

〈論文〉

地震による河川水質汚染の影響評価について

藤木 修¹⁾, 中山 義一²⁾, 中井 博貴³⁾¹⁾ 財下水道新技術推進機構 (〒162-0811 新宿区水道町3-1 E-mail: o-fujiki@jiwet.or.jp)²⁾ 日本上下水道設計㈱ (〒162-0067 新宿区富久町6-8 E-mail: yoshikazu_nakayama@njs.co.jp)³⁾ 日本上下水道設計㈱ (〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-22-21 E-mail: hiroki_nakai@njs.co.jp)

概要

淀川水系上流域で大規模な地震が発生した場合を想定し、(a)下水処理場が被災し、未処理の下水が放流される、(b)工場・事業場から雨水とともに有害物質が流出する、という2つのシナリオについて、下流の水道取水・給水に及ぼす影響を評価した。有害物質については、PRTR(化学物質排出移動量届出)のデータを活用した。その結果、病原微生物汚染について、高度浄水処理の効果が大きいものの、長期の取水・給水停止の原因となるおそれがあること、幾つかの有害物質によって一時的な取水・給水停止を余儀なくされる可能性が大きいことが示唆された。

キーワード：地震、水道、リスク管理、病原微生物、有害物質

原稿受付 2009.8.5

EICA: 14(2・3) 28-36

1. はじめに

上下水道をはじめとする水関係インフラ施設は、個々の施設が独立して存在するのではなく、一般に、流域の水循環の一部分を構成することによってその機能を発揮している。したがって、災害による施設の破損は、当該施設の機能のみならず、水循環の下流側に位置するインフラ機能のすべてに影響を及ぼすおそれがある。このような被害の連鎖ともいえるべき現象は、複数の行政分野に関係することもあって、その分析・評価方法が未だ十分に確立されておらず、対策に関する検討も遅れている。

上流域が都市化された河川では、「下水道処理施設の被災により、未処理水の放流の可能性があり、下流の取水都市での衛生管理が問題となる」との議論が中央防災会議において行われている¹⁾。また、一般に都市の工場・事業場では多様な有害化学物質が取扱われていると考えられ、これらの貯蔵施設の被災も下流の取水都市にとって、水質汚染被害の大きなリスク要因となり得る。

本稿では、重要な水道水源河川である淀川の上流域で大規模な地震が発生した場合を想定し、地震によって引き起こされる水質汚染が、下流域の水道の取水・給水に及ぼす影響について定量的な評価

を試みる。

2. 下水道処理施設の被災の影響

2.1 ケーススタディの対象地域

ケーススタディの対象地域として、淀川流域を想定する。対象とする下水処理場は **Fig. 1** 及び **Table 1** に示す6ヶ所である。鳥羽、吉祥院、伏見の処理区域

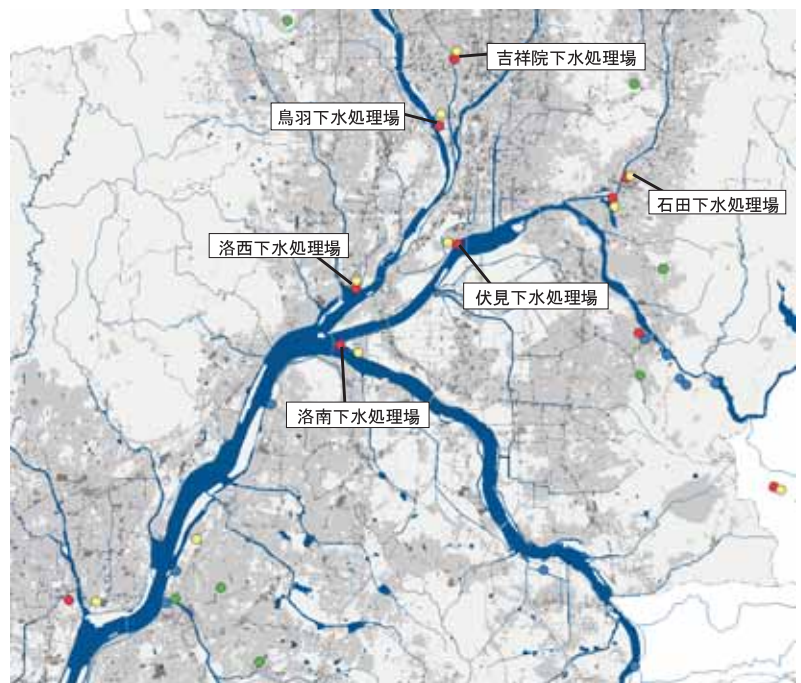


Fig. 1: Major Sewage Treatment Plants Which are Supposed to Be Damaged in the Upstream of the Yodo River

Table 1: Location and Influent Flow Rate of Sewage Treatment Plants

下水処理場	洛西	洛南	鳥羽	吉祥院	伏見	石田
河口からの距離 (km) (河口までの流下距離)	38	37	45	47	42	28
処理水量(千m ³ /日)	151.9	89.1	630.8	78.7	102.8	112.6

は、全部又は一部が合流式である。上流側には、下水道の処理区域の内外に多数の工場・事業場が存在する。下流側には、8ヶ所の浄水場（最大1,797,000 m³/d、最小186,500 m³/d）があり、淀川から取水している。

淀川下流の夏期（7, 8, 9月）の平均流量は180.4 m³/S、冬期（12, 1, 2月）の平均流量は141.6 m³/Sである²⁾。負荷量が同じであれば流量が小さい方が河川水中の濃度が高くなり、下流の水道事業にとっては危険側となる。したがって、本稿では冬期を前提として考察を進める。

2.2 水質汚染指標

アンモニア態窒素（NH₄-N）と病原微生物による汚染について考察を行う。病原微生物の指標としては、比較的挙動が明らかな大腸菌群とクリプトスポリジウム（Cryptosporidium parvum）を採用する。

対象とする淀川下流の8ヶ所の浄水場では、すべてオゾン活性炭による高度浄水処理が行われており、高度浄水処理でのクリプトスポリジウムの除去率は7 Log（99.99999%）とされる³⁾。また、平常時の淀川では、クリプトスポリジウム及び後述する対象有害物質は検出されない⁴⁾。

2.3 地震とその被害に関する想定

想定する地震は、京都府地震被害想定調査⁵⁾において最も大きい被害が想定されている花折断層帯を起震断層とするマグニチュード7.5、最大予測震度7の地震とする。この想定地震によって、Fig.1及びTable 1に示される6ヶ所の下水処理場が被災し、処理機能が停止する。しかし、その後下水処理場は応急的な対応を行いながら、その機能を復旧するものと仮定する。

被災した下水処理場における応急対応については、以下の3段階を想定し、それぞれ機能不全レベル1, 2, 3と呼ぶこととする。

- レベル1：被災直後の機能不全レベル。流入下水は未処理のまま淀川水系に放流される。
- レベル2：地震発生後4日目から流入下水に対して固形塩素による簡易消毒が行われる。
- レベル3：地震発生後8日目から簡易沈殿処理が行われ、その処理水に対して簡易消毒が行われる。

被災の程度は下水処理場ごとに異なると考えられるが、あらかじめ予測することは困難であり、ここでは6ヶ所の下水処理場すべてについて、上で設定したレベル1～レベル3の応急対応シナリオを仮定した。

ちなみに、兵庫県南部地震で被災した神戸市東灘下水処理場と、新潟県中越地震で被災した新潟県堀之内下水処理場では、地震直後に処理機能がすべて停止した後、簡易沈殿処理を開始するまでにそれぞれ3週間、1週間を要した。堀之内下水処理場では地震発生の翌日から簡易な塩素消毒を開始したが、大規模な地震では施設の応急復旧に時間がかかるうえ、一般に固形塩素の短期調達も困難と考えられる。

段階的な応急対応における処理方法と処理方法ごとに設定した除去率をTable 2に示す。下水処理水中のクリプトスポリジウムについて、国土交通省は全国の下水道管理者に対して、あらかじめ年間感染リスクを検討し、リスク管理の一層の充実に務めるよう要請している⁶⁾。そのリスク計算において、クリプトスポリジウムの標準活性汚泥法による除去率は97%と設定されており、今回の検討でも通常の下水処理における除去率としてこの数値を採用した。

Table 2のNH₄-Nと大腸菌群数の除去率は、経験的に想定される数値として設定された。新潟県中越地震の際に堀之内下水処理場で行われた簡易処理（レベル3に相当）では、NH₄-N：43%、大腸菌群数：4 Log（99.99%）という除去率が得られており⁷⁾、Table 2のNH₄-Nと大腸菌群数の除去率はかなり低めに設定されているといえる。

Table 2: Removal Rate Set for Each Phased Process of Restoration

水質項目	通常処理	機能不全レベル		
		レベル1	レベル2	レベル3
NH ₄ -N	90.0%	0.0%	0.0%	0.0%
大腸菌群数	99.9%	0.0%	90.0%	90.0%
クリプトスポリジウム	97.0%	0.0%	0.0%	0.0%

兵庫県南部地震で被災した兵庫県内の10市7町では、水道の断水率は、地震後1週間で45.1%にまで回復したが、完全復旧までには2ヶ月を超える日数を要した^{8,9)}。他方、厚生労働省の「水道の耐震化計画等策定指針」¹⁰⁾では、「応急復旧期間は、被災者の不安感の軽減、生活の安定を考慮して、可能な限り最長4週間以内とすることを目標とする」とされている。そこで今回の検討では、被災地の水道は地震発生後直ちに断水するが、4日後には水量で25%まで回復し、地震

発生後 45 日までに完全に復旧するものと仮定した。この間の水量は線形に増加するものとし、水道給水量の増加に比例して下水処理場への流入下水水量も回復する。

なお、下流側の水道施設に地震の影響は及ばないものとした。

2.4 河川水質の計算方法

被災後に下水処理場から淀川に排出される負荷量は、処理場ごとの管理月報（2000～2004 年度）に記録された冬期の流入下水の水量、水質から計算される負荷量に、地震後の水道給水量の回復率を乗じて求めた。

流入下水中のクリプトスポリジウムは、文献 (6), 11) を参考に、シスト濃度で 100 (個/L) と設定した。これから、Table 2 のとおりに設定された応急対応ごとの除去率を考慮して、排出負荷量が計算される。河川水質は、下水処理場からの排出負荷量に河川の水質年表から求められる平均的な負荷量を加えた総負荷量を冬期の河川流量で除して算出した。下水処理場から排出された負荷量については、河川の流下過程における増加や消失はないものと仮定した。

2.5 河川水質の計算結果

Fig. 2 に、河口から 26 km 地点の淀川における、地震後 50 日までの $\text{NH}_4\text{-N}$ 、大腸菌群、クリプトスポリジウム濃度の計算値を示す。被災した下水処理場において地震後 4 日目から塩素消毒（レベル 2）、さらに 8 日目から簡易沈殿処理（レベル 3）を行った場合の淀川における濃度変化（実線）と、このような応急対応を行わなかった場合の濃度変化（破線）をあわせて示してある。

被災した水道施設の復旧に伴って、下水処理場に流入する下水水量が増えるため、対応策が変わらなければ下水処理場から排出される負荷量は増加し、淀川における濃度は次第に上昇する。Table 2 で仮定したように、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は応急対応によって変化しないため、2本のラインは重なっている。大腸菌群は、簡易塩素消毒によって 90% 除去される。クリプトスポリジウムについては塩素消毒の影響を受けないため、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と同様 2本のラインが重なる。

下水処理場の機能障害が下流の水利用に及ぼす影響という観点では、次節以降で取り扱う水道利水に対する病原微生物汚染の影響が最も懸念されるといえる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ についても濃度変化が大きい場合は、これに追従して浄水場で塩素処理を行うなど難しい対応が必要となる。他方、下流域で水浴等人が水に接触する水利用が行われている場合には、大腸菌群数も健康リスクの指標となり得る。

なお、BOD については Fig. 2 に示されていないが、

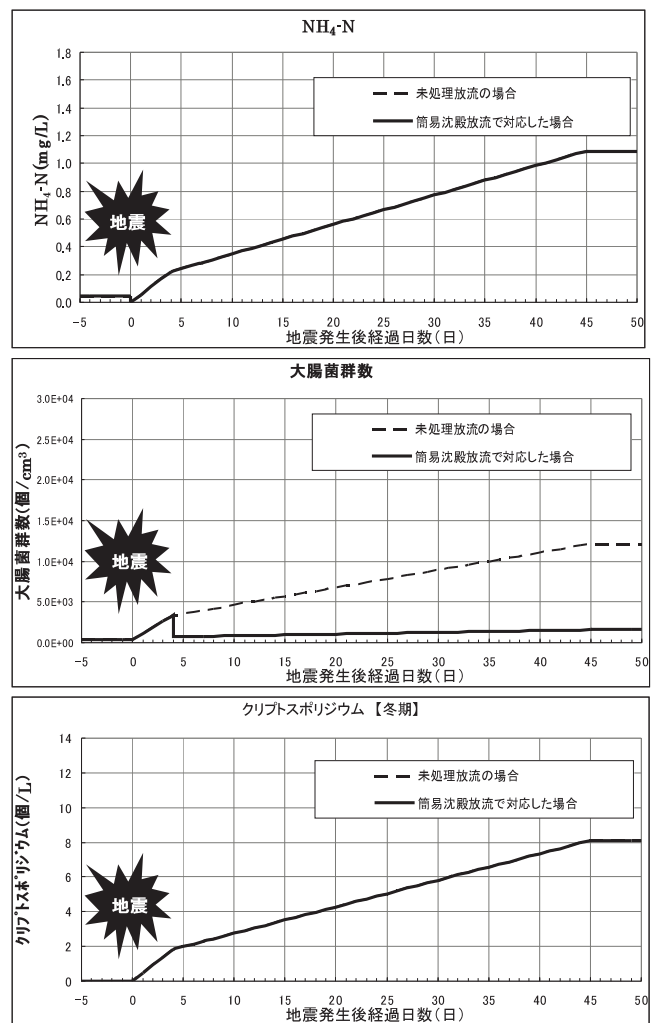


Fig. 2: Predicted Change in Concentration in Downstream of the Yodo River

レベル 3 の応急対応における除去率を 90% と仮定すると、地震発生後 45 日後における淀川河川水質は約 14 (mg/L) と推定される。

2.6 健康リスクに関する考察

米国環境保護庁 (EPA) と世界保健機関 (WHO) の飲料水基準に基づき、淀川下流において想定されるクリプトスポリジウム濃度の増加に対する健康リスクを評価する。EPA の方法が年間許容感染確率の絶対値に基づくのに対して、WHO の方法は感染した場合の健康影響の負担を指標化し、他の参照例における負担と比較することによって汚染の許容レベルを設定するという特徴を有する。

地震その他の自然災害のような非常事態における水道サービスのあり方については、他の様々なリスクとのバランス、汚染された水を取水する場合と取水を停止する場合のリスク、便益の比較等も考慮する必要があるだろう。しかし、EPA と WHO の方法は、下水再生水の利用に関する健康リスクの評価にも活用されている代表的な方法であり¹²⁾、間接的な下水の再利用とみ

なされる今回のようなリスクの評価にあたって、まず適用を試みるべき方法であると考えられる。

Fig. 2に示されるような災害後長期にわたるクリプトスポリジウム汚染対策については、浄水処理の徹底や汚染源対策などの対応が考えられるが¹³⁾、対象とする淀川下流域の浄水場はすべて高度浄水処理を行っているため、以下の検討では、特段の応急対策を行わないままの高度浄水処理が、地震後の健康リスク対策にどの程度効果を発揮し得るかという視点から評価を試みる。なお、急激な濃度変化を伴う有害物質汚染に対する応急対応については、第3章で取扱う。

(1) EPAの方法

クリプトスポリジウムの用量—作用に関する計算式は、以下のように表される¹⁴⁾。

$$P_1 = 1 - e^{-rN} \quad (1)$$

P_1 : 単回暴露による感染確率
 N : 摂取オーシスト個数
 r : パラメータ (=0.0047)

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n \quad (2)$$

P_n : 反復暴露による感染確率
 n : 反復回数

この場合 $rN \ll 1$ の条件が成立するから、(1)式及び(2)式から導かれる以下の式が P_n について十分よい近似値を与える。

$$P_n = nrN \quad (3)$$

EPA では、飲料水の年間許容感染確率として 10^{-4} (ケース/年) 以下という基準を満足することを目標としている¹⁵⁾。1日の水道水の飲用量を1Lとして、この目標を満たすための条件を試算する。(3)式において

$$P_{365} = 365 \times 0.0047 \times N \leq 10^{-4} \quad (4)$$

という関係から $N \leq 6 \times 10^{-5}$ 、すなわち飲料水中の濃度は 6×10^{-5} (個/L) 以下ということになる。

凝集・沈殿・急速砂ろ過という通常の浄水処理において保証できるクリプトスポリジウム除去率は2Log (99%) といわれている¹⁶⁾。この場合、EPAの基準に対応する河川水中のクリプトスポリジウム濃度は 6×10^{-3} (個/L) となる。**Fig. 2**に示されるように、地震後の淀川河川水中のクリプトスポリジウム濃度は最大8(個/L)程度となり、EPAの基準は満足できない。しかし、淀川下流域の浄水場のように除去率が7Log (99.99999%) の高度浄水処理の場合には³⁾、河川水中のクリプトスポリジウム濃度は600(個/L)まで許容され、地震後もEPAの基準は満足されることになる。

(2) WHOの方法

単一の疾病要因による異なった健康影響の負担を統合するため、又は異なる要因の影響を比較するための共通の指標として、WHOではDALY (Disable Adjusted Life Years)を採用している。この統合的指標は、早期死亡によって失われた生存年数 (years of life lost : YLL) を障害生存年数 (years lived with disability : YLD) と組み合わせ、重篤度の重み付けをおこなって標準化したもので、次の式で表される^{17,18)}。

$$DALY = YLL + YLD \quad (5)$$

WHOは、飲用水中の遺伝毒性発がん物質に係る許容リスクを、過剰発がん生涯リスクとして 10^{-5} (ケース/人)、すなわち100,000人に1ケースと定めている¹⁹⁾。また、最近の飲用水ガイドラインでは、WHOは健康影響の負担リスクの許容値として 10^{-6} (DALYs/年)を提案している²⁰⁾。他方、飲用水中の臭素酸の摂取による腎細胞癌の健康影響の負担は10 (DALYs/ケース)といわれている¹⁸⁾。寿命を80年とし、 10^{-5} (ケース/人)という過剰発がん生涯リスクを健康影響の負担リスクに換算すると、 10^{-5} (ケース/人) $\times 10$ (DALYs/ケース) / 80 (年/人) $\approx 10^{-6}$ (DALYs/年)となる。

WHOによれば、クリプトスポリジウム感染症の健康影響負担レベルは 1.5×10^{-3} (DALYs/ケース)であるから²¹⁾、(4)式を利用すると 10^{-6} (DALYs/年)の健康影響負担リスクについて以下の関係式が導かれる。

$$\begin{aligned} P_{365} \times 1.5 \times 10^{-3} \\ &= 365 \times 0.0047 \times N \times 1.5 \times 10^{-3} \\ &= 2.57 \times N \times 10^{-3} \\ &\leq 10^{-6} \end{aligned} \quad (6)$$

すなわち、概ね $N < 4 \times 10^{-2}$ (個/L)であれば、クリプトスポリジウム感染による健康影響負担リスクは許容値である 10^{-6} (DALYs/年)を下回る。

地震後に淀川で想定されるクリプトスポリジウム濃度8(個/L)と照らし合わせると、除去率が2Logの通常の浄水処理ではWHOの基準値を満足できないが、除去率3Log以上であれば基準値を満足し、7Logの高度浄水処理は十分な処理レベルであるといえる。

3. 工場・事業場の被災の影響

3.1 化学物質の流出量の推計方法

(1) 対象とする工場・事業場

化学物質排出移動量届出制度による届出データ (PRTR届出データ) から確認される、有害物質を取扱う工場・事業場の所在地と、京都府地域防災計画で

想定されている地震動の分布を重ね合わせると、京都市及びその周辺自治体のほぼすべての工場・事業場に被災の危険性があると考えられる。本ケーススタディでは、想定被災地区に存在する工場・事業場のうち、水道水質基準に係る有害物質を取扱うものを対象として検討を行う。

(2) 対象とする化学物質

対象とする対象化学物質としては、水道法に基づく水質基準項目であって、排出されたものがそのまま下流域に到達すると考えられる保存性の物質を選定することとする。想定される河川水中濃度を概略検討し、淀川下流域における汚染濃度の水道水質基準濃度に対する割合が比較的高くなると想定される ①鉛及びその化合物（鉛の量で表示）、②ヒ素及びその化合物（ヒ素の量で表示）、③六価クロム化合物（六価クロムの量で表示）、④フェノール類（フェノールの量で表示）、⑤シアン化物イオン及び塩化シアン（シアンの量で表示）、⑥トルエン を選定した。

(3) 化学物質の流出量の算定

地震後最初の降雨によって、地域で被災した工場・事業場から貯蔵されていた有害物質が流出する。被災率は過去の地震時の家屋被災数より 0.23 とし、貯蔵量の半分が流出すると仮定した。流入降雨による淀川流量の増加も考慮する。

想定降雨としては、京都市内に発生した降雨の実績から、5 mm/h 以上の降雨強度を観測した降雨群を抽出し、それらを参考に平均的な代表降雨を設定した。具体的には、平均降雨強度 4.2 mm/h、総降雨量 25 mm、降雨継続時間 6 時間の局地的降雨とし、雨水流出率は 0.7 とした。また、流出負荷量の時間変動パターンは、京都市の合流式下水道における放流 BOD 負荷量の観測値を参考に設定した。

地震発生直前における化学物質の貯蔵量は、化学物質の種類に関係なく、対象地震において震度 6 強と予測される市町村の工場・事業場で取り扱われている化学物質量の 2 週間分と設定した。これについては、京都市上下水道局でベンゼン、フェノール、シアンを対象にそれぞれ 2~3ヶ所の代表的な工場・事業場に対して貯蔵量の聞き取り調査を行った。貯蔵量を年間取扱量で除して得られる値は、物質や工場・事業場によって 2 日~73 日と大きくばらつくものの、2 週間はデータ全体のほぼ中央値に相当する。

業種別・対象化学物質別の年間取扱量は、以下の式から推計される。

$$\begin{aligned} & (\text{業種別・対象化学物質別年間取扱量}) \\ & = \{ (\text{化学物質排出移動量届出制度に基づく業種別・対象化学物質別の届出排出量 (2003 年 PRTR 届出データ)}) + (\text{PRTR 届出対象条件} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (\text{従業員数 21 人以上で年間取扱量 1 t 以上}) \text{に} \\ & \text{満たない業種別・対象化学物質別年間排出量}) \\ & A) \div (\text{業種別・対象化学物質別平均排出係数} \\ & B) + (\text{非対象業種・家庭・移動体その他の取扱} \\ & \text{量 C}) \quad (7) \end{aligned}$$

上式において A は、文献 22) を参考に、業種別・対象化学物質別の事業所当り平均取扱量や対象地域における業種別事業所数等から既存の資料^{23,24)} を活用して算出した。B は文献 23) から得られる。C は文献 25) を参照し、2003 年の都道府県レベルの排出量推計結果をもとに、人口又は面積の按分で対象地域における排出量を算出し、それをそのまま取扱量とした。

なお、有害物質については、下水処理場の緊急対応による処理効果はないものとする。また、対象物質のうち、鉛については主に金属固体として流通しており、河川への全量流出が考え難いことから、上記の方法で算出した年間取扱量に別途 0.2 を乗じた。

3.2 水道水質の計算方法

河川水中の濃度の時間変動を調べるため、一次元の移流分散（縦拡散）モデルによるシミュレーションを行った。計算条件は以下のとおりである。

- ・適用モデル：一次元不定流河川解析モデル (InfoWorks RS)
- 対象とする物質または微生物は河川流水中に保存されるものとし、流下方向の移流分散（縦拡散）を考慮
- ・計算対象区間：淀川下流~三川合流~被災処理場放流地点
- ・河川断面：5 km ピッチで横断面を入力（1 km ピッチで横断面を補間入力）
- ・淀川大堰：堰頂高 O.P.+3.0 m で入力し、堰による滞留を考慮

得られた河川水質をもとに、浄水場での平均的な除去率を加味して水道水質を求めた。検討対象となる 6 物質についての平均的な除去率は、浄水処理に関する一般的な知見に加え、検討対象である 3 事業体（大阪府水道部、大阪市水道局、阪神水道企業団）及び東京都水道局へのヒアリングをもとに設定した。また、取水から給水までの水道システム内での混合の効果は考慮しなかった。

3.3 水道水質の計算結果

Fig. 3 に、例として河口から 11 km, 15 km, 17 km, 18 km, 28 km, 34 km に位置する水道の原水取水地点におけるヒ素濃度の変化を示す。図中縦軸下の 0:00 時は降雨開始後 12 時間の時点を表している。上流部ほど化学物質濃度のピークは高いがピーク後濃度は急

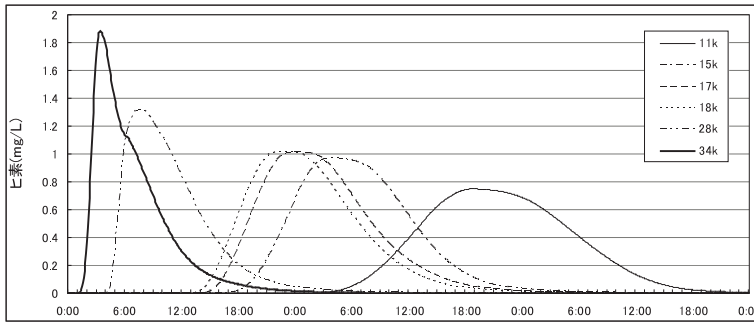


Fig. 3: Change in Estimated Concentration of Arsenic in the Yodo River

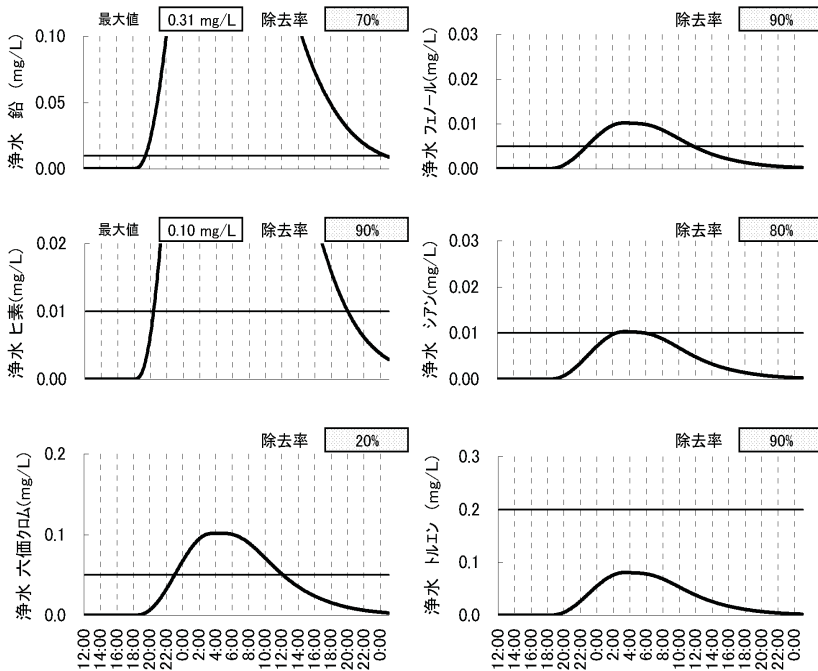


Fig. 4: Change in the Concentration of the Chemical Contaminants Contained in Drinking Water

速に低下する。下流部では、移流分散の効果によってピーク濃度は低下するが、影響は比較的長時間に及ぶようになる。

Fig. 4 は、河口から 17 km の地点で取水する浄水場から供給される水道水中の対象化学物質濃度の時間的変動を表している。計算にあたって、河川での流下及び移流分散の効果と取水から浄水処理までに要する時間(4 時間)を考慮したが、浄水に要する時間は考慮していない。また、第 4 章で論じるような水道事業における対応策は取られないという仮定で計算している。Fig. 4 の各図右上の % の数値は、浄水処理の除去率として設定した値である。また、図中の水平のラインは水道水質基準を表す。

鉛、ヒ素等の濃度が水質基準値を大きく上回り、下流域の水道事業者が取水停止を余儀なくされる可能性を示唆している。

4. 水道事業における対応策

4.1 浄水場における対応シナリオ

厚生労働省の「水質汚染事故対策マニュアル策定指針」¹³⁾では、原水取水水域における水質汚染事故への対応、緊急措置として、(a) 影響緩和措置(オイルフェンス、粉末活性炭等)、(b) 浄水処理強化、(c) 取水停止、(d) 給水の緊急停止が挙げられている。また、給水停止は、取水停止が長時間に及ぶ場合の必然の措置とされている。したがって、Fig. 2 のような比較的長期にわたる水質汚染においては、取水停止は給水停止につながる事となるが、Fig. 3, Fig. 4 のような短時間の汚染では、取水停止が直ちに給水停止となるわけではない。

ここでは、原水の水質悪化時に浄水場において、Fig. 5 に示すとおり、濃度の時系列変化に応じて次の①~⑤の方策を組合せた対応策を講じるというシナリオを設定する。

- ① 通常の浄水処理
- ② 通常の処理に粉末活性炭を注入
- ③ 取水量(処理水量)を通常時より減らすとともに、水質管理を徹底
- ④ 取水停止(配水池容量から最大 12 時間)
- ⑤ 給水停止(12 時間以上の取水停止の場合)

供給する水道水の濃度が水道水質基準値を超えると予測される場合、浄水場では対応が困難(処理不能)となることから、取水を停止する。また、水道事業者は緊急時にも給水停止とならないよう、通常 12 時間程度の配水池容量を確保することが一般的であるため、処理不能時間が配水池の有効容量(12 時間)を超過する場合は、送配水が困難となって給水停止にいたる。

4.2 対応シナリオの推定

どの時点でより高度な応急対応に移行するかによって、水道水中の濃度や給水停止に至る確率は異なるが、ここでは、浄水場における除去率を考慮して、水道水質濃度が水道水質基準を上回るような原水水質となる直前に取水を停止し、その後濃度が低減して水道水質基準を下回るような原水水質濃度となった直後に取水を開始すると仮定する。

Fig. 4 のように設定した浄水場での除去率に基づき、

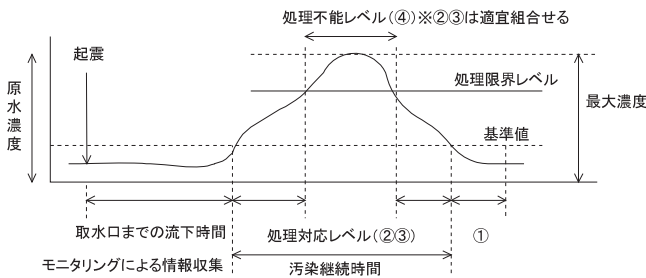


Fig. 5: Scenario of the Operation of Water Supply System in Case of Source Water Contamination

Table 3: Suspension of Water Intake and Water Supply

河口からの距離	鉛			ヒ素		
	34km	17km	11km	34km	17km	11km
取水停止時間(h)	19.3	29.1	35.8	14.5	23.7	29.8
給水停止時間(h)	7.3	17.1	23.8	2.5	11.7	17.8
河口からの距離	六価クロム			フェノール		
	34km	17km	11km	34km	17km	11km
取水停止時間(h)	8.2	13.2	15.1	8.7	12.9	11.9
給水停止時間(h)	0.0	1.2	3.1	0.0	0.9	0.0
河口からの距離	シアン			トルエン		
	34km	17km	11km	34km	17km	11km
取水停止時間(h)	5.7	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0
給水停止時間(h)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fig. 3 の河口から 17 km の地点の濃度変化を、これに対応する水道水質について示したのが、Fig. 4 のヒ素のグラフである。上記のような簡単な前提条件のもとでは、水質項目ごと取水地点ごとに描いた Fig. 4 のような濃度変化予測から、対象とする各浄水場の取水停止、給水停止について推定することが可能である。河口から 17 km (中流) のほかに、34 km (上流)、11 km (下流) の取水地点について、今回仮定した対応シナリオにしたがって浄水場の取水停止、給水停止の時間を推定すると、Table 3 のようになる。

すなわち、鉛、ヒ素については上流から下流まですべての浄水場で取水停止・給水停止となる。六価クロム、フェノール、シアンについては、ほとんどの浄水場で取水停止となるが、配水池容量の余裕によって給水停止にまで至らない浄水場もある。トルエンについては、濃度が低く取水停止を免れる。

5. おわりに

本稿では、淀川流域を対象に、上流域で大規模な地震が発生し、下水処理場や有害化学物質を扱う工場・事業場が被災した場合、水源である淀川の水質が汚染されることによって下流域の水道事業にどのような影響が及ぶかについて評価を試みた。

対象として水質項目ごとに得られた結論を簡単に記

述すると、以下の(1)~(3)のようになる。

(1) 病原微生物

地震による未処理下水の放流の影響に関するシナリオ分析において、淀川下流域の水道水について予想されるクリプトスポリジウム濃度を、感染リスクに関する EPA の目標値 (10^{-4} ケース/年以下) 及び WHO が提唱する健康影響負担リスクの許容値 (10^{-6} DALYs/年) と比較した。その結果、淀川下流域のように 7 Log の除去が期待できる高度浄水処理の場合には、十分基準値を満足すると判断された。しかし、2 Log 程度の除去率しか保証できない通常の浄水処理では十分に対応できず、上流域の下水道施設の復旧が遅れると、取水停止、給水停止が長期間に及ぶ可能性がある。

今回の検討においては、地震後の下水処理場での応急対応では、クリプトスポリジウムは除去できないものと仮定した。しかしながら、被災した下水処理場で流入下水の凝集沈殿処理を行うことができれば、3 Log 以上の除去率を期待できることがわかっている¹¹⁾。これと通常の浄水処理を組み合わせれば 5 Log 程度の除去率となるため、2.6 (2) 節の議論から、通常の浄水処理でも WHO の健康影響負担リスクの許容値を満足できることになる。今回の検討ケースのように、上流部に大規模な都市域が存在し、下流域で水道原水の取水を行っている水系では、当該上流部の下水処理場にあらかじめ耐震性を有する凝集剤施設を設置しておくことが有効と考えられる。

大腸菌群については、浄水場での処理により基本的に対応可能であると考えられる。しかし、大腸菌群に対する対策が可能であることが、必ずしも病原微生物一般に対する安全性を保障するものでないことはいまでもない。

(2) アンモニア態窒素

未処理下水の放流によって、上流部の水道原水水域では約 1 mg/L まで濃度が上昇するため、浄水場において一時的に 10 mg/L 程度の塩素注入が必要となる可能性があるが、対象浄水場の最大塩素注入率以下にあることから対応可能と想定される。ただし、濃度が急激に変化する場合には、水道水中の残留塩素濃度の管理を強化する必要がある。

(3) 有害物質

上流域で被災した工場・事業場から降雨に伴って高濃度の有害排水が河川に流出するというシナリオに関するリスク評価では、有害物質の流出負荷量の推定に PRTR (化学物質排出移動量届出) データを活用できる可能性がある。

河川の移流分散の効果により、一般に上流部ほど化学物質濃度のピークは高いが濃度はすぐに低下する。下流部では、移流分散の効果によってピーク濃度は小さくなるが、影響は比較的長時間に及ぶ。原水水質の

変動予測に基づき、浄水場ごとにあらかじめ対応策を検討することが可能である。

京都府、京都市からのヒアリングによれば、対象とした6ヶ所の下水処理場のうち、京都市吉祥院下水処理場は比較的耐震化が図られているものの、その他の下水処理場の多くの施設は耐震化が不十分であり、今回想定した被害の規模が著しく現実性を欠くわけではない。なお、国土交通省の調査によれば、平成1997年度以前に施工され、耐震診断済の全国の下水道施設のうち8割以上は耐震化が未了である²⁶⁾。

ここで示した評価結果は、その導出過程で様々な条件を仮定していることに留意する必要がある。特に有害物質に関する検討では、上流域の工場・事業場における貯留量等について、実態調査に基づく、より確からしい条件の設定が必要であろう。ただし、シミュレーションモデルの構造は基本的に線形であり、前提条件が変化した場合の影響については、改めて計算しなくても、今回の評価結果から容易に推定することが可能である。

上流部で都市域が発達し、下流域で水道原水の取水が行われている水系では、流域の水道管理者、下水道管理者、工場・事業場管理者等が協力して、あらかじめ本稿で示したような地震時のリスク分析を行い、対策を講じておくことが望まれる。

本稿の内容の多くは、2005年度、国土交通省と厚生労働省が協力して実施した調査に基づいています。調査を実施するにあたっては、「緊急時水循環機能障害リスク検討委員会(委員長:大垣眞一郎 東京大学教授(当時))」から多数のご助言を頂きました。検討委員会の委員各位並びに山村尊房課長をはじめ当時の厚生労働省水道課の関係者の皆様に深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 中央防災会議:第14回「東南海・南海地震等に関する専門委員会」資料(2004)
- 2) 社団法人河川協会:流量年表(1995~2004)
- 3) 佐々木隆:上水高度処理における水質管理と新しい固液分離技術,環境システム計測制御学会,Vol.11, No.1(2006)
- 4) 淀川下流域水道管理者からの聞き取り
- 5) 京都府:京都府地震被害想定調査「花折断層帯」(2008)
<http://www.pref.kyoto.jp/kikikanri/resources/1219984426914.pdf>
- 6) 国土交通省:下水処理水中のクリプトスポリジウム対策について,平成15年6月26日付下水道部流域下水道計画調整官事務連絡(2003)
- 7) 国土技術政策総合研究所:平成16年(2004年)新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要,国総研資料第248号,p.66(2005)
- 8) 厚生省生活衛生局水道環境部:阪神・淡路大震災に伴う水道施設復旧のための基本的考え方について(1995)
- 9) 財団法人水道技術センター:阪神・淡路大震災と水道(1997)
- 10) 厚生労働省:水道の耐震化計画等策定指針(旧名称:水道の耐震化計画策定指針(案))p.12(2008)
- 11) 社団法人下水道協会:下水道におけるクリプトスポリジウム検討委員会最終報告書(2000)
- 12) Takashi Asano, Franklin L. Burton, Harold L. Leverenz, Ryujiro Tsuchihashi, George Tchobanoglous: Water Reuse: Issues, technologies, and applications, McGraw-Hill, pp.169-184(2006)
- 13) 厚生労働省:水質汚染事故対策マニュアル策定指針,「水道の危機管理対策指針策定調査報告書」,p.I-25,p.II-31(2007)
- 14) USEPA: Cryptosporidium: Human Health Criteria Document, Office of Science and Technology, Office of Water, EPA-822-K-94-001, p.66(2001)
- 15) National Academy of Sciences: Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks, National Academy Press, pp.88-90(2006)
- 16) ibid. p.102
- 17) Lorna Fewtrell, Jamie Bartram(金子,平田監訳):水系感染症リスクのアセスメントとマネジメント,技報堂出版,pp.44-45(2003)
- 18) Arie H. Havelaar, Augustinus E. M. De Hollander, Peter F. M. Teunis, Eric G. Evers, Henk J. Van Kranen, Johanna, F. M. Versteegh, Joke E. M. Van Koten, and Wout Slob: Balancing the Risks and Benefits of Drinking Water Disinfection: Disability Adjusted Life-Years on the Scale, Environmental Health Perspectives, Vol.108, No.4, pp.315-321,(2000)
- 19) WHO: Guidelines for Drinking-Water Quality — Second Edition — Volume 1 — Recommendations — Addendum, World Health Organization, p.29 Geneva(1998)
- 20) WHO: Guidelines for drinking-water quality: incorporating first addendum. Volume 1 — Recommendations — 3rd ed. pp.46-47(2006)
- 21) ibid. p.130
- 22) 独製品評価技術基盤機構:平成15年度PRTR届出外排出量の推計方法(2005)
- 23) 独製品評価技術基盤機構:平成16年度PRTR対象物質の取扱い等に関する調査報告書(2005)
- 24) 総務省統計局:平成16年度事業所・企業統計調査(2006)
- 25) 環境省環境安全課:地域別PRTR非点源排出量推計マニュアル(2004)
- 26) 奥田千郎:下水道施設の地震対策の取り組み——下水道総合地震対策事業——,下水道協会誌,Vol.46, No.561, pp.7-10(2009)

Impact Assessment of River Water Contaminations Caused by Earthquakes

Osamu Fujiki^{1)†}, Yoshikazu Nakayama²⁾ and Hiroki Nakai³⁾

¹⁾ Japan Institute of Wastewater Engineering Technologies

²⁾ Technical Division, Jogesuido Sekkei Co., Ltd.

³⁾ Nagoya Office, Jogesuido Sekkei Co., Ltd.

† Correspondence should be addressed to Osamu Fujiki :

(Japan Institute of Wastewater Engineering Technologies E-mail : o-fujiki@jiwet.or.jp)

Abstract

The seismic impact on the water intakes downstream for water supply service was assessed on the supposition that a large-scale earthquake occurred in the upper catchments of the Yodo River. The scenario analysis by simulation are of two kinds ; (A) Damaged wastewater treatment plants upstream let raw sewage be discharged into the river, (B) Toxic substances spilled from industrial facilities are washed out by storm water run-off into the river. The registered data of PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) was applied to the estimation of the amount of spilled toxic substances. The outcome of the simulations suggests that the water contamination with pathogens could cause a long-term suspension of water supply/intake, although considerable effectiveness is expected about the activated carbon and ozone treatment in the water purification plants, and that some toxic substances are likely to cause a short-term interruption of water supply/intake.

Key words : earthquake, water supply, risk management, pathogen, toxic substance