

## 19. 管路施工法の合理的な評価・選定手法に関する調査

独立行政法人土木研究所技術推進本部（施工技術） 主席研究員 大下 武志  
主任研究員 小野寺誠一  
研究員 橋本 聖

### 1. はじめに

下水道管路の整備に関する主なコストとして計画、設計、建設、維持管理、更新が挙げられる。従来、下水道管路の整備は建設費を最小とする設計が行われてきたが、近年、維持管理費の増大に伴い、これらのコストを総合的に考慮した「ライフサイクルコスト」を最小とする設計が求められている。

しかし、下水道管路におけるライフサイクルコストの算定にあたっては、以下に示すような問題点があるため、現在のところ具体的な算定方法が確立されていないのが実状である。

- 1) 下水道管路の主な施工法は、開削工法、推進工法、およびシールド工法に大別される。その中でも内径 800mm 以下の小口径推進工法については多種多様な推進方式があり、各開発メーカーは独自の技術を取り入れ、他工法との差別化を図っている。そのため、工法選定の際には様々な検討が必要とされるが、コスト比較は直接工事費によるものであり、ライフサイクルコストを考慮した工法選定マニュアルが存在しない。
- 2) 下水道管路は基本的に地中構造物であるため、埋設される周辺環境によって劣化の進行に差異が生じるが、それぞれの環境ごとの耐用年数がどの程度であるかといった体系的なデータ整理がなされていない。そのため、資産管理上の減価償却期間に基づいた耐用年数は定められているが、機能上の耐用年数に関する考え方については確立されていない。
- 3) 昨年度、全国の主要自治体を対象に下水道事業の現状についてのアンケート調査を行った結果、管路施設の巡視・点検・補修の時期、方法などといった維持管理業務は、各自治体によって大きな差異が見られ、それぞれが独自の判断のもとに実施していることが判った。このような状況は、管路の使用目的や規模などに応じた適切な維持管理手法が確立していないことによるものと推測できる。
- 4) 近年、下水道管渠の補修・改築工法は様々な方式が開発されており、体系的な分類もなされているが、工法毎の補修・改築後の機能を保証する基準が存在しない。そのため、更新後の耐用年数が明確にされていない。
- 5) 東京都、横浜市など古くから下水道整備を実施してきた大都市は、老朽化の進んだ管路が増加しており、これらの更新時期を的確に判断する必要があるが、機能上の耐用年数や判断基準が存在しないため、計画的な維持管理が行えず、支障が生じた場合に補修・改築を行うといった緊急対応的な維持管理になっている。

本調査はこれらの問題点を解消し、中小規模の地方自治体の技術者が、下水道管路におけるライフサイクルコストを加味した工法選定手法を確立するための検討を行うものである。

### 2. 調査概要

今年度は昨年度の調査成果を基に、①管路施工法選定資料集の作成、②機能上の耐用年数の算定方法の検討を行った。①の具体的な調査内容は、i) 推進工法を中心とした各種工法の調査、ii) 施工方法に注目した工法分類、iii) 各工法の特徴の整理、である。なお、管路施工法の対象は、管路施工延長の大部分を占め、中小規模の地方自治体における施工を考慮に入れ、径 800mm 以下の管渠を対象とした施工法とした。②に関しては、i) 下水道管路以外の施設、構造物などを対象とした耐用年数に関する文献収集、ii) 下水道管路の機能上の耐用年数を具体的に算定する手法の検討、について行った。

### 3. 検討結果

#### 3.1 管路施工法選定資料集の作成

本検討においては、近年、下水道管路の施工方法として多用され、かつ各種の新工法が開発されている推進工法に注目し、現在、使用されている各種工法の調査を行い、工法の特徴を整理した。

調査結果を表-1に示す。

表-1 小口径推進調査結果

工法名	項目	適用管径	推進延長	適用土質		長距離・曲線推進	確対応	立状寸法	道路交通への影響	架空線・地下埋設物への影響	騒音・振動	陸揚副産物	土壌・地下水汚染、地盤沈下
				粘	砂								
高耐荷 力方式	圧入方式一工程	φ200~φ300	30m程度	○	△	×	×	発進5.7×2.8 到達3.6×2.0 分割φ1.5	○	△	○	○	○
	圧入方式二工程	φ250~φ700	50m程度	○	△	×	×	発進5.7×2.8 到達3.6×2.0~3.6×2.4 分割φ1.5	○	△	○	○	○
	オーガ方式	φ250~φ700	60m程度	○	△	△	×	717A-B等 発進5.6×2.8~6.0×3.2 到達3.2×2.0~3.6×2.4 分割φ1.5~φ1.8	○	△	△	○	○
	泥水方式一工程	φ250~φ700	100~140m程度	○	○	△	×	717A-B等 発進5.7×2.8~6.4×4.0 到達3.2×2.8~4.4×3.2 分割φ1.5~φ2.5	×	△	×	×	×
	泥水方式二工程	φ250~φ500	120~160m程度	○	○	△	×	ミクロ S-n-11 発進5.7×2.7~6.4×4.0 到達3.2×2.8~4.4×3.2 分割φ1.5~φ2.5	×	△	×	×	×
	泥土圧方式	φ250~φ700	60~80m程度	○	○	△	×	I-2E-B 717A-B 6A-7P75 発進5.0×2.7~6.4×3.2 到達3.6×2.0~4.0×2.4 分割φ1.5~φ1.8	△	△	△	△	○
	圧入方式一工程	φ200~φ300	40m程度	△	×	×	×	発進2.5×2.0, 3.5×2.0 到達2.0×2.0 分割φ1.5	○	△	○	○	○
	圧入方式二工程	φ150~φ450	50m程度	△	△	×	×	発進2.5×2.0, 3.5×2.0 到達2.0×2.0 分割φ1.5	○	△	○	○	○
	オーガ方式	φ150~φ450	50m程度	○	△	×	×	発進2.0×2.0~2.5×2.0 到達2.0×2.0~2.5×2.0 分割φ1.5	○	△	△	○	○
	泥水方式	φ200~φ300	50~60m程度	○	○	△	×	717A-B等 発進2.0×2.0, 3.5×2.0 到達2.0×2.0 分割φ1.5	×	△	×	×	×
泥土圧方式	φ200~φ450	50~60m程度	○	△	×	×	発進2.0×2.0~2.5×2.0 到達2.0×2.0~2.5×2.0 分割φ1.5	△	△	△	△	○	
調整さや管方式	圧入方式	φ400~φ800	10~30m程度	△	△	△	×	条件による 発進5.0×2.8 到達2.0×2.0~2.4×2.0 分割φ1.5	○	△	○	○	○
	オーガ方式	φ400~φ800	50~60m程度	○	△	△	×	条件による 発進6.0×2.8 到達2.0×2.0~2.4×2.0 分割φ1.5	○	△	△	○	○
	ボーリング方式一重ケーシング	φ400~φ800	50~60m程度	○	△	△	×	条件による 発進6.0×2.4~6.4×3.2 到達2.0×2.0~2.4×2.0 分割φ1.5	○	△	△	○	○
	ボーリング方式二重ケーシング	φ400~φ800	50~60m程度	○	△	△	×	条件による 発進6.0×2.4~6.4×3.2 到達2.0×2.0~2.4×2.0 分割φ1.5	○	△	△	○	○
	泥水方式	φ400~φ800	50~60m程度	○	○	△	×	条件による 発進6.0×2.8 到達2.8×2.0~3.6×2.4 分割φ1.5~φ1.8	×	△	×	×	×
中・大口徑管 セメント シールド	刃口推進	φ800~φ1000	70~200m	△	△	△	×	人力 5.3×2.6~5.9×5.5	△	×	○	○	○
	泥水式	φ800~φ1000	100~500m	△	○	○	×	717A-B1A, E3-702等 条件による 発進6.7×2.8~8.4×5.6 到達4.3×2.8~6.7×5.6	×	×	×	×	×
	土圧式	φ800~φ1000	70~350m	△	○	○	×	条件による 発進6.8×2.8~8.8×5.6 到達4.4×2.8~6.0×5.6	△	×	△	△	○
	泥水式	φ700~φ2000	600m程度	△	○	○	×	超泥水、11 11E-6等 条件による 発進7.2×2.8~7.7×4.4 到達3.7×2.8~4.1×4.4	×	×	×	×	×

○…一般的に適用可 △…条件により適用可 ×…適用できない ○…影響が小さい △…影響がやや大きい ×…影響が大きい

本検討は、ライフサイクルコスト算定に向けての基礎的検討として、主に「周辺環境への影響」の度合いについて分類を行った。この結果、土質による適用範囲の狭い圧入方式が最も影響が小さく、適用範囲の広い泥水方式が最も影響が大きいことがわかり、工法選定時にはこのような条件についても留意する必要があると考えられる。

また、施工条件毎の各推進工法の選定フロー案の作成も行った。図-1にフロー案の一例を示す。

#### 3.2 下水道管路の耐用年数について

##### (1) 土木構造物の耐用年数の決定要因

土木構造物の耐用年数は以下の要因によって決定すると考える。

##### ①物理的耐用年数

土木構造物を使用すると、使用荷重および自然営力が作用することによって構造物が消耗する。消耗が進行すると構造物の耐力が不足し使用できなくなり、構造物を存在させることが人命、財産への危険を及ぼす状態。

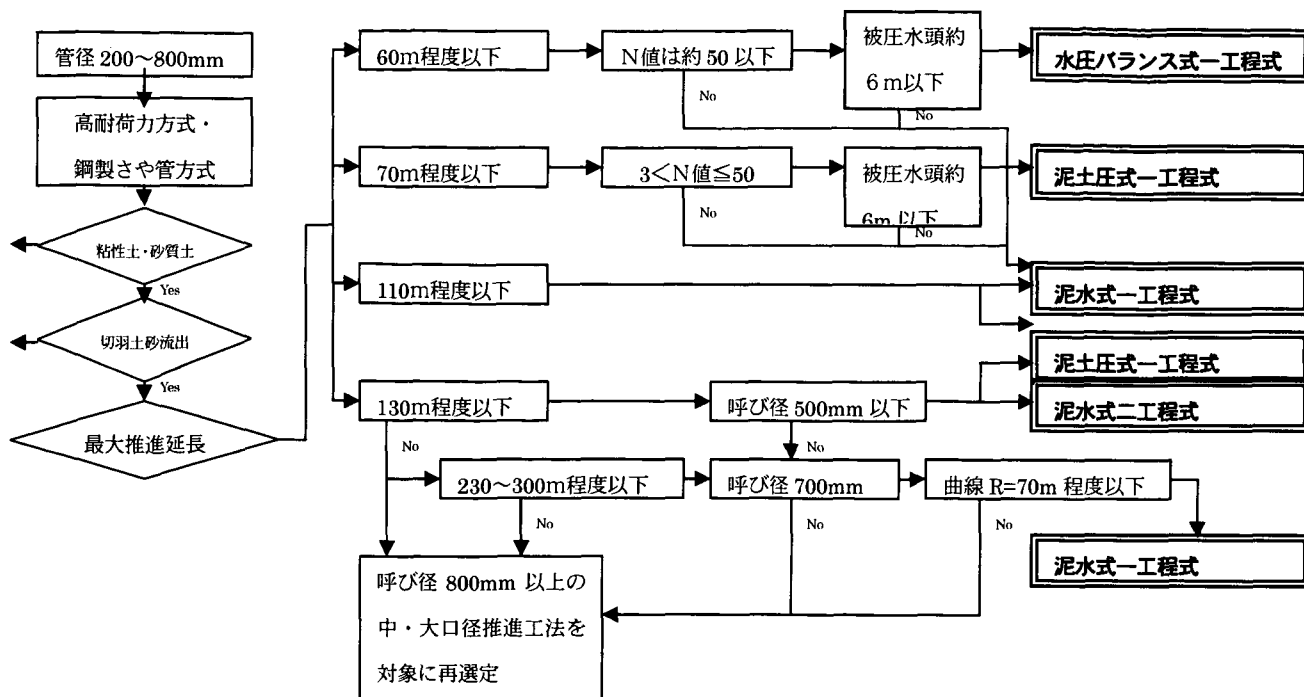


図-1 推進工法の選定フロー案の例

②機能的耐用年数

物理的耐用年数が経過する前に、構造物に対する需要量が当初の計画を超える。あるいは、需要の質的水準が構造物の質的水準を超えることから機能不足を生じたために更新する必要が生じた状態。

③経済的耐用年数

既存の構造物を維持管理していくために必要な費用が、構造物を更新する費用および更新後の構造物を維持管理するために必要な費用の和を上回るため、更新する方が経済的に有利と判断される状態。

④社会的耐用年数

ほかの公共施設の建設に際して撤去を要するなど、構造物を使用することとは関係のない外的要因によって撤去または再建設を必要とする状態。

⑤災害上の耐用年数

自然災害または社会的事故によって、構造物が破損、損害を受け、更新する必要が生じる状態。

これらの要因の中で、最も短期間で限界に達する耐用年数とその土木構造物の耐用年数であると定義できる。

しかしながら、これらの要因の中には社会的な変化や自然災害によって決定される定量的な評価が困難なものもある。このように主働的に構造物の耐用年数を定めることが困難な要因については、構造物の設計にそれらを設計条件として耐用年数を設定し、耐用年数内に発生する可能性のある社会的変化や自然災害に対する対応が可能な構造物とする受働的な対応が必要となる。

(2) 下水道管路の耐用年数の決定要因

これらの耐用年数を決定する要因を小口径下水道管渠に当てはめて考察すると、以下のように考えることができる。

①物理的耐用年数

物理的耐用年数は、管路構造物そのものの耐久性によって決定されると考える。下水道管渠のうち、汚水管

渠や合流管渠においては、生活排水をはじめとする不特定の薬品を含んだ下水が流下するため、その劣化環境は極めて劣悪であると考えられる。このため、単純に材料の耐久性によってその期間を設定するのではなく、使用環境を十分に勘案して定める必要があると考える。

#### ②機能的耐用年数

下水道管渠の機能は下水を流下させることであり、流下する下水がその容量を超えることが機能的な耐用年数を決定することとなる。しかしながら、その流域の雨水流入率の増加や住宅の増加等によって実質流量が計画流量を上回る場合には、バイパス管を設けるなどの対応を行うことで現設備を有効に利用するのが一般的である。このため、機能的耐用年数は小口径下水道管渠の耐用年数を決定する要因とはならないと考える。

#### ③経済的耐用年数

小口径下水道管渠はその建設費が他の工法に比べて低いのが一般的である。このため、維持管理に多くの費用をかけるより、適切な時期に更新することが経済的になる可能性がある。しかしながら、一般的に小口径下水道管渠は道路下に設置されており、その更新にあたっては道路を一部通行止にするなどの交通規制が必要となる。この影響は、地上条件によっては地域住民などの道路利用者に不利益を与える可能性が高く、この外的要因を十分に勘案して評価する必要がある。

#### ④社会的耐用年数

事前に計画がある場合には地下利用の調整を行い、新設構造物によって小口径下水道管渠を移設する必要性が生じることは希である。また、後に計画される構造物によって移設や再構築が必要となる場合は、その期間を設定することが困難であることから耐用年数の設定が困難であると考えられる。

#### ⑤災害上の耐用年数

小口径下水道管渠がその構造耐力や機能を失う災害として地震が考えられる。今日、地震による被害を最小限に抑える工夫がなされていることから、災害によって耐用年数が決定されることはないと考えられることができる。

上記の各耐用年数の考え方を整理した結果、下水道管路の耐用年数を決定するために考慮すべき要因として、物理的耐用年数と経済的耐用年数を対象とすることが妥当であると考えられる。

### (3) 物理的耐用年数の決定

物理的耐用年数は、下水道管路に使用されている材料が、下水道管路の使用環境下において所定の性能を維持することが可能な年限として定義することができる。

使用材料によってその耐用年限は大きく異なることから、ここではコンクリート構造物を対象として、その決定要因を整理する。下水道管路の使用環境とコンクリート構造物の劣化の因果関係を表-2に示す。

表-2 下水道管路の使用環境とコンクリート構造物の劣化の関係

下水道管路の環境	劣化要因	劣化に伴う被害
不特定の薬品を含む下水への暴露	コンクリートの中性化	鉄筋の腐食による構造耐力の低下
結露等による定常的な湿潤状態		
滞留物等による硫化水素の発生	コンクリートの溶解	コンクリート断面の減少による構造耐力の低下

この表から、下水道管路におけるコンクリート構造物の劣化はコンクリートの中性化に伴う鉄筋の劣化と、硫化水素に起因するコンクリートの劣化に大別されることが判る。これらの劣化はいずれも構造耐力の低下を伴うものであり、『一定以上の劣化が生じた時点』で物理的限界に達すると考えることができる。

コンクリートの中性化に伴う鉄筋の劣化は、中性化深さが鉄筋に達することによって発生すると考える。コンクリートの中性化深さが鉄筋に達した時点で、直ちに管路構造物の耐力が物理的な限界に達することはないが、どの時点で物理的な限界に達するかを明確に定義することは困難である。ここでは、『コンクリートの中性化深さが鉄筋に達した時点』を物理的な限界と定義する。

下水道管路におけるコンクリートの中性化は、経年 50 年以上の下水道管路に対する調査結果<sup>1)</sup>によると、概ね 0.5mm/年程度の劣化を考慮すればよいと考える(図-2)。

現在、下水道管路に使用されるヒューム管(コンクリート製)の鉄筋被りは 15mm 程度であることから、その耐用年数は概ね 30 年と考えることができる。

一方、硫化水素に起因するコンクリートの劣化については、未だその実態が把握されていないことから、今後の基礎的な研究を含めた検討が必要となる。これらの要因によるヒューム管の劣化は、管路の清掃等のメンテナンスを実施することによって遅延可能であると考えられる。

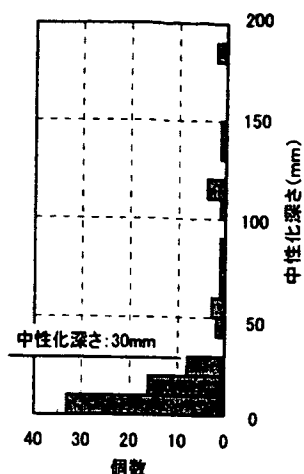


図-2 経年 50 年以上の合流管を対象とした中性化深さの実態調査

#### (4) 経済的耐用年数

東京都下水道局では、下水道管渠のライフサイクルコストとして減価償却費と平均維持管理費の和が最小となる年数を経済的耐用年数と定義し、約 75 年としている<sup>2)</sup>(図-3)。

この考え方は、一つの指標を与えるものであるが、下水道管路の更新をいつ行うかが経済的耐用年数の決定要因であることを考慮すると、十分な指標とは言い難い。

経済的耐用年数の決定にあたっては、更新時期を仮定してライフサイクルコスト(LCC)を最小とする更新サイクルを検討する必要がある。このライフサイクルコストを算定するにあたっては以下の項目を把握する必要がある。

- ① 下水道管路の新規建設費
- ② 下水道管路の経年と維持管理費の関係
- ③ 下水道管路の補修・改修費
- ④ 下水道管路の更新費

これらの諸費用は現時点では把握されていないことから、下水道管路の管理を行っている自治体に対する調査を行い、その実態を把握する必要がある。

#### 4. まとめと今後の方針

次年度は以下のような方針により、合理的な管路施工法の選定法及びライフサイクルコストの算定方法の確立を目標に検討を進めることとする。

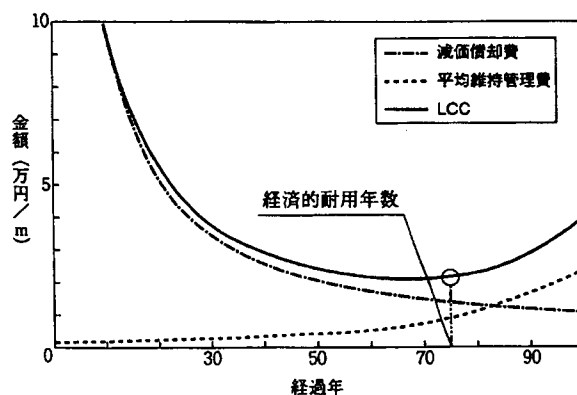


図-3 東京都における下水道管渠のライフサイクルコスト試算例

- 1) 施工コストを工法毎に整理する。
- 2) 補修・改築工法などの維持管理に係わるコストを整理する。
- 3) 施工条件に応じた管渠のパフォーマンス曲線を求めるために、必要に応じて実験等を行う。
- 4) ライフサイクルコストに関する各構造物の考え方を整理する。
- 5) ライフサイクルコストに関する取組み状況について、自治体にアンケート、またはヒアリングを実施する。
- 6) これまでの検討結果から、ライフサイクルコストの算定方法について整理する。
- 7) 管路を仮定し、ライフサイクルコストの試算を行う。

最終的な成果目標として、これまでの業務成果をとりまとめ、「ライフサイクルコストを考慮した下水道管路整備に関する設計資料集」を作成する。

※参考文献

- (1) 東京都下水道局：「シールド工法の新技術に関する設計の手引き」 平成12年7月
- (2) 廣瀬、水野、加茂：「地下構造物の耐久性と維持管理」、地下空間シンポジウム論文・報告集 第5巻 平成12年1月