

水道施設のアセットマネジメント適用と適用検討事例

(株) ニュージェック 赤木 信雄
白濱 輝幸

1. はじめに

我が国の水道は、明治 20 年(1887 年)、横浜市に近代水道が布設されて約 120 年が経過した。水道の普及率は 97%を越え、安全で安心な水の供給は都市の重要な社会基盤施設となっている。我が国の水道は、昭和 30 年代から昭和 40 年代にかけて高度経済成長期を契機に、急速な面的拡大を図り、水道普及に努めてきたが、当時建設された水道施設は、既に 40～50 年以上が経過し、更新の時期を迎えている。更新は創設とは異なり、水道サービスが開始されるという恩恵はなく、直ちに料金収入の増大にもつながらないため、現実の問題として、更新の必要性があるにも関わらず、なかなか更新が実施されていないのが実情となっている。21 世紀は、今後幾度となく繰り返される水道施設の大規模更新・再構築を初めて経験する世紀となる。施設の更新は、効率の低い施設を抜本的に見直し、高効率かつ低コストの水道に再構築する絶好の機会として捉え、水の安定供給、災害対策、経営の効率化など、計画的な事業実施が求められている。

本報告において、水道施設の施設保全（改築・更新、補修・修繕、維持管理）の効果的かつ効率的な手法として、橋梁や舗装の分野で導入・活用が進んでいる「社会資本アセットマネジメント手法」の水道施設への適用検討事例として、鋳鉄管・ダクトイル鋳鉄管を対象とした管路更新計画を述べる。

2. アセットマネジメント手法の整理

2-1. 社会資本のアセットマネジメントの背景及び契機

1970 年代後半のアメリカでは、1930 年代のニューディール政策により大量に建設された道路構造物の高齢化が進んでいる中で、経済状況は 1973 年のオイルショック以降、経済成長率が鈍化、停滞が続いていた。こうした状況を反映して、維持管理費を含む公共事業への投資は減少の一途をたどり、その結果、橋梁の崩落事故が多発するなど公共施設の老朽化が顕在化し、「荒廃するアメリカ」と呼ばれる社会問題となった。この経験から、アメリカではアセットマネジメントの必要性が強く認識され、社会資本投資において、アセットマネジメントが導入されている。

一方、日本では、1960 年代の高度成長期に道路整備とともに社会資本整備が急ピッチに進められ、日本はアメリカに 30 年の後れをとりながらも社会資本整備を進めてきたが、2010 年代には「荒廃するアメリカ」と同じ状態になることが懸念されており、アセットマネジメントの必要性が大きくクローズアップされている。

2-2. 社会資本のアセットマネジメントの定義

アセットマネジメント (Asset Management) は、従来、預金、株式、債権などの顧客（個人）の金融資産をリスク、収益性などを総合的に判断し、適切に資産(Asset)を運用(Management)することにより、その資産価値を最大化するための活動である。社会資本のアセットマネジメントは、顧客である国民から預かった税金や料金などを社会資本に投資し、その運用、管理を通して、公共サービスの創造、向上を図り、国民に還元しようとする活動である。



社会資本のアセットマネジメントの定義として様々なものがあるが、ここで、以下のように定義する。

社会資本のアセットマネジメント

社会資本施設を資産として捉え、施設の状態を客観的に把握、評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算制約を考慮して施設を計画的、かつ、効果的に管理する手法。

2-3. 社会資本のアセットマネジメントの導入の効果

社会資本のアセットマネジメントは、国民の共有財産である社会資本を資産と捉え、中長期的視点に立って、その劣化状況を点検し、今後の劣化予測を行い、財源制約の下で中長期の予算計画を立案し、計画的、効果的に維持管理する手法である。上下水道分野では、ストックマネジメントのようにライフサイクルコスト(LCC)を最小化する取組みをはじめ、施設の重要度に応じて更新時期を最適に操作する手法や、被災リスクを考慮したLCCを最小化する手法など、手法の適用や研究が進められている。

本格的な少子高齢化時代が到来した日本において、厳しい財政状況が続く中、高度成長期に大量に整備された社会資本が老朽化の時代を迎えている。社会資本のアセットマネジメントは、将来にわたって社会資本に求められる安全性・信頼性等の管理水準を確保しつつ、適切な補修対策を計画的に導入し、社会資本の長寿命化を図り、供用期間の生涯（ライフサイクル）にかかるトータルコスト（イニシャルコストとランニングコストの総額）の低減を図ることをめざした総合的な施設保全の取組みである。アセットマネジメントを導入することによって、予算制約の下での既存の社会資本の有効利用、中長期的に必要な年間予算規模の把握、更新集中時期における予算の平準化、維持管理活動の利用者への説明のわかりやすさ向上(アカウンタビリティ)、施設の実状をふまえた予算要求などの実現が期待されている。

社会資本のアセットマネジメントの期待される導入効果

- ① 技術的判断に基づく、必要事業の説明のしやすさ向上（わかりやすい予算要求）
- ② 資産の状態の改善（事故や損傷発生の未然防止）
- ③ ライフサイクルコストの低減等による事業経営の健全化（コスト縮減）
- ④ 国民、住民、ユーザー等に対するわかりやすさ向上（アカウンタビリティの向上）

2-3. 我が国におけるアセットマネジメントの導入事例

現在、日本では、定期点検や詳細調査などの点検データ蓄積が先行している道路橋梁や舗装等において、アセットマネジメント技術の導入活用が進展している。点検データが比較的蓄積されている橋梁や舗装においては、施設の状態を健全度で評価し、劣化予測においてその健全度の状態の経年的変化を予測し、ライフサイクルコスト（LCC）の算出を行って、アセットマネジメントを実践している。水道施設では、点検が容易でない地下埋設物の水道管路や、経年劣化が見えにくく、比較的耐用年数は長い、早期劣化の危険性を監視する必要がある浄水場や配水池などのコンクリート構造物など、水道施設毎の特性を十分に把握した上で、継続可能なアセットマネジメント手法の適用が求められている。

3. アセットマネジメントの実施フローと水道施設への適用検討

3-1. 施設保全(予防保全と事後保全)

社会資本の施設や設備を対象とした施設保全として、予防保全と事後保全の2つに大別することができる。事後保全とは、事故や性能低下に至ってから補修や更新を行う保全であり、対処療法的な保全方法である。予防保全とは、施設や設備の点検などによる予防に重点をおいた保全方法である。（表1参照）社会資本のアセットマネジメントは、対処療法的な保全を改め、計画的な保全活動である予防保全を主体として、施設保全の最適化を図る活動であると言える。

表1 施設保全の種類と健全度のイメージ

	施設保全	保全方法	特性	健全度のイメージ
予防保全	状態監視保全	施設・設備の状態に応じて保全を行う。	劣化状況の把握が容易、もしくは、劣化予測が可能な施設・設備が対象。	状態監視 健全度 年数 早期対策水準 目標機能水準 更新対策水準
	時間計画保全	施設・設備の状態にかかわらず、一定期間毎に保全を行う。	劣化状況の把握や劣化予測が困難であり、法令等による定期保全が義務づけられている施設・設備が対象。	健全度 年数 早期対策水準 目標機能水準 更新対策水準 一定期間
事後保全	計画事後保全	事故や性能低下に至ってから補修や更新を行うが、代替えがある場合や、事故や性能低下の影響が少ない場合の施設保全。	事故や性能低下が施設の機能に大きな影響を与えない、もしくは、応急措置が可能な施設・設備が対象。	健全度 年数 早期対策水準 目標機能水準 更新対策水準
	非計画事後保全	事故や性能低下に至ってから補修や更新を行う。	事故や性能低下が施設の機能に大きな影響を与えない施設・設備が対象。	健全度 年数 早期対策水準 目標機能水準 更新対策水準 事故・性能低下

3-2. アセットマネジメントの一般的な流れ

アセットマネジメントは、計画(Plan)→実施(Do)→確認(Check)→処置(Act) (→計画(Plan)→……) の一連の継続的なサイクル (PDCA サイクル) の中で、実施するものである。(図 1 参照)

社会資本のアセットマネジメントは、全体計画や目標設定など決定された施策を満足するため、統計的分析（健全度評価や劣化予測）などの技術的な分析を行い、効率的かつ効果的な中長期予算計画を策定し、当面の事業計画の立案、事業実施、事後評価を行い、一連のサイクルを実施するものである。技術的な側面として、施設の点検及び健全度評価を行い、そのデータから得られる劣化予測結果から設定したシナリオにおける LCC 算定、集計を行い、予算計画の立案を行うが、これら技術的分析は、データや予測手法の客観性、妥当性が求められる。

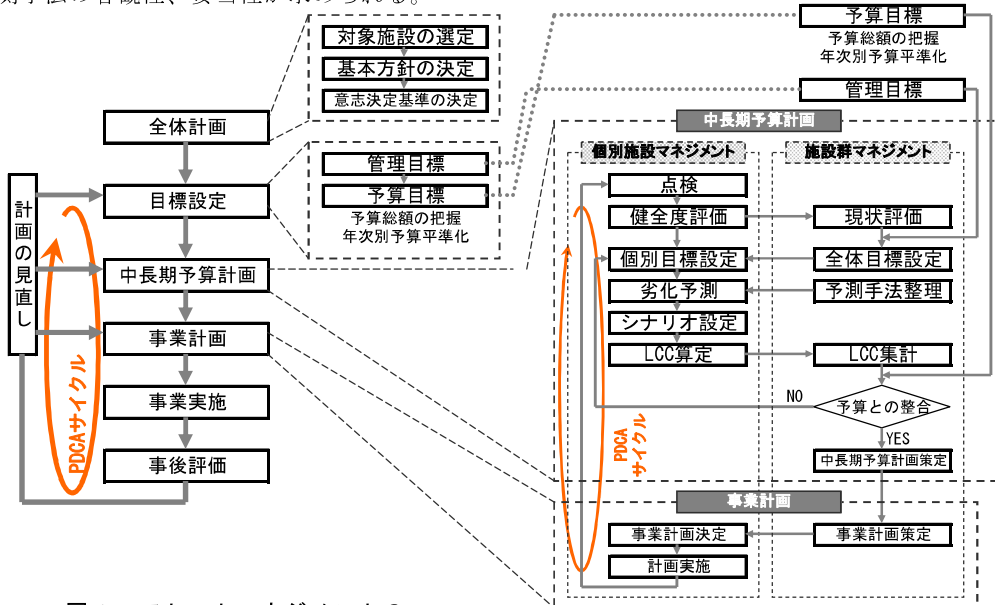


図1 アセットマネジメントのフロー

3-3. 水道施設の施設保全

水道施設は、取水施設、導水施設、浄水施設、配水施設に大別され、また、施設用途別（構造・用途、細目別）に、コンクリートを主体とする土木・建築構造物、ダクトイル鉄管や塩化ビニル管を主体とする管路施設、浄水機器やポンプ、バルブの機械設備、監視制御や計装用機器の電気設備の 4 つに分類される。「解説 水道事業ガイドライン 社団法人日本水道協会」によれば、法定耐用年数を地方公営企業法施行規則第 7 条及び第 8 条関連の別表第二号の耐用年数としている。（表 2 参照）

有形固定資産の耐用年数の抜粋
(地方公営企業法施行規則第7条及び第8条の別表第二号)

表2 法定耐用年数

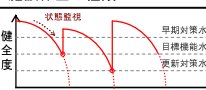
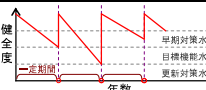
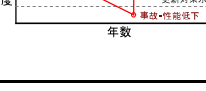
種類	構造又は用途	細目	耐用年数	施設用途別の法定耐用年数の目安		
				施設の用途	耐用年数の目安	備考
構築物	水道用のもの	取水設備	40年	土木・建築構造物	40年 ～ 80年	浄水場、配水池など60年 えん堤コンクリート80年
		導水設備	50年			
		浄水設備	60年	管渠施設	25年 ～ 40年	鋳鉄製40年、 その他(塩ビ管など) 25年
		配水設備	60年			
		橋りょう	鉄筋コンクリート造のもの 鉄骨造のもの 木造のもの			
		配水管	60年	機械設備	10年 ～ 15年	ポンプ15年
			鋳鉄製のもの その他のもの			
		配水管附属設備	30年	電気設備	10年 ～ 15年	電気設備15年、計装設備10年
		えん堤	鉄筋コンクリート造又はコンクリート造のもの れんが造又は石造のもの 土造りのもの			
			80年 50年 40年			
機械 及び装置	水道用設備	電気設備	汽力発電設備 内燃力発電設備 蓄電池電源設備 その他のもの			
			15年 15年 15年 20年			
		ポンプ設備	15年			
			15年			
		薬品注入設備	15年			
		滅菌設備	10年			

3-4. アセットマネジメントの水道施設への適用検討

施設用途毎に施設の使用状態や材質も大きく異なるため、水道施設の施設保全を考える上で、耐用年数をライフサイクルの目安として捉えて、施設の状態や特性に合致した最適な施設保全を選択する必要がある。水道施設のアセットマネジメントの適用を検討する上で、水道施設の施設用途毎の特性を捉えて、施設用途毎の施設保全の種類を選定しながら、現状の維持管理方法、劣化予測とLCC算出方法を検討する必要がある。(表3参照)

しかしながら、法定耐用年数は、既存施設の有形固定資産を算出する上で設定された年数であり、施設の実際の耐用年数や更新年次を示した年数ではない。耐用年数をライフサイクルの目安として捉え、既存データを用いて劣化予測やLCC試算を行いながら、施設毎のライフサイクル(耐用年数)や最適な更新年次の推計が必要となる。

表3 施設用途毎の施設保全とアセットマネジメント(劣化予測、LCC算定)の適用

施設保全の種類			ライフサイクル観点での施設の種類の			現状の維持管理	劣化予測とLCC算定
予防保全	状態監視保全		ライフサイクルの短い施設	ライフサイクル(法定耐用年数) 20年以下	機械設備 (10～15年)	すでに、改築更新を実施している施設もある。	機械・電気設備は、日常の保守点検、定期点検など維持管理を実施している上、すでに改築・更新を実施し、ライフサイクルの1サイクルを経過している施設も多いため、過去の履歴や既往の知見の整理を中心とした劣化予測やLCC算定が可能。
	時間計画保全				電気設備 (10～15年)		
事後保全	計画事後保全		ライフサイクルの長い施設	ライフサイクル(法定耐用年数) 40年以上	土木・建築構造物 (40～80年)	耐用年数を迎えている施設もあるが、改築・更新を行っていない施設が多い。	コンクリートを主体とする土木・建築構造物や鉄管を主体とする管渠施設は、材質的に機械・電気設備に比べて強度や耐劣化に優れ、一般的に定期的な保守点検や維持管理を行っていることが少なく、まだライフサイクルの1サイクル目の途中にあるため、現状の点検データを元にした劣化予測や寿命予測を行い、LCC算定が必要。
	非計画事後保全				管路施設 (25～40年)		

4. 管路更新計画におけるアセットマネジメントの適用事例

4-1. A市における管路更新計画の概要

A市の水道事業は、約90年(1910年代の大正時代 of 通水開始)の歴史を持つ、給水人口約17万人の水道事業体である。市勢の発展とともに数回の拡張事業を実施し、面的拡大を図ってきた。2006年時点で管路の総延長は約580kmに達し、そのうち約52%を鋳鉄管・ダクタイル鋳鉄管が占め、全体の約6%の鋳鉄管・ダクタイル鋳鉄管が法定耐用年数40年を越えている。(図2参照)

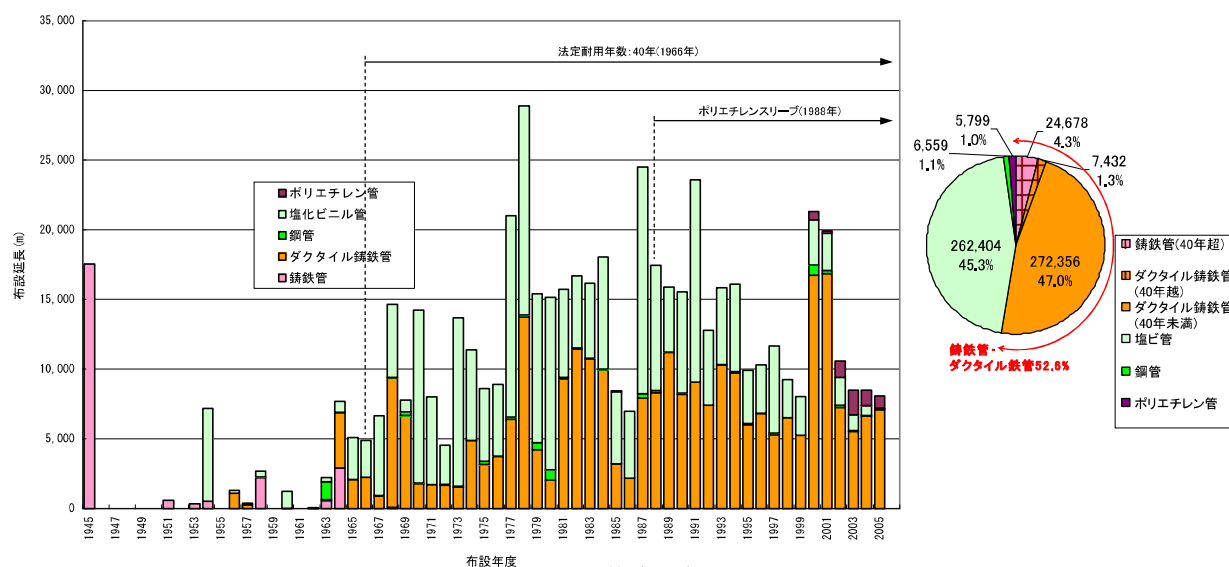


図2 管路の布設状況

铸铁管・ダクタイル铸铁管（以下、铸铁管）は、強度、耐食性、水密性に優れ、我が国において広く使用されている水道管路であり、我が国の水道創設以来使用されている。铸铁管・ダクタイル铸铁管は、実際の使用事例（A市で最大約90年使用、欧米では400年以上使用事例あり）から見て、その機能の高さから法定耐用年数40年以上使用されることが多い一方、局所的に腐食が進んだ結果、漏水や道路冠水の事故事例も報告されている。

本業務では、A市のI地区をモデルケースとして、铸铁管を対象として、アセットマネジメント手法を取り入れ、中長期の管路の状態を予測するとともに、最適な管路更新時期の検討、LCC評価を行い、管路更新事業のわかりやすさ追求を念頭に置いた管路更新計画の立案を行った。

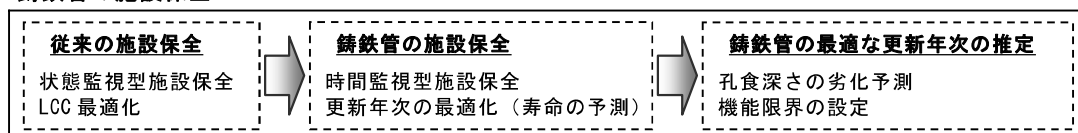
4-2. 具体的な検討項目

① 铸铁管の施設保全

铸铁管は、ライフサイクル（法定耐用年数40年）や材質、維持管理方法を勘案すると、事後保全を主体とする施設保全を行っている。機械・電気設備のように定期点検など定期的な維持管理をすることは少なく、また、そのほとんどが埋設されており、劣化状況の状態監視（点検）を行っていない特性がある。アセットマネジメントを見据えた予防保全を考えた場合、定期的な点検を実施し施設の状態を把握する状態監視型の予防保全は铸铁管の特性に合致しない。铸铁管の施設保全の最も有効かつ現実的な方法は、管路の更新（布設替え）であるため、積極的な維持管理を行ってライフサイクルの延命を図るのではなく、埋設した管路の最適なライフサイクル（寿命）を見極めて、機能の限界の直前に更新することが最も効率的で効果的な施設保全（更新年次の最適化）となる。

铸铁管の施設保全は、社会資本のアセットマネジメントで考えられているLCC最適化、状態監視型予防保全ではなく、計画事後保全の要素を含む時間計画型予防保全を前提とした更新年次の最適化（寿命の予測）を行うこととし、本事例においては、铸铁管の健全度を孔食深さの進行度と同等であると仮定し、铸铁管の腐食深さの進行度による劣化予測（寿命予測）と機能限界の設定を行い、铸铁管の最適な更新年次の推定を行った。

铸铁管の施設保全



②管路更新計画におけるアセットマネジメントのフロー

鑄鉄管路の施設保全を見据えて、図3に管路更新計画におけるアセットマネジメントフローを示す。
本業務において、A市のI地区をモデルケースとして、LCC評価を行った。

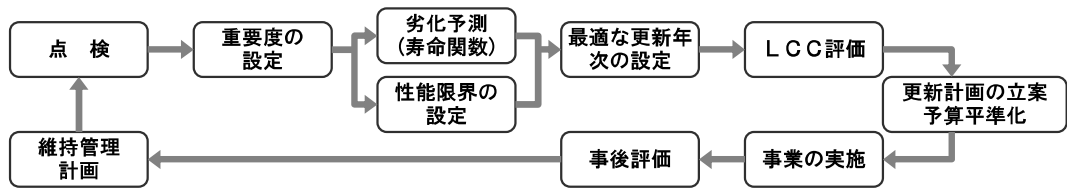


図3 管路更新計画におけるアセットマネジメントフロー

③点検(現地調査)

既存の鑄鉄管の埋設環境及び劣化状況の調査を実施した。机上調査として、埋設年度、管種・管径、漏水履歴、防食の有無、埋設・劣化データとして、現地調査(試掘調査)を実施し、土壌・地下水分析、電位測定、腐食性評価、管厚、孔食深さ、錆の発生などの調査を実施した。この中で、本業務においては、測定された孔食深さに着目し、性能限界の設定や劣化予測を行った。



写真：現地調査例

④重要度の設定

点検データから得た土壌の腐食性と通常時及び緊急時における管の重要度より、管路更新の重要度(優先度)を3段階に分類した。(図4参照)



図4 管路更新の重要度の設定イメージ

⑤劣化予測(寿命関数)

劣化予測は、点検で得られた41個の孔食深さと経過年数のデータを基に、癌患者の余寿命など医療分野で、比較的少ない症例(50~100)単位でも推定量が得られる知見がある、加速ハザード回帰モデルを用いて、寿命関数を予測し、劣化予測を行った。(図5参照)

⑥性能限界の設定

「水道施設更新指針」によれば、鑄鉄管の外圧、内圧に対する設計安全率を考慮した管体の予測老朽度ランク及び更新対策例を示している。管厚(孔食深さ)を対象として、腐食進行により孔食が進み、内外圧に対する設計安全率により、鑄鉄管の性能限界を設定することとした。鑄鉄管の性能限界は、「水道施設設計指針」の管厚計算式を使用して必要管厚 t を求め、年代毎の鑄鉄管の規格管厚 T より、性能限界(腐食許容厚さ $=T-t$)を求めた。(表4参照)

表4 各重要度における更新計画と安全率及び管厚計算式

ランク	定義	対策例	重要度と更新計画
I	貫通腐食した状態 (既定管厚-管厚許容差)	更新対象	今すぐ更新
II	腐食が進行し、内外圧に耐えられない状態 (設計安全率1.0未満)	更新対象	今すぐ更新
III	腐食が進行し、内外圧に対する安全率が不足する状態 (設計安全率1.0~2.5)	更新計画の立案	重要度 小 (設計安全率1.0) 重要度 中 (設計安全率2.5)
IV	腐食深さが管の腐食しろ2.0mmを超える状態 (設計安全率2.0~2.5以上)	10年以内に再診断	重要度 大 (設計安全率2.5+腐食しろ2mm)
V	腐食深さが管の腐食しろ2.0mm以下の状態	20年以内に再診断	更新対象外 (継続点検)

$$t = \frac{(1.25P_s + P_d) + \sqrt{(1.25P_s + P_d)^2 + 8.4(K_f W_f + K_t K_i)S}}{2S} d$$

t : 計算管厚(mm)
 d : 管口径(mm)
 P_s : 静水圧(MPa)
 P_d : 水撃厚(MPa)
 W_f : 土被りによる土圧(kN/mm²)
 W_t : 路面荷重による土圧(kN/mm²)
 S : 管材の引張強さ(N/mm²)
 K_f : 管底の支持角によって定まる係数
 K_t : 管頂 76×10^{-6} 管底 11×10^{-6}
 さらに公称管厚 T は、
 $T = (t+2) \times 1.1$ (mm) $t+2 \geq 10$ mm の場合
 $T = (t+2) \times 1$ (mm) $t+2 < 10$ mm の場合
 ここで、安全率を以下と見込んでいる
 静水圧に対し安全率 2.5
 水撃圧に対し安全率 2.0
 土被りによる土圧安全率 2.0
 路面荷重による土圧安全率 2.0

⑦使用限界年次(最適な更新年次)の設定

劣化予測(寿命関数)と設定した重要度毎の性能限界より、管径・管種毎の使用限界年次(最適な更新年次)の算出が可能となる。この結果、铸铁管の使用限界年次は、重要度大で 61～90 年、重要度中で 72～95 年、重要度小で 74～98 年となった。(図 5 参照)

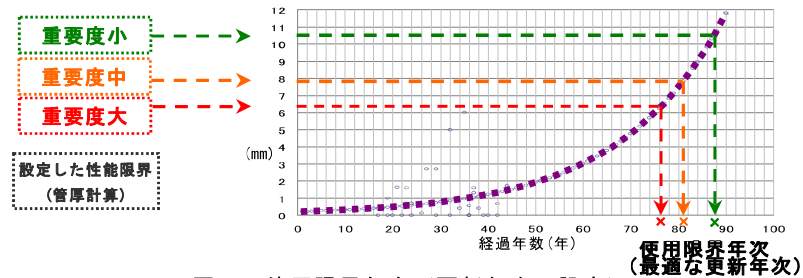


図 5 使用限界年次(更新年次の設定)

⑧更新計画の立案(LCC評価)

最適な更新年次の算出により、A市のI地区における管路更新のLCCが試算され、それに基づいた更新ピークの把握、予算平準化の検討が可能となった。(図6参照)

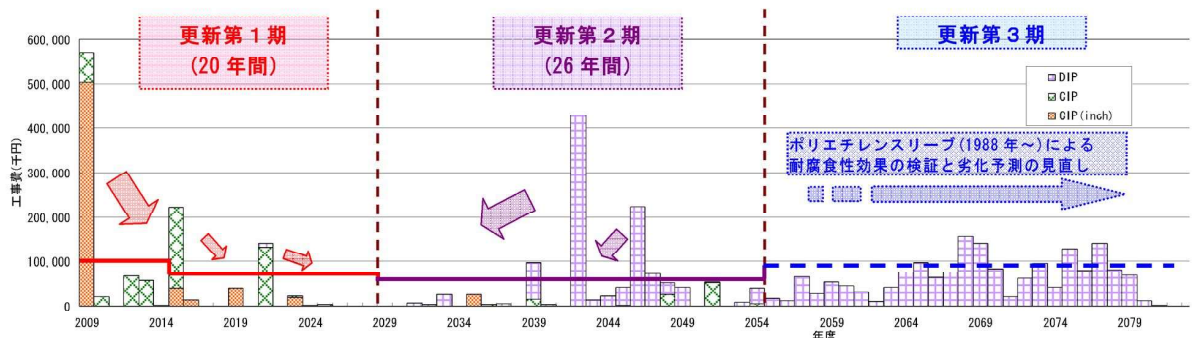


図 6 A市のI地区における管路更新のLCC試算

4-3. 今後の課題と展望

本報告における事例紹介は、限られたデータ(点検データ 41 個)を用いて、A市のI地区におけるケーススタディ結果であり、今後、データの収集・蓄積による劣化予測の精度向上や事後評価、見直しが必要である。しかしながら、法定耐用年数が 40 年である铸铁管において、現地調査結果に基づいた地域特性考慮し、腐食性や管の重要度など、更新の重要度(優先度)に応じて、铸铁管の使用限界年次(最適な更新年次) 61～98 年の推定により、将来の更新需用費やピークの把握だけでなく、予算計画のわかりやすさの向上に資するものとなった。

5. おわりに

アセットマネジメント手法は、本格的な維持管理時代を迎えた水道施設の既存施設の施設保全において、効率的かつ効果的な施設保全の検討を行い、最適な施設保全を見出すとともに、その計画をわかりやすく説明する有効な手法であるといえる。今回、铸铁管を対象として、事後保全、時間計画型予防保全を前提とした、更新年次の最適化を念頭に置いたケーススタディを行った。水道施設のアセットマネジメントの適用を図る上で、水道施設の特性を把握し、その特性に応じた施設保全を検討するとともに、PDCAサイクルに乗せて、継続可能な活動の枠組み構築が望まれている。

- 参考文献
- 1) 社団法人日本水道協会：水道のあらまし 2001, 2001.
 - 2) 社団法人日本水道協会：水道施設更新指針, 更新計画作成支援のガイドラインとして, 2005.
 - 3) 社団法人日本水道協会：水道施設設計指針 2000, 2000.
 - 4) 厚生労働省健康局：水道ビジョン, 2008.7 改訂
 - 5) 社団法人日本水道協会：解説水道事業ガイドライン, 2005
 - 6) 土木学会：アセットマネジメント導入への挑戦, 2005
 - 7) 安野・保田：土木構造物の維持管理と劣化進行のハザード形状, 土木学会応用力学論文集, Vo1. 10, 2007