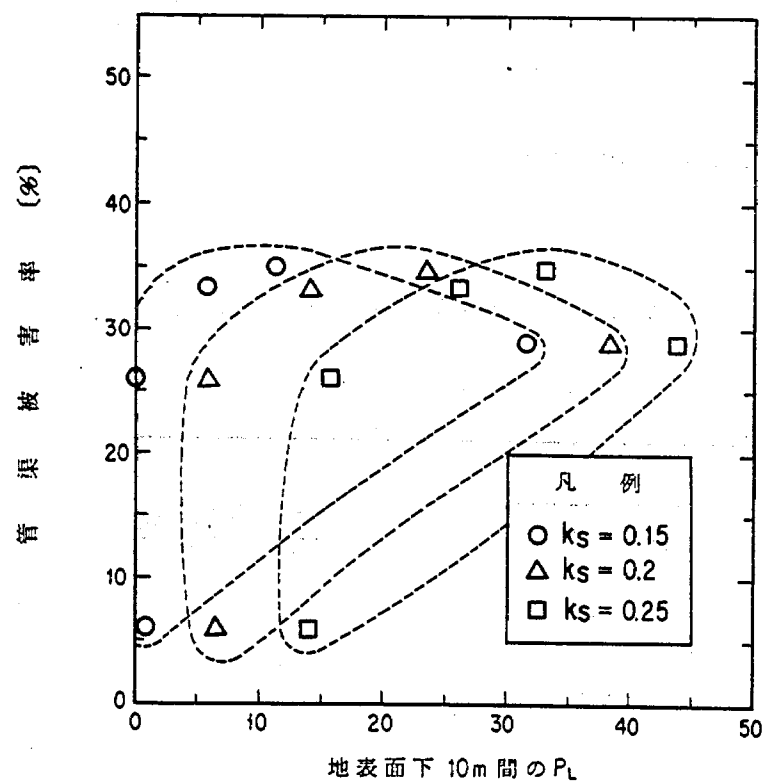


(3) F_L^{3m} と地区被害率 A の関係

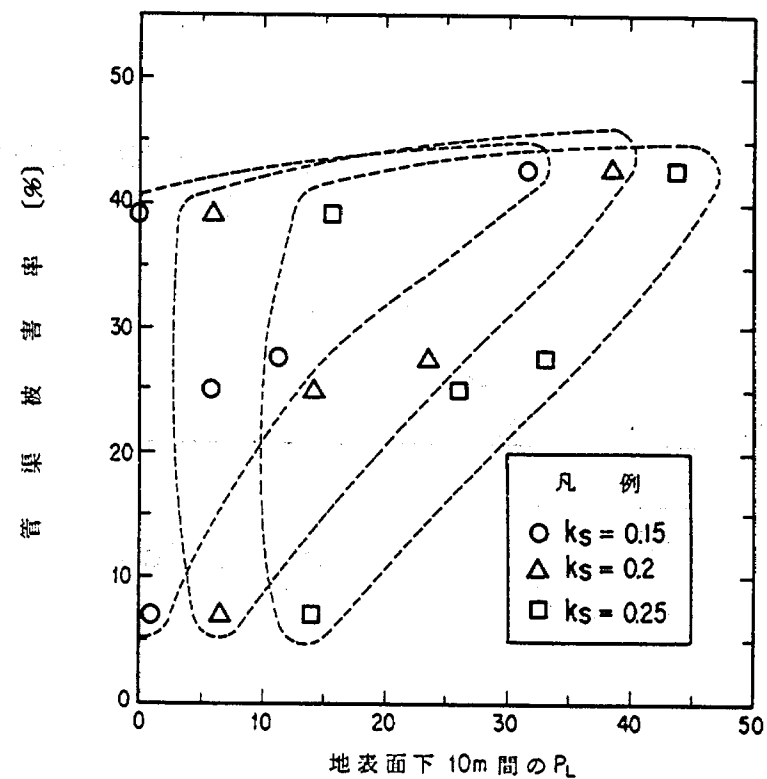


(4) F_L^{3m} と地区被害率 B の関係

図 8.7 (b) 管直下 3 m 間の F_L 平均値 F_L^{3m} と管渠被害率の関係

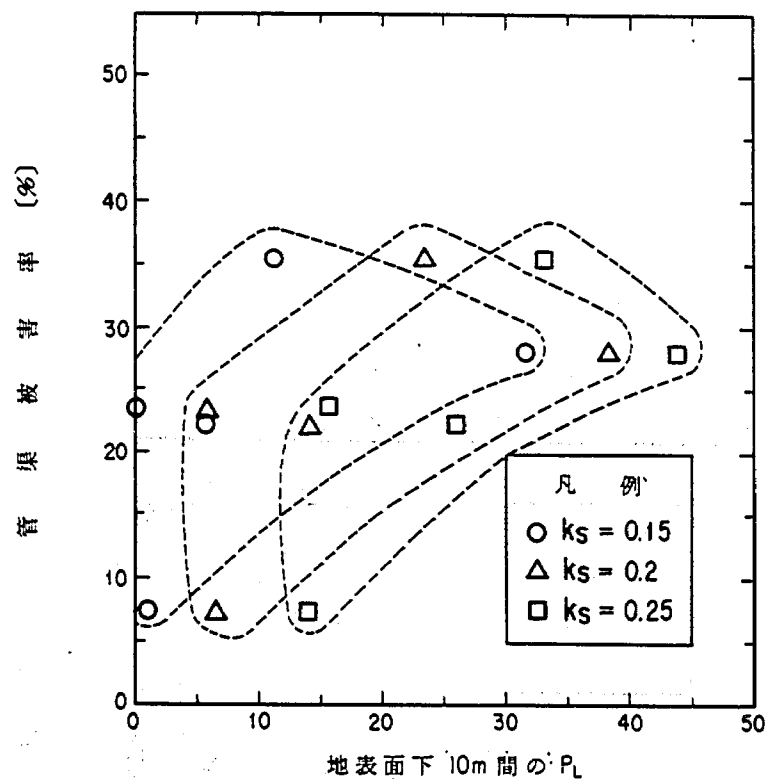


(1) P_L とマンホール区間被害率 A の関係

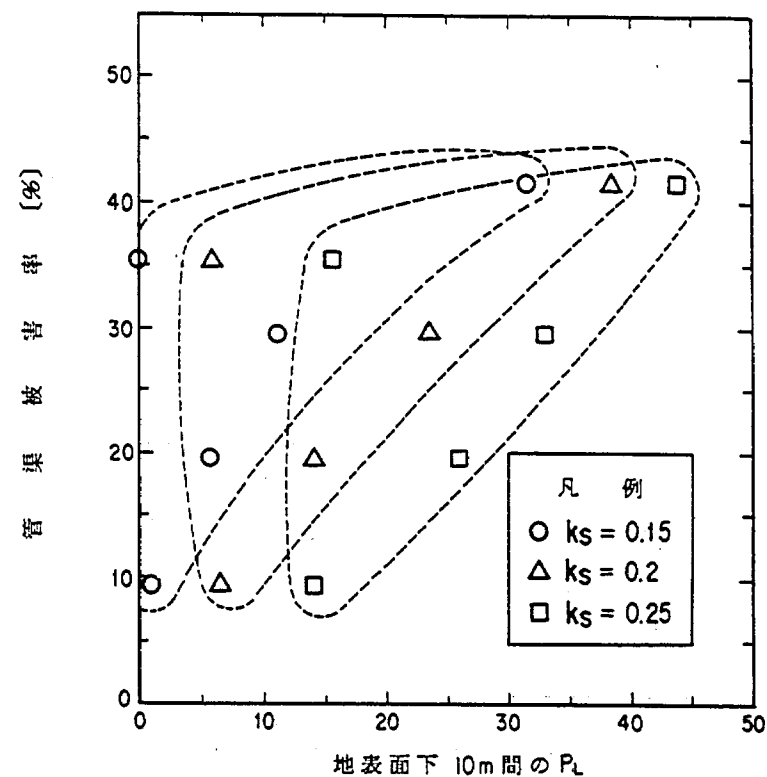


(2) P_L とマンホール区間被害率 B の関係

図 8.8(a) 地表面下 10 m 間の P_L と管渠被害率の関係

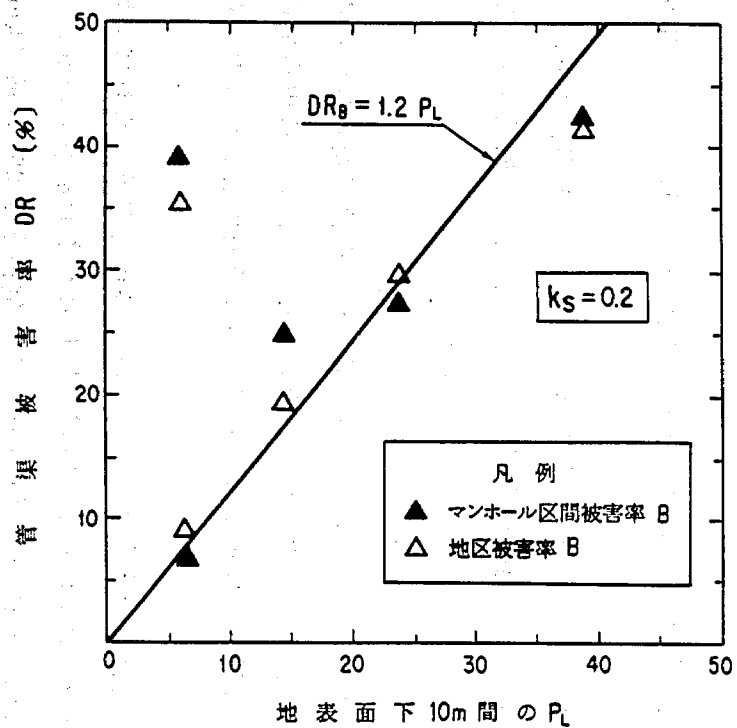


(3) P_L と地区被害率 A との関係

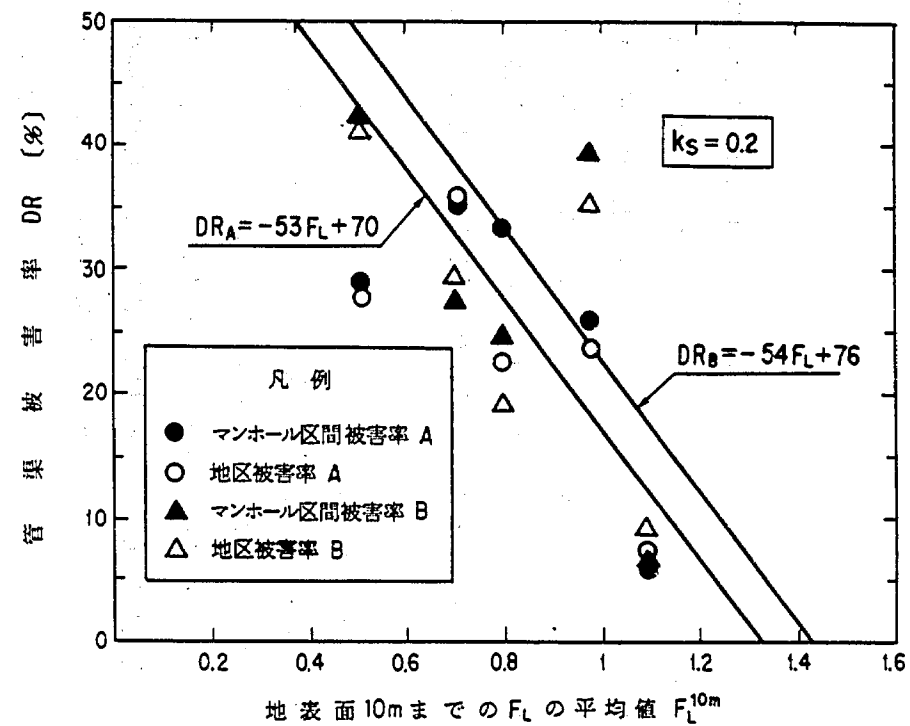


(4) P_L と地区被害率 B との関係

図 8.8(b) 地表面下 10 m 間の P_L と管渠被害率の関係



(a) 管渠被害率 $\sim P_L$ の関係



(b) 管渠被害率 $\sim F_L^{10m}$ の関係

図 8.9 液状化程度 (P_L および F_L^{10m}) と管渠被害率の関係

9. 結 論

9.1 本調査結果から得られた結論

日本海中部地震による秋田市および能代市の下水道管渠の被害を両市の災害査定資料（復旧路線）、TVカメラ調査を中心とした管内調査報告書^{8), 10)} 本調査で実施したビデオスケアー計測結果をもとに検討した。各資料の質が同一ではなく、また、復旧路線を対象とした調査や復旧されていない路線を主とした調査など、母集団の統一も必ずしも十分ではない。しかしながら、下水道管渠の地震被害の実態はこれまでほとんど調べられておらず、各種の制約はあるものの、多数の貴重な被害実態を明らかにすることができた。本調査から得られた結果をまとめると、以下ようになる。

1) Cランクのデータの解析から得られた結論

秋田、能代両市における全被害路線について、目地被害数、管体破損箇所数、被害延長等を比較することにより、被害の度数を検討した。これより、

- i) 能代市では、ヒューム管しか使用されていないため、秋田市において管種ごとに被害状況をみると、ヒューム管では管破損及び沈下被害と目地破損及びずれ被害が同程度の割合で発生しているのに対して、陶管では管破損及び沈下被害が圧倒的に多い。また、推進管では目地被害どまりであり、管体の被害はない。反対に、塩ビ管では目地破損及びずれ被害は生じていない。
- ii) 能代市は大部分が砂質土系の地盤から成っているため、当然ながら管渠の被害も100%砂地盤上で生じている。秋田市においては、全体の約60%の被害が砂地盤で生じている。
- iii) 埋設深度としては、秋田、能代両市とも1.5～2.5mの範囲で被害が最も多く生じている。
- iv) 能代市では、昭和40年以前に建設された管渠の被害が多いのに対して、秋田市では建設年度により大きな被害数の違いはない。
- v) 能代市では液状化に伴う地盤変状の認められた地点において管破損、沈下による被害が多く発生している。これに対して目地破損及びずれによる被害は、地盤変状のない地域の方が優勢であり、両者にはっきりした違いが認められる。

2) Bランクのデータの解析から得られた結論

Bランクの調査では、被害箇所数および調査延長の両者から、単位延長当りの被害箇所数（被害率）を求め、これにより定量的な被害の特性を検討した。ただし、秋田市では主として非復旧路線に対する管内調査資料、能代市では復旧路線のみを対象とした管内調査資料に基づいている。

- i) 管種別に被害率を求めると陶管が一番大きく582.5箇所/kmとなる。これは陶管1本を1mとすると2本に1箇所の割合いで何らかの被害を生じたことを示している。この内訳は、目地ずれが543.5箇所/km、管体の被害（亀裂および破損）が267箇所/kmとなっ

ている。

Ⅱ) ヒューム管に限定すると(能代市ではヒューム管のみ)、秋田市及び能代市の被害率は表 9.1 に示す通りである。これによれば、両市における管体及び管本体の被害率は、それぞれ 20 箇所/km, 24 ~ 29 箇所/km で、ほぼ同程度の値をとる。また、目地被害率は能代市が 239 箇所/km と、秋田市の 122 箇所/km に比較して約 2 倍となっている。

表 9.1 秋田市および能代市における被害率の比較

単位(箇所/km)

	秋 田 市	能 代 市
目 地 被 害 率	122.4	239
管 体 被 害 率	20.4	19.3
管 本 体 被 害 率	24.1	29.1

注 1) 秋田市の被害率はヒューム管のみの値である。

注 2) 能代市における被害率は、管路沈下路線および非沈下路線の平均値である。

Ⅲ) 秋田市および能代市ともに、埋設深度ごとの被害率は基本的に径が大きくなるほど、また、埋設深度が深くなるほど、ともに低下する傾向にある。

Ⅳ) 秋田市では、地盤種別ごとに被害率をみると、砂礫土(泥炭層含む)における被害率が高い。一方、能代市では、市の全域が基本的に砂地盤であるため、砂地盤にしか被害は生じていない。ただし、液状化による地盤変状が認められた地域と認められなかった地域に分けると、地盤変状の有無と管渠の沈下にはよい相関があり、地盤変状が生じている場合には、管渠の沈下が発生している確率は 55 % であるのに対して、地盤変状が生じていない場合に管渠の沈下が発生している確率は 3 % であった。

Ⅴ) 能代市における A 型、B 型、C 型のヒューム管の被害率を比較すると、母数が少ないため、はっきりしたことは言えないが、A 型管においては被害率は 55 箇所/km であるのに対して、B 型管および C 型管では 23 ~ 27 箇所/km 程度であり、A 型管の被害率が相対的に高くなっている。

3) A ランクのデータの解析から得られた結論

A ランクでは、代表路線に対して、ビデオスケーラーにより詳細な目地被害状況の調査を行った。これより、

Ⅰ) 秋田市、能代市ともに、ヒューム管に生じた亀裂の大部分は横断亀裂であり、縦断亀裂は少ない。これに対して、陶管の場合には、横断亀裂の他に縦断亀裂も多く発生している。

Ⅱ) ヒューム管の場合には、マンホールに直接つながっている第 1 管に亀裂被害が集中的に発生している。特に能代市においては、全被害箇所の実に 72 % が接続管で発生している。また、管径 400 mm 以上の管に限定すると、被害はマンホールに接続する管にしか発生して

いない。

Ⅲ) 陶管の場合には、マンホール間での亀裂発生は、ほぼ一様に生じており、上記Ⅱ) のヒューム管の場合のように、マンホールに接続する管での被害の集中は見られない。これは陶管の場合には、管材の強度が低く、軒並みに被害が生じているためと考えられる。

Ⅳ) 目地ずれ量、ひらき量、はなれ量の頻度分布を求めると、平均値の分布は、これらの量が大きくなる程、頻度が単調に減少する指数型、最大値の分布はある量でピークを持つ正規分布型となる。目地ずれ量、ひらき量、はなれ量の最大値としては、それぞれ 35 mm, 70 mm, 60 mm 程度の値となっている。

Ⅴ) 管渠の沈下量から推定した鉛直面内の地盤のせん断ひずみについても頻度分布を求めると上記Ⅳ) と同様の分布形となる。最大のせん断ひずみとしては、 $(7 \sim 8) \times 10^{-2}$ 程度となる。これに、いま、管渠の長さを 2.5 m と見込むと 1 本の管の両端で 15 ~ 20 cm の上下方向の不等沈下を生じることを意味している。

4) 代表的な被害例の検討結果から得られた結論

Ⅰ) 人孔近傍の管路の被害特性は、人孔接続部(管口)の亀裂(一般に人孔孔室のクラックと同時に生じる場合が多い)、および人孔内への管渠の突出である。ここで、人孔内への管渠の突出はあっても、人孔から管が抜けた事例は無かった。これは、マンホール間の地盤が引張られた場合には、管渠の継目で抜け出し、人孔から管が抜けることはまれであるのに対し、マンホール間の地盤が圧縮力を受けた場合には、管渠どうしは継目で押し合い、結局、人孔に管が突出するためと考えられる。

Ⅱ) 管渠施工時の埋戻し砂が液状化したと考えられる事例がある。また、掘削下面(地山)に直接埋設されていた管渠はほとんど被害を受けなかったのに対して、埋戻し土内に埋設されていた管渠は被害を受けた事例がある。これは、管渠の少なくとも下面が安定していれば、仮に液状化した場合でも、被害を受けにくいことを示している。

Ⅲ) 液状化に伴う周辺地盤自身の横移動(流動)のため、マンホール間の管渠の軸線が最大 1.5 m 移動した事例がある。

Ⅳ) 液状化が発生した箇所においては、液状化程度と管渠の被害率には、式(8.5)~式(8.7)で与えられるような良い相関がある。

9.2 下水道管路の耐震化対策と今後の研究の必要性

以上の調査結果をまとめると、今回の日本海中部地震から明らかとなった下水道管路の被害の特徴は以下の通りである。

1) 下水道管渠の被害は、主として、人孔等の異種構造物の取り合い部、および液状化等地盤変状の発生箇所で生じる。

2) 被害の特徴としては、Ⅰ) 目地被害が多い、Ⅱ) 陶管の被害率が高い、Ⅲ) 地表近くに埋設された小口径管の被害率が高い、Ⅳ) 砂系統の地盤で被害率が高い、

このような被害の特徴から、今後、下水道管路の耐震化対策を図るためには、以下の方法が有効と考えられる。

- 1) 人孔と管の取り合い部には、可撓性のある継手を設ける。
- 2) 管に過度の拔出しを防止する離脱防止装置を設ける。
- 3) 液状化発生の可能性が高い地域については、受け口の容量を大きくするとともに、離脱防止装置をしっかりとしておく。
- 4) 陶管等振動に弱い材質の管を重要な路線には使用しない。

また、今回の地震被害状況をもとに、今後以下の事項に対する検討を進めていく必要がある。

- 1) 被害状況を説明できる管軸方向の管路の耐震計算法
- 2) 人孔の耐震計算法
- 3) 安価で施工の容易な管渠の離脱防止装置の開発
- 4) 液状化対策

謝 辞

本調査を進めるにあたり、秋田県、秋田市および能代市の下水道担当課の方々の多大な御協力をいただいた。特に、下記に示す方々（敬称略、肩書は調査当時）には、現地調査、資料の収集に大変お世話になった。ここに記して厚く謝意を表する次第である。

秋田県土木部公園下水道課長	亀 田 泰 武
〃 課長補佐	小田内 富 雄
秋 田 市 下 水 道 建 設 課 長	藤 井 光 隆
〃 課長補佐	鎌 田 唯 男
	嵯 峨 峰 芳
	木 内 鉾 生
	伊 藤 隆 彦
能代市建設部公園下水道課長	伊 勢 勇
〃 下水道係長	五十嵐 金 久
	佐 藤 秀 悦
	加 藤 祐 悦
	竹 嶋 高 明

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：昭和58年日本海中部地震による下水道管路施設の被害調査——（その2）被害状況写真集——，土木研究所資料，第2237号，昭和60年3月
- 2) （社）日本下水道協会：下水道施設地震対策指針と解説——1981年版——，昭和56年9月
- 3) 秋田県：昭和58年（1983年）日本海中部地震の記録，被災要因と実例，昭和59年12月
- 4) 秋田県土木部：昭和58年日本海中部地震——土木施設等災害記録——，昭和59年5月
- 5) 秋田県土木部公園下水道課：秋田県の下水道，昭和56～58年度版
- 6) 日本下水道協会：下水道統計，第39号，昭和57年度版
- 7) 能代市：日本海中部地震——能代市の災害記録——，昭和59年12月
- 8) 秋田市建設部下水道建設課，日建工業（株）：58.5.26 日本海中部地震による秋田市公共下水道被害状況調査報告書（その1），昭和58年6月および（その2），昭和58年9月
- 9) 陶野郁雄，安田進，社本康弘：日本海中部地震における液状化現象とその被害状況，土と基礎，Vol. 31，No. 12，昭和58年12月
- 10) 能代市建設部，北陽実業（株）：日本海中部地震による能代市内下水道管渠被害調査報告書，（その1），昭和58年6月および（その2），昭和58年9月
- 11) 建設省土木研究所：地震時における砂質地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究，土木研究所資料，第1729号，昭和56年9月
- 12) 神戸大学工学部耐震工学研究室：1983年日本海中部地震におけるガス・水道管の被害調査報告，昭和58年7月
- 13) （社）日本ガス協会：日本海中部地震と都市ガス，昭和59年2月
- 14) ヒューム管協会：ヒューム管設計施工要覧，昭和52年3月
- 15) （財）国土開発技術研究センター：昭和58年度震災構造物の復旧技術の開発に関する報告書，昭和59年3月
- 16) 建設省土木研究所：1983年日本海中部地震災害調査報告，土木研究所報告，第165号，昭和60年3月
- 17) 星隅保夫，大日方尚巳：日本海中部地震による下水道施設の被害について，水道公論，Vol. 19，No. 10，昭和58年10月
- 18) 川島一彦，大日方尚巳，加納尚史，磯山龍二：日本海中部地震による下水道管路の被害とその特徴——秋田市の場合——，第18回地震工学研究発表会，昭和60年7月

付 属 資 料 - 1

下 水 道 の 種 類 と し く み

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION

下水道の種類としくみ

下水道は市街地における雨水等の自然水や人間の消費生活又は生産活動に起因する汚水を排除し、又は処理するための施設であって、現代の都市にとって必要不可欠な基幹的施設であり、健康で文化的な生活を営むための基盤となる施設であるが、その目的により大別して公共下水道、流域下水道、都市下水路の3つに分類できる。

1 公共下水道

公共下水道とは、排水区域内の下水（雨水及び汚水）を主として道路の地下に敷設した管渠（大部分が暗渠）で排除し、管渠の末端に設置した終末処理場、又は終末処理場を有する流域下水道に接続し、し尿を含む都市下水を処理するものである。公共下水道は下水を排除し、浄化するための施設として現在最も完全な形態をなすものであるが、この機能を十分に発揮させるために公共下水道が供用開始された区域内では、下水を公共下水道へ流入させるための排水設備の設置が義務づけられ、処理開始された区域内では、くみとり便所の水洗便所への改造が義務づけられている。

また、下水の排除方式としては、雨水と汚水を別々の管渠系統で排除する分流式と同一の管渠系統で排除する合流式とがある。これらの管渠により集められた汚水は、末端に設置された終末処理場で処理されることとなる。処理方式は都市によって差異があるが、わが国においては、生物処理を主体とした活性汚泥法、その変法及び、散水ろ床法が広く用いられている。処理場に流入した汚濁物質は、汚泥と水とに分離されるが、分離された汚泥は体積を減少させ、性状を安定させるため、濃縮、消化、脱水、焼却などの処理が都市の実情に応じて組合わされる。種々の処理を受けた汚泥は、最終的には、土壌改良剤として利用されたり、又は埋立てや海洋投入により処分される。

なお、公共下水道の中には、主として、工場又は事業場での事業活動に伴って排出される汚水を排除もしくは処理するための特定公共下水道と農林部の集落及び湖沼周辺部の観光地等において実施される特定環境保全公共下水道がある。

2 流域下水道

流域下水道とは、河川や湖沼の水質汚濁防止の効率化を図ることを目的としその流域内にある2以上の市町村の区域における下水を排除するものであり、かつ終末処理場を有するものをいう。流域下水道の事業主体は原則として都道府県であり、幹線管渠、ポンプ場、終末処理場が流域下水道事業として、建設、管理されている。公共用水域の水質保全上、流域内の市町村が単独で処理場を建設し、処理するよりも行政区域をこえ、自然の地形を利用して広域的に集めた汚水を一括処理する方が効果的な場合には流域下水道として整備される。

3 都市下水路

都市下水路とは主として市街地内の雨水排除を目的とするもので、開渠を原則とする下水道であり、開渠の内のり径が70センチかつ集水区域面積が30ha以上200ha未満のものを原則とする（下水道法施行令第1条及び河川と下水道の管理分担基準）。ただし同和対策事業、離島振興対策事業については内径又は内法が50センチ以上、集水面積10ha以上とする。

市街地における雨水排除は下水道、河川等の排水施設が有機的一体的に整備される必要があるが、浸水原因の多くは普通河川の未整備によることが多いことから、これらの普通河川を積極的に都市下水路及び準用河川等として指定することが必要である。

付 属 資 料 ー 2

調査地点におけるボーリング柱状図

図 番 号	調 査 地 点	8 章 (表 8. 1 参 照)
付図 2 - 1	秋田市土崎その 1 (図 7. 1 の A - 1)	調査地点 No 1
付図 2 - 2	秋田市土崎その 2 (図 7. 1 の A - 2)	調査地点 No 2
付図 2 - 3	秋田市土崎その 3 (図 7. 1 の No 2)	
付図 2 - 4	秋田市土崎その 4 (図 7. 1 の No 3)	
付図 2 - 5	秋田市新屋元町その 1 (図 7. 4 のボーリング No 2)	調査地点 No 3
付図 2 - 6	秋田市新屋元町その 2 (図 7. 4 のボーリング No 2)	
付図 2 - 7	能代市鳥小屋 (図 8. 3 (a))	調査地点 No 4
付図 2 - 8	能代市亀谷地 (図 8. 4 (a))	調査地点 No 5

注) ボーリング位置は図 2. 2 , 図 2. 5 参照

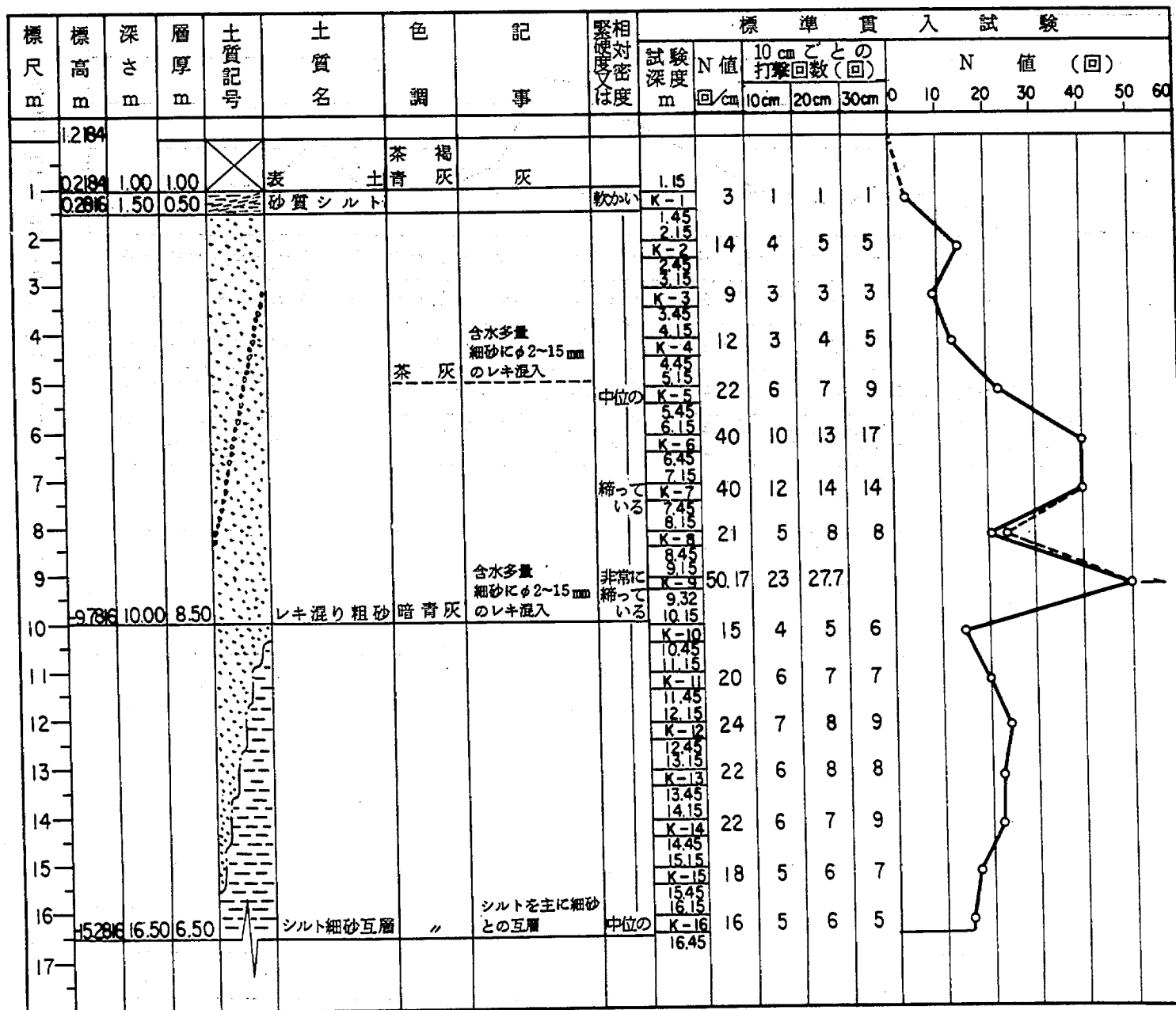
標尺 m	標高 m	深度 m	層厚 m	柱状 図	色調	地質名	観察記事	標準貫入試験													
								深度 m	打撃回数 / 10cm	10cm毎の打撃回数			N 値								
10cm	20cm	30cm	0	10	20	30	40			50											
1	1.02	0.08	0.08		黒	アスファルト	2mまで試験する														
	1.30	0.30	0.22		灰	礫砂															
	1.16	0.46	0.16		灰	礫石混り砂															
2							$\phi=10\sim20$ mmの垂円礫が若干混り含水は多い	2.15	2/30	1/15	1/15										
3							(3.50mに砂礫を混入シルトが若干混入する)	2.45	10/30	2	4		4								
4	-2.60	4.20	3.75	暗灰	礫混り粗砂		含水多く非常にゆるい砂が多い	3.45	5/30	2	2		1								
5	-3.20	4.80	0.60	灰	礫混り中位砂		$\phi=5\sim10$ mmの小礫が少量混入する	4.45	9/30	3	3		3								
6	-4.40	6.00	1.20	暗灰	粗砂		$\phi=5\sim15$ mmの礫が多いMax35mm	5.45	13/30	4	4		5								
7	-5.05	6.65	0.65	暗灰	礫混り粗砂		6.65mで貫入試験を実施するが反発する	6.15	反発												
8							(注) 全層埋土である	6.45													
								6.65													

付図 2.1 秋田市土崎その1, 調査地点No.1 (調査年月日: 昭和58年11月29日~12月1日, 孔口標高: T.P. + 1.6 m, 水位: G.L. - 1.7 m)

標尺 m	標高 m	深度 m	層厚 m	柱状 図	色調	地質名	観察記事	標準貫入試験											
								深度 m	打撃回数 ／ 貫入深 m	10cm毎 の打撃 回数	20cm毎 の打撃 回数	30cm毎 の打撃 回数	N 値						
													0	10	20	30	40	50	
1	1.77	0.00	0.00		黒	アスファルト	φ=8~15mmの砕石混入 2mまで試験する												
	1.40	0.45	0.37		灰 褐	砕石混り粗砂													
2					暗 灰	礫混り粗砂		2.15	6/30	2	2	2							
3	-0.65	2.50	2.05																
4	-1.95	3.80	1.30		茶 褐	砂 礫	φ=5~10mmの垂円礫を混入する 含水比多い 一部暗灰色部を混入	2.45	11/30	4	3	4							
								3.15											
5	-2.65	4.50	0.70		暗 灰	礫混り粗砂	φ=10mmくらいのレキが点在する	3.45	8/30	1	2	5							
								4.15											
6	-3.05	4.90	0.40		灰 褐	砂 礫	φ=5~15mmが多いMax75mm 一部にφ=2~5mmのレキが混る 含水比中位	4.45	4/35	1	1	2/15							
								5.15											
7	-3.85	5.70	0.80		暗 灰	シルト混り粗砂	φ=2~5mmのレキが混入 一部に砂礫をはさむ	5.50	7/30	2	1	4							
								6.15											
8	-4.60	6.45	0.75		暗 灰	礫混り粗砂	6.65mで貫入試験を実施するが反発する	6.45											
							(注) 全層埋土である												

付図 2.2 秋田市土崎その2, 調査地点No.2 (調査年月日: 昭和58年11月29日~12月1日, 孔口標高: T.P. + 1.85 m, 水位: G.L. - 1.7 m)

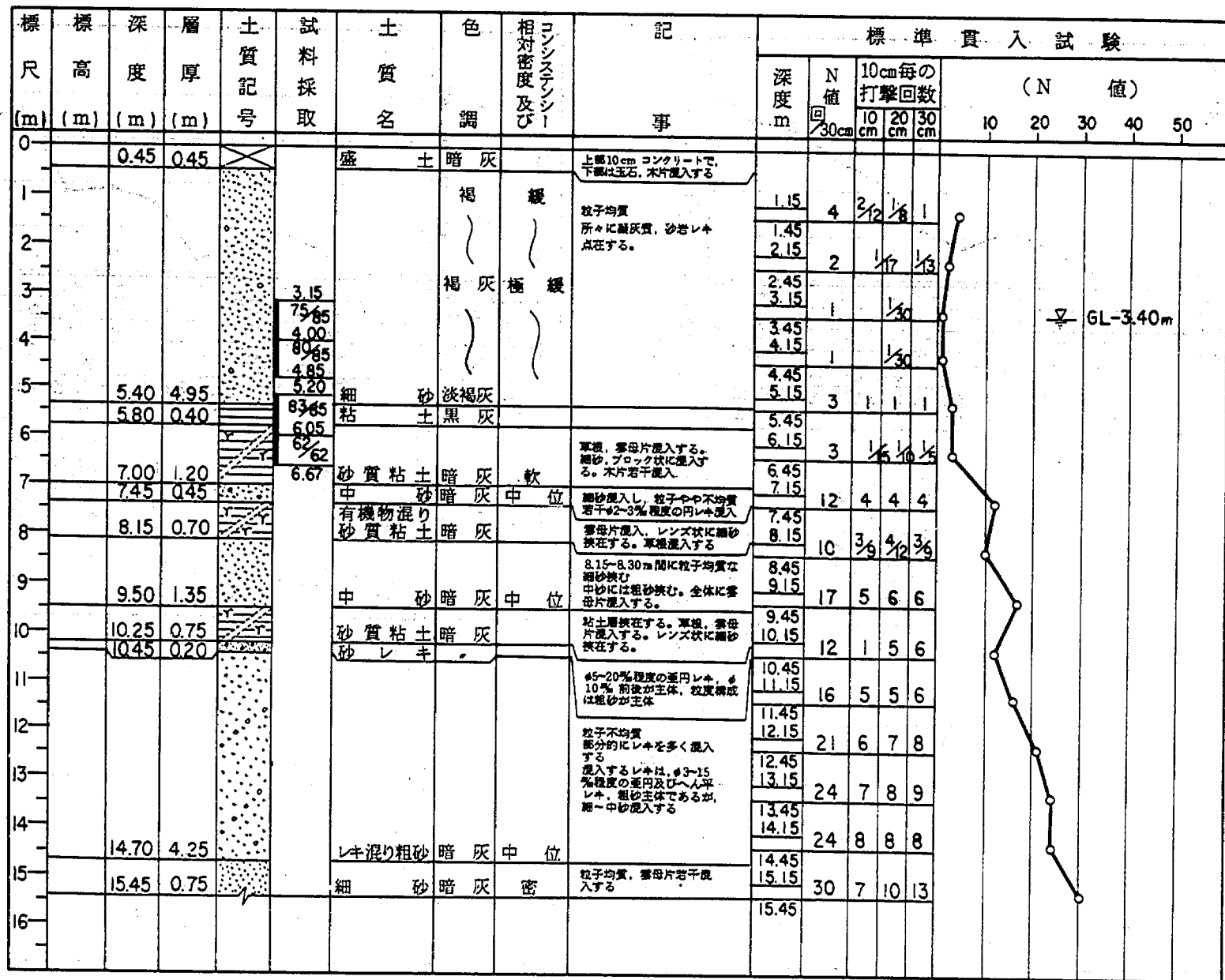
付図 2.3 秋田市土崎その 3, 地盤柱状図 (調査年月: 昭和 56 年 1 月,
標高 2.2 m, 孔内水位: G.L. - 0.56 m)



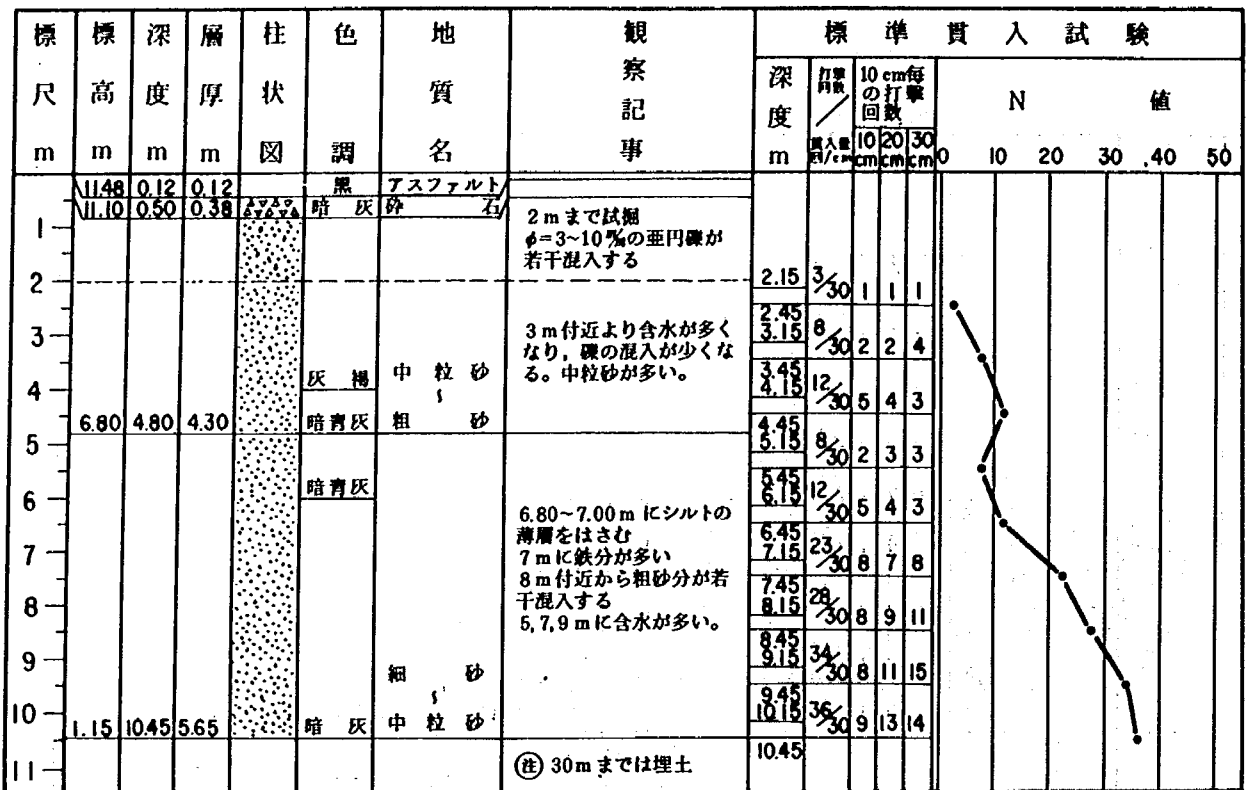
付図 2.4 秋田市土崎その 4, 地盤柱状図 (調査年月: 昭和 56 年 1 月,
標高 1.2 m, 孔内水位: G.L. - 0.75 m)

標尺 m	標高 m	深さ m	層厚 m	土質記号	土質名	色調	記事	相対密度 コンシメーション	標準貫入試験											
									深度 (m)	N値 回/cm	10cmごとの 打撃回数			N 値						
											10cm	20cm	30cm	0	10	20	30	40	50	
1	7.56	0.15	0.15		表土		砂礫		-1.15	3	1	1	1							
	6.51	1.20	1.05		細砂	暗褐			-1.51	36	12	11	13							
	6.31	1.40	0.20		礫シルト	暗褐			-2.15	1										
2									-3.40	125										
3																				
4							細砂混る 水分多い		-4.15	1										
5	3.31	4.40	3.00		中砂	暗褐			-4.54	39										
	3.01	4.70	0.37		シルト	暗灰青			-5.15	1										
6	2.11	5.60	0.90		中砂	暗褐	細砂混る。水分多い		-5.61	46										
7									-6.15	3	1	1	1							
	0.61	7.10	1.50		腐植物混り 粘土質シルト	暗灰	所々に細砂若干混る		-6.45	30	10	10	10							
	0.21	7.50	0.40		砂礫	暗灰青	所々に細砂若干混る （重量5-30%で50%程度混入）		-7.15	20	7	7	6							
8							中砂混る。所々に10% 程度の礫若干混入。 水分含む		-7.45	30	10	10	10							
9	0.99	8.70	1.20		粗砂	暗青			-8.15	13	5	4	4							
									-8.45	30	10	10	10							
10							所々にシルト混入 する。10.2 cmより 中砂若干混入する。		-9.15	7	2	2	3							
	-2.69	0.40	1.70		細砂	暗青			-9.45	30	10	10	10							
									-10.15	9	2	3	4							
11									-10.45	30	10	10	10							
12									-11.15	11	4	3	4							
									-11.45	30	10	10	10							
13							所々に粗砂若干混入し、 細砂の挟み有る		-12.15	17	5	5	7							
	-5.39	13.10	2.70		中砂	暗青			-12.45	30	10	10	10							
14									-13.15	22	4	7	11							
									-13.45	30	10	10	10							
15	-7.29	15.00	1.90		細砂	暗青	所々に中砂若干混入		-14.15	28	9	9	10							
									-14.45	30	10	10	10							
16	-8.09	15.80	0.80		中砂	暗青	細砂若干混入		-15.15	35	11	11	13							
									-15.45	30	10	10	10							
17	-9.09	16.80	1.00		中砂	暗青	粗砂混入。所々に 10-30%の礫若干 混入		-16.15	36	11	12	13							
									-16.45	30	10	10	10							
18	-9.99	17.70	0.90		細砂	暗青	17.10-17.25m埋 木有る		-17.15	16	2	6	8							
									-17.45	30	10	10	10							
19	-10.99	18.70	1.00		シルト	暗灰	所々に細砂の挟み 有る		-18.15	12	4	4	4							
									-18.45	30	10	10	10							
20	-12.29	20.00	1.30		シルト質粘土	暗灰			-19.15	11	3	4	4							
									-19.45	30	10	10	10							
21	-13.19	20.90	0.90		シルトと 細砂の互層	暗灰青			-20.15	11	3	4	4							
									-20.45	30	10	10	10							
22	-14.29	22.00	1.10		細砂	暗青	所々に中砂若干混入。 シルトの挟み有る		-21.15	22	7	8	7							
									-21.45	30	10	10	10							
23	-15.09	22.80	0.80		シルトと 粘土の互層	暗灰			-22.15	12	4	4	4							
									-22.45	30	10	10	10							
24									-23.15	11	3	4	4							
25									-23.45	30	10	10	10							
									-24.15	10	3	3	4							
26	-17.74	25.45	2.65		シルト質粘土	暗灰	所々に有機物若干 混入		-24.45	30	10	10	10							
									-25.15	10	3	3	4							
									-25.45	30	10	10	10							

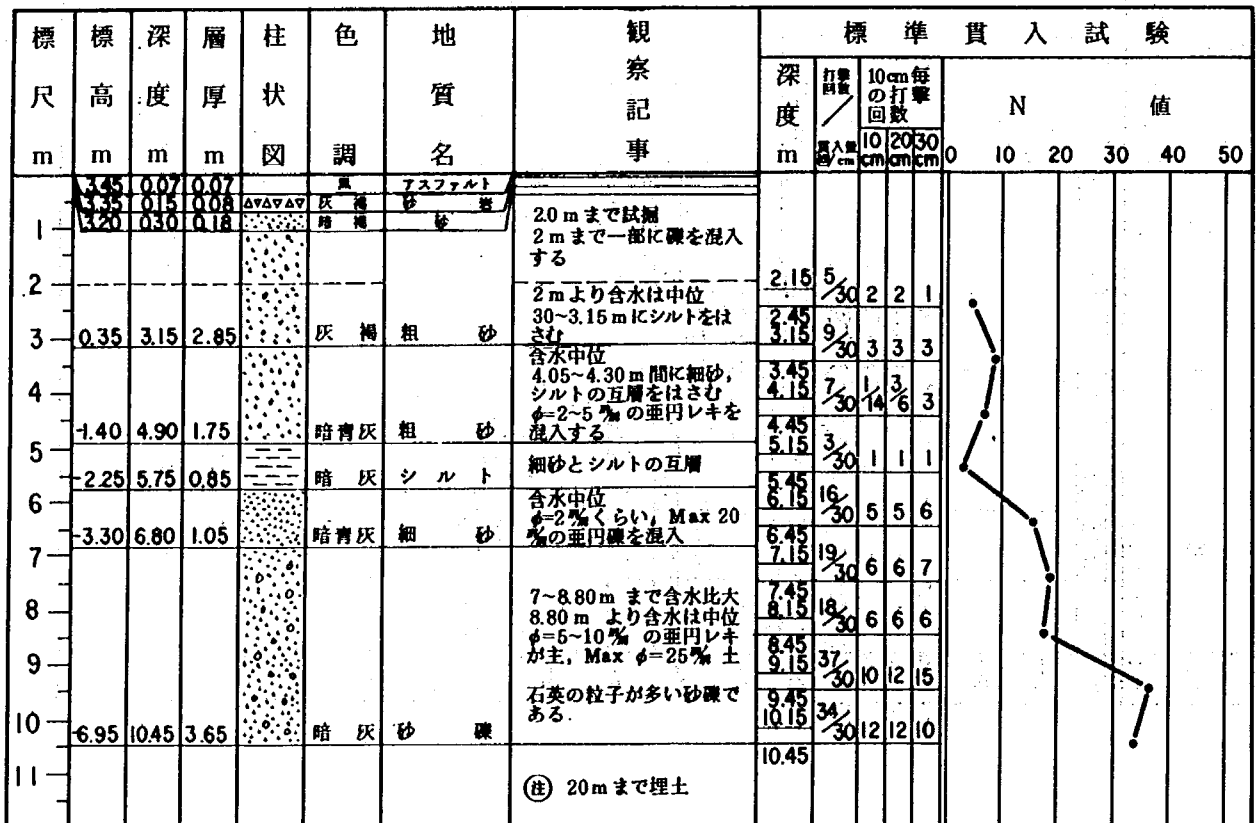
付図 2.5 秋田市新屋元町その1, 調査地点No 3, 地盤柱状図 (昭和 58 年 10 月実施, 標高 7.71 m, 孔内水位 G.L. - 1.75 m)



付図 2.6 秋田市新屋元町その 2, 地盤柱状図 (地震後の昭和 59 年 2 月に実施,
標高 K.B.M. - 0.235 m, 孔内水位 G.L. - 3.40 m)



付図 2.7 能代市鳥小屋，調査地点No 4（調査年月日：昭和 58 年 12 月 2 日～12 月 4 日，
孔口標高：T.P.+ 11.60 m，水位：G.L.- 3.16 m）



付図 2.8 能代市亀谷地，調査地点No 5（調査年月日：昭和 58 年 12 月 3 日～12 月 4 日，
孔口標高：T.P.+ 3.50 m，水位：G.L.- 2.0 m）

昭和 58 年日本海中部地震による
下水道施設の被害調査
— (その 1) 被害の特徴 —

ISSN 0386-5878
土研資料 第 2244 号
昭和 60 年 3 月 (1985 年)
川島一彦, 大日方尚巳
後藤勝志, 加納尚史

要 旨

本資料は、小型カメラを用いた下水道管路調査結果 (VTR) を基本に、1983 年日本海中部地震における秋田市および能代市の下水道管路施設の被害を検討した結果をとりまとめたものである。ビデオ画像の解析により、初めて詳細な被害実態を明らかにすることができた。

キーワード：日本海中部地震、地震被害、下水道施設、下水道管路

郵便はがき

3 0 5 - □ □

40 円切手
をはいて
下さい

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

耐震研究室 御中

No. 153

No. 153

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2244 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

