上水道施設の地震被害予測と管網の評価方法について

福山大学工学部　正員　○ 千葉利晃

１．まえがき

本報告は上水道施設、特に管路の地震被害予測法の概略と、福山市に適用した場合の一例を載せ、地震被害予測法について考察を加えたものである。この地震被害を予測し、被害を低減するための耐震対策を施す場合、耐震性の低い管路を一度に総て耐震管路にすることは極めて難しい。したがって、管路の重要度に応じた耐震化が必要となってくる。この管路の重要度評価法についても述べた。また、福山市を襲った過去の地震を調査し、上水道施設の地震時被害予測を行なう上で考慮しなければならない地震動の大きさについても概観した。

２．福山市における地震被害

福山市が過去に地震による大きな被害を受けたとの記録はない。記録されている最大震度はⅥ（Ⅵ弱と思われる）であり、せいぜい２～３回程度である。また、福山市のごく近くに震源をもつ地震も微少なものを除き報告されていない。しかしながら、四国の中央構造線に震源をもつマグニチュード７．９の地震が発生した場合、震度Ⅵ強の地震となるとの報告がある[1]。

３．配水管の地震被害予測法

配水管の地震時被害率を求めるには、次式に示す平均被害率に地盤条件などの重み係数を乗じるのが一般的方法であろう。

$$R_{ij} = c_k \times w_1 \times w_2 \times w_3 \times w_4 \quad ; i = 1,2,\cdots,m \quad j = 1,2,\cdots,n_i \quad k = 1,2,3 \qquad (1)$$

c_k：最大加速度あるいは震度別平均被害率（被害件数／km）

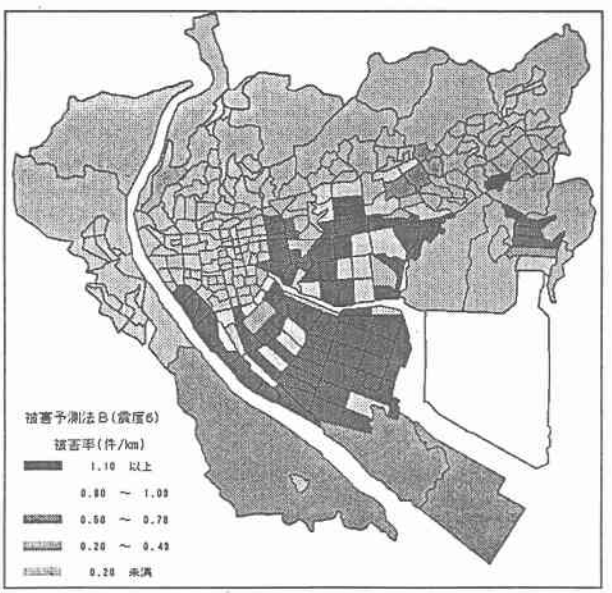
w_1：管種別重み係数

w_2：管径別重み係数

w_3：年代別重み係数

w_4：地盤別重み係数（液状化重み係数）

ここで、R_{ij}はあるi町丁内のj管路の被害率であり、mは町丁の総数、n_iはi町丁内の管路総数である。配水管の破損被害率と地震動の最大加速度の関係は片山ら[2]により報告されているので、この結果を利用できるが、兵庫県南部地震の被害例を考慮して再検討が必要であろう。この方法で求めた福山市中心部の町丁別被害率を図－１に示す。



図－１　震度Ⅵの場合の被害率

また、管路の耐震性の評価は、項目別の重み係数の累積値によって耐震性を評価する方法がある[3]。この方法は被害率を求めるものではなく、各管路の耐震性の評価を行なうものであり、耐震性の程度と被害率の関係が求められていれば、更に使用に便利であろう。

これらの評価法で必要な液状化の評価にはFL値法などがあるが、更に簡便なものとしては三浦らの提案した「液状化危険地域の簡易推定法」[4]を用いるのも一法であろう。

4．配水管の重要度評価法

上水道施設の耐震性を検討する場合、管路がネットワークで構成されていることを考慮する必要がある。以下、上水道管網を例にとって説明する。詳細は文献５を参照頂きたい（図-２参照）。

ネットワークが m 個の節点および n 個の管路より構成されているものとする。各管路の機能を表す流量、流速あるいは動水位などの内のどれかを出力 y_i とする。口径、管路長、流速係数などのどれかを入力 α_{ij} をとし、この入力が x_{2j} だけそれぞれ変動するものと考えると、入力と変動量の関係が次のように表せる。ここで、y_{i0} はすべての i,j に対して $x_{ij}=0$ のときの出力、すなわち、平常時のネットワークの出力である。

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} y_{10} \\ y_{20} \\ y_{30} \\ \vdots \\ y_{n0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \partial y_1/\partial x_{11} & \partial y_1/\partial x_{12} & \partial y_1/\partial x_{13} & \cdots & \partial y_1/\partial x_{1n} \\ \partial y_2/\partial x_{11} & \partial y_2/\partial x_{12} & \partial y_2/\partial x1_3 & \cdots & \partial y_2/\partial x_{1n} \\ \partial y_3/\partial x_{11} & \partial y_3/\partial x_{12} & \partial y_3/\partial x_{13} & \cdots & \partial y_3/\partial x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \partial y_n/\partial x_{11} & \partial y_n/\partial x_{12} & \partial y_n/\partial x_{13} & \cdots & \partial y_n/\partial x_{1n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \\ \vdots \\ x_{1n} \end{bmatrix} \qquad (2)$$

j 列は j 管路の入力が変化したときの、各管路の出力 $y_i\,;i=1,2,\cdots,n$ の変化の割合を示している。したがって、j 列の縦ノルムを $N_{c,j}$ とすれば、

$$N_{c,j} = \sqrt{\left(\frac{\partial y_1}{\partial x_{kj}}\right)^2 + \left(\frac{\partial y_2}{\partial x_{kj}}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial y_n}{\partial x_{kj}}\right)^2} \qquad (3)$$

の大きい列（管路）ほど重要な管路と考えることができる。これより、式（３）の係数を求めておけば、簡単に各管路の重要度を評価することができる。管網解析を用いて管路の重要度を評価しようとすると、被害を受けた管路を削除して行なわなければならない。ある管路を削除した場合、孤立管路が存在する場合には、これらの孤立管路を総て削除して管網解析を行なう必要がある。上記機能評価法も管網解析を用いて係数を求めることになるが、管路を削除する変わりに、管路の能力が低下したものとみなして解析を行なっているので、管路を削除する必要が無く、一度求めておけばよいという大きな利点がある。

5．あとがき

式（１）中の管種別などの重み係数や厚生省の管路などの耐震性評価法の各項目の重み係数と耐震性の評価点数は、兵庫県南部地震のデータを加えて、再度見直す必要があろう。また、耐震性評価と被害率の関係も求めておく必要がある。福山市の管網は複数の配水池より水を供給しており、ブロック化されていない。このような管網の場合にも管路の重要度を評価できる。その他にも、上記機能評価法は他の管路の影響を受け易い管路の評価などさまざまな応用が可能であり有用性は高いといえよう。地理情報システム（ＧＩＳ）を導入し、簡潔な予測ができるようにするとともに、各種データの整備蓄積が望まれる。

［参考文献］

１）広島県：「広島県地震被害想定調査」＜中間報告＞、1997. 1

２）久保、片山、佐藤：「地下埋設管の定量的解析」、第４回日本地震工学シンポジウム、pp. 655～662、1975

３）厚生省環境衛生局水道環境部：「地震対策に関する調査報告書」、1981年3月

４）三浦、杉山、坪井、幸原：「液状化危険地域の簡易判定法」、第９回日本地震工学シンポジウム、1994年、pp.1015～1020

５）丸山、西﨑、浅埜、千葉：「入力変動を考慮したネットワークの機能評価法」、水道協会雑誌、pp.20～28、1996. 8

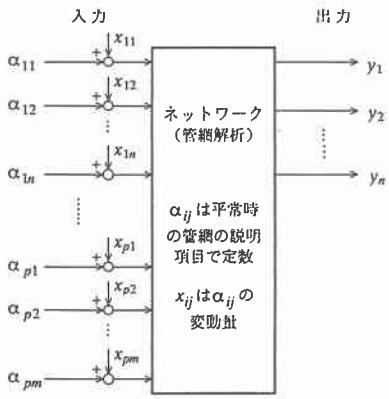


図-２　ネットワークの入出力