

京都大学防災研究所 正会員 佐藤忠信
 京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 京都大学大学院 学生員 末富岩雄

1. まえがき 今日では、上下水道、電力、ガス、鉄道などの各種ライフラインシステムが社会生活に大きな役割を果たしている。地震時における都市防災対策上、その耐震性を向上させることは、極めて重要な課題であると言われている。本研究では、ライフラインの構成要素の機能損失に及ぼす地震断層の影響圏の評価方法を定義する。これを用いて、空間的な広がりを持つネットワークを対象として、断層とネットワークとの相対的位置関係による影響や地盤条件の違いによる影響を考慮して、地震時における上水道網の流量予測を行う方法論を展開する。

2. 影響圏 ネットワークを構成する要素の破壊レベルを支配する変数 Y が、断層からの距離 R 、マグニチュード M 、発震機構を表すパラメーター C_k との関数とした減衰則で次式のように与えられるとする。

$$Y = F(R, M, C_k) \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

いま、要素の破壊に対する許容レベルとして Y^* が与えられれば、式(1)から逆に断層からの距離 R が得られる。

$$R = F^{-1}(Y^*, M, C_k) \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (2)$$

ここに、 R は定められたマグニチュードと地盤条件のもとで要素が破壊するための最小の断層からの距離を表している。要素を中心に半径 R の球を描くと、この球内にマグニチュード M の地震が発生すると要素は破壊するわけである。ここでは、この距離 R を影響距離、これを半径とする球を影響圏と名付ける。ノードの影響圏は球となり、リンクの影響圏は球を連ねたものとなる。

3. 流量予測 我国においては、地震の発生源となる断層の位置を明確にできない場合が多いが、ここでは断層の位置がわかっているものとして、上水道網の流量予測を行う。図-1に示すような簡単な上水道網を設定する。断層は常に図のO点を1つの頂点として発生し、dip angle は 75° とする。図-2は、断層発生域に対して垂直方向の断面図である。平行な方向に関しては地盤構造の変化は少ないので図は省略した。表層地盤は、A層、B層、C層、D層の4層から成り、各層におけるせん断波速度と相対密度を表-1に示す。各層とも砂質地盤とし、単位体積重量 1.8t/m^3 、粘着力 0.01t/m^2 、内部摩擦角 35° 、地下水位 0.5m とする。

埋設管の強度レベルを表す基準を地盤の速度振幅とする。この上水道網においては、各リンクは各々3本の強度レベルの異なる管からなるものとする。管はその強度レベルによって5種に分類され、それぞれa種が 50cm/s 、b種が 40cm/s 、c種が 30cm/s 、d種が 20cm/s 、e種が 10cm/s である。各リンクならびに各管の許容流量を表-2に示す。ノードの強度は無限大とする。

この値を用いて、地震時における表層地盤の増幅度を考慮して各管に対する影響圏を算出した。また疲労破壊の概念を準用して地盤の液化化危険度を影響圏で表現した。1例として、マグニチュード7.0の時のノード4におけるb、c、d管に対する影響距離を示したのが表-3である。上記の強度レベルに従って3種

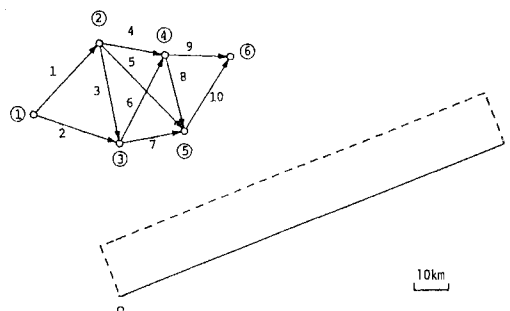


図-1 上水道網と断層の位置

の影響圏が与えられる。液状化に対する影響距離も同時に示した。この内大きい方を解析に用いる。

この上水道網では、各ノードにおいてポンプによる完全な配水調整がなされている。平常時においては、最大200m³/sの流量が終点で保証されている。各マグニチュードにおける最大可能流量をラベリング法を用いて求めた結果を表-4に示す。またマグニチュード6.8~7.1にお

ける最大流を図-3に示す。図中の実線はそのリンクの3本の管がすべて残存し、そのリンクが全く破損していないことを表す。破線は管が2本残存していることを、点線は管が1本だけ残存していることを表す。さらに線が描かれていないリンクはその機能を完全に停止している。線の横の数字は、最大可能流量が得られる時の、そのリンクの流量である。

マグニチュードが大きくなるにつれて、強度レベルの低いe管から順に破壊する。この例ではマグニチュードが大きくなるに従い、まずノード3に接続する管から破壊し、次にノード5に接続する管、さらには、ノード1あるいは6に接続する管が破壊する。マグニチュード7.1では、ノード4において液状化現象が起るために著しく機能低下を生じる。

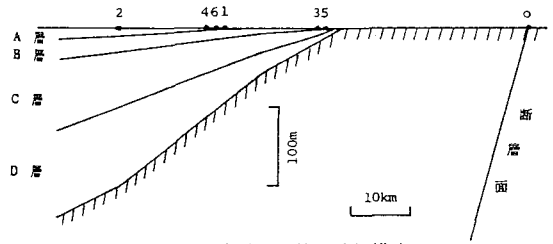


図-2 上水道網近傍の地盤構成

表-1 各層のせん断破滅速度と相対密度

層	せん断破滅速度 (m/s)	相対密度
A 層	1 4 0	0.40
B 層	1 8 0	0.80
C 層	2 5 0	0.80
D 層	4 0 0	0.80

表-3 影響距離の比較 (単位 km)

震 動 解 析			液状化解析
b管	c管	d管	
29.6	46.3	79.5	60.1

表-4 上水道網の最大可能流量

マグニチュード	最大可能流量 (m ³ /s)
6.5	2 0 0
6.6	1 9 0
6.7	1 9 0
6.8	1 9 0
6.9	1 7 0
7.0	1 3 0
7.1	6 0
7.2	6 0
7.3	0

表-2 各リンクならびに各管の許容流量 (m³/s)

No.	許容流量	管 種	管の許容流量
1	80	b c d	40 20 20
2	120	a b c	60 40 20
3	50	c d e	20 20 10
4	60	b c d	20 20 20
5	80	b c d	30 30 20
6	80	b c d	40 20 20
7	60	b c d	30 20 10
8	50	c d e	30 10 10
9	100	b c d	50 30 20
10	120	a b c	60 40 20

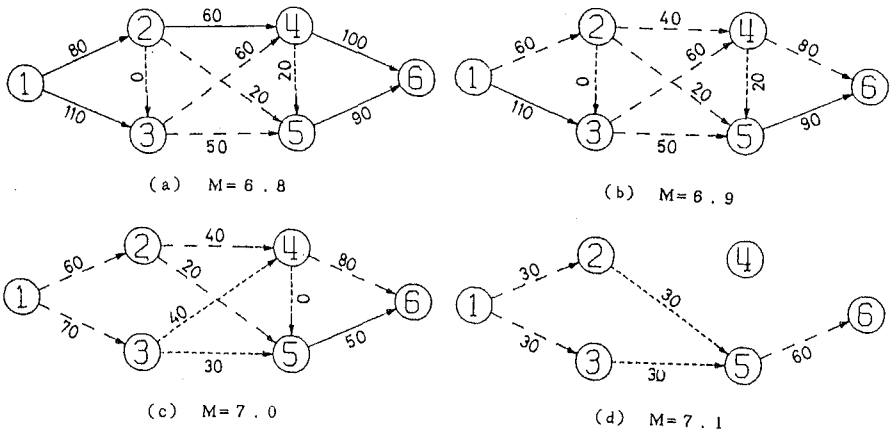


図-3 上水道網の最大流