

下水道地震・津波対策技術検討委員会第2次提言
段階的応急復旧のあり方

はじめに

下水道は、公衆衛生の確保、生活環境の改善、浸水の防除、公共用水域の水質保全など市民生活にとって重要な役割を持ち、一日も早い機能回復が求められる。しかし大規模な地震・津波による下水道施設の被害の大きさ等を考慮すると、本復旧が完了するまで相当程度の時間を要することが予想される。このため、地震発生直後から対応する「緊急措置」、公衆衛生の確保や浸水被害軽減に迅速に対応するための「応急復旧」、従前の機能を回復させ、再度災害を防止することを目的とした「本復旧」へとそれぞれの段階に応じた適切な対応とスムーズな移行が必要不可欠である。

このなかで、「応急復旧」は「緊急措置」と「本復旧」を繋ぐ重要な役割を担っており、被災直後の消毒という最小限の対応段階から、本復旧（従前水準）に戻していくことである。「緊急措置」から「本復旧」に至るロードマップ（道程）は被災地や施設の状況、放流先水域の水質や水利用状況、住民のニーズ、用地、財政状況などの条件によって様々な形態がある。

1-1 復旧の道程

下水道が扱う汚水のうち、し尿は水系伝染病、ノロウイルス感染等の疫学的リスクが高く、被災直後から定常的に発生する。一方、雑排水は生活活動によって発生するものであり、水道、ガス等の復旧に合わせて発生する。

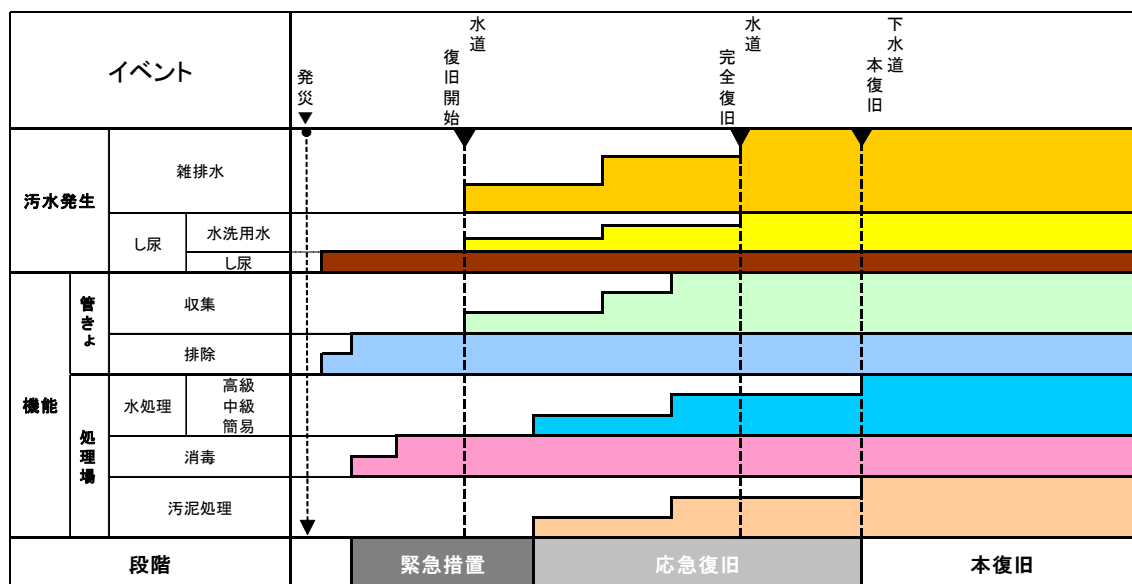


図1 汚水発生と下水道機能（概念図）

※この他、応急復旧を経ずに緊急措置から段階的な本復旧に移行する方法もありうる

平時において、下水管きよには汚水を処理場に集める「収集」機能が求められる。しかし、ひとたび地震・津波が発生すると、その直後（緊急措置段階）、下水管きよには収集機能ではなく、居住空間からリスクの高いし尿を排除する機能が求められる。次に、「応急復旧」段階では、水道復旧の開始とともに、洗濯、入浴等の生活活動が可能となり、汚水の量が増加する。このため、管きよの収集機能の回復と同時に、処理場では、増加した水量と変化した水質に対応できるよう沈殿を含む処理機能の追加が求められる。また、水道復旧の進展により、汚水量は増加し続け、処理機能の質と量の増強が求められる。このように、「緊急措置」から「応急復旧」に移行するに従い、下水管きよには排除から排除＋収集機能、処理場には消毒から消毒＋処理機能へのステップアップが求められる。

1-2 雨水への対応

雨水については、梅雨等の出水期までに、被災した雨水きよの流下能力の回復を図るとともに、雨水ポンプの修理・交換を早期に実施する。また、代替措置として仮設ポンプを設置する場合や従前の排水能力が確保できていない場合には、河川、農林部局等、関係部局とも連携しつつ、迅速にソフトとしての対応が求められる。排水区域全体の状況を見極めつつ、浸水想定エリア、避難段階、避難場所に関する情報について、住民に十分周知することが重要である。更に合流式はもとより、分流式汚水管においても、被災により通常時以上の雨水や地下水の流入が起りうる。出水期前に溢水のおそれのあるマンホール等の箇所の把握や発生時の対応準備を進めるように努める。

2. 制約条件と生物処理法

2-1 応急復旧段階の制約条件

技術的オプションを選択する上で重要になるのは、被災地における復旧状況である。言い換えれば、どれくらいの制約条件が存在しているかによって、技術的なオプションの選択が決定されることになる。

例えば、外的要因として、要員が確保できているか、消毒剤が必要量入手可能か、電気等は復旧しているか等がある。また、被災処理場については水槽施設を活用できるのか、あるいは増設等の用地を活用するのか等さまざまな条件が考えられる。

表 1 制約条件の例

制約項目		状態	
外的要因	要員	十分な員数が確保できるか？	
	消毒剤	十分な量が確保できるか？	
	電気	電源が確保できるか？	
処理場の条件	増設用地等を応急復旧に活用する		
	被災施設を 活用する	被災水処理施設が 高負荷活性汚泥法	十分な広さがあるか、狭いか？
			一部施設が活用可能であるか？
			全部の施設が活用可能であるか？
			全部の施設が活用可能であるか？
	被災水処理施設が 低負荷活性汚泥法	一部施設が活用可能であるか？	
		全部の施設が活用可能であるか？	

注)
 高負荷活性汚泥法: 標準活性汚泥法等
 低負荷活性汚泥法: OD法、長時間エアレーション法等

2-2 生物処理法の選択

緊急提言（平成 23 年 4 月 15 日）には、応急復旧段階の復旧方法の事例として、「沈殿→消毒」、「沈殿→簡易処理（以下、簡単な生物処理）→消毒」、「生物処理→沈殿→消毒」が掲載されている。簡単な生物処理は、簡単なろ材と曝気によるなどして溶解性 BOD の除去を期待するものであり、确实、安定的な処理法とは言い難い。このため、「簡単な生物処理」は、比較的短期間（おおむね 1 年以内）での本復旧が可能であって、沈殿処理が十分機能していない、あるいは沈殿だけでは放流先の水利用に制約が生じる場合に、補完的に採用されるものである。本節では、「生物処理」の処理法を対象に、制約条件に応じてどう選択するかについて記述する。

制約条件は、被災状況に応じて異なるとともに、時間経過によって変わることになる。このため、処理法を選択する場合には、制約条件を十分調査・検討しなければならない。

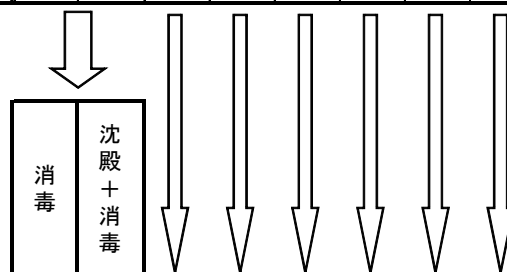
全国のほとんどの処理場が、汚水を揚水して処理・放流していることから、要員、消毒剤が十分に確保された上で、電気が復旧することが応急復旧に移行する条件となる。これにより、汚水の揚水、消毒に加え、沈殿、生物処理等の機能を付加することができる。次の段階として、被災施設において沈殿、生物処理を行うスペースを検討する必要がある。この際、水処理施設の被災状況、増設用地等の活用可能性等を検討し、被災施設、増設用地のみならず、別用地なども含めて生物処理を行う場所を決定する。この決定されたスペースの特性に応じて、生物処理法を選択することになる。

次頁に、制約条件より、選択できる処理法の例を示す。

表2 制約条件と生物処理法の選択例

制約項目	状態	1	2	3	4	5	6	7	8
要員	確保できる	○	○	○	○	○	○	○	○
消毒剤	確保できる	○	○	○	○	○	○	○	○
電気	確保できる		○	○	○	○	○	○	○
活用できる増設用地、 別用地等	十分な広さがある			○					
	用地は狭い				○				
被災水処理施設が 高負荷活性汚泥法	一部利用できる					○			
	全部利用できる						○		
被災水処理施設が 低負荷活性汚泥法	一部利用できる							○	
	全部利用できる								○

注)
高負荷活性汚泥法：標準活性汚泥法等
低負荷活性汚泥法：OD法、長時間エアレーション法等

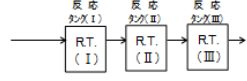

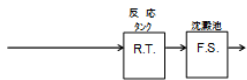

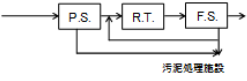
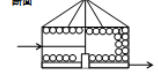
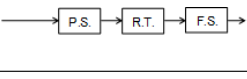

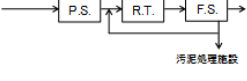

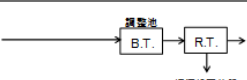

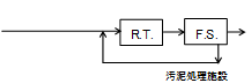
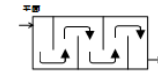


生物処理法	ラグーン法	通性池法 (ラグーン法)			×→△					
		曝気酸化池法 (エアレーテッド・ラグーン法)			○					
	生物膜法	散水ろ床法				○ 素掘り				
		接触酸化法				○ 素掘り	○		○	
	活性汚泥法	モディファイド・エアレーション法等					○	○	○	
		回分式活性汚泥法				○ 素掘り		○	○	
		長時間エアレーション法								○

- 生物膜法において、ろ材として活用可能な瓦礫については、使用を検討する。
- 汚泥処理については、移動脱水車を初期に活用しつつ、脱水設備の復旧(修理、交換等)を行う。

表3 生物処理法の原理と特徴

参考資料

大分類	曝気・非曝気	処理法名称	プロセスの構成	反応槽の原理	プロセスの特徴	
ラグーン法	非曝気	通性池法 (ラグーン法)		平面  (2池以上連列)	下水が池内にある間に藻類による酸素供給に基づく好気性微生物または嫌気性微生物の有機物質の酸化作用により浄化される。	反応タンクにおける酸素供給は、自然の再曝気と藻類の光合成反応によるものであるため、流滞時間が著しく長い。 汚泥処理施設不要。嫌気性池、通性池、好気性池を単独あるいは組み合わせで用いる。
	曝気	曝気池法 (エアレーテッド・ラグーン法)		平面 	下水が池内にある間に藻類に好気性微生物の酸化作用により浄化される。	反応タンクにおける酸素供給は、強制曝気により行なわれるため、流通式酸化池より滞留時間を短くすることができる。 汚泥処理施設不要。
生物膜法	非曝気	散水ろ床法		断面 	回転散水機によって床上に散水された下水がろ床内を通過する間に、下水中の有機物がろ材表面に付着した生物によって吸着、同化され、肥大化した生物膜は脱落する。	反応タンクであるろ床および回転散水機ノズルの閉塞を防ぐため、必ず最初沈殿池が前に設けられる。汚泥処理施設必要。
	曝気	接触酸化法			反応タンク内に浸漬させたろ材の表面に、発生付着した好気性微生物により下水を処理する方式で、最初沈殿池、接触酸化槽、最終沈殿池等で構成される。	返送汚泥の必要が無く、運転管理が容易である。比表面積の大きなろ材を採用し、付着生物量を多量に保持することにより、流入基質の変動に柔軟に対応できる。
活性汚泥法	曝気	モディファイドエアレーション法等		断面 	下水は活性汚泥とともに迂回しながら流下し、その間に下水中の有機物は活性汚泥に吸着、同化される。	反応タンク内の活性汚泥濃度を低く保って対数増殖期に維持すると、BOD除去速度が非常に大きくなり、滞留時間を短くすることができる。 BOD除去率は高くない。発生汚泥量は大きい。 流入水質の低い場合、最初沈殿池を省略することもある。
		回分式活性汚泥法		平面 	単一のタンクに反応と最終沈殿池の機能を持たせ、活性汚泥による反応と混合液の沈殿、上澄水の排水、沈殿汚泥の排泥の工程を繰り返す。	流入水の量や質に応じてエアレーション時間、沈殿時間等を比較的自由に設定でき、沈殿は静置した状態で行われるので、固液分離の安定性が高い。
		長時間エアレーション法		断面 	下水は活性汚泥とともに迂回しながら流下し、その間に下水中の有機物は活性汚泥に吸着、同化される。	反応タンク内における滞留時間が長いので水量水質変動に対して適応性があり、最初沈殿池を省略できる。汚泥処理施設必要。

注)モディファイド・エアレーション法等には、簡易な方式(ブローア+ブロー曝気等)の処理方式も含む

表4 生物処理法の比較

大分類	曝気・非曝気	処理法名称	一般特性		柔軟性		作業性			所要用地面積 (OD法を100とする)	除去率 BOD:% SS:%
			発生汚泥量	水温変化 への安定性	負荷変動 への安定性	有害物質 への安定性	運転管理 の容易性	管理手法 の確立	管理点検箇所		
ラグーン法	非曝気	通性池法 (ラグーン法)	少ない	非常に不安定	良好	良好	きわめて容易	確立	きわめて少ない	730	70 70
	曝気	曝気池法 (エアレーテッド・ラグーン法)	少ない	非常に不安定	良好	良好	きわめて容易	確立	きわめて少ない	270	70 70
生物膜法	非曝気	散水ろ床法	若干少ない	若干不安定	良好	対応可	きわめて容易	確立	きわめて少ない	70	70 70
	曝気	接触酸化法	若干少ない	若干不安定	良好	対応可	きわめて容易	確立	少ない	60	90 85
活性汚泥法	曝気	モディファイド エアレーション法等	多い	若干不安定	調整槽 設置で対応	調整槽 設置で対応	容易	十分に確立	多い	45	70 70
		回分式活性汚泥法	多い	若干不安定	対応可	若干不安定	容易	十分に確立	少ない	40	90 85
		長時間エアレーション法	少ない	若干不安定	対応可	対応可	かなり容易	十分に確立	少ない	55	90 85

注)モディファイド・エアレーション法等には、簡易な方式(プロアー+プロペラ曝気等)の処理方式も含む

参考 一下水道施設の復旧方法の事例 —

①【緊急措置：管路施設】

表1 緊急措置における復旧方法の事例(管路施設)

	汚水排除	消毒
目標	下水の生活エリアからの迅速な排除	大腸菌群数3,000個/cm ³ 以下の確保
手段	マンホール溢水は、土のう、ビニールシートなどを利用し近傍水路への導入	塩素剤による消毒 (固形剤次亜塩素酸カルシウムの場合、投入量15g/m ³ 以上)
	吸泥車による処理場への運搬	
	マンホール側壁取り壊しによる公共用水域への放流	

②【緊急措置：処理施設】

表2 緊急措置における復旧方法の事例(処理施設)

	揚水機能	消毒
目標	処理施設に到達した下水の排除による溢水の防止	大腸菌群数3,000個/cm ³ 以下の確保
手段	流入マンホール等に仮設の水中汚水ポンプを設置し、仮設水路等へ導入	塩素剤による消毒 (固形剤次亜塩素酸カルシウムの場合、投入量15g/m ³ 以上)

③【応急復旧：処理施設（汚水の発生量が想定できる処理区域）】

○ 沈殿→消毒の場合

表3 応急復旧における復旧方法の事例 I（沈殿→消毒）

	水処理	
	沈殿	消毒
目標	水質汚濁防止法の排水基準(日平均)であるSS:150mg/L以下、BOD:120mg/L以下	大腸菌群数3,000個/cm ³ 以下
手段	沈殿時間1.5時間以上	塩素剤投入等により塩素流入率7～10mg/Lとし、残留塩素濃度0.1mg/L以上
	沈殿時間確保が困難な場合等には、凝集剤添加やろ過設備等の設置を行う	接触時間(放流水路を含む)15分以上

○ 沈殿→簡易処理（本資料では簡単な生物処理と表記）→消毒の場合

表4 応急復旧における復旧方法の事例 II（沈殿→簡易処理→消毒）

水処理			
	沈殿	簡易処理	消毒
目標	当初はBOD120mg/lの確保を目標とし、段階的にBOD:60mg/L		大腸菌群数3,000個/cm ³ 以下
手段	沈殿時間1.5時間以上	必要な滞留時間	塩素剤投入等により塩素流入率7～10mg/Lとし、残留塩素濃度0.1mg/L以上
	沈殿時間確保が困難な場合等には、凝集剤添加やろ過設備等の設置を行う	流入部で曝気後、礫やろ材を充填した水路を通水させる	接触時間（放流水路を含む）15分以上

○ 生物処理→沈殿→消毒の場合

表5 応急復旧における復旧方法の事例 III（生物処理→沈殿→消毒）

水処理			
	生物処理	沈殿	消毒
目標	当初はBOD60mg/lの確保を目標とし、段階的に二次処理水レベルのBOD:15mg/l		大腸菌群数3,000個/cm ³ 以下の確保
手段	最初沈殿池機能が残存している場合は、それを活用し、高負荷運転により処理水量に対応	沈殿時間2～3時間以上	塩素剤投入等により塩素流入率2～4mg/Lとし、残留塩素濃度0.1mg/L以上
	酸素供給能力の不足や汚泥沈降性悪化等による水質悪化に備え、ろ過設備を設置する、あるいは反応槽に凝集剤を添加可能な構造とする。		接触時間（放流水路を含む）15分以上

○ 応急復旧における汚泥処理

表6 応急復旧における復旧方法の事例 IV（汚泥処理）

汚泥処理		
		処理水量1,000m ³ /日以下での検討オプション
目標	脱水処理及び場外搬出	沈殿汚泥の場外搬出
手段	他処理場で運転休止中または予備扱いの脱水施設移設検討	吸泥車による場外搬出
	複数の小規模処理場においては移動脱水機の利用検討	近隣での沈殿汚泥の受入れ先確保

④【応急復旧：処理施設（汚水の発生量が想定不可能な処理区域）】

○ 仮設処理施設等

表7 応急復旧における復旧方法の事例 V（仮設処理施設等）

	水処理		
	生物処理	沈殿	消毒(PMBRは不要)
目標	二次処理水レベル(BOD:15mg/L)		大腸菌群数3,000個/cm ³ 以下
手段	パッケージ型膜分離活性汚泥法(PMBR)の導入 工場製作型極小規模施設の導入 素掘り回分式活性汚泥法等の設置		固形塩素剤投入等により塩素流入率2~4mg/L、残留塩素濃度0.1mg/L以上
			接触時間(放流水路を含む)15分以上

汚泥処理は①の「○応急復旧における汚泥処理」に準じる。

3. 目標処理水質と段階的応急復旧

3-1 目標処理水質

応急復旧段階での技術的オプションの組み合わせは、「沈殿＋消毒」、「沈殿＋簡単な生物処理＋消毒」、「生物処理＋沈殿＋消毒」がある。放流先水域への影響、適正な維持管理等のために目標水質を定める必要がある。

その際、本復旧までに要する時間、技術的な実現性、法令の基準等をもとに決定することが肝要である。特に、本復旧までに長期間を要する場合は、臭気や美観等の周辺環境への影響、水道用水、工業用水、農業用水、漁業、水産養殖業、観光、水浴等のレクリエーション等、放流先の水利用の回復状況を十分に把握、勘案しながら、段階的応急復旧の処理レベルを決定することが必要である。

「沈殿＋消毒」における目標処理水質は、水質汚濁防止法の一律排水基準と沈殿での除去率（30～50%）より BOD120mg/l 以下とする。これは、法令による水質基準と、技術的に達成可能な水質（流入 BOD200mg/l とすると、40%除去で 120mg/l）により決定した。

「沈殿＋簡単な生物処理＋消毒」における目標処理水質は、昭和47年の下水道法施行令第6条にある技術上の基準と「下水道施設設計指針と解説（1972年）」に掲載されている中級処理の除去率（65～75%）より、BOD 60 mg/l とするが、当初は BOD 120mg/l の確保とし、段階的に目指すものとする。これは、「簡単な生物処理」は処理法として、必ずしも確立されておらず、安定的ではないためであり、凝集剤添加、ろ過設備付加等により段階的達成を目指すものとする。

「生物処理＋沈殿＋消毒」における目標処理水質は、現在の下水道法施行令第5条6の技術上の基準である BOD 15mg/l を踏まえ、当初は BOD 60mg/l の確保とし、段階的に BOD15mg/l を目指すものとする。「生物処理」の技術的なオプションには中級処理も含まれており、凝集剤添加、ろ過設備付加等により段階的達成を目指すものとする。

また、疫学上のリスク回避の観点から、「沈殿＋消毒」「沈殿＋簡単な生物処理＋消毒」「生物処理＋沈殿＋消毒」のいずれにおいても、大腸菌群数については 3000 個/cm³以下を確保することとする。

表5 目標水質（BOD）

手法		目標水質		備考
		BOD(mg/l)	大腸菌群数(個/cm ³)	
応急復旧	① 沈殿＋消毒	120	3000	水濁法一律基準、沈殿除去率
	② 沈殿＋簡単な生物処理＋消毒	120→60		中級処理除去率、下水道法施行令
	③ 生物処理＋沈殿＋消毒	60→15		下水道法施行令
	④ 本復旧	15以下		下水道法施行令

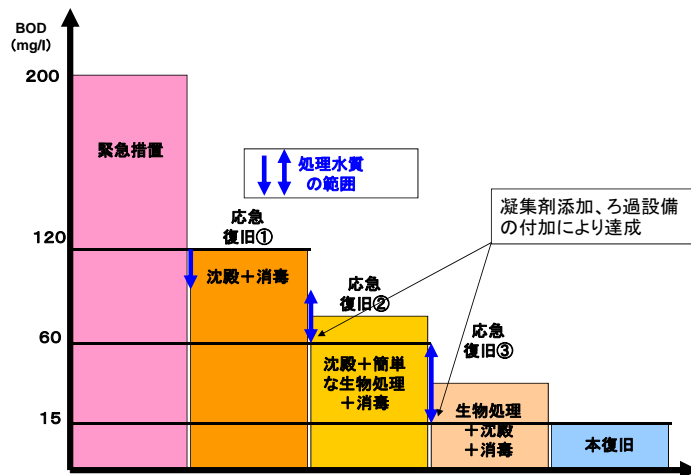
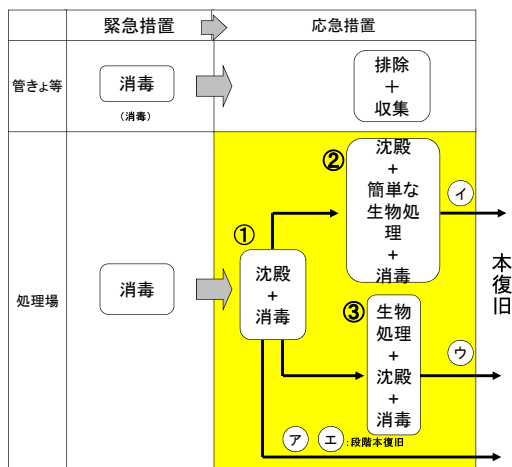


図2 目標水質と応急復旧の概念図

3-2 処理場における段階的応急復旧

①沈殿+消毒、②沈殿+簡単な生物処理+消毒、③生物処理+沈殿+消毒とすると、処理場における段階的応急復旧には、㉖～㉚まで4通りある。

- ㉖：①→本復旧
- ㉗：①→②→本復旧
- ㉘：①→③→本復旧
- ㉚：①→①+段階本復旧→本復旧



※「排除」：し尿を居住空間から排除し疫学的リスクの低減をはかること
「収集」：汚水を処理場に運ぶこと

図3 機能復旧の道程

応急復旧にあたっては、本復旧までできるだけ手戻りがなく、設置された設備等が無駄にならないよう最大限配慮することが肝要である。また、本復旧並みの処理水質が確保できない状態が、長期間継続することが見込まれ、水利

用に影響が生じる可能性がある場合は、早期の処理水質の向上は当然として、放流先水域の水利用の一部制限（遊泳禁止等）について検討することも必要である。

ア：①沈殿＋消毒→本復旧

沈殿の目標水質が 120mg/l であることから、長期間沈殿処理だけを継続するのは水質汚濁防止法、下水道法等の法令遵守、管理者の責務、下水道料金支払い者の視点等から困難である。このため、小規模施設であったり、被災の程度が軽微で早期（3～6ヶ月）に本復旧できる場合等、限定的に採用される。

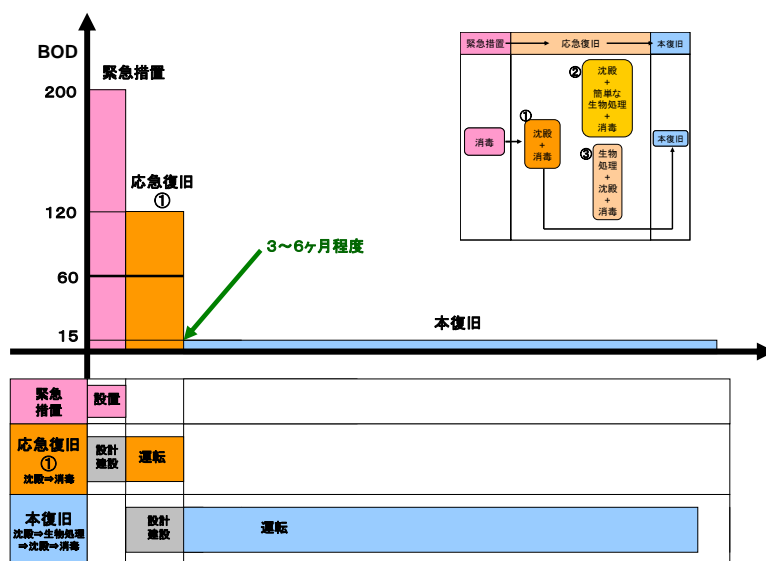


図4 ①→本復旧

イ：①沈殿＋消毒→②沈殿＋簡単な生物処理＋消毒→本復旧

沈殿処理段階の後、本復旧まで簡単な生物処理を導入する手法であり、本復旧完成まで比較的短期間（おおむね1年以内）の場合に採用される。簡単な生物処理は、確実な処理機能を有するものではないため、凝集剤添加、ろ過設備付加等により BOD60mg/l を段階的に目指す。

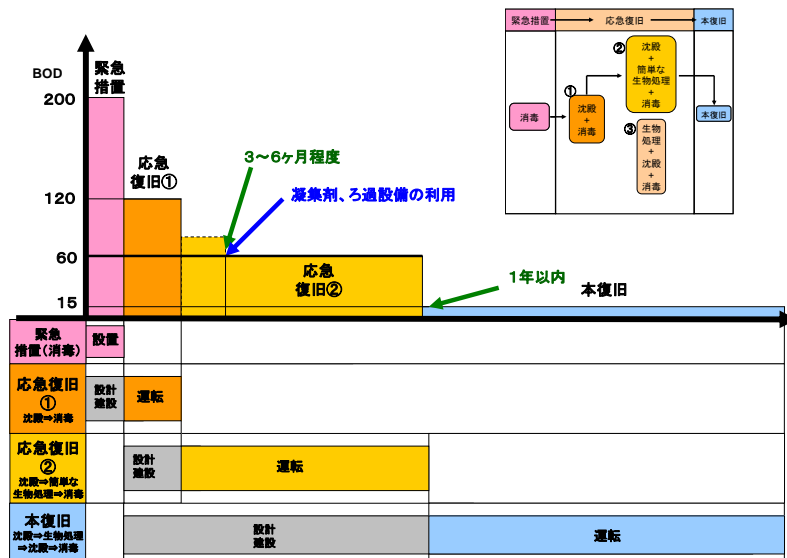


図5 ①→②→本復旧

㊦：①沈殿+消毒→③生物処理+沈殿+消毒→本復旧

中級処理より高い水準の生物処理を行うもので、本復旧完成まで比較的長期間（1～3年程度）の場合に採用される。既設の水槽、増設用地等を活用し反応槽、沈殿池を設置するため、本復旧工事の工程、作業スペース等に関する十分な調整が不可欠である。

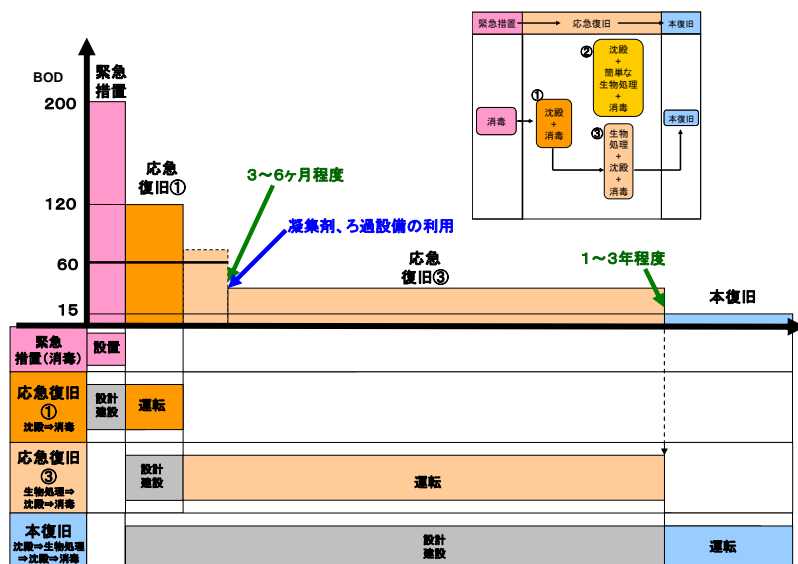


図6 ①→③→本復旧

㊧：①沈殿+消毒→段階本復旧→本復旧

被災施設を段階的に本復旧しつつ、処理水質を改善する手法で、中大規模の施設で、複数の系列を有し、早期（3～6ヶ月）に一部系列の本復旧が可能であり、全ての本復旧完成まで比較的長期間（1～3年程度）の場合に採用される。

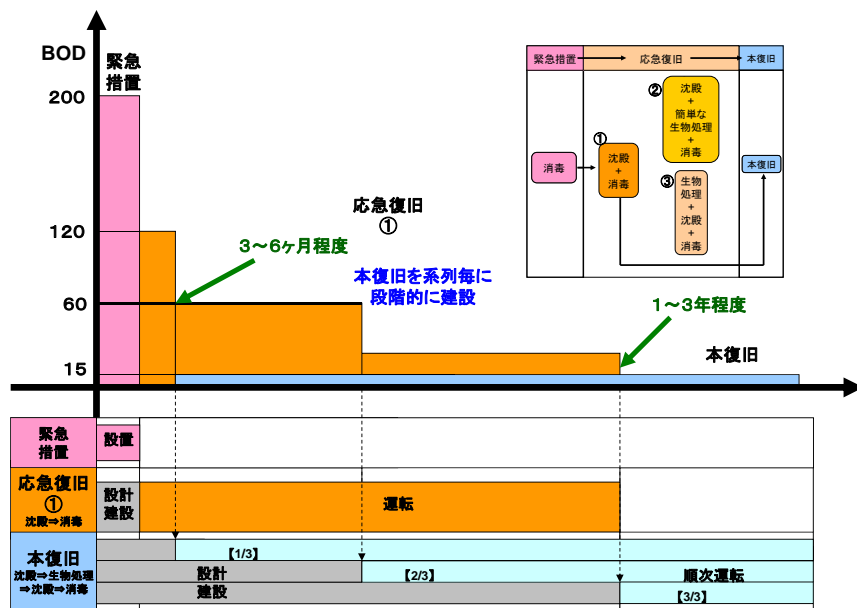


図7 ①→段階的本復旧→本復旧

下水道サービスを被災前の状態に早期に復旧することが下水道管理者の責務であり、下水道料金が下水道サービスを提供するという市民との契約であれば、段階的応急復旧を進める上で、時間軸は非常に重要なファクターとなる。このため、中級処理（BOD60mg/l程度）をできるだけ早い時期に達成することが肝要であり、時間軸を常に念頭におき、財政状況も考慮しつつ段階的応急復旧手法を選択しなければならない。

3-3 配慮すべき事項

段階的な応急復旧における目標水質を達成するためには、適切な維持管理と放流水および放流先のモニタリングによる確認が必要である。放流先モニタリングの結果によっては、以下のような対応が必要である。

表6 放流先モニタリング結果と対応

モニタリング結果	程度等	応急復旧での対応
大腸菌群数の超過	小	塩素消毒における混合方法や添加率の工夫
	大	凝集剤によるSS濃度低下、生物処理の適用
有機物濃度（BOD, COD）の超過	小	凝集剤によるSS濃度低下
	大	生物処理の適用
DO	表層での低下	生物処理の適用
	底層での低下	凝集剤によるSS濃度低下