

I-512

上水道管路の震害要因分析と耐震健全度評価指標

東海旅客鉄道(株) 正員 神田 仁
 京都大学防災研究所 正員 亀田 弘行
 京都大学工学部 正員 杉戸 真太

1. はじめに 1978年宮城県沖地震で被災した仙台市と1983年日本海中部地震で被災した能代市は、その震度は等しく5.3と評価されている^{1), 2)}。本研究では、両都市の上水道管路破壊について、要因分析を合わせて行い、共通性と特殊性を整理した上で、震度V程度の地震に見舞われた場合の震害予測モデルを提案した。さらに、上水道システムの耐震力を定量的に評価する「耐震健全度」指標を提案し、実際の被害の様相との関連を考察した。

2. 管路破壊の要因分析 (1)分析の方法 管路破壊に影響を及ぼす要因として、①地盤パラメータ S_n ³⁾、②管種、③宅地造成地に位置するか否か、④液状化の程度、の4種を取り上げた。仙台市の市域を500m×500mのメッシュ、能代市の市域を250m×250mのメッシュにそれぞれ分割し、各メッシュで算出した①から④の値と管路破壊率とを対応させ、要因分析を行う。例として、図1に能代市配水管破壊率の分布を示す。

ここに、 S_n は地盤の軟弱さを示すパラメータで、-0.6~-0.2の場合はよく締まった地盤、-0.2~0.6が通常の地盤条件、0.6~1.0は軟弱地盤に分類される。同時にこの S_n は、地域内での相対的な地震動強度の大きさも表す³⁾。

地盤の液状化については、噴砂現象が認められたか否か⁴⁾を変数に取り上げた。噴砂の見られた面積がメッシュ内に占める割合により、 $LQ=2$:全域、 $LQ=1$:一部、 $LQ=0$:無しの3ランクに分類した。

破壊率予測モデルは、破壊発生確率と条件付き破壊率の2段階で考えるため、構成は次式の様になる。

$$r_{fe} = \hat{r}_f | F \times p(F) + 0 \times p(\bar{F}) \quad \cdots (1)$$

ここにおいて、 $p(F)$ はメッシュで破壊が発生する確率を、 $\hat{r}_f | F$ は破壊したときの条件付き破壊率を表す。

(2)分析結果 図2に、両都市の S_n と配水管破壊率、破壊発生確率の関係を示した。上段の破壊発生確率 $p(F)$ は、下段で破壊率=0のものに着目し、

破壊率>0のデータ数

全データ数

を、一定範囲の S_n について順に算出したものである。平均値 μ 、標準偏差

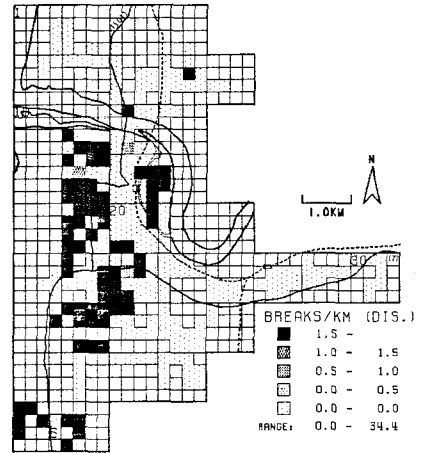
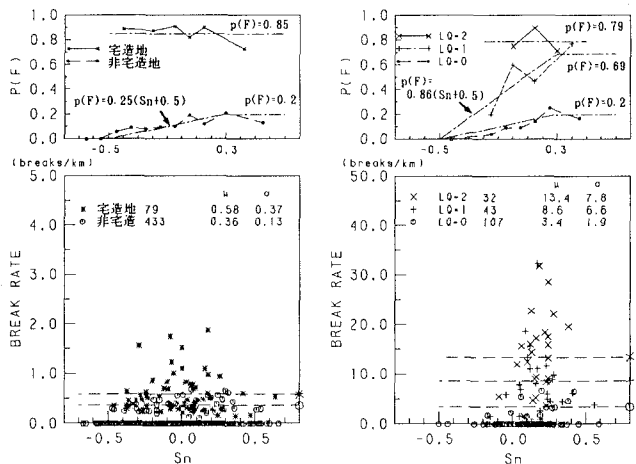


図1 能代市 配水管破壊率の分布



(a)仙台市配水管 (b)能代市配水管
 図2 地盤パラメータ S_n と破壊発生確率、破壊率の関係

σ は、破壊率 >0 のデータのみから求めた値である。

(a)が仙台市で、データを宅造地と非宅造地に分けて示した。下段に着目すると、破壊率の高いデータは大半が宅造地に属することが分かる。上段の $p(F)$ からは、非宅造地においてある範囲の S_n では、 S_n の増加につれ破壊発生確率も線形的に上昇する傾向がある。これは、地盤破壊が生じなかった場合、地盤が軟弱なほど破壊が発生しやすいことを示す。(b)は能代市である。噴砂のランクによりデータを3分類して示す。破壊率が高いデータの大部分が、噴砂現象の見られた地域に属している。上段の $p(F)$ を見ると、噴砂の無い所($LQ=0$)では、仙台市の非宅造地と類似の変動が確かめられた。

これらの破壊発生確率は、地盤破壊の無かった所で共通の条件と考え、それぞれのデータ数で加重平均して S_n の関数としてモデル化した。(b)の $LQ=1$ の場合と、(a)宅造地及び(b) $LQ=2$ についても、図2上段中に示すように破壊発生確率をモデル化した。

表1 結合型(II)モデルの各推定式

(1)式は次の様に表現される。(CFは宅造地, mpは管種)

$$r_{fe} = \hat{r}_f(LQ, CF, mp | F) \times p(F; S_n, LQ, CF) \quad \cdots (2)$$

条件付きの破壊率は、仙台市で非宅造地の $\mu(=0.36)$ と、能代市で $LQ=0$ の $\mu(=3.4)$ でも1桁の違いがあり、これらを

LQ	CF	(ACP, VP, Metal[DCIP+CIP+SP])	(件/km)
0	0	F	(0.98, 1.32, 0.32) (a)
0	1	F	(1.10, 1.48, 0.36) (b)=(a) $\times 1.1$
1	0	F	(2.27, 3.06, 0.74) (c)=(a) $\times 2.3$
2	0	F	(3.66, 4.92, 1.19) (d)=(a) $\times 4.0$

1本化することは現段階では困難と考え、4通りのモデルを提案した。ここでは結合型(II)モデルによる、管種毎の破壊率の平均値を表1に示す。このモデルを用いて、実際の能代市の被害との適合性を検証した結果が、図3である。図1と比べ、その破壊の様相を比較的良く再現している。

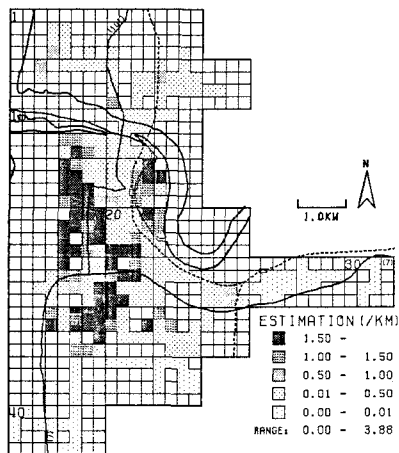


図3 結合型(II)モデルによる能代市被害分布予測

3. 上水道管路の耐震健全度指標 耐震健全度のための被災度指標をまとめて表2に示す。被害予測値①, ②は、いずれも能代市の方が大きい値を示しており、被災度指標が高い。④~⑦はこれらに影響を及ぼす要因である。④は地盤の軟弱さを、⑤と⑥は地盤破壊地域の面積比を、⑦は管種の脆弱度を表す。いずれも仙台市の方が好条件下にある。

給水装置の被災度指標は、経年的被害⁵⁾の調査結果から算出した。地震後に修理や漏水被害が長引く原因は、主として給水装置の破損にあることが分析の結果分かったので、経年

期間の被害に注目し、これを給水装置の被災度指標と考える。⑧は被害の経年期間、⑨は給水装置の、地震後の修理件数に対する総被害量の比である。⑨では能代市が最も低い値を示しており、健全であったと言える。これは、地震後断水して集中的に修理を行ったため、経年的被害は少なく済んだ状況が推察される。

謝辞 男鹿市企業局、能代市ガス水道局、仙台市水道局の担当職員の方々には資料収集に際して多大な協力を頂きました。深謝とともにここに記します。

表2 上水道の耐震健全度のための被災度指標

	被害予測値			配水管被災度				給水装置被災度	
	① 平均破壊発生確率(%)	② 平均破壊率(件/km)	③ 総破壊件数(件)	④ 平均 S_n 値	⑤ 宅造地割合(%)	⑥ 液状化割合(%)	⑦ 管種脆弱度	⑧ 経年影響期間(箇月)	⑨ 経年被害割合
仙台市	22.2	0.19	214	-0.057	12.6	0.0	0.435	10	1.77
能代市	30.1	0.85	120	0.106	0.0	30.4	0.932	18	1.47
男鹿市								24	2.37

参考文献 1)表・檜崎・三浪:第15回自然災害科学総合シンポジウム, 1977. 2)太田・鏡味・後藤・岡田・堀田・大橋:北大耐震工学研究室論文集録, 1988. 3)Kameda, H., Sugito, M.: Structural Mechanics in Reactor Technology, 1985. 4)伊藤 駿(私信による). 5)Kameda, H., Sugito, M. and Kanda, H.: 9WCEE, 1988.