

下水道管路の地震被災時の信頼性の評価モデル

細井 由彦¹⁾

¹⁾社会開発システム工学科

(1996年8月29日受理)

Reliability analysis model of sewer pipeline system damaged
by the earthquake

by

Yoshihiko Hosoi¹⁾

¹⁾Department of Social Systems Engineering

(Received August 29, 1996)

The sewage collection and treatment system is one of the most important systems of urban lifelines. However, it has not been studied well from the point of view of lifeline compared with electricity, telecommunication, and gas and water supplies. One of the reasons are that waste water is naturally discharged and a water flushing toilet was not used so much in Japan. The modern urbanized areas, however, almost completely rely upon artificial systems, that is sewerage, to discharge rain water and waste water. It means that high reliability is required for urban sewerage systems.

In order to develop reliability analysis methodology of sewerage system, this study treats the reliability analysis of sewer pipelines. To simplify the investigation, a single pipeline which suffers functional damages by an earthquake were studied. Analytical methodology of system reliability evaluation of a sewer pipeline with malfunction is presented.

Key words : reliability, sewer pipeline, lifeline

1. まえがき

電気、ガス、通信、道路等とともに上水道、下水道はライフライン施設として、現代の都市が正常に機能していく上で欠かすことができない基盤施設である。わが国ではこれらの施設が地震による被害を受ける危険性に常にさらされており、地震時にもこれらの施設が最低限の機能を発揮でき、かつ迅速に機能の回復ができるような備えが必要である。

地震対策を行うにあたり、施設の構造自身を地震外力に対して対応できるように強化するとともに、施設が部分的に破壊されたときも、その機能の低下を抑えるための冗長性を備えることも必要である。いずれにしてもその対策をたてるためには、施設の耐震強度を評価するとともに、破損発生時の機能的な信頼性を評価する必要がある。

これまで都市の水循環施設においては、上水道施設の信頼性に評価に関する研究は比較的多く行われてきた。飲料水や消火用水等として地震後の水の供給は重要なファクターであることから当然のことではある。しかしながら、高度に発達し過密化した現代都市は、使用後の水の排除にも人工的な施設である下水道に依存している割合が非常に高くなっており、これが正常に機能しないならば、排水という水量的な問題だけではなく、伝染病などの防疫上の問題も発生することになり、上水道の使用にも影響をおよぼす。

本研究ではこれまであまり取り上げられてこなかった下水道管路の信頼性について検討する。信頼性評価を行うための、基本的なモデル化、評価指標、単純な管路についての考察を行う。

2. ライフラインの信頼性

信頼性とは、あるシステムや部品などが、ある期間の間要求される機能を果たす確率をいう。ライフラインシステムにおいては、平常時あるいは地震発生時にいかにその機能を果たすことができるかで評価される。これまで行われている研究では、ライフラインシステムをノードとリンクで表されるネットワークシステムとして表示し、確率的に切断されるリンクに対し、それぞれのノードにおいて必要とされる機能が満たされる確率が計算される。システム全体の信頼性の指標としては、各ノードの機能維持確率の単純平均や

重み付き平均、あるいは最小値が用いられる事が多い。

下水道と関連の深い上水道については、各需要ノードの配水池との接続確率や、供給水量の需要水量に対する満足率などが、ノードの信頼性指標として用いられてきた。

3. 単純な下水道管の信頼性評価

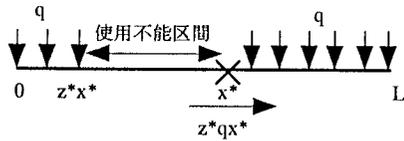
3. 1 下水道管路の信頼性の評価のためのモデル化

下水道の需要は単独で発生するものではなく、上水道の使用や降雨が発生して初めて発生するものである。

ひとまず分流式の污水管を考える。簡単のために1本の下水道管について考え、下水道の利用者は管の延長あたりどこにおいても同数であるとする。通常の利用水量は一定で、下水道管はその水量を流下させるように設計されているものとし、余裕は見込まないことにする。下水道管の信頼性を下水道が使用できる確率とする。すなわちある点における信頼性とは、その点において下水道が使用できる確率を、システム全体の信頼性は、下水道管全延長の中で、使用できる区間の距離の割合と定義する。

下水道が使用できるためには上水道が使用できることが前提である。仮に下水道管の一部に被害がでて通水能力に低下が生じていても、利用者は不都合が生じるまでは、100%の機能の使用を行うであろう。もし全ての点において通常通りの下水道の使用すなわち上水道を使用して排水が行われたとする。破損が発生して通水能力が低下している点に近い上流側では、それより上流から流れてきた汚水の停滞が起こり、十分な排水ができなくなる。しかしはるかに上流の方では、そのような事情はわからず使用が続けられるであろう。

図-1に示すような長さ L の1本の管路において、上流端を原点とした場合に、ある点 x^* において破損事故が発生し、通水能力が z^* に低下したとする。管延長当たりの排水量を q とすると、通常は x^* において流下できる水量は $q x^*$ であるが、破損時の通水能力は $z^* q x^*$ に低下することになる。したがってこの場合には、 $0 \leq x \leq z^* x^*$ と $x^* \leq x \leq L$ の区間において使用が可能であるので、システムの信頼度は



図一 破損した下水道管のモデル

$$1 - (1 - z^*) x^* / L$$

となる。

3. 2 破損の発生点について

長さLの線上にN個の破損が発生した場合に、原点からn番目の破損の位置がxとx+dxの間にある確率は

$$\frac{N!}{(n-1)!(N-n)!} [F_x(x)]^{n-1} f_x(x) dx [1 - F_x(x)]^{N-n}$$

となり、n番目の破損の位置の確率密度関数 $f_{x_n}(x)$ はつぎようになる。

$$f_{x_n}(x) = \frac{N!}{(n-1)!(N-n)!} [F_x(x)]^{n-1} [1 - F_x(x)]^{N-n} f_x(x) \quad (1)$$

となる。ここで $f_x(x)$ および $F_x(x)$ はそれぞれ1つの破損がxにおいて生ずる隔離密度関数および分布関数であり、破損の発生確率が線上のどこにおいても等しいとすると

$$f_x(x) = 1/L \quad (2)$$

$$F_x(x) = x/L \quad (3)$$

となり、式(1)は次式となる(1)

$$f_{x_n}(x) = \frac{N!}{(n-1)!(N-n)! L^N} x^{n-1} (L-x)^{N-n} \quad (0 \leq x \leq L) \quad (4)$$

3. 3 破損による機能低下率が一定の場合の検討

(1) システムの信頼性

上流からn番目の破損の位置を x_n 、n+1番目の破損の位置を x_{n+1} とする。 x_n を通過できる流量は $z q x_n$ 、 x_{n+1} を通過できる流量は $z q x_{n+1}$ であるから、 x_n と x_{n+1} の間で排水できる水量は $z q (x_{n+1} - x_n)$ となり、通常の場合の流量にzをかけた水量となる。各破損区間でそれぞれ通常の排

水量にzをかけた水量を排水することができ、それらの合計流量が、上流よりN番目の破損点 x_N を通過することになる。したがってこの下水管で排水できる流量は、通常の qL に対して、 $z q x_{N+q} (L - x_N)$ となるから、システムの信頼度はN番目の破損点の位置によって決まり次式となる。

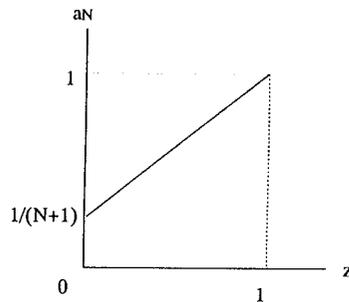
$$a(x_N) = \frac{L - (1 - z)x_N}{L} \quad (5)$$

式(4)よりN番目の破損位置の確率密度関数は次式となる。

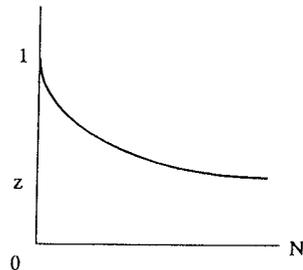
$$f_{x_N}(x) = \frac{N}{L} x^{N-1} \quad (6)$$

したがってN個の破損の発生する場合のシステムの信頼度 a_N はつぎようになる。

$$\begin{aligned} a_N &= \int_0^L a(x) f_{x_N}(x) dx \\ &= \int_0^L \frac{L - (1 - z)x}{L} \frac{N}{L} x^{N-1} dx \\ &= \frac{Nz + 1}{N + 1} \quad (7) \end{aligned}$$



図二 機能低下とシステム信頼度の関係



図三 破損数とシステム信頼度の関係

a_N と z 及び N との関係をそれぞれ図-2, 3に示す。 z が0すなわち破損個所で全く通水ができなくなる場合にはシステムの信頼度は $1/(N+1)$ になる。また N が大きくなるにつれ信頼度は z に漸近する。

(2) 各点の信頼性

1) 破損が1ヶ所($N=1$)の場合

破損点の位置を x_1 とすると、 x において使用が可能であるためには、破損が x より上流で起こるか、下流で起こった場合には、上流端から破損点までの距離の z 倍以内に x が位置していることが必要である。すなわちつぎのいずれかの条件を満たさなければならない。

$$0 \leq x \leq z x_1, \quad x_1 \leq x \leq L \quad (8)$$

すなわち x_1 が満たすべき条件は

$0 \leq x < zL$ のとき

$$0 \leq x_1 \leq x, \quad \frac{x}{z} \leq x_1 \leq L \quad (9)$$

$zL \leq x \leq L$ のとき

$$0 \leq x_1 \leq x \quad (10)$$

ところで式(4)は $N=1$ の場合次式となる。

$$f_{x_1}(x) = \frac{1}{L} \quad (11)$$

したがって x における信頼度 $a(x)$ は次式となる。

$$\begin{aligned} 0 \leq \frac{x}{L} < z & : a(x) = 1 - \left(\frac{1}{z} - 1\right) \frac{x}{L} \\ z \leq \frac{x}{L} \leq 1 & : a(x) = \frac{x}{L} \end{aligned} \quad (12)$$

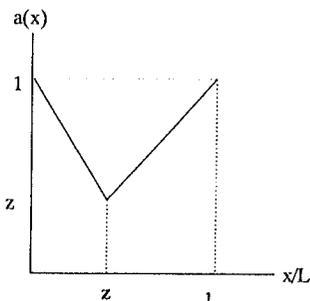


図-4 x における信頼度

式(12)で与えられる関係を示したものが図-4である。 $x/L = z$ において、信頼度は最小の z になり、上流端及び下流端に近づくほど信頼度は高くなることからわかる。

2) 破損が2ヶ所($N=2$)の場合

破損個所の位置を上流から x_1, x_2 とする。

(i) $0 \leq x \leq x_1$ のとき

すなわちすべての破損が x より下流で発生する場合である。このときには、 $x \leq z x_1$ であればよいから、 x_1 の満たすべき条件は $x_1 \geq x/z$ である。ただし x_1 は L を超えることはできないから、 $x \leq zL$ である。

式(4)より $N=2$ のときの x_1 の位置の確率密度関数はつぎのようになる。

$$f_{x_1}(x) = \frac{2}{L^2}(L-x) \quad (13)$$

したがって x における信頼度はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} a(x) &= \int_{x/z}^L f_{x_1}(x) dx = \int_{x/z}^L \frac{2}{L^2}(L-x) dx \\ &= \left(1 - \frac{1}{z} \frac{x}{L}\right)^2 \quad (0 \leq x \leq zL) \end{aligned} \quad (14)$$

(ii) $x_1 \leq x \leq x_2$ のとき

x が2つの破損点の間に位置する場合に、 x において使用可能であるためには、 x_1 から下流に向かって $z(x_2 - x_1)$ までの間に x が位置していなければならない。したがって上流側の破損点の位置 x_1 が与えられた場合の x_2 は次式を満たす必要がある。

$$x + \frac{1-z}{z}(x-x_1) \leq x_2 \leq L$$

したがって x_1, x_2 の存在範囲は図-5のようになる。

$n-1$ 番目の破損 X_{n-1} の位置が x_{n-1} のときに n 番目の破損 X_n の位置の条件付き確率密度関数は、 $L - x_{n-1}$ の線分上に $N - (n-1)$ 個の破損が発生するときの、1番目の破損の位置が $x - x_{n-1}$ に存在する確率密度関数であるから、式(4)をもとにつぎのように求めることができる。

$$f_{x_n | X_{n-1}(x_{n-1})} = \frac{N-n+1}{(L-x_{n-1})^{N-n+1}} (L-x+x_{n-1})^{N-n} \quad (x_{n-1} < x \leq L) \quad (15)$$

したがって x において使用可能となる確率はつぎの

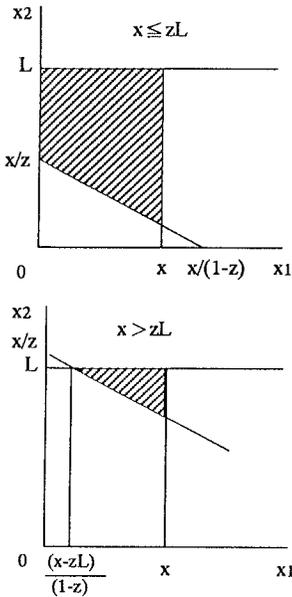


図-5 xにおいて使用可能な x_1 , x_2 の範囲

ようになる。

$$\begin{aligned} & \int_0^x \int_{\frac{x-(1-z)\eta}{z}}^L f_{X_1(\eta)} f_{X_2(x_1(\xi|\eta))} d\xi d\eta \\ &= \int_0^x \int_{\frac{x-(1-z)\eta}{z}}^L \frac{2}{L^2} (L-\eta) \frac{1}{L-\eta} d\xi d\eta \quad (16) \\ &= 2 \left\{ \frac{x}{L} - \frac{1+z}{2z} \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right\} \quad (0 \leq x < zL) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \int_{\frac{x-zL}{1-z}}^x \int_{\frac{x-(1-z)\eta}{z}}^L f_{X_1(\eta)} f_{X_2(x_1(\xi|\eta))} d\xi d\eta \\ &= \int_{\frac{x-zL}{1-z}}^x \int_{\frac{x-(1-z)\eta}{z}}^L \frac{2}{L^2} (L-\eta) \frac{1}{L-\eta} d\xi d\eta \quad (17) \\ &= \frac{z}{1-z} \left(1 - \frac{x}{L} \right)^2 \quad (zL \leq x \leq L) \end{aligned}$$

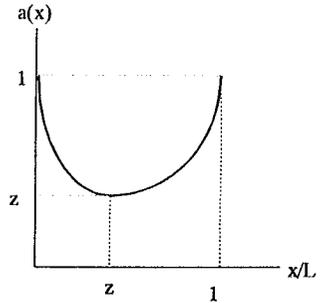


図-6 xにおける信頼度 (2ヶ所破損)

(iii) $x > x_2$ のとき

この場合は全ての破損が x より上流側にあるから、 x においてはつねに使用可能である。よって x において使用可能な確率はつぎようになる。

$$\int_0^x f_{X_2(x)} dx = \int_0^x \frac{2x}{L^2} dx = \left(\frac{x}{L} \right)^2 \quad (18)$$

以上の3つのケースより x における信頼度すなわち使用可能な確率はつぎのように表される。

$$\begin{aligned} a(x) &= \left(1 - \frac{1}{z} \frac{x}{L} \right)^2 + 2 \left\{ \frac{x}{L} - \frac{1+z}{2z} \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right\} + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \\ &= 1 + 2 \left(1 - \frac{1}{z} \right) \frac{x}{L} - \frac{1}{z} \left(1 - \frac{1}{z} \right) \left(\frac{x}{L} \right)^2 \quad (0 \leq x < zL) \\ a(x) &= \frac{z}{1-z} \left(1 - \frac{x}{L} \right)^2 + \left(\frac{x}{L} \right)^2 \quad (zL \leq x \leq L) \end{aligned} \quad (19)$$

図-6は場所的な信頼度の分布である。1ヶ所破損の場合と同様に、 $x/L = z$ において最小値 z をとり、両端で1となる分布を示すが、2ヶ所破損の場合には2次関数になっている。

3) 破損が N ヶ所の場合

(i) $0 \leq x \leq x_1$ のとき

2) の(i)の場合と同様であるので、 x において使用可能となる確率は次式となる。

$$\begin{aligned} \int_{\frac{x}{z}}^L f_{X_1(x)} dx &= \int_{\frac{x}{z}}^L \frac{N}{L^N} (L-x)^{N-1} dx \\ &= \left(1 - \frac{1}{z} \frac{x}{L} \right)^N \quad (0 \leq x \leq zL) \quad (20) \end{aligned}$$

(ii) $x_{n-1} < x \leq x_n$ ($2 \leq n \leq N$) のとき

2) の(ii)と同様の考察により x における使用可能な確率は次式となる.

$$\begin{aligned} & \int_0^x \int_{\frac{x-(1-z)\eta}{z}}^L f_{X_{n-1}(\eta)} f_{X_n} K_{n-1}(\xi|\eta) d\xi d\eta \\ &= \int_0^x \int_{\frac{x-(1-z)\eta}{z}}^L \frac{(N-n+1)(L-\xi+\eta)^{N-n}}{(L-\eta)^{N-n+1}} \frac{N! \eta^{n-2} (L-\eta)^{N-n+1}}{(n-2)!(N-n+1)! L^N} d\xi d\eta \\ &= \frac{N!}{(n-2)!(N-n+1)! L^N} \int_0^x \eta^{n-2} \left\{ \left(L - \frac{x}{z} + \frac{\eta}{z} \right)^{N-n+1} - \eta^{N-n+1} \right\} d\eta \\ & \quad (0 \leq x < zL) \quad (21) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \int_{\frac{x-z}{1-z}}^x \int_{\frac{x-(1-z)\eta}{z}}^L f_{X_{n-1}(\eta)} f_{X_n} K_{n-1}(\xi|\eta) d\xi d\eta \\ &= \frac{N!}{(n-2)!(N-n+1)! L^N} \int_{\frac{x-z}{1-z}}^x \eta^{n-2} \left\{ \left(L - \frac{x}{z} + \frac{\eta}{z} \right)^{N-n+1} - \eta^{N-n+1} \right\} d\eta \\ & \quad (zL \leq x \leq L) \quad (22) \end{aligned}$$

(iii) $x_N < x$ のとき

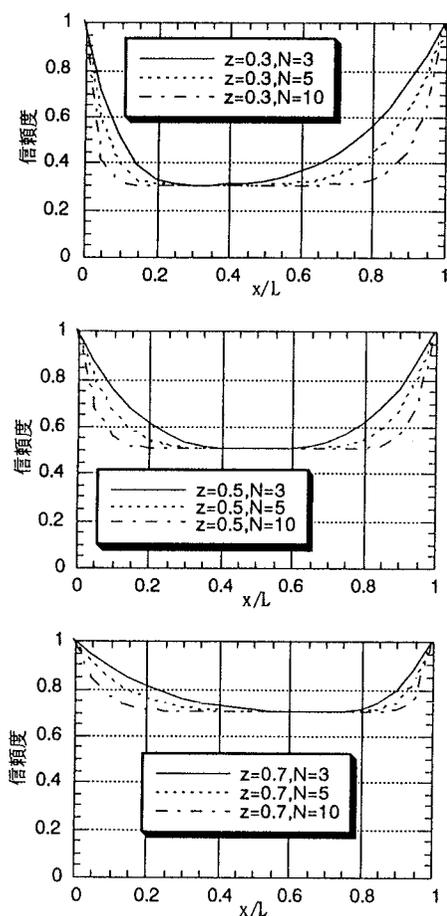
x は全ての破損点より下流にあるから、つねに使用可能である. この事象の発生確率はつぎの通りになる.

$$\int_0^x f_{X_N(x)} dx = \int_0^x \frac{N}{L^N} x^{N-1} dx = \left(\frac{x}{L} \right)^N \quad (23)$$

以上の結果より x における信頼度はつぎのように表される.

$$\begin{aligned} a_{(x)} &= \left(\frac{x}{L} \right)^N + \left(1 - \frac{1}{z} \frac{x}{L} \right)^N \\ &+ \sum_{n=2}^N \frac{N!}{(n-2)!(N-n+1)! L^N} \int_0^x \eta^{n-2} \left\{ \left(L - \frac{x}{z} + \frac{\eta}{z} \right)^{N-n+1} - \eta^{N-n+1} \right\} d\eta \\ & \quad (0 \leq x < zL) \quad (24) \end{aligned}$$

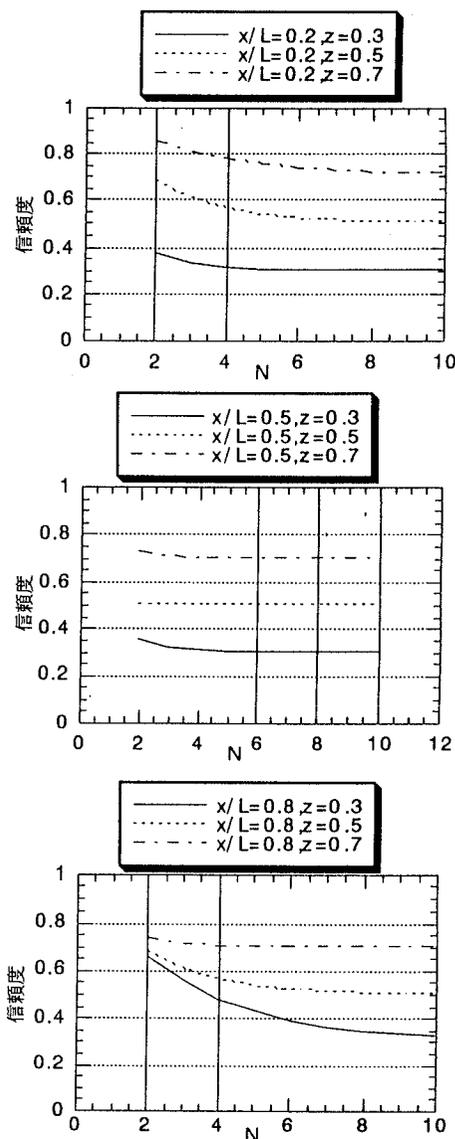
$$\begin{aligned} a_{(x)} &= \left(\frac{x}{L} \right)^N + \sum_{n=2}^N \frac{N!}{(n-2)!(N-n+1)! L^N} \int_{\frac{x-z}{1-z}}^x \eta^{n-2} \left\{ \left(L - \frac{x}{z} + \frac{\eta}{z} \right)^{N-n+1} - \eta^{N-n+1} \right\} d\eta \\ & \quad (zL \leq x \leq L) \quad (25) \end{aligned}$$



図一七 場所的な信頼度の計算結果

図一七はNが種々の値をとる場合の場所的な信頼度の値の計算結果である。Nが1及び2のときに見たように、上流端と下流端において1となり、 $x/L = z$ において最小値zをとる。Nの値すなわち破損発生件数が増加するにしたがい、zを中心として信頼度の低い部分が増加する。またzが小さくなるほど、すなわち破損による機能低下が大きくなるほど、相対的に上流部の信頼度が低下することがわかる。

上流部 ($x/L = 0.2$)、中流部 (0.5)、下流部 (0.8) の信頼度に及ぼす破損件数の影響を図一八に、機能低下の影響を図一九に示す。中流部は破損件数の影響はあまり受けない。下流部においてとく



図一八 場所的信頼度と破損件数の関係

に機能の低下の大きい破損の場合に破損件数の影響が大きい。すなわち機能低下が大きくても破損件数の少ないうちは下流部の信頼度は高いが、破損件数が増加するにつれ、急速に信頼度が低下する。

図一八においても、中流部及び上流部では破損件数にかかわらずほぼ一様な傾向でzの変化に対応して信頼度が変化するのに、下流部ではとくに機能低下が著しい場合に、破損件数による差が顕著に現れている。

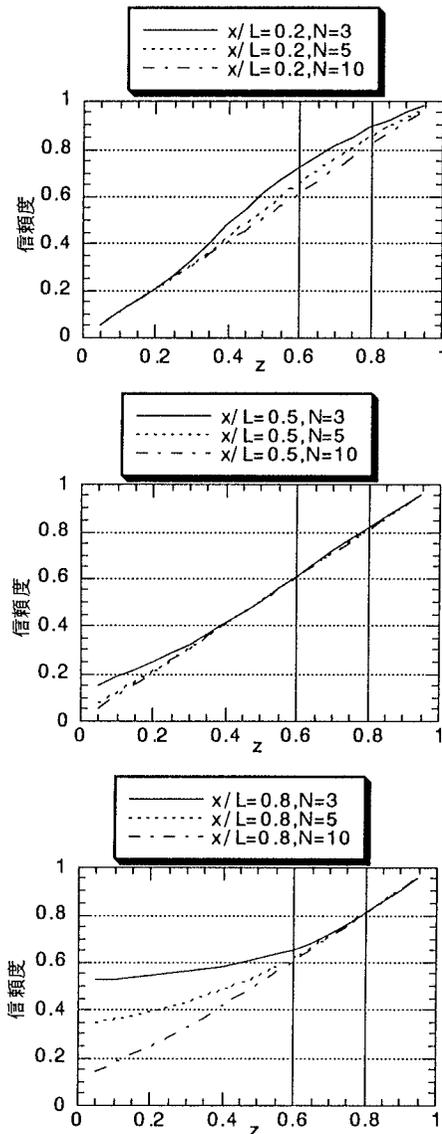


図-9 場所的信頼度と局所的機能低下の関係

3. 4 レベルの異なる破損が2ヶ所で発生する場合
機能低下の程度が異なる破損が2ヶ所で発生した場合について検討する。破損発生点を上流より x_1, x_2 とし、それぞれにおける平常時に対する通水能力を z_1, z_2 とする。

(1) 下流側の破損による機能低下が上流側より大きい場合 ($z_1 \geq z_2$)

下水管内の流量を図-10に示す。平常時は管延長

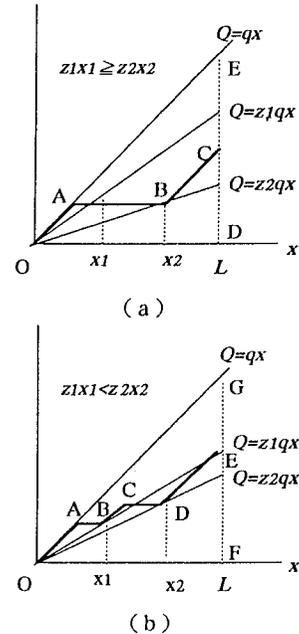


図-10 破損が2ヶ所の場合の管内流量 ($z_1 \geq z_2$)

当たり q の排水が流入するから、管流量は図中に示す直線 $Q=qx$ にしたがって増加していく。破損発生時に点 x_1 を流下できる流量は、直線 $Q=z_1qx$ と $x=x_1$ の交点で示される z_1qx_1 である。また x_2 を通過できる流量は直線 $Q=z_2qx$ と $x=x_2$ の交点で示される z_2qx_2 である。

$z_1 x_1 \geq z_2 x_2$ の場合には図-10 (a) で示されるように、 x_1 を通過できる流量より x_2 を通過できる流量の方が小さいから、 $x=x_2$ と $Q=z_2qx$ との交点 B から x 軸に平行に引いた線が $Q=qx$ と交わる点を A とすると、OA 間は通常通りの排水が行われ、AB 間は排水できず、 x_2 より下流では再び通常通りの使用が可能となる。したがって管内流量は図中の OABC となる。

$z_1 x_1 < z_2 x_2$ の場合には、図-10 (b) のように、 x_1 を通過できる流量が小さいため、 $x=x_1$ と $Q=z_1qx$ の交点 B から x 軸に平行に引いた線と $Q=qx$ の交点を A とすると、OA 間が排水でき、AB 間は排水できない。 x_1 より下流では再び排水できるので、管内流量は B から直線 $Q=qx$ と平行に増えていくが、点 D で表される x_2 を通過できる流量に等しくな

る点Cで再び排水不能となる。x₂を通過後は直線Q=qxに平行に管内流量は増加する。したがって管内流量は図のOABCDEとなる。

下流端Lにおける管内流量は図-10の(a)では点Cで、(b)では点Eで表される。その値はいずれの場合も、z₂qx₂+q(L-x₂)である。したがってこの場合の利用可能率は

$$\frac{z_2 q x_2 + q(L - x_2)}{qL} = 1 - \frac{x_2}{L}(1 - z_2) \quad (26)$$

で表される。式(4)より、N=2の場合に上流より2番目の破損箇所がxにある確率密度関数は次式で表される。

$$f_{x_2(x)} = \frac{2}{L^2}x \quad (27)$$

したがってこの場合のシステム全体の信頼度はつぎようになる。

$$\int_0^L \left\{ 1 - \frac{x_2}{L}(1 - z_2) \right\} \frac{2}{L^2}x dx = \frac{1 + 2z_2}{3} \quad (28)$$

(2) 上流側の破損による機能低下が下流側より大きい場合(z₂>z₁)

管内流量の様子を図-11に示す。(a)は上流側の機能低下による流量の減少が大きく、下流側の機能低下は管内流量に影響を及ぼさない場合である。このような事象が生ずるのはx₁に対し、x₂が

(1-z₁)x₁ / (1-z₂)より小さい場合である。またこの場合の利用可能率はつぎようになる。

$$\frac{z_1 q x_1 + q(L - x_1)}{qL} = 1 - \frac{x_1}{L}(1 - z_1) \quad (29)$$

一方(b)はx₁における機能低下と、x₂における機能低下の両方の影響を受ける場合であり、x₂が(1-z₁)x₁ / (1-z₂)より大きい場合に生ずる。この場合の利用可能率は式(26)と同じである。以上の結果をもとにシステムの信頼度の計算を行うとつぎようになる。

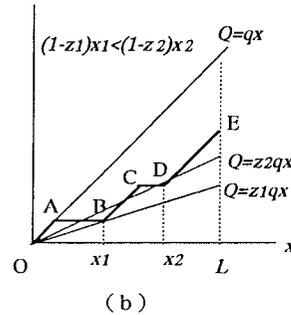
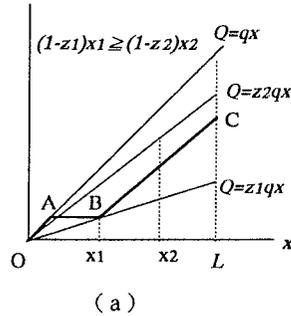


図-11 破損が2ヶ所の場合の管内流量 (z₁<z₂)

$$\begin{aligned} & \int_0^{\frac{1-z_2L}{1-z_1}} \int_{\xi}^{\frac{1-z_1\xi}{1-z_2}} \left\{ 1 - \frac{\xi}{L}(1 - z_1) \right\} f_{x_2|x_1(\eta\xi)} f_{x_1(\xi)} d\eta d\xi \\ & + \int_{\frac{1-z_2L}{1-z_1}}^L \int_{\xi}^L \left\{ 1 - \frac{\xi}{L}(1 - z_1) \right\} f_{x_2|x_1(\eta\xi)} f_{x_1(\xi)} d\eta d\xi \\ & + \int_0^{\frac{1-z_2L}{1-z_1}} \int_{\frac{1-z_1\xi}{1-z_2}}^L \left\{ 1 - \frac{\eta}{L}(1 - z_2) \right\} f_{x_2|x_1(\eta\xi)} f_{x_1(\xi)} d\eta d\xi \\ & = \frac{2 + z_1}{3} - \frac{(1 - z_2)^2}{3(1 - z_1)} \quad (30) \end{aligned}$$

(3) 機能低下率が一様分布をする場合の計算

簡単のためz₁およびz₂が独立にともに図-12で示されるような一様分布をする場合を考える。z₀の値がzとなる確率密度関数はつぎようになる。

$$f_{z_0} = \frac{1}{\Delta z} \quad (z_0 \leq z \leq z_0 + \Delta z) \quad (31)$$

$$0 \quad (0 \leq z \leq z_0, z_0 + \Delta z \leq z \leq 1)$$

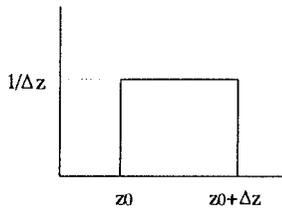


図-1 2 仮定した確率密度関数

表-1 システム信頼度の計算結果

z_m	w			
	0	0.1	0.2	0.3
0.3	0.533	0.532	0.528	0.522
0.5	0.667	0.665	0.659	0.652
0.7	0.800	0.797	0.789	0.778

式(28), (30), (31)より, システムの信頼度を求めるとつぎのようになる.

$$\begin{aligned}
 a &= \int_{z_0}^{z_0+\Delta z} \int_{z_0}^{\xi} \frac{1+2\eta}{3} \frac{1}{\Delta z^2} d\eta d\xi \\
 &+ \int_{z_0}^{z_0+\Delta z} \int_{z_0}^{\eta} \left\{ \frac{2+\xi}{3} - \frac{(1-\eta)^2}{3(1-\xi)} \right\} \frac{1}{\Delta z^2} d\xi d\eta \\
 &= \frac{(z_0 + \Delta z - 1)^3}{9\Delta z^2} \ln \left(\frac{1 - z_0 - \Delta z}{1 - z_0} \right) \\
 &- \frac{1}{54\Delta z} \left\{ 6z_0^2 - z_0(3\Delta z + 12) - \Delta z^2 - 24\Delta z + 6 \right\}
 \end{aligned} \tag{32}$$

分布の中央値を z_m , 分布幅を $2w$ (すなわち $z_0 = z_m - w$, $\Delta z = 2w$) とし, 式(7)で求められる破損が一定の場合と, 分布をもつ場合のシステム信頼度を計算した例が表-1である. わずかではあるが分布幅が大きくなるとシステム信頼度は小さくなる傾向にある.

4. あとがき

本研究では下水道管路の信頼性を理論的に扱うためのモデル化について検討した. 1本の線状システムからなる管路を取り上げ, 破損時の信頼性について理論的な検討を行った. 破損レベルが異なる場合の検討と

しては, 破損個所数が2の場合のみしか取り上げていないが, 一般の場合についても検討を行っている. さらに現実のシステムに近い樹木状の場合についても考察を進める必要がある.

本研究は平成8年度文部省科学研究費基盤研究(c)(代表 細井由彦)の補助を受けたことを付記する.

参考文献

(1) 川上英二: 単純なライフラインネットワークの被害率と供給率との関係について, 土木学会論文集, 第344号/I-1, pp. 341-349, 1984.