

宮城県沖地震による埋設管の被害

東京大学大学院 学生員 ○ 磯山龍二
 東京大学生産技術研究所 増井由春
 東京大学生産技術研究所 正員 片山恒雄

1. まえがき

1978年宮城県沖地震による都市ガス、水道施設等の都市供給施設の被害の特徴の1つとして、埋設管、それも比較的口径の小さいものに被害が集中したことがあげられよう。一方、ガス製造施設、浄水施設、主要幹線管渠等の重要構造物の被害は一般に軽微であった。このため水道施設では、そのシステム的特徴から、比較的早期に復旧が行なわれたが、都市ガス施設では幹線以外の埋設管の被害を無視して復旧することゝならず、これらの管被害の概見、修復に多大な時間と労力をとらざるを得なかった。過去の被害地震(たとえば新潟地震)においても末端のガス管の被害は膨大であったと考えられるが、幹線等口径の大きい管の被害にかくれて、これまであまり顧みられることはなかった。しかし、宮城県沖地震の例が示すように、主に幹線以外の埋設管(低圧導管)の被害だけで完全復旧まで1ヶ月近くを要していることもあり、これらの埋設管の耐震性、あるいは適確な被害予測は、特にガス施設の耐震性を考える上で重要なファクターとなる。

都市ガス、上水道施設の被害がよびその復旧過程については、すでに詳細な報告を行なっているが⁽¹⁾⁽²⁾ここでは新たな資料を加えて、仙台市ガス局管内の低圧導管の被害を中心に、水道施設とも比較しながら、埋設管被害がよびその特徴について検討する。

2. 被害の集計

日本瓦斯協会が中心となって行なった埋設管被害の全数調査をもとに考えうる要因について単純集計、クロス集計を行なった。仙台市ガス局の低圧管被害のクロス集計表と表-1に示す。塩釜市、石巻市、古川市のガス管被害及び仙台市の水道管被害の集計結果は文献(1)、(2)を参照されたい。管径、地盤分類は表中に説明されているが、管径の分類は後に項目別被害率を求める都合上文献(1)のものとは多少異なっている。

表-1のクロス表は、全てのアイテム・カテゴリーの組合せに対する被害数を読み取るこゝが可能で、埋設管被害の特徴を抽出する上基本となるものである。しかし、表-1はアイテム・カテゴリーの数も多く、また互いに相関の高いカテゴリーも含んでいる。(たとえば、供給管・灯外管とわじ紐子、鋳鉄管とメカニカル紐子など)しかたがって、この表だけでは埋設管被害の特徴を、

表-1 クロス集計表(仙台市ガス局)

	Mode of Failure	Classification of Pipe					Material	Size of Pipe				Type of Joint					Site Geological Condition								
		B	C	S	L	O		M	B	S	D	S	C	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	W	M	S	B	O	A	B	C
Mode of Failure	Breaks	409	0	0	0	0	3	127	129	150	409	0	399	9	1	0	0	0	408	0	1	45	73	291	
	Cracks	43	0	0	0	0	1	14	8	20	43	0	42	1	0	0	0	0	43	0	0	2	18	23	
	Slip Out	60	0	0	0	0	11	46	2	1	49	11	47	5	3	5	0	11	48	0	1	0	2	58	
	Loosening	13	0	0	0	0	4	5	2	2	11	2	9	4	0	0	0	2	9	0	2	5	2	6	
	Others						27	1	6	7	13	26	1	25	1	1	0	0	0	24	0	3	4	4	19
Classification of Pipe	Mains						20	0	0	0	6	14	0	11	4	5	0	13	4	0	3	2	6	12	
	Branches						198	0	0	198	0	198	0	0	0	0	0	0	196	0	2	3	14	181	
	Services						148	0	0	148	0	144	4	0	0	0	0	0	147	0	1	13	32	98	
	Domestics						186	186	0	179	6	1	0	0	0	0	0	0	185	0	1	33	47	106	
Material	Steel						538	0	522	16	0	0	0	0	0	0	0	0	532	0	6	55	98	385	
	Cast Iron						14	0	5	4	5	0	13	0	0	1	1	1	12						
Size of Pipe	D ₁	D ₁ ≤ 50 mm									522	0	0	0	0	0	0	0	518	0	4	52	89	381	
	D ₂	75 ≤ D ₂ ≤ 100 mm									20	0	0	0	0	0	0	5	13	0	2	4	8	8	
	D ₃	125 ≤ D ₃ ≤ 150 mm									5	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	0	1	4	
	D ₄	200 ≤ D ₄									5	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	1	4	
Type of Joint	Welded																	0	0	0	0	0	0	0	
	Mechanical																	13	0	0	0	1	1	11	
	Screw																	532	0	0	52	97	383		
	Bell & Spigot																	0	0	0	0	0	0	0	
Site Geological Condition	A	Terrace (Old City Area)																					56	0	0
	B	Alluvial Plain																					99	0	
	C	Cut and Fill																						397	

見出すことは非常に困難である。そこで、統計的分類手法の1つである数量化理論第3類(3)を用いて埋設管被害も分類することを試みた。この手法は、一般にn次元空間上に構成されるデータ構造を、できるだけ見わすくなるように座標変換を行ない、より少ない次元(通常2~3次元)でデータの分類を達成しようとするものである。

図-1は表-1のクロス表を元に座標変換された主軸I, IIに対するカテゴリの散布図である。この図でカテゴリ間の距離が近いものはそれぞれ相関が高いことを示し、新たな軸I, IIにカテゴリも分類することが出来る。I, II軸各々の物理的な意味は明確ではないが、I軸は管の種類、強さを合じたような意味を持つものと思われる。図-1から鋼管(SP), わじ継ぎ, 破損, 供給管, 管径50mm以下等を中心としたグループと、鑄鉄管(CIP), メカニカル継ぎ, 本管を中心としたグループにカテゴリが分類されること分かる。継ぎの抜出し, ゆるみは鑄鉄管に多い被害形態と考えられるが、これらのカテゴリは両グループの中間に位置している。これは、メカニカル継ぎ鋼管の被害を「一」整理の都合上、わじ継ぎに分類しているためで、メカニカル継ぎ鋼管被害が8ヶ所中、3ヶ所がわじ継ぎの抜出し, ゆるみの被害である。

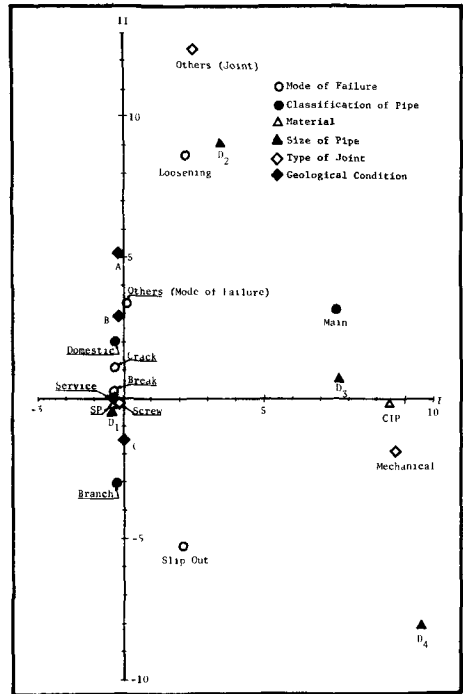


図-1 カテゴリの散布図

塩釜市, 石巻市, 古川市のガス管被害に対してもこの手法による分類も行なったが、仙台の場合と同様の結果を得た。したがって、宮城県沖地震によるガス管被害も以下のよりにまとめることができる。

- a) 管径100mm以下で主に文管・供給管・灯外内管に用いられるわじ接合鋼管の破損・電裂被害
- b) 絶対数は少ないが、メカニカル継ぎ鑄鉄管・鋼管の継ぎの抜出し, ゆるみ被害

仙台市水道管被害もほぼ同様の傾向を示すが、ガス管に用いられていない塩化ビニール管, 鉛管, 石綿セメント管については、塩化ビニール管, 鉛管はわじ継ぎ鋼管と同じような位置, 石綿セメント管はI軸ではより左(負)の方向に位置している。上記の特徴は管の強度, 継ぎの構造と考えれば当然のことであるが、表-1, 図-1から「一」が改めて確認された。したがって、埋設管の耐震性を論ずる場合、管の種類, 特に継ぎの構造により被害の性格が非常に異なることに注意すべきである。

3. 平均被害率の検討

表-1のクロス表は、あくまで被害数があり客観的に被害を比較するには適当な正規化が必要となる。表-2に仙台市ガス局管内の低圧専管理設延長距離を示す。(4)

表-2 埋設延長距離 (km)

	Classification of Pipe	Material		Size of Pipe				Type of Joint				Site Geological Condition				
		M&B	S&D	SP	CIP	D1	D2	D3	D4	W	M	S	B	A	B	C
Class. of Pipe	M & B S & D***	1225.1	0.0	644.9	580.2	591.9	216.8	197.8	218.6	51.2	530.5	593.7	49.7	323.0	160.0	743.0
	Steel		320.0	320.0	0.0	320.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	320.0	0.0	143.7	41.0	135.3
Mater. of Pipe	Steel			964.9		911.9	35.3	12.7	5.0	51.2	-	913.7	-	259.0	112.0	583.0
	Cast Iron			580.2		0.0	181.5	185.1	213.6	-	530.5	-	49.7	197.0	89.0	295.0
Size of Pipe	D1					911.9	-	-	-	0.0	0.0	911.9	0.0	257.0	106.0	549.0
	D2						216.8	-	-	33.5	131.8	1.8	49.7	68.0	32.0	117.0
	D3							197.8	-	12.7	185.1	0.0	0.0	67.0	30.0	100.0
	D4								218.6	5.0	213.6	0.0	0.0	73.0	33.0	111.0
Type of Joint	Welded									51.2	-	-	-	12.0	6.0	32.0
	Mechanical									530.5	-	-	-	147.0	89.0	295.0
	Screw										913.7	-	-	257.0	106.0	551.0
Site Geol. Condition	Bell & Spigot											49.7	-	49.7	0.0	0.0
	A			Terrace (Old City Area)										466.0	-	-
	B			Alluvial Plain										201.0	-	-
C			Cut and Fill												878.0	

* Assuming that service and domestic pipes were all D1 and made of steel

** Mains and Branches

*** Services and Domestics

地盤別延長については、

厳密な数値は不明であるので文献(4)を参照して推定、配分した。

クロス表を表-2の埋設延長を正規化した被害率(箇所/Km $\times 10^{-2}$)を表-3に示す。文献(1)では本支管については1Km当りの被害個数,供給・灯外管については需要家1件当りの被害個数として被害率を求めたが,ここには全て1Km当りの被害率で表わしている。表-3を眺めるとクロス表とほぼ同様の傾向を示していることがわかる。被害形態別,継手別被害率を示した図-2,3を見てこの傾向は明らかで,前節の考察が被害率でもあてはまることを示している。

表-3は可能なかぎりの全ての組合せに対する被害率であるが,先にも述べたとおり,カテゴリー内には相関の高いものもあるため,あまり意味のない組合せもある。これらの相関も考慮するに前記分類(a),(b)に対応する代表的な被害率としては,継手別の被害率に注目するのが妥当である(図-3)。アーク溶接継手(鋼管),印ろう継手(鉄鉄管)の被害はDであるが,印ろう継手鉄鉄管は延長が50Km程度で全地盤の安定した旧市街地に埋設されていた(表-2)。おなじ継手でD₂(75~100mm)の被害率が異常に高いが,埋設延長に疑問があり(表-2),除外して考えるのが妥当である。

地盤別被害率はメカニカル継手ではA(低丘陵:旧市街地),B(沖積平野),C(宅造地)の順に高くなっているのに対して,おなじ継手ではBの被害率が最も高い(図-3)。これは文献(1)の結果と異なるが,埋設延長を排定する際(表-2)に,新たに判明した地盤別おなじ継手鋼管の延長比率(A:22%,B:12%,C:56%)(4)を考慮した

ことで地盤ごとの延長が大きくなってきているためである。また,長町地区(地盤B)での供給管・灯外内管被害の多発も影響しているものと思われる。一方,同じ地盤Bでも市東部の沖積地盤地帯では比較的被害が少なかった。

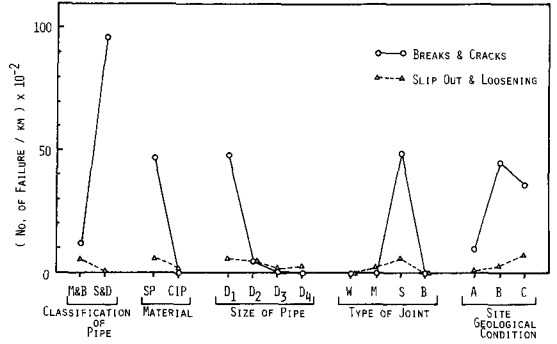


図-2 被害形態別被害率

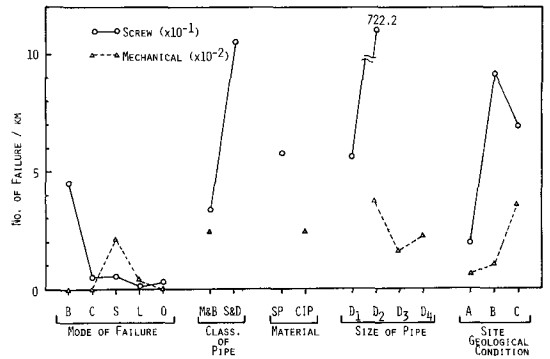


図-3 継手別被害率

表-3 被害率(仙合市ガス局) (No. of Failures / Km x 10⁻²)

Mode of Failure	Classification of Pipe	Material	Size of Pipe				Type of Joint				Site Geological Condition		
			M&B S&D	SP CIP	D ₁ D ₂ D ₃ D ₄	W M S B	A B C						
Breaks	Total	26.5	10.6 87.2	42.4 0	43.8 4.2 0.5 0	0 0 44.7 0	9.7 36.3 33.1						
Cracks		2.8	1.2 8.8	4.5 0	4.6 0.5 0 0	0 0 4.7 0	0.4 9.0 2.6						
Slip Out		3.9	4.7 0.9	5.1 1.9	5.2 2.3 1.5 2.3	0 2.1 5.3 0	0 1.0 6.6						
Loosening		0.8	0.7 1.3	1.1 0.3	1.0 1.8 0 0	0 0.4 1.0 0	1.1 1.0 0.7						
Others		1.7	0.6 6.3	2.7 0.2	2.7 0.5 0.5 0	0 0 2.6 0	0.9 2.0 2.2						
Class. of Pipe	M & B*		17.8 -	31.6 2.4	33.5 5.1 2.0 2.3	0 2.5 33.7 0	1.5 12.5 26.0						
	S & D**		104.4	104.4 -	... (104.4)...	0 - 104.4 -	35.5 192.7 150.8						
Material	Steel		55.8 -	60.5 45.3 0 0	60.5 45.3 0 0	0 - 58.2 -	20.4 87.5 66.0						
	Cast Iron		2.4 -	2.4 -	2.8 2.2 2.3	- 2.5 - 0	0.5 1.1 4.1						
Size of Pipe	D ₁		D ₁ ≤ 50 mm		57.2 - - -	0 - 56.8 0	20.2 84.0 69.4						
	D ₂		75 ≤ D ₂ ≤ 100 mm		9.2 - -	0 3.8 722.2 0	5.9 25.0 6.8						
	D ₃		125 ≤ D ₃ ≤ 150 mm		2.5 - -	0 1.6 - -	0 3.3 4.0						
	D ₄		200 ≤ D ₄		2.3 - -	0 2.3 - -	0 3.0 3.6						
Type of Joint	Welded					0 - - -	0 0 0						
	Mechanical					2.5 - -	0.7 1.1 3.7						
	Screw					58.2 - -	20.2 91.5 69.5						
	Bell & Joint					0 - -	0 - -						
Site Geol. Condition	A		Terrace (Old City Area)				12.0 - -						
	B		Alluvial Plain				49.3 - -						
	C		Cut & Fill				- - 45.2						

* Mains and Branches
** Services and Domestic

4. 宅地での被害

今回の地震で最も注目されたのが宅地での種々の被害であるが、先にも述べたように、埋設管被害もこの地域で多発している。水道管については地盤別被害率は求められなかったが、被害全体の内の約65%が宅地で起きている(〆泉市含まず)。

宅地での埋設管被害の特徴として切土と盛り境界付近での被害が多いことが指摘されているが、この距離と被害の対応を調べたものが図4、5である。境界からの距離は管の埋設方向によらず最も近い境界までの距離とした。ただし、切盛りの境界線も厳密なものではないので、この数値はかなり大雑把なものと解釈すべきである。図4は南光台に於けるガス管(灯外内管を除く)、水道管(給水長道を除く)の被害であるが、両者とも境界の影響が顕著である。黒松、将監、泉パークタウンの各団地の結果を図5に示すが、南光台と同様の傾向を示している。しかし、南光台においても被害分布に地域的な差が見られるなど切盛りの境界だけでは説明できない現象もあり、各団地について旧地形と現地形の比較、土質条件等を考慮した詳細な検討が望まれる。

5. あとがき

本文は、「1978年宮城県沖地震による都市供給施設の被害と復旧」と題して発表した一連の報告のうち、都市ガス施設、上水道施設について、新たな資料も加えながら、詳細に埋設管被害を述べたものである。これらのデータは過去の地震による被害データに加えられ、これまであまり豊富とは言えなかった埋設管被害資料蓄積の一助となる。しかし、本文で示された被害率等の数値を別の観点から見直すこともまた必要である。仙台市のガス中圧幹線の被害は4件であった。一方、供給管、灯外内管の被害は334ヶ所、被害率は1.04である。これらの被害の数値はどのように解釈されるべきであるか。はたして大きい被害なのか、小さいのか。このような評価は、地震後の復旧過程も、供給施設被害が社会に与える影響の度合等の理解をとおしてのみ可能である。また、供給施設各要素にバランスのとれた耐震性を与えるためにも上記のような、被害の絶対的な評価が必要と考えられる。

参考文献

- (1) 片山、増井、磯山、基内：「1978年宮城県沖地震による都市供給施設の被害と復旧—都市ガス施設」、4産研究、31巻2号、1979年2月
- (2) 同上—上水道施設、4産研究、31巻4号、1979年4月
- (3) 駒澤勉：「水災元データ分析の基礎」、朝倉書店、1978年
- (4) 法人事業大都市対策調査会地震対策専門委員会：「宮城県沖地震ガス施設被害調査報告書」、昭和53年12月

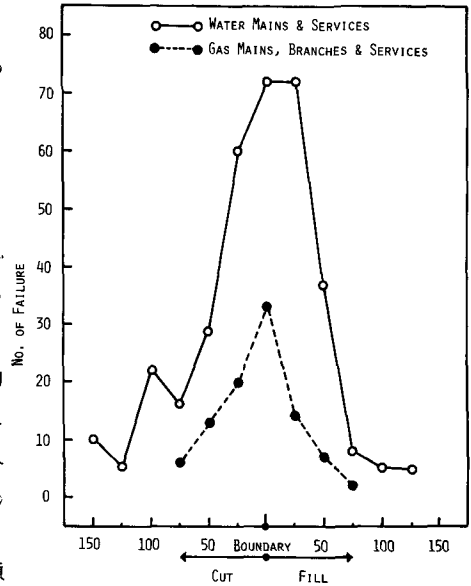


図4 被害と境界からの距離の関係 (南光台)

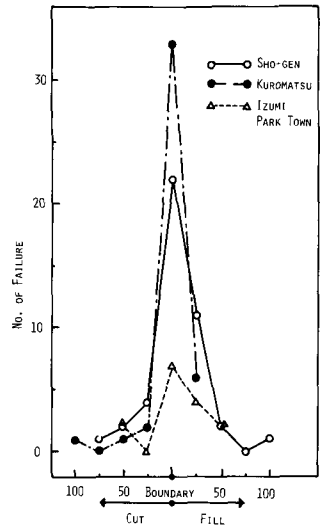


図5 水道管被害と境界からの距離の関係