

(57) 地盤液状化を考慮した地中埋設管の定量的解析

金沢大学工学部 正員 北浦 勝
金沢大学工学部 正員 ○宮島 昌克

1. はじめに

過去の震害記録によれば、噴砂、噴泥、木杭の浮き上がりなどから液状化が発生したと推測される例は、全国各地の埋め立てまたは沖積砂地盤に見られる。このことは、沖積層に発達した都市の多いわが国においては、将来発生する地震によって至る所で液状化が発生する可能性のあることを示している。一方、1964年新潟地震や1983年日本海中部地震において、大規模な液状化が発生し、地中埋設管をはじめとするライフラインに大きな被害が生じたことは周知のことと思われる。そこで本研究では、将来起こりうる液状化による地中埋設管の被害を少しでも軽減するための基礎的資料を、過去の震害記録より得ることを目的とした。そしてまず、管種、管径、N値、地下水位などと埋設管の被害との関係を明らかにした。つぎに、数量化理論Ⅰ類を用いて、地盤および管路に関する各要因が埋設管の破壊にどのように影響を及ぼしているのかを定量的に明らかにするとともに、液状化と埋設管の破壊との関連について考察した。

2. 解析データ

解析データとしては、豊富なデータが比較的精度よくそろっており、しかも液状化が広範囲に発生した1964年新潟地震と1983年日本海中部地震による上水道管の震害資料を用いた。新潟地震の震害資料は、「新潟市水道震災復旧工事布設配管平面図及び応急復旧配管図」である。これは、信濃川以西の関屋浄水場系と新潟駅周辺である鳥屋浄水場系の一部の資料、すなわち、新潟市の旧市街地に限られた資料であるが、液状化が最も激しく発生した信濃川河畔の地域が含まれているので、液状化による地中埋設管の被害の特徴が十分に反映されているデータと考えることができる。ただし、壊滅的な被害を受けた地域の一部では、管路が埋め殺しとなったため、その地域でのデータは含まれていない。一方、日本海中部地震の震害資料としては、能代市ガス水道局より入手した「能代市上水道配水管平面図」および「日本海中部地震水道災害状況について」を用いている。

3. 埋設管の被害状況

表1は、新潟市の旧市街地における埋設管の被害状況を、図1は、管種をパラメタとして管径と被害率の関係を、それぞれ表している。本研究では、被害率=被害箇所数/敷設延長(箇所/km)で埋設管の被害を定量化した。表1によれば、管種により被害率に大きな差は認められない。図1においても、各管径に顕著な差はみられない。これは、地震により埋設管に作用した力が、最も抵抗力の大きな管の抵抗力よりも大きかったためと考えられる。ただし、管径450mmの鑄鉄管(CIP管)の被害率が他の約2倍となっている点の特徴的である。表2、図2は日本海中部地震による能代市上水道の震害を同様にまとめたものである。なお図2には、ガス管の被害についても示してある。表2によれば、塩化ビニル管(VP管)の被害率が他と比べて大きな値を示しているが、石綿管(ACP管)とCIP管は表1とほぼ等しい値となっている。図2においては、50mm~150mmの小口径管に被害の多いことがわかるが、これは、過去の他の地震による震害の特徴とよい対応を示している。また、同図においても図1と同様に、400mm~450mmのCIP管の被害率が高くなっている。これらについては、後に考察する。

4. 地盤特性と埋設管の被害との関係

ボーリング柱状図より地盤特性を求め、埋設管の被害率との関係を調べた。能代市におけるボーリング柱状図は日本海中部地震の発生以前のものであるが、新潟市のそれは、ごく一部を除いては新潟地震の発生以後に調査されたものである¹⁾。本研究においては、対象地域を約500m×500mのメッシュ(1/25000の地形図を縦横20等分したもの)に区切り、各データを整理した。図3は、新潟市における地下5mまでの平均N値

と新潟地震による埋設管の被害率の関係を、図4は、能代市のそれと日本海中部地震による被害率の関係をそれぞれ示している。なお、図4には、ガス管の被害率も示されている。これらの図より、新潟市はN値が0~10といった比較的軟らかいメッシュが多いが、能代市では、N値が5~15のメッシュが多く、新潟市に比べて地盤が硬いことがわかる。なお、N値と被害率との関係については明確な相関を見出すに至らない。

つぎに、地下水位と被害率の關係に注目した。図5は、新潟市における地下水位と新潟地震による被害率との關係を、図6は、能代市におけるそれと日本海中部地震による被害率との關係をそれぞれ示している。同図によれば、大きな被害率を示しているメッシュは、地下水位が1~4mと比較的浅いことがわかるが、これらの図から地下水位と被害率との相関を見出すことはできない。

以上みてきたように、地盤特性に関する1つの要因と埋設管の被害率との間に相関を見出すことはできなかった。これは、埋設管の被害が1つの要因に強く影響されているのではなく、いくつかの要因の影響が絡まり合っているためであると考えられる。そこで、多変量解析を行い、各要因が埋設管の被害にそれぞれどのように影響を与えているのかを定量的に明らかにすることを試みた。

5. 数量化理論I類による解析

管路に関する各要因、地盤に関する各要因が、地中埋設管の破壊にそれぞれどのように影響を与えているのかを明らかにするために、管路に関する要因として管径、管種を、地盤に関する要因としてボーリング柱状図より容易に得ることのできる情報である地下5mまでの平均N値、地下5mまでの土質、地下水位を取り上げ、数量化理論I類を用いて解析を行った。また、これらの要因の他に1メッシュ内の敷設距離も1つの要因として解析に取り込んだ。これは、本解析の目的変数である被害率は、その分母である敷設距離が長いほど信頼性の高いデータであると考えられることでもできるので、この分母の大小が被害率に及ぼす影響を明らかにしようとしたものである。カテゴリーの区分は、各カテゴリー間にデータがなるべく均等に分かれること、被害予測を試みる場合に扱い易いような規則的な区分になることに留意しつつ、各要因ごとに一元配置の分散分析を行い、それぞれ被害率との相関を最大限に引き出せるような区分を設定し、いくつかの組合せで解析を行った。表3、表4は、その中で予測式の当てはまりが最も良い、つまり、重相関係数が最も高くなるようなカテゴリー区分の組合せを用いた分析結果であり、それぞれ新潟市、能代市における震害について行ったものである。偏相関係数は各要因間の被害率に及ぼす影響の大きさを示すものであるが、表3によればこの値の最も大きな要因は地下水位であり、つづいて地下5mまでの平均N値、管径、地下5mまでの土質という順になっている。表4においても、地下5mまでの平均N値、地下水位、地下5mまでの土質、管径という順序になっており、地盤特性に関する要因が高い偏相関係数を示していることがわかる。カテゴリーウェイトは、1つの要因内の各カテゴリーが被害率に及ぼす影響の大きさを示している。地下水位に注目すると、新潟市では1.5m~2.0mの、能代市では2.0m~3.0mのカテゴリーのそれが大きくなっている。地中埋設管のほとんどが地下1.5m前後に埋設されていることを考え合わせると、地下水位面が埋設管よりも低い場合の被害が多いといえる。これを液状化による埋設管の被害と結びつけて考えると、地震前には埋設管敷設位置は不飽和の状態であったが、それより下の飽和層の液状化により地表面付近まで飽和層が拡大し液状化することにより、液状化による被害が埋設管に生ずる可能性のあることが示唆される。つぎに管径に注目すると、前述したように、300mm以上の大口径管のカテゴリーウェイトが大きくなっている。日本海中部地震による400mm、450mmのCIP管の破壊を詳細に調べると、いずれも継手部の破損であり、それらはそれぞれ1箇所に集中して生じている。周辺地盤に注目すると、液状化した地盤と非液状化地盤との境界部に近い液状化地盤とみることができる。このような箇所においては、地盤動特性が急変するので複雑な地盤挙動を示すこと、あるいは、液状化地盤中の管には浮力が作用し、管は浮上しようとするが、非液状化地盤で管が上下方向に固定されているのでその境界付近にひずみが集中することなどが考えられるが、管径が大きいほど液状化時に管に作用する浮力の影響が大きいので、²⁾大口径管が集中的に破壊したことを考え合わせると、後者による影響が大きかったものと予想される。

6. おわりに

本研究では、1964年新潟地震、1983年日本海中部地震による上水道管の震害資料とボーリング柱状図を整理し、地盤液化が上水道管の被害に及ぼす影響について考察した。今後は、地震動の強さに関する要因をも考慮して解析を行うことにより、将来起こりうる地震による液化被害を軽減するための有効な被害予測式を求めていきたい。

謝辞

膨大な資料を快く提供して下さいました新潟市水道局、能代市ガス水道局、秋田県商工労働部の関係各位に厚く御礼申し上げます。本研究実施に当たって、卒業研究として本テーマに取り組みました中野智子さん（現・川田工業(株)）、桐畑俊彦君（現・(株)高松組）に深謝の意を表します。最後に、本研究が文部省科学研究費奨励研究（A）の補助によって行われたことを記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 北陸建設弘済会：新潟平野部の地盤図集（新潟平野編），1981.
- 2) 北浦 勝・宮島昌克：一端を固定された地中埋設管模型の液化化時の挙動，土木学会論文報告集，No. 336，pp.31～38，1983.

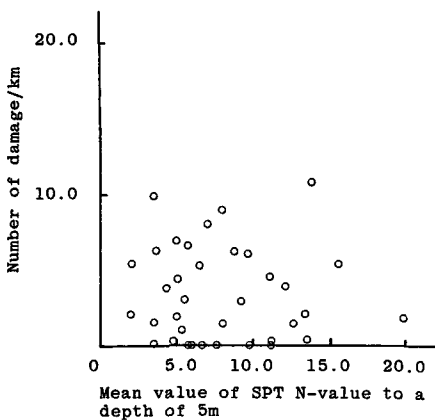


図3 地下5mまでの平均N値と被害率との関係（新潟市）

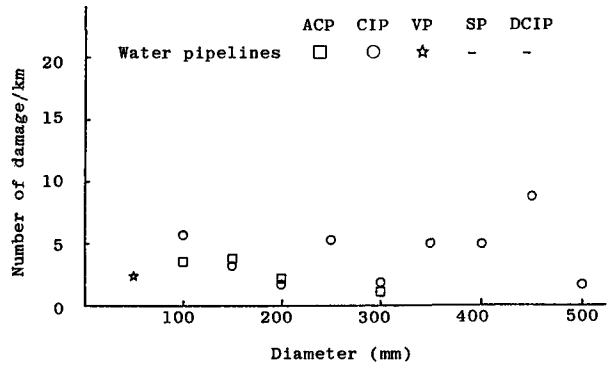


図1 管径、管種と被害率との関係（新潟市）

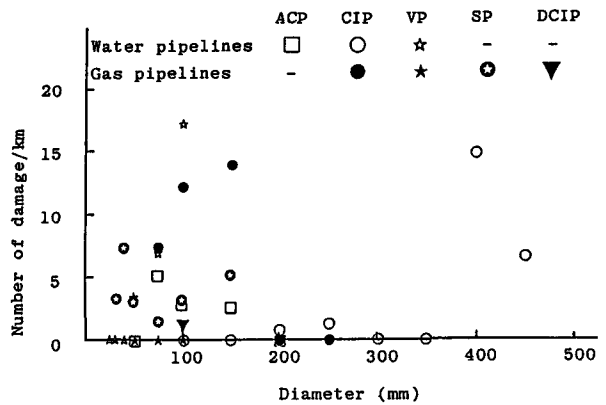


図2 管径、管種と被害率との関係（能代市）

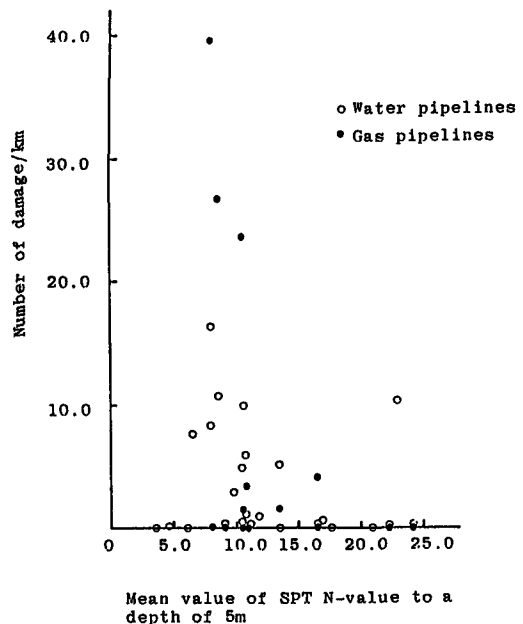


図4 地下5mまでの平均N値と被害率との関係（能代市）

表2 管種別の上水道の被害率 (能代市)

Kind of pipes	Length of pipeline(km) (A)	Number of damage (B)	(B)/(A)
ACP	69.475	223	3.210
CIP	6.899	23	3.334
VP	40.726	210	5.156
SP	1.308	0	0
DCIP	23.167	5	0.216
TOTAL	141.575	461	3.256

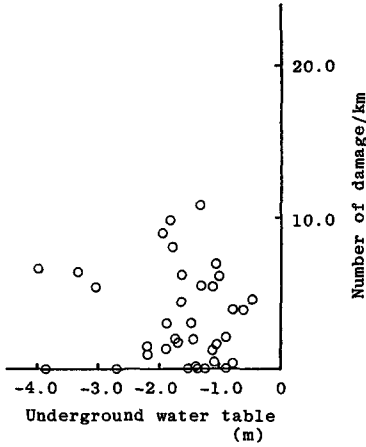


図5 地下水位と被害率との関係 (新潟市)

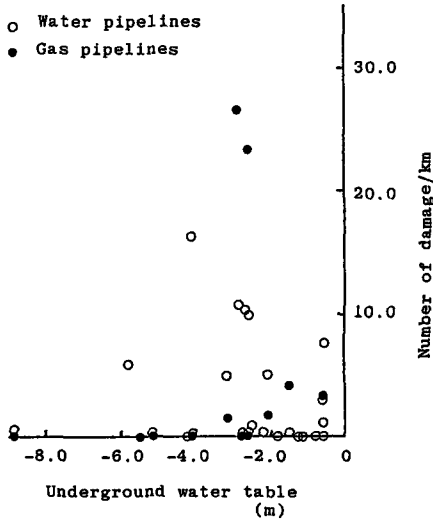


図6 地下水位と被害率との関係 (新潟市)

表1 管種別の上水道の被害率 (新潟市)

Kind of pipes	Length of pipeline(km) (A)	Number of damage (B)	(B)/(A)
ACP	64.172	193	3.009
CIP	75.147	270	3.593
VP	4.917	15	3.051
TOTAL	144.236	478	3.314

表3 数量化理論I類による分析結果 (新潟市)

Item	Category	Num.	Category weight			Partial correlation coefficient
			-7.5	0	7.5	
Kind of pipes	ACP	57				0.13936
	CIP	102				
	VP	13				
Diameter (φ) mm	50 < φ ≤ 100	12				0.32643
	100 < φ ≤ 200	66				
	200 < φ ≤ 300	19				
	300 < φ ≤ 400	8				
	400 < φ	8				
SPT N-value (N)	0 ≤ N < 5	59				0.40320
	5 ≤ N < 10	83				
	10 ≤ N < 15	26				
Type of soil	Silt	8				0.27324
	Fine sand	47				
	Medium sand	109				
	Clay	8				
Underground water table (H) m	0 ≥ H > -1.0	35				0.41113
	-1.0 ≥ H > -1.5	49				
	-1.5 ≥ H > -2.0	59				
	-2.0 ≥ H > -2.5	8				
	-2.5 ≥ H > -3.0	2				
Total length in a mesh (ℓ) km	0 < ℓ ≤ 0.2	36				0.19541
	0.2 < ℓ ≤ 0.4	44				
	0.4 < ℓ ≤ 0.6	39				
	0.6 < ℓ	53				

Multiple correlation coefficient 0.53697

表4 数量化理論I類による分析結果 (能代市)

Item	Category	Num.	Category weight			Partial correlation coefficient
			-7.5	0	7.5	
Kind of pipes	ACP	56				0.22785
	CIP	29				
	VP	27				
Diameter (φ) mm	50 < φ ≤ 100	17				0.26930
	100 < φ ≤ 200	48				
	200 < φ ≤ 300	29				
	300 < φ ≤ 400	10				
	400 < φ	4				
SPT N-value (N)	0 ≤ N < 9	15				0.42671
	9 < N < 11	48				
	11 < N < 13	16				
	13 < N	33				
Type of soil	Silt	3				0.28948
	Fine sand	45				
	Medium sand	46				
	Coarse sand	1				
	Clay	1				
Underground water table (H) m	0 ≥ H ≥ -2.0	25				0.38510
	-2.0 > H ≥ -2.5	22				
	-2.5 > H ≥ -3.0	22				
	-3.0 > H ≥ -4.5	22				
Total length in a mesh (ℓ) km	0 < ℓ ≤ 0.1	23				0.14978
	0.1 < ℓ ≤ 0.3	33				
	0.3 < ℓ ≤ 0.5	26				
	0.5 < ℓ	30				

Multiple correlation coefficient 0.56122