

参考資料編

平成 25 年 3 月
静岡県交通基盤部

目 次

参考資料

1. Lcc の分析手法.....	1
2. 社会的影響・重要度等による分類結果.....	7
3. 劣化予測の種類.....	9
4. 用語の定義.....	13

1. LCC 分析手法

(1) ライフサイクルコストとは

LCC を構成する要素は、以下のとおりである。

$$\text{LCC} = (\text{企画設計コスト}) + (\text{建設コスト}) + (\text{維持管理コスト}) \\ + (\text{更新コスト}) + (\text{廃棄処分コスト}) + (\text{外部コスト})$$

- ・企画設計コスト：構造物を企画設計する際に発生するコスト
＜調査費、予備設計費、詳細設計費＞
- ・建設コスト：構造物を構築する際に発生するコスト
＜工事費＞
- ・維持管理コスト：定期点検、管理施設の維持管理に発生するコスト
＜点検費、補修・補強費、部分交換費＞
- ・更新コスト：構造物が耐用年数を超過した場合に新しく構築するコスト
＜撤去費および建設コスト（架替え費、建替え費）、更新に関する企画設計コスト、更新工事の際に機能を維持するための費用＞
- ・廃棄処分コスト：更新時に発生する廃棄物を処分するためのコスト
＜廃棄処分費＞
- ・外部コスト：間接的に発生（利用者、環境などへの影響）するコスト
＜渋滞による利用者への影響（走行時間、走行距離など）＞

(2) LCC の適用

計画段階および維持管理段階において LCC 分析の適用例を示す。

表 1-1 LCC の適用例

段階	適用例
計画段階(新設)	建設事業における代替案の比較検討
維持管理段階(既設)	維持管理事業における代替案の比較検討
	技術の選定⇒構造形式の比較、補修工法の比較、 撤去・更新か維持補修継続かの比較 等
	手法の選定⇒工事規制のやり方比較 等
	予算計画策定⇒各年度予算の平準化の検討

LCC の導入効果としては、コスト縮減の実現による財源の有効活用、劣化予測による予防保全の実現、長期管理計画の策定と予算要求における説明資料の作成、維持管理の重要性の認識向上、説明責任の向上、新しい技術開発や研究テーマの発見などがあげられる。

■ LCC最小化のイメージ

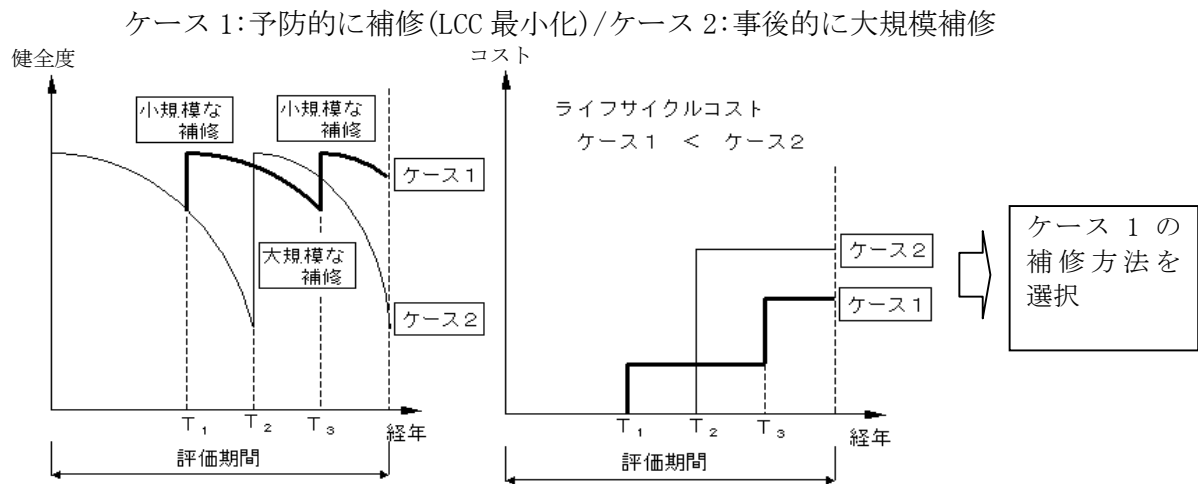


図 1-1 LCC 分析のイメージ

c. LCC の算定法

LCC の計算は、コスト計算を行うことと同義であり、主に 2 通りの手法がある。

- ・現価法：すべての経費（費用）を現在の価値に換算して比較する方法
- ・年価法：すべての経費（費用）を年平均経費に換算して比較する方法

ライフサイクルコストの最小化という観点で、トータルコストにて対策と費用を比較評価する趣旨の本検討では、現価法が適していると考えられる。

表 1-2 LCC の算定方法比較

手法名	現価法	年価法
概要	将来にわたり発生する全てのコストを現在の価値に換算し、その合計額を用いて、代替案の経済性を比較する方法。 ⇒ 累積コストを算出	現価法の数式でn=評価期間とした場合のNPCを基に算出した年平均の支払額を用いて、代替案の経済性を比較する方法。 ⇒ 年平均コストを算出
算定式	$NPC = \sum_{t=1}^n Ct \frac{1}{(1+i)^t} \left[- SVn \frac{1}{(1+i)^n} \right]$	$\sum_{t=1}^n MC \frac{1}{(1+i)^t} = MC \frac{(1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n}$ $\therefore MC = NPC \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$
備考	・トータルコストを把握したい時に使用できる	・耐用年数(寿命)の異なるものを比較する場合にも使用できる ・ランニングコストの比較に適している。

(3) LCC 分析において考慮すべき事項

A. 評価期間

LCC の策定において、評価期間を設定する必要がある。耐用年数を用いる場合もあるが、長期の期間を設定すべきである。期間の設定により、選定する代替案が変わる場合があること、社会的割引率を考慮した場合にはある期間以降の費用の現在価値が小さくなるため評価に大きな影響を及ぼさない事に留意する必要がある。

対応としては、30 年、50 年、100 年など各評価期間に着目した考察を行うことが考えられる。さらに、LCC が安くても、初期投資額が妥当であるか検証することが重要である。

B. 維持管理サイクル・耐用年数の設定

LCC の算定において、維持管理サイクルと耐用年数（施設に必要となる維持管理の周期と施設、部材の寿命）を設定する必要がある。経験的なものや実績を使用しているが、多くの要因（施工状況、周辺環境、使用状況など）により大きく影響されるため、設定が難しいのが現状である。

対応としては、環境要因の違いを考慮しながら一般的に言われている値、実験値、実績値などで設定すること、仮定のケース(シナリオ)を設定し感度分析を行なうことが考えられる。

C. 社会的割引率

将来の費用を現在の価値で評価するために、社会的割引率を用いる。社会的割引率の設定により比較の結果が異なることになるため、評価に注意が必要である。対応としては、社会的割引率を「考慮した場合」と「考慮しない場合」の傾向を把握し判断することが考えられる。結果が異なる場合には、各年次の費用に対し財源の確保が可能であるか検証しておく必要がある。

D. 外部コスト

外部コストの考慮については、対象とする事業の実施が社会的影響が大きいと考えられる場合に算出することが考えられる。また、「考慮する場合」と「考慮しない場合」の LCC を算出することで、総合的な評価を行うことが考えられる。

(4) 耐用年数

A. 耐用年数の概念

施設の耐用年数は、ライフサイクルにおける費用最小化を図る上で、対策（補修・補強策、延命化策、撤去・更新策）や対策を講じる時期の選定などが一つの設定条件となり、その把握は重要なものといえる。

耐用年数(寿命)は、大きく物理的、機能的、経済的耐用年数の 3 つの概念に

分けられ、構造物系施設にとって物理的耐用年数は観察後の結果として耐用年数が尽きたとして認識されるもので、建設当初から明確には把握されるものではない。特に環境条件(海岸部、都市部、山間部等)や使用条件(交通量等)などにより、同一施設でも地域性により大きく異なるものである。また、機能的・経済的耐用年数は社会情勢に応じて変化する相対的なものであり、予測あるいは推計することは困難な場合が多い。

設備系施設においても物理的耐用年数は状態監視後の結果として耐用年数が尽きたとして認識されるが、設置当初から過去の取替え標準年数に基づき おおよその時期を設置しているものが多い。

したがって、各概念の耐用年数のうちで最も短い期間が施設の耐用年数、ライフサイクルの終焉と考えられる。

■物理的耐用年数⇒構造物の物理的寿命から考えられるもので、構造材料の劣化（腐食、損傷、摩耗、疲労など）により構造物の性能（使用性能、耐荷性能）が低下し、一定の規準を満足できなくなるまでの期間（年数）であり、構造力学的、構造工学的な構造物の寿命。

■機能的耐用年数⇒技術革新、需要の急激な変化等により、当初期待されていた機能とは異なる機能が社会的に要請されるようになったため、構造物が新しく要請される機能を満足出来なくなるまでの期間（年数）。

この他に、以下のようなケースを社会的耐用年数として別で表す場合もある。

（社会的耐用年数）⇒他のプロジェクトを要因とする環境の変化や新しいプロジェクトの出現により当初の構造物が引き続き使用できなくなる場合の寿命。（例えば、河川改修により河川幅が広がったために橋梁が架け替わる場合等）

■ 経済的耐用年数⇒維持・管理のコストから考えて、新規構造物と比較すると経済的に見合わなくなるまでの期間（年数）。建築物でよく見られる減価償却資産としての法定耐用年数や、有料道路や有料橋にみられる建設費の償還から算定された年数がこれに含まれる。

B. 寿命決定要因と LCC 最小化の視点

耐用年数の概念から、施設の延命化に向けた視点を整理する。

表 1-3 耐用年数の概念から見た LCC 最小化の視点

施設	物理的耐用年数から	機能的耐用年数から	経済的耐用年数から
道路(橋梁)	○要因 構造物の腐食・劣化等による強度低下、外力・外的要因による構造破壊、沈下・埋没等による機能不足・低下 など	○要因 交通量の増加による車線数の不足(必要機能の確保) など	○要因 維持管理コストが更新コストを上回る など
港湾構造物		○要因 船舶の大型化、取り扱い貨物量・種類変化等による施設機能の不足・低下(必要機能の確保) など	
河川構造物		○要因 流下能力不足、安全性の向上 など	
LCC 最小化の視点	物理的な劣化等の側面から構造物の弱点(実態)を知り、適切な対策を講じる。 構造物本体に対し、構成する複数の構造部材の一つが必要機能を満たさないことで全体の機能が喪失する場合もあることから、部位・部材単位の劣化・損傷に注意が必要である。	政策的(施設整備計画)判断に委ねられるが、代替手段による対応など、可能な範囲での配慮・調整が必要である。	LCC 最小化の観点から、補修・補強か更新かの比較検討により、最適な対策と時期を選定する必要がある。

C. 留意点

a. 物理的耐用年数分類の扱い

中長期管理計画の立案では物理的・経済的耐用年数(法定耐用年数の概念は除く。以下物理的耐用年数と称す)が中心となる。

既存施設の残存耐用期間の把握は、点検結果から性能の劣化予測により行うこととなるため、部位・部材ごとの点検や予測技術が重要となる。一方、劣化予測技術が十分に確立されていない現状では、実態としての物理的耐用年数の把握も情報として有用である。物理的耐用年数は環境条件や使用条件等地域性により異なり、施設で一律に設定することは困難であるが、類似地域や類似施設のデータなどを参考に設定する。

なお、構造物本体に対し、構成する複数の部材の一つが必要機能を満たさないことで全体の機能が喪失する場合もあることから、部位・部材単位の劣化・損傷にも注意が必要である。

また、設備系の既存施設の残存耐用年数の把握は、状態監視または時間計画による 2 通りがある。状態監視による残存年数の把握については、動作確認や点検結果を基とした傾向管理により行うこととなり、傾向(予測)データが十分把握されていない設備については、データ収集により予測の向上を行うことが重要となる。時間計画による残存年数の把握については、施設状態を問わず

規定の時間経過による更新が基本となり、今後傾向管理の技術が確立されることにより、状態監視による残存年数の把握へ移行することが望ましくなる。

D. 機能的耐用年数分類の扱い

機能的耐用年数にかかわる施設更新については、当該施設を更新しない代替手段(例えば、現橋梁の幅員不足に対し、新規計画において必要とされている別位置バイパス整備の時期を繰り上げ、ネットワーク効果により現橋梁の代替とするなど)も含めて検討し、LCC が最小となるような判断・留意が必要である。

また、機能的耐用年数の概念には、基準類改訂により施設更新が要請される場合も考えられるが、安全やサービスといった社会的影響度を考慮し、個別に検討・決定することが必要である。例えば、

- ・耐震基準に関しては安全の観点から政策的に順次対策を講じる
- ・道路構造令による歩道幅員基準についてはサービス向上必要性の観点から箇所毎に対策の必要性を判断する(他事業と併せて行う等)
- ・河川構造令による河積阻害率については安全(危険)や緊急性の程度をいわゆるリスク対応として捉え箇所毎に判断する

などが考えられる。

2.社会的影響・重要度等による分類結果

7.1.1 の検討フローで優先的取組対象施設・工種の整理結果を下記に示す。

優先的に取り組む対象工種は、維持管理区分が予防保全管理で、かつ以下の施設特性整理4項目のうち2項目以上の該当がある工種とする。

整理項目	内 容
維持管理区分	当該工種の維持管理区分が予防保全管理
補修費	当該工種に係る維持修繕費が大きい(当該工種の維持修繕費が、全工種の平均値より大きい)
構造物規模	当該工種単位あたりの構造物規模が大きい(単位あたり構造物の建設期間が通常1年以上)
防災対策への影響	当該工種支障時に地震等防災対策における影響が大きい
利用者への影響	当該工種支障時に利用者等への影響が大きい

施設名	工種名	維持管理区分	施設特性の整理				優先的 対象工種該当
			補修費	構造物規模	防災対策への影響	利用者への影響	
道路施設	舗装	○	○			○	◎
	橋梁	○	○	○	○	○	◎
	立体横断施設	○				○	
	トンネル	○	○	○	○	○	◎
	道路地下施設				○		
	斜面施設	○			○	○	◎
	道路照明施設					○	
	防護・視線誘導施設						
	情報提供施設	○					
	環境対策施設						
	歩道等	○				○	
	中央帯						
河川施設	ダム	○		○		○	◎
	水門・陸閘・樋門・樋管	○		○	○		◎
	排水機場	○		○	○		◎
	堤防・護岸等		○		○		
海岸施設	水門・陸閘・樋門・樋管	○		○	○		◎
	堤防・護岸等				○		
砂防関係 施設	砂防施設			○	○		
	地すべり防止施設	○			○		
	斜面施設(急傾斜)	○	○		○		◎
港湾施設	水域施設	○				○	
	外郭施設	○		○	○	○	◎
	係留施設	○		○	○	○	◎
	臨港交通施設	○		○	○	○	◎
	荷さばき施設	○	○	○	○	○	◎
	保管施設	○					
	船舶役務用施設	○					
	廃棄物処理施設	○					
港湾環境整備施設	○						

施設名	工種名	維持管理区分	施設特性の整理				優先的 対象工種該当
			補修費	構造物規模	防災対策への影響	利用者への影響	
漁港施設	外郭施設	○		○	○	○	◎
	係留施設	○		○	○	○	◎
	臨港交通施設	○		○	○	○	◎
空港施設	空港基本施設	○		○	○	○	◎
	付帯施設				○	○	
	周囲部施設等	○			○		
	照明施設			○	○	○	
	電源施設			○	○		
	保安対策施設				○		
	通信施設				○		
	給油施設等	○			○		
下水道施設	管路	○		○	○	○	◎
	処理場	○	○	○	○	○	◎
公園施設	園路広場					○	
	修景施設						
	休養施設					○	
	便益施設					○	
	運動遊戯施設	○	○	○	○	○	◎
	教養施設	○			○	○	◎
	管理施設	○			○	○	◎
農業水利 施設	ダム	○		○		○	◎
	頭首工	○		○		○	◎
	用排水機場	○	○	○	○		◎
	樋門(トンネル)	○		○		○	◎
	開水路	○	○			○	◎
	パイプライン	○	○			○	◎
	水管理システム	○		○		○	◎
治山施設	溪間工				○		
	山腹工				○		
	防潮工				○		

3.劣化予測の種類

劣化予測については、複数の手法が提案されている。これらの手法は、予測の目的や劣化要因メカニズムなどに応じて使い分ける。

<p>回帰分析手法</p>		<p>概要</p> <p>蓄積された経年的なデータを活用し、現在までの劣化状態の推移より、将来の劣化状態を予測する方法。</p>	<p>長所</p> <p>経年的に蓄積されたデータを活用するため、対象とする各資産の将来の状態を予測することが可能である。</p>
<p>理論的手法</p>		<p>概要</p> <p>理論的に劣化要因の進行メカニズムが解明され、材料・構造・荷重・環境条件により、理論式に基づいて将来的な状態を予測する方法。</p>	<p>長所</p> <p>メカニズムが解明されている劣化については、経年的なデータの有無に関わらず、与条件により将来的な劣化予測が可能である。</p>
<p>確率論的手法(遷移確率)</p>		<p>概要</p> <p>マルコフ過程に代表されるように、確率論的に将来の劣化状態を予測する方法。</p>	<p>長所</p> <p>中長期的な計画の立案など、精緻な精度を必要としない予測を行う場合には適用性が高い。</p>
		<p>適用</p> <p>突発的な損傷や、資産群のマネジメントにおける予算確保・配分への適用などがある。</p>	<p>短所</p> <p>精緻な精度を求められる場合は適用が困難である。また、劣化要因を特定しないため、想定した対策法が現実と乖離する可能性がある。</p>

出典：静岡県係留施設ガイドライン

○ 確率論的手法の一例（マルコフ連鎖モデル）

（１）マルコフ連鎖モデルとは

状態と推移、という2つの概念を用い、物事がある状態から、ある推移確率で任意の状態へ推移する様子を確率論的に捉える統計手法。

過去の統計データに基づき、任意の健全度ランクの施設の集団が、1年間で健全度ランクが1つ下がる施設の割合（推移確率）を求め、この割合を一定として離散的に健全度分布の推移を予測する。

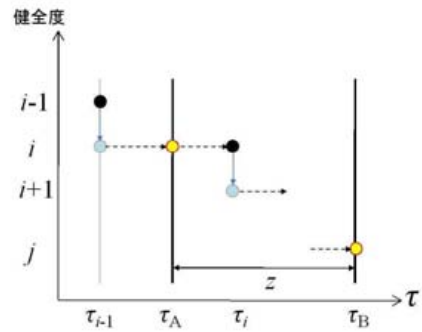
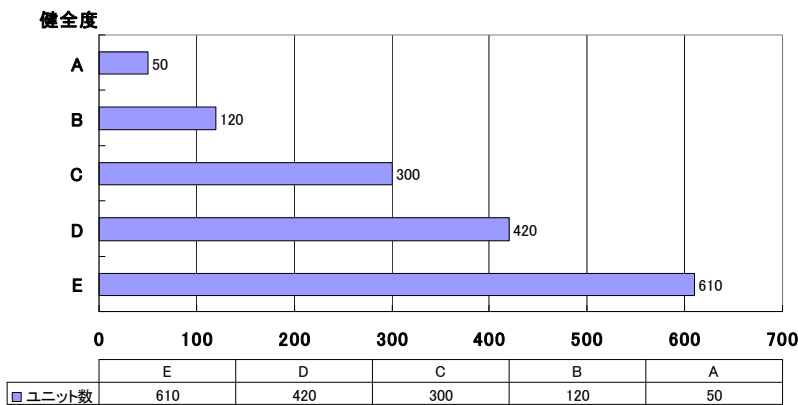


図 3-1 社会資本の劣化過程

（２）作業手順（イメージ）

① 点検により各施設の現状の健全度を評価

- 施設の健全度状態に関する時系列データを蓄積する。（建設年次別の健全度分布の把握）
- 健全度状態の評価は、時間の経過に従って変化を定量的に表現できる基準を基に実施することが望まれる。



健全度	老朽度点	判定
A	$10 \leq \alpha$	補修・更新対応(優先度高)
B	$7 \leq \alpha < 10$	補修・更新対応
C	$5 \leq \alpha < 7$	補修計画の検討(応急実施)
D	$3 \leq \alpha < 5$	詳細点検実施
E	$0 \leq \alpha < 3$	通常点検のみ

図 3-2 施設の健全度別分布

② 推移確率の推定（劣化モデルの構築）

- 一定期間中に、ある健全度が次の健全度に推移する確率（推移確率）を推定する。
- 建設年次別（経過年数別）の施設の健全度状態分布を把握し、健全度変化の変遷していく傾向（推移確率）を繰り返し計算により算定する。

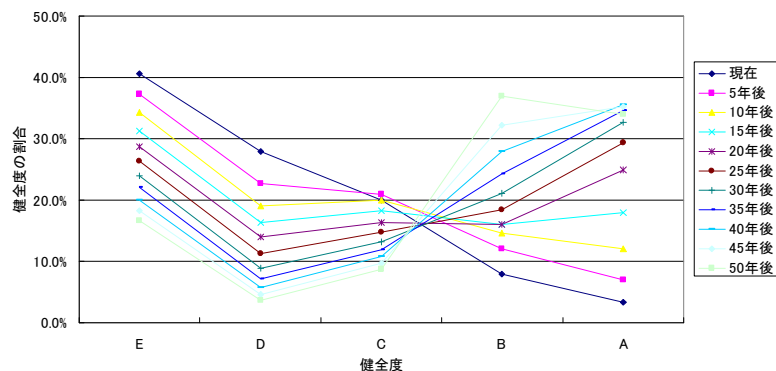


図 3-3 健全度状態の変遷状況（50年間）

		1年経過後の健全度				
		E	D	C	B	A
現状健全度	E	0.9848	0.0152	0	0	0
	D	0	0.9322	0.0678	0	0
	C	0	0	0.9105	0.0895	0
	B	0	0	0	0.7802	0.2198
	A	0	0	0	0	1

表 3-1 一定期間後（5年後）のマルコフ推移確率行列

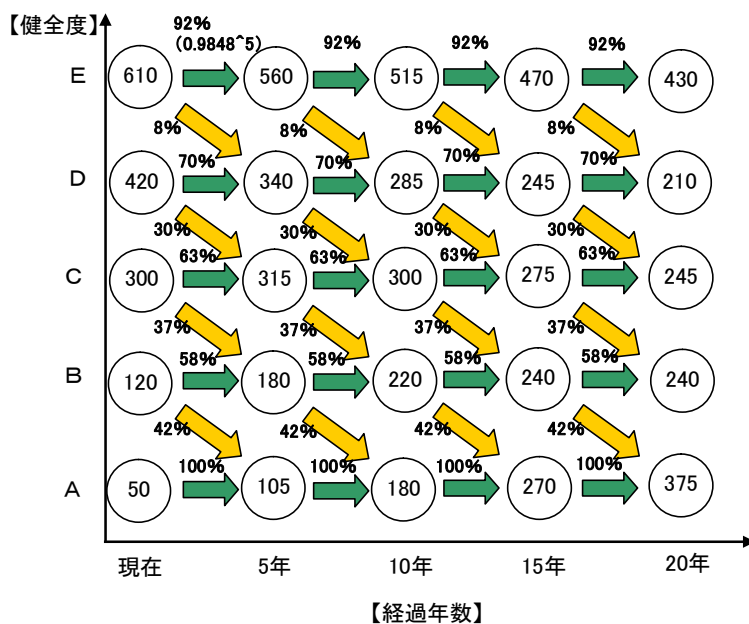


図 3-4 マルコフ推移確率に従った施設数の経年変化（概念図）

③ 健全度の将来分布予測

設定されたマルコフ推移確率に従い、補修を行わない場合の施設数の経年変化を予測する。

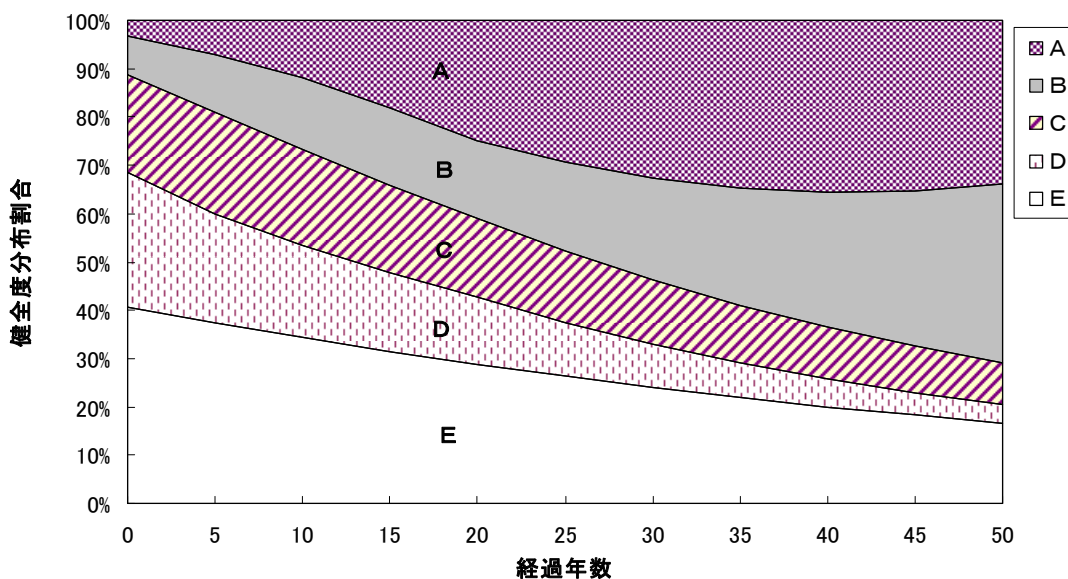
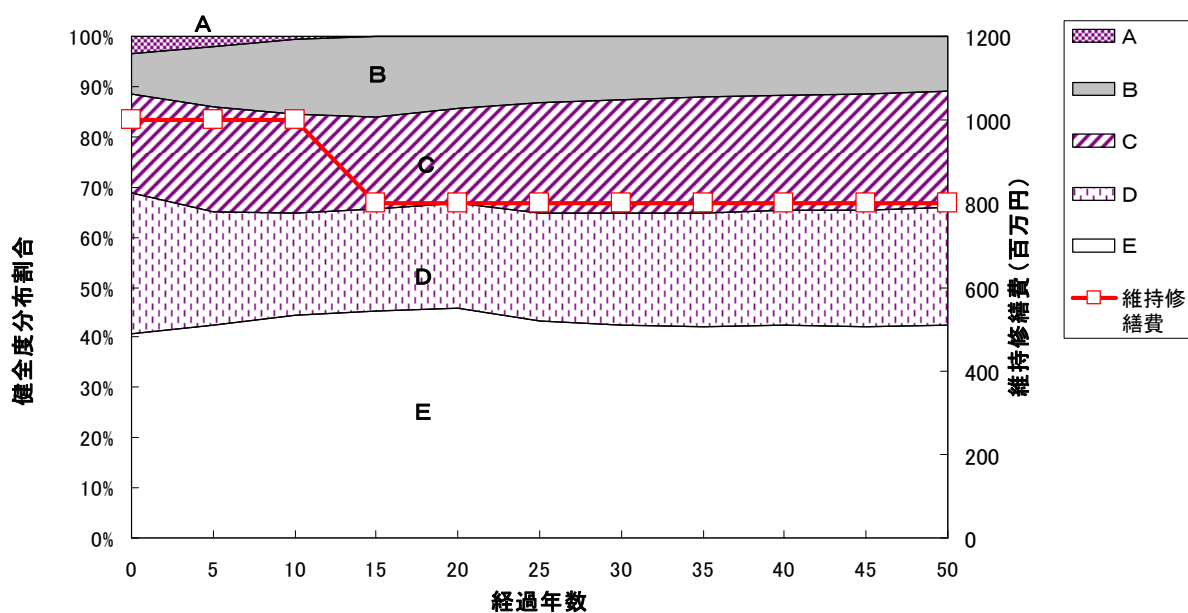


図 3-5 健全度分布の推移（補修なしの劣化過程）

④ 目標管理水準に向けた中長期的な維持修繕計画立案

目標とする管理水準を設定し、維持修繕費用と目標管理水準達成の最適化を目指した分析を行うことで、中長期的な管理計画を立案していく。



目標管理水準を健全度 B とし、健全度 A への対策を当初 10 年間で実施していく。(10 年後以降は A を出現させない)

図 3-6 事業費と健全度分布の推移 (中長期シミュレーション例)

4. 用語の定義

1) 施設

道路施設、河川施設、港湾施設など工種の総称をいう。

2) 工種

橋梁、トンネル、ダムなど社会資本の名称

3) 事業

〇〇橋の床版補修事業、〇〇ダムの機械設備補修事業など工種を形成する一部分の修繕事業のこと。

4) 予防保全管理

a. 構造物系予測計画型

施設の使用中の不具合の発生を未然に防止するために規定の間隔又は基準に従って修繕等を実施し、施設の機能劣化又は不具合の確率を低減するために行う保全。

b. 構造物系状態監視型

施設の使用中の不具合の発生を未然に防止するために、状態監視に基づき行う保全。

c. 設備系状態監視型

設備の使用中の故障の発生を未然に防止するために、状態監視に基づき行う保全。

d. 設備系時間計画型

定められた時間計画に従って遂行される予防保全。

5) 事後保全管理

a. 構造物系事後保全型

施設の不具合発見後、要求機能遂行状態に修復させるために行う保全。

b. 設備系事後保全型

故障発見後、設備を要求機能遂行状態に修復させるために行う保全。

6) 更新

構造物全体又は部位・部材を作り替える行為。

7) 修繕

部分的な補修。

8) 維持

更新、修繕以外の耐用年数の延長を伴わない行為。

9) 維持管理

維持、修繕及び日常的な巡視、点検等の行為