

16. 管路施工法の合理的な評価・選定手法に関する調査

施工技術チーム 主席研究員 大下 武志
主任研究員 小野寺誠一
堤 祥一

1. はじめに

下水道管路施工法は、開削工法、推進工法、シールド工法に大別できるが、近年の技術開発により、長距離推進や各種地盤条件に対応可能な推進工法、軽量の仮設材や管材の使用や流動化処理土による埋戻しなど、迅速・安全な開削工法の様に、コスト縮減や環境保全等に資する新技術が各種開発されている。一方、騒音・振動や路上工事による交通渋滞、建設副産物の処理など、工事に伴う周辺環境への影響も考慮すべき重要な項目となってきている。更に、管路敷設等の量的な整備に加え、整備ストックの老朽化に伴い、管路の維持管理・更新技術も重要となってきている。このため、今後の下水道管路施工法の選定に当たっては、建設費などのインシヤルコストのみではなく、工事に伴う周辺環境への影響等の外部コストや将来の維持更新を考慮したメンテナンスコスト等を考慮して、総合的に評価する必要がある。図-1 に総合的なコストを考慮した下水道管路施工法の選定フローを示す。

本研究では、フローの中で適用可能な工法の一次選定に資するために、各種工法が存在する推進工法について、総合的に分析し工法選定の考え方を整理した。また、外部コストについては、現道上での下水道工事に着目し、外部コスト項目及び影響についてケーススタディを行った。さらに、ライフサイクルコストの算出については、管路の維持管理の現状について分析するとともに、ライフサイクルコストの算出について試算を行い、その影響を検討した。

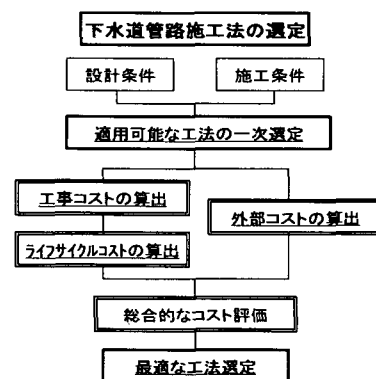


図-1 下水道管路施工法の選定フロー

2. 工法の適用範囲

管路工事における各種工法の割合を図-2 に示す。開削工法が全体の8割以上を占めているが、地域別に見ると都市部においては推進工法、シールド工法の割合が高い。図-3 には、管路工事における管径の割合を示すが、700mm 未満の管が圧倒的に多い。

開削工法は、施工の流れとして掘削・土留め、管路敷設、埋戻しとなり、現場条件により工法が選定されるものとしては、土留めがある。現場条件に応じた土留め工の選定の目安を図-4 に示す。

推進工法については、各種の新工法が開発されており、これら各工法の分析を行い、適用範囲及び周辺環境への影響を整理した結果を表-1 に示す。また、これらをもとに施工条件毎の推進工法の選定フローの作成を行い、電子化を行った。

近年では礫質地盤への対応や長距離・曲線掘進などコスト縮減に有効と思われる新工法が開発されているが、今後はより一層の長距離化、機械損料の低コスト化、積算基準の確立などが必要であると思われる。ま

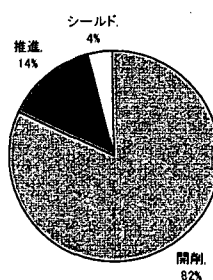


図-2 工法割合

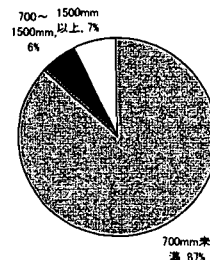


図-3 管径割合

た、周辺環境への影響を見ると、泥水式が全ての項目について不利なものとなっている。これは、泥水処理設備を設置しなければならないため、作業ヤードが大きくなること、分級機が騒音・振動の発生源になること、掘削土砂が泥水となることなどによる。泥水式は、推進延長が他工法に比較して長く、また適用できる地盤条件も広いため、施工条件だけで見た場合には評価は高いため、今後は周辺環境への影響を低減した技術開発が望まれる。

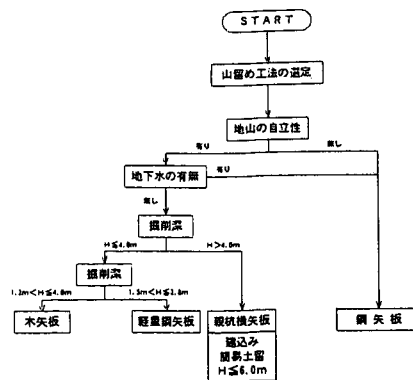


表-1 適用条件別推進工法分類表

図-4 開削土留め工法の選定フロー

工法	適用管径	推進延長	適用土質			長距離・曲線推進	疎対応	立坑寸法 (m)	周辺環境への影響				
			粘土	砂	礫				道路交通への影響	架空線・地下埋設物への影響	騒音・振動	副産物	土壌・地下水汚染・地震沈下
高耐荷力方式	圧入方式一工程	φ200～φ300	30m程度	○	△	×	×	×	○	△	○	○	○
	圧入方式二工程	φ250～φ700	50m程度	○	△	×	×	×	○	△	○	○	○
	オーガ方式	φ250～φ700	60m程度	○	△	△	×	7/74-6等	○	△	△	○	○
	泥水方式一工程	φ250～φ700	100～140m程度	○	○	△	×	7/74-6等	×	△	×	×	×
	泥水方式二工程	φ250～φ500	120～180m程度	○	○	△	×	マイクロ	×	△	×	×	×
小口径低耐荷力方式	圧入方式一工程	φ200～φ300	40m程度	△	×	×	×	7/74-6 H4N-TP75	○	△	○	○	○
	圧入方式二工程	φ150～φ450	50m程度	△	△	×	×	×	○	△	○	○	○
	オーガ方式	φ150～φ450	50m程度	○	△	×	×	×	○	△	△	○	○
	泥水方式	φ200～φ300	50～60m程度	○	○	△	×	7/74-6 V	×	△	×	×	×
	泥土圧式	φ200～φ450	50～60m程度	○	△	×	×	×	△	△	△	△	○
掘削土留め方式	圧入方式	φ400～φ800	10～30m程度	△	△	△	×	条件による	○	△	○	○	○
	オーガ方式	φ400～φ800	50～60m程度	○	△	△	×	条件による	○	△	△	○	○
	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	○	△	△	○	○
	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	○	△	△	○	○
	泥水方式	φ400～φ800	50～60m程度	○	○	△	×	条件による	×	△	×	×	×
中・大口径管	刃口推進	φ800～φ3000	70～200m程度	△	△	△	×	人力	△	×	○	○	○
	泥水式	φ800～φ3000	100～500m程度	△	○	○	×	7/74-6 H1.5-2.2 E-3等	×	×	×	×	×
	土圧式	φ800～φ3000	70～350m程度	△	○	○	×	条件による	△	×	△	△	○
	泥濁式	φ700～φ2000	600m程度	△	○	○	×	掘削機 2212 E-3等	×	×	×	×	×

○:一般的に適用可 △:条件により適用可 ×:適用出来ない ○:影響が小さい △:影響がやや大きい ×:影響が大きい

3. 下水道管路工事の外部コストの検討

3.1 外部コストの算定方法

一般的な土木工事において、外部環境に与える主な項目は、①交通渋滞、②騒音、③振動、④大気汚染、⑤水質汚濁、⑥副産物、⑦動植物の保全、⑧景観などが考えられるが、このうち現道上での下水道工事では、①以外は外部コスト換算してもその影響度は小さいことが分かっている。このため、ここでは計測・予測が比較的容易で影響度も大きいと思われる①交通渋滞のみを対象として試算を行った。

交通渋滞による外部コストの算出は、渋滞による走行時間損失を貨幣換算する方法を用い、時間価値原単位は「道路投資の評価に関する指針(案)」¹⁾を参考に、乗用車 67 円/台/分、大型車 101 円/台/分を用いた。

3.2 ケーススタディ

3.2.1 基本ケースに対する試算

(1) 検討モデル

試算は、2車線道路上において片側1車線を交通規制して工事を行い、

表-2 基本ケース試算条件

項目	試算条件	
道路条件	郊外幹線道路	市街地幹線道路
道路規格	第3種第2級	第4種第2級
車線幅員	3.25m	3.0m
側方余裕	0.75m	0.5m
沿道状況補正係数	0.85	0.75
通常時交通容量	1062pcu/h(片側)	837pcu/h(片側)
信号現示(青時間)	20秒	
信号サイクル長	52(規制50m)～88秒(規制200m)	
規制区間通過速度	30km/h	
大型車混入率	15%	

片側交互通行を行う場合を想定した。対象とする道路は、郊外及び市街地の一般的な幹線道路を想定し、表-2に示すような条件とした。交通量は各時間一定とし、交通規制を1時間だけ行って工事を実施した場合の交通渋滞による外部コストの試算を行った。

(2) 試算結果

郊外の幹線道路における交通量と規制延長の違いによる1時間の交通規制に伴う外部コストを図-5に示す。図より、交通量の増加に伴い、外部コストが急激に大きくなり、規制延長が長くなるに従って、その増加程度が大きくなるのが分かる。下水道管路敷設工事での一般的な規制延長(100~150m:工事区間約30m+100m程度)では、交通量が360台/時/方向程度で交通渋滞への影響が急激に大きくなる傾向が見られる。

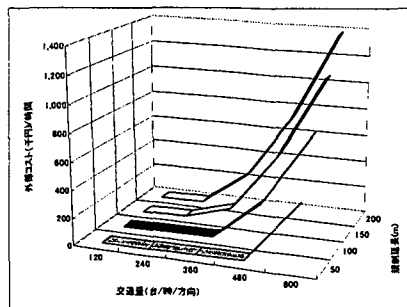


図-5 外部コスト試算結果(郊外幹線道路)

道路条件(幅員・側方余裕)の違いによる外部コストは、幅員・路肩が小さく、沿道の影響を受けやすい条件に対しては、道路の交通容量が小さくなり、交通渋滞への影響がより大きくなる傾向が見られた。

3.2.2 実際の現場条件に対する試算

(1) 検討モデル

実際の現場条件に対して試算を行った。対象とした道路は、郊外の幹線道路で、2車線道路上で片側交互通行を行いながら、工事を行う場合を想定した。交通条件は日交通量が約20,000台で、大型車混入率は15%である。工事は、夜間のみ実施し、この時の1日当たりの交通渋滞に伴う外部コストを算出した。

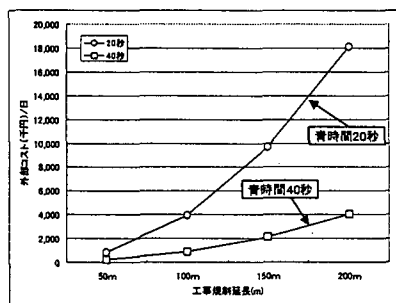


図-6 現場条件に対する試算結果

(2) 試算結果

図-6に工事に伴う1日当たりの外部コストを示す。ここでは、規制延長と規制方法(交互通行の信号の青時間の長さ)を変えた場合の結果を示す。図より、信号青時間が短くなるほど、外部コストが急激に増える結果となった。このため、工事に伴う道路交通への影響を考慮する際には、規制延長の他、規制方法にも留意する必要がある。

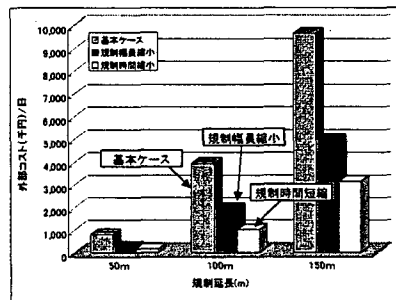


図-7 改善策の効果

(3) 改善策の検討

今回の現場条件に対して、1日当たりの外部コストが非常に大きな値となったため、以下の様な改善策について、その効果の試算を行った。

- ① 工事規制幅を小さくし規制区間の通行を円滑にする→規制区間の走行車線の幅員増加と通過速度の増加
- ② 交通量の多い時間帯を避けて工事を実施→規制時間を20時~翌5時から21時~翌5時に変更

試算結果を図-7に示す。図より、工事規制幅を縮小することにより外部コストを約1/2に、規制開始時間を遅らせることにより約1/3~1/4程度に低減できる結果となった。この様に比較的簡易な改善策により、交通渋滞への影響を大幅に軽減でき、外部コストを低減できることが分かった。

4. メンテナンスコストの検討

4.1 下水道管渠の損傷・劣化の状況

東京都が実施した23区内の管渠の損傷調査結果を図-8に示す。図より、管種や施工条件の違い等がある

が、敷設年代が古く、経過年数が長いほど損傷割合が増加する傾向が確認できる。特に、戦前に敷設された管渠は敷設年代不明のものも含めると、全体平均の34%増となり、50年以上経過した管渠は、老朽化の割合が高くなる傾向にあることが分かる。

下水道管路において、見られる欠陥を、構造上影響のある欠陥と供用上影響のある欠陥に分けて分類すると、表-3の様になる。

管渠の破損・クラックに対しては、マンホールとの継手部においては、不同沈下の影響を受けて複雑な応力が発生して損傷を受けやすい。硫化水素による腐食の影響については、各種調査研究が実施され、腐食速度の推定式も提案されている。

塩化ビニル管の変形に対しては、埋設試験により発生した最大曲げ応力は50年後の推定曲げ強さに比べて半分以下であり³⁾、供用開始後16年を経過した塩ビ管の物性試験結果でも経年変化による材質の劣化は認められなかったとの報告⁴⁾もある。

4.2 下水道管渠の維持管理の状況

維持管理業務は、計画的な維持管理と緊急対応維持管理の2つがあり、どの様な対応をするかは管理する自治体の考え方により大きく異なる。24自治体へのアンケート調査結果による、週単位で点検をおこなっているところや、数年単位で実施するなど、自治体により大きく異なる結果となった。下水道普及率が高くなるに従い、維持管理が必然的に重要となり、事故が起こってから突発的な対応ではなく、補修の必要性や補修時期を的確に判断し、管路全体の補修計画を立てることが重要である。補修時期の判断については現在統一された基準はなく、各自治体独自の判断に基づいて対応している。表-4に補修の判断基準の例として東京都の基準を示す。

4.3 ライフサイクルコストに関する試算

設計時の管路の選定法や維持管理や補修計画の違いによるライフサイクルコストの違いを検討するために、以下の条件に対して試算を行った。

管径：φ300mm 延長：50m

管種： ヒューム管 or 塩化ビニル管(VP)

敷設方法：小口径管推進工法(120,000円/m)

4.3.1 設計耐用年数の設定の考え方

下水道管渠の法的な減価償却期間は50年と定められているが、地方公共団体として法定減価償却期間に至った下水道管渠を全て改築することは困難であり、設計上その構造物の要求性能を設定する時期によって設計耐用年数を設定することになる。各種構造物に対する設計基準類では、100年を設計耐用年数として設定する例が出てきており、自治体によっては目標耐用年数を100年として維持管理計画を作成している例⁵⁾も見られることから、本検討における設計耐用年数としては、100年

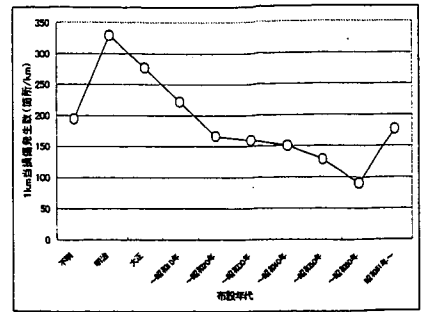


図-8 布設年代別損傷状況

表-3 下水道管路の欠陥とその原因

a) 構造上影響のある欠陥		
欠陥内容	原因	発生位置、影響等
破損 クラック	・交通荷重 ・地盤の不同沈下 ・地震 ・他企業工事	・道路陥没 ・土砂流入と流下能力低下 ・浸入水、漏水
腐食	・硫化水素 ・悪質下水の流入 ・管材の劣化(中性化)	・管渠の破損など
摩耗	・老朽化 ・インパートの洗掘	・管渠の破損など
変形 継手脱却	・上載荷重 ・地盤の不同沈下	・塩ビ管の破損など ・管渠の破損 ・浸透水など

b) 供用上影響のある欠陥		
欠陥内容	原因	発生位置、影響等
浸入水 漏水	・継手部の水密性 ・クラック、破損	・流下下水の増加 ・道路陥没など
浸入根	・継手部のずれ ・クラック、破損	・流下能力の低下
継手ずれ	・交通荷重 ・地盤の不同沈下 ・地震 ・他企業工事	・水密性不足 ・浸入水 ・土砂堆積
パッキン ずれ	・規格の不適合 ・パッキンの劣化 ・施工不良	・水密性不足 ・浸入水
たるみ 蛇行 逆勾配	・交通荷重 ・地盤の不同沈下 ・地震	・流下能力の低下 ・クラックの発生 ・継手の水密性不足 ・土砂堆積
油脂・モ ルタル付 着	・動物性油脂投棄 ・施工不良 ・不法投棄	・流下能力の低下 ・閉塞 ・土砂堆積
土砂堆積	・たるみ、逆勾配、モルタル付着、継手ずれ、浸入根、破損 ・構造不良	・流下能力の低下 ・悪臭
取付管 突出 異物混入	・継手脱却 ・施工不良 ・不法投棄	・支管部破損 ・本管変正、補修不能 ・流下能力の低下
接続合 (分流式)	・無許可接合 ・施工時の誤接合 ・合流式から分流式への未変更	・降雨時の流量増加 ・雨水管への汚水流入
断面不足	・計画処理量の変化	・管内滞留、溢水
構造不良	・設計不良	・流下能力の低下、溢
不用	・未処理	・道路陥没
取付管		・浸入水
足掛金属 腐食	・経年劣化 ・悪質下水の流入	・転落事故

「下水道管路施設維持管理マニュアル」の表に転載

表-4 平均的な補修の判断基準

異常内容	ランク分け		
	A	B	C
管の腐食	鉄筋が露出しているもの	管材が露出しているもの	A, B以外の腐食
管の継目ずれ	全体が脱却	40~60mm	20~40mm
浸入根	管断面の50%以上	管断面の10~50%	管断面の10%未満
モルタル付着	管口径の1/3付着	管口径の1/3~1/10付着	一部付着(1/10未満)
管のクラック	5mm以上	2~5mm	2mm未満
取付管突出	管口径の50%以上	管口径の10~50%	管口径の10%未満
浸入水	湧き出している状態	流れている状態	にじんでいる状態
管のたるみ・蛇行	管口径の3/4以上	管口径の1/2~3/4	管口径の1/2未満
ゴムリングのはずれ	円周の1/2以上	円周の1/4以上	1/4未満のみみ出し
油脂類の付着	管口径の1/3以上の付着	管口径の1/3~1/10付着	
土砂の堆積	堆積深を表示(土砂堆積深/限界堆積汚泥層)×20		

A: 「緊急に補修を要する箇所」として、直ちに管渠の補修を実施する
 B: 「年度計画に見込んで2年から5年の間に補修や改良を必要とする箇所」として、補修または改良により計画的に対応する
 C: 「当面の間は補修や改良は必要ないが、いずれ必要性が生じる箇所」として、必要な時に確実に対応が出来るように計画的に対応する

を設定することとした。

4.3.2 維持管理、補修・補強コストの設定

(1) 維持管理コスト

15 都市に対して実施された維持管理状況に対するアンケート調査結果⁶⁾から、各都市の管路の維持管理費用を分析し、管路敷設の経過年数と単位延長当たりの維持管理費との関係から、下水道管路の維持管理費を図-9の様に設定した。ある年数までは維持管理費はほぼ一定であるが、それを過ぎると年々一定の勾配で増加していく傾向があり、この傾向の上限値と下限値から図-9を設定した。

今回の試算では、管渠の腐食に対する耐久性などを考慮して、図-9の上側のラインを鉄筋コンクリート管、下側のラインを塩化ビニル管の場合の維持管理費として設定した。

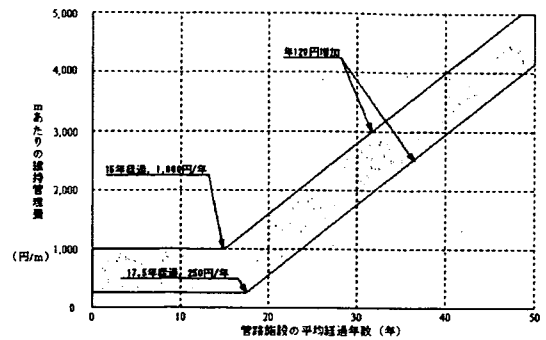


図-9 管路施設の経過年数と維持管理費

(2) 補修・補強コスト

小口径管渠への適用が可能な補修工法は、目的や施工法により、各種方法があるが、このうち、軽微な補修工法として止水工法(80,000円/箇所)を、大規模な補修工法として内面補強工法(50,000円/m)、管路の改築工法として更正管工法(26,000円/m)を設定した。なお概略コストは、メーカーのヒアリングにより設定した。

4.3.3 試算ケース

試算ケースとしては、以下の4ケースを想定した。

なお、管渠の性能と供用年数との関係(パフォーマンスカーブ)は、現段階で明確に設定する程のデータが揃っていないため、ケース毎にある一定期間経過後に補修または補強を行うこととした。

(1) ケース1

管渠の強度性状が落ち始める前に軽微な補修を繰り返しながら設計耐用年数を満足させる(図-10)。ただし、補修後は耐久性が新設管より落ちると仮定し、図-9の維持管理費が増加し始める年数を10年とした。ここでは、20年毎の補修を繰り返す場合を想定した。補修箇所数は、図-8より供用年数が少ない管渠の損傷箇所が100~200箇所/km程度であることから、5m毎に1箇所補修とした。

(2) ケース2

管渠の強度性状が供用年数とともに低下し、要求性能の下限値に近づいた時点で大規模な補修を行い、設計耐用年数を満足させる(図-11)。ここでは、35年ごとに大規模な補強を行うことを想定した。

(3) ケース3

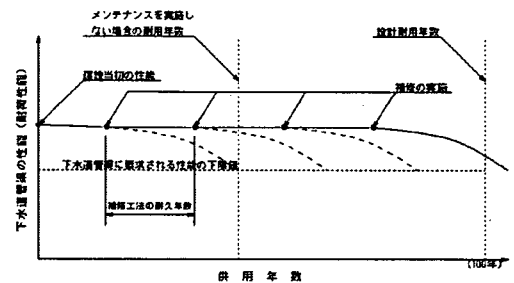


図-10 ケース1の性能曲線

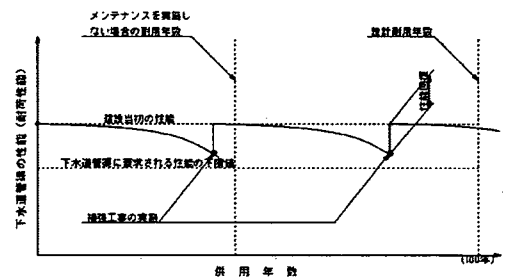


図-11 ケース2の性能曲線

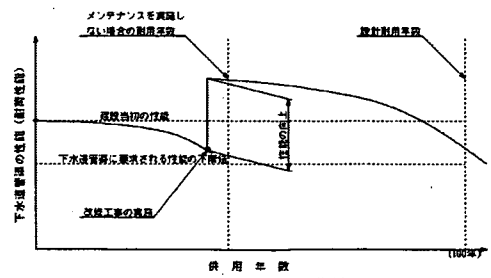


図-12 ケース3の性能曲線

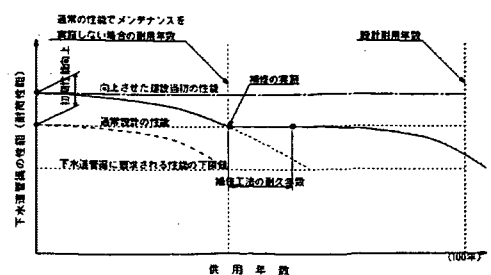


図-13 ケース4の性能曲線

管渠の強度性状が供用年数ともに低下し、要求される性能の下限値に近づいた時点で改築を行い、管渠の耐久性を向上させることにより設計耐用年数を満足させる(図-12)。補修後の維持管理費は耐久性が向上し、塩化ビニル管と同等と見なし、図-9の上側の値を用いた。

(4) ケース4

耐久性を向上させた管渠(硬質塩化ビニル管)を敷設することにより、補修の回数を減らしたケースである。鉄筋コンクリート管と同等の性能まで落ちた時点で軽微な補修を行い、設計耐用年数を満足させる(図-13)。ここでは、50年経過後に補修を1回行うことを想定した。

4.3.4 試算結果

各ケースのライフサイクルコストの試算結果をまとめたものを図-14に示す。試算結果より、今回の設定条件では、経過年数50年での比較においては各ケースとも大きな差異は生じていない。しかし、100年後のライフサイクルコストで比較すると、維持管理コストが増加する前に軽微な補修を繰り返し行うか、イニシャルコストを多少かけても性能の高い管渠を敷設した方が経済的に有利な結果となった。

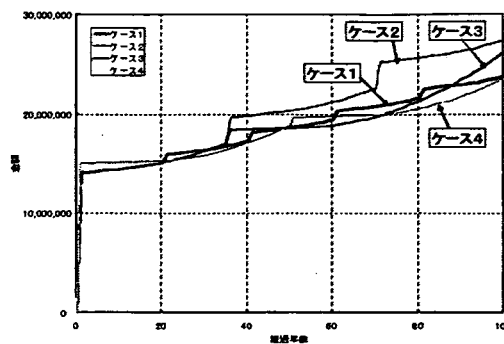


図-14 ライフサイクルコストの試算例

5. まとめ

本研究では、下水道管路施工法の選定において、工事コストのみならず、外部コストやメンテナンスコストも考慮した総合的な評価手法を適用するために、各検討項目に対して、現段階での現状分析を行い、基本的な考え方を整理するとともに、外部コスト、ライフサイクルコストについてケーススタディを行った。この結果、以下のことが分かった。

- ・ 推進各工法の分析により、更なる長距離化、機械の低コスト化、周辺環境への低減が望まれる。
- ・ 工事規制方法、工事形態により、交通渋滞への影響が大きく異なる。
- ・ 耐久性の高い材料の使用や維持管理の充実により、ライフサイクルコストが低減できる。

今後の課題としては以下の項目が考えられる。

- ・ 複雑な工事条件や騒音・振動等の環境要素に対する適正な外部コストの算定手法
- ・ 下水道管路の合理的な補修基準の設定と損傷度合いの評価方法の確立、各種条件に対する管路の性能曲線の作成と要求性能の明確化 など

今後は、これらの課題の検討を進め、合理的かつ経済的な工法選定手法の確立を目指す必要がある。

参考文献

- 1) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案)、平成10年6月
- 2) 下水道管路維持協会：下水道管路施設維持管理マニュアル<改訂版>、平成3年6月
- 3) (財)国土開発技術研究センター：下水道用硬質塩化ビニル管の道路下埋設に関する研究報告書、平成10年2月
- 4) 田中他：下水道用硬質塩化ビニル管の経年変化に伴う耐久性試験結果について、第31回下水道研究発表会講演集、平成6年6月
- 5) 高瀬：下水道管渠の長寿命化、土木学会誌 Vol. 87, No. 8、平成14年8月
- 6) 建設省都市局下水道部：管路施設の計画的維持管理と財政的効果に関する調査報告書、平成7年3月