

緊急時水循環機能障害リスク検討委員会 報告書

平成 19 年 3 月

緊急時水循環機能障害リスク検討委員会

＜目 次＞

1 背景・目的	1
2 想定するリスク発生の要因	2
3 東京都区部におけるケーススタディ	4
3.1 想定した被災状況	4
3.2 緊急時の水需要の想定	5
3.3 緊急時トイレの想定	8
3.4 その他の影響	9
3.5 想定されるリスク	9
4 淀川水系におけるケーススタディ	14
4.1 想定した被災状況	14
4.2 緊急時の河川流出負荷量の想定	16
4.3 緊急時における河川水質の悪化	18
4.4 下流側浄水場への影響	19
4.5 病原性微生物の感染リスクに関する検討	22
5 想定されるリスクの総括	27
5.1 都市内の水に関するリスク	27
5.2 流域内における水系リスク	28
5.3 その他の影響	29
6 リスクを回避・低減するための施策と課題	30
6.1 対応策のメニュー	30
6.2 具体的な対応策	31
6.3 対応策を実施する上での課題	34
7 検討の結果を踏まえ引き続き検討すべき課題	35
参考資料-1：緊急時水循環機能障害リスク検討委員会名簿	37
参考資料-2：想定される主なリスクへの対応策の概要	38

1 背景・目的

平成7年に兵庫県南部地震、その後、鳥取県西部地震、芸予地震、十勝沖地震が発生、平成16年には新潟県中越地震、福岡県西方沖地震が発生し、これらの自然災害では、上下水道をはじめとする水循環システムが被災し、飲料水の確保やトイレ問題等市民生活に大きな被害が発生し影響を与えた。将来起こるとされる南海・東南海・東海或いは首都直下型地震等の自然災害においては、より深刻な被害の影響が懸念されている。

また、自然災害のほか、水質事故も水循環システムを通じて流域に大きな影響をもたらす可能性がある。

「水」に関する社会資本についてみると、河川施設、水道施設、下水道施設の他、地下水を利用するための施設などが整備され、市民生活や都市活動に必要な水を供給し、使用した水を適正に浄化するという、都市の中の水循環システムを構築・運営されている。

しかしながら、大規模な地震等により都市に張り巡らされた給排水施設等が被災し、この水循環システムの機能に障害が発生した場合、市民生活や都市活動に大きな支障が発生する。また、下水道施設の障害により未処理下水が公共用水域に流出し、公共用水域の汚染、さらには水系を通じた公衆衛生の問題が発生することが予想される。

このため、大規模地震などに起因して、上下水道等の水循環システムの機能に重大な障害が発生した場合に、公衆衛生や市民生活等に及ぼす影響リスクを分析および評価するため、水循環に係る国土交通省都市・地域整備局下水道部、土地・水資源局水資源部、河川局及び厚生労働省健康局が共同で「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）を設置し、検討を行った。

本報告は、委員会の議論を踏まえ、当検討に係るデータの更新等を行い、委員会報告書としてまとめたものである。

本報告を踏まえ、緊急時水循環機能障害リスクへの具体的対応方策について、関係行政機関において引き続き検討していく予定である。

2 想定するリスク発生の要因

市民生活に影響を及ぼす水に関するリスクが発生する要因としては、大規模地震や風水害等の自然的要因、事故・テロ等の人為的要因が考えられる。

緊急時の公衆衛生や市民活動、都市活動におけるリスクは種々であるが、今回の検討では、特に水利用や公衆衛生の観点から、緊急時の都市活動や市民活動に大きな障害となる可能性が高い以下のようなリスクに限定して検討を行った。

【想定するリスク発生の要因】

マグニチュード7クラスの地震が大都市の直下で発生し、震度6～7の揺れにより都市の社会基盤施設が被災するとともに、火災が各所で発生する。

市内各所での家屋や事業所の被災に伴って、多数の避難者が発生するとともに、交通施設の被災により帰宅困難者が多数発生する。ライフラインは、電気・水道・下水道等が被災し、機能がマヒする。

（都市内の水に関するリスク）

水道施設の被災によって断水が発生し、市民や帰宅困難者に対する飲料水や生活用水の他、消火用水が不足する。緊急時においても継続的に活動が必要な病院・公共機関で必要な水の確保が困難となる。また、避難所に集中する避難者に加え、主要駅周辺に溢れた帰宅困難者が集中し、トイレが不足する。

時間の経過とともに徐々に水道施設が復旧し水の供給も回復してくるが、一方で下水道管きょ等の復旧が遅れると、下水量の増加によって都市内の一部で下水が溢れ、その結果、感染症の発生リスクが高まる。

さらに、都市内の事業所にある有害物質貯蔵施設の倒壊等により、有害物質が溢れ出す危険性が高まる。この状況下で、降雨が発生すると、有害物質が都市内に溢れ出し、公共用水域に流出する。

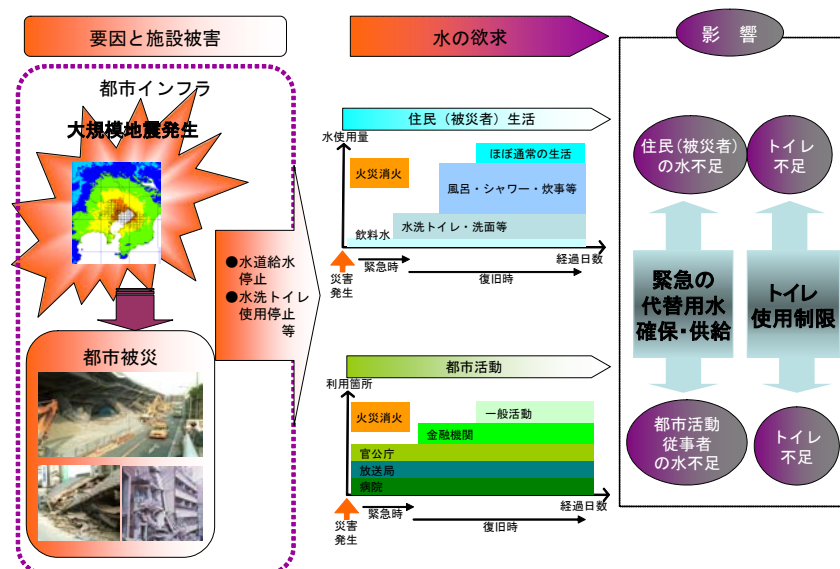


図 2.1 都市内の水に関するリスクの概念

(流域内における水系リスク)

下水処理場の被災後、処理場の処理機能が停止し下水の処理が困難な状態が1週間程度続き、未処理下水が公共用水域に流出する。その後の応急復旧により緊急的な簡易処理が行われるが、完全復旧までには相当の期間を要し、流出先の公共用水域の水質が悪化した状態が続く。また、汚水と雨水をまとめて流下させる合流式下水道では、施設が被災しない通常時においても降雨の発生により下水管きょ内に堆積した汚濁物質が一気に流出するため、地震発生後にもこのような流出により、公共用水域の水質が悪化する可能性がある。

被災した都市の下流側都市では、未処理または簡易処理による下水の流出や事業所の有害物質の流出により水源となる公共用水域の水質が悪化する。特に、病原性微生物、有害物質の濃度が高い場合、水道の浄水処理では対応できない状況に陥ることがあり、水道水給水停止による水不足が懸念される。

また、上流側都市で感染症が発生した場合、下流側都市においてその感染症が伝播する危険性があり、感染者の移動により上下流の都市で感染リスクが相乗的に増大する危険性がある。

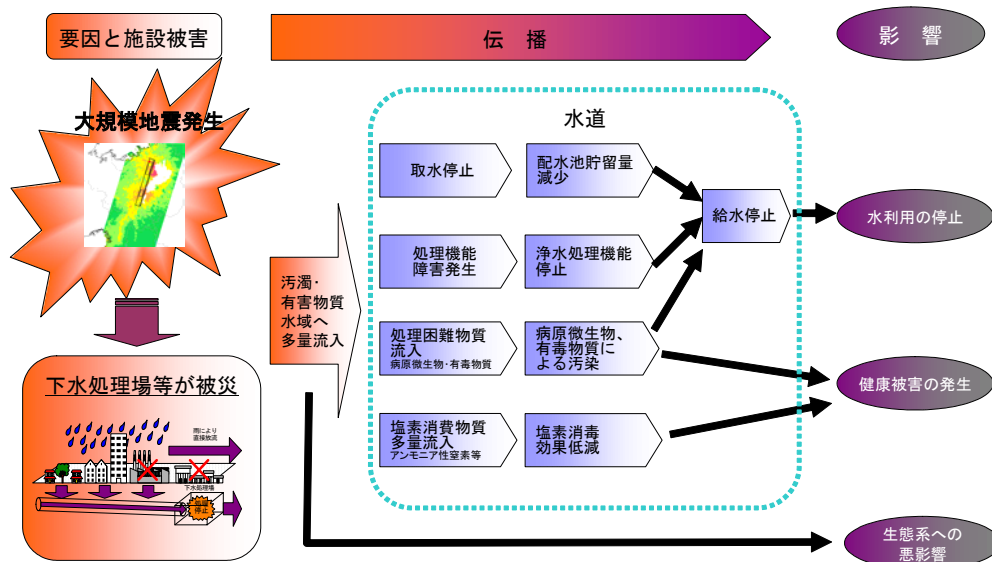


図 2.2 流域内における水系リスクの概念

以上のような想定の下で、具体的なリスクについてケーススタディを通じて検討を行った。

って、東京都区部の大部分は震度 6 弱以上の揺れとなり、水道施設及び下水道施設が大きな被害を受け、都市内の給排水施設の機能に重大な障害が生じるものとした。また、木造密集市街地が広域的に連担している地域などを中心に火災が発生し、大規模な延焼に至ることを想定した。

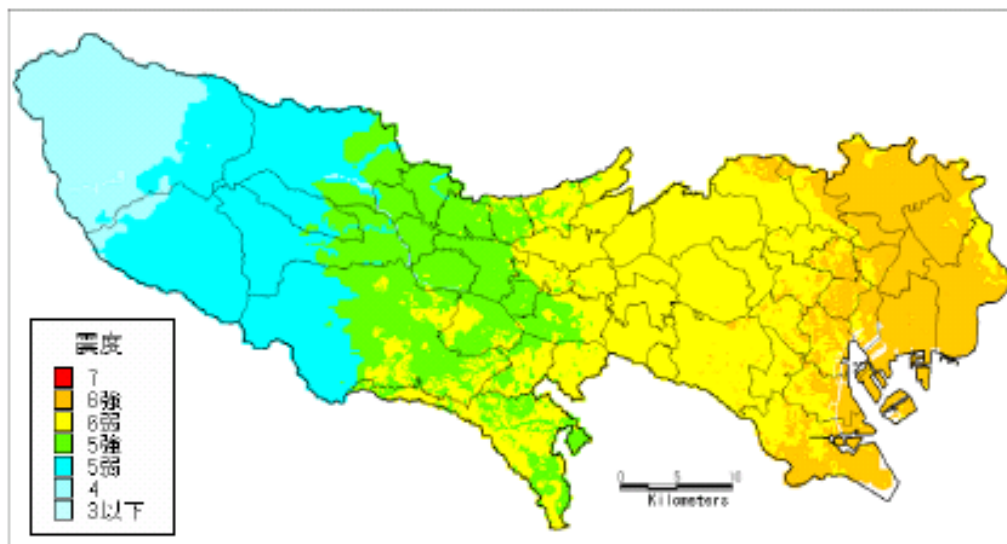


図 3.2 対象地区の想定地震動分布

※出典：首都直下地震による東京の被害想定報告書；平成 18 年 3 月、東京都

地震発生に伴う避難者（自宅外避難者）は「首都直下地震による東京の被害想定報告書（平成 18 年 3 月）」に準じて、表 3.1 のように、発災 1 日後において江戸川区では約 352 千人、千代田区では約 18 千人と想定した。帰宅困難者についても、同報告書に準じて発災 1 日後において江戸川区では約 43 千人、千代田区では約 571 千人と想定した。なお、避難者や帰宅困難者の数は、発災から時間の経過とともに変化するものとした。

表 3.1 地震発生に伴う避難者（自宅外避難者）及び帰宅困難者の定義

項目	内容
避難者 （自宅外避難者）	建物被害とライフライン途絶により自宅で生活が継続できない人の数のうち、避難所生活を強いられる人、親類・知人宅などに転居する人の数
帰宅困難者	自宅のある区市町村へ徒歩で帰宅することが困難となる者の数（自宅のある区市町村にいる者を除く）

※出典：首都直下地震による東京の被害想定報告書（平成 18 年 3 月）東京都

3.2 緊急時の水需要の想定

地震発生時の水需給は、生活用水と業務活動用水からなる必要水量と復旧の進捗状態を考慮した水道供給可能量を比較して、表 3.2 の 4 ケースを想定し、充不足があるかどうかを検討した。なお、必要水量については、ケース 1 及びケース 3 は東京都計画を基本とし、ケース 2 及びケース 4 でも発災直後に必要水量として多めに生活用水

と業務活動用水を想定するものとした。

表 3.2 緊急時の水需給の想定ケース

ケース	必要水量		水道供給可能量
	生活用水	業務活動用水	
ケース 1	基本（東京都計画） ^{注 1}	発災後 3 日は自助努力により対応	停電による影響は考慮しない（非常時自家発電により水道を供給）
ケース 2	基本（東京都計画）に必要水量（文献） ^{注 2} の加算を考慮	発災直後から水使用が発生	
ケース 3	基本（東京都計画）	発災後 3 日は自助努力により対応	停電の影響による水道供給の遅れを考慮する
ケース 4	基本（東京都計画）に必要水量（文献）の加算を考慮	発災直後から水使用が発生	

注 1 基本（東京都計画）：「東京都水道局震災応急対策計画（平成 12 年 1 月）」において地震時に計画している使用水量

注 2 必要水量（文献）：「京都市防災水利構想（防災水利構想検討委員会）」において過去の震災で実際に必要となった使用水量

(1) 必要水量の想定

a) 生活用水

被災後の市民生活に必要な生活用水量の原単位は、表 3.3 のように、断水または自宅外に避難する人口に対して、ケース 1 及びケース 3 では「東京都水道局震災応急対策計画（平成 12 年 1 月：東京都水道局）、以下“東京都計画”とする」に準じ、ケース 2 及びケース 4 では「京都市防災水利構想」の中で示されている阪神・淡路大震災の実績を踏まえ、発災後の時間経過とともに変化するものとして設定した。

表 3.3 必要生活水量原単位

単位：L/人・日

経過日数	東京都 計画目標 水量	阪神・淡路震災時の被災市民の実績使用水量				備考	採用値	
		飲料 系	生活 系	雑用 系	合計		ケース 1 及び ケース 3	ケース 2 及び ケース 4
発災～3 日目	3	7	2	7	16	混乱期（～約 1 週間）	3	16
4～10 日目	20	10	4	9	23	緊急救援期（～2 週間）	20	23
11～20 日目	100	13	7	12	32	安定救援期（～約 6 週間）	100	100
21～30 日目	250						250	250

※出典：「東京都水道局震災応急対策計画（平成 12 年 1 月改定）」東京都水道局
「京都市防災水利構想」防災水利構想検討委員会

この原単位に断水・自宅外避難人口（断水及び建物等の被害により水道を使用することができない人口）を乗じて、必要な生活用水量を推計した。なお、発災後も通常通りに使用することができる水道給水人口に対しては、通常の使用水量を見込むものとした。なお、断水率、建物被害率は、「首都直下地震による東京の被害想定報告書（平成 18 年 3 月、東京都）」の値を用いた。

$$\begin{aligned}
 \text{必要生活水量} &= \text{必要生活水量原単位} \times \text{断水・自宅外避難人口} \\
 \text{断水・自宅外避難人口} &= \text{居住人口} - \text{水道供給人口} \\
 \text{水道供給人口} &= \text{居住人口} \times (1 - \text{断水率}) \times (1 - \text{建物被害率})
 \end{aligned}$$

b) 業務活動用水量

業務活動用水の推計は、発災後も業務の継続が求められる役所、放送局、病院、銀行等と、順次業務が再開されると考えられる一般企業に分けて、表 3.4 のように発災後の段階に応じて必要水量を算出した。

表 3.4 業務活動用水量の想定条件

段階	時期	復旧している業種	
		ケース 1 及びケース 3	ケース 2 及びケース 4
1	発災直後～3 日目	(自助努力)	役所、放送局、銀行、病院（ピーク時対応）
2	4～6 日目	役所、放送局、銀行、病院（復旧）	
3	7～30 日目	上記以外の一般企業が線形的に復旧	上記以外の一般企業が線形的に復旧

使用水量は、表 3.5 に示す庁舎・事務所の原単位を用い、勤務者は「平成 13 年事業所・企業統計調査報告 都区市町村編（新産業分類） 第 5 表 産業小分類区市町村別事業所数及び事業者数（平成 14 年 12 月：東京都）」に示される平常時の従業員数を基に水道の復旧にあわせて計上し、算出した。

また、病院については、表中の床数あたりの原単位を用いて「東京都の医療施設(平成 15 年)（平成 17 年 3 月：東京都）」の病院と診療所の床数を合計したものを乗じて算出した。

表 3.5 建物種類別の水使用量の実績

建物種別	年平均一日使用量		単位	サンプル数	ケース 1 及びケース 3	ケース 2 及びケース 4	備 考
庁舎・事務所	127	標準偏差	65 L/人・日	96	平均値	平均値	
病院	1,290	標準偏差	572 L/床・日	45	平均値	平均値+2 σ	平均値+2 σ をピーク時の水量と仮定（正規分布を仮定。平均値±2 σ で95.4%）

※出典：「空調調和・衛生工学便覧<第 13 版> 4 給排水衛生設備設計編 p.107」空調調和・衛生工学会

以上から、業務活動必要水量は、表 3.6 のように想定した。

表 3.6 業務活動必要水量

●ケース 1 及びケース 3

項 目		千代田区	江戸川区	備考
必要業務活動水量 (m ³ /日)	発災～3 日目	0	0	需要者側で必要水量を確保
	4～6 日目	17,515	4,437	役所、放送局、病院、銀行
	7～30 日目	92,628	35,125	上記以外が線形的に回復

●ケース 2 及びケース 4

項 目		千代田区	江戸川区	備考
必要業務活動水量 (m ³ /日)	発災～6 日目	20,943	7,692	需要者側で必要水量を確保
	7～30 日目	92,628	35,125	上記以外が線形的に回復

(2) 供給可能量の想定

水道施設の被災によって、水道水の供給に支障が生じることになる。東京都の想定では、震災3日後までは被害状況調査や制水弁の閉止作業にあてられ、実質的な応急作業は震災4日後から30日後まで行われるものと仮定している。ここでは、「首都直下地震による東京の被害想定報告書 平成18年3月、東京都」を参考に、千代田区と江戸川区の断水率を次表のように想定した。

表 3.7 断水率(%)の想定

	千代田区	江戸川区	23区
発災直後（下(1)式より本検討において算出）	67.2	94.3	77.2
1日後	37.4	73.3	46.3
4日後（本検討において算定）	5.7	11.5	—
31日後	0	0	0

※出典：「首都直下地震による東京の被害想定報告書（平成18年3月）」東京都
 (1)式：【地震直後】供給支障率＝ $1 \div (1 + 0.0473 \times (\text{配水管被害率})^{-1.61})$ 、参照：
 内閣府防災担当ホームページ <http://www.bousai.go.jp/manual/w-3-a.htm>

また、地震による停電の影響として、東京電力へのヒアリングでは発災直後から6日目まで全地域で停電が継続するものとするが、本検討では、自家用発電の整備率が約8割（平成17年4月時点）に達していることを考慮して、ケース1及びケース2は停電の影響を受けずに水道が供給できるものとし、ケース3及びケース4は6日目まで停電の影響を受けて水道の供給が遅れるものと想定した。

3.3 緊急時トイレの想定

神戸市では、阪神・淡路大震災において避難場所・公園などに設置された仮設トイレの設置実績を踏まえて、表3.8のように災害発生直後の初動期対応（トイレ設置基準250人/基）、後続対応（トイレ設置基準100人/基）に区分して必要設置数を設定している。

表 3.8 災害用トイレ設置基準

区分	期間	設置基準	仮設トイレ設置実績（神戸市）	
初動対応	0～10日後を想定	250人/基	直後	250人/基の割合で配置
			7日後	150人/基（実績）
後続対応	11日後以降を想定	100人/基	13日後	100人/基（実績）
			18日後	75人/基（実績）

※出典：神戸市地域防災計画－地震対策編－（平成17年度）神戸市防災会議

「都市政策－災害時の廃棄物処理－（1998年10月）（財）神戸都市問題研究会」より、仮設トイレ配置実績数を参照した。

本ケーススタディにおいては、神戸市の検討に準じて自宅外避難者及び帰宅困難者を対象に緊急時のトイレの必要数・不足数を想定した。

江戸川区では、「江戸川区地域防災計画（平成16年度修正）江戸川区防災会議」において、小中学校及び公共施設を避難所に指定しており、各避難所の延べ床面積から

収容可能人数を算定している。千代田区では、「千代田区地域防災計画（平成 15 年度修正）千代田区防災会議」において、区指定避難所（25 箇所）が指定されている。また、帰宅困難者については区指定帰宅困難者支援場所（4 箇所）が指定されている。そこで各避難所の収容者数を基に、避難所生活を強いられる人口分布を算定した。

必要災害用トイレ数は、避難所生活を強いられる人口分布を基に表 3.8 に示す災害用トイレ設置基準より算定した。災害用トイレ過不足数は、江戸川区及び千代田区の地域防災計画に基づく災害用トイレ配置数と、上記で算定した必要災害用トイレ数より算定した。

$$\begin{aligned} \text{避難所生活を強いられる人口} &= \text{避難所生活者数} + \text{帰宅困難者数} \\ \text{必要災害用トイレ数} &= \text{災害用トイレ設置基準} \times \text{避難所生活を強いられる人口} \\ \text{災害用トイレ過不足数} &= \text{災害用トイレ配置数} - \text{必要災害用トイレ数} \end{aligned}$$

3.4 その他の影響

(1) 下水管きょ被災に伴う地下水への影響

下水道管きょの破損によって、流入してくる汚水が破損箇所から地下に浸透することが考えられ、それによる影響範囲について、水理パラメータ（透水係数、地下水動水勾配、有効間隙率）を想定して概略の検討を行った。

(2) 下水管きょ被災に伴う汚水の溢水

下水道管きょの被災により管きょが閉塞（破断、土砂の流入）した場合を想定し、発生する汚水が流下しきれず、地表に溢水する状況について、概略の検討を行った。

3.5 想定されるリスク

(1) 都市内の水不足

a) 生活用水・業務活動用水の不足

必要な生活用水・業務活動用水量と水道による給水可能量を比較すると、ケース 1 では、千代田区、江戸川区とも全体としては水道水の供給量に不足が生じることはない。ケース 2 では、被災から 3 日目までの必要水量が大きく増加し、江戸川区で発災日に不足することとなる。また、停電の影響が長期化した場合を考慮したケース 3 では、江戸川区で不足が生じる可能性があり、最悪の給水状態であるケース 4（必要水量が最も多く、停電の影響を考慮）においては、江戸川区で発災日から 6 日目までの間で不足、千代田区でも発災日に水量不足が生じることとなった（表 3.9 参照、図 3.3 は経日変化の一例を示す）。

表 3.9 検討結果の概要

単位: m^3

ケース	水量	江戸川区				千代田区			
		0日目	4日目	11日目	21日目	0日目	4日目	11日目	21日目
ケース1	必要水量	8,309	107,348	135,790	186,646	4,633	25,858	41,876	73,572
	供給可能量	11,368	176,498	182,444	190,939	33,986	97,711	99,242	101,430
	不足量	3,059	69,150	46,654	4,293	29,353	71,853	57,366	27,858
ケース2	必要水量	24,772	111,403	139,416	188,460	33,421	29,321	44,619	74,943
	供給可能量	11,368	176,498	182,444	191,494	33,986	97,711	99,242	101,430
	不足量	-13,404	65,095	43,028	3,034	565	68,390	54,623	26,487
ケース3	必要水量	8,269	107,348	135,790	186,646	5,406	25,858	41,876	73,572
	供給可能量	6,121	95,033	182,444	190,939	18,299	52,611	99,242	101,430
	不足量	-2,148	-12,315	46,654	4,293	12,893	26,753	57,366	27,858
ケース4	必要水量	24,772	111,403	139,416	188,460	33,421	29,321	44,619	74,943
	供給可能量	6,121	95,033	182,444	190,939	18,299	52,611	99,242	101,430
	不足量	-18,651	-16,370	43,028	2,479	-15,122	23,290	54,623	26,487

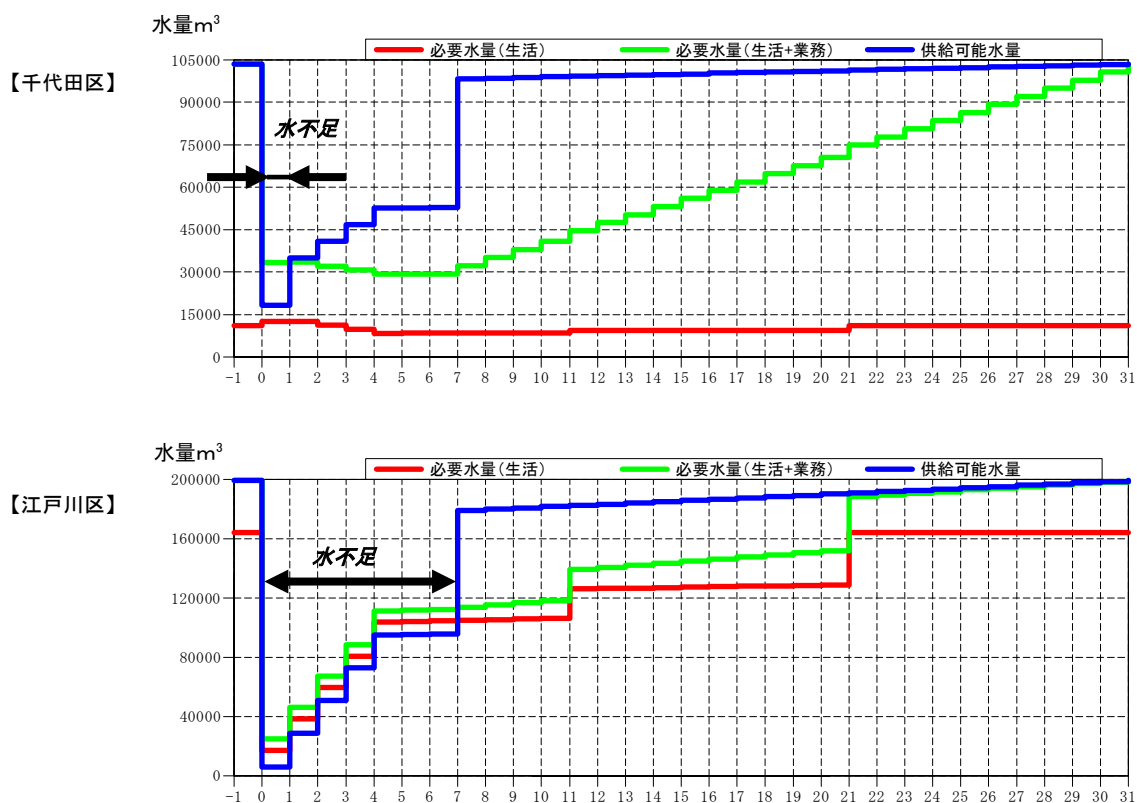


図 3.3 生活用水・業務活動用水不足の一例(ケース4;最も不足する場合)

また、図 3.4 のように避難者数及び帰宅困難者数の分布に偏りが発生するため、同じ区内の全体量は充足しても、局所的に不足が生じる可能性があることが示唆された。

なお、必要水量が確保される場合でも、個々の需要者レベルでみると、局所的に必要な水量が確保できない（需要者末端まで十分な給水ができない）状況があることに注意が必要である。

以上の検討結果から、緊急時においては、利用用途に応じて身近にある代替水源の利用を検討すべきと考えられた。

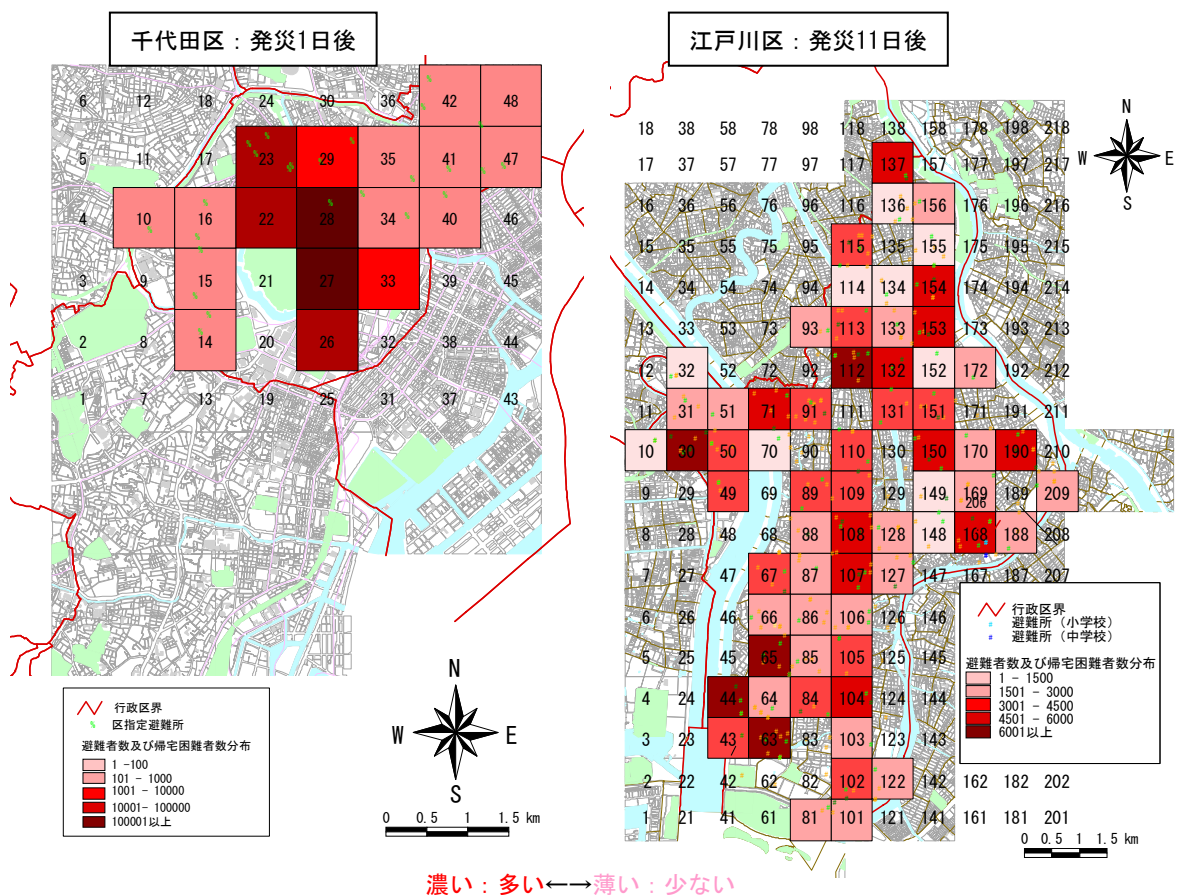


図 3.4 緊急時における避難者数及び帰宅困難者数分布

(2) トイレの不足・使用制限

緊急時トイレの不足について検討を行った結果、図 3.5 のように、江戸川区全域では被災直後から 10 日までは初動対応で充足するが、それ以降の後続対応では局所的に不足する箇所があり、近隣地区から供給される緊急用トイレを再配分する等の対応策が必要と考えられた。千代田区では、避難所生活者分のトイレについては充足しているが、帰宅困難者支援場所に集中する帰宅困難者分のトイレについては著しく不足することとなった。

なお、住宅が被災しない場合でも、水道給水の停止、高層ビルでは上層階への送水

停止等により、トイレが使用不能になる場合や、用水は充足していても下水道施設の被災により、トイレが使用制限される場合が想定され、注意を要する。

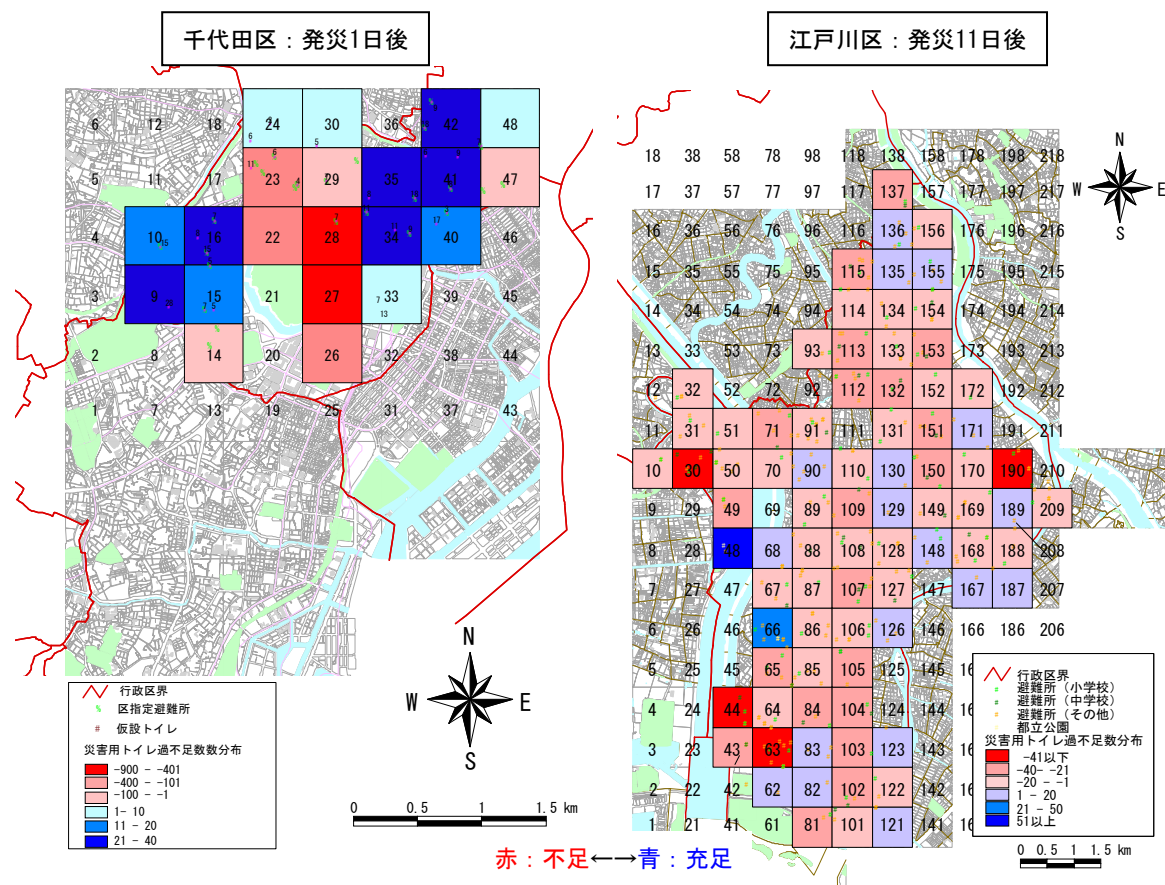


図 3.5 緊急時におけるトイレの充不足分布

(3) その他の影響

a) 地下水への影響

被災により下水道管きょが破損した場合、上流域から流入してくる汚水が下水道管きょから地中に漏水する場合を想定して、その影響範囲を推定計算した。

その結果、地下水中に流出した汚水は、水道施設がおおむね復旧され则认为られる地震発生後の約 10 日間で、下水道管きょの破損箇所等から約数十 m～100m 程度の範囲まで広がるものと推定された。

b) 汚水溢水

被災により下水道管きょが閉塞（破断、土砂の流入）した場合、または、汚水ポンプ場の被災により汚水の揚水が困難となった場合、水道が復旧して数日間～1 週間程度汚水が発生し続けると、図 3.6 のように汚水が地表面に溢水・滞留する可能性が想定された。このような状況下では、病原性微生物による感染症等、住民への健康被害の発生に注意を要する。

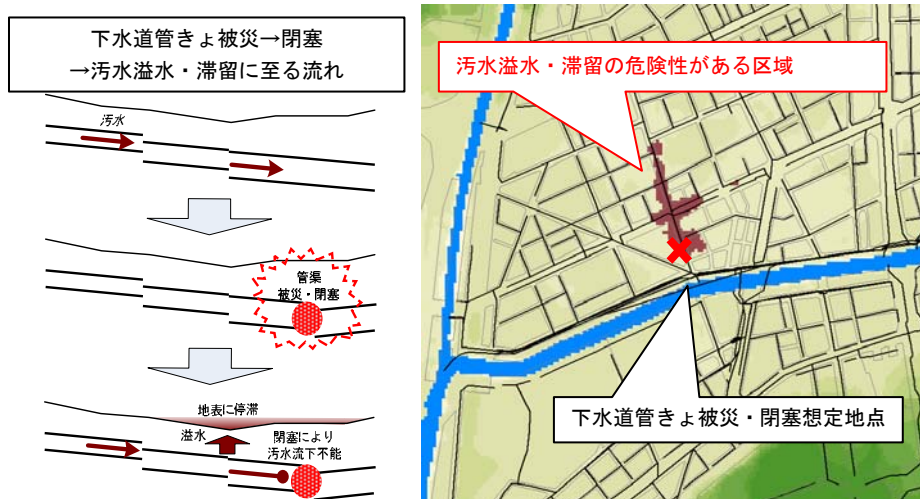


図 3.6 下水道管きよ閉塞による汚水溢水・滞留の発生

c) 防火用水

東京消防庁では震災時の防火用水を確保するため、防火水槽等の計画的な整備を推進しており、江戸川区や千代田区において防火水槽が整備されている。また、各区においては、独自に緊急時の防火水槽や学校のプール等を防火用水として確保している（本ケーススタディにおける防火用水は、各区で整備・確保されている緊急時の防火用水を考慮するものとし、前述の必要水量の想定から除くものとした）。

東京消防庁によれば、図 3.7 のように防火水槽の整備により 250m メッシュを基準とする防火用水の充足率は区部全体で 97%以上とされており、うち千代田区では充足率 100%で不足することはないが、江戸川区では充足率は 96%となっており局所的に不足する可能性がある。さらに、大規模火災への対応として 750m メッシュを基準とした防火用水の充足については、千代田区は充足するが、江戸川区では不足するメッシュが存在するとされており、何らかの水源による防火用水の確保が必要と考えられた。

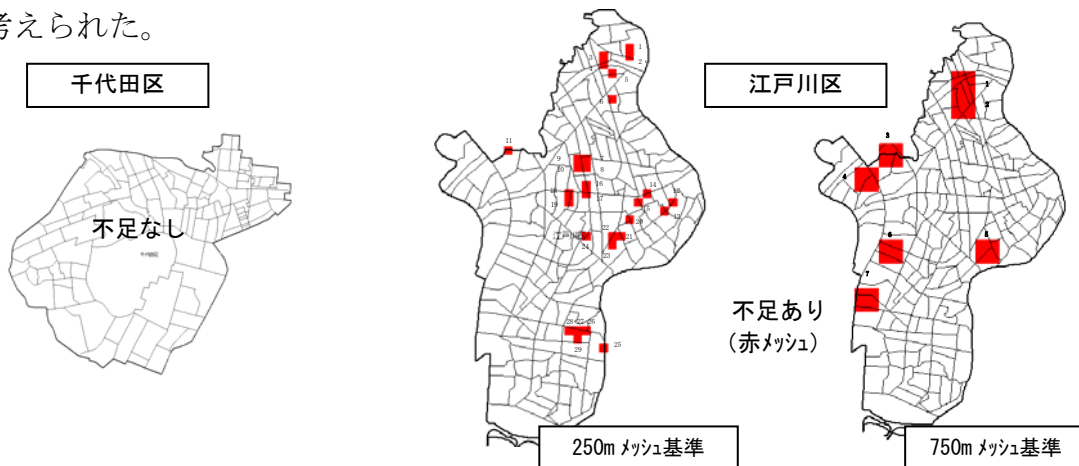


図 3.7 防火用水の充不足分(東京都消防庁資料)

4 淀川水系におけるケーススタディ

淀川水系におけるケーススタディでは、河川の上流に位置する都市において直下型地震の発生により下水道施設に大きな被害を受けた場合、未処理若しくは処理レベルの低い下水、あるいは市内にある事業所の被災により流出した有害物質が、河川を通じて下流に位置する都市にどのようなリスクを発生させる危険性があるかについて、淀川水系をモデル地区として検討を行った。

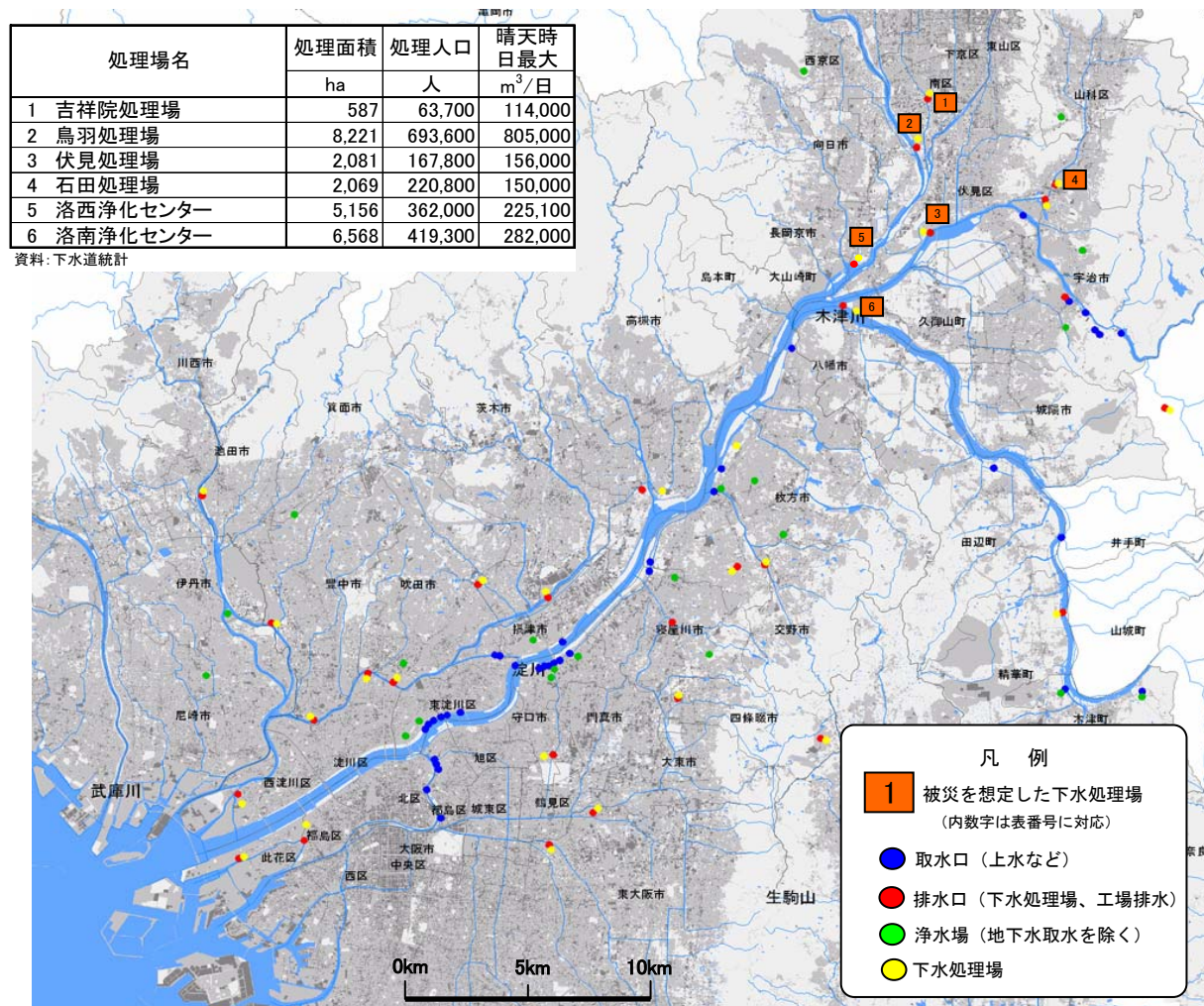


図 4.1 淀川水系ケーススタディ対象地区

4.1 想定した被災状況

対象とした淀川水系の上流域に位置する京都市内に被害を与える地震として、京都府並びに京都市の防災計画を参考に、花折断層地震に匹敵する地震を想定した。

この想定した地震によって、京都市内はほぼ全域で震度 6 強以上の揺れとなり、市内にある下水処理場のうち、規模の大きい鳥羽、吉祥院、伏見、石田、洛西、洛南の各下水処理場と、市内にある工場や事業所が大きな被害を受けるものとした。

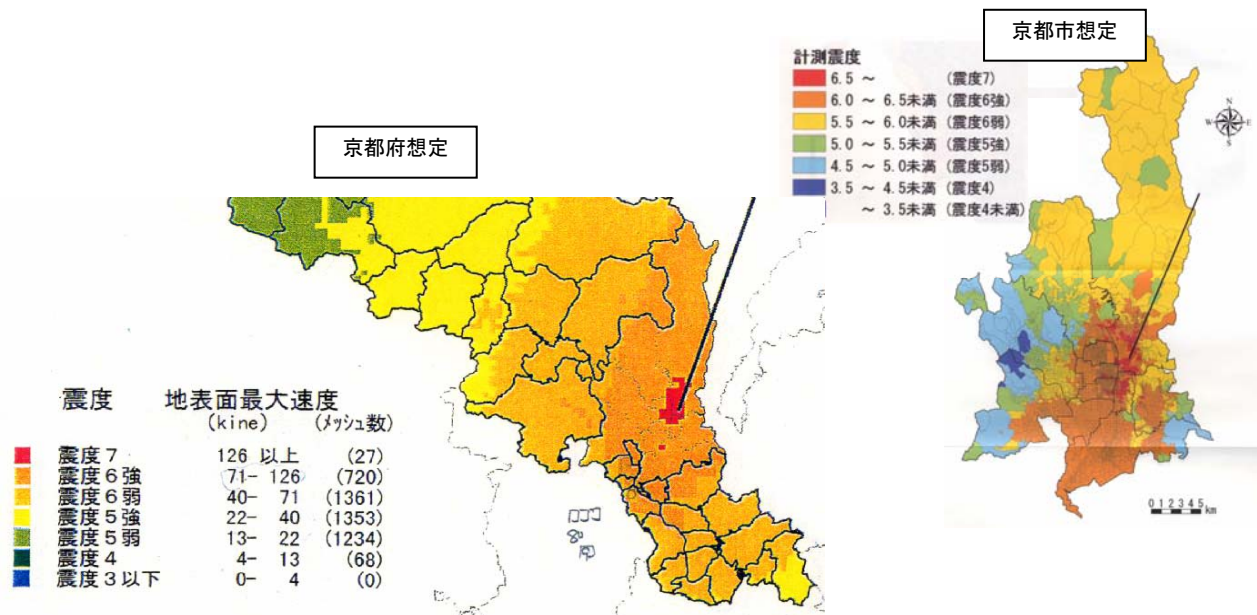


図 4.2 対象地区の想定地震動分布(花折断層地震)

※出典：京都府・京都市地域防災計画

被災した下水処理場の処理機能は、過去の事例（兵庫県南部地震、中越地震）を勘案して、被災直後から3日目まで全く機能せず、4日目から1週間程度は消毒のみ、それ以降は簡易沈殿と消毒による処理が行われ、完全復旧までには100日程度を要するものと想定した。また、工場や事業所では、有害物質の貯蔵施設が被災し、有害物質が溢れ出すものと想定した。

一方、京都市内の水道施設も被災し、「京都市防災水利構想（防災水利構想検討委員会）」に準じて一時的に完全断水（断水率100%）するが、その後徐々に復旧し4日目で断水率75%、45日目で断水率0%すなわち完全復旧するものとした。水道の復旧に伴い処理場に流入してくる下水量は増加するものとし、断水率0%となる45日目では通常時と同量となるものと想定した。

また、地震発生の数日後に雷雨性の降雨（過去5年間の京都市周辺の降雨実績より平均的な降雨として総降雨量25mm、降雨継続時間6hrと想定）が発生し、一時的に下水量が急増し、特に合流区域から流出する汚濁負荷量が増加するとともに（図4.3参照）、被災した工場・事業所内から溢れ出した有害物質が直接河川に流出するものと想定した。

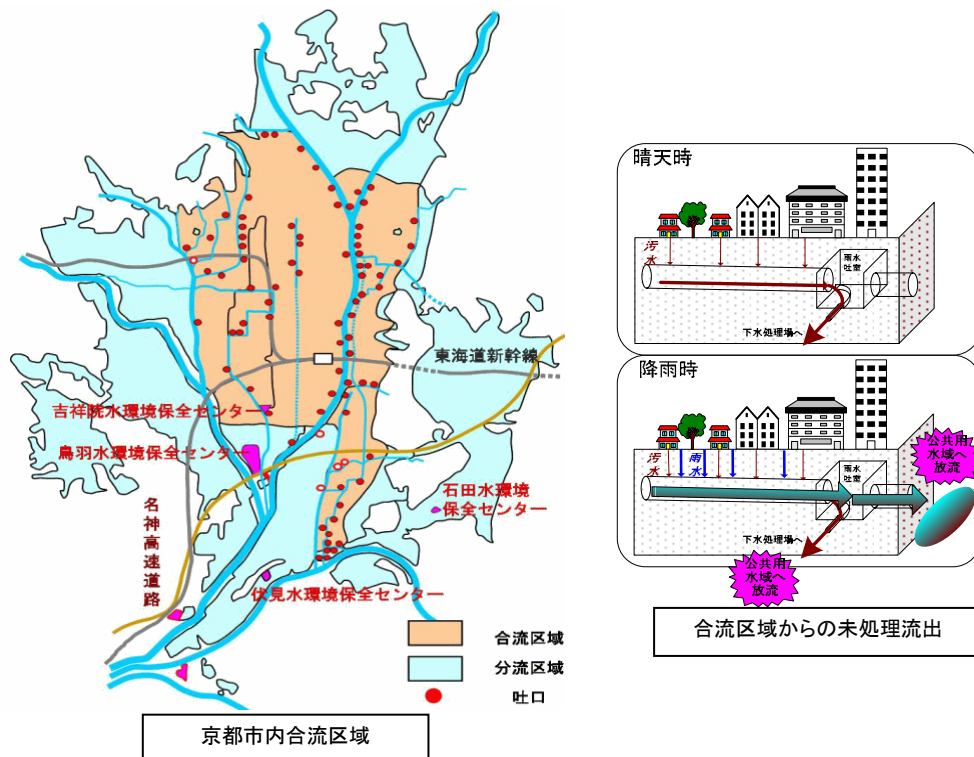


図 4.3 京都市内の合流区域と未処理流出の概念図

上流側で流出した未処理または処理レベルの低い下水処理水、あるいは有害物質の影響は、河川を通じて下流域に伝播することになるが、河川の流量については、微生物の活性が高くなる夏季、河川流量が少なく希釈効果が低下する冬季の流量について検討した。

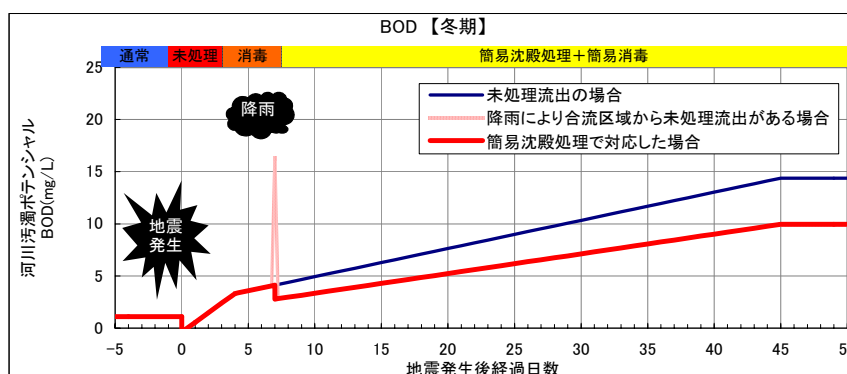
なお、淀川下流域の大阪府では、今回想定した地震により水道施設等の社会基盤施設には甚大な被害はないものと想定した。

4.2 緊急時の河川流出負荷量の想定

(1) 下水処理場の被災に伴い流出する汚濁負荷量

下水処理場が被災し未処理若しくは処理レベルの低い下水処理水が河川へ流出する場合の負荷量を、有機汚濁（BOD、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、病原性微生物（大腸菌群数、クリプトスポリジウム）について試算した。なお、下水流入量、水質は対象処理場の過去5年間の実績値から設定した（ただし、クリプトスポリジウムは文献値を参考に設定）。

試算の結果から、有機汚濁、病原性微生物ともに、水道の復旧に伴って下水流入量が最大となる被災後45日以降で流出負荷量は最大となり、下水処理場の完全復旧まで（発災後100日程度）この状況が続くものと推定された。また、降雨が発生した場合については、合流区域からの堆積物に起因する汚濁負荷量の影響が顕著となり、一時的ではあるが非常に多量の汚濁負荷量が河川へ流出するものと推定された（図4.4参照）。



注)縦軸は、算出された対象区域から発生する全負荷量を河川水量(枚方地点想定水量)で除した値

図 4.4 下水処理場の被災に伴い流出する汚濁負荷量の算出例 (BOD : 冬期)

(2) 工場・事業所の被災に伴う有害物質

本ケーススタディでは、対象地区に存在する事業所のうち水道水質基準に係る有害物質を取り扱う事業所を対象として検討を行った。

工場・事業所における有害物質の貯蔵量は PRTR (Pollutant Release and Transfer Register : 化学物質排出移動量届出制度) 届出資料から推定

し、被災率は京都市防災計画にある家屋の被災率 (0.23) に準じ、流出率は 50%と仮定し、下水処理場の緊急対応による処理効果はないものとして、河川への流出負荷量を算定した。

表 4.1 に示す有害物質の流出ポテンシャルの試算結果から、有害物質の流出により河川水質が水道水質基準を上回る可能性がある項目は多数あったが、下流側浄水場が影響を受ける恐れのあるものとして、黄色ハッチで示すフェノール、鉛(溶解性)、シアン、ヒ素、六価クロム、トルエンの 6 物質を検討対象とした。

表 4.1 工場・事業場の被災に伴う有害物質流出の試算

注)河川水質は、発生する全負荷が流出時間内(降雨継続時間 6hr)に均等に流出すると想定し、この平均流出負荷量を河川水量(枚方地点想定水量)で除した値

第一種指定化学物質名	河川への流出ポテンシャル量			水質基準項目等	
	総量 kg	流出期間内 kg/時間	河川水質 mg/L	判定	mg/L
亜鉛の水溶性化合物	30,392.3	5,065.4	7.7996	×	1
アクリルアミド	12.3	2.0	0.0031	×	0.0005
アンチモン及びその化合物	783.4	130.6	0.2011	×	0.015
4,4'-イソプロピロリデンジフェノール(別名ビスフェノール)	1,082.9	180.5	0.2779	×	0.1
エチレンジアミン四酢酸	214.2	35.7	0.0550	○	0.5
エビクロロヒドリン	5.0	0.8	0.0013	×	0.0004
カドミウム及びその化合物*	21.6	3.6	0.0056	△	0.01
キシレン	2,814.6	469.1	0.7223	×	0.4
6価クロム化合物	950.3	158.4	0.2439	×	0.05
クロロエチレン(別名塩化ビニル)	2.1	0.3	0.0005	○	0.002
クロロ酢酸	1.1	0.2	0.0003	○	0.02
クロロホルム	178.4	29.7	0.0458	△	0.06
無機シアン化合物(錯塩及びシアニドを除く)	462.4	77.1	0.1187	×	0.01
四塩化炭素	0.0	0.0	0.0000	○	0.002
1,4-ジオキサン	40.8	6.8	0.0105	○	0.05
1,2-ジクロロエタン	26.5	4.4	0.0068	×	0.004
1,1-ジクロロエチレン(別名塩化ビニリデン)	101.6	16.9	0.0261	×	0.02
cis-1,2-ジクロロエチレン	0.0	0.0	0.0000	○	0.04
trans-1,2-ジクロロエチレン	0.0	0.0	0.0000	×	0.04
ジクロロメタン(別名塩化メチレン)	915.9	152.6	0.2350	×	0.02
水銀及びその化合物	18.9	3.2	0.0049	×	0.0005
スチレン	5.6	0.9	0.0014	○	0.02
セレン及びその化合物	1,796.9	299.5	0.4611	×	0.01
ダイオキシン類	90.7	15.1	0.0233	○	1
テトラクロロエチレン	180.2	30.0	0.0462	×	0.01
1,1,1-トリクロロエタン	0.0	0.0	0.0000	○	0.3
1,1,2-トリクロロエタン	5.1	0.9	0.0013	○	0.006
トリクロロエチレン	121.9	20.3	0.0313	×	0.03
トリプロモメタン(別名プロモホルム)	0.0	0.0	0.0000	○	0.09
トルエン	7,252.6	1,208.8	1.8613	×	0.2
鉛及びその化合物	35,673.0	6,445.5	9.9247	×	0.01
ニッケル	1,648.7	274.8	0.4231	×	0.01
ノニルフェノール	146.7	24.4	0.0376	○	0.3
バリウム及びその水溶性化合物	41.8	7.0	0.0107	○	0.7
砒素及びその無機化合物	7,565.9	1,261.0	1.9417	×	0.01
フェノール	918.7	153.1	0.2358	×	0.005
フタル酸ジ-n-ブチル	265.5	44.3	0.0681	○	0.2
フタル酸n-ブチルベンジル	30.5	5.1	0.0078	○	0.5
ベンゼン	49.1	8.2	0.0126	×	0.01
ほう素及びその化合物	673.8	112.3	0.1729	○	1
ホルムアルデヒド	42,785.7	7,131.0	10.9802	×	0.08
マンガン及びその化合物	4,094.0	682.3	1.0506	×	0.01
モリブデン及びその化合物	92.1	15.3	0.0236	○	0.07

■対象河川流量 649.44 千 m^3 /時間 180.4 m^3 /秒
 ■判定 ○: 河川水質>水道水質基準
 △: 河川水質>水道水質基準/2
 ×: 河川水質<水道水質基準

4.3 緊急時における河川水質の悪化

前述のように算出された汚濁負荷及び有害物質が河川へ流出し、下流側の水道取水地点に到達するまでの時系列変化を把握するため、一次元不定流計算を用いて河川水質を計算した。なお、下水処理場に流入する汚濁負荷については、下水処理場の復旧状況に応じて設定した除去率を考慮して、河川への流出負荷量を算出した（図 4.5 参照）。

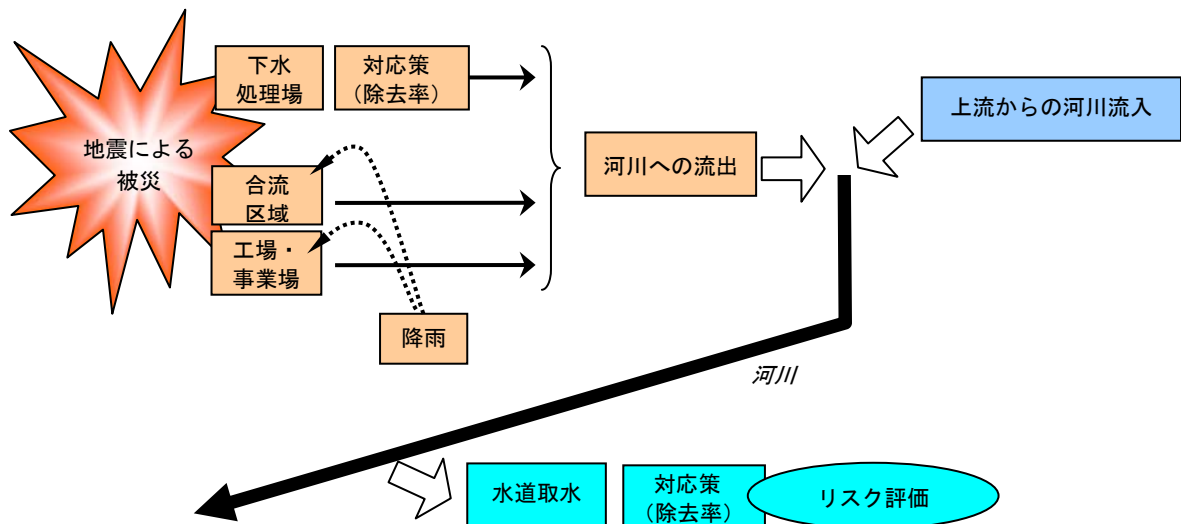


図 4.5 河川流出・水質計算方法と影響評価

検討では、被災時期（夏季・冬季）、被災後の復旧、降雨発生の有無等についてケースを想定し、水質項目ごとに河川の各地点の水質の時間変動を算定した。その結果、「被災後 7 日目に降雨が発生し、合流区域からの未処理流出が発生したケース」において、一時的ではあるが最も河川水質が悪化することが把握できた。計算の一例として、冬季における BOD の計算結果を図 4.6 に示した（計算の想定条件は以下のとおり）。

【流出負荷量】

①下水処理場からの流出

- 対象処理場：鳥羽、吉祥院、伏見、石田、洛西、洛南の 6 下水処理場
- 想定下水量：被災後 7 日目に発生すると想定した下水量（現況の 30%）が下水処理場に流入
- 想定負荷量：上記流入下水量に実績水質を乗じて算出
- 処理の状況：処理場は緊急対処として消毒のみを行うものと想定し、十分に処理されない状態で河川へ流出

②合流区域からの流出

- 対象区域：京都市内の合流区域（約 6,000ha）
- 想定負荷量：合流区域内に汚濁物質の 1 日発生量の半分が堆積し、降雨（総降雨量 25mm、6 時間継続）の発生により堆積物全量が流出
- 処理の状況：合流区域の雨水吐きから未処理で流出

③工場・事業場からの流出

- 対象区域：上記対象 6 処理場の処理区域が存在する市町（京都市、宇治市、城陽市、向日

市、長岡京市、八幡市、京田辺市、大山崎町、久御山町)

- 想定負荷量：対象区域内の有害物質は、PRTR 届出資料に基づいて年間排出量算定し、これを平均排出係数で除して年間取扱量を算出。在庫入れ替え期間を 2 週間と想定して年間取扱量から貯蔵量を算出。②と同様の降雨の発生により、貯蔵量×被災率（＝0.23；京都市防災計画を参考）×流出率（50%）で算出される有害物質が流出
- 処理の状況：河川へ未処理で流出

【河川水質計算】

- 計算対象・方法：対象処理場位置から淀川河口までを一次元不定流計算
- 汚濁負荷量：前述の流出負荷量を代表される河川流出地点に入力
- 河川水量：流出負荷量算定時の下水流量、降雨流出量と基底流量（淀川枚方地点流量実績より 12～2 月の冬季平均流量 $141.6\text{m}^3/\text{s}$ ）を入力

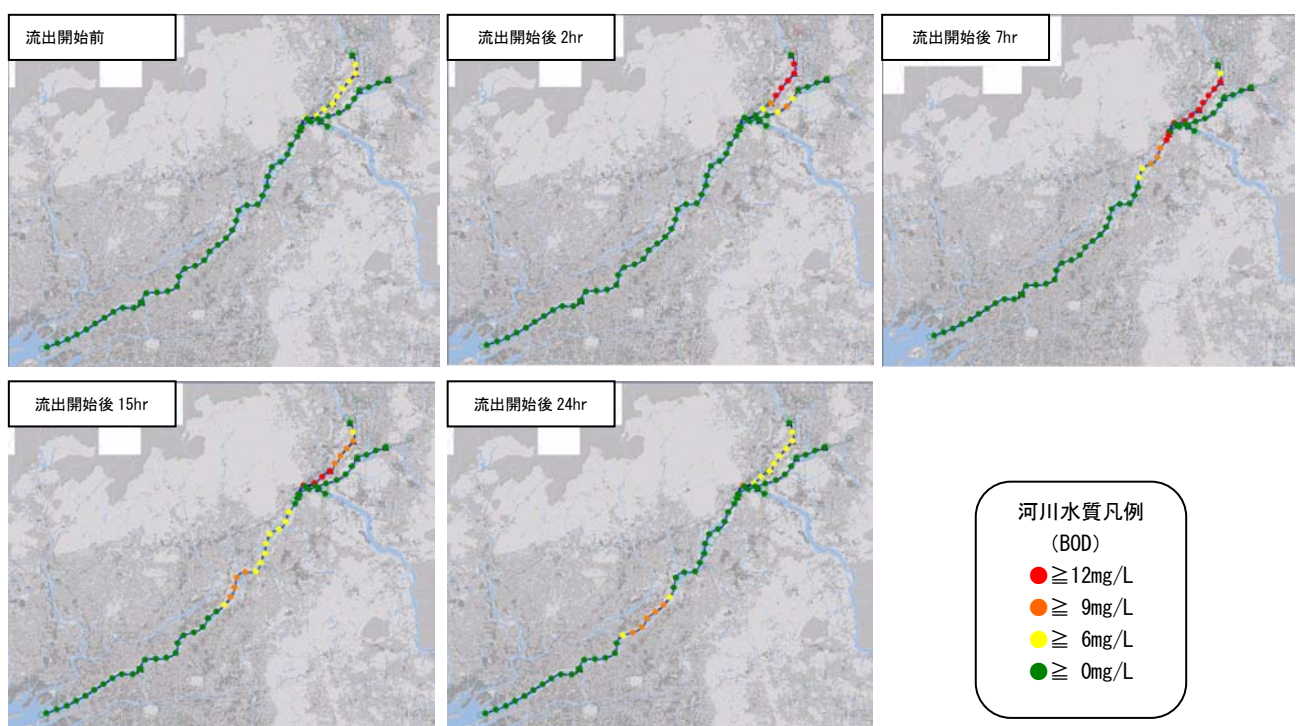


図 4.6 河川水質計算結果例(BOD: 冬期)

注) 上記は、被災後 7 日目に降雨が発生し、合流区域からの未処理流出が発生した場合の計算例

4.4 下流側浄水場への影響

前述の上流域下水処理場や工場・事業所の被災に起因する河川水質の悪化時に対し、下流側浄水場への影響と想定される水質リスクへの対応が可能であるか否かについて検討を行った。

(1) 検討対象とする物質

上流域からの汚濁負荷・有害物質の流出に伴う河川水質計算結果を踏まえ、浄水場が影響を受ける物質として、次の 10 物質について検討を行った。

- 有機汚濁 : BOD ----- 水中の有機物の総合指標

- アンモニア態窒素----- 排水等に由来し塩素処理に影響
- 病原性微生物 : 大腸菌群※ ----- 糞便汚染の指標
クリプトスポリジウム ----- 水系感染症の病原体
 - 臭気物質 : フェノール ----- 塩素処理過程で強い臭気を発生
 - 重金属・化学物質：鉛（溶解性） ----- 慢性・急性中毒
シアン ----- 急性中毒
ヒ素 ----- 急性・慢性中毒
六価クロム ----- 急性・慢性中毒
 - 油 : トルエン ----- 石油成分の一つで代表的な有機溶剤
- ※水道水質基準では大腸菌を対象としているが、河川水質予測において大腸菌群を対象としたことから、ここでは大腸菌群について検討した。

(2) 浄水処理への影響の検討条件・方法

淀川を水源とする浄水場のうち、検討対象となる3事業体（大阪府水道部、大阪市水道局、阪神水道企業団）では、全て高度浄水処理（オゾン＋活性炭）を導入しているが、導入の有無による効果の違いを検証するため、以下の2つの浄水処理方法について検討した。

- 通常処理 : 凝集沈澱＋急速ろ過＋塩素消毒
- 高度浄水処理：凝集沈澱＋急速ろ過＋オゾン＋活性炭（粒状）＋塩素消毒

各物質に対する浄水処理の除去率は、次表のとおりと想定した。

表 4.2 想定した浄水処理の平均除去率

分 類	物 質	平均除去率
有機汚濁	BOD	75% (TOC として)
	アンモニア態窒素	100%
病原性微生物	大腸菌群	100%
	クリプトスポリジウム	高度浄水処理 7LOG (99.99999%) 通常処理 3LOG (99.9%)
臭気物質	フェノール	90%
重金属 化学物質	鉛（溶解性）	70%
	シアン	80%
	ヒ素	90%
	六価クロム	20%
油	トルエン	90%

注) クリプトスポリジウムの除去率は高度浄水処理と通常処理のそれぞれに設定。その他の物質については高度浄水処理と通常処理とも同じ除去率とした。

また、原水水質悪化時において、浄水場では次図に示すとおり濃度の時系列変化に応じて①～⑤の方策を組合せて対応を図るものと仮定した。

- ① 通常の浄水処理による対応
- ② 通常の処理に粉末活性炭の注入を付加して対応
- ③ 取水量（処理水量）を通常時よりも減らし、処理性能を向上させることで対応
- ④ 取水停止により対応（配水池容量から最大12時間程度）

⑤ 給水停止（12 時間以上の取水停止の場合）

浄水が水道水質基準値を超過すると予測される場合、浄水場では対応が困難（浄水処理不能）となることから、取水を停止するものとした。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（水道施設設計指針・解説；日本水道協会）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、浄水場からの送配水が困難となり、給水停止に至ると仮定した（図 4.7 参照）。

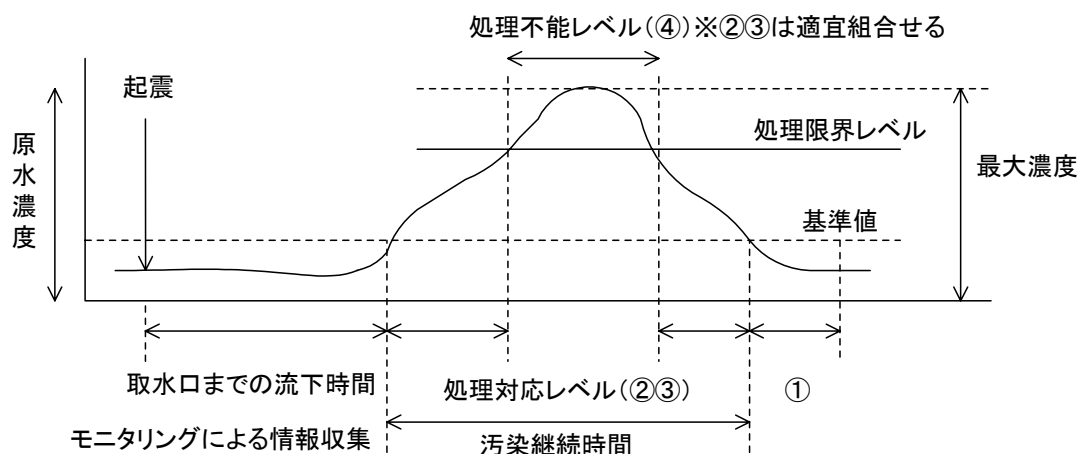


図 4.7 原水水質悪化時における浄水場での対応方法

(3) 検討結果

緊急時の河川水質試算結果に基づき、浄水処理における除去率を適用して浄水水質を算出し、水道水質基準との比較を行った結果、表 4.2 に示すようにクリプトスポリジウム（通常処理による場合）、鉛、ヒ素、フェノール、六価クロム、シアンについては、取水または給水を停止する必要があると考えられた。また、下流に取水位置があるほど、取水または給水停止時間が長くなると予測された。なお、高度浄水処理を行う場合のクリプトスポリジウムについては、特に問題はない。

表 4.3 緊急時の河川水質試算結果に基づく水道施設への影響

水質項目	34K地点		17K地点		11K地点		浄水処理への影響	
	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	取水停止のみ	取水停止+給水停止
クリプトスポリジウム (3LOG除去(通常処理))	72.0<	72.0<	72.0<	72.0<	72.0<	72.0<		○
鉛	19.3	15.9	29.1	23.2	35.8	27.8		○
ヒ素	14.5	12.6	23.7	19.3	29.8	23.5		○
フェノール	8.7	8.0	12.9	10.9	11.9	10.8	○	○
六価クロム	8.2	7.5	13.2	10.8	15.1	12.3	○	○
シアン	5.7	5.3	3.6	2.6	0.0	0.0	○	
アンモニア性窒素	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
大腸菌群	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
クリプトスポリジウム (7LOG除去(高度浄水処理))	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
トルエン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
BOD	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

	取水停止+給水停止	処理不能時間:12時間<
	取水停止のみ	処理不能時間:0時間<X≤12時間
	影響なし	処理不能時間:0時間

※注1 配水地容量から最大12時間程度までは取水停止しても供給可能
12時間程度以上は給水停止

※注2 表中の34、17、11km地点は、淀川河口からの距離を示し、各水道取水地点の近傍

※注3 各水質項目ごとの浄水処理除去率は、クリプトスポリジウムを除いて、通常処理・高度浄水処理とも共通

4.5 病原性微生物の感染リスクに関する検討

(1) 想定するシナリオ

近年の我が国における病原性微生物による大規模な感染事例として、平成8年夏季に発生した埼玉県越生町のクリプトスポリジウムによる感染（有症者約8,000人）が知られている。

本検討においても、地震により下水道施設が被災して機能不全低下した場合のクリプトスポリジウムによる感染リスクについて、次のシナリオを想定し、淀川下流の水道施設への影響を検討した。なお、本検討においては、大津市内に位置する大津市水再生センター及び滋賀県湖西浄化センターも被災し、下水処理機能が低下しているものと想定した。

i)シナリオ-1：地震発生による被災から水道の復旧に伴い発生する汚水が京都市及びその周辺で溢水し（図4.9参照）、不衛生な状況下でクリプトスポリジウム感染者が地震発生10日後に発生

ii)シナリオ-2：シナリオ-1の感染者が上流の大津市へ往来し、大津市でクリプトス

ポリジウムが排出されて琵琶湖が汚染され、琵琶湖疏水を経て京都市浄水場で取水、感染者が発生（埼玉県越生町で発生した状況を想定）

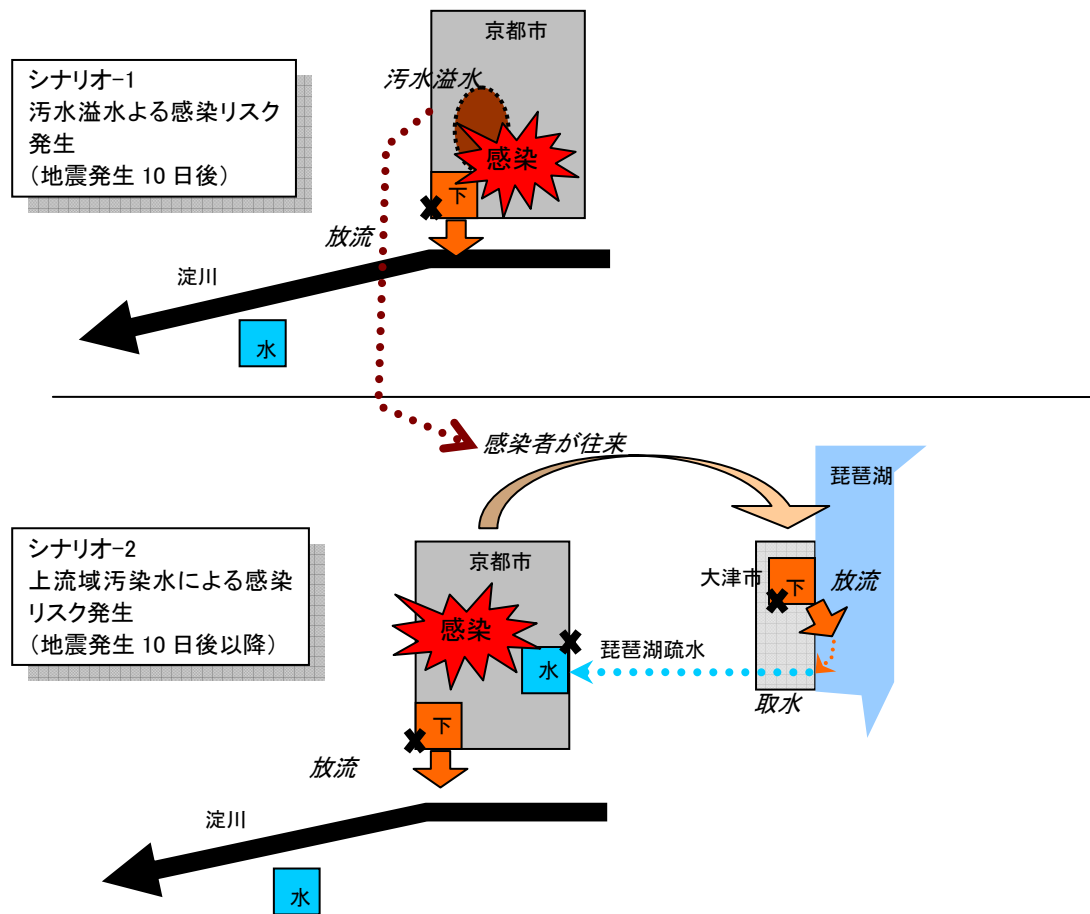


図 4.8 病原微生物の感染リスクに関する検討シナリオ

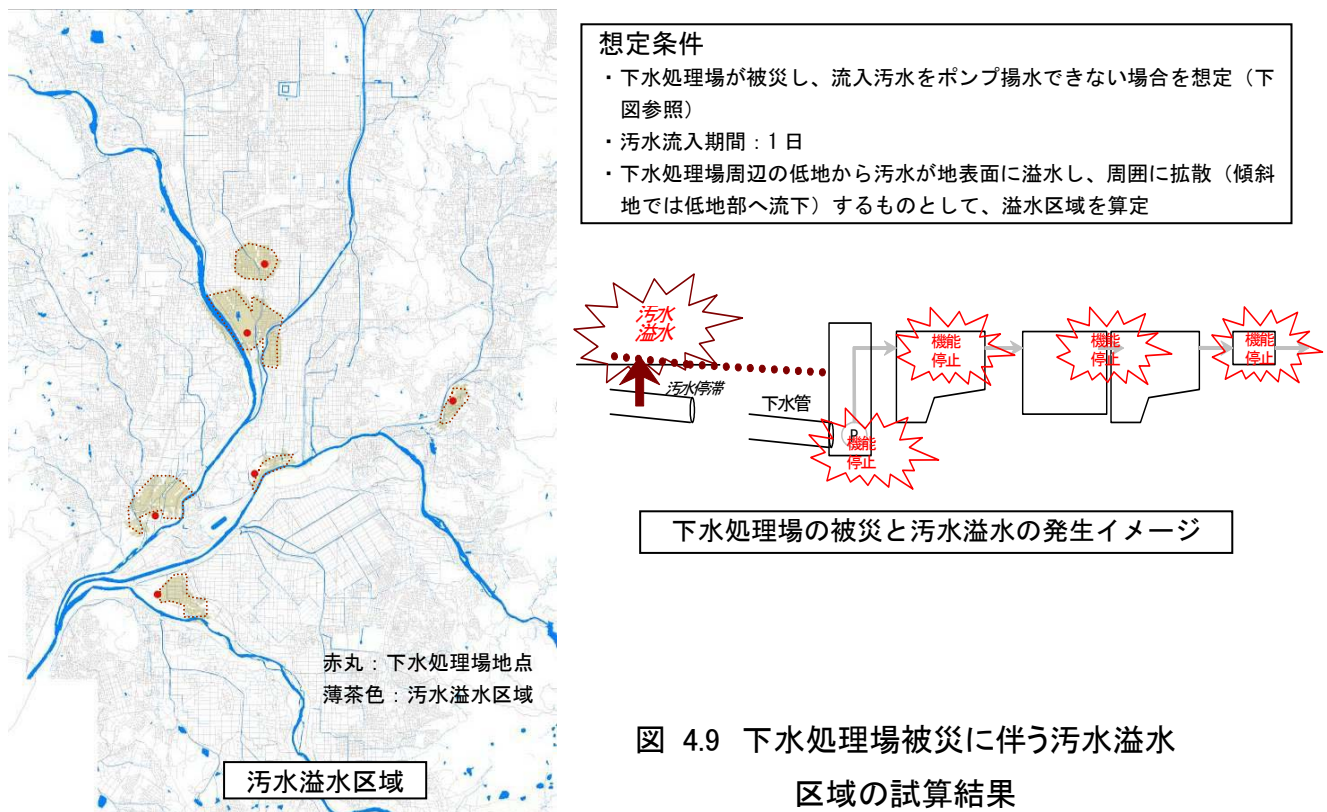


図 4.9 下水処理場被災に伴う汚水溢水区域の試算結果

(2) 検討結果

シナリオ-1 では、流出先河川のクリプトスポリジウム濃度は大幅に上昇するが、下流域の水道は高度浄水処理を採用しているため、水道水飲用により重大な感染リスクの発生には至らない。

しかし、シナリオ-2 で想定するように、感染者が上流域に移動し、新たな感染の原因になると、感染者は指数的に増加する。その結果、流出先河川のクリプトスポリジウム濃度は徐々に増加し、下流域の水道が高度浄水処理を採用していても、何らかの要因で除去率が低下した場合、下流域で大きな感染リスクの発生が危惧された。

なお、以下に想定した検討条件と結果を示すが、本検討はいくつもの仮定をおいた上で実施しているものであり、ここから導き出された感染リスク等の数値も仮定に基づく試算結果であることに留意する必要がある。

i) シナリオ-1

【想定条件】

- ① 京都府流域・京都市の下水処理場・ポンプ施設が地震により被災し、機能停止。地震発生後、汚水が増加・溢水して地表を汚濁（汚濁区域は全処理区域の5%）
- ② 汚濁物に住民が接触。接触する住民数は、汚濁区域定住者 10 万人（＝200 万人×5%）、汚濁区域通過者 10 万人、計 20 万人

- ③ 汚濁物に接触した人は1日10mgの汚濁物固形分を3日間摂取するものと想定。総摂取量は30mg (=10mg/日×3日)
- ④ 摂取した汚濁物中のクリプトスポリジウムにより感染者が発生(汚濁物中のクリプトスポリジウム100個/L、汚水のSSを100mg/Lとして $30\text{mg} \times 100\text{個/L} \div 100\text{mg/L} = 30\text{個}$)。次の用量反応モデル(HAASの式)により総感染者数:23,600人=20万人 $\times 1.18 \times 10^{-1}$
- ・ $P = 1 - \exp(-N/k)$ P:感染確率、N:摂取個数、k:238.61(定数)
 $= 1 - \exp(-30/238.61) = 1.18 \times 10^{-1}$
- ⑤ 下水処理場に感染者から発生するクリプトスポリジウムが流入。感染者1人から10億個/人・日のクリプトスポリジウムが発生 2.36×10^{13} 個/日(= 2.36×10^4 人 $\times 10^9$ 個/人)、汚水中に含まれるクリプトスポリジウム 3.65×10^{10} 個/日(= $1,215,400\text{m}^3/\text{日} \times (1-0.7) \times 100\text{個/L}$;地震発生後10日後の発生汚水(断水率0.7)に含まれる個数として算出)
- ⑥ 下水処理場に流入したクリプトスポリジウムは除去されず淀川へ流出(下水処理場は緊急的な簡易処理のみと想定)
- ⑦ 淀川下流の水道施設に感染リスクが発生。河川に流入するクリプトスポリジウム個数合計= 2.36×10^{13} 個+ 3.65×10^{10} 個= 2.36×10^{13} 個/日。淀川下流(枚方地点)水質は夏期淀川流量 $180.4\text{m}^3/\text{s}$ として 2.36×10^{13} 個/日 $\div 180.4\text{m}^3/\text{s} = 1,514$ 個/L
- ⑧ 淀川下流の水道施設に感染リスク発生。高濃度クリプトスポリジウムを含有する淀川から5日連続して取水・給水するものと想定。水道取水原水濃度1,514個/L、浄水処理除去率7Log、6Logとしての感染確率を算定(図4.10)
- ・ 浄水処理除去率7Logの場合:-5.2Log(16万人に1人感染)
 - ・ 浄水処理除去率6Logの場合:-4.2Log(1.6万人に1人感染)

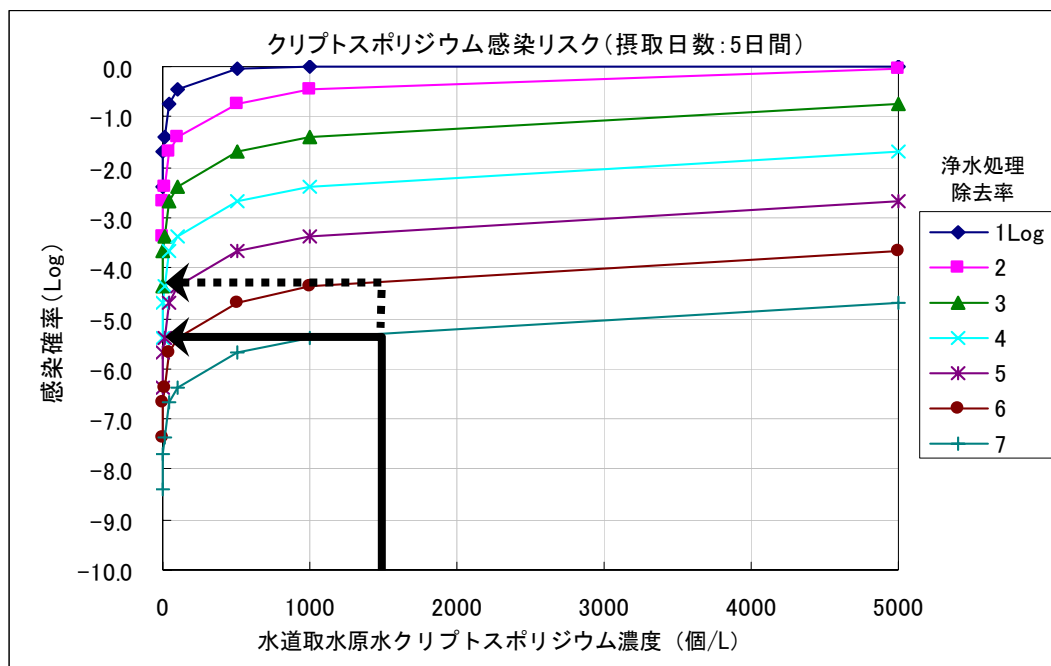


図 4.10 シナリオ-1 における病原微生物の感染リスクの試算結果

ii) シナリオ-2

- ① 想定した地震により、大津市内の滋賀県湖西浄化センターと大津市水再生センターの2箇所の下水処理場が被災し、緊急的な簡易処理の状況が20日程度継続すると想定
- ② シナリオ-1で想定した京都府流域・京都市内の汚水溢水によるクリプトスポリジウム感染者(地震発生から10日目に発生;23,600人)が一時避難・復旧支援等で京都市と大津市を往来

(京都市から滋賀県南部パーソントリップ調査を参考に往来者 5 万人と想定。クリプトスポリジウム感染者の往来者数は、京都市全人口 140 万人と全往来者 5 万人の比率に応じて 843 人 ($=5 \text{ 万人} / 140 \text{ 万人} \times 23,600 \text{ 人}$) と想定

- ③ クリプトスポリジウム感染者が大津市内のトイレ等で下水にクリプトスポリジウムを排出。感染者 1 人から 10 億個/人・日のクリプトスポリジウムが発生し、下水処理場へ流入
- ④ 被災した下水処理場から琵琶湖へクリプトスポリジウムが未処理で流出
- ⑤ クリプトスポリジウムによる汚染水が琵琶湖を拡散し (ジョセフ・センドナー式による概略計算)、京都市水道の原水である琵琶湖疏水に流入
- ⑥ クリプトスポリジウムによる汚染水を京都市水道で取水・給水し、クリプトスポリジウム感染者が発生。京都市浄水処理によるクリプトスポリジウム除去率 3Log であるが、地震による被災で 2Log に低下するものと想定。感染者は、用量反応モデル (HAAS の式) により算定

※新たな感染者数が加わり、大津市への往来者数が増加→大津市内でクリプトスポリジウムを排出する悪循環に陥る

- ⑦ 京都市内の感染者から発生したクリプトが下水処理場へ流入し、シナリオ-1 と同様に未処理で淀川へ流出。水道取水地点の淀川水質はシナリオ-1 と同様に算定

※琵琶湖の汚染水によるクリプトスポリジウム感染者が増大に伴い、クリプトスポリジウムの流出量も相乗的に増加

- ⑧ 淀川下流の水道施設に感染リスク発生。浄水処理除去率 7Log、6Log としての感染確率を算定 (図 4.11)

- ・浄水処理除去率 7Log の場合：地震発生後 20 日目 (クリプトスポリジウム感染発生から 10 日目) で-4.9Log (8 万人に 1 人感染)
- ・浄水処理除去率 6Log の場合：地震発生後 17 日目 (クリプトスポリジウム感染発生から 7 日目) で-4.0Log (1 万人に 1 人感染) を超過、地震発生後 20 日目 (クリプトスポリジウム感染発生から 10 日目) で-3.9Log (0.8 万人に 1 人感染)

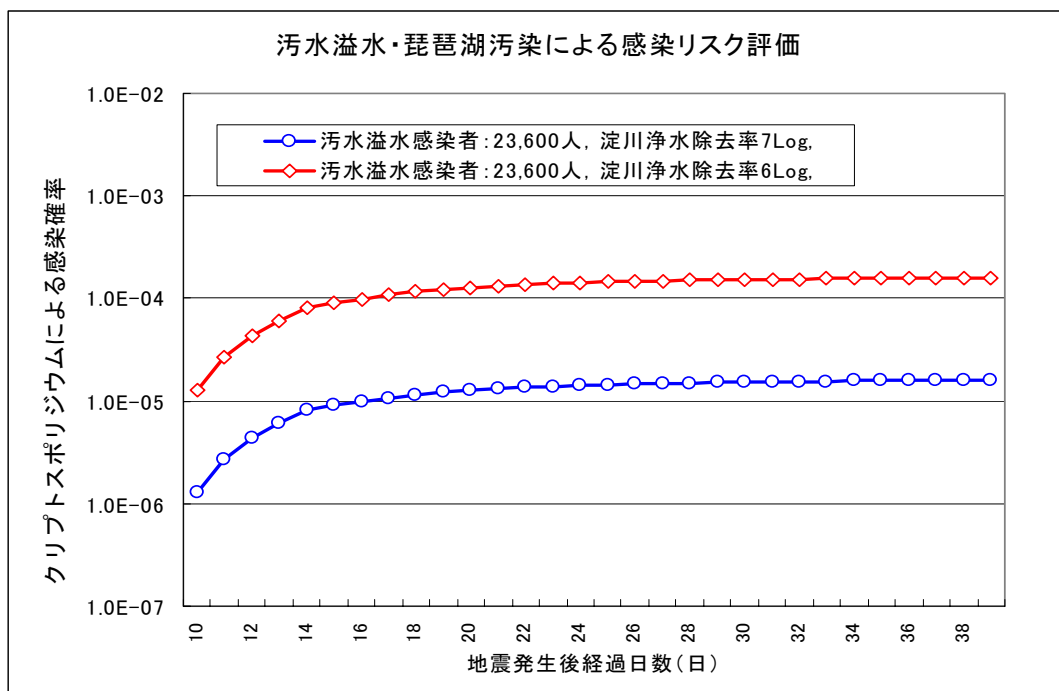


図 4.11 シナリオ-2 における病原微生物の感染リスクの試算結果

性がある。

(2) トイレの不足・使用制限

発災直後には、避難者が集中する避難所や帰宅困難者が多量に発生する地区において、緊急トイレの不足が想定される。

また、発災後、水道施設が復旧した状況下において、水洗トイレ用水の確保ができて、下水道施設の復旧が遅れる場合は、トイレの使用制限が発生する可能性がある。

(3) 都市内で発生する人々の健康被害

下水道管きょが被災した場合、水道が復旧して数日間～1 週間程度汚水が発生し続けると、汚水が地表面に溢水し滞留する可能性が想定され、このような状況下では、病原性微生物による感染症等、住民への健康被害の発生が懸念される。

さらに、病原性微生物の感染者が水系の上流側に移動した場合、感染者から病原性微生物が排出されて上流側の公共用水域の水質が汚染される可能性があり、この汚染された水が流下し下流側水道施設で取水、給水された場合、さらなる感染者の増大を招くことが懸念される。

5.2 流域内における水系リスク

(1) 下流側都市での水不足

(有機汚濁・病原性微生物に関して)

上流域の下水道施設が被災して機能不全または機能低下に陥った場合、水道施設の復旧に伴って下水量が増加する時期から、河川等公共用水域に未処理または処理レベルの低い汚水が流出する。これにより河川水質の悪化は、下水道施設が完全に復旧するまでの相当の期間継続するため、下流側都市の水道施設浄水能力が低下して給水が困難に陥った場合は、水不足が発生し都市活動に影響を及ぼすことが想定される。

また、河川水質の悪化が相当期間継続すると、浄水処理に用いる塩素の備蓄が不足する可能性にも留意する必要がある。

(有害物質に関して)

工場・事業所が被災した場合、貯蔵されている有害物質の流出が懸念される。特に、発災直後に降雨が発生すると、汚濁物質や有害物質が一気に公共用水域に流出し、流出先河川の水質が極めて悪化する。ただし、河川水質の悪化は一時的であるため、水道施設の給水停止に至る可能性は低いと予想される。

(2) 下流側都市における人々の健康被害

(有機汚濁・病原性微生物に関して)

上流域の下水処理場からの未処理下水の流出に伴う有機汚濁や病原性微生物の流出により、下流側都市の水道の取水が停止され、それが長引いた場合には給水停止に陥

る可能性がある。特に病原性微生物に関しては、感染者の移動によって、上流域の都市で感染者が相乗的に増加し、下流域都市の公衆衛生上のリスクが増大する可能性がある。

水道施設が高度浄水処理を実施していない場合には、このリスクはさらに高いものとなる。

(有害物質に関して)

工場・事業所等からの油や重金属等の有害物質の流出による河川水質の悪化は一時的であるものの、仮に誤って汚染水を取水し十分な浄水処理が出来ない状態で給水した場合、住民への健康被害が発生するリスクが高まる。

上記の水系リスクについては、流域内のどこで発生する可能性が高いかを把握し、どこで対応策を実施するかを事前に把握しておくことが重要である。

5.3 その他の影響

上記のような「水不足・トイレ問題・健康被害」など、水に関して発生するリスクは間接的に正常な都市活動に障害を与え、被災地区の地場産業や観光等に広く影響を及ぼすことが懸念される。

6 リスクを回避・低減するための施策と課題

大規模地震に伴い発生することが想定される水に関するリスクを回避、またはその被害を低減するための施策を以下に示す。

6.1 対応策のメニュー

大規模地震により発生するリスクへの対応策としては、被災した都市内で発生するリスクに対応するもの（図 6.1）と流域内の下流側都市で発生する水系リスクに対応するもの（図 6.2）が考えられる。

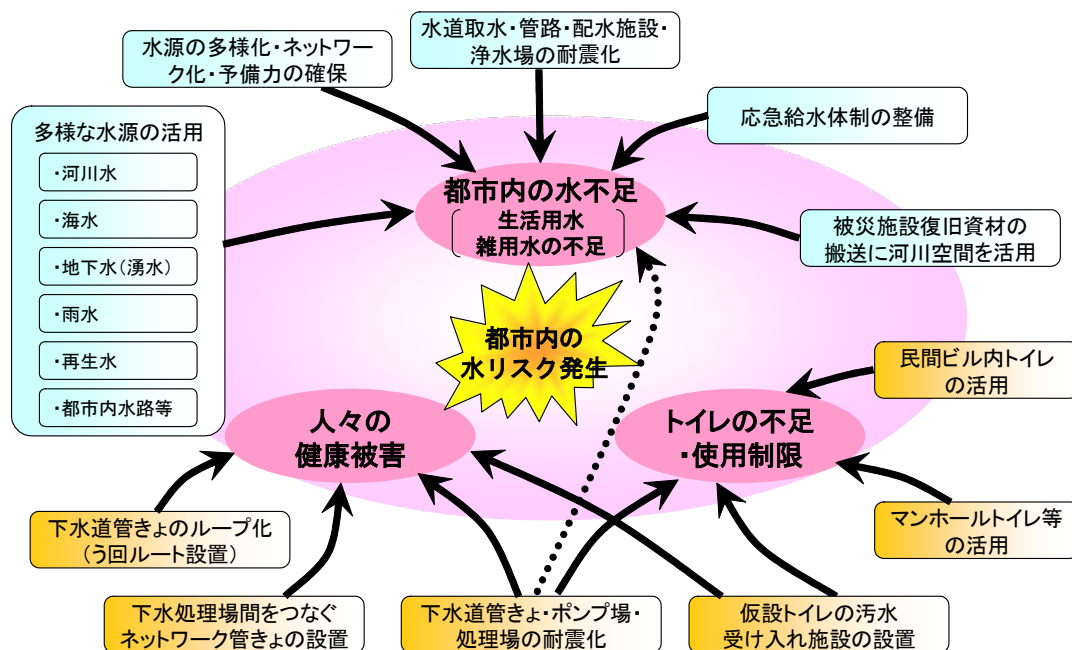


図 6.1 「都市内の水リスク」の対応策

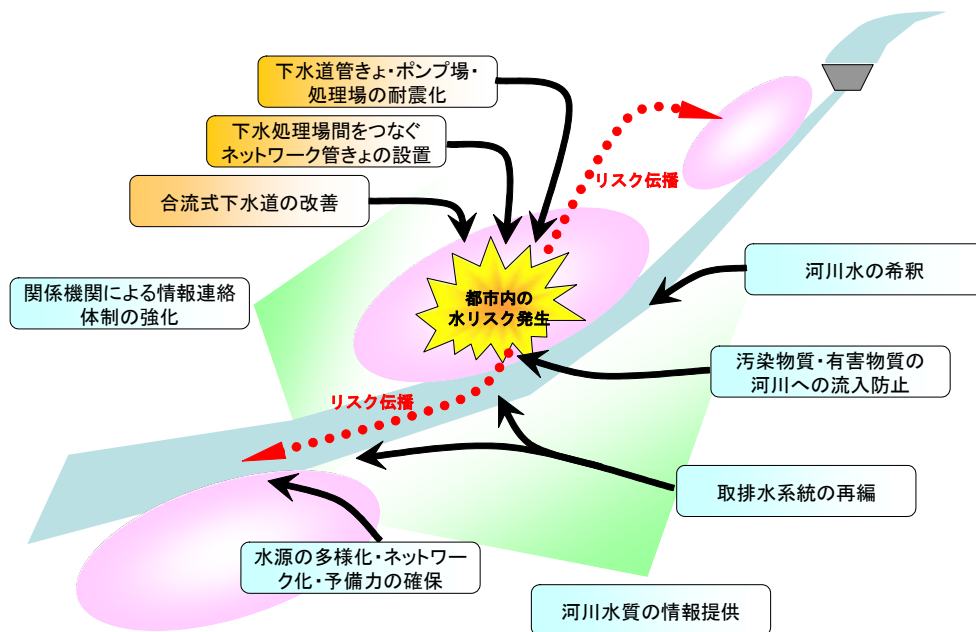


図 6.2 「流域内における水系リスク」の対応策

これらの各対応策は、その発生する場所と影響を及ぼす範囲に配慮して、目的に応じて適切に実施することが重要である。

6.2 具体的な対応策

(1) 都市内の水不足への対応策

【病院、避難所等の重要拠点につながる管路や施設の耐震化】

市民生活や都市活動に必要な水を供給する水道と、それに加えて使用後の水を受け止める下水道施設においては、浄水場並びに下水処理場の耐震化はもとより水道管路並びに下水道管きよの耐震化を図ることが必要である。

特に、緊急時において、病院、避難所等の重要拠点につながる水道管路を優先的に耐震化することで断水被害を防止し、水道の給水を継続して断水による医療活動等の停滞を防止するとともに、病院、避難所等の重要拠点につながる下水道管きよの耐震化を行い、汚水排除機能を確保することが重要である。

【水源の多様化、ネットワーク化・ブロック化、予備力の確保】

水道施設においては、水源を多様化して一つの水源が支障をきたしても他の水源を活用する方策や、幹線のネットワーク化・給水ブロック化を図って一つの系統に支障があっても他の系統を代替して運用する施策が必要である。なお、隣接水道事業との緊急時連絡管の整備も有効である。浄水場においては、予備力を確保して、一つの浄水場が供給停止になっても、この予備力で供給量を補完することが必要である。

【応急給水体制の整備】

緊急時の水道の停止に備えて、配水池の増設等により、バランスのとれた給水・配水拠点を増強するとともに、応急給水や応急復旧に係る応急活動基地として必要となる設備をこれらの拠点に併設し、事後対策の充実を図る。また、重要施設等が断水した場合には、これらの拠点を給水基地として給水車等による運搬給水を優先的に実施することが必要である。

【多様な水源の活用】

緊急時の火災発生や避難者・帰宅困難者等の水の利用に支障をきたさないように、水道以外に河川水・海水・地下水（湧水）・雨水・再生水・都市内水路を流れる水・下水処理水・民間ビル内の備蓄水（受水タンク、プール）等を水源として、防火用水、生活雑用水に利用する施策を検討する必要がある。

- 地下水（井戸・湧水等）・雨水の活用**: 災害対策用の井戸の整備や民間井戸使用の協力体制の構築や地下鉄トンネル内の湧水等も水源としての活用、業務ビル等に雨水貯留施設を設置し、

通常時とともに緊急時にも雑用水として利用する方策

- **河川水や海水の活用**: 地震発生直後に発生する火災に対する防火用水の水源として河川水または海水の活用
- **都市内水路水や再生水等の活用**: 都市内に水路を復活させ、通常時にアメニティの創出とともに緊急時に水路内を流れる水を雑用水や防火用水に活用（水路水の水源としては、河川水の他に下水処理水を高度処理した再生水を活用）
- **民間ビル内の備蓄水の活用**: 業務集積地における民間ビルの受水槽、高架タンクやプール等の備蓄水を活用

【その他】

緊急時の水不足の回避・低減のみならず、被災施設の復旧も視野に入れて、水を含む施設復旧資材の搬送に緊急交通路とのネットワークを踏まえながら、河川空間を活用する施策の展開も図るべきである。

(2) トイレの不足・使用制限への対応策

【緊急時トイレ(マンホールトイレ)等の整備】

緊急時の病院・避難所等の重要拠点における活動や帰宅困難者のトイレ不足に対応するため、緊急時トイレ等の備蓄を増やすとともに、トイレ使用可能回数が格段に多く、清潔な環境を確保できるマンホールトイレの整備を早急に進める必要がある。

【下水道施設の耐震化、汚水・汚物の受け入れ施設の整備】

緊急時トイレや各家庭のトイレを円滑に使用するために、受け皿である下水道管きょ・ポンプ場・処理場の耐震化を進めるとともに、緊急時トイレに溜まった汚物・汚水を受け入れ・一時貯留するために必要な施設の整備を図ることも重要である。

また、帰宅困難者の対応のため、支援場所近くに位置する民間ビルのトイレを一時的に災害用トイレとして開放するなどの施策も考えられる。

(3) 人々への健康被害(汚水溢水、地下水汚染)への対応策

【下水道施設の耐震化】

緊急時において、下水道施設の被災により汚水の溢水や地下水汚染を防ぎ、衛生的な環境を維持するために、下水道施設の耐震化を推進することが必要である。

この場合、被災した場合の被害の大小等から施設の重要度を識別して優先的な整備を行うことが肝要である。特に、病院・避難所等の重要拠点につながる下水道管きょについて最優先すべきである。

【下水道施設のループ化等のバックアップ施設の整備】

下水道管きょが被災しても、下水道が最低限有すべき機能を確保するバックアップ対策等についても推進する。具体的には、都市内で発生する下水を溢水させることなく流下させる下水道管きょのループ化・う回ルートを設置及び仮設ポンプの備蓄や被災した下水処理場の機能を他の下水処理場で補完するためのネットワーク化を図るべきである。

また、合流式下水道である場合には、合流式下水道の改善策を推進することが必要である。

【河川流下経路における対応】

被災した都市内で発生したリスク（要因）が下流側都市に伝播する経路である河川においては、支川で汚濁物質や有害物質の本川への流入を防止する施策や緊急的な対応としてダム等から緊急放流により河川希釈水を増大させる施策が考えられる。

【取水・排水系統の再編成】

河川の流況を勘案して、上流側から流下してくる汚濁物質や有害物質のリスクにより水質が悪化した河川水を取水しないように、実現性を勘案の上、水道の取水位置や下水道の放流位置の再編を検討することが望ましい。

(4) 連絡体制・情報提供

前述の各対応策を適切に実施するためには、水道・下水道・河川等の各部局がそれぞれの役割分担を図るとともに、各部局が緊急時に対応する施設の整備状況や連絡体制・組織の整備を事前に進め、共に情報を共有することが重要である。さらに、行政だけでなく、地域住民にも緊急時に発生するリスクに関する広報活動を行い、情報を提供することも重要である。

また、リスクが発生した場合、汚濁物質や有害物質の流出状況や河川水質の情報をリアルタイムに関係部局とともに災害対策本部、各種公衆衛生関連機関と伝達するシステムを構築することが望まれる。例えば、河川水質の悪化が一時的である場合は、河川水質を検知しながら、その情報を共有することにより、危険性の高い時期の取水を停止するなど取水のコントロールを行うことや、隣接水道事業体との緊急時用連絡管の整備により原水もしくは浄水の相互融通を行う等の施策により、リスクを回避することができる。

このように緊急時の各部局が連携した対応策を効果的に実施するため、連絡体制・情報提供に対してハード・ソフトの面から充実した施策を展開することが不可欠である。

6.3 対応策を実施する上での課題

前述の対応策を実施する上で、以下のような課題があり、これを解決していく必要がある。

【緊急時の必要水量・水質の検討】

大地震発生等の緊急時において、いつ、どこで、どのような用途の水が必要となるか、水道により必要な水は確保可能であるかについて時系列的な検討を各水道事業者ごとに行い、水道水の供給により対応できる範囲を明確にする必要がある。

また、緊急時の水道以外の代替水源の使用にあたっては、その水質確保及び確認方策について予め検討する必要がある。

【中高層マンション等の住民への対応の検討】

中高層マンション等については、震災時に建物が破損しない場合であっても、停電等により水道水の供給が確保できなくなる恐れがあることから、その応急給水体制について検討する必要がある。

【生活雑用水等の水源として活用可能な都市内の水路の整備手法等の検討】

緊急時における防火用水や生活雑用水の水源として活用可能な都市内の水路を抽出し、親水機能をはじめとする平常時の機能を兼ね備えるように、水源の確保、整備手法並びに維持管理方策について検討する必要がある。

【地下水や雨水の活用のための具体的活用方策の検討】

緊急時の避難者や帰宅困難者が発生する時間的・空間的分布を想定し、必要となる生活雑用水の水源として、地下水や雨水を活用するための具体的・現実的な方策を検討する必要がある。

【大規模災害時のトイレの確保並びに配置計画等の検討】

緊急時においても最低限確保すべきトイレ機能については、緊急用トイレの必要量、地域内の偏在状況、公衆衛生上の問題、水洗用水の確保策、屎尿の処理方法などを考慮した上で、その確保方策について具体的に検討する必要がある。

7 検討の結果を踏まえ引き続き検討すべき課題

本検討は、大規模地震発生時の緊急時において、起こりうる水に関するリスクはどのようなものがあり、その影響はどの程度あるかに関して、ケーススタディを通じて把握し、適切な対応策を整理したものであり、発生するリスクを多面的・包括的な見地に立ち、関係部局が相互に協力・連携した施策を展開するための第一歩であるといえる。

ただし、個別の検討内容についてはより深く検討を行う必要があり、特に次に列記する課題については、本検討結果を踏まえて引き続き検討すべきと考えられる。

(1) 水質リスク評価手法の確立と各水系における評価の実施

取排水系統が複雑に交錯する水系において、地震時をはじめとする緊急時における病原性微生物等による健康被害発生など公衆衛生上のリスクについて、水系を通じたリスクの伝搬の他、人や水の移動によるリスクの移動を加味したリスク評価手法を確立し、時系列的な評価を実施する必要がある。また、水供給が途絶した場合のリスクに関する評価手法も確立させ、さらに、今後の施策の重要度・優先度を判定するために発生確率を踏まえた被災・被害想定を評価し、各水系ごとに関係機関による適切な連携や対応方策を検討する必要がある。

(2) 河川水質の情報提供に関する検討

河川水質について、自動観測すべき項目、情報提供すべき項目、取水口等の位置を踏まえた自動監視施設の設置、維持管理体制、整備（新設、更新）優先順位等の方針を検討するとともに、緊急時の水質観測や連絡体制を確立するための検討を行う必要がある。

参考資料

参考資料-1:緊急時水循環機能障害リスク検討委員会名簿

<委 員>

委員長	大垣 眞一郎	東京大学 教授
委 員	青野 文江	市民防災研究所 主任研究員
委 員	伊藤 禎彦	京都大学 教授
委 員	国包 章一	国立保健医療科学院 水道工学部長
委 員	田中 和博	日本大学 教授
委 員	田中 宏明	京都大学 教授
委 員	千葉 百子	順天堂大学 助教授
委 員	中林 一樹	首都大学東京 教授
委 員	守田 優	芝浦工業大学 教授
委 員	中村 晶晴	東京都総務局総合防災部長
委 員	尾崎 勝	東京都水道局参事(企画担当)
委 員	中村 益美	東京都下水道局計画調整部長
委 員	井上 茂治	京都府土木建築部下水道課長
委 員	片山 隆文	大阪府水道部事業管理室副理事兼調整課長
委 員	鈴木 秀男	京都市上下水道局下水道部担当部長
委 員	大久保 徹	大阪市水道局浄水統括担当部長兼柴島浄水場長
委 員	三島 和男	阪神水道企業団建設部長

(役職は平成 18 年 3 月現在)

<事務局>

厚生労働省 健康局 水道課

国土交通省 都市・地域整備局 下水道部

国土交通省 土地・水資源局 水資源部

国土交通省 河川局

(社)全国上下水道コンサルタント協会

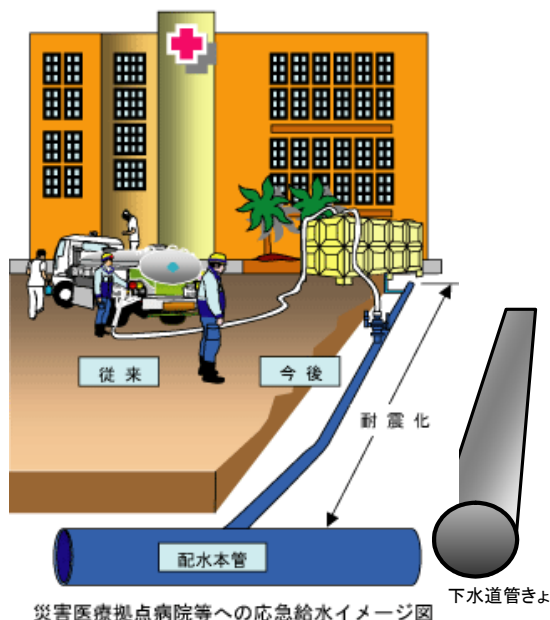
参考資料-2: 想定される主なリスクへの対応策の概要

病院、避難所等の重要拠点につながる管路の耐震化

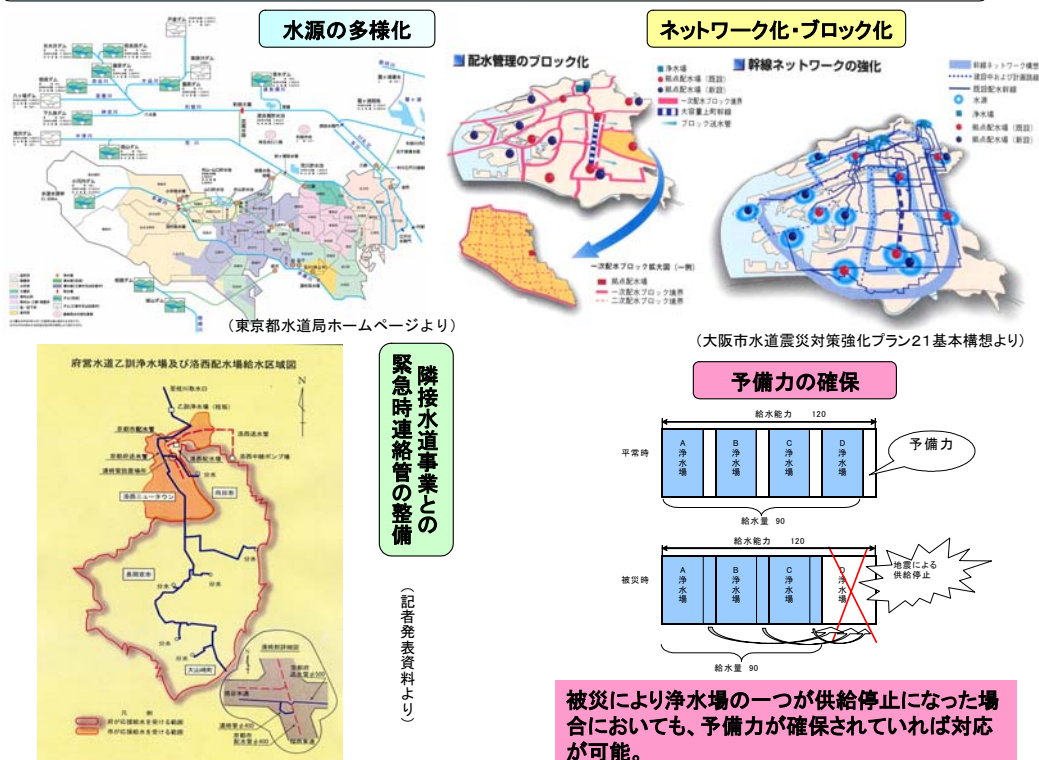
●病院、避難所等の重要拠点につながる管路を優先的に耐震化することで断水被害を防止し、水道管からの給水を継続することにより、断水による医療活動等の停滞を防止する。

(横浜市水道局ホームページより)

●あわせて、病院、避難所等の重要拠点につながる下水道管きよの耐震化を行うことにより、汚水排除機能を確保する。



水源の多様化, ネットワーク化・ブロック化, 予備力の確保



(神戸市水道局ホームページより)

上下流関係機関との連絡体制等の整備・充実

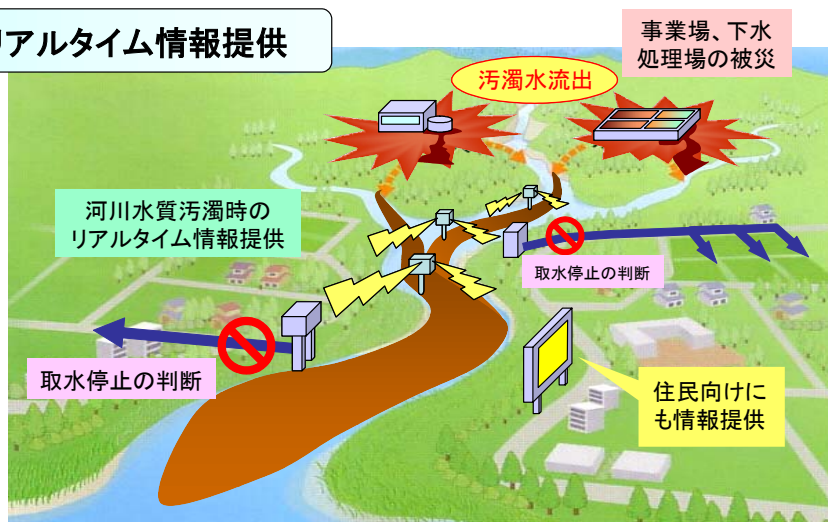
-
- 地震発生!!
- ダム
- 操作指示
- 河川管理事務所
- 下水処理場
- 未処理水
- 情報 (放流水質悪化)
- 汚水堰
- 浄水場
- 情報
- 粉末活性炭の添加
取水量の制限
取水一時停止等
- 迅速な情報発信
- 住民
- 広報

河川水質汚濁時のリアルタイム情報提供

・河川水質の状況を、水道事業者等関係機関、沿川地域住民等に対し適切に情報提供することが有効

水質自動監視装置等による常時観測

・関係機関との一層の連携強化
・リアルタイムの情報提供
インターネット
携帯電話
電光表示板 等



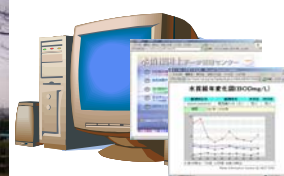
水質自動観測装置



様々な情報提供方法



電光表示板



インターネット等

地下水(井戸・湧水等)・雨水の活用

●災害対策用井戸・災害時協力井戸の整備、地下鉄トンネル内の湧水の活用、雨水貯留施設の普及推進が考えられる。

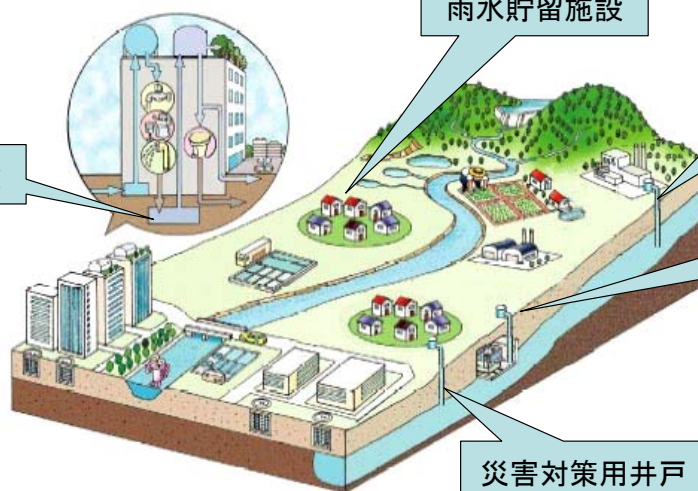


雨水貯留施設



災害時協力井戸

雨水貯留施設



地下鉄トンネル内の湧水

災害対策用井戸



下水道管きょを利用して河川水や海水を引き込み，消火用水等として利用

●地震発生直後に多量に必要とされるに消火用水に対して，下水管きょから河川水または海水を取り込み，消火用水等として活用する。



新設海水取水口



城門放流幹線水門



海神小内海水取水口

(船橋市ホームページより)

都市内水路や再生水等を活用した緊急時の雑用水確保

●避難所周辺の都市内水路を緊急時の雑用水に活用する。



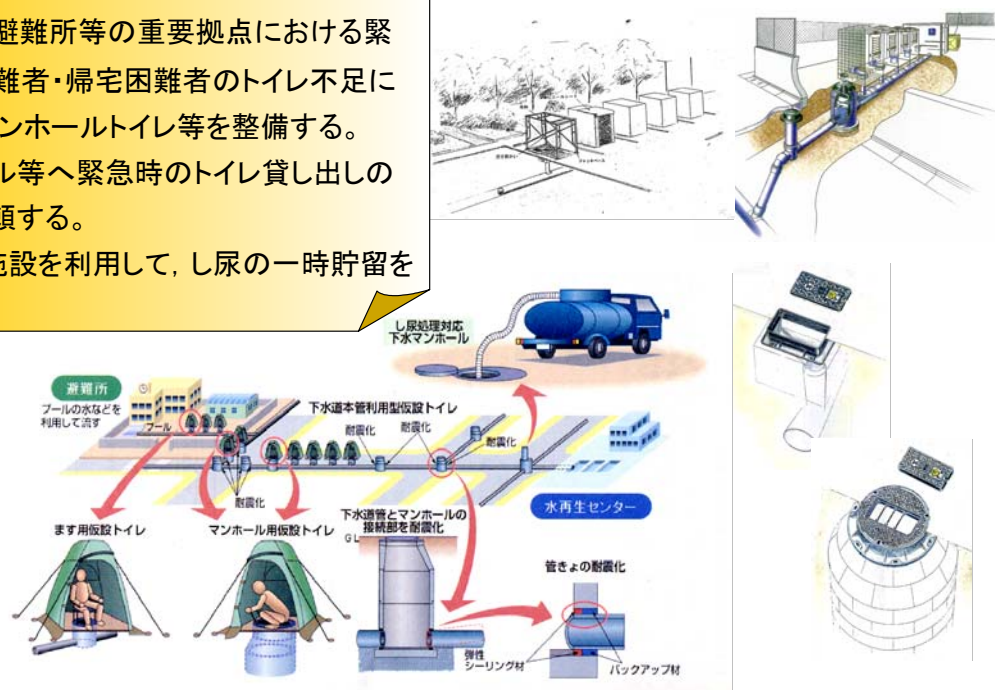
●下水処理水の再生水を，緊急時の雑用水に活用する。



発電用水を
親水用水と
して利用

マンホールトイレの活用等

- 病院、避難所等の重要拠点における緊急時の避難者・帰宅困難者のトイレ不足に対して、マンホールトイレ等を整備する。
- 民間ビル等へ緊急時のトイレ貸し出しの協力を依頼する。
- 管きょ施設を利用して、し尿の一時貯留を実施する。



下水管きょ、下水処理場の耐震化等

- 病院、避難所等の重要拠点につながる下水管きょについて耐震化を図る。
- 下水道が最低限有すべき機能確保する耐震化及びバックアップ対策等を推進する。

非常用資機材の備蓄
(例: 仮設ポンプ)



消毒施設の耐震化

処理場間をつなぐネットワーク管渠

重要危険管渠の耐震化



管きょのループ化
(う回路設置)