

(124) 水道局担当者の意見を考慮した

上水道システムの地震時信頼性解析法の改良

西松建設(株)

大森俊太郎

東京大学生産技術研究所

片山 恒雄

1. はじめに

上水道システムの震後供給機能評価の解析に用いる手法の1つとして、磯山・片山により提案された3つの方法の1つ、SRM法(最小抵抗法)がある。当時としては、従来になく実用的な機能評価を行うものと考えていたが、まだ改善すべき点が幾つか残されていた。それらをまとめると、以下のようになる。

(1) 従来の方法では、ある供給節点から、その節点の能力一杯の配水を行ったのち、次の供給節点に移って同様の配水を繰り返す。このため、地震後の給水状態を見ると、需要節点のなかには、常時の供給エリアと無関係な供給節点から配水されているところが相当数あり、明らかに非現実的と思われた。

(2) 供給節点に近いにもかかわらず、供給信頼性が極端に低い需要節点が表示される。これは、管径の大小の影響が極めて大きいHazen-Williamsの式により抵抗値を求め、この値の小さい順に水を配る優先順位を決めるためである。このため、近くの節点よりも大口径管で配水されている遠節点の優先順位が高くなる。

2. 水道局担当者の意見

前節に述べた諸点について、川崎市の上水道システムを取り上げ、筆者らなりにプログラムを改善して得られた結果を用い、実際に役立つ解析を行うため、水道局の担当者から忌たんのない意見を出してもらうことにした。この話し合いで、水道局担当者から出された意見はきわめて厳しく、著者らが「実用的」と考えていたレベルは、水道局担当者にとっては、まだまだ現実性の薄い研究にしか過ぎないことが分かった。第1回打ち合わせで指摘された要点は以下の通りである。

(1) バルブによる配水区域の分割

一般の上水道においては、それぞれの浄水場、配水池等は、配水計画によって決められた配水区域を受け持ち、その区域内の全需要が満たされるように配水調整を行っている。したがって、平常時には、各配水区域を結ぶ連絡管は、バルブによって完全に遮断されているか、又はごく僅かな水量しか流れないように調整されている。ところが、従来のSRM法では、配水区域間のバルブを考慮しておらず、連絡管として使用されている管路のバルブを全開として解析を行っていた。もちろん、災害時には連絡管のバルブを開けて、水の不足している配水区域へ送水することは考えられるが、だからといって全連絡管のバルブを全開にしてしまう様な無謀なことはとてもできない。少なくとも、通常の配水状態を満足させることを最初に考え、その後連絡管路による他の配水区域への供給を考慮することになる。

(2) バルブ位置による供給の可能、不可能

実際の幹線管路が破壊した場合、その点から一番近い止水バルブの位置が問題となる。例えば、図-1に示すように、×印の地点が破壊した時、バルブBが需要地域Aへの分岐よりも下流側にあれば、管路1の水を止めるために管路2からの流入も止めなければならない。しかし、従来のSRM法では、バルブを考慮しなかったため、管路1の水を止めても、管路2から需要節点Aに水を供給することができた。

(3) 管路内の水の流向

計画上では両方向に水を流せる管路でも、古い管路

などでは流れの逆転により、水垢や赤錆を巻き上げ、飲み水が濁ってしまう。したがって、現場の配水担当者ではできるかぎり通常の流向に水を流そうとする。

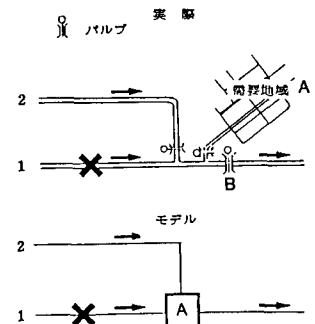


図-1 バルブ位置による水供給の可否

(4) ポンプ場の停止

水道局の災害時の計画には、停電によるポンプ場の停止が必ず考えられている。ところがSRM法では、浄水場自体に被害が起こりにくいことと、一般に災害時には電力の回復が一番早いと考えられることから、停電その他によるポンプ場の停止は考慮されていなかった。

(5) 同所埋設管の被害

これは、水道局の担当者らとの協議の結果からではなく、独自に考えたものであるが、一般に水道管は道路下に埋設されるため、同一の径路上に数メートルの間隔で管路が並設されている場合がある。このような同所埋設管の1本に被害が生じた場合、同じ地点で他の管路も破壊している確率が高いと考えられる。

3. プログラムの改善

主要な改善点は以下の通りである。

(1) 配水区域、連絡管およびバルブの取扱い

水道局が実際に行っている配水の考え方をSRM法に取り入れるため、次の様な2段階の水供給を考慮することにした。

- (a) 1段階目は、連絡管のバルブを閉じた状態（すなわち平常時の配水区域そのままの状態）に対して、以前と同じく抵抗値の小さいものから供給順位を決定して配水する。
- (b) 2段階目は、連絡管のバルブを全て開けて、(a) で配水できなかった需要節点に対し、供給順位を計算して配水する。

さらに、需要節点におけるバルブ条件を考慮するため、各管路の両端にバルブの有無を条件として与え、管路が破壊した時に、その管路の両端の需要節点に他の径路から水を供給できるかどうかを判断できるようにプログラムを改善した。

(2) 管路内の水の流向

先に述べた現場の担当者の判断を解析に採り入れるため、基本的に次の2種類の方法がシミュレーションで考慮できるようにした。

- (a) 前述第1段階の解析では、管網内の各管路の流向を、平常時の流向の1方向だけとし、第2段階では両方向への流れを許す。
- (b) 第1、第2段階とも、平常時の管路内流向だけにする。

また、上記(a)、(b)以外にも、プログラムを動かしながら現場担当者の意見によって任意の管路の流向を変更できるようにした。

これらの改善以外に、ポンプ場の停止と同所埋設管の被害を考慮できるようにし、この結果、SRM法がさらに現実に近い水の流れと、水道局の配水担当者らの判断を考慮できるようになったと考えている。

3. 川崎市上水道システムの新モデルと解析結果の検討

図-2に、川崎市上水道の重要管路中、解析の対象としたものを、図-3に、これらの管路をモデル化したものを示す。このモデル作成にあたっては、水道局担当者の助言を受けて、なるべく現実的なものとするよう努力した。

今回の解析において標準値として仮定した条件は次記の8点である。

- (a) 想定地震動は、平均的な沖積地盤上で350gal
- (b) 総需要水量に対して、供給水量の総和は1.2倍。
- (c) 平常時の配水区域内を優先配水したのち、連絡管を解放する2段階の配水。
- (d) 全ての被災管路は他の管路に影響を与えずにネットワークから切り離すことができると仮定。

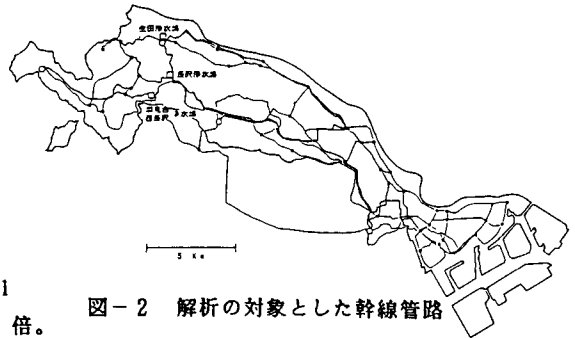


図-2 解析の対象とした幹線管路

(e) 同所埋設による被災確率の増大を考慮。

(f) 水道局の計画で両方向に流せるとされている管路の流向は両方向。

(g) 停電などによる供給節点の被災は考慮しない。

(h) シールド管の管種係数は、0.01。(一般にシールド管は埋設深度が深く、通常の直埋設管

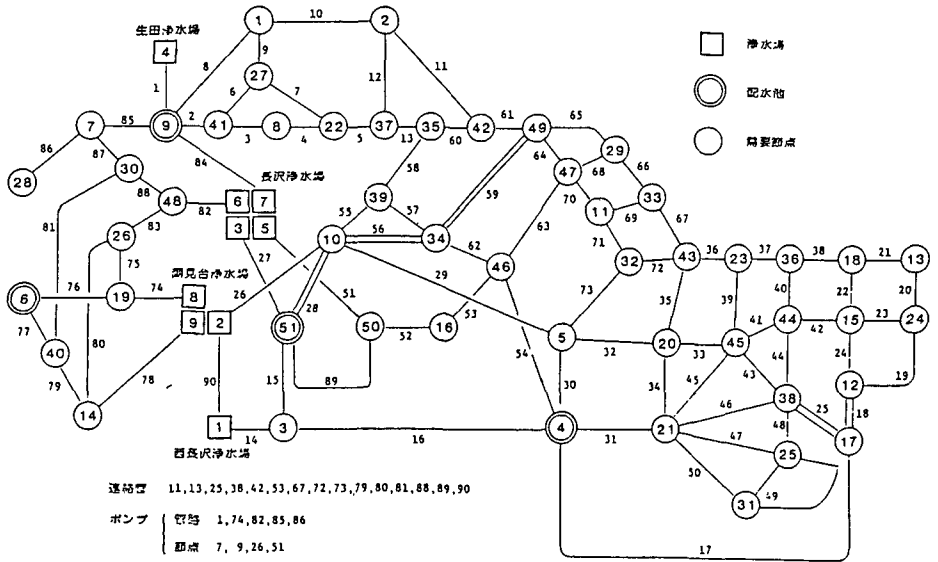


図-3 川崎市水道幹線管路のネットワーク・モデル

路よりはずっと高い耐震性を持つと考えられる。)

図-4に、この条件に基づいて1000回のシミュレーションを行ったときの、各需要節点の供給信頼性を示す。システム全体としての供給信頼性は83.5%となっている。

今回のプログラムは、それぞれの管路がシステム全体に占める重要度の評価に使うこともできる。ある連絡管pの重要度を測るため次式のような指標を考えた。

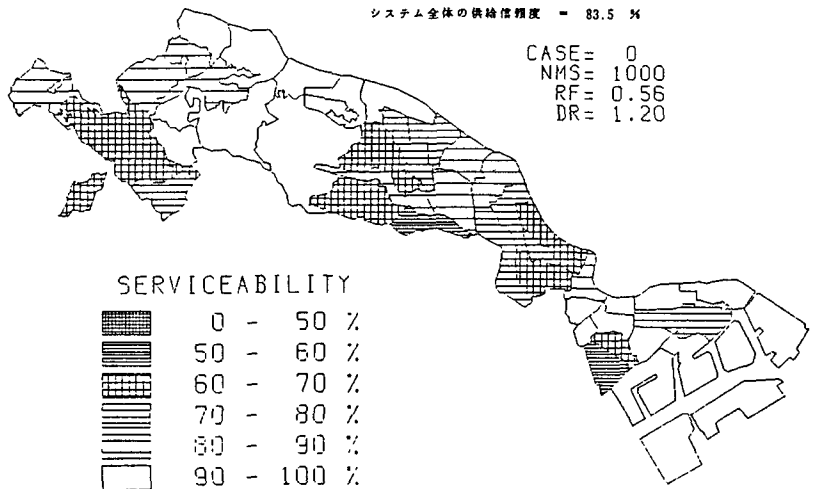


図-4 需要節点の供給信頼性——システム全体の供給信頼性=83.5%

$$(a) S_i(p) = \sum_{i=1}^{1000} D_i \cdot \Delta p_i / NB_p$$

ここに、 $D_i = i$ 番目のシミュレーション時のシステム全体の非供給率

$$= 1.0 - (\text{供給できた水量}) / \text{全需要量}$$

$\Delta p_i = i$ 番目のシミュレーションで管路pが破壊していれば1、いなければ0

$NB_p = p$ 番目の管路が破壊したシミュレーションの回数

そして、配水区域をつないでいる連絡管が非常時に果たす役割は大きいと思われるので、図-3の15本の連絡管の相対的重要度の評価を試みた。しかし、管路の重要度は、管路の破壊確率、破壊管路の組み合わせ、後背需要の大小、システムの構成、供給節点の能力など、多くの要因を含んでいる。シミュレーションによ

る重要度評価の長所は、これら全ての要因を含めて判断できるところにあるが、影響因子が多く、それらが複雑に関係しあっているため、指標 $S_1(p)$ だけから、個々の管路の真の重要度を判定することは極めて難しい。そこで、さらに2つの指標 $S_2(p)$ 、 $S_3(p)$ を考えてみた。

(b) $S_2(p) = p$ 番目の連絡管路のみが無いときの全システムの供給信頼性 (%)

(c) $S_3(p) = p$ 番目の連絡管路のみがあるときの全システムの供給信頼性 (%)

$S_1(p)$ 、 $S_3(p)$ は大きいほど、また $S_2(p)$ は小さいほど、連絡管 p の重要度が高いと考えられる。表-1では、各指標による影響度の大きい順に、およそ1/3ずつに

表-1 連絡管の総合重要度の相対ランク

わけてA、B、Cの記号をそれぞれの連絡管路に振り分けてある。そして、3つの指標の内、Aが2つ以上ある連絡管の総合重要度をA、Aが1つも無い連絡管をC、残りの連絡管をBと考えて15本の連絡管を3つのグループに分けた。この結果は、表-1の最右欄に示してある。

連絡管 p	指標 $S_1(p)$		指標 $S_2(p)$		指標 $S_3(p)$		総合重要度の相対ランク
	$S_1(p)$	相対ランク	$S_2(p)$	相対ランク	$S_3(p)$	相対ランク	
11	0.191	A	84.0	B	78.8	B	B
13	0.176	A	83.8	A	80.3	A	A
25	0.173	A	84.2	C	78.7	C	B
38	0.161	C	84.1	B	78.9	B	C
42	0.156	C	84.1	B	78.9	B	C
53	0.162	B	83.9	A	78.7	C	B
67	0.170	B	84.2	C	79.5	A	B
72	0.161	C	84.1	B	79.7	A	B
73	0.181	A	84.2	C	79.2	A	A
79	0.162	B	84.3	C	78.7	C	C
80	0.171	B	83.8	A	79.1	B	B
81	0.169	B	84.2	C	78.7	C	C
88	0.148	C	83.9	A	79.0	B	B
89	0.184	A	83.0	A	79.7	A	A
90	0.000	C	83.9	A	79.2	A	A
全連絡管路がある時			84.2		78.7		全連絡管路が無い時

5. ま と め

ここで採り上げたSRM法は、複雑な上水道システムの地震後数日間の供給機能を、全体的

にかつ大ざっぱに評価することを目的に開発されたものである。SRM法の最も大きな特徴は、人為的な配水調整に対する考慮をも含めて解析できることにある。しかし、従来のSRM法では、研究者独自の判断で幾つかの仮定を設けており、それらの中には現実性に乏しいものが含まれていた。

今回の研究では、研究者の判断だけでなく、水道局担当者との合計4回にわたる詳細な協議を通して、これらの問題点を改善した。この結果、1回1回のシミュレーションが実際の配水方法をかなり忠実に再現し、全体としての信頼性の情報の精度が向上しただけでなく、1回毎のシミュレーションからも従来より多くの有用な情報が得られるようになった。また、災害時の配水調整等を行う際の、基本的な判断要素として、

(a) 平常時の配水区域を考えた2段階の配水、 (c) ポンプ場の停止による配水量の減少

(b) バルブ位置による需要節点への配水制限、 (d) 通常時の流向の保持

の4種類を加え、同所埋設管とシールド管の被害については、前回には無かった考え方を導入した。さらに、プログラム自身も大幅に改良し、

(a) 管路の重要度を含む詳細な機能評価

(b) 需要節点の信頼性のみを計算する簡易評価

(c) 1回のシミュレーション時の詳細な情報

(d) 上記(c)で被災管路を復旧していった場合の供給率の変化

(e) 各種設定値を変化させた場合の信頼性の変化

(f) 管路情報の出力

の6項目について、グラフィック出力を含めたアウトプットが得られるようにし、管路の追加や特性の変更などのデータ操作を含め、全てを対話形式で実行できるようにした。

このプログラムを水道の実務担当者が有効に利用することにより、各種の検討が可能になると思われ、筆者らとしても、そのような利用を強く希望したい。最後に、本報告をまとめるにあたり、川崎市水道局給水部企画課 中沢龍也、阿部庄司郎、伏見喜光、浄水部 渡辺祐幸の各氏から、川崎市上水道に関する詳細な情報や、解析方法に関する数々の貴重な意見をいただくことができた。ここに深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) Ryoji Isoyama, 'Seismic Performance Evaluation of Water Supply Systems', USJS-2, 1981
- 2) 久保慶三郎、片山恒雄、'川崎市上水道システムの地震時信頼性に関する研究'、1980