

4 改築事業量の予測及び平準化の検討

平成 23 年度末（2011 年度末）現在、市内には下水道管きよが約 509km あり、今後老朽化した管きよの増加に伴い、多額の対策費用を要することが予測されます。将来の改築事業の見通しを立てるため、改築事業量の予測及び平準化の検討を行うとともに、最適な改築事業シナリオの設定を行いました。

事業量予測に当っては、過去の管路内調査結果を基に、管きよの経過年数に伴う劣化状況の推移を予測する“健全率予測式（P.23 参照）”を用いて、将来の管きよの劣化状況を予測するとともに、劣化状況に応じて必要となる改築事業量（対策延長及び対策費用）を算出するものです。

4.1 検討フロー

改築事業量予測と平準化の検討フローを図 4.1 に示します。

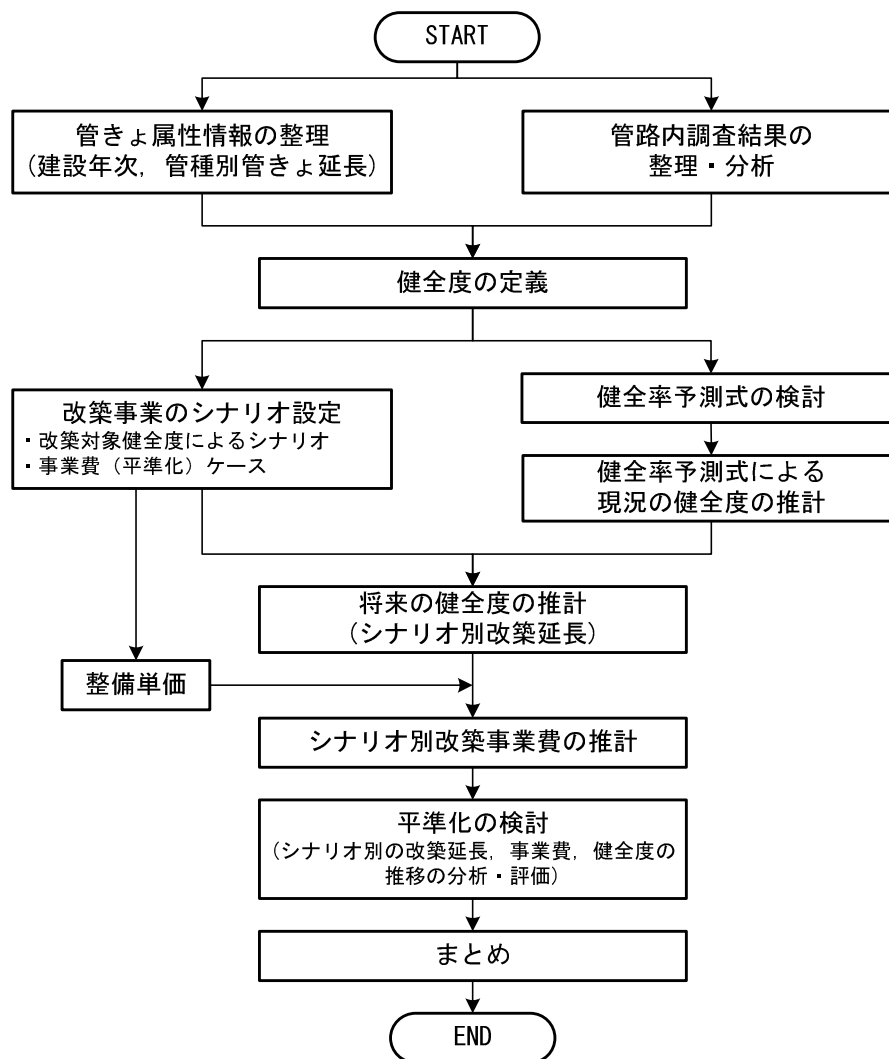


図 4.1 改築事業量の予測及び平準化の検討フロー

4.2 健全度の定義（改築の必要の程度を示す判定指標）

今後、改築事業の実施に当たっては、改築・修繕の必要性の程度を判断する指標として、“健全度”を定義付けする必要があります。

(1) 健全度の定義

下水道施設に不具合が生じると市民生活への影響が大きく、かつ施設の長寿命化の観点から、構造上影響のある項目（診断項目）の異常に着目し、簡易な下水道施設の改築の必要性を判断する指標として、“健全度”を定義づけします。

判断の対象とする項目は、「腐食」「タルミ」「破損」「クラック」「継手ズレ」「樹木根の侵入」「浸入水」「取付管接続不良」の8項目です。この項目について、Aランク（異常度が高い）、Bランク（異常度が中程度）、Cランク（異常度が低い）の判定を行います。

この段階で上記8項目に1つも該当しない下水道施設は、改築・修繕の緊急性は低いものとなります。

「取付管の突出し」「モルタル付着」「油脂付着」については、基本的に清掃等の通常の維持管理作業内で除去できるものと考えて判断の対象からは除外します。

以下に、判断対象となる異常内容を整理しました。

① スパン^{※5}単位で判断

- 「腐食^{※6}」

「腐食」は、単一管きよで発生することは稀で、劣化が進行している場合はスパン全体で異常が確認されるケースがほとんどです。健全度の指標として重要です。

- 「タルミ^{※7}」

タルミのAランク異常が生じている場合には、流下能力が確保できないほか、汚泥等の堆積が悪臭や有害ガス等の様々な弊害を起こす可能性があります。

② 管きよ1本単位で判断

- 「破損」「クラック」「継手ズレ」（構造障害）

- 「樹木根の侵入」

管路内調査結果で多々見られる「樹木根の侵入」は、切断等の除去工事のみではすぐに再侵入の恐れがあることや、木根侵入そのものが「破損」「クラック」「継手ズレ」等を原因とした欠損部や隙間より発生していることが明らかであり、単独での発生はありえません。したがって、観察上単独で認識された「樹木根の侵入」異常のA、B、Cランクについても判断の対象とします。

- 「浸入水」「取付管接続不良」

「樹木根の侵入」と同じ事由により、観察上単独で認識された「浸入水」についても判断の対象とします。また、「取付管接続不良」に伴う「浸入水」の発生も構造障害を誘発します。

※5 スパン：マンホールとマンホールの間

※6 腐食：硫化水素等により管きよがぼろぼろになること

※7 タルミ：マンホールとマンホール間の管きよがたわむこと

(2) 健全度の設定

健全度ランクの設定を表 4.1に示します。健全度は、改築の必要性の程度を判断することを目的としてランク別に設定するものです。

表 4.1 健全度ランクの設定

健全度 ランク	状 態	判定基準	措置方法
健全度Ⅳ (劣化なし)	構造・機能上問題は ない	8つの診断項目の異常は観察され ない場合。	特に措置は不要（維持）
健全度Ⅲ	劣化が進行しており、当面簡易な対応 が必要な状況	8つの診断項目に、 Aランク 及び Bランク がなく、かつ、 Cランク がスパンの中で 1 箇所以上観察 される場合。	今回の計画では対応しないが、次 期計画において経過確認の上、対 応方法を検討（経過観察）
健全度Ⅱ	劣化が進行しており、対応が必要 な状況	8つの診断項目に、 Aランク がな く、かつ、 Bランク がスパンの中 で 1 箇所以上観察される場合。	措置が必要
健全度Ⅰ	劣化が進行しており、早急な対応が必 要な状況	8つの診断項目に、 Aランク がス パンの中で 1 箇所以上観察され る場合。	措置が必要

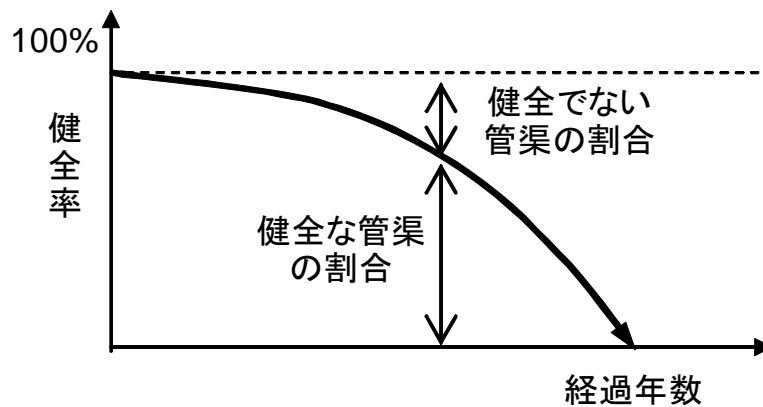
注. 診断項目は、「腐食」「タルミ」「破損」「クラック」「継手ズレ」「樹木根の侵入」「浸入水」「取付管接続不良」の8項目を対象とします。

管路内調査判定基準					
項 目		ランク	Aランク	Bランク	Cランク
腐	食		鉄筋露出状態	骨材露出状態	表面が荒れた状態
タ	ル	ミ	管径以上	管径の1/2以上	管径の1/2未満
破	損	鉄 筋 コンクリート管	欠 落 軸方向のクラックで 幅:5mm以上	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
		陶 管	欠 落 軸方向のクラックが 管長の1/2以上		
ク	ラ	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	—
継	手	ズ	脱 却	40~60mm	20~40mm
浸	入	水	ふきでている	流れている	にじんでいる
取	付	管	本管径の1/2以上	本管径の1/10以上	本管径の1/10未満
油	脂	付	1/2以上閉塞している	1/2未満閉塞している	—
木	の	根	1/2以上閉塞している	1/2未満閉塞している	—
モ	ル	タル	管径の30%以上	管径の10%以上	管径の10%未満
段	差		5mm単位で測定する		
取	付	管	本管径の1/2以上	本管径の1/4以上	本管部との接合部が破損し 未仕上げ

4.3 健全率予測式の検討

(1) 検討手法

下水道施設の異常・劣化が進行するプロセスは、施設の埋設環境によって異なるものであり、様々な要因が影響していますが、関連する要因を全て取り上げて各下水道施設の寿命を設定することは極めて困難です。このため、本構想では過去の管路内調査データを用いて、ある年数が経過した下水道施設の総延長につき何%の延長が健全であるか（劣化していないか）、下水道施設全体について統計的手法を用いた健全率予測式を採用して検討します（図 4.2参照）。



出典：ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き（案）
平成 25 年（2013 年）9 月国土交通省水管理・国土保全局（一部編集）

図 4.2 健全率予測式イメージ図

(2) 健全率予測式の適用モデル

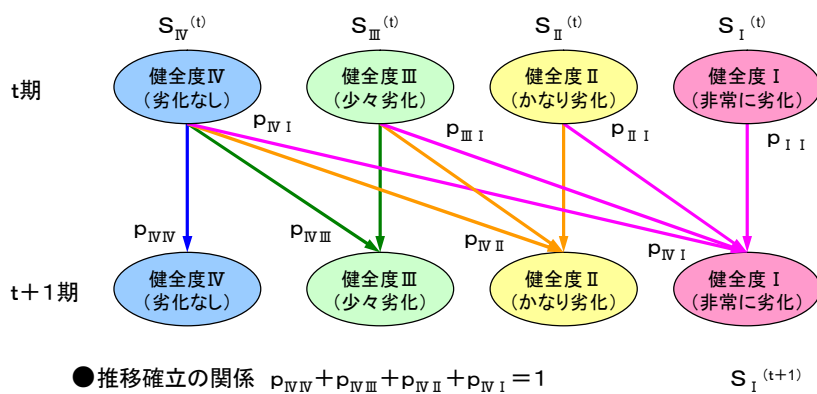
健全率予測式には、マルコフ推移確率モデルを適用しました。マルコフ推移確率を用いた健全率予測式は、前回調査時の健全度ランク（通常は竣工時で健全度ランクをⅣとする）、今回調査時の健全度ランク及びその間の経過年数のデータがあれば、算定することができます。

『ストックマネジメント手法を踏まえた下水道長寿命化計画策定に関する手引き(案)』（平成 25 年（2013 年）9 月）国土交通省水管理・国土保全局下水道部において、参考資料としてマルコフ推移確率を用いた健全率予測式の例が記載されています。

参考 推移確率を用いた健全率予測式（マルコフ推移確率モデル）

推移確率を用いた健全率予測法では、「マルコフ連鎖モデル」を用いた方法が代表的です。マルコフ推移確率は、「次に起こる事象の確率が、現在の状態に至るまでの経過とは関係なく、現在の状態によってのみ決定される」という「マルコフ過程」を前提とした確率モデルです。

例えば、下水道施設の劣化状態の推移をマルコフ過程で説明すると、t期において「健全度Ⅳ（劣化なし）」である下水道施設は、t+1期には「健全度Ⅳ（劣化なし）」、「健全度Ⅲ（少々劣化）」、「健全度Ⅱ（かなり劣化）」、「健全度Ⅰ（非常に劣化）」へと推移する可能性がある。それぞれの推移確率を p_{IVIV} 、 p_{IVIII} 、 p_{IVII} 、 p_{IVI} とすると、 $p_{IVIV} + p_{IVIII} + p_{IVII} + p_{IVI} = 1$ となります。ただし、t+1期の下水道施設の状態を推定するためにt-1期までの履歴は考慮しません。



● 推移確立の関係 $p_{IVIV} + p_{IVIII} + p_{IVII} + p_{IVI} = 1$ $S_I^{(t+1)}$

● t+1期のI即時の状態

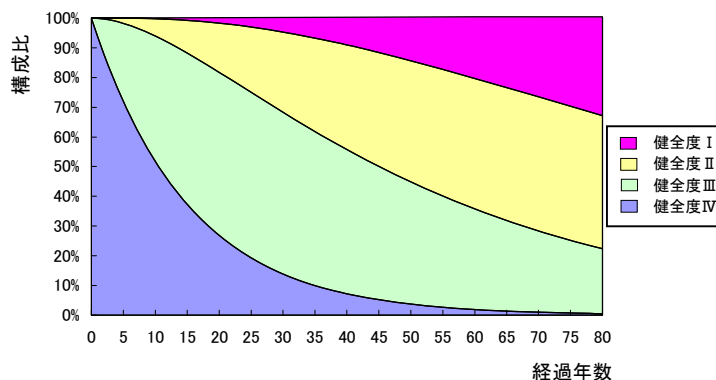
$$S_{IV}^{(t)} \cdot p_{IVI} + S_{III}^{(t)} \cdot p_{III I} + S_{II}^{(t)} \cdot p_{II I} + S_I^{(t)} \cdot p_{I I} \Rightarrow S_I^{(t+1)}$$

図Ⅰ 下水道施設の劣化状態の推移におけるマルコフ過程

表Ⅰ マルコフ推移確率（全管種）

項目	健全度Ⅳ	健全度Ⅲ	健全度Ⅱ	健全度Ⅰ
健全度Ⅳ	0.9363	0.0629	0.0009	0.0000
健全度Ⅲ	0	0.9760	0.0239	0.0002
健全度Ⅱ	0	0	0.9861	0.0139
健全度Ⅰ	0	0	0	1.0000

【健全度ランク別構成、全管種】



図Ⅱ 健全度の分布図

(3) 健全率予測式の検討結果

健全率予測式の検討の結果、本構想においては、サンプル数が多く最も信頼性の高い全スパンのデータによる予測式を採用することが妥当であると考え、改築事業量予測の検討に用いるものとなりました。

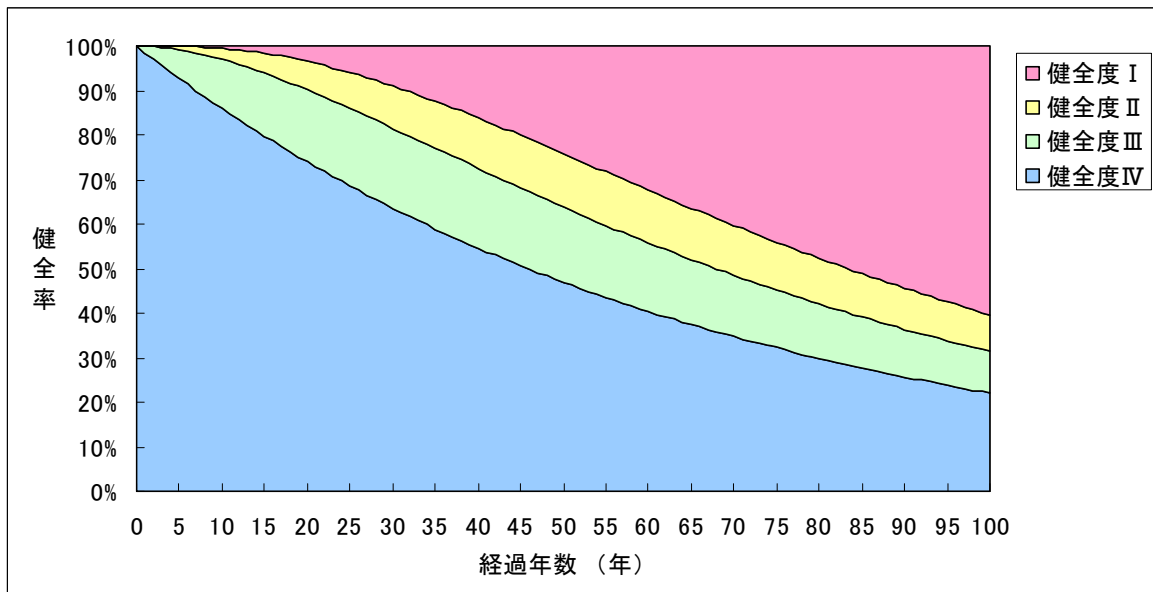


図 4.3 健全度の分布（全スパンによるマルコフ推移確率）

4.4 現在の健全度の推計

健全率予測式を基に平成 24 年度末（2012 年度末）における管きよの健全度の推計を行いました。施工年度別の推計結果を図 4.4に示します。また、健全度の内訳を図 4.5に示します。

推計の結果、現在の健全度の内訳は、健全度Ⅰ：42km（8%）、健全度Ⅱ：42km（8%）、健全度Ⅲ：85km（17%）、健全度Ⅳ：342km（67%）となり、A～Cランクの何らかの異常が発生していると予測される健全度Ⅰ～健全度Ⅲの割合は、全体の約 33%となりました。

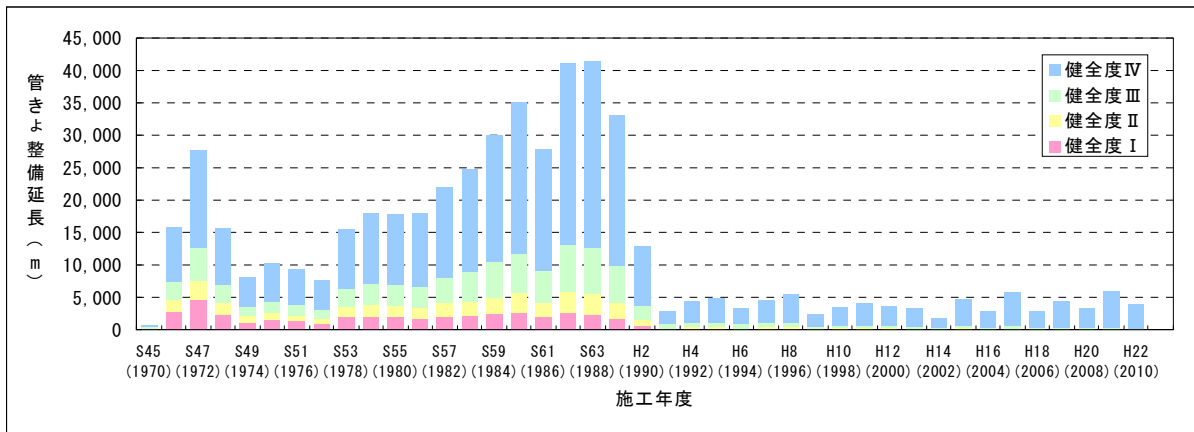


図 4.4 現在の健全度の推計（施工年度別）

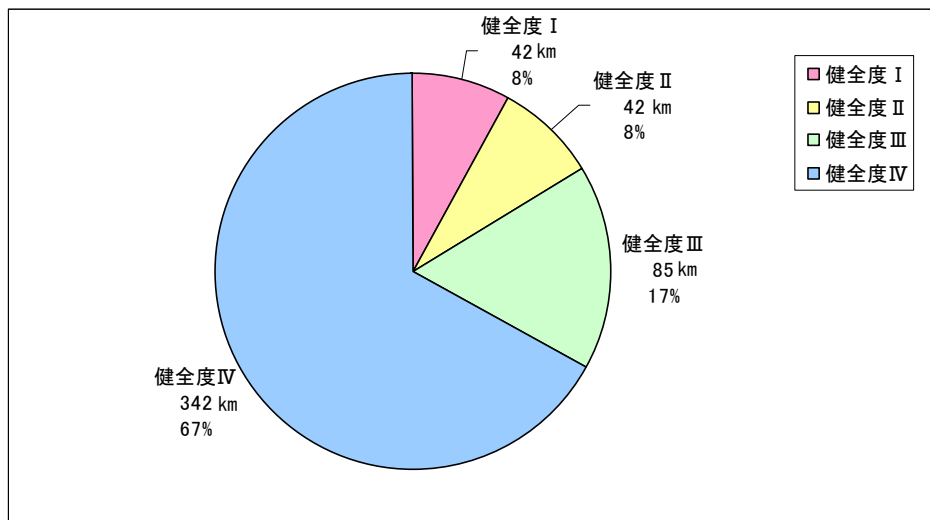


図 4.5 現在の健全度の推計（健全度内訳）

4.5 将来における健全度の推計

将来において、今後全く改築事業を行わなかった場合の健全度の推計結果を、以下に示します。

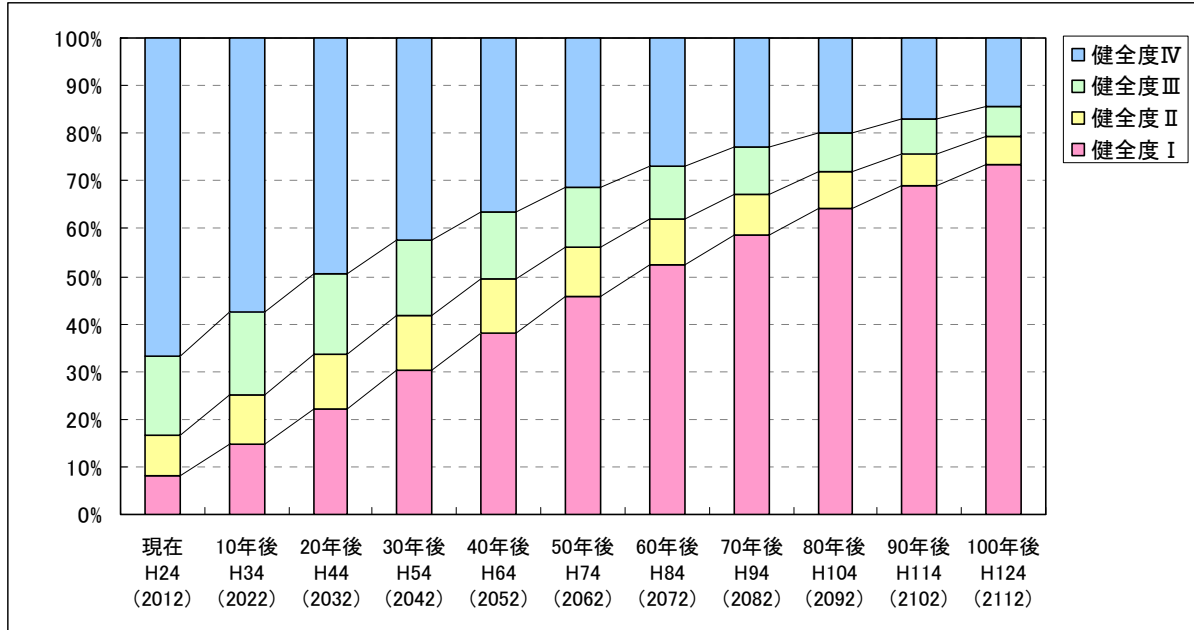


図 4.6 将来における健全度の推計（改築事業を実施しない場合）

将来の健全度の推計の結果、今後改築事業を実施しない場合は、健全度Ⅰ～健全度Ⅲの割合が増加し、下水道管きよの健全性が全体的に低くなることが予測され、管きよの不具合発生による下水道機能の停止や、道路陥没、それによる交通事故の発生等の危険性が高くなることが懸念されます。

そのため、計画的な維持管理、改築事業を実施し、管きよの健全性を確保していくことが求められます。

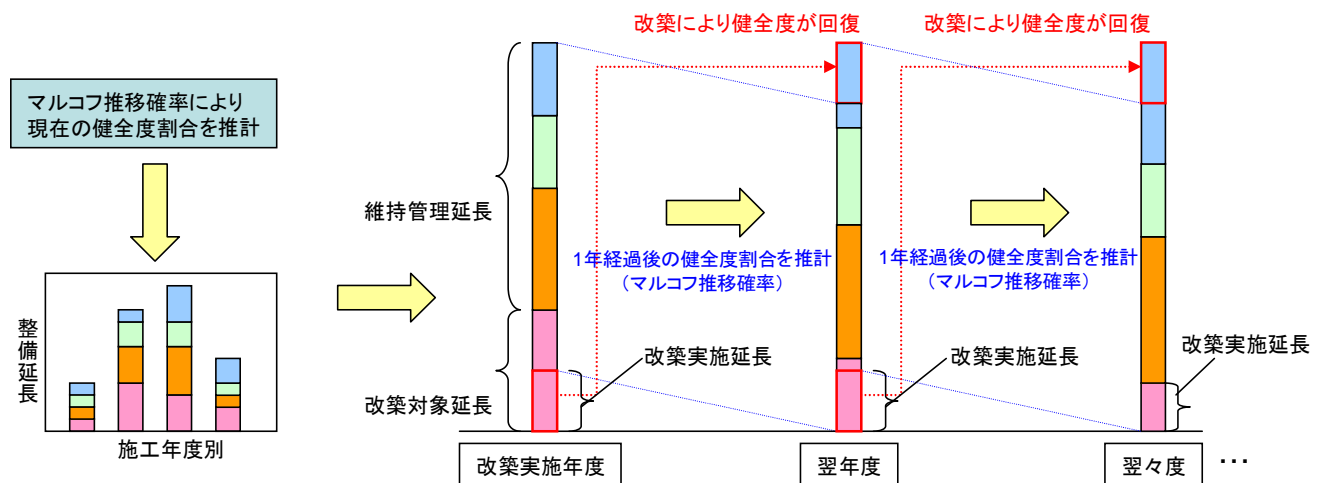
4.6 改築事業費の平準化の検討

計画的な維持管理、改築事業を実施する上では、まず将来の改築事業量を把握することが必要です。そこで、健全率予測式を基に、市における将来の下水道施設の改築事業量予測を行います。

(1) 検討条件

改築事業量の予測期間は、平成 26 年度（2014 年度）からの 100 年（管きよの標準耐用年数：50 年の 2 周期分）とし、検討シナリオは、以下の 5 ケースとします。各シナリオについて排除区分毎（合流、分流汚水、分流雨水）の検討を行います。

- シナリオ 1（単純改築①）；標準耐用年数：50 年で改築
- シナリオ 2（単純改築②）；都道府県構想の改築サイクル：72 年で改築
- シナリオ 3（平準化①）；健全度Ⅰ～Ⅲを改築対象とする場合
- シナリオ 4（平準化②）；健全度Ⅰ～Ⅱを改築対象とする場合
- シナリオ 5（平準化③）；健全度Ⅰを改築対象とする場合



- マルコフ推移確率により整備年数毎の健全度内訳を推定し、現在の改築必要延長を設定
- 改築を実施した管きよは健全度Ⅳに回復するものとし、その他管きよについては、1 年経過後の健全度割合を推計
- 各年で同様の工程を繰り返す、改築対象とする健全度が予測期間 100 年のうちに収束する場合（劣化するスピードよりも改築を実施するスピードが上回る場合）の改築事業量を算定
- 改築は管更生工法により実施するものとする

図 4.7 改築事業量算定のイメージ

(2) 平準化検討結果

各設定シナリオの改築事業量予測結果を表 4.2に示します。

- シナリオ1やシナリオ2のように単純改築を実施する場合は、年間事業量の増減幅が大きくなり、計画的な改築を実施することは困難です。また、健全度の推移についても、健全度Ⅰ～Ⅲの管きよの割合が大きく変動し、管きよの健全性は不安定となります。
- シナリオ3～5のようにそれぞれ設定した健全度の管きよを対象に改築を実施する場合は、年間事業費の平準化が可能となり、対象とする健全度の割合も減少し管きよの健全性を安定して保つことが可能となります。
- 平準化シナリオでは、投資額により対策可能な範囲（健全度ランク）が異なり、それによる将来の管きよの健全性が異なることとなります。改築事業費としては、それぞれ10.8億円/年、7.9億円/年、6.5億円/年となります。
- シナリオ4は、シナリオ5に比べ1.4億円と比較的少ない費用負担で対応が可能であり、A～Bランクの構造異常の対策を実施することから、管きよの不具合発生による道路陥没や事故等のリスクを大きく低減できると考えられます。シナリオ3と比べた場合、A～Cランクの構造異常の対策が実施可能となりますが、2.9億円の費用負担となります。
- そこで、今後の改築事業の基本シナリオとしては、シナリオ4（健全度Ⅰ～健全度Ⅱ）を採用するものとします。

表 4.2 シナリオ別 改築事業量予測結果

設定シナリオ		改築延長	改築事業費	健全度の推移	備考	
シナリオ1	単純改築 (標準耐用年数:50年)	合流	22.3 km	33.4 億円	状態の良い状況と悪い状況を繰り返し、施設状態が不安定となる。	ピーク年: 2038年 2089年
		汚水	17.9 km	12.5 億円		
		雨水	0.5 km	1.0 億円		
		合計	40.7 km	46.9 億円		
シナリオ2	単純改築 (目標耐用年数:72年)	合流	22.3 km	33.4 億円	シナリオⅠと同様に施設状態が不安定となり、その波はシナリオⅠよりも大きくなる。	ピーク年: 2060年
		汚水	17.9 km	12.5 億円		
		雨水	0.5 km	1.0 億円		
		合計	40.7 km	46.9 億円		
シナリオ3	健全度Ⅰ～Ⅲを対象	合流	5.8 km	8.7 億円	健全度Ⅰ～健全度Ⅲの割合が徐々に低下し、管きよの不具合によるリスクが大きく低減される。	
		汚水	2.5 km	1.7 億円		
		雨水	0.3 km	0.4 億円		
		合計	8.6 km	10.8 億円		
シナリオ4	健全度Ⅰ～Ⅱを対象	合流	4.3 km	6.4 億円	健全度Ⅰ～健全度Ⅱ割合は低下するが、健全度Ⅲの割合は現状に比べ高くなる。	
		汚水	1.8 km	1.2 億円		
		雨水	0.2 km	0.3 億円		
		合計	6.3 km	7.9 億円		
シナリオ5	健全度Ⅰを対象	合流	3.6 km	5.3 億円	健全度Ⅰの割合が低下するが、Ⅱ～Ⅲの割合は現状に比べ高くなる。	
		汚水	1.5 km	1.0 億円		
		雨水	0.2 km	0.2 億円		
		合計	5.3 km	6.5 億円		

※シナリオ1、2の改築事業費はピーク時の値を示す。

<シナリオ1：単純改築①（標準耐用年数：50年）>

- ・ 改築事業費：約46.9億円（ピーク時）、過去の管きょ建設のピークに対して、50年周期で改築事業費の山が繰り返されることになり、年度毎の事業費の増減幅が大きくなります。
- ・ 改築延長：約40.7km/年
- ・ 健全度の推移：健全性の高い施設も改築することとなり、健全度の推移は状態の悪い管きょの増減を繰り返すこととなります。

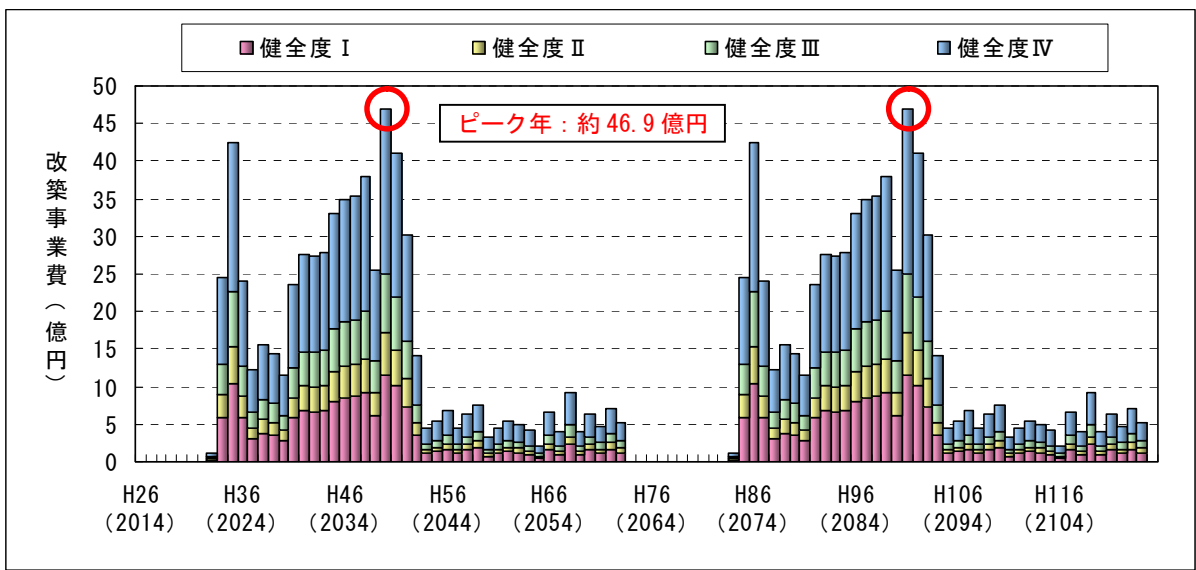


図 4.8 改築事業費の推移（シナリオ1）

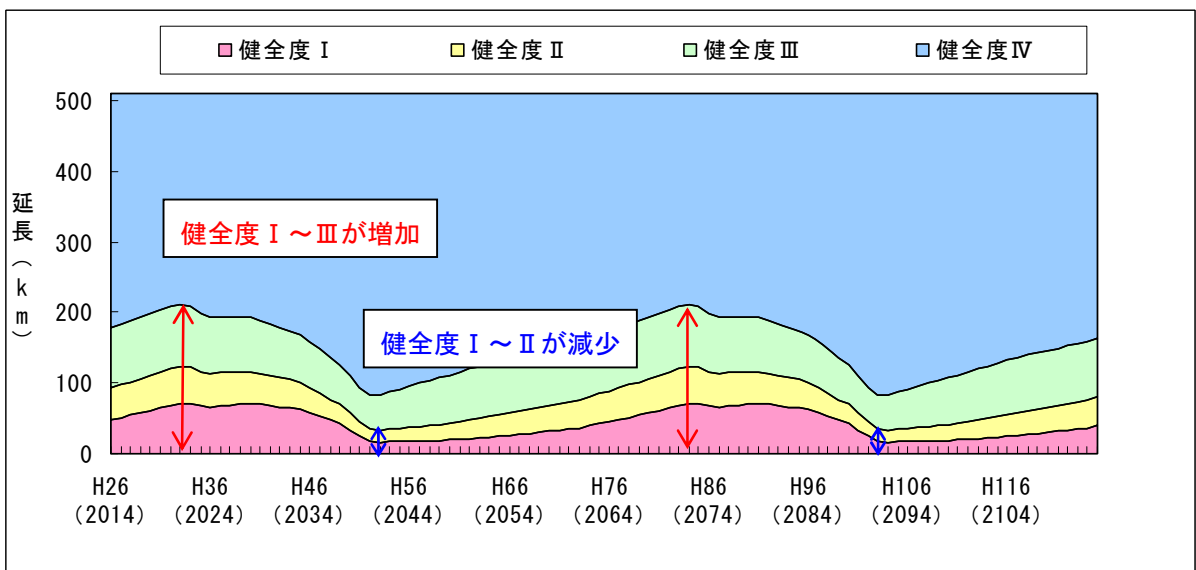


図 4.9 健全度の推移（シナリオ1）

〈シナリオ2：単純改築②（標準耐用年数：72年）〉

- ・ 改築事業費：約 46.9 億円（ピーク時）、過去の管きょ建設のピークに対して、改築事業費の山を1度迎えます。
- ・ 改築延長：約 40.7 km/年
- ・ 健全度の推移：健全性の高い施設も改築することとなり、健全度の推移は状態の悪い管きょの増減を繰り返し、シナリオ1より不安定となります。

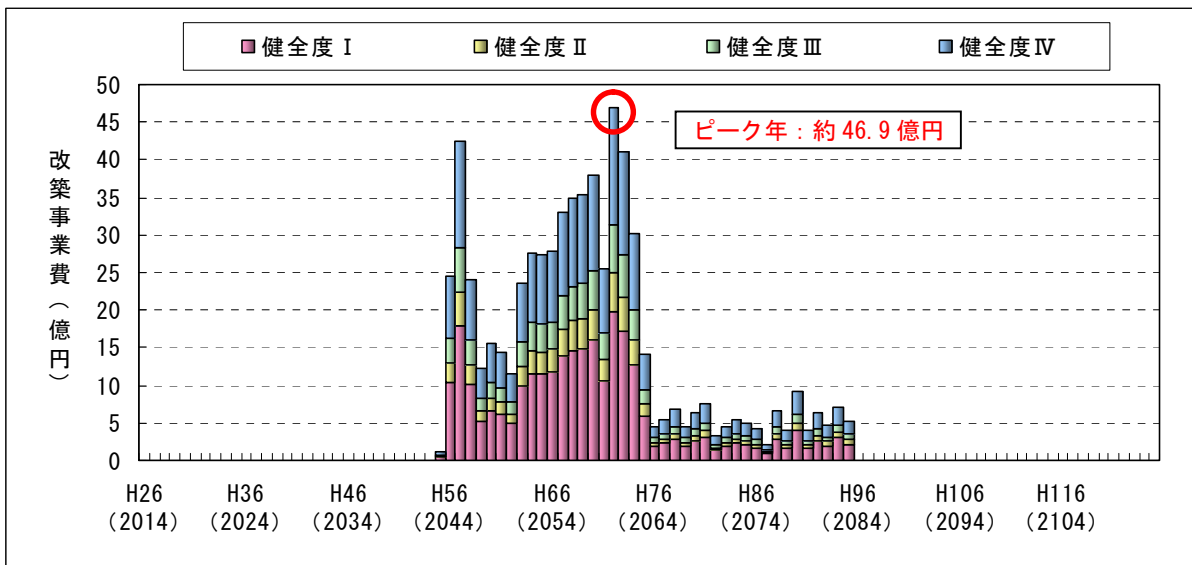


図 4.10 改築事業費の推移 (シナリオ2)

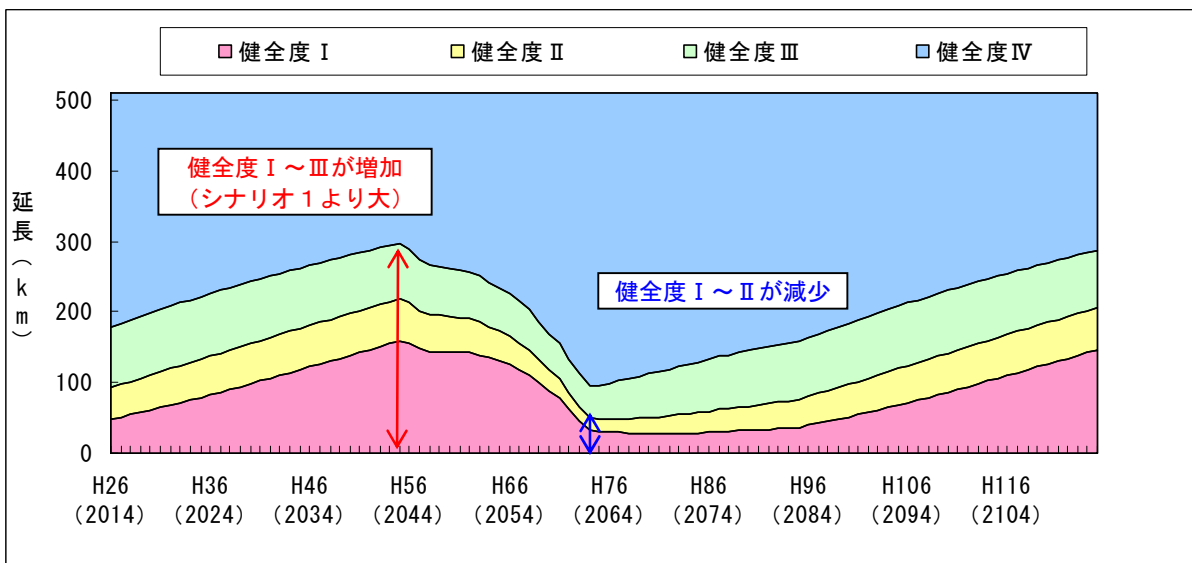


図 4.11 健全度の推移 (シナリオ2)

<シナリオ3：平準化①（健全度Ⅰ～健全度Ⅲを対象）>

- ・ 改築事業費：約10.8億円/年
- ・ 改築延長：約8.6km/年
- ・ 健全度の推移：健全度Ⅰ～健全度Ⅲの割合が徐々に低下し、将来的に管きよの健全性が高く確保されます。

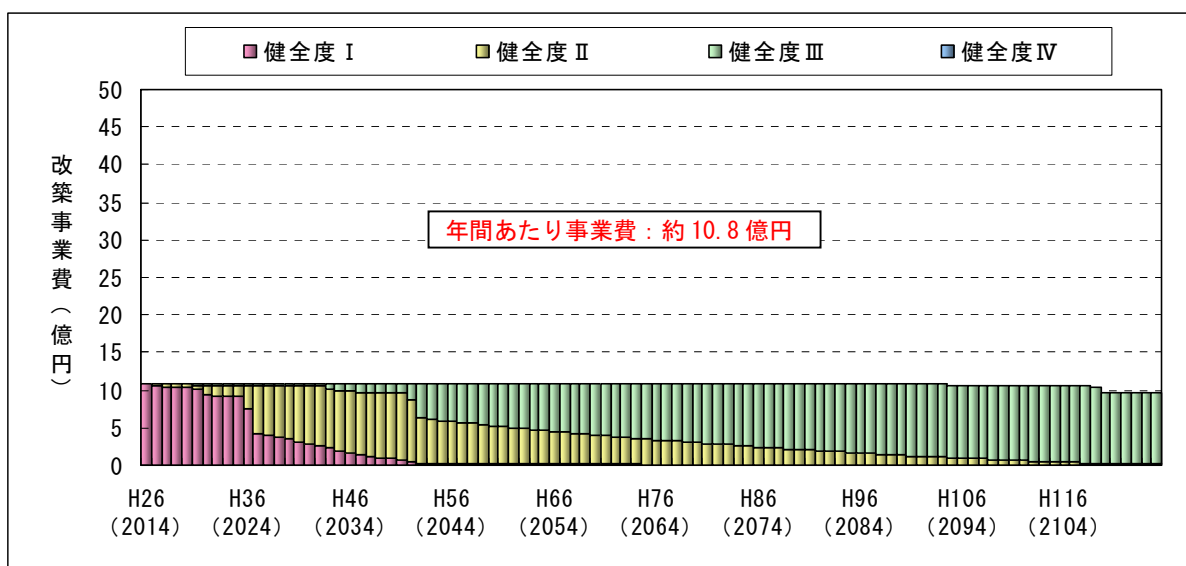


図 4.12 事業費の推移（シナリオ3）

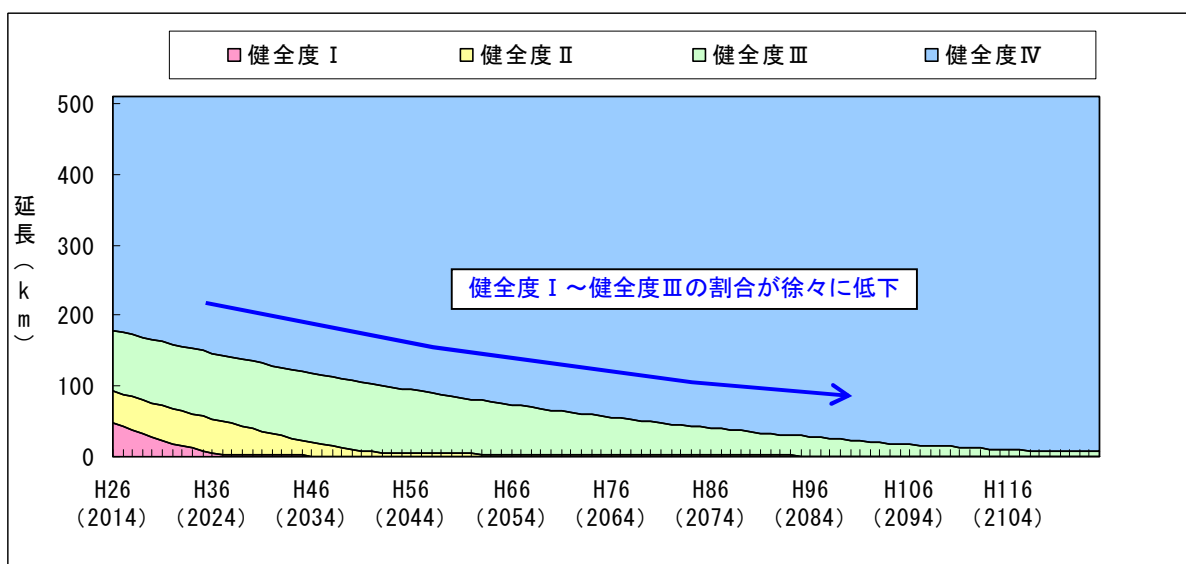


図 4.13 健全度の推移（シナリオ3）

<シナリオ4：平準化②（健全度Ⅰ～健全度Ⅱを対象）>

- ・ 改築事業費：約7.9億円/年
- ・ 改築延長：約6.3km/年
- ・ 健全度の推移：健全度Ⅲの割合は現況に比べ高くなりますが、健全度Ⅰ～Ⅱの割合は徐々に低下し、管きよの健全性が確保されます。

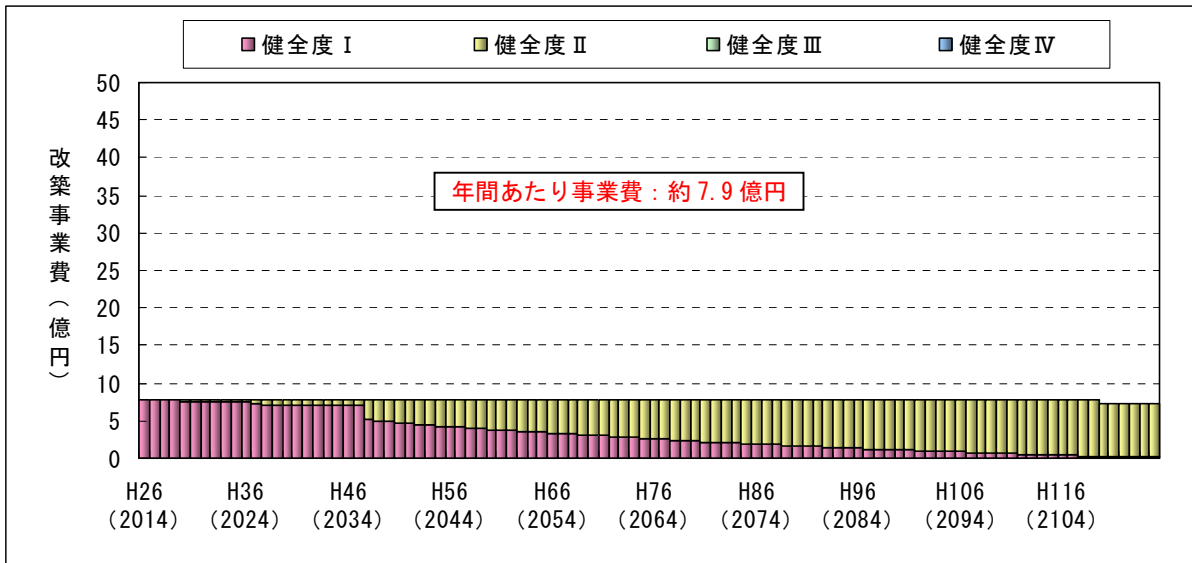


図 4.14 事業費の推移（シナリオ4）

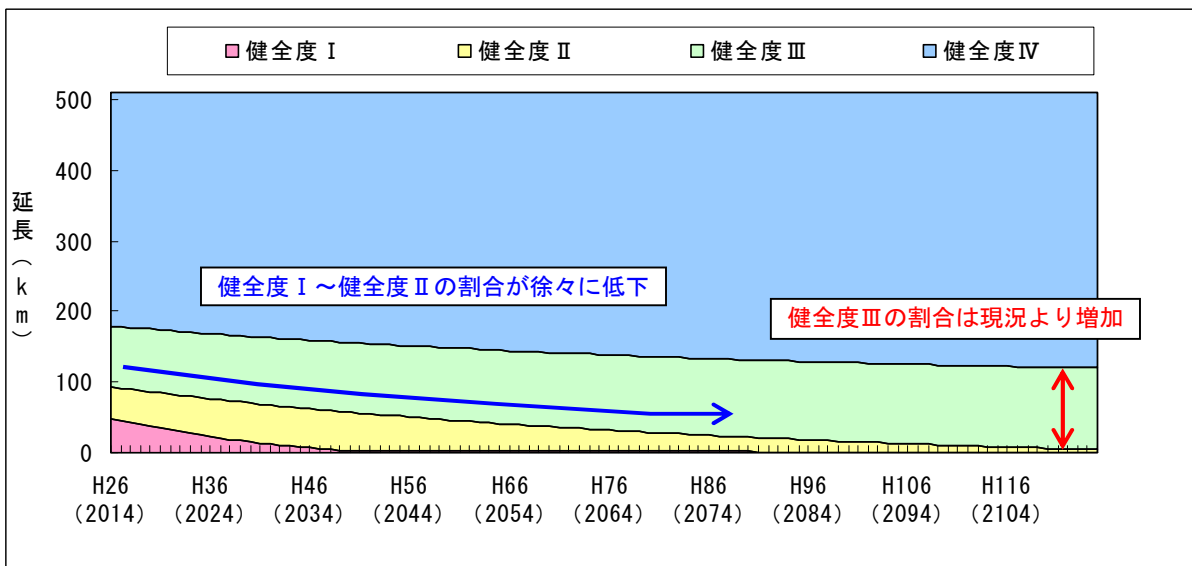


図 4.15 健全度の推移（シナリオ4）

<シナリオ5：平準化③（健全度Ⅰを対象）>

- ・ 改築事業費：約6.5億円/年
- ・ 改築延長：約5.3km/年
- ・ 健全度の推移：健全度Ⅱ～Ⅲの割合は現況に比べ高くなりますが、健全度Ⅰの割合は徐々に低下します。

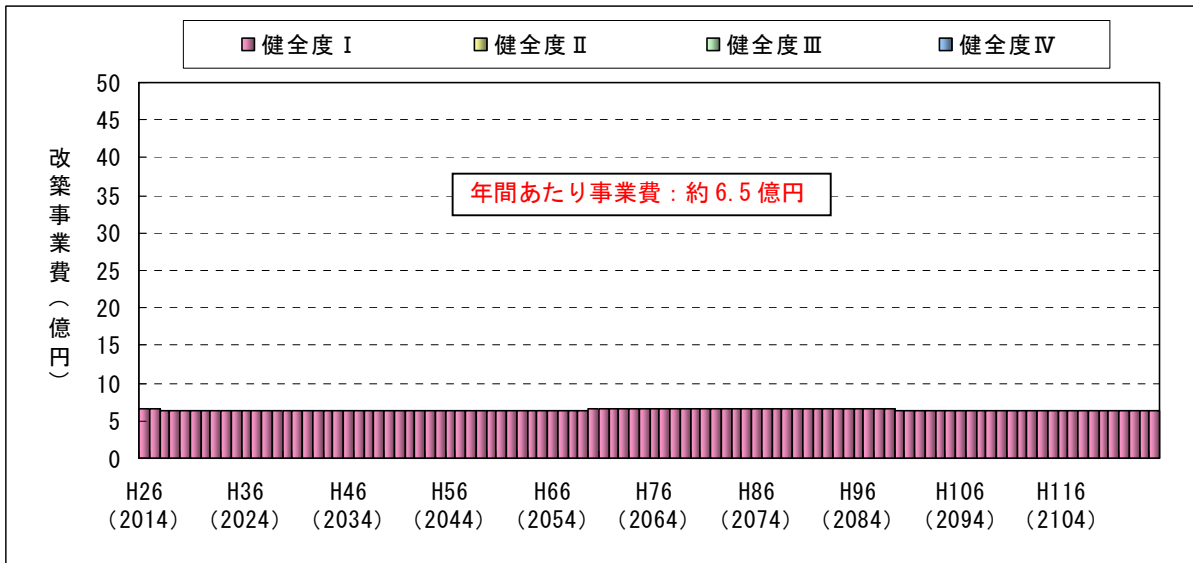


図 4.16 事業費の推移 (シナリオ5)

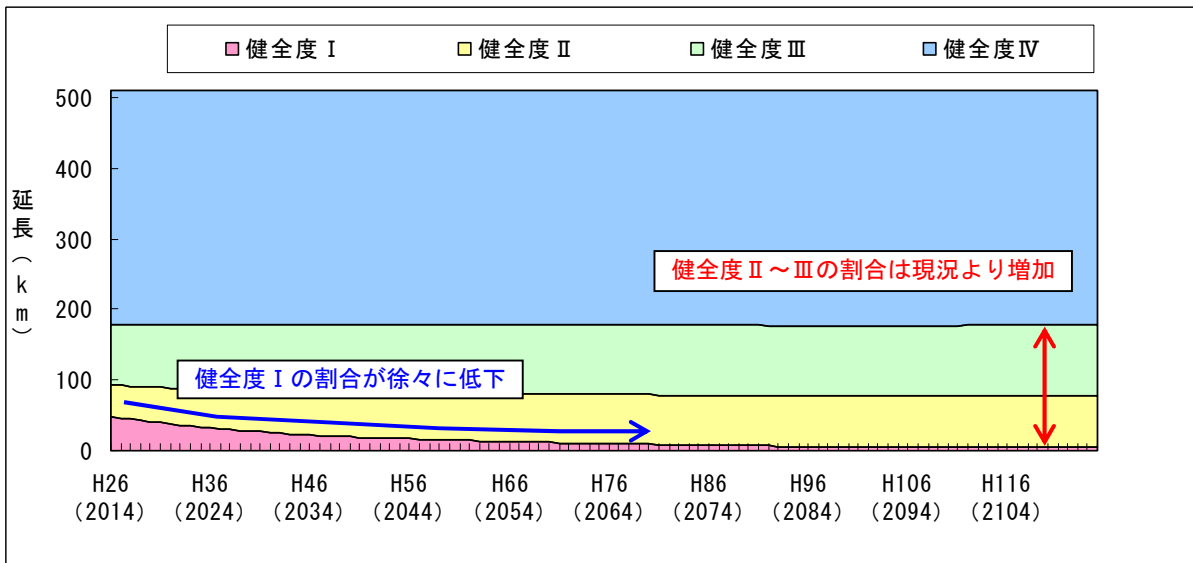


図 4.17 健全度の推移 (シナリオ5)