

3章 ミクロマネジメントの簡易的な手法

これまで北海道 BMS を用いたケーススタディにより検討を行ってきたが、本章では施設管理者の情報が脆弱な場合があることを考慮して、簡易的な手法(表計算)による補修計画の作成例を示す(マイクロにおける最初のステップ;「1-3. マクロマネジメントに渡す情報の作成 -マイクロマネジメント」)。ここでは、まず、ケーススタディを行うにあたっての考え方を検討し、ここで提案する簡易的な手法によるマネジメント実施の可能性及び実施する際の課題点等を整理する。

3-1. 概要

1) ケーススタディの流れ

実際に補修計画を作成するまでの一般的な流れを以下に示す。補修計画を作成するためには、各施設の点検を実施し、その点検結果を基にした健全度評価及び劣化推定が必要である。点検方法については、各施設に応じた方法があり、本章では劣化推定及び補修計画の考え方について検討する。

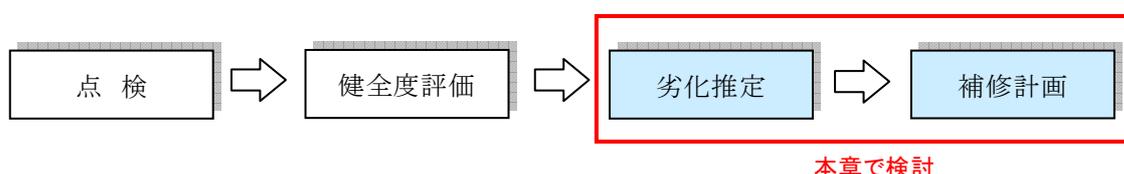


図3-1-1 補修計画作成までの流れ

劣化の推定手法に関しては、現状では以下の3つに大別される。

- ① 理論的な予測
- ② 点検データに基づく解析による予測
- ③ それらを組み合わせた劣化予測

本ケーススタディにおいては、橋梁を例にそれぞれの手法を組み合わせた劣化推定手法を示す。また、これらの手法はいずれも平均的な劣化過程を提供するものであり、評価対象となる構造物の周辺環境によっては異なった結果が出るのが予想される。それらについては適宜修正していくことが必要となる。

また、補修計画の作成にあたっては、損傷に応じた補修工法やその補修による回復度、あるいは補修後の劣化推定に関する情報を整理する必要がある。まず、施設の損傷ランクごとの具体的な補修工法を整理し、それぞれの損傷に対して効率性や経済性を考慮して、実際の補修を計画するために、損傷ランクに対応した補修工法を3つのシナリオに対して作成する。

ここでは、橋梁の例として、北海道BMSでの検討結果も参考に、作成例を示すこととする。

具体的なケーススタディの流れを図3-1-2に示す。

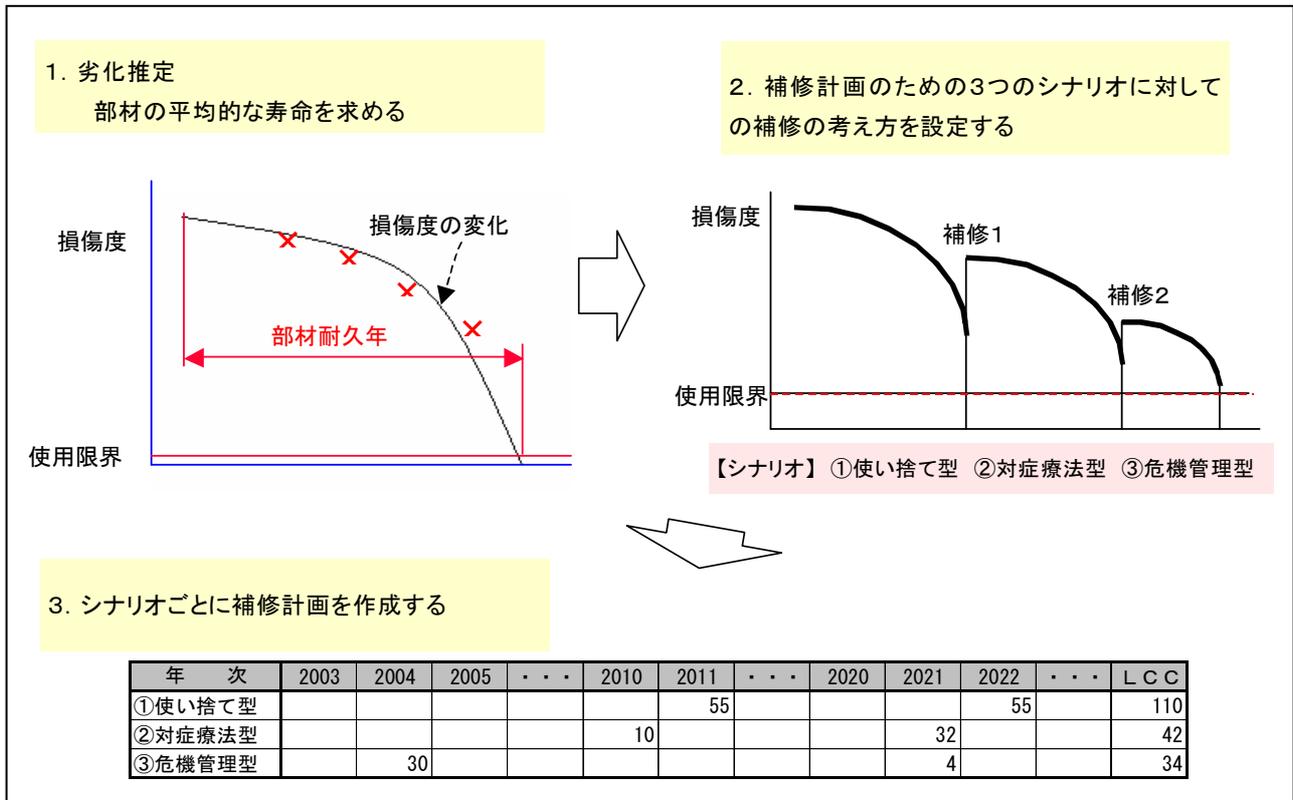


図3-1-2 ケーススタディの具体的な流れ

2) ケーススタディの対象部材

ケーススタディで対象とする部材は、劣化が出やすい部材あるいは損傷の多い部材とし、主桁、床版、支承の3部材とする。ここで、各部材で対応する損傷は表3-1-1に示すとおりである。

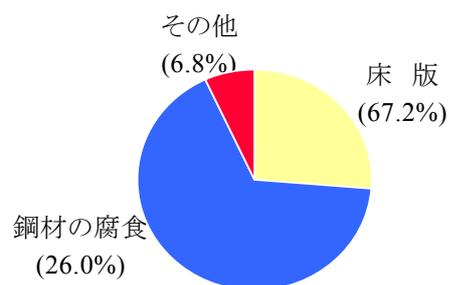


図3-1-3 橋梁の架け替え理由 例: 鋼橋 (平成8年建設省調査)

表3-1-1 各部材で対応する損傷

部材	損傷
主桁	腐食・塗装劣化
床版	床版ひび割れ
支承	腐食・塗装劣化

3) 評価指標の定義

(1) 損傷度の定義

橋梁の場合、損傷度はOK～Iの5ランクで以下のように定義されている(表3-1-2)。また、例として床版の損傷度の定義を表3-1-3に示す。

表3-1-2 損傷度の定義

損傷度	損傷状態
OK	損傷がない状態あるいは材料特性による損傷
IV	劣化による損傷の初期段階
III	損傷が漸増し、安全性が徐々に低下する段階
II	損傷が加速的に進行し、交通規制を伴う補修が必要な段階
I	直ちに通行規制を行い、補修が必要

表3-1-3 損傷度(例:床版)

損傷度	損傷状態
OK	乾燥収縮によるひび割れなど、材料特性による損傷
IV	1方向ひび割れが並列する段階
III	ひび割れが格子状となり、増加する過程
II-1	格子状のひび割れが貫通し、密度が大きくなる段階
II-2	格子状のひび割れが貫通し、遊離石灰や鉄筋の腐食がある状態
I	押し抜きせん断により陥没などが生じた状態

(2) 健全度の定義

補修効果を評価するため、あるいは今後の状態を示す指標として、仮に健全度を用いるものとした。算出方法はニューヨーク市の方法を参考に、部材ごとの重み係数を用いて評価することとした。ここで、健全度は直接的に健全性を示す値ではないことに注意が必要である。

表3-1-4 健全度の算出例

部 材	重み係数 Ef(j)	点検結果					部材HI EHI	EHI×Ef
		OK	IV	III	II	I		
床 版	8	75.0		15.0	10.0		85.0	680
主 桁	10		33.3	33.3	33.3		50.0	499.5
舗 装	4	50.0	50.0				87.5	350
伸縮装置	2		50.0	50.0			62.5	125
排水装置	2	100.0					100.0	200
支 承	6		50.0	50.0			62.5	375
防 護 柵	1	100.0					100.0	100
橋 台	8		100.0				75.0	600
ΣEf=	41							2929.5

損傷の重み係数: Df(i)

損傷度	OK	IV	III	II	I
Df	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00

部材HI EHI = $\sum A(i) \times Df(i)$

A(i): 損傷度(i)の面積率
Df(i): 損傷度(i)の重み係数

健全度 BHI = $EHI(j) \times Ef(j) / \sum Ef = 2,929.5 / 41 = 71.5$

EHI(j): 部材(j)の健全度
Ef(j): 部材(j)の部材の重み係数
ΣEf: 重み係数の合計

3-2. 劣化推定に関する検討

劣化曲線は点検データに基づく解析による予測を基にする。但し、本曲線はあくまでもある地域の橋梁を対象として分析した平均値であり、対象となる構造物によって劣化過程は異なるため、当該構造物の点検結果を基にする。

また、部材によっては下図のようなきちんとした劣化曲線がかけない場合が予想される。この際にはランクが1になるような年数のみを規定し、それに応じた上に凸な曲線を設定する。曲線は $y=5$ (ランク 5) を頂点とする 2 次関数 $y = -ax^2 + b$ と仮定する。なお、これらの曲線は今後の点検や検討で更新されるものとする。ここでは基本的に各部材に関連する損傷 (原因) を取り扱うが、複合的な劣化に関しては考慮しない。

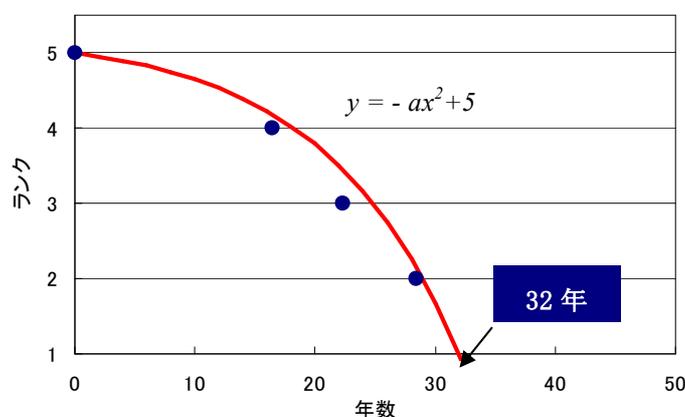


図3-2-1 劣化曲線の設定 (例:床版)

表3-2-1 各部材のランク I となる年数

部 材	部材種類	ランク I となる年数
主 桁	鋼	32 年
	コンクリート	40 年
床 版	コンクリート	32 年
支 承	鋼	30 年
	ゴム	100 年 [※]

※なお、支承(ゴム)については、既往の点検結果から傾向が導き出せなかったため、一般的な耐用年から推定した。

表3-2-2 各部材の劣化係数及び劣化曲線

部 材	種 類	a (劣化係数)	劣化曲線
主 桁	鋼 橋	0.00389	$y = -0.00389x^2 + 5$
	一般コンクリート	0.00250	$y = -0.00250x^2 + 5$
	塩害地域 PC	0.00640	$y = -0.00640x^2 + 5$
床 版	一般地域	0.00391	$y = -0.00391x^2 + 5$
	塩害地域	0.00444	$y = -0.00391x^2 + 5$
支 承	鋼製	0.00444	$y = -0.00444x^2 + 5$
	ゴム	0.00110	$y = -0.00110x^2 + 5$

3-3. 補修計画に関する検討

1) 補修・補強工法の整理

補修・補強工法は、部材種別及び損傷の種類によって決められる。以降では、まず、損傷に対する補修・補強工法の整理を行い、その後に対象となる部材単位での整理を行う。ここでは、橋梁を例として、北海道BMSでの検討及び既存資料を整理して示す。

表3-3-1 対象部材と考慮すべき損傷

部材	材料	劣化予測
主桁	鋼	(1)腐食、(6)塗装劣化
	コンクリート	(7)ひびわれ、(8)剥離鉄筋露出、(9)遊離石灰
床版	鋼	(1)腐食、(6)塗装劣化
	コンクリート	(9)遊離石灰、(8)剥離鉄筋露出、(14)床版ひびわれ
支承	鋼	(1)腐食、(6)塗装劣化
	ゴム	

(1) 腐食(塗装劣化)に対する補修・補強工法

i. 概要

鋼部材の腐食に関する主な補修・補強技術をまとめて下図に示す。なお、補修・補強に際して、事前に発錆の原因を除去するための適切な処置を施す必要がある。例えば、漏水が原因の場合では防水工・止水工を行った後、各工法を実施する必要がある。

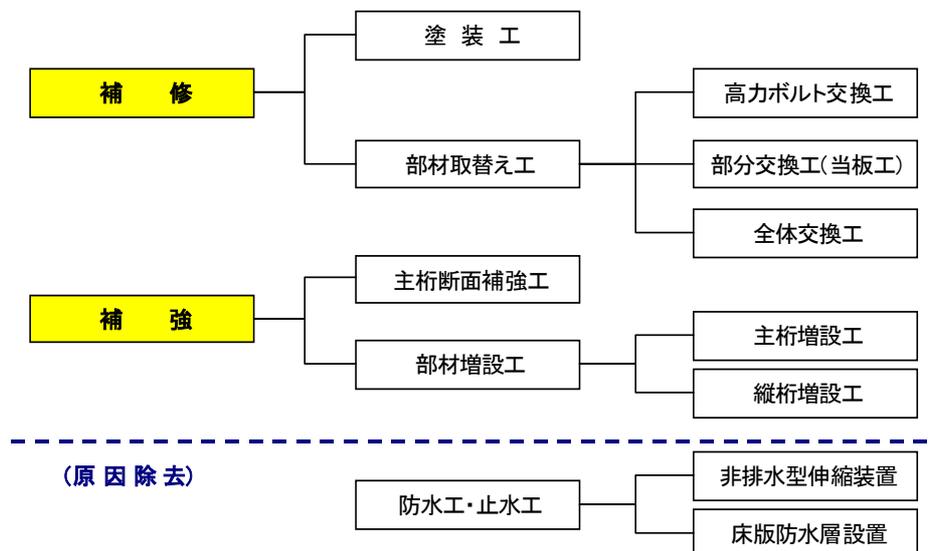


図3-3-1 腐食に対する主な補修・補強工法

以下、腐食の補修工法および補強工法に関して概説する。

ii. 補修工法

● 塗装工

塗装工は腐食の進行を防止するために行うもので、一般的な塗料による塗替え塗装と塗装寿命を延ばすための重防食塗料による塗装がある。

● 部材取替え工

腐食により断面欠損を伴い、塗装工では耐荷力を維持・回復できない場合や継手部における高力ボルト・リベットの腐食の進行を抑止するために実施する。部材取替え工の工法概要および対象部位を表3-3-2に示す。

表3-3-2 部材取替え工の工法概要および対象部位

交換工	工法概要	対象部位
高力ボルト	継手部の損傷した高力ボルトおよびリベットを取り外し、新しい高力ボルトを用いる。	継手部高力ボルト・リベット
全体	損傷した部材全体を取り外し、新しい部材と交換する。	1次部材(主桁端部・腹板)、 2次部材(対傾構・横構)

iii. 補強工法

● 主桁断面補強工

主桁の腐食による板厚減少に対して耐荷力向上を図るために実施され、カバープレートの取り付けにより板厚を増加させ発生応力を低減したり、新たな断面の取り付けにより断面剛性を向上させたりする。

● 部材増設工

既設の主桁間に新規の縦桁等を増設して主桁間隔を小さくすることにより、1主桁あたりの荷重を小さくして耐荷力の向上を図るものである。

● 部材補強工

腐食箇所をガス切断等で除去し、当板を当て高力ボルトまたは溶接による接合する。

● 原因の除去(防水工・止水工)

不十分な防水は漏水や滞水を招き、漏水箇所の鋼材の発錆および腐食の原因となることから、伸縮装置の非排水型への変更、床版の防水層設置、あるいは排水装置の早期補修等の十分な防水工を施す必要がある。

iv. 損傷ランクと補修・補強工法の適用について

ここで、腐食の損傷ランクごとの損傷状態とそれに対して実施する補修・補強工法、さらに各々の工法による損傷ランクの回復状況を表したものを次ページの表に示す。また、補修による回復については現状では不明なことが多く、今後の検討課題と考えられる。なお、ケーススタディにおいては、損傷ランクOKまで回復することとし、補修工法に応じてその後の耐用年数を仮定している。

表3-3-3 腐食の補修補強による損傷ランクの回復状況

損傷症状		補修補強工法		損傷ランク			
主部材	2次部材			II	III	IV	OK
断面欠損(全体)	-	主桁断面補強工		●	→	◎	
		部材増設	縦桁	●	→	◎	
			主桁	●	→	◎	
断面欠損(部分)	-	主桁断面補強工		●	→	◎	
		部材補強工		●	→	◎	
表面錆(全体)	-	塗装工	塗装塗替え	●	→	◎	
表面錆(局部)	-			●	→	◎	
-	断面欠損(全体)	部材取替え工	部材全体交換	●	→	◎	
-	断面欠損(部分)	部材取替え工	部材全体交換		●	→	◎
		部材補強工			●	→	◎
-	表面錆(全体)	塗装工	塗装塗替え		●	→	◎
-	表面錆(局部)				●	→	◎

備考) (全体) : 部材全体的 (部分) : 部材部分的

● : 現状のランク ◎ : 補修補強後のランク → : 補修補強による回復

(2)ひびわれの補修・補強工法

i. 概要

コンクリート構造物の補修工法の選定方針として、大きく以下の4つに分類できる。

- 劣化因子の遮断

劣化を引き起こす水分、酸素、二酸化炭素、塩化物などの劣化因子がコンクリート中に浸透することを防止する。

- 劣化因子の除去

既にコンクリート中に浸透、蓄積されている劣化因子をコンクリート外に除去する。

- 劣化速度の抑制

既に進行している構造物の劣化速度を緩やかにして寿命を長くする。

- 第三者影響度の改善

コンクリート片の落下による第三者被害の防止などで、構造物の耐久性は向上しないが、応急処置的補修である。

コンクリート部材に対して適用される補修工法および補強工法として代表的なものを図3-3-2に示す。また、以下に各工法の概要を示す。

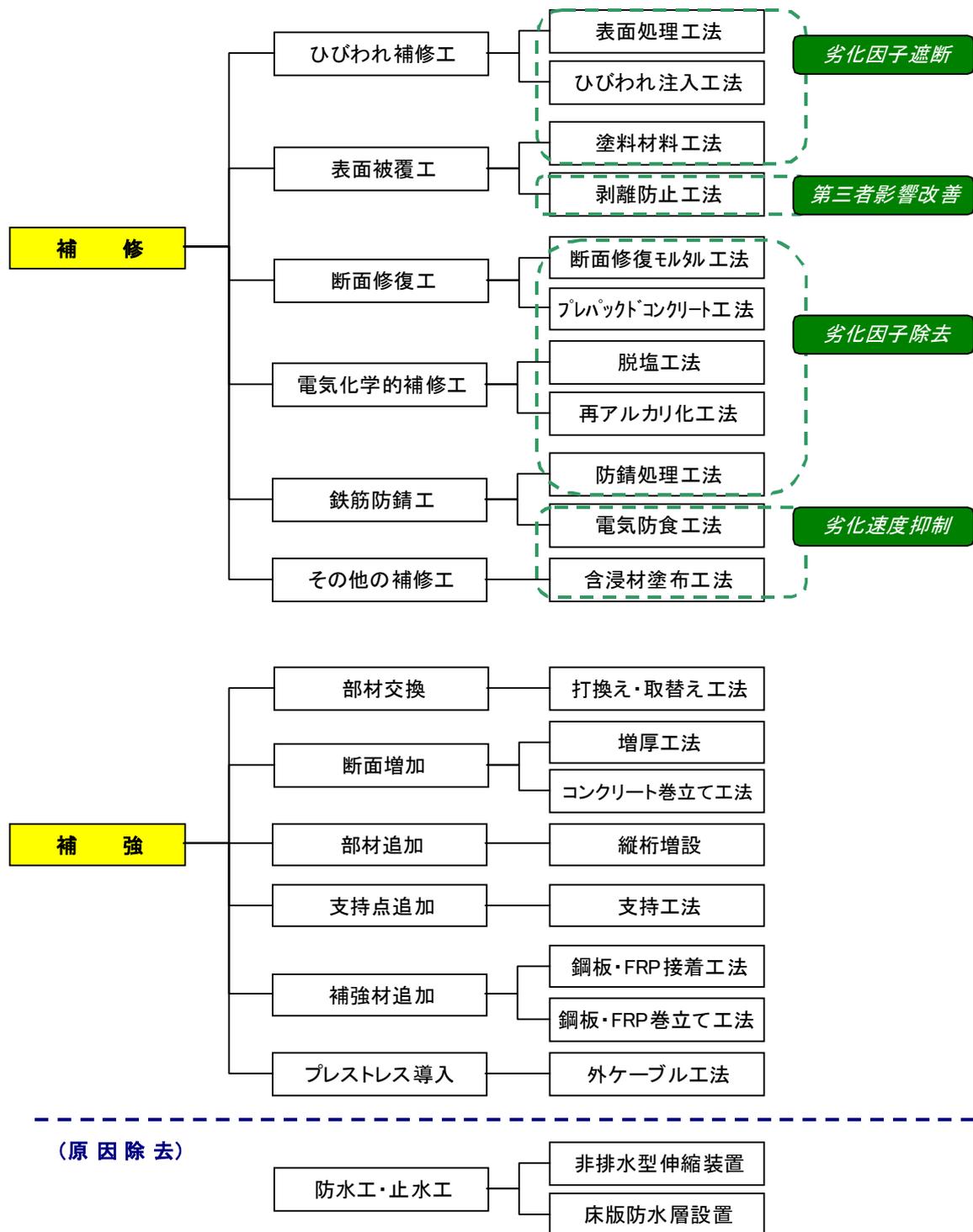


図3-3-2 ひびわれに対する主な補修補強工法

ii. 補修工法

● ひびわれ補修工

防水性、耐久性を向上される目的でおこなわれる工法であり、表面塗布工法、注入工法、充填工法等がある。各工法の概要について下表に示す。

表3-3-4 ひびわれ補修工法の概要

工 法	概 要
表面塗布工法	微細なひびわれ(幅 0.2mm 以下)の上にひびわれ追従性に優れた表面被覆材や目地材等を塗布する工法
注入工法	使用材料によっては躯体の一体化を図ることも可能であり、コンクリート構造物全般に発生したひびわれの補修工法として最も普及している工法
充填工法	比較的大きな(幅 0.5mm 以上)ひびわれの補修に適し、ひびわれに沿ってコンクリートをカットしてその部分に補修材を充填する工法

● 表面被覆工

劣化進行の抑制を目的として、コンクリート表面に樹脂系やポリマーセメント系の材料を被覆し、炭酸ガスおよび塩分等を遮断する工法である。また、塗装系等の被覆工のみではコンクリート剥落を完全に防止できないため、鋼板、炭素繊維あるいはアラミド繊維等を貼り付けて第三者影響度の改善を図る。

● 断面修復工

コンクリート部材が劣化により元の断面を喪失した場合や中性化、塩化物イオン等の劣化因子を含むぶりコンクリートを除去した場合の断面修復を目的とした工法である。断面修復モルタル工法、プレパックスドコンクリート工法等があり、以下に各々の概要を示す。

表3-3-5 断面修復工法の概要

工 法	概 要
断面修復モルタル工法	下地処理した断面欠損部に断面修復材をコテやヘラ等で数回に渡って塗り込む工法で、比較的断面欠損が小さく、修復深さが浅い(5cm 未満)に適用される。
プレパックスドコンクリート工法	粗骨材を予め型枠の中に詰め、その空隙にモルタルを注入充填する工法で、比較的断面欠損が大きな場合に適用される。

● 電気化学的補修工

脱塩工法と再アルカリ化工法があり、ともにコンクリート表面に電解質を介して外部電極を設置して、コンクリート中の鋼材を陰極として直流電流を印加する。脱塩工法は塩害により、再アルカリ化工法は中性化により劣化したコンクリート部材を対象とする。

● 鉄筋防錆工

主に塩害により劣化した構造物を対象として、コンクリート中の鉄筋の腐食反応を停止させる工法である。防錆処理工法と電気防食工法等があり、以下にそれぞれの概要を示す。

表3-3-6 鉄筋防錆工法の概要

工 法	概 要
防錆処理工法	コンクリート表面をはつて鉄筋を露出した後、鉄筋のケレン、防錆材の塗布をして断面修復工を施す工法で、鉄筋の断面欠損が少ない場合に適用される。
電気防食工法	コンクリート表面に陽極材を設置し、コンクリートを介して鋼材に防食電流を供給することで鉄筋の不活性状態にして腐食進行を止める工法である。

● その他の補修工(含浸材塗布工法)

コンクリート部材の劣化原因は、コンクリート表面からのある種の物質浸透、拡散に関係することから、コンクリート表面に含浸材を塗布することによって劣化因子の浸入防止または鉄筋腐食作用を抑制する工法である。

iii. 補強工法

図3-3-2に示したコンクリートの主な補強工法について、その目的別にコンクリート部材および構造体に分類して、それぞれの工法の一般的な適用部材を下表に示す。

表3-3-7 コンクリートの主な補強工法と適用部材

	補 修 工 法	適 用 部 材			
		梁	柱	スラブ	壁
コンクリート部材	打換え工法	△	△	○	○
	増厚工法	△		○	
	接着工法	○	△	○	△
	巻立て工法		○		△
	プレストレス導入工法	○	△	△	
構造体	増設工法	桁	○	○	
	増設工法				

備考) 増厚工法 : 上面増厚工法、下面増厚工法

接着工法 : 鋼板接着工法、連続繊維シート接着工法 (FRP 接着工法)

巻立て工法 : 鋼板巻立て工法、連続繊維シート巻立て工法、RC 巻立て工法、モルタル吹付け工法、プレキャストパネル巻立て工法

プレストレス導入工法 : 外ケーブル工法、内ケーブル工法

増設工法 : 桁増設工法、支持点増設工法

○ : 実績が比較的多い △ : 適用可能

また、既存の補強工法の中で適用事例が多く、施工および性能照査技術が比較的整備されている工法として、増厚工法、接着工法、巻立て工法および外ケーブル工法が挙げられることより、以下にこれらの工法について概説する。

● 増厚工法

床版をコンクリートおよび鉄筋等で増厚して必要な性能の向上を図る工法である。増厚工法には上面増厚工法と下面増厚工法があり、下表にそれぞれの概要を示す。

表3-3-8 増厚工法の概要

工 法		概 要
上面増厚 工法	床版上面 増厚工法	コンクリート上面を切削、研掃後、鋼繊維補強コンクリートを打設して床版を増厚する工法で、押抜きせん断に対する耐荷性能の向上を目的とする。
	鉄筋補強上 面増厚工法	上記の床版上面増厚工法で増厚した断面中に補強鉄筋を配置する工法で、張出し床版部等の負の曲げモーメントに対する耐荷性能向上を目的とする。
下面増厚工法		床版下面に鉄筋等の補強材を配置し、ポリマーセメントモルタル等の増厚材料を吹付けて施工し増厚する工法で、主に曲げ耐力の向上を目的とする。

● 接着工法

コンクリート表面に鋼板、繊維シート等を接着して必要性能の向上を図る工法であり、以下に接着工法の概要をまとめる。

表3-3-9 接着工法の概要

工 法	概 要
鋼板接着工法	主として引張応力作用面に鋼板を取り付け、コンクリートとの空隙に注入接着剤を圧入して一体化させ、鋼板の引張材としての効果を期待する工法である。
連続繊維シート接着工法	主として引張応力、斜め引張応力作用面に炭素繊維、アラミド繊維等の繊維シートを含浸接着剤で接着して既設部材と一体化させる工法である。

● 巻立て工法

既設のコンクリート部材の周囲に補強材を配置し、既設部材との一体化により、必要性能の向上を図る工法で、補強材の種類等によりコンクリート巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維シート巻立て工法等がある。

● 外ケーブル工法(プレストレスの導入)

コンクリート橋の曲げおよびせん断補強を目的として、緊張材をコンクリート外部に配置し、定着部あるいは偏向部を介して部材に緊張力を与える工法である。

ここで、ひびわれの損傷ランクごとの損傷状態とそれに対して実施する補修補強工法、さらに各々の工法による損傷ランクの回復状況について次ページの表に示す。ここで、表は一般的なコンクリート部材（桁）および床版に分けて示している。

表3-3-10 ひびわれの補修補強による損傷ランクの回復状況(一般的なコンクリート部材;桁)

部 位	損 傷 症 状		補修補強工法	損傷ランク					
	主 部 材	2 次部材		II	III	IV	OK		
主要部位	幅大、間隔小	—	打 換 え	●	→			◎	
			プレストレス導入	外ケーブル工法	●	→			◎
			接着工法	繊維シート接着	●	→			◎
	幅大、間隔大	—	打 換 え	●	→			◎	
			プレストレス導入	外ケーブル工法	●	→			◎
			接着工法	繊維シート接着	●	→			◎
	幅中、間隔小	—	ひびわれ補修工	注入工法		●	→	◎	
			接着工法	繊維シート接着		●	→	◎	
	幅中、間隔大	—	ひびわれ補修工	注入工法		●	→	◎	
			接着工法	繊維シート接着		●	→	◎	
	—	幅大、間隔小	打 換 え	●	→			◎	
			接着工法	繊維シート接着	●	→			◎
—	幅大、間隔大	打 換 え		●	→			◎	
		接着工法	繊維シート接着		●	→	◎		
—	幅中、間隔小	ひびわれ補修工	注入工法			●	→	◎	
						●	→	◎	
—	幅中、間隔大	ひびわれ補修工	注入工法			●	→	◎	
						●	→	◎	
幅小、間隔大小	幅小、間隔大小	ひびわれ補修工	注入工法				●		
							●		
上記以外部位	幅大、間隔小	—	打 換 え	●	→			◎	
			接着工法	繊維シート接着	●	→			◎
	幅大、間隔大	—	ひびわれ補修工	充填工法		●	→	◎	
				注入工法		●	→	◎	
	幅中、間隔小	—	ひびわれ補修工	充填工法		●	→	◎	
				注入工法		●	→	◎	
	幅中、間隔大	—	ひびわれ補修工	充填工法		●	→	◎	
				注入工法		●	→	◎	
	—	幅大、間隔小	接着工法	繊維シート接着	●	→			◎
			ひびわれ補修工	充填工法	●	→			◎
	—	幅大、間隔大	ひびわれ補修工	充填工法		●	→	◎	
				注入工法		●	→	◎	
—	幅中、間隔小	ひびわれ補修工	注入工法			●	→	◎	
						●	→	◎	
—	幅中、間隔大	ひびわれ補修工	注入工法			●	→	◎	
						●	→	◎	
幅小、間隔大小	幅小、間隔大小	ひびわれ補修工	注入工法				●		
							●		

備考) 幅:ひびわれ幅 間隔:ひびわれ間隔 ●:現状のランク ◎:補修補強後のランク

→:補修補強による回復

表3-3-11 ひびわれの補修補強による損傷ランクの回復状況(床版)

損傷症状		補修補強工法		損傷ランク				
2方向ひびわれ	1方向ひびわれ			II	III	IV	OK	
幅大、間隔小	-	打換え	全体	●	→	◎		
			部分	●	→	◎		
		増設工法	桁	●	→	◎		
			支持点	●	→	◎		
		増厚工法	上面増厚工法	●	→	◎		
幅大、間隔大	-	打換え	部分	●	→	◎		
		増厚工法	上面増厚工法	●	→	◎		
		接着工法	鋼板接着工法	●	→	◎		
幅中、間隔小	-	打換え	部分	●	→	◎		
		増厚工法	上面増厚工法	●	→	◎		
		接着工法	鋼板接着工法	●	→	◎		
幅中、間隔大	-	増厚工法			●	→	◎	
		接着工法	鋼板接着工法		●	→	◎	
繊維シート接着工			●	→	◎			
幅小、間隔小	-		接着工法	鋼板接着工法		●	→	◎
		繊維シート接着工			●	→	◎	
		表面被覆工			●	→	◎	
		幅小、間隔大	-	ひびわれ補修工	表面塗布工法		●	→
注入工法						●	→	◎
-	幅大、間隔小	接着工法	繊維シート接着工		●	→	◎	
-	幅大、間隔大	断面修復工	モルタル工法		●	→	◎	
				ひびわれ補修工	充填工法		●	→
-	幅中、間隔小	断面修復工	モルタル工法		●	→	◎	
				表面被覆工			●	→
-	幅中、間隔大	ひびわれ補修工	注入工法			●	→	◎
-	幅小、間隔小	表面被覆工				●	→	◎
		ひびわれ補修工	表面塗布工法			●	→	◎
-	幅小、間隔大		ひびわれ補修工	注入工法			●	→

備考) (幅:ひびわれ幅、間隔:ひびわれ間隔) ●:現状のランク ◎:補修補強後のランク
:補修補強による回復

2) 補修工法の選択の判断基準に関する検討

(1) 概要

前項では各損傷に応じた一般的な工法について整理した。ここでは、これらを実際の検討の際に選択できるように各部材において整理する必要がある。なお、これら補修工法の選択の判断基準としては、以下のように考えた。

- ・ 評価の軸は、各損傷ランクである。
- ・ 損傷ランクで採用する工法は、LCC が低い工法を考える。

なお、ここで示す補修補強による回復状況については、前述したように現段階では不明確であることより、今後の検討課題と考えられる。

(2) 鋼主桁、横桁(腐食)

鋼主桁、横桁については、前に示した以下の表のうち、その橋梁の状況に依存する工法(以下の斜線部)を以下の理由で除く。

- ・ 部材増設については、その橋梁の構造条件に依存するため、一般的な工法になりにくい。

表3-3-12 腐食の補修補強による損傷ランクの回復状況

損傷症状		補修補強工法		損傷ランク			
主 部 材	2 次部材			II	III	IV	OK
断面欠損(全体)	—	主桁断面補強工		●	→	◎	
		部材増設	縦桁 主桁	●	→	◎	
断面欠損(部分)	—	主桁断面補強工		●	→	◎	
		部材補強工		●	→	◎	
表面錆(全体)	—	塗 装 工	塗装塗替え	●	→	◎	
表面錆(局部)	—			●	→	◎	
—	断面欠損(全体)	部材取替え工	部材全体交換	●	→	◎	
—	断面欠損(部分)	部材取替え工	部材全体交換	●	→	◎	
—	断面欠損(部分)	部材補強工		●	→	◎	
—	表面錆(全体)	塗 装 工	塗装塗替え	●	→	◎	
—	表面錆(局部)			●	→	◎	

備考) (全体) : 部材全体的 (部分) : 部材部分的

● : 現状のランク ◎ : 補修補強後のランク → : 補修補強による回復

(3) コンクリート主桁、横桁

コンクリート主桁、横桁については、下表のうちの主部材にあたる。ひび割れが深刻な場合、打換えでの対処が困難になることが考えられるが、ここでは、次表の通りでシナリオを設定する。

表3-3-13 ひびわれの補修補強による損傷ランクの回復状況(一般的なコンクリート部材;桁)

部 位	損 傷 症 状		補修補強工法	損傷ランク					
	主 部 材	2 次部材		II	III	IV	OK		
主要部位	幅大、間隔小	—	打 換 え		●	→ ⊙			
			プレストレス導入	外ケーブル工法	●	→ ⊙			
			接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙			
	幅大、間隔大	—	打 換 え		●	→ ⊙			
			プレストレス導入	外ケーブル工法	●	→ ⊙			
			接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙			
	幅中、間隔小	—	ひびわれ補修工	注入工法	●	→ ⊙			
			接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙			
	幅中、間隔大	—	ひびわれ補修工	注入工法	●	→ ⊙			
			接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙			
	上記以外部位	幅大、間隔小	—	打 換 え		●	→ ⊙		
				接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙		
ひびわれ補修工				充填工法	●	→ ⊙			
幅大、間隔大		—	ひびわれ補修工	注入工法	●	→ ⊙			
			接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙			
幅中、間隔小		—	ひびわれ補修工	注入工法	●	→ ⊙			
			接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙			
幅中、間隔大		—	ひびわれ補修工	注入工法	●	→ ⊙			
			接着工法	繊維シート接着	●	→ ⊙			
幅小、間隔大		幅小、間隔大	小	小	ひびわれ補修工	注入工法		●	
					●				

備考) 幅:ひびわれ幅 間隔:ひびわれ間隔 ●:現状のランク ⊙:補修補強後のランク

→ :補修補強による回復

3) 床 版

前に示した以下の表のうち、橋梁の状況に依存する工法(以下の斜線部)を以下の理由で除く。

- ・ 部分打換えについては、その対象範囲を正確に推定する事は困難なため、全体打換えで考慮する。
- ・ 増設工法については、その橋梁の構造条件に依存するため、一般的な工法になりにくい。

表3-3-14 ひびわれの補修補強による損傷ランクの回復状況(床版)

損 傷 症 状		補 修 補 強 工 法		損 傷 ラ ン ク				
2 方 向 ひ び わ れ	1 方 向 ひ び わ れ			II	III	IV	OK	
幅大、間隔小	—	打 換 え	全 体	●	→	→	◎	
			部 分	●	→	→	◎	
		増設工法	桁	●	→	→	◎	
			支 持 点	●	→	→	◎	
幅大、間隔大	—	増厚工法	上 面 増 厚 工 法	●	→	→	◎	
		打 換 え	部 分	●	→	→	◎	
		増厚工法	上 面 増 厚 工 法	●	→	→	◎	
幅中、間隔小	—	打 換 え	部 分	●	→	→	◎	
		増厚工法	上 面 増 厚 工 法	●	→	→	◎	
		接着工法	鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
幅中、間隔大	—	接着工法	鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
			鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
			鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
幅小、間隔小	—	接着工法	鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
			鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
			鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
			鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
幅小、間隔大	—	表面被覆工		●	→	→	◎	
		ひびわれ補修工	注 入 工 法			●	→	◎
—	幅大、間隔小	接着工法	鋼 板 接 着 工 法	●	→	→	◎	
—	幅大、間隔大	断面修復工	モ ル タ ル 工 法	●	→	→	◎	
—	幅中、間隔小	ひびわれ補修工	充 填 工 法	●	→	→	◎	
—	幅中、間隔大	断面修復工	モ ル タ ル 工 法	●	→	→	◎	
—	幅中、間隔大	表面被覆工		●	→	→	◎	
—	幅小、間隔小	ひびわれ補修工	注 入 工 法			●	→	◎
—	幅小、間隔小	表面被覆工				●	→	◎
—	幅小、間隔大	ひびわれ補修工	注 入 工 法			●	→	◎
—	幅小、間隔大	表面被覆工				●	→	◎

備考) 幅:ひびわれ幅 間隔:ひびわれ間隔 ●:現状のランク ◎:補修補強後のランク
 →:補修補強による回復

4) 支 承

支承に関しては、主に鋼製、ゴム製が考えられる。ゴム製の支承は、未だ具体的な劣化現象が確認できない事と、基本的にゴム自体の劣化は考えなくともよいように考えられている事から、ここでは鋼製のみを考慮する。なお、ゴム製の支承に関しては、耐用年数で取り扱い、その値としては一般的な事例を参考にして100年で対応する。

腐食に関しては以下のようにになっているが、支承に適用した場合に問題となる工法は以下の理由で除く(表中の斜線の部分)。

- ・ 当て板などにより、断面補強を実施した例も過去にはあるが、支承の形式や、その状況などに依存する事が考えられるので、支承の取替で対応するものとする。
- ・ 部材増設は支承の場合には当てはまらない。

これらを加味して、シナリオを作成する。

表3-3-15 腐食の補修補強による損傷ランクの回復状況

損 傷 症 状		補修補強工法		損傷ランク			
主 部 材	2 次部材			II	III	IV	OK
断面欠損(全体)	—	主桁断面補強工		●	→	◎	
		部材増設	縦 桁	●	→	◎	
			主 桁	●	→	◎	
断面欠損(部分)	—	主桁断面補強工		●	→	◎	
		部材補強工		●	→	◎	
表面錆(全体)	—	塗 装 工	塗装塗替え	●	→	◎	
表面錆(局部)	—				●	→	◎
—	断面欠損(全体)	部材取替え工	部材全体交換	●	→	◎	
—	断面欠損(部分)	部材取替え工	部材全体交換		●	→	◎
		部材補強工			●	→	◎
—	表面錆(全体)	塗 装 工	塗装塗替え		●	→	◎
—	表面錆(局部)				●	→	◎

備考) (全体) : 部材全体的 (部分) : 部材部分的

● : 現状のランク ◎ : 補修補強後のランク → : 補修補強による回復

5) 補修計画のシナリオ作成

これまでは橋梁を例として部材の損傷ランク毎に整理した補修補強技術を示した。これをもとに3つのシナリオ(使い捨て型、対症療法型、危機管理型)に則った補修計画シナリオを作成する。

(1)シナリオの考え方

i. シナリオパターン

以下に示す3つのシナリオを考え、部材ごとにLCC最小となる工法を適宜選ぶようにする。

①使い捨て型:特に維持管理をせずに、安全にかかわる問題が発生し、補修が困難な状況で更新する。この場合、長期間通行止めとなり、迂回等による経済損失が発生する。

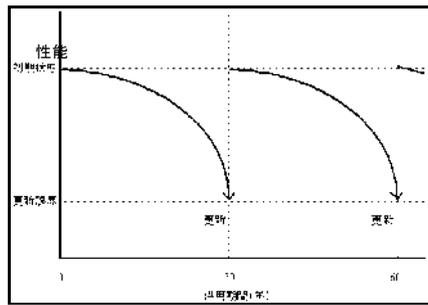


図3-3-3 使い捨て型のイメージ



②対症療法型:これまでの一般的な維持管理手法で、使用上の問題が生じた段階で補修する。

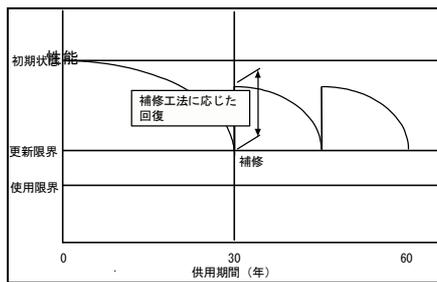
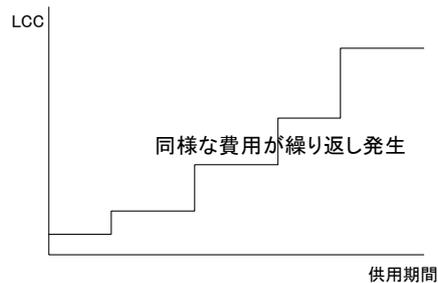


図3-3-4 対症療法型のイメージ



③危機管理型:初期不良等の損傷を早い段階で補修し、現状で可能な長寿命工法により補修する。

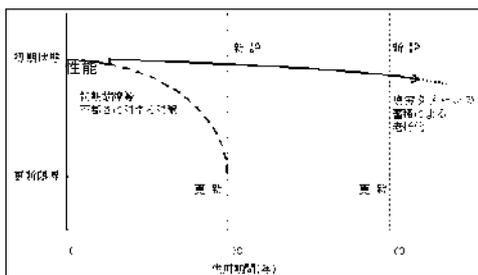
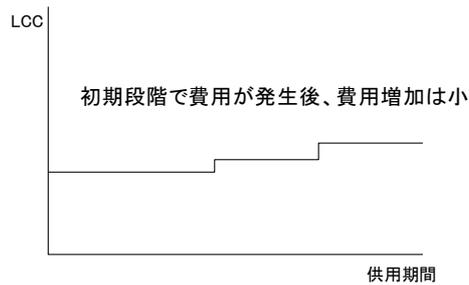


図3-3-5 危機管理型のイメージ



ii. 補修タイミング

補修のタイミングおよび工法は、シナリオごとに損傷度に応じて設定する。その際、補修が可能なレベルを更新限界、補修が不可能で部材取替え以外の選択がないレベルを使用限界として割り当てる。

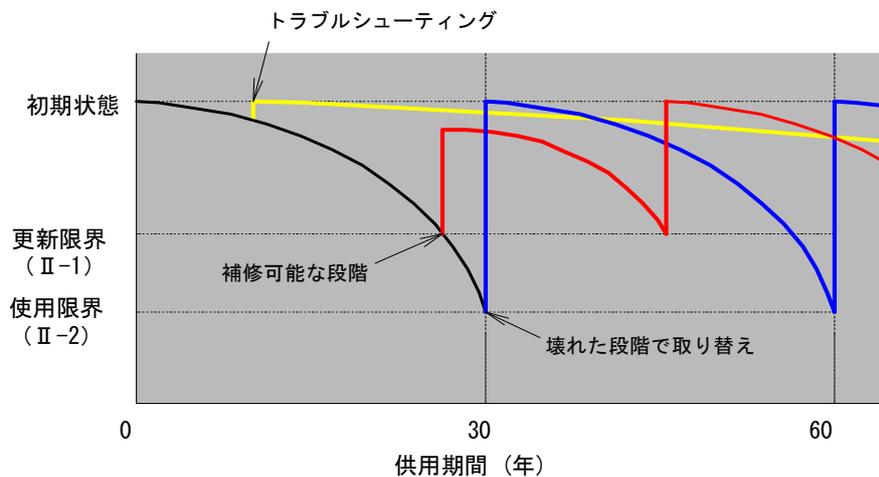


図3-3-6 補修タイミングの考え方

iii. 補修による効果

前述のように現段階では補修実施後の回復度合いが不明なことより、ケーススタディにおいては実施後ランク OK まで回復することとし、補修後ランク I となる年数（耐用年）を工法毎に設定する。また、補修工法の耐用年についても同様に不明であることが多いことから、基本的に単価も含めて補修工法ごとの既往の実績資料あるいはヒアリングにより決定している。

表3-3-16 補修工法整理結果 一覧表

	補修・補強工法		単位	金額 (千円)	耐用年	元資料	備考
床版	打換え	RC床版	㎡	109	50	橋建協	
		合成床版		121	100	橋建協	
		プレキャストPC床版		133	100	橋建協	
	増厚工法	上面増厚工法	㎡	45	15年	ヒアリング	含む防水、舗装
	接着工法	鋼板接着工法	㎡	57	15年	ヒアリング	含む足場
		連続繊維シート接着工法	㎡	67	上塗り10年	ヒアリング	(4層積層)
	表面被覆工		㎡	11	10年	ヒアリング	含む剥落対策
	ひびわれ補修工法	表面塗布工	㎡	6	10年	ヒアリング	ひびわれ部のみ
		ひびわれ注入工法	m	5	10年	ヒアリング	ひびわれ密度により㎡換算可能
	断面修復工法		㎡	70	10年	ヒアリング	
原因除去工	床版防水工	㎡	11.5	10年	ヒアリング	含む舗装撤去、再敷設	
	断面補強工	当て板	箇所	240	30	ヒアリング	再塗装が必要
		A塗装系(a-1)	㎡	5.1	別表	橋建協	足場含む
		B塗装系(b-1)		6	別表	橋建協	足場含む
再塗装工法	C塗装系(c-3)		10.2	別表	橋建協	足場含む	
鋼主桁(腐食)	溶接補修工		箇所	115	10年	ヒアリング	
	添接板による補修	HTBによる	箇所	190	60年	ヒアリング	
		溶接による	箇所	150	10年	ヒアリング	
鋼主桁, 横桁 (疲労)	打換え	部分	㎡	71	30	ヒアリング	
		プレストレス導入	外ケーブル工法		50年	ヒアリング	足場7.5別途
			→削孔工	m	30		
	→CFCC		m	80			
		→緊張工	本	45			
	接着工法	連続繊維シート接着工法	㎡	67	上塗り10年	ヒアリング	(4層積層)
	表面被覆工		㎡	11	10年	ヒアリング	含む剥落対策
	ひびわれ補修工法	表面塗布工	㎡	6	10年	ヒアリング	ひびわれ部のみ
		ひびわれ注入工法	m	5	10年	ヒアリング	ひびわれ密度により㎡換算可能
	断面修復工法		㎡	70	10年	ヒアリング	含むハツリ
鋼床組部材 (腐食)	部材取替	全体交換	t	1100	30	ヒアリング	塗装が必要
	再塗装工法	A塗装系(a-1)	㎡	5.1	別表	橋建協	足場含む
		B塗装系(b-1)		6	別表	橋建協	足場含む
		C塗装系(c-3)		10.2	別表	橋建協	足場含む
橋台 橋脚	打換え	部分	㎡	40	30年	ヒアリング	
		巻き立て工法	RC		55	30年	ヒアリング
	鋼板		m	87	30年	ヒアリング	
			繊維シート	m	67	上塗り10年	ヒアリング
	接着工法	連続繊維シート接着工法	㎡	67	上塗り10年	ヒアリング	(4層積層)
	表面被覆工		㎡	11	10年	ヒアリング	含む剥落対策
	ひびわれ補修工法	充填工法	㎡	25	10年	ヒアリング	ひびわれ部のみ
		ひびわれ注入工法	m	5	10年	ヒアリング	ひびわれ密度により㎡換算可能
	断面修復工法		㎡	70	10年	ヒアリング	含むハツリ
	支承(腐食)	部材取替	鋼製支承反力大	個	960	30年	ヒアリング
鋼製支承反力小			個	565	30年	ヒアリング	一式
ゴム支承			㎡	43.3	100年	橋建協	
再塗装工法		A塗装系(a-1)	㎡	5.1	別表	橋建協	足場含む
		B塗装系(b-1)		6	別表	橋建協	足場含む
	C塗装系(c-3)		10.2	別表	橋建協	足場含む	
伸縮装置	取替	鋼製	m	150	30年	ヒアリング	
		ゴム製	m	150	15年	ヒアリング	
	補修	ゴム補修	m	15	10年	ヒアリング	

表3-3-17 塗装耐用年

塗替え仕様		a-1	b-1	c-3
塗装名称		長油性フタル酸樹脂塗装	塩化ゴム系塗装	フッ素樹脂塗装
環境	一般環境	15年	20年	60年
	やや厳しい環境	10年	15年	45年
	厳しい環境	—	10年	30年

(2)具体的なシナリオの作成

部材ごとの損傷に応じた補修シナリオを設定する。ここで、表中の回復率とは補修後の損傷ランク、耐久性は補修後の耐久年を仮定したものである。対象3部材に対してそれぞれ補修計画シナリオを作成する。ここで示す危機管理型シナリオの補修工法は、北海道BMSにおいて設定されたものを示している。

i. 鋼主桁

鋼主桁に関しては、対象とする損傷を塗装劣化と腐食とし、以下のように考える。

- ② 使い捨て型：取替不可能な部材として、使用限界において架替えで対応する。
- ③ 対症療法型：更新限界において、現状の通常塗装としてAまたはB塗装を繰り返し塗り替える。
- ④ 危機管理型：更新限界において、初期コストは高いが、LCCで有利なC塗装系に塗り替える。

表3-3-18 鋼主桁のシナリオ

ランク	シナリオ								
	① 使い捨て型			② 対症療法型			③ 危機管理型		
	補修工法	回復率	耐久性	補修工法	回復率	耐久性	補修工法	回復率	耐久性
OK	対処なし			対処なし			対処なし		
IV	対処なし			対処なし			対処なし		
III	対処なし			更新限界 対処なし			対処なし		
II	対処なし			◎塗装工(A塗装系長油フタル酸樹脂塗装)	OK	13年	◎塗装工(C-3塗装系;フッ素樹脂塗装)	OK	45年
	対処なし			○塗装工(B塗装系塩化ゴム系塗装)	OK	15年	○塗装工(C-1塗装系;ポリウレタン樹脂塗装)	OK	30年
	対処なし			◎塗装工(A塗装系長油フタル酸樹脂塗装)+当て板補修工	OK	13年	◎塗装工(C-3)+当て板補修工	OK	45年
	◎架替え	OK	年	◎架替え	OK	年	◎架替え	OK	年

ii. コンクリート主桁

コンクリート主桁に関しては、特に、その損傷を塩害によるひび割れと考え、対象を塩害地域のみと考える。

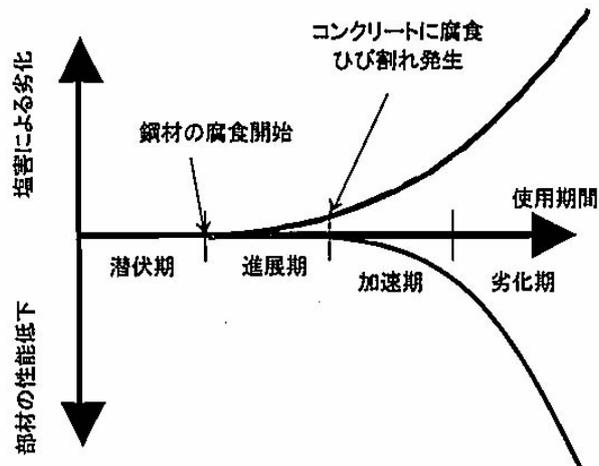


図3-3-7 コンクリート示方書における劣化過程

塩害の場合、前図(図3-3-7)のような劣化過程が考えられるが、ここで用いる点検データは、塩化物イオン濃度測定が行われていないもの(ひび割れによる判定)である。したがって、ケーススタディを実施する上で、仮に表3-3-19の様に点検データと劣化の状態を結びつけることとする。これらの過程を今回使用している橋梁点検のデータと結びつけるために以下のように考える。

表3-3-19 コンクリート示方書と橋梁点検のランクとの対比

構造物の外観上のグレード	劣化の状態	橋梁点検におけるランク
状態Ⅰ-1(潜伏期)	外観上の変状がみられない,腐食発生限界塩化物イオン濃度以下	OK
		Ⅳ
状態Ⅰ-2(進展期)	外観上の変状がみられない,腐食発生限界塩化物イオン濃度以上,腐食が開始	Ⅲ
状態Ⅱ-1(加速期前期)	腐食ひび割れが発生,錆汁が見られる	Ⅱ
状態Ⅱ-2(加速期後期)	腐食ひび割れが多数発生,錆汁が見られる,部分的なはく離・はく落がみられる,腐食量の増大	Ⅱ
状態Ⅲ(劣化期)	腐食ひび割れが多数発生,ひび割れ幅がおおきい,錆汁が見られる,部分的なはく離・はく落がみられる,変位・たわみが大きい	Ⅰ

よって、補修補強工法は前に整理したものを参考に、また、塩害による鉄筋の腐食は鉄筋位置における塩化物イオン濃度が $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ とされており、これを基準として以下のように設定した。

- ① 使い捨て型：主桁が取替不可能な部材として、使用限界において架替えで対応する。
- ② 対症療法型：耐荷力に影響の及ぼす加速期まで対処せず、鋼材の腐食が多数発生した段階(ランクⅡ)で、ひび割れが増大していない状態で補修する。
- ③ 危機管理型：損傷度に応じて長寿命化のための補修を行う。初期に塩害を防ぐ意味で潜伏期に表面被覆を行う。進展期にある場合は、初期コストは高いが、LCCで有利な電気防食を早期に採用する。

表3-3-20 コンクリート主桁のシナリオ

損傷ランク	外 観	塩化物濃度	①使い捨て	②対症療法	③危機管理
OK	外観上の変状が見られない	1.2kg/m ³ 以下	対処なし	対処なし	表面被覆 (10年毎)
IV	直角方向のひび割れが発生 (腐食による縦ひび割れはない)	1.2kg/m ³ 以下	対処なし	対処なし	表面被覆 (10年毎)
III	腐食ひび割れが発生し、錆汁が発生する状態	1.2kg/m ³ 以上	対処なし	対処なし	電気防食＋ 表面被覆(20年毎)
II	腐食ひび割れが多数発生、錆汁が発生し、 部分的な剥離、剥落が発生する状態	1.2kg/m ³ 以上	対処なし	断面修復＋ 表面被覆(10年毎)	断面修復＋ 表面被覆(10年毎)
I	上記同様で、ひび割れ幅が増大する	1.2kg/m ³ 以上	架け替え	架け替え	架け替え

iii. 床版(鋼橋)

床版については、これまでの整理から以下のように設定した。

- ① 使い捨て型:使用限界において床版打替えで対応。現状で使用されるRC床版を前提とした。
- ② 対症療法型:耐荷力に影響の及ぼすランク(II)まで対処せず、更新限界においてせん断補強(鋼板接着＋上面増厚)を行う。その後、打ち替えを行う。(鋼板接着＋上面増厚)の耐久性についてはデータ等で示せるほどの実績がないため、ここでは20年と仮定した。床版打ち替えについては、H8 道路橋示方書以降を適用した橋梁は50年以上の耐久性を持つことがこれまでの実験により確認されているため、耐久年は50年と仮定した。
- ③ 危機管理型:損傷度に応じて長寿命化のための補修を行う。ここでは、まだ耐荷力に影響を及ぼさない範囲(III)で早めに繊維シート接着で対処するものとし、耐荷力に影響を及ぼす範囲では、初期コストは高いが、LCCで有利な合成床版を用いる。

表3-3-21 床版のシナリオ

ランク	シナリオ								
	① 使い捨て型			② 対症療法型			③ 危機管理型		
	補修工法	回復率	耐久性	補修工法	回復率	耐久性	補修工法	回復率	耐久性
OK	対処なし			対処なし			対処なし		
IV	対処なし			対処なし					
III	対処なし			更新限界 対処なし			◎繊維シート接着 ＋床版防水	OK	50年 20年
II	対処なし			◎鋼板接着 ＋床版防水	IV	15年 20年	◎ 打替え (合成床版)※ ＋床版防水	OK	100年
				◎上面増厚＋ 床版防水	IV	20年 20年			20年
I	◎ 打替え(RC 床版)※＋床 版防水	OK	50年 20年	◎ 打替え(RC 床版)※＋床 版防水	OK	50年 20年	○ 打替え (P C床版)※ ＋床版防水工	OK	100年 20年
	◎ 架替え	OK	100年	◎ 架替え	OK	100年	◎ 架替え	OK	100年

※ 径間内で20%以上がランクIIの場合に適用する。

なお、本シナリオは、疲労損傷が支配的な鋼橋の床版に対して適用する。

iv. 床版(コンクリート橋)

コンクリート橋における床版は、荷重レベルから疲労による損傷が支配的にはならない。ここでは、特に塩害地域における床版（コンクリート橋）におけるシナリオは、上記の主桁のシナリオと同様である。

v. 支承

鋼支承に関しては、基本的に鋼主桁と同様である。

表3-3-22 支承のシナリオ

ランク	シナリオ								
	① 使い捨て型			② 対症療法型			③ 危機管理型		
	補修工法	回復率	耐久性	補修工法	回復率	耐久性	補修工法	回復率	耐久性
OK	対処なし			対処なし			対処なし		
IV	対処なし			対処なし			対処なし		
III	対処なし			更新限界 対処なし			対処なし		
II	対処なし 使用限界			◎塗装工(A塗 装系長油フル酸 樹脂塗装)	OK	13年	◎塗装工(C-3 塗装系;フッ素 樹脂塗装)	OK	45年
				○塗装工(B塗 装系塩化ゴム 系塗装)	OK	15年	○塗装工(C-1 塗装系;ポリウレ タン樹脂塗装)	OK	30年
	取替工 (BP支承)	OK	30年	取替工 (BP支承)	OK	30年	取替工 (ゴム支承)	OK	50年

(3)シナリオ適用の考え方

シナリオを適用する際、建設から既にシナリオで設定した耐久年以上経過した橋梁については矛盾が生じるため、評価開始後 1 回目の補修に関して以下の仮定を設けた。

- ① 部材ごとの耐久年から標準曲線を設定する。前述のように、標準曲線は上に凸の曲線を描くよう、放物線で仮定した。
- ② 点検年の損傷度 C_0 から残存耐久年を標準曲線から逆算する。ここで、最新点検年以前の経緯に関わらず、 $C_0=OK$ であれば、その後 30 年の耐久年(鋼橋の場合)を有すると考え、 $C_0=III$ であれば標準曲線の III 移行の劣化過程となると仮定する。
- ③ 現在年の損傷度 C_1 を標準曲線から求め、各シナリオの補修工法を適用し補修計画を行う。

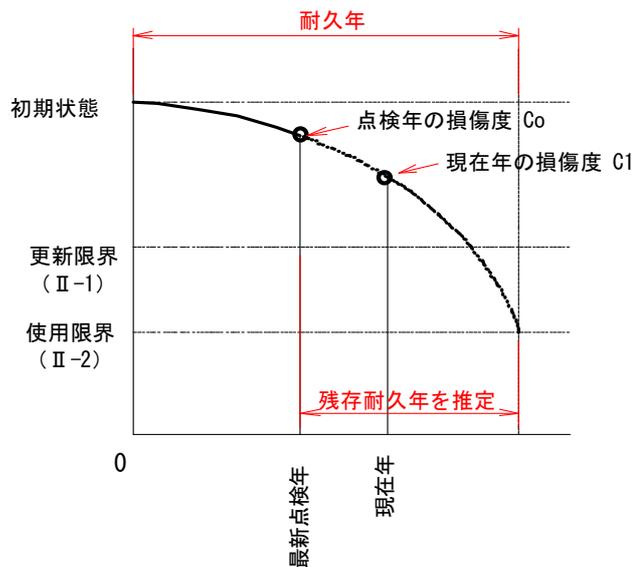


図3-3-8 シナリオ適用の考え方

ここで、床版における対症療法型を例にシナリオの適用例を以下に示す。

- ① 床版の耐久年 N_0 (30年) から標準曲線を設定し、最新点検年 (1996年) の損傷ランクから残存耐久年及び現在年 (2004年) の損傷ランクを推定する。
- ② 損傷ランク II-1 において、1 回目の補修 (鋼板接着+床版防水) を実施し、損傷ランクは OK まで回復する。
- ③ (鋼板接着+床版防水) による補修後の耐久年 N_1 (15年と仮定) から標準曲線を設定する。
- ④ 損傷ランク II-2 において、2回目の補修 (RC 床版打ち替え+床版防水) を実施し、損傷ランクは OK まで回復する。
- ⑤ (RC 床版打ち替え+床版防水) による補修後の耐久年 N_2 (50年) から標準曲線を設定する。
- ⑥ 3 回目補修以降は、②～⑤を繰り返し行う。

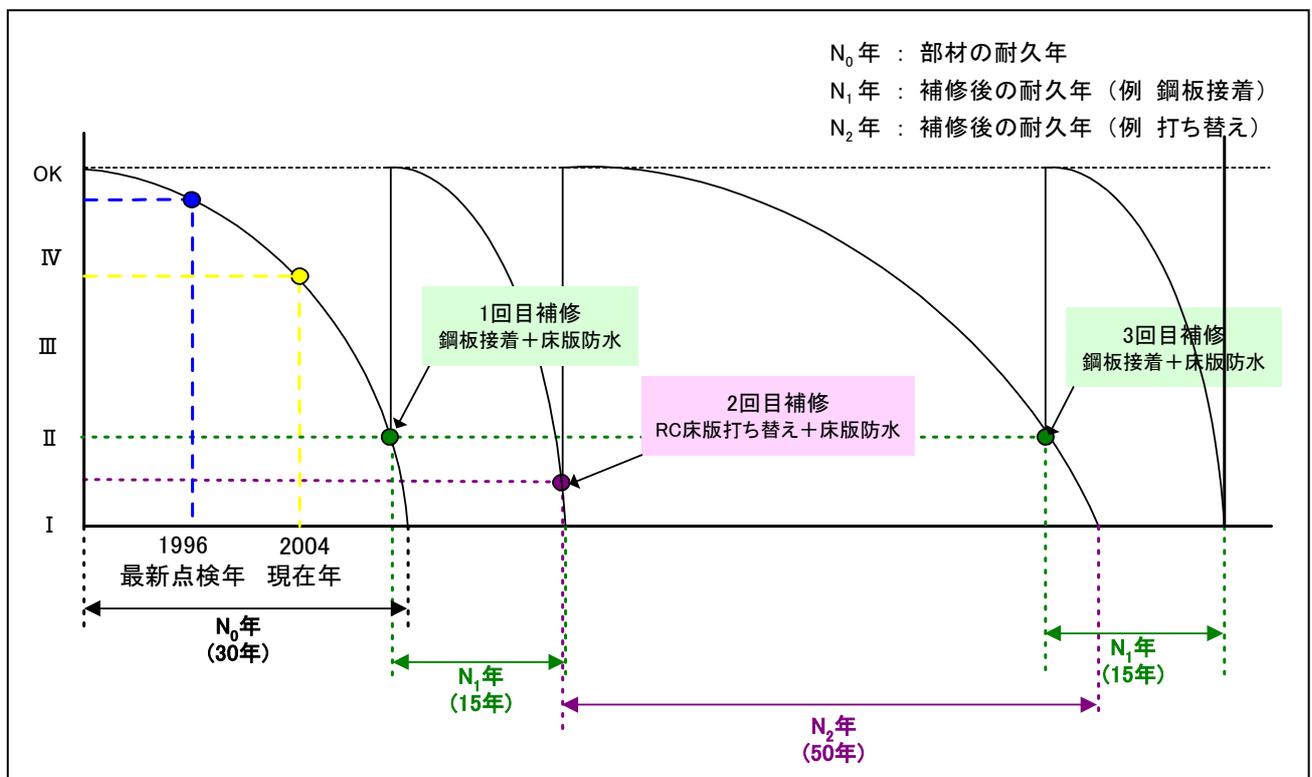


図3-3-9 シナリオの適用例 (部材:床版、シナリオ:対症療法型)

3-4. ケーススタディ

1) シミュレーションの条件

前節までの検討結果を基にケーススタディを行う。対象橋梁は前章までと同様、北海道開発局のうち、1開発建設部の橋梁(全橋梁数 721 橋、但し、既往の点検結果のある橋梁のみの 533 橋)である。

シミュレーションの条件としては、以下のとおりである。

- ・ 対象期間 …… 100 年
- ・ 対象部材 …… 主桁、床版、支承の 3 部材
- ・ 対象シナリオ…… 3つのシナリオ (使い捨て型、対症療法型、危機管理型)

ここで、前章で用いた北海道 BMS との相違点について下表にまとめる。健全度評価、劣化予測などにおいて相違点があるが、ケーススタディの目的に対してはこれらの相違は問題ないと考えられる。

表3-4-1 北海道 BMS との相違点

	北海道 BMS	表計算手法の検討
健全度評価	部材……損傷度 橋……健全度 健全度の算出方法 ^{※1)} ……便宜上再調達価格を重み付けにして平均化	部材……損傷度 橋……健全度 健全度の算出方法……部材の重み係数を設定
劣化予測の元になったデータ	北海道開発局の国道橋の既往の点検結果	左に同じ
劣化曲線の考え方	確率論的な手法としてマルコフモデルを採用 ^{※2)} (損傷の範囲を評価可能)	曲線形状は 2 次曲線
補修計画の考え方	部材及び損傷に応じてあらかじめ規定したシナリオを使用	左に同じ(北海道BMSの補修計画シナリオを参照した)

※1) 土木学会論文集No. 703/I-59, 53-65, 2002. 4 「橋梁各部材の資産的評価と橋梁健全度指数の解析」

※2) 土木学会第58回年次学術講演会 「北海道におけるBridge Management System(BMS)の現状と今後」

2) 計算例

C 道路事務所の 1 橋を例に計算例を示す。x 橋の諸元、径間ごとの対象 3 部材の点検結果(ランク)等は表3-4-2に示す通りである。また、1 径間の計算例を図3-4-1～図3-4-3に示す。

表3-4-2 x 橋の点検結果

架設年:1967 年 点検年:2001 年 橋長:150m 構造形式:3 径間単純鋼桁

名称	径間番号	支間長(m)	主桁		床版		支承	
			面積	ランク	面積	ランク	面積	ランク
x 橋	1	49.00	1,176.00	5	490.00	3	2.40	5
x 橋	2	49.00	1,176.00	5	490.00	4	2.40	5
x 橋	3	49.00	1,176.00	5	490.00	3	2.40	5

C. ネットワークマネジメント編

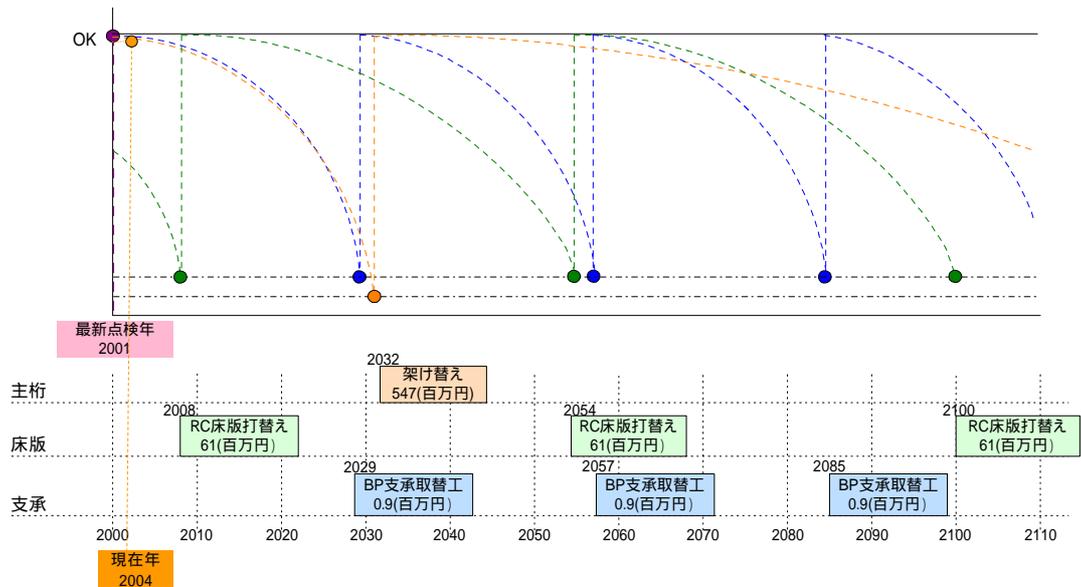


図3 - 4 - 1 計算例 (1 径間;使い捨て型)

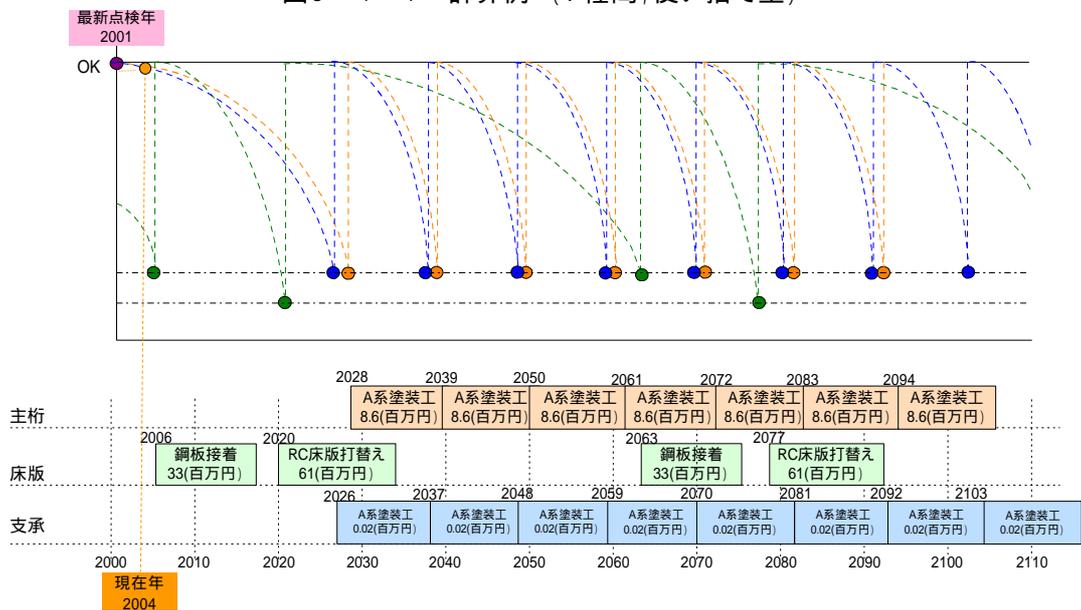


図3 - 4 - 2 計算例 (1 径間;对症療法型)

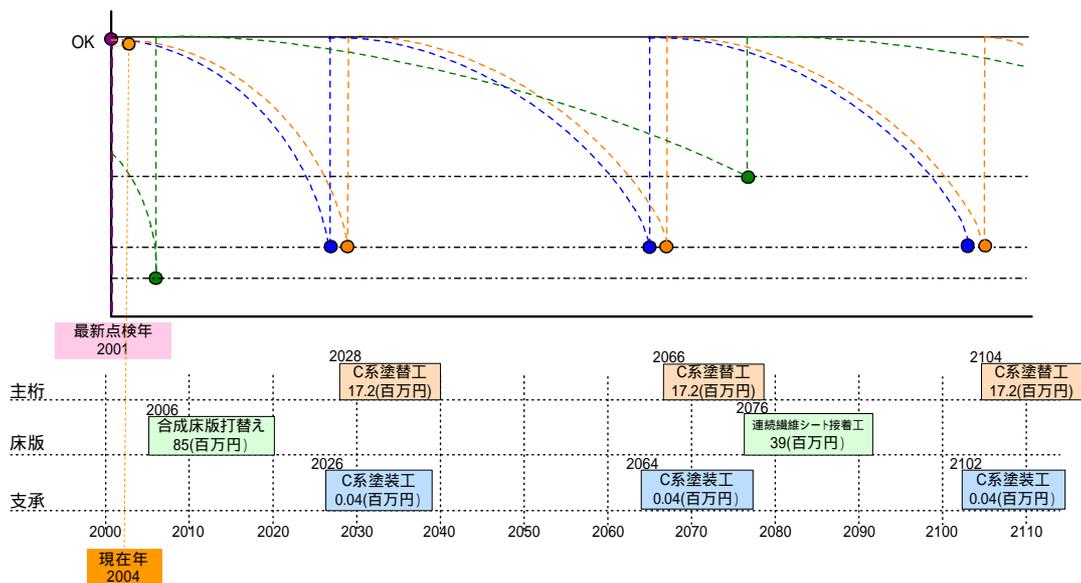


図3 - 4 - 3 計算例 (1 径間;危機管理型)

3) ケーススタディの結果

ケーススタディを行うにあたっては表計算ソフトを用い、3つのシナリオごとに補修計画(事業費推移及び健全度推移)を作成して集計する。以降、1つのマイクロ(C道路事務所)を例として結果を示す。

表3-4-6 橋梁諸1元一覧

名称	径間 番号	架設 竣工年	総登 間数	橋長 (m)	構造形式	点検年	経過年	支間長 (m)	有効 幅員(m)	上部工 種別	主桁			床版			支承			伸縮表 置種類			
											部材数	面積	ランク	部材数	面積	ランク	部材数	面積	ランク				
a橋	1	1985	1	30.5	鋼溶接単純桁(合成)	1996	6	30.00	27.00	1	60	1,110.00	5	1	56	810.00	5	1	20	4.00	5	1	鋼
b橋	1	1989	4	125.8	PC連続ポステン箱桁	2001	1	31.00	21.00	2	2	210.80	3	1	5	651.00	5	1	8	1.60	5	1	鋼
b橋	2	1989	4	125.8	PC連続ポステン箱桁	2001	1	31.00	21.00	2	2	210.80	5	1	5	651.00	5	1	4	0.80	5	1	鋼
b橋	3	1989	4	125.8	PC連続ポステン箱桁	2001	1	31.00	21.00	2	2	210.80	5	1	5	651.00	5	1	4	0.80	5	1	鋼
b橋	4	1989	4	125.8	PC連続ポステン箱桁	2001	1	31.00	21.00	2	2	210.80	4	1	5	651.00	5	1	4	0.80	5	1	鋼
c橋	1	1978	3	80	鋼溶接連続桁(非合成)	1998	4	24.00	27.00	1	36	756.00	5	1	34	648.00	5	1	18	3.60	5	1	鋼
c橋	2	1978	3	80	鋼溶接連続桁(非合成)	1998	4	32.00	27.00	1	54	1,008.00	5	1	50	864.00	5	1	9	1.80	5	1	鋼
c橋	3	1978	3	80	鋼溶接連続桁(非合成)	1998	4	24.00	27.00	1	36	756.00	5	1	34	648.00	5	1	9	1.80	5	1	鋼
d橋	1	1952	2	19.07	RC単純T桁	2001	1	9.00	16.00	3	11	128.70	5	1	12	144.00	5	1	22	4.40	3	1	コン
d橋	2	1952	2	19.07	RC単純T桁	2001	1	9.00	16.00	3	11	128.70	5	1	12	144.00	5	1	22	4.40	3	1	コン
e橋	1	1980	1	19.37	PC連続プレテン中空床版	2001	1	19.00	5.00	2	1	0.00	5	1	1	95.00	5	1	2	0.40	5	1	コン
e橋	2	1982	2	19.37	PC単純プレテン中空床版	2001	1	9.00	5.00	2	1	0.00	5	1	1	45.00	5	1	2	0.40	5	1	コン
e橋	2	1982	2	19.37	PC単純プレテン中空床版	2001	1	9.00	5.00	2	1	0.00	5	1	1	45.00	5	1	2	0.40	5	1	コン
f橋	1	1985	3	43.59	鋼溶接単純桁(非合成)	1997	5	13.00	25.00	1	30	234.00	5	1	30	325.00	5	1	50	10.00	5	1	コン
f橋	2	1985	3	43.59	鋼溶接単純桁(非合成)	1997	5	16.00	25.00	1	45	288.00	5	1	44	400.00	5	1	50	10.00	5	1	コン
f橋	3	1985	3	43.59	鋼溶接単純桁(非合成)	1997	5	13.00	25.00	1	30	234.00	5	1	30	325.00	5	1	50	10.00	5	1	コン
g橋	1	1957	1	26.17	鋼溶接単純桁(非合成)	1992	10	25.00	22.00	1	30	450.00	5	1	27	550.00	4	1	20	4.00	5	1	鋼
h橋	1	1957	1	21.2	鋼溶接単純桁(非合成)	1995	7	20.00	22.00	1	12	240.00	5	1	10	440.00	3	1	18	3.60	5	1	鋼
i橋	1	1959	2	21.08	PC単純プレテン床版	2002	0	11.00	21.00	2	1	514.80	3	1	1	231.00	2	1	2	0.40	5	1	コン
i橋	2	1959	2	21.08	PC単純プレテン床版	2002	0	11.00	21.00	2	1	514.80	5	1	1	231.00	2	1	2	0.40	5	1	コン
j橋	1	1969	7	439.2	PC連続ポステン箱桁	2000	2	48.00	20.00	2	2	480.00	2	1	5	960.00	5	1	8	1.60	2	1	鋼
j橋	2	1969	7	439.2	PC連続ポステン箱桁	2000	2	48.00	20.00	2	2	480.00	2	1	5	960.00	5	1	4	0.80	2	1	鋼
j橋	3	1969	7	439.2	PC連続ポステン箱桁	2000	2	74.00	20.00	2	21	598.40	2	1	5	1,480.00	5	1	4	0.80	5	1	鋼
j橋	4	1969	7	439.2	PC連続ポステン箱桁	2000	2	96.00	20.00	2	22	672.00	3	1	5	1,920.00	5	1	0	0.00	5	1	鋼
j橋	5	1969	7	439.2	PC連続ポステン箱桁	2000	2	74.00	20.00	2	21	598.40	2	1	5	1,480.00	5	1	4	0.80	2	1	鋼
j橋	6	1969	7	439.2	PC連続ポステン箱桁	2000	2	48.00	20.00	2	2	480.00	5	1	5	960.00	5	1	8	1.60	2	1	鋼
j橋	7	1969	7	439.2	PC連続ポステン箱桁	2000	2	48.00	20.00	2	2	480.00	3	1	5	960.00	5	1	4	0.80	2	1	鋼
k橋	1	1955	1	18.3	鋼溶接単純桁(合成)	1999	3	17.00	8.00	1	12	136.00	5	1	11	136.00	5	1	8	1.60	5	1	鋼
k橋	1	1966	1	20	単純T形鋼(合成)	1999	3	20.00	1.00	1	8	64.00	5	1	6	20.00	4	1	4	0.80	5	1	コン
m橋	1	1952	5	140.9	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	25.00	6.00	1	10	350.00	5	1	7	150.00	5	1	4	0.80	5	1	コン
m橋	2	1952	5	140.9	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	29.00	6.00	1	10	406.00	5	1	7	174.00	5	1	4	0.80	5	1	コン
m橋	3	1952	5	140.9	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	29.00	6.00	1	10	406.00	5	1	7	174.00	5	1	4	0.80	5	1	コン
m橋	4	1952	5	140.9	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	29.00	6.00	1	10	406.00	5	1	7	174.00	5	1	4	0.80	5	1	コン
m橋	5	1952	5	140.9	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	25.00	6.00	1	10	350.00	5	1	7	150.00	5	1	4	0.80	5	1	コン
n橋	1	1967	3	150	鋼溶接単純桁(合成)	2001	1	49.00	10.00	1	54	1,176.00	5	1	47	490.00	3	1	12	2.40	5	1	鋼
n橋	2	1967	3	150	鋼溶接単純桁(合成)	2001	1	49.00	10.00	1	54	1,176.00	5	1	47	490.00	3	1	12	2.40	5	1	鋼
n橋	3	1967	3	150	鋼溶接単純桁(合成)	2001	1	49.00	10.00	1	54	1,176.00	5	1	47	490.00	3	1	12	2.40	5	1	鋼
o橋	1	1987	1	36	PC単純ポステン中空床版	1994	8	35.00	14.00	2	1	101.90	5	1	3	490.00	5	1	10	2.00	5	1	コン
p橋	1	1958	1	15.78	PC単純プレテン床版	1997	5	16.00	9.00	2	1	672.00	5	1	1	144.00	3	1	2	0.40	5	1	コン
q橋	1	1983	1	24.85	単純T形鋼(非合成)	1997	5	23.00	3.00	1	8	64.40	5	1	6	69.00	5	1	4	0.80	5	1	コン
r橋	1	1954	3	105	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	34.00	7.00	1	12	655.52	5	1	8	238.00	5	1	4	0.80	5	1	鋼
r橋	2	1954	3	105	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	34.00	7.00	1	12	655.52	5	1	8	238.00	5	1	4	0.80	5	1	鋼
r橋	3	1954	3	105	鋼鉄リベット単純トラス橋	2001	1	34.00	7.00	1	12	655.52	5	1	8	238.00	5	1	4	0.80	5	1	鋼

マクロに渡す情報であるシナリオごとの補修計画の集計結果(ミクロが管理する施設全体)について一例を以下に示す。

表3-4-7 集計結果(一覽)

		70年目	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
①使い捨て型	部材													
	主桁	0	0	2,470,703	80,352	0	136,766	1,266,958	2,215,074	548,049	417,388	0	122,723	1,223,136
	床版	1,493,505	0	675,151	87,685	144,569	182,822	90,418	0	40,241	0	2,484	0	60,858
	支承	0	0	784	0	0	340	185	0	0	0	0	0	0
計	1,493,505	0	3,146,638	168,037	144,569	319,928	1,357,560	2,215,074	588,290	417,388	2,484	122,723	1,283,994	
健全度	主桁	45,460,189	0.86378	0.92820	0.92258	0.91062	0.91650	0.90320	0.90324	0.89538	0.88660	0.87490	0.85693	0.84302
	床版	14,510,410	0	2,470,703	2,551,055	2,551,055	2,687,821	3,954,779	6,169,853	6,717,902	7,135,289	7,135,289	7,258,012	8,481,148
	支承	25,675	0	675,151	762,836	907,405	1,090,228	1,180,645	1,180,645	1,220,886	1,220,886	1,223,370	1,223,370	1,284,228
	計	59,996,275	0	3,146,638	3,314,675	3,459,244	3,779,172	5,136,732	7,351,806	7,940,096	8,357,484	8,359,968	8,482,691	9,766,685
②対症療法型	主桁	202,214	0	2,547,891	187,224	21,189	60,140	16,764	1,927	19,202	16,349	13,580	27,838	46,586
	床版	0	0	805,070	105,370	39,478	12,864	8,923	0	1,352	0	33,124	69,222	0
	支承	6	0	848	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	202,220	0	3,353,809	292,629	60,667	73,004	25,687	1,927	20,554	16,349	46,704	97,060	46,586
健全度	主桁	9,575,117	0.86378	0.93995	0.95066	0.94568	0.93904	0.92484	0.90858	0.89491	0.87487	0.85736	0.83548	0.81549
	床版	15,731,908	0	2,547,891	2,735,115	2,756,304	2,816,444	2,833,207	2,835,134	2,854,336	2,870,685	2,884,265	2,912,102	2,958,689
	支承	14,076	0	805,070	910,440	949,918	962,782	971,706	971,706	973,058	973,058	1,006,182	1,075,404	1,075,404
	計	25,321,101	0	3,353,809	3,646,438	3,707,105	3,780,109	3,805,796	3,807,722	3,828,276	3,844,625	3,891,329	3,988,389	4,034,975
LCC	主桁	27,838	0	2,475,965	32,266	24,882	252,928	553,065	46,013	217,925	16,349	14,296	27,838	31,283
	床版	53,972	0	1,312,867	273,012	101,616	38,514	92,216	21,064	33,180	58,244	72,456	53,972	225,384
	支承	0	0	996	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	81,810	0	3,789,829	305,348	126,498	291,442	645,281	67,077	251,105	74,593	86,752	81,810	256,667
③危機管理型	部材													
	主桁	8,599,066	0.86378	0.93995	0.94224	0.93184	0.92322	0.93004	0.92425	0.91897	0.91027	0.89961	0.88741	0.88223
	床版	5,595,594	0	2,475,965	2,508,231	2,533,113	2,786,041	3,339,106	3,385,119	3,603,044	3,619,393	3,633,690	3,661,527	3,692,810
	支承	11,490	0	1,312,867	1,585,879	1,687,495	1,726,009	1,818,226	1,839,290	1,872,470	1,930,714	2,003,170	2,057,142	2,282,526
計	14,206,149	0	3,789,829	4,095,177	4,221,675	4,513,117	5,158,398	5,225,475	5,476,580	5,551,173	5,637,926	5,719,735	5,976,403	
健全度	主桁	8,599,066	0.86378	0.93995	0.94224	0.93184	0.92322	0.93004	0.92425	0.91897	0.91027	0.89961	0.88741	0.88223
	床版	5,595,594	0	2,475,965	2,508,231	2,533,113	2,786,041	3,339,106	3,385,119	3,603,044	3,619,393	3,633,690	3,661,527	3,692,810
	支承	11,490	0	1,312,867	1,585,879	1,687,495	1,726,009	1,818,226	1,839,290	1,872,470	1,930,714	2,003,170	2,057,142	2,282,526
	計	14,206,149	0	3,789,829	4,095,177	4,221,675	4,513,117	5,158,398	5,225,475	5,476,580	5,551,173	5,637,926	5,719,735	5,976,403
LCC	主桁	27,838	0	2,475,965	32,266	24,882	252,928	553,065	46,013	217,925	16,349	14,296	27,838	31,283
	床版	53,972	0	1,312,867	273,012	101,616	38,514	92,216	21,064	33,180	58,244	72,456	53,972	225,384
	支承	0	0	996	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	計	81,810	0	3,789,829	305,348	126,498	291,442	645,281	67,077	251,105	74,593	86,752	81,810	256,667

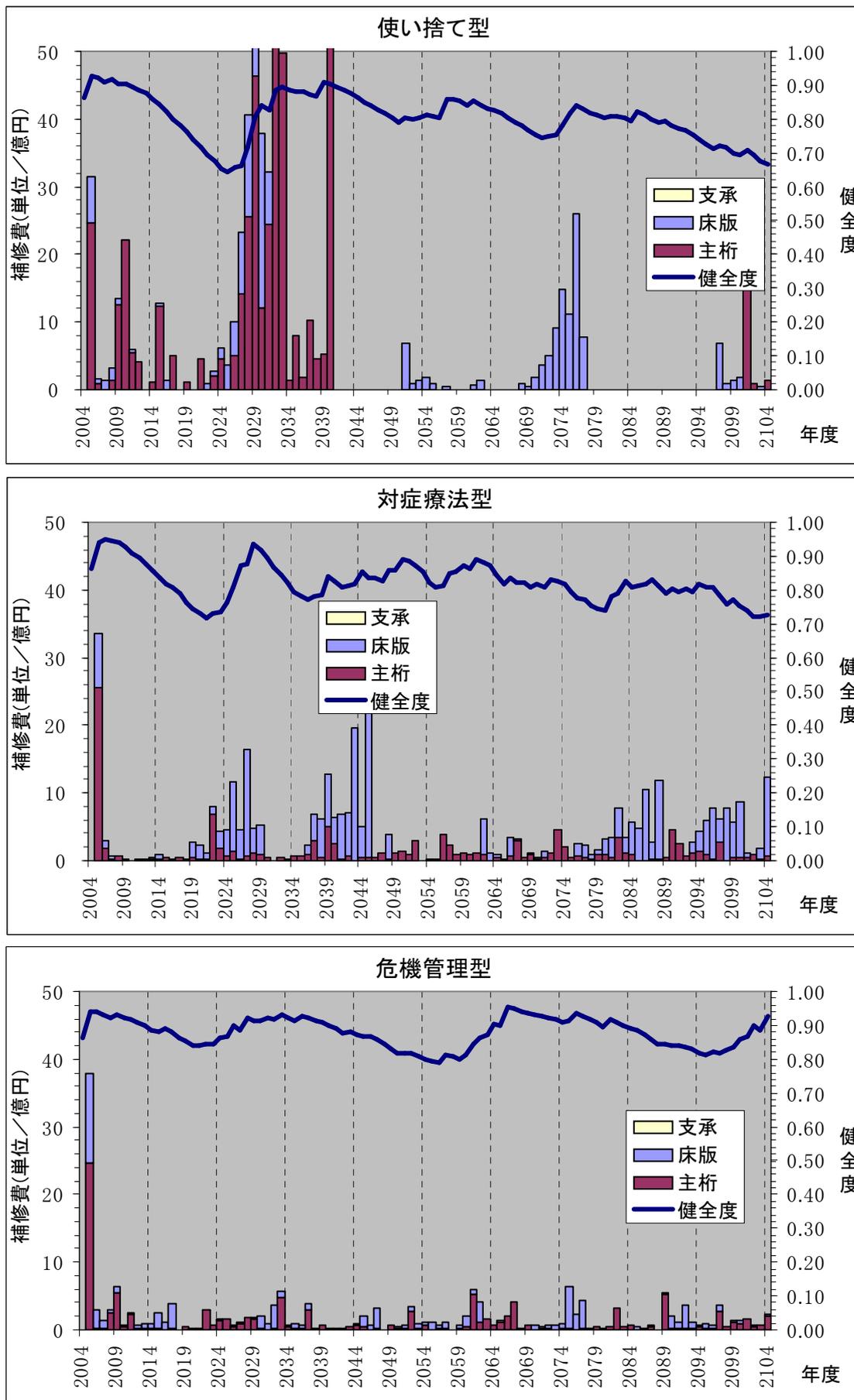


図3-4-4 補修計画の集計結果

4) 結果のまとめ

前章における結果と同様に、危機管理型において健全度の低下を抑制し、事業費の低減が図れることが確認できる。簡略化したことにより数値に若干の違いが見られたが、北海道 BMS を用いた前章の結果とほぼ同様な結果が得られた。

このことから、表計算ソフト等を利用した簡易的な手法により、

- ① ミクロマネジメントにおける具体的な補修計画を作成することが可能
 - ② マクロマネジメントに渡す情報を処理することが可能
- である。

ただし、本章で示した手法は表計算ソフトを用いていることから、補修計画作成後の予算平準化、優先順位付け及び予算配分については、別途対応が必要となる。

また、多くの部材や構造から構成される施設を扱う場合や対象とする構造物の数が多い場合には、計算が複雑となるため表計算ソフトで対応できないことも考えられるので注意が必要ではあるが、対象とする部材を絞るなどして、対象数を少なくすることで十分計算が可能と考えられる。

また、ここで検討した手法を用いる場合の課題点を整理して以下に示す。

- ① ここで示す劣化推定方法は、ある地域のデータを用いたもので、施設の条件(海岸や山間部などの立地条件)により異なるので点検を繰り返して精度をあげていく必要がある。
- ② 健全度は全体の管理状況や予算配分、管理方針などの検討に用いられる指標であり、橋のように複数の部材で構成される施設や舗装のようにほぼ同一の材料で評価できるものもあり、算出方法については、施設の特性、健全度の活用方法を考えて算出する必要がある。
- ③ 現状では、補修による回復度合いが明確となっていない補修工法もあり、補修後の劣化を推定することが困難な場合には、これまでの実績や経験から寿命を仮定し、点検によりデータを取得しながら制度を向上させていくことが現実的と考えられる。
- ④ コンクリート部材に発生する鋼材の腐食に伴うひび割れについては、その原因が塩化物イオンによるものや、中性化によるものか、目視点検だけでは原因を特定することが難しい場合があり、コアサンプルを採取して定量的に判定する必要がある。
- ⑤ このような検討を行うにあたり、施設ごとに表3-3-16に示すようにこれまでの補修工法に関する情報を収集し、損傷ランクに応じたシナリオ(表3-3-18～表3-3-22)を作成することが点検による情報収集と共に重要な検討項目である。