

I-420 数量化理論による配水管被害予測手法

建設省 土木研究所 地震防災部 正会員 岩 崎 敏 男
建設省 土木研究所 地震防災部 正会員 大日方 尚 巳
パシフィック・コンサルタンツ(株) 正会員 〇天 国 邦 博

1. はじめに

上水道等の地中埋設管路が地震被害を受けた場合、都市施設としての機能が大きく低下することが知られている。この問題を議論するためには、管路そのものの被害率を推定する手段と、これによる機能低下を推定する手段が必要となる。この意味から上水道埋設管路網の地震時被害率を予め推定することは、管路システムの耐震性評価の第1段階作業として重要である。一般に被害率(R_f)は、被害ヶ所数を各管路延長距離で割った値としてヶ所/Kmの単位で表現されている。地域全体を平均して被害率を求めた場合には「地盤条件」「管路条件」との関係を読み取ることができないが、詳細なサンプリングによる統計的手法を用いれば、この点を明らかにできると考えられる。これらの関係を明らかにして、予め調査可能な事項を基に被害率を予測する推定式が得られるならば、シミュレーション解析等に用いることが可能となる。ここでは、地盤条件等が均質な区域ごとに収集するために地域全体を1Kmメッシュに分割して、サンプリングを行い、被害に関係のある事項との関係を数量化手法を用いて分析した。

調査対象は1978年宮城県沖地震による仙台市および泉市の上水道埋設管路被害をとりあげた。

2. 被害事例の収集

管路被害に影響のある要因ごとに特性値を収集するため、対象地域を1Km四方のメッシュ分割し、上水道システム内の配水小管レベル(50mm以上)迄をサンプリングした。サンプリングは、各メッシュの同一種類の管路毎に、被害件数・管路長を求めた。ここで各々のメッシュ内の被害現象を説明しようと思われる要因を選び出し、図-1に示す特性要因図のように整理した。

仙台市・泉市の両都市の上水道埋設管の総延長は、1682.216Km。被害件数は、破損及び漏水被害を含めて491件であった。(平均被害率0.29件/Km) また、メッシュ分割数は251メッシュとなり、その内被害を含むメッシュは、97メッシュであった。(38%) サンプル総数は、1937件でありその内被害サンプル数は、202件であった。(10%)

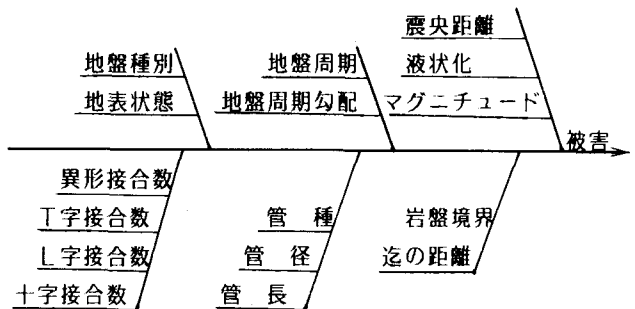


図-1 埋設管路被害の特性要因図

3. 被害の判別予測

複数の被害要因が影響し合った結果、物理的構造の抵抗力を越える場合には被害を受け、これを越えなければ無被害であるのだという推察ができる。また、収集したサンプルの内には、調査精度上から被害が取り上げられなかった部分が混在していると考えられる。

そこで、全く新しい次元から眺めた尺度で表現できるとするならば、被害率予測を行う際にも都合が良いと考えられる。統計量として取扱う尺度は、確率現象としてみると、図-2に示されるものとなる。このグループを判別できる尺度を求めるため、一般的に定性的要因をも扱える方法として数量化理論Ⅱ類による判別分析を行った。

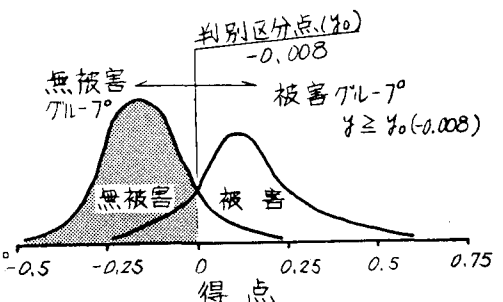


図-2 グループ判別図

解析の結果、図-3に示す判別区分点(-0.008)を境に被害グループと無被害グループに、的中率75%で判別することが出来た。つまり、表-1の各アイテム・カテゴリーに対応する係数を加算して、その得点が $y_0 > y$ の時、無被害。 $y_0 \leq y$ の時、被害と判定が出来る。各アイテム・カテゴリーの偏差を図-4に示した。宮城県下の各埋設管の被害件数の傾向を良く表現している。

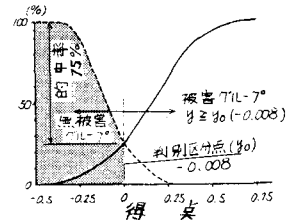


図-3 累積得点分布図

表-1 数量化Ⅱ類による結果

アイテム	カテゴリー	数	係数(件/Km)
1	1 無被害	218	0.0
	2 冠水被害	202	0.1874
	3 冠水被害	490	0.0118
	4 冠水被害	278	0.0552
	5 冠水被害	297	0.0456
2	6 冠水被害	507	0.0
	7 冠水被害	433	0.0269
	8 冠水被害	330	0.0277
	9 冠水被害	527	0.0580
	10 冠水被害	170	0.0510
3	11 冠水被害	23	0.0706
	12 冠水被害	494	0.0
	13 冠水被害	1125	0.0769
	14 冠水被害	166	0.0856
	15 冠水被害	456	0.0
4	16 冠水被害	1058	0.0466
	17 冠水被害	270	0.018
	18 冠水被害	49	0.0319
	19 冠水被害	324	0.0
	20 冠水被害	1046	0.0269
5	21 冠水被害	452	0.0884
	22 冠水被害	158	0.0567
	23 冠水被害	1302	0.0
	24 冠水被害	526	0.0162
	25 冠水被害	72	0.0502
6	26 冠水被害	7	0.0322
	27 冠水被害	73	0.0
	28 冠水被害	111	0.0149
	29 冠水被害	748	0.0506
	30 冠水被害	444	0.1372
7	31 冠水被害	54	0.0382
	32 冠水被害	20	0.0679
	33 冠水被害	0	0.1437
	34 冠水被害	0	0.1437
	35 冠水被害	0	0.1437

4. 被害率予測

被害の判別分析より選出したサンプルについて、同一カテゴリーに属するものの被害件数と管長から、被害率(Rf)を計算して、特性値とした。Rfを目的変数とし、要因特性を説明変数とした数量化理論Ⅰ類解析によってアイテム・カテゴリー組み合わせを変化させた試算をした結果、被害率 Rf_i (iはサンプル番号)を推定する式として次式を得た。

$$Rf_i = \prod_{j=1}^m \prod_{k=1}^n W_{jk} X_{ijk}$$

ここで、 W_{jk} は表-2に示したアイテム(j), カテゴリー(k)の重み係数、 X_{ijk} はサンプルに対応するカテゴリーのみが1で残りは0の係数とし、 $X_{ijk}=1$ のみを上式に適用する。(mはアイテム総数、nはカテゴリー総数)

その結果、図-6に示す実測被害率と推定被害率の関係が得られ、相関係数 $r = 0.833$ 、誤差標準偏差 $\sigma = 0.739$ と高い相関を示した。

5. まとめ

上水道埋設管路の地震時被害率と各要因の関係を分析し、これによる被害率推定式を得ることが出来た。これに続く段階では、推定式中の重み係数の各々が工学的常識となじむものであるかどうかの考察が必要であり、他の事例研究等を参考に検討を進める予定である。

今回の調査、解析は単一の震源による事例によるものであるから、地震動の大きさに関する要因との関係が明らかでない。

これについては、他の地震による被害事例からのサンプルを追加した解析、あるいは震源と地震動との関係についての研究例を参考に補正係数を設定する等の方向を検討している。

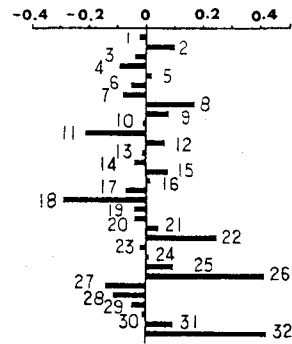


図-4 Ⅱ類重み偏差

表-2 数量化Ⅰ類による結果

アイテム	カテゴリー	数	重み係数	レンジ
1	1 冠水被害	28	0.0249	2.1991
	2 冠水被害	27	0.0119	
	3 冠水被害	12	0.0872	
	4 冠水被害	7	0.0872	
	5 冠水被害	7	0.0119	
2	6 冠水被害	50	0.0000	3.4345
	7 冠水被害	50	0.0110	
	8 冠水被害	19	0.0404	
	9 冠水被害	5	0.0385	
	10 冠水被害	10	0.0354	
3	11 冠水被害	5	0.0000	2.1963
	12 冠水被害	18	0.0390	
	13 冠水被害	21	0.0726	
	14 冠水被害	44	0.0186	
	15 冠水被害	4	0.0000	
4	16 冠水被害	4	0.0217	2.8859
	17 冠水被害	23	0.0249	
	18 冠水被害	56	0.0195	
	19 冠水被害	1	0.0339	
	20 冠水被害	49	0.0000	
5	21 冠水被害	37	0.0342	10.0000
	22 冠水被害	2	0.0272	
	23 冠水被害	29	0.0000	
	24 冠水被害	28	0.0272	
	25 冠水被害	25	0.0300	
6	26 冠水被害	0	0.0334	1.8316
	27 冠水被害	0	0.0334	
	28 冠水被害	0	0.0334	
	29 冠水被害	0	0.0334	
	30 冠水被害	0	0.0334	

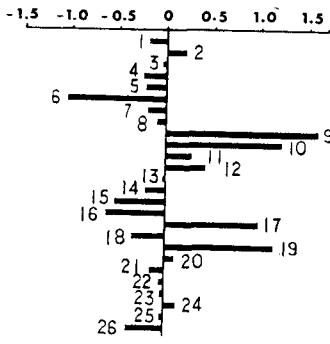


図-5 Ⅰ類の重み偏差

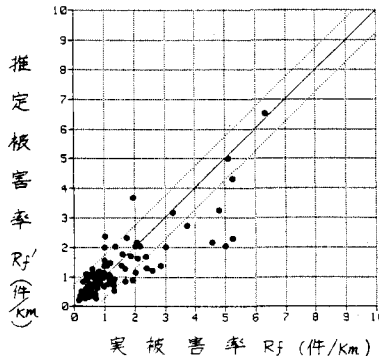


図-6 RfとRf'の相関図