

安全・安心・快適な下水道

— 下水道管の再構築等による道路陥没対策 —

東京都下水道局計画調整部計画推進担当課長 寺本 康 宏

1. はじめに

東京の下水道事業は明治時代の神田下水の建設に始まる。明治時代、区部では、コレラ等の疫病が流行するとともに、低地帯等で浸水被害が頻発していた。このため、トイレの水洗化等による衛生環境の改善と、雨水の速やかな排除を同時に対応し、早期に効果を発現するため合流式下水道を採用し、明治41年から整備を進めてきた。その後、下水道整備は昭和39年の東京オリンピック大会の開催に向けて、昭和30年代から本格的に進められ、昭和45年の公害国会で水質汚濁が問題になって以降、急伸した。その結果、区部では、平成6年度末に下水道普及率が100%概成し、現在では東京とシドニーを往復する距離に相当する、約16,100kmにも及ぶ膨大な延長の下水道管を管理している。

これらの下水道管は、昭和30年代からの高度経済成長期以降に整備されたものが多く、法定耐用年数50年を超える下水道管延長は、令和4年度からの5年間で全体の約32%、20年間では約68%と大きな割合を占めることとなる。このような下水道管の老朽化は、下水道の本来機能に支障をきたすだけでなく道路陥没の原因となり、交通障害等の都市活動に影響を及ぼすおそれがある。このため、東京都下水道局では、定期的な下水道管の調査に基づく老朽化した下水道管の再構築や、取付管を硬質塩化ビニル管に取り換える等の対策に取り組んでおり、結果として道路陥没件数の大幅な減少を達成できている。

本稿では、当局における道路陥没防止に資する下水道管の再構築等の取組について紹介する。

2. 下水道管の再構築方針

(1) 取組方針

区部における下水道管の再構築は、計画的に点検や調査及び補修を行うことで、法定耐用年数50年を30年程度延命化し、経済的耐用年数80年程度で再構築を進めている。この経済的耐用年数とは、下水道管の建設費と維持管理費を加えた総費用（ライフサイクルコスト）を経過年

数で除した年平均費用が最小となる年数を意味する（図-1）。このうえで、中長期的な再構築事業の平準化等を図るアセットマネジメント手法を活用し、計画的かつ効率的に再構築を推進している（図-2）。

枝線の再構築は、区部を整備年代により3つのエリアに分け、最も整備年代の古い都心4処理区を第一期再構築エリアに位置付け、優先して再構築を進めてい

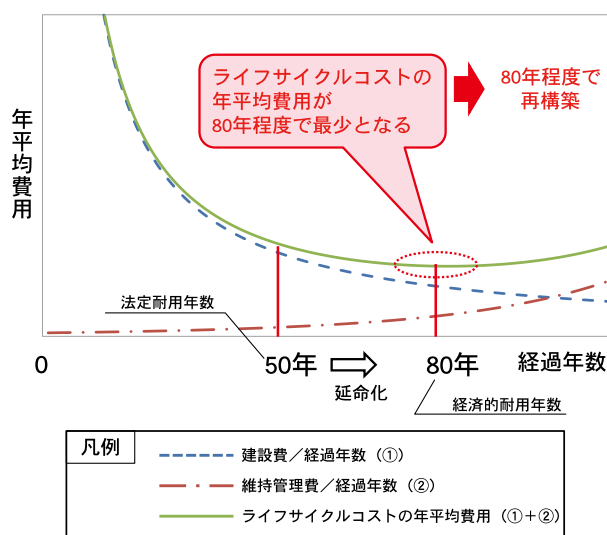


図-1 下水道管の経済的耐用年数

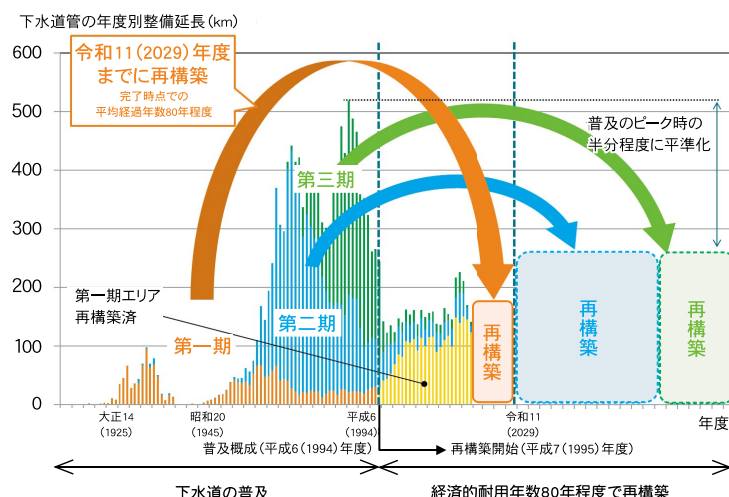


図-2 下水道管のアセットマネジメントのイメージ

る（図－3）。幹線の再構築については、昭和30年以前に建設された47幹線や、調査に基づき対策が必要な幹線等を優先して再構築を進めている。

（2）取組状況

枝線の再構築は、第一期再構築エリアの総面積約16,300haのうち、令和3年度末までに10,822ha（約66％）の整備を完了している。当該エリアにおける再構築未完了地区の下水道管の平均経過年数は63年であるのに対し、再構築を進めてきた結果、第一期再構築エリア全体の平均経過年数は32年となり大幅に若返りが図られている。現在は、当局の事業運営指針である経営計画2021において、令和3年度から7年度までの5年間の整備目標を3,500haとし、令和11年度までに第一期再構築エリアの整備を完了させることを目指して事業を推進している。

また、幹線の再構築は、令和3年度末までに計画延長300kmのうち94km（約

31％）の整備を完了しており、5年間の整備目標を35kmとして事業を推進している。幹線の再構築においては、水位が常に高く工事を行うことが困難な箇所が存在することから、流入する下水の流れを切り替える代替幹線を先行して整備している。

（3）更生工法による下水道管の再構築

東京の都心部は、経済等の諸機能が集積しており道路交通量が非常に多い。また、道路下には多数のインフラが輻輳して埋設されており、一般的に下水道工事は、施工方法や施工時間の制約を受けやすい厳しい施工環境にある。特に、幹線は内径が数メートルに及び、他のインフラとの干渉を避けるため比較的深い位置に埋設されている場合が多い。このため、開削工事による再構築は施工が困難である場合が多く、可能な場合であっても工事完了までに長期間を要する等の都民生活や東京の都市活動に大きな影響を及ぼ

すことになる。このため、当局では道路を掘らずに下水道管を内側からリニューアルする更生工法を開発・活用し、道路交通や都民生活への影響を最小限に抑えて再構築を推進している。以下に更生工法の概要等について示す。

①更生工法の概要

更生工法とは、既設下水道管に破損やクラック、腐食等が発生し、耐久力が低下したり、流下能力が保持できない場合等に、既設下水道管内面へ新たに下水道管を構築し、下水道管の更生及び流下能力の確保を行うものである。

東京都下水道局では、平成7年度以降、再構築が本格的に開始される以前から、将来の再構築や維持管理の時代を見据え、道路を掘らずに下水道管をリニューアルすることができる更生工法の調査研究に取り組んできた。そして、政策連携団体である東京都下水道サービス㈱や、民間企業と共同で技術開発を行い、昭和62年にSPR工法を実用化している。

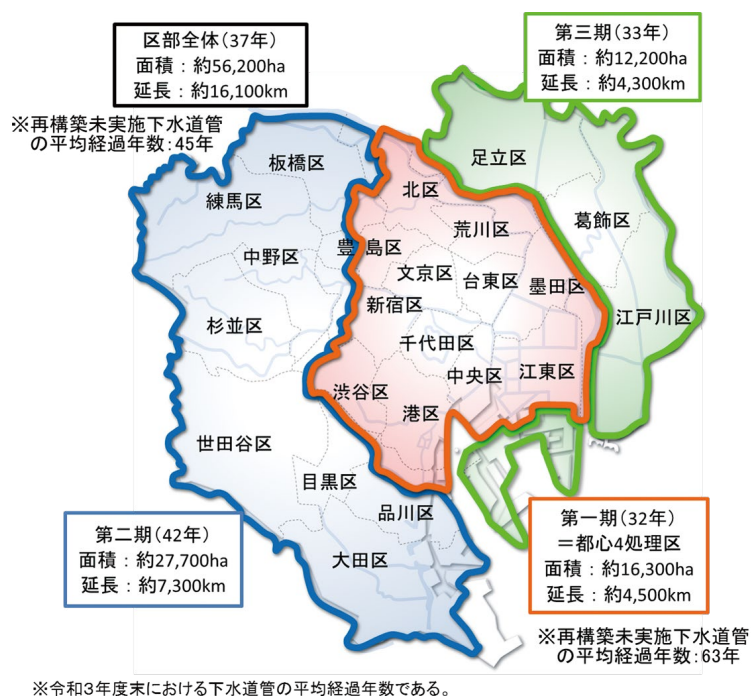
SPR工法は、既設管の内側に硬質塩化ビニル製の更生管を製管し、既設管と更生管の隙間に特殊な裏込め材を充填することで、古くなった下水道管をリニューアルする内面被覆工法（製管工法）の一種である（図－4）。円形や馬蹄形等のさまざまな断面形状や、内径約5,000mmまでの幅広い口径に対応することが可能であるとともに、下水を流しながら施工ができることから、一時的に下水を切り回す等の作業が不要となる。このため、開削工法と比較してコストや工期の縮減に寄与することができ、効率的な再構築が可能となる。

SPR工法はこれまでに都内で約700km、国内他都市で約600kmの施工実績がある。さらに海外でも約19か国で利用されており、東京都が開発した技術が他都市の下水道事業の課題解決に貢献している。

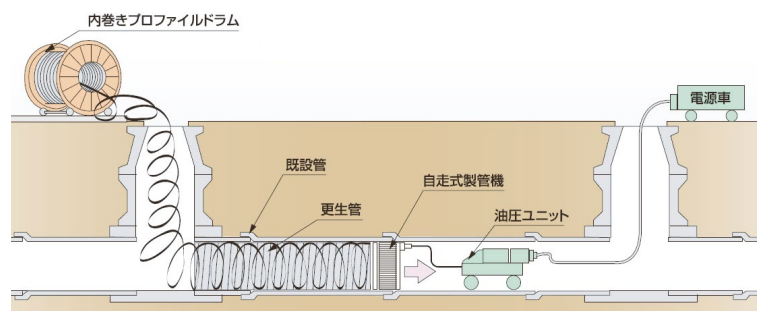
また、当局では、内面被覆工法のうちSPR工法を含む製管工法に加えて、人孔から内面被覆材を反転加圧挿入あるいは引込み挿入し、更生管を築造する反転・形成工法も活用し下水道管のリニューアルを行っている。工法の選定にあたっては、流下能力の確保や施工時の安全性に加え、コスト、品質確保及び現場条件との適合性等を考慮しつつ、総合的な観点から実施している。

②工事の実施状況

再構築工事（開削、推進、更生工法）を実施した下水道管の総延長は、令和



図－3 再構築エリアと平均経過年数



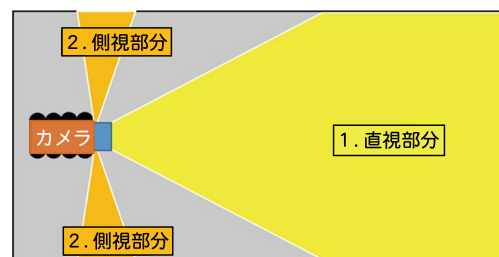
図－4 製管工法イメージ

表－１ テレビカメラ調査及び目視調査判定基準（鉄筋コンクリート管及び陶管）

ランク		A	B	C
項目	管の破損	欠落	軸方向のクラックで幅：2mm以上	軸方向のクラックで幅：2mm未満
		軸方向のクラックで幅：5mm以上	軸方向のクラックが管長の1/2未満	――
	陶管	欠落	軸方向のクラックが管長の1/2未満	――
		軸方向のクラックが管長の1/2以上	――	――
管のクラック	鉄筋コンクリート管	円周方向のクラックで幅：5mm以上	円周方向のクラックで幅：2mm以上	円周方向のクラックで幅：2mm未満
	陶管	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3以上	円周方向のクラックでその長さが円周の2/3未満	――
管の継目ずれ		脱却	鉄筋コンクリート管：70mm以上 陶管：50mm以上	鉄筋コンクリート管：70mm未満 陶管：50mm未満
管の腐食		鉄筋露出状態	骨材露出状態	表面が荒れた状態
管のたるみ・蛇行		内径以上	内径の1/2以上	内径の1/2未満
モルタル付着		内径の3割以上	内径の1割以上	内径の1割未満
浸入水		ふきでている	流れている	にじんでいる
取付管突出し		取付管内径の1/2以上	取付管内径の1/10以上	取付管内径の1/10未満
ラードの付着・木の根侵入		内径の1/2以上閉塞している	内径の1/2未満閉塞している	――

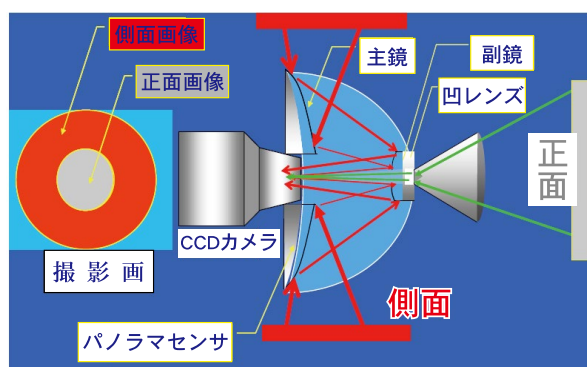


写真－１ ミラー方式テレビカメラ

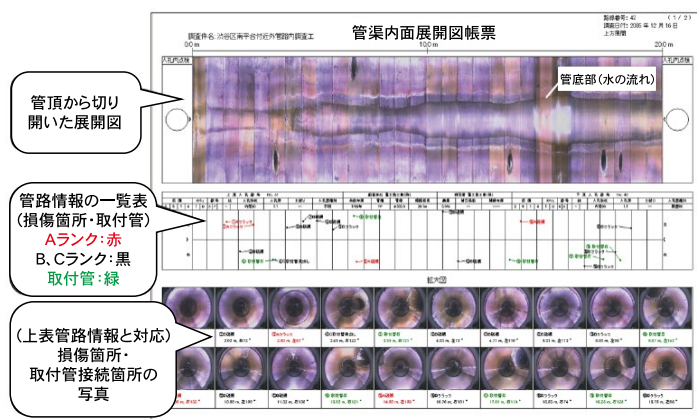


*ミラーは、1 + 2を同時 *従来レンズは、1のみを撮影

図－５ ミラー方式テレビカメラの撮影範囲



図－６ ミラー方式テレビカメラの仕組み



図－７ 調査結果及び展開図の出力例

3年度までの過去5か年平均で年間約117kmであり、そのうち約8割が更生工法により施工している。

3. 老朽化状況の把握

(1) 管路内調査の計画

経済的耐用年数80年の間、下水道管の健全性を確保するため、東京都下水道局では、一定の調査周期で管路内調査を実施している。下水道管路施設の大部分を占める本管の調査は、腐食のおそれの大きい箇所については、5年に1回以上、重要路線下に埋設された下水道管については、10年に1回、その他は、30年に1回の頻度で調査が完了するように計画している。管路内調査は、設計、施工、維持管理の全ての分野で必要不可欠な基本的な情報であり、この調査結果に基づ

き、老朽化した下水道管の再構築や補修等を計画的に進めている。

(2) 管路内調査の手法

東京都都部では、下水道管の劣化度合いを把握するため、内径800mm未満の小口径の下水道管はミラー方式テレビカメラ調査、内径800mm以上の管は調査員が下水道管内に入り、目視で調査を行っている。

表－１は、「鉄筋コンクリート管及び陶管の判定基準」を示しており、破損やクラック等の劣化状況をA、B、Cランクに判定し、状態を定量的に評価している。

人が直接入ることができない800mm未満の小口径の下水道管については、平成22年度から自走式のミラー方式テレビ

カメラ（写真－１、図－５）を導入し、マンホールからカメラを挿入して、破損やクラック等の劣化状況を調査する。

ミラー方式テレビカメラは、特殊なミラー（主鏡・副鏡）をカメラヘッドに装着し、直進撮影のみで管側面の正対画像を捉えることができる。側面画像は、まず主鏡で捉え、次に副鏡を経由してCCDカメラに取り込み、デジタル信号でテレビ画面に結像させる。一方、自走運転に必要な前方画像は、副鏡に穴がかけられ、穴を経由してCCDカメラに取り込まれ、側面画像の内側に結像される。これがミラー方式カメラの原理である（図－６）。

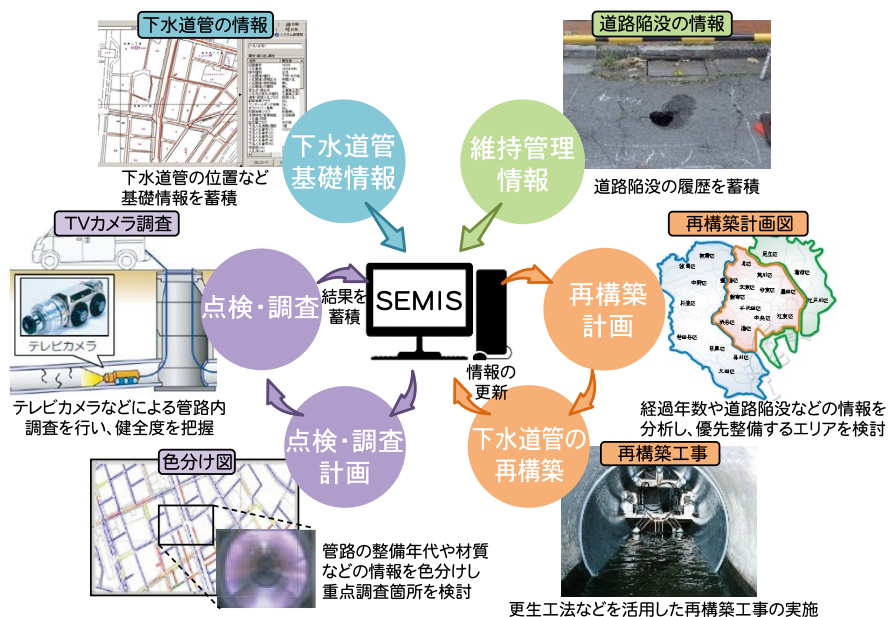
従来方式のテレビカメラでは、オペレータが損傷箇所を発見するとテレビカメラを一旦停止し、カメラを回転させて円周方向の詳細調査を行う必要があった。



図－8 陶管の破損状況



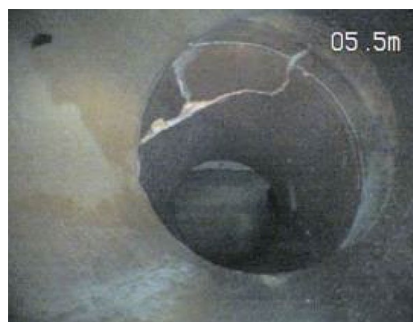
図－9 衝撃に強い硬質塩化ビニル管への取替え



図－10 SEMISを中心とした情報活用例



写真－2 簡易テレビカメラ調査機



写真－3 取付管のクラック

この調査方法では下水道管の側面の画像が正確に撮影できないことから、劣化状況の判定をオペレータの経験に頼らざるを得ない等の調査技術上の課題があった。

一方、ミラー方式テレビカメラは、一定の速度で直進するだけで管内の360°円周方向の画像を鮮明なデジタルデータとして得ることができるため、調査時間の大幅な短縮が実現した。

また、撮影したデジタル画像を用いて下水道管内を管頂から切り開いた展開図を作成し、アルゴリズムを用いて管内の損傷箇所を特定することができる（図－7）。管内面の付着物等の判定に人的な補正を必要とする場合はあるが、デジタルデータによる一連のシステムにより、管内異常発見までの時間を短縮し、作業の効率化を図ることが可能となった。

4. 取付管の対策

(1) 道路陥没の発生原因

区部における下水道管路施設に起因する道路陥没の発生原因を施設別に分類すると、取付管の破損によるものが約7割を占めている。

原因としては、平成元年までに整備された取付管の多くが陶器製であり、衝撃に弱いことが挙げられる。取付管は、比較的浅い場所に埋設されているため、トラックやバス等の大型車両の走行による振動や他企業工事の近接施工等によって衝撃を受けやすい（図－8）。さらに、継手が多いこと、可とう性を有する構造

でないこと、目地ずれが生じやすいこと等により、周辺の土砂を引き込んで道路陥没を発生させていることが多い。

そこで、東京都下水道局では陶器製の取付管を衝撃に強い硬質塩化ビニル管に取り替えたり、更生工法により補修する等の対策を進めている（図－9）。

(2) 取付管の点検手法

取付管の劣化状況については、ファイバースコープのような簡易テレビカメラ調査機を用いて確認を行っている（写真－2）。カメラを公共ますから取付管に挿入・撮影し、破損やクラック等の劣化状況を基準に基づき判定している。写真－3のクラックを発見した場合等は、取付管を硬質塩化ビニル管に取り替える等の対策を実施している。

5. デジタルデータを活用した施設管理

(1) SEMISの活用

東京都下水道局では、下水道管路施設に関するさまざまな情報を、下水道台帳情報システム（Sewerage Mapping and Information System：通称SEMIS）において一元的に管理し、再構築並びに補修等の計画立案、工事発注に活用している。また、これまでに紹介した再構築・補修工事の履歴や維持管理情報等をSEMISに反映させて、スパイラルアップを図っている。これらのデータを年6回更新し、最新の管路施設情報を共有することで、



図-11 下水道管の損傷状況に基づく補修の優先度

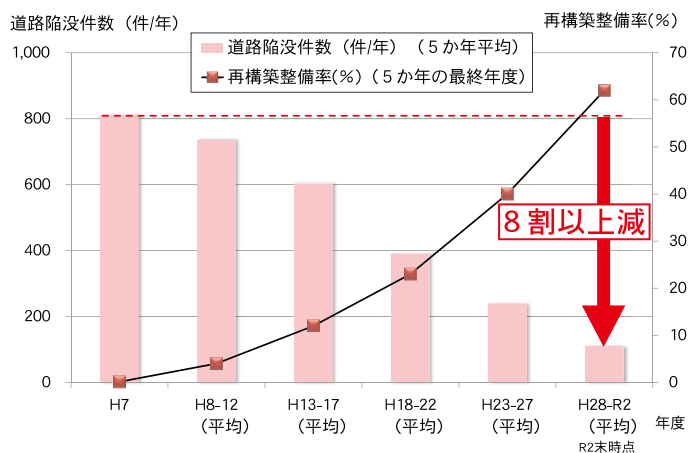


図-12 再構築整備率と道路陥没件数の推移（第一期再構築エリア）

管路施設を健全に保つ重要な役割の一端を担っている（図-10）。

SEMISは、約16,100kmに及ぶ東京都区部の下水道管の布設位置、管種、土被り、布設年度等の基礎情報や、約49万個のマンホール、約197万個の公設汚水ますの種別、設置位置、深さ等の情報を保有している。また、工事完了図、特殊マンホール構造図も保存されており、これらの図面の閲覧及び印刷を行うことが可能である。

さらに、下水道管の管網を追跡する機能を有しており、流入場所の特定や流達時間を算出することができる。また、道路陥没被害や浸水被害の発生日時や場所等についても蓄積しており、陥没の発生が多いエリアの特定等に活用している。

この他に、管路内調査の結果についても登録しており、管内の状況や展開図化した調査結果を閲覧し確認することができる（図-7）。また、この調査結果を反映した下水道管の損傷状況から補修の優先度を評価し、システム上で色分けして表示することも可能である（図-11）。従来は、SEMISデータと調査画像が別の媒体に保管されていたため、損傷箇所の特定期間を要したが、このシステムでは一連の作業をSEMIS上で実施できるため、大幅な時間短縮とともに、半ば自動的に下水道管の詳細な状態を把握できるようになった。

以上のように、東京都下水道局は下水道台帳データと管路内調査データを一体的に整理・活用することにより、①既設のまま活用する、②全体的に再構築または改良する、③部分的に補修する、等の判断を迅速かつ的確に行い、最少の経費で最良のサービスを安定的に提供している。

（2）重点化した道路陥没対策

前述のように、管路内調査の結果に基づき、順次、取付管の取り換えや更生工法等による道路陥没対策を行っているが、区部における取付管の数は膨大であり、全ての箇所に対策を講じるのは多大な時間を要する。このため、SEMISに蓄積されたデータをもとに道路陥没が多い地区を抽出し、重点的に取付管の取り換え等の対策を行っている。これまでに125地区を「道路陥没対策重点地区」として対策を完了させており、現在は、劣化の著しい路線や道路陥没した場合の影響が大きい路線を優先し、取付管の取り換え等を計画的に実施している。

6. おわりに

下水道管の破損や老朽化等に起因する道路陥没（陥没には至らない道路表面の落込みの件数も含む）は、平成12年度に区部全体で約1,500件発生していたが、これまでに紹介した取組により、令和2年度には約340件まで減少した。特に第一期再構築エリアにおいては、令和2年度までに同エリアの面積の約6割について再構築が完了した結果、同エリアの道路陥没件数は8割以上減少しており、対策による効果が確認できる（図-12）。

下水道は、日々の暮らしや経済活動によって汚れた水を浄化し、川や海に戻すことで、快適な生活環境と都市の水循環を支えており、都民生活や東京の都市活動になくてはならない重要なインフラである。

一方で、今後、高度経済成長期に整備した下水道管が一斉に更新時期を迎える。

老朽化による下水道機能の支障や道路陥没の発生は、お客さまの生命や財産、都市活動にも大きな影響を及ぼすため、

引き続き下水道管の再構築等を早急に行っていく必要がある。

東京都下水道局は、都民の安全を守り、快適な生活を支えるため、将来的な人口減少や気候変動等の社会経済情勢の変化を見据え、事業のより一層の効率化、利便性の向上に取り組み、下水道サービスの更なる向上を図る対策を推進していく。