

地震時の水質検査井戸の選定問題に関する一考察

広島大学大学院 正会員 奥村 誠
 広島大学大学院 正会員 塚井 誠人
 広島大学大学院 正会員 小松登志子

1. 目的

阪神淡路大震災の2ヶ月にわたる機能停止以来、生活に不可欠な上水道の耐震性強化の必要性が認識されるようになったが、配水管網の耐震化には莫大な費用と長期の期間を要することから、これと平行して給水車等による緊急給水体制を整備する必要がある。地下水が利用可能な地域では、飲料水や生活用水に地下水を充当できれば、耐震配水池の容量や給水車の準備台数を圧縮し、整備費用を節約することが可能である。

2001年3月の芸予地震の被災地におけるアンケート調査（100通配布 375通回収、2001年8月）によれば、断水地域では56%以上の世帯が井戸水を利用した。また、断水期間が長期化した場合、日常井戸水を飲用している世帯の8割および日常飲用していない世帯の3割が井戸水を飲用に用いるという意向を持っている。しかし水質への不安が、飲料水としての利用を妨げていることも明らかになった。

筆者らは地震により下水道等の破壊により地下水が新たに汚染される危険性を考慮し、大腸菌群を指標物質とする簡易水質検査法の適用性を検討して、実用的な精度での飲用可能性のチェックが可能であることを確認した¹⁾。この時、空間的に近接する井戸の汚染の間には高い相関性があるため、全ての井戸で検査を行わなくても飲用可能性をチェックできる可能性がある。本稿は少数の井戸の検査により地域内の多くの井戸の飲用可能性を判定できるような、効率的な検査井戸（群）を選定する方法を提案する。

2. 基本的な考え方

本研究で想定する地震時には、工場等からの有害物質の流出や埋設下水管の破壊による大腸菌等のし尿由来の汚染が考えられる。前者は貯留量の目視等により破損が推定できその地点を中心とする汚染範囲を推定することが容易であるのに対して、後者の埋設下水管の破壊は位置を特定することがきわめて困難である。もちろん近年では、地理情報システムによる埋設構造物の管理や地盤情報に基づく構造物の破壊確率の推定手法も研究されつつあり、ある程度の量の汚染が継続的に発生し得るような構造上弱点となる位置を列挙することは可能となるにしても、具体的な破壊位置を特定することは困難である。

一方、地震発生後に新たに井戸を掘る可能性は少ないから、水質を検査できるのは既存の井戸に限られる。ある井戸で地震発生後一定時間後に水質を検査した結果、指標物質が検出されれば、その井戸の上流側の下水管上に汚染源が存在する可能性が高く、検査井戸を通る主流速線に近い他の井戸も飲用ができない程度の汚染が到達している可能性が高い。逆に検出されなければ、その上流側の下水管は破損しておらず、主流速方向に隣接する他の井戸も飲用できる可能性が高い。複数の井戸を同時に検査することにより、汚染井戸の存在範囲を確率的に絞り込むことができ、結果として他の井戸の飲用可能性を判定できることになる。

ここでは安全側を考慮し、水質検査の結果から飲用可能性が完全には保証できない井戸に対して、その背後圏の人口に対して給水車等による緊急給水を実施すると仮定し、その期待費用を見積もる。水質検査費用と緊急給水の期待費用が最小となるような測定井戸の組み合わせを求めることが、ここでの課題となる。

3. 検査井戸選定の手順

- (1) 対象地域の透水性係数、分散係数、透水層厚、傾斜、流速、流向などのパラメータを入手する。
- (2) 飲料水を得る可能性のある井戸を列挙し、ティーセン分割により背後圏人口（給水量）を算定する。
- (3) 下水施設データから破損候補点を列挙し、その事前破壊確率を与える。

キーワード 地下水汚染，モニタリング，リスク評価，水資源管理

連絡先 〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻 TEL 0824-24-7827

- (4) 破壊点の組み合わせごとの事前確率を計算する．その破壊条件の基で2次元移流拡散方程式による汚染シミュレーションを実施して，一定時間後の水質検査時（例えば2日後）と取水時（例えば3日後以降）の全井戸の濃度の計算値を求め，検出の有無と飲用の可能性を求める．
- (5) 検査井戸の組み合わせを仮定する．例えばn個の井戸を検査する場合，検査結果は2^n通り存在する．(4)で列挙した各事象を，検査結果ごとにグループ化し，各検査結果の発生確率を算定する．各検査結果に含まれる事象の全てに対して飲用可能となっている井戸を抽出する．それ以外の井戸は飲用不可と判断し，その背後圏の人口に対応する緊急給水費用を計算する．検査結果ごとの確率と給水費用から期待値を求め，これに検査費用を加えて総期待費用を算定する．
- (6) 総期待費用が最小となる検査井戸の組み合わせを選び出す．

4. 仮想的な計算例

図-1のように流速：7(m/day)、分散係数：7(m²/day)の場に5つの汚染源と5つの井戸が存在し，各井戸の検査費用は10(千円)，背後圏給水費用は100(千円)とする．結果は表-1のようで，総期待費用を最小化する検査井戸は，(b,c,d)または(b,c,e)となる．

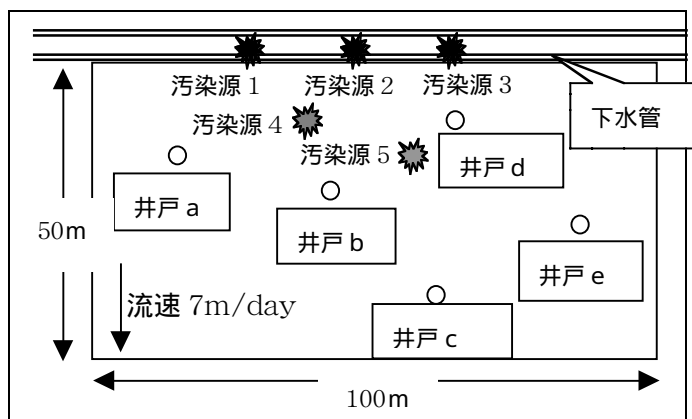


図-1 想定する地域

5. 結論と今後の課題

地下水汚染シミュレーションを中軸として，汚染の事前発生確率を用いて効率的な水質検査井戸を事前に求める方法を提案できた．今後の展開として，より現実的な事例計算を行うこと，VaR基準を用いた場合の検討，破壊地点の情報があった場合の事後的な確率更新方法の検討などが考えられる．

参考文献 1)小松，奥村，福島，北原：緊急時地下水利用システムの検討，第53回土木学会中国支部研究発表会概要集，p.739-740(2001)

表-1 汚染パターンごとの検出可能性・飲用可能性と検査井戸(案)の費用比較

汚染パターン(汚染源)		2日目検出井戸					3日目飲用不能井戸					検査井戸(案)					期待費用								
1	2	3	4	5	生起確率	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	数	給水	検査	総費用	
0	0	0	0	0	0.0133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500.0	0	500.0	
0	0	0	0	1	0.0667	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	382.8	10	392.8	
0	0	0	1	0	0.0667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	382.8	10	392.8	
0	0	0	1	1	0.0334	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2	382.8	20	402.8	
0	0	1	0	0	0.0667	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	441.4	10	451.4
0	0	1	0	1	0.0334	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	2	324.1	20	344.1	
0	0	1	1	0	0.0334	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	2	324.1	20	344.1	
0	0	1	1	1	0.0222	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	3	324.1	30	354.1	
0	1	0	0	0	0.0667	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	441.4	10	451.4	
0	1	0	0	1	0.0334	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	2	324.1	20	344.1	
0	1	0	1	0	0.0334	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	2	324.1	20	344.1	
0	1	0	1	1	0.0222	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	3	324.1	30	354.1	
0	1	1	0	0	0.0334	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	2	382.8	20	402.8	
0	1	1	0	1	0.0222	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	3	265.5	30	295.5	
0	1	1	1	0	0.0222	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	3	265.5	30	295.5	
0	1	1	1	1	0.0167	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	4	265.5	40	305.5	
1	0	0	0	0	0.0667	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	500.0	10	510.0	
1	0	0	0	1	0.0334	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2	382.8	20	402.8	
1	0	0	1	0	0.0334	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2	382.8	20	402.8	
1	0	0	1	1	0.0222	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	3	382.8	30	412.8	
1	0	1	0	0	0.0334	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	2	441.4	20	461.4	
1	0	1	0	1	0.0222	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	3	324.1	30	354.1	
1	0	1	1	0	0.0222	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	3	324.1	30	354.1	
1	0	1	1	1	0.0167	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	4	324.1	40	364.1	
1	1	0	0	0	0.0334	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	2	441.4	20	461.4	
1	1	0	0	1	0.0222	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	3	324.1	30	354.1	
1	1	0	1	0	0.0222	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	3	324.1	30	354.1	
1	1	0	1	1	0.0167	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	4	324.1	40	364.1	
1	1	1	0	0	0.0222	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	3	382.8	30	412.8	
1	1	1	0	1	0.0167	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	4	265.5	40	305.5	
1	1	1	1	0	0.0167	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	4	265.5	40	305.5	
1	1	1	1	1	0.0133	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	265.5	50	315.5	